

164601

12.3.4.88
31-42

**FOTOVOLTAİK MODÜLLERİN MİMARİDE
UYGULANMA OLANAKLARI - ESKİŞEHİR İÇİN
BİR ÖRNEK ÇALIŞMA**

Bilge Gökhan ÇELİK
Yüksek Lisans Tezi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Mayıs - 2002

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bilge Gökhan Çelik'in Fotovoltaik Modüllerin Mimaride Uygulanma Olanakları-Eskişehir İçin Bir Örnek Çalışma başlıklı **Mimarlık** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi ~~10.06.2002~~ tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç.Dr. Türkan Göksal	
Üye	: Prof.Dr. Yavuz Koşaner	
Üye	: Doç.Dr. Demet İrklı Eryıldız	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~12.06.2002~~ tarih ve ~~...~~/3. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK MODÜLLERİN MİMARİDE UYGULANMA OLANAKLARI - ESKİŞEHİR İÇİN BİR ÖRNEK ÇALIŞMA

BİLGE GÖKHAN ÇELİK

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç.Dr. Türkan Göksal
2002, 108 Sayfa**

Günümüzde tasarım kriterleri, enerji bilinçli ve çevre duyarlı mimari bağlamında giderek değişmektedir. Mekan konforunun sağlanmasında, tüketimleri büyük ölçüde devam eden fosil yakıtların çevreye verdikleri zarar ve sonlu yakıt olmalarından dolayı, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımlarının arttırılmasının gerekliliği, mimarlık alanını da etkilemektedir. Yapılan bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneşten, etken anlamda yararlanmayı olanaklı kılan ve mimaride kullanımı giderek artan fotovoltaik (PV) modüller ele alınarak incelenmektedir. PV modüllerin tasarım aşamasında bina kabuğuna entegre edilmeleri ve uygun çözümlerin geliştirilmesi strüktürel, estetik, ekonomik ve çevresel açıdan kaçınılmazdır. Çalışmanın amacı, PV modüllerin Eskişehir ili meteorolojik ve coğrafi koşulları dikkate alınarak, ©PVSYST 3.11 adlı bilgisayar programı simülasyonları yardımı ile mimaride uygulanabilme olanaklarını incelemek ve değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda tasarlanan, aynı plan tipine sahip üç farklı model evinin çeşitli yüzeylerine entegre edilen, polikristal PV modülden oluşturulan 1,2 kW gücündeki sistemin farklı şekillerde cephe ve çatıda düzenlenmeleri ile Eskişehir koşullarında “mimari ve enerji” bağlamında uygulanabilecek en uygun modül açısı, yön ve verimlilikleri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneşten Yararlanma, Fotovoltaik Modüller

ABSTRACT

Master of Architecture Thesis

THE APPLICATION POSSIBILITIES OF PHOTOVOLTAIC MODULES IN ARCHITECTURE – A CASE STUDY FOR ESKISEHIR

BİLGE GÖKHAN ÇELİK

Anadolu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Architecture Program

Supervisor: Doç.Dr.Türkan Göksal

2002, 108 Pages

Design criteria used today has been progressively shifting in regard to energy awareness as well as greater emphasis being placed on environment sensitive architecture. This progressive shift in design criteria has been fueled by the need to increase the use of renewable energy sources in light of the degrading effects of fossil fuels on the environment. This research will primarily focus on the integration of photovoltaic (PV) modules into contemporary architectural design as a principle source of renewable energy.

The integration of PV modules into the completed developments building shell is essentially unavoidable as it provides the perfect solution, both in terms of increasing environmental concerns and in regard to building aesthetics. The aim of this research is to investigate as well as evaluate the usage possibility of (PV) modules in architecture within the context of Eskisehir's meteorological and geographical environment through the use of simulations software namely; "©PVSYST 3.11".

In light of the above research objective, three model houses with the same plan type were focused upon in regard to determine the appropriate module angles, direction and effectivity of the 1.2 kW polycrystalline PV module system that would be integrated into the facade and roof arrangements of the model houses. It should also be made clear that all three simulations were carried out in consideration of Eskisehir's meteorological and geographical characteristics. This research study has been carried out under the concept of "Architecture and Energy".

Keywords: Renewable Energy Sources, Beneficial Effects of the Sun, Photovoltaic Modules

TEŞEKKÜR

Tüm öğrenim hayatım boyunca benden, hiçbir zaman maddi ve manevi yönden desteklerini esirgemeyen aileme; yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince, değerli bilgileri ve yardımlarıyla bana her yönden destek olan danışmanım Sayın Doç.Dr.Türkan Göksal'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmam süresince benden hiçbir destek ve yardımını esirgemeyen Sayın Mimar Zafer Köküz'e, çalışmamın başından sonuna kadar bana destek olan Sayın Mimar Gökçe Ketizmen'e, meteorolojik verilerin temininde yardımlarından dolayı DMİ Eskişehir Bölge Müdürlüğü'ne, tüm dostlarıma ve Anadolu Üniversitesi Mimarlık Bölümü'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Bilge Gökhan Çelik

Mayıs 2002

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çevre, Enerji, Mimari İlişkisi.....	2
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	5
1.3. Güneş Enerjisi ve Yararlanma Olanakları.....	8
1.3.1. Edilgen Yararlanma Olanakları.....	11
1.3.2. Etken Yararlanma Olanakları.....	14
2. FOTOVOLTAİK MODÜLLER.....	16
2.1. Fotovoltaik Modüllerin Gelişimi.....	16
2.1.1. PV Modüllerin Tarihçesi.....	17
2.1.2. Türkiye' de PV Modüllerin Gelişimi ve Tarihçesi.....	19
2.2. Fotovoltaik Modüllerin Türü Yapısı Ve Özellikleri.....	23
2.2.1. Hücre Yapısı.....	23
2.2.2. Hücre Tipleri.....	24
2.3. Fotovoltaik Modüllerin Uygulama Alanları.....	27
3. MİMARİDE FOTOVOLTAİK MODÜLLER.....	31
3.1. Mimarlık ve Fotovoltaikler.....	31
3.2. Fotovoltaik Modüllerin Tasarım Kriterleri.....	35
3.2.1. İklim Verileri Ve Yönlendirme.....	35
3.2.2. Arazi.....	36
3.2.3. Panel Tipleri.....	36
3.2.4. Entegrasyon.....	37

3.2.4.1. Cephelere Entegrasyon.....	37
3.2.4.2. Çatılara ve Geniş Yüzeyle Entegrasyon.....	39
3.2.4.3. Güneş Kırıcı Olarak Entegrasyon.....	42
4. ÖRNEK ÇALIŞMA.....	46
4.1. Eskişehir Bölgesinin Coğrafi Konumu ve Meteorolojik Özellikleri.....	46
4.2. Deney Evi Özellikleri.....	48
4.2.1. Deney Evinin Toplam Elektrik Enerjisi Gereksinimi.....	49
4.2.2. PV Sistemin Özellikleri.....	50
4.2.3. Deney Evi Uygulamaları.....	52
4.3. Deney 1 – PV Modüllerinin Dik Cephede Uygulanması.....	54
4.3.1. Deney 1-A Güneye Yönlenme.....	56
4.3.2. Deney 1-B Güneydoğuya Yönlenme.....	59
4.3.3. Deney 1-C Güneybatıya Yönlenme.....	61
4.3.4. Deney 1-D Batıya Yönlenme.....	63
4.3.5. Deney 1-E Doğuya Yönlenme.....	65
4.4. Deney 2 – PV Modüllerinin Eğik Cephede Uygulanması.....	67
4.4.1. Deney 2-A Güneye Yönlenme.....	69
4.4.2. Deney 2-B Güneybatıya Yönlenme.....	72
4.4.3. Deney 2-C Batıya Yönlenme.....	74
4.5. Deney 3 – PV Modüllerinin Çatıda Uygulanması.....	76
4.5.1. Deney 3-A Güneye Yönlenme.....	77
4.5.2. Deney 3-B Güneybatıya Yönlenme.....	80
4.5.3. Deney 3-C Batıya Yönlenme.....	82
4.6. Değerlendirmeler.....	84
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR.....	89
EKLER.....	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. Türkiye’de enerji üretim-tüketiminin yıllara göre değişimi.....	2
1.2. Sektörlere göre enerji tüketim oranları.....	3
1.3. Konutlarda enerji dağılımı.....	3
1.4a. Biyokütle Enerjisi.....	5
1.4b. Güneş Enerjisi.....	5
1.4c. Rüzgar Enerjisi.....	5
1.5. Antik yunan kenti Priene.....	8
1.6. Heliocaminus Roma Dönemi.....	9
1.7. Hollanda’ da Kış bahçesi.....	10
1.8a. Heliodon.....	10
1.8b. Rose Elemantry School.....	10
1.8c. Village Homes-California, ABD.....	10
1.9. Edilgen sistemlere örnek.....	14
1.10. Güneş toplaçları.....	14
2.1. MW olarak dünyada PV gücü üretimi.....	17
2.2. Güneş Pili Aydınlatma Birimleri.....	20
2.3. Güneş Pili Su Pompaj Sistemi.....	21
2.4. Muğla Üniversitesi kütüphanesi çatısına uygulanan PV modüller....	22
2.5. Güneş hücresi işleyiş şeması.....	23
2.6. Grid bağlantılı şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin çalışma prensibi.	24
2.7a. Monokristalin hücre tipi.....	24
2.7b. Polikristalin hücre tipi.....	24
2.7c. İnce film hücreler.....	24
2.8a. Kristalin hücre diyagramı.....	25
2.8b. Kristalin hücre kesiti.....	25
2.9a. İnce film hücre diyagramı.....	26
2.9b. İnce film hücre kesiti.....	26
2.10. Konutlarda fotovoltaik uygulamasına örnek.....	27
2.11. Somoto Volkanik Dağı yakınlarında bir kırsal yerleşimde PV uygulaması.....	28

2.12. Western Power Corporation, Kalbarri, Batı Avustralya.....	28
2.13. Toplaç ve PV-Modülden oluşan hibrid sistem.....	29
2.14. Endeavour Uluslararası Uzay İstasyonu.....	30
3.1a. Açık alana monte fotovoltailer.....	33
3.1b. Binaya monte fotovoltailer.....	33
3.1c. Binaya entegre fotovoltailer.....	33
3.2. PV modüllerin binalara entegrasyon olanakları.....	38
3.3. Solar Fabrik, Freiburg /Almanya.....	38
3.4. Büro-İstasyon Binası, Freiburg, Almanya.....	39
3.5. Düz çatıda uygulama örneği.....	40
3.6a. Sıfır enerjili evler, Freiburg, Almanya.....	40
3.6b. PV modüllerin kiremit şeklinde uygulaması.....	40
3.7a. Hollanda itfaiye binası genel görünüşü.....	41
3.7b. Hollanda itfaiye binası kesiti.....	41
3.7c. Hollanda itfaiye binası iç görünüşü.....	41
3.7d. Hollanda itfaiye binası giriş bölümü.....	41
3.7e. Hollanda itfaiye binası planı.....	41
3.8. Güneş Kırıcı Elaman.....	42
3.9a. Erlangen Üniversitesi binası güneş kırıcı elemanların sistem detayı..	43
3.9b. Erlangen Üniversitesi binası saçak detayı.....	43
4.1a. Model evi planı.....	48
4.1b. Model 3 kesiti.....	48
4.1c. Model 1 kesiti.....	48
4.1d. Model 2 kesiti.....	48
4.2. BP SX 120 modül görünüşü.....	50
4.3a. BP SX 120 ön ve arka görünüşü ve boyutları.....	51
4.3b. BP SX 120 Bağlantı detayı.....	51
4.3c. BP SX 120 X-X kesiti.....	51
4.4. 1 numaralı model evinin sistem ve nokta detayları.....	54
4.5. 1 numaralı model evi sistem kesiti ve nokta detayları.....	55
4.6. 1-A kodlu model evi perspektifi.....	56

4.7. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (1-A).....	57
4.8. Sistemin enerji çıktı s ı (1-A).....	57
4.9. 1-B kodlu model evi perspektifi.....	59
4.10. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (1-B).....	60
4.11. Sistemin enerji çıktı s ı (1-B).....	60
4.12. 1-C kodlu model evi perspektifi.....	61
4.13. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (1-C).....	62
4.14. Sistemin enerji çıktı s ı (1-C).....	62
4.15. 1-D kodlu model evi perspektifi.....	63
4.16. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (1-D).....	64
4.17. Sistemin enerji çıktı s ı (1-D).....	64
4.18. 1-E kodlu model evi perspektifi.....	65
4.19. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (1-E).....	66
4.20. Sistemin enerji çıktı s ı (1-E).....	66
4.21. 2 numaralı model evinin sistem detayı ve nokta detayları.....	67
4.22. 2 numaralı model evinin sistem kesiti ve nokta detayları.....	68
4.23. 2-A kodlu model evi perspektifi.....	69
4.24. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (2-A)	70
4.25. Sistemin enerji çıktı s ı (2-A)	70
4.26. 2-B kodlu model evi perspektifi.....	72
4.27. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (2-B)	73
4.28. Sistemin enerji çıktı s ı (2-B)	73
4.29. 2-C kodlu model evi perspektifi.....	74
4.30. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (2-C)	75
4.31. Sistemin enerji çıktı s ı (2-C)	75
4.32. 3 numaralı model evi sistem detayı ve nokta detayları.....	76
4.33. 3-A kodlu model evi perspektifi.....	77
4.34. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (3-A).....	78
4.35. Sistemin enerji çıktı s ı (3-A)	78
4.36. 3-B kodlu model evi perspektifi.....	80
4.37. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (3-B).....	81
4.38. Sistemin enerji çıktı s ı (3-B)	81
4.39. 3-C kodlu model evi perspektifi.....	82

4.40. Yataya ve yüzeye gelen ışınlm miktarları (3-C).....	83
4.41. Sistemin enerji ıktısı (3-C)	83
4.42. Model evleri bir yılda gnlük ortalama enerji retim-gereksinim karşılaştırılması (kWh/gün).....	85
4.43. Model 3-A aylara göre gnlük ortalama enerji retim-gerksinimi karşılaştırması (kWh/gün).....	85
4.44. Güneye yönlendirilmiş modellerin değişik açılarda yıllık toplam enerji ıktı miktarları.....	86
EK.1.1a. Milli hava ve uzay müzesi vaziyet planı.....	94
EK.1.1b. Milli hava ve uzay müzesi güney cephesi.....	94
EK.1.1c Milli hava ve uzay müzesi batı cephesi.....	94
EK.1.2a. Mont-Cenis akademisi planı.....	96
EK.1.2b. Mont-Cenis akademisi genel görünümü.....	96
EK.1.2c. Mont-Cenis akademisi düz çatı detay1.....	96
EK.1.2d. Mont-Cenis akademisi saçak görünüşü.....	96
EK.1.3a. Solar-Fabrik Binası kesiti.....	98
EK.1.3b. Solar-Fabrik Binası perspektifi.....	98
EK.1.3c. Solar-Fabrik Binası görünümü.....	98
EK.1.4a. Stadtwerke Aachen iç ve dış mekan görünüşleri.....	99
EK.1.4b. PV modül entegrasyon detay1.....	99
EK.1.5a. Iset cephesinden görünüm.....	100
EK1.5b. PV modül bağlantı detay1.....	100
EK.1.6a. LRE binası genel görünümü.....	101
EK.1.6b. LRE binası cephesi.....	101
EK.1.6c. PV modüllerin cepheye kutu profiller aracılığıyla tespit edilmesi	101
EK.1.7a. Scheidegger Metalbau genel görünüşü.....	102
EK.1.7b. Scheidegger Metalbau cephesi.....	102
EK.1.7c. Scheidegger Metalbau cephe kuruluşu şeması.....	102
EK.1.8a. Weiss Evi genel görünüşü.....	103
EK.1.8b. Weiss Evi çatı detay1.....	103
EK.1.8c. Weiss Evi çatı görünümü.....	103
EK.1.8d. Weiss Evi modül birleşim detay1.....	103
EK.1.9a. Pietarsaari Güneş Evi genel görünüşü.....	104

EK.1.9b. Pietarsaari Güneş Evi çatı detayı.....	104
EK.1.10a. Northumberland binası genel görünüşü.....	105
EK.1.10b Güneş kırıcı eleman detayı.....	105
EK.2.1. Program kullanım biçimleri seçim ekranı.....	107
EK.2.2. Meteorolojik veri giriş ekranı.....	107
EK.2.3. PV modül özellikleri giriş ekranı.....	107
EK.2.4. Modül açısı ve yönü seçim ekranı.....	108
EK.2.5. Sistem çıktı ekranı.....	108
EK.2.6. Maliyet sonuçları ekranı.....	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

1.1. Türkiye’de kişi başına birincil enerji tüketimi ve tüketim artışının diğer ülkelerle karşılaştırılması	3
1.2. Güneş ile ilgili bilgiler.....	7
1.3. Güneş enerjisi dönüşümleri.....	7
1.4. Etken-Edilgen sıralaması.....	15
2.1. PV-Tarihçesi.....	17
2.2. PV-Modül verimlilikleri.....	26
2.3. PV sistemlerin dünyada kullanım alanları ve yüzdeleri.....	27
3.1. Planlama sorumlulukları.....	32
3.2. Binaya entegrasyon için uygun modül seçimi.....	34
4.1. Eskişehir ili ortalama yataya gelen ışınım miktarları (kWh/m ²).....	47
4.2. Eskişehir ili ortalama sıcaklık, nem, rüzgar yönü ve hızı değerleri.....	47
4.3. Model evinin günlük elektrik enerjisi tüketimi.....	49
4.4. Model evinde kullanılan PV modülün teknik özellikleri.....	50
4.5. Üç farklı model evinin yönlenme seçenekleri.....	52
4.6. Ortalama aylık ve yıllık ışınım ve enerji miktarları (1-A).....	58
4.7. Veriler, parametreler ve sonuçlar (1-A).....	58
4.8. Veriler, parametreler ve sonuçlar (1-B)	59
4.9. Ortalama aylık ve yıllık ışınım ve enerji miktarları (1-B).....	60
4.10. Veriler parametreler ve sonuçlar (1-C)	61
4.11. Ortalama aylık ve yıllık ışınım ve enerji miktarları (1-C).....	62
4.12. Veriler, parametreler ve sonuçlar (1-D).....	63
4.13. Ortalama aylık ve yıllık ışınım ve enerji miktarları (1-D).....	64
4.14. Veriler, parametreler ve sonuçlar (1-E)	65
4.15. Ortalama aylık ve yıllık ışınım ve enerji miktarları (1-E)	66
4.16. Ortalama aylık ve yıllık ışınım ve enerji miktarları (2-A).....	71
4.17. Veriler, parametreler ve sonuçlar (2-A)	71
4.18. Veriler, parametreler ve sonuçlar (2-B)	72
4.19. Ortalama aylık ve yıllık ışınım ve enerji miktarları (2-B).....	73

4.20. Veriler, parametreler ve sonuçlar (2-C)	74
4.21. Ortalama aylık ve yıllık ışıınım ve enerji miktarları (2-C).....	75
4.22. Ortalama aylık ve yıllık ışıınım ve enerji miktarları (3-A).....	79
4.23. Veriler, parametreler ve sonuçlar (3-A)	79
4.24. Veriler, parametreler ve sonuçlar (3-B)	80
4.25. Ortalama aylık ve yıllık ışıınım ve enerji miktarları (3-B).....	81
4.26. Veriler, parametreler ve sonuçlar (3-C)	82
4.27. Ortalama aylık ve yıllık ışıınım ve enerji miktarları (3-C).....	83
4.28. Model evleri sonuçları karşılaştırması.....	84
4.29. PV sistem yatırım ve yıllık maliyetleri.....	86
EK.1.1. Milli Hava ve Uzay Müzesi.....	93
EK.1.2. Mont-Cenis Akademisi.....	95
EK.1.3. Solar-Fabrik Binası.....	97
EK.1.4. Stadtwerke Aachen.....	99
EK.1.5. Iset.....	100
EK.1.6. LRE Binası EPFL.....	101
EK.1.7. Scheidegger Metalbau.....	102
EK.1.8. Weiss Evi.....	103
EK.1.9. Pietarsaari Güneş Evi.....	104
EK.1.10. Northumberland Binası.....	105

1. GİRİŞ

Günümüzde boyutları giderek büyüyen çevresel sorunlar, tüm dünya ülkelerinin gündeminde önemli bir yer oluşturmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde bu sorunların çözümüne ilişkin etkin çalışmalar sürdürülmektedir. Çevre sorunlarının büyük bir bölümü fosil kaynaklı enerji tüketimine dayanır. Kullanımına büyük ölçüde devam edilen fosil yakıtlar, tüketimleri sonucunda ortaya çıkardıkları, karbondioksit, azotoksit vb. zararlı gazlar ile hava kirliliğinde önemli bir pay üstlenmekte, dolayısıyla da insan sağlığına zarar vermektedirler. Fosil yakıtların yoğun kullanımı ile oluşumundan bu yana yerküre sıcaklığı 3°C artmış olup, bu artışın önemli bir kısmı son 50 yıl içerisinde gerçekleşmiştir. Çevreye verdikleri zarar dışında bir diğer önemli sorun ise sonlu yakıt olmalarıdır. Bu enerji kaynaklarının gelecek yıllar içerisinde tükenecek olmaları, fosil yakıtların varlığı ve çalışma prensipleri üzerine kurulmuş bir çok teknolojik sistemin de çalışamaz duruma geleceğinin habercisidir. Bu gerçek enerji kaynaklarının seçiminde tümüyle fosil kaynaklara yönelme sonucu ortaya çıkan çevre sorunlarının, tüm dünya ekonomisi ile ne denli yakından ilgili olduğunu göstermektedir.

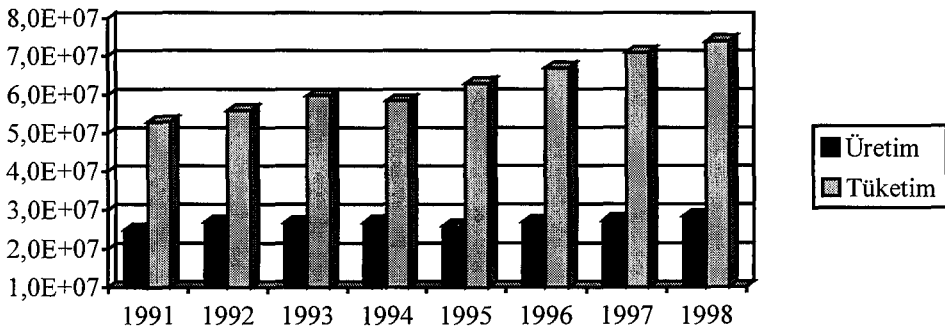
Kullanımları oldukça yoğun olan fosil yakıtlara alternatif olarak ortaya çıkan güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle vb. yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden etken yararlanmayı olanaklı kılan ve mimaride bina kabuğuna entegre edilebilen fotovoltaiik (PV) modüller bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Çevre bilinçli tasarım bağlamında özellikle gelişmiş ülkelerde PV modüllerin kullanımı farklı alanlarda giderek artmakta ve çeşitlenmektedir. Mimaride ise bir yapı elemanı olarak düşünölmeleri, dolayısıyla mimarların PV modüllerin binalara takılmasından öte mimariye entegre edilmeleri konusunda bilinçlenmeleri kaçınılmaz bir gerçektir.

Bu çalışmada PV modüllerin Eskişehir ili meteorolojik ve coğrafi koşullarında ©PVSYST 3.11 adlı bilgisayar programı kullanılarak mimaride uygulanabilme olanakları estetik, ekonomik ve çevresel açıdan incelenerek, üç model evinin çatı ve cephesine entegre edilen 1.2 kWp gücündeki 10 adet polikristal modölden oluşan PV sistemde en yüksek kazanç eldesi için uygun modöl eğim açısı ve yönlenmenin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

1.1. Çevre, Enerji, Mimari İlişkisi

Sürekli artan dünya nüfusu, sanayileşme ve konfor koşullarının iyileştirilmesi insanlığın enerjiye olan gereksinimini giderek artırmaktadır. Bu artışa karşın dünya enerji gereksiniminin %90'ını karşılayan kömür, petrol ve linyit gibi fosil yakıtlar çevreye verdikleri zararlı gazlar ve kirliliğin yanında giderek azalmakta ve tükenmektedirler. Gelişmiş ülkeler bu sorun ile ilgili olarak çeşitli önlemler almakta, fosil yakıtlara olan bağımlılıklarını ve çevreye verdikleri zararı azaltmak amacı ile çeşitli çalışmalar ve araştırmalarda bulunmaktadır.

Kalkınmakta olan Türkiye'nin enerji gereksinimi de giderek artmakta olup 1991 ve 1998 yılları arasında birincil enerji üretim-tüketim dengesi Şekil 1.1'de verilmiştir. Görüldüğü üzere ülkemiz enerji üretiminde büyük bir değişiklik olmamasına karşın enerji tüketimi giderek artmaktadır. Bunun sonucunda Türkiye'nin enerji konusunda dışa bağımlılığının giderek arttığı gözler önüne serilmektedir. Bu sorunun temelini tüketilen enerjinin aslında gereksinilenden çok daha fazla olması oluşturmaktadır. Ancak üretilen enerjiden optimum düzeyde yararlanmayı olanaklı kılmak ise dikkatlerden kaçmaması gereken bir diğer noktadır. Gelişmiş ülkelerde enerjinin etkin kullanımını artırmak amacı ile çeşitli önlemler alınarak kişi başına tüketilen enerji miktarı düşürülmektedir. Çizelge 1.1'de görüldüğü üzere Türkiye'de kişi başına enerji tüketimi dünya ülkelerine oranla çok daha hızlı bir biçimde artmaktadır. Nüfus yoğunluğuna bağlı olarak, diğer ülkelere göre oldukça düşük olan kişi başına enerji tüketim miktarı, tüketim artışı yüzdesi olarak diğer ülkelerin önüne geçmektedir.

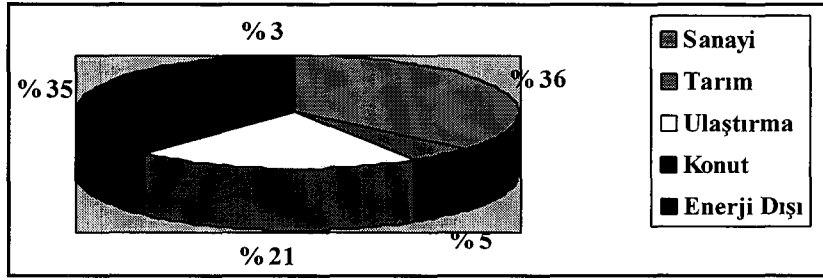


Şekil 1.1. Türkiye'de enerji üretim-tüketiminin yıllara göre değişimi (TEP) [1]

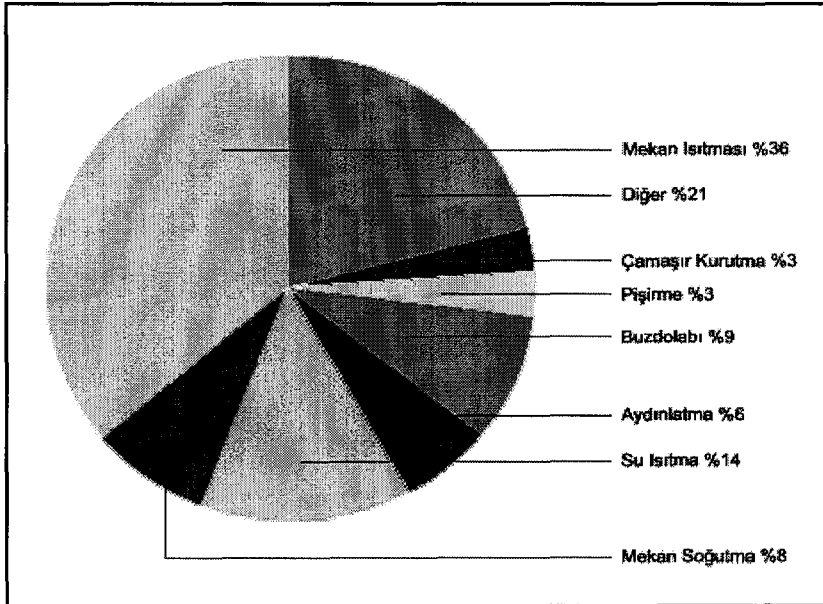
Türkiye’de bina-konut, sanayi, ulaştırma başlıca enerji tüketim alanlarıdır. Bu sektörlerin enerji tüketim oranları Şekil 1.2’de verilmiştir [1]. Ayrıca enerji tüketiminde önemli bir paya sahip konutlardaki enerji tüketiminin, işlevlere göre dağılımları Şekil 1.3’de görölmektedir [2].

Çizelge 1.1. Türkiye’de kişi başına birincil enerji tüketimi ve tüketim artışının diğeri ölkelerle karşılaştırılması [1]

	Kişi Başına Birincil Enerji Tüketimi (TEP) (1994)	Kişi Başına Enerji Tüketim Artışı % (1991-1994)
Türkiye	0.9505	2.5
Japonya	3.8561	2.3
Almanya	4.1333	-0.5
İngiltere	3.7739	0.77
Fransa	4.0441	1.3
Kanada	7.8547	0.3
ABD	7.8083	0.2



Şekil 1.2. Sektörlere göre enerji tüketim oranları [1]



Şekil 1.3. Konutlarda enerji dağılımı [2]

Fosil yakıtların yoğun olarak kullanıldıkları alanlardan biri mimari uygulamalardır. Bu nedenle çevresel ve ekonomik boyutları açısından “enerji”nin mimarlık ve şehircilik meslek alanlarını oldukça yakından ilgilendirdiği açıktır. Günümüzde çevre bilinçli mimarlık bağlamında yenilenebilir enerji kaynaklarından etken ve edilgen anlamda yararlanabilen, sağlıklı, çevre dostu malzemeler kullanılan, düşük enerjili ve çevre duyarlı bina tasarımları ön plana çıkmaktadır. Bu noktada yapıların enerji korunumlu olmalarının önemi büyüktür. Binalarda enerji tüketimi büyük ölçüde soğutma, ısıtma ve aydınlatma amaçlıdır. Mimaride enerji tasarrufu bu alanlarda alınacak önlemler ile olanaklıdır. Bu bağlamda binaların iyi yalıtılması, ısı geçiş katsayısı düşük cam kullanımının artırılması, gereksiz yere ısıtma ve soğutmanın önlenmesi, enerji tasarruflu aydınlatma elemanları vb. kullanılması yanı sıra güneşten etken ve edilgen yararlanma olanaklarının tasarım aşamasında değerlendirilmesi ile enerjide tutumluluk sağlanabilir.

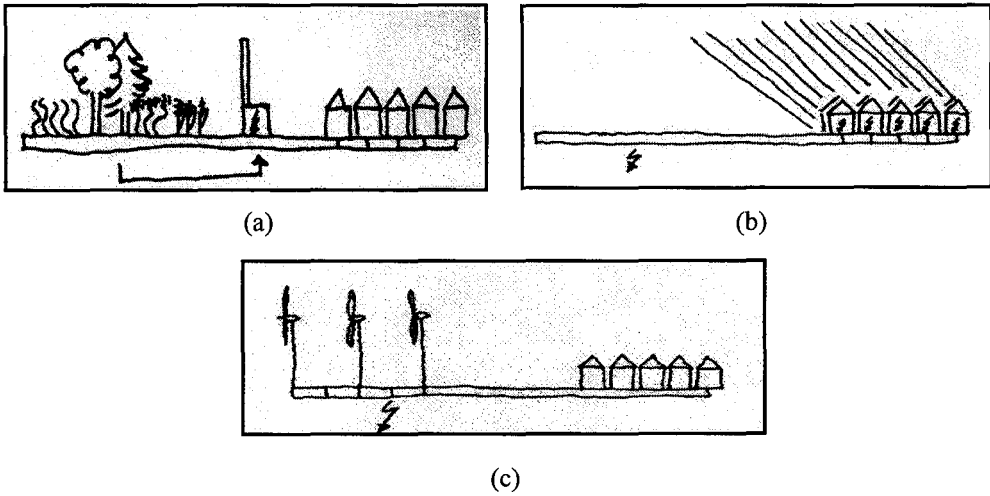
Mimaride bina kabuğu enerji korunumu ve mimarinin biçimlenişi açısından önemli bir rol üstlenmekle birlikte sürdürülebilir bir gelecek anlayışı içerisinde daha fazla işlevi yerine getirmek durumundadır. Geleneksel işlevlerinin yanı sıra, cephe ve çatı elemanları yapıların enerji gereksiniminin karşılanmasına katkıda bulunan birimler halinde tasarlanabilmektedirler. Özellikle bir çok Avrupa ülkesinde düşük enerjili yapılar eğilimi çoktan aşılmış, artı enerjili yapı üretimi konusunda yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. ABD’de güneş enerjisi ile ısıtma sistemi kullanıcılarına devlet %40 oranında uzun vadede kredi ile destek vermektedir. Yine ABD’de 2010 yılına kadar 1 milyon sıfır enerjili bina yapılması planlanmaktadır [1]. Söz konusu binalar elektrik gereksinimlerini fotovoltaiik elemanlardan sağlayacak, mekanların ısıtma ve soğutma gibi diğer tüm enerji gerektiren işlevlerin sürdürülebilirliği de, yine güneşe dayalı sistemler tarafından karşılanacaktır. Ayrıca 1990 yılında Almanya’da 1000 çatıda PV modül uygulama projesi devlet desteği ile hayata geçirilmiş olup şu anda 100.000 çatı uygulaması gündemdedir [1]. Tüm bu çalışmaların amacı, doğal ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile dışa bağımlılığı olmayan, sürdürülebilir ve çevresiyle barışık yaşam birimlerini yaşanabilir bir çevre içerisinde yaratabilmektir. İnsan sağlığı ve çevresel açıdan neden oldukları olumsuz yönleri ortaya konan fosil enerji kaynakları kullanımının azaltılması, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelmenin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

“Sürdürülebilir bir yaşam” biçimi yaratmanın temel koşullarından biri, temiz enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Bitimsiz ve en önemlisi atıksız, çevre dostu olarak anılan temiz enerji kaynaklarına örnekler; güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle vb. enerjileri olarak sıralanabilir [3] (Şekil 1.4a, b ve c).

Gelişmiş dünya ülkeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili çalışmalarını sürdürmektedirler. Günümüzde, bu kaynakların işletilmesinin, ilk yatırım maliyeti açısından yüksek olarak değerlendirilmesine karşın, uzun vadede oldukça ekonomik oldukları gerek parasal gerekse çevresel açıdan görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının giderek yaygınlaşması bunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Ayrıca bitimsiz olmaları ve en önemlisi çevreye zarar vermemeleri, kullanımlarını daha rasyonel kılmaktadır.

Rüzgar enerjisi, esintili, geniş ve açık alanlarda kullanılması rasyonel, hammadde sıkıntısı olmayan, sürekli ve sonsuz bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ekonomik bir üretim sağlayan, teknolojik gelişimi hızlı, dışa bağımlılığı olmayan, kısa sürede devreye alınabilen ve kısa sürede sökülebilen yönleri ile yüksek teknoloji kullanarak elde edilen bir güç kaynağı olarak değerlendirilebilir [4]. Bu nedenle, günümüzde bir çok ülke kendi rüzgar haritalarını oluşturmakta ve farklı boyut ve tipte rüzgar türbinleri üretmektedirler. Rüzgar türbinlerinin, büyük açık alan gereksinimleri ve yarattıkları gürültü ile mevcut eko-dengeye kısmen de olsa



Şekil 1.4. a) Biyokütle Enerjisi [3]
b) Güneş Enerjisi [3]
c) Rüzgar Enerjisi [3]

zarar vermeleri olumsuz yönleridir. Ancak bu konuda iyileştirme çalışmaları sürdürülmekte ve özellikle gürültü sorununa çözüm getirebilecek, farklı tip ve çalışma prensiplerine sahip rüzgar türbinlerinin giderek yaygınlaştığı gözlenmektedir.

Yenilenebilir bir diğer enerji kaynağı ise jeotermal kaynakların kullanımı ile üretilen jeotermal enerjidir. Jeotermal kaynaklar; yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş mevcut ısıнын oluşturduğu, sıcaklığı 20°C'den fazla olan ve çevresinde normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir [5]. Bu potansiyeli değerlendirmek amacıyla jeotermal enerji santralleri kurulmaktadır. Bu enerji kaynağı da diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu üzere atıksız olup, özellikle yer altı su kaynaklarının bol olduğu ülke ve bölgelerde kullanımı yaygınlaşan önemli bir çevre dostu enerji kaynağıdır. Dünyada halen kurulu gücü 7974 MW (2000 yılı verileriyle) olan jeotermal enerjiden elektrik üretimi gün geçtikçe artmaktadır [5].

Fosil yakıtların sonlu ve atıklı enerji kaynağı olmalarının yanı sıra çevresel sorunlar, diğer bir yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisini gündeme getirmiştir. Biyokütle enerjisi, çeşitli bitkilerin piroliz, havasız çürütme, doğrudan yakma, fermentasyon vb. yöntemler yardımı ile katı sıvı ve gaz yakıtlar haline getirilmesi ile elde edilen bir enerji kaynağıdır. Önümüzdeki yıllarda bu teknolojilerde yeni gelişmelerin yanında, yalnız biyokütle kaynağı ile çalışan büyük termik santrallerin yapımı planlanmaktadır. İsveç ve Finlandiya'da bölgesel biyokütle santralleri ile elektrik üretimi yapılmakta olup, yeni santrallerin yapımı sürmektedir [6].

Biyokütleden elde edilebilecek yıllık enerji, 1.120.000 MW samandan, 500.000 MW hayvan atıklarından, 1.360.000 MW orman atıklarından, 2.400.000 MW çöplerden ve 17.700.000 MW şeker kamışı, odunsu bitkiler gibi enerji tarlalarından olmak üzere toplam yaklaşık 23.100.000 MW gibi büyük bir potansiyele sahiptir [6]. Bir çok gelişmiş ülkenin, geleceğin önemli enerji kaynaklarından biri olarak gördüğü biyokütle enerjisi, karbondioksit salımını azaltmaya yönelik çalışmalarda en iyi seçeneklerden biri olarak ortaya çıkmaktadır.

İnsanlığın var olmasından bu yana bilinen en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri güneş enerjisidir (Çizelge 1.2). Bugün insanlığın kullandığı çeşitli enerji kaynaklarına bakıldığında, bunların hemen hemen tümünün güneş kökenli olduğu görülür.

Güneşten gelen enerjinin yaklaşık % 30'u yansıma ve saçılmalarla uzaya geri gider, yaklaşık % 20'si hava kürede soğurulur, geri kalan %50'si de yeryüzünde soğurulmaktadır. Yeryüzüne ulaşan bu güneş enerjisi doğal ve insanın geliştirdiği dönüşümlere uğrar (Çizelge 1.3).

Türkiye'nin güneş kuşağı adı verilen bir bölgede yer alması ve ekvatora göre kuzey ve güney 40° enlemleri arasında bulunması güneş enerjisinin teknolojik uygulamalarının geliştirilmesinde büyük bir üstünlük sağlamaktadır.

Çizelge 1.2. Güneş ile ilgili bilgiler [7]

GÜNEŞ İLE İLGİLİ BİLGİLER
KÜTLESİ : 2×10^{30} kg, (Dünya kütleinin 330,000 katı)
YARIÇAPI : 7×10^8 kg, (Dünya yarıçapının 109 katı)
DÜNYADAN UZAKLIĞI : 150 milyon km
YAKIT TÜKETİMİ : Saniyede 564 milyon ton Hidrojen
SALDIĞI ENERJİ : Saniyede $2,4 \times 10^8$ J
DÜNYAYA BİR GÜNDE GELEN GÜNEŞ ENERJİSİ : $1,5 \times 10^{22}$ J

Çizelge 1.3. Güneş enerjisi dönüşümleri [7]

GÜNEŞ ENERJİSİ DÖNÜŞÜMLERİ	
DOĞAL DÖNÜŞÜMLER	İNSANIN GELİŞTİRDİĞİ DÖNÜŞÜMLER
Toprak ve su ısınması	Güneş ışıınımı → Isı (Toplaçlar)
Fotosentez	Güneş ışıınımı → Elektrik (PV Hücreler)
Yağış ve buharlaşma	Su Gücü → Mekanik → Elektrik
Rüzgar ve dalga oluşumu	Rüzgar → Elektrik-Mekanik (Türbinler)
Doğal Yangınlar	Biyokütle → Isı
	Fosil Yakıt → Isı-Elektrik
	Güneş Mimarlığı Uygulamaları

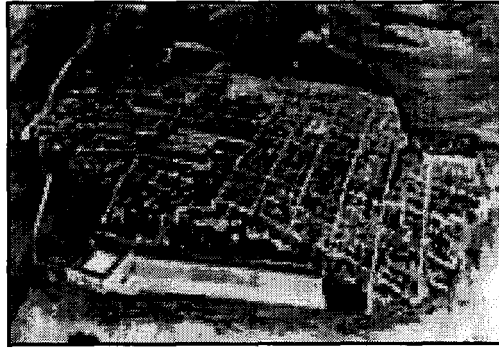
1.3. Güneş Enerjisi ve Yaralanma Olanakları

Güneş dünya üzerindeki, temiz, sonsuz ve güvenli en büyük enerji kaynağıdır. Bütün bir yıl boyunca bir insanın kullandığı toplam enerji miktarından çok daha fazlası, her saat dünya üzerine ulaşan güneş ışınlarında bulunmaktadır. Eğer dünya üzerine düşen güneş ışınlarının sadece çok küçük bir kısmını bile kullanılabilir enerji kaynaklarına dönüştürebilme olanağı olsaydı, tüm dünyanın enerji sorunu, üstelik hiçbir çevre sorununu doğurmadan, sürdürülebilir yaşam biçimlerine ters düşmeden ve hatta destekleyerek çözülmüş olabilirdi [1].

Tarih boyunca bir çok uygarlığın, gerek mimarilerinde gerekse endüstrilerinde güneşten yararlandıkları görülür. Güneş bu topluluklar için bir yaşam kaynağı olmuştur. Özellikle fosil yakıt kullanımının olmadığı dönemlerde en önemli enerji kaynaklarından biri olan güneş, günümüzde de bir çok ülke, ticari kurum ve bireysel girişimci tarafından göz ardı edilemez bir kaynak haline gelmiştir.

Tarihte yere sapladıkları bir ok ile insanlar, önce 90 derecelik açıyı, buna bağlı olarak geometriyi keşfederek kent yerleşimlerinde bundan yararlanmışlardır. Günümüzde bir çok yerleşimde sokakların kuzey-güney ve doğu-batı akslarına yöneldiği bilinmektedir. Antik Yunan döneminde, Priene örneğinde olduğu gibi, tüm kentlerinin planlamalarında, kışın ısınabilmeyi kolaylaştırabilmek amacıyla her bir konut biriminin güneş alabilmesine özen gösterilmiştir (Şekil 1.5). Doğu-batı ve kuzey-güney akslarında yönlendirilen kent sokakları sayesinde her konut birimi güneşten maksimum derecede yararlanabilir hale getirilmeye çalışılmıştır.

Xenophon, “memorabilia” adlı eserinde, Yunan bilgini Sokrates’in (MÖ 470-MÖ 399) öğretilerini şöyle açıklar [8]: “Kış dönemi, evlerin güney cephesini



Şekil 1.5. Antik yunan kenti Priene [8]

açarak, kış güneşinden yararlanmalıyız ve kuzey cephesini alçak inşa ederek soğuk rüzgarları önlemeliyiz”. Sokrates’in tanımladığı bu yapının zamanla kazandığı ısıyı çok çabuk kaybettiği farkedildiğinde, Roma’lılar, Yunanlılardan bir adım daha ileriye giderek, güneye bakan duvar cam ile kaplandığında içeride ki ısının daha iyi korunduğunu tespit etmişlerdir [8] (Şekil 1.6).

25 yüzyıl önce, Vesta tapınağında ki rahibeler, madeni konilerden yansıtıkları güneş ışınları ile kutsal ateşi yakıyorlardı. Arşimet’in (MÖ 212) yüzlerce aynayı kullanarak, Siraküz kentine saldıran Roma donanmasının gemilerini yaktığı bilinmektedir [8].

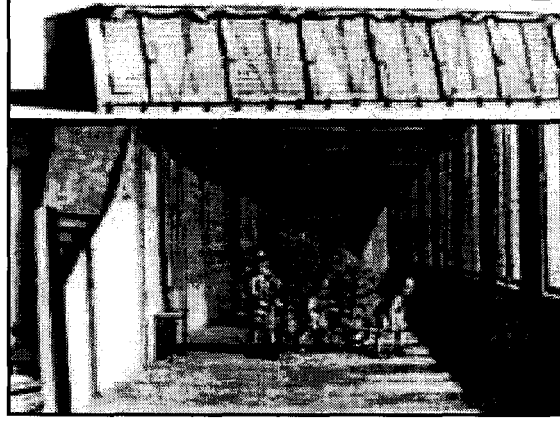
Antik Romalılar dönemine benzer uygulamalar 18. Yüzyılda, Hollanda ve diğer Avrupa ülkelerinde gerçekleşmiştir. Güneye bakan cephelerde cam kullanılarak, kış mevsiminde egzotik bitkiler için ılık bir ortam yaratmak amacıyla seralar tasarlanmıştır. Ayrıca gündüz içeride sağlanan sıcak ortamın gece soğumasını engelleyebilmek için cam yüzeyleri brandalarla kaplanarak ısı geçişinin engellenmesi amaçlanmıştır [8] (Şekil 1.7).

1878 yılında Paris’te kullanılan yoğun toplayıcının çanak şeklindeki yansıtıcısı aracılığıyla ışınlar çanağın ortasındaki madeni sütunda yoğunlaştırılmış, böylece sütun içindeki suyun buharlaşmasıyla buhar makinesi oluşturulmuştur [8].

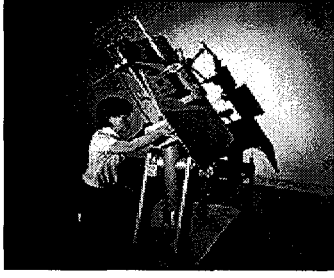
1930’ların başlarında, İngiliz Mimarlar Kraliyet Enstitüsü (RIBA) tarafından Şekil 1.8a’da görülen, heliodon adı verilen ve mimarların, güneşin binalar üzerindeki etkilerini belirlemeye yarayan alet geliştirilmiştir [8]. Heliodon aracılığı ile mimarlar tasarlayacakları yapının güneşe ne derecede maruz kalacağını rahatlıkla belirleyerek tasarımlarını bu veriler doğrultusunda gerçekleştirebilmekteydiler. Bu tarihten günümüze kadar, güneşten özellikle edilgen anlamda yararlanabilmek yönünde bir çok dönem ve ülkede konu ile



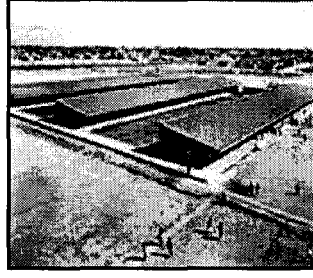
Şekil 1.6. Heliocaminus Roma Dönemi [8]



Şekil 1.7. Hollanda’ da Kış bahçesi [8]



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.8. a) Heliodon [8]

b) Rose Elemenary School [8]

c) Village Homes- California, ABD [8]

ilgili çalışmalar ve uygulamalar hızla devam etmiştir. 1920’lerden bu yana güneşten edilgen anlamda yararlanılan bir çok konut, okul ve kamu binaları tasarlanmıştır (Şekil 1.8b ve c). Çevresel bilincin gelişmesi paralelinde günümüzde bu konu ile ilgili eğitim ve araştırma çalışmalarının yanı sıra, yaşama geçirilen uygulamaların sayısı da giderek artmaktadır.

Güneş enerjisi kullanımı günümüzde bir çok alanda yaşamımıza girmiş durumdadır. Bu alan sadece mimarlık ile sınırlı olmayıp ulaşım veya küçük ev aletlerine kadar çok geniş bir spektrumu içermektedir. Bir çok çevre sorununa dolaylı ya da doğrudan neden olan enerji kullanımı, özellikle son teknolojik gelişmeler ve ekolojik kaygılar nedeniyle, gündemin temel konularından biridir. Güneşten mimaride etken ve edilgen olarak adlandırılan yararlanma olanakları Bölüm 1.3.1 ve 1.3.2’de ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

1.3.1. Edilgen Yararlanma Olanakları

Edilgen sistemler; enerji korunumlu bina tasarımları gerçekleştirebilmek ve kullanıcı memnuniyetini arttırabilmek amacıyla geliştirilen ve minimum ek tesisat çözümü kullanılarak oluşturulan, tasarım stratejileri topluluğudur [9]. Bu söyleme bağlı olarak, güneşten edilgen anlamda yararlanmak, yönlendirme, hacim-yüzey ilişkisi, havalandırma, gün ışığının kullanılması gibi alınan tasarım önlemleri ile binanın enerji tüketiminin en aza indirgenmesidir. Edilgen sistem tasarımı, aydınlatma, soğutma, ısıtma ve havalandırma gibi binanın tüm enerji kullanımını, tasarımda alınmasını önerdiği önlemler yardımı ile dengelemeye çalışır. Edilgen sistem tasarımının temel ilkesi, gereğinde binaya doğal yollardan, gün ışığı, ısı ve hava akışını sağlamaktır. Burada amaç, uygun koşullarda binaya gelen hava ve güneş ışığını kontrollü bir biçimde içeriye almak, depolamak ve gereksinim duyulduğunda, ısıyı veya soğuk havayı binanın içinde dağıtabilmektir. Edilgen sistemde üç temel öğeye gereksinim vardır [9];

- Toplayıcılar
- Depolayıcılar
- Dağıtıcılar

Toplayıcılar güneş enerjisini toplamak ve ısıya dönüştürmek için kullanılırlar; depolayıcılar toplayıcılar tarafından elde edilen ısıyı, gerektiği zaman kullanılmak üzere depolarlar. Bunun için binada kullanılan temel öğeler genellikle duvarlar ve döşemelerdir. Dağıtıcılar ise toplanan ve depolanan ısıyı binanın gerekli mekanlarına iletmek için kullanılırlar. Güneşe yönelik penceresi olan bir mekanda, pencere toplayıcı, bina duvar ve döşemeleri depolayıcı ısı kütlesi işlevini görürler. Enerjinin dağılımı ise taşınım (konveksiyon) yolu ile gerçekleşir [9].

Güneş enerjisinden edilgen anlamda yararlanabilmek için planlamada yapılabilecek düzenlemeler;

- Güneş Pencerelemeleri
- Güneş Duvarları
- Kış Bahçeleri

uygulamaları şeklinde sıralanabilir [9].

Güneş Penceresi, edilgen kullanımın en basit öğesidir. Güneş penceresinin en önemli özelliği iyi yalıtımlı ve güneye yönlendirilmiş olmasıdır. Güneş

pencerelerinden içeriye giren güneş ışınları, ısı enerjisine dönüşmekte ve mekandaki masif yüzeyler tarafından absorbe edilmektedir. Mekan sıcaklığının azalması durumunda bu yüzeyler topladıkları fazla ısıyı ortama vererek mekan ısınısını dengelerler. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli unsur, tasarımda alınacak önlemler ile mekanın fazla ısınmasını engellemek ve havalandırma gereksinimini karşılamaya çalışmaktır.

Güneş Duvarları, depolayıcı işlevi gören döşeme ve duvarlar yerine, güneş ışınlarını direkt olarak alan, cam yüzeyin arkasında duvar düzenlenmesi ile oluşturulur [9]. Bu duvarlar yüzeylerine gelen güneş ışınını absorbe ederek ısı enerjisine dönüştürürler. Bu enerji belirli bir süre sonra taşınım ve ışıınım yolu ile iç mekanlara iletilir. Trombe duvarı olarak anılan güneş duvarı Felix Trombe (1967) tarafından keşfedilmiş olup kendi adıyla anılmaktadır. Trombe duvarında cam ve masif konstrüksiyon arasındaki hava boşluğu aracılığıyla sıcak dönemlerde hava sirkülasyonu ile sıcaklığın artması, soğuk dönemlerde ise içten dışa olabilecek ısı kayıpları engellenir. Bir diğer güneş duvar kuruluşu ise saydam yalıtımlı duvar kuruluşlarıdır. Güneş duvarlarına uygulanan saydam yalıtım malzemesi ile yaz aylarında, kış aylarına oranla daha dik açıyla gelen güneş ışınları geri yansıtılırken, kış aylarında gelen güneş ışınları saydam yalıtımı geçerek duvarlar tarafından absorbe edilir ve ısı masif kütlede depolanarak iç mekana aktarılır.

Kış bahçeleri ise içinde yaşanabilen sıcak hava kolektörleri olarak tanımlanabilen, ısıtılmayan, güneşe yönlendirilmiş, camın yoğun olarak kullanıldığı mekanlardır [9]. Bilindiği gibi cam kısa dalga boylu güneş ışınlarını geçirmektedir. Camı geçen ışınlar, mekanda yüzeylere çarparak uzun dalga boylu ısı enerjisine dönüşür ve camdan geri çıkamazlar. Bu olay sera etkisi olarak adlandırılır. Kış bahçesi ve ilişkili olduğu mekanı birbirine bağlayan duvarın masif olması, ısıyı depolaması ve gerektiğinde mekana iletebilir özellikte olması gerekir. Böylece kış bahçelerinin yaşanabilir mekanlar olarak düzenlenmesi durumunda, aşırı sıcaklık farkları azaltılmış ve daha uygun bir mikro-klima yaratılmış olur. Kış bahçesi ile mekan arasında menfezler düzenleyerek, kış bahçesindeki ısının direkt olarak mekana aktarılabilmesi olanaklıdır. Bu açıklıklar cam vb. saydam malzemeler kullanılarak oluşturulduğunda ise, iç mekanın güneş

ışığından yararlanabilmesi de olanaklı olabilir. Ancak böyle bir durumda aşırı sıcaklık farklarının oluşma riski söz konusudur. Sonuç olarak kış bahçeleri dış ortam ve iç mekanlar arasında tampon bölge görevi üstlenmekte olup, enerjik açıdan bağımsız, kendileriyle ilişkili olan mekanların iklimlerini kontrol edilmektedirler.

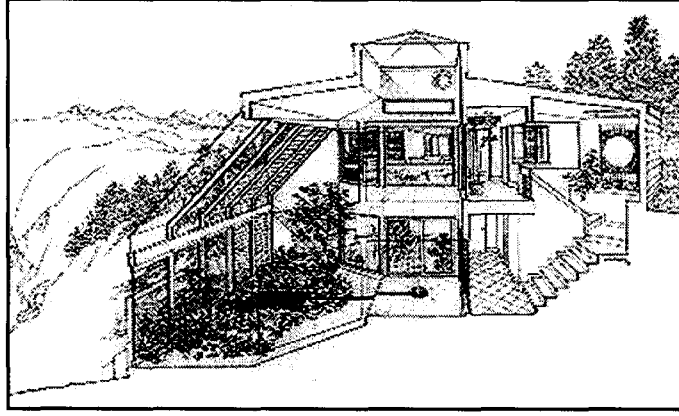
Düşük enerjili bina tasarımları, iklim koşulları, arazinin durumu ve binanın işlevine bağlı olarak geliştirilirler. Bir binanın çevresel işlevi, dış iklim ile kendi işlevleri arasındaki dengeyi kurabilmesidir. Gelişmiş ülkelerde mimari tasarımlarda edilgen yararlanma önlem ve kriterlerinin kullanılması yolunda oluşturulmuş yasalar bulunmaktadır [10].

Edilgen yararlanma kriterlerine göre tasarlanmış ve uygulanmış binaların, bina sahiplerine ve kullanıcılarına sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir [10].

- **Enerji Performansı:** Yıl boyunca harcanan enerji miktarında belirgin bir azalma ve dolayısıyla daha düşük enerji maliyetleri;
- **Yatırım:** Gelecekte artma olasılığı yüksek olan enerji maliyetlerine karşı, finansal bir bağımsızlık sağlanması ile binanın değerinin artırılması;
- **Konfor:** Daha yüksek ısı konfor, gürültülü mekanik sistemlerden uzak, güneşli ve aydınlık iç mekanlar, açık kat planları;
- **Üretkenlik:** Mekanlarda doğal aydınlatma ve yüksek kaliteli aydınlatma sistemleri ile çalışanların üretkenliğinin artırılması;
- **Düşük Bakım Giderleri:** Mekanik sistemlere olan bağımlılığın en aza indirgenmesi ile tesisattan kaynaklanan bakım giderlerinin azalması;
- **Doğal Çevre:** Daha düşük enerji gereksinimi ve daha düşük fosil yakıt tüketimi ile doğaya verilen atık ve zararın azalmasıdır.

Her ne kadar tasarımda alınacak güneşten edilgen yararlanma önlemlerinin, projeye ek maliyet getireceği düşünülse de, bir çok edilgen sistem tasarım seçenekleri hiçbir ek maliyet gerektirmeden veya çok az maliyet farkları ile uygulanabilmektedir.

Şekil 1.9'da güneşten edilgen olarak yararlanılan bir konut projesinin kesiti görülmektedir. Dünyada ve ülkemizde bu alanda yapılan çalışmalar ve örnekler giderek artmaktadır.



Şekil 1.9. Edilgen sistemlere örnek [8]

1.3.2. Etken Yararlanma Olanakları

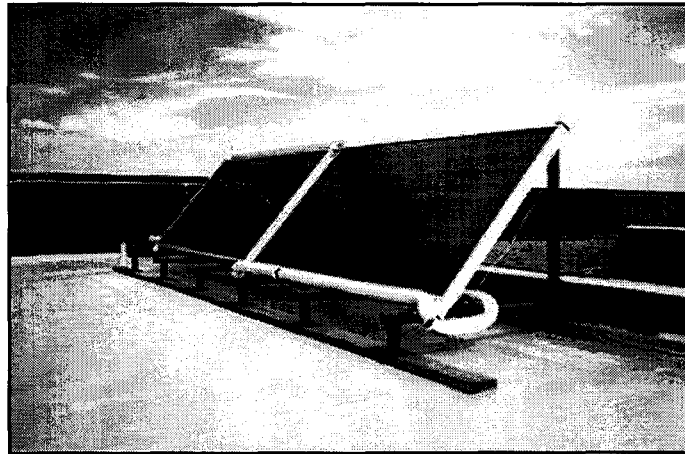
Tasarım aşamasında, ek tesisat düzenlemeleri yapılmadan alınacak önlemler ile güneşten edilgen anlamda yararlanma olanakları bölüm 1.3.1’de kısaca açıklanmıştır. Güneşten yararlanabilmenin bir diğer yolu ise etken yararlanma olanaklarıdır.

Güneşten etken yararlanmada ek donanım kullanımı söz konusudur. Etken yararlanmanın bilinen en önemli iki uygulaması;

A- Güneş Toplaçları (Kolektörleri) (Şekil 1.10)

B- Fotovoltaik Modüller’dir.

A- Güneş toplaçları, güneşten gelen ışınları, ısı enerjisine dönüştürerek bu enerji ile akışkanları ısıtırlar. Akışkan olarak havanın ısıtılması yöntemi ile çalışan toplaçlar ile mekanın ısıtılması amaçlanır. Sıcak su toplaçları ile hem mekanın ısıtılması hem de sıcak su eldesi olanaklıdır.



Şekil 1.10. Güneş toplaçları [2]

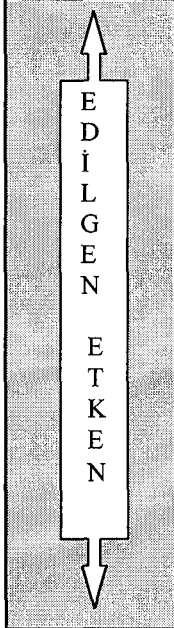
Güneş toplaçları Amerikan Güneş Enerjisi Derneği (ASES)'e göre üç grupta toplanabilir [2];

- a) Düşük Isılı Kolektörler; genellikle mekanların ısıtılmasında kullanılırlar,
- b) Orta Isılı Kolektörler; genellikle konutlarda sıcak su eldesi için kullanılırlar,
- c) Yüksek Isılı Kolektörler; genellikle bağımsız güç üretim istasyonlarında kullanılırlar.

B- Temel maddesini silikonun oluşturduğu PV modüllerin, binalara güneş kırıcı, çatı ve cephe kaplaması veya cam yüzeyler olarak uygulanması sonucu, binalarda güneşten etken olarak yararlanma sağlanabilmektedir¹.

Güneşten yararlanmada etken ve edilgen kullanım arasında kesin bir ayrım mümkün değildir. Her iki uygulama için çeşitli kaynaklarda sayısız tanımlamalar yapılmıştır. Günümüzde güneşten yararlanmak denildiğinde, özellikle ülkemizde, binalara güneş kolektörleri aracılığıyla sıcak su eldesi akla gelmektedir. Ancak tasarım aşamasında alınan işlevsel ve yapısal önlemlerle güneşten yararlanmanın, binaya yapılan teknik bir makine ilavesi olmadığı bilinmelidir. Çizelge 1.4'de Etken-Edilgen sıralaması görülmektedir.

Çizelge 1.4. Etken-Edilgen sıralaması [9]

	1- Güneş Penceresi
	2- Kış Bahçesi
	3- Güneş Duvarı/Güneş Çatısı
	4- Trombe Duvarı
	5- Camlı Ek Bina
	6- 1-5 uygulamalarının mekanik donanım ile desteklenmesi
	7- 1-5 uygulamalarının ek ısı depolayıcı önlemlerle desteklenmesi
	8- 1-7 uygulamalarında ısı dağılımının otomatik olarak kontrol edilmesi
	9- Su hava toplayıcıları uygulanması
	10- Yüksek verimli toplayıcılar/fotovoltaik kullanılması

¹ Bir çok renk ve boyutta üretilen fotovoltaik modüller konusunda ayrıntılı açıklamalar ilerleyen bölümlerde verilecektir.

2. FOTOVOLTAİK MODÜLLER

Fotovoltaik sözcüğü “photo” Yunanca ışık anlamına gelen “phos”tan, “Volt” ise, elektriğin öncüsü Alessandro Volta’dan gelmektedir. 1839 yılında, ilk olarak ışığı elektriğe çevirme işlemini keşfeden bilim adamı Edmund Becquerel’dir. Becquerel fotovoltaik etkiyi şu şekilde tanımlar:

“Enerjinin bir formu olan ışık, bir fotovoltaik hücrenin içine girer ve elektronları harekete geçirmeye yetecek enerjiyi ortaya çıkarır. Bu enerji elektronların, bir elektrik akımı oluşturabilecekleri kadar voltajı üretmelerini sağlar” [11].

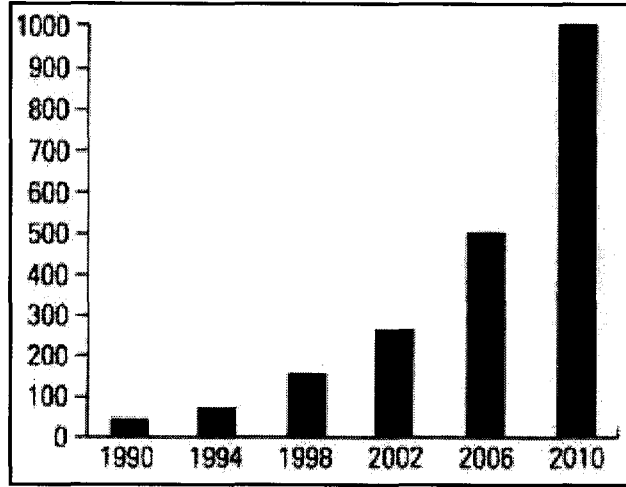
“Fizikte *Yarı İletken* olarak tanımlanan maddelerin bazı elektriksel özellikleri ışığa bağımlı olarak değişir. Bu olay, örneğin, homojen katkılandırılmış kristallerde elektriksel iletkenliğin değişmesi, değişik oranlarda katkılandırılmış kristallerin ortak yüzeyli yapılarda ise elektrik enerjisi üretimi olarak ortaya çıkar” [12].

“Güneşten bu anlamda yararlanmak için yapılan uygulamalarda en belirleyici faktör yüksek maliyetlerdir. Ancak, çevre bilinci bu çok önemli dezavantaja rağmen güneş enerjisi uygulamalarının bir çok ülkede hatta Almanya, İsviçre gibi güneş enerjisi potansiyelleri düşük sayılabilecek ülkelerde bile, hızla yaygınlaşmasına neden olmaktadır” [12].

Geçen yüzyılda selenyumdan üretilen ilk güneş hücrelerinde sadece %1-2 düzeyinde verim elde edilmiştir. O günden bu yana bu alanda önemli araştırmalar yapılmıştır. Fotovoltaikler konusunda en önemli ve büyük gelişme 1940’larda ve 1950’lerin başında yüksek oranda saf kristal silikon üretimi için kullanılan Czochralski metodunun geliştirilmesi ile sağlanmıştır. Bu alandaki diğer büyük gelişmeler ise 1950’lerde başlayan uzay programlarıdır.

2.1 Fotovoltaik Modüllerin Gelişimi

Fotovoltaik modüller özellikle son yıllarda büyük gelişme göstermiştir. 1839’dan bu yana giderek artan bir ivme ile bu alandaki gelişmeler sürmektedir. Dünyada özellikle gelişmiş ülkelerde bu konu ile ilgili çalışmalar sürerken, ülkemizde ise bu konu hala tam olarak etkin hale geçememiştir. Şekil 2.1’de dünya genelinde üretilen PV gücünün yıllara göre değişimini görülmektedir.



Şekil 2.1. MW olarak dünyada PV gücü üretimi [13]

2.1.1 PV Modüllerin Tarihçesi

PV-Modüllerin önemli uygulama örnekleri kronolojik sıralama içerisinde Çizelge 2.1’de aktarılmıştır.

Çizelge 2.1 PV-Tarihçesi [2,9, 13,14]

1839	Edmund Becquerel, Fransız Deneysel Fizikçisi, ilk fotovoltaiik etkinin keşfi ile ışığın etkisiyle elektrik üretimi
1873	Willoughby Smith, selenyumun ışık geçirgenliğini keşfi
1877	Adams ve R.E. Day, ilk selenyum hücre üretimi
1883	Charles Fritts, Amerikalı araştırmacı, Selenyum tabakalarından yapılmış ilk güneş hücresinin keşfi
1904	Halwachs, bakır ve bakır oksitlerin bir birleşiminin ışığa duyarlı olduğunun keşfi
1918	Polonyalı bilim adamı Czochralski tarafından tek kristalli silikon üretmek için bir metot geliştirilmesi
1954	Chapin, Fuller, Pearson, AT&T, patent başvurusu “Güneş Enerjisi Çevirme Cihazı” AT&T Murray Hill, New Jersey’de güneş hücreleri gösterisi AT&T Ulusal Bilim Akademisi bilim toplantısında, Washington, DC, güneş hücreleri gösterisi
1955	Western Electric silikon PV teknolojileri için lisans satmaya başladı. İlk başarılı cihazlar arasında PV ile çalışan para bozma makineleri vardı Güneş Enerjisi Uluslararası Konferansı, Arizona Üniversitesi, Tucson,AZ. Hoffman Electronic, yeni bir ticari PV cihazı üretimi. Her biri 14 MW olan 2.5 Dolar/hücre.
1957	Hoffman Electronic %8 etkinlikte hücre gerçekleştirilmesi
1958	Hoffman Electronics %9 etkinlikte hücre gerçekleştirilmesi ABD Muhabere Komutanlığı tarafından ilk PV güç ile çalışan uydu, Vanguard-I uzaya gönderilmesi.
1959	Hoffman Electronics, ticari olarak satın alınabilen %10 etkin PV hücreleri gerçekleştirilmesi Her biri 1cm x 2cm olan 9600 hücrelik PV dizisi ile donatılmış Explorer VI uydusunun uzaya fırlatılması
1960	Hoffman Electronics, %14 etkinlikte hücrenin gerçekleştirilmesi
1963	Japonya’da bir fenere 242 W’lık bir PV dizisinin montajı, o tarihte dünyanın en büyük dizisi bu olmuştur

Çizelge 2.1 (Devam) PV-Tarihçesi [2,9,13,14]

1966	Yörüngede gezen Astronomik Gözlem Uydusu 1kW'lık PV dizisi ile fırlatılması.
1972	Fransızlar tarafından Nijer'de bir köy okuluna bir eğitim amaçlı TV yayını için CdS PV sisteminin monte edilmesi
1973	İlk petrol krizi Delaware Üniversitesi, dünyanın ilk PV konutlarından biri olan "Solar One"ı kuruluşu
1976	1976'dan 1985'e ve 1992'den 1995'e, NASA Lewis Araştırma Merkezi (LeRC) proje ofisi tarafından Avustralya hariç her bir kıta üzerinde 83 PV güç sisteminin yerleştirilmesi. Bu sistemler aşı soğutması, oda aydınlatması, sıhhiye kliniği aydınlatması, telekomünikasyon, su pompası, değirmen ve dersane televizyonu gibi çok farklı amaçlar için çalışma enerjisinin sağlanması
1977	Tüm dünyada toplam PV üretiminin 500 kW'ı aşması NASA tarafından Amerika'nın çeşitli yerlerinde 6 adet RAMOS hava rapor istasyonuna PV güç sisteminin montajı Gölgelemeyi yok etmek için aralıklı hücre dizgi sisteminin geliştirilmesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Golden, Colorado, kuruluşu ABD
1978	NASA LeRC Papago Kızılderili koruma bölgesinde, dünyanın ilk PV köy sistemi olan 3.5 kW'lık sistemin montajı, Schuchuli, Arizona
1979	ARCO Solar, dünyanın en büyük PV üretim tesisinin kuruluşu Camarillo, California NASA LeRC, Mart ayında kurulan sistemin 1.8 kWp'dan 3.6 kWp'a çıkarılması
1980	NASA LeRC Hawaii Volkan Gözetleme İstasyonuna iki PV güç sistemi montajı, Hawaii, ABD Utah'da Doğal Köprüler Milli Anıtına 105.6 kWp'lık sistem tahsis edilmesi. Sistemde Motorola, ARCO Solar ve Spectrolab PV modüllerinin kullanımı
1981	Solar Challenger isimli, PV ile beslenen ilk uçağın geliştirilmesi Lovington (New Mexico) Square Alışveriş Merkezine 90.4 kW, PV sistemi montajı Boston Massachusetts'te Carlisle evine, çatıya entegre edilmiş olan 126 Solarex PV modülünden oluşan 7.3 kW gücünde sistem montajı Cidde, Suudi Arabistan'da 8 kW Mobil Güneş Dizisi tarafından beslenen, suyu tuzdan arındırma tesisinin kurulması
1982	Dünya çapında PV üretiminin 9.3 MW'yi geçmesi Volkswagen, Almanya, Dasher Station arabaların üst kısmı ateşleme için 160 W üreten PV dizisinin test edilmesi Entech Firması, Dallas-Forthworth, Texas, Havaalanında, hibrid PV elektrik/güneş termal depolama sisteminin kuruluşu EPCOT Disneyland-Experimental Future Community Pavyonu'na Enerji Dünyası Pavyonuna 70 kW PV dizisinin (2200 modül) kuruluşu ARCO Solar Hisperia, Kaliforniya'da 1 MW'lık PV üretim merkezinin kuruluşu
1983	Dünya çapında PV üretiminin 21.3 MW'yi ve satışının 250 milyon doları geçmesi Özel yapım 1 kW gücünde, PV motorlu otomobilin 4000 km'yi 20 günden az zamanda tamamlanması Solar Power firması, NASA LeRC desteğiyle Tunus'ta Hammam Biadha'da köylere 4 adet yedek enerji sisteminin kurulması Waramuri, Guyana'da bir kırsal alan hastanesine 1.8 kW'lık PV sisteminin montajı Pedro Vincente Maldonado, Ekvador'da arazi hastanesine 4 kW PV sistemlerin montajı Kibwezi/Kenya, Ikutha/Kenya ve Chikwakwa/Zimbabve'de kırsal alan hastanelerine 1.8 kW PV sistemleri monte edilmesi
1984	Sakramento Bölge Elektrik/Su Teşkilatı ilk 1 MW, PV üretim tesisini hizmete alınması, ARCO Solar tarafından ilk amorf silikon "Genesis" modülünün üretilmesi BP Solar Systems, EEC'nin mali desteği ile İngiltere'de, South Hampton yakınındaki Marchwood'da sisteme bağlı 30 kW'lık güç sistemini kurulması

Çizelge 2.1 (Devam) PV-Tarihçesi [2,9,13,14]

1985	BP Sidney, Avustralya’da bir tesisi satın alarak ilk solar hücre üretimine başlaması Endonezya’da Wawotobe yakınında Sulawesi de bir uydu yer verici istasyonu ve dersane cihazlarını beslemek için bir PV güç sisteminin kuruluşu
1986	Arco Solar, G-4000 Dünyanın ilk ticari ince film “Güç Modülü” nü geliştirilmesi
1988	Solarex, Pakistan’da Birleşmiş Milletler Geliştirme Projesi için 50 kW’lık modüller sağlama ihalesini kazanması, Pakistan’ın kuzey doğusunda KilaMojgarh’ta 700 nüfuslu bir köyün seçilmesi ABD Enerji Bakanlığı ve Jet Propulsion Laboratuvarları tarafından Blok Test Programından bağışlanan 1450 modülün ABD’deki 26 öğretim ve eğitim kuruluşuna dağıtılması
1990	Almanya’da 1000 Çatıda Fotovoltaik Modül Uygulama Projesinin başlatılması
1991	Almanya’da üretilen enerjinin şebekeye aktarılması konusunda yasa hazırlanması ve yürürlüğe girmesinin sağlanması
1992	Lake Hoare, Antartika’da 2.4 kWh enerji depolama kapasiteli 0.5 kW PV güç sistemi, laboratuvar cihazları, ışık, bilgisayarlar, yazıcılar ve küçük bir mikrodalga fırına güç vermek için kurulması
1994	Almanya’da ilk kez şebekeye aktarılan enerjiye ödeme yapılması
1995	Hindistan’da PV’nin ticarileşmesinin hızlandırılmasını desteklemek için uluslararası finansmanla ilk milli eğitim programı başlatılması
1996	Vedel, Almanya, 2MW gücündeki tesiste rantabl olmadığı için üretim durdurulması Dünyanın en gelişmiş güneş enerjisi ile beslenen uçağının, İcare, Almanya’da üretilmesi
1997	Endonezya Başkanı Suharto tarafından üç yıl içinde 36400 adet 50 W’lık solar ev sisteminin tesisini ön gören projenin başlatılması
1999	Solarex PV modülleri Breitling Orbiter 3 balonuna duraksız dünya turu esnasında elektrik sağlanması
2000	Hollanda’da 24 kW gücünde 288 modülün entegre edildiği itfaiye binasının tamamlanması Almanya’da 1 MW gücünde İçişleri Bakanlığı’na ait Mont Ceniz Akademisi’nin kullanıma açılması
2001	Tüm dünyada PV üretim gücünün 300 MW’a yaklaşması

2.1.2 Türkiye’de PV Modüllerin Gelişimi ve Tarihçesi

Türkiye’de güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar ancak 1960’lı yıllarda başlayabilmiştir. Öncelikle üniversitelerde başlatılan bu çalışmalar sırasıyla, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İstanbul Üniversitesi, Ege Üniversitesi ve Ankara Üniversitesi’nde bilimsellik kazanmaya başlamıştır. 1970’li yıllarda diğer üniversitelerde de bu konuya ilginin arttığı gözlenmektedir [13].

1981 yılından bu yana Türkiye’de yürütülen güneş enerji çalışmalarında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) etkin rol oynamıştır. Elektrik Etüt İdaresi’nin PV-Modüller yardımı ile güneşten elektrik üretimi üzerine yaşama geçirilmiş ve proje aşamasında olan bir çok çalışması bulunmaktadır. EİE bu çalışmalarını 5 ayrı kategoride sürdürmektedir. Bunlar aşağıda sırasıyla açıklanacaktır [15].

- **Güneş Pili Aydınlatma Birimleri**

Gün boyunca güneş enerjisinden üretilen elektrik ile akü şarj edilerek, geceleri lamba çalıştırılmaktadır. Güneş pili aydınlatma birimi, 48 W'lık 2 adet güneş pili modülü, 65 Ah-12 V kuru akü ve 20 W'lık PLC lamba, 100 VA gücünde, 12VDC / 220VAC sinüs dalga invertör ve şarj regülatörü birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimlerden 2 tanesi Ankara AOÇ Atatürk Evi önünde, 2 tanesi ise Aydın Yenihisar Güneş ve Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezi'nde bulunmaktadır [15] (Şekil 2.2).

- **Güneş Pili Su Pompaj Sistemi**

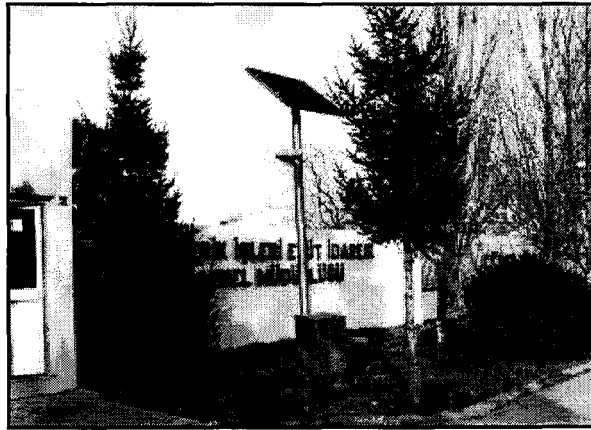
EİE tarafından geliştirilen küçük çaplı sulamada kullanılabilecek olan bu sistemde 616 Wp gücünde güneş pili, 1400 Watt gücünde invertör ve dalgıç pompa bulunmaktadır. 7 m derinlikteki bir kuyudan yılda yaklaşık 11.000 m³ su pompalayabilen bu sistem şebekeden uzak yerlerde dizel motopomplarla rekabet edebilmektedir [15] (Şekil 2.3).

- **Mobil PV Sistemi**

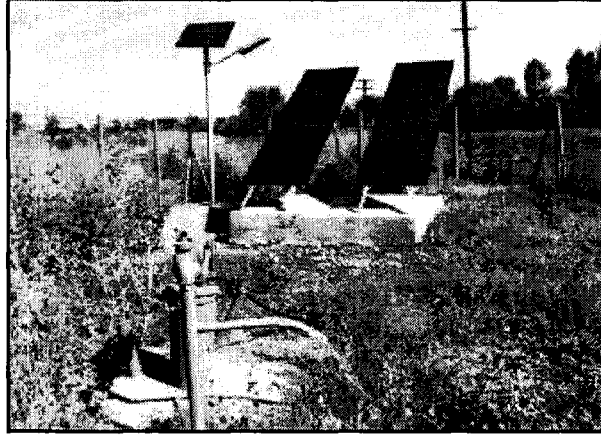
EİE tarafından geliştirilen, mobil PV sistemi, güneş enerjisinden yararlanarak AC elektrik üreten bir sistemdir ve römork üzerine yerleştirilmiş olan güneş pilleri, invertör ve akülerden oluşmaktadır. Sistem, 12 adet polikristal güneş pili modülü (toplam güç 576 W), 1 kVA gücünde 48 VDC/220 VAC invertör, akü şarj regülatörü, 4 adet 65 Ah-12 V kuru aküden oluşmaktadır [15].

- **Güneş Pili Trafik İkaz Sistemi**

Halen şehirlerarası yollarda yapılan çalışmalarda gerekli sinyalizasyon için gereksinim duyulan enerji, akülerden temin edilmekte olup, aküler en yakın



Şekil 2.2. Güneş pili aydınlatma birimleri [15]



Şekil 2.3. Güneş pili su pompaj sistemi [15]

şebeke ağında şarj edilerek kullanılmaktadır. Güneş pili ile yapılan trafik ikaz sisteminin mevcut sistemden tek farkı, akülerin güneş pili ile şarj edilmesidir. EİE'nin geliştirdiği bu sistem 48 W'lık bir adet güneş pili, akü, kontrol devresi ve ikaz lambasından oluşmaktadır. Hareketli olan sistem gereksinim duyulan yere kolaylıkla taşınabilmektedir [15].

- **Şebeke Bağlantılı PV Sistemi**

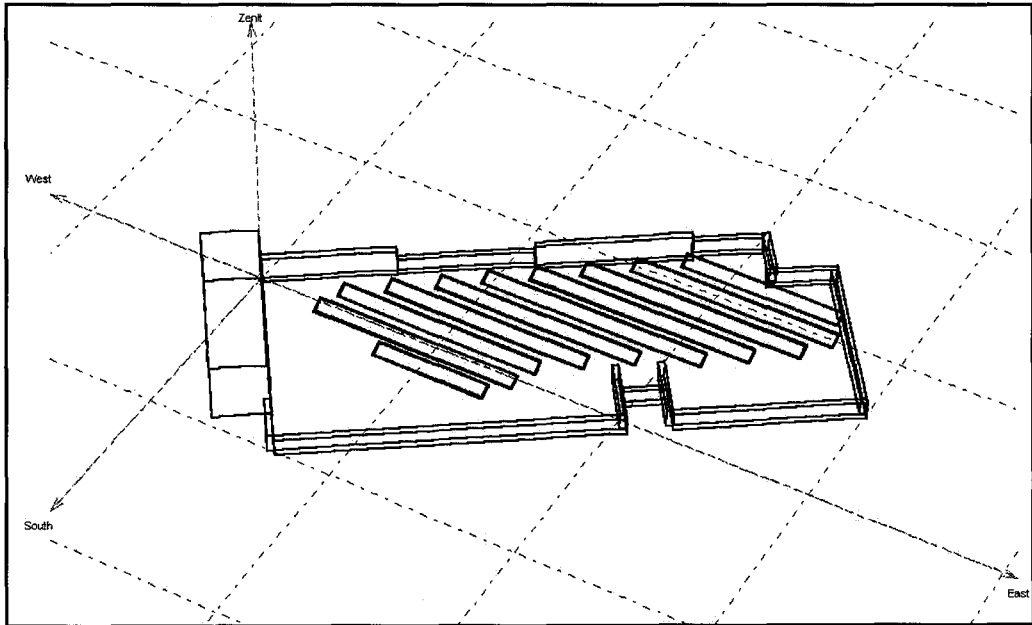
Güneş pilleri şebekeden bağımsız sistemler olarak kullanılabileceği gibi mevcut elektrik şebekesine bağlı olarak da kullanılabilirler. Enerji maliyetinin pahalı olması nedeniyle güneş pilleri genellikle dünyada şebekeden uzak yerleşimlerdeki küçük güçlerdeki enerji talebinin karşılanmasında kullanılmıştır. Son yıllarda ise özellikle gelişmiş ülkelerde şebekeye bağlı güneş pili uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Bu kapsamda EİE Didim Güneş ve Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezi'ne 3.5 kW gücünde şebeke bağlantılı güneş pili sistemi kurulacak ve şebeke ile uyumu, işletim problemleri, ekonomik durumu araştırılacaktır [15].

Türkiye'de EİE'nin yürüttüğü çalışmalar dışında, 17 Ağustos 1999 depremi sonrası, Temiz Enerji Vakfı, güneş enerjisinden yararlanarak sıcak su ve aydınlatma sağlanmasına yönelik bir proje geliştirmiştir [16]. İzmit Birleşmiş Milletler Çadır Kenti Güneş Evi ve Bilim Oyunları Merkezi olarak adlandırılan projede sıcak su üretiminin yanı sıra, 3 kWp gücünde PV sistemi yapılmıştır. Yapının 40° açıldırılmış ve güneşe yönlendirilmiş cephesine yerleştirilen PV sistemde kullanılan 70 adet modülün her biri 40 Wp gücündedir. Kısıtlı sayıda

yapılan denemeler sonucunda bu sistemden ortalama günlük kazancın 12-15 kWh/gün olduğu belirlenmiştir [17]. PV modüllerin bina çatısının çelik yapısına yerleştirilmesi ile çatı kaplaması işlevini yerine getirmesi sağlanmıştır. PV modüller bina çatısına, sızdırmazlık ve esneklik koşulları göz önüne alınarak yerleştirilmiştir. Binanın çelik yapısında meydana gelebilecek esneme ve sıcaklık farkı nedeniyle genleşme ve kısaltmalar göz önüne alınmıştır.

Hacettepe Üniversitesinin Güneş Evi projesi, Türkiye’deki sayılı PV uygulamalarından bir diğeridir. Bu projede güneye bakan eğimli yüzey üzerine entegre edilecek PV modüller aracılığı ile yapı içerisinde kullanılmak üzere güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesi amaçlanmaktadır.

Türkiye’de kısmen hayata geçirilmiş önemli uygulamalardan biri ise Muğla Üniversitesi Kütüphane Binası çatısı üzerine uygulanan PV güç sistemidir [18] (Şekil 2.4). Toplam 54 kW gücündeki bu projenin ilk aşaması olan 10 kW’lık bölümü 3 Mayıs 2002 tarihinde yaşama geçirilmiştir. Projelendirme esnasındaki enerji kazancı PVSYST adlı program desteği ile yapılan proje, Türkiye’nin en büyük PV enerji üretim birimidir.



Şekil 2.4. Muğla Üniversitesi kütüphanesi çatısına uygulanan PV modüller

2.2. Fotovoltaik Modüllerin Türü Yapısı Ve Özellikleri

2.2.1. Hücre Yapısı

Bir fotovoltaik modülün içinde yer alan temel birim, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürebilen, optiksel ve elektriksel güneş hücreleridir [12]. Güneş hücreler genelde silikondan yapılan yarı geçirgen ince bir tabakadan oluşmaktadır. Güneş ışığı bu malzemeler tarafından soğurulduğu zaman, elektronlar bulundukları atomlardan ayrılarak serbest kalırlar ve böylece bir elektrik akımı oluştururlar (Şekil 2.5).

Fotovoltaik sisteminin bütünü bir güneş jeneratörüne benzetilebilir. Güneş jeneratörü, PV modüllerin beraber monte edilmesi ile oluşturulan sistemdir. PV sistemin oluşturulabilmesi için, sisteme ayrıca akü ve akım yönlendiricisi (invertör) ilave edilir. Modüller kırılmayan birbirine birleşik iki cam yüzeyden oluşmaktadır. Cam yüzeyler arasına plastik bir folyeye yapıştırılmış 10x10 cm büyüklüğünde güneş hücreleri yerleştirilmiştir. Silisyumdan yapılmış güneş hücreleri 0.5-0.6 V değerinde kısa devreli elektrik üretirler. Kırılmaz dış camın altında ışık geçirici bir folye, araya hücrelerle dolu birleşim ve kırılmaz arka cam yapıştırılır. Cam-cam yapışmasından dolayı modülün %4 ile %30 arasında ışık geçirgenliği vardır. Uygulamada gereksinilen enerjiyi sağlayabilmek için pek çok hücreyi yan yana sıralayarak kendi aralarında paralel bağlantı sağlanabilir. Bu yolla üretilen akım doğru akımdır. Bu akımın alternatif akıma dönüştürülmesi için dönüştürücüler kullanılır ve aküler sayesinde de üretilen enerjinin, gerektiğinde kullanılabilmesi için depolama işlemi sağlanabilir. Fotovoltaik modüllerin bir



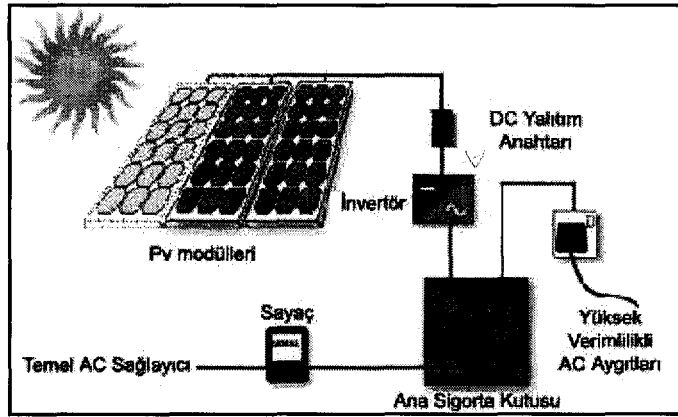
Şekil 2.5. Güneş hücresi işleyiş şeması [19]

araya gelmesiyle oluşturulan fotovoltaik sistemler, grid bağlantılı, direkt kullanımlı veya tekil PV sistemler olarak sınıflandırılabilirler. Kısacası güneş hücrelerinin bir araya gelmesi ile güneş modülleri, modüllerin bir araya gelmesi ile paneller ve panellerin bir araya gelmesi ile de fotovoltaik sistemler oluşturulur (Şekil 2.6).

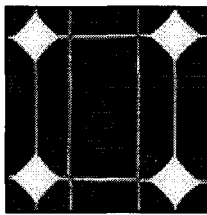
2.2.2. Hücre Tipleri

Güneş pili üretiminde başlıca kullanılan yarı iletken silisyumdur (Si). Silisyumun ham maddesi ise silikat, yani bilinen kumdur. Yer kürenin $\frac{1}{4}$ 'ünün kumdan oluşması nedeniyle ileriye dönük hammadde sıkıntısı bulunmamaktadır [12].

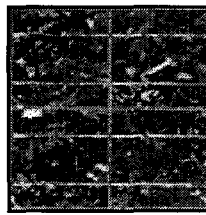
Hücre tipleri kristal hücreler ve ince film hücreleri olarak adlandırılır. Kristal hücreler ise monokristal ve polikristal olarak ikiye ayrılır [14]. Şekil 2.7'de monokristal, polikristal ve ince film malzemelerden örnekler verilerek, cepheye kazandıracağı renk ve doku zenginliğine dikkat çekmek amaçlanmaktadır.



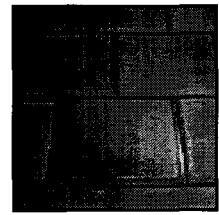
Şekil 2.6. Grid bağlantılı şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin çalışma prensibi [19]



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.7. a) Monokristal hücre tipi [19]

b) Polikristal hücre tipi [19]

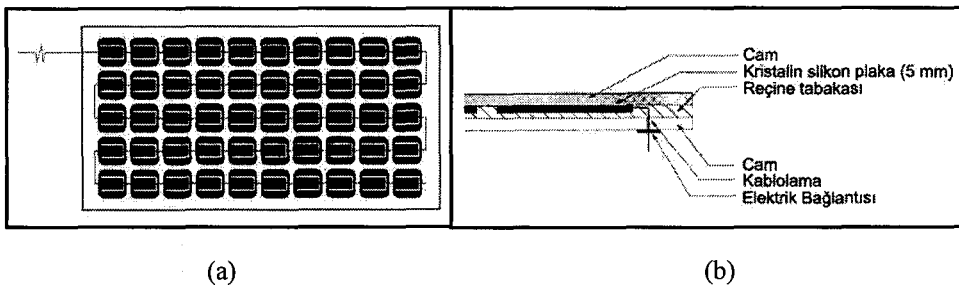
c) İnce film hücreler [19]

• Kristal Hücreler

Tek kristal silikondan (çoğunlukla monokristal hücreler olarak adlandırılırlar) üretilen PV modüllerin verimlilikleri %20 ye kadar çıkmakta olup ticari amaçla kullanılmaktadırlar. Laboratuarda yapılan deneylerde verimlilikleri %29'a kadar ulaşmaktadır [20]. Polikristal silikonların üretimi daha kolay ve daha ucuzdur. Monokristal hücrelere göre verimlilikleri daha düşüktür, ancak ekonomik olmaları nedeni ile sık kullanılırlar. Galyum arsenid (GaAs), güneş hücreleri için bir başka tek kristal malzemedir. Bu malzemenin maliyeti diğerlerine göre çok daha yüksek olduğundan kullanımı uzay uygulamaları ile sınırlı kalmıştır [20].

Kristal güneş hücrelerinin renkleri, yansıma yolu ile kaybedilecek güneş enerjisi miktarını minimuma indirebilmek için hücrelerin ön yüzüne uygulanan, yansıtıcı olmayan kaplamanın rengine bağlı olarak değişir. Monokristal hücrelerde renk genellikle koyu gri ile siyah arasında değişmekte olup, polikristal hücrelerin renkleri ise mavi tonlarındadır.

Her ne kadar kristal hücreler için çok fazla renk seçeneği bulunsa da, bunun verimlilik üzerinde bir etkisi vardır. PV hücrelerinin maliyetlerini belirleyen faktör elektriksel verimlilikleri olduğundan, üreticiler araştırma geliştirme çalışmalarını, elektrik üretimini en yüksek düzeye çıkarmak yönünde sürdürmektedirler. Yapılan çalışmalara göre koyu mavi ve siyah hücrelerin verimlilikleri en yüksek düzeydedir. Bazı üreticiler, özel renklerde hücreler için gerekli çalışma ve üretimin maliyetlerini dengeleyebilecek, yeterli talebin olması durumunda, farklı renklerde hücrelerin de üretilebileceğini açıklamaktadırlar. Binalarda fotovoltaik uygulamalarının ve mimarların estetik açıdan, tasarım taleplerinin giderek artması ile bu tip seçenekler ve farklı üretimlerde de artış görüleceği açıktır (Şekil 2.8).

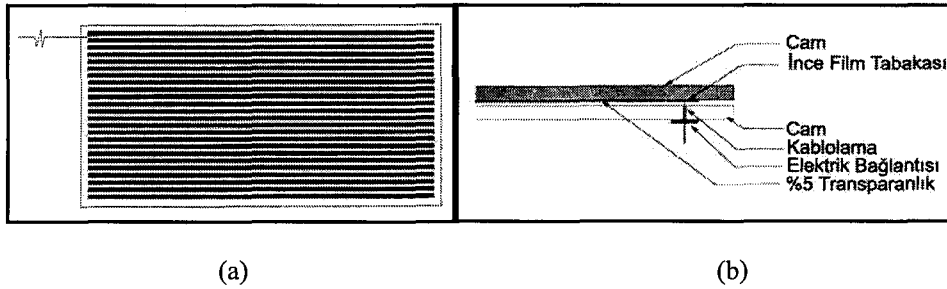


Şekil 2.8. a) Kristal hücre diyagramı [20]
b) Kristal hücre kesiti [20]

• İnce-film Güneş Hücreleri

PV modüllerin maliyetlerini düşürmek amacı ile daha az malzeme kullanılarak ve hızlı bir üretim süreci ile ince-film hücreler geliştirilmiştir. Son 10 yılda ince filmler üzerinde yapılan araştırmaların önemli bir kısmı, amorf-silikon hücreler üzerinde odaklanmıştır. Bu hücrelerin kristal hücrelere göre avantajları, üretimleri için harcanan enerjinin daha az olmasından dolayı, enerji geri ödemelerinin daha kısa sürede gerçekleşmesidir. Küçük bir a-Si hücrenin kullanımı ile çalışabilen hesap makineleri gibi küçük cihazlar, tüketici PV pazarı gibi yeni bir pazarın kurulmasına neden olmuştur. Söz konusu hücrelerin dezavantajları verimliliklerinin düşük olmasıdır. Ancak binalardaki uygulamalarda daha geniş modül uygulaması ile daha üniform bir yüzey sağlıyor olmaları, a-Si hücreleri daha avantajlı kılmaktadır. Amorf silisyum hücrelerin verimlilikleri günümüzde %10 dolayında olmakla birlikte, verimliliğin %30 düzeyine çıkarılması yönünde çalışmalar sürdürülmektedir (Şekil 2.9).

Kadmiyum-tellür (CdTe) ve Bakır-İndium-Diselenid (CuInSe₂ veya CIS) ise diğer ince-film malzemelerdir. Laboratuvar ortamında verimlilikleri %15 olan CdTe ve CIS dışında seramik üzerine uygulanabilecek ince film malzemeler üzerinde araştırmalar sürdürülmektedir. Çeşitli fotovoltaik modüllerin teorik, laboratuvar ve modül verimlilikleri Çizelge 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.9. a) İnce film hücre diyagramı [20]
b) İnce film hücre kesiti [20]

Çizelge 2.2. PV-Modül verimlilikleri [11]

Malzeme	Teorik Verimlilikleri	Laboratuvar Verimlilikleri	Modül Verimliliği
Kristal silikon	%29	%23	%15
GaAs	%31	%25	-
İnce film	-	-	-
Amorf Si	%27	%12	%8
CIS	%27	%17	%11

2.3. Fotovoltaik Modüllerin Uygulama Alanları

PV sistemler günümüzde, gelişmiş ülkelerdeki ticari kullanımlardan, az gelişmiş ülkelerde kırsal kesimlerdeki kullanımlarına dek bir çok uygulama alanına sahiptir (Çizelge 2.3). Aşağıda PV modüllerin etkin rol oynadıkları çeşitli alanlar maddeler halinde sıralanmıştır:

- **Bağımsız Konutlar**

1996 yılında yapılan bir araştırmaya göre, özellikle İskandinavya’da bulunan bir çok tatil evi dahil olmak üzere, tüm dünya üzerinde 100.000’den fazla şebekeden bağımsız konut bulunmaktadır. Bu tip konutlarda uygulanan PV modüller genellikle evin aydınlatılması, radyo/TV veya buzdolabı gibi gereksinimleri rahatlıkla şebekeden bağımsız bir biçimde karşılayabilmektedir (Şekil 2.10).

Çizelge 2.3. PV sistemlerin dünyada kullanım alanları ve yüzdeleri [21]

Kullanım Alanları	Yüzde %
Kırsal kesim elektrifikasyonu	43.8
Çiftlikler ve tarım sulaması	10.4
Doğayı koruma ve dinlenme alanları	5.2
Su pompalama	10.4
İkaz sistemlerinin çalıştırılması	12.4
Haberleşme ve genel aydınlatma	9.4



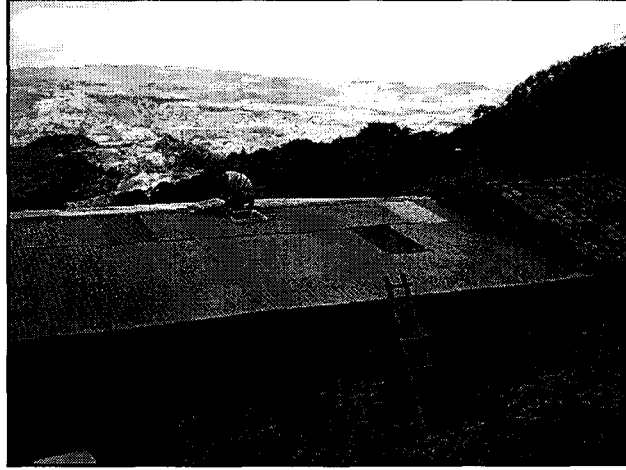
Şekil 2.10. Konutlarda fotovoltaik uygulamasına örnek [22]

- **Şebekeden Bağımsız Kırsal Kesimler**

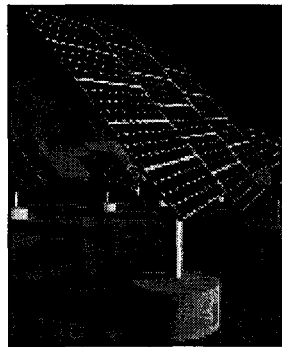
Gelişmekte olan ülkelerde, elektrik bağlantısı olmadığından, binlerce köy ve kırsal yerleşimde pahalı, elde etmesi güç ve çevreye zararlı olan dizel jeneratörler kullanılmaktadır. Bu tip yerleşim alanlarında gerek konutların ve diğer yapıların gerekse de açık ortak alanlarda uygulanacak olan fotovoltaik modüller bu yerleşimlerin endüstriyel, toplumsal ve sosyal bir çok etkinliklerini gerçekleştirebilmeleri için kullanılabilirler. Günümüzde güneş enerjisi ve PV modüller yardımı ile enerjisini sağlayan bir çok kırsal yerleşim alanı bulunmaktadır (Şekil 2.11).

- **Tekil PV Uygulama Sistemleri**

Şebekeden bağımsız veya şebekeye bağlanmanın maliyetinin yüksek olduğu koşullarda tek başlarına herhangi başka bir üst sisteme bağlı olmadan oluşturulan sistemlerdir (Şekil 2.12).



Şekil 2.11. Somoto Volkanik Dağı yakınlarında bir kırsal yerleşimde PV uygulaması [23]



Şekil 2.12. Western Power Corporation, Kalbarri, Batı Avustralya [24]

Su Pompalama Sistemleri: PV sistemleri el pompaları ya da büyük mekanik su pompalarının yerini alabilmektedirler.

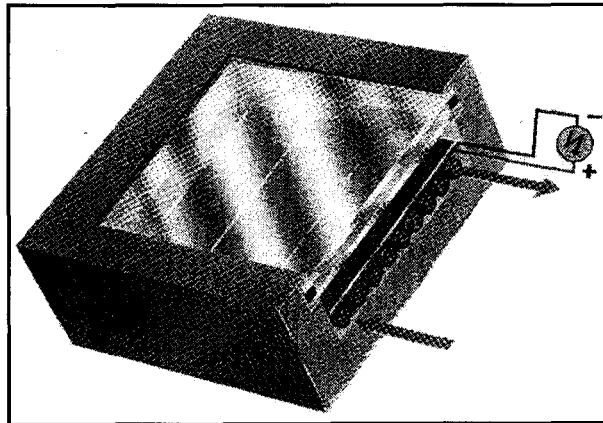
Katodik Koruma Sistemleri: Korozyon bir çok boru, tank, köprü ve binalarda bir çok probleme yol açmaktadır. PV ile elde edilen elektrik, bu tarz zararlara engel olmak için kullanılmaktadır.

İletişim: PV sistemler 1960'lardan bu yana telefon, radyo, televizyon ve diğer alıcı ve vericileri çalıştırmak için kullanılmaktadır. Bu sistemler iletişim alanında kesintisiz daha güvenilir bir enerji kaynağı sağlamaktadır.

Aydınlatma ve Küçük Aletler: Özellikle sokak aydınlatması, konutların veya yapıların bahçe aydınlatmaları gibi bir çok işlevi yerine getirmek amacı ile tekil PV sistemler kullanılmaktadır. Ayrıca çok küçük amorf silikon hücreler kullanılarak kendi gereksinimlerini karşılayabilecek enerjiyi üretebilen hesap makinesi, şarj aletleri, küçük ev aletleri vb. bir takım tüketici ürünleri de bu sistemlere örnek verilebilir.

- **Almaşık Sistemler**

Hibrid sistemler PV modüllerin rüzgar veya dizel jeneratörler gibi diğer sistemlerle kombinasyonu şeklinde açıklanabilir. Bu tip sistemlerin avantajı, güneş, rüzgar vb. mevcut kaynakları aynı anda kullanabilme olanağı sağlamasıdır. Aynı şekilde günümüzde toplaçlar ve PV modüllerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan hibrid sistemler yardımı ile hem elektrik enerjisi hem de sıcak su eldesi sağlamak olanaklıdır (Şekil 2.13). Hibrid sistemlerde, PV modüllerin su dolaştırılarak soğutulabilmesi verimi artırıcı bir rol oynamaktadır.



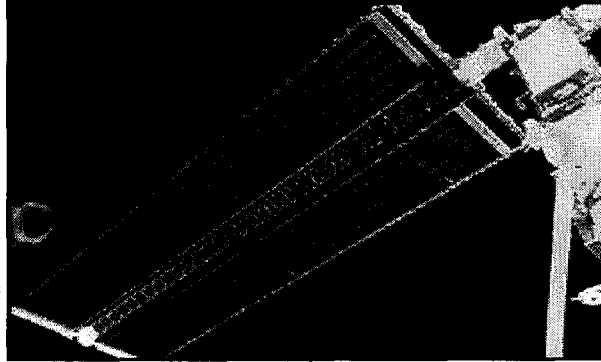
Şekil 2.13. Toplaç ve PV-Modülden oluşan hibrid sistem [25]

- **Uzay PV Sistemleri**

1958’de uzaya fırlatılan Vanguard I uydusundan bu yana PV sistemler, uzay mekiklerine ve uydulara güç eldesi için etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Bu sistemlerde önemli olan kriterler ağırlık ve güvenilirliktir. Bunun dışında maliyet faktörü ikinci planda kalmaktadır. Maliyetin ikinci plana düşmüş olmasından dolayı bu sistemler, yukarıda söz edilen diğer sistemlere oranla çok daha özgün sistemler haline gelmişlerdir (Şekil 2.14).

- **Binalarda Uygulanan PV Sistemler**

PV’lerin bina kabuğuna entegre edilmesi fikri, özellikle gelişmiş ülkelerde, geleneksel cephe ve çatı elemanlarının yerini almaya başlayarak çok yeni bir pazar oluşmasına neden olmuştur. Pencerelerin üstünde gölgeleme elemanı olarak veya çatıda kullanılan kristal modüller, cephe ve duvarlarda kullanılan iki cam arasındaki modüller ve opak veya yarı-geçirgen olarak cephelerde uygulanabilen amorf-silisyum PV modüller mimaride uygulanma olanaklarını göstermektedir.



Şekil 2.14. Endeavour Uluslararası Uzay İstasyonu [26]

3. MİMARİDE FOTOVOLTAİK MODÜLLER

Geçtiğimiz yüzyılda yaşanan çevresel kirlilikler, enerji kaynaklarının artan maliyeti gibi sorunlar, mimarlık alanındaki tasarım sürecini etkilemiştir. Günümüzde gerçekleştirilen mimari uygulamaların çoğunda görülen önemli sorunlarından biri, yapılarda uygulanan iklimlendirme ve aydınlatma gibi servis sistemlerinin verimsiz tasarlanmasından kaynaklanan, gereksinim fazlası enerji tüketimidir. Fosil yakıtların kullanımının çevreye verdiği zararlar ve yapılarda etkin kullanılamayan havalandırma ve aydınlatma gibi servisler insan sağlığını yakından etkilemektedir.

Günümüz mimarisinde iyi bir tasarım; işlevsel, kütleli ve estetik başarının yanında çevre duyarlı da olmak durumundadır. Buna bağlı olarak tasarımlarda, ısı yalıtımı, sağlıklı iç mekanlar, daha verimli aydınlatma, havalandırma gibi bir çok sistem giderek artan önem arz etmektedir. Söz konusu yeni yaklaşımlar ile sürdürülebilir gelecek anlayışında oldukça önemli adımlar atılmıştır. Elbette bütün bunlar, çevre duyarlı başarılı tasarımlar için yeterli değildir. Gelişmiş ülkelerin 20. yüzyılın konforunu sürdürebilmeleri ve gelişmekte olan ülkelerin de istenilen konfor düzeyine ulaşabilmeleri için, sürdürülebilirlik kavramı, tasarım felsefesi kapsamında etkin bir yapı taşı olarak yerini almak durumundadır. Daha az fosil yakıt kullanımı ile daha az çevre kirliliği yaratmanın ötesinde, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak bu tür kısmi ya da tüm enerjisini karşılayabilen ve çevresel kirliliğe yol açmayan, sürdürülebilir tasarımlar yapmak mimarların sorumluluğundadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojilerin en önemlilerinden biri “Fotovoltaik” uygulamalarıdır. Fotovoltaik modüller, güneş enerjisini kullanarak, çevreye zararlı atık vermeden, gürültü olmaksızın, elektrik enerjisi üretebilen elemanlardır.

3.1. Mimarlık ve Fotovoltaikler

Günümüzde enerji söylemli yapılar tasarlamada, disiplinler arası işbirliği temel koşuldur. Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere, çeşitli meslek dalları ve uzmanlık alanlarının belirli sorumlulukları bulunmaktadır.

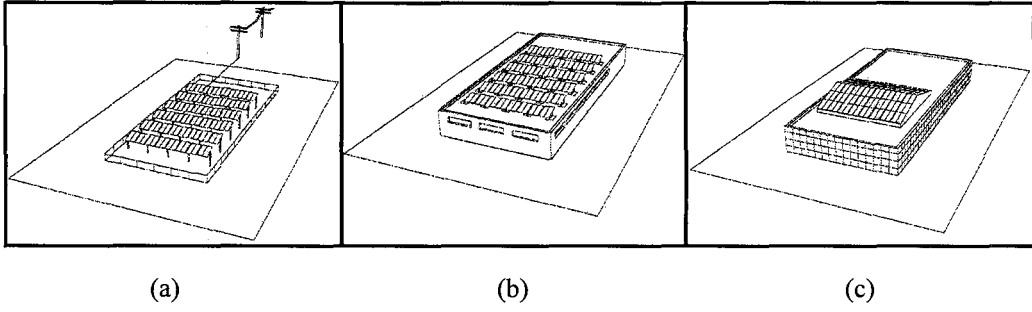
Çizelge 3.1. Planlama sorumlulukları [11]

Enerji Tüketimi ve Planlama Sorumlulukları					
Bir Binanın Gelişim Aşamaları	Tasarım Aşaması	Detay Çizimleri	Uygulama Çizimleri	Yapım Aşaması	Yapım Aşaması
Bir Binanın Enerji Tüketiminin Planlanması	↔				
Bir Binanın Enerji Tüketiminin Tasarlanması ve Hesaplanması			↔		
Geçmişteki Sorumluluklar	↔				Kullanıcı ↔
		Mimar	Mühendis		
		Mimar			
Gelecekteki Sorumluluklar	↔				Kullanıcı ↔
		Mühendis			

Fotovoltaik modüller ve mimarlık arasındaki ilişki, son dönemin yapılarında tasarım sürecini etkileyen önemli bir noktadır. PV sistemler çatı ve cephe konstrüksiyonlarına entegre edilerek, hem strüktürel öge, hem de enerji üretim amaçlı düzenlenebilmektedir. PV modüllerin başarılı olarak uygulanabilmesi için disiplinler arası çalışma gerekmektedir.

Binaya entegre fotovoltaik modüllerin diğer uygulamalardan farkı, entegrasyonun tam anlamıyla tasarım ile birlikte gerçekleşmesidir. PV modül bir binanın çatı kiremidi, penceresi, giriş saçağı, cephe kaplaması veya güneş kırıcı elemanı şeklinde binaya entegre edilebilir. Böylece, hem mimari açıdan istenmeyen görüntüler engellenerek tasarımda bütünlük sağlanmakta, hem de PV modüllerinden maksimum verim sağlanabilmektedir. Fotovoltaiklerin kullanım biçimleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [20];

- Açık alanlarda düzenlenen fotovoltaikler (Şekil 3.1 a)
- Binaya monte edilen fotovoltaikler (Şekil 3.1 b)
- Binaya entegre fotovoltaikler (Şekil 3.1 c)



Şekil 3.1. a) Açık alanlarda düzenlenen fotovoltaiikler [20]
b) Binaya monte edilen fotovoltaiikler [20]
c) Binaya entegre fotovoltaiikler [20]

Her bir uygulamanın kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmakta olup, aşağıda kısaca açıklanacaktır.

Açık alanlarda düzenlenen fotovoltaiik modüller; istenilen ve maksimum verimin sağlanabileceği yöne rahatlıkla yönlendirilebilir, ancak arsa ve bakım masraflarının yüksek olması ve konstrüksiyon maliyeti olumsuz yönleridir.

Binaya monte edilen fotovoltaiikler; basit destek strüktürler ile çatıya veya cepheye monte edilebilmelerinin sağladığı kolaylığın yanında, binanın yönlenmesine bağlı kalma zorunluluğu, ek yalıtım gereksinimleri, mekanik olarak mevcut sistemlere bağlanmasında ortaya çıkabilecek sorunlar gibi bir takım olumsuzlukları beraberinde getirmektedir.

Binaya entegre fotovoltaiikler; düşük taşıyıcı sistem ve montaj maliyetleri, yerine kullanıldığı yapı elemanından sağlanan tasarruf ve estetik görünüm gibi avantajları dışında, mevcut imar planlarından kaynaklanan veya mimari gereksinimlere bağlı yönlenme sorunları ve yalıtım gibi dezavantajlara da yol açabilmektedir.

PV modüller binaların dış yüzeylerinde kullanılmak üzere tasarlandığından güneş, yağmur ve diğer dış iklim koşullarına dayanıklı olarak üretilirler. Modüllerin bu özellikleri sayesinde, bina kabuğunun bir parçası olarak kullanılmaları olanaklıdır. Bir çok tipte ve özellikte modül teknolojisi geliştirilmiş olsa da bu modüllerin hepsi binaya entegrasyon için uygun olmayabilir. Geçmişte modüller, sadece enerji üretmek amacı ile üretilmiş, bir yapı elemanı olabilme özellikleri düşünülmeden tasarlanmışlardır. Günümüzde beklentiler tasarlanan ve üretilen PV elemanlarının hem yapı elemanı hem de enerji üretebilir olmalarıdır. Monokristal, polikristal ve amorf silikon vb. modüllerin birbirinden farklı estetik

özellikleri vardır. Monokristal modüller üniform bir yüzeye ve siyah ile koyu gri arasında değişen renklere, buna karşın polikristal hücreler homojen olmayan bir yapıya ve gri-mavi arası renklere sahiptirler. Mono veya polikristal hücrelerden oluşan bir çok modül tipi bulunmaktadır. Bu modüllerde gereksinimler doğrultusunda hücreler arasının açılması ile, belirli ölçülerde ışık geçirgenlik sağlanabilir. Hücreler arası boşlukların açılmadığı modüllerde ise ışık geçirgenliği çok düşük bir seviyede bulunmaktadır. Bunun dışında opak modüllerdeki arka levhaların rengi istek doğrultusunda seçilebilmekte ve amorf silikon, metal, cam veya plastik üzerine uygulanabilmektedir. Bu modüller genellikle koyu kahve rengine sahiptirler. Yarı-geçirgen amorf modüllerde, hücreler ışığı kısmen geçirmekte ve bu hücrelerden geçerek mekana ulaşan ışığın rengi de değişmektedir.

Günümüz teknolojisi, binaya entegrasyon için modül tasarımlarında bir çok seçenek sunmaktadır. Çizelge 3.2’de değişik tip modüllerin binaya entegrasyonları yönünden üstünlükleri ve olumsuz yönleri görülmektedir.

Çizelge 3.2 Binaya entegrasyon için uygun modül seçimi [11]

Modül Konstrüksiyon Tekniği	Boyutları (cm ²)	Entegrasyon Uygunluğu				
		Eğimli Çatı	Düz Çatı	Duvar	Pencere	Gölgeleme
Çerçevesiz Standart Modüller	33 x 130 45 x 100 55 x 115	+	+	+	-	+
Plastik veya Metal Çerçevesiz Standart Modüller	33 x 130 45 x 100 55 x 115	+	o	o	-	o
Çatı Elemanı Olarak Modüller	Çatı Sistemine Uygun	+	-	-	-	o
Belirli Bir Geçirgenlikte Cam-Cam Modüller	15-200 Arasında ki Boyutlar	o	o	+	+	+
Saydam Plastik Arka Levhalı Cam Modüller	15-200 Arasında ki Boyutlar	o	o	+	+	+
Plastik Kaplı Metal Arka Levhalı Modüller	15 x 150	+	+	+	-	+
Uygunluk Değeri	+ =yüksek uygunluk		o = düşük uygunluk		- = uygun değil	

3.2. Fotovoltaik Modüllerin Tasarım Kriterleri

PV modüllerin binaya entegre edilebilmeleri için, tasarım süresince modüllerin, teknik ve estetik özelliklerinin değerlendirilmesi kaçınılmazdır. Tasarımlarda PV güç sistemlerinin uygulamasında temel amaç, optimum güneş ışığı altında maksimum güç elde edebilmektir. Ayrıca belirtilen amaç ile birlikte, yapım maliyeti, gün ışığı kontrolü, ısı performans ve estetik değerler gibi kriterlerin göz önünde tutulması gereklidir. Bununla birlikte, binaların soğutma yükünü azaltabilmek amacıyla, bina kabuğuna gelen radyasyon miktarının kontrol edilmesi de sağlanmalıdır. Buna karşın, fotovoltaiklerin verimliliğini maksimize edebilmek için, mümkün olan en büyük radyasyon miktarına gereksinim duyulmaktadır.

Fotovoltaik entegre bina tasarımlarında dikkate alınması gereken teknik kriterler dışında, projeye bağlı olarak, iklim, bütçe, kullanıcı beklentileri, estetik vb. diğer kriterlerin de tasarım esnasında göz önünde tutulması zorunludur.

3.2.1. İklim Verileri ve Yönlendirme

Yer, iklim, enlem, ortalama bulutluluk, ortalama sıcaklıklar, yağış miktarı, nem, hava kirliliği, rüzgar yükleri ve sismik koşullar PV modüllerin, bina kabuğuna yerleştirilmesini etkileyen faktörlerdir.

PV modüllerin maksimum enerji sağlayabilmeleri için güneşe yönlendirilmeleri ve bulunduğu enleme eşit bir eğim açısıyla yerleştirilmeleri gerekmektedir [11]. Ancak çoğu binanın duvarları ekonomik nedenler ve geleneksel inşaat teknolojileri kullanılması nedeni ile dikey olarak tasarlanmakta ve inşa edilmektedir. Doğu veya batıya yönlendirilmiş modüllerin eğimlerinin, enlem açısına eşit alınması durumunda, güneşe bakan modüllere göre yaklaşık %40 oranında daha az verim sağladıkları görülmektedir [11].

PV modüllerin, mimaride enerji üretmek işlevleri dışında yapı elemanı olarak da kullanılabilmesi avantajı sayesinde, tasarımlarında monolitik bir görünüm isteyen mimarlar, binanın tamamını da yön ayrıcalığı gözetmeden, PV modül ile kaplayabilirler. PV modüller, çatı ve cephe kaplama elemanları olarak tasarımın bir çok alanında yer alabilirler. Yukarıda da değinildiği gibi eğer PV modüllerin yönlendirmeleri tasarımı kısıtlayıcı bir kriter olarak düşünülmezse, mimarlar tasarımlarında çok daha özgür olabilirler.

3.2.2. Arazi

Arazinin eğim, yüzey dokusu gibi özellikleri ve bulunduğu konum, PV modüllerin binaya uygulanmasında önemli rol oynar. Arazi içindeki yapı sınırları da değerlendirilmesi gereken önemli bir noktadır. PV modüllerin cephede eğimli kullanılması durumunda, binanın yüksekliği arttıkça, yapı alanının küçülmesi söz konusu olabilir. Bu nedenle PV sistem tasarımı yapılırken, yapı taban alanında ortaya çıkabilecek bazı küçülmeler de değerlendirilmelidir.

Yüksek yapılar, genellikle açık alanların kısıtlı ve kira oranlarının yüksek olduğu, kentsel alanlarda inşa edilirler. Çevredeki binaların tasarlanan yapının üzerine düşen gölgeleri, modüllerin performansını olumsuz yönde etkileyecektir. Bu sorunun görüldüğü binalarda, bazen sadece üst katlar PV modül ile kaplanabilir. Bu durumda tasarımcı, PV modüllere zıt veya uyumlu kaplamalar kullanarak cephenin, etken ve/veya edilgen anlamda kazanç sağlayan bölümlerini ortaya çıkarmayı veya kamufle etmeyi amaçlayabilir.

3.2.3. Panel Tipleri

PV Panellerin geometrileri, boyutları, renkleri ve montaj sistemleri (çerçevesiz ve çerçeveli modüller vb.) binanın karakterini ve dış görünüşünü bütünüyle etkileyebilmektedir. PV modüller elektrik enerjisi üretmenin yanı sıra doğru tasarlanmaları sayesinde edilgen ısıtma ve/veya soğutma yüklerini azaltarak da enerji tasarrufuna katkı sağlayabilirler.

Cam malzemesi, güneş hücrelerinin rengi, dokusu ve PV modülün estetik özelliklerini oluşturan temel öğesidir. Cam miktarı ve kalitesi yanı sıra hücrelerin sayı ve dağılımındaki dengesinin sağlanması, tasarımın önemli süreçlerdendir. Modüller aynı zamanda hücrelerin içinden geçen gün ışığı yardımıyla dekoratif görüntüler sergileyebilmektedir. Hücreler arasındaki boşluk sayesinde oluşan ışık geçirgenlik ve buna bağlı ışık oyunlarının, iç mekandaki mimari etkiye katkısı büyüktür. Bu ilginç ve farklı etkiler ancak PV modüllerin yapı malzemesi olarak tasarıma girmesi durumunda olanaklı olabilir. Geleneksel yapı malzemeleri ile PV modüller arasındaki işlevsel ve estetik karşılaştırmalarda bu özellikler ön plana çıkmaktadır.

Fotovoltaik hücrenin en ilginç estetik yönleri, güneş ışığı ile temasa geçtiği dış yüzeylerde ortaya çıkmaktadır. PV hücrelerin seçimi ve yerleştirilmesine bağlı olarak çok sayıda ve çeşitlilikte renk, yansıma ve saydamlık etkisi yaratılabilir.

Bir PV modülün kabloları, bağlantı kutusu, depolama ünitesi gibi teknik donatıları, bazı durumlarda açıkta ve görülebilir durumda olabilir. Tasarım yapılırken, mekansal görüntünün kontrolünün sağlanabilmesi için bu ayrıntıların da göz önünde tutulması kaçınılmazdır. Binaların işletimini ve bakımını sağlayacak, mekanik ve elektrik donanımları genellikle oldukça karmaşık ve yüksek miktarda enerji gerektiren sistemlerdir. PV modüllerin bu sistemlere entegrasyonunda dikkat edilecek önemli noktalar, güvenli, sağlam ve ekonomik olmalarıdır.

3.2.4. Entegrasyon

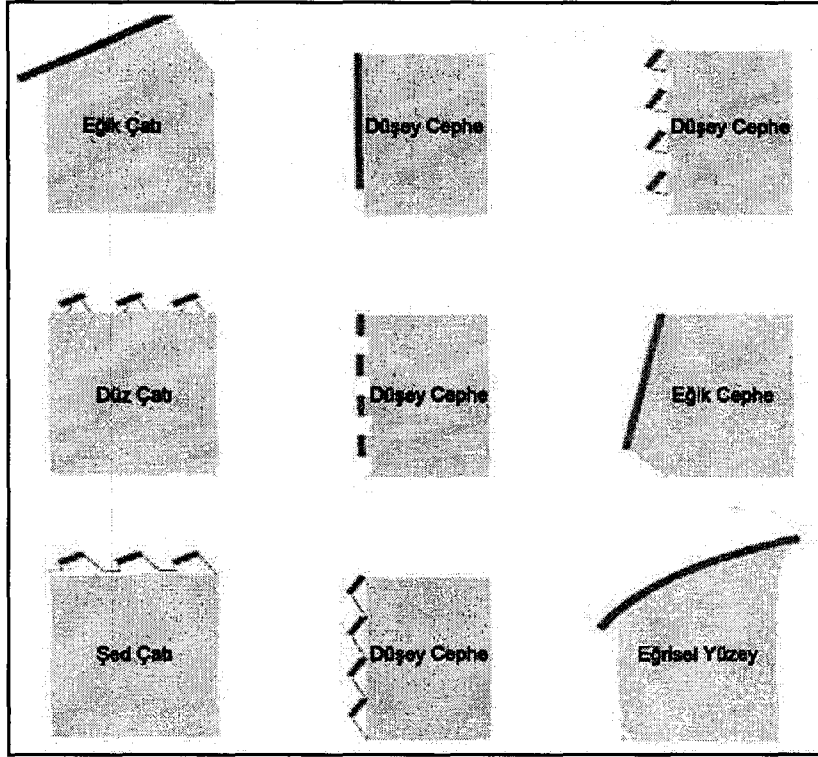
PV modüllerin entegre edileceği bina tasarımlarında öncelikli olarak binanın enerji performansını etkileyebilecek her etkenin analiz edilmesi zorunludur. PV modüllerin binalara entegre edilebileceği alanlar tez kapsamında gerçekleştirilen incelemeler sonucunda üç ana grupta toplanmıştır. Bunlar,

- Cephelere entegrasyon,
- Çatılar ve geniş yüzeylere entegrasyon,
- Perdeleme veya ışık-filtrasyon elemanı olarak uygulanmalarıdır.

Şekil 3.2’de şematik olarak PV modüllerin binalara entegrasyon olanakları verilmektedir.

3.2.4.1. Cephelere Entegrasyon

PV modüllerin cephelere entegrasyonunda, eğik cephe ve düşey cepheye olmak üzere iki farklı uygulamadan söz edilebilir. Güneye yönlendirilmiş ve enlem derecesi açısından uygulanan eğimli yüzeyler; elektrik üretimi açısından en yüksek performansı sağlamaktadırlar [11]. 1999 yılında inşası tamamlanan Freiburg Solar Fabrik binası eğik yüzey uygulamasına örnek verilebilir (Şekil 3.3). Solar Fabrik binası güneş enerjisinden etken ve edilgen yararlanacak şekilde tasarlanmıştır. Cephede ve çatıda düzenlenen 575 m² PV yüzeyi,



Şekil 3.2. PV modüllerin binalara entegrasyon olanakları [25]

56.5 kWp gücünde olup, 50.000 kWh/yıl enerji üretmekte ve gereksiniminin % 35'lik bölümünü karşılamaktadır. Solar Fabrik yılda 4.5 Megawatt'lık modül üretmekte olup Almanya'nın en büyük PV üreticisi konumundadır [27] (Şekil 3.3).

Daha yüksek verim elde edebilmeyi sağlayan eğik cephe uygulamaları, genellikle daha karmaşık strüktürel ve detay çözümleri gerektirdiğinden bu tip uygulamalarda maliyet artışı olasıdır. Buna karşın, düşey cephe uygulamaları ise eğimli yüzeylere oranla daha düşük verim sağlasa da, özellikle Avrupa ülkelerinde oldukça sık rastlanan uygulamalardır [28].



Şekil 3.3. Solar Fabrik, Freiburg /Almanya [29]

Düşey cephede PV uygulamalarına örnek olarak verilebilecek Freiburg istasyon binasının cephesine çerçevesiz PV modüller uygulanmıştır (Şekil 3.4). 19 katlı binanın güney cephesinde 240 PV modül yer almakta olup, 33.6 kWp gücündeki sistemin yıllık enerji üretimi 20.000 kWh'dır [30]. Bir başka düşey yapı uygulaması ise Almanya'da Aachen Elektrik Kurumuna ait binadır. Bu örnek cepheye entegre PV uygulamalarının öncüsü olup PV hücreler çift camlı bir kuruluş içerisinde yer almaktadır [11].

3.2.4.2. Çatılara ve Geniş Yüzeylere Entegrasyon

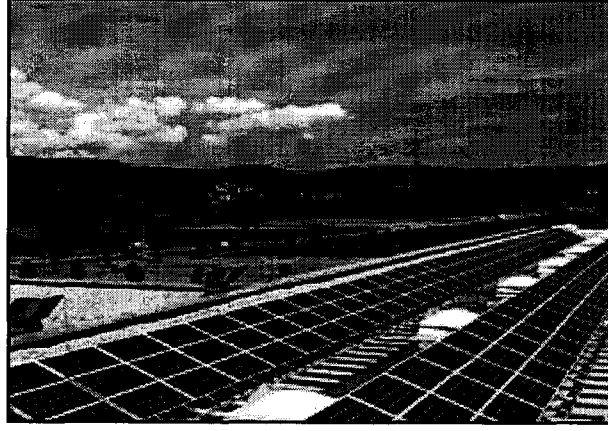
Çatı uygulamalarında, güneşe yönelme açısı ile birlikte strüktürel ve iklimsel etmenlere bağlı sorunların göz ardı edilmemesi gerekir. Yatay-düz çatı uygulamalarında, kar ve yağmur yükünün strüktüre etkilerinin değerlendirilmesi ve yapının bulunduğu iklime uygun çözümler üretilmesi gerekir [31]. Kar yağışının yoğun olduğu bölgelerde çatı kaplaması olarak ya da tepe camı olarak uygulanan PV modüllerin güneşten maksimum yararlanabilecekleri açıdan daha dik bir açıda uygulanmaları gerekebilir (Şekil 3.5).

Eğimli çatılarda ise PV modüller geleneksel çatı kaplaması yerine düz ya da kiremit şeklinde kullanılabilirler (Şekil 3.6a ve b). Farklı amaçlar için düzenlenmiş olan düz ve eğimli PV çatı uygulamalarından örnekler aşağıda ayrıntılı olarak verilecektir.

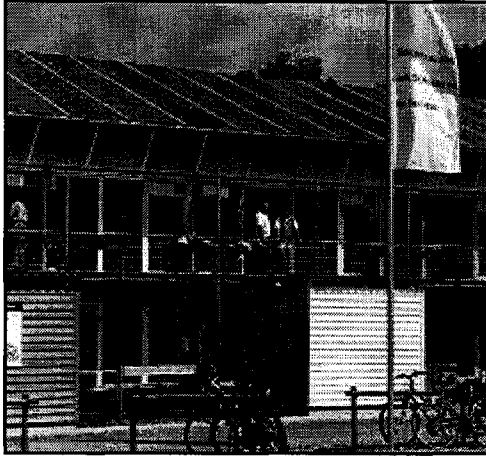
Düz çatı uygulamasına örnek olarak Herne-Sodingen Mont-Cenis Akademisi verilebilir. Binada konaklama, çocuk kütüphanesi, kongre merkezi gibi birimler 15 m yüksekliğinde tek bir çatı örtüsü altında toplanarak iklim koşullarının denetlendiği kamusal bir alanın yaratılması, enerji üretim ve tüketimine duyarlı bir ortam oluşturulması amaçlanmıştır. 5 derecelik eğim ile düz çatıda uygulanan elemanlar hem enerji üretmekte hem de farklı modüllerin bir



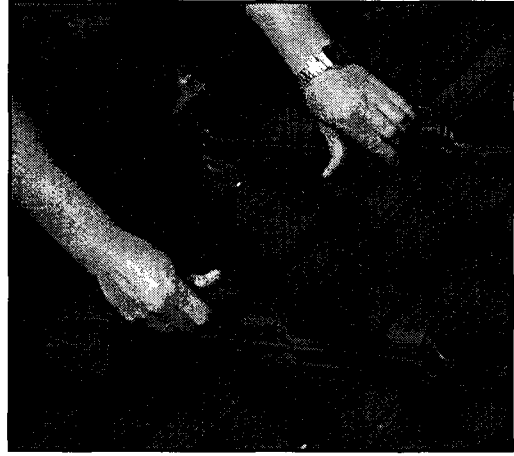
Şekil 3.4. Büro-İstasyon Binası, Freiburg, Almanya [27]



Şekil 3.5. Düz çatıda uygulama örneği [32]



(a)



(b)

Şekil 3.6. a) Sıfır enerjili evler, Freiburg, Almanya [33]

b) PV modüllerin kiremit şeklinde uygulaması [34]

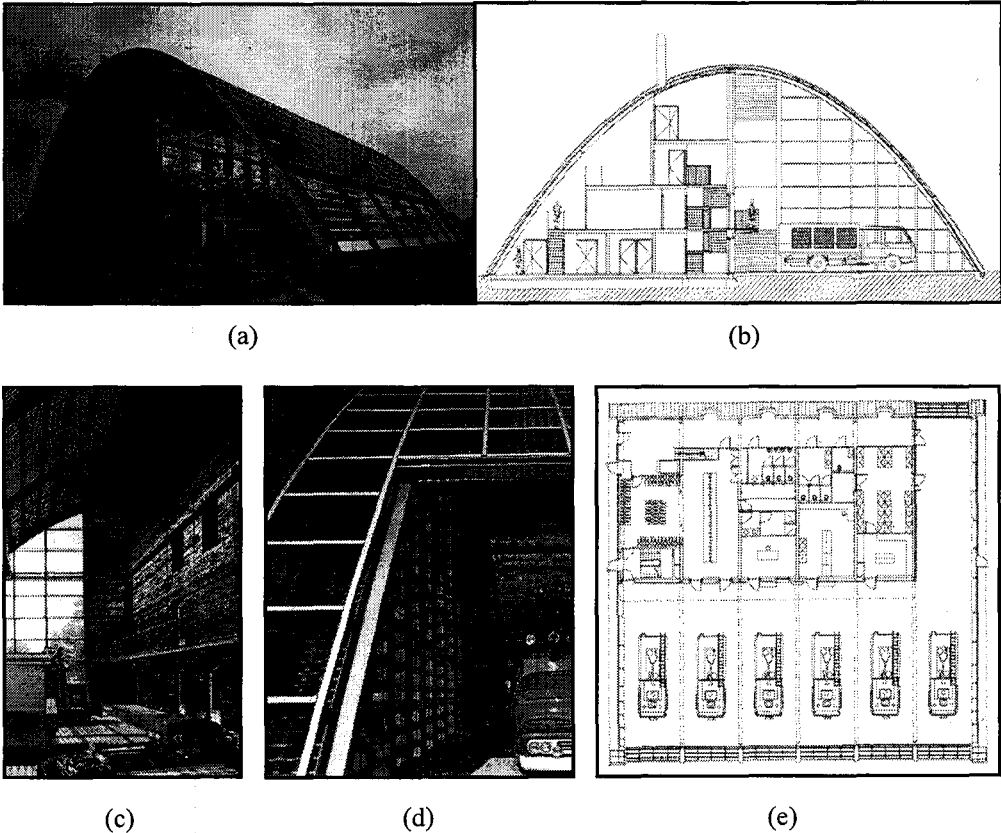
bulut gibi düzenlenmesi ile mekana yer yer gölgeleme yapmaktadırlar. Çatı yüzeyine uygulanan PV alanı 8.400 m^2 olup, 2.904 çatı paneli ve 280 cephe panelinden oluşmakta olan sistemin toplam elektrik gücü 1 MWp olup, yıllık elektrik üretimi 750.000 kWh dolayındadır [35].

Bir diğer PV düz çatı örneği ise "Flora 2002" bahçe ve çevre düzenleme fuarı için 2001 yılı sonunda Amsterdam'da tesis edilmiş olan 2.3 MW gücündeki sera uygulamasıdır. Üç futbol sahası büyüklüğündeki çatıda yer alan modül sayısı 19.383 adettir. Özel olarak geliştirilen modüllerde hücreler arası aralık 4 mm olup, bitkilere yeterince ışığın geçişi sağlanmaktadır. Bu nedenle her modülde 72 hücre yerine 66 hücre düzenlenmiştir [36].

Hannover/Wunstorf Dinlenme Tesisi çatısında özellikle koyu renkli modüller seçilerek mimariye estetik kazandırılması amaçlanmıştır. PV tesisi

güneye yönlendirilmiştir. 16 kW gücündeki tesis 12.000 kWh/yıl enerji üretmekte olup, enerji fazlası şebekeye verilmektedir. Bina konseptinin "enerji" olması nedeniyle istenilen form ve boyutta modül üretimine özen gösterilmiştir. Her modülde 98 güneş hücresi bulunmakta olup, hücrelerin bağlantısı farklı biçimde yapılarak (14 pil paralel) gücün çıkışta 22 ampere ulaşması sağlanmıştır. Bu güç normal modüllerin 5 katıdır. Her 11 modül için 1 invertör kullanılmıştır. Modüllerin ışık geçirgen olması aydınlatma enerjisinden tasarruf sağlamakta ve böylece mekanların aşırı ısınması önlenmektedir [37].

Hollanda'da 2000 yılında inşa edilen itfaiye binası tonoz formlu strüktüre sahiptir ve bina yüzeyinde PV kullanımı güneye yönlenmeyi gerekli kılmıştır (Şekil 3.7). Normal koşullarda standart üretim maliyeti PV uygulaması ile %15'lik bir artış göstermiştir [38]. Binanın alt katı itfaiye araçları için park alanı olarak düzenlenmiş olup üst katta bürolar, depolar ve teknik mekanlar bulunmaktadır.

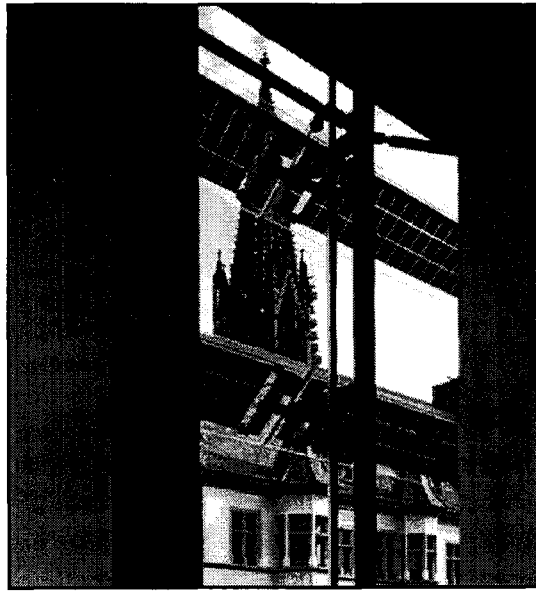


Şekil 3.7. a) Hollanda itfaiye binası genel görünüşü [38]
b) Hollanda itfaiye binası kesiti [38]
c) Hollanda itfaiye binası iç görünüşü [38]
d) Hollanda itfaiye binası giriş bölümü [38]
e) Hollanda itfaiye binası planı [38]

Bina içinde sıcak dönemlerde sera etkisinin önlenmesi için ön ve arka cephelerde açılabilir ve jaluziler ile kontrol edilen kanatlar öngörülmüştür. Geçiş dönemi ve kış döneminde sera etkisi ile enerji kazancı sağlanmaktadır. Bunun için mahya altında biriken sıcak hava bir kanal ve eşanjör aracılığı ile binaya dağıtılmaktadır. Kış döneminde sera etkisi ile zemin katta, taşıtların bulunduğu alanda 12°C sabit sıcaklık sağlanabilmektedir. PV tesisi her biri 85 Watt toplam 288 modülden oluşmaktadır. Toplam güç 24 kW'tır. Alüminyum çerçeveli modüller direkt taşıyıcı sisteme tespit edilmiş olup, binanın tonoz formundan dolayı modüller 30° - 45°lik bir açıya sahiptirler.

3.2.4.3. Güneş Kırıcı Olarak Entegrasyon

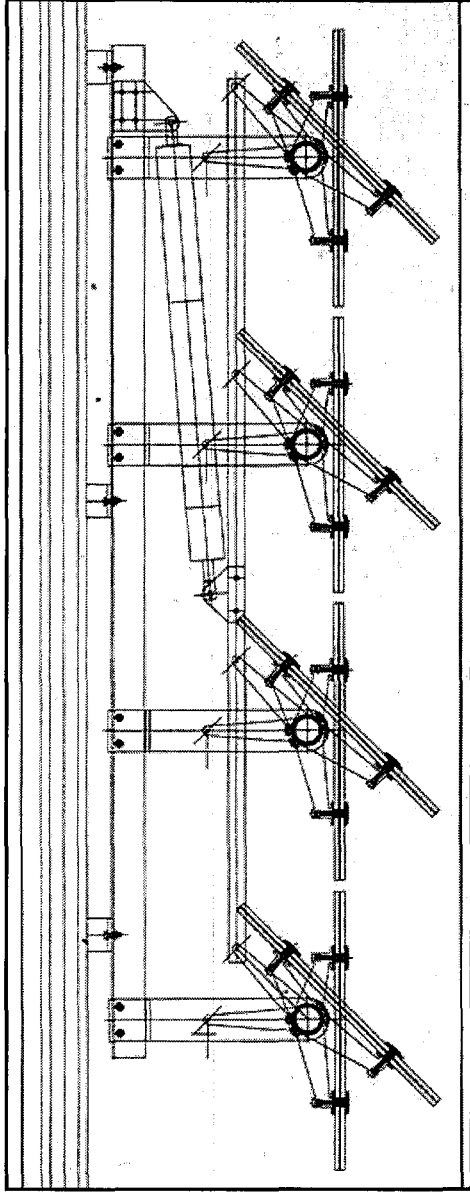
PV modüllerin yapılara entegrasyonunda bir diğer seçenek ise iç mekana gelen güneş ışığının kontrolünü sağlayabilmek amacı ile güneş kırıcı elemanlar olarak uygulanmalarıdır (Şekil 3.8). Güneş kırıcı eleman dışında korkuluk ya da iki cam arasında jaluzi şeklinde de tasarımlara girdiği örnekler de bulunmaktadır [38]. Bu tip uygulamalar özellikle mevcut yapıların uygun cephelerine sonradan ilave edilebilmesi kolaylığını sağlarlar. Ancak daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere gerek mimari estetik ve işlev gerekse de maksimum enerji eldesinin sağlanabilmesi açısından PV modüllerin yapılara entegrasyonunun tasarım aşamasında düşünülmesi kaçınılmazdır.



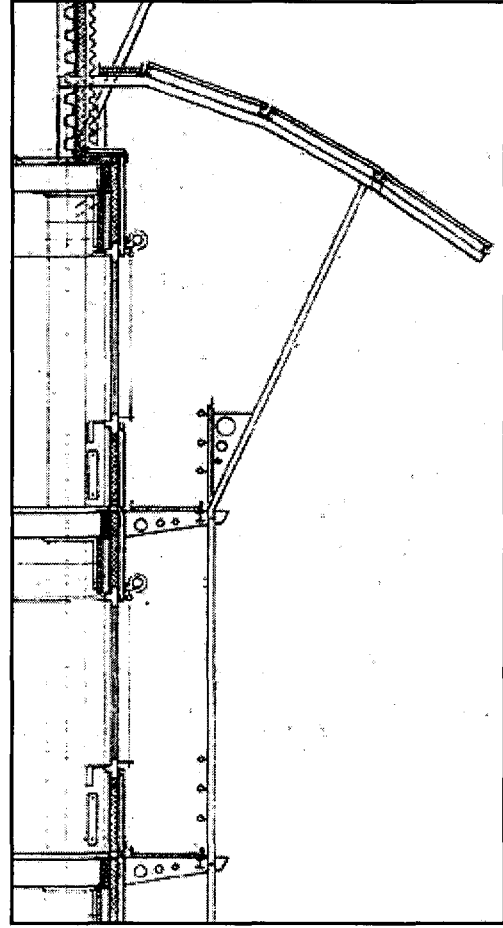
Şekil 3.8. Güneş Kırıcı Eleman (Alışveriş merkezi, Freiburg) [36]

Güneş kırıcı eleman olarak tasarlanan modüller, opak veya yarı saydam olarak geliştirilebileceğinden istenen düzeyde ışık geçirgenliği sağlanabilir. Modüllerin yerleşim açılarının ve yönlerinin, iç mekan beklentileri ile paralellik göstererek konfor koşullarını sağlamak adına iç mekanları güneşten korumanın yanında maksimum ölçüde elektrik enerjisi üretebilmeleri sağladıkları önemli avantajlarıdır.

Friedrich-Alexander-Erlangen Üniversitesi binalarında PV modüller markiz, cephe ve gölgeleme elemanları şeklinde uygulanmıştır [40] (Şekil 3.9a ve b).



(a)



(b)

Şekil 3.9. a) Erlangen Üniversitesi binası güneş kırıcı elemanların sistem detayı [40]
b) Erlangen Üniversitesi binası saçak detayı [40]

Markizlerde toplam gücü 22.5 kW olan 120 cam-cam modüller uygulanmış ve hücreler 2 x 6 mm cam arasına tespit edilerek oluşturulmuştur. Her modülde 154 hücre bulunmakta olup, cephede düzenlenen elemanlarda güneş ışığının içeri girebilmesi için modülün üst kısımları boş bırakılmıştır. Güneş kırıcı olarak, güç kapasitesi 7.27 kW olan, toplam 140 modül cepheye monte edilmiştir [41]. Bu uygulama binaya entegre PV modüller konusundaki bir yarışmada birincilik ödülü almıştır [40]. Güneş kırıcı eleman olarak binalara entegre edilen PV panel uygulamalarına başka örnek ise çok işlevli bir cephe tasarımına sahip olan İsviçre'deki Scheidegger Metalbau binasıdır. 1992 yılında yapımı tamamlanan binada 18 kWp gücünde güneş kırıcı elemanlardan oluşan bir PV sisteme sahiptir.

Çeşitli ülkelerde cephede, çatıda ve güneş kırıcı eleman olarak PV modüllerin binalarda kullanımına ait örnekler Ek-1'de detaylı olarak verilmiştir.

Gerek düz gerekse eğimli PV uygulamalarında dikkate alınması gereken tasarım kriterleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir [28,42].

- Güneş ışınlarının olabildiğince uzun süreli ve etkili olmaları, fotovoltaik elektrik enerjisi üretiminin kaçınılmaz bir gereğidir. Düşey veya eğimli yüzeylerde optimum yön güneydoğu ile güneybatı arasındadır.
- PV modüller için en uygun ışınım açısının saptanması gerekmektedir. Bu açı bulunulan yörenin enlem açısı olarak kabul edilir. Ancak düşey cephelerde uygulanması zor olan bu açı, sadece çatı ışıklıkları ve markizlerde söz konusu olabilir.
- Çatıda bulunan baca, anten türü donanımlar gölgeleme nedeniyle fotovoltaik verimin düşmesine neden olabilirler, bu nedenle her türlü donanımın kuzey yönünde eğimli çatı üzerinde yer almaları uygundur. Dolayısıyla çatı eğiminin kuzey ve güney yönü doğrultusunda düzenlemesi kaçınılmazdır. Bunların dışında ağaç, bitki ve komşu binalardan gelecek gölgelemelerin de önlenmesi gerekir.
- Eleman yüzeylerinin kirlenmesi durumunda verim düşeceğinden, yüzeylerin yağmur suyu ile temizlenmesine olanak verilecek şekilde düzenlenmesi gerekmektedir, eğimli yüzeylerde açının $> 20^\circ$ olması kaçınılmazdır.

- Gerek çatı, gerekse cephelerde modüllerin havalandırılması, sıcaklık artışı sonucu verimin düşmesi nedeniyle gerekebilir. Ancak modüllerde ortaya çıkan ısı enerjisinin PV modüllerin, toplaç entegrasyonu sonucu mekanların iklimlendirilmesinde veya sıcak su eldesine katkıda bulunması olanaklıdır. Böylece PV hibrid sistemler aracılığı ile modüllerin soğutulması sonucu verim düşüşü de engellenebilecektir.

4. ÖRNEK ÇALIŞMA

Bu bölümde Eskişehir İli iklim koşullarında PV modüllerin verimli olarak uygulanabilirliğini irdelemek amacı ile aynı plan tipine sahip üç farklı model evinde PV modül uygulaması sanal olarak gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan üç farklı model evinin farklı azimut açılarında ortaya çıkan kazançları ve sonuçlar grafiklerle ifade edilmiştir. Amaç, yapılardaki enerji gereksinimlerinin hangi oranlarda PV modüller ile karşılanabileceğinin hesaplanması en uygun yön ve eğim açısının tespit edilmesi yanında PV modüllerin mimariye uygulanabilme olanaklarının belirlenebilmesidir.

Bölüm içerisindeki tüm hesaplamalar ©PVSYST 1.1 adlı program desteği ile gerçekleştirilmiştir. Program ile ilgili detaylı açıklamalar EK-2’de verilmiştir. Programa girdi olarak yüklenen meteorolojik değerler Bölüm 4.1’de, model evi ve kurulan PV sisteme ilişkin ayrıntılı bilgi Bölüm 4.2’de verilmiştir. Bölüm 4.6’da üç farklı seçeneğin değerlendirmesi yapılmıştır.

4.1. Eskişehir Bölgesinin Coğrafi Konumu ve Meteorolojik Özellikleri

Enlem: 39.47

Boylam: 30.34

Rakım: 785 m

Güneş Kuşağı: 2. Derece

İklim: Karasal İklim

1. Derece Hakim Rüzgar Yönü: Batı

2. Derece Hakim Rüzgar Yönü: Doğu

3. Derece Hakim Rüzgar Yönü: Kuzey-Batı

Eskişehir’de yataya gelen toplam, yayılı ve direkt ışıınım miktarları Çizelge 4.1’de, sıcaklık, nem, rüzgar yönü ve rüzgar hızı değerleri ise Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu değerlerden ışıınım miktarları son 20 yılın, sıcaklık son 62 yılın, nem son 50 yılın, rüzgar yönü ve rüzgar hızı ise son 58 yılın ortalama değerleridir [43].

Çizelge 4.1. Eskişehir ili ortalama yataya gelen ışınım miktarları (kWh/m²) [43]

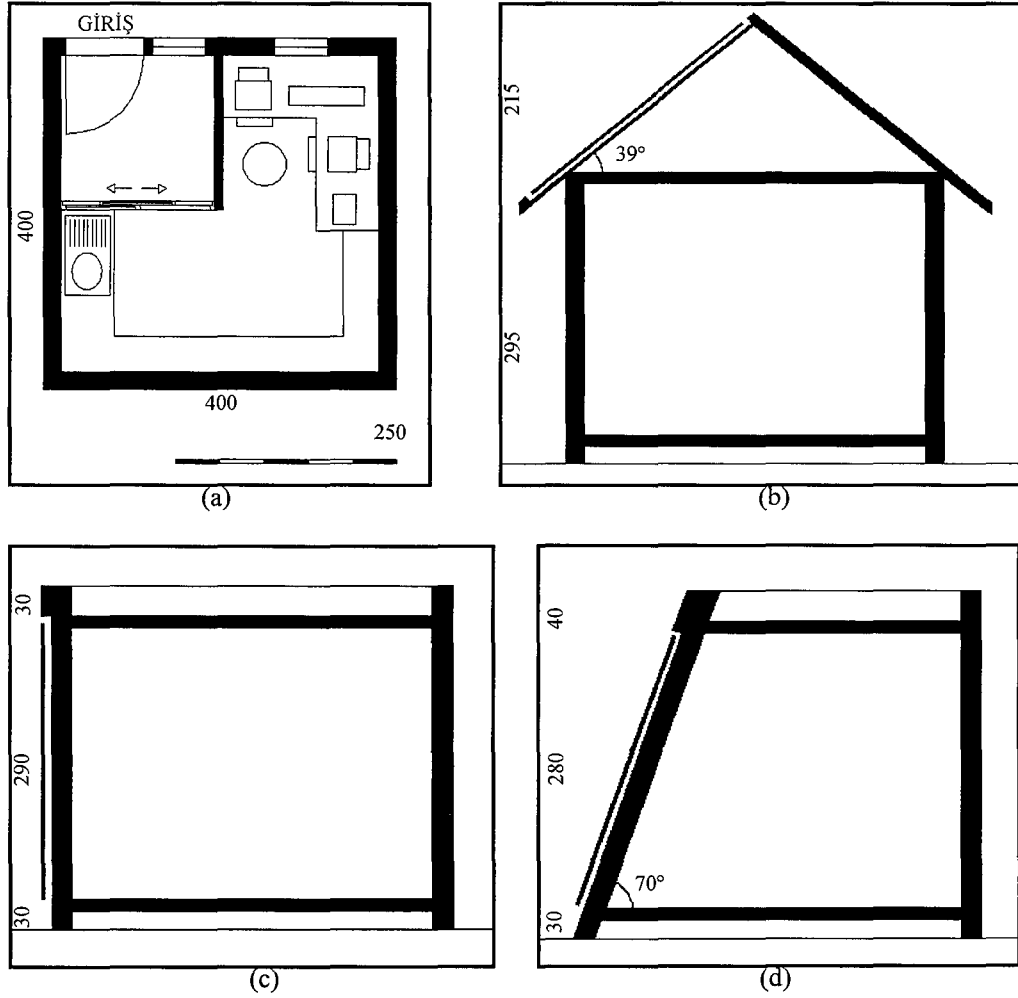
AYLAR	TOPLAM	YAYILI	DIREKT
Ocak	58	29	29
Şubat	76	35	41
Mart	124	50	74
Nisan	163	58	105
Mayıs	206	64	142
Haziran	227	58	169
Temmuz	243	51	192
Ağustos	220	46	174
Eylül	167	42	125
Ekim	119	38	81
Kasım	76	29	47
Aralık	51	25	26
YILLIK	1725	525	1200

Çizelge 4.2. Eskişehir ili ortalama sıcaklık, nem, rüzgar yönü ve hızı değerleri [43]

AYLAR	SICAKLIK (°C)	NEM (%)	RÜZGAR HIZI (m/sn)	RÜZGAR YÖNÜ
Ocak	-1.5	82	2.8	90
Şubat	1.3	78	2.8	90
Mart	4.9	71	3.0	270
Nisan	10.4	64	3.0	270
Mayıs	15.1	64	2.6	270
Haziran	18.8	60	2.6	270
Temmuz	21.4	55	3.0	270
Ağustos	21.2	56	2.9	270
Eylül	17.1	60	2.5	270
Ekim	12.0	68	2.0	270
Kasım	6.7	76	2.1	90
Aralık	2.2	82	2.6	90
YILLIK	10.8	68	2.7	187

4.2. Model Evi Özellikleri

Model evinin tefrişli planı Şekil 4.1'de verilmiştir. 400 cm x 400 cm boyutlarında kare planlı model evinin duvarları brüt beton olarak tasarlanmıştır. Model evinde bir görevlinin çalışacağı öngörülmüş olup, gerekli işlevlerin yerine getirilebileceği şekilde tefriş elemanları ile donatılmıştır. PV modüllerin entegre edileceği duvarda gerekli sistem donanımlarının yerleştirilebilmesi için 40 cm genişliğinde bir dolap tasarlanmıştır. Model evinin plan tipi değiştirilmeden PV modüllerin dik cepheye, eğik cepheye ve çatıya entegre edildikleri üç farklı seçenek oluşturulmuştur. Bu seçeneklerden dik cephe uygulaması Bölüm 4.3'de, eğik cephe uygulaması Bölüm 4.4' de ve çatı uygulaması Bölüm 4.5'de ayrıntılı olarak incelenmiştir.



Şekil 4.1. a) Model evi planı
b) Model 3 kesiti
c) Model 1 kesiti
d) Model 2 kesiti

4.2.1. Model Evinin Toplam Elektrik Enerjisi Gereksinimi

Tasarlanmış olan üç farklı model evinin plan tipleri ve buna bağlı olarak mekan düzenlemeleri ve tefrişleri birbirinden farksız olarak düzenlenmiştir. İçeride ve dışarıda kullanılan aydınlatma elemanları ve bilgisayar donanımı model evlerinin enerji tüketimini oluşturmaktadır. Model evi enerji tüketiminin hangi oranlarda tasarlanan PV sistem ile karşılanabileceğini belirleyebilmek için, toplam enerji tüketiminin hesaplanması gereklidir. Hesaplamalar yapılırken model evinde bir görevlinin çalışacağı, çalışma saatlerinin sabah 9:00 ile akşam 18:00 olduğu öngörülmüştür. Model evinde elektrik enerjisi ile çalışan aletler, bu elemanların ortalama çalışma süreleri, watt cinsinden ortalama güç değerleri ve bunlara bağlı olarak model evinin günlük enerji tüketimi Çizelge 4.3’de verilmektedir. Elektrikli aletlerin ortalama güç değerleri tanıtım kitapçıklarından alınan bilgilere dayanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Model evinin günlük elektrik enerjisi tüketimi

	Ortalama Güç Değerleri	Ortalama Kullanım Sıklığı (saat)	Günlük Enerji Tüketimi (kW-saat)
Bilgisayar:	70 W	24	1,68
Bilgisayar:	70 W	Günde 10 saat	0,7
Yazıcı:	20 W	Günde 2 saat	0,04
Buzdolabı:	132 W	Günde 12 saat	1,584
Su Isıtıcı:	1200 W	Günde 30 Dakika	0,6
Akkor Lamba (2 Adet):	120 W	Günde 6 Saat	0,72
Sokak Aydınlatması:	100 W	Günde 12 Saat	1,2
TOPLAM:			6,524

4.2.2. PV-Sistemin Özellikleri

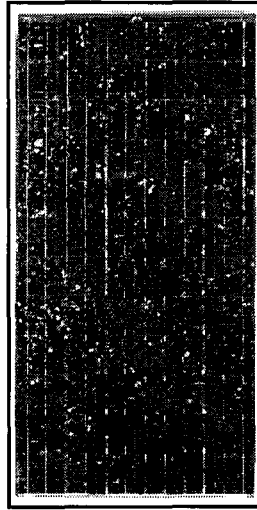
PV sistem veriminin belirlenmesinde meteorolojik veriler yanında, kullanılan PV modül ve diğer sistem elemanlarının özellikleri, yerleşim açısı ve yönü ile birlikte etkin rol oynar. Bu modellemede seçilen sistem gücü 1.2 kW olarak belirlenmiştir. Bu değer 10 adet 120 watt gücünde PV modül ile sağlanabilmektedir. Sistemde bir adet invertör ve iki adet akümülatör kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen sistem elemanları dışında, özel elektronik sistemler ve konvansiyonel şalt elemanları gibi sistemin kontrolünü ve güvenliğini sağlayacak olan ölçme, kontrol ve korunma aygıtları da sistem içerisinde düşünülmelidir.

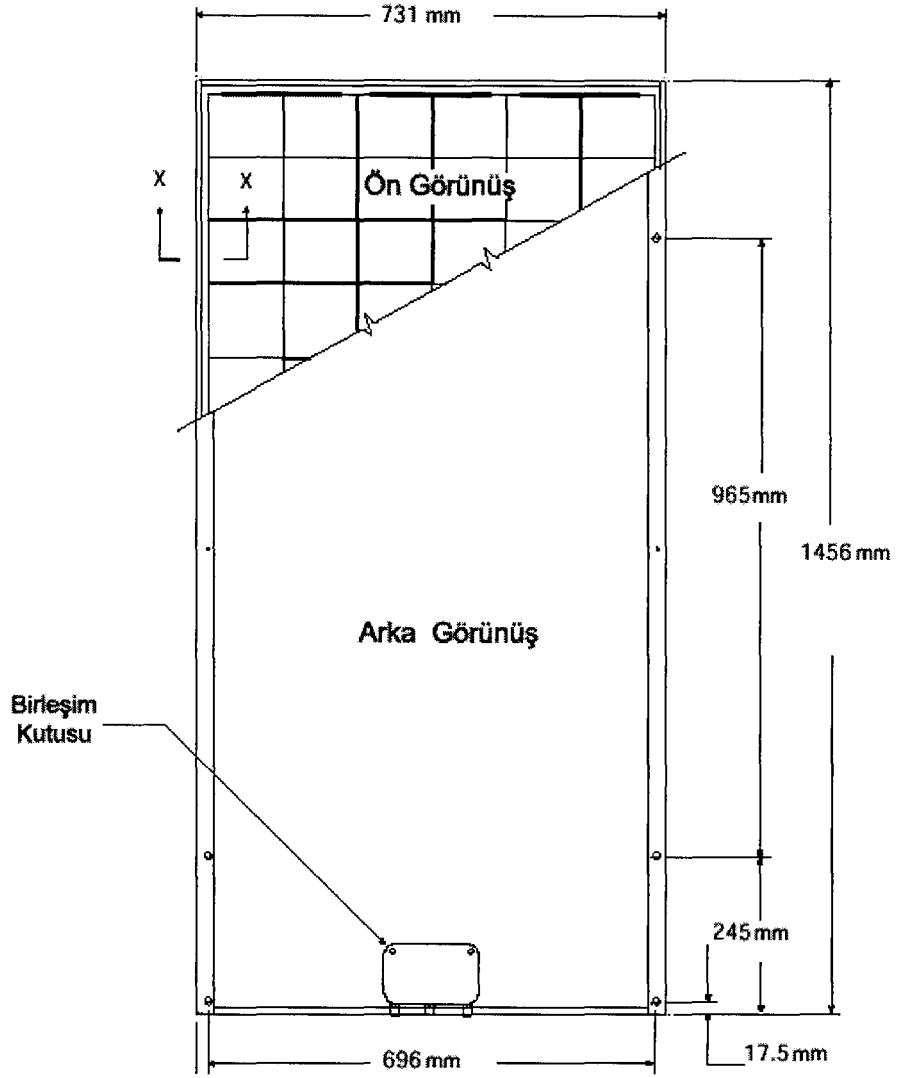
Model evi seçeneklerinde kullanılan PV modülün teknik özellikleri Çizelge 4.4 verilmiştir. Şekil 4.2’de modülün ön ve arka görünüşleri, modül kesiti ve bağlantı detayları ise Şekil 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.4. Model evinde kullanılan PV modülün teknik özellikleri [44]

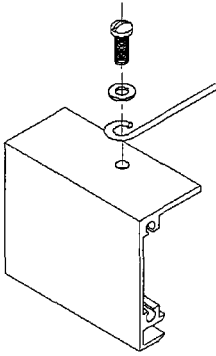
Modeli:	BP SX 120
Maksimum Güç:	120 Watt
Seri Güneş Hücre Sayısı:	72
Ömrü:	25 yıl
Teknoloji:	Polikristal
Ağırlığı:	12.8 kg



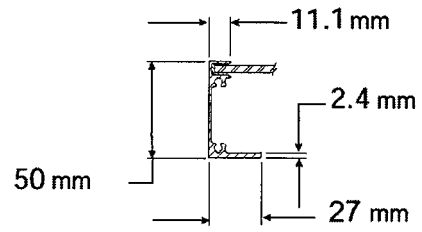
Şekil 4.2. BP SX 120 modül görünüşü [44]



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.3. a) BP SX 120 ön ve arka görünüşü ve boyutları [44]

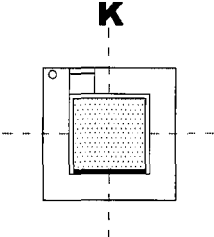
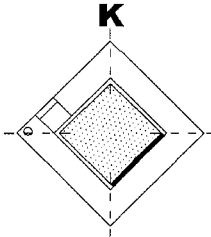
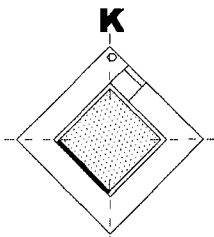
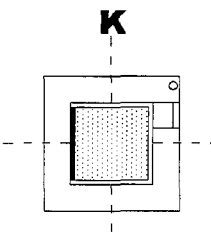
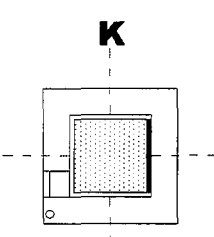
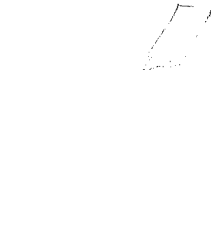
b) BP SX 120 Bağlantı detayı [44]

c) BP SX 120 X-X kesiti [44]

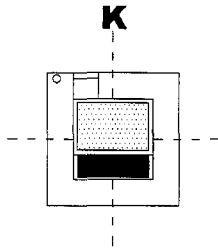
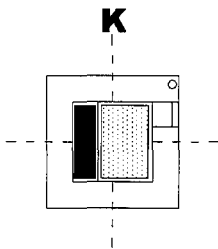
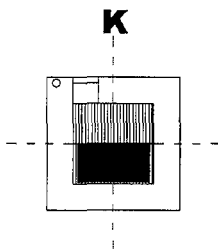
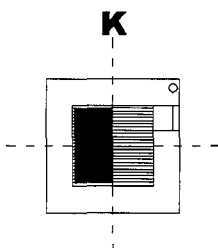
4.2.3. Model Evi Uygulamaları

PV modüllerin yönler göre sağladıkları kazancın belirlenebilmesi amacıyla üç model evi, farklı yönlendirilerek, toplam 11 ayrı seçenek oluşturulacak şekilde incelenmiştir. Her bir model evinde uygulanan PV modüllerin değişik azimut ve panel açılara sahip olmaları, genel sonuçları etkilemekte, dolayısıyla çalışmada en önemli verilerden birini oluşturmaktadır. Çizelge 4.5’de 11 ayrı yönlenme seçeneği sunulmuştur. Model 1, beş farklı yönde, Model 2 ve 3 ise üç farklı yönde incelenmiştir. Model 1’de panel açısı 90° olarak sabit tutulurken, model evi güney, güneybatı, güneydoğu, batı ve doğuya yönlendirilmiştir. Model 2’de 70° , model 3’de ise 39° sabit açığa sahip olan modüller, güney, güneybatı ve batıya yönlendirilmiştir.

Çizelge 4.5. Üç farklı model evinin yönlenme seçenekleri

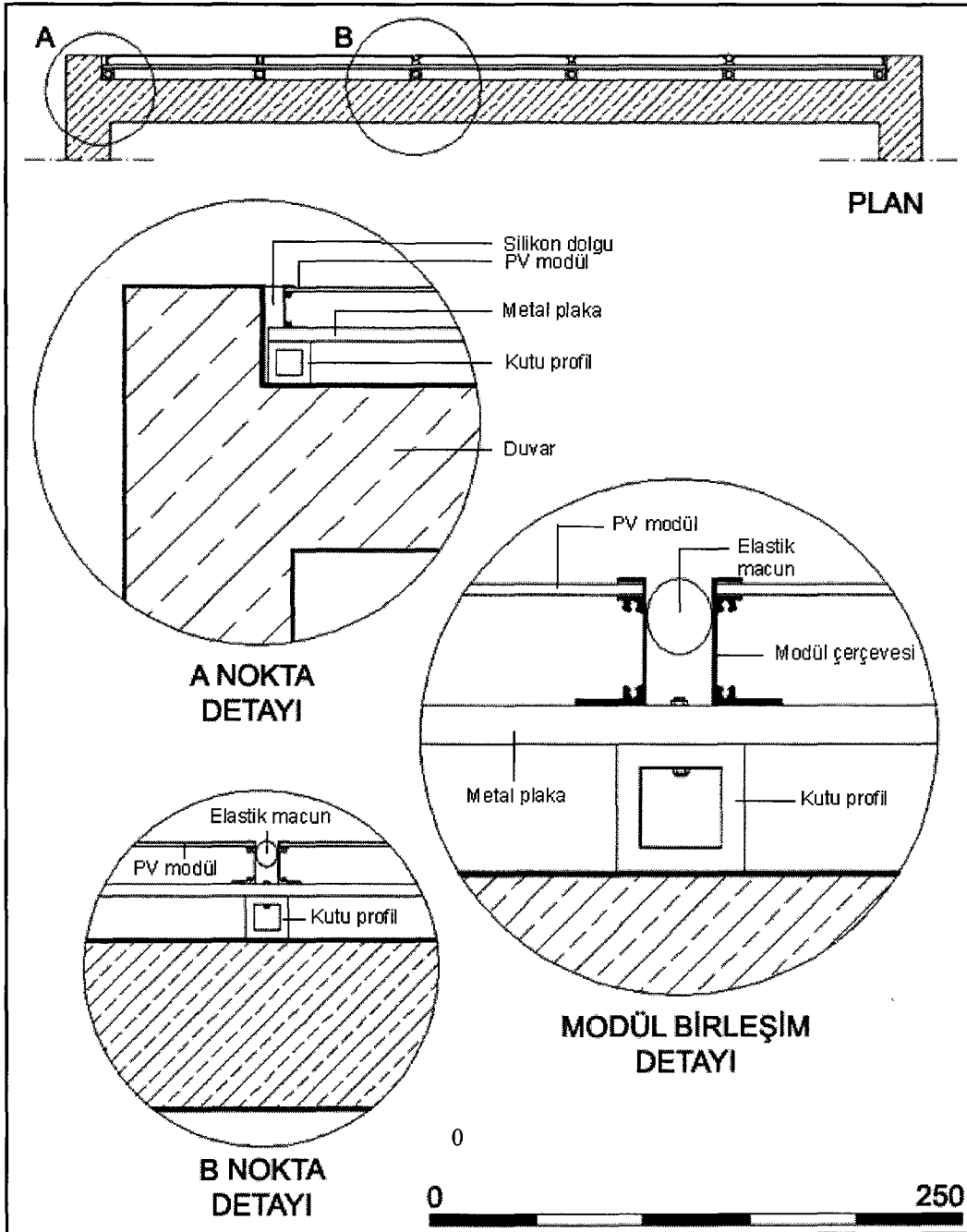
MODEL 1 – (PV Modüllerinin Dik Cephede Uygulaması)			
A		GÜNEY	B
		Azimut: 0°	
		Panel Açısı: 90°	
C		GÜNEYBATI	D
		Azimut: 45°	
		Panel Açısı: 90°	
E		DOĞU	
		Azimut: -90°	
		Panel Açısı: 90°	

Çizelge 4.5. (Devam) Üç farklı model evinin yönlenme seçenekleri

MODEL 2 - (PV Modüllerinin Eğik Cephede Uygulaması)			
A		GÜNEY	B
	Azimet: 0°	GÜNEYBATI	
	Panel Açısı: 70°	Azimet: 45°	
C		BATI	
	Azimet: 90°	Panel Açısı: 70°	
MODEL 3 - (PV Modüllerinin Çatıda Uygulaması)			
A		GÜNEY	B
	Azimet: 0°	GÜNEYBATI	
	Panel Açısı: 39°	Azimet: 45°	
C		BATI	
	Azimet: 90°	Panel Açısı: 39°	

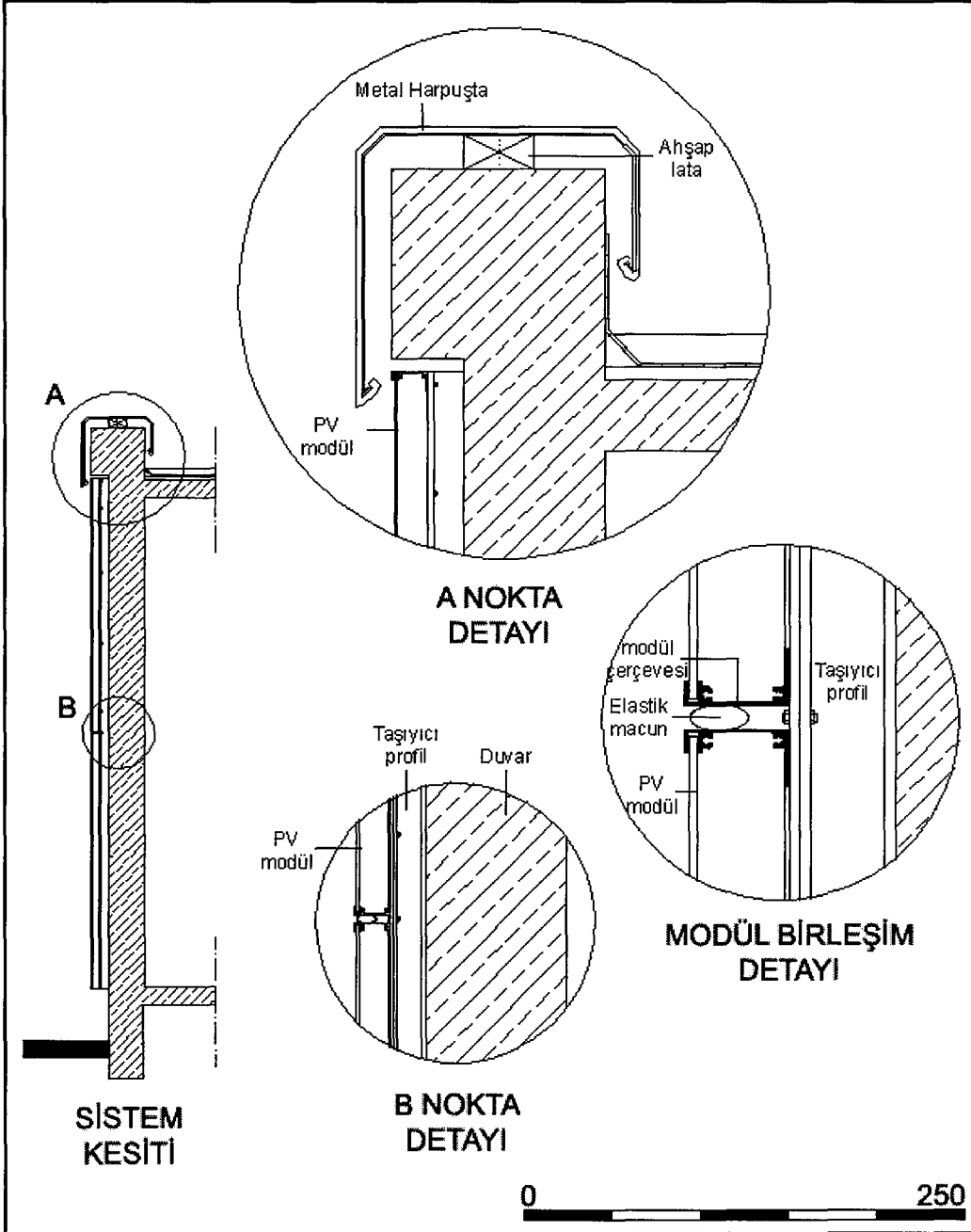
4.3. Model 1 – PV Modüllerinin Dik Cephede Uygulanması

1 numaralı model evinin tüm cepheleri 90° açı ile dik olarak tasarlanmış ve PV modüller dik cepheye yerleştirilmiştir. Model evinin cephelerinin dik olarak tasarlanmış olması, iç mekanda maksimum kullanım alanı oluşturulması ve yapım kolaylığı açısından kolaylık sağlamaktadır. 1 numaralı model evinin PV modüllerin entegre edildiği cephesinin sistem detayı planı ve nokta detayları Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. 1 numaralı model evinin sistem ve nokta detayları

1 numaralı model evinin Şekil 4.5’de verilen sistem kesiti ve buna bağlı A ve B nokta detaylarında modüllerin birbirleriyle bağlantıları ve yapının cephesine entegrasyon teknikleri görülmektedir. Çerçevesiz PV modüllerin cepheye uygulanmasında aşırı ısınma sorununa karşı havalandırılması sağlanmıştır. Böylece ısınmaya bağlı olarak verimdeki düşüşün engellenmesine çalışılmıştır. Model evi çatı bitiş detayı metal esaslı malzeme kullanılarak çözülmüştür.



Şekil 4.5. 1 numaralı model evi sistem kesiti ve nokta detayları

4.3.1. Model 1-A Güneye Yönlenme

Model Kodu: 1-A

Modül Yönlenmesi: Güney (Azimut:0°)

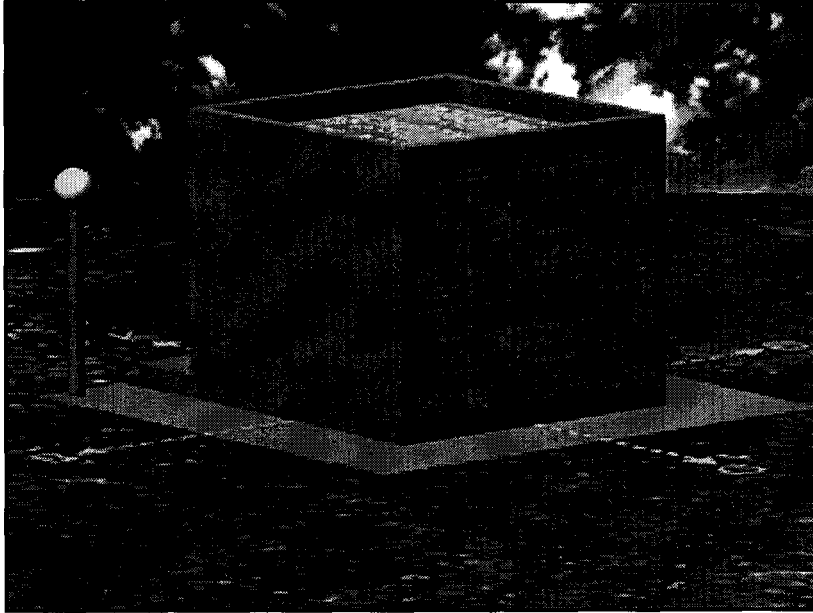
Modül Açısı: 90

Modül Sayısı: 10

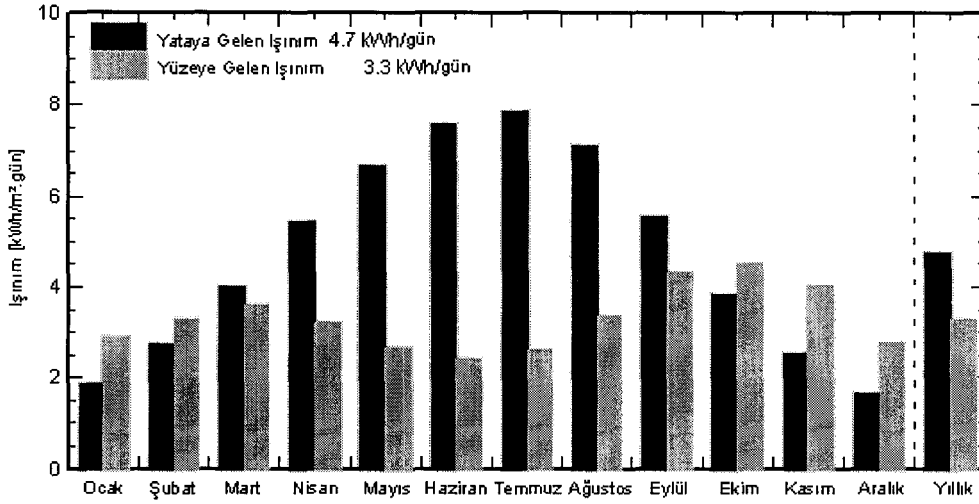
Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

1 numaralı modelin perspektif çizimi Şekil 4.6’da verilmiştir. Bu model evinde fotovoltaik modüllerin uygulandığı 90 derecelik düşey cephesi, güneye yönlendirilmiştir. Şekil 4.7’de model evinin, yataya ve yüzeye gelen ışınlm miktarları her ay için kWh/m²gün biriminde, grafiklerde ifade edilmiştir. Burada görüldüğü üzere belirtilen koşullarda yatayda metrekaireye gelen en yüksek ışınlm Temmuz ayında gerçekleşirken, modül yüzeyinde metrekaire başına hesaplanan maksimum ışınlm miktarı Ekim ayında gerçekleşmektedir. Aynı şekilde yataya gelen minimum ışınlm miktarı Aralık ayında, modül yüzeyine gelen minimum ışınlm miktarı ise Haziran ayında gerçekleşmektedir.



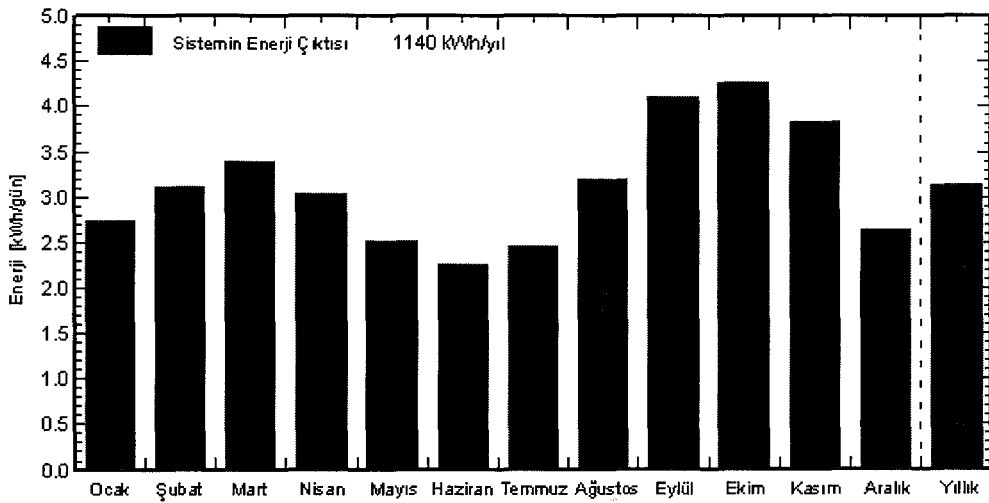
Şekil 4.6. 1-A kodlu model evi perspektifi



Şekil 4.7. Yataya ve yüzeye gelen ışıının miktarları (1-A)

Şekil 4.8’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak grafikte görülmektedir. Sistemde, yüzeye gelen ışıının miktarına da bağılı olarak, en yüksek düzeyde enerji, Ekim ayında elde edilmektedir. Sistemin en düşük enerji çıktısı yine yüzeye gelen ışıının miktarının da minimum olduğı Haziran ayında gerçekleşmektedir.

Çizelge 4.6’da tüm bu grafiksel anlatımların sayısal sonuçları ifade edilmiştir. Sayısal, değerlere bakıldığında, sistemin bir yıl boyunca günlük ortalama enerji çıktısı 3.12 kWh/gün, yıllık toplam enerji çıktı miktarı ise 1140 kWh/yıl olarak görülmektedir.



Şekil 4.8. Sistemin enerji çıktısı (1-A)

Çizelge 4.6. Ortalama aylık ve yıllık ışınlm ve enerji miktarları (1-A)

	Yataya Gelen Işınım KWh/m ² gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m ² gün	Sistemin Günlük Enerji Çıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıktısı kWh
Ocak	1.87	2.88	2.73	85
Şubat	2.71	3.28	3.11s	87
Mart	4.00	3.59	3.39	105
Nisan	5.43	3.20	3.02	91
Mayıs	6.64	2.66	2.52	78
Haziran	7.57	2.39	2.26	68
Temmuz	7.84	2.59	2.45	76
Ağustos	7.10	3.38	3.20	99
Eylül	5.57	4.33	4.10	123
Ekim	3.84	4.51	4.26	132
Kasım	2.53	4.05	3.83	115
Aralık	1.65	2.79	2.64	82
Yıllık	4.74	3.30	3.12	1140

Çizelge 4.7’de veriler, parametreler ve bunlara bağılı enerji üretim değerleri ile maliyetleri belirtilmiştir. Sonuç olarak, bu model çalışmasında, Eskişehir’de 90 derecelik eğim ile düşey bir cepheye yerleştirilen ve güneye yönlendirilen 10 adet 120 watt gücünde polikristal PV modül ile kurulan 1.2 kW gücünde bir sistemin sağladığı yıllık kazancın 1.1 MWh olduğu bulunmuştur. Modül fiyatının watt başına 4.5 EUR olduğu varsayıldığında sistemin toplam maliyetinin 9176 EUR, enerji birim maliyetinin ise 0.35 EUR/kWh olduğu hesaplanmıştır. Ortaya çıkan bu sistem maliyetini oluşturan faktörler ise modül maliyeti dışında, işçilik, invertör ve diğer kablolama giderleri, ulaşım ve montaj giderleri olarak belirlenmiş ve toplam maliyet hesaplarına katılmıştır.

Çizelge 4.7. Veriler, parametreler ve sonuçlar (1-A)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 90°	Azimut 0°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	1.1 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.35 EUR/kWh

4.3.2. Model 1-B Güneydoğuya Yönlenme

Model Kodu: 1-B

Modül Yönlenmesi: Güneydoğu (Azimut: -45°)

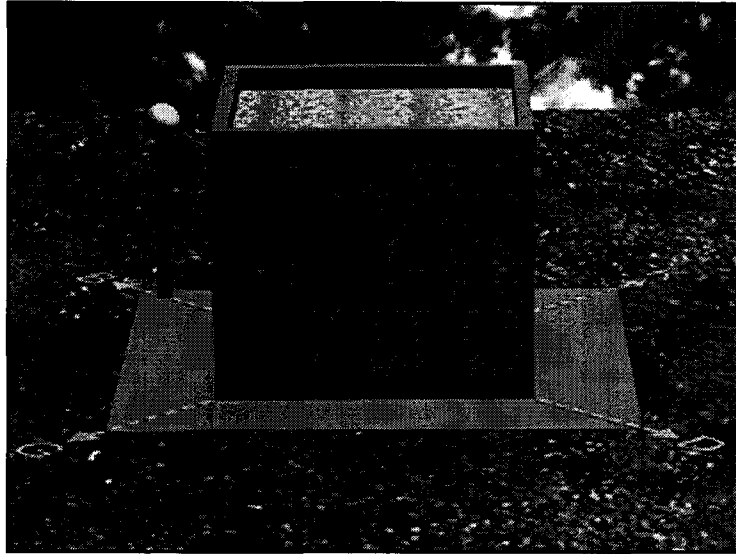
Modül Açısı: 90

Modül Sayısı: 10

Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

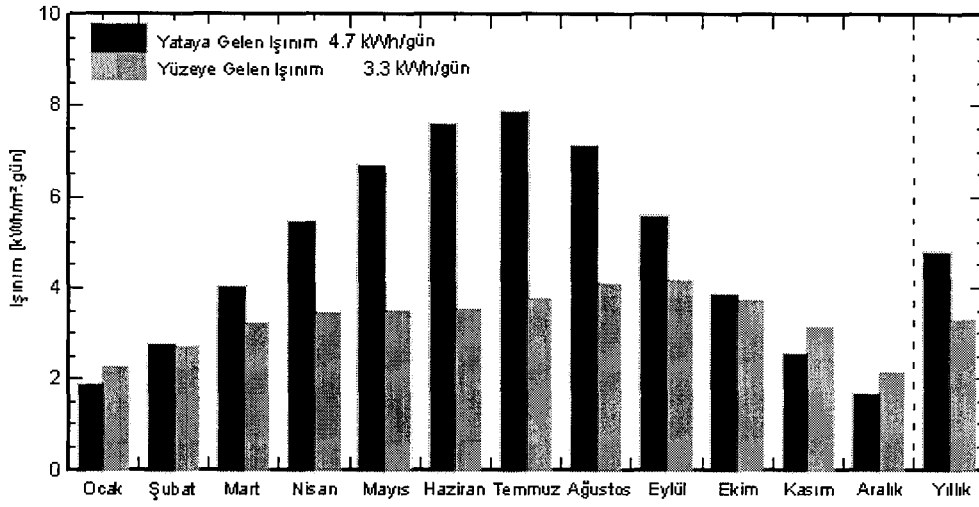
1-B kodlu modelin perspektifi Şekil 4.9’da verilmiştir. Çizelge 4.8’de veriler, parametreler ve bunlara bağlı enerji üretim değerleri ile maliyetleri, Şekil 4.10’da ise yataya ve modül yüzeyine gelen ışıınım değerlerinin aylık değişimleri verilmiştir. Şekil 4.11’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak verilmiş olup, bunlara ait sayısal değerler Çizelge 4.9’da detaylı olarak görülmektedir.



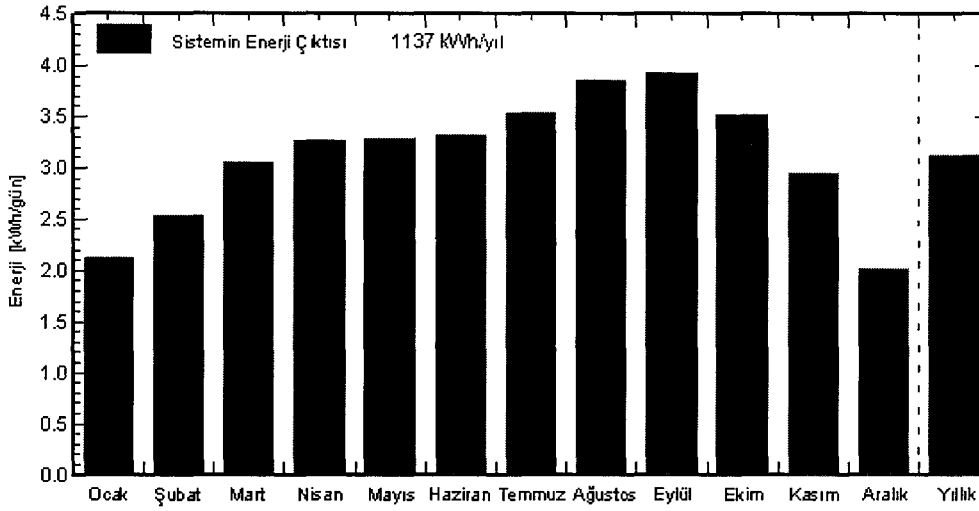
Şekil 4.9. 1-B kodlu model evi perspektifi

Çizelge 4.8. Veriler, parametreler ve sonuçlar (1-B)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 90°	Azimut -45°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	1.1 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.35 EUR/kWh



Şekil 4.10. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (1-B)



Şekil 4.11. Sistemin enerji ç ıktısı (1-B)

Çizelge 4.9. Ortalama aylık ve yıllık ışı nım ve enerji miktarları (1-B)

	Yataya Gelen Iş ınım kWh/m ² gün	Yüzeye Gelen Iş ınım kWh/m ² gün	Sistemin Günlük Enerji Ç ıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Ç ıktısı kWh
Ocak	1.87	2.23	2.11	66
Şubat	2.71	2.67	2.53	71
Mart	4.00	3.22	3.05	94
Nisan	5.43	3.46	3.27	98
Mayıs	6.64	3.47	3.28	102
Haziran	7.57	3.50	3.32	99
Temmuz	7.84	3.74	3.54	110
Ağustos	7.10	4.08	3.86	120
Eylül	5.57	4.16	3.94	118
Ekim	3.84	3.72	3.52	109
Kasım	2.53	3.11	2.94	88
Aralık	1.65	2.13	2.01	62
Yıllık	4.74	3.29	3.12	1137

4.3.3. Model 1-C Güneybatıya Yönlenme

Model Kodu: 1-C

Modül Yönlenmesi: Güneybatı (Azimut: 45°)

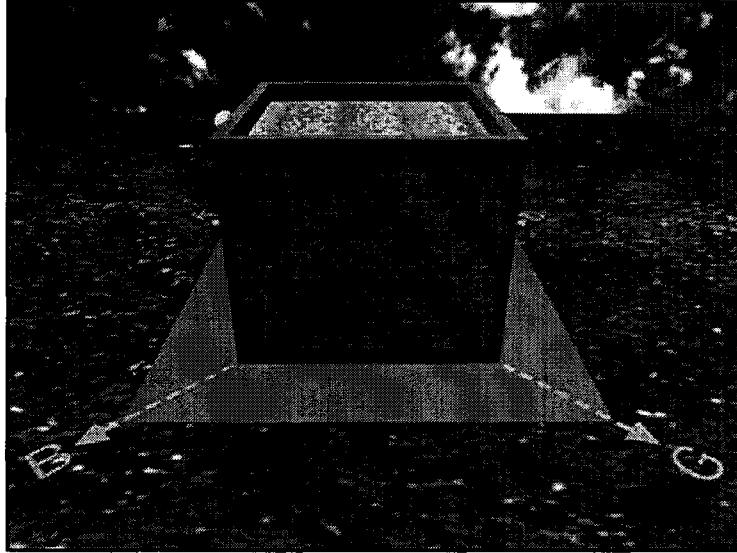
Modül Açısı: 90

Modül Sayısı: 10

Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

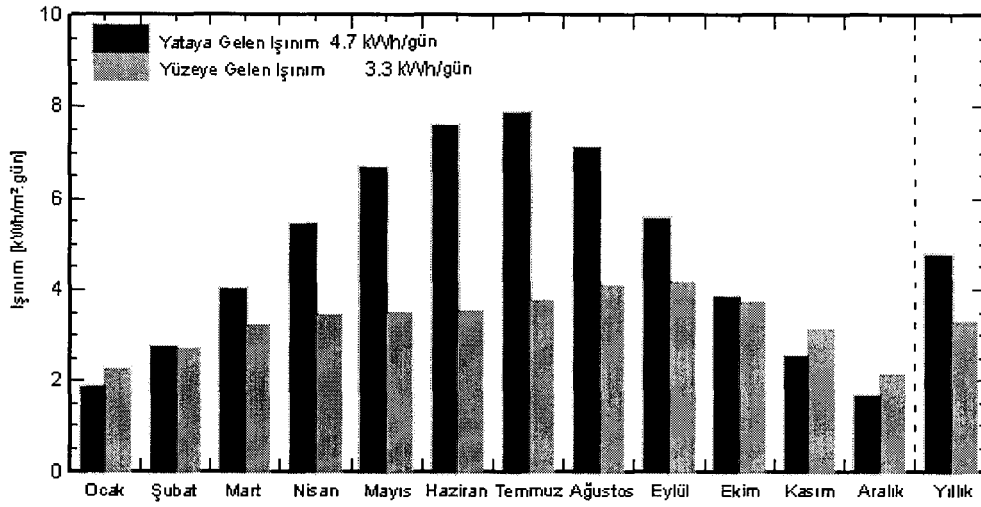
1-C kodlu modelin perspektif çizimi Şekil 4.12’de verilmiştir. Çizelge 4.10’da veri girişleri, parametreler ve bunlara bağlı enerji üretim değerleri ile maliyetleri, Şekil 4.13’de ise yataya ve yüzeye gelen ışıınım değerlerinin aylık değişimleri verilmiştir. Şekil 4.14’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak verilmiş olup, bunlara ait sayısal değerler Çizelge 4.11’de detaylı olarak görülmektedir.



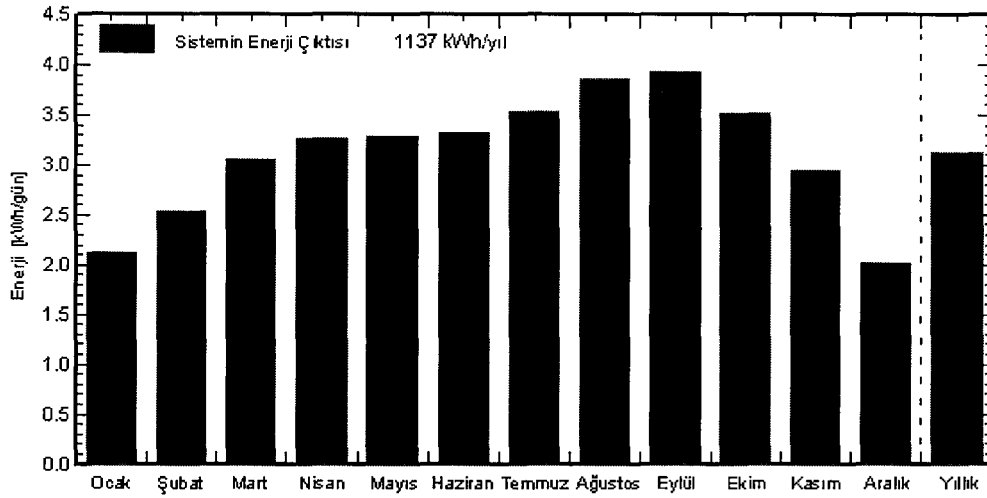
Şekil 4.12. 1-C kodlu model evi perspektifi

Çizelge 4.10. Veriler parametreler ve sonuçlar (1-C)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 90°	Azimut 45°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	1.1 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.35 EUR/kWh



Şekil 4.13. Yataya ve yüzeye gelen ışıınım miktarları (1-C)



Şekil 4.14. Sistemin enerji çıktısı (1-C)

Çizelge 4.11. Ortalama aylık ve yıllık ışıınım ve enerji miktarları (1-C)

	Yataya Gelen Işınım kWh/m ² gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m ² gün	Sistemin Günlük Enerji Çıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıktısı kWh
Ocak	1.87	2.23	2.11	66
Şubat	2.71	2.67	2.53	71
Mart	4.00	3.22	3.05	94
Nisan	5.43	3.46	3.27	98
Mayıs	6.64	3.47	3.28	102
Haziran	7.57	3.50	3.32	99
Temmuz	7.84	3.74	3.54	110
Ağustos	7.10	4.08	3.86	120
Eylül	5.57	4.16	3.94	118
Ekim	3.84	3.72	3.52	109
Kasım	2.53	3.11	2.94	88
Aralık	1.65	2.13	2.01	62
Yıllık	4.74	3.29	3.12	1137

4.3.4. Model 1-D Batıya Yönlenme

Model Kodu: 1-D

Modül Yönlenmesi: Batı (Azimut: 90°)

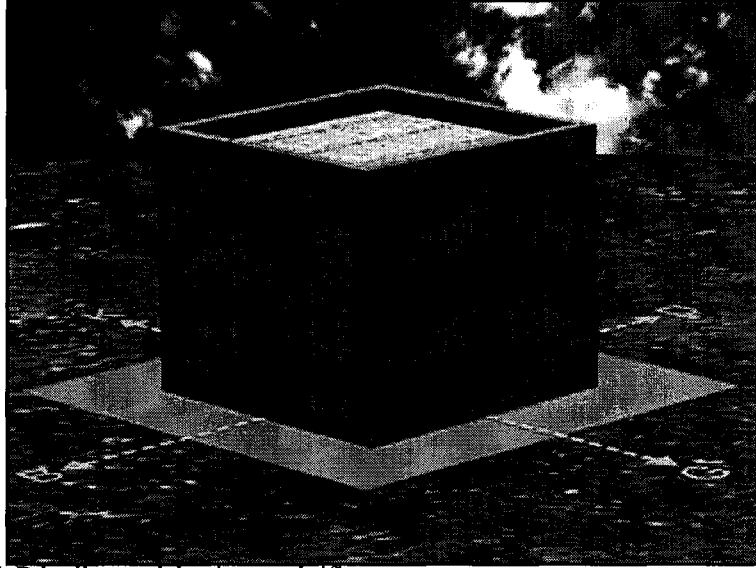
Modül Açısı: 90

Modül Sayısı: 10

Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

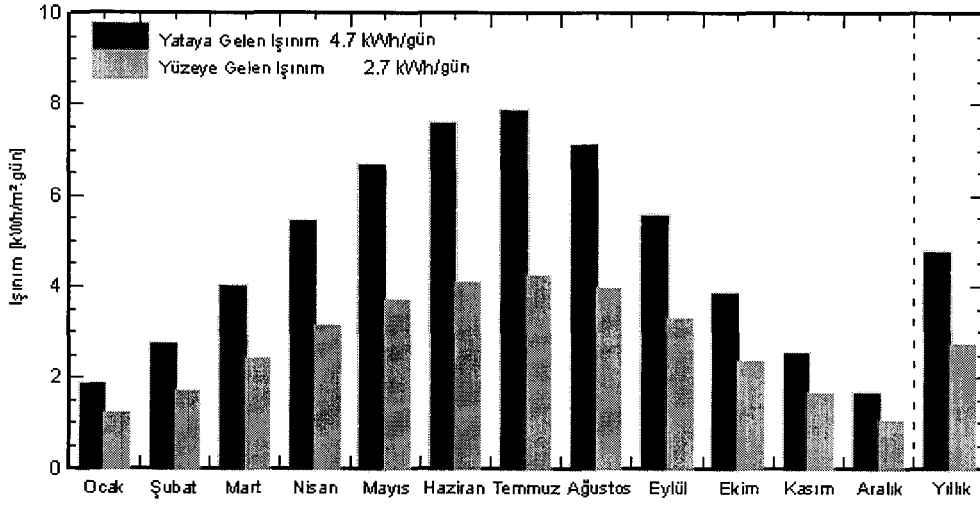
1-D kodlu modelin perspektifi Şekil 4.15’de verilmiştir. Çizelge 4.12’de veriler, parametreler ve bunlara bağlı enerji üretim değerleri ile maliyetleri, Şekil 4.16’da ise yataya ve yüzeye gelen ışıınım değerlerinin aylık değişimleri verilmiştir. Şekil 4.17’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak verilmiş olup, bunlara ait sayısal değerler Çizelge 4.13’de detaylı olarak görülmektedir.



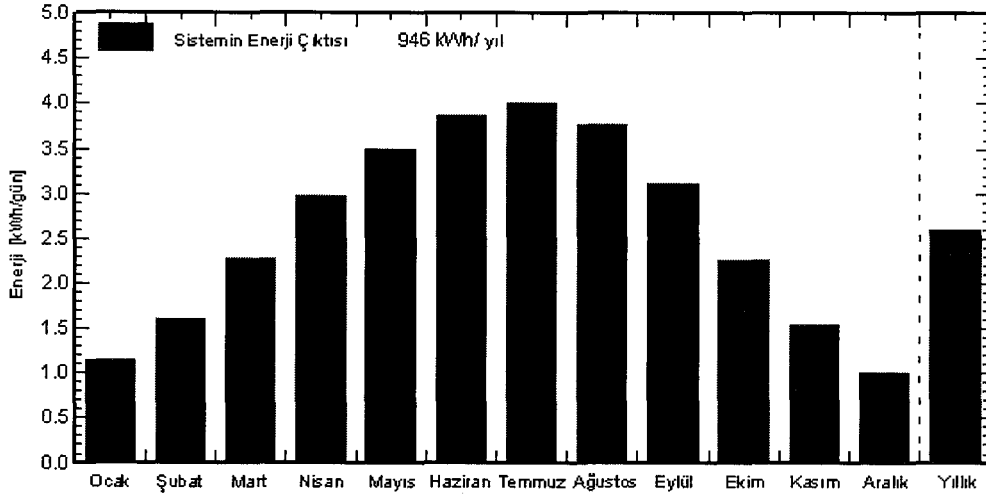
Şekil 4.15. 1-D kodlu model evi perspektifi

Çizelge 4.12. Veriler, parametreler ve sonuçlar (1-D)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 90°	Azimut 90°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	0.9 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.42 EUR/kWh



Şekil 4.16. Yataya ve yüzeye gelen ışıınım miktarları (1-D)



Şekil 4.17. Sistemin enerji çıktısı (1-D)

Çizelge 4.13. Ortalama aylık ve yıllık ışıınım ve enerji miktarları (1-D)

	Yataya Gelen Işınım kWh/m ² gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m ² gün	Sistemin Günlük Enerji Çıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıktısı kWh
Ocak	1.87	1.20	1.14	35
Şubat	2.71	1.70	1.60	45
Mart	4.00	2.41	2.28	71
Nisan	5.43	3.14	2.97	89
Mayıs	6.64	3.68	3.48	108
Haziran	7.57	4.08	3.86	116
Temmuz	7.84	4.24	4.01	124
Ağustos	7.10	3.98	3.76	117
Eylül	5.57	3.28	3.11	93
Ekim	3.84	2.38	2.25	70
Kasım	2.53	1.63	1.54	46
Aralık	1.65	1.07	1.01	31
Yıllık	4.74	2.74	2.59	946

4.3.5. Model 1-E Doğuya Yönlenme

Model Kodu: 1-E

Modül Yönlenmesi: Doğu (Azimut: -90°)

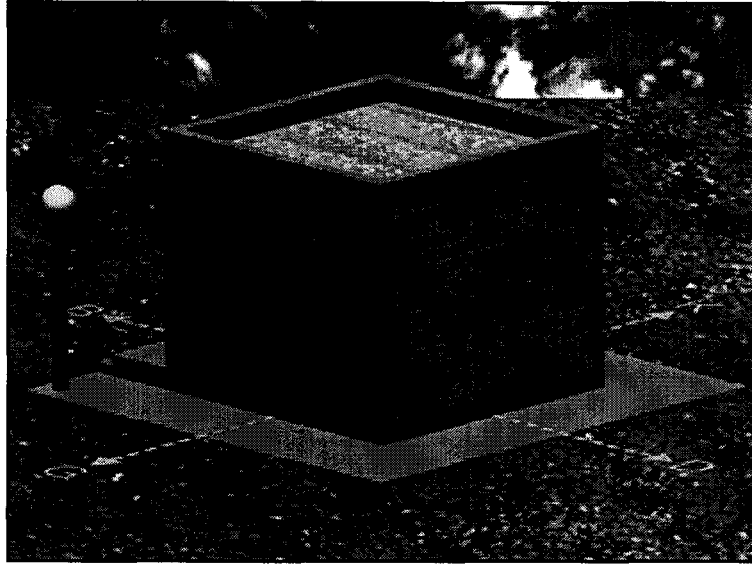
Modül Açısı: 90°

Modül Sayısı: 10

Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

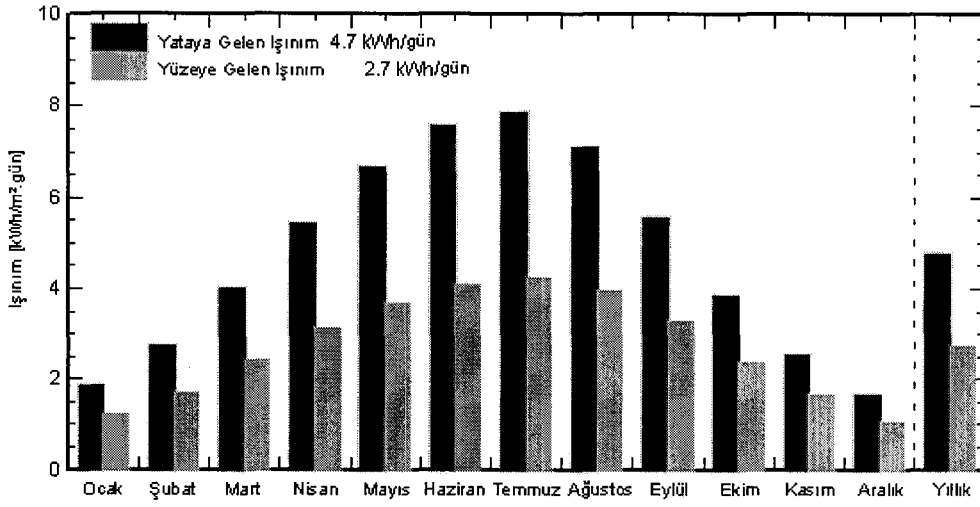
1-E kodlu modelin perspektifi Şekil 4.18’de verilmiştir. Çizelge 4.14’de veriler, parametreler ve bunlara bağlı enerji üretim değerleri ile maliyetleri, Şekil 4.19’da ise yataya ve yüzeye gelen ışıınım değerlerinin aylık değişimleri verilmiştir. Şekil 4.20’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak verilmiş olup, bunlara ait sayısal değerler Çizelge 4.15’de detaylı olarak görülmektedir.



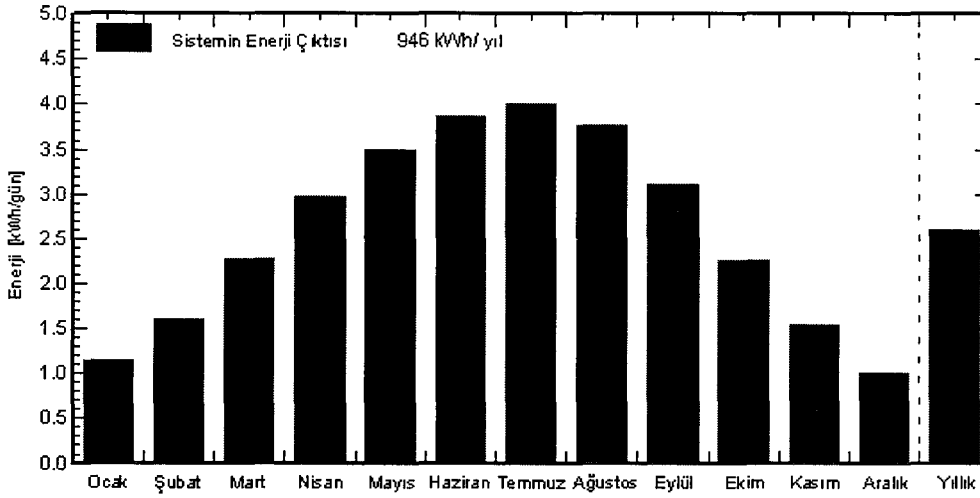
Şekil 4.18. 1-E kodlu model evi perspektifi

Çizelge 4.14. Veriler, parametreler ve sonuçlar (1-E)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 90°	Azimut -90°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	0.9 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.42 EUR/kWh



Şekil 4.19. Yataya ve yüzeye gelen ışınlm miktarları (I-E)



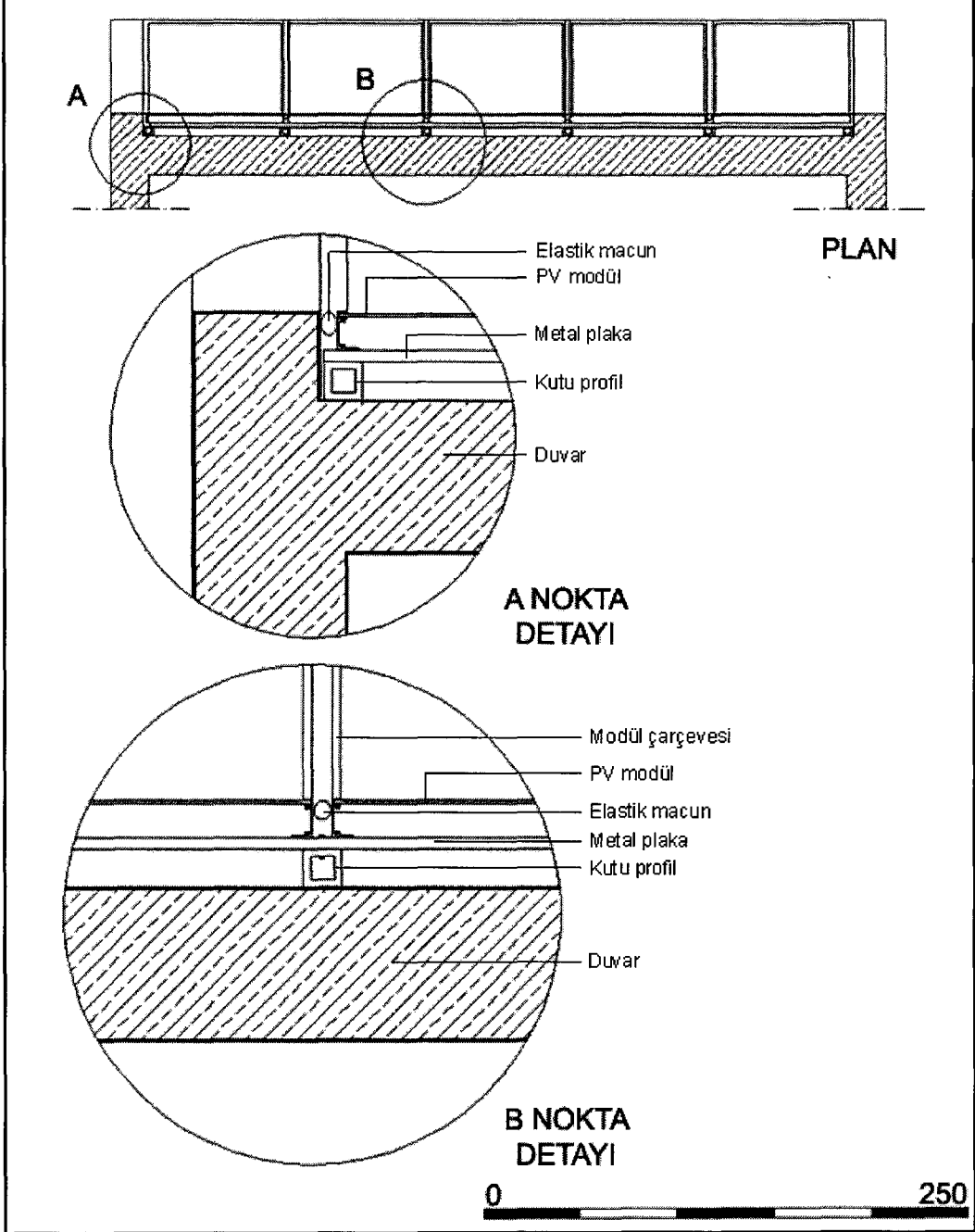
Şekil 4.20. Sistemin enerji çıkışı (I-E)

Çizelge 4.15. Ortalama aylık ve yıllık ışınlm ve enerji miktarları (I-E)

	Yataya Gelen Işınım kWh/m²gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m²gün	Sistemin Günlük Enerji Çıkışı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıkışı kWh
Ocak	1.87	1.20	1.14	35
Şubat	2.71	1.70	1.60	45
Mart	4.00	2.41	2.28	71
Nisan	5.43	3.14	2.97	89
Mayıs	6.64	3.68	3.48	108
Haziran	7.57	4.08	3.86	116
Temmuz	7.84	4.24	4.01	124
Ağustos	7.10	3.98	3.76	117
Eylül	5.57	3.28	3.11	93
Ekim	3.84	2.38	2.25	70
Kasım	2.53	1.63	1.54	46
Aralık	1.65	1.07	1.01	31
Yıllık	4.74	2.74	2.59	946

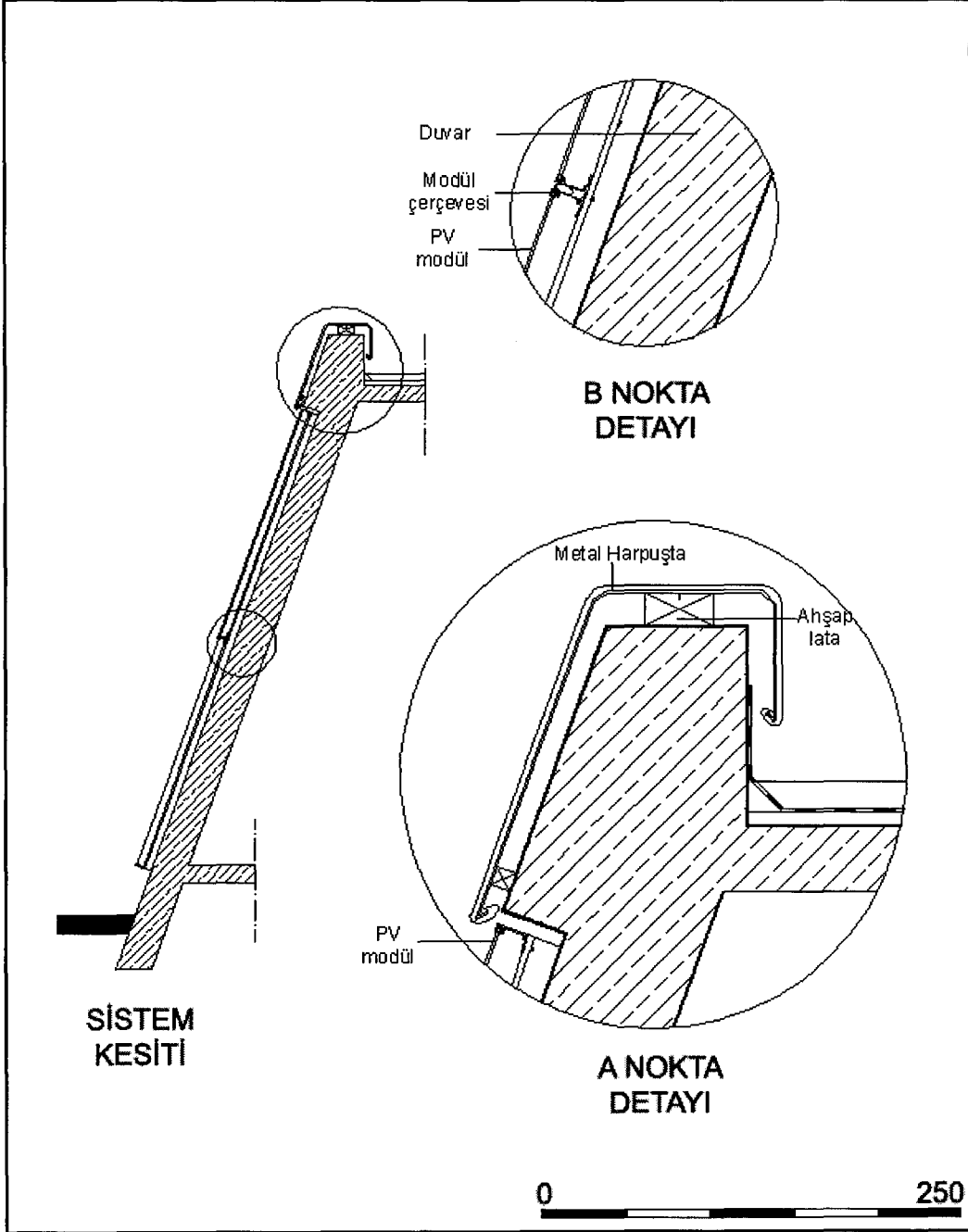
4.4. Model 2 - PV Modüllerin Eğik Cephede Uygulanması

2 numaralı model evinde PV-Modüllerin düzenlendiği cephe, 70° eğim ile tasarlanmıştır. Model evinin tefrişi, 1 numaralı model evi ile aynı şekilde bir görevlinin çalışabileceği şekilde tasarlanmıştır. Modüllerin entegre edildikleri cephenin sistem detayı ve buna bağlı nokta detayları Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21. 2 numaralı model evinin sistem detayı ve nokta detayları

Model evinin 2 numaralı seçeneğine ait sistem kesiti ve buna bağlı A ve B nokta detayları Şekil 4.22’ de verilmiştir. Bu seçenekte iç mekanda kullanılabilir net alan, cephe eğiminden dolayı, 1 numaralı model evine oranla azalırken, modüllerin yerleştirildiği cephenin yüzey alanının artması, bu örnekte olmasa dahi özellikle yüksek katlı uygulamalarda önemli bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 4.22. 2 numaralı model evinin sistem kesiti ve nokta detayları

4.4.1. Model 2-A Güneye Yönlenme

Model Kodu: 2-A

Modül Yönlenmesi: Güney

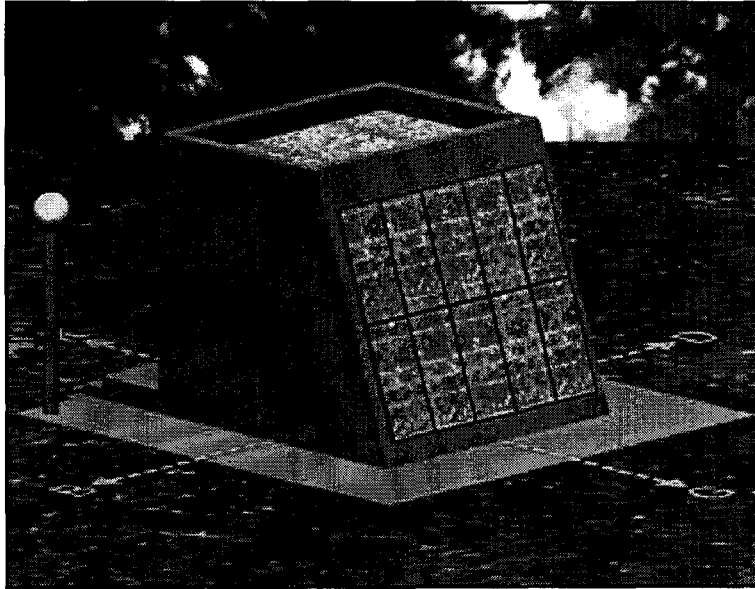
Modül Açısı: 70

Modül Sayısı: 10

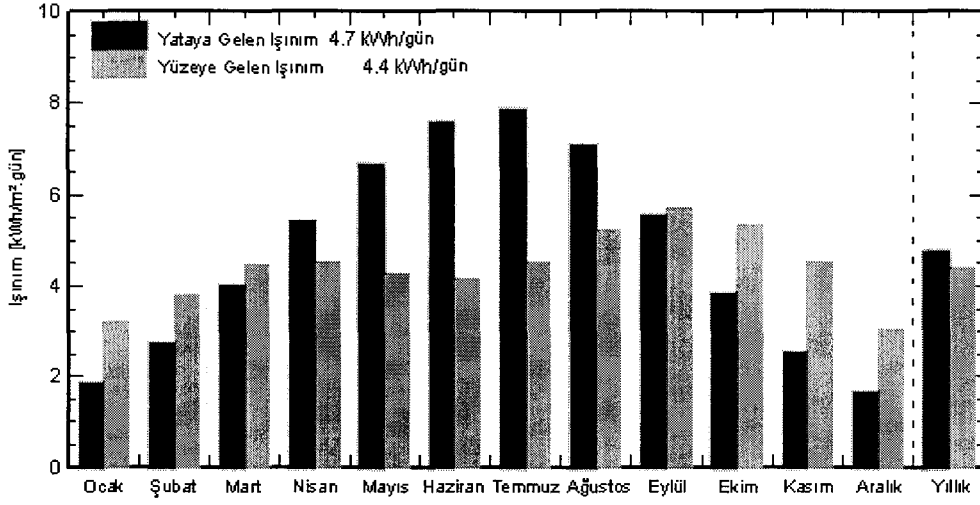
Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

2-A kodlu modelin perspektifi Şekil 4.23’de verilmiştir. Bu model evinin 70 derece açlandırılmış eğik cephesi, güneye yönlendirilmiştir. Şekil 4.24’de güneye yönlendirilmiş eğik cepheli model evinin, yatay ve eğik yüzeye gelen ışıınım miktarlarının aylık ortalama günlük değeri verilmiştir. Görüldüğü üzere, belirtilen koşullarda yatayda metrekareye gelen en yüksek ışıınım Eskişehir koşullarında, Temmuz ayında gerçekleşirken, modül yüzeyinde metrekare başına hesaplanan maksimum ışıınım miktarı Eylül ayındadır. Aynı şekilde görüldüğü üzere, yataya gelen minimum ışıınım miktarına bağılı olarak, modül yüzeyine gelen ışıınım miktarının da en düşük olduğı ay Aralık ayıdır.



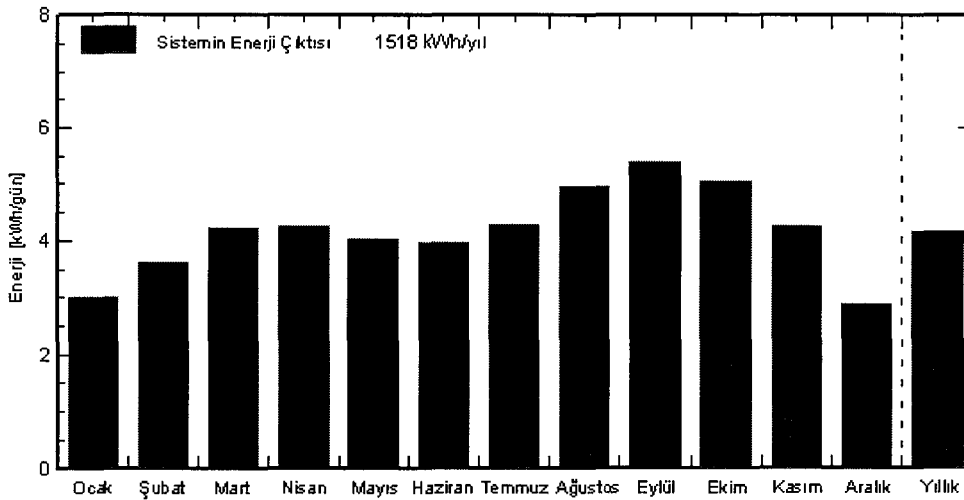
Şekil 4.23. 2-A kodlu model evi perspektifi



Şekil 4.24. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (2-A)

Şekil 4.25’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak grafikte görülmekte olup sistemin en çok enerji sağladığı ay, yüzeye gelen ışı nım miktarına da bağlı olarak Eylül ayıdır. Sistemin en düşük enerji çıktısı yine yüzeye gelen ışı nım miktarının da minimum olduğu Aralık ayı olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.16’da tüm bu grafiksel anlatımların sayısal sonuçları ifade edilmiştir. Sayısal olarak okunabilen değerlere bakıldığında sistemin bir yıl boyunca günlük ortalama enerji çıktısı 4.16 kWh olduğu görülmektedir. Ayrıca sistemin yıllık toplam enerji çıktı miktarı ise 1518 kWh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.25. Sistemin enerji ıktısı (2-A)

Çizelge 4.16. Ortalama aylık ve yıllık ışınlm ve enerji miktarları (2-A)

	Yataya Gelen Işınım kWh/m ² gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m ² gün	Sistemin Günlük Enerji Çıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıktısı kWh
Ocak	1.87	3.19	3.02	94
Şubat	2.71	3.80	3.60	101
Mart	4.00	4.47	4.23	131
Nisan	5.43	4.51	4.26	128
Mayıs	6.64	4.26	4.03	125
Haziran	7.57	4.18	3.95	119
Temmuz	7.84	4.52	4.28	133
Ağustos	7.10	5.22	4.94	153
Eylül	5.57	5.72	5.41	162
Ekim	3.84	5.33	5.05	156
Kasım	2.53	4.50	4.26	128
Aralık	1.65	3.04	2.88	89
Yıllık	4.74	4.40	4.16	1518

Çizelge 4.17’de veriler, parametreler, bunlara bağılı olarak elde edilen enerji kazançları ve maliyetler verilmiştir. Sonuç olarak Eskişehir’de güneğe yönlendirilmiş, yatayla 70° açı yapan bir yüzeye yerleştirilen 10 adet 120 watt gücündeki polikristal PV modülleri ile kurulan 1.2 kW gücündeki bir sistem ile yılda 1.5 MWh enerji üretiminin sağlanabileceğı hesaplanmıştır. Modül fiyatının watt başına 4.5 EUR olduğı varsayıldığında, sistemin toplam maliyetinin 9176 EUR, enerji birim maliyetinin ise 0.26 EUR/kWh olduğı hesaplanmıştır. Ortaya çıkan bu sistem maliyetini oluşturan faktörler ise tüm modellerde ortak olduğundan, modül maliyeti dışında, işçilik, invertör ve diğerkablolama giderleri, ulaşım ve montaj giderleri, toplam maliyet hesaplarına katılmıştır.

Çizelge 4.17. Veriler, parametreler ve sonuçlar (2-A)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 70°	Azimut 0°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	1.5 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.26 EUR/kWh

4.4.2. Model 2-B Güneybatıya Yönlenme

Model Kodu: 2-B

Modül Yönlenmesi: Güneybatı (Azimut: 45°)

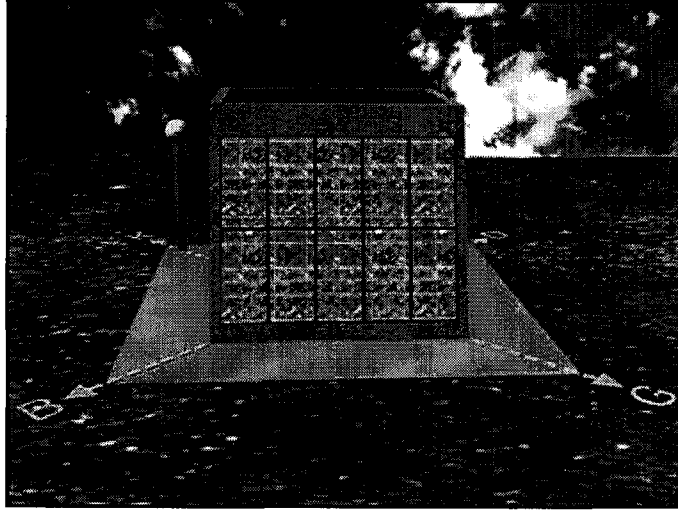
Modül Açısı: 70

Modül Sayısı: 10

Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

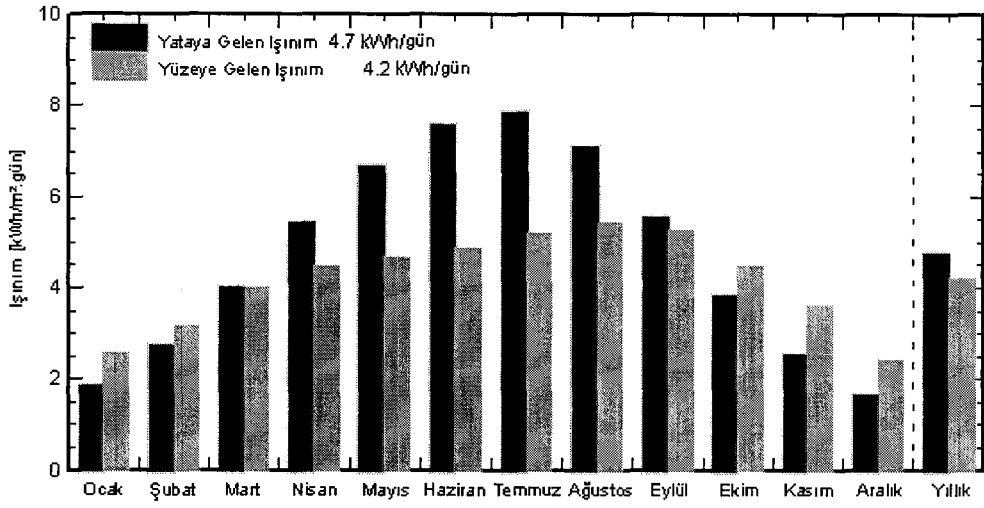
2-B kodlu modelin perspektifi Şekil 4.26’da verilmiştir. Çizelge 4.18’de veriler, parametreler ve bunlara bağlı enerji üretim değerleri ile maliyetleri, Şekil 4.27’de ise yataya ve yüzeye gelen ışıınım değerlerinin aylık değişimleri verilmiştir. Şekil 4.28’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak verilmiş olup, bunlara ait sayısal değerler Çizelge 419’de detaylı olarak görülmektedir.



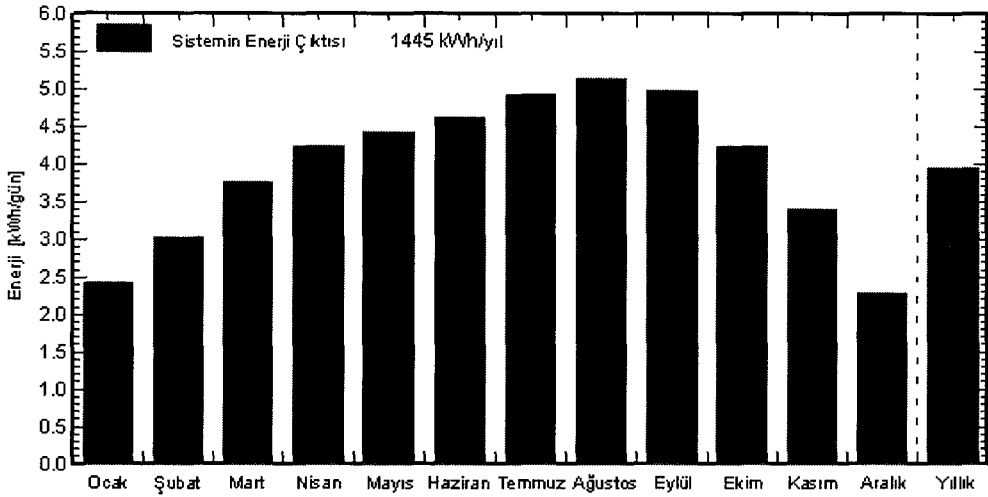
Şekil 4.26. 2-B kodlu model evi perspektifi

Çizelge 4.18. Veriler, parametreler ve sonuçlar (2-B)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 70°	Azimut 45°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	1.4 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.28 EUR/kWh



Şekil 4.27. Yataya ve yüzeye gelen ışıınım miktarları (2-B)



Şekil 4.28. Sistemin enerji çıktısı (2-B)

Çizelge 4.19. Ortalama aylık ve yıllık ışıınım ve enerji miktarları (2-B)

	Yataya Gelen Işınım KWh/m ² gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m ² gün	Sistemin Günlük Enerji Çıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıktısı kWh
Ocak	1.87	2.57	2.43	75
Şubat	2.71	3.18	3.01	84
Mart	4.00	3.98	3.77	117
Nisan	5.43	4.47	4.23	127
Mayıs	6.64	4.68	4.43	137
Haziran	7.57	4.88	4.62	139
Temmuz	7.84	5.20	4.92	152
Ağustos	7.10	5.44	5.15	160
Eylül	5.57	5.26	4.98	149
Ekim	3.84	4.48	4.23	131
Kasım	2.53	3.59	3.40	102
Aralık	1.65	2.42	2.29	71
Yıllık	4.74	4.18	3.96	1445

4.4.3. Model 2-C Batıya Yönlenme

Model Kodu: 2-C

Modül Yönlenmesi: Batı (Azimut: 90°)

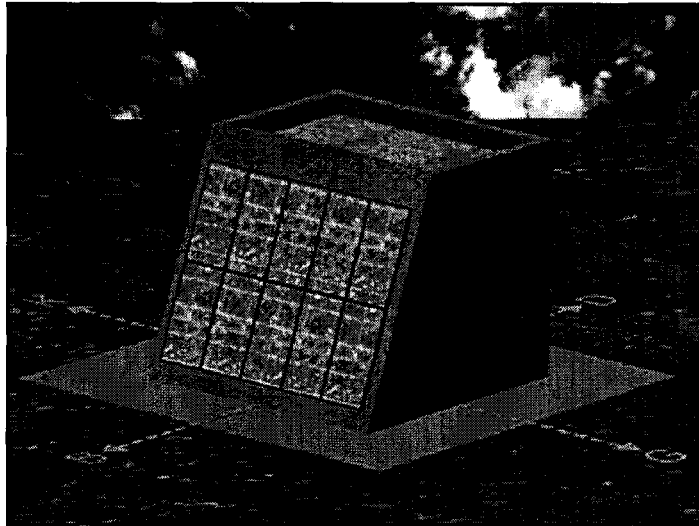
Modül Açısı: 70

Modül Sayısı: 10

Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

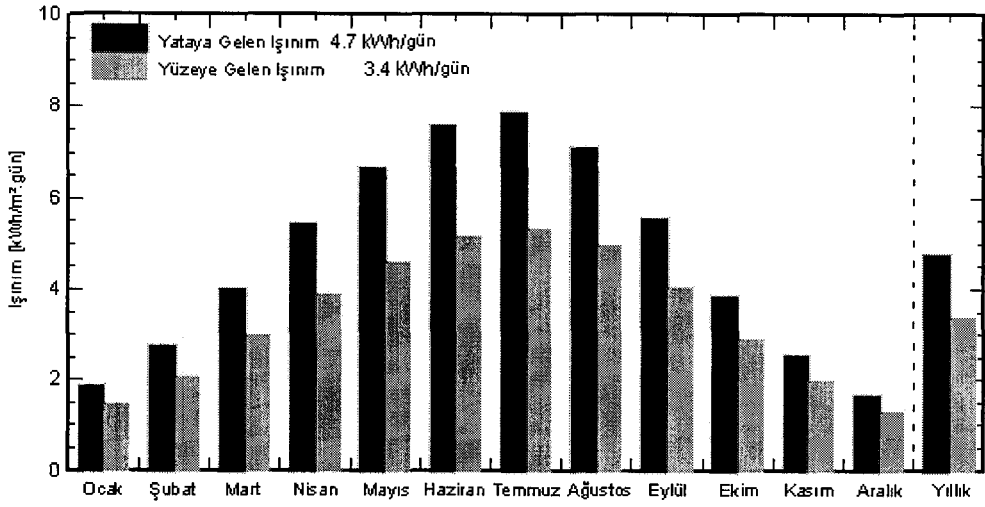
2-C kodlu modelin perspektifi Şekil 4.29’da verilmiştir. Çizelge 4.20’de veriler, parametreler ve bunlara bağlı enerji üretim değerleri ile maliyetleri, Şekil 4.30’da ise yataya ve yüzeye gelen ışıınım değerlerinin aylık değişimleri verilmiştir. Şekil 4.31’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak verilmiş olup, bunlara ait sayısal değerler Çizelge 4.21’de detaylı olarak görülmektedir.



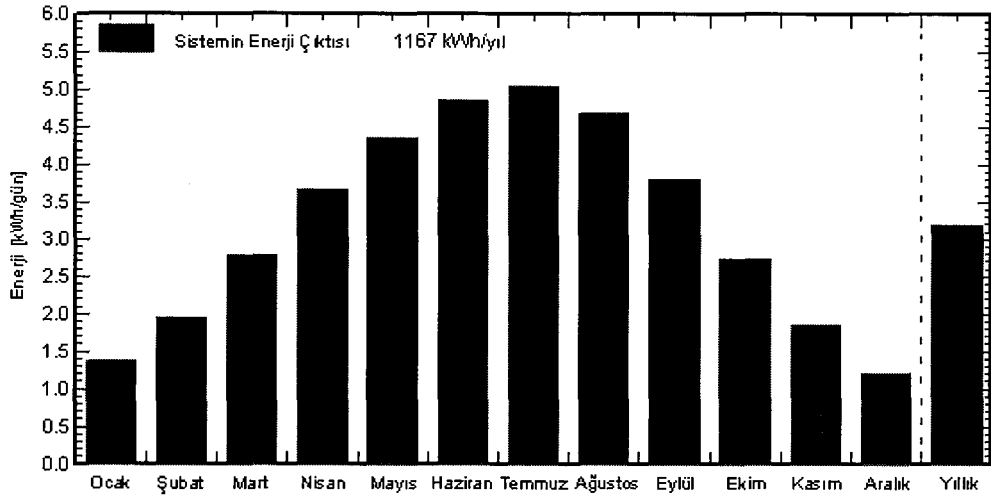
Şekil 4.29. 2-C kodlu model evi perspektifi

Çizelge 4.20. Veriler, parametreler ve sonuçlar (2-C)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 70°	Azimut 90°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	1.2 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.34 EUR/kWh



Şekil 4.30. Yataya ve yüzeye gelen ışınım miktarları (2-C)



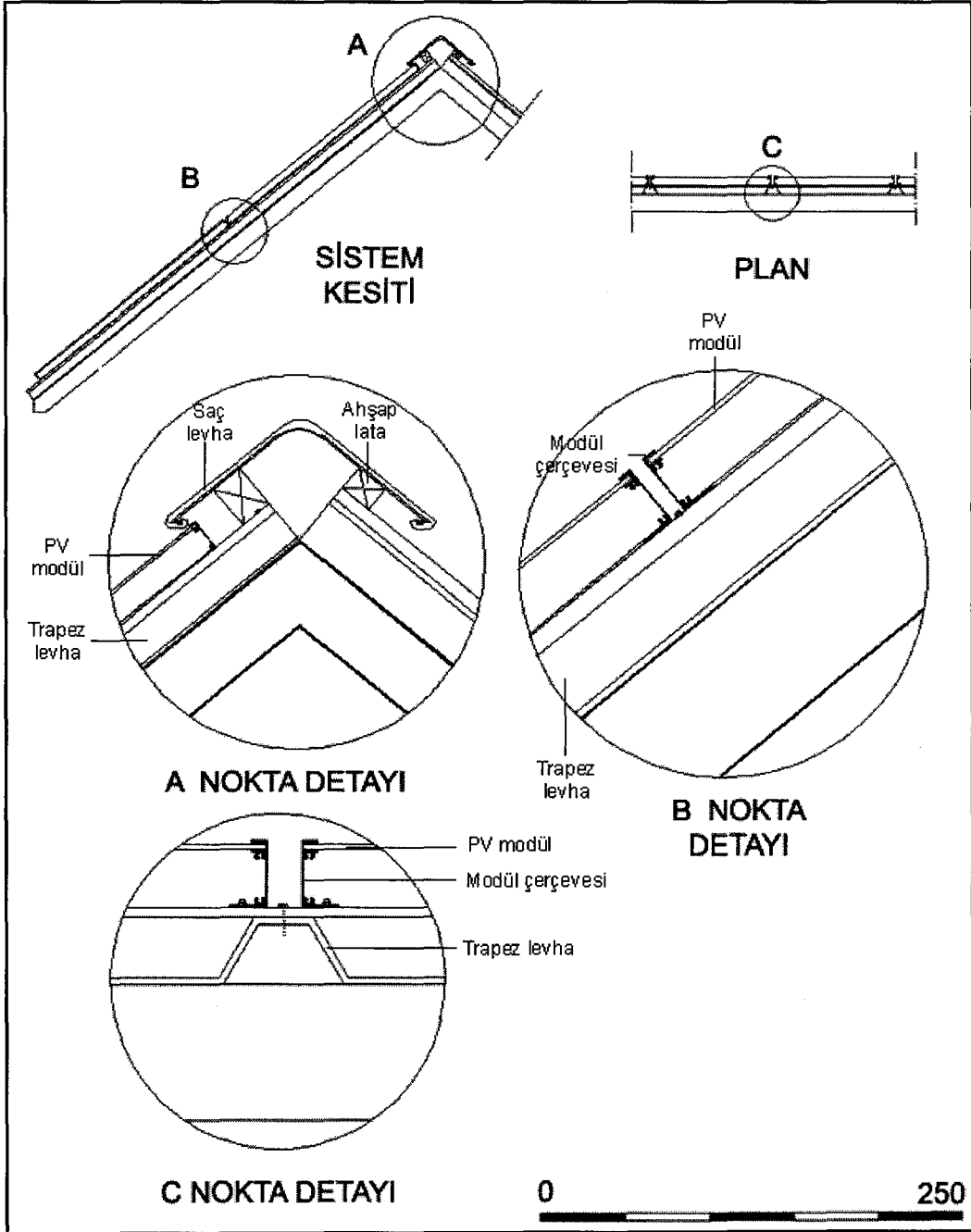
Şekil 4.31. Sistemin enerji çıktısı (2-C)

Çizelge 4.21. Ortalama aylık ve yıllık ışınım ve enerji miktarları (2-C)

	Yataya Gelen Işınım KWh/m ² gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m ² gün	Sistemin Günlük Enerji Çıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıktısı kWh
Ocak	1.87	1.45	1.37	42
Şubat	2.71	2.05	1.94	54
Mart	4.00	2.95	2.79	86
Nisan	5.43	3.87	3.66	110
Mayıs	6.64	4.60	4.35	135
Haziran	7.57	5.14	4.86	146
Temmuz	7.84	5.33	5.04	156
Ağustos	7.10	4.95	4.68	145
Eylül	5.57	4.03	3.81	114
Ekim	3.84	2.88	2.73	85
Kasım	2.53	1.96	1.85	56
Aralık	1.65	1.28	1.21	38
Yıllık	4.74	3.38	3.20	1167

4.5. Model 3 – PV Modüllerinin Çatıda Eğimli Olarak Uygulanması

3 numaralı model evinin plan tipi 1 ve 2 numaralı model evi ile tamamen aynı özellikte olup, teras çatılı olan diğer iki model evinin aksine, 3 numaralı model evinin çatısı eğimli çatı olarak tasarlanmıştır. Çatının eğimi 39° olup, PV modüller çatı eğimine paralel olarak entegre edilmiştir. 3 numaralı model evinin çatısının sistem detayı ve buna bağlı nokta detayları Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. 3 numaralı model evi sistem detayı ve nokta detayları

4.5.1. Model 3-A Güneye Yönlenme

Model Kodu: 3-A

Modül Yönlenmesi: Güney (Azimut: 0°)

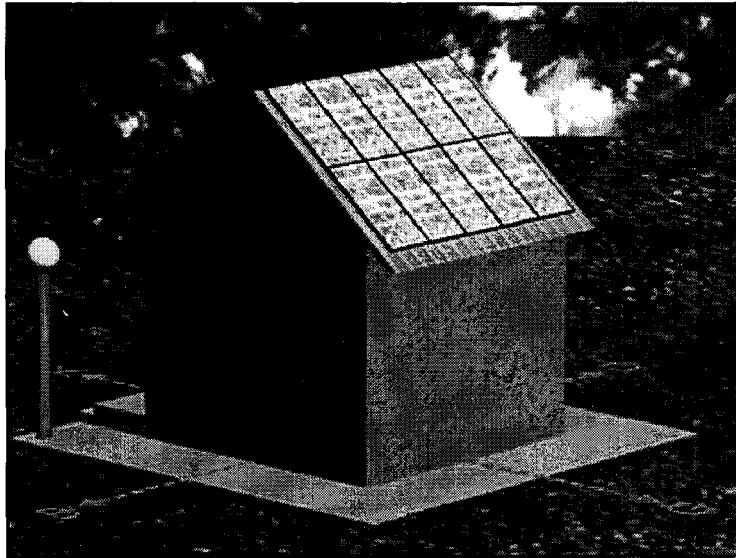
Modül Açısı: 39

Modül Sayısı: 10

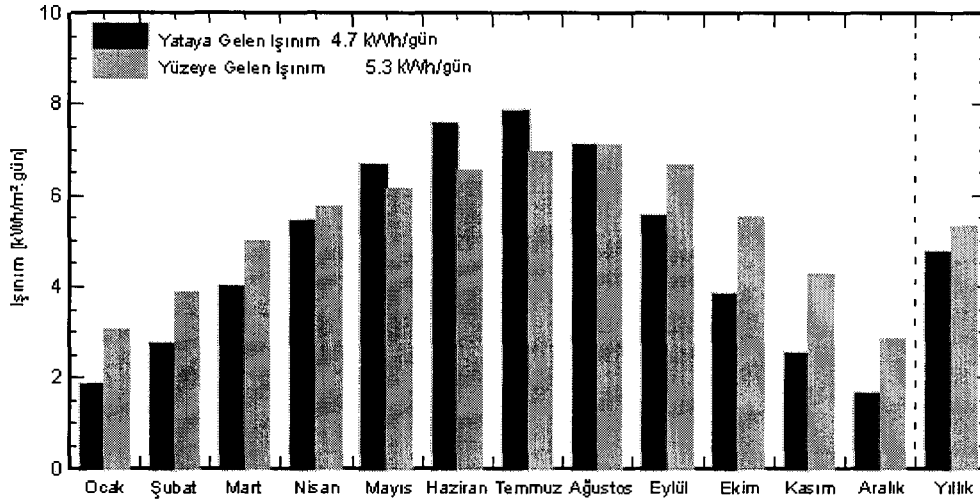
Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

3-A kodlu modelin perspektifi Şekil 4.33’de verilmiştir. Bu model evinin 39 derece eğimli çatısına yerleştirilen modüller, güneye yönlendirilmiştir. Şekil 4.34’de güneye yönlendirilen model evinin, yataya ve çatı yüzeyine gelen ışınım değerlerinin aylık değişimleri verilmiştir. Burada görüldüğü gibi Eskişehir koşullarında, yatayda metrekareye gelen en yüksek ışınım Temmuz ayında, modül yüzeyinde metrekare başına hesaplanan maksimum ışınım miktarı Ağustos ayında gerçekleşmektedir. Ağustos ayında yataya ve yüzeye gelen ışınım miktarları arasında ki fark minimumdardır. Aynı çizelgede görüldüğü üzere modül yüzeyine gelen ışınım miktarının en düşük olduğu ay Aralık ayıdır.



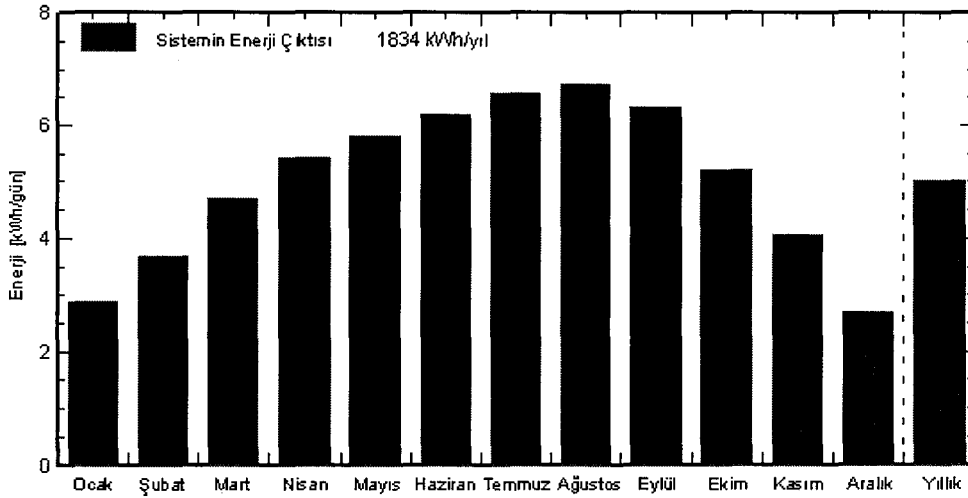
Şekil 4.33. 3-A kodlu model evi perspektifi



Şekil 4.34. Yataya ve yüzeye gelen ışı nım miktarları (3-A)

Şekil 4.35’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak verilmiştir. Sistemin en çok enerji sağladığı ay, yüzeye gelen ışı nım miktarına da bağı larak Eylül ayı, en düşük enerji çıktısı yine yüzeye gelen ışı nım miktarının minimum olduğı Aralık ayı olarak hesaplanmıştır.

Sistemin bir yıl boyunca günlük ortalama enerji çıktısı 4.16 kWh yıllık toplam enerji çıktı miktarı ise 1518 kWh olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.22).



Şekil 4.35. Sistemin enerji çıktısı (3-A)

Çizelge 4.22. Ortalama aylık ve yıllık ışınlm ve enerji miktarları (3-A)

	Yataya Gelen Işınım kWh/m ² gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m ² gün	Sistemin Günlük Enerji Çıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıktısı kWh
Ocak	1.87	3.04	2.88	89
Şubat	2.71	3.87	3.66	103
Mart	4.00	4.97	4.71	146
Nisan	5.43	5.73	5.43	163
Mayıs	6.64	6.14	5.81	180
Haziran	7.57	6.54	6.19	186
Temmuz	7.84	6.94	6.57	204
Ağustos	7.10	7.11	6.73	209
Eylül	5.57	6.68	6.32	190
Ekim	3.84	5.51	5.21	162
Kasım	2.53	4.28	4.05	121
Aralık	1.65	2.84	2.68	83
Yıllık	4.74	5.31	5.03	1834

Çizelge 4.23’de veriler, parametreler, bunlara bağlı enerji üretim değerleri ile maliyetleri belirtilmiştir. Sonuç olarak, bu modelde Eskişehir’de 39 derecelik eğimli bir çatıya yerleştirilen ve güneye yönlendirilen 10 adet 120 watt gücünde polikristal PV modül ile kurulan 1.2 kW kapasiteli bir sistemin sağladığı yıllık kazanç 1.8 MWh olarak hesaplanmıştır. Modül fiyatının watt başına 4.5 EUR olduğu varsayıldığında, sistemin toplam maliyetinin 9176 EUR, enerji birim maliyetinin ise 0.22 EUR/kWh olduğu hesaplanmıştır. Bu modelde en verimli ayların yaz ayları olduğu ayrıca daha önce ki modellere oranla tüm aylarda daha fazla enerji kazancı sağlandığı görülmüştür.

Çizelge 4.23. Veriler, parametreler ve sonuçlar (3-A)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 39°	Azimut 0°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	1.8 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.22 EUR/kWh

4.5.2. Model 3-B Güneybatıya Yönlenme

Model Kodu: 3-B

Modül Yönlenmesi: Güneybatı (Azimut: 45°)

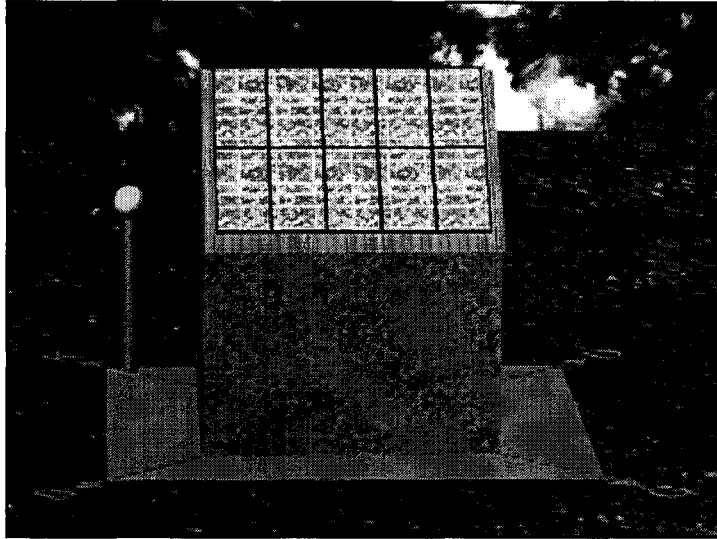
Modül Açısı: 39

Modül Sayısı: 10

Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

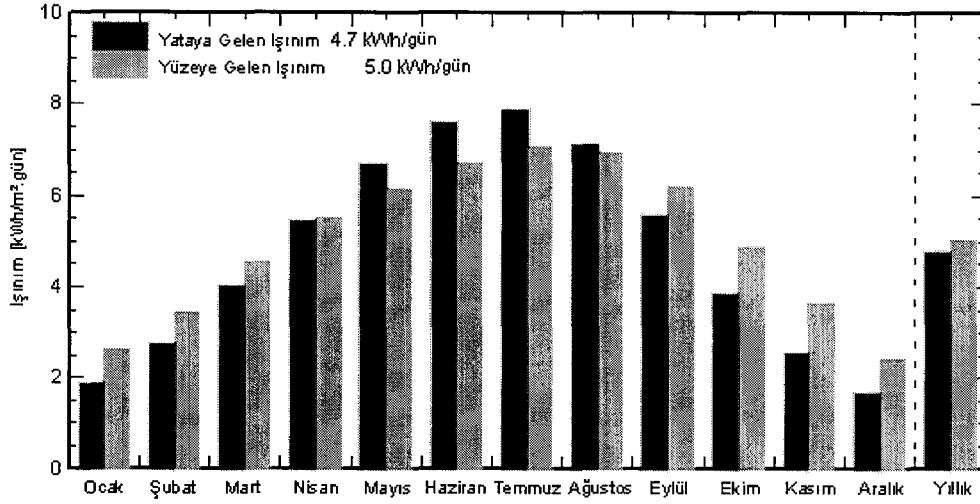
3-B kodlu modelin perspektifi Şekil 4.36’da verilmiştir. Çizelge 4.24’te veriler, parametreler ve bunlara bağlı enerji üretim değerleri ile maliyetleri, Şekil 4.37’de ise yataya ve yüzeye gelen ışıınım değerlerinin aylık değişimleri verilmiştir. Şekil 4.38’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak verilmiş olup, bunlara ait sayısal değerler Çizelge 4.25’de detaylı olarak görülmektedir.



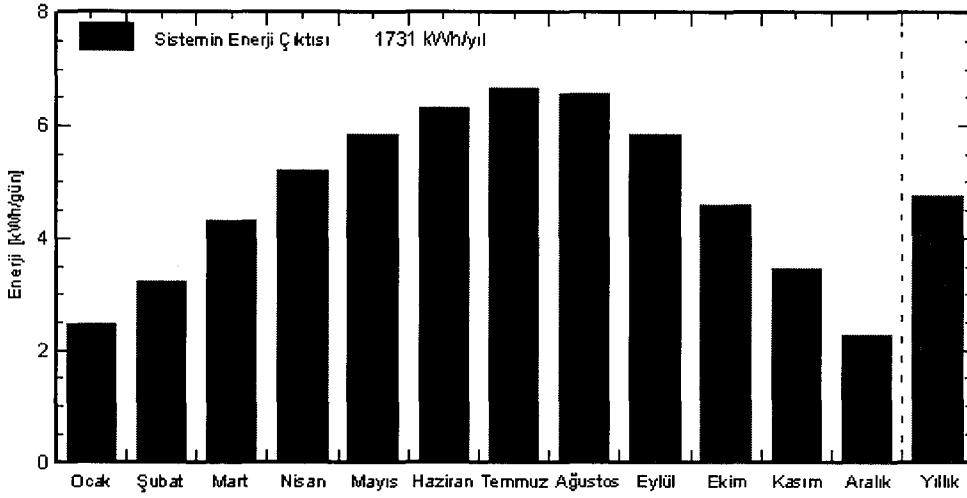
Şekil 4.36. 3-B kodlu model evi perspektifi

Çizelge 4.24. Veriler, parametreler ve sonuçlar (3-B)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 39°	Azimut 45°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	1.7 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.23 EUR/kWh



Şekil 4.37. Yataya ve yüzeye gelen ışınlm miktarları (3-B)



Şekil 4.38. Sistemin enerji çıktısı (3-B)

Çizelge 4.25. Ortalama aylık ve yıllık ışınlm ve enerji miktarları (3-B)

	Yataya Gelen Işınım KWh/m²gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m²gün	Sistemin Günlük Enerji Çıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıktısı kWh
Ocak	1.87	2.62	2.48	77
Şubat	2.71	3.42	3.24	91
Mart	4.00	4.55	4.31	134
Nisan	5.43	5.51	5.21	156
Mayıs	6.64	6.16	5.83	181
Haziran	7.57	6.69	6.33	190
Temmuz	7.84	7.06	6.68	207
Ağustos	7.10	6.96	6.58	204
Eylül	5.57	6.18	5.85	175
Ekim	3.84	4.87	4.60	143
Kasım	2.53	3.65	3.45	104
Aralık	1.65	2.41	2.28	71
Yıllık	4.74	5.01	4.74	1731

4.5.3. Model 3-C Batıya Yönlenme

Model Kodu: 3-C

Modül Yönlenmesi: Batı (Azimut: 90°)

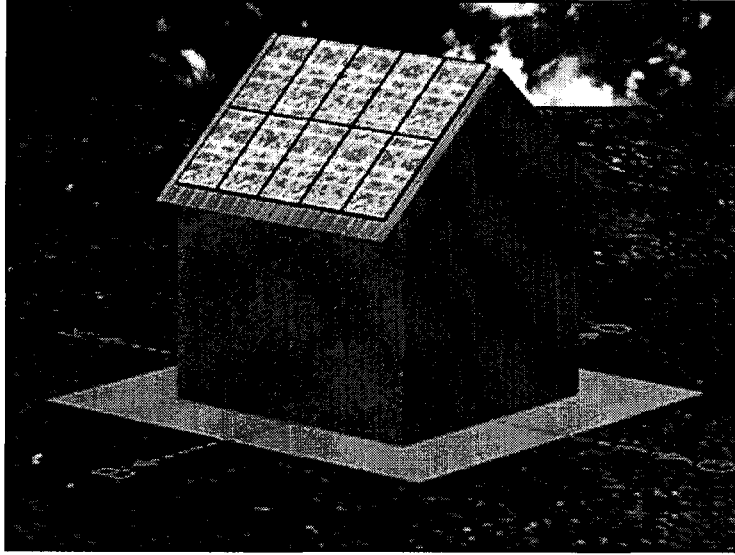
Modül Açısı: 39

Modül Sayısı: 10

Modül Tipi: BP SX 120

Modül Teknolojisi: Polikristal

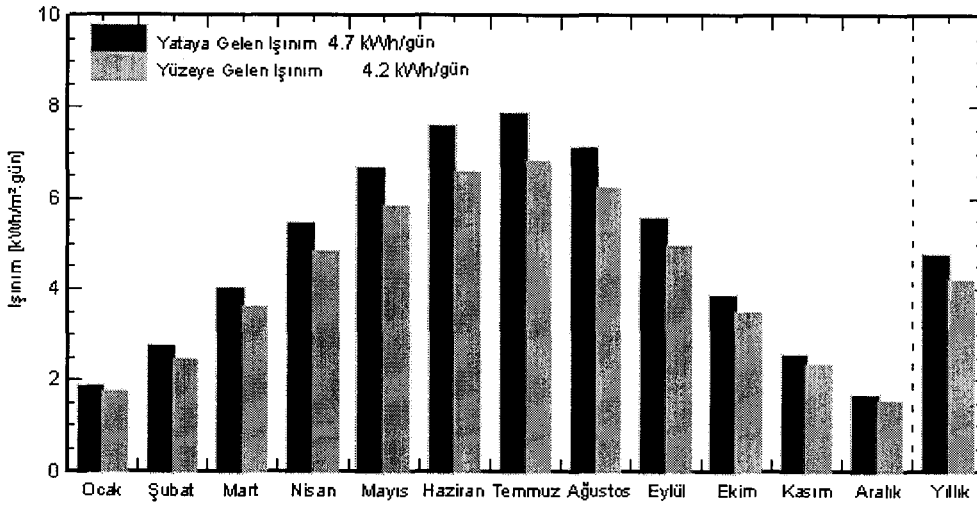
3-C kod numaralı modelin perspektifi Şekil 4.39’de verilmiştir. Çizelge 4.26’da veriler, parametreler ve bunlara bağlı enerji üretim değerleri ile maliyetleri, Şekil 4.40’da ise yataya ve yüzeye gelen ışıınım değerlerinin aylık değişimleri verilmiştir. Şekil 4.41’de sistemin enerji çıktısı aylık değerler olarak verilmiş olup bunlara ait sayısal değerler Çizelge 4.27’de detaylı olarak görülmektedir.



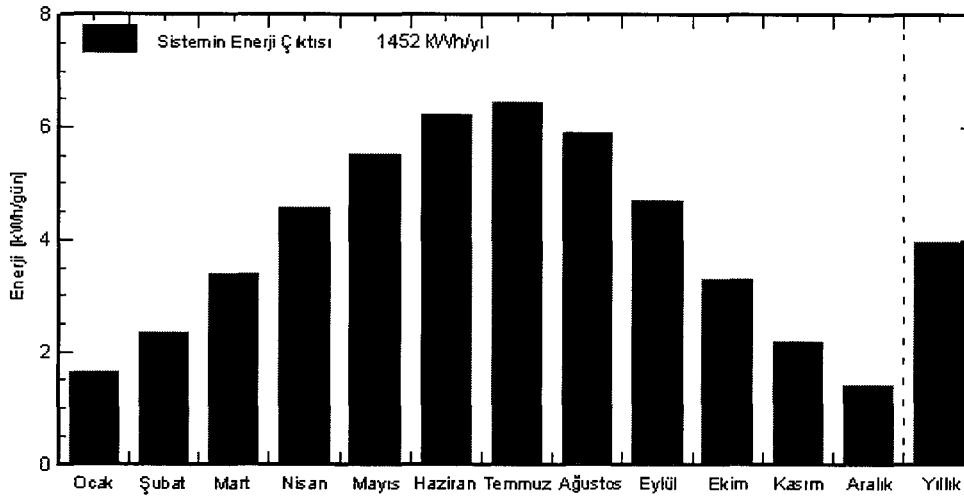
Şekil 4.39. 3-C kodlu model evi perspektifi

Çizelge 4.26. Veriler, parametreler ve sonuçlar (3-C)

VERİLER		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
Eskişehir		Nominal Güç	1.2 kW	PV Alanı	11 m ²
Eğim 39°	Azimut 90°	Modül Maliyeti	4.5 EUR/Wp	Yıllık Kazanç	1.5 MWh/yıl
		Teknoloji	Polikristal	Yatırım	9176 EUR
		Modül Gücü	120 Watt	Enerji Maliyeti	0.27 EUR/kWh



Şekil 4.40. Yataya ve yüzeye gelen ışıınım miktarları (3-C)



Şekil 4.41. Sistemin enerji çıktısı (3-C)

Çizelge 4.27. Ortalama aylık ve yıllık ışıınım ve enerji miktarları (3-C)

	Yataya Gelen Işınım kWh/m ² gün	Yüzeye Gelen Işınım kWh/m ² gün	Sistemin Günlük Enerji Çıktısı kWh/gün	Sistemin Toplam Enerji Çıktısı kWh
Ocak	1.87	1.72	1.63	50
Şubat	2.71	2.47	2.33	65
Mart	4.00	3.60	3.40	106
Nisan	5.43	4.82	4.56	137
Mayıs	6.64	5.83	5.52	171
Haziran	7.57	6.59	6.24	187
Temmuz	7.84	6.83	6.46	200
Ağustos	7.10	6.23	5.90	183
Eylül	5.57	4.96	4.69	141
Ekim	3.84	3.47	3.29	102
Kasım	2.53	2.32	2.19	66
Aralık	1.65	1.51	1.43	44
Yıllık	4.74	4.20	3.98	1452

4.6. Değerlendirmeler

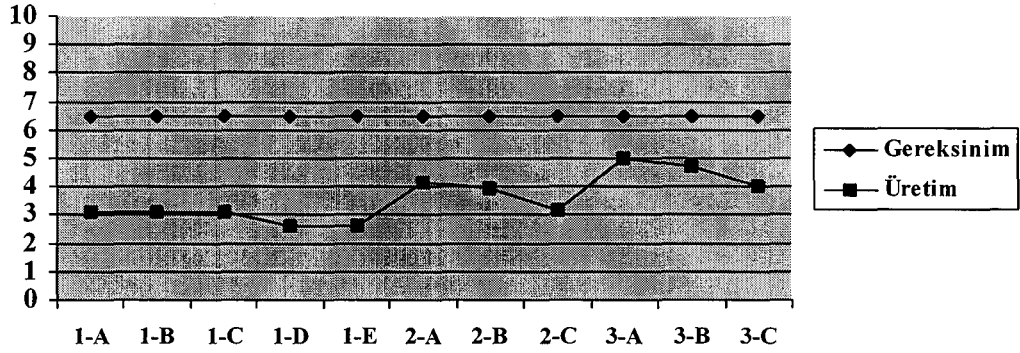
Modellenen evlere ait sonuçların karşılaştırılması Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Model evleri sonuçları karşılaştırması

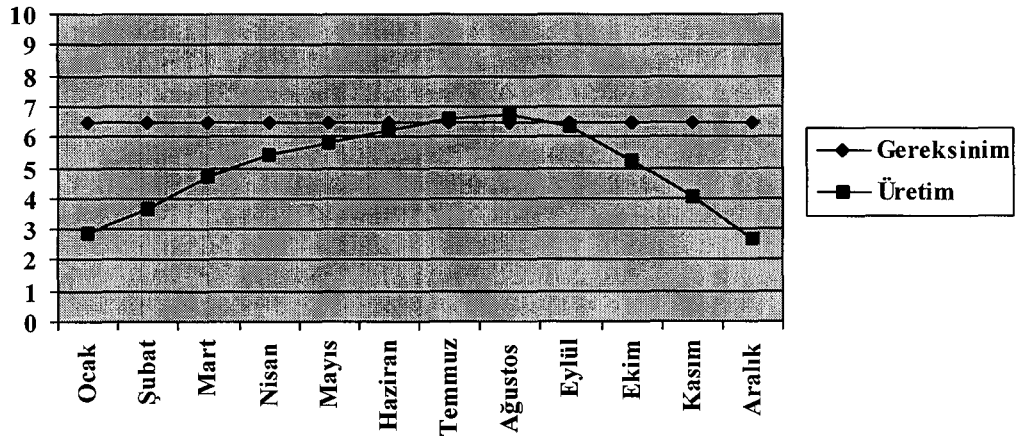
		Yönlenme	Yüzeye Gelen Yıllık Işınım Miktarı (kWh/m ² gün)	Sistemin Toplam Yıllık Enerji Çıktısı (kWh)	Enerji Maliyeti EURO/kWh	Sıralama
DİK CEPHE (1)	A	 Güney Azimut 0° Eğim 90°	3.30	1140	0.35	7
	B	 Güneydoğu Azimut -45° Eğim 90°	3.29	1137	0.35	8
	C	 Güneybatı Azimut 45° Eğim 90°	3.29	1137	0.35	8
	D	 Batı Azimut 90° Eğim 90°	2.74	946	0.42	9
	E	 Doğu Azimut -90° Eğim 90°	2.74	946	0.42	9
EĞİK CEPHE (2)	A	 Güney Azimut 0° Eğim 70°	4.40	1518	0.26	3
	B	 Güneybatı Azimut 45° Eğim 70°	4.18	1445	0.28	5
	C	 Batı Azimut 90° Eğim 70°	3.38	1167	0.34	6
ÇATI (3)	A	 Güney Azimut 0° Eğim 39°	5.31	1834	0.22	1
	B	 Güneybatı Azimut 45° Eğim 39°	5.01	1731	0.23	2
	C	 Batı Azimut 90° Eğim 39°	4.20	1452	0.27	4

Çizelge 4.28’de görüleceği üzere, yönlendirme kriteri göz önüne alındığında tüm seçenekler arasında en uygun olanının güneye yönelme olduğu görülmektedir. Modül açısı değişkeni irdelendiğinde, çizelge 4.28’de görüleceği gibi, en verimli uygulama PV modüllerin 39 derece eğimli çatıda uygulandığı örnektir.

3 farklı model evinde uygulanan 11 ayrı çalışmada elde edilen günlük elektrik enerjisi üretimleri ile model evlerinin günlük elektrik enerji gereksinimi Şekil 4.42’ de karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere model evinin ortalama günlük enerji gereksinimini karşılamaya en yakın olan model 3-A’dır. Model 3-A’nın aylara göre ortalama günlük enerji üretiminin model evi enerji gereksinimi ile karşılaştırılması Şekil 4.43’de verilmiştir.



Şekil 4.42. Model evleri bir yılda günlük ortalama enerji üretim-gereksinim karşılaştırması (kWh/gün)

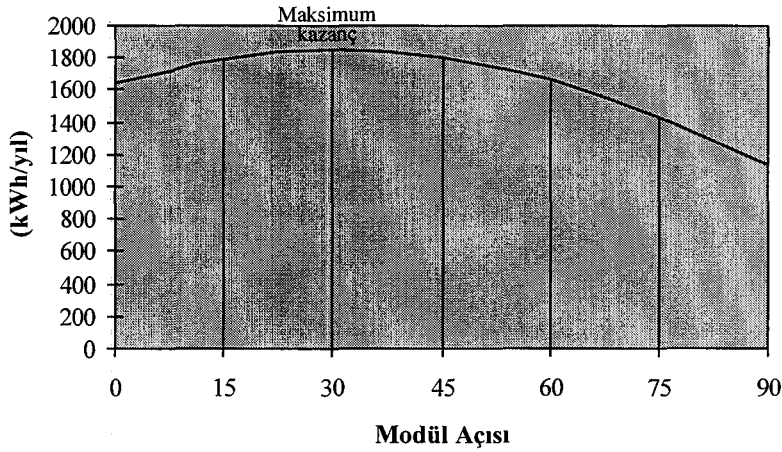


Şekil 4.43. Model 3-A aylara göre günlük ortalama enerji üretim-gereksinim karşılaştırması (kWh/gün)

Şekil 4.43'den görüldüğü üzere model 3-A'nın elektrik üretimi Temmuz ve Ağustos aylarında gereksinimi karşılayabilecek düzeye ulaşmaktadır. Haziran ve Eylül aylarında ise gereksinime oldukça yakın miktarda elektrik üretimi gerçekleşebilmektedir.

Eskişehir koşullarında PV modüllerin en verimli oldukları eğim açılarının, 30-32 derece ile güney yönünde olduğu hesaplar sonucu bulunmuştur (Şekil 4.44).

Sistem Maliyeti: Oluşturulan sistemin iki ayrı maliyet hesabı yapılabilir. Bunlardan birincisi sistemin toplam yatırım maliyetidir. İkincisi ise kullanım süresince kullanıcıya yıllık maliyeti olarak düşünülebilir. Bu iki maliyet hesabının, model sonuçları ile karşılaştırılması ve sonuçta yapılan uygulamanın, kullanıcıya ne derecede ve ne sürede mali bir katkı hatta yarar sağladığının hesaplanması bu çalışmanın en önemli kısmını oluşturmaktadır. Tek yararının maddi açıdan olmadığı daha önce ki bölümlerde anlatılan PV modüllerin, bu yönden de rasyonelleşmeleri, Eskişehir koşullarında PV modüllerin uygulanabilirliğini oluşturan kriterler arasında önemli bir yere sahiptir. Çizelge 4.29'da tasarlanan PV sistemin yatırım ve yıllık maliyetleri verilmiştir.



Şekil 4.44 Güneye yönlendirilmiş modüllerin değişik açılarda yıllık toplam enerji çıktı miktarları

Çizelge 4.29 PV sistem yatırım ve yıllık maliyetleri

Modül Maliyeti	5400 Euro
Destek Giderleri	2057 Euro
İnvertör, Akü ve Kablolama	1080 Euro
Taşıma ve Montaj	639 Euro
Toplam Yatırım Maliyeti	9176 Euro
Yıllık Bakım Maliyeti	367 Euro/yıl

Çizelge 4.29’da belirtilmiş olan ekonomik sonuçlara bağılı olarak, Türkiye koşullarında uygulanan bu sistemin amorti süresi, Haziran 2002 döviz kuru ve Türk Elektrik Kurumu tarifelerine göre;

Haziran ayı TEK birim tarifesi (kWh): 176,600 TL

Yıllık elektrik faturası: 365 gün x 6,526 kWh x 176,600 TL = 423,300,720 TL

PV Sistem Maliyeti: 12,200,000,000 TL

Amorti süresi: $12,200,000,000 / 423,300,720 = 28,3$ yıl

olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Eskişehir ili koşullarında modellenen 16 m² büyüklüğünde tek katlı, kare tabanlı bir deney evine entegre edilen 1.2 kWp gücünde 10 adet polikristal PV modülden oluşan sistemin sağladığı enerji kazançlarının tespitinde ©PVSYST 3.11 programı kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlarda model evi seçeneklerinin farklı yönlendirilmeleri sonucunda aynı modele ait kazançlar, batı ile doğu yönlerinde en düşük seviyede ve aynı değerlerdedir. Güneybatı ve güneydoğu yönlerinden elde edilen enerji kazançları da eşit değerlere sahip olup, en yüksek enerji kazancı güneye yönelme ile sağlanmıştır. Araştırılan farklı yön ve eğime sahip 11 ayrı seçenek içerisinde en yüksek verim PV sisteminin 39 derece eğimle çatıda güneye yönlendirildiği 3-A kodlu modelde elde edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışma sonucunda Eskişehir ili koşullarında en verimli modül eğim açısının 30-32 dereceler olduğu belirlenmiş olup, mimarlara tasarımlarında PV uygulamaları durumunda en uygun konfigürasyon seçenekleri sunulmuştur. ©PVSYST programıyla yapılan simülasyonlara göre 3-A kodlu modelde toplam 1819 kWh/yıl enerji üretilebileceği ve enerji birim maliyetinin 25 yıllık bir kullanım süresi için 0.22 Euro/kWh dolayında olabileceği belirlenmiştir. Gelecek yıllarda PV modül üretiminin son yıllarda gerçekleşen hızlı artışı ile fiyatların aşağı çekileceği ve diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilecek düzeye geleceği beklenmektedir. PV modüllerin bina kabuğunu oluşturan çatı ve cephe kaplamaları ya da güneş kırıcı öğeler şeklinde hem yapısal öge hem de enerji üretimini olanaklı kılan çok işlevli elemanlar olarak uygulanmaları bu gelişmeleri hızlandıracaktır.

Sonuç olarak tasarım aşamasında PV modüllerin yön, renk, boyut vs. gibi mimari estetiği etkileyen özellikleri de dikkate alınarak bina kabuğuna uygun detay çözümleri ile entegre edilmeleri, binalarda tüketilen enerjinin bir bölümünün bina kabuğu tarafından karşılanması, güneş kuşağında bulunan ve enerji gereksiniminin %70 - %80 oranında bir bölümünü dışarıyla gerçekleştiren ülkemiz açısından, özellikle de yaşanabilir, sürdürülebilir bir gelecek için kaçınılmazdır. Bu çalışmadaki modellerde PV sistem gücü sabit, modül eğim açısı ve yönü ise değişken olarak kabul edilmiştir. Ancak model evi plan tipi ve buna bağlı PV modül alanının değişken olarak kabul edilmesi yönünde çalışmaların, tasarımcılara farklı konfigürasyonlar sunacağı ve PV modüllerin mimaride kullanımının yaygınlaşmasına katkıda bulunacağı açıktır.

KAYNAKLAR

1. ERAY, A., *Enerjide Tutumluluk ve Verimlilik*, TEMEV, Ankara, Türkiye (2001)
2. <http://www.nrel.org> (2002)
3. SCHNEIDER, A., *Solar Architektur Für Europa*, Basel; Boston; Berlin: Birkhauser (1996)
4. KARADERELİ, S., *Rüzgar Enerjisi*, TEMEV, Ankara, Türkiye (2001)
5. ŞİMŞEK, Ş., *Yerçi Isısından Yararlanma Jeotermal Enerji*, TEMEV, Ankara, Türkiye (2001)
6. TÜRE, S., *Biyokütle Enerjisi*, TEMEV, Ankara, Türkiye (2001)
7. İNAN, D., *Güneşimizi Tanıyalım*, TEMEV, Ankara, Türkiye (2001)
8. http://www.Californiasolarcenter.org/history_passive.Html (2002)
9. GÖKSAL, T., *Mimaride Güneş Enerjisi*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir (1998)
10. http://www.hku.hk/bse/e-conf/k/solar_k.htm#DISCUSSION (2002)
11. SİCK, F. ve ERGE, T., *Photovoltaics In Buildings: A Design Handbook For Architects And Engineers*, James and James Ltd., London (1996)
12. ÇOLAK, M., *Binalarda Güneş Pili Uygulamaları*, Güneş Mimarisi Ve Güneş Enerjisi Sempozyumu, Antalya, Türkiye (1997)
13. OKTİK, Ş., *Güneş Elektrik Dönüşümleri, Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri*, TEMEV, Ankara, Türkiye (2001)
14. <http://www.pvpower.com> (2002)
15. <http://www.eie.gov.tr> (2002)
16. DEMİRBİLEK, F. N. ve ERYILDIZ, D. I., *Güneş Mimarlığı*, TEMEV, Ankara, Türkiye (2001)
17. KIRAN, E. ve İNAN, D., *İzmit Birleşmiş Milletler Çadır Kent Güneş Evi Ve Bilim Oyunları Merkezi*, 3. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, (Ed: Şen, Z., Karaosmanoğlu, F., Şahin, A., D., Tan, E.) İTÜ, TEMEV, İstanbul, Türkiye, 255-260 (2000)
18. OKTİK, Ş. ve EKE, R., *54kWp'lik Şebeke Bağlantılı PV Güç Sisteminin Modellemesi*, 3. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, (Ed: Şen, Z., Karaosmanoğlu, F., Şahin, A., D., Tan, E.), İTÜ, TEMEV, İstanbul, Türkiye, 159-167 (2000)
19. <http://www.pv-uk.org.uk/technology/configuration.html>, (2002)

20. KISS, G. ve KINKEAD J., *Optimal Building Integrated Photovoltaic Applications*, NREL, New York, USA (1995)
21. OLUKLULU, Ç., *Güneş Enerjisinden Etkin Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik Modüller, Boyutlandırılmaları ve Mimaride Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye (2001)
22. Photon Das Solarstrom Magazin, 10-2000, 42 (2000)
23. http://www.grupofenix-solar.org/Courses_Tours/Photos/Photo_43/photo_43.html (2002)
24. <http://www.eidn.com.au/energyphotovoltaics.htm> (2002)
25. TOGGWEILER, H., O., *Photovoltaics In Architecture*, Birkhausser, Verlag, Basel, Boston, Berlin (1993)
26. <http://www.ntvmsnbc.com/news/48408.asp?cpl=1> (2001)
27. Freiburger Solarenergie-Führer, Stadt Freiburg im Breisgau, Umweltschutzamt, Ausgabe 1999-2000 (2000)
28. LÖWENSTEIN, V., *Fassaden mit Photovoltaischen Elementen*, DBZ-Deutsche Bauzeitschrift 4/1994, 113-120 (1994)
29. Photon Das Solarstrom Magazin, 3-2001, 5 (2001)
30. Photon Das Solarstrom Magazin, 1-2001, 28 (2001)
31. KISS, G., *Building Integrated Photovoltaics*, NREL, Colorado, USA (1993)
32. Photon Das Solarstrom Magazin, 5-1998, 38 (1998)
33. Photon Das Solarstrom Magazin, 10-2001, 21 (2001)
34. Photon Das Solarstrom Magazin, 9-2001, 17 (2001)
35. WEBLER, T., *Entwicklungsgesellschaft Mont-Cenis*, Stadt Herne, Herne, Almanya (1998)
36. Photon Das Solarstrom Magazin, 4-2001, 12 (2001)
37. Photon Das Solarstrom Magazin, 4-2000, 23 (2000)
38. Photon Das Solarstrom Magazin, 3-2001, 42-43 (2001)
39. Photon Das Solarstrom Magazin, 3-2001, 38 (2001)
40. Photon Das Solarstrom Magazin, 2-2001, 36-38 (2001)
41. Photon Das Solarstrom Magazin, 1-2001, 36 (2001)
42. GÖKSAL, T., *Mimarlıkta Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik Modüller*, Arredamento Dekorasyon Dergisi, Sayı 92, (1997)
43. *Eskişehir İli Meteorolojik Değerleri*, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Eskişehir Bölge Müdürlüğü, Eskişehir (2002)

44. <http://www.solarex.com> (2002)
45. EIFFERT, P. ve KISS, J., G., *Building Integrated Photovoltaic Designs For Commercial And Institutional Structures A Sourcebook For Architects*, NREL, Colarado, USA (2000)
46. Photon Das Solarstrom Magazin, 3-99, 43-44 (1999)
47. Photon Das Solarstrom Magazin, 2-99, 41-43 (1999)
48. SALVAMOSER, G., *Die Solar Fabrik Mit Neuer Energie In Die Zukunft, Solar Fabrik*, Freiburg, Almanyay (2000)
49. Photon Das Solarstrom Magazin, 4-99, 25 (1999)
50. <http://www.pvsyst.com>

EK-1 Fotovoltaik Modüllerin Binalara Entegrasyon Teknikleri ve Uygulama Örnekleri

Bu ekte ele alınan örnekler ile amaçlanan, PV modüllerin binaların cephelerine, çatılarına mimari ve teknik entegrasyonunun uygulanabilirliğinin gösterilebilmesi ve bu uygulamalarda detayların aktarılmasıdır. Örneklerden önce PV modüllerin binalara entegrasyonunda, uygulamaya ilişkin dikkat edilmesi gereken önemli noktalara kısaca değinilecektir [11].

- *Paslanmayan Elemanların Kullanılması:* PV modül cephelerinde her zaman küçük akımlar bulunmaktadır. Paslanmayı önleyebilmek için, özellikle bağlantı elemanları ve tutucu elemanlarının paslanmayan elemanlardan üretilmesine önem verilmelidir.
- *Modüllerin Değiştirilebilmesi:* Herhangi bir modülde ortaya çıkabilecek olumsuzlukların tekil olarak giderilebilmesi önemli bir noktadır.
- *Düzgün Yüzeyler:* Gölgelemenin ve tozlanmanın önlenmesi ve yağmur yolu ile temizlenmesinin kolaylaştırılabilmesi için, modüllerin üzerine sürtünme katsayısı düşük elemanların uygulanması gereklidir.
- *Kablo Sistemi:* Montajın sağlıklı olarak gerçekleştirilebilmesi için, montaj öncesinde tüm elektrik bağlantılarının kurulması kaçınılmazdır.
- *Şantiyede Modül Taşımını Minimuma İndirmek:* Modül yüzeylerinin cam malzemeden olması, modüllerin montajına kadar özenli bir taşıma işlemini gerektirir. Kırılma risklerini azaltmak açısından şantiye organizasyonunun önemi dikkatlerden kaçmamalıdır.
- *Havalandırma:* Kristal hücrelerden oluşan modüllerin sıcaklık artışından dolayı verimlerinin düşmemesi için, modüllerin havalandırılmaları sağlanmalıdır. Amorf hücrelerde ise sıcaklık artışı ile verimlilik arasındaki ilişki çok düşük olduğundan böyle bir gereksinim bulunmamaktadır.

Aşağıda farklı işlevlere sahip çeşitli bina tiplerindeki uygulamalardan örnekler verilecektir.

- **Milli Hava ve Uzay Müzesi**

Çizelge EK.1.1. Milli Hava ve Uzay Müzesi [45]

Yer:	Dulles Center, Washington
Mal Sahibi:	Smithsonian Institution
Tamamlandığı Tarih:	İnşaat 2000 yılında başladı, 2003 yılında tamamlanması bekleniyor.
Mimar ve Tasarımcı:	HOK, Building Architects; Kiss+Cathcart Architects
PV Ürünleri:	Çeşitli PV sistemler
PV Kullanılan Bölümler:	Saçak ve Cepheler
Sistemin Projelendirilmiş Elektriksel Çıktısı:	15.12 kWh
PV Yüzey Alanı:	223 m ²
PV Ağırlığı:	5 lb/ft ²
PV Hücre Tipi:	Polikristal hücreler, amorf silikon film
PV Verimliliği:	%5-%12
PV Modül Üreticisi:	Energy Photovoltaics, Inc.
Invertör Sayısı ve Büyüklüğü:	Belirlenecek
Bağlantı Sistemi:	Grid bağlantılı

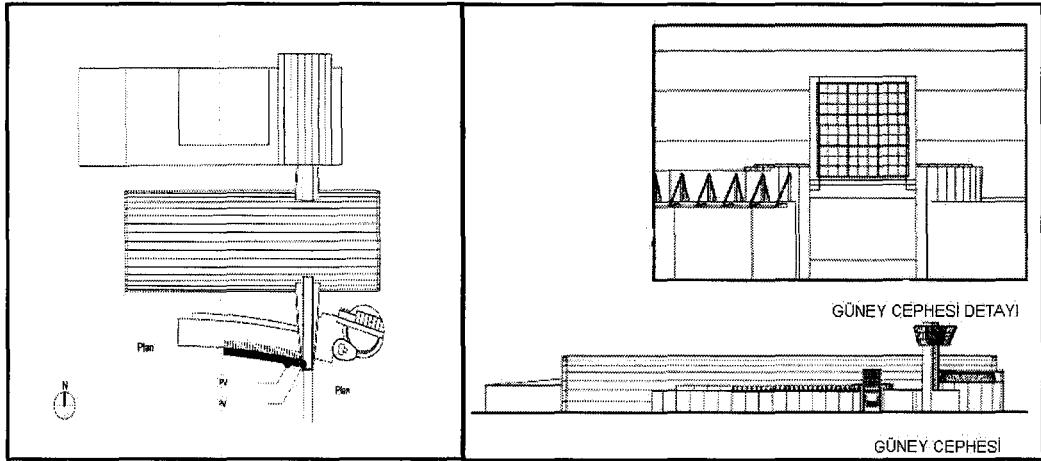
Tanımlama:

National Air & Space Museum (Milli Hava & Uzay Müzesi) tüm dünyada en çok ziyaret edilen müzelerden biridir (Şekil EK.1.1). Çizelge EK.1.1' de özellikleri verilmiş olan bu yapı esnek bir tasarım ile, Dulles Havaalanına komşu olacak bir şekilde genişleyebilecektir. Yapıda sergilenecek olan eserler, 1950'lerden günümüze uzay ve hava teknolojileri ile ilgili araçlardır. Projede Kiss+Cathcart Mimarlık şirketi, PV modüllerin yerleştirilecekleri alanları ve kullanılacak en uygun teknolojileri belirlemekle görevlendirilmişlerdir. Projedeki temel amaçlardan biri, söz konusu uygulama ile bir binada olabildiğince çok çeşitli fotovoltaik teknolojisinin tanıtılabilmesidir.

Tasarımda merkez noktası, 69000 m² büyüklüğünde oldukça geniş bir hangar yapısıdır. Bu yapı sergi alanı olarak kullanılacaktır. Tahminlere göre bu binayı 3 milyonun üstünde kişi uçak, uzay mekiği ve konu ile ilgili tarihsel önemi bulunan diğer objeleri görmek için ziyaret edeceklerdir. Bu yapının bir diğer amacı ise, PV kullanımının tarihsel gelişimini ve uzay teknolojisindeki kullanımını çeşitli sergilerle aktarabilmektedir. Yapının kendisinde uygulanan PV tasarımları ile de bu modüllerin günümüzdeki uygulama olanaklarını ortaya çıkarmak, kısacası;

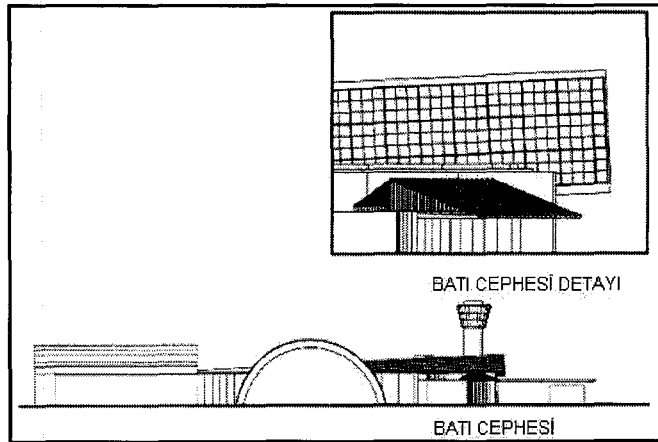
- a) Uygulanan PV modüller ile enerji tasarrufu sağlayarak, çağdaş ve çevre duyarlı bir imaj ortaya çıkarabilmek,
- b) Oldukça sık ziyaret edilen bir federal kurumda, PV modüllerin tanıtımını yapabilmek amaçlanmaktadır.

Projede iki hangarın çatısında, güney duvarlarında, girişteki tepe ışıklıklarında, araştırma kulesinin cephesinde ve bir çok saçak üzerinde PV sistemler kullanılmıştır. Giriş kısmında kullanılan PV'ler sayesinde gelen ziyaretçilerin binaya ilk girişlerinde PV modülleri görebilmeleri ve bu geçiş esnasında da iç mekanda PV modüllerden geçen ışığın etkisiyle oluşan ışık gölge oyunlarını fark edebilmeleri sağlanmıştır.



(a)

(b)



(c)

Şekil EK.1.1. a) Milli hava ve uzay müzesi vaziyet planı [45]
b) Milli hava ve uzay müzesi güney cephesi [45]
c) Milli hava ve uzay müzesi batı cephesi [45]

- **Mont-Cenis Akademisi**

Çizelge EK.1.2. Mont-Cenis Akademisi [35,46]

Yer:	Herne, Almanya
Mal Sahibi:	İçişleri Bakanlığı
Tamamlandığı Tarih:	İnşaat Mart 1997 yılında başladı, Mart 1999 yılında tamamlandı.
Mimar ve Tasarımcı:	Jourda+Perraudin Architectes
Toplam Yapı Alanı:	25 ha
PV Ürünleri:	Çeşitli PV sistemler
PV Kullanılan Bölümler:	Çatılar ve Cepheler
Sistemin Projelendirilmiş Elektriksel Çıktısı:	750.000 KWh/yıl
Sistemin Projelendirilmiş Elektriksel Gücü:	1 MWp
PV Yüzey Alanı:	8.400 m ²
Standart Çatı PV Modülü Boyutları:	1,16m x 2,78m
Standart Cephe PV Modülü Boyutları:	1,16m x 2,40m
Çatıya Entegre PV modül Sayısı:	2.802
Cepheye Entegre PV modül Sayısı:	280
PV Hücre Tipi:	Polikristal hücreler
Invertör Sayısı:	600
Bağlantı Sistemi:	Grid bağlantılı

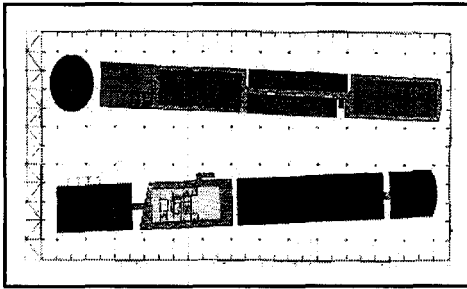
Tanımlama:

1991 yılında açılan bir yarışma sonucunda projelendirilmesi başlayan Mont-Cenis akademisi, eski kömür ocakları arazisi üzerine tasarlanmıştır. Çizelge EK.1.2’de özellikleri verilen yapının programı içerisinde seminer odaları, toplantı odaları, otel, restoran, jimnastik salonu, kütüphane ve bir çok açık alan aktivitesi içeren bir hükümet çalışma merkez binası olarak düşünülmüştür. Herne kentinde eski bir maden ocağı alanının düzenlenmesinde temel amaç, bu alanı tekrar kente kazandırabilmek, kent için çeşitli kamu etkinliklerini sağlayabilmek ve 250 konut birimi ile konut alanını genişletilebilmektir. Bunun dışında tüm alandaki peyzaj çalışmaları da önem taşımakta olup, projenin amacı, köhneleşmiş kömür ocakları alanını yaşanabilir ve kaliteli bir kentsel alan haline getirebilmektir.

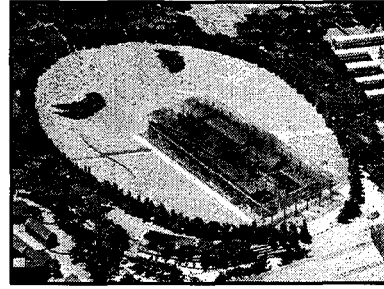
Alanın tamamını örten cam kabuk ile dış atmosferik etkilerden korunumun yanı sıra kontrollü mikro-klima yaratılmıştır. Bu binayı kullanan insanların, cam binanın peyzaj alanlarında daha çok zaman geçirebilmeleri sağlanarak, insanlar arası sosyal etkileşim arttırılmaya çalışılmıştır. Yapıda doğal malzemelerin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Cam yapının strüktürü içerideki binaların

kaplamasında olduğu gibi ahşap malzeme ile oluşturulmuştur. Projenin ana söylemi "Mikro-Klimatik Kabuk" olarak gelişmiştir. Projede tasarlanan geniş çatı yüzeylerine gelen yağmur suyu gelişmiş bir teknoloji ile toplanmaktadır. Cam ve fotovoltaik çatı elemanları, toplanan yağmur suyu ile otomatik olarak temizlenmekte ve suyun bir kısmı bitkilerin sulanmasında yeniden kullanılmak üzere zemin altında depolanmaktadır (Şekil EK.1.2.). Cam kabuğun içerisinde tasarımcıları tarafından Akdeniz ikliminin oluşturulması amaçlanmıştır. Kışın içerideki sıcaklığın kısmen daha yüksek olacağı, kullanıcıların yağıştan korunacağı, ayrıca içerideki binalarda da büyük oranda enerji korunumu sağlanacağı düşünülmüştür. Yaz aylarında ise mekanda aşırı ısınmayı önleyebilmek için dış yüzeylerde düzenlenen açılabilir elemanlar aracılığı ile cam yapının doğal havalandırılması sağlanmaktadır.

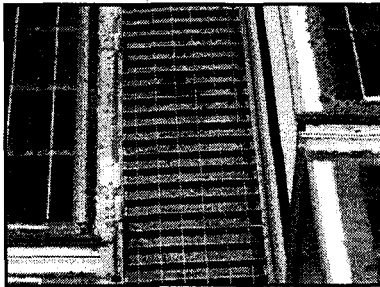
Binanın cam çatısına 1 MW gücünde fotovoltaik modül entegre edilmiştir. Bunun dışında, fotovoltaik modüller aracılığı ile direkt güneş ışığının iç mekana ulaşması yer yer engellenmiştir. Her bir paneldeki fotovoltaik hücrelerin yoğunluğunun %58 ile %86 arasında olması sonucu enerji üretimini de 192 ile 416 Wp arasında değiştirmektedir. Çatıya uygulanan fotovoltaik modüller dışında, yapının batı cephesinde de fotovoltaik modüller yerleştirilmiştir.



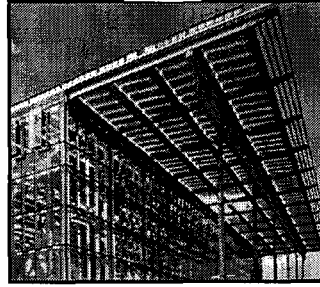
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil EK.1.2. a) Mont-Cenis akademisi planı [46]
b) Mont-Cenis akademisi genel görünümü [46]
c) Mont-Cenis akademisi düz çatı detayı [46]
d) Mont-Cenis akademisi saçak görünüşü [46]

- **Solar-Fabrik Binası**

Çizelge EK.1.3. Solar-Fabrik Binası [47,48]

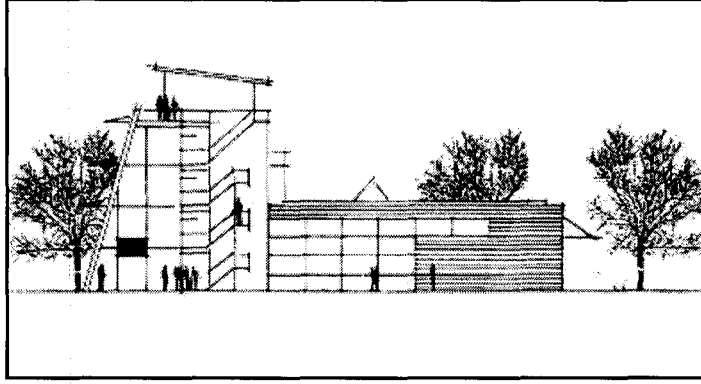
Yer:	Freiburg, Almanya
Mal Sahibi:	Georg Salvamoser
Tamamlandığı Tarih:	İnşaat Ocak 1998 yılında başladı, Mart 1999 yılında tamamlandı.
Mimar ve Tasarımcı:	Rolf+Hotz Freie Architekten BDA
Toplam Yapı Alanı:	20.065 m ²
PV Ürünleri:	Çeşitli PV sistemler
PV Kullanılan Bölümler:	Çatılar, Cepheler ve Güneş Kırıcı Elemanlar
Sistemin Projelendirilmiş Elektriksel Çıktısı:	50.000 Kwh/yıl
Sistemin Projelendirilmiş Elektriksel Gücü:	56 kWp
PV Yüzey Alanı:	575 m ²
Standart Çatı PV Modülü Boyutları:	1,16m x 2,78m
Standart Cephe PV Modülü Boyutları:	1,16m x 2,40m
Çatıya Entegre PV modül Alanı:	300 m ²
Cepheye Entegre PV modül Alanı:	210 m ²
Bağlantı Sistemi:	Grid bağlantılı

Tanımlama:

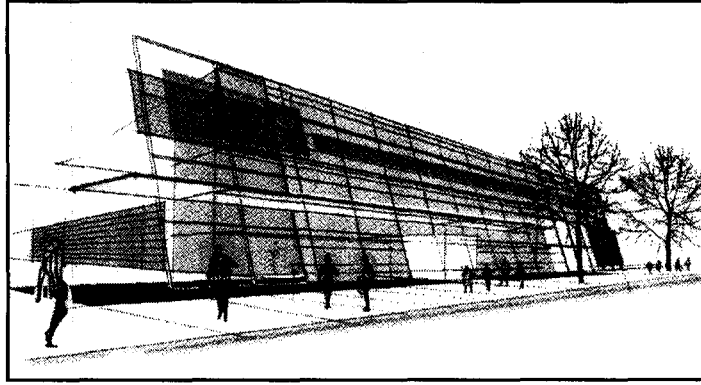
1999 yılında inşası tamamlanan Freiburg Solar Fabrik eğik yüzeyde PV modül uygulamasına örnek verilebilir. Çizelge EK.1.3’de özellikleri verilen Solar Fabrik binası güneş enerjisinden etken ve edilgen yararlanacak şekilde tasarlanmıştır. Cephede ve çatıda düzenlenen 575 m² PV yüzeyi, 56.5 kWp gücünde olup, 50.000 kWh/yıl enerji üretmekte ve gereksinimin % 35’lik bölümünü karşılamaktadır. Solarfabrik yılda 4.5 Megawatt’lık modül üretmekte olup, Avrupa’nın ilk, Almanya’nın ise günümüzde en büyük PV-üreticisi konumundadır. Solar Fabrik binasında güneş enerjisinin dışında, biyokütle enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları da kullanılmaktadır. Güneşten etken anlamda yararlandığı ölçüde edilgen anlamda da yararlanarak, oldukça yüksek enerji kazançları sağlamak amaçlanmıştır.

Eğik cephe olarak tasarlanan yüzeyde hem cepheye entegre PV-Modüller kullanılmış hem de aynı cam cephe üzerinde içeride ki ışık ve ısı kontrolünü sağlayabilmek amacı ile farklı açılarda üç dizi güneş kırıcı PV modül uygulanmıştır.

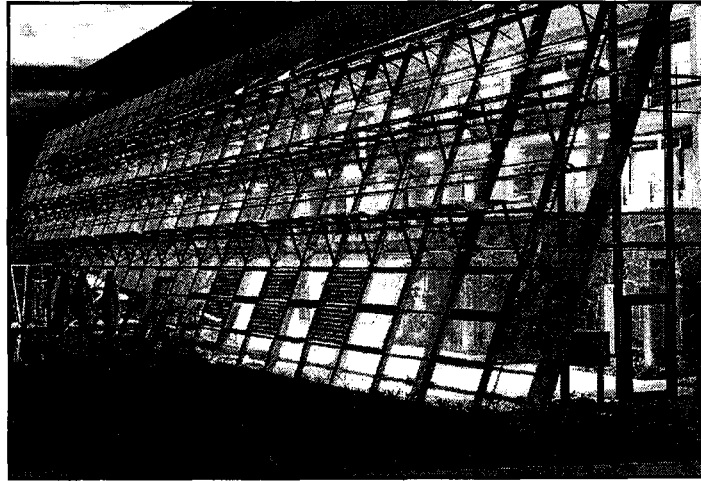
Bu örnekte de PV modüllerin güneşten elektrik üretebilen bir araç olmanın ötesinde yapı elemanı olarak tasarımı etkileyebilecekleri ve uygulanabilecekleri açıkça görülmektedir (Şekil EK.1.3.).



(a)



(b)



(c)

Şekil EK.1.3. a) Solar-Fabrik Binası kesiti [48]
b) Solar-Fabrik Binası perspektifi [48]
c) Solar-Fabrik Binası görünümü [48]

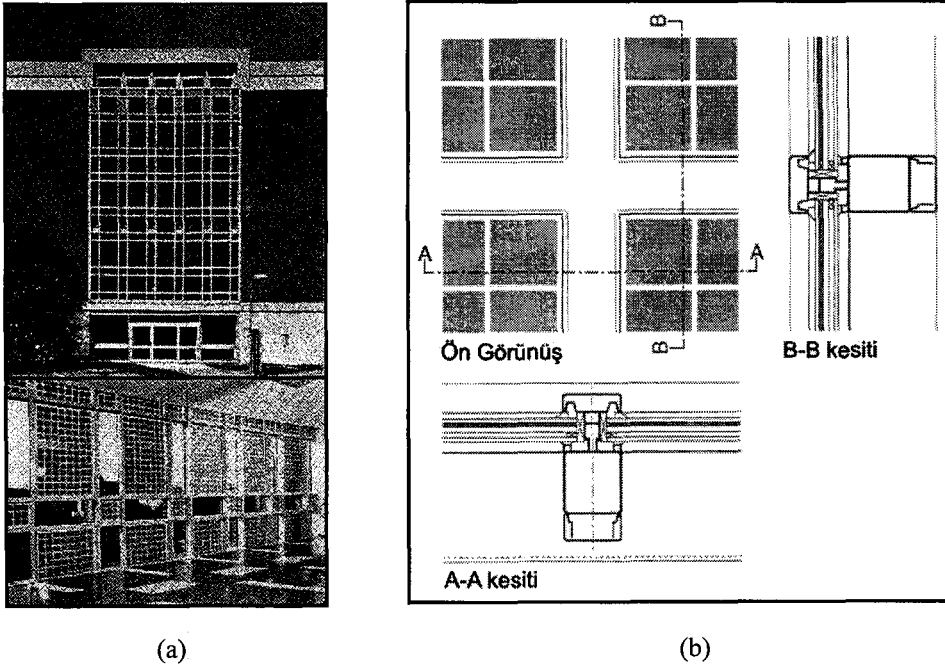
- **Stadtwerke Aachen, Aachen, Almanya**

Çizelge EK.1.4. Stadtwerke Aachen [11,49]

Nominal Güç:	4.2 kW
Modül Alanı:	87 m ²
Modül Üreticisi:	Flachglas Solartechnik
Yapım Tarihi:	1991
Bina Sahibi:	Stadtwerke Aachen AG

Çizelge EK.1.4’de özellikleri verilen Stadtwerke Aachen’ın 20 yıllık yönetim binası olan yapının güneşe bakan cephesi, ısıtma sisteminin yenilenmesi sırasında PV modüllerin uygulanması ile güneşten etken yararlanan bir cephe haline dönüştürülmüştür. Bu cephenin arkasında kalan merdiven evinin aydınlanabilmesi için koyu mavi renkli kristal silikon hücrelerden oluşan PV modüller ile camın cephede satranç tahtası şeklinde kombinasyonu hem merdiven evinin aydınlatılmasını hem de iç ve dış mekanda ilginç algılar sağlamıştır.

Bu örnek çok amaçlı PV modül uygulamalarının ilk örneklerinden olup, PV modüller binaya hem yarı saydam bir cephe sağlamakta hem de ısı yalıtımlı bir kabuk görevi üstlenmektedir. Şekil EK.1.4b’de görüldüğü üzere PV hücreler çift camlı bir kuruluş içinde yer almakta olup Aachen Elektrik Kurumu’na ait bina cepheye entegre PV uygulamalarının öncüsüdür [49].



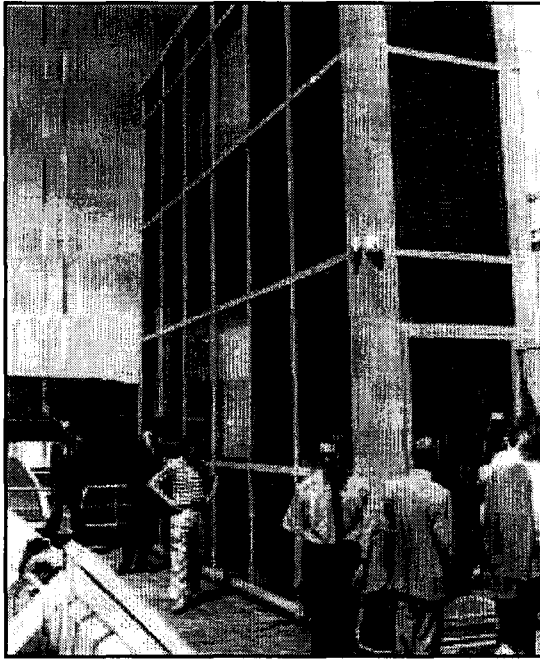
Şekil EK.1.4. a) Stadtwerke Aachen iç ve dış mekan görünüşleri [11]
b) PV modül entegrasyon detayı [11]

- Iset, Kassel, Almanya

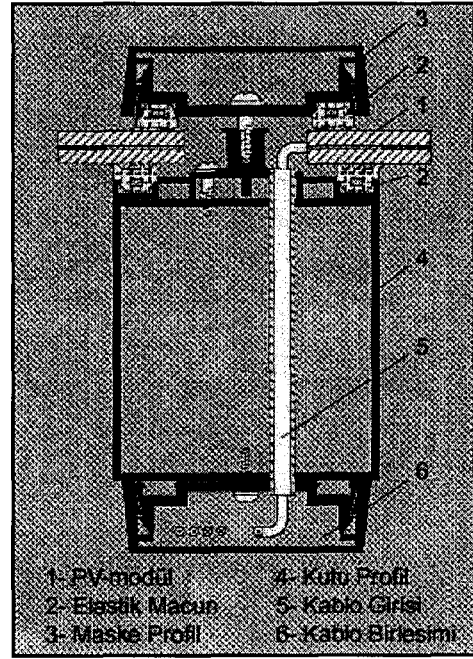
Çizelge EK.1.5. Iset [11]

Nominal Güç:	5 kW
Modül Alanı:	-
Modül Üreticisi:	ASE GmbH
Yapım Tarihi:	01.07.1993
Bina Sahibi:	ISET e.V., Kassel

Çizelge EK.1.5’de özellikleri verilen Kassel Üniversitesi binasında uygulanan projenin esas amacı deneysel bir çalışma yapmaktır. 1993 yılından bu yana beş farklı PV sistem denenmekte olup sonuçlar kaydedilmektedir. Çevre Bakanlığı tarafından desteklenen projede 1780 x 1180 mm, 1180 x 1180 mm ve 580 x 1180 mm boyutlarında üç farklı modül tipi kullanılarak verimlilik analizleri yapılmaktadır (Şekil EK.1.5.).



(a)



(b)

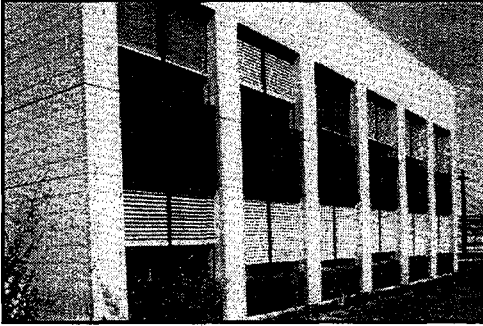
Şekil EK.1.5. a) Iset cephesinden görünüm [11]
b) PV modül bağlantı detayı [11]

- **LRE Binası EPFL, Lausanne, İsviçre**

Çizelge EK.1.6. LRE Binası EPFL [11]

Nominal Güç:	3 kW
Modül Alanı:	28.5 m ²
Modül Üreticisi:	Flagsol AG
Yapım Tarihi:	1993
Bina Sahibi:	-

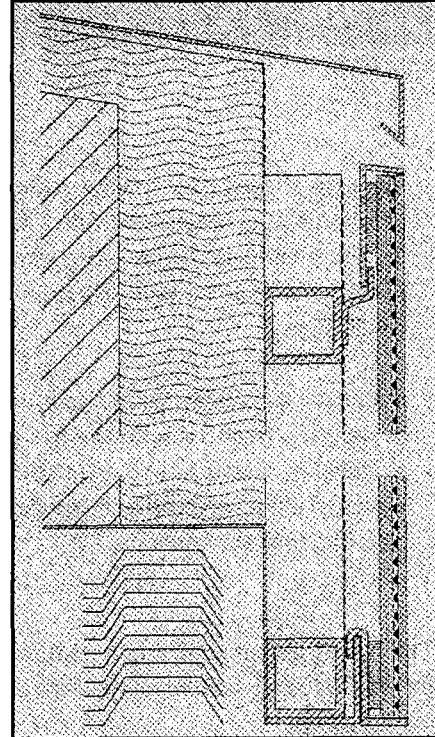
Çizelge EK.1.6’da özellikleri verilen bu uygulamada Elektrik Güç Sistemleri Laboratuvarı’nın dış duvarındaki metal esaslı kaplama çıkarılarak yerine PV modüller uygulanmıştır. Metal esaslı cephe kaplaması değiştirilirken, seçilen modüllerde boyutların uygunluğu elektrik bağlantılarının görülmemesi için gerekli detaylara özen gösterilmiştir. Paneller VEC yapıştırıcı kullanılarak geleneksel bir metotla cepheye tespit edilmiştir. Şekil EK.1.6c’de görüleceği üzere montaj işlemlerinde metal kutu profiller kullanılmıştır.



(a)



(b)



(c)

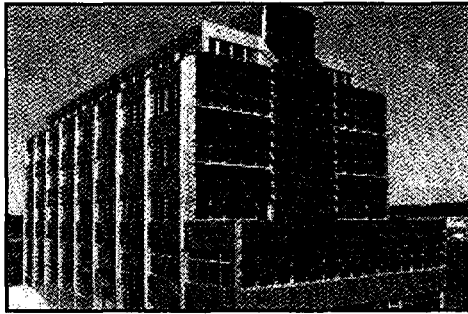
Şekil EK.1.6. a) LRE binası genel görünümü [11]
b) LRE binası cephesi [11]
c) PV modüllerin cepheye kutu profiller aracılığıyla tespit edilmesi [11]

- Scheidegger Metalbau, Kirchberg, İsviçre

Çizelge EK.1.7. Scheidegger Metalbau [11]

Nominal Güç:	18 kW
Modül Alanı:	170 m ²
Modül Üreticisi:	Solution
Yapım Tarihi:	1992
Bina Sahibi:	Scheidegger Metalbau, AG

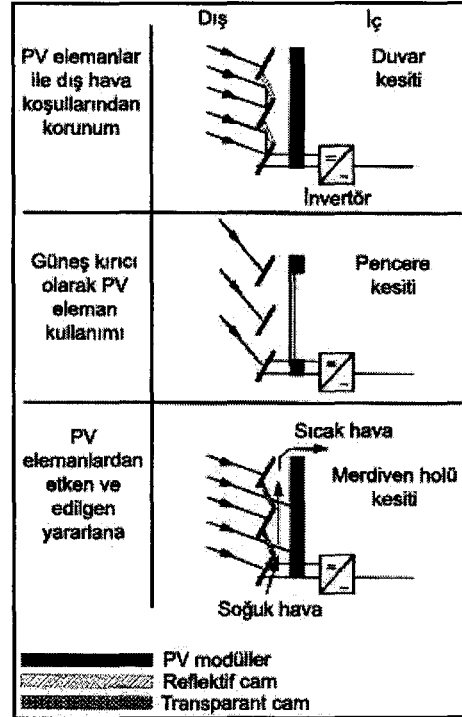
Çizelge EK.1.7’de özellikleri verilen bu örnekte, enerji üretiminin yanında, mimaride cephe tasarımlarında PV uygulamanın yeni olanakları da görülebilmektedir. Enerji üretmek ve estetik tasarım gibi amaçlarının dışında, binanın dış hava koşullarından korunması, pencerelere yakın çalışma alanlarının yaz aylarında gölgelenmesi ve trombe duvarı gibi uygulamalar ile sıcak hava üretilerek ısıtma giderlerinden tasarruf sağlanması olanaklıdır. PV modüllerinin verimliliğini arttırmak amacı ile cephenin bir kısmı yansıtıcı elemanlar ile inşa edilmiştir. Çok işlevli cephe tasarımı Şekil EK.1.7’de görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

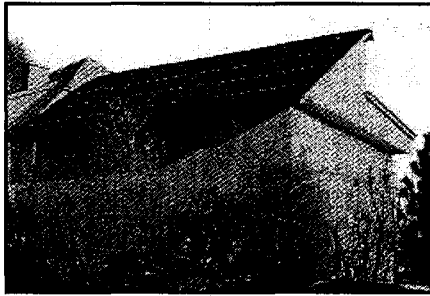
Şekil EK.1.7. a) Scheidegger Metalbau genel görünüşü [11]
b) Scheidegger Metalbau cephesi [11]
c) Scheidegger Metalbau cephe kuruluşu şeması [11]

- Weiss Evi, Gleisdorf, Avusturya

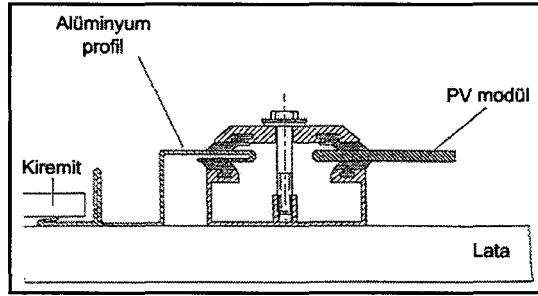
Çizelge EK.1.8. Weiss Evi [11]

Nominal Güç:	2 kW
Modül Alanı:	18 m ²
Modül Üreticisi:	Siemens M50L
Yapım Tarihi:	1992
Bina Sahibi:	Özel Mülk

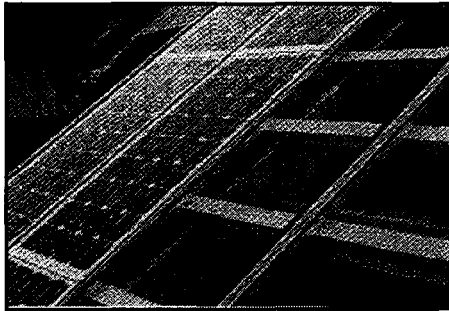
Avusturya'nın '200 kW Çatı Programı' çerçevesinde, Weiss ailesi 1992'de 150 m² büyüklüğündeki evlerinin çatısına 2 kW gücünde bir PV sistem kurmuşlardır. Çizelge EK.1.8' de özellikleri verilmiş olan iyi yalıtılmış evin ısıtma yükü 7 kW olarak hesaplanmıştır. Yapının sıcak su gereksinimi 8 m²'lik güneş topacları ile karşılanırken, kış aylarında artan gereksinimi karşılamak amacıyla elektrik ile çalışan bir sistem kurulmuştur. Ayrıca binanın ısıtılması edilgen sistemlerle desteklenmiştir. PV modüller binanın ahşap strüktürlü çatısına monte edilmiştir (Şekil EK.1.8.).



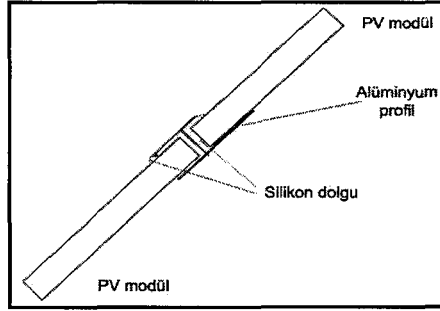
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil EK.1.8. a) Weiss evi genel görünüşü [11]
b) Weiss evi çatı detayı [11]
c) Weiss evi çatı görünümü [11]
d) Weiss evi modül birleşim detayı [11]

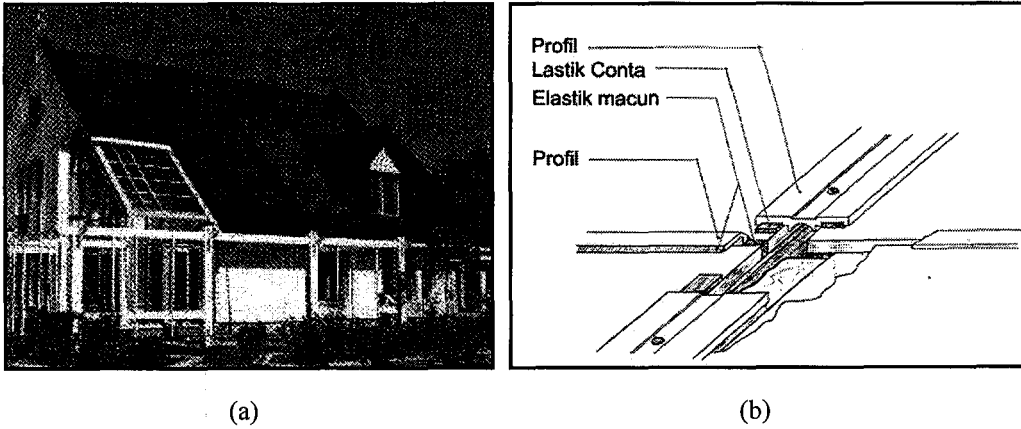
- **Pietarsaari Güneş Evi, Finlandiya**

Çizelge EK.1.9. Pietarsaari Güneş Evi [11]

Nominal Güç:	2.2 kW
Modül Alanı:	55 m ²
Modül Üreticisi:	APS
Yapım Tarihi:	1994
Bina Sahibi:	Özel Mülk

Çizelge EK.1.9’da özellikleri verilen Pietarsaari Güneş Evi, 1994 Pietarsaari Konut Fuarı’nda geniş kitlelere o günki teknolojik koşullarda, konutların enerji tüketim ve masraflarının ne denli minimize edilebileceğini sergileyebilmek amacı ile inşa edilmiştir. Bu fuar esnasında 100.000 den fazla insan bu evi ziyaret etme olanağı bulmuştur. Konutun 10 m² güneş topaaları ve 2.2 kW gücünde PV sistemi bulunmaktadır. PV sistemin oluşturulmasında çerçevesiz amorf PV modüller kullanılmış olup modüllerin tüm çatı yüzeyini kaplaması ve böylelikle muntazam bir görünüm elde edilmesi amaçlanmıştır.

PV modüller, konutun varolan ahşap çatı sisteminin üzerine yerleştirilen telli camın üzerine lastik conta yardımıyla monte edilmiştir. Modüller arasındaki yatay derzlerde ise çatal biçiminde profiller elastik silikon malzemeler kullanılmıştır. Bu tip basit bir detaylandırma yöntemi ile hem malzemeden hem de montaj süresinden tasarruf sağlamak amaçlanmıştır (Şekil EK.1.9.).



Şekil EK.1.9. a) Pietarsaari Güneş Evi genel görünüşü [11]
b) Pietarsaari Güneş Evi çatı detayı [11]

- **Northumberland Binası, Northumbria Üniversitesi, İngiltere**

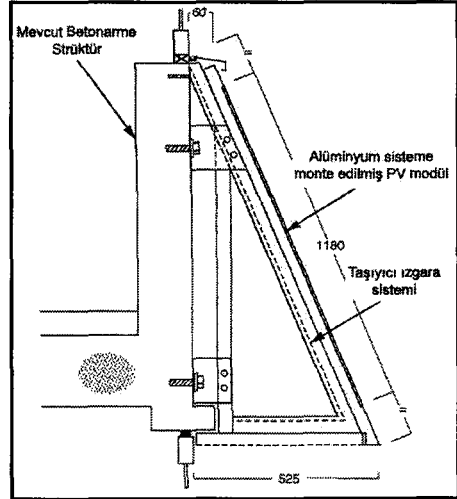
Çizelge EK.1.10. Northumberland Binası [11]

Nominal Güç:	39.5 kW
Modül Alanı:	293 m ²
Modül Üreticisi:	BP Solar
Yapım Tarihi:	1995
Bina Sahibi:	Northumbria Üniversitesi

İngiltere'nin kuzeydoğusunda bulunan üniversite binasında amaç varolan bir binanın cephesine PV entegre edebilmektir. Çizelge EK.1.10'da özellikleri verilen projenin bir kuzey Avrupa ülkesi olan İngiltere'de PV kullanımının rasyonelliğini ve entegrasyonun detaylandırılmasını araştırmak üzere tasarlanmıştır. Bu uygulama İngiltere'de cepheye entegre PV kaplamasına ilk örnektir. Boyutları 3 m x 1.4 m olan paneller güney cephede düzenlenmiş olup, bir panelde 5 adet PV yer almaktadır (Şekil EK.1.10.). Binaın gereksinimlerinden biri, günün belirli saatlerinde gölgelendirilmesidir. Proje tasarlanırken, binanın güney cephesi gerisindeki mekanlara belirli saatlerde kısmi gölgeleme sağlanması düşünülmüştür.



(a)



(b)

Şekil EK.1.10. a) Northumberland binası genel görünüşü [11]
b) Güneş kırıcı eleman detayı [11]

EK-2 Kullanılan ©PVSYST 3.11 Adlı Programın Teknik Özellikleri

Bu çalışmada yapılan simülasyonlar, İsviçre Geneva Üniversitesi ve CUEPE tarafından yazılmış olan ©PVSYST 3.11 programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu program ön tasarım ve proje tasarımı olmak üzere iki farklı kullanım biçimi içermektedir (Şekil EK.2.1). Program sayesinde PV sistemlerin boyutlandırılması, simülasyonları ve tüm bilgi analizleri gerçekleştirilmektedir. Türkiye’de ve dünyada bir çok PV uygulayıcı kuruluş tarafından kullanılan programın demo versiyonunun dağıtımı, kendi internet sitesi üzerinden gerçekleştirilmektedir [50]. Bugün kısmen hayata geçirilmiş olan Muğla Üniversitesi Merkez Kütüphanesi çatısında uygulanan PV sistem projesinin tüm hesap ve simülasyonları bu program kullanılarak yapılmıştır [13].

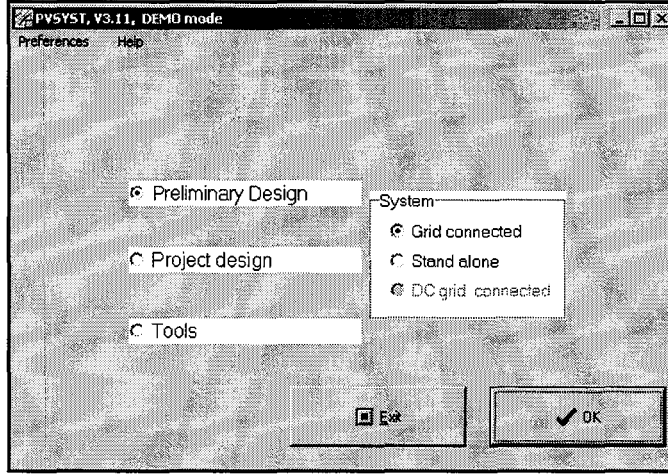
Program için gerekli olan meteorolojik ve coğrafi veriler aşağıda sıralanmıştır (Şekil EK.2.2).

- Enlem, boylam
- Rakım
- Güneş kuşağı
- Toplam, yayılı ve direkt güneş ışıınım değerleri,
- Ortalama sıcaklık
- Ortalama nem
- Rüzgar yönü
- Ortalama rüzgar hızı

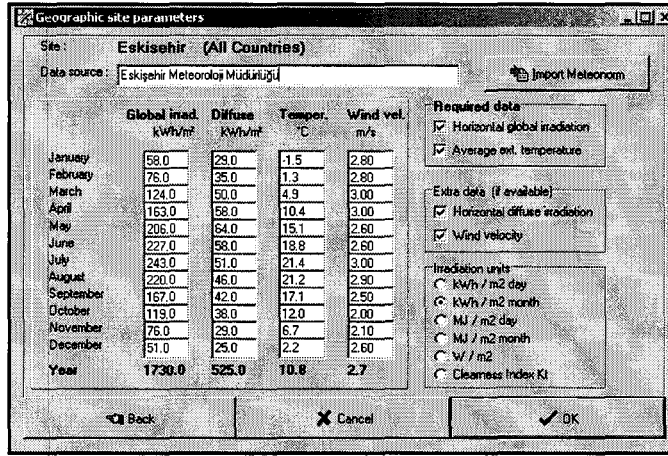
Ayrıca kurulması planlanan PV sistem ile ilgili olarak aşağıdaki değerlerin programa girdisi yapılmıştır.

- Modül sayısı, gücü ve tipi (Şekil EK.2.3)
- Modül açısı, yönü (Şekil EK.2.4)

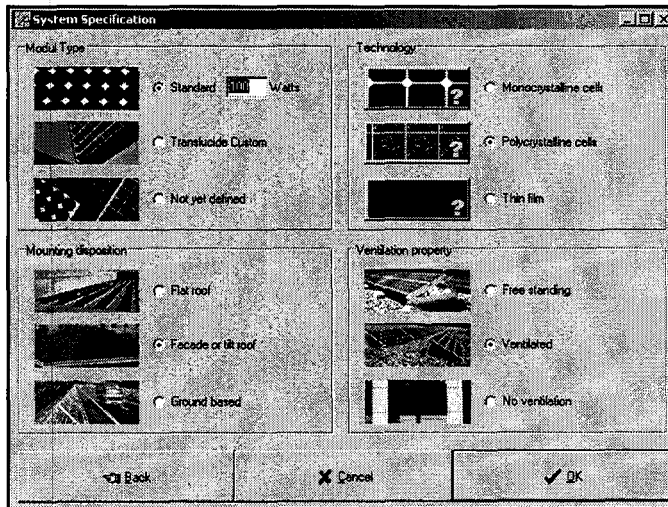
Tüm bu girdi ve parametreler sonucunda sistemin enerji üretim miktarı aylık ve yıllık değerler olarak elde edilmiştir (Şekil EK.2.5). Ayrıca program sayesinde sistem maliyetleri hesaplanmıştır (Şekil EK.2.6).



Şekil EK.2.1. Programın kullanım biçimleri seçim ekranı



Şekil EK.2.2. Meteorolojik veri giriş ekranı



Şekil EK.2.3. PV modül özellikleri giriş ekranı

System Specification

Array specification

☐ Active area [m2]

☐ Nominal Power [kWp]

☐ Annual yield [MWh/year]

Area: 1.2 m2

Collector plane orientation

Tilt 30° Azimuth 0°

West East

South

TR [°] 30

Azimuth [°] 0

Cancel Next

Şekil EK.2.4. Modül açısı ve yönü seçim ekranı

Results

Input Data

Eskişehir
Plane tilt 30.0°, azimuth 0.0°

Parameters

Area: 1.2 m2
Module Cost: 5.00 EUR/Wp
Technology: Polycrystalline

Results

Nominal power: 0.1 kW
Annual Yield: 0.2 MWh/yr
Investment: 1065 EUR
Energy cost: 0.29 EUR/kWh

	GL horiz. kWh/m².day	Coll. Plane kWh/m².day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	1.87	2.86	0.29	9
Feb.	2.71	3.72	0.38	11
Mar.	4.00	4.91	0.50	15
Apr.	5.43	5.85	0.59	18
May	6.64	6.47	0.66	20
June	7.57	6.99	0.71	21
July	7.84	7.39	0.75	23
Aug.	7.10	7.37	0.75	23
Sep.	5.57	6.65	0.67	20
Oct.	3.84	5.30	0.54	17
Nov.	2.53	4.00	0.41	12
Dec.	1.85	2.84	0.27	8
Year	4.74	5.35	0.54	198

Load Project Save Print Cancel OK

Şekil EK.2.5. Sistem çıktı ekranı

Results

Input Data

Eskişehir
Plane tilt 30.0°, azimuth 0.0°

Parameters

Area: 1.2 m2
Module Cost: 5.00 EUR/Wp
Technology: Polycrystalline

Results

Nominal power: 0.1 kW
Annual Yield: 0.2 MWh/yr
Investment: 1065 EUR
Energy cost: 0.29 EUR/kWh

Economic gross evaluation (excluding taxes and subsidies)

Module cost	630 EUR
Supports cost	216 EUR
Inverter and wiring	113 EUR
Transport/Mounting	105 EUR
Total investment	1065 EUR
Annuitant	53 EUR/yr
Maintenance costs	5 EUR/yr
Total Yearly cost	58 EUR/yr
Energy cost	0.29 EUR/kWh

These values should only be considered as an order of magnitude. More precise evaluations will be available with detailed simulation.

Currency

Rate

Loan

Duration: 20 years
Rate: 0.0 %
Ann. factor: 0.050

Edit cost ?

Load Project Save Print Cancel OK

Şekil EK.2.6. Maliyet sonuçları ekranı