

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ ANABİLİM DALI

40,5 kW_p KURULU GÜÇTEKİ FOTOVOLTAİK GÜÇ
SİSTEMİNİN BİNAYA KATKISININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CİHAN DEMİRCAN

EKİM 2014

MUĞLA

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ ANABİLİM DALI

**40,5 kW_p KURULU GÜÇTEKİ FOTOVOLTAİK GÜÇ
SİSTEMİNİN BİNAYA KATKISININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CİHAN DEMİRCAN

EKİM 2014

MUĞLA

MUGLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

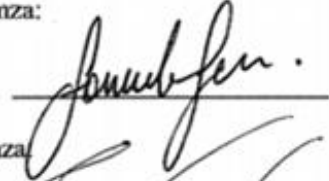
CİHAN DEMİRCAN tarafından hazırlanan **40,5 kWp KURULU GÜÇTEKİ FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN BİNAYA KATKISININ İNCELENMESİ** başlıklı tezinin, 20/10/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Enerji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Doç. Dr. Faruk ŞEN* (Jüri Başkanı)

Enerji Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



Yrd. Doç. Dr. Rüştü EKE** (Danışman)

Enerji Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

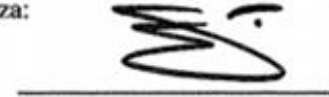
İmza:



Yrd. Doç. Dr. Görkem OYLUMLUOĞLU (Üye)

Fizik Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ

Enerji Ana Bilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

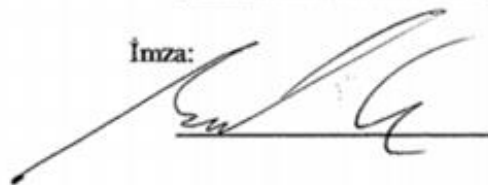
İmza:



Yrd. Doç. Dr. Rüştü EKE

Danışman, Enerji Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



Savunma Tarihi: 20/10/2014

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Cihan DEMİRCAN

20/10/2014

ÖZET
40,5 kWp KURULU GÜÇTEKİ FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN
BİNAYA KATKISININ İNCELENMESİ

Cihan DEMİRCAN

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Rüştü EKE

Ekim 2014, 86 sayfa

Bu çalışmada, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi S Bloğundaki 40,39 kWp kurulu güce sahip binaya entegre fotovoltaik (BIPV) sistemin bir yıllık performansı incelenmiştir. Binadaki yüklerde ihtiyaç duyulan güç ve kullanılan enerji ile BIPV sistem tarafından üretilen güç ve enerji değerleri karşılaştırılmıştır. Güç ve enerjinin BIPV sistem tarafından karşılanma oranları belirlenmiştir.

BIPV sistemin bulunduğu bina güneyden 30° doğuya doğru yönelmiş olmasından dolayı fotovoltaik (PV) sistemlerle kaplı alana gelen güneş enerjisi hesaplanmıştır. PV modüllerin yönü ve PV modüllerin eğim açılarından dolayı Ekim ayında en yüksek güç ve enerji üretim değerleri gerçekleşmiştir. Ekim ayında hafta içinde BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan anlık gücü karşılama oranı %75'e ve hafta sonu günlerinde %250'ye ulaşmasına rağmen binanın enerji talebini karşılama oranı ise hafta içinde %25 ve hafta sonunda ise %45 olarak gerçekleştiği hesaplanmıştır. Kış aylarında enerji talebinde artış olurken; BIPV sistemin enerji üretimi az olduğu için BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranında azalmalar meydana gelmiştir. Ölçümlerin gerçekleştirildiği 2013 Temmuz-2014 Haziran arasındaki bir yıllık süreçte BIPV sistem tarafından 31,73 MWh elektrik enerjisi üretilmiştir ve bu değer binadaki yükler tarafından ihtiyaç duyulan enerjinin %19'una karşılık gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: PV güç sistemleri, güneş enerjisi, BIPV sistem, karşılama oranı

ABSTRACT

AN INVESTIGATION OF THE COVER RATIO OF A BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC POWER PLANT WITH 40.5 kWp INSTALLED POWER

Cihan DEMİRCAN

Master of Science (M.Sc)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Rüştü EKE

October 2014, pages 86

In this study, an annual performance of building integrated photovoltaic BIPV system was investigated on the S Blocks of Education Faculty at Muğla Sıtkı Koçman University with 40.39 kWp installed power. Power and electricity demand of the loads in the building was compared with the BIPV system's production. Power and electricity cover ratios of the BIPV system are also determined.

Incident solar energy on photovoltaic (PV) covered area was calculated because of the orientation of the building 30° from south to east. The highest power and electricity production of BIPV system is obtained in October due to the orientation and slope of PV modules. Although power cover ratio for weekday and weekend averages at October exceeds 75% and 250%, it is calculated that electricity cover ratio decreases to 25% and 45%, respectively. Electricity cover ratio decreases because of the decrease in BIPV electricity production against the increase in electricity demand in winter. Annual electricity production of the BIPV system is measured and calculated as 31.73 MWh for the 12 months period between July 2013 and June 2014 and the calculations show that BIPV electricity production cover 19% of electricity demand of the building.

Keywords: PV power plant, solar energy, BIPV system, cover ratio

Sevgili Aileme

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca benim için zamanını esirgemeyen, akademik yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Rüştü EKE'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Tez ile ilgili çalışmalarım esnasında bana veri almam için yardımcı olan değerli Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı personeli Ali ŞANLI'ya da çok teşekkür ederim.

Ayrıca bana tüm eğitim hayatımda maddi ve manevi yardımı esirgemeyen değerli aileme ve büyüklerime çok teşekkür ederim, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma 12/107 nolu proje olarak Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	4
1.2. Güneş Enerjisi	4
1.2.1. Güneş Işınımı.....	7
1.2.2. Güneş Açıları ve Işınım Hesabı	8
1.3. PV Güç Sistemleri	11
1.3.1. Güneş Gözeleri.....	12
1.3.2. PV Modüller	15
1.3.3. İnvvertörler	16
1.3.4. PV Güç Sistemlerinde Performansı Etkileyen Faktörler.....	17
1.3.5. BIPV Sistemler	19
1.4. Daha Önce Yapılan Çalışmalar	20
2. ANALİZ VE YÖNTEM	24
2.1. Analiz Edilen BIPV Sistem.....	24
2.1.1. BIPV Sistemin Performansı ve Elektrik Enerjisi Üretimi	28
2.2. Veri Toplama.....	31
3. VERİ ANALİZİ	33
3.1. Bir Yıllık Analiz	33
3.2. Temmuz 2013 – Haziran 2014 Arası 1 Yıllık Değerlendirme	38
3.2.1. Temmuz 2013	39
3.2.2. Ağustos 2013	42
3.2.3. Eylül 2013.....	43
3.2.4. Ekim 2013.....	45
3.2.5. Kasım 2013	48

3.2.6. Aralık 2013	49
3.2.7. Ocak 2014.....	51
3.2.8. Şubat 2014.....	55
3.2.9. Mart 2014	56
3.2.10. Nisan 2014.....	57
3.2.11. Mayıs 2014	61
3.2.12. Haziran 2014.....	62
3.3. Yaz ve Kış Mevsiminde Açık Günler ile Kapalı Günlerin Karşılaştırılması...63	
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	76
EKLER.....	80
Ek A. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde BIPV sistem tarafından üretilen gücün aylık değişimi.....	80
Ek B. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde bina tarafından ihtiyaç duyulan gücün aylık değişimi.....	81
Ek C. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde aylık BIPV anlık güç üretimi ve binada ihtiyaç duyulan anlık toplam güç	82
Ek D. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde aylık BIPV anlık güç çıkışı ve binanın şebekeden çektiği net güç değişimi.....	83
Ek E. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranının aylık değişimi.....	84
Ek F. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde aylık BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan anlık gücü karşılama oranı	85
ÖZGEÇMİŞ	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi-tüketimi.....	3
Çizelge 1.2. Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı.....	3
Çizelge 3.1. Yatay yüzeyde ve güneyden 30° doğuya dönük düşey ve 60° eğimli yüzeyler için özel günlerde öğle ve öğleden önceki zaman diliminde güneş ışınlarının yüzeylere geliş açısı.....	64
Çizelge 3.2. Muğla iklim koşullarında düşey yüzeye (kule) ve 60° eğimli (bina yüzeyine) birim yüzeye düşen günlük ışınlam.....	65
Çizelge 3.3. BIPV sistemin etkin yüzeyine gelen günlük toplam ışınlam.....	66
Çizelge 3.4. BIPV sistemin elektrik enerjisi üretimi ve binanın enerji talebi.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünyada enerji talep artışı (sektörlere ve kaynaklara göre dağılımı)	1
Şekil 1.2. Türkiye’de 2003-2012 yılı elektrik enerjisi talebi ve puant güç.....	2
Şekil 1.3. Türkiye’de tüketimin maksimum olduğu günde santrallerin tiplerine göre çalışma durumları	3
Şekil 1.4. Güneş enerjisi çatı uygulama örnekleri	5
Şekil 1.5. Dünyadaki toplam kurulu PV güç kapasitesi.....	6
Şekil 1.6. Dünyadaki kurulu toplam PV kapasitesi ve PV modül maliyetinin tarihi gelişimi.....	6
Şekil 1.7. Güneş ışınının atmosferi geçerken aldığı yolun ışının geliş doğrultusuna göre değişimi	7
Şekil 1.8. Güneş ışınımı spektrumu	8
Şekil 1.9. Eğimli yüzey üzerinde türetilmiş güneş açıları.....	9
Şekil 1.10. Güneşin yaz ve kış mevsimindeki yükseklik durumu	10
Şekil 1.11. Binalar için güneş enerjisinin pasif kullanımı	10
Şekil 1.12. Şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı PV sistemler	11
Şekil 1.13. Güneş ışınımı altında güneş gözesi ile elektrik akımı akışı.....	13
Şekil 1.14. Amorf silisyum güneş gözesi yapısı.....	14
Şekil 1.15. Amorf ve kristalli silisyumlu güneş gözelerinin güneş spektrumuna cevabı ve görülebilir bölge.....	14
Şekil 1.16. Tek bir güneş gözesi ile PV modül, PV dizi ve PV örgünün elde edilişi	15
Şekil 1.17. Esnek amorf ince film PV modül teknolojisi.....	15
Şekil 1.18. PV sistemde dizi, çoklu dizi ve merkezide invertörlerin bağlantısı.....	16
Şekil 1.19. Farklı gerilim değerlerinde çalışan bir invertörün güç-verim değişimi	17
Şekil 1.20. Yaz ve kış mevsiminde farklı güneş ışınımında bir PV modülün akım-gerilim değişimi.....	17
Şekil 1.21. Kendi kendine gölgeleme için test edilen modüllerin güç üretimi değişimi.....	18
Şekil 1.22. BIPV sistemlerde çatı ve cephe uygulaması.....	19
Şekil 1.23. BIPV sistemlerde çatı ile PV modüller arasında boşluk bırakılması	19
Şekil 1.24. Güneye dönük ve güneyden 50° batıya dönük bina	20

Şekil 1.25. Güneye dönük ve güneyden 50° batıya dönük BIPV sistemin aylık elektrik enerjisi üretiminin gölgeleme etkisi altında değişimi	20
Şekil 1.26. Almanya’da farklı düzeyde PV kurulu kapasitesindeki talep ve net güç talebi eğrisi	21
Şekil 1.27. Almanya ve İberya Yarımadasındaki farklı seviyede kurulu rüzgar ve güneş güç sistemlerinin bölgelerdeki yükü karşılamadaki rolü ve farklı günlerdeki değişimleri	22
Şekil 1.28. Açık ve kapalı günlerde PV sistem üretimi ile güç tüketimi	22
Şekil 1.29. Hafta içi ve hafta sonu açık günlerde PV sistemin binaya katkısı	23
Şekil 1.30. Şebekeye bağlı PV sistemde üretilen güç ve elektriksel katkı.....	23
Şekil 2.1. BIPV sistem	24
Şekil 2.2. Üç eklemlili 140 Wp a-Si:H PV modül.....	25
Şekil 2.3. Tek eklemlili 64 Wp a-Si:H PV modül	25
Şekil 2.4. BIPV sistemi şehir şebekesine bağlamak için kullanılan üç ve tek fazlı invertörler	26
Şekil 2.5. Görüntüleme sistemi	26
Şekil 2.6. Güneşin yaz ve kış mevsimindeki durumu ve binanın konumu	27
Şekil 2.7. Veri toplama ve bina güç sisteminin elektriksel bağlantıları.....	28
Şekil 2.8. Yıllık BIPV elektrik enerjisi üretimi	29
Şekil 2.9. BIPV sistemde katlar arasında kendi kendine gölgelenme	30
Şekil 2.10. Farklı günlerde BIPV sistemin güç değişimi	30
Şekil 3.1 Yıllık BIPV güç üretimi	33
Şekil 3.2. Binada yıllık ihtiyaç duyulan anlık aktif güç.....	34
Şekil 3.3. BIPV sistemin binanın yıllık ihtiyaç duyulan anlık aktif gücü karşılama oranı	35
Şekil 3.4. BIPV sistemin binanın aylık ve yıllık ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı	36
Şekil 3.5. Bir yıllık süreçte binada ihtiyaç duyulan toplam anlık gücün frekans analizi	37
Şekil 3.6. Bir yıllık süreçte BIPV sistem tarafından üretilen anlık gücün frekans analizi	37
Şekil 3.7. Temmuz ayında günlük üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi.....	39
Şekil 3.8. Temmuz ayında BIPV sistemin günlük ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı	40

Şekil 3.9. Temmuz ayında ortalama olarak üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi.....	40
Şekil 3.10. Temmuz ayında BIPV sistemin ortalama olarak ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı	41
Şekil 3.11. Temmuz ayındaki günlük toplam enerji talebi	41
Şekil 3.12. Temmuz ayında BIPV sistemin günlük enerji talebini karşılama oranı...42	
Şekil 3.13. Ağustos ayındaki günlük toplam enerji talebi	43
Şekil 3.14. Eylül ayındaki günlük toplam enerji talebi.....	44
Şekil 3.15. Ekim ayında günlük üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi	45
Şekil 3.16. Ekim ayında BIPV sistemin günlük ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı	46
Şekil 3.17. Ekim ayında üretilen ortalama olarak üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi.....	46
Şekil 3.18. Ekim ayında BIPV sistemin ortalama olarak ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı	47
Şekil 3.19. Ekim ayındaki günlük toplam enerji talebi.....	47
Şekil 3.20. Ekim ayında BIPV sistemin günlük enerji talebini karşılama oranı	48
Şekil 3.21. Kasım ayındaki günlük toplam enerji talebi	49
Şekil 3.22. Aralık ayındaki günlük toplam enerji talebi	50
Şekil 3.23. Ocak ayında günlük üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi	51
Şekil 3.24. Ocak ayında BIPV sistemin günlük ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı	52
Şekil 3.25. Ocak ayında üretilen ortalama olarak üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi.....	52
Şekil 3.26. Ocak ayında BIPV sistemin ortalama olarak ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı	53
Şekil 3.27. Ocak ayındaki günlük toplam enerji talebi	53
Şekil 3.28. Ocak ayında BIPV sistemin günlük enerji talebini karşılama oranı	54
Şekil 3.29. Temmuz ayındaki ihtiyaç duyulan güç ile Ocak ayındaki ihtiyaç duyulan gücün karşılaştırılması.....	55
Şekil 3.30. Şubat ayındaki günlük toplam enerji talebi	56
Şekil 3.31. Mart ayındaki günlük toplam enerji talebi.....	57

Şekil 3.32. Nisan ayında günlük üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi.....	58
Şekil 3.33. Nisan ayında BIPV sistemin günlük ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı	58
Şekil 3.34. Nisan ayında üretilen ortalama olarak üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi.....	59
Şekil 3.35. Nisan ayında BIPV sistemin ortalama olarak ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı	59
Şekil 3.36. Nisan ayındaki günlük toplam enerji talebi	60
Şekil 3.37. Nisan ayında BIPV sistemin günlük enerji talebini karşılama oranı	60
Şekil 3.38. Mayıs ayındaki günlük toplam enerji talebi	61
Şekil 3.39. Haziran ayındaki günlük toplam enerji talebi	63
Şekil 3.40. Yaz ve kış mevsiminde BIPV sistemde güneş geliş açısı değişimi	64
Şekil 3.41. Yaz ve kış mevsiminde açık ve kapalı günlerde düşey ve 60° eğimli birim yüzeye düşen anlık ışınım.....	65
Şekil 3.42. Yaz ve kış mevsiminde açık ve kapalı günlerde kurulu güç başına üretilen enerjinin değişimi	67
Şekil 3.43. Yaz ve kış mevsiminde açık ve kapalı günlerde BIPV sistemin veriminin değişimi	68
Şekil 3.44. Yaz ve kış mevsiminde açık ve kapalı günlerde düşey ve 60° eğimli yüzeye gelen anlık ışınım, BIPV güç üretimi ve binada anlık ihtiyaç duyulan güç	68
Şekil 3.45. Yaz ve kış mevsiminde hafta içi ve hafta sonunda açık günler ile kapalı günlerin karşılaştırılması	69
Şekil 4.1. Hafta içi ve hafta sonunda günlük üretilen ve talep edilen enerjinin aylık değişimi	74

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

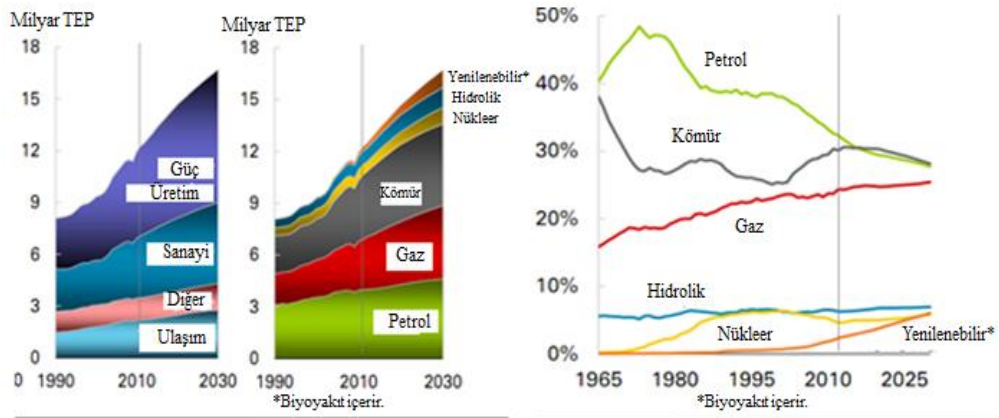
δ	Deklinasyon açısı, °
β	Eğim açısı, °
γ	Yüzey azimut açısı, °
θ_z	Zenit açısı, °
θ	Güneş geliş açısı, °
α_s	Güneş yüksekliği açısı, °
n	Gün sayısı
φ	Enlem, °
a-Si:H	Hidrojenlenmiş amorf silisyum
AM	Hava kütlesi
BIPV	Binaya entegre fotovoltaik
E	Enerji, kWh
E_{Inv}	BIPV sistem tarafından şebeke hattına aktarılan günlük enerji, kWh
E_{Top}	Binanın günlük enerji talebi, kWh
G_{sc}	Güneş sabiti, W/m^2
H	Işınım şiddeti, W/m^2
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
kWp	kilo Watt pik
KO	Karşılama oranı
MPP	Maksimum güç noktası
PV	Fotovoltaik

PV/T	Fotovoltaik-termal
P_{PV}	BIPV sistem tarafından üretilen anlık aktif güç, kW
P_{Inv}	BIPV sistemin anlık çıkış gücü, kW
P_1, P_2, P_3	Şebeke, jeneratör ve UPS hattına bağlı yükler tarafından çekilen anlık aktif güç, kW
P_{Grid1}, P_{Gen}	Şebeke ve jeneratör hatlarından çekilen anlık aktif güç, kW
P_{Grid2}	Şebeke kesintisi olduğunda jeneratörden şebeke hattına bağlı yüklere aktarılan anlık aktif güç, kW
P_{Net}	Anlık şebeke ve jeneratörden çekilen net aktif güç, kW
P_{Top}	Binada ihtiyaç duyulan toplam anlık aktif güç, kW
TEP	Ton eşdeğer petrol
Th	Termal
UPS	Kesintisiz güç kaynağı
$\omega, \omega_1, \omega_2$	Saat açısı
Wp	Watt pik

1. GİRİŞ

Enerji, çağımızda en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Kişi başına tüketilen enerji miktarı bir ülkenin gelişmişlik düzeyini göstermektedir. IEA'ya göre dünyada kişi başına tüketilen enerji miktarı 2933 kWh iken Çin'de 3312 kWh, Almanya'da 7083 kWh ve Türkiye'de 2677 kWh'dir (Anonim, 2013a). Tüketmekte olduğumuz enerjinin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtları tükenme riski ve çevreye zarar vermesi (CO₂ salımı, küresel ısınma) her geçen gün yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği mücadelesini sağlamak için 181 ülke ile birlikte 1997 yılında Kyoto protokolü imzalanmış ve 2005'te yürürlüğe girmiştir. Kyoto protokollerini kabul eden ülkelerden biri de Türkiye olup, CO₂ ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın salınımını azaltmaya veya bunu yapamıyorsa salınım ticareti yoluyla haklarını arttırmaya söz vermişlerdir (Anonim, 2010).

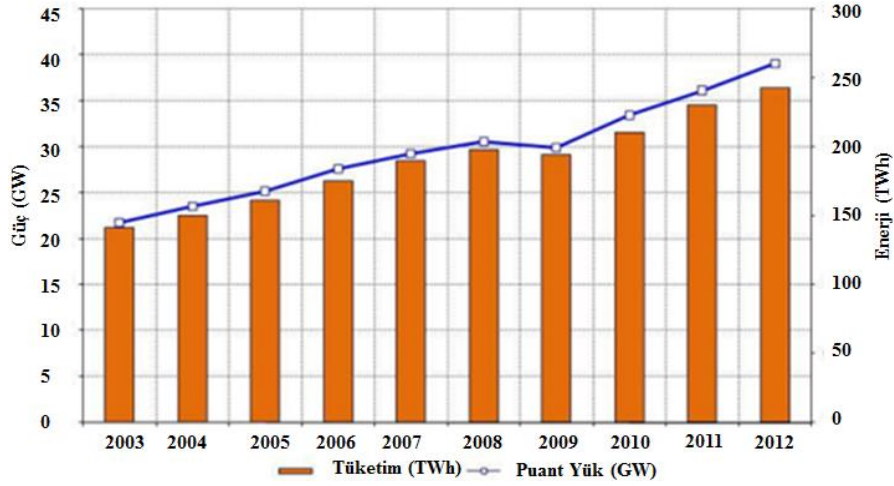
Uluslararası bir enerji şirketi tarafından yapılan çalışmaya göre 2010 yılı sonunda farklı sektörlerdeki toplam enerji tüketimi 12 milyar-TEP (ton eşdeğer petrol) değerine ulaşmıştır. Bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmı Şekil 1.1.'de ve Şekil 1.3.'te görüldüğü gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (Anonim, 2013b).



Şekil 1.1. Dünyada enerji talep artışı (sektörlere ve kaynaklara göre dağılımı) (Anonim, 2013b)

Uluslararası bir enerji şirketi tarafından yapılan araştırmaya Türkiye’de enerji tüketimi 2010’da 110,4 milyon TEP, 2011’de 117,6 milyon TEP ve 2012’de 122,7 milyon TEP değerine ulaşmıştır ve dünya birincil enerji tüketimine göre %0,9’luk oran ile dünyada 21. sırada yer almıştır. Türkiye elektrik üretiminde ise Şekil 1.2.’de görüldüğü gibi 210,2 TWh üretime sahip olup dünyada %1’lik oranla dünyada 20. sırada yer almıştır. Ayrıca Türkiye’de yıllık elektrik talep artışı yaklaşık %8’dir ve dünya sıralamasında Çin’den sonra 2. sırada yer almıştır (Anonim, 2013c; Anonim, 2014a).

Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminin Çizelge 1.1.’de gösterilmiştir. Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi (Türkiye brüt üretimi+dış alım–dış satım) 2011 yılında %9,4 artarak 230,3 Milyar kWh, 2012 yılında ise %5,2 artış ile 242,4 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2013e). 2012 yılı Türkiye elektrik enerjisi talebi Şekil 1.2.’de gösterilmiştir ve bir önceki yıla göre %4,4’e karşılık gelen 10.101,7 milyon kWh artış ile 239.496,8 milyon kWh, tüketim ise yine % 5.2’ye karşılık gelen 12.063,6 milyon kWh artış ile 242.369,9 milyon kWh olmuştur (Anonim 2012b).



Şekil 1.2. Türkiye’de 2003-2012 yılı elektrik enerjisi talebi ve puant güç (Anonim, 2013e)

Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi ve tüketiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı Çizelge 1.2.’de gösterilmiştir. Türkiye’nin güç üretiminde fosil kaynaklar büyük pay almaktadır. Fakat yenilenebilir kaynaklarda artış rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin payı hidrolik ile birlikte %25 iken sadece hidrolik ise %23’tür. Türkiye’nin enerji stratejileri 2023’e kadar eklenen yenilenebilir enerji kaynaklarının en fazla rüzgar için 20 GW ve hidrolik için 40

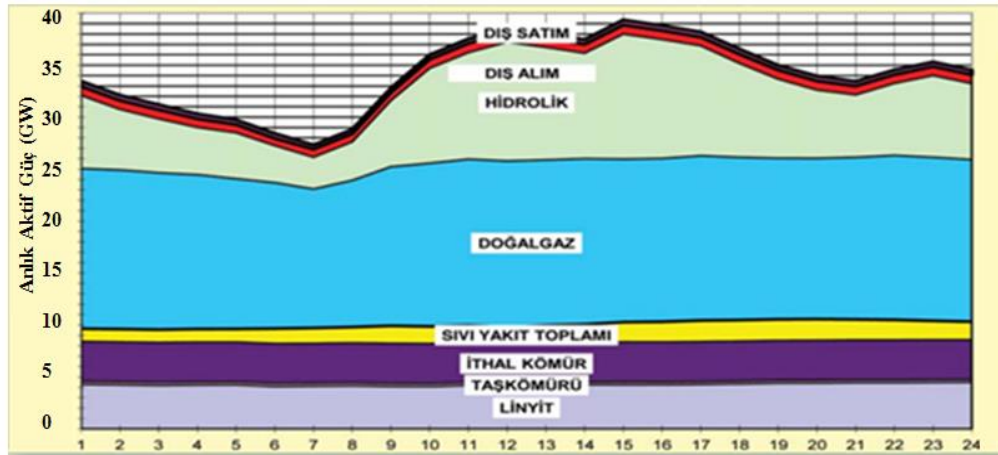
Çizelge 1.1. Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi-tüketimi (Anonim, 2012b)

	2011		2012		ARTIŞ
	GWh	%	GWh	%	%
Termik	171638,3	74,8	174871,7	73,0	1,9
Hidrolik	52338,6	22,8	57865	24,2	10,6
Jeo + Rüzgar	5418,2	2,4	6760,1	2,8	24,8
Brüt Üretim	229395,1	100,0	239496,8	100,0	4,4
Dış Alım	45555,8		5826,7		
Dış Satım	3644,6		2953,6		
Brüt Tüketim	230306,3		242369,9		5,2

Çizelge 1.2. Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (Anonim, 2012b)

	2011		2012		ARTIŞ
	GWh	%	GWh	%	%
Kömür	66217,9	28,9	68013,1	28,4	2,7
Sıvı Yakıtlar	903,6	0,4	1638,6	0,7	81,3
Doğal Gaz	104047,6	45,4	104505,5	43,6	0,4
Yenilenebilir+Atık	469,2	0,2	714,5	0,3	52,3
Hidrolik	52338,6	22,8	57865	24,2	10,6
Jeo+Rüzgar	5418,2	2,4	6760,1	2,8	24,8
Toplam	229395,1	100,0	239496,8	100,0	4,4

GW’a yükseltileceğini göstermektedir. Fotovoltaik (PV) ise düşük tabandan hızlıca yükselmesi umulmaktadır. 2011’de PV kurulu kapasitesi 10 MW’tan düşük iken jeotermal enerji 2011’de 95 MW’ta durmuş, biyoenerji ise 2010’da 120 MW olarak hesaplanmıştır (Anonim, 2012a).



Üretimin ve Tüketimin Maksimum Olduğu Gün: 27 Temmuz 2012
Maksimum Üretim: 789842 MWh

Ani Puant : 39044,9 MW Saat: 14:30
Saatlik Puant : 38431 MWh Saat: 15:00
Maksimum Tüketim: 799365 MWh

Sıvı Yakıt Toplamı: F.Oil+Motorin+LPG+Nafta+Jeotermal+Rüzgar+Diğer

Şekil 1.3. Türkiye’de tüketimin maksimum olduğu günde santrallerin tiplerine göre çalışma durumları (Anonim, 2012b)

Binalar en çok enerji tüketen sektörlerdir ve küresel olarak nihai enerji tüketiminin %31'lik payına sahiptir ve 2011'de elektrik enerjisi üretimi ile doğrudan CO₂ salımlarıyla 2,9 Gt, doğrudan olmayan CO₂ salımlarıyla 3,8 Gt'a ulaşmıştır ve CO₂ salımının önemli bir kaynağıdır. 2000'den 2011'e nihai enerji tüketimi %19 artmıştır (Anonim 2014c).

1.1. Amaç ve Kapsam

PV modüller binalara kolaylıkla entegre edilebilmektedirler. Binaların güneşe dönük kısımları kullanılarak güneş enerjisinden elektrik üretimi gerçekleştirilir ve yerleştirilmesi için herhangi bir ekstra alan kullanmaya ihtiyaç yoktur. Üretilen elektrik enerjisi DC yükler için doğrudan kullanılabilir. AC yükler için ise invertörler aracılığıyla binada kullanılır ve ihtiyaç fazlası güç akülere depolanabilir ya da şebekeye verilebilir. Herhangi bir zaman diliminde ihtiyaç duyulan enerji/güç karşılanmadığında ise, örneğin kapalı günlerde, şebekeden alınır ve ihtiyaç duyulan enerji/güç karşılanır. Güneş ışınımı dünyanın yıllık hareketi, atmosferik olaylar gibi sebeplerden dolayı mevsimsel ve günlük olarak değişmektedir. Bu çalışmada Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi S Bloğundaki 40,39 kWp kurulu güneşli binaya entegre fotovoltaik (BIPV) sistemin 1 Yıllık performansı incelenmiş, BIPV sistem tarafından üretilen gücün ve enerjinin binada ihtiyaç duyulan gücü ve enerjiyi karşılama oranları belirlenmiştir.

1.2. Güneş Enerjisi

Güneş, 4 protonun 1 helyum çekirdeğine dönüşmesi (füzyon) sonucunda $3,826 \times 10^{26}$ J/s değerinde elektromanyetik enerji yayınlar. Güneş içerisindeki bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan enerji elektromanyetik dalgalar şeklinde uzayda yayılmaktadır. Bu enerji çeşitli dalga boylarında ışınlar halinde dünyaya ulaşır (Tozlu, 2004).

Güneşin 1 saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji miktarından fazladır. Dünya, güneşten gelen enerjinin sadece milyarda birini alır. Bu enerji 15 dakika depo edilirse toplam dünya nüfusunun yıllık enerji ihtiyacı karşılanır (Yerebakan, 2010).

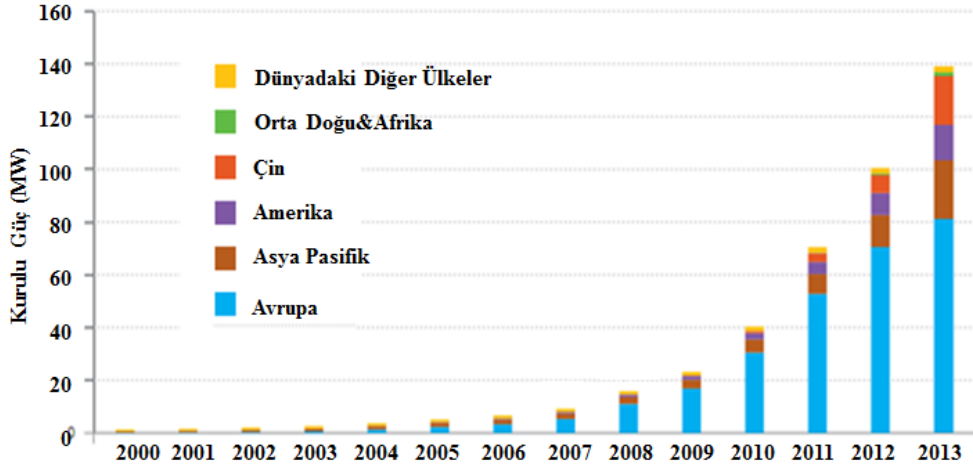
Güneş enerjisi, temiz, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Güneşten dünya yüzeyine gelen güneş enerjisinin $1,7 \times 10^{11}$ MW olduğu tahmin edilmektedir. Bunun neredeyse üçte biri uzaya geri yansıtılmaktadır ve geri kalan kısmı atmosferde kalmaktadır. Bu enerji, dünya üzerinde üretilen enerjiden binlerce kat fazladır. Güneş enerjisinden şu anda iki türlü yararlanılmaktadır. Birinci yöntem olan termal ısı üretiminde, güneş ışınımı bir yüzey tarafından emilir ve ısıya çevrilir. Bu ısı da temel olarak suyun ısıtılmasında, suyun tuzunun giderilmesinde kullanılmaktadır. Diğer yöntemde ise, güneş ışınımı PV modüller yardımıyla doğrudan elektriğe çevrilir (Şekil 1.4.) (İbrahim, 2006).



Şekil 1.4. Güneş enerjisi çatı uygulama örnekleri (Anonim, 2013d)

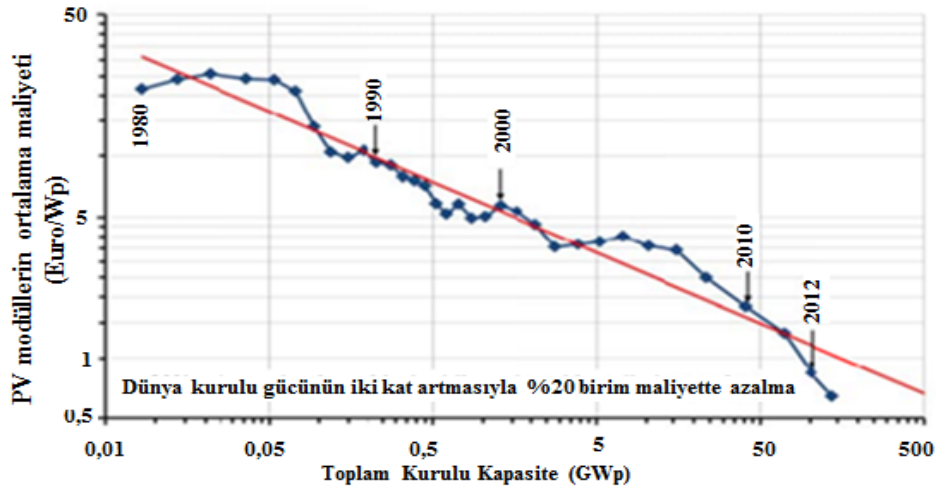
Küresel güneş su ısıtma kapasitesi 2011 yılında 223 GWth'dir. Çin %68 pay ile dünyada birinci sırada iken Türkiye ve Almanya %4.6 ile dünyada ikinci sıradadır. PV elektriğinde ise dünya kurulu gücü 100 GW'tır. Almanya %32 pay ile birinci, İtalya %16 ile ikinci sıradadır (Anonim, 2013d). Şekil 1.5.'te gösterildiği gibi dünyada yeni yapılan 38,4 GW yatırım ile dünyadaki toplam kurulu PV gücü 138,9 GW'a ulaşmıştır. Bu değer her yıl en azından 160 TWh elektrik enerjisi üretebilir ve bu değer 32 büyük termik santralin üreteceği elektrik enerjisine eşdeğerdir. Avrupa'nın 2013 yılı sonunda kurulu PV güç kapasitesine bakıldığında; Almanya'da 35 GW'ı aşmış iken, İtalya'da yaklaşık 18 GW'tır. Türkiye'deki kurulu PV güç

kapasitesi ise 18 MW seviyesindedir. Türkiye’de 2014 yılında bu durum değişebilir (Anonim, 2014b). Yıl sonuna kadar lisanslı (1 MW’tan büyük) ve lisanssız (1 MW’tan daha düşük kurulu güçte) olmak üzere devreye alınacak yeni sistemler ile kurulu gücün 60 MWp değerine yaklaşacağı tahmin edilmektedir (Eke, 2013).



Şekil 1.5. Dünyadaki toplam kurulu PV güç kapasitesi (Anonim, 2014b)

Dünyada her geçen gün kurulu gücün artması Şekil 1.6.’da görüldüğü gibi PV modüllerin birim maliyetleri azalmaktadır. Böyle bir zirve dönemde PV elektriği çok düşük bir marjinal maliyetinden dolayı doğal gaz, kömür gibi marjinal maliyeti yüksek konvensiyonel güç santrallerinin yerini alabilir. Ülke olarak ise arz-talep etkisi üretici firmalardan tüketicilere kar getirmektedir (Wirth, 2014; Sensfuß, Ragwitz vd, 2007).

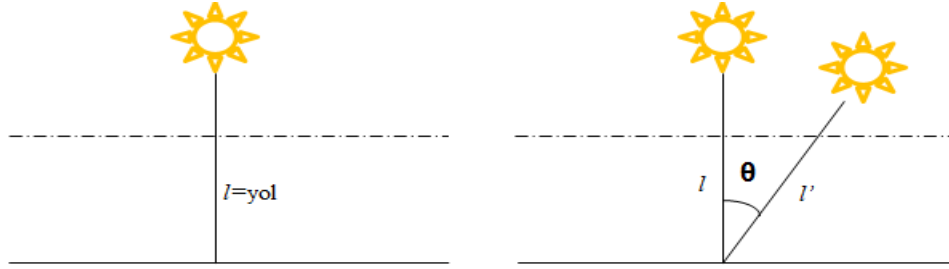


Şekil 1.6. Dünyadaki kurulu toplam PV kapasitesi ve PV modül maliyetinin tarihi gelişimi (Wirth, 2014)

1.2.1. Güneş Işınımı

Güneş ışınım spektrumu 5762 K sıcaklıkta bir siyah cisim ışımasına benzetilebilir. Siyah cisim ışıması gibi güneş ışınımının emisyonu da izotropiktir. Güneş dünyanın tam üzerinde iken ışınım yoğunluğu veya güneş sabiti yaklaşık 1.353 kW/m^2 'dir ve spektral dağılım AM0 olarak adlandırılır. Hava kütlesi (AM) dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınımının yoğunluğu ve spektral miktarı etkisinin atmosferde ne kadar soğurulduğunun bir ölçüsüdür ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Green, 1981). Güneş ışınımının atmosferden geçerken izlediği yolun, güneşin dik olduğu durumda izleyeceği yola oranı olarak da tanımlanır ve Şekil 1.7.'deki gibi gösterilir (İbrahim, 2006). Denklem 1.1'deki ifade ile hesaplanır. Güneş gözelerinin performansını karşılaştırmak için yaygın olarak kullanılan hava kütlesi; toplam 1 kW/m^2 güç yoğunluğuna normalize edilen AM1.5 ($\theta=48.2^\circ$) spektrumudur ve Şekil 1.8.'de gösterilmiştir (Luque ve Hegedus, 2011).

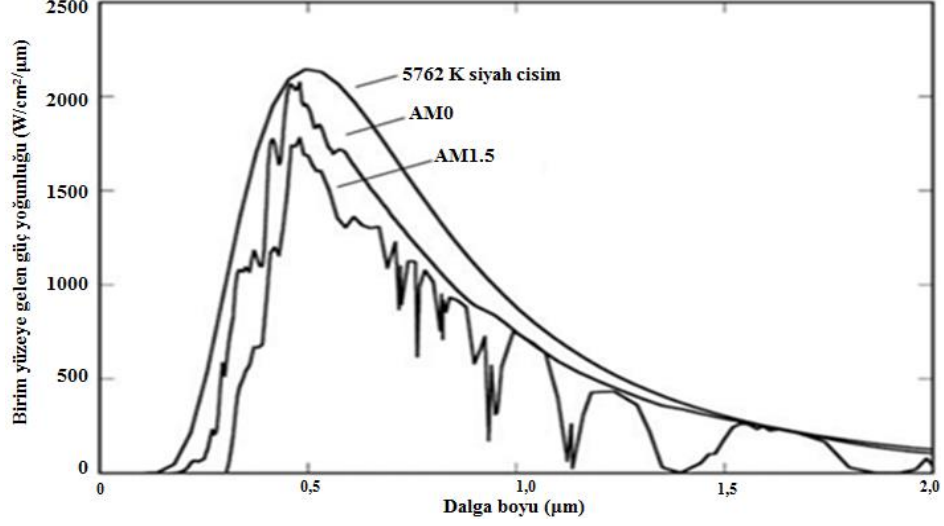
$$\text{Hava kütlesi (AM)} = \frac{l}{l'} = \frac{1}{\cos \theta} \quad (1.1)$$



Şekil 1.7. Güneş ışınımının atmosferi geçerken aldığı yolun ışınım geliş doğrultusuna göre değişimi

Güneş, ışığı geniş bir spektrum içinde elektromanyetik ışınım şeklinde yayar. $0,4 \mu\text{m}$ 'den küçük dalga boyları morötesi olarak bilinmektedir. $0,7 \mu\text{m}$ 'den büyük dalga boyları ise kızılötesi olarak adlandırılırlar. Görülebilir dalga boyu ise morötesi ile kızılötesi arasında kalan bölgedir. Siyah cisim ışıması spektrumu, atmosfer dışındaki ve atmosfere ulaşan küresel güneş spektrumu yaklaşık olarak $0,2 \mu\text{m}$ ile $3 \mu\text{m}$ arasında değişmektedir ve $0,5 \mu\text{m}$ 'de tepe değere ulaşmaktadır (Şekil 1.8.). Bu spektrum yaklaşık olarak 5762 K'deki siyah cisim ışımasına karşılık gelmektedir. Şekil 1.8'de görüldüğü gibi güneş ışınımı atmosferden geçince spektrumu ve şiddeti bozulmaya uğrar. Ozon tabakası morötesi bandındaki ışınımı soğurur. Su buharı ve karbondioksit ise kızılötesi bandındaki ışınımı soğurur. Güneş enerjisinin yaklaşık

olarak %48'i (656 W/m^2) yeryüzüne görülebilir spektrumda ulaşmaktadır, %6'sı (88 W/m^2) morötesi spektrumda ve yaklaşık %45'i (623 W/m^2) kızılötesi spektrumda yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne ulaşan güneş spektrumu güneş ışınının atmosferin ne kadarından geçtiğine bağlıdır ve hava kütlesi cinsinden ölçülür (İbrahim, 2006).



Şekil 1.8. Güneş ışınımı spektrumu (Luque ve Hegedus, 2011)

1.2.2. Güneş Açıları ve Işınım Hesabı

Bir güneş enerjisi sisteminin yıllık performansı bulunduğu bölgenin güneş enerjisi potansiyeline bağlı olduğu gibi güneş açılara da bağlı olarak değişmektedir. Bu açı değerleri değiştirilerek herhangi bir zamandaki performansları yükseltilebilmektedir. Yatay yüzeyler ile yaz mevsiminde ve dikey yüzeyler ile kış mevsiminde daha fazla ışınım kazancı elde edilebilmektedir. Güneş izleyici sistemler ise PV güç sistemlerinin güneş açıları sürekli olarak değiştirilerek ve güneşi izleyerek PV güç sistemleri ile güneş ışınımından üretilen enerji en yüksek düzeylere çıkarılabilmektedir. Böylece sabit (eğim açısı, yönelimi değişmeyen) sistemlere göre daha fazla kazanç elde edilmektedir. Bir sistemin performansının incelenmesi için güneş ile dünya arasındaki ilişki oldukça önem taşımaktadır. Bunun için güneş açıları türetilmiştir ve bazı güneş açıları Şekil 1.9.'da gösterilmiştir.

Başlıca temel açılar;

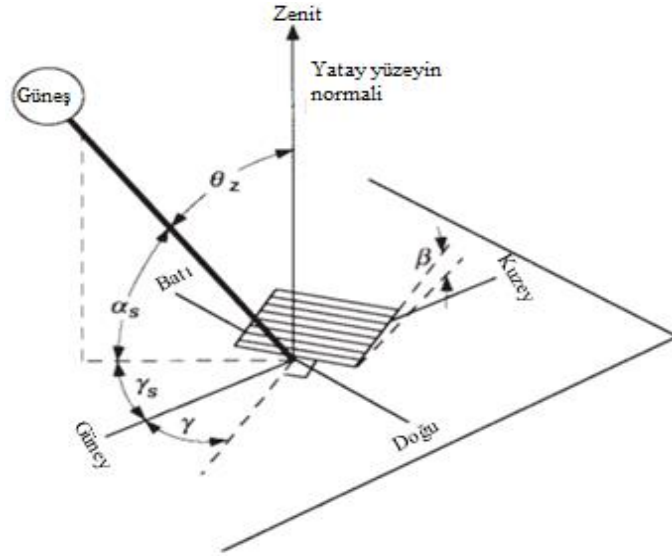
Deklinasyon açısı (δ): Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Denklem 1.2'deki ifade ile hesaplanabilir (Cooper, 1969).

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (1.2)$$

Burada n gün sayısıdır. 1 ile 365 arasında değer alır.

Eğim açısı (β): İncelenen yüzeyin yatay yüzey ile yaptığı açıdır.

Yüzey azimut açısı (γ): İncelenen yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır. Tam güneye dönük yüzeyler için sıfır, doğuya doğru negatif ve batıya doğru pozitif değerde alınır.



Şekil 1.9. Eğimli yüzey üzerinde türetilmiş güneş açıları (Duffie ve Beckman, 2013)

Zenit açısı (θ_z): Yatay yüzey için tanımlanan güneş geliş açısıdır.

Güneş geliş açısı (θ): İncelenen yüzeye gelen direkt güneş ışınımı ile yüzeyin normali arasındaki açıdır. Denklem 1.3'deki ifade ile hesaplanabilir (Duffie ve Beckman, 2013).

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad (1.3)$$

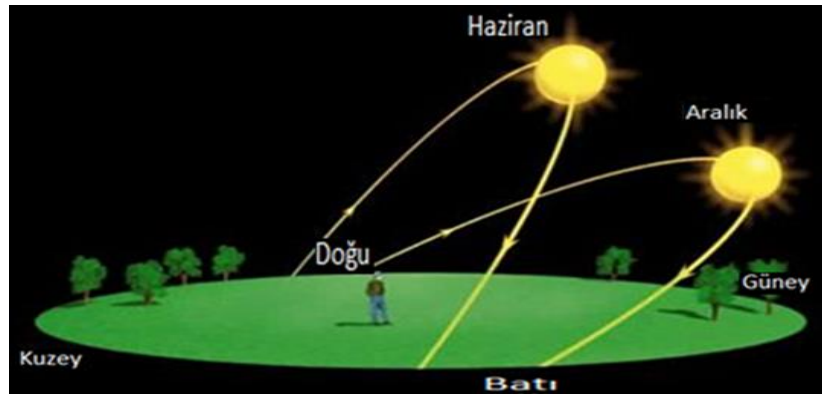
Güneş yüksekliği açısı (α_s): İncelenen yüzeye gelen direkt güneş ışınımı ile yatay yüzey arasındaki açıdır.

Burada φ hesaplanmak istenen yerin enlemi, ω ise saat açısıdır. Herhangi bir zaman diliminde bir yerdeki eğimli bir yüzeyin atmosfer dışındaki güneş ışınımını bulmak için (Allen, Trezza vd, 2006);

$$H = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \int_{w_1}^{w_2} \cos \theta d\omega \quad (1.4)$$

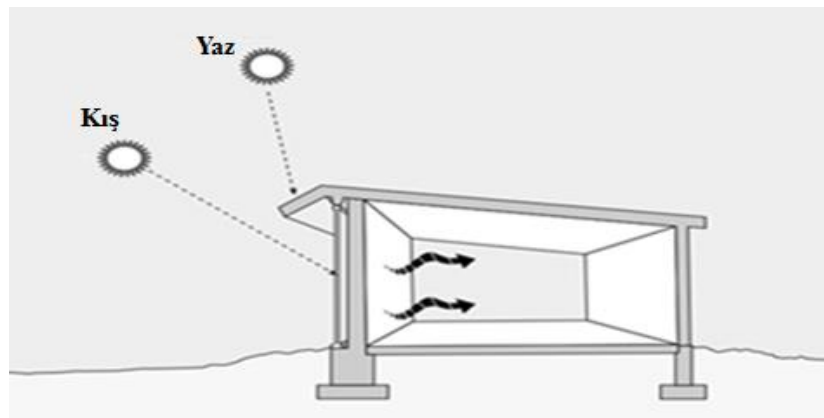
Burada G_{sc} güneş sabitidir ve 1353 W/m^2 olarak kabul edilir.

Güneşin yaz ve kış aylarındaki konumu farklıdır. Şekil 1.10.'da görüldüğü gibi yaz aylarında daha yukarıda iken, kış aylarında daha aşağıdadır. Bu durum PV güç sistemlerinde büyük önem taşımaktadır. Denklem 1.4'te görüldüğü gibi herhangi bir zaman dilimindeki güneş ışınımı şiddetinin temeli güneş geliş açısına dayanmaktadır. Bundan dolayı bir PV sistem kurulmadan önce sistemin eğimi güneş geliş açısına göre optimize edilmelidir.



Şekil 1.10. Güneşin yaz ve kış mevsimindeki yükseklik durumu

Şekil 1.11.'de gösterildiği gibi; binalarda yaz mevsiminde çatıya engelleyici duvar kullanılarak güneş ışınlarının içeriye girmesi ve binanın aşırı ısınması engellenebilir. Kış mevsiminde ise güneş ışınları kolaylıkla içeriye ulaşarak güneş enerjisinden hem ısı hem de aydınlatma ihtiyacı giderilebilir ve böylece güneş enerjisinden pasif olarak yararlanabilir ve enerjiden tasarruf edilebilir (Anonim, 2001).



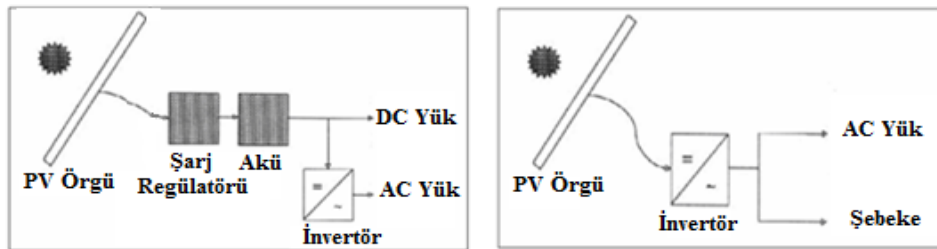
Şekil 1.11. Binalar için güneş enerjisinin pasif kullanımı

Güneş ışınlarının geliş açıları iki eksende izlenebilerek daha fazla kazanç elde etmek mümkündür. Muğla iklim koşullarında 7,8 kWp kurulu güce sahip güneş izleyicili sistem ile 30° eğimli sabit sistem karşılaştırılmıştır. 4 Nisan 2010 tarihi için güneş izleyicili sistem 72,31 kWh üretirken 30° eğimli sabit sistem 53,06 kWh elektrik enerjisi üretmiştir ve izleyicili sistem sabit sisteme göre daha fazla kazanç elde etmiştir (Eke, Özden vd, 2010).

1.3. PV Güç Sistemleri

Fotovoltaik güç sistemlerinin en küçük birimi güneş gözeleridir. Güneş gözeleri üzerine ışık düştüğünde iki kontak arasında bir DC gerilim oluşturur. Bu gerilime açık devre gerilimi denir ve yaklaşık olarak 0,7 V'tur. Güneş gözesine bir yük bağlandığında bu gerilim değeri 0,5 V seviyelerine düşmektedir. Bu gerilim değeri bir PV güç sistemi için yeterli değildir. İstenilen gerilim ve akım değerini elde edilmesi güneş gözelerinin birbirine seri/paralel bağlanır ve PV modüller elde edilir. PV modüller de Şekil 1.16'da gösterildiği gibi birbirine seri/paralel bağlanarak PV diziler ya da örgüler elde edilir. Böylece istenilen güçte bir PV güç sistemi elde edilir. Üretilen elektrik ile Şekil 1.12.'de görüldüğü gibi DC yükler ve invertörler yardımıyla AC yükler beslenir. İvertörler doğru akımı alternatif akıma dönüştürürler.

Şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılan PV güç sistemleri Şekil 1.12.'de gösterilmiştir. Şebekeden bağımsız sistemlerde üretilen güç akülerden oluşan depolama ünitesine depolanır ve ihtiyaç duyulduğunda kullanılır. Bu sistemlere kendi kendine yeten sistemler de denilmektedir.



Şekil 1.12. Şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı PV sistemler

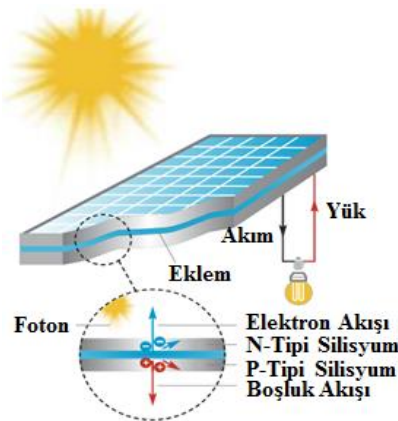
Şebeke bağlantılı sistemlerde ise aküye ihtiyaç yoktur. Yükler PV güç sistemi ve şebekeden beslenmektedir. Şebeke ile PV güç sistemi arasındaki bağlantı invertörlerle sağlanmaktadır. PV sistemin tarafından üretilen güç ile yük beslenir. Üretilen güç az ise şebekeden alınır, fazla olduğu durumda ise şebekeye verilir.

1.3.1. Güneş Gözeleri

Güneş gözeleri üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde herhangi devingen (hareketli) parça bulunmaz. Güneş gözelerinin çalışma ilkesi, PV etki olayına dayanır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek PV etki olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı fotodiyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında PV diyotların verimliliği %1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren PV diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. PV güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. PV güç sistemleri 1960'ların başından itibaren uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir (Karamanav, 2007).

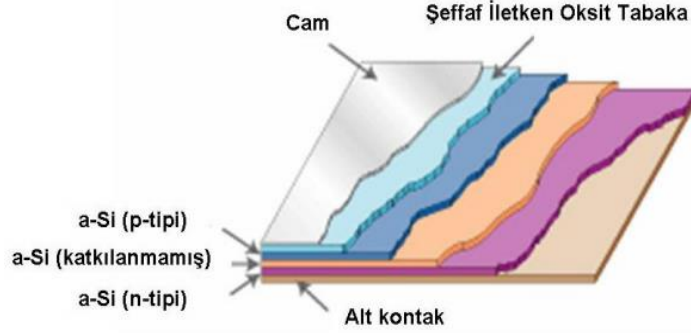
Güneş gözelerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki "1. Petrol bunalımı"nın izleyen yıllarda olmuştur. Amerika'da, Avrupa'da ve Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş gözelerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş gözeleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir (Karamanav, 2007).

Yaygın olarak kullanılan güneş gözeleri tek bir bant aralığına sahip p-n eklemlerden oluşmaktadır. Bir güneş gözesi güneş ışınlarına maruz kaldığından yasak enerji aralığından daha düşük enerjili fotonlar, enerji çevirime katkıda bulunmazlar. Yasak enerji aralığına eşit enerjili fotonlar serbest taşıyıcı meydana getirirler ve bir elektrik akımı oluştururlar. Şekil 1.13.'te gösterilen güneş ışınları altında p-n eklem güneş gözesinin enerji bant diyagramını düşündüğümüzde, fotonlar yapı içerisinde soğurularak, değerlik bandında bulunan elektronlar izinli bant olan iletkenlik bandına çıkarılır. Böylece p ve n tipi bölgelerde elektron-boşluk çifti oluşur. Burada azınlık yük taşıyıcıların konsantrasyonlarındaki değişim, çoğunluk yük taşıyıcılarına göre daha fazla olduğundan fotoakımı, baskın olan azınlık yük taşıyıcıları oluşturur. p tipi bölgede foton soğurulması sonucu oluşan fazlalık azınlık yük taşıyıcısı elektron boşaltılmış bölgede bulunan yüksek elektrik alan nedeniyle, çoğunluk yük taşıyıcısı olduğu n-tipi bölgeye doğru sürüklenir. Aynı şekilde n-tipi bölgede soğurulan foton sayesinde oluşan azınlık yük taşıyıcısı boşluk elektrik alan nedeniyle, çoğunluk yük taşıyıcısı olduğu p-tipi bölgeye doğru sürüklenirler. Dolayısı ile boşaltılmış bölge civarında bir azınlık yük taşıyıcısı geçişi söz konusudur. Güneş gözesinin n ve p tipi tabakalarına dış kontak yapılması ile foton soğurulması sonucu oluşan azınlık yük taşıyıcıları bu kontaklar sayesinde yapı içerisinden devredeki bir elektriksel yüke taşınırlar (Sze, 1981). Şekil 1.14.'te gösterilen amorf (a-Si:H) silisyumlu güneş gözeleri kristal silisyum ile benzerdir fakat a-Si:H güneş gözelerinde yasak enerji aralığı biraz daha geniştir ve iki katkılanmış p ve n katmanları arasında katkılanmamış tabaka bulunmaktadır (Eke, 2007).



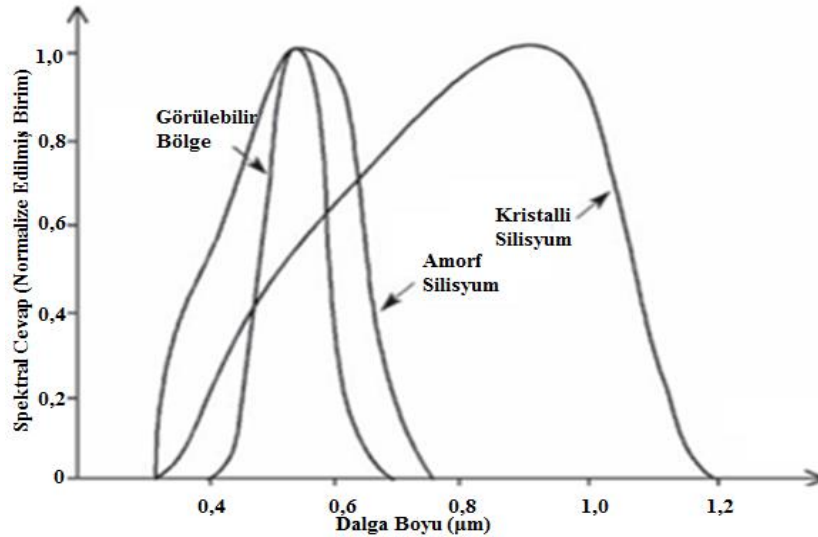
Şekil 1.13. Güneş ışınımı altında güneş gözesi ile elektrik akımı akışı (Anonim, 2011)

Ekonomik olarak değerlendirildiğinde kristal silisyuma göre amorf silisyum güneş pilleri daha ucuza üretilebilirler. Aynı zamanda soğurma katsayısı daha yüksek olduğu için çok daha ince tabakalar kullanılır. Özellikle tek kristal silisyum üretiminde 800-900°C sıcaklıklara ihtiyaç duyulmasına rağmen, amorf silisyum üretimi 250°C gibi nispeten daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebildiği için daha az enerji kullanılmaktadır. Sürekli üretime uygun olduğu için çelik, cam ve plastik



Şekil 1.14. Amorf silisyum güneş gözesi yapısı (Eke, 2007)

içeren çeşitli sert ve esnek zeminler üzerine döküm tekniği ile üretilebilir. Diğer taraftan laboratuvarında küçük alanlı güneş pillerinde %12'lere kadar ulaşabilen verimler elde edilmiş olmasına rağmen daha geniş alanlı güneş pillerinde %6-7 arasında gerçekleşen verimler tek kristal ve çok kristalli silisyum güneş pillerine göre daha düşük kalmaktadır (Eke, 2007).

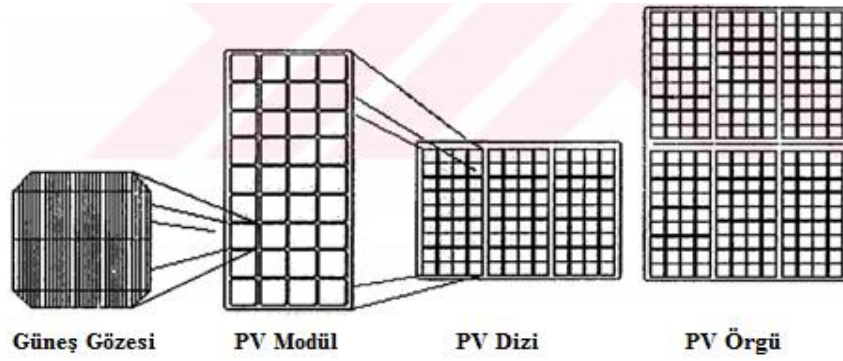


Şekil 1.15. Amorf ve kristalli silisyumlu güneş gözelerinin güneş spektrumuna cevabı ve görülebilir bölge (Labouret ve Viloz, 2010)

Amorf silisyum Şekil 1.15'te görüldüğü gibi kısa dalga boylarında (0,35-0,55 μm) daha geniş yanıtı sahiptir. Kristalli silisyum ise 0,7 μm ile 1,1 μm aralığında daha geniş yanıtı sahiptir. Üretici firmalar gözelerde farklı renkleri soğurmayı arttırmannın yolunu bularak spektral yanıtı geliştirmeye çalışmaktadır (Labouret ve Viloz, 2010).

1.3.2. PV Modüller

İstenilen akım ve gerilim değerlerini elde etmek için güneş gözeleri birbirine seri/paralel bağlanır. Şekil 1.16.'da görüldüğü gibi güneş gözelerinin birbirine bağlanmasıyla PV modül, PV modüllerin birbirine bağlanması ile PV dizi elde edilir (Eke, 2000).



Şekil 1.16. Tek bir güneş gözesi ile PV modül, PV dizi ve PV örgünün elde edilmesi (Eke, 2000)



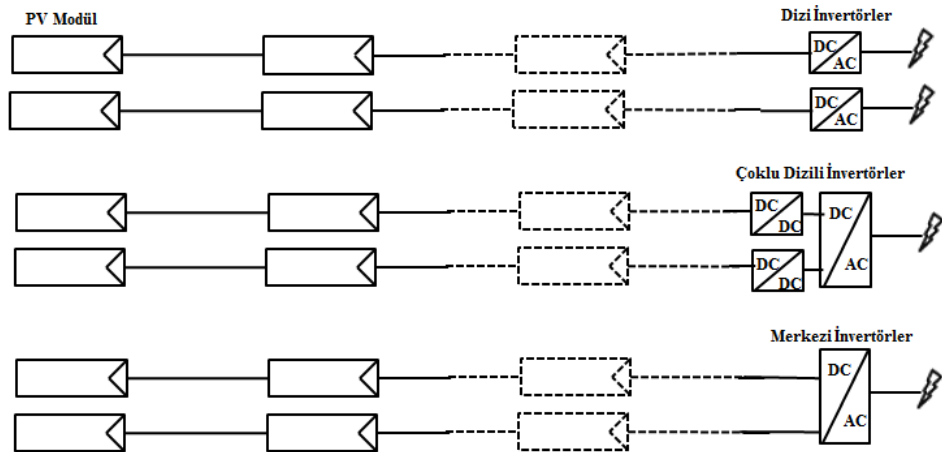
Şekil 1.17. Esnek amorf ince film PV modül teknolojisi

Güneş gözeleri kısmında da anlatıldığı gibi a-Si:H PV modüller kristalli silisyumlu PV modüllerden daha düşük bir fiyata üretilirler, verimleri düşüktür. Akım ve gerilim sıcaklık kat sayıları kristalli silisyumdan daha düşük olduğundan dolayı sıcaklıktan daha az etkilenirler. Fakat daha fazla alan kaplarlar. Birim kWp başına kristalli silisyumlu PV modüller yaklaşık olarak 7-8 m² alan kaplar iken, a-Si:H PV modüller 14-15 m² alan kaplamaktadırlar.

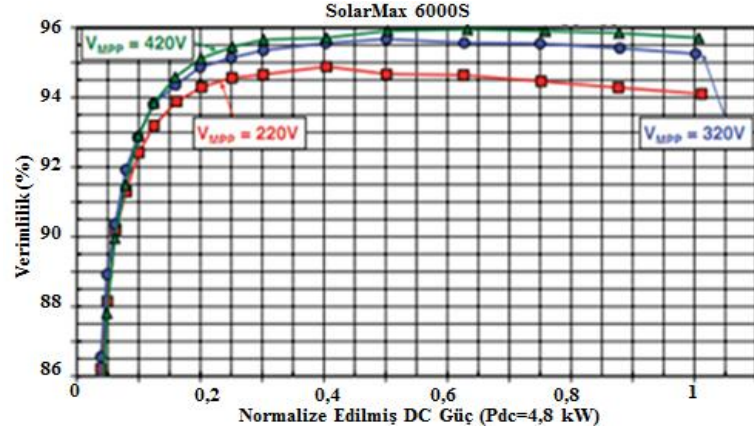
1.3.3. İnvvertörler

İnvvertörler yarıiletken malzemelerden oluşan, doğru akımı alternatif akıma çeviren elektronik aygıtlardır. Kare dalga invvertörler maliyeti diğerlerine göre daha ucuzdur ve şebekeye bağlı olmayan, kendi kendine yeten sistemlerde kullanılabilir. Sinüs dalga invvertörlerin maliyeti ise pahalıdır ve şebekeye bağlı sistemlerde kullanılmaktadır. Günümüzdeki invvertör teknolojisi ile PV sistemlerin maksimum güç noktaları sürekli olarak izlenip güneş ışınımından elektrik enerjisi üretimi performansı maksimum seviyelere çıkarılabilmektedir.

PV güç sistemlerinde invvertörler farklı şekilde kullanılabilir. Bunlardan biri her bir PV dizilere küçük invvertörler bağlanarak dizi invvertörler, diğeri ise birden fazla PV dizilerin oluşturduğu PV örgüye bağlanarak merkezi invvertörlerdir. Şekil 1.18.'de görüldüğü gibi çoklu dizili invvertörleri diğer invvertörlerden ayıran özellik ise her bir dizi için DC-DC konvertör kullanılarak tek bir invvertör ile DC-AC dönüşüm gerçekleştirmesidir. Dizi invvertörleri watt ile kilo watt seviyesindeki sistemler için iken merkezi invvertörler MW seviyelerindeki PV güç sistemleri için kullanılabilir. Dizi invvertörleri BIPV sistemler için daha uygundur ve merkezi invvertörlere göre daha avantajlıdır. Avantajları her dizi invvertör PV dizilerinin kendi maksimum güç noktasında çalışır, özellikle kısmi gölgelenme ya da farklı eğimdeki durumlardaki güç kaybı azalır. Merkezi invvertörlere göre bakımı daha kolaydır. Çoklu dizili invvertörler de her bir dizinin maksimum güç noktasını takip edebilmektedir (Luque ve Hegedus, 2011; Shertukde, 2014).



Şekil 1.18. PV sistemde dizi, çoklu dizi ve merkezide invvertörlerin bağlantısı

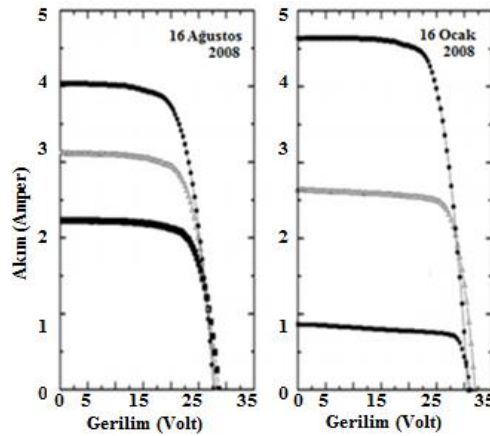


Şekil 1.19. Farlı gerilim değerlerinde çalışan bir invertörün güç-verim değişimi (Häberlin, 2012)

Invertörler PV modüllerin maksimum güç noktasını (MPP) izleyebilmektedir. MPP kontrol algoritmalarından kaynaklanan kayıplardan dolayı gerçek MPP değerinde çalışmazlar. Şekil 1.19.'da görüldüğü gibi bazı invertörlerin verimliliği MPP gerilim ile birlikte artarken, bazı invertörlerin verimliliği azalmaktadır (Häberlin, 2012).

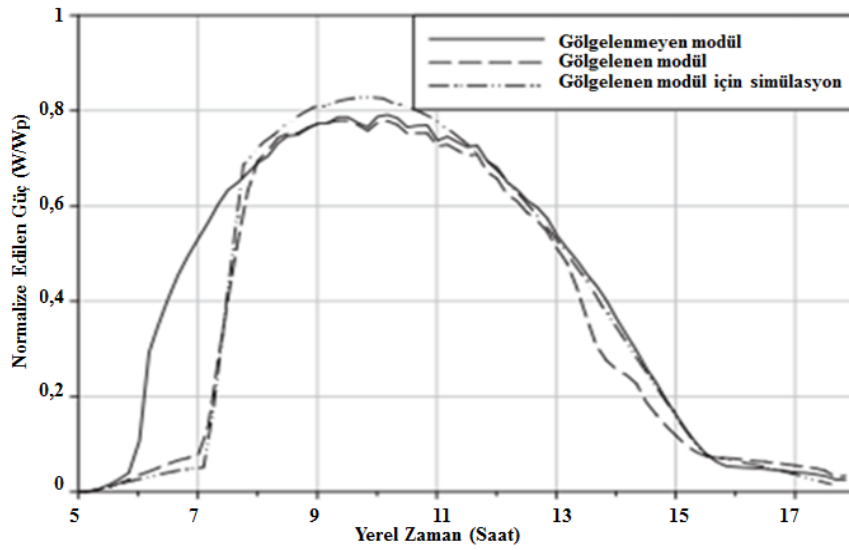
1.3.4. PV Güç Sistemlerinde Performansı Etkileyen Faktörler

PV modüllerin performansını azaltan en önemli faktörlerden biri sıcaklıktır. PV modüller tarafından oluşturulan güç aynı ışınım değerlerinde yaz ve kış mevsimlerinde farklılık göstermektedir. Kış mevsiminde düşük çevre sıcaklığı nedeniyle PV modüller yaz aylarına göre daha düşük sıcaklıklarda çalışmaktadır ve Şekil 1.20'de görüldüğü gibi bunun sonucu olarak da oluşturulan güç değeri yaz mevsimine göre daha yüksek olmaktadır (Eke ve Demircan, 2013).



Şekil 1.20. Yaz ve kış mevsiminde farklı güneş ışınımında bir PV modülün akım-gerilim değişimi (Eke ve Demircan, 2013)

Diğer faktörlerden biri gölgelenmedir. PV güç sistemleri güneş geliş açısı ve modüller arası mesafeden dolayı kendi kendini gölgeleyebilmektedir. Brecl ve arkadaşı tarafından yapılan çalışmaya göre Ağustos ayında Şekil 1.21.'de görüldüğü gibi gölgelenen ve gölgelenmeyen PV modüllerin gün içerisindeki performansı incelenmiştir. Modüller doğuya yönlendirilmiştir ve gölgelenen modül günün erken saatlerinde anlık güç değeri azalmaya başlamıştır. Daha sonraki saatlerde güneş geliş açısı değiştiği için etkilenmemiştir. Sonuç olarak gün içerisinde gölgelenen modül tarafından üretilen enerji gölgelenmeyen modül tarafından üretilen enerjiden %11,5 den daha düşüktür (Brecl ve Topič, 2011).



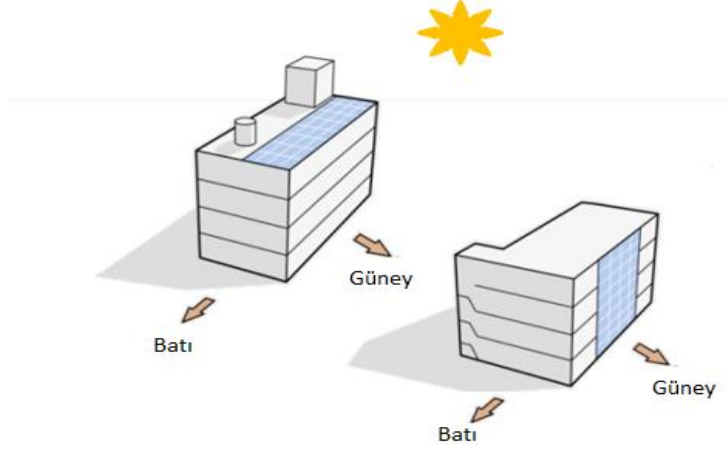
Şekil 1.21. Kendi kendine gölgeleme için test edilen modüllerin güç üretimi değişimi (Brecl ve Topič, 2011)

Diğer önemli faktörlerden biri ise PV modüller üzerindeki toz birikimidir. PV modüllerin üzerinde tozları birikmesi güneş gözelerine gelen ışınımı engellemektedir ve sonuç olarak modüllerden ve gözelerden üretilebilecek güç ve enerji azalmaktadır.

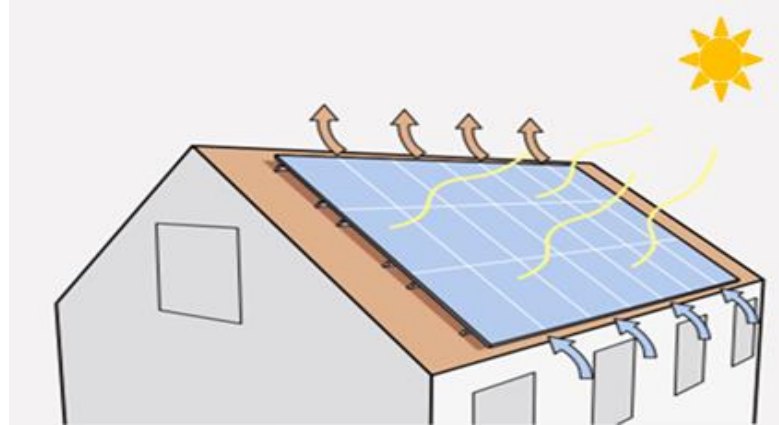
Bir yıllık süreçte yağmur damlaları ile güneş ışınımı kaybı arasındaki ilişki incelenmiştir. Zorrilla-Casanova ve arkadaşları tarafından yapılan analize göre yağmurlu günden sonra güneş ışınım kaybı azalmıştır ve %5'in altına düşmüştür. Fakat yaz mevsimi gibi uzun bir yağmur yağmayan süreçte ışınım kayıpları her geçen gün artmış ve %20'i aşmıştır. Yağmur yağdığı günden sonra yine %5'in altına düşmüştür. Toz birikiminden kaynaklanan ortalama yıllık enerji kaybı %4,4'tür. Yaz ayları dahil edilmediğinde %2'den azdır (Zorrilla-Casanova, Piliouguine vd, 2011).

1.3.5. BIPV Sistemler

Bina dış kabuk yüzeyi alıcı bir yüzey olarak kabul edildiğinde eğim açısı farklı olan çeşitli yüzeyler çıkmaktadır. Genel bir sınıflandırma yapıldığında bina kabuğunda iki alıcı yüzey bulunmaktadır. Bunlar Şekil 1.22.'de görüldüğü gibi çatılar ve cephelerdir. Bina cephesinde PV modüller cephe kaplama elemanı olarak kabul edildiği gibi gölgeleme elemanı olarak da kabul edilmektedir. Çatı yüzeylerinin kullanımı eğim avantajını sağlamaktadır. Binaya sonradan PV modül eklenecekse de çatılar uygun yerlerdir. PV modüllerin çatılarda kullanımında modüller üzerinde hem gölge olmaması hem de eğimi nedeniyle verimi cepheye göre daha fazladır. Uygulamada havalandırma ve kablo geçişlerini sağlamak için Şekil 1.23.'te görüldüğü gibi bina ile modül arasında boşluk bırakılmalıdır (Roberts ve Guariento, 2009).



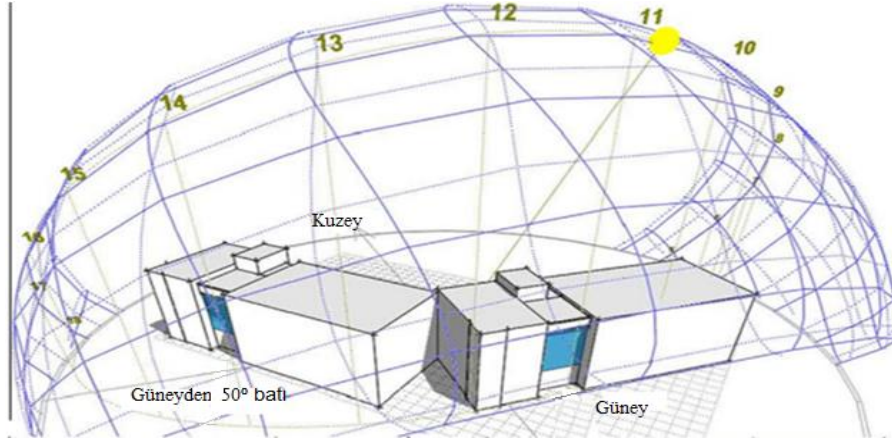
Şekil 1.22. BIPV sistemlerde çatı ve cephe uygulaması (Roberts ve Guariento, 2009)



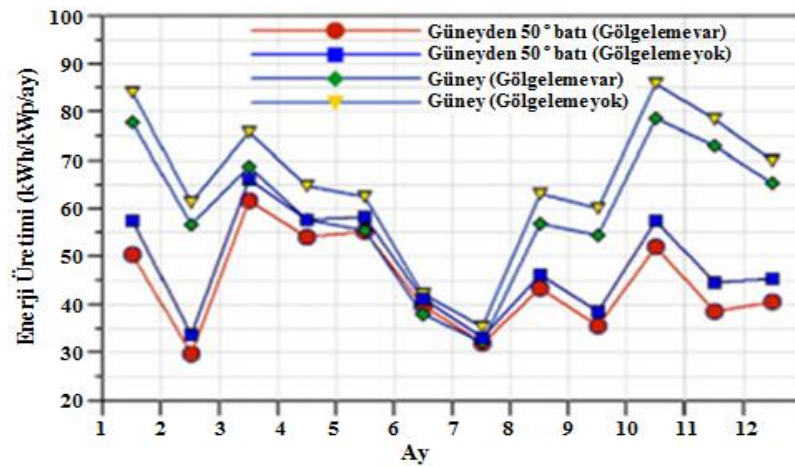
Şekil 1.23. BIPV sistemlerde çatı ile PV modüller arasında boşluk bırakılması (Roberts ve Guariento, 2009)

1.4. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Binalarda PV modüllerin yerleştirilmesi için ekstra alana gerek yoktur (Rüther ve Braun, 2009). Binanın güneye dönük etkin alanları kullanılır. Güneş ışınımından daha fazla yararlanmak için binanın güneye dönük olması tercih edilir. Kolon Ar-Ge Merkezi'nde (Kore) yapılan bir çalışmada Şekil 1.24.'te gösterilen güneye dönük ve güneyden 50° batıya dönük bir binaya ait BIPV sistem karşılaştırılmıştır. Yıllık güneye dönük olan yüzeye gelen ışınım 1344 Wh/m^2 yıl iken güneyden 50° batıya dönük yüzeye gelen ışınım 1065 Wh/m^2 yıl değerindedir. Ayrıca gölgelemeye göre aylık performans değerleri incelenmiştir. Şekil 1.25.'te görüldüğü gibi güneye dönük yüzey güneyden 50° batıya bakan yüzeye göre daha kazançlı olduğu görülmektedir (Yoon, Song vd, 2011).

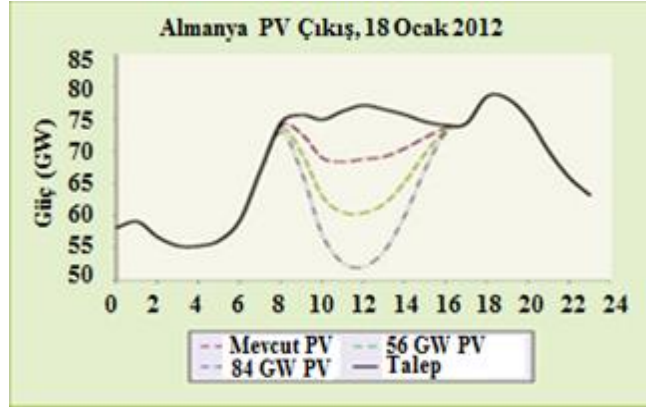


Şekil 1.24. Güneye dönük ve güneyden 50° batıya dönük bina (Yoon, Song vd, 2011)



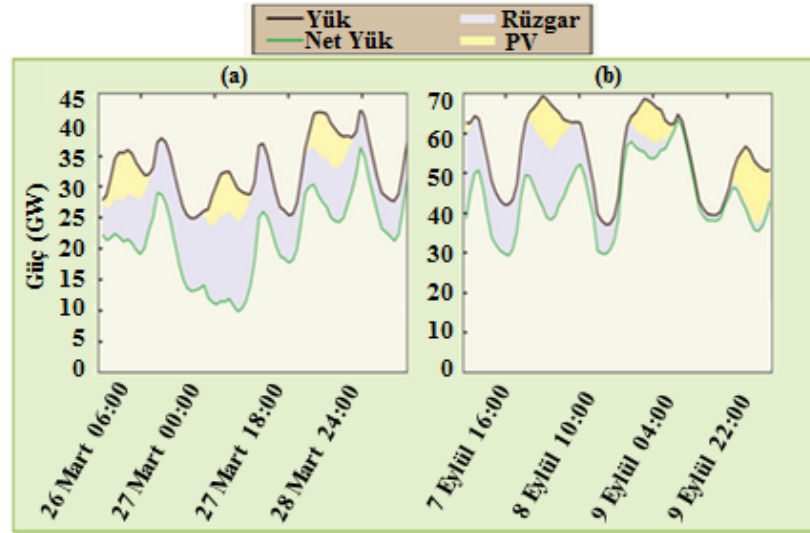
Şekil 1.25. Güneye dönük ve güneyden 50° batıya dönük BIPV sistemin aylık elektrik enerjisi üretiminin gölgeleme etkisi altında değişimi (Yoon, Song vd, 2011)

Güneş ışınımı ile gün içindeki enerji tüketimi arasında mükemmel bir uyum vardır (Rüther ve Braun, 2009). Şekil 1.26'da görüldüğü gibi Almanya'da öğle vaktinde anlık güç talebi 75 GW seviyesinin üzerinde iken mevcut kurulu PV sistem ile güç talebinin 5 GW seviyesinden fazlası karşılanıp net güç talebi 70 GW seviyelerine düşürülmüştür ve net güç talebi diğer enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Mevcut PV sistem kurulu gücü artırıldığında net güç talebi de azalacaktır (Holtinen, Tuohy vd, 2013).



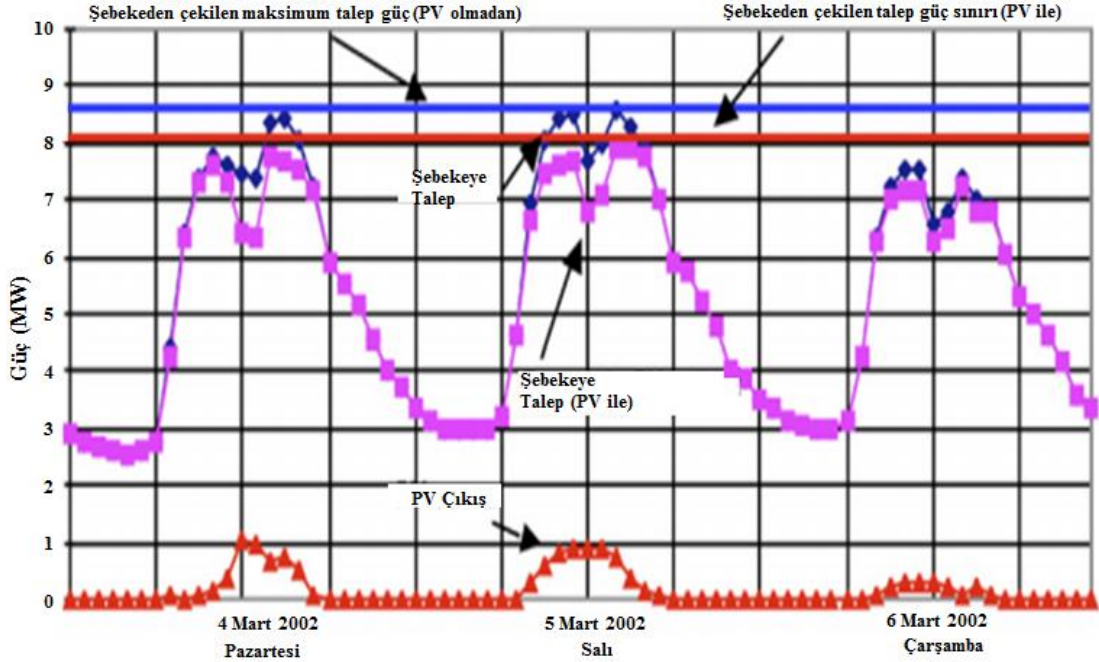
Şekil 1.26. Almanya'da farklı düzeyde PV kurulu kapasitesindeki talep ve net güç talebi eğrisi (Holtinen, Tuohy vd, 2013)

Güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli mevsimsel ve günlük olarak değiştiği gibi bölgeden bölgeye de değişkenlik göstermektedir. Portekiz ve İspanya devletlerinin olduğu İberya Yarımadası'ndaki kurulu 12,1 GW PV ile 25,6 GW rüzgar güç sistemi (Şekil 1.27.a) ve Almanya'da kurulu 39,7 GW PV ile 53,6 GW rüzgar güç sisteminin (Şekil 1.27.b) farklı güç sistemlerinin farklı günlerde üretilen gücün bölgedeki ihtiyaç olan yükü karşılamadaki değişim de göstermektedir ki güneş ve rüzgar güç sistemleri günden güne değişkenlik göstermektedir. Şekil 1.27.'de görüldüğü gibi Almanya'daki kurulu PV güç sistemi İberya Yarımadası'ndan 3 katından daha fazla olmasına rağmen iki bölgede neredeyse aynı değerde güç üretmektedir (Holtinen, Tuohy vd, 2013). İtalya elektrik enerjisi talebinin %5'ini, maksimum talebin ise %10'unu PV elektriğinden karşılamaktadır. İspanya'nın bir bölgesi elektrik enerjisi talebinin %18'ini karşılarken Avrupa'daki 15 bölge yıllık %10'unu PV elektriğinden karşılamaktadır (Anonim, 2012c).



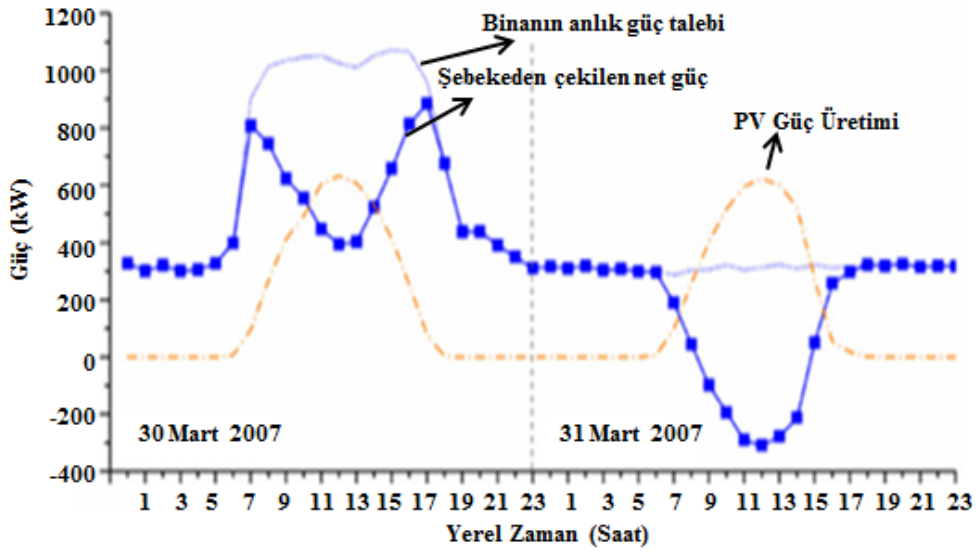
Şekil 1.27. Almanya ve İberya Yarımadasındaki farklı seviyede kurulu rüzgar ve güneş güç sistemlerinin bölgelerdeki yükü karşılamadaki rolü ve farklı günlerdeki değişimleri (Holtinen, Tuohy vd, 2013)

BIPV sistemler açık günlerde binanın elektrik enerjisi tüketimi faturasını ve maksimum güç talebini azaltmaya yardımcıdır. Şekil 1.28.'de görüldüğü gibi kapalı günlerde ise elektriksel güç üretilmediği için yükler elektriksel güç talebini şebekeden karşılamaktadır (Rüther, Knob vd, 2008).

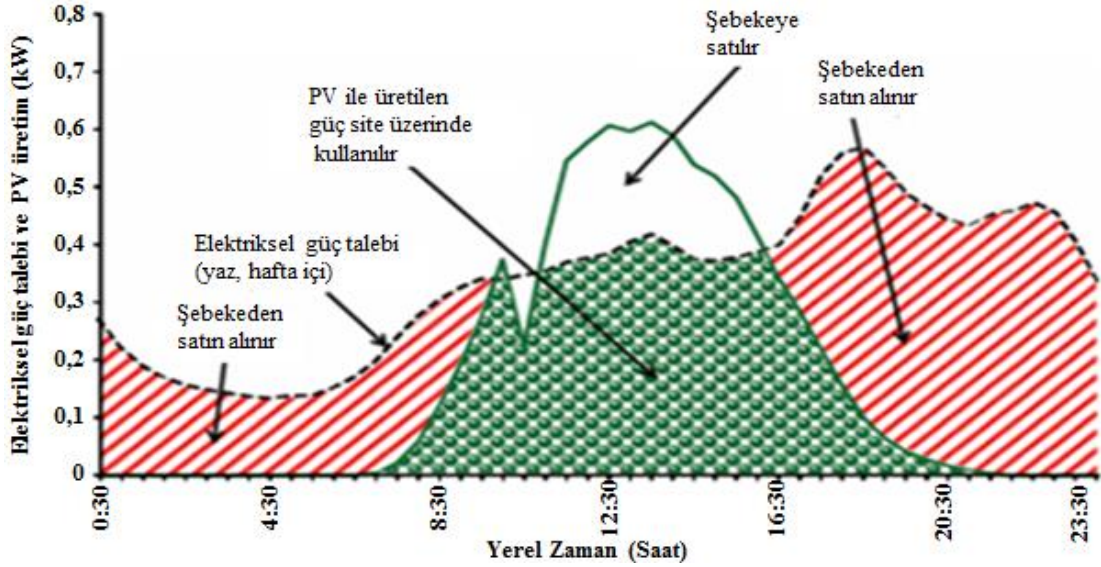


Şekil 1.28. Açık ve kapalı günlerde PV sistem üretimi ile güç tüketimi (Rüther, Knob vd, 2008)

PV sistemler Şekil 1.29. ve Şekil 1.30.'da görüldüğü gibi hafta içi günlerinde elektriksel güç talebinin bir kısmını karşılarken hafta sonu günlerinde ve resmi tatil günlerinde belli saatlerde tamamını karşılamakta, ihtiyaç duyulan gücün fazlasını da şebekeye vermektedir. Bina bu sayede kendi kendine enerji ve güç üretmekte, ihtiyaç duyulan enerjiyi kendi karşılamakta ve fazlasını dağıtım şebekesine satarak tüketiciye finansal olarak katkıda bulunmaktadır (Braun ve Rüther, 2010). Sonuç olarak PV güç sistemleri hem elektriksel hem de finansal olarak tüketiciye, CO₂ salınımını azaltarak doğaya katkıda bulunmaktadır.



Şekil 1.29. Hafta içi ve hafta sonu açık günlerde PV sistemin binaya katkısı (Braun ve Rüther, 2010)



Şekil 1.30. Şebekeye bağlı PV sistemde üretilen güç ve elektriksel katkı (Ayompe ve Duffy, 2013)

2. ANALİZ VE YÖNTEM

Analiz edilen Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi S Bloğundaki 40,39 kWp kurulu BIPV sistem ve analiz yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

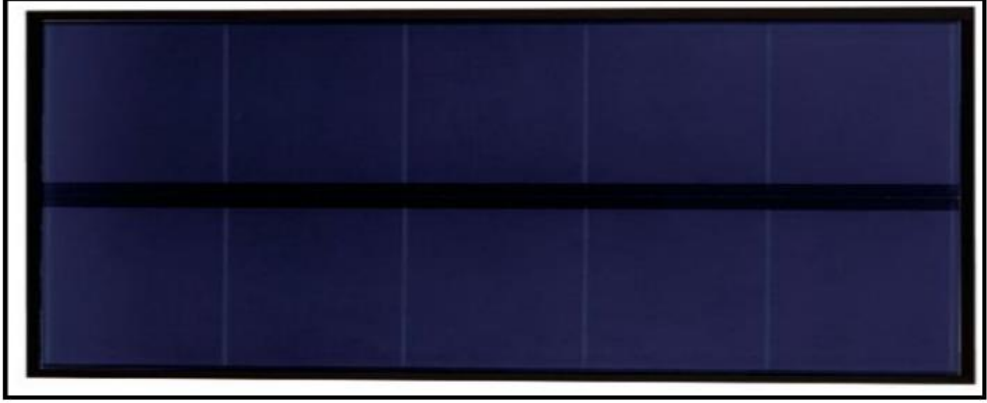
2.1. Analiz Edilen BIPV Sistem

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, merkez yerleşkesinde bulunan 120 kWp kurulu PV gücü ve farklı PV uygulamaları ile Türkiye'deki en büyük PV park olma özelliği taşımaktadır. Kurulu olan PV sistemlerin 90 kWp gücündeki kısmı şebeke bağlantılı sistemler olup üretilen elektrik enerjisi yerleşke içerisinde kullanılmaktadır. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi S Bloğundaki 40,39 kWp kurulu güneşli sahip olan BIPV sistemin kurulumu 2008 yılı Şubat ayında tamamlanmıştır. Binanın doğu ve batı cephelerinde iki kule ve bina yüzeyinde beş katlı PV örgüler ile BIPV sistem entegre edilmiştir. Binanın PV modüller yerleştirildikten sonraki görünümü Şekil 2.1.'de gösterilmektedir (Eke, Özden vd, 2010).



Şekil 2.1. BIPV sistem

BIPV sistemin bulunduğu bina güneyden 30° doğuya yönlendirilmiştir ve PV modüllerin yerleştirilmesi için herhangi bir ekstra alan kullanılmamıştır. BIPV sistemin kurulu gücünün %75'i bina yüzeyine ve %25'i kulelere aittir. Bina yüzeyinde Şekil 2.2.'de gösterilen 220 adet PV modül kullanılıp 405 m² alan kaplamıştır ve hava akımı dolaşması için PV modüller 25 cm duvardan ayrılmıştır. Yerleştirilen PV modüller 30,15 kWp kurulu güce sahiptir ve Şekil 2.4a.'daki 4 adet 6 kW'lık invertör ile şebekeye bağlanmıştır.



Şekil 2.2. Üç eklemlili 140 Wp a-Si:H PV modül

Doğu ve batı kulelerde Şekil 2.3.'te gösterilen 160 adet PV modül kullanılıp 136 m² alan kaplamıştır ve hava akımı dolaşması için PV modüller 10 cm duvardan ayrılmıştır. Yerleştirilen PV modüller 10,24 kWp'lik kurulu güce sahiptir ve Şekil 2.4b.'deki 2 adet 5 kW'lık invertörler ile şebekeye bağlanmıştır.



Şekil 2.3. Tek eklemlili 64 Wp a-Si:H PV modül



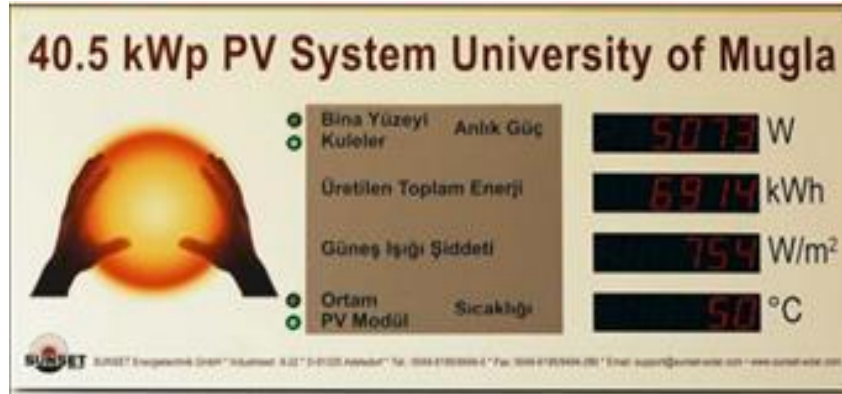
(a)



(b)

Şekil 2.4. BIPV sistemi şehir şebekesine bağlamak için kullanılan üç ve tek fazlı invertörler

BIPV sistemde kulelere ve cephelere gelen güneş ışınımını ölçmek için silisyum sensörler ile ortam ve modül sıcaklıklarını ölçmek için K tipi platinyum sensörler kullanılmıştır. Görüntüleme ünitesi Şekil 2.5.'te gösterildiği gibi 4 satırlık sayısal göstergelerden oluşmaktadır. Gösterge ünitesi ile, enerji sayaçlarıyla sensörlerden gelen verileri kullanarak bina yüzeyi ve kulelerdeki fotovoltaik sistemlerdeki anlık güç ve üretilen toplam enerji, düşey yüzeye düşen ışınım miktarlarını ve PV modülün arkasındaki ve ortamdaki sıcaklık değerleri görüntülenmektedir. BIPV sistem işletmeye alındığı günden itibaren Eylül 2014 sonuna kadar 196,89 kWh elektrik enerjisi üretmiştir.

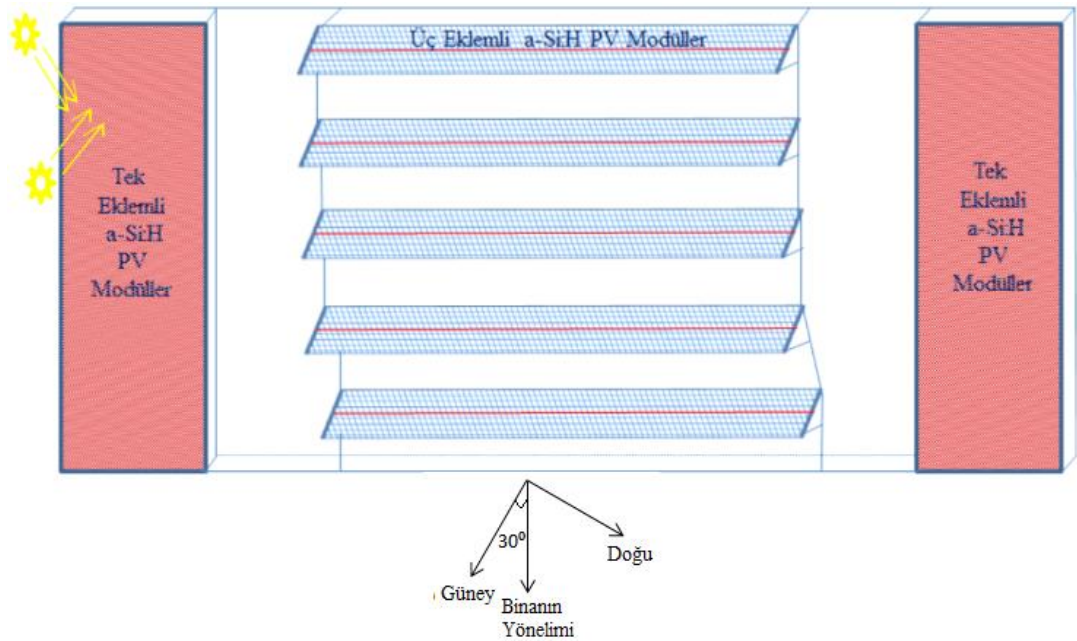


Şekil 2.5. Görüntüleme sistemi

Güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısı günden güne ve gün içerisindeki zamana göre değişmektedir. Güneş ışınları yaz aylarında öğle saatlerinde yatay yüzeyle kış aylarına göre daha yüksek açı yapmaktadır. Binanın yönelimi ve PV modüllerin yerleşimine göre 21 Haziran (en yüksek güneş yükseklik açısının olduğu gün) ve 21

Aralık (en düşük güneş yükseklik açısının olduğu gün) Şekil 2.6.'da gösterilmektedir. Güneş ışınları bina yüzeyine 21 Aralık günü 9.45 te 60° eğimli yüzeye yaklaşık olarak dik (normal doğrultusundan 5° farklı) olarak gelirken 21 Haziran günü saat 11.00 de 60° eğimli yüzeyin normali ile yaklaşık 55° açı yapacak şekilde gelmektedir.

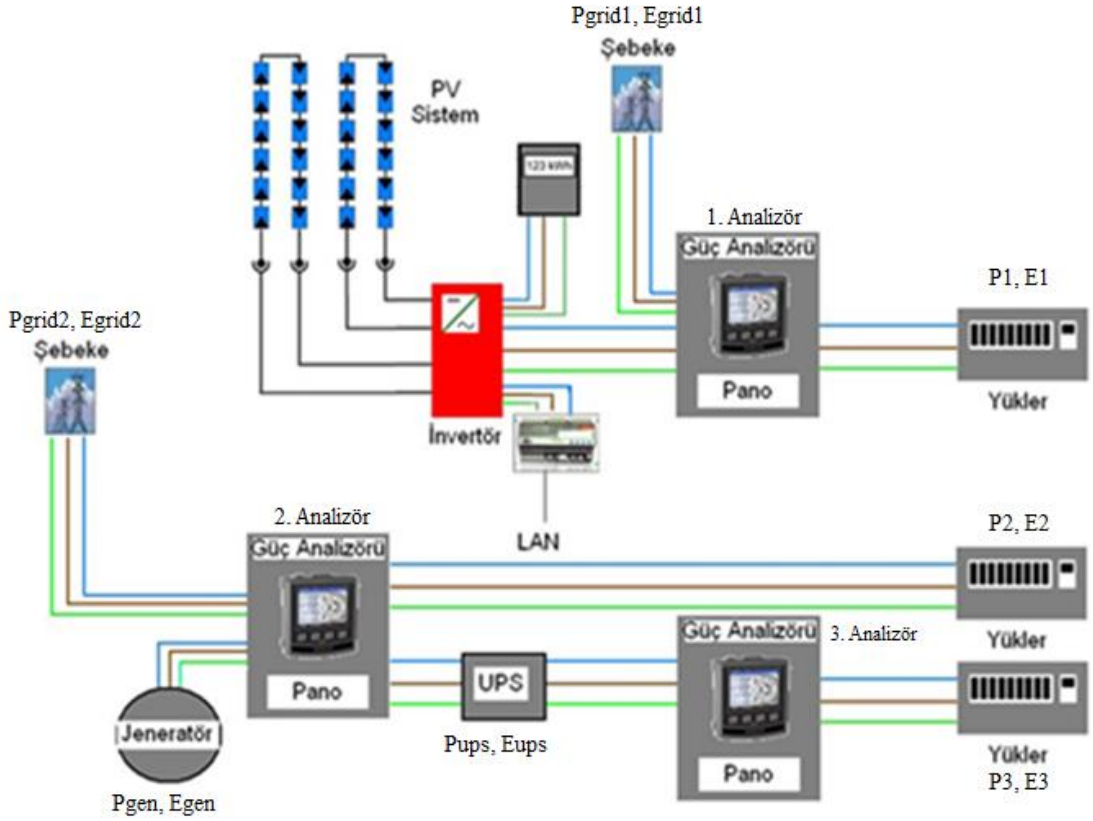
PV modül yüzeyiyle güneş ışınlarının yapmış olduğu açı nedeniyle kış mevsiminde BIPV sistem tarafından üretilen maksimum güç ve enerji değeri yaz mevsimine göre daha yüksektir. Çevre sıcaklığı ve PV modül çalışma sıcaklığı nedeniyle de BIPV sistemden gün içerisinde elde edilecek güç değerlerinde farklılıklar gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle BIPV sistemin Ekim ayında ölçülen maksimum güç değeri 29,99 kW iken Temmuz ayında 19,65 kW olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca Şubat ve Mart ayında da 30,7 kW'a ulaşmıştır. Buna bağlı olarak günlük üretilen enerji değerleri ve anlık olarak binada ihtiyaç duyulan güç talebini karşılama oranı da kış mevsiminde açık günlerde artacaktır.



Şekil 2.6. Güneşin yaz ve kış mevsimindeki durumu ve binanın konumu

Şubat 2008'de kurulan BIPV sistemin fotovoltaik tarafındaki elektriksel verileri 15 dakika aralıklar ile Sunlog veri depolama ünitesi tarafından kaydedilmektedir. Binanın elektrik enerjisi talebi ise 2013 yılının Temmuz ayından itibaren 5 saniye aralıklar ile üç ayrı 3 fazlı şebeke analizörü tarafından kaydedilmektedir. Binadaki

kritik yükler UPS ve jeneratör hattında bağlı olmakla birlikte jeneratör ve UPS sadece şebekede elektrik kesintisi olduğu anda devreye girmektedir. PV sistemin bağlı olduğu grup ise şebekede elektrik kesintisi olduğu anda beslemeyi durdurmaktadır. Bu sistemlerde üretilen enerji, anlık akım, gerilim, ve frekans gibi birçok elektriksel parametre güç analizörleri aracılığıyla ölçülerek her birinde bulunan hafıza birimlerinde depolanmaktadır. Veri toplama ve veri depolama ünitelerinin binadaki mevcut elektrik sistemine bağlantısı Şekil 2.7.'de gösterilmektedir.



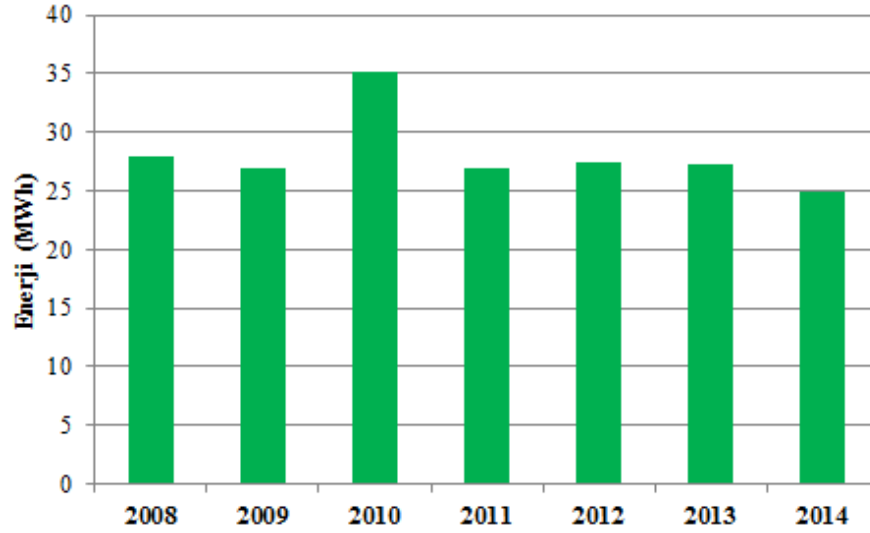
Şekil 2.7. Veri toplama ve bina güç sisteminin elektriksel bağlantıları

2.1.1. BIPV Sistemin Performansı ve Elektrik Enerjisi Üretimi

BIPV sistemde kullanılan tek eklemlili ve üç eklemlili a-Si:H ince film PV modüllerin günlük periyotlarla 3 yıllık performansı ve elektrik enerjisi üretimi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre doğu ve batı kulelerde kullanılan amorf PV modüllerin ortalama verimi %5,58 iken bina yüzeyinde kullanılan üç eklemlili amorf PV modüllerin ortalama verimi ise %5,99 olduğu görülmüştür (Eke ve Senturk, 2013).

BIPV sistemin 30,15 kWp kısmı bina yüzeyini, 10,24 kWp kısmı ise doğu ve batı kuleleri kapsamaktadır. Diğer bir deyişle BIPV sistemin yaklaşık %75'i bina yüzeyini oluştururken, %25'i kuleleri oluşturmaktadır. Bundan dolayı elektrik enerjisi üretiminin de büyük bir bölümünü bina yüzeyleri kapsamaktadır. 3 yıllık yapılan analizde bina yüzeyleri yaklaşık olarak 80 MWh elektrik enerjisi üretirken kuleler ise 23 MWh elektrik enerjisi üretmiştir (Eke ve Senturk, 2013).

2014 yılının Eylül ayı sonu itibariyle elektrik enerjisi üretimi kuleler 53,45 MWh ve bina yüzeyi 143,44 MWh'a ulaşmıştır. Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi BIPV sistem 2013 yılı sonuna kadar yıllık ortalama 30.000kWh civarında elektrik enerjisi üreterek şebekeye aktarmıştır. 2009 ve 2011 yıllarında 1'er invertörün arızalanması sonucu elektrik enerjisi üretiminde düşük değerler ölçülmüş olmasına rağmen 2014 yılının ilk 9 aylık diliminde 25.000 kWh'e yakın elektrik enerjisi üretilmiştir.



Şekil 2.8.Yıllık BIPV elektrik enerjisi üretimi

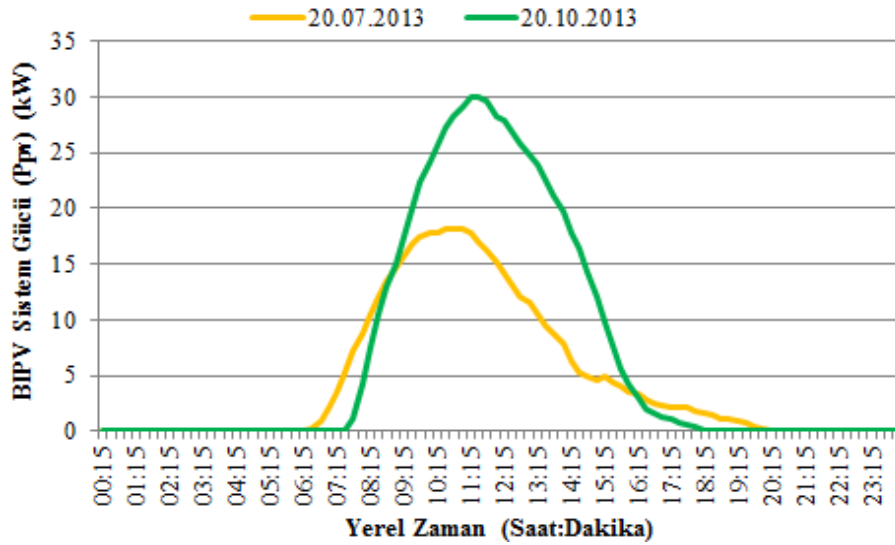
BIPV sistemde güneş geliş açılarından ve katlar arası mesafeden dolayı bina yüzeyinde kendi kendine gölgelenmeler oluşmaktadır. Şekil 2.9.'da en alttaki kat diğer katlardan daha fazla içeride olduğu için günün sabah saatlerinde PV modüller gölgelenmeye başlamaktadır. Daha önceden de söylenildiği gibi yaz mevsiminde güneş daha yukarıdadır. Bu yüzden bina yüzeylerinde gölgelenme etkisi yaz mevsiminde daha fazla görülmektedir ve sonuç olarak günlük üretilebilecek maksimum anlık gücü ve günlük üretilebilecek toplam enerjiyi azaltmaktadır.

Temmuz ayında güneşlenme süresi fazla olmasına rağmen çevre sıcaklığı, PV modüller üzerinde toz birikimi ve katlar arasında gölgelenmeden dolayı anlık üretilen güç ve enerji değerlerini azaltmaktadır. Binanın konumundan dolayı güneş binanın



Şekil 2.9. BIPV sistemde katlar arasında kendi kendine gölgelenme

arkasında kalmaktadır. Şekil 2.10.'da görüldüğü gibi saat 14:00'ten sonra BIPV sistemin ürettiği anlık güç değer, 2 kW'ın altına düşmektedir. 20 Temmuz'da anlık üretilen güç yaklaşık 18 kW iken 20 Ekim'de 30 kW'a ulaşmıştır. Üretilen günlük enerji ise 20 Temmuz'da yaklaşık 100 kWh iken, 20 Ekim'de 151 kWh'e ulaşmıştır. Ekim ve Temmuz aylarında üretilen enerji ve anlık güç arasında %50 fark olmaktadır.



Şekil 2.10. Farklı günlerde BIPV sistemin güç değişimi

2.2. Veri Toplama

BIPV sistemin fotovoltaik tarafındaki elektriksel verileri 15 dakika aralıklar ile Sunlog veri depolama ünitesi tarafından kaydedilmektedir. Binanın elektrik enerjisi talebi ise 2013 yılının Temmuz ayından itibaren 5 saniye aralıklar ile üç ayrı 3 fazlı şebeke analizörü tarafından kaydedilmektedir. Veri toplama ve veri depolama ünitelerinin binadaki mevcut elektrik sistemine bağlantısı Şekil 2.7.'de gösterilmektedir. Bina elektriksel parametreleri ise şebeke, UPS ve jeneratör hatlarına bağlanan üç fazlı enerji analizörleri tarafından toplanmaktadır. UPS hattının elektriksel gücünü jeneratör karşılamaktadır ve bundan dolayı jeneratör hattında ölçülen değer UPS hattını da kapsamaktadır. UPS hattının verileri hesaba katılmamıştır. Güç analizörlerinde 5 saniye aralıklar ile toplanan verilerin 15'er dakikalık ortalamaları alınmıştır. BIPV sistemin verileri ile birlikte hesaba katılarak binada ihtiyaç duyulan günlük enerji ve anlık güç değerleri hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan gücü ve enerjiyi karşılama oranları belirlenmiştir.

Şebeke hattına bağlı yükler tarafından çekilen anlık aktif güç (P_1), jeneratör hattına bağlı yükler tarafından çekilen anlık aktif güç (P_2) ve UPS hattına bağlı yükler tarafından çekilen anlık aktif gücün (P_3) toplamı binada ihtiyaç duyulan toplam anlık gücü (P_{Top}) ifade eder. Şebeke hattına bağlı yükler tarafından çekilen anlık aktif güç PV hattındaki anlık aktif güç (P_{Inv}) ile şebeke hattından çekilen anlık aktif gücün (P_{Grid1}) toplamıdır.

$$P_{Top} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (2.1)$$

$$P_1 = P_{Inv} + P_{Grid1} \quad (2.2)$$

İkinci analizör Şekil 2.7'de gösterildiği gibi hem jeneratör hem de UPS hattını ölçtüğünden dolayı UPS hattının verileri hesaba katılmamıştır. Jeneratör tarafından yüklerle sağlanan güç (P_{Gen}) ise UPS ve jeneratör hatlarına bağlı yükler tarafından çekilen güçlerin toplamı ile şebeke kesintisi olduğunda şebeke hattına bağlı yükleri beslemek için sağlanan gücün (P_{Grid2}) toplamıdır.

$$P_{Gen} = P_2 + P_3 + P_{Grid2} \quad (2.3)$$

Alınan ölçümlere göre binada ihtiyaç duyulan toplam anlık güç;

$$P_{Top} = P_{Grid1} + P_{Gen} + P_{Inv} \quad (2.4)$$

Şebeke ve jeneratör hattından çekilen toplam net güç ise;

$$P_{Net} = P_{Top} - P_{Inv} \quad (2.5)$$

BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan gücü ve enerjiyi karşılama oranları; BIPV sistemin çıkış gücünün binada ihtiyaç duyulan güce oranıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$KO_{Güç} = \frac{P_{Inv}}{P_{Top}} 100 \quad (2.6)$$

$$KO_{Enerji} = \frac{E_{Inv}}{E_{Top}} 100 \quad (2.7)$$

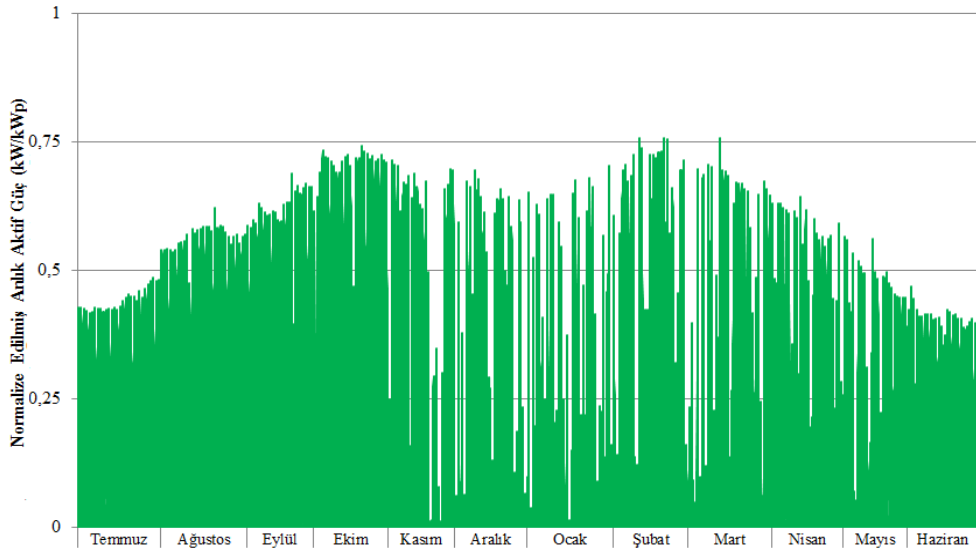
Enerji denklemleri de güç denklemleri için aynı şekilde geçerli olup, anlık güç verileri 15 dakika aralığı ve enerji verileri ise 1 günü kapsamaktadır. Bir yıllık değerlendirmede her ayı birbiri ile kıyaslamak için aylık hafta içi ve hafta sonu ortalamaları alınmıştır.

3. VERİ ANALİZİ

Sunlog veri toplama ünitesi tarafından kaydedilen PV sistem verileri ile güç analizörleri tarafından kaydedilen şebeke verileri kullanılarak binanın elektrik enerjisi ve gücü talebi Excel programı kullanılarak analiz edilmiştir. Şebeke verileri 5 saniye ve PV verileri 15 dakika olduğundan dolayı şebeke verilerinin 15 dakikalık ortalamaları alınarak binada ihtiyaç duyulan anlık güç değeri ve BIPV sistemin binanın ihtiyaç duyduğu gücü karşılama oranı hesaplanmıştır. Enerji değerleri ise bir günü kapsamaktadır.

3.1. Bir Yıllık Analiz

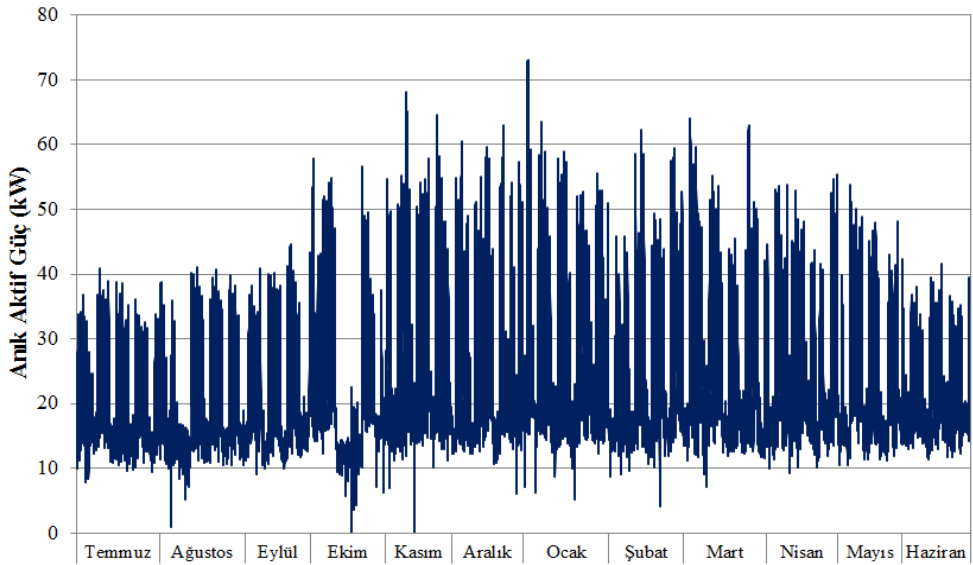
BIPV sistem tarafından üretilen güç yaz mevsiminden kış mevsimine doğru artarken, kış mevsiminden yaz mevsimine doğru azalmaktadır. Şekil 2.6.'dan anlaşılacağı gibi PV modül yüzeyiyle güneş ışınlarının yapmış olduğu açı nedeniyle kış mevsiminde BIPV sistem tarafından üretilen maksimum güç ve enerji değeri yaz mevsimine göre daha yüksektir.



Şekil 3.1 Yıllık BIPV güç üretimi

Çevre sıcaklığı ve PV modüllerin çalışma sıcaklığı nedeniyle de BIPV sistemden elde edilecek güç değerlerinde farklılıklar gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi BIPV sistemin Ekim ayında ölçülen maksimum güç değeri 29,99 kW iken Temmuz ayında 19,65 kW olarak gerçekleşmiştir. Şubat ve Mart aylarında da 30 kW'ı aşmıştır. Mart ayından Haziran ayı sonuna kadar azalmaktadır. BIPV güç çıkışı binada ihtiyaç duyulan gücü aştığında ihtiyaç fazlası güç şebekeye verilmektedir ve bu durumda P_{net} sıfırın altına düşer iken BIPV sistemin binanın ihtiyaç duyduğu gücü karşılama oranı %100'ü aşmaktadır.

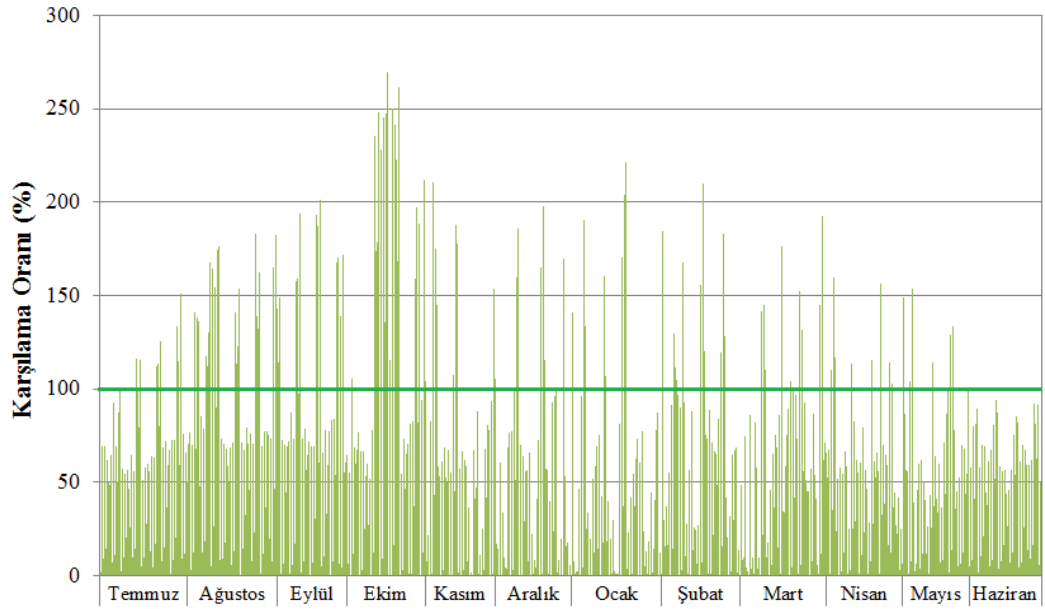
Binada yıllık ihtiyaç duyulan güce ya da talebe bakıldığında; Şekil 3.2.'de görüldüğünde yaz aylarında hafta içinde yaklaşık 40 kW iken kış aylarında yaklaşık 60 kW'tır, ve anlık olarak Ocak ayında yaklaşık 75 kW'a ulaşmıştır. Yaz mevsiminde hafta sonu günlerde genellikle 15 kW'ın altında olup, kış mevsiminde 15 kW'ı aşmıştır. Üniversite sınavlarından dolayı bir kaç hafta sonu günlerinde ihtiyaç duyulan güç artmıştır. Ekim ayından Mayıs ayına kadar olan okul döneminde binanın enerji ve güç talebi yaz mevsimine göre daha fazladır. Yaz aylarında hafta içinde ortalama ihtiyaç duyulan güç 32 kW iken okul döneminde yaklaşık 48 kW'tır. Özellikle Ağustos ve Ekim ve ayında resmi tatil günlerinde hafta içi ve hafta sonu talep aynıdır ve Şekil 3.3'te görüldüğü gibi resmi tatil günlerinde Ağustos ayında BIPV sistemin anlık ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı %170', aşarken, Ekim ayında %270'i aşmıştır.



Şekil 3.2. Binada yıllık ihtiyaç duyulan anlık aktif güç

Eğitim-öğretim dönemlerinde enerjiye olan talep fazla olması ve Kasım ayından Mart ayına kadar olan süreçte kapalı gün sayılarının fazla olması nedeniyle binanın ihtiyaç duyulan enerji karşılama oranlarında ciddi bir düşüş söz konusudur. Kış mevsiminde BIPV sistemin ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranları Şekil 3.3.'te görüldüğü gibi %220'i aşmasına rağmen üretilen enerji diğer aylara göre daha az olduğundan dolayı ihtiyaç duyulan toplam enerjiyi karşılama oranları düşüktür. BIPV sistem tarafından üretilen gücün Ekim ayında fazla olması ve Ekim ayında kapalı gün sayısının az olması sebebiyle karşılama oranları %250'i aşmıştır.

BIPV güç üretimi binanın yöneliminden dolayı öğleden önce maksimum seviyeye ulaşmakta ve sonra azalmaya başlamaktadır. Binada hafta içi günlerde öğle vaktinde ihtiyaç duyulan güç ise bir miktar azalmaktadır. Bundan dolayı BIPV sistemin binanın ihtiyaç duyulan toplam gücü karşılama oranı sabit kalmaktadır.



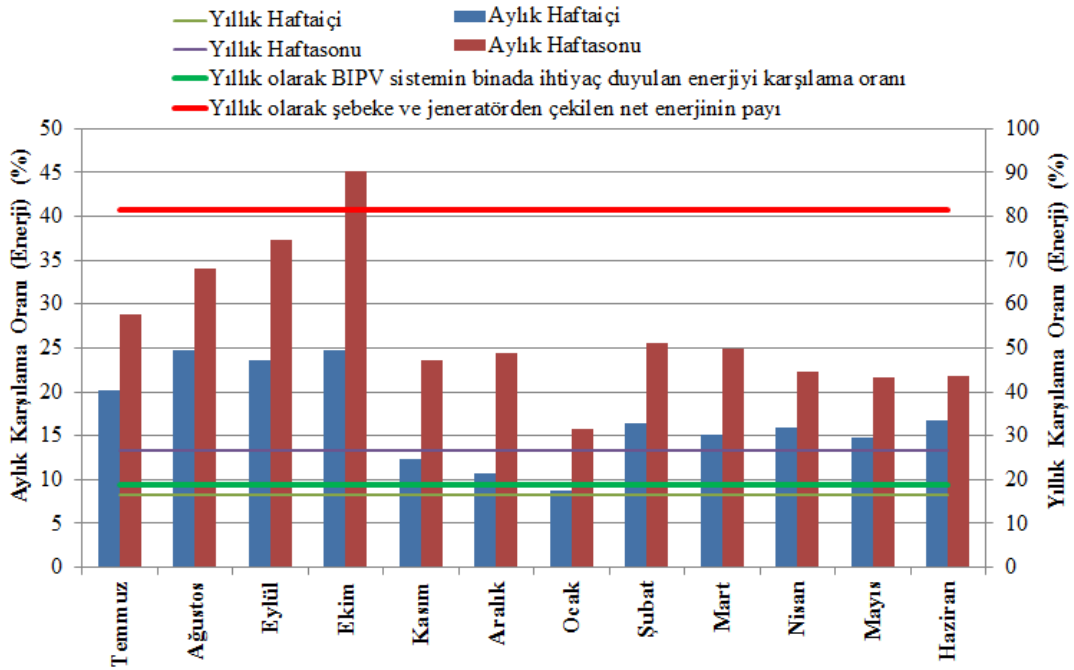
Şekil 3.3. BIPV sistemin binanın yıllık ihtiyaç duyulan anlık aktif gücü karşılama oranı

Kısmen bulutlu günlerde BIPV sistemin ürettiği güç sürekli olarak değişmekte, sürekli inişler çıkışlar olmaktadır. BIPV sistem verileri 15 dakikalık aralıklarla alındığından dolayı 15 dakikanın sapması çok fazladır. Şebeke verileri 5 saniye aralıklarla alındığından, 15'er dakikalık aralıklarla ortalamaları alınmaktadır. Sapma çok fazla olduğundan dolayı BIPV sistem ile şebeke verilerinde uyumsuzluk oluşmaktadır ve Şekil 3.2.'de de görüldüğü gibi hesaplanan ihtiyaç duyulan toplam

anlık güç neredeyse sıfır olduğu gözlemlenmektedir. BIPV sistemdeki güç dalgalanmaları binanın güç talebi eğrisini gerçek eğriden uzaklaştırmaktadır.

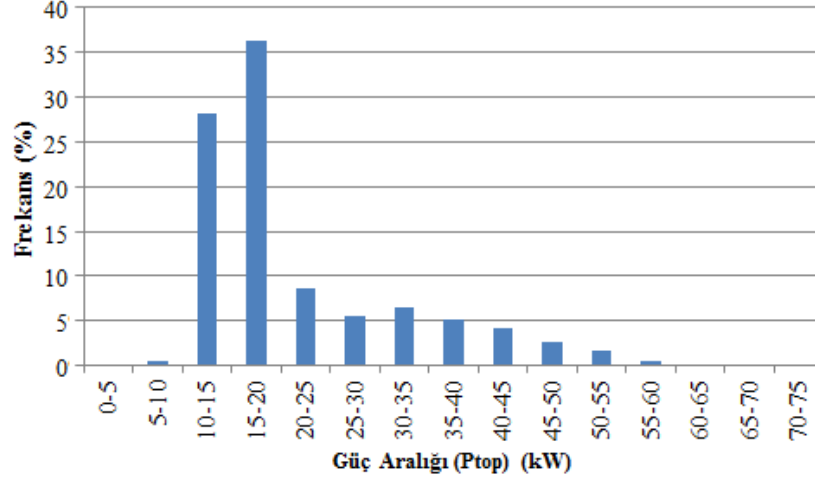
BIPV sistemin enerji talebini karşılaması açısından bakıldığında; Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi kış aylarında ortalama günlük üretilen enerji değerlerinde azalış ve enerjiye olan talep değerlerinde artış olduğu için karşılama oranında ciddi düşüş yaşanmaktadır. Yaz aylarında hafta içinde %20'yi aştığı, kış aylarında ise %10'a kadar düştüğü görülmüştür. Hafta sonu günlerinde yaz aylarında ortalama %30, Ekim ayında %45 ve kış aylarında ve sonraki aylarda ise yaklaşık %25 olduğu görülmüştür.

2013 Temmuz ayından 2014 Haziran ayına kadar olan bir yıllık süreçte alınan ölçümlerle (sistemde bazı problemlerden dolayı birkaç gün hariç) 40,39 kWp kurulu güce sahip BIPV sistem yaklaşık olarak 31,73 MWh elektrik enerjisi üretmiştir. BIPV sistemin entegre edildiği Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, S Bloğu binası ise yaklaşık olarak 170 MWh elektrik enerjisi talep etmiştir. Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi bina BIPV sistem sayesinde talep edilen gücün yaklaşık %19'u güneş enerjisinden karşılamıştır ve geri kalan %81'i ise şebekeden karşılanmıştır.



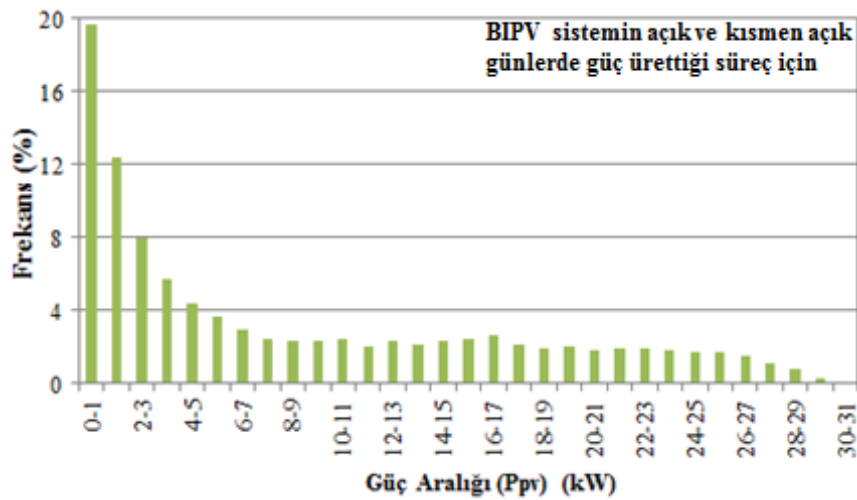
Şekil 3.4. BIPV sistemin binanın aylık ve yıllık ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı

1 yıllık sürecin %65'lik kısmında hafta sonu ve gece saatlerinde (sürecin yaklaşık %50'si gece) beslenen kritik yüklerden dolayı binada ihtiyaç duyulan toplam güç Şekil 3.5.'te görüldüğü gibi 10 kW ile 20 kW arasındadır ve %34'lük kısmında 20 kW ile 60 kW arasındadır. 10 kW'ın altında ve 60 kW'ın üzerindeki yoğunluk güç yoğunluğu ise çok azdır.



Şekil 3.5. Bir yıllık süreçte binada ihtiyaç duyulan toplam anlık gücün frekans analizi

1 yıllık sürecin yaklaşık %50'si geceden ve kapalı günlerden oluşmaktadır. Bu süreç içinde PV modüller güç üretememektedir. Fakat binada kritik yüklerden dolayı sürekli güç tüketilmektedir. Bundan dolayı BIPV sistemin gün içerisindeki ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini karşılama oranları düşüktür. Kapalı gün sayısı çok olan kış ayları için düşünüldüğünde ise bu oran yaz aylarına göre daha düşük olmaktadır.



Şekil 3.6. Bir yıllık süreçte BIPV sistem tarafından üretilen anlık gücün frekans analizi

Güneş ışınlarının PV modüllerin yerleştirildiği yüzeye geliş açıları gün içerisinde ve mevsimsel olarak değişmekte olduğundan ve çalışma koşullarında PV modül sıcaklığının test edilen sıcaklıktan farklı olduğundan analizlerin gerçekleştiği süre içerisinde BIPV sistem her zaman kurulu gücünde çalışmamakta ve genellikle bu değerden düşük güç değerlerinde güçler ile binada bulunan elektriksel yükleri ve şebekeyi besleyebilmektedir. Test edilen süre içerisinde BIPV sistem tarafından Şekil 3.6.'da gösterilen invertöre gelen DC güç değerinin frekans dağılımı incelendiğinde elde edilen gücün %53,5'inin 5 kW değerinin altında olduğu ancak elde edilen gücün %3,6'sının 25 kW değerinden yüksek olduğu görülmektedir.

3.2. Temmuz 2013 – Haziran 2014 Arası 1 Yıllık Değerlendirme

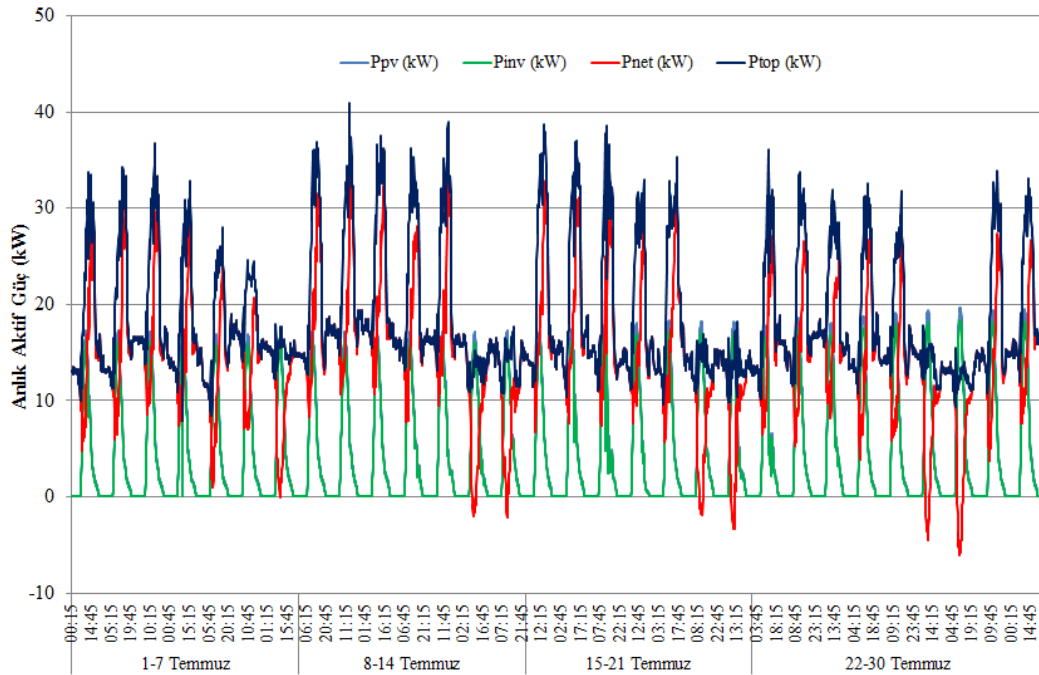
Güneş ışınlarının PV modüllerin yerleştirildiği yüzeye geliş açıları gün içerisinde ve mevsimsel olarak değişmekte olduğundan ve çalışma koşullarında PV modül sıcaklığının test edilen sıcaklıktan farklı olduğundan analizlerin gerçekleştiği süre içerisinde BIPV sistem her zaman kurulu gücünde çalışmamaktadır ve genellikle bu değerden düşük güç değerlerinde güçler ile binada bulunan elektriksel yükleri ve şebekeyi besleyebilmektedir. BIPV sistemin yaz mevsimindeki performansı incelendiğinde; sistem kurulu gücü 40,39 kWp olmasına rağmen Temmuz, Mayıs ve Haziran aylarında üretilen aktif gücün Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi 20 kW'ın altındadır. Bunun nedenlerindeki en temel faktör çevre sıcaklığı olabileceği gibi güneş geliş açısı, bina yüzeylerinin kendi kendini gölgelemesi ve yağmurlu günlerin az olmasından dolayı PV modül üzerindeki toz birikiminden dolayı gölgelenmeler olduğu söylenebilir. Şekil 2.6.'da ve Şekil 1.10.'da görüldüğü gibi güneşin ışınlarının geliş açısı yaz mevsiminde (21 Haziran'da) en yukarıda olması ve çevre sıcaklığının yaz mevsiminde fazla olması; düşey ve 60° eğimli yerleştirilen PV modüllerin performansını azaltmaktadır. Kış mevsiminde ise güneş geliş açısının PV modüller için daha uygun açıyla gelmesi ve çevre sıcaklığının düşük olması nedeniyle 30,65 kW'a ulaşmıştır.

Binada ihtiyaç duyulan güç açısından bakıldığında; yaz mevsimindeki talep öğretim elemanlarının fazla olmamasından dolayı azdır ve hafta içi ortalama olarak 35 kW'ın

altındadır. Kış mevsiminde ise hafta içi günlerinde talep artmaktadır ve ortalama olarak 45 kW ile 50 kW arasındadır. Hafta sonu günlerinde binada bulunan kritik yüklerden dolayı genellikle 10 ile 20 kW arasında değişmektedir. Bazı hafta sonu günlerinde Üniversite sınavlarından dolayı bu değer 30 kW'ı aşmaktadır.

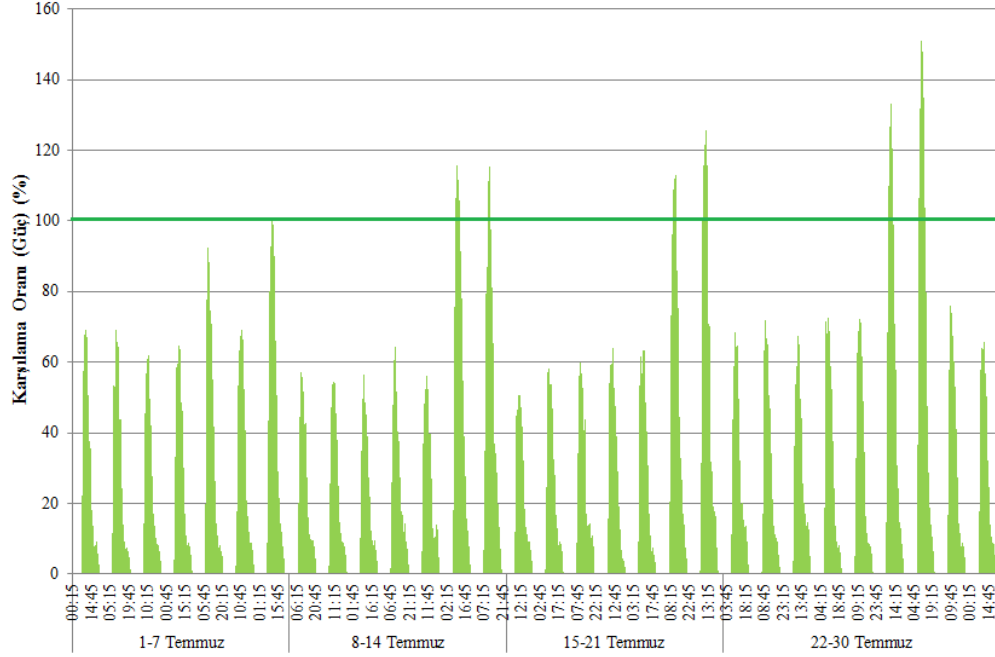
3.2.1. Temmuz 2013

Temmuz ayında BIPV sistemin ürettiği güç Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi 20 kW'ın altındadır. Ortalama olarak Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi yaklaşık 18 kW'tır. Hafta içi günlerinde ihtiyaç duyulan güç 40 kW'ı aşmıştır ve ortalama olarak yaklaşık 32 kW'tır. BIPV sistemin ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı ise Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi yaklaşık %93'e ulaşmıştır ve ortalama olarak Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi %60'tır. BIPV sistem sayesinde şebekeden çekilen net güç ortalama olarak 7,6 kW'a kadar düşmüştür. Hafta sonunda ise ihtiyaç duyulan güç 14 Temmuz'da binada yapılan bir sınavdan dolayı 25 kW'a ulaşmıştır ve ortalama olarak 16,32 kW'tır.



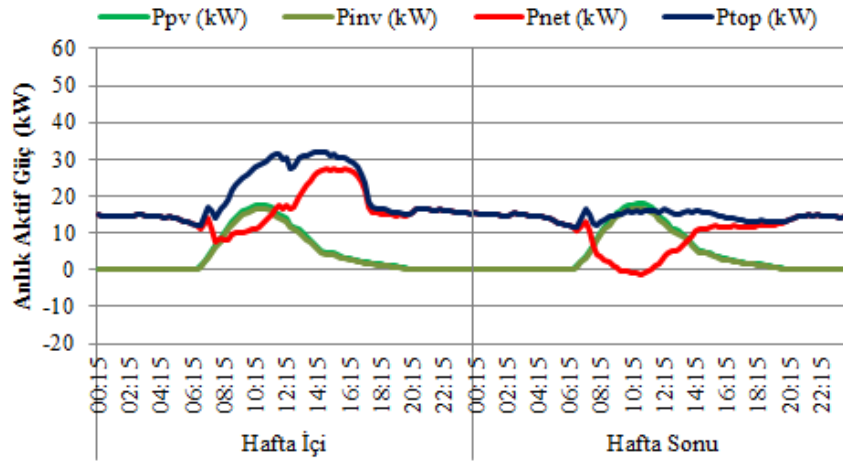
Şekil 3.7. Temmuz ayında günlük üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi

BIPV sistemin ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı ise yaklaşık %150'i aşmıştır ortalama olarak %109'dur. BIPV sistem sayesinde saat 9 ile 11:30 aralığında bina kendi ihtiyacını karşılamıştır ve ihtiyaç fazlasını şebekeye vermiştir. Şebekeye verilen net güç ortalama 1,5 kW'a kadar çıkmıştır. Sistemde kaynaklanan problemlerden dolayı 31 Temmuz'da veri kaydedilememiştir.

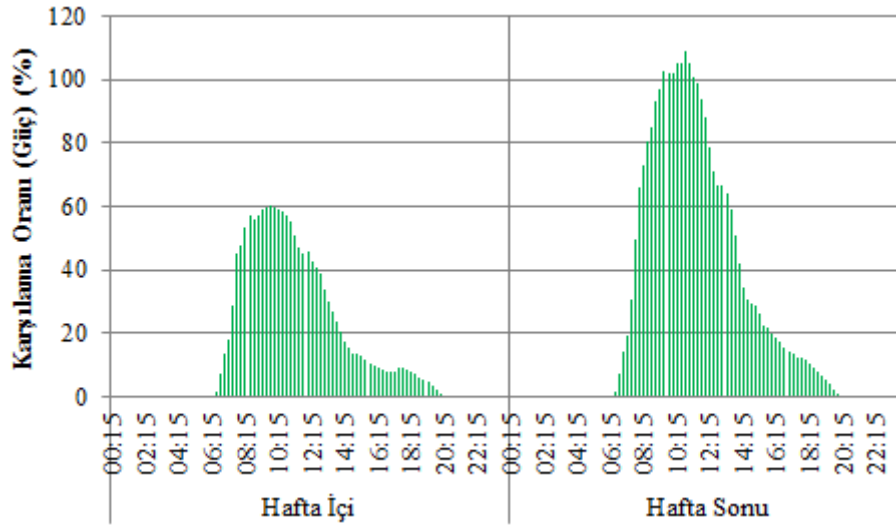


Şekil 3.8. Temmuz ayında BIPV sistemin günlük ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı

Bina BIPV sistem sayesinde hafta içinde ihtiyaç duyulan enerjinin yaklaşık %21'ini hafta sonunda ise yaklaşık %29'unu güneş enerjisinden karşılamıştır. Temmuz ayının tamamında ise %22'sini güneş enerjisinden ve %78'ini şebekeden karşılamıştır.

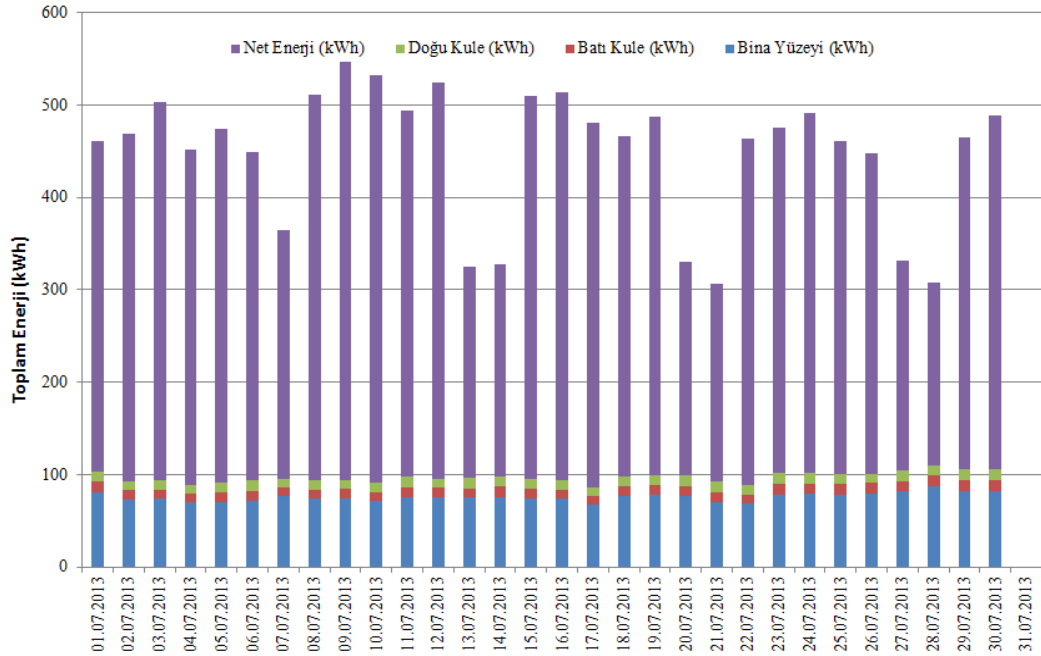


Şekil 3.9. Temmuz ayında ortalama olarak üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi

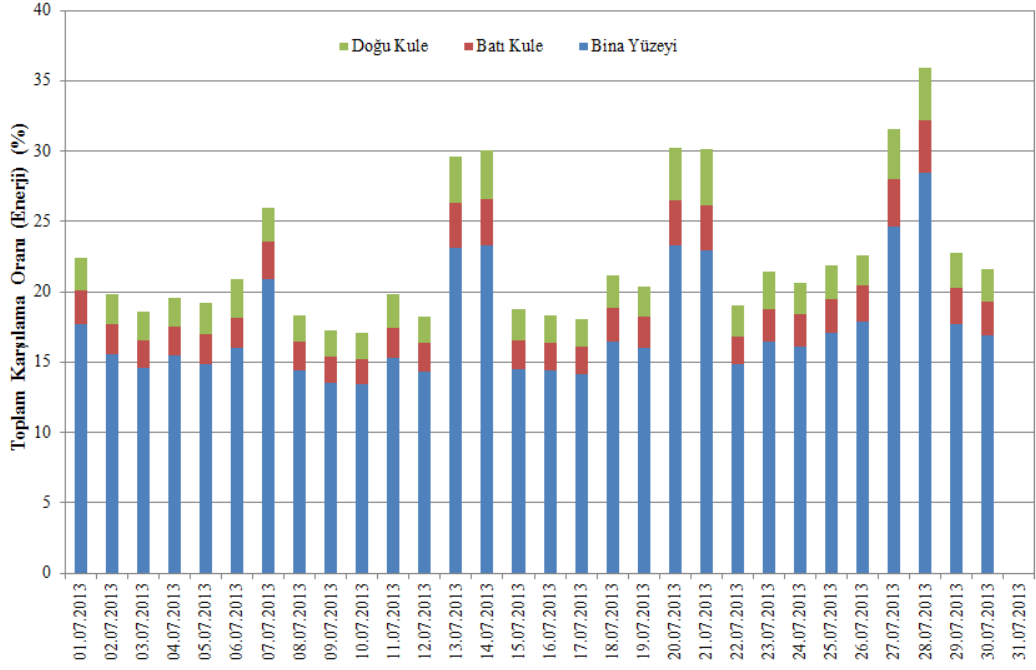


Şekil 3.10. Temmuz ayında BIPV sistemin ortalama olarak ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı

BIPV sistemin tarafından günlük üretilen enerji Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi ortalama 97 kWh iken ay sonuna doğru 100 kWh'i aşmıştır. Binanın enerji talebi ise hafta içi günlerinde ortalama 480 kWh ve hafta sonunda ise ortalama 342 kWh'tir. BIPV sistemin enerji talebini karşılama oranı ise Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi hafta içi günlerde genellikle %20'nin altındadır. Hafta sonunda ise %35'i aşmıştır.



Şekil 3.11. Temmuz ayındaki günlük toplam enerji talebi



Şekil 3.12. Temmuz ayında BIPV sistemin günlük enerji talebini karşılama oranı

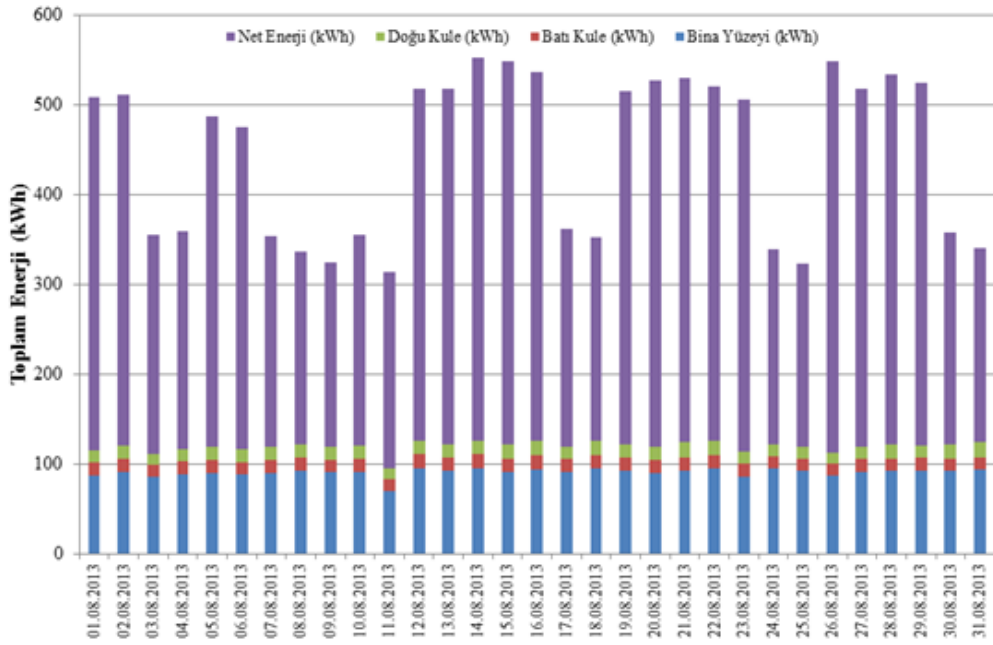
3.2.2. Ağustos 2013

Ağustos ayında BIPV sistem hafta içinde 25, hafta sonunda 23,65 kW ulaşırken aylık ortalama olarak hafta içinde 22,52 ve hafta sonunda 22,23 kW'a ulaşmıştır. Ağustos ayında ihtiyaç duyulan güç talebi 41 kW'ı aşarken aylık ortalama olarak 31,63 kW'tır. Anlık olarak sifıra yaklaşmıştır ve gerçek değerinden uzaklaşmıştır. Bu kısmen bulutlu günlerde BIPV sistemin ürettiği güçte dalgalanmaların olması ve 15 dakikalık süreç içinde sapmanın yüksek olması ile şebeke verilerinin 15'er dakikalık ortalama değerinin uyuşmamasından kaynaklanmaktadır. Hafta sonu ihtiyaç duyulan güç ise 27,12 kW ile 5,22 kW arasında değişirken ortalama olarak 17,11 kW'tır. BIPV sistemin ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı ise hafta içinde resmi tatilden dolayı %182'e ulaşmış iken aylık ortalama olarak %71,14'e ulaşmıştır. Temmuz ayı hafta içi ortalamasına göre yaklaşık %20 artmıştır. Hafta sonunda ise %183'e ulaşmıştır ve aylık ortalama %141'i aşmıştır. Temmuz ayı hafta sonu ortalamasına göre yaklaşık %30 artmıştır. 7-11 Ağustos resmi tatil günü olduğu için binada sadece kritik yükler beslenmiştir ve karşılama oranı %160'ı aşmıştır.

Ağustos ayında şebekeden çekilen net güç hafta içinde 10 kW'ın altına ve hafta sonunda ise -6 kW'a düşmüştür. Bir başka deyişle hafta sonunda bina saat 8:45 ile

13:00 arasında ihtiyaç duyulan gücü kendi karşılamıştır ve bu aralıkta saat 11:00 civarlarında yaklaşık 6 kW şebekeye vermiştir. İhtiyaç duyulan toplam enerji açısından ise BIPV sistem hafta içinde %24,74'ünü ve hafta sonunda %34,09'unu karşılamıştır. Ağustos ayının tamamında ise %26,83'ünü güneş enerjisinden, %73,17'sini ise şebekeden karşılamıştır.

BIPV sistemin tarafından günlük üretilen enerji Şekil 3.13.'te görüldüğü gibi ortalama 120 kWh'tir. Binanın enerji talebi ise hafta içi günlerinde ortalama 490 kWh seviyelerinde iken hafta sonu ve 4 günlük resmi tatil günlerinde ortalama 342 kWh'tir. BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise hafta içi günlerinde %23'lerde ve hafta sonu ve resmi tatil günlerinde ise %35'lerdedir.



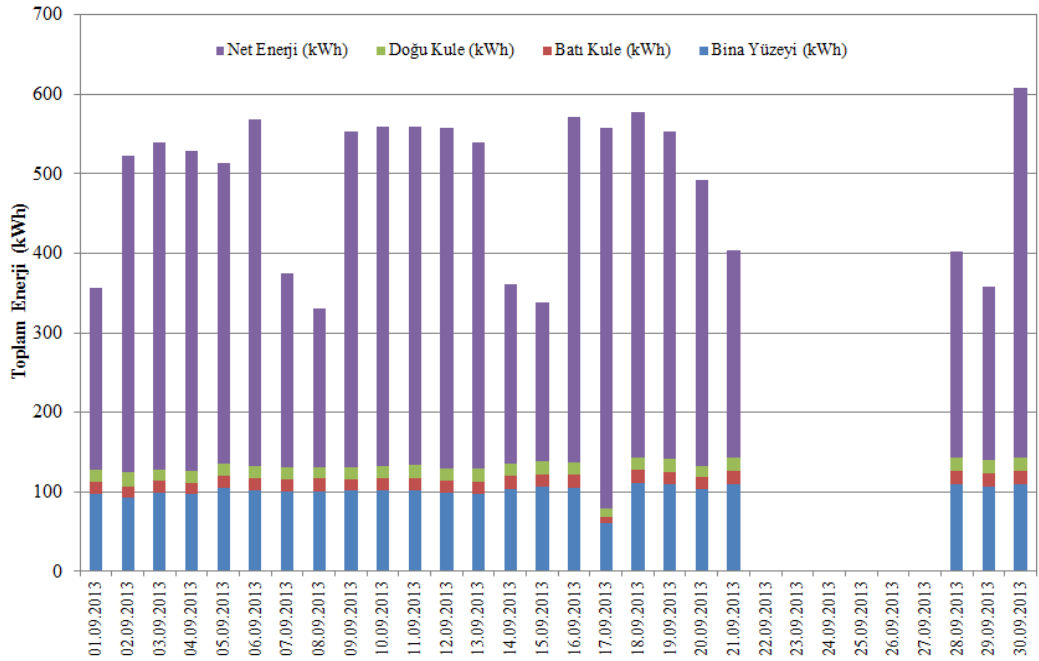
Şekil 3.13. Ağustos ayındaki günlük toplam enerji talebi

3.2.3. Eylül 2013

Eylül ayında BIPV sistem hafta içinde 27,83 kW'a, hafta sonunda ise 27,01 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak ise hafta içinde 25,03 kW iken, hafta sonunda 25,49 kW'tır. İhtiyaç duyulan anlık güç açısından bakıldığında hafta içinde 9,09 kW'a kadar düşerken 44,65 kW'a kadar çıkmıştır ve aylık ortalama olarak 36,75 kW'tır. Ağustos ayına göre %16 artmıştır. Hafta sonunda ise 9,89 kW'a kadar düşerken 21 kW'a kadar çıkmıştır ve ortalama olarak 15,78 kW'tır. İhtiyaç duyulan

gücü karşılama açısından ise hafta içinde yaklaşık %88'e ulaşmış aylık ortalama olarak yaklaşık %71'dir. Hafta sonunda %200'ü aşmıştır ve aylık ortalama olarak %166'dır. Ağustos ayı hafta sonuna göre %17 artmıştır.

Eylül ayında şebekeden çekilen net güç hafta içinde 10 kW'ın altına ve hafta sonunda ise -9,34 kW'a düşmüştür ve bina hafta sonunda saat 8:45 ile 13:30 arasında ihtiyaç duyulan gücü kendi karşılamıştır ve bu aralıkta saat 11:00 civarlarında yaklaşık 9,34 kW şebekeye vermiştir. İhtiyaç duyulan toplam enerji açısından ise BIPV sistem hafta içinde %23,6'sını ve hafta sonunda %37,23'ünü karşılamıştır. Eylül ayının tamamında ise %27'sini güneş enerjisinden, %73'ünü ise şebekeden karşılamıştır.

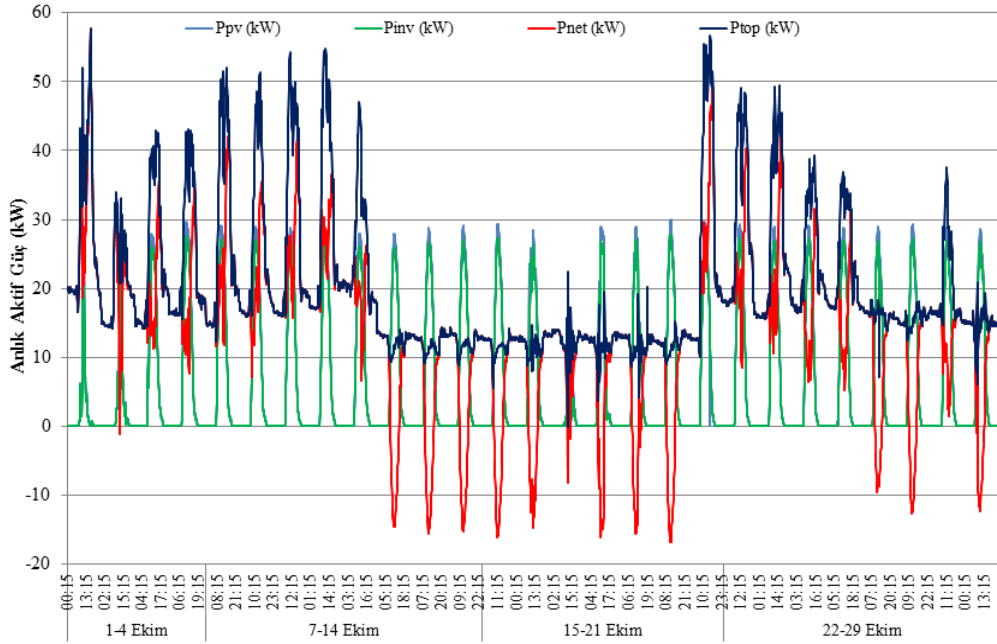


Şekil 3.14. Eylül ayındaki günlük toplam enerji talebi

BIPV sistemin tarafından günlük üretilen enerji Şekil 3.14.'te görüldüğü gibi ortalama 133 kWh iken ay sonlarında 140 kWh'lerdedir. Binanın enerji talebi ise hafta içi günlerinde ortalama 550 kWh iken ay sonunda 600 kWh'i aşmıştır. Hafta sonu günlerinde ise ortalama 365 kWh'tir. BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise hafta içi günlerinde %24'lerde ve hafta sonu ve resmi tatil günlerinde ise %39'lerdedir. 22-27 Eylül tarihleri arasında sistemdeki bir problemden dolayı veri kaydedilememiştir.

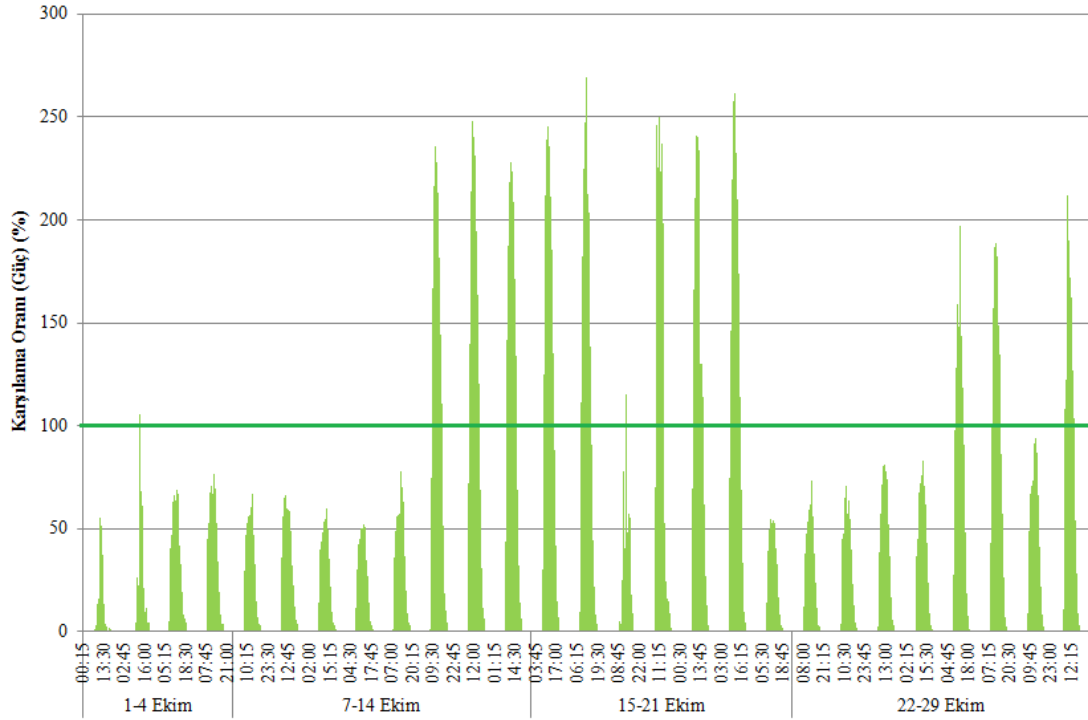
3.2.4. Ekim 2013

BIPV sistem sayesinde en fazla enerji ve güç değerlerine ulaşılan Ekim ayında BIPV sistem hafta içinde 29,64 kW'a, hafta sonunda ise 29,69 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak ise hafta içinde 25,94 kW iken, hafta sonunda 28,83 kW'tır. İhtiyaç duyulan anlık güç açısından bakıldığında; Şekil 3.15.'te görüldüğü gibi hafta içinde güç dalgalanmalarından dolayı kaynaklanan uyumsuzluktan dolayı sifıra kadar düşerken, aylık ortalama olarak Şekil 3.17'de görüldüğü gibi yaklaşık 14 kW'tır ve anlık olarak 57,78 kW'a kadar çıkmıştır ve aylık ortalama olarak 35,86 kW'tır. Hafta sonunda ise 4,23 kW'a kadar düşerken 20,26 kW'a kadar çıkmıştır ve ortalama olarak 14,65 kW'tır. İhtiyaç duyulan gücü karşılama oranı ise; Şekil 3.16.'da görüldüğü gibi hafta içinde resmi tatil günlerinden dolayı yaklaşık %270'e ulaşmış aylık ortalama olarak Şekil 3.18.'de görüldüğü gibi yaklaşık %74,94'dir. Hafta sonunda %261'i aşmıştır ve aylık ortalama olarak %211'dir. Eylül ayı hafta sonuna göre aylık %27,6 artmıştır.



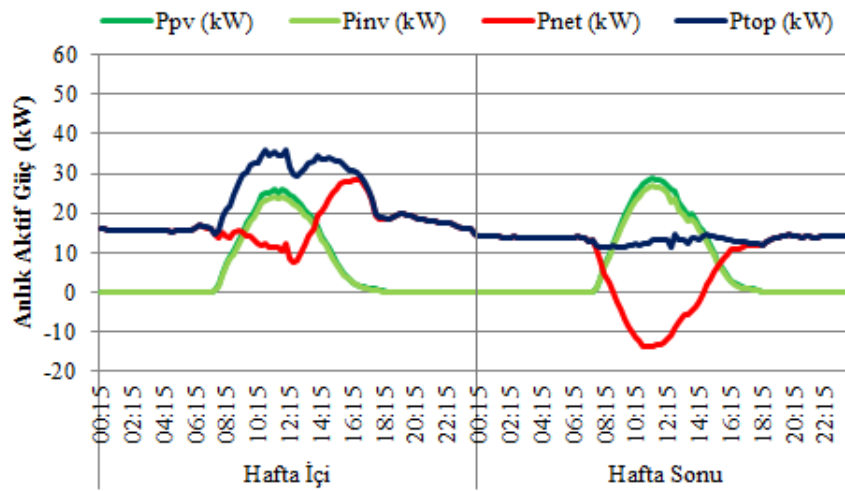
Şekil 3.15. Ekim ayında günlük üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi

Ekim ayında şebekeden çekilen net güç hafta içinde 8,66 kW'ın altına ve hafta sonunda ise yaklaşık -14 kW'a düşmüştür ve bina hafta sonunda saat 8:45 ile 14:30 arasında ihtiyaç duyulan gücü kendi karşılamıştır ve bu aralıkta saat 11:00

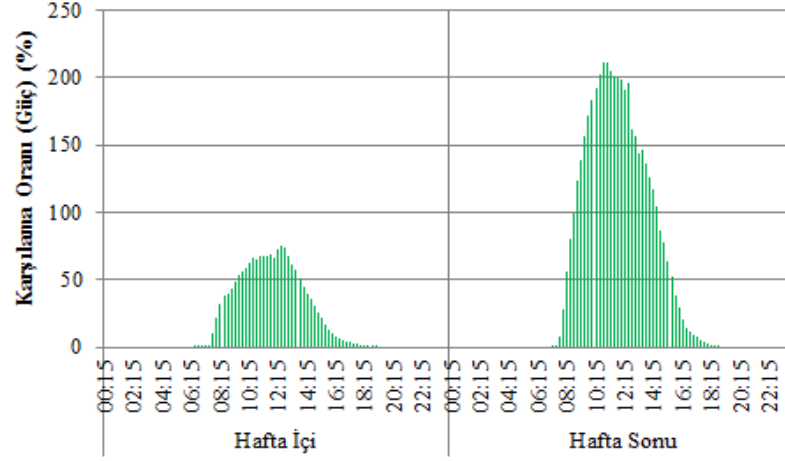


Şekil 3.16. Ekim ayında BIPV sistemin günlük ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı

civarlarında yaklaşık 14 kW şebekeye vermiştir. Bina yöneliminin güneyden 30° doğuya olmasından dolayı BIPV sistem tarafından üretilen anlık güç öğleden önce maksimum değere ulaşmaktadır. İhtiyaç duyulan toplam enerji açısından ise BIPV sistem hafta içinde %24,78'ini ve hafta sonunda %45,21'ini karşılamıştır. Ekim ayının tamamında ise %27,8'ini güneş enerjisinden, %72,2'sini ise şebekeden karşılamıştır.



Şekil 3.17. Ekim ayında üretilen ortalama olarak üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi

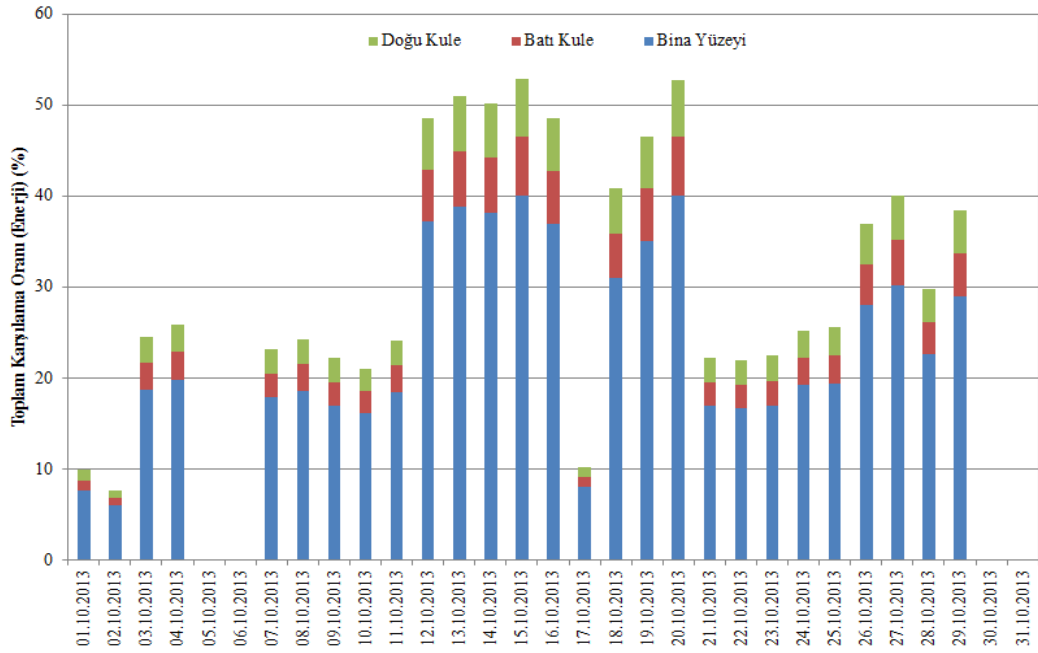


Şekil 3.18. Ekim ayında BIPV sistemin ortalama olarak ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı

BIPV sistemin tarafından günlük üretilen enerji Şekil 3.19.'da görüldüğü gibi açık günlerde 150 kWh'i aşmıştır. Binanın enerji talebi ise hafta içi günlerinde 700 kWh'i aşarken ortalama 530 kWh'tir. Hafta sonu günlerinde ve resmi tatil günlerinde ise 300 kWh'in altına düşmüştür. BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise Şekil 3.20'de görüldüğü gibi hafta içi açık günlerde %22'lerde ve hafta sonu ve resmi tatil günlerinde ise %50'lerdedir. Ay sonuna doğru azalmıştır. Kapalı günlerde ise %10'un altına düşmüştür. 5-6 Ekim ve 30-31 tarihleri arasında sistemdeki bir problemden dolayı veri kaydedilememiştir.



Şekil 3.19. Ekim ayındaki günlük toplam enerji talebi



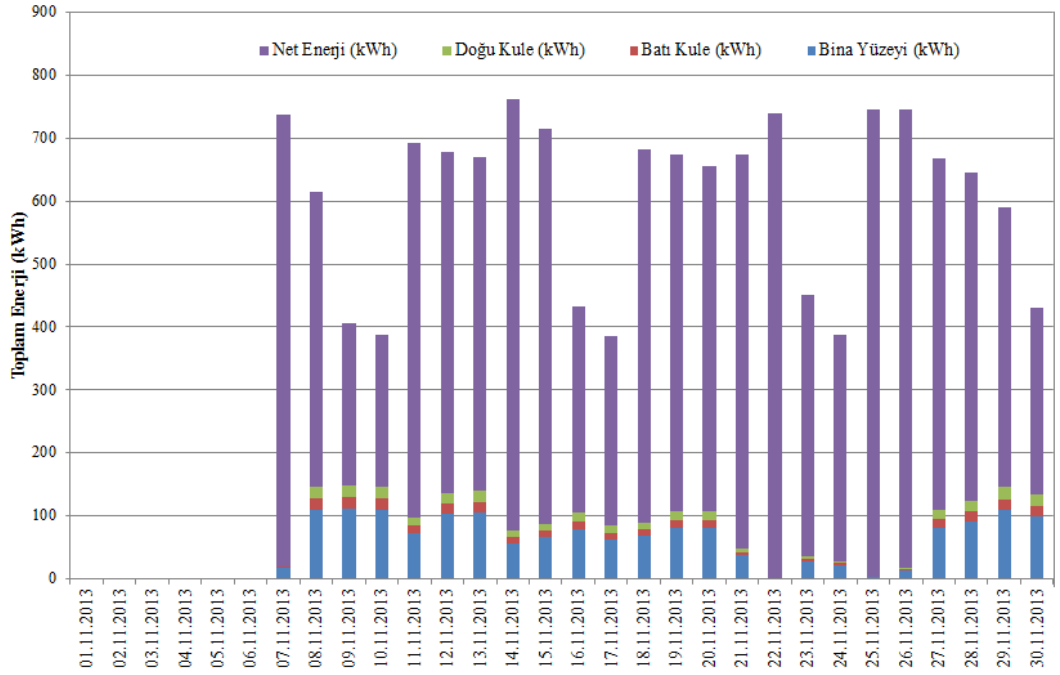
Şekil 3.20. Ekim ayında BIPV sistemin günlük enerji talebini karşılama oranı

3.2.5. Kasım 2013

Kasım ayında BIPV sistem hafta içinde 28,85 kW'a, hafta sonunda 28,5 kW'a ulaşırken, kapalı gün sayısı fazla olduğundan dolayı aylık ortalama olarak hafta içinde 17,51 ve hafta sonunda 21,74 kW'a ulaşmıştır. Kış ayındaki talep daha fazla, gece uzunluğu ve kapalı gün sayısı fazla, ayrıca anlık güce sürekli ihtiyaç duyulduğu için güç ve enerji karşılama oranlarında yaz aylarına göre ciddi düşüşler olmaktadır. İhtiyaç duyulan güç hafta sonunda dahi daha fazladır. Aylık anlık olarak hafta içinde 68,2 kW'a ulaşırken aylık ortalama olarak 50,71 kW'tır. Ekim ayına göre %41 artış vardır. Hafta sonunda ise anlık olarak 32,26 kW ve aylık ortalama olarak 20,95 kW'a ulaşmıştır. Hafta sonunda dahi Ekim ayına göre %43 artış vardır. İhtiyaç duyulan gücü karşılama oranları açısından bakıldığında hafta içinde %87'e ulaşırken, aylık ortalama olarak yaklaşık %37'dir. Hafta sonunda ise %175'e ulaşırken, aylık ortalama olarak %105,6'dır ve ekim ayına göre yaklaşık %50 azalış vardır.

Kasım ayında hafta içinde şebekeden çekilen net güç aylık ortalama olarak 10 kW üzerindedir. Hafta sonunda ise çok kısa zaman diliminde yaklaşık -1 kW'a kadar düşmüştür. Bina hafta içinde enerji ihtiyacının %12,4'ünü ve hafta sonunda %23,54'ünü güneş enerjisinden karşılamıştır. Kasım ayının tamamında %14,61'ini güneşten ve geri kalan %85,39'luk kısmını şebekeden karşılamıştır.

BIPV sistemin tarafından günlük üretilen enerji Şekil 3.21.'de görüldüğü gibi açık günlerde 150 kWh'e ulaşırken kapalı gün sayısı fazla olduğu için ortalama 85,3 kWh'tir. Binanın enerji talebi ise hafta içi günlerinde Ekim ayına göre ortalama %30 artarak 762 kWh'e ulaşmıştır ve ortalama 687 kWh'tir. Hafta sonu günlerinde Ekim ayına göre ortalama %28 artarak ortalama 412 kWh'e ulaşmıştır. BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise hafta içi açık günlerde %20'lerde ve hafta sonu ve resmi tatil günlerinde ise %35'lerdedir. 1-6 Kasım tarihleri arasında sistemdeki bir problemden dolayı veri kaydedilememiştir.



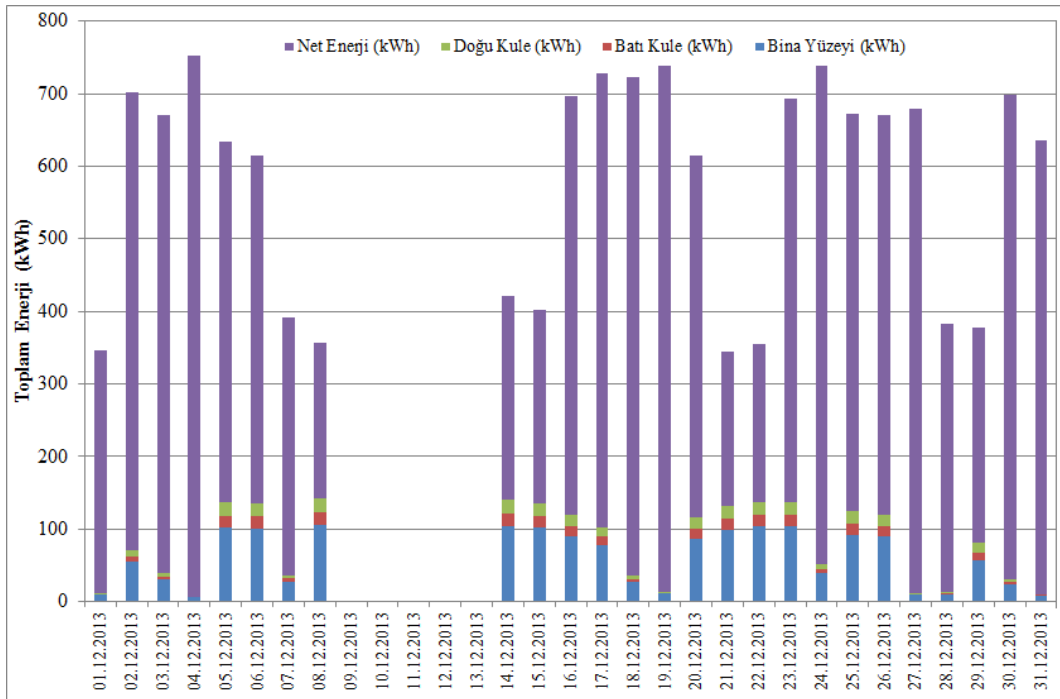
Şekil 3.21. Kasım ayındaki günlük toplam enerji talebi

3.2.6. Aralık 2013

Aralık ayında BIPV sistem hafta içinde 27,24 kW'a, hafta sonunda 28,13 kW'a ulaşırken, kapalı gün sayısı fazla olduğundan dolayı aylık ortalama olarak hafta içinde 15,01 ve hafta sonunda 18,09 kW'a ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan güç hafta sonunda dahi daha fazladır. Aylık anlık olarak hafta içinde 63,04 kW'a ulaşırken aylık ortalama olarak 47,02 kW'tır. Hafta sonunda ise anlık olarak 51,13 kW ve aylık ortalama olarak 25,07 kW'a ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan gücü karşılama oranları açısından bakıldığında hafta içinde %98,6'a ulaşırken, aylık ortalama olarak %36'dır. Hafta sonunda ise %198'e ulaşırken, aylık ortalama olarak yaklaşık %76'dır. Hafta sonu ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı kapalı gün sayısı fazla

olduğu gibi talep de bir miktar arttığı için (Kasım'a göre %17) %100'ün altına düşmüştür. Bir başka deyişle şebekeden çekilen net güç sıfırdan büyüktür.

Aralık ayında hafta sonunda ihtiyaç duyulan güç diğer aylara göre bir miktar artmıştır ve 20 kW'ın üzerine çıkmıştır. Aralık ayında hafta içinde şebekeden çekilen net güç aylık ortalama olarak 15 kW üzerindedir. Hafta sonunda ise 4,95 kW'a kadar düşmüştür. Bina hafta içinde enerji ihtiyacının %10,78'ini ve hafta sonunda %24,47'in güneş enerjisinden karşılamıştır. Aralık ayının tamamında %13,86'ini güneşten ve geri kalan %86,14'luk kısmını şebekeden karşılamıştır.

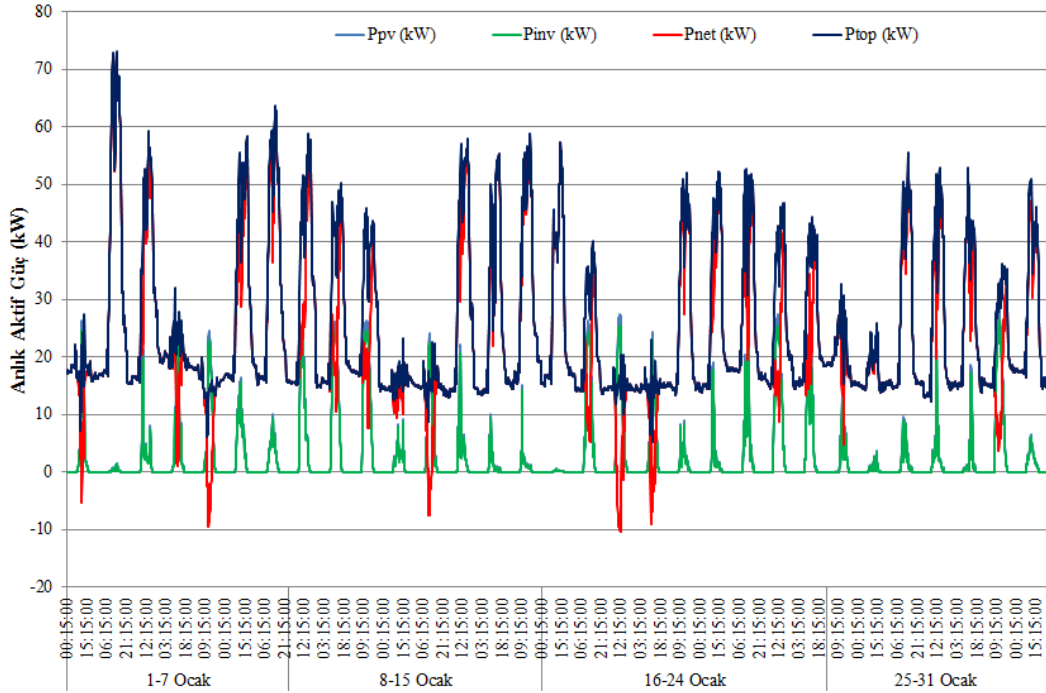


Şekil 3.22. Aralık ayındaki günlük toplam enerji talebi

BIPV sistemin tarafından günlük üretilen enerji Şekil 3.22.'de görüldüğü gibi açık günlerde 142 kWh'e ulaşırken kapalı gün sayısı fazla olduğu için ortalama 74 kWh'tir. Binanın enerji talebi ise hafta içi günlerinde 752 kWh'e ulaşmıştır ve ortalama 685 kWh'tir. Hafta sonu günlerinde ise 400 kWh'e ulaşmıştır ve ortalama 375 kWh'tir. BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise hafta içi açık günlerde %20'lerde ve hafta sonunda ise %40'a ulaşmıştır. 9-13 Aralık tarihleri arasında sistemdeki bir problemten dolayı veri kaydedilememiştir.

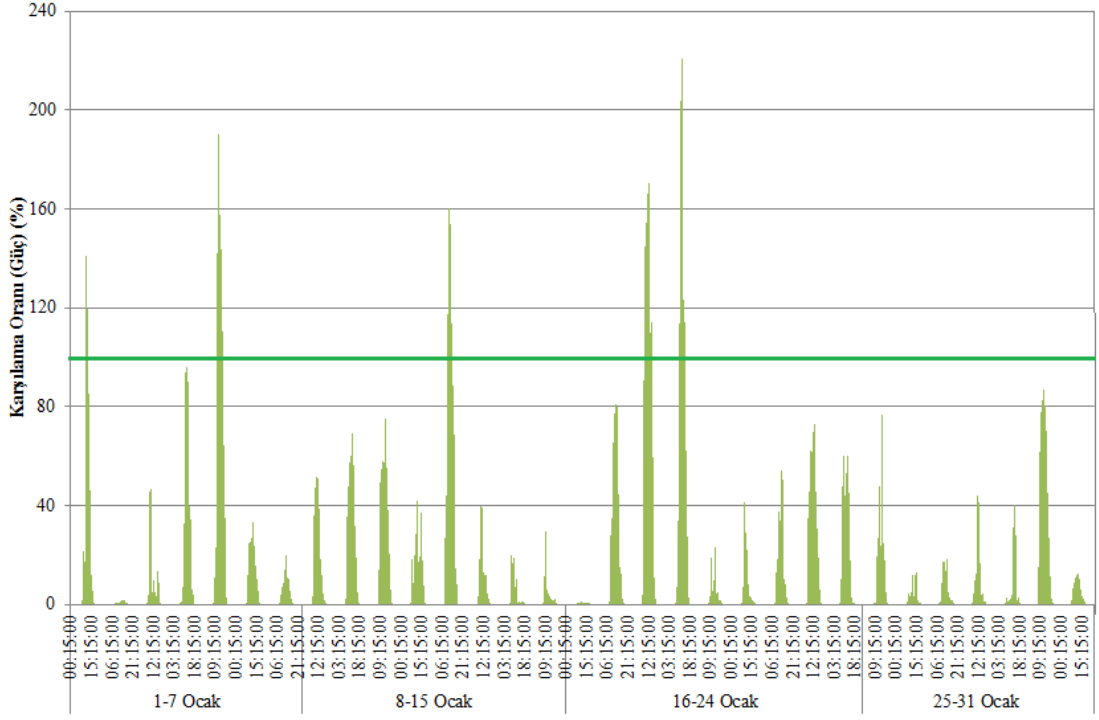
3.2.7. Ocak 2014

Ocak ayında BIPV sistem Şekil 3.23.'te ve Şekil 3.25.'te görüldüğü gibi hafta içinde 28,43 kW'a, hafta sonunda 27,3 kW'a ulaşırken, kapalı gün sayısı fazla olduğundan dolayı aylık ortalama olarak hafta içinde 12,19 ve hafta sonunda 16,6 kW'a ulaşmıştır. Şekil 3.2.'de de görüldüğü gibi aylık anlık ihtiyaç duyulan güç 12 aylık süreçte en büyük değere ulaşmıştır ve hafta içinde 73,15 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak 48,5 kW'tır. Hafta sonunda ise anlık olarak 32,56 kW ve aylık ortalama olarak 20,13 kW'a ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan gücü karşılama oranları açısından bakıldığında; Şekil 3.24. ve Şekil 3.26.'da görüldüğü gibi hafta içinde resmi tatilden dolayı %141,2'e ulaşırken, aylık ortalama olarak %27,2'dir. Hafta sonunda ise %221'e ulaşırken, aylık ortalama olarak yaklaşık %86,5'dir. Hafta sonu aylık ortalama BIPV üretimi bir miktar azalmasına rağmen hafta sonu enerjiye olan talep Aralık ayına göre %5 azalmıştır ve ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı bir miktar artmıştır.



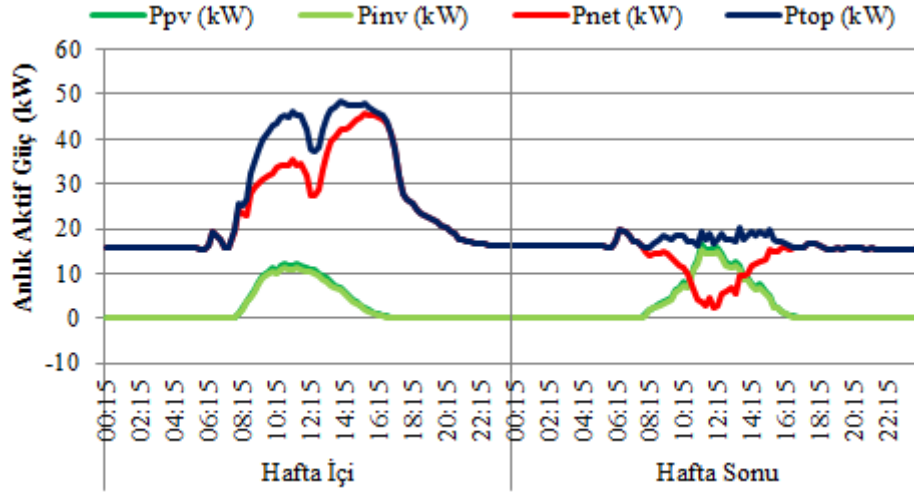
Şekil 3.23. Ocak ayında günlük üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi

Ocak ayında hafta içinde şebekeden çekilen net güç aylık ortalama olarak 15 kW üzerindedir. Hafta sonunda ise 2,28 kW'a kadar düşmüştür. Bina hafta içinde enerji

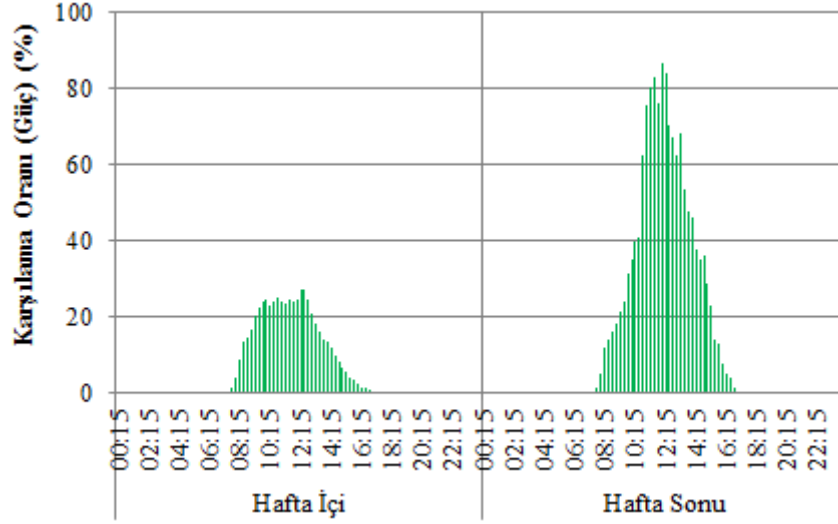


Şekil 3.24. Ocak ayında BIPV sistemin günlük ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı

ihtiyacının %8,78'ini ve hafta sonunda %15,83'in güneş enerjisinden karşılamıştır. Ocak ayının tamamında %10'unu güneşten ve geri kalan %90'lık kısmını şebekeden karşılamıştır.

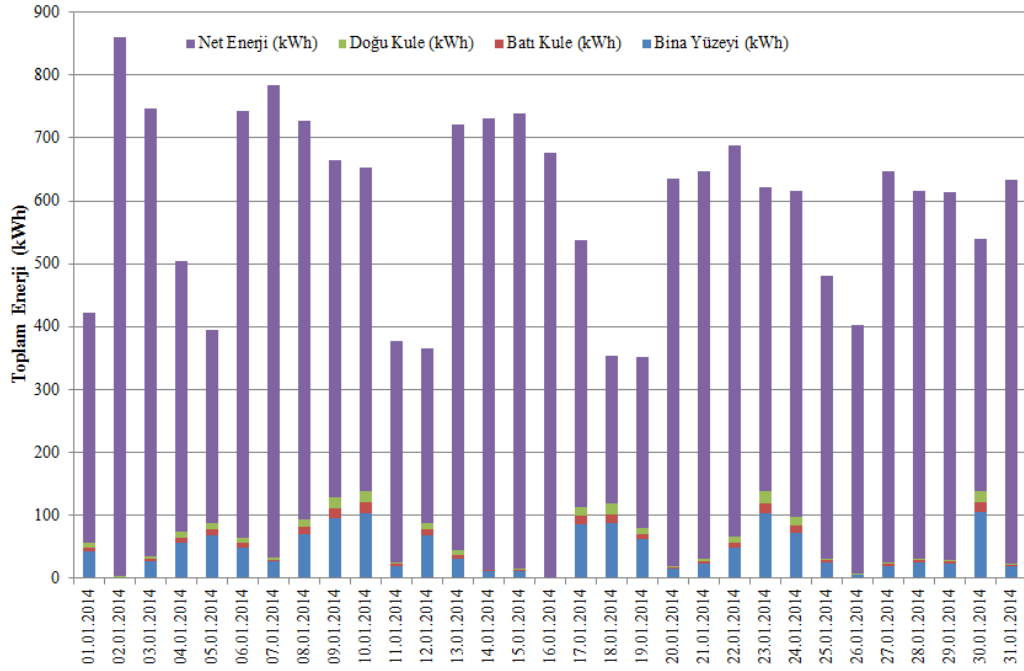


Şekil 3.25. Ocak ayında üretilen ortalama olarak üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi



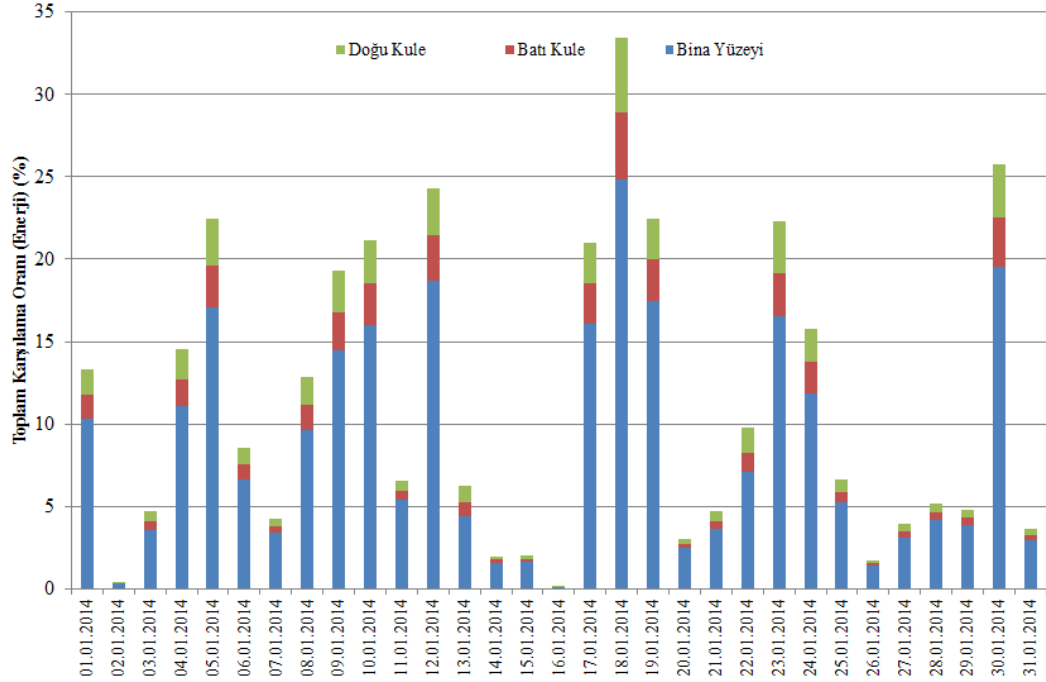
Şekil 3.26. Ocak ayında BIPV sistemin ortalama olarak ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı

Binada ihtiyaç duyulan gücün maksimum değere ulaştığı 2 Ocak tarihinde anlık güç talebi 73,15 kW iken günlük enerji talebi de Şekil 3.27.'de görüldüğü gibi 860,9 kWh ile maksimum değer ulaşmıştır. Hafta içi günlerindeki talep ayın başlarında 700 kWh'in üzerinde iken ayın sonlarında 700 kWh'in altına düşmüştür ve ortalama 664 kWh'tir. Hafta sonu günlerinde ise 500 kWh'e kadar ulaşmıştır ve ortalama 404 kWh'tir. Açık günlerde BIPV sistem tarafında üretilen enerji 140 kWh'e kadar ulaşmıştır.



Şekil 3.27. Ocak ayındaki günlük toplam enerji talebi

BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise Şekil 3.28.'de görüldüğü gibi hafta içi açık günlerde %20'lerde iken hafta sonu açık günlerde %33'e ulaşmıştır ve %24'lerdedir.

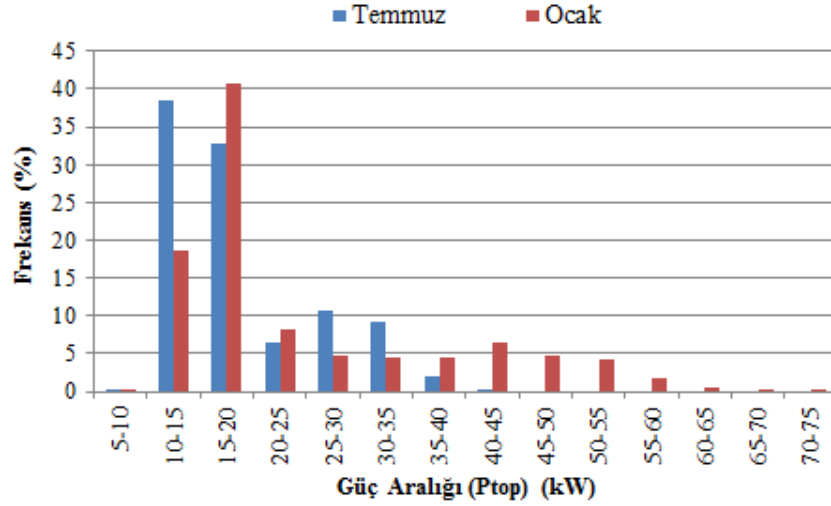


Şekil 3.28. Ocak ayında BIPV sistemin günlük enerji talebini karşılama oranı

Yaz aylarından Temmuz ile kış aylarından Ocak ayındaki ihtiyaç duyulan güce olan talebi kıyasladığımızda; Şekil 3.29.'da görüldüğü gibi ihtiyaç duyulan güç Temmuz ayında 45 kW'a kadar ulaşırken, Ocak ayında 75 kW'a kadar çıkmıştır. 45 kW ve üzeri olan talep de oldukça fazladır. Özellikle hafta sonlarında ve günün gece saatlerinde Temmuz ayında 10-15 kW'lık güç talebinden Ocak ayında 15-20 kW'lık güç talebine bir geçiş söz konusudur. 10 kW'ın altındaki güç talebi yok denecek kadar azdır.

Bilindiği gibi Ocak ayında karşılama oranı %221'e kadar ulaşırken, Temmuz ayında %150'ye ulaşabilmiştir. Fakat Ocak ayında açık gün sayısı çok az olduğu için ve enerjiye olan talep fazla olduğu için BIPV sistemin ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranında ciddi bir düşüş vardır. Ocak ayındaki toplam talep Temmuz ayına göre %40 artarken, BIPV sistem tarafından üretilen güç %37 azalmıştır. Bu yüzden dolayı BIPV sistemin ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı %22'den %10'a düşmüştür.

Hafta sonunda güce olan talep Şekil 3.7. ve Şekil 3.23.'ten de anlaşılacağı gibi Ocak ayında Temmuz ayına göre fazladır. Ocak ayı hafta sonundaki talep Temmuz ayına göre %18 artarken, BIPV sistem tarafından üretilen güç %35 azalmıştır. Bu yüzden dolayı BIPV sistemin ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı %28,83'ten %15,84'e düşmüştür.



Şekil 3.29. Temmuz ayındaki ihtiyaç duyulan güç ile Ocak ayındaki ihtiyaç duyulan gücün karşılaştırılması

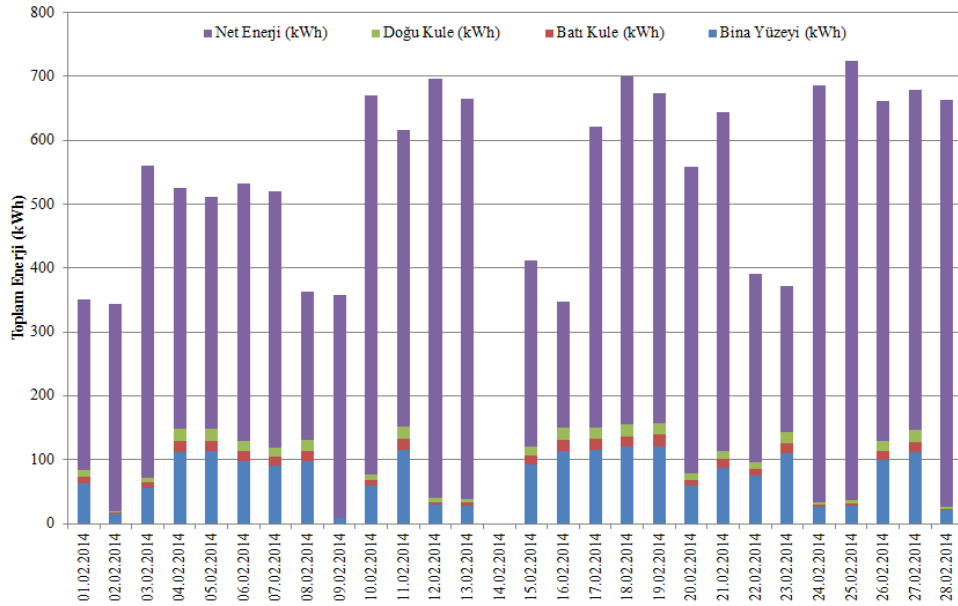
3.2.8. Şubat 2014

Şubat ayında BIPV sistem tarafından üretilen güç 12 aylık sürecin en yüksek değerine ulaşmıştır ve hafta içinde 30,65 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak ise 21,35 kW'a ulaşmıştır. Hafta sonunda 29,2 kW'a kadar ulaşırken aylık ortalama olarak 19,42 kW'a ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan güce bakıldığında hafta içinde 62,27 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak 45 kW'tır. Hafta sonunda ise anlık olarak 25,29 kW ve aylık ortalama olarak 17,47 kW'a ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan gücü karşılama oranları açısından bakıldığında ise hafta içinde %129,2'e ulaşırken, aylık ortalama olarak %47,96'dır. Hafta sonunda ise %209,8'e ulaşırken, aylık ortalama olarak %116,77'dir. Şubat ayında kapalı gün sayısı az olduğu gibi talep edilen güç ve enerji değerleri de azaldığı için BIPV sistemin ihtiyaç duyulan gücü ve enerjiyi karşılama oranlarında artış vardır.

Şubat ayında hafta içinde şebekeden çekilen net güç aylık ortalama olarak 10 kW'a kadar düşerken hafta sonunda ise -2,5 kW'a kadar düşmüştür. Bina saat 9:30 ile

12:15 arasında güç ihtiyacını kendi karşılamıştır. Bina hafta içinde enerji ihtiyacının %16,37'ini ve hafta sonunda %25,6'ın güneş enerjisinden karşılamıştır. Şubat ayının tamamında %18,2'ünü güneşten ve geri kalan %81,8'lik kısmını şebekeden karşılamıştır.

Şubat ayında açık günlerde BIPV enerji üretimi 160 kWh'e ulaşmıştır. Binanın enerji talebi ise hafta içi günlerde ayın ilk günlerinde 520 kWh iken sonraki günlerde 700 kWh'lere ulaşmıştır ve ortalama 627 kWh'tir. Hafta sonu günlerinde ise ortalama 368 kWh'tir (Şekil 3.30.). BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise hafta içi açık günlerde %24'lerde iken hafta sonun açık günlerde %40'lerdedir. 14 Şubat tarihi için parametreler sistemdeki veri eksikliğinden dolayı analiz edilememiştir.



Şekil 3.30. Şubat ayındaki günlük toplam enerji talebi

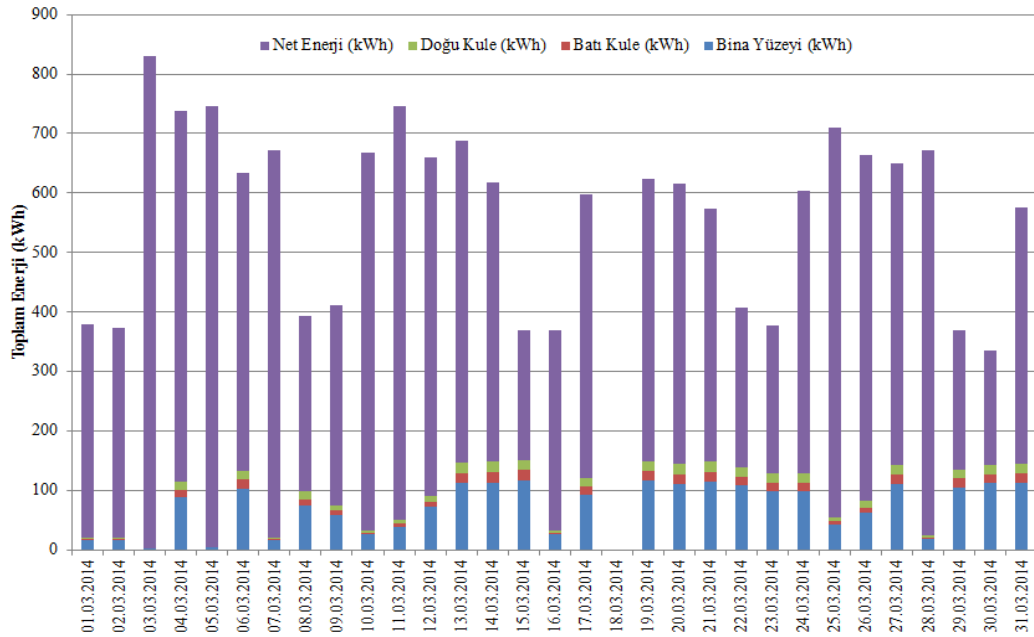
3.2.9. Mart 2014

Mart ayında BIPV sistem hafta içinde 30,57 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak ise 17,8 kW'a ulaşmıştır. Hafta sonunda 28,49 kW'a kadar ulaşırken aylık ortalama olarak 18,76 ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan güce bakıldığında hafta içinde yaklaşık 64 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak 47,26 kW'tır. Hafta sonunda ise anlık olarak 29,7 kW ve aylık ortalama olarak 18,06 kW'a ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan gücü karşılama oranları açısından bakıldığında ise hafta içinde %104,26'ya ulaşırken,

aylık ortalama olarak %50,88'dir. Hafta sonunda ise %192,64'e ulaşırken, aylık ortalama olarak %102,62'dir.

Mart ayında hafta içinde şebekeden çekilen net güç aylık ortalama olarak 8,9 kW'a kadar düşerken hafta sonunda ise -0,45 kW'a kadar düşmüştür. Bina hafta içinde enerji ihtiyacının %15,14'ünü ve hafta sonunda %24,89'unu güneş enerjisinden karşılamıştır. Mart ayının tamamında %17,28'ini güneşten ve geri kalan %82,72'lik kısmını şebekeden karşılamıştır.

Mart ayında açık günlerde BIPV enerji üretimi Şekil 3.31.'de görüldüğü gibi 150 kWh'e ulaşmıştır ve ortalama 100 kWh'tir. Binanın enerji talebi ise hafta içi günlerde bazı günlerde 700 kWh'lerde ve ortalama 672 kWh iken 3 Mart'ta 830 kWh'i aşmıştır. Hafta sonu günlerinde ise ortalama 378 kWh'tir. BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise hafta içi açık günlerde %24'lerde iken hafta sonun açık günlerde %40'lerdedir. 18 Mart tarihi için parametreler sistemdeki veri eksikliğinden dolayı analiz edilememiştir.

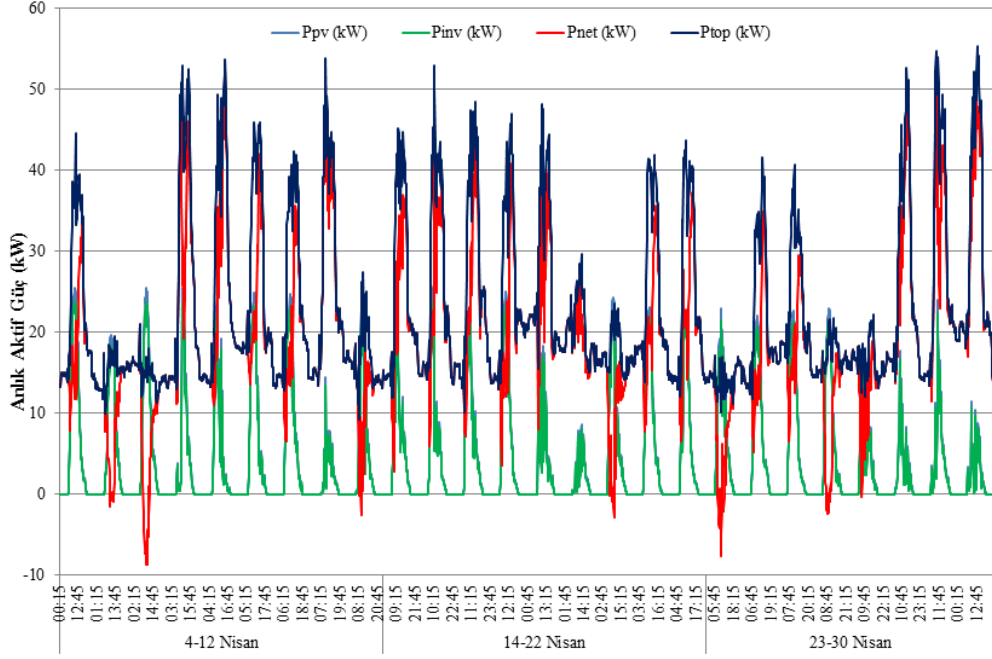


Şekil 3.31. Mart ayındaki günlük toplam enerji talebi

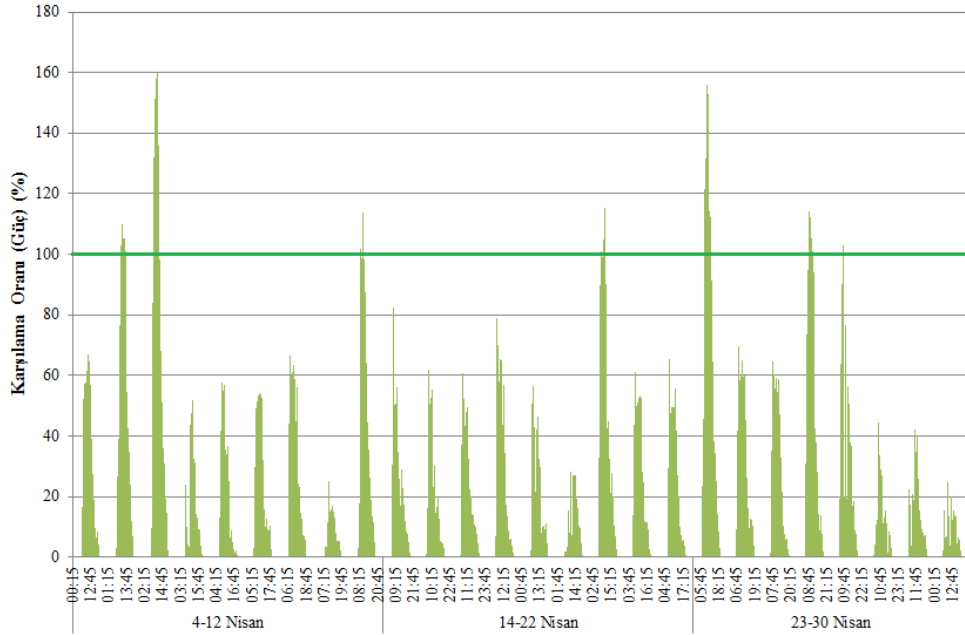
3.2.10. Nisan 2014

Nisan ayında Şekil 3.32. ve Şekil 3.34.'te görüldüğü gibi BIPV sistem hafta içinde

25,95 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak ise 18,94 kW'a ulaşmıştır. Hafta sonunda 25,48 kW'a kadar ulaşırken aylık ortalama olarak 15,9 ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan güce bakıldığında hafta içinde yaklaşık 55,4 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak 42,51 kW'tır. Hafta sonunda ise anlık olarak 29,62 kW ve aylık ortalama olarak 18,61 kW'a ulaşmıştır.

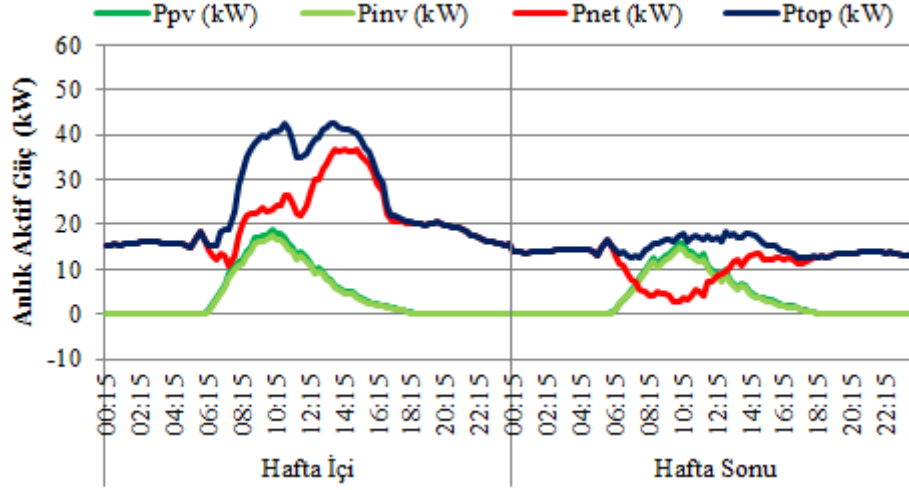


Şekil 3.32. Nisan ayında günlük üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi



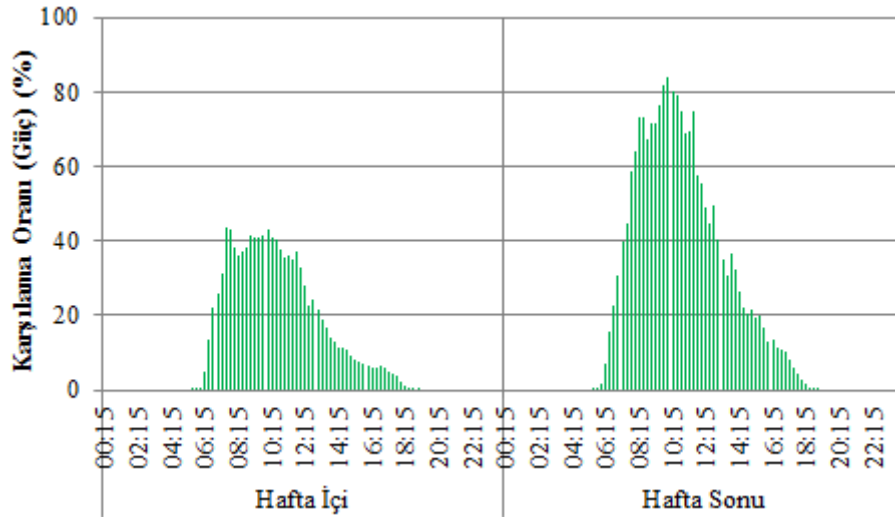
Şekil 3.33. Nisan ayında BIPV sistemin günlük ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı

İhtiyaç duyulan gücü karşılama oranları açısından bakıldığında ise Şekil 3.33. ve Şekil 3.35.'te görüldüğü gibi hafta içinde resmi tatilden dolayı %156,2'ya ulaşırken, aylık ortalama olarak %43,7'dir. Hafta sonunda ise %159,9'e ulaşırken, aylık ortalama olarak %83,71'dir.



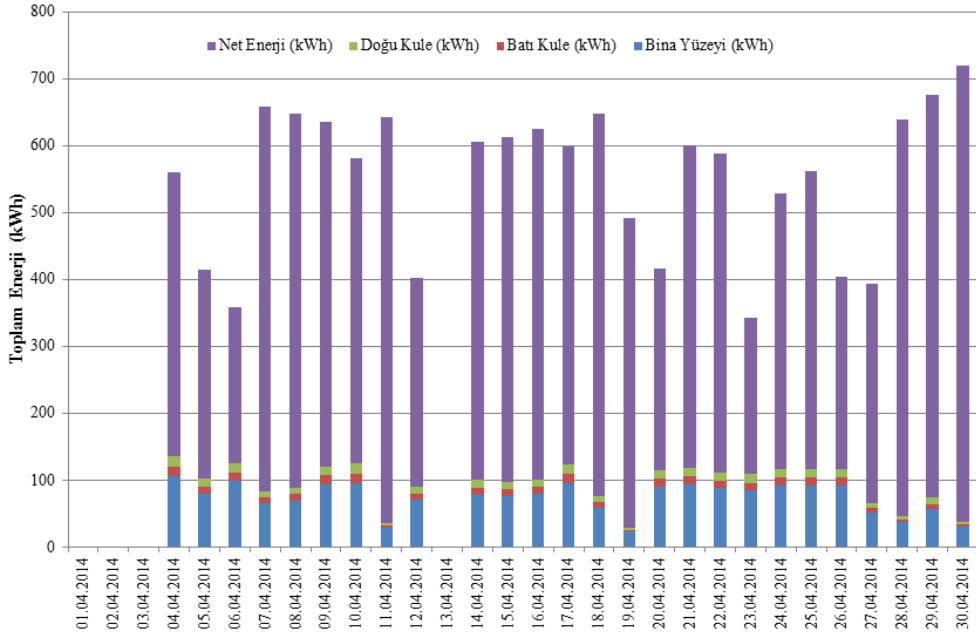
Şekil 3.34. Nisan ayında üretilen ortalama olarak üretilen, ihtiyaç duyulan ve şebekeden çekilen net güç değişimi

Nisan ayında hafta içinde şebekeden çekilen net güç aylık ortalama olarak 10 kW'a kadar düşerken hafta sonunda ise 2,88 kW'a kadar düşmüştür. Bina hafta içinde enerji ihtiyacının %15,87'sini ve hafta sonunda %22,3'ünü güneş enerjisinden karşılamıştır. Nisan ayının tamamında %17,16'ını güneşten ve geri kalan %82,84'lik kısmını şebekeden karşılamıştır.



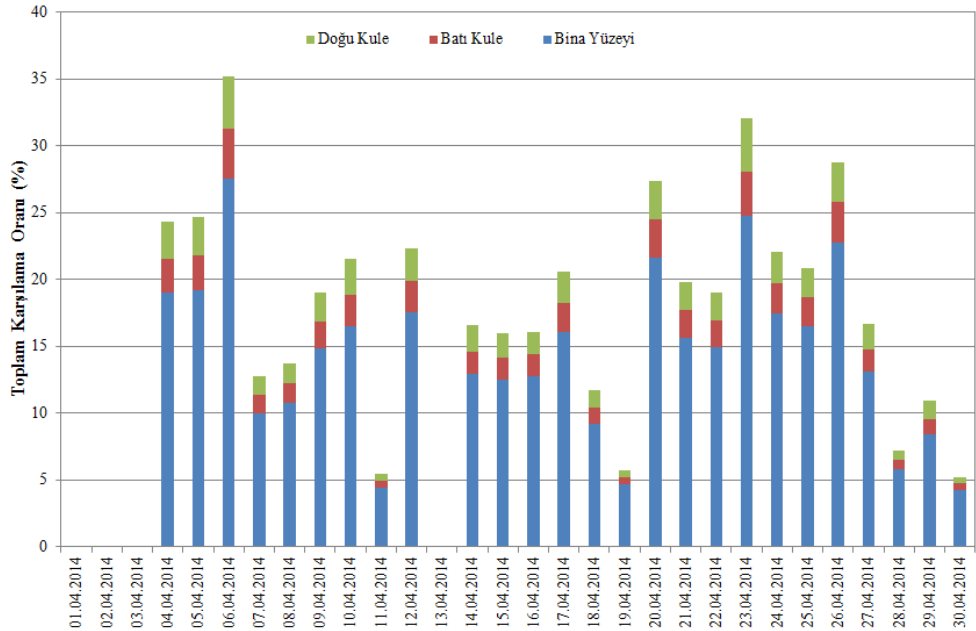
Şekil 3.35. Nisan ayında BIPV sistemin ortalama olarak ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranı

Nisan ayında açık günlerde BIPV enerji üretimi Şekil 3.36.'da görüldüğü gibi 135 kWh'e ulaşmıştır ve ortalama 92 kWh'tir. Binanın enerji talebi ise hafta içi günlerde ortalama 604 kWh'tir. Hafta sonu günlerinde ise ortalama 412 kWh'tir.



Şekil 3.36. Nisan ayındaki günlük toplam enerji talebi

BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise Şekil 3.37.'de görüldüğü gibi hafta içi açık günlerde %20'lerde iken hafta sonun açık günlerde %25 ile



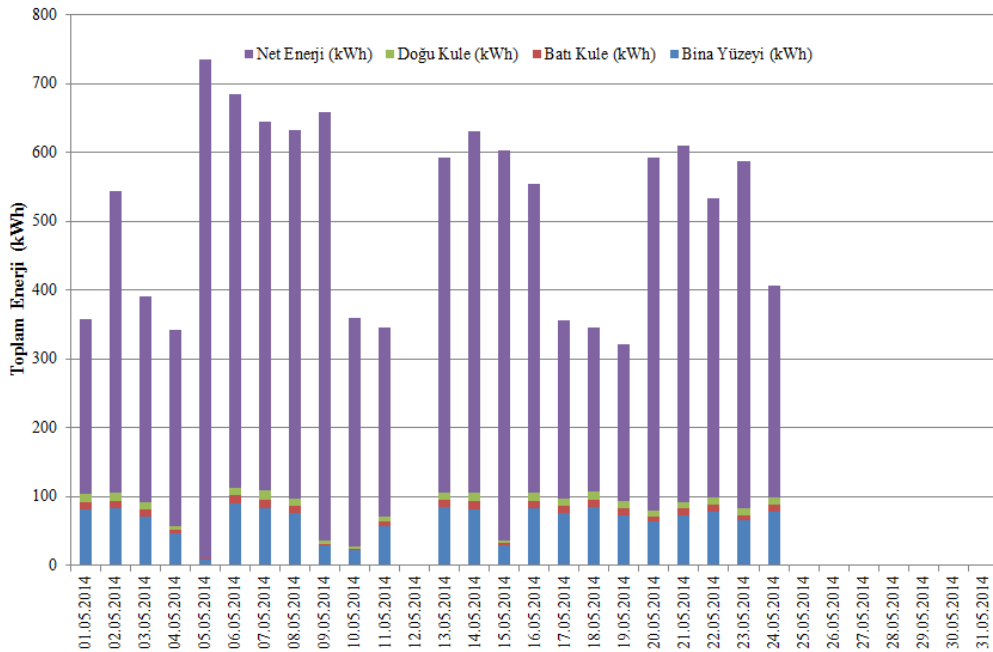
Şekil 3.37. Nisan ayında BIPV sistemin günlük enerji talebini karşılama oranı

%30'larda'dır. Kapalı günlerde %5'lere kadar düşmüştür. 1-3 ve 13 Nisan tarihleri için parametreler sistemdeki veri eksikliğinden dolayı analiz edilememiştir.

3.2.11. Mayıs 2014

Mayıs ayında BIPV sistem hafta içinde 22,89 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak ise 16,18 kW'a ulaşmıştır. Hafta sonunda 22,72 kW'a kadar ulaşırken aylık ortalama olarak 16,05 ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan güce bakıldığında hafta içinde yaklaşık 53,86 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak 39,74 kW'tır. Hafta sonunda ise anlık olarak 22,31 kW ve aylık ortalama olarak 17,9 kW'a ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan gücü karşılama oranları açısından bakıldığında ise hafta içinde resmi tatilden dolayı %148,6'ya ulaşırken, aylık ortalama olarak %45,67'dir. Hafta sonunda ise %153,8'e ulaşırken, aylık ortalama olarak %89,82'dir.

Mayıs ayında hafta içinde şebekeden çekilen net güç aylık ortalama olarak 10 kW'a kadar düşerken hafta sonunda ise 1,7 kW'a kadar düşmüştür. Bina hafta içinde enerji ihtiyacının %14,83'ünü ve hafta sonunda %21,63'ünü güneş enerjisinden karşılamıştır. Mayıs ayının tamamında %16,29'unu güneşten ve geri kalan %83,71'lik kısmını şebekeden karşılamıştır.



Şekil 3.38. Mayıs ayındaki günlük toplam enerji talebi

BIPV sistemin elektrik enerjisi üretimi Şekil 3.38.'de görüldüğü gibi açık günlerde 110 kWh'i aşarken enerji talebi hafta içi günlerinde ortalama 620 kWh'tir ve 735 kWh'e kadar ulaşmıştır. Hafta sonu günlerinde ise 424 kWh'tir. BIPV sistemin enerji talebini karşılama oranı ise hafta içi günlerde %16'larda iken hafta sonu günlerinde %27'lerdedir ve %30'u aşmıştır. 25-31 Mayıs tarihleri arasında veri kaybından dolayı analiz yapılamamıştır.

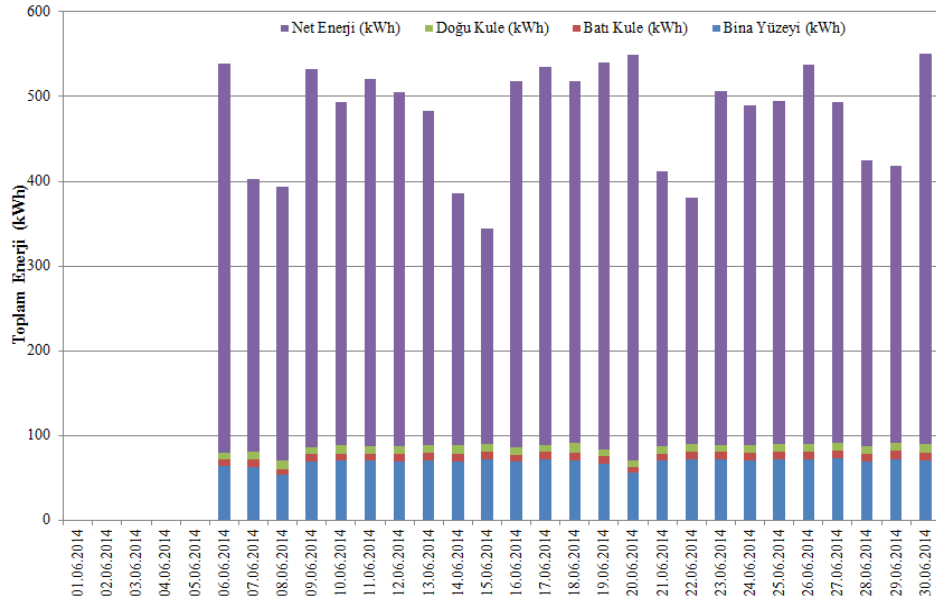
3.2.12. Haziran 2014

Güneşin en yukarıda olduğu 21 Haziran tarihinde BIPV sistem tarafından üretilen güç saat 9:45'te 16,9 kW'a kadar ancak üretebilmiştir. Haziran ayında BIPV sistem hafta içinde 17,15 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak ise 15,67 kW'a ulaşmıştır. Hafta sonunda 18,96 kW'a kadar ulaşırken aylık ortalama olarak 16,42 ulaşmıştır. İhtiyaç duyulan güce bakıldığında hafta içinde yaklaşık 42,37 kW'a ulaşmıştır. Aylık ortalama olarak 34,43 kW'tır. Hafta sonunda ise anlık olarak 24,5 kW ve aylık ortalama olarak 20,45 kW'a ulaşmıştır. Üniversite sınavlarından dolayı hafta sonu talep edilen güç ve enerjide artış vardır. BIPV sistemin ürettiği güç ve enerji değerlerinde de azalış olduğu için karşılama oranlarında düşüş vardır. İhtiyaç duyulan gücü karşılama oranları açısından bakıldığında ise hafta içinde %69,86'ya ulaşırken, aylık ortalama olarak %56,63'dir. Hafta sonunda ise %93,64'e ulaşırken, aylık ortalama olarak %77,81'dir.

Haziran ayında hafta içinde şebekeden çekilen net güç aylık ortalama olarak 10 kW'ın altına kadar düşerken hafta sonunda ise 4,34 kW'a kadar düşmüştür. Bina hafta içinde enerji ihtiyacının %16,8'ünü ve hafta sonunda %21,72'ünü güneş enerjisinden karşılamıştır. Haziran ayının tamamında %18,1'ünü güneşten ve geri kalan %81,9'luk kısmını şebekeden karşılamıştır.

Haziran ayında kapalı gün sayısı çok az olmasına rağmen BIPV elektrik enerjisi üretimi Şekik 3.39.'da görüldüğü gibi ortalama 85 kWh'lerdedir. Binanın enerji talebi ise hafta içinde ortalama 518 kWh ve hafta sonunda ortalama 395 kWh seviyelerine düşmüştür. BIPV sistemin binanın enerji talebini karşılama oranı ise hafta içi günlerde %16'larda iken hafta sonu günlerinde %22'lerdedir ve 15

Haziranda %25'i aşmıştır. 1-5 Haziran tarihleri arasında veri kaybından dolayı analiz yapılamamıştır.



Şekil 3.39. Haziran ayındaki günlük toplam enerji talebi

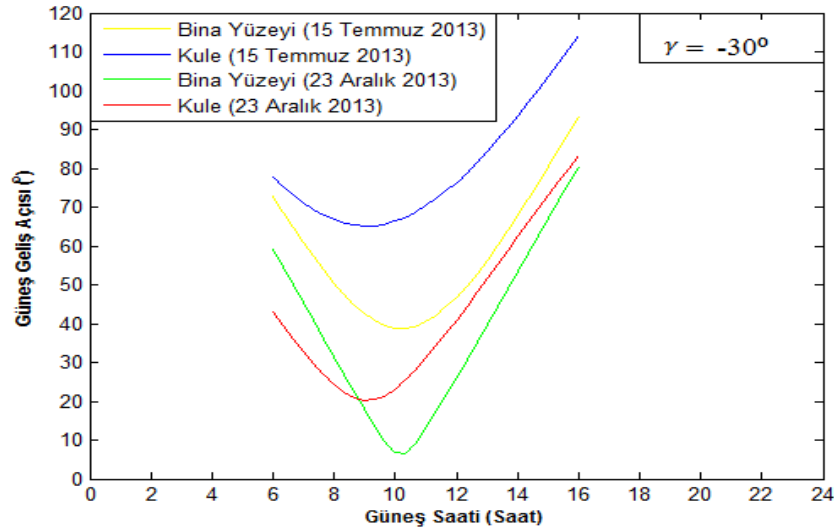
3.3. Yaz ve Kış Mevsiminde Açık Günler ile Kapalı Günlerin Karşılaştırılması

Birim yüzeye gelen yıllık güneş enerjisi potansiyeli bulunduğu yerin güneş enerjisi potansiyeline bağlı olduğu gibi o yüzeyin eğimi ve yönelimine bağlı olarak da değişmektedir. Bunun temeli denklem 1.3 ve denklem 1.4'te görüldüğü gibi güneş ışınlarının geliş açısına dayanmaktadır. Bir yüzeye gelen güneş ışınlarının açısı istenilen saatlerde denklem 1.3'te gösterilen ifade ile hesaplanabilmektedir. Bir gün içerisinde bir yüzeye gelen güneş ışınımının maksimum değerinde olduğu an o yüzeye gelen güneş geliş açısının sifira (yüzeyin normaline) eşit olduğu andadır. Bir başka deyişle güneş geliş açısı yüzeye dik olduğu zaman güneş ışınımı gün içerisinde en yüksek değere ulaşabilmektedir. Çizelge 3.1.'de görüldüğü gibi yatay yüzeylerdeki ışınım yaz mevsiminde kazançlı iken düşey yüzeyler kış mevsiminde kazançlıdır. 60° eğimli yüzeye sahip bina yüzeyi ise Ekim ayında daha kazançlıdır. Bina güneyden 30° doğuya dönük olduğundan dolayı güneş geliş açısı öğleden önce yüzey normaline yaklaşmakta ve üretilen anlık güç öğleden önce maksimum değere ulaşmaktadır. Ayrıca öğleden sonra güneş binanın arkasında kalmaktadır. Şekil

3.40.'da görüldüğü gibi yaz mevsiminde binanın yöneliminden dolayı güneş geliş açısı saat 14:00'ten sonra 90°'yi aşmaktadır. Bu yüzden BIPV sisteme doğrudan ışınım gelmemektedir ve sadece yayılı ve yansıyan ışınımlardan yararlanılabilmektedir.

Çizelge 3.1. Yatay yüzeyde ve güneyden 30° doğuya dönük düşey ve 60° eğimli yüzeyler için özel günlerde öğle ve öğleden önceki zaman diliminde güneş ışınlarının yüzeylere geliş açısı

Özel Günler	Güneş Saati	Yatay Yüzey (°)	Düşey Yüzey (Kuleler) (°)	60° Eğimli Yüzey (Bina Yüzeyi) (°)
21 Haziran	12:00	13,76	78,11	48,4
	10:00	29,14	68,22	40,7
21 Ekim	12:00	48,96	49,21	26,6
	10:00	56,50	33,40	6,16
21 Aralık	12:00	60,66	40,98	26,0
	10:00	66,90	23,08	6,91



Şekil 3.40. Yaz ve kış mevsiminde BIPV sistemde güneş geliş açısı değişimi

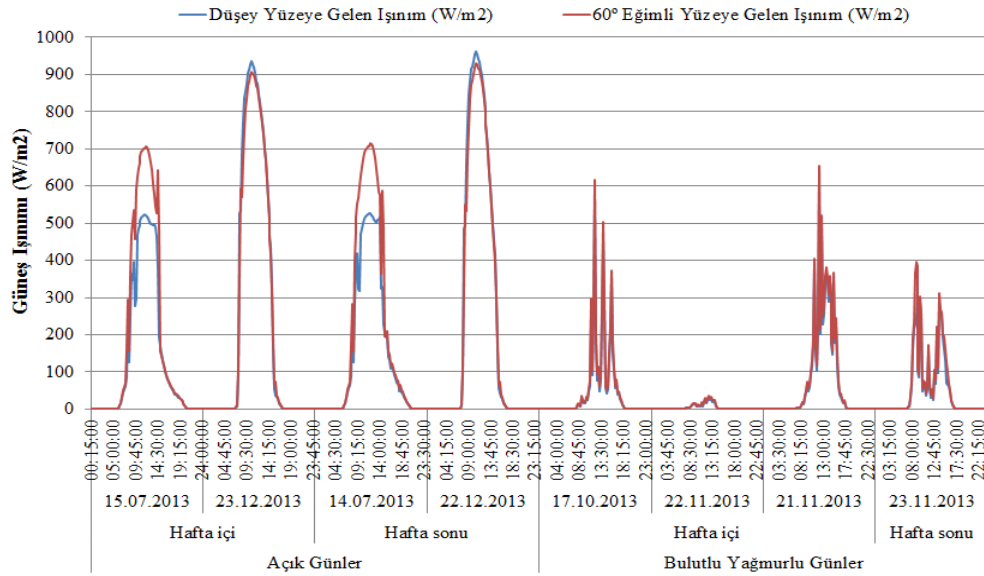
Yaz mevsiminde güneşin daha yukarıda olması düşey yüzeylere gelen güneş ışınlarının açısını yüzeyin normalinden uzaklaştırmaktadır. Bundan dolayı düşey yüzeylerde güneş ışınımı yaz aylarında güneş potansiyeli fazla olmasına rağmen minimum seviyelerdedir. Bunun aksine kış mevsiminde güneşin daha aşağıda olması ve düşey yüzeylere gelen güneş ışınlarının açısı yüzeyin normaline yaklaşmaktadır. Şekil 3.40.'da görüldüğü gibi kulelere gelen güneş geliş açısının değeri sabahın erken saatlerinde bina yüzeyinden daha düşüktür. Bu yüzden bu aralıkta kulelerde birim yüzeye gelen ışınım şiddeti bina yüzeyinininkinden büyüktür. Açık bir günde Çizelge

3.2.'de görüldüğü gibi Temmuz ayında kulelerde birim yüzeye gelen günlük ışınlım 3,4 kWh/m² iken Aralık ayında 5,5 kWh/m²'dir. Aynı günlerde 60° eğimli yüzeyde yaz mevsiminde %33 kazanç elde edilmiş ve 4,51 kWh/m²'ye ulaşmıştır. Kış mevsiminde ise kulelerden yaklaşık %1 daha az olup 5,32 kWh/m²'ye ulaşmıştır. Kapalı günlerde ise bulutluluk indeksine göre yeryüzüne ulaşan güneş ışınlımı azalmaktadır ve gündün güne değişmektedir.

Çizelge 3.2. Muğla iklim koşullarında düşey yüzeye(kule) ve 60° eğimli (bina yüzeyine) birim yüzeye düşen günlük ışınlım

Birim yüzeye düşen ışınlım (kWh/m ²)	15 Temmuz 2013	23 Aralık 2013	14 Temmuz 2013	22 Aralık 2013	17 Ekim 2013	22 Kasım 2013	21 Kasım 2013	23 Kasım 2013
Kule	3,40	5,50	3,55	5,52	1,07	0,09	1,68	1,16
Bina Yüzeyi	4,51	5,32	4,70	5,33	1,22	0,113	1,80	1,36

Anlık olarak ışınlım şiddeti Temmuz ayında kulelerde 520 W/m²'ye ulaşırken bina yüzeylerinde 700 W/m²'ye ulaşmıştır. Şekil 3.41.'de görüldüğü gibi Aralık ayında kuleler bina yüzeyini aşmıştır ve kulelerde 936 W/m²'ye ulaşırken bina yüzeyinde 907 W/m²'ye ulaşmıştır.



Şekil 3.41. Yaz ve kış mevsiminde açık ve kapalı günlerde düşey ve 60° eğimli birim yüzeye düşen anlık ışınlım

Yaz mevsiminde kulelere gelen anlık ışınlım bina yüzeyinden daha az iken kış mevsiminde bina yüzeyini aşmaktadır. Fakat kulelerin kurulu gücü BIPV sistemin toplam kurulu gücünün %25'i olduğundan dolayı üretilen enerji değeri bina

yüzeyinden azdır. Şekil 3.42.'de gösterilen kurulu güç başına üretilen enerji (kWh/kWp) değerleri kıyaslandığında kış mevsiminde kuleler bina yüzeyine yaklaşmaktadır.

BIPV sistemde kulelerin etkin alanı 136 m² ve bina yüzeyi 405 m²'dir. BIPV etkin yüzeye gelen toplam ışınım hesaplandığında açık günlerde yaz mevsiminde 2,3 MWh'e ve kış mevsiminde 2,9 MWh'e kadar ulaşmaktadır. Detaylar Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir. Binanın hafta içindeki enerji talebinin 4 katından fazla ve hafta sonundaki enerji talebinin 7 ile 8 katından fazladır. Kulelere ulaşan toplam ışınım dahi enerji talebi ile aynı seviyelerdedir. Kısmen kapalı günlerde dahi binanın hafta içindeki enerji talebinin değerini aşmaktadır. PV modüllerin verimi %5 ile %6,5 civarlarında olduğu için elektrik üretimi de azdır. Detaylara Çizelge 3.4.'ten ulaşılabilir. Şekil 3.43.'te görüldüğü gibi BIPV sistemin verimi genellikle %5'in altındadır.

Çizelge 3.3. BIPV sistemin etkin yüzeyine gelen günlük toplam ışınım

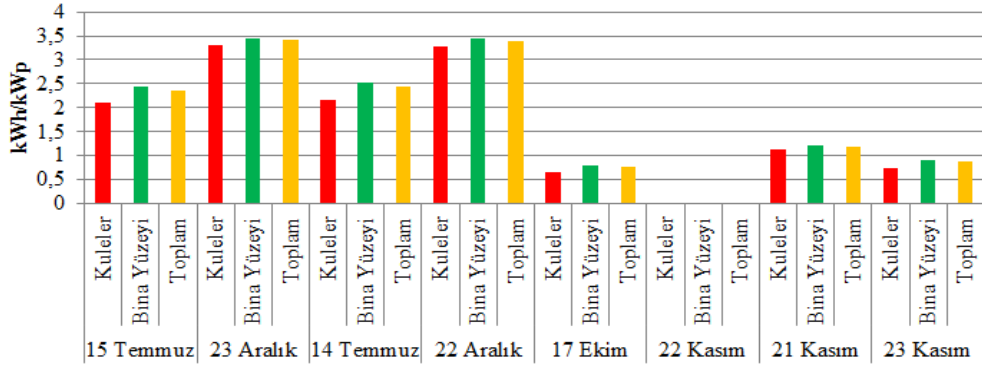
Toplam	15	23	14	22	17	22	21	23
Yüzeye Gelen Işınım (kWh)	Temmuz 2013	Aralık 2013	Temmuz 2013	Aralık 2013	Ekim 2013	Kasım 2013	Kasım 2013	Kasım 2013
Kule	462	748,2	482,7	751,1	146,1	12,24	228,6	157,1
Bina Yüzeyi	1828,9	2155,6	1903,7	2158,1	495,8	45,87	730,6	551,7
Toplam	2290,9	2903,8	2386,4	2909,2	641,9	58,11	959,2	708,8

Çizelge 3.4. BIPV sistemin elektrik enerjisi üretimi ve binanın enerji talebi

Enerji Üretimi ve Enerji Talebi (kWh)	15	23	14	22	17	22	21	23
	Temmuz 2013	Aralık 2013	Temmuz 2013	Aralık 2013	Ekim 2013	Kasım 2013	Kasım 2013	Kasım 2013
Kule	21,69	33,87	22,12	33,69	6,65	0,10	11,70	7,47
Bina Yüzeyi	73,84	103,85	76,16	103,76	24,36	0,81	36,54	27,53
Toplam Üretim	95,53	137,72	98,28	137,45	31,01	0,91	48,24	35,00
Talep	510,09	692,42	327,09	354,44	302,19	739,97	673,8	451,68

Açık günlerde BIPV sistemin etkin alanına gelen anlık ışınım şiddeti yaz mevsiminde kulelerde 70 kW'a ve bina yüzeyinde 285 kW'a ulaşırken kış mevsiminde kulelerde 125 kW'a ve bina yüzeyinde 380 kW'a ulaşmaktadır. Şekil 3.43.'te görüldüğü gibi sadece kulelere ulaşan anlık ışınım değeri dahi binanın ihtiyaç duyduğu anlık aktif güçten çok fazladır. Kısmen kapalı günlerde de anlık olarak binanın ihtiyaç duyduğu anlık aktif güçten kat kat fazla olmaktadır.

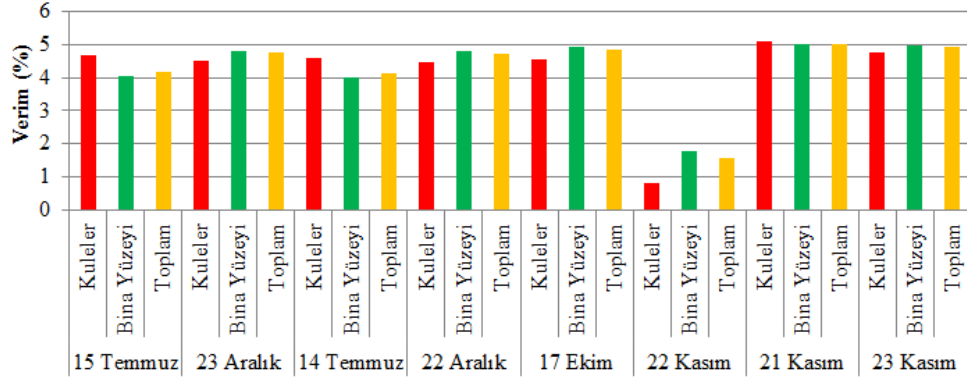
BIPV sistemin kWp başına elektrik enerjisi üretimi Şekil 3.42.'de gösterilmiştir. Yaz mevsiminde kWp başına elektrik enerjisi üretimi kulelerde 2,12 kWh iken bina yüzeylerinde 2,45 kWh'tir. Güneş potansiyeli yaz mevsiminde daha fazla olmasına rağmen kuleler düşey olduğundan dolayı güneşin geliş açısı düşey yüzeyin normalinden uzaklaşmaktadır. Bina yüzeyindeki katlar arasında çok fazla gölgelenme etkisi görülmektedir. Çevre sıcaklığının da yüksek olması PV modüllerin verimini doğrudan düşürdüğü gibi BIPV sistemin verimini de dolaylı olarak düşürmektedir. Kış mevsiminde güneşin geliş açısı BIPV sisteme daha uygun olduğu için etkin alana gelen ışınımın yaz mevsiminden fazla olması (%27), çevre sıcaklığının da az olması açık günlerde enerji üretimini artırmaktadır. BIPV sistemin kWp başına elektrik enerjisi üretimi kulelerde 3,31 kWh iken bina yüzeylerinde 3,44 kWh'tir.



Şekil 3.42. Yaz ve kış mevsiminde açık ve kapalı günlerde kurulu güç başına üretilen enerjinin değişimi

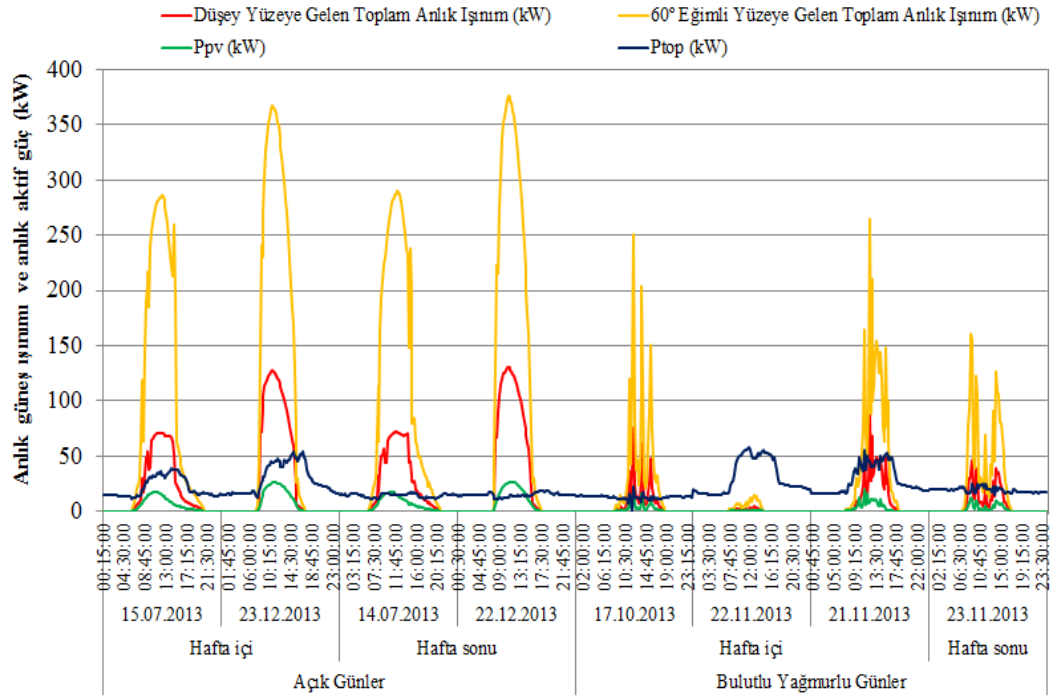
PV modüllerin ortalama verimi kuleler için %5,58 ve bina yüzeyi için %5,99'dur. PV güç sistemlerinde sıcaklıktan, üretilen gücün taşınmasından, alternatif akıma dönüştürmek için oluşan invertör kayıplarından, modüller arasındaki uyumsuzluktan ve gölgelenmelerden dolayı güç kayıpları oluşmakta ve sonuç olarak BIPV sistemlerin toplam verimini ve performansını azaltmaktadır. Şekil 3.43.'de görüldüğü gibi BIPV sistemin toplam verimi genellikle %5'in altındadır.

Yaz mevsiminde kulelerin ve kış mevsiminde ise bina yüzeyinin daha verimli olduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde bina yüzeylerindeki katlar arasında oluşan kendi kendine gölgelenme ve bina yöneliminden dolayı güneşin binanın arkasında kalması PV modüllerin güç üretimini büyük ölçüde azalttığı söylenebilir. Özellikle saat



Şekil 3.43. Yaz ve kış mevsiminde açık ve kapalı günlerde BIPV sistemin veriminin değişimi

14:00'ten sonra gün batımına (20:30) kadar ki süreçte BIPV sistemin güç üretiminin 2 kW'ın altında olması bu nedenlerin bir sonucudur. 22 Kasım'da üretilen anlık gücün çok düşük olması (ulaşan toplam anlık ışınım 17,2 kW, üretilen toplam anlık güç 470 W ve invertör çıkışı 341 W, maksimum invertör verimi %72,5), invertörün veriminin de düşük olmasından dolayı BIPV sistemin verimi %2'nin altındadır.

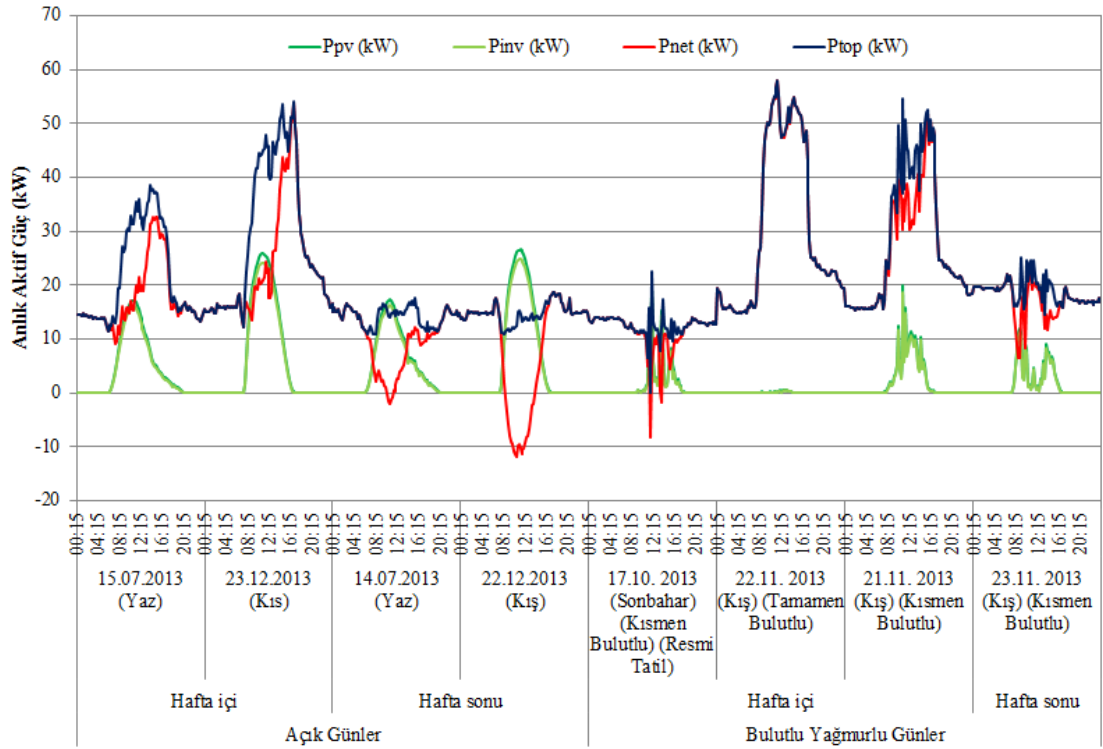


Şekil 3.44. Yaz ve kış mevsiminde açık ve kapalı günlerde düşey ve 60° eğimli yüzeye gelen anlık ışınım, BIPV güç üretimi ve binada anlık ihtiyaç duyulan güç

Yaz ve kış mevsiminde çevre sıcaklığı ve PV modüllerin yüzeyine gelen güneş ışınlarının açıları PV modüllerden üretilecek güç ve enerji değerlerini değiştirmektedir. Şekil 3.44'te görüldüğü gibi kış aylarında açık günlerde üretilen

güç ve enerji değeri yaz aylarından büyüktür. Kış aylarında Şekil 3.45.'te görüldüğü gibi hafta içinde talep arttığı için şebekeden çekilen enerji (P_{net}) değerinde öğlene kadar fazla değişme yoktur. Ancak kış mevsiminde gün uzunluğu daha az olduğu için öğleden sonra saat 14:00'ten itibaren ciddi bir artış vardır.

Hafta sonu açık günlerde ise 14 Temmuz tarihinde yapılan bir sınavdan dolayı öğleden evvel ve öğleden sonra ihtiyaç duyulan güç talebinde artış vardır. Kış mevsiminde (22 Aralık) ise hafta sonu ihtiyaç duyulan güç gün boyunca neredeyse sabittir ve BIPV sistem tarafından üretilen güç ihtiyaç duyulan güçten fazla olduğu için ihtiyaç fazlası güç şebekeye verilmiştir ve 12 kW'a kadar yükselmiştir ($P_{net}=-12$ kW). Bina yaklaşık olarak 8:30 ile 14:00 saatleri arasında kendi ihtiyacını karşılamıştır. Bu aralıkta karşılama oranı %100'ü aşmıştır ve %200'e kadar ulaşmıştır.



Şekil 3.45. Yaz ve kış mevsiminde hafta içi ve hafta sonunda açık günler ile kapalı günlerin karşılaştırılması

Kısmen kapalı günlerde BIPV sistem tarafından üretilen güç sürekli değişmektedir, ölçülen değer ile ölçüm aralığındaki değerler arasında sapma çok fazla olmaktadır. Şekil 3.45'te görüldüğü gibi hafta içi günlerinden 17 Ekim resmi tatil günü sabit bir

ihitiyaç duyulan güç eğrisi elde etmek gerekir iken, PV sistem verileri ile Şebeke verileri uyuŐmadığı için eğri dalgalı olmaktadır. Hafta içi günlerinden 21 Kasım'da ve hafta sonu günlerinden 23 Kasım'da da aynı problem söz konusudur. Hafta içi günündeki eğri de gerçek eğriden uzaklaşmıştır. Tamamen kapalı günlerden 22 Kasım'da BIPV sistem neredeyse hiç güç üretmediği için ihtiyac duyulan güç Şebekeden çekilmiştir. Bina ihtiyacını Şebekeden karşılamıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi S Bloğundaki 40,39 kWp kurulu güce sahip binaya entegre fotovoltaik (BIPV) sistemin Temmuz 2013-Haziran 2014 arasında alınan ölçümlerden (P_{pv} , P_{inv} , P_{Grid1} , P_{Gen}) yararlanarak P_{net} ve P_{top} parametreleri hesaplanmıştır. Sistemde oluşan problemlerden dolayı bazı günlerde veriler alınamamıştır. BIPV sistem tarafından üretilen gücün ve enerjinin binada ihtiyaç duyulan gücü ve enerjiyi karşılama oranları belirlenmiştir.

BIPV sistemin performansı; güneş ışınlarının geliş açısı, birim yüzeye gelen ışınım, çevre sıcaklığı, PV modüllerin eğimi, kendi kendine gölgelenme, PV modüllerin üzerindeki toz birikimi gibi dış faktörlerden etkilenmektedir. Ekim ayında; binanın yönelimi ve PV modüllerin eğiminden dolayı BIPV sistemin güç ve enerji üretimi performansı en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Yaz aylarında kulelerde birim yüzeye gelen ışınım 520 W/m^2 ve bina yüzeyinde bina yüzeyine gelen ışınım 700 W/m^2 iken BIPV etkin alanına gelen toplam anlık ışınım 350 kW 'a ulaşmış ve PV modüllerin veriminin az olmasından dolayı BIPV sistemin maksimum anlık güç çıkışının 20 kW değerinden az olduğu gözlenmiştir. Kış aylarında ise güneş geliş açısı daha düşük değerlerde olması, BIPV etkin alanına daha fazla güneş ışınımı düşmesi (anlık 900 W/m^2 'den fazla), BIPV sistemde gölgelenme etkisinin az olması, çevre sıcaklığının düşük olması ve yağmurlu günlerden dolayı PV modüller üzerindeki toz birikiminin çok az olması BIPV güç üretimini arttırmaktadır ve ölçümlere göre $30,7 \text{ kW}$ 'a kadar ulaşmaktadır. Böylece BIPV sistem kurulu gücünün %75'inde çalışmaktadır. Buna bağlı olarak BIPV sistemin ihtiyaç duyulan anlık gücü karşılama oranlarında da artış olmuştur. Resmi tatil günlerinde ve hafta sonu günlerinde, BIPV sistem tarafından üretilen anlık güç, binada ihtiyaç duyulan güçten daha fazla olup geri kalan kısım yerleşkedeki diğer yüklerde kullanılmak üzere şebekeye aktarılmıştır. Bu nedenle bazı zaman dilimlerinde karşılama oranı % 100 ü aşmıştır.

Kapalı gün sayısı yaz aylarında az olduğu için aylık ortalama BIPV anlık güç üretiminin aylık maksimum değere yaklaştığı gözlenmiştir. Benzer şekilde kış aylarında kapalı gün sayısı fazla olduğu için BIPV anlık güç üretiminin aylık ortalama değeri aylık maksimum değerden uzaklaştığı gözlenmiştir (Ek A.'da üretilen gücün aylık değişimi detaylı olarak verilmiştir). Sonuç olarak aylık ortalama değerlerin maksimum değerden uzaklığı kapalı gün sayısının azlığı veya çokluğu hakkında bilgi verir. Ayrıca bu kapalı gün sayısının fazla olduğu aylarda BIPV elektrik enerjisi üretimi değerinin düşük olması ve buna bağlı olarak BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı değerinin az çıkmasının bir göstergesidir.

Binada yıllık ihtiyaç duyulan anlık gücün yaz aylarında hafta içinde yaklaşık 40 kW iken kış aylarında yaklaşık 60 kW'tır. Anlık olarak Ocak ayında yaklaşık 75 kW'a ulaştığı görülmüştür. Yaz mevsiminde hafta sonu günlerde genellikle 15 kW'ın altında olup, kış mevsiminde 15 kW'ı aşmıştır. Bir kaç hafta sonu günlerinde binanın kullanımından dolayı ihtiyaç duyulan güç artmıştır. Ekim ayından Mayıs ayına kadar olan eğitim-öğretim döneminde binanın enerji ve güç talebi yaz mevsimine göre daha fazla gerçekleşmiştir. Yaz aylarında hafta içinde ortalama ihtiyaç duyulan güç 32 kW iken okul döneminde ve kış aylarında yaklaşık 48 kW değerine ulaşmıştır (Ek B.'de binada ihtiyaç duyulan gücün aylık değişimi ve Ek C.'de ise aylık anlık değişimleri detaylı olarak verilmiştir).

Hafta içi günlerinde (resmi tatil günleri hariç) binada ihtiyaç duyulan güç BIPV sistem tarafından üretilen güçten büyük olduğu için P_{net} çoğunlukla sabah saatlerinde 10 kW civarında olup, özellikle yaz aylarında BIPV sistem tarafından üretilen güç sayesinde 10 kW'ın altına düşmüştür. Binanın yöneliminden dolayı BIPV sistemin anlık güç çıkışı öğleden önce maksimum değere ulaşmakta olup daha sonra azalmaya başlamaktadır ve özellikle saat 14:00'ten sonra P_{net} değeri P_{top} değerine yaklaşmaktadır. Hafta sonu günlerinde ise P_{net} 0'ın altına düşmekte ve bina kendi ihtiyacını güneş enerjisinden karşılamaktadır. Bu aralıkta karşılama oranı %100'ü aşmaktadır (Ek D.'de BIPV sistemin anlık güç çıkışının ve binanın şebekeden çektiği net gücün aylık değişimleri detaylı olarak verilmiştir).

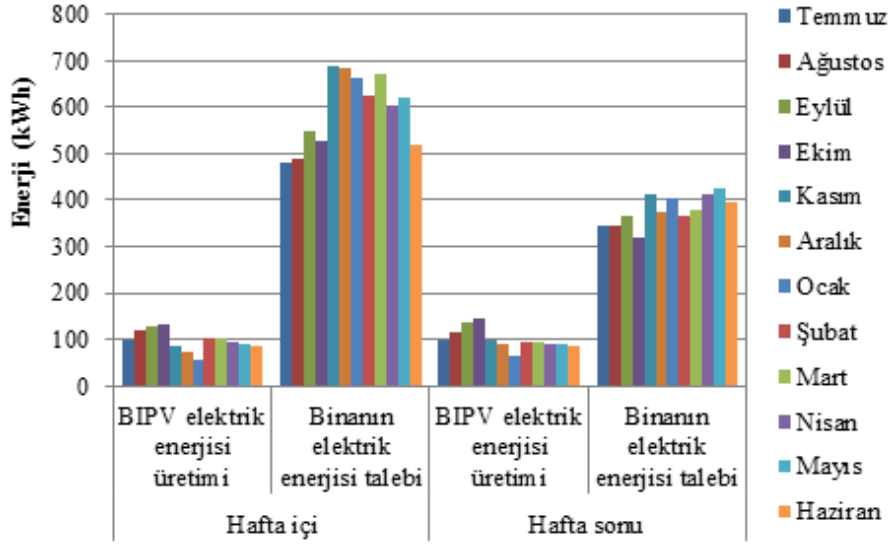
BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan anlık gücü karşılama oranı Temmuz'da ay sonuna doğru hafta sonunda %150'e ulaşmıştır. Resmi tatil günlerinde ve hafta sonu günlerinde Eylül'de %200'e ve Ekim'de ise %270'e kadar ulaşmıştır. Kış aylarında ise %220'e ancak ulaşabilmiştir. Aylık ortalama olarak hafta içinde; Temmuz'da %60 iken Ekim'de %75'tir. Kış aylarında %36'lardan %27'ye kadar düşmüştür. Aylık ortalama olarak hafta sonunda; Temmuz'da %110 ve Ekim'de %212'e yükselmiştir. Kış aylarında %106'dan %76'ya kadar düşmüştür (Ek E.'de BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranının aylık değişimi ve Ek F.'de ise aylık anlık değişimleri detaylı olarak verilmiştir).

Kısmen kapalı günlerde BIPV sistem tarafından üretilen güç sürekli değişmektedir, ölçülen değer ile ölçüm aralığındaki (15'er dakika) değerler arasında sapma çok fazla olmaktadır. Şebeke verileri 5 saniye aralıklarla alındığından, 15'er dakikalık aralıklarla ortalamaları alınmaktadır. Sapma çok fazla olduğundan dolayı BIPV sistem ile şebeke verilerinde uyumsuzluk oluşmaktadır. Hafta içi günlerinden 17 Ekim resmi tatil günü sabit bir ihtiyaç duyulan güç eğrisi elde etmek gerekir iken, PV sistem verileri ile şebeke verileri uyummadığı için eğri dalgalı olmaktadır. Birkaç hafta içi günlerindeki eğrilerde gerçek eğriden uzaklaşmıştır.

BIPV sistemin enerji talebini karşılama açısından bakıldığında; kış aylarında ortalama günlük üretilen enerji değerlerinde azalış ve enerjiye olan talep değerlerinde artış olduğu için karşılama oranında azalmalar meydana gelmiştir. Yaz aylarında hafta içinde %20'yi aştığı, kış aylarında ise %10'a kadar düştüğü görülmüştür. Hafta sonu günlerinde yaz aylarında ortalama %30, Ekim ayında %45 ve kış aylarında ve sonraki aylarda ise yaklaşık %25 olduğu görülmüştür. Ölçümlerin gerçekleştirildiği bir yıllık süre içerisinde aylara göre günlük ortalama BIPV elektrik enerjisi üretimi ve binanın elektrik enerjisi talebinin hafta içi ve hafta sonu günler için değişimi Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

Kış aylarında ise enerji talebi Şekil 4.1'de görüldüğü gibi hafta içi günlerinde 700 kWh'e kadar ulaşmaktadır. Kasım ayında Ekim ayına göre yaklaşık %30 artmıştır. Hafta sonu günlük enerji talebi yaz aylarında ortalama 340 kWh iken kış aylarında 400 kWh'a ulaşmıştır ve bazı aylarda binanın kullanımından dolayı 400 kWh'i

aşmıştır. BIPV sistem tarafından üretilen günlük ortalama enerji ise; kapalı gün sayısı fazla olduğu için Kasım ayında yaklaşık olarak 85 kWh'e ve Ocak ayında ise yaklaşık 59 kWh'e kadar düşmüştür.



Şekil 4.1. Hafta içi ve hafta sonunda günlük üretilen ve talep edilen enerjinin aylık değişimi

Açık günlerde BIPV sistemin etkin alanına gelen toplam ışınım ve toplam anlık ışınımın binada ihtiyaç duyulan anlık güç ve toplam enerji değerlerinden daha fazla olduğu görülmüştür. Kısmen kapalı günlerde dahi anlık olarak gelen ışınım binanın ihtiyaç duyduğu anlık gücü aşmakta ve toplam gelen ışınım değeri ise binanın enerji talebi ile aynı seviyelere gelebilmektedir. Yaz mevsiminde kulelere gelen ışınım bina yüzeyinden az iken kış mevsiminde bina yüzeyini aştığı görülmüştür. Fakat yaz mevsiminde kulelerin, kış mevsiminde ise bina yüzeyinin daha verimli olduğu görülmüştür. PV modüllerin verimi %5 ile %6,5 arasında değişirken BIPV sistemin veriminin gölgelenme, invertör kayıplardan dolayı genellikle %5'in altında düştüğü görülmüştür.

Temmuz'dan Haziran'a kadar olan 12 aylık süreçte 40,39 kWp kurulu güce sahip BIPV sistem yaklaşık olarak 31,73 MWh elektrik enerjisi üretmiştir. BIPV sistemin entegre edildiği Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi S Bloğu binası ise yaklaşık olarak 170 MWh elektrik enerjisi talep etmiştir. BIPV sistem sayesinde bina talep edilen gücün yaklaşık %19'u güneş enerjisinden karşılamıştır ve geri kalan %81'i ise şebekeden karşılanmıştır.

BIPV sistem tarafından üretilen enerji ile binada ihtiyaç duyulan enerji arasında her ay için de büyük açık vardır. Bu açığı azaltmak için veya güneş enerjisinin payını artırmak için binanın çatı katındaki boş alanlar kullanılabilir. Güneş enerjisi dönüşümü için yüksek verime sahip PV ya da PV/T modüller kullanılarak daha fazla elektrik enerjisi üretilir. PV/T modüller ile binanın ısı enerjisi ihtiyacının bir kısmını güneşten karşılayarak enerjiden tasarruf edilebilir. Binada aydınlatma ihtiyacı için tasarruf lambaları kullanılarak elektrik enerjisi talebi azaltılabilir. Ayrıca yaz aylarında PV modül yüzeylerinin temizlenmesi elektrik enerjisi üretimini artacaktır.

KAYNAKLAR

- Allen, R.G., Trezza, R. ve Tasumi, M. (2006) Analytical integrated functions for daily radiation on slopes, *Agricultural and Forest Meteorology*, 139:55-73.
- Anonim, Passive solar design for the home, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, 2001, 8s.
- Anonim, *Energy policies of IEA countries Turkey 2009 review*, International Energy Agency, Paris, 2010, 159s.
- Anonim, *Solar generation 6. solar photovoltaic electricity empowering the world*, European Photovoltaic Industry Association, Brüksel, 2011, 98s .
- Anonim, *Renewable energy, medium term-market report 2012*, International Energy Agency, Paris, 2012a, 176s.
- Anonim, *Faaliyet raporu 2012*, Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Ankara, 2012b, 107s.
- Anonim, *Connecting the sun solar photovoltaics on the road to large-scale grid integration*, European Photovoltaic Industry Association, Brüksel, 2012c, 22s.
- Anonim, *Key world energy statistics*, International Energy Agency, Paris, 2013a, 80s.
- Anonim, *BP energy outlook 2030*, BP, Londra, 2013b, 86s.
- Anonim, *Dünyada ve Türkiye’de enerji görünümü*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 2013c, 70s.
- Anonim, *Renewables 2013 global status report*, REN21, Paris, 2013d, 177s.
- Anonim, *Türkiye elektrik enerjisi 5 yıllık üretim kapasite projeksiyonu (2013-2017)*, Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Ankara, 2013e, 105s.

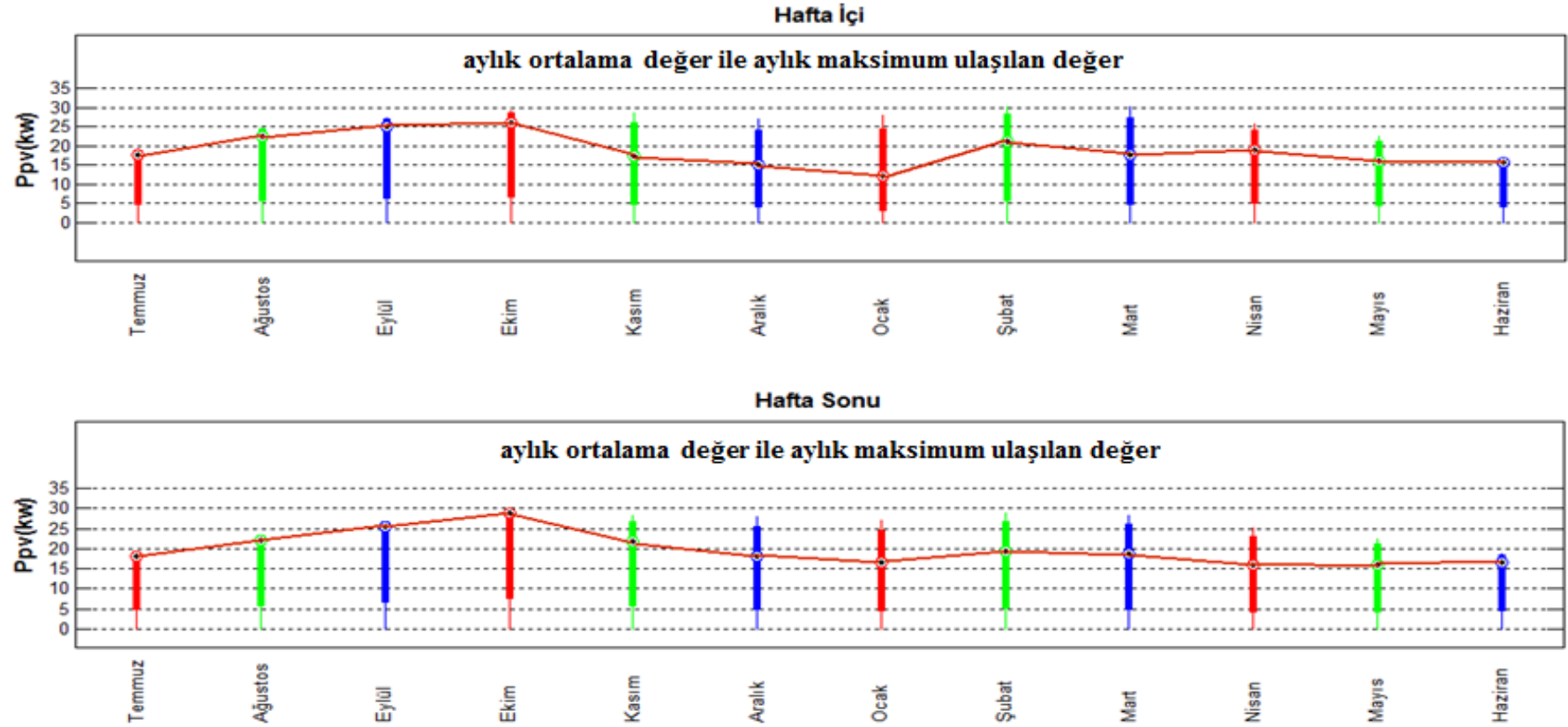
- Anonim, *BP Statistical review of world energy June 2014*, BP, Londra, 2014a, 44s.
- Anonim, *Global market outlook for photovoltaics 2014-1018*, European Photovoltaic Industry Association, Brüksel, 2014b, 57s.
- Anonim, *Tracking Clean Energy Progress Energy Technology Perspectives 2014 excerpt as IEA input to the Clean Energy Ministerial*, International Energy Agency, Paris, 2014c, 78s.
- Ayompe, L.M. ve Duffy, A. (2013) Feed-in tariff design for domestic scale grid-connected PV systems using high resolution household electricity demand data, *Energy Policy*, 61:619–627.
- Braun, P. ve Rüther, R. (2010) The role of grid-connected, building-integrated photovoltaic generation in commercial building energy and power loads in a warm and sunny climate, *Energy Conversion and Management*, 51:2457–2466.
- Brecl, K. ve Topič, M. (2011) Self-shading losses of fixed free-standing PV arrays, *Renewable Energy*, 36:3211-3216.
- Cooper, P. I. (1969) The absorption of solar radiation in solar stills, *Solar Energy*, 12(3):333-346
- Duffie, J.A. ve Beckman, W.A. (2013) *Solar engineering of thermal process*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, New Jersey, 910s.
- Eke, R. (2000) *Fotovoltaik (PV) güç sistemlerinde performansın modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Muğla, 116s.
- Eke, R. (2007) *Güneş pili parametrelerinin işletme koşullarıyla ilişkilendirilmesi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 203s.
- Eke, R., Ozden, S., Senturk, A. ve Oktik, S. (2010) Photovoltaic applications at Muğla University, *Solar TR1*, 28-30 Nisan, Ankara, 13s.
- Eke, R. (2013) Güneş-elektrik dönüşümleri ve enerji hasadı, 2. *Güneş Enerjisi Sempozyumu*, 31 Ekim - 2 Kasım, 2013, Antalya.

- Eke, R. ve Demircan, H. (2013) Performance analysis of a multi crystalline Si photovoltaic module under Mugla climatic conditions in Turkey, *Energy Conversion and Management*, 65:580–586.
- Eke, R. ve Senturk, A. (2013) Monitoring the performance of single and triple junction amorphous silicon modules in two building integrated photovoltaic (BIPV) installations, *Applied Energy*, 109:154–162.
- Green, M. (1981) *Solar cells operating principles, technology and system applications*, Prentice Hall, New Jersey, 274s.
- Häberlin, H. (2012) *Photovoltaics System Design and Practice*, John Wiley & Sons, United Kingdom, 701s.
- Holttinen, H., Tuohy, A., Milligan, M., Lannoye, E., Silva, V., Müller, S. ve Söder, S. (2013) The flexibility workout: managing variable resources and assessing the need for power system modification, *IEEE Power&Energy Magazine*, 11(6):53-62.
- İbrahim, D. (2006) *Güneş enerjisi uygulamaları*, Bileşim Yayınevi, İstanbul, 178s.
- Karamanav, M. (2007) *Güneş enerjisi ve güneş pilleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya. 76s.
- Labouret, A. ve Viloz M. (2010) *Solar photovoltaic energy*, The Institution of Engineering and Technology, London, 372s.
- Luque, A. ve Hegedus, S. (2011) *Handbook of photovoltaic science and engineering*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1132s.
- Roberts, S. ve Guariento, N. (2009) *Gebäudeintegrierte photovoltaik ein handbuch*, Birkhäuser Verlag AG, Germany, 178s.
- Rüther, R., Knob, P.J., da Silva, J. C. ve Rebechi, S.H. (2008) Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil, *Energy Conversion and Management*, 49:1074–1079.
- Rüther, R. ve Braun, P. (2009) Energetic contribution potential of building-integrated photovoltaics on airports in warm climates, *Solar Energy*, 83:1923–1931.

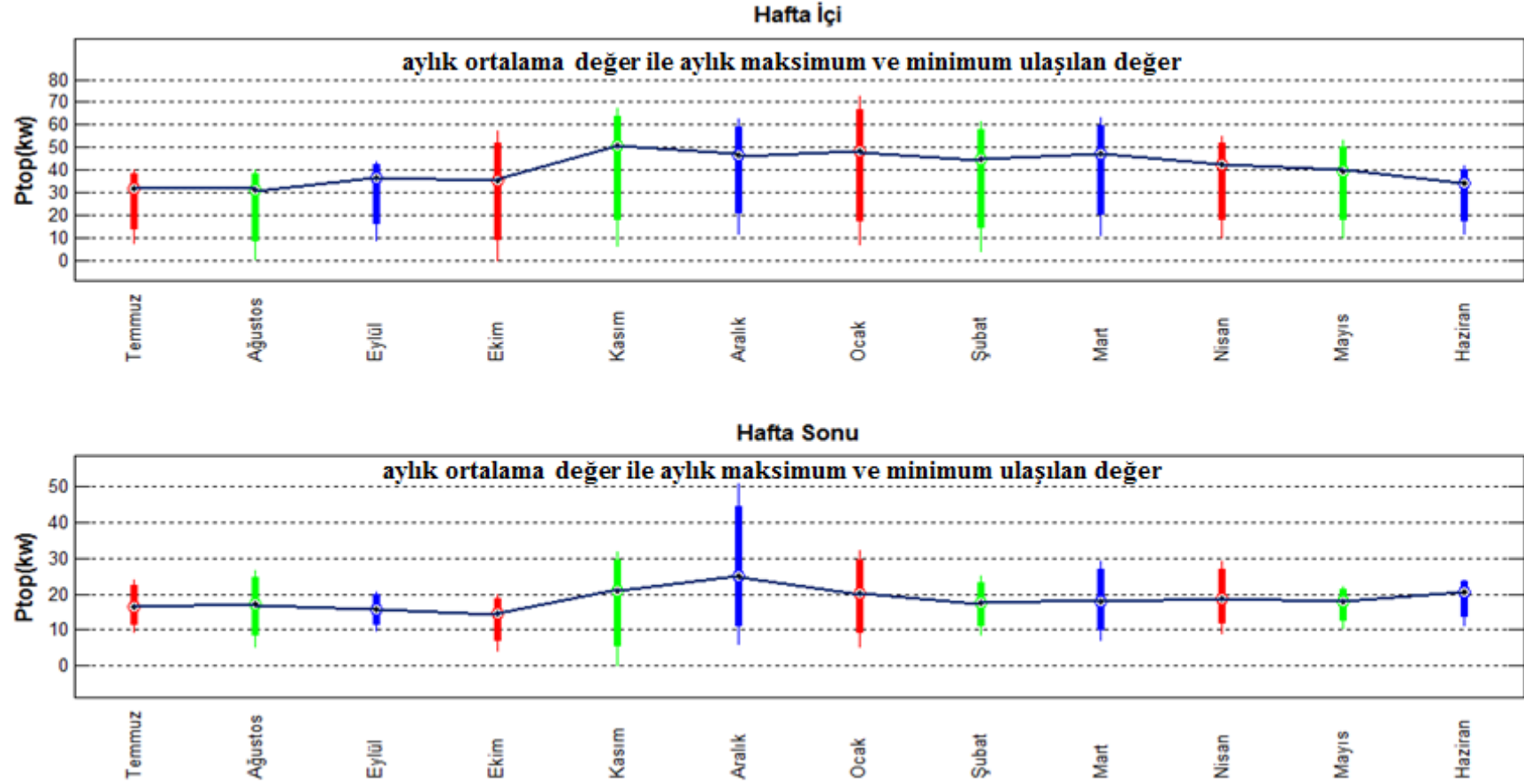
- Sensfuß, F., Ragwitz, M. ve Genoese, M. (2007) *The merit-order effect: a detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany*, Fraunhofer ISI, Institute Systems and Innovation Research, Karlsruhe, Germany, 24s.
- Shertukde, H.M. (2014) *Distributed photovoltaic grid transformers*, CRC Press, Taylor& Francis Group, Boca Raton, 257s.
- Sze, S.M. (1981) *The physics of semiconductor devices*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 442s.
- Tozlu, C. (2004) *Muğla Üniversitesinde kurulu şebekeye bağlı fotovoltaik güç sistemlerinin performans analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Muğla. 117s.
- Wirth, H. (2014) *Aktuelle fakten zur photovoltaik in Deutschland*, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 90s.
- Yerebakan, B. (2010) *Güneş kolektörü uygulamaları*, Yurtiçi Sekt. Etütler ve Araşt., İstanbul, 251s.
- Yoon, J.-H., Song, J. ve Lee, S.J. (2011) Practical application of building integrated photovoltaic (BIPV) system using transparent amorphous silicon thin-film PV module, *Solar Energy*, 85:723–733.
- Zorrilla-Casanova, J., Piliouline, M., Carretero, J., Bernaola, P., Carpena, P., Mora-López, L. ve Sidrach-de-Cardona, M. (2011) Analysis of dust losses in photovoltaic modules, *World Renewable Energy Congress 2011- Sweden*, 8-13 May 2011, Linköping, Sweden, 2985-2992.

EKLER

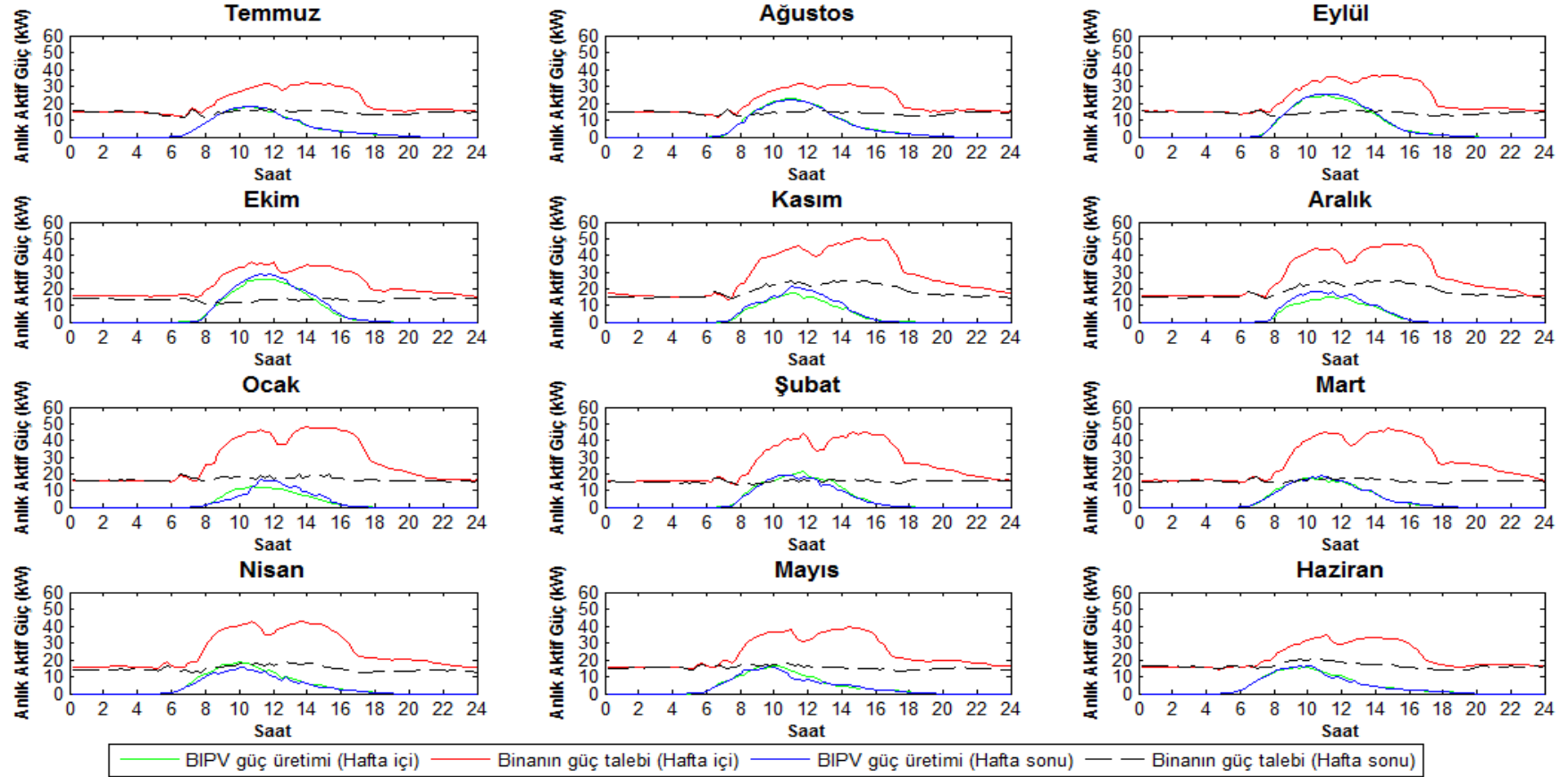
Ek A. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde BIPV sistem tarafından üretilen gücün aylık değişimi



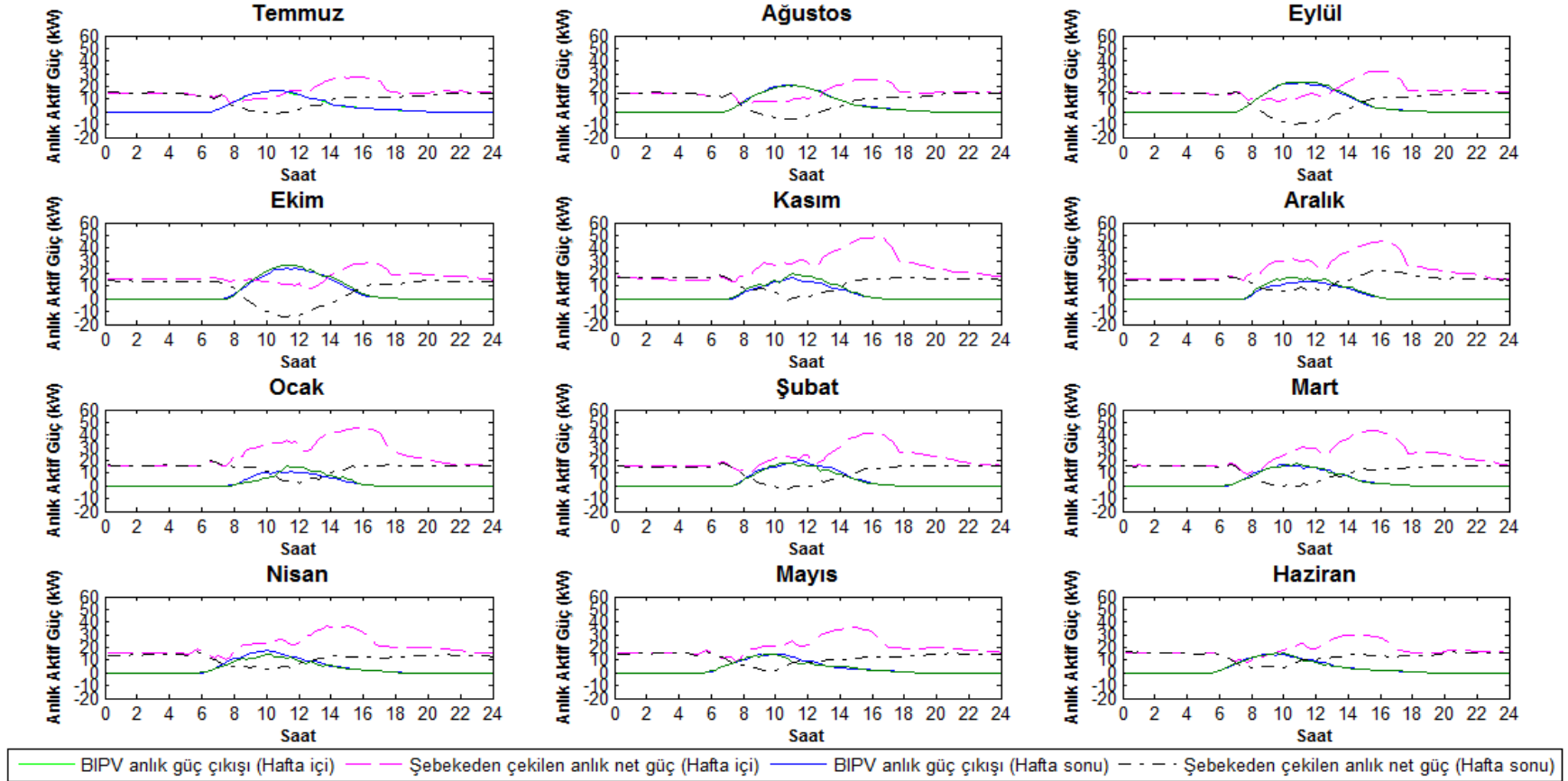
Ek B. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde bina tarafından ihtiyaç duyulan gücün aylık değişimi



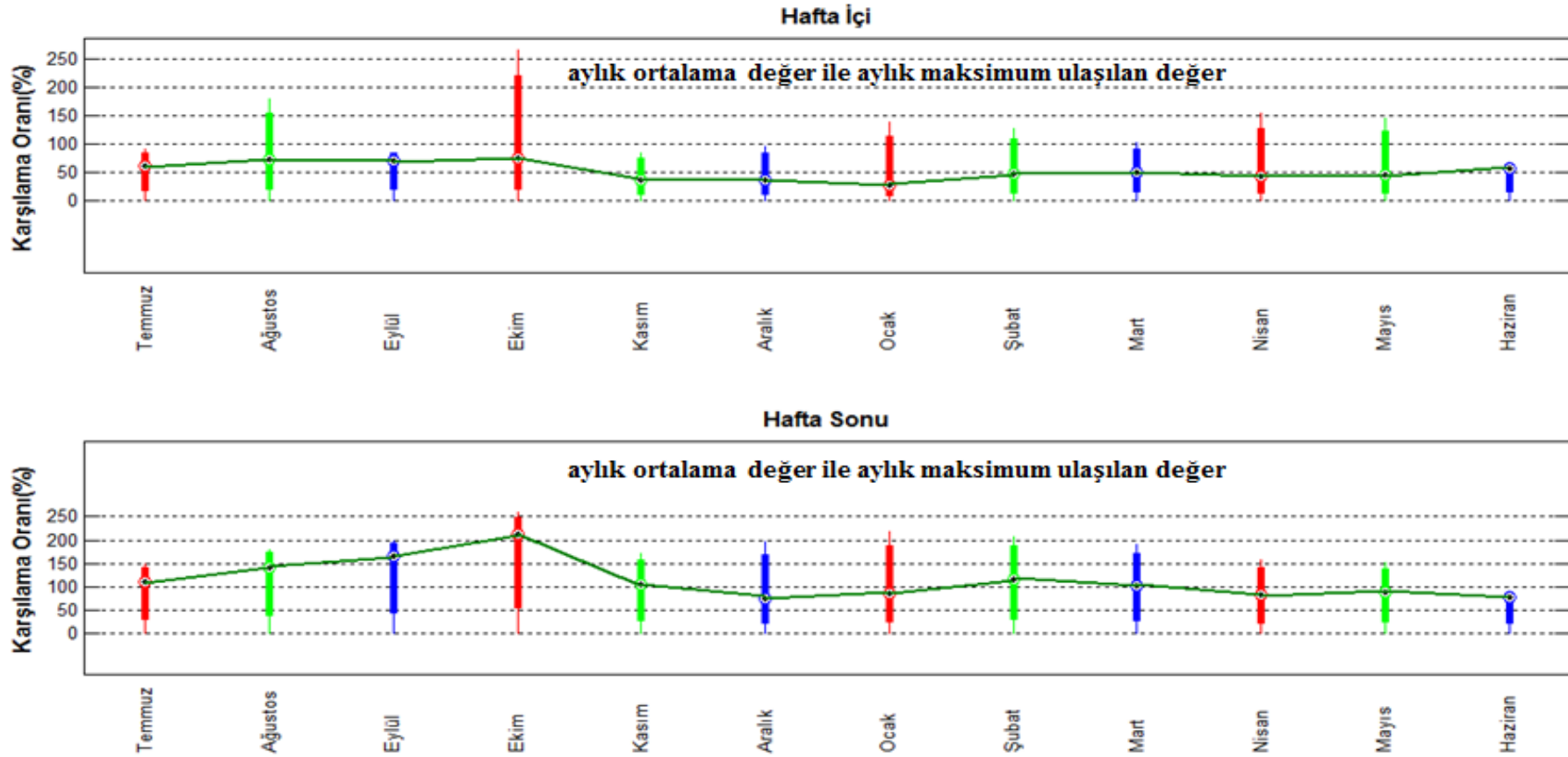
Ek C. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde aylık BIPV anlık güç üretimi ve binada ihtiyaç duyulan anlık toplam güç



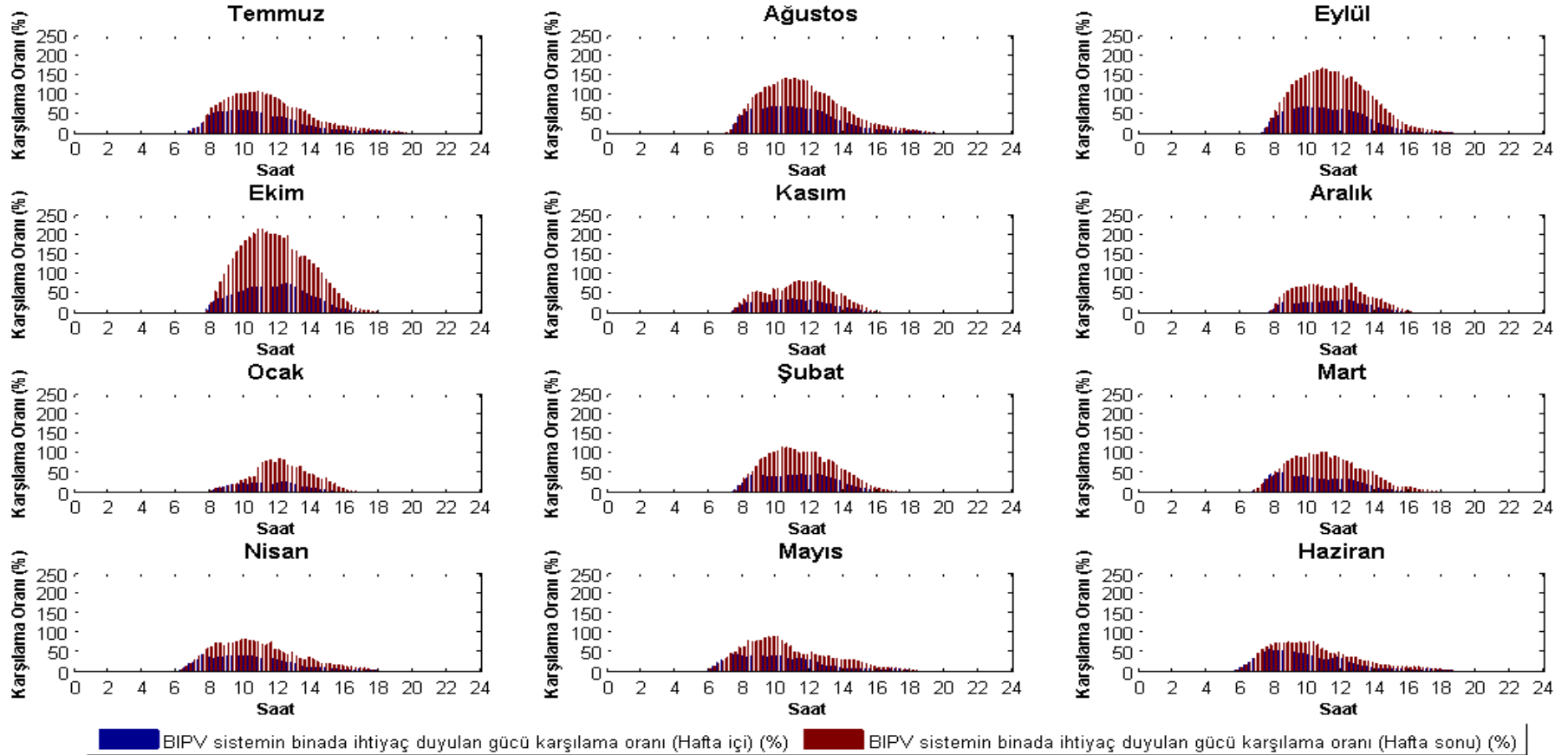
Ek D. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde aylık BIPV anlık güç çıkışı ve binanın şebekeden çektiği net güç değişimi



Ek E. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan gücü karşılama oranının aylık değişimi



Ek F. Hafta içi ve hafta sonu günlerinde aylık BIPV sistemin binada ihtiyaç duyulan anlık güç karşılama oranı



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Cihan Demircan
Uyruk : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi: 01/01/1990
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 506 430 2112
E-posta : cihandemircan48@gmail.com

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Muğla Anadolu Teknik, Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi	2007
Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi	2011
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2014

Yabancı Dil

İngilizce	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma	X		
Anlama	X		
Okuma		X	

Bu çalışmadan çıkan bilimsel çalışmalar

Demircan C., Eke R., Photovoltaic (PV) covered nearly 30% of electricity demand of the first building integrated photovoltaic system (BIPV) in Turkey, Proceedings of the Second International Conference on Water, Energy and the Environment, 21-24th September 2013, paper 641, oral presentation, Kusadası, Turkey.

Demircan C., Eke R., 40 kW gücündeki fotovoltaik sistemin altı aylık performansının incelenmesi, Adım Fizik Günleri III, 17-18 Nisan 2014, sözlü sunum, Isparta, (Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Dergisi, basımda).