

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YENİLENEBİLİR HİBRİT ENERJİ KAYNAKLARI  
İLE BESLENEN KONUTLARDA AKILLI ENERJİ  
DEPOLAMA VE YÖNETİM SİSTEMİ**

**ATAKAN ALKAN**

**KOCAELİ 2016**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


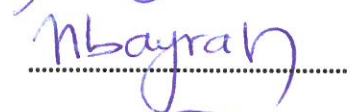
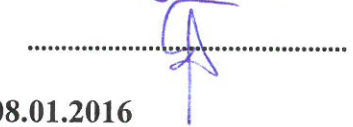
**YENİLENEBİLİR HİBRİT ENERJİ KAYNAKLARI**  
**İLE BESLENEN KONUTLARDA AKILLI ENERJİ**  
**DEPOLAMA VE YÖNETİM SİSTEMİ**

**ATAKAN ALKAN**

**Yrd.Doç.Dr. Mehmet Zeki BİLGİN**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Doç.Dr. Mehmet BAYRAK**  
**Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.**

**Yrd.Doç.Dr. Tarık ERFİDAN**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 08.01.2016**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Günümüzde enerjinin önemli bölümü konutlarda tüketilmektedir. Dolayısıyla, büyük oranda fosil yakıtlardan üretilen bu enerjinin tüketilmesiyle ortaya çıkan salınımlar ile çevreye zararlı atıklar azaltılmalı ve enerji maliyetleri düşürülmelidir. Bunun için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı arttırılmalı ve mevcut enerji verimli kullanılmalıdır. Bu amaçla bu yüksek lisans tez çalışmasında, konutlarda yenilenebilir hibrit enerji ve akıllı enerji yönetim sistemi için bir model ve enerji yönetim algoritması önerilmiştir. Kocaeli bölgesinin güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji potansiyelleri araştırılmış ve elde edilen veriler analiz edilmiştir. Elde edilen bu veriler ve bu verilerin geliştirilen model ve algoritma ile benzetim çalışmalarında kullanılmasıyla ortaya çıkan sonuçlar, önerilen sistemin ülkemize hem çevresel hem de ekonomik anlamda büyük kazançlar sağlayacağını göstermektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışması, Kocaeli bölgesinin güneş enerjisi potansiyelinin incelenmesi için gerekli verilerin elde edilmesinde Kocaeli Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından Proje No: 2012/24 kapsamında desteklenmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışmamda değerli görüşleriyle beni yönlendiren ve yardımcı olan tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mehmet Zeki BİLGİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca hem maddi hem de manevi desteklerini hiç esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın sonuçları itibariyle başta Kocaeli'de olmak üzere ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmasını ve mevcut enerjinin daha verimli kullanılması için atılacak adımları daha da hızlandırmasını diliyorum.

Ocak - 2016

Atakan ALKAN

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
GİRİŞ .....	1
1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI .....	5
1.1. Güneş .....	6
1.1.1. Güneş enerjisi kaynağı .....	6
1.1.2. Güneş enerjisinin önemi .....	7
1.1.3. Güneş enerjisi kullanımının tarihçesi .....	7
1.1.4. Türkiye’de güneş enerjisi kullanımının tarihçesi .....	8
1.1.5. Türkiye’de kurulan ilk güneş evleri .....	10
1.1.6. Türkiye’nin yararlanılabilir güneş enerjisi potansiyeli .....	11
1.1.7. Bazı illerin Güneş ışınımı değerleri .....	14
1.1.8. Kocaeli ili Güneş potansiyeli .....	15
1.2. Rüzgar .....	21
1.2.1. Rüzgardan üretilen elektrik enerjisinin tarihçesi .....	21
1.2.2. Türkiye’de rüzgardan üretilen elektrik enerjisinin tarihçesi .....	23
1.2.3. Türkiye’nin rüzgardan yararlanma potansiyeli .....	24
1.2.4. Kocaeli ili rüzgar potansiyeli .....	25
2. FOTOVOLTAİK ETKİ VE GÜNEŞ HÜCRESİ .....	27
2.1. Fotovoltaik Etki .....	27
2.2. Güneş Hücresi (Fotovoltaik Pıl) .....	28
2.3. Güneş Hücrelerinin Tarihsel Gelişimi .....	29
2.4. Türkiye’de Güneş Hücresi Uygulamalarının Tarihçesi .....	31
2.5. Maddenin Yapısı ve Yarı-iletkenler .....	31
2.5.1. Hücre malzemesi .....	32
2.5.2. N tipi silisyum ve P tipi silisyum .....	34
2.5.3. Elektrik kontaklar .....	35
2.6. Güneş Hücresinin Elde Edilmesi ve Güneş Paneli Yapımı .....	36
2.7. Fotovoltaik Güneş Hücresi Tipleri .....	37
2.7.1. Kristal silisyum .....	37
2.7.1.1. Tekli kristal (mono kristal) silisyum hücresi (c-Si) .....	39
2.7.1.2. Çoklu kristal (poli kristal) silisyum hücresi ( mc-Si) .....	39
2.7.2. İnce-film .....	39
2.7.2.1. Amorf silisyum (a-Si) ince-film .....	40
2.7.2.2. Kadmiyum-tellurid (CdTe) ince-film .....	41
2.7.2.3. Bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) ince-film .....	42
2.7.2.4. Bakır-çinko-kalay-sülfoselenit (CZTSSe) ince-film .....	43
2.7.3. Diğer tipler .....	44

2.7.3.1. Çok-eklemlili (III.-V. grup yarı-iletkenler).....	45
2.7.3.2. Organik.....	47
2.7.3.3. Boya-duyarlı.....	49
2.8. Fotovoltaik Sistemler .....	51
2.8.1. İhtiyaç duyulan FV sistem kapasitesinin hesaplanması .....	52
2.9. Kurulu Fotovoltaik Sistemden Elde Edilen Veriler .....	53
3. ÖNERİLEN AKILLI ENERJİ DEPOLAMA VE YÖNETİM SİSTEMİ.....	81
3.1. DC Elektrik Güç Ağı .....	82
3.1.1. Doğrultucu.....	82
3.1.2. DC-DC dönüştürücü.....	84
3.1.3. Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI).....	86
3.1.4. FV sistemlerde maksimum güç noktası izleme algoritmaları .....	88
3.1.4.1. Değiştir ve gözle algoritması .....	88
3.1.4.2. Artan iletkenlik algoritması .....	90
3.2. AC Elektrik Güç Ağı .....	92
3.2.1. Evirici (İnvertör) .....	93
3.2.1.1. Gerilim kontrollü DGM .....	96
3.3. Akıllı Enerji Yönetim Ağı .....	98
4. SİSTEMİN MODELLENMESİ.....	99
4.1. Güneş Hücresi Eşdeğer Devresi ve Elektriksel Modeli .....	99
4.1.1. Güneş hücrelerinin I-V karakteristikleri .....	101
4.1.2. Sıcaklığın I-V eğrisine etkisi.....	102
4.1.3. Işımanın I-V eğrisine etkisi .....	103
4.2. Rüzgar Türbini Elektriksel Modeli.....	103
4.3. Batarya.....	105
4.3.1. Batarya modelleri .....	105
4.3.1.1. Bataryanın eşdeğer devresi ve elektriksel modeli.....	106
4.3.2. Batarya parametreleri .....	110
4.3.3. Batarya çeşitleri.....	111
4.3.3.1. Kurşun asit batarya .....	111
4.3.3.2. Nikel-metal hibrit batarya .....	111
4.3.3.3. Lityum iyon batarya .....	111
4.3.3.4. Lityum polimer batarya.....	112
4.4. Yakıt Hücresi.....	113
5. YÜK TİPLERİNİN BELİRLENMESİ VE SINIFLANDIRILMASI .....	115
6. GÜÇ KONTROLÜ VE ENERJİ YÖNETİM ALGORİTMASI.....	118
6.1. Güç Durumu ve Kontrol Sistemleri.....	118
6.2. Üretilen Gücün Tahmini.....	118
6.3. Önerilen Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Algoritması.....	121
7. BENZETİM ÇALIŞMALARI .....	124
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	137
KAYNAKLAR .....	140
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER .....	144
ÖZGEÇMİŞ .....	145

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı .....	5
Şekil 1.2.	Türkiye’de 2014 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı .....	5
Şekil 1.3.	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) .....	11
Şekil 1.4.	Bulutluluk durumuna göre ışınımın değişimi .....	12
Şekil 1.5.	Avrupa küresel yatay ışınım haritası .....	13
Şekil 1.6.	2014 yılında ölçülen aylık ışınım ortalamalarının ve yıllık ışınım ortalamasının gün içerisindeki değerleri .....	16
Şekil 1.7.	Poli kristal P 60 tipindeki güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından 2014 yılında ölçülen aylık sıcaklık ortalamalarının ve yıllık sıcaklık ortalamasının gün içerisindeki değerleri.....	17
Şekil 1.8.	1250 W poli kristal (P 60) tipindeki FV sisteme ait 2014 yılı ay ve tüm yıl güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri.....	18
Şekil 1.9.	1170 W mono kristal (M 48) tipindeki FV sisteme ait 2014 yılı ay ve tüm yıl güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri.....	19
Şekil 1.10.	1200 W ince-film tipindeki FV sisteme ait 2014 yılı ay ve tüm yıl güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri.....	20
Şekil 1.11.	Tarihi Brush türbini .....	22
Şekil 1.12.	Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) .....	24
Şekil 1.13.	Kocaeli ili fiziki haritası.....	25
Şekil 1.14.	Kocaeli ili 50 metre yükseklikteki rüzgar hız dağılımı .....	26
Şekil 1.15.	Kocaeli ili 10 metre yükseklikteki ortalama rüzgar hızları .....	26
Şekil 2.1.	En son geliştirilen güneş hücresinin yarı-iletken katmanları ile fotonları yakalandığı dalga boyları .....	30
Şekil 2.2.	Silisyumun atomik yapısı .....	33
Şekil 2.3.	Kristal silisyumun atomik yapısı.....	33
Şekil 2.4.	N tipi silisyumun oluşturulması .....	34
Şekil 2.5.	P tipi silisyumun oluşturulması .....	34
Şekil 2.6.	Güneş hücresindeki elektrik kontakları.....	35
Şekil 2.7.	Kristal silisyum FV modül için geri kazanım süreleri .....	38
Şekil 2.8.	Kristal silisyum FV hücre yapısı .....	38
Şekil 2.9.	Amorf silisyum FV hücre yapısı .....	40
Şekil 2.10.	Kadmiyum tellurid FV hücre yapısı.....	41
Şekil 2.11.	CIGS FV hücre yapısı .....	42
Şekil 2.12.	CZTS FV hücre yapısı.....	44
Şekil 2.13.	Çok-eklemlili (III.-V.) FV hücre yapısı .....	46
Şekil 2.14.	Organik FV hücre yapısı .....	48
Şekil 2.15.	Boya-duyarlı Grätzel FV hücre yapısı .....	50
Şekil 2.16.	Şebekeden bağımsız sistemler.....	51
Şekil 2.17.	Şebekeye bağlı sistemler .....	51
Şekil 2.18.	Sistemde kullanılan poli-kristal (P 60) güneş paneli.....	54
Şekil 2.19.	Sistemde kullanılan şebeke ile paralel eviriciler .....	54
Şekil 2.20.	Şebekeye aktarılan enerjiyi ölçen 3 fazlı sayaç.....	55
Şekil 2.21.	2014 yılı Ocak ayında ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	56

Şekil 2.22. 2014 yılının Ocak ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	56
Şekil 2.23. 2014 yılı Ocak ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	57
Şekil 2.24. 2014 yılı Şubat ayında ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	58
Şekil 2.25. 2014 yılının Şubat ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	58
Şekil 2.26. 2014 yılı Şubat ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	59
Şekil 2.27. 2014 yılı Mart ayında ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	60
Şekil 2.28. 2014 yılının Mart ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	60
Şekil 2.29. 2014 yılı Mart ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	61
Şekil 2.30. 2014 yılı Nisan ayında ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	62
Şekil 2.31. 2014 yılının Nisan ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	62
Şekil 2.32. 2014 yılı Nisan ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	63
Şekil 2.33. 2014 yılı Mayıs ayında ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	64
Şekil 2.34. 2014 yılının Mayıs ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	64
Şekil 2.35. 2014 yılı Mayıs ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	65
Şekil 2.36. 2014 yılı Haziran ayı ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	66
Şekil 2.37. 2014 yılının Haziran ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	66
Şekil 2.38. 2014 yılı Haziran ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	67
Şekil 2.39. 2014 yılı Temmuz ayında ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	68
Şekil 2.40. 2014 yılının Temmuz ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	68
Şekil 2.41. 2014 yılı Temmuz ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	69
Şekil 2.42. 2014 yılı Ağustos ayında ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	70
Şekil 2.43. 2014 yılının Ağustos ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	70
Şekil 2.44. 2014 yılı Ağustos ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	71
Şekil 2.45. 2014 yılı Eylül ayında ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	72
Şekil 2.46. 2014 yılının Eylül ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	72
Şekil 2.47. 2014 yılı Eylül ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	73
Şekil 2.48. 2014 yılı Ekim ayında ölçülen günlük ışınım ortalamaları .....	74
Şekil 2.49. 2014 yılının Ekim ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	74
Şekil 2.50. 2014 yılı Ekim ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	75

Şekil 2.51. 2014 yılı Kasım ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları .....	76
Şekil 2.52. 2014 yılının Kasım ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	76
Şekil 2.53. 2014 yılı Kasım ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	77
Şekil 2.54. 2014 yılı Aralık ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları .....	78
Şekil 2.55. 2014 yılının Aralık ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri .....	78
Şekil 2.56. 2014 yılı Aralık ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	79
Şekil 2.57. 2014 yılında üretilen günlük enerji ortalamaları .....	80
Şekil 2.58. 2014 yılı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü ile ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları .....	80
Şekil 3.1. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlar için önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi şeması .....	81
Şekil 3.2. 3 fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu .....	83
Şekil 3.3. 3 fazlı tam dalga kontrollü doğrultucunun çıkış gerilimi eğrisi .....	83
Şekil 3.4. Buck (düşürücü) DC-DC dönüştürücü .....	84
Şekil 3.5. Boost (yükseltici) DC-DC dönüştürücü .....	85
Şekil 3.6. Buck-boost (düşürücü-yükseltici) DC-DC dönüştürücü .....	85
Şekil 3.7. MGNİ varken ve yokken üretilen gücün karşılaştırılması .....	87
Şekil 3.8. Değiştir ve gözle algoritması akış diyagramı .....	89
Şekil 3.9. Değiştir ve gözle yöntemine ait P-V grafiği .....	90
Şekil 3.10. Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı .....	91
Şekil 3.11. Artan iletkenlik yöntemine ait P-V grafiği .....	92
Şekil 3.12. Gerilim kaynaklı tek fazlı tam köprü evirici .....	93
Şekil 3.13. Kare dalga uygulanarak yapılan anahtarlama ile çıkış gerilim ve akım dalga formları .....	94
Şekil 3.14. Sinüsoidal DGM kontrol blok şeması .....	96
Şekil 3.15. Çift yönlü gerilim anahtarlama sinüsoidal DGM taşıyıcı ve referans gerilimleri .....	97
Şekil 3.16. Çift yönlü gerilim anahtarlama sinüsoidal DGM çıkış gerilimi .....	97
Şekil 4.1. Güneş hücresinin eşdeğer devresi .....	99
Şekil 4.2. İdeal FV panelin I-V ve P-V eğrileri .....	101
Şekil 4.3. $V_{oc}$ ve $I_{sc}$ parametrelerinin sıcaklıkla değişimleri .....	102
Şekil 4.4. $V_{oc}$ ve $P_{mpp}$ parametrelerinin sıcaklıkla değişimleri .....	102
Şekil 4.5. $V_{oc}$ ve $I_{sc}$ 'nin ışıma ile değişimi .....	103
Şekil 4.6. Farklı kanat açıları için rüzgâr türbinin güç katsayısının eğrisi .....	104
Şekil 4.7. Basit batarya eşdeğer devresi .....	106
Şekil 4.8. Örnek deşarj eğrisi .....	108
Şekil 4.9. Kurşun-asit ve lityum-iyon batarya tipik şarj karakteristikleri .....	108
Şekil 4.10. NiMH batarya tipik şarj karakteristik eğrisi .....	109
Şekil 4.11. Kurşun-asit, NiCD, NiMH için üstel bölge eğrisi .....	109
Şekil 4.12. Yakıt hücresi mV-zaman eğrisi .....	113
Şekil 6.1. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın blok diyagramı .....	121



Şekil 6.2.	Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın global değişkenleri .....	122
Şekil 6.3.	Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritma .....	123
Şekil 7.1.	Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminin veri girişlerinin ve kontrol anahtarlarının gösterimi .....	124
Şekil 7.2.	Yük güç talebi (YGT) durumu .....	125
Şekil 7.3.	Şebeke (S) durumu .....	125
Şekil 7.4.	Tarife durumu .....	125
Şekil 7.5.	Belirlenen PL1 tipi yüke ait güç-zaman grafiği .....	126
Şekil 7.6.	Belirlenen PL2 tipi yüke ait güç-zaman grafiği .....	126
Şekil 7.7.	Talep edilen güç (Ptalep) eldesi .....	126
Şekil 7.8.	Gerçek güneş verilerinin MATLAB/Simulink'e aktarılması .....	127
Şekil 7.9.	Gerçek rüzgar verilerinin MATLAB/Simulink'e aktarılması .....	127
Şekil 7.10.	Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi MATLAB/Simulink modeli .....	128
Şekil 7.11.	DC bara gerilimi .....	128
Şekil 7.12.	Durum-1 için batarya gerilimi .....	129
Şekil 7.13.	Durum-1 için batarya şarj durumu (SOC) (%) .....	129
Şekil 7.14.	Durum-1 için batarya akımı .....	130
Şekil 7.15.	Durum-1 için şebekeye aktarılan enerji .....	130
Şekil 7.16.	Durum-1 için şebekeye aktarılan akım .....	130
Şekil 7.17.	Durum-2 için batarya gerilimi .....	131
Şekil 7.18.	Durum-2 için batarya şarj durumu (SOC) (%) .....	131
Şekil 7.19.	Durum-2 için batarya akımı .....	132
Şekil 7.20.	Durum-2 için şebekeye aktarılan enerji .....	132
Şekil 7.21.	Durum-2 için şebekeye aktarılan akım .....	132
Şekil 7.22.	Durum-3 için batarya gerilimi .....	133
Şekil 7.23.	Durum-3 için batarya şarj durumu (SOC) (%) .....	134
Şekil 7.24.	Durum-3 için batarya akımı .....	134
Şekil 7.25.	Durum-4 için batarya gerilimi .....	135
Şekil 7.26.	Durum-4 için batarya şarj durumu (SOC) (%) .....	136
Şekil 7.27.	Durum-4 için batarya akımı .....	136

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Türkiye güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri .....	11
Tablo 1.2.	Dünya’da kurulu bazı fotovoltaik kapasiteler .....	13
Tablo 1.3.	Bazı illerin aylara göre m <sup>2</sup> ,ye düşen güneş enerjisi miktarı.....	14
Tablo 1.4.	Kocaeli 1950–2014 yılları arası ortalama sıcaklık ve güneşlenme süresi .....	15
Tablo 1.5.	Sabit güneş paneli için mevsimsel optimum eğim açıları .....	15
Tablo 1.6.	Bölgelere göre ortalama rüzgar gücü yoğunlukları.....	24
Tablo 3.1.	Eviricinin a ve b anahtarlama parametreleri .....	94
Tablo 3.2.	Tek fazlı tam köprü eviricinin çalışması .....	95
Tablo 5.1.	Elektrikli ev aletlerinin günlük enerji tüketimleri ve belirlenen yük tipleri .....	116
Tablo 5.2.	Günün belirlenen 4 saatlik dilimleri için beklenen en fazla enerji talepleri.....	117
Tablo 6.1.	Umuttepe 2014 yılı ortalama ışıma verilerinin hava ve saate göre dağılımı .....	120
Tablo 7.1.	Durum-1 için önerilen optimum çözüm .....	129
Tablo 7.2.	Durum-2 için önerilen optimum çözüm .....	131
Tablo 7.3.	Durum-3 için önerilen optimum çözüm .....	133
Tablo 7.4.	Durum-4 için önerilen optimum çözüm .....	135

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	:Üstel bölge gerilimi, (V)
a-Si	:Amorf silisyum
A <sub>cell</sub>	:Yakıt hücresi alanı, (cm <sup>2</sup> )
Ah	:Amper-saat
A <sub>SA</sub>	:Güneş hücresinin aktif alanı, (m <sup>2</sup> )
B	:Üstel bölge zaman sabitinin tersi ya da üstel kapasite, (Ah <sup>-1</sup> )
b <sub>i</sub>	:(i=0, 1, 2 için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayı
c-Si	:Tekli kristal silisyum hücresi
CdS	:Kadmiyum sülfid
CdTe	:Kadmiyum-tellurid
CIGS	:Bakır indiyum galyum (di)selenid ince-film
CIS	:Bakır indiyum (di)selenid
C <sub>L</sub>	:Güneş hücresinde sıcaklık değişimi yüzünden I <sub>L</sub> 'nin sıcaklık katsayısı
C <sub>p</sub>	:Güç katsayısı
c <sub>p</sub>	:Güneş hücresinde ortalama özel ısı, (J/kg/K)
CZTSSe	:Bakır çinko kalay sülfoselenit
D	:Duty Cycle (Doluluk oranı)
dB(A)	:A ağırlıklı seviyesini ses basınç seviyesi
e	:Elektriksel yük, (C)
E <sub>g</sub>	:Enerji band aralığı, (eV)
E <sub>H2O2</sub>	:H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> reaksiyonunun standart potansiyeli, (V)
E <sub>0</sub>	:Batarya sabit gerilimi, (V)
eV	:Elektron-Volt
Exp(s)	:Üstel bölge gerilimi, (V)
F	:Faraday sabiti, (C)
FeS <sub>2</sub>	:Pirit
Ga	:Galyum
GaAs	:Galyum arsenit
GaInAs	:Galyum indiyum arsenit
GaInP	:Galyum indiyum fosfat
Ge	:Germanyum
h <sub>c</sub>	:Güneş hücresinin soğuma katsayısı, (W/K/m <sup>2</sup> )
I <sub>D</sub>	:PN jonksiyon (diyot) akımı, (A)
I <sub>fc</sub>	:Yakıt hücresi akımı, (A)
I <sub>L</sub>	:Işık üretme akımı, (A)
I <sub>mpp</sub>	:Maksimum güç noktası akımı, (A)
In	:İndiyum
I <sub>S</sub>	:Güneş hücresinde diyotun ters doyma akımı, (A)
I <sub>SA</sub>	:Solar hücrenin akımı, (A)
I <sub>sc</sub>	:Kısa devre akımı, (A)
I <sub>S0</sub>	:Ortam sıcaklığındaki doyma akımı, (A)
i	:Gerçek batarya akımı, (A)
i*	:Düşük frekansta akım dinamikleri, (A)

it	:Mevcut batarya kapasitesi (Ah)
K	:Batarya polarizasyon direnci, ( $\Omega$ )/ polarizasyon sabiti, ( $\text{Ah}^{-1}$ )
k	:Boltzmann sabiti, ( $\text{eV}\cdot\text{K}^{-1}$ )
kW	:Kilowatt
kWh	:Kilowatt saat
kWp	:FV panelin kilowatt tepe değeri
M	:Güneş hücresinin ortalama kütlesi, (kg)
mc-Si	:Çoklu kristal silisyum hücresi
$m_i$	:( $i=0, 1, 2$ için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayı
Mo	:Molibden
MW	:Megawatt
N	:Hücre sayısı
$n'_{fc}$	:İstenen hidrojen molar akış oranı
$n'_s$	:Sağlanan hidrojen molar akış oranı
$n_i$	:( $i=0, 1, 2$ için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayı
PbS	:Kurşun sülfid
$P_{fc}$	:Yakıt hücresinde üretilen elektriksel güç, (W)
$P_{gunes}$	:Güneşten üretilen güç
$P_{ir}$	:Parlaklık (ışınım), ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
$P_{ir0}$	: $T_0$ sıcaklığındaki parlaklık (ışınım), ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
PL1	:L1 yükünün talep ettiği güç
PL2	:L2 yükünün talep ettiği güç
$P_{mpp}$	:Maksimum güç değeri, (W)
$P_r$	:Yakıt hücresindeki hidrojen basıncı, ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
Pruzgar	:Rüzgardan üretilen güç
$P_{talep}$	:Talep edilen güç
$P_{WT}$	:Türbinden elde edilen güç, (W)
Q	:Maksimum batarya kapasitesi, (Ah)
$R_e$	:Güneş hücresinde ortalama spektral duyarlılık, (A/W)
$r_i$	:( $i=0, 1, 2$ için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayı
$R_s$	:Güneş hücresinin seri direnci, ( $\Omega$ )
$R_{sh}$	:Güneş hücresinin şönt (paralel) direnci, ( $\Omega$ )
$R_{WT}$	:Türbin kanatlarının yarıçapı, (m)
S	:Şebeke
Sel(s)	:Bataryanın çalışma modu
sw	:Anahtarlama elemanı
$T_{FC}$	:Yakıt hücresi sıcaklığı, ( $^{\circ}\text{K}$ ),
$T_0$	:Ortam sıcaklığı, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{SA}$	:Güneş hücresinin sıcaklığı, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$u_{fc}$	:Yakıt hücresi yararlanma (kullanım) faktörü
$v$	:Rüzgar hızı, (m/s)
$V_b$	:Gerçek batarya gerilimi (lineer olmayan), (V)
$V_D$	:PN jonksiyon (diyot) gerilimi, (V)
$V_d$	:DC giriş gerilimi, (V)
$V_{fc}$	:Yakıt hücresi gerilimi, (V)
$V_{mpp}$	:Maksimum güç noktası gerilimi, (V)
$V_o$	:Çıkış gerilimi, (V)
$V_{oc}$	:Açık devre gerilimi, (V)
$V_r$	:Sinüsoidal DGM referans gerilimi, (V)

$V_{SA}$	:Güneş hücresinin gerilimi, (V)
$V_t$	:Sinüsoidal DGM taşıyıcı gerilimi, (V)
$V_{TH}$	:Güneş hücresinin termal potansiyeli, (V)
$\alpha$	:Tristör ateşleme açısı, ( $^{\circ}$ )
$\beta$	:Pitch açısı (kanadın eğim açısı), ( $^{\circ}$ )
$\gamma$	:Güneş hücresinde diyotun ideallik faktörü
$\eta$	:Güneş hücresinin quantum verimliliği, (%)
$\lambda$	:Rüzgar türbini kanat uç hız oranı
$\rho$	:Güneş hücresinin yansıma katsayısı
$\rho_0$	:Hava yoğunluğu, ( $kg/m^3$ )
$\tau$	:Güneş hücresinin iletim katsayısı
$\Omega$	:Kanatların dönme hızı, (m/s)

### Kısaltmalar

AC	:Alternative Current (Alternatif Akım)
ASEC	:Apollo Solar Energy Co. Ltd. (Güneş Enerjisi Uygulamaları Kurumu)
BJT	:Bipolar Jonksiyon Transistör
DC	:Direct Current (Doğru Akım)
DGM	:Darbe Genişlik Modülasyonu
DME	:Devlet Meteoroloji Enstitüsü
DSSC	:Dyed Sensed Solar Cell (Boya-Duyarlı Güneş Hücresi)
EİE	:Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	:Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EVA	:Etilen Vinil Asetat
FM	:Frekans Modülasyonu
FV	:Fotovoltaik
GEPA	:Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GTO	:Gate Turn Off (Kapıdan Tıkanabilen Tristör)
IGBT	:Insulated Gate Bipolar Transistor (İzole edilmiş iki kutuplu transistör)
LED	:Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
MBEAE	:Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü
MCT	:Mos Kontrollü Tristör
MGNİ	:Maksimum Güç Noktası İzleyicisi
MKE	:Makina ve Kimya Enstitüsü
ODTÜ	:Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OFV	:Organik Fotovoltaik
PHEV	:Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Şarj-edilen Hibrit Elektrikli Araç)
REPA	:Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
SCR	:Silicon Controlled Rectifier (Silikon Kontrollü Doğrultucu)
SOC	:State Of Charge (Batarya Şarj Durumu)
TEP	:Ton Eşdeğer Petrol
TET	:Ton Eşdeğer Taş kömürü
TÜBİTAK	:Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UGET-TB	:Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümü
YEGM	:Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YGT	:Yük Güç Talebi

## **YENİLENEBİLİR HİBRİT ENERJİ KAYNAKLARI İLE BESLENEN KONUTLARDA AKILLI ENERJİ DEPOLAMA VE YÖNETİM SİSTEMİ**

### **ÖZET**

Günümüzde üretilen elektrik enerjisinin önemli miktarı konutlarda tüketilmektedir. Bu enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlardan üretilmekte ve üretim aşamasında çevreye olumsuz etkileri olan gaz salınımları ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de üretilen elektrik enerjisinin büyük oranda ithal doğalgaz ve kömüre bağlı olması, enerji üretimini dışa bağlı hale getirmesinin yanında üretim maliyetini de yükseltmektedir. Temiz ve ucuz elektrik enerjisi üretimi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Özellikle konutların ihtiyaçları olan elektrik enerjisini kendilerinin üretmesi hem konut sahibi hem de ülke için ekonomik faydalar getirmektedir. Tek bir yenilenebilir kaynaktan üretilen enerjinin sürekliliği olmayacağından farklı kaynaklara sahip hibrit sistemler kullanılmalı ve üretilen enerji depolanabilmelidir. Üretimin hibrit sistem ile yapılması durumunda, enerjinin kullanımı, depolanması ve şebekeye aktarımının kontrol edilmesi gereklidir. Bu sebeple tüm sistemi kontrol eden akıllı enerji yönetim algoritmasına da ihtiyaç vardır. Bu yüksek lisans tezinde, Kocaeli bölgesi için yenilenebilir güneş, rüzgar kaynakları ve yakıt hücresi ile beslenen, enerji depolama için batarya kullanan, gerektiğinde ihtiyaç fazlası enerjiyi şebekeye aktarabilen ve akıllı enerji yönetim sistemine sahip akıllı konut modeli önerilmiştir. Tüm kaynaklar Doğru Gerilime çevrilerek ortak barada toplanmış ve buradan yüklere dağıtılmıştır. Çalışmada, Kocaeli ili, Umuttepe bölgesi için bir yıllık güneş ve rüzgar enerjisi üretimi ölçüm değerleri analiz edilerek sonuçlar sunulmuştur. Önerilen akıllı konut modeli ve yönetim algoritması MATLAB/Simulink ortamında doğrulanarak benzetim sonuçları verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Enerji Yönetim Sistemi, Akıllı Konut, Batarya, Yakıt Hücresi, Yenilenebilir Enerji.

## **SMART ENERGY STORAGE AND MANAGEMENT SYSTEM IN HOUSES WITH RENEWABLE HYBRID ENERGY**

### **ABSTRACT**

Nowadays, an important amount of energy is consumed in houses. This energy is largely produced from fossil fuels and emissions with negative effects on the environment occur during energy generation. Because the large amount of generation electricity in Turkey depends on imported natural gas and coal, not only generating energy depends on external sources but also the costs increase. Electricity generation in clean and cheap way is possible by the use of renewable energy sources. In particular, generating required electricity by themselves has economic benefits for the owners of houses and the country. Hybrid systems with different sources should be used and generated energy is able to store since generated energy from only one renewable source has no sustainability. When generating energy with hybrid system, It is necessary to control energy use, storage and energy transfer to the grid. Hence, it is required a smart energy management algorithm for controlling all the system. This master's thesis suggests for Kocaeli a smart house model has renewable solar, renewable wind, a fuel cell unit as sources and a battery unit for energy storage and a smart energy management system and the model enables transferring the excess energy to the grid. All sources are linked to the common bus by converting to Direct Current and distributed. In the study, the measurements of solar and wind energy generation of Umuttepe of Kocaeli for a year are analyzed and the results are presented. The proposed smart house model and management algorithm are verified in MATLAB/Simulink.

**Keywords:** Smart Energy Management System, Smart House, Battery, Fuel Cell, Renewable Energy.

## GİRİŞ

Günümüzde, teknolojinin hızla ilerlemesiyle beraber konutlarda çok fazla enerji tüketilmektedir. Bunun sonucunda oldukça fazla salınım ve atık üretilmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında Dünya’da harcanan toplam enerjinin üçte biri, elektrik enerjisinin ise üçte ikisi konutlarda kullanılmaktadır. Bu sebeple hava ve çevre kirliliğinin en önemli sebeplerinden biri de konutların kullandığı enerji kaynaklarıdır [1,6]. Yapılan araştırmaların sonuçlarına göre; sülfür dioksit salınımının %49’u, nitroz oksit salınımının %25’i, parçacık salınımının %10’u konutlarda üretilmektedir. Hava kirliliğinin temel sebebi olan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salınımının %35’i ise doğrudan ve/veya dolaylı olarak konutlarda üretilmektedir [1].

Konutların çevreye verdiği bu zararlı etkileri ve atıkları yok etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ve mevcut enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından konutlarda kullanılacak olanları güneş, rüzgâr ve yakıt hücreleri şeklinde sayılabilir [1-10]. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli yer tutmaktadır ve fosil enerji kaynaklarının en büyük alternatiflerdendir. Güneş enerjisi fosil yakıtlara göre çok daha az salınım üretir. Eğer 1 milyon konutta güneş enerjisi kullanırsa 4,3 milyon ton CO<sub>2</sub> salınımı engellenmiş olur ve bu trafikte yaklaşık 850.000 aracın azalması gibi bir etki yapar. Güneş panelleri ile üretilen elektrikle çalışan hibrit araçların kullanımıyla araçlardaki CO<sub>2</sub> salınımının da azalacağı düşünüldüğünde toplam çevre kirliliğinin daha da azalacağı açıktır [1]. Ayrıca, ısınmada güneş enerjisi ile üretilen elektrik ve ısıtılan su kullanımı ile CO<sub>2</sub> salınımının azaltımı hesaba katılırsa toplam çevre zararları büyük bir oranda azaltılabilir [1, 3].

Ülkemizde kullanılan enerjinin büyük oranda ithal doğalgaz, kömür, vb. girdilere bağlı olduğu düşünüldüğünde, maliyetlerin ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir. Ülkemiz, bölgesel farklılıklar göstermekle beraber önemli güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir.



Akıllı konut dizaynlarındaki en önemli parçalar güneş ve rüzgar gibi değişken çıkış güçlerine sahip yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Gerek rüzgâr ve gerekse güneş enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması bireysel kullanıcıların bu sistemlere ilgisini azaltmaktadır. Bireysel kullanıcıların bu sistemlere olan ilgisini arttırabilmek için yatırım maliyetleri düşürülmelidir. Yenilenebilir hibrit enerji sistemin yatırım maliyeti, sistem yapılandırması ile doğrudan ilgilidir. Sistem maliyetini düşürmek için ise esasta iki unsur kontrol edilmelidir. Bunlar;

1-Güneş, rüzgar, yakıt hücresi, akü grubu gibi kaynaklar kesintisiz ve kaliteli enerji sağlayacak şekilde optimum güçlerde seçilmelidir. Bu seçim, bölgenin yenilenebilir enerji potansiyeliyle ilgilidir. Bölge bazlı optimizasyon yapılmalıdır [1-9].

2-Üretilen enerjinin verimli kullanılması, depolanması ve yönlendirilmesi için tüm sistemi kontrol eden akıllı enerji yönetim planlamasının yapılmasıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip akıllı konut tasarımlarında şu an yaygın olarak kullanılan AC bara sistemidir. DC konut sistemleri yeni popüler olmaya başlamıştır [1,3-8].

Literatürde yenilenebilir enerji ile beslenen akıllı evler ve akıllı evlerde enerji yönetimi konusunda yapılmış bazı çalışmalar mevcuttur.

[1] 2009 yılında yayımlanan “Design, Modeling and Simulation of a Green Building Energy System” isimli makalede yenilenebilir enerji kaynakları ile beslenen akıllı ev için enerji depolama ve enerji yönetimi sistemi önerilmiştir.

[2] 2013 yılındaki yayımlanan “Energy Management Algorithm for Smart Home with Renewable Energy Sources” isimli makalede yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip akıllı ev için enerji yönetim algoritması önerilmiştir.

[3] 2012 yılında yayımlanan “Optimal Operation of Controllable Loads in DC Smart House with EV” isimli makalede FV sistem ve elektrikli araç ile kontrol edilebilir yüklere sahip DC ev için en uygun işlem konusunda çalışma yapılmıştır.

[4] 2011 yılında yayımlanan “Optimum Operation Planning of Controllable Loads in Smart House” isimli makalede FV sisteme sahip akıllı evde kontrol edilebilir yüklerin en uygun şekilde planlaması konusunda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

[5] 2012 yılında yayımlanan “Advanced Smart House with an Electric Vehicle” isimli makalede FV sisteme sahip akıllı evin hem şebeke bağlantılı hem de şebekeden bağımsız çalışma durumları için enerji yönetim sistemi önerilmiştir.

[6] 2011 yılında yayımlanan “A Secure Energy Routing Mechanism for Sharing Renewable Energy in Smart Microgrid” isimli makalede akıllı mikro-şebekede yenilenebilir enerji paylaşımı için geliştirilen yeni bir güvenli enerji yönlendirme mekanizması sunulmuştur.

[7] 2011 yılında yayımlanan “A Real-time Cyber-physical Energy Management System for Smart Houses” isimli makalede gerçek zamanlı siber-fiziksel enerji yönetim sistemi önerilerek akıllı evlerden oluşan mikro şebekelerde üretilen yenilenebilir enerjinin paylaşımında verimin yükseltilmesi üzerinde çalışılmıştır.

[8] 2012 yılında yayımlanan “Power Management Unit for DC Feeder in House” isimli makalede FV sisteme sahip DC bara ile beslenen akıllı evler için şebeke kontrolünü de içeren yeni bir konsept ile güç yönetim birimi ünitesi önerilmiştir.

[9] 2011 yılında yayımlanan “House Energy Demand Optimization in Single and Multi-user Scenarios” isimli makalede güneş paneline ve depolama sistemine sahip mikro-şebekeler için tek yada çoklu kullanıcı durumlarında günlük yük taleplerinin yönetilmesine izin veren optimizasyon modelleri önerilmiştir.

[10] 2012 yılında yayımlanan “Novel Scheduling Method to Reduce Energy Cost by Cooperative Control of Smart Houses” isimli makalede yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip akıllı evlerin ürettiği enerjinin ortak paylaşımının yönetilerek enerji faturalarının azaltılması için yeni bir planlama yöntemi önerilmiştir.

Bu yüksek lisans tezinde öncelikle Kocaeli bölgesinin güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi’nde bulunan 3 farklı tipte ve farklı kurulu güçteki güneş paneli sistemleri kullanılmıştır. Kocaeli ili 2014 yılı için ışınlam, güç, sıcaklık değerleri ölçülerek 3 farklı güç ve tipteki FV sistem için hesaplanan günlük üretilen enerji değerleri analiz edilmiştir. Kocaeli bölgesine ait aylık ortalama rüzgar hızları da belirlenmiştir.

Bu yüksek lisans tezinde konutlar için akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi önerilmiştir. Önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminde aynı zamanda ev içindeki yüklerin kullanımı ile ilgili planlama da yapılacaktır. Aynı zamanda şebeke ile beslenen evlerde de kullanılarak enerji tasarrufu yapılmasına imkân verecek bir yapı da sahip olacaktır. Bu amaçla, günümüz koşullarında evlerde bulunması muhtemel elektrikli ev aletlerinin listesi çıkarılarak olası yükler belirlenmiştir. Yüklerin öncelikli tercih olma durumlarına göre 2 grupta sınıflandırılmasıyla önerilen algoritmada ihtiyaç duyulan yük tipleri kullanıcı temelli olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma ile DC konutlar için bir taban model oluşturulmaya çalışılacaktır. Tüm enerji kaynaklarından gelen güçler DC barada birleştirilecektir. Önerilen sistem için DC baranın gerilim seviyesi 120 V olarak belirlenmiştir.

Önerilen sistemde gerek duyulan tüm enerjinin, ilk planda güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması hedeflenmektedir. Üretilen fazla enerjinin depolanabilmesi için batarya grubu ve yedek güç için ise yakıt hücresi sistemi kullanılması planlanmaktadır. Önerilen akıllı konut tasarımında şebeke bağlantısı da bulunacaktır. Bu sayede, enerji üretiminde oluşabilecek arıza ya da üretim ve depolama kapasitesinin yükün enerji ihtiyacını karşılayamama durumlarında enerji devamlılığı sağlanabilmektedir. Bunun yanında üretimin, talep edilen güç ve depolama kapasitesini aşması durumlarında konutta üretilen enerjinin şebekeye satılabilmesine de imkan sağlanmaktadır. Böylece, hem ülkemizin enerji üretimine katkı yapılırken hem de ev ekonomisi için katma değer sağlanır.

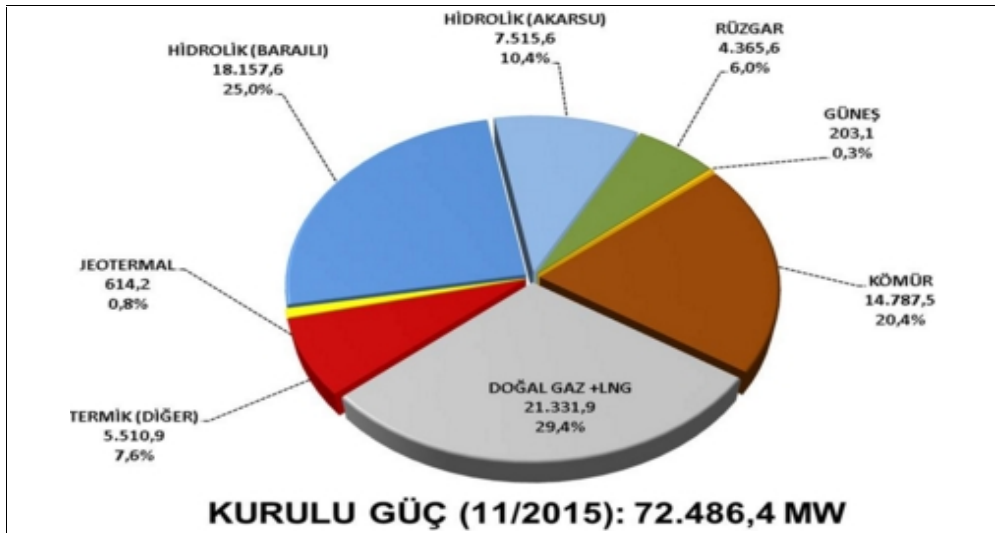
Çalışmanın son kısmında ise önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritması, geliştirilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemine ait model ile MATLAB/Simulink ortamında çeşitli durumlar için test edilmiştir.

Yapılan benzetim çalışmalarında, Kocaeli iline ait gerçek rüzgar verileri ve Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde kurulmuş olan güneş paneli sistemi ile ölçülen 2014 yılı güneş verileri kullanılmıştır. Belirlenen bu gerçek parametrelerin benzetim çalışmalarında kullanılmasıyla, önerilen sistemin kazançlarının daha iyi değerlendirilmesi için referans olabilecek sonuçlar ortaya koyulmaktadır.

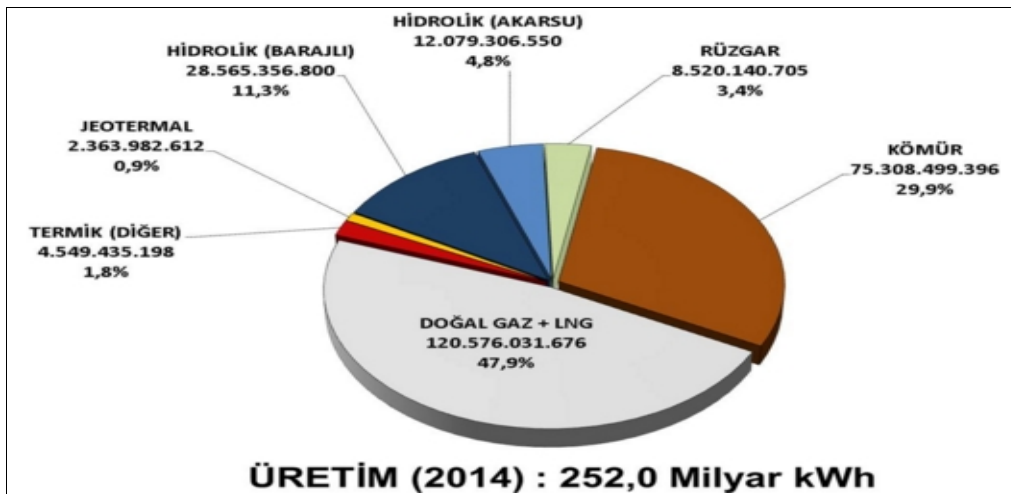
## 1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji, sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Bu kaynaklar güneş, rüzgâr, jeotermal, biyolojik süreçler ve akan su (hidrolik güç) olarak sıralanabilir.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından 30 Kasım 2015 tarihinde güncellenen elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.1’de ve 2014 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı ise Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı



Şekil 1.2. Türkiye’de 2014 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Şekil 1.1’de verilen Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı grafiğine göre kurulu gücün % 6’sı rüzgar ve % 0,3’ü güneş enerjisinden oluşmaktadır. Şekil 1.2’de verilen Türkiye 2014 yılı elektrik üretimi yüzdeleri grafiği incelendiğinde, rüzgar enerjisinin 2014 yılı elektrik üretiminin % 3,4’ünü karşıladığı görülmektedir. Şekil 1.2’deki grafiğe göre güneş enerjisinin ise çok düşük seviyelerde kaldığı ve daha çok önem verilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

## 1.1. Güneş

Güneş, hidrojen ve helyum gazlarından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Sıcaklığı merkez de yaklaşık  $(8-40) \times 10^6$  °K olur. Yüzey sıcaklığı ise 6000 °K civarındadır. Bu yüksek sıcaklık nedeniyle elektronlar, atom çekirdeklerinden ayrılırlar. Bu sebeple, güneşte atom ve molekül yerine elektronlar ve atom çekirdekleri bulunur. Bu karışıma plazma adı verilir. 4 hidrojen çekirdeği 1 helyum çekirdeği yapar. Birleşme çok yüksek sıcaklıkta olur. Füzyon adı verilen bu olay yüksek sıcaklıkta ve atom çekirdeği yardımıyla olduğundan termonükleer reaksiyon adını alır. Güneş çok yoğun sıcak gazlarla meydana gelmiş olan çapı  $1,39 \times 10^9$  m, kütlesi  $1,99 \times 10^{30}$  kg civarında olan bir yıldızdır.

Güneş’te oluşan helyum miktarı, harcanan hidrojen miktarından daha azdır. 4 hidrojen atomunun ağırlığı 4,032 birim ağırlık, bir helyum atomu ise 4,003 birim ağırlıktadır. Bu dönüşüm esnasında oluşan yaklaşık 0,029 birim ağırlık kütle farkı ise, Einstein’ın enerji-madde bağıntısına ( $E=mc^2$ ) göre enerjiye dönüşmektedir yani aradaki fark, güneşten ışın olarak çıkan enerjiyi (güneş radyasyonu) vermektedir. Güneş’in merkezinde 1 saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Arada ki 4 milyon ton fark karşılığı ısı ve ışık enerjisi halinde uzaya 386 milyon EJ (eksa joule) enerji yaydığı tahmin edilmektedir. Bu enerji çeşitli dalga boylarında ışınlar halinde Dünya’ya ulaşır [11].

### 1.1.1. Güneş enerjisi kaynağı

Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin Dünya’ya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat ve kat fazladır.

Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Dünya'ya Güneş'ten gelen enerji, Dünya'da 1 yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz, %30'u atmosfer tarafından geri yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneş'ten gelen ışınımın %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır.

### **1.1.2. Güneş enerjisinin önemi**

Dünya'nın yüzeyine 1 yılda düşen güneş enerjisi  $0,709 \times 10^{14}$  TEP (ton eşdeğer petrol) veya  $1,22 \times 10^{14}$  TET (ton eşdeğer taş kömürü) kadardır. Bu değer Dünya'nın bilinen, petrol rezervinin 516, kömür rezervinin 157 katıdır.

Güneş'in 1 saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji miktarından fazladır. Dünya, Güneş'ten gelen enerjinin milyarda birini alır. Bu enerji 15 dakika depo edilebilse toplam dünya nüfusunun yıllık enerji ihtiyacı karşılanır.

Güneş enerjisi ısı ve ışık olarak yayıldığı için iletim ve dağıtım sorununun olmaması üstünlük sağlar. Güneş enerjisinin doğal kullanımının yanı sıra, doğrudan kontrollü olarak da kullanılabilir. Doğrudan kontrollü kullanımının bir maliyeti vardır ancak fosil yakıtların çevreye verdiği zararın düzeltilmesinde yapılacak iyileştirme çalışmaları düşünüldüğünde güneş enerjisi daha cazip gelmektedir.

### **1.1.3. Güneş enerjisi kullanımının tarihçesi**

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için yapılan çalışmalar çok eski tarihlere dayanmaktadır. Kaynaklara göre ilk defa Sokrates (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere konularak güneş ışınımının içeri alınmasını önermiştir. Arşimet (M.Ö. 250) içbükey aynalarla güneş ışınımını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan

gemileri yakmıştır. Çalışmalar 1600'lü yıllarda Galileo'nun merceği bulmasıyla gelişme göstermiştir [12].

İlk olarak 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası geliştirilmiştir. Fransız bilim adamı Mohuchok 1860'da parabolik aynalar yardımı ile Güneş ışınımını odaklayarak küçük bir buhar makinesi üzerinde çalışmış, güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde deney yapmıştır. Eski saraylarda (örneğin; Dolmabahçe Sarayı) oldukça fazla ayna vardır ve bu güneş enerjisinin kullanımı açısından iyi bir örnek oluşturmaktadır [12].

I. Dünya Savaşı sırasında petrolün önem kazanması ile güneş enerjisine yönelik çalışmalar azalmıştır. 1930 yılından itibaren güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar artmışsa da fazla uygulama alanı bulamamıştır, çalışmalar araştırma kurumlarının dışına çıkmamıştır. Ancak 1960'lı yıllarda petrol krizinin ortaya çıkması insanları alternatif enerji kaynakları konusunda çalışma yapmaya itmiştir. Öncelikli olarak çalışmalar, temiz ve masrafsız enerji kaynağı olan güneş enerjisi üzerine yoğunlaşmıştır [12].

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerlerken maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [12].

#### **1.1.4. Türkiye'de güneş enerjisi kullanımının tarihçesi**

Güneş enerjisi; zirai ürünlerin kurutulması, mahal ve su ısıtması, evlerde havalandırma amacıyla kullanılmaktadır ve özellikle gelişmiş ülkelerde geniş uygulama alanlarına sahiptir. Ülkemizde güneş enerjisi ilk defa alternatif enerji kaynağı olarak 1960'ların başlarında düşünülmüştür. Bazı yatırımcı girişimlerinin yanı sıra üniversitelerde verilen tezler ile bu konuda çalışmalar başlamıştır [12].

1970'lerin ortalarında, Dünya'daki güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmelerle beraber, ülkemizde de bilhassa güneş enerjisinin ısı uygulamaları konusu üniversiteler, devlet ve endüstri açısından önem kazanmış ve güneş enerjisi çalışmaları bu tarihten itibaren artan bir hızla gelişmiştir [12].

Güneş enerjisi konusundaki ilk ulusal kongre 1975 yılında İzmir'de gerçekleştirilmiştir. Yine ilk pasif güneş enerjisi uygulaması 1975 yılında ODTÜ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi) bünyesinde tesis edilmiştir [12].

Güneş enerjisi konusundaki ilk çalışmalar ağırlıklı olarak ODTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ege Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından yürütülmüştür. Türkiye'deki ilk Güneş Enerjisi Enstitüsü Ege Üniversitesi bünyesinde 1978 yılında kurulmuş ve faaliyetlerine devam etmektedir. 1980'lerin sonunda bu konudaki çalışmaları TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) bünyesindeki MBEAE (Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü) yürütmüştür. MBEAE, güneş enerjisi düşük sıcaklık uygulamaları ve Türk endüstrisinin ısı enerjisi ihtiyacının modellenmesi konusundaki projeleri 1977–1985 yılları arasında ağırlıklı olarak desteklemiştir. TÜBİTAK bünyesinde 1986 yılında kurulan Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, güneş hücrelerinin tasarımı ve üretimi çalışmalarını desteklemektedir [12].

UGET-TB (Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümü) 1992 yılından itibaren Türkiye'nin izniyle aktif olarak çalışmalarını sürdürmektedir. DME (Devlet Meteoroloji Enstitüsü) artan sayıdaki istasyonlarda iklimsel verilerin kayıt edilmesi, değerlendirilmesi ve bilginin dağıtılması konusunda aktif olarak çalışmaktadır [12].

EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) güneş enerjisi ile su ısıtma, aktif ve pasif mahal ısıtması, yoğunlaştırıcı toplayıcılar ve güneş pilleri konusundaki çalışmalara imkân sağlamaktadır. EİE, Enerji Kaynakları Etüt Dairesi Başkanlığı, Güneş Enerjisi Şubesi'nin, 1982 yılında başladığı güneş enerjisi konusunda araştırma, geliştirme, bilgilendirme ve demonstrasyon çalışmaları 02 Kasım 2011 tarihinden itibaren yeni kurulan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yürütmektedir. Bu kuruluşun geçmişte bu konudaki çalışmaları daha ziyade araştırma ve geliştirme ile projelerin tanıtılması konusunda olmakla beraber son yıllardaki çalışmalarda kaynakların tespiti ile potansiyel tayini ve bazı uygulamalar ağırlık kazanmıştır [13].

Türkiye'deki güneş enerjisi araştırmalarını 2 temel grupta toplamak mümkündür;

1. Güneş enerjisi potansiyelinin tespiti ve tayini hakkındaki çalışmalar.
2. Güneş enerjisi uygulamaları ve teknolojisi ile ilgili çalışmalar.



YEGM'nin güneş enerjisi çalışmalarından bazıları [13];

- 1,6 kWp gücünde tek kristalli FV sistem işletilerek yapısal özellikleri incelenerek verimi ve enerji üretimini etkileyen parametreler araştırılmıştır.
- YEGM yerleşkesinde bulunan örnek bina bahçesine 2 kWp gücünde su pompaj sistemi tanıtım ve bilinçlendirme amacıyla kurulmuştur.
- Güneşi takip eden bir sistemde 16 ay boyunca alınan ölçümler sonucunda gelen güneş enerjisinden faydalanma %23 civarında olmuştur.
- Şebeke bağlantılı sistemlerin gösterimi amacıyla şebekeye bağlı 1,2 kWp gücünde bir FV sistem Yenilenebilir Enerji Kaynakları Parkı'nda işletilmiştir.
- Şebekeye bağlı güneş pili uygulamaları kapsamında YEGM Yerleşkesi'nde inşa edilen ve enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayan (pasif güneş mimarisi, ısı pompası ile ısıtma, güneş pillerinden elektrik üretme, güneş kolektörlerinden sıcak su eldesi) örnek binanın çatısında 5,08 kWp gücünde şebeke bağlantılı güneş pili sistemi kurulmuş ve işletilmektedir. Sistemin günlük enerji üretimi 16 kWh civarındadır.

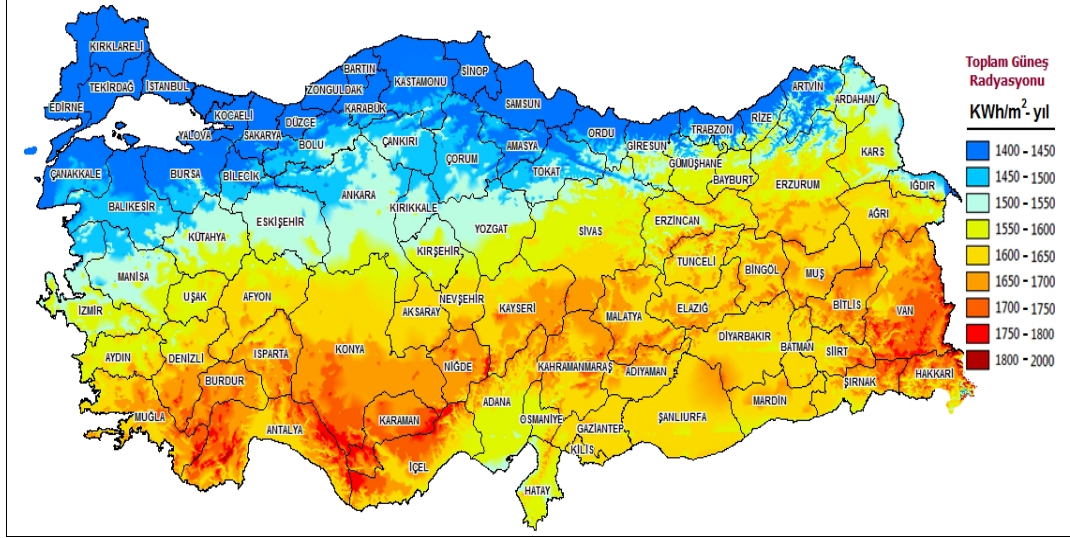
#### **1.1.5. Türkiye'de kurulan ilk güneş evleri**

Güneş enerjisi ile pasif ısıtma sistemlerinin binaların ısıtma yüklerine büyük katkısı olduğu açıktır. Türkiye'de Karadeniz Bölgesi ile Kuzey Doğu Anadolu hariç güneş enerjisinin konutların ısıtılmasına olan büyük katkısı yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Türkiye'de pasif güneş enerji sistemleri konusunda, bazı üniversiteler ve enstitülerde yapılan çalışmalar dışında çok fazla çalışmanın olmadığını söylemek mümkündür. Bu amaçlara bağlı olarak ülkemizde gerçekleştirilen ilk güneş evi uygulamalarından bazıları şöyledir [12];

- Türkiye'de ilk güneş evi 1975 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesinde tesis edilmiştir. Bina 2 katlı olup 96,6 m<sup>2</sup> alana haizdir.
- Çukurova güneş evi 33 m<sup>2</sup> olup, Temmuz 1981'de kurulmuştur.
- Maden Tetkik Arama Enstitüsü güneş evinde güneş hücreleri ile çalışan sistemler mevcuttur. 1981 yılında Marmaris'te 14 kWp tesis edilmiş ve alanı 113,5 m<sup>2</sup>'dir.
- Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Laboratuvarında da 1986 yılında toplam zemin alanı 3000 m<sup>2</sup> olan bir güneş evi bulunmaktadır.

### 1.1.6. Türkiye'nin yararlanılabilir güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça iyi bir konumdadır. 2012 yılında Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nce 1985–2006 yıllarına ait veriler ile hazırlanan, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)

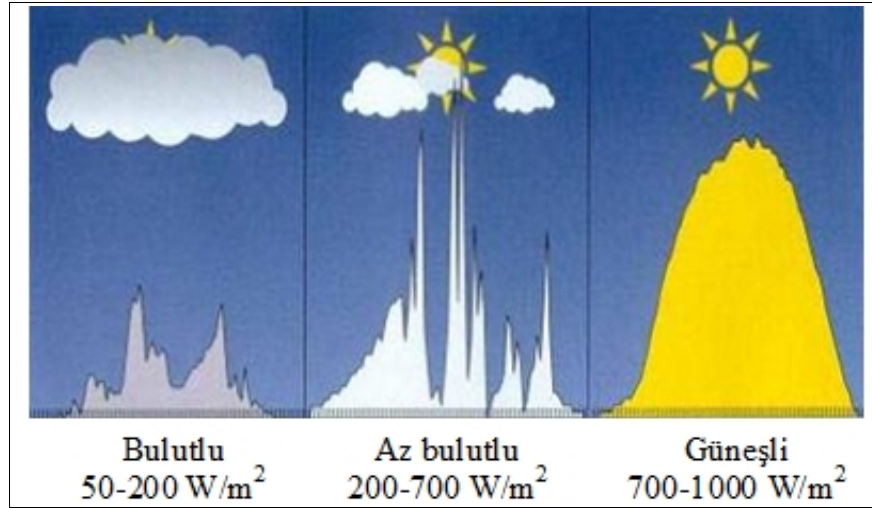
Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün verilerinden derlenen Türkiye güneş ışınımı değerleri ve güneşlenme süreleri ise Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Türkiye güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri

Aylar	Günlük güneş ışınımı değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -gün)	Güneşlenme süresi (saat/ay)
Ocak	1,79	127,41
Şubat	2,5	146,16
Mart	3,87	194,37
Nisan	4,93	223,8
Mayıs	6,14	282,1
Haziran	6,57	324,3
Temmuz	6,5	350,61
Ağustos	5,81	331,7
Eylül	4,81	276,9
Ekim	3,46	212,97
Kasım	2,14	154,5
Aralık	1,59	116,25
Toplam Yıllık	1528	2741
Ortalama	4,18 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,5 saat/gün

Tablo 1.1’de verilen Türkiye güneş ışınımı değerleri ve güneşlenme sürelerine göre yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saattir (günlük yaklaşık 7,5 saat) ve bu toplamda 114 günlük güneşlenme süresine denk gelmektedir. Yıllık toplam güneş ışınımı 1528 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (ortalama günlük 4,18 kWh/m<sup>2</sup>) olarak tespit edilmiştir. 2012 yılında güneş kolektörleri ile yaklaşık olarak 768.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisinin, 2012 yılı için konutlarda kullanım miktarı 500.000 TEP, endüstride kullanım miktarı 268.000 TEP olarak hesaplanmıştır.

Şekil 1.4’te bulutluluk durumuna göre ışınımın değişimi gösterilmiştir.

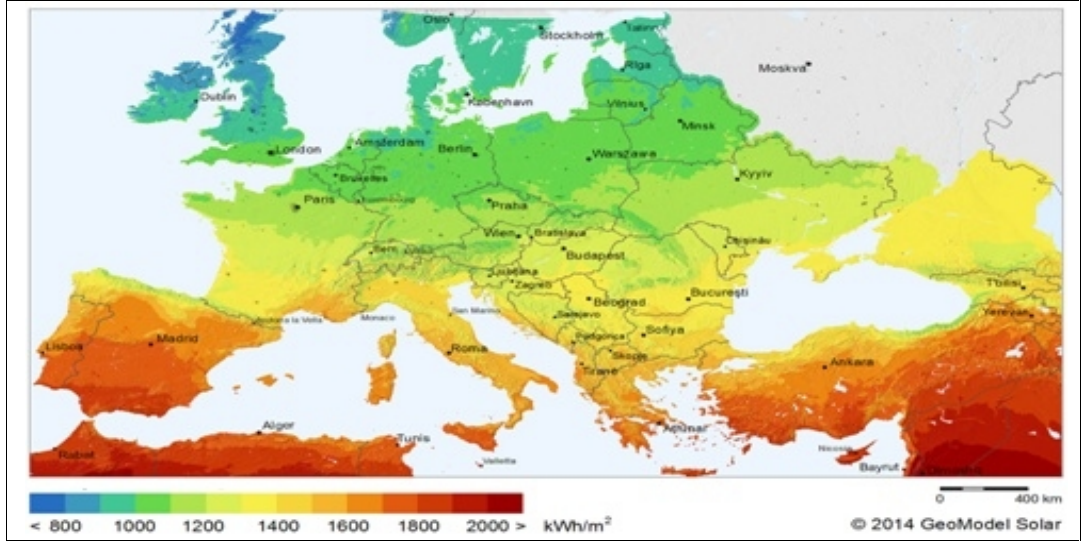


Şekil 1.4. Bulutluluk durumuna göre ışınımın değişimi

Şekil 1.4’te verilen bulutluluk durumuna göre ışınımın değişimi grafiğinde gösterildiği gibi havanın çok bulutlu olduğu günlerde bile az da olsa ışınım olmaktadır. Bulutlu günlerde bile ışığın %80’inin emilmesine rağmen 300 W/m<sup>2</sup> güneş ışınımı mevcuttur.

Gerekli yatırımların yapılmasıyla Türkiye yılda birim m<sup>2</sup>’den yaklaşık olarak ortalama 1300 kWh’lik güneş enerjisi üretebilir. Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli açısından gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında birçok ülkeden öndedir. Güneş’ten Dünya’ya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye’nin yıllık elektrik üretiminin 252 milyon MWh olduğu düşünülürse 1 saniyede Dünya’ya gelen güneş enerjisinin ne kadar büyük bir potansiyel olduğu ortaya çıkmaktadır.

GeoModel Solar tarafından 1994-2010 yılları arasında ölçülen güneş ışınımı verileri kullanılarak 2014 yılında hazırlanan Avrupa küresel yatay ışınım haritası Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Avrupa küresel yatay ışınım haritası

Şekil 1.5'te verilen Avrupa küresel yatay ışınım haritası incelendiğinde, güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye, İspanya ve Portekiz ile beraber Avrupa'nın en önemli güneş potansiyeline sahip ülkesi konumundadır.

Tablo 1.2'de 2015 yılı itibariyle Dünya'da bazı ülkelerin ve toplulukların sahip olduğu fotovoltaik kapasiteler verilmiştir. Şekil 1.5'te gösterilen Türkiye'nin sahip olduğu çok önemli güneş enerjisi potansiyeline rağmen Tablo 1.2'deki veriler incelendiğinde bu değerli potansiyelden çok az yararlanıldığı görülmektedir.

Tablo 1.2. Dünya'da kurulu bazı fotovoltaik kapasiteler

Avrupa Birliği	87723 MW
Almanya	39250 MW
Çin	35780 MW
Japonya	23300 MW
İtalya	18460 MW
A.B.D.	18280 MW
Fransa	5660 MW
İspanya	5358 MW
Birleşik Krallık	5104 MW
Avustralya	4136 MW
Belçika	3074 MW
Türkiye	203,1 MW

### 1.1.7. Bazı illerin güneş ışınımı değerleri

Güneş enerjisi potansiyeli güneş ışınımı (güneşlenme) değişkeniyle ifade edilir. Bu değişkenin birimi kWh/m<sup>2</sup>-gün şeklinde verilir. Bunun anlamı 1 m<sup>2</sup> alana düşen günlük ortalama güneş enerjisi miktarıdır. Güneş ışınımı miktarı, hem günlerin daha uzun olmasından hem de güneş ışıklarının daha dik olmasından dolayı yaz aylarında en yüksek değerine ulaşır. Ülkemizde kuzeyden güneye gidildikçe güneş ışınım ortalama değeri artar.

Paneller yere eğimli bir şekilde monte edilirse, birim yüzeye düşen güneş ışınımı artmaktadır. Solar FV paneller ve yüzey arasındaki eğim için en uygun açılar, İstanbul ve Ankara'da 30°, Muğla'da 33° derece olarak belirlenmiştir. Bu 3 ilimiz için belirlenen en uygun açılardaki güneş ışınım değerleri Tablo 1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3. Bazı illerin aylara göre m<sup>2</sup>'ye düşen güneş enerjisi miktarı

Aylar	İstanbul	Ankara	Muğla
	30° ışınım (kWh/m <sup>2</sup> -gün)	30° ışınım (kWh/m <sup>2</sup> -gün)	33° ışınım (kWh/m <sup>2</sup> -gün)
Ocak	2,53	3,23	3,64
Şubat	3,27	3,91	4,29
Mart	4,31	4,86	5,21
Nisan	5,1	5,10	5,55
Mayıs	6,12	5,86	6,32
Haziran	6,76	6,43	7,01
Temmuz	6,97	6,8	7,12
Ağustos	6,61	6,4	6,94
Eylül	5,82	5,84	6,5
Ekim	4,07	4,51	5,28
Kasım	2,81	3,53	3,94
Aralık	2,09	2,7	3,16
Ortalama	4,71	4,94	5,42

Tablo 1.3'teki değerler Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi tarafından RETScreen programı için derlediği "saha referans koşullarından" alınmıştır ve güneş ışınım değerleri eğimsiz yüzeyler için verilmiştir. Tablo 1.3'te 3 ilimiz için verilen m<sup>2</sup>'ye düşen günlük enerji değerleri incelendiğinde ülkemizin Kuzey yarım kürede bulunmasından dolayı güneye doğru gidildikçe güneşten yararlanma süresi ve buna bağlı olarak elde edilen enerjinin artmaktadır. Bunun yanında bulutluluk durumu da önemli bir faktördür.

### 1.1.8. Kocaeli ili Güneş potansiyeli

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından tespit edilen Kocaeli ilinde uzun yıllar içinde gerçekleşen sıcaklık ve güneşlenme süresi ortalama değerleri (1950–2014) Tablo 1.4’te verilmiştir [14].

Tablo 1.4. Kocaeli 1950–2014 yılları arası ortalama sıcaklık ve güneşlenme süresi

KOCAELİ	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)
AY				
Ocak	6,3	9,7	3,3	2,3
Şubat	6,7	10,7	3,5	3,0
Mart	8,6	13,2	4,9	4,6
Nisan	13,1	18,5	8,9	5,3
Mayıs	17,5	23,2	12,9	7,2
Haziran	21,7	27,5	16,8	8,6
Temmuz	23,7	29,5	19,1	9,3
Ağustos	23,7	29,6	19,2	9,6
Eylül	20,4	26,2	16,1	7,1
Ekim	16,0	20,8	12,5	4,5
Kasım	11,9	16,2	8,6	3,4
Aralık	8,5	11,9	5,6	2,3

Güneş panelleri kuzey-güney doğrultusunda güneye bakan bir açıda konumlandırılır. Sabit tip paneller, kullanıldığı bölgenin coğrafik konumuna göre değişen eğim açlarına göre yerleştirilir. Bölgenin enlemlerine göre belirlenen optimum eğim açılarında sıklıkla yaz modu, kış modu ve yıllık mod olarak 3 değer kullanılmaktadır.

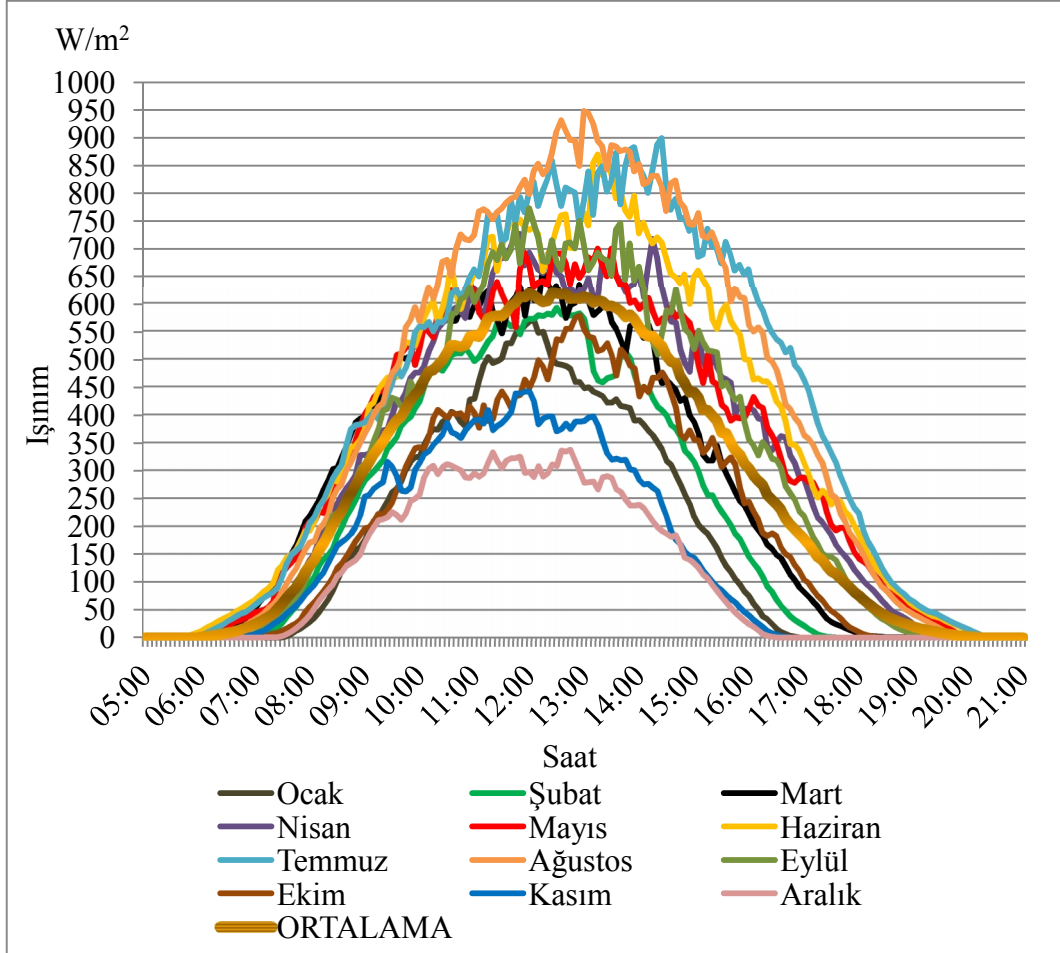
Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi 40°49'17.40" Kuzey enlemi, 29°55'23.19" Doğu boylamında yer almaktadır. Dereceden ondalığa dönüşüm yapıldığında enlem ve boylam değerleri Tablo 1.5’te verildiği gibidir. Paneller Mühendislik Fakültesi (B) çatısında 405 metre rakımda ve güney yönünde konumlandırılmıştır.

Tablo 1.5’te Kocaeli ilinde sabit olarak konumlandırılacak güneş panelleri için mevsimlere göre optimum eğim açıları verilmiştir.

Tablo 1.5. Sabit güneş paneli için mevsimsel optimum eğim açıları

İl	Enlem (K)	Boylam (D)	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Yıllık değer
Kocaeli	40°82’	29°92’	32°18’	21°66’	49°78’	59°90’	36°79’

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde 2014 yılında ölçülen aylık ışınlam ortalamalarının ve yıllık ışınlam ortalamasının gün içerisindeki değerleri Şekil 1.6'da verilmiştir.

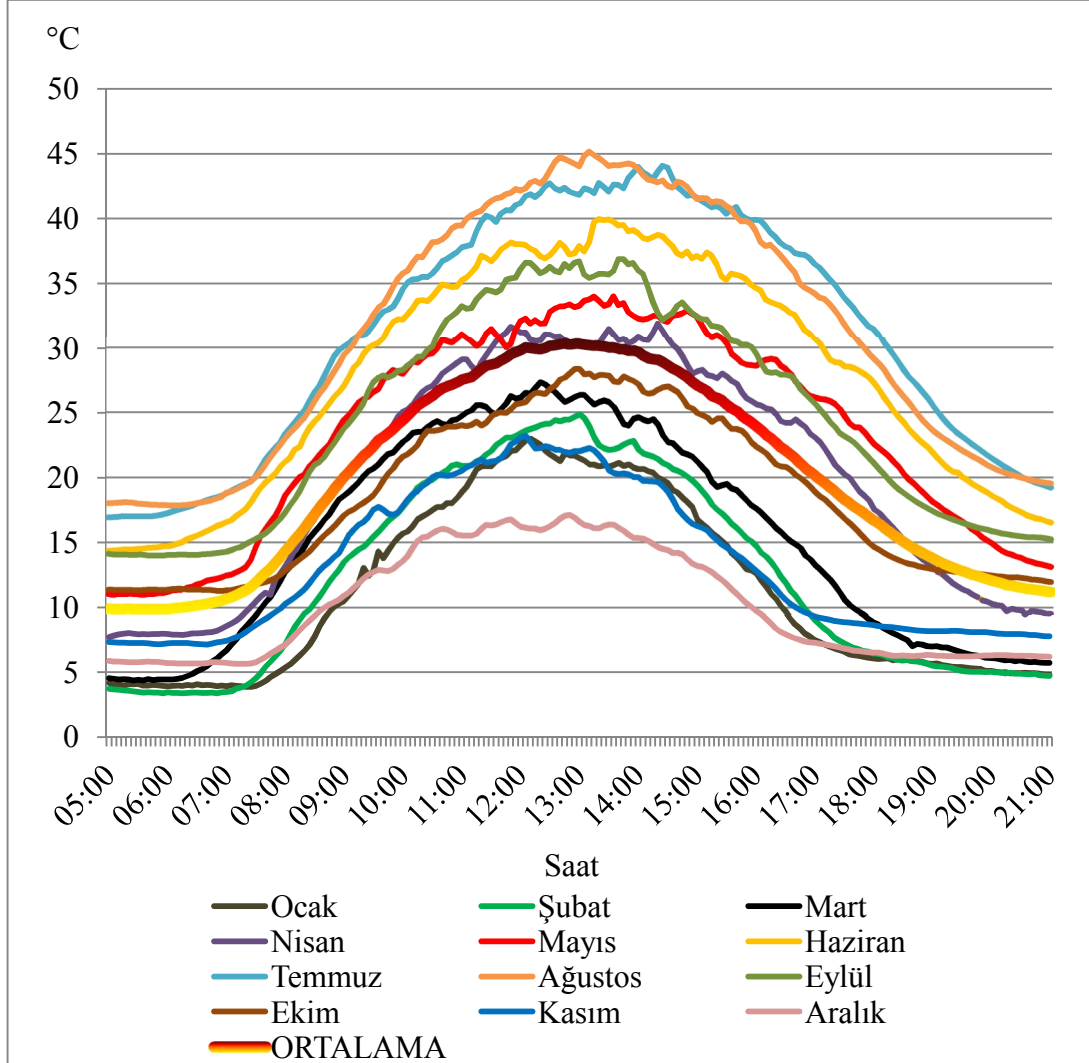


Şekil 1.6. 2014 yılında ölçülen aylık ışınlam ortalamalarının ve yıllık ışınlam ortalamasının gün içerisindeki değerleri

Şekil 1.6'da verilen Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde ölçülen 2014 yılı ışınlam değerlerine göre gün içerisinde ulaşılan en yüksek güneş ışınlamı Ağustos ayında  $948 \text{ W/m}^2$  ile saat 13.00'te gerçekleşmiştir. 12 ayın en düşük güneş ışınlamının gerçekleştiği Aralık ayında gün içerisinde ulaşılan en yüksek ışınlam değeri ise  $337 \text{ W/m}^2$  ile saat 12.40'ta gerçekleşmiştir.

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde güneş ışınlamı  $1550 \text{ kWh/m}^2$ -yıllık olarak gerçekleşmiştir. 2014 yılının güneş ışınlam ortalamasının gün içerisindeki değerleri incelendiğinde en yüksek güneş ışınlamının saat 12.25'te  $619,34 \text{ W/m}^2$  ile gerçekleştiği görülmektedir.

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde konumlandırılan poli kristal P 60 tipindeki güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından 2014 yılında ölçülen aylık sıcaklık ortalamalarının ve yıllık sıcaklık ortalamasının gün içerisindeki değerleri Şekil 1.7'de verilmiştir.

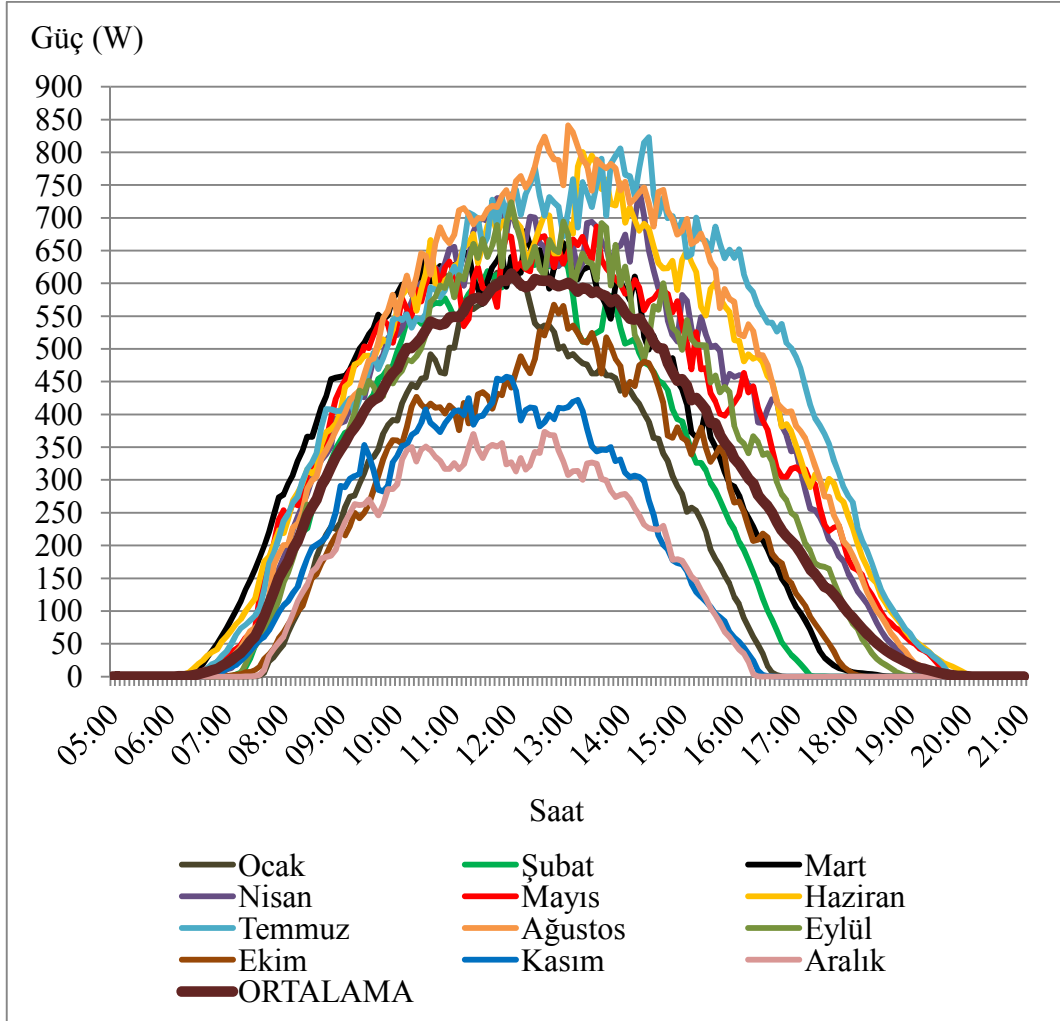


Şekil 1.7. Poli kristal P 60 tipindeki güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından 2014 yılında ölçülen aylık sıcaklık ortalamalarının ve yıllık sıcaklık ortalamasının gün içerisindeki değerleri

Şekil 1.7'de verilen poli kristal P 60 tipindeki güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından 2014 yılında ölçülen aylık sıcaklık ortalamalarının ve yıllık sıcaklık ortalamasının gün içerisindeki değerleri göre ulaşılan en yüksek sıcaklık Ağustos ayında 45,15 °C ile saat 13.10'da gerçekleşmiştir.



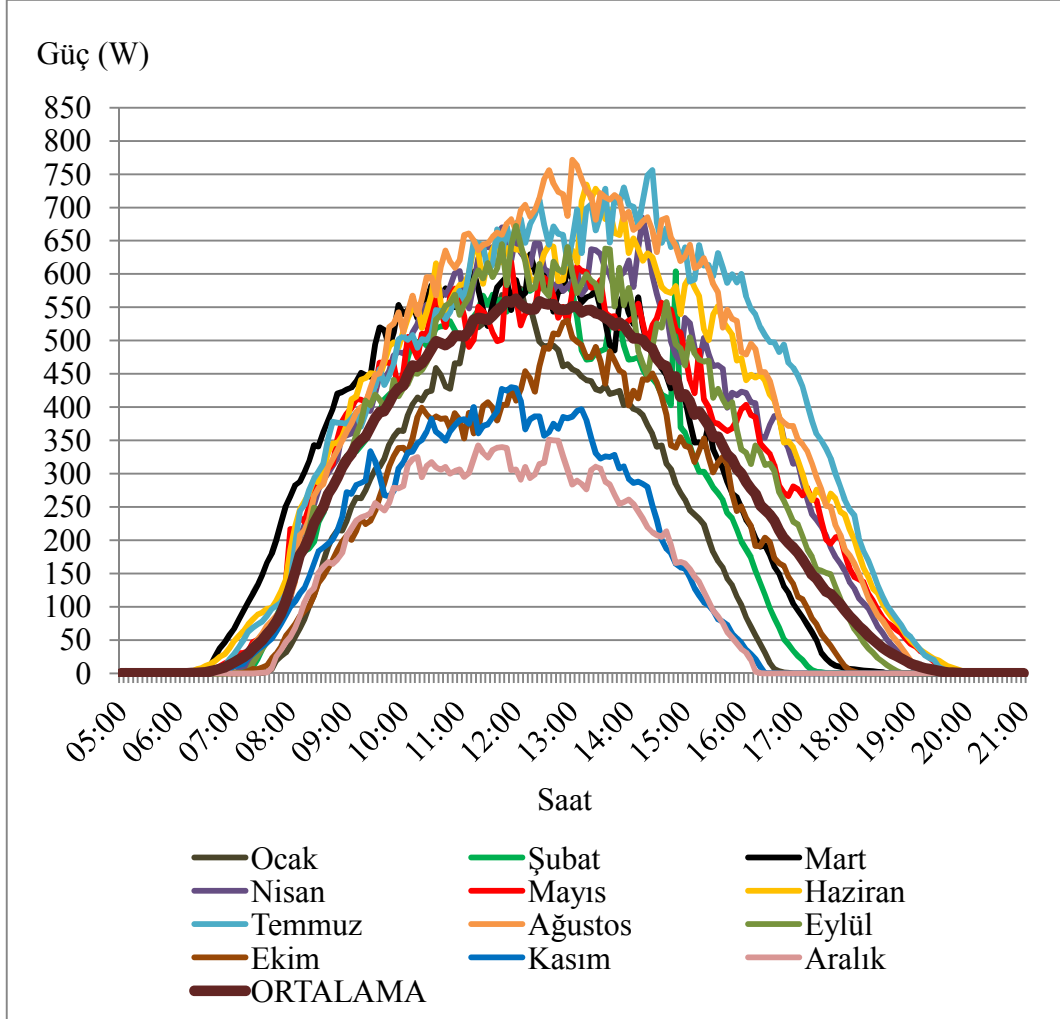
Poli kristal P 60 tipindeki güneş panellerinden oluşan toplam kurulu gücü 1250 Watt olan FV sistem ile Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde 2014 yılında ulaşılan aylık güç ortalamalarının ve yıllık güç ortalamasının gün içerisindeki değerleri Şekil 1.8'de verilmiştir.



Şekil 1.8. 1250 W poli kristal (P 60) tipindeki FV sisteme ait 2014 yılı ay ve tüm yıl güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri

Şekil 1.8'de verilen poli kristal P 60 tipindeki güneş panellerinden oluşan toplam kurulu gücü 1250 Watt olan FV sisteme ait 2014 yılındaki aylık güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri grafiği incelendiğinde ulaşılan en yüksek güç değeri olan 841,27 W Ağustos ayında saat 13.00'da gerçekleşmiştir. 1250 Watt kurulu güçteki poli kristal P 60 tipindeki güneş paneli sistemine ait 2014 yılının güç ortalamasının günün içerisindeki dağılımına göre saat 11.50'de 604,49 W ile günün en yüksek değerine ulaşılmıştır (yaz-kış saatleri uygulanmıştır).

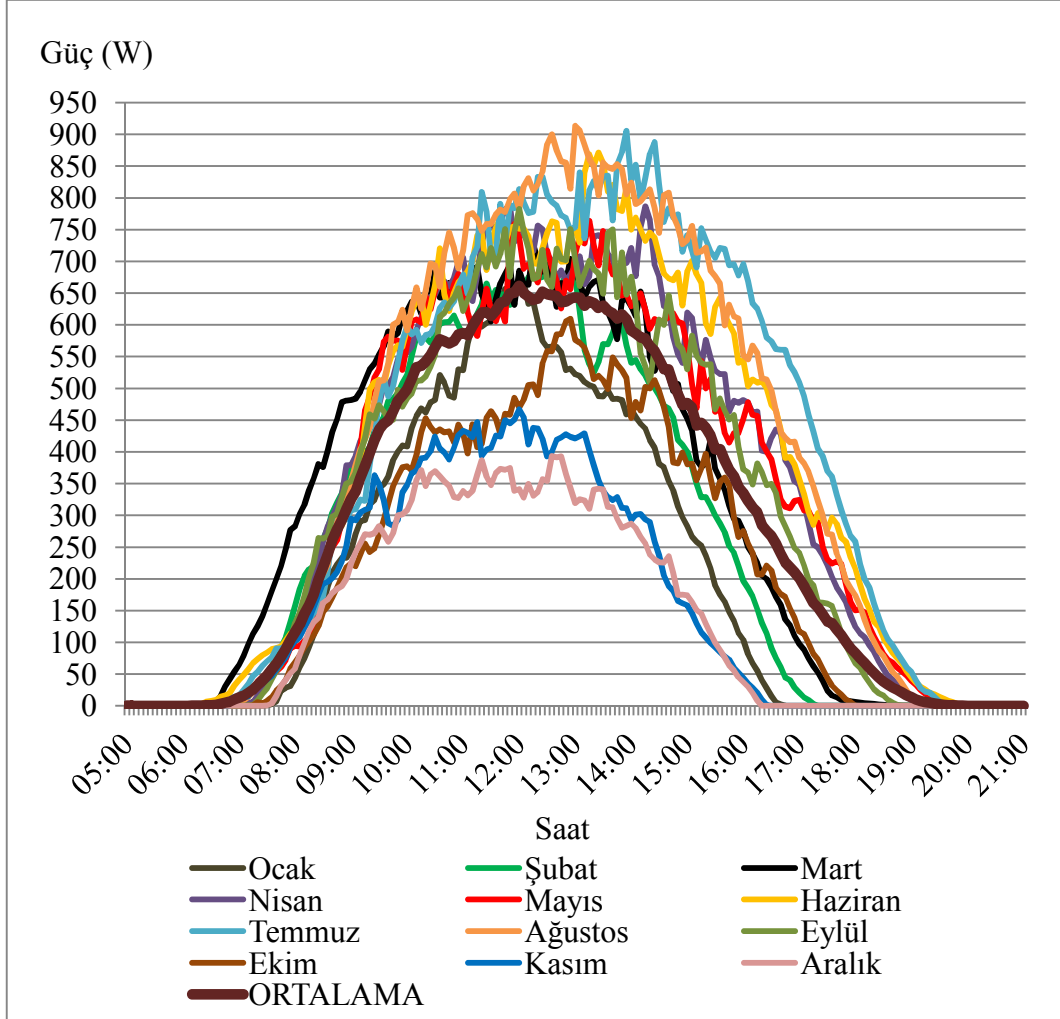
Mono kristal M 48 tipindeki güneş panellerinden oluşan toplam kurulu gücü 1170 Watt olan FV sistem ile Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde 2014 yılında ulaşılan aylık güç ortalamalarının ve yıllık güç ortalamasının gün içerisindeki değerleri Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9. 1170 W mono kristal (M 48) tipindeki FV sisteme ait 2014 yılı ay ve tüm yıl güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri

Şekil 1.9'da verilen mono kristal M 48 tipindeki güneş panellerinden oluşan toplam kurulu gücü 1170 Watt olan FV sisteme ait 2014 yılındaki aylık güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri grafiği incelendiğinde ulaşılan en yüksek güç değeri olan 771,28 W Ağustos ayında saat 13.00'da gerçekleşmiştir. 1170 Watt kurulu güçteki mono kristal M 48 tipindeki güneş paneli sistemine ait 2014 yılının güç ortalamasının günün içerisindeki dağılımına göre saat 11.50'de 559,31 W ile günün en yüksek değerine ulaşılmıştır (yaz-kış saatleri uygulanmıştır).

İnce-film tipindeki güneş panellerinden oluşan toplam kurulu gücü 1200 Watt olan FV sistem ile Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde 2014 yılında ulaşılan aylık güç ortalamalarının ve yıllık güç ortalamasının gün içerisindeki değerleri Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. 1200 W ince-film tipindeki FV sisteme ait 2014 yılı ay ve tüm yıl güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri

Şekil 1.10'da verilen ince-film tipindeki güneş panellerinden oluşan toplam kurulu gücü 1200 Watt olan FV sisteme ait 2014 yılındaki aylık güç ortalamalarının gün içerisindeki değerleri grafiği incelendiğinde ulaşılan en yüksek güç değeri olan 913,48 W Ağustos ayında saat 13.00'da gerçekleşmiştir. 1200 Watt kurulu güçteki ince-film tipindeki güneş paneli sistemine ait 2014 yılının güç ortalamasının günün içerisindeki dağılımına göre saat 11.50'de 675,66 W ile günün en yüksek değerine ulaşılmıştır (yaz-kış saatleri uygulanmıştır).

## 1.2. Rüzgar

Fiziksel olarak rüzgar, sıcak hava ile soğuk havanın yer değiştirmesinden oluşur. Isınan hava genişlerken hacmi artar ve yukarıya doğru yükselir. Diğer taraftan soğuk hava sıcak havanın yerini almak için harekete geçer bu da rüzgarı oluşturur. Oluşan bu hava hareketinden rüzgâr türbinleri yardımıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir.

Güneş ışınları, yeryüzünde farklı sıcaklık, basınç ve nem oluşturur. Bu oluşumdan dolayı rüzgâr enerjisi meydana gelir. Yani güneş enerjisinin dolaylı bir ürünüdür. Güneş, Dünya'ya saatte  $10^{18}$  Watt enerji gönderir ve bunun %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşür. Rüzgâr oluşumuna bir diğer etken de; Coriolis kuvvetidir. Dünya kendi etrafında yaklaşık olarak 1609 km/saat hız ile dönmektedir. Bu dönme hareketi Dünya etrafındaki hava ve suyun hareketini etkilemektedir. Bu saptırma etkisi, mucidi Gaspard Coriolis nedeniyle Coriolis etkisi olarak adlandırılmıştır.

Yeryüzü şekillerinin rüzgar oluşumuna ve hızına etkisi vardır. Adalar ve kıyılarda rüzgâr daima fazladır. Bunun sebepleri ise kara ve denizin farklı ısınması ile su yüzeyindeki pürüzlülüğün daha az olmasıdır.

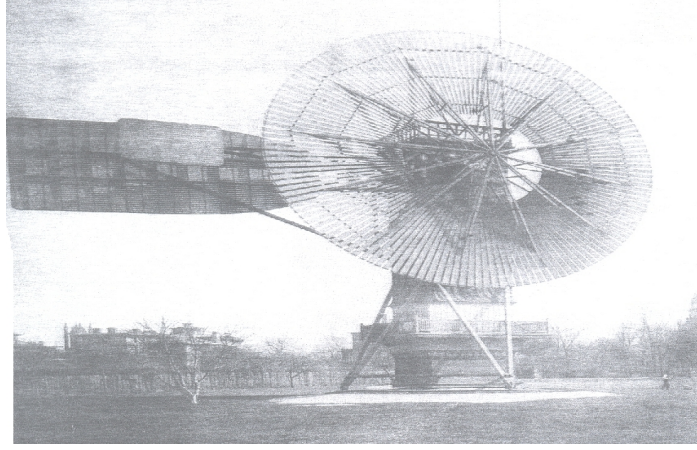
### 1.2.1. Rüzgardan üretilen elektrik enerjisinin tarihçesi

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi milattan önce 200 yıllarında Babil ve milattan sonra 10 yıllarında İran-Afganistan ile başlamıştır. Özellikle 19. yüzyılın sonlarına doğru modern anlamda çalışmalar hız kazanmıştır.

1887 Haziran ayında İskoç Akademisyen Profesör James Blyth rüzgâr gücü deneylerine başlamış ve 1891'de İngiltere'de patent almıştır.

1887–1888 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri'nde, Charles Francis Brush rüzgâr güç makinesi kullanarak elektrik üretmiştir. 1900 yılına kadar evinin ve laboratuvarının elektriğini sağlamıştır. Şekil 1.11'de Dünya'nın ilk rüzgar santrali olarak kabul edilen tarihi Brush türbini gösterilmiştir.

Brush türbinin rotor çapı 17 metre, kanat sayısı ise 144 adettir. Türbinin jeneratörü 12 kW elektrik üretmektedir. Tek dezavantajı ise türbinin yavaş dönmesiyle düşük verime sahip olmasıdır.



Şekil 1.11. Tarihi Brush türbini

1890’larda Danimarkalı bilim adamı ve mucit Poul la Cour elektrik üretmek için rüzgar türbinlerini inşa etmiştir. Paul la Cour 1891–1918 yılları arasında 100’den fazla 20–35 kW güç aralığında türbin tasarlamıştır. Tasarımları en son nesil Danimarka yel değirmenlerini esas almaktadır. Bu çalışmalarıyla bilime yaptığı en önemli katkı, elektrikle hidrojen üretilip bunu kullanmayı başarmaktır.

20. yüzyılın başlarında ABD’de binlerce rüzgâr türbini üretilmiştir. Bu türbinlerde yüksek hızda dönen ve jeneratörü çalıştıran 2 veya 3 ince pervane vardır. Bu türbinler çiftliklere elektrik sağlamakta, radyo alıcılarını çalıştırmakta, depolama ünitesi olarak kullanılan bataryaları doldurmakta ve aydınlatmada kullanılmıştır. 1950’li yıllar ile beraber ulusal elektrik şebekelerinin yaygınlaşması ve düzenleme ile ilgili yasalarının çıkarılmasıyla rüzgar türbinlerinin üretimi duraklama dönemine girmiştir.

Modern rüzgar güç üretimi endüstriyel olarak 1979’da, Danimarkalı Kuriant, Vestas, Nordtank ve Bonus şirketlerinin rüzgar türbinlerini seri üretmesiyle başlamıştır. Bu rüzgar türbinleri bugünkü standartlardan küçük ve her biri 20–30 kW gücündedir. Daha sonra kapasitelerini 7 MW yaparak birçok ülkeye yayılmışlardır.

1973 OPEC petrol ambargosunu sonrası enerji fiyatlarındaki artış ve geleneksel enerji kaynaklarının sınırlılığı rüzgar enerjisine olan ilgiyi tekrar arttırmıştır. Rüzgâr sistemleri için yeni bir pazar olarak “rüzgar tarlaları” 1980 başlarında oluşturulmaya başlamıştır. Günümüzde ise bazı büyük firmalar dev projeler başlatarak rüzgâr enerjisinin AB’deki oranını hızla arttırma yoluna gitmektedir.

ABD, Danimarka, Hollanda, İngiltere ve İsveç'in katkıları sonucunda, deniz üstünde, kıyıda uzakta rüzgar santralleri kurulmuştur. Günümüzde şamandıra üzerine yerleştirilen rüzgar türbinleri de vardır.

### **1.2.2. Türkiye'de rüzgardan üretilen elektrik enerjisinin tarihçesi**

Ülkemizde rüzgar enerjisi ile ilgili çalışmaların başlangıç tarihi çok eskilere dayanmamaktadır. Bu konudaki çalışmaları başlatan ilk kurum 1980'li yılların ortalarında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) olmuştur. EİE'nin başlangıç çalışmaları rüzgar potansiyelini tespit amacıyla gerçekleştirilen etüt faaliyetleri olmuştur. Bu dönemde rüzgar enerjisini konu alan herhangi bir kanuni düzenleme bulunmamaktadır [15].

1995 yılından başlayarak bazı küçük uygulamalar Yap-İşlet-Devret modeliyle gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de ilk rüzgar enerji santrali 1998 yılında Alaçatı'nın Germiyan köyünde otoprodüktör lisansı ile bir özel sermaye tarafından 1,5 MW kurulu güçte 3x500 kW güçteki türbinler ile kurulmuştur [15].

İkinci rüzgar enerji santrali, 1998 yılında Çeşme Alaçatı'da otoprodüktör lisansı ile bir özel sermaye tarafından 7,2 MW kurulu güçte 12x600 kW güçteki türbinler ile kurulmuştur [15].

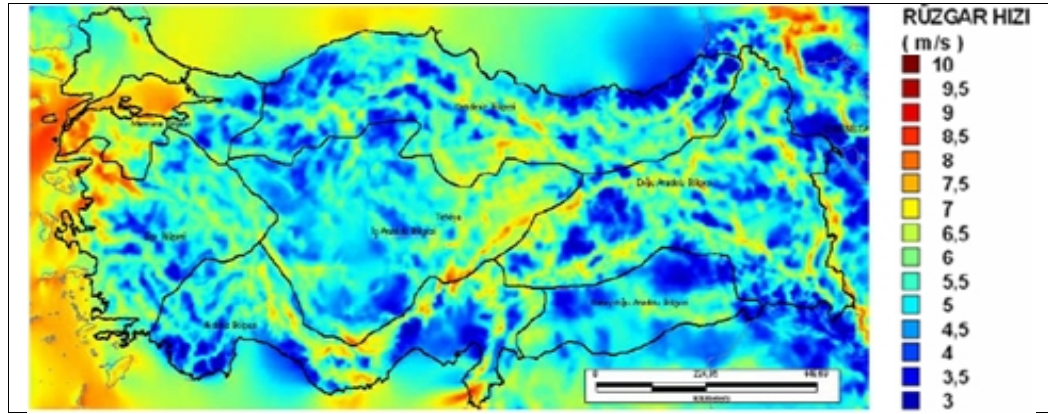
Üçüncü rüzgar enerji santrali, 2000 yılında Çanakkale-Bozcaada'da otoprodüktör lisansı ile bir özel sermaye tarafından 10,2 MW kurulu güçte 17x600 kW güçteki türbinler ile kurulmuştur [15].

Türkiye'de rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının konu edildiği ilk kanun 2001 yılında Elektrik Piyasası Kanunu'dur. Rüzgar enerjisine verilen resmi önemin kanıtı olarak ilk ciddi girişim ise ancak 2005'te yenilenebilir enerji kaynakları kanunu ile olmuştur. Bu kanunun sonrasında Bandırma, Çeşme, Hatay, Manisa, Çanakkale'de 150 MW gücündeki santraller kurulmuştur [15].

Türkiye, rüzgar potansiyeli yüksek ülkeler arasındadır. Avrupa Parlamentosu'nun belirlediği rüzgar endeksinde Danimarka 100, İngiltere 2800 ve Türkiye 2000 birim üzerinden ölçüklendirilmiştir.

### 1.2.3. Türkiye'nin rüzgardan yararlanma potansiyeli

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre ekonomik rüzgar enerjisi santrali yatırımı için 50 metre yükseklikte en az 7 m/s rüzgar hızı gerekmektedir. Şekil 1.12'de YEGM verileri ile hazırlanan Türkiye 50 metre yükseklikteki ortalama rüzgar hızlarını gösteren Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), ülkemizin rüzgar potansiyeli açısından oldukça şanslı olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.12. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)

Devlet Meteoroloji İşleri istasyonlarının rüzgar verileri değerlendirildiğinde, Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgar hızının 10 metre yükseklikte 2,54 m/s ve rüzgar gücü yoğunluğunun 24 W/m<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir. Tablo 1.6'da bölgelere göre ortalama rüzgar gücü yoğunlukları verilmiştir.

Tablo 1.6. Bölgelere göre ortalama rüzgar gücü yoğunlukları

Bölge adı	Ortalama Yıllık Rüzgar Hızı (m/s)	Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )
Akdeniz	2,5	21,36
İç Anadolu	2,5	20,14
Ege	2,6	23,47
Karadeniz	2,4	21,31
Doğu Anadolu	2,1	13,19
Güneydoğu Anadolu	2,7	29,33
Marmara	3,3	51,91

Tablo 1.6'daki veriler ışığında Marmara bölgesinde rüzgar hızı 3 m/s'yi aştığı ve rüzgar güç yoğunluğu 51,91 W/m<sup>2</sup> olduğundan rüzgar gücü üretimi için uygundur. Ayrıca yaz aylarında rüzgar hız değerlerinde artış olmaktadır.

#### 1.2.4. Kocaeli ili rüzgar potansiyeli

Kocaeli ili, Marmara Bölgesi'nin Çatalca-Kocaeli Bölümü'nde, 29°22'-30°21' doğu boylamı, 40°31'-41°13' kuzey enlemi arasında yer almaktadır. Doğu ve güneydoğuda Sakarya, güneyde Bursa illeri, batıda Yalova ili, İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve İstanbul ili, kuzeyde de Karadeniz ile çevrilidir. Kocaeli ili 3505 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahiptir. Kocaeli ili fiziki haritası Şekil 1.13'te verilmiştir.



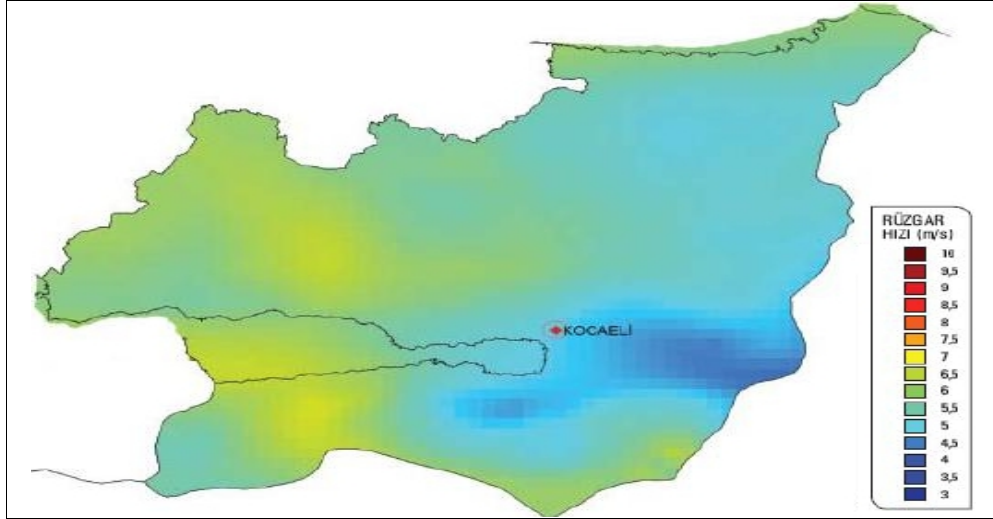
Şekil 1.13. Kocaeli ili fiziki haritası

Kocaeli'de körfez kıyılarıyla Karadeniz kıyısında ılıman, dağlık kesimlerde daha sert bir iklim hüküm sürer. Kocaeli ikliminin, Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasında bir geçiş oluşturduğu söylenebilir. İl merkezinde yazlar sıcak ve az yağışlı, kışlar yağışlı, zaman zaman karlı ve soğuk geçer. Kocaeli'nin Karadeniz'e bakan kıyıları ile İzmit Körfezi'ne bakan kıyılarının iklimi arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır.

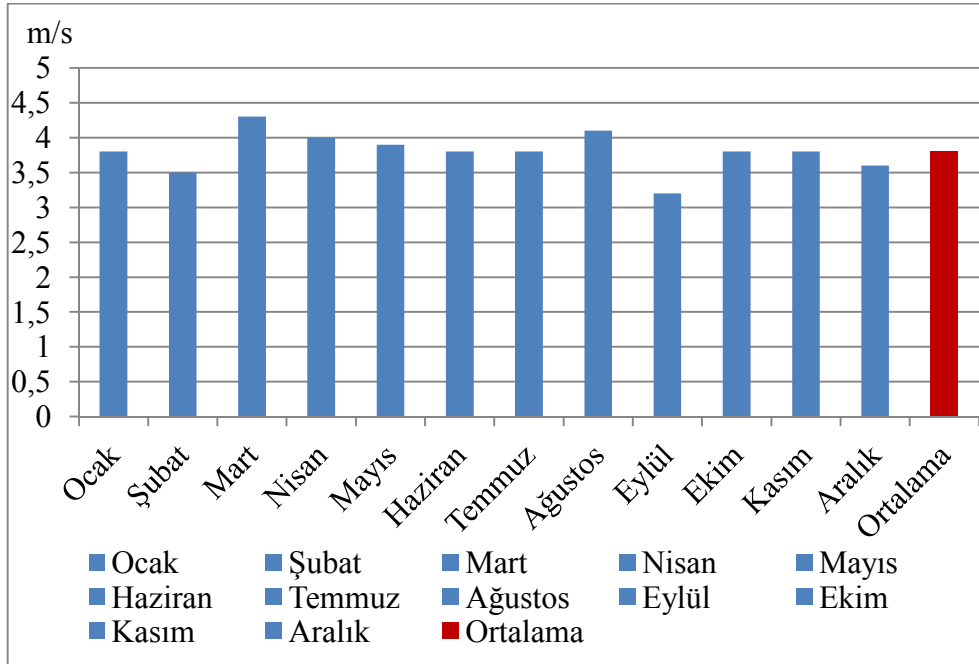
Rüzgar hızı; yakınındaki engelden, çevre arazisinin pürüzlülüğünden ve arazi eğiminden şiddetle etkilenmektedir. Yapılan meteorolojik ölçümler, yerel koşullar dikkate alınarak değerlendirilmedikçe, rüzgar çiftliği için rüzgar koşullarını belirlemek son derece zor olmaktadır.



Kocaeli ili için REPA verilerinden belirlenen 50 metre yükseklikteki rüzgar hızı değerlerinin dağılımı Şekil 1.14'te ve Kocaeli için aylık ve yıllık ortalama rüzgar hızları ise m/s olarak Şekil 1.15'te gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Kocaeli ili 50 metre yükseklikteki rüzgar hız dağılımı



Şekil 1.15. Kocaeli ili 10 metre yükseklikteki ortalama rüzgar hızları

Şekil 1.15'teki verilere göre Kocaeli bölgesine ait aylık ortalama rüzgar hızları, ilk enerji üretme hızı için yeterlidir. 10 metre yükseklik için ilk enerji üretme (cut-in) rüzgar hızı 3,5-5 m/s ve sistemi durdurma (cut-out) hızı 25 m/s civarındadır. Bu değerlere göre Kocaeli bölgesi rüzgar çiftliği kurulması açısından elverişlidir.

## 2. FOTOVOLTAİK ETKİ VE GÜNEŞ HÜCRESİ

Birinci bölümde verilen ülkemiz ve Kocaeli ili için güneş verileri incelendiğinde ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin oldukça iyi durumda olduğunu görülmektedir. Güneş hem termal hem de elektrik üretiminde değerli bir kaynaktır. Bu değerli kaynaktan elektrik elde edilmesi ise güneş hücrelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan güneş panelleri vesilesiyle olmaktadır. Bu bölümde güneş hücrelerinin yapısı ve çeşitleri hakkında bilgi verilecektir.

### 2.1. Fotovoltaik Etki

Fotovoltaik (FV) sistemler, ışık enerjisini elektrik enerjisine çevirmektedir. Burada "Foto" Yunanca'daki karşılığı olan "phos" ışık anlamındayken, "volt" ise 1745–1827 yılları arasında yaşamış ve elektrik alanında öncü bir bilim adamı olan Alessandro Volta'dan gelir. "Foto-voltaik" kelimesi ise "ışık-elektriği" anlamına gelmektedir.

1839 yılında Becquerel, elektrolit işleminde kullanılan elektrotların birine direkt ışık düşürüldüğünde gerilim oluşturduğunu keşfetmiştir. Diğer birçok bilim adamı aynı etkiyi diğer materyalleri kullanarak gözlemlemiştir. 1954 yılında Ruslar, 1959 yılında Amerikalılar, iletişim cihazlarına enerji sağlamak için uydu fırlatmışlardır. Fotovoltaik hücrelerin keşfi ve gelişimi uzay araştırma yarışının sonucudur.

Güneş hücresi, hiçbir hareketli parça olmadan gün ışığını doğru akıma dönüştüren bir sistemdir. Bu yolla elde edilen enerji temizdir ve herhangi bir zararlı atığa sahip değildir. Güneş hücreleri çoğunlukla Dünya'da en fazla bulunan ikinci element olan silisyumdan yapılır ve 20 yılın üstünde bir ömre sahiptir. 1973 yılında alternatif enerji ihtiyacı da fotovoltaik endüstrisi üzerine büyük bir ilgi geliştirmiştir. Toplam kurulu güç 1978'de 1 MW, 1988'de 40 MW iken 2015 yılında yaklaşık 238 GW kapasiteye ulaşmıştır. Üretim maliyetleri keskin bir şekilde azalırken verimlilik artırılmaktadır. Güneş hücreleri yardımıyla güneş ışığının direkt olarak elektriğe dönüşümü günümüzde, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok umut veren seçenek olarak ortaya çıkmaktadır.

Güneş hücrelerinin temel prensibi olan fotovoltaik etki, güneş ışığını oluşturan fotonların silisyum gibi bir yarı-iletken malzemenin yüzeyine çarparak atomlardan elektronları serbest bırakmalarıyla ortaya çıkar. Malzemeye küçük miktarlarda katılan bileşenler ile bu reaksiyonlar kolaylaştırılır ve hızlandırılır. Bu fiziksel olgu sayesinde 10–15 cm çapında güneş hücresi ile yaklaşık 1 Watt'lık güç üretilir.

Kristalin güneş hücresindeki alt tabaka kısmı, P tipi materyallerden (örneğin; alüminyum, galyum, indiyum) bir tanesi ile kaplanarak yeşil boşlukları oluşturmaları sağlanır. N tipi üst tabaka ise fosfor, arsenik veya antimon gibi gezgin elektronlar yaratan kimyasallarla kaplanır. Buradaki amaç, elektronların üzerine düşen ışığın, bu elektronları P bölgesi olan alt tabakaya doğru harekete geçirmeleridir. Bu elektronlar, güneş hücresindeki çizilen yollardan veya kısa devrelerle bu iki tabakayı birbirinden ayıran bariyer üzerinden hareket edebilirler. Fotovoltaik devre doğru ve düzgün olarak yapılandırılmış ise bu elektronlar devreyi çizilen yollardan tekrar N bölgesine doğru tamamlar ve elektriği bu sayede üretirler.

## **2.2. Güneş Hücresi (Fotovoltaik Pil)**

Güneş hücrelerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik olayına dayanır. Güneş hücreleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren cihazlardır. Hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücrelerinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,1–0,4 mm arasındadır. Bu enerji çevriminde herhangi devingen (hareketli) parça bulunmaz. Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak %5 ile %30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir [11].

Güç çıkışını arttırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş hücresi modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç ihtiyacına göre modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç Watt'tan Mega Watt'lara kadar sistem düzenlenebilir. Güneş hücresinin üzerine ışık düştüğünde iki uç arasında potansiyel fark (gerilim) ortaya çıkar. Ancak, bir güneş hücresinden elde edilebilecek gerilim çok az (0,5-1V) olduğundan, arzulanan gerilime uygun olacak sayıda güneş hücresi seri olarak bağlanır. Seri bağlı hücrelerin oluşturduğu birime FV modül adı verilir.

FV modüller, genellikle güneş hücrelerinin ön yüzeyinde yüksek optiksel geçirgenliğe sahip cam ve arka yüzeylerinde ise EVA (etilen vinil asetat) kullanılarak geçirgenleştirilir. Ayrıca camı korumak ve sistemi daha kullanılabilir, sağlam bir yapıya sokmak için modül, metal çerçeve ile çerçevenir. Modüler yapının kullanım kolaylığı yanında, büyük bir üstünlüğü de, güç gereksinimine uygun olarak değişik boyutlarda FV panelin kurulmasına uygun olmalarıdır.

### **2.3. Güneş Hücrelerinin Tarihsel Gelişimi**

Güneş hücreleri; üzerine güneş ışığı düştüğünde güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Fotovoltaik etkisini ilk kez 1839 yılında Fransız Fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel incelemiş ve elektrolitik içerisine daldırılan elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen güneş ışığına bağımlı olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca takip eden yıllarda bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotlar, fotoğrafçılık alanında kullanılmıştır. Katılarda benzer bir olay selenyum kristalleri üzerinde 1876'da G.W. Adams ve R.E. Day tarafından da gösterilmiştir.

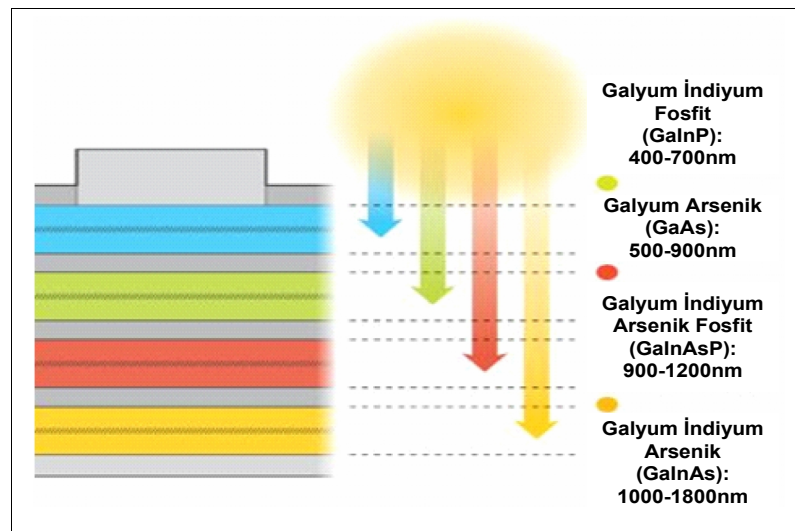
1883 yılında Charless Fritts tarafından ilk güneş hücresi üretilmiştir. Üretilen bu güneş hücresi altın tabakaların yarı-iletken selenyum malzemesi ile kaplanarak yapılmış olup %1'lik verime ulaşabilmiştir. Russell Ohl, 1946 yılında modern güneş hücrelerinin patentini almıştır. 1954 yılında Bell Laboratuvarı'nda yarı-iletken malzemelerle deney yapılırken kazara silisyumun güneş hücreleri için iyi bir malzeme olduğu bulunmuştur. Bu modern güneş gücü teknolojisine ulaşmak için atılmış ilk adım olmuştur.

Rusya 1957 yılında uydu programını başlattı. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1958 yılında yapay uydu programı Peter Iles'in liderliğini yaptığı Hoffman Elektronik tarafından güneş hücrelerinin üretimi ile başlatılmıştır. 1 Ocak 1958'de güneş panelleri, ilk uzay aracı olan Explorer'da kullanılmıştır. Böylece güneş hücrelerinin gelişmesiyle başka büyük gelişmelere de yol açmıştır. Kısacası güneş hücresi üretimi uzay araştırmalarında azımsanmayacak bir etki bırakmıştır.

1970 yılında Sovyet Rusya'dan Zhores Alferov tarafından ilk kez GaAs (galyum-arsenit) katkılı güneş hücreleri üretilmiştir.

Metal organik kimyasal buhar katkı (metal organic chemical vapor deposition) ile üretilen malzemelerinin 1980'lere doğru ancak geliştirilmesine kadar şirketlerin GaAs katkıli güneş hücrelerinin üretimi sınırlıdır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1988 yılında Güneş Enerjisi Uygulamaları Kurumu (ASEC) tarafından %17 verimli tek eklemli GaAs katkıli güneş hücrelerini üretilmiştir. Çift eklemli GaAs katkıli güneş hücreleri ise çok geçmeden 1989 yılında yine aynı kurum tarafından GaAs'in dışında germanyum yarı-iletken malzemesini de kullanarak elde edilmiştir. 1993 yılında Amerika Birleşik Devletleri uzay araçlarında ASEC'in ürettiği çift eklemli, verimi %20 olan güneş hücrelerini kullanırken, AM0 üretimi tek eklemli GaAs katkıli güneş hücrelerinin verimi %19'a ulaşabilmiştir. Uzay araçlarında kullanılan güneş hücreleri GaAs tabanlı olmasına karşın ikinci hücre olarak germanyum katkılidir. Çift eklemli GaAs katkıli güneş hücrelerinin verimi %22'ye ulaşmıştır. AM0 tipi üç eklemli güneş hücrelerinin yaklaşık verimleri 2002'de %26, 2005'te %28, 2007'de %30'a ulaşmıştır.

Almanya'nın Fraunhofer Enstitüsü Güneş Enerji Sistemleri'ndeki araştırmacılar tarafından gelen ışığın %44,7'sini dönüştürebilen güneş hücresi geliştirilmiştir [16]. Araştırmacılar bu güneş hücresinin güneş enerjisi santrallerinde kullanılmak üzere 5,2 mm'lik prototipinin geliştirilmesinin 2-3 yıl alacağı tahmin edilmektedir. En son teknoloji güneş hücresinin yarı-iletken katmanları ile fotonları yakaladığı dalga boyları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. En son geliştirilen güneş hücresinin yarı-iletken katmanları ile fotonları yakalandığı dalga boyları

## **2.4. Türkiye’de Güneş Hücresi Uygulamalarının Tarihçesi**

Türkiye’de bu konudaki çalışmalar 1980’li yıllarda başlamıştır. İlk güneş hücresi ile çalışan ısı pompası Ege Üniversitesi güneş enerjisi laboratuvarında kurulmuştur. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından da 1983 yılından itibaren başlatılan çalışmalar sonucunda ilk güneş hücreleri ile çalışan laboratuvar ölçekli güç santrali, Didim’deki araştırma laboratuvarında 1998 yılı Haziran’ında tesis edilmiştir. 1990’ların sonuna doğru bu yöndeki çalışmalar artarak devam etmiş ve 4 adet güneş hücreleri ile çalışan ve yaklaşık olarak toplam kurulu gücü 50 kWp olan sistemler telekomünikasyon amaçlı olarak Afyonkarahisar, Göcek, Uşak ve Kahramanmaraş’a kurulmuştur [12].

Güneş hücresi uygulamalarına yönelik çalışmalar 02 Kasım 2011 tarihinden itibaren YEGM tarafından yürütülmektedir. Bu çalışmalar; teknoloji takibi, değerlendirilmesi, kaynak ve potansiyel belirlenmesi, kullanım alanlarının araştırılması, geliştirilmesi ve demonstrasyon projelerinin gerçekleştirilmesi yer almaktadır.

Güneş hücresi uygulamalarına ilk örneklerden biri Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde toplam kapasitesi 100 kWp kurulu güce erişmiş olan FV güç ünitesi Berke Barajı’nda bazı ünitelerin ilk enerji taleplerini karşılamak için kurulmuştur [12].

Güneş hücrelerinin uygulanmasına yönelik özel sektör çalışmaları devam etmektedir. Ayrıca güneş hücresi ile çalışan araçlar, aydınlatmalar ve trafik ışıkları şeklinde de uygulamalar mevcuttur.

Ülkemiz coğrafi konumu nedeni ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi yönünden oldukça şanslıdır. Ortalama olarak güneşten sağlanan enerji, yıllık  $36 \times 10^6$  taş kömürüne eşdeğer enerji sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Yılda 2741 saat güneş ışını alan ülkemizde, günlük ortalama güneş enerjisi miktarı  $4,18 \text{ kWh/m}^2$ -gün civarındadır.

## **2.5. Maddenin Yapısı ve Yarı-iletkenler**

Maddeler atomlardan oluşur. Atomlarda elektronlar, protonlar ve nötronlar vardır. Elektronlar atomun yörüngesinde belirli enerji düzeylerinde (orbital) bulunur. Atomların birbirleriyle olan tüm bağlantılar elektronları tarafından gerçekleştirilir.

Atomlar arasındaki bu bağlantıları gerçekleştiren elektronlar atomun son yörüngesinde bulunur. Atomun son yörüngesinde bulunan bu elektronlara “valans (denge) elektronları” denir. Bu bağlantı elektron alıp verme ya da elektron ortaklaşması sonucu kurulabilir. Dışarıdan herhangi bir etki olmadığı sürece atomlar kararlı durumlarını korumak ister. Fakat dışarıdan yapılacak uyarma ile elektronlar buldukları enerji seviyesinden bir üst enerji seviyesine çıkarılabilirler. Bir üst enerji seviyesine çıkan elektronun hem kinetik hem de potansiyel enerjisi artmıştır. Bu özellik aynı zamanda o maddeye iletkenlik özelliği de kazandırır. Elektron geri dönüşte yani bir alt enerji seviyesine geçişte fazla olan enerjiyi vererek iner. Bu enerji ısı veya ışık şeklinde olmaktadır. Valans (denge) elektronu bir alt enerji seviyesine inmeyip, başka bir atomun yörüngesine katılarak da kovalent bağ oluşturabilir. Diğer bir olasılık ise elektronun başka bir atoma geçerek ayrıldığı atomu pozitif iyon haline getirmesidir.

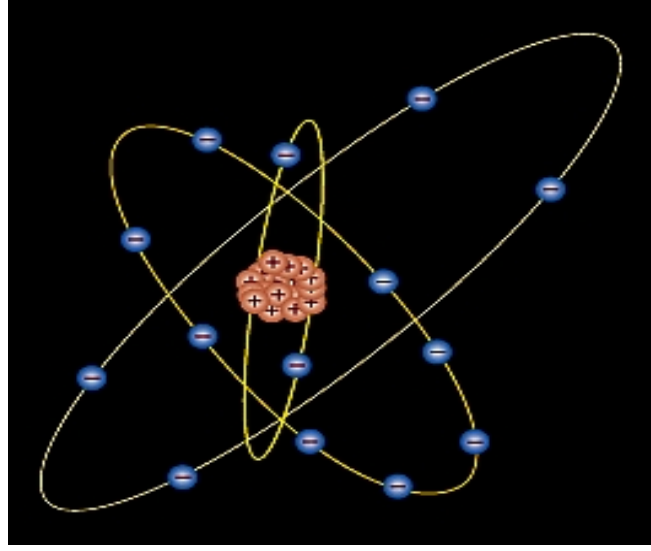
Bu özellikleri taşıyan atomlar daha çok kristal atomlarında bulunmaktadır. Özellikle germanyum ve silisyum bu özellikleri taşımaktadır. Bu maddelerden yararlanarak yarı-iletken malzemeler ortaya çıkarılmıştır. Özellikle silisyum, güneş hücresi üretimi için en popüler malzemedir. Silisyum, Dünya’da oksijenden sonra en fazla olan elementtir. Ancak silisyumu güneş enerjisinde kullanabilmek için %99,99999 saflıkta olması gerekir. Güneş hücrelerinin yapısını öğrenmek için n-p tipi malzemelerin yapısını da bilmek gerekir.

### **2.5.1. Hücre malzemesi**

Atomlar negatif yüklü elektronlar, pozitif yüklü protonlar ve nötronlar oluşur. Kütleli oluşturan atomun çekirdeğindeki proton ve nötronların etrafında çok hızlı hareket eden elektronlar çok az kütleyle sahiptir. Az enerjiye sahip elektronlar çekirdeğin yanındaki yörüngede dönerken, daha fazla enerjiye sahip elektronlar dış yörüngelerde dönerler.

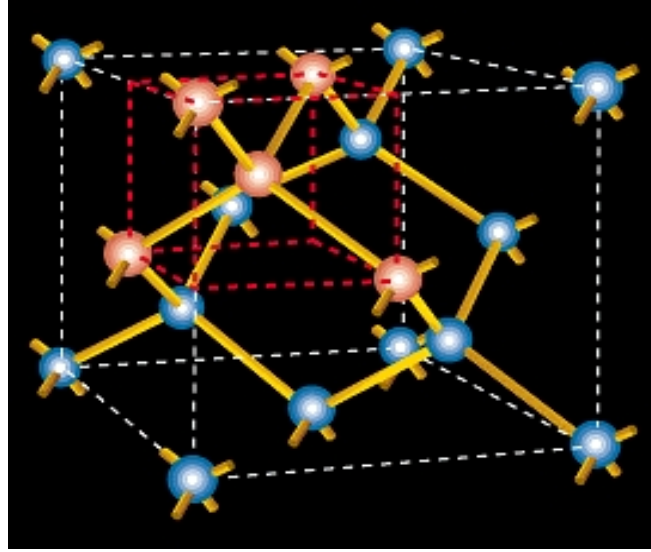
Silisyum atomunun 14 elektronu vardır. Son yörüngede bulunan 4 elektronuna “valans” elektronları denir. Başka elementlerle bağ kurulması bu elektronlarla sağlanır.

Şekil 2.2’de silisyumun atom yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Silisyumun atomik yapısı

Şekil 2.3’te kristal silisyumun atomik yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kristal silisyumun atomik yapısı

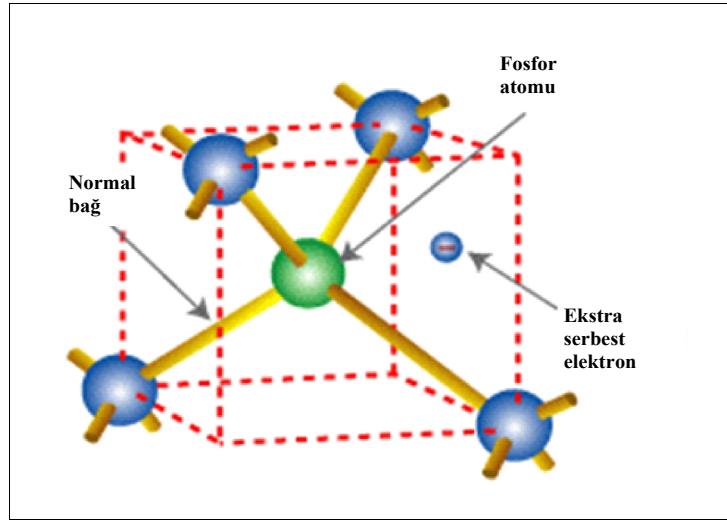
Çok sayıda silisyum atomu valans elektronları ile birbirine bağlanarak silisyum kristalini meydana getirirler. Kristal silisyumda 4 komşu atom, valans elektronlarını 1 silisyum atomuyla paylaşarak kovalent bağ oluştururlar. Böylelikle 2–8–8 düzenine gelirler. Bu bağlantıya başka silisyum atomlarının ilavesi ile kristal yapı oluşur.



### 2.5.2. N tipi silisyum ve P tipi silisyum

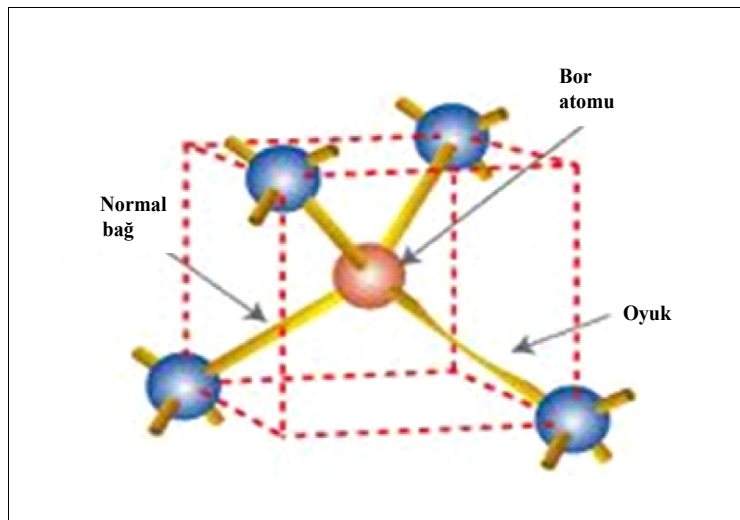
Doping işlemiyle silisyuma ilave edilecek olan diğer element silisyumun elektriksel özelliğini ortaya çıkaracaktır. Fosfor elementinin valans elektronları 5 adettir. 2-8-4 düzenindeki silisyum atomları fosforun 4 elektronu ile bağ kuracaktır. Bağ kurulduktan sonra 1 adet elektron boşta kalacaktır.

Şekil 2.4'te N tipi silisyumun oluşturulması gösterilmiştir.



Şekil 2.4. N tipi silisyumun oluşturulması

Elektrik alanının elde edilmesi için N tipi malzemenin zıttı olan yani elektrona ihtiyacı olan bir malzeme gerekmektedir. Bu malzeme ise P tipi malzeme olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.5'te P tipi silisyumun oluşturulması gösterilmiştir.



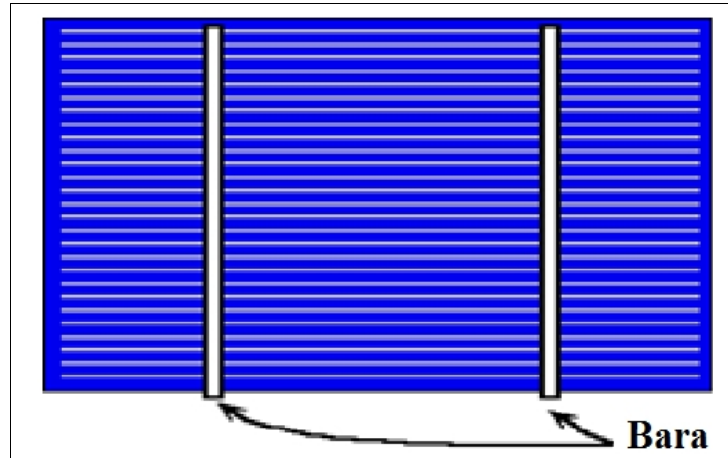
Şekil 2.5. P tipi silisyumun oluşturulması

N tipi silisyum üretmek için silikon dilimleri ısıtılır ve üstlerine fosfor dökülür. Bu iki malzeme ısıtıldığında, fosfor silisyum atomları ile bağlanmış olur. Soğutulduğunda silisyum-fosfor bileşeni olarak, birçok negatif elektronun boşta olduğu malzeme elde edilmiş olur.

Bor elementi 3 adet valans elektronuna sahiptir. Bağlantıda 1 adet boşluk oluşturur ve elektrona ihtiyacı vardır. Bu yüzden pozitif bir malzemedir. Silisyumun saflaştırılmasında bor silisyuma ilave edilir. Elde edilen bu malzemeye P tipi silisyum denir.

### 2.5.3. Elektrik kontaklar

P ve N tipi malzemeler oluşturulup sandviç şeklinde birleştirildikten sonra, elektronları toplayıp elektrik enerjisi haline dönüştürebilecek toplayıcılara ihtiyaç vardır. Arka toplayıcı (güneşi görmeyen yüz) oldukça basit bir alüminyum levha olabilir. Ön kontak (güneşi gören yüz) kolay bir toplayıcı değildir. Elektronlar tüm yüzeydedir. Güneş ışığını gölge yapmayacak şekilde tüm yüzeyden toplamak gerekir. Şekil 2.6'da güneş hücresindeki elektrik kontaklarının görünümü verilmiştir.



Şekil 2.6. Güneş hücresindeki elektrik kontakları

Toplayıcı kolları, ışığı gölgelememesi için mümkün olduğu kadar dar (yüzey alanının %3 - %5'i kadar), mümkün olduğu kadar kalın olmalıdır (elektronları taşıırken düşük dirençli olmalıdır). Yapılışında fotofiligrofi adı verilen elektronik devrelerin hazırlanmasındaki yöntem kullanılır.

## 2.6. Güneş Hücresinin Elde Edilmesi ve Güneş Paneli Yapımı

Günümüzde üretilen güneş panellerinin çoğu Dünya'da 2. sırada bulunan ve aynı zamanda plaj kumunun temel bileşeni olan silisyum maddesinden yapılmaktadır. Güneş paneli yapımındaki ilk adım, yüksek saflıktaki silisyumdan (%99,99999) dev bloklar oluşturulmasıdır. Bunu yapmak için dev bir potaya konan yüzlerce libre ağırlığındaki iri silisyum parçasını pozitif kutup haline getirmek için biraz bor eklenir. Daha sonra, 2000 Fahrenheit derecenin üzerindeki sıcaklıkta pişirilir.

Ardından silisyum külçeler elektrikli testere kullanarak ince levhalar halinde dilimlenmeden önce soğumaya bırakılır. Küp şeklindeki silisyum külçenin her 2 mm'sinden, her biri 200 mikron kalınlığındaki, ağır bir kâğıt parçasına benzeyen yaklaşık 5 adet silisyum levha çıkar. Daha sonra, levhanın yansıtma özelliği, levhanın yüzeyinde minik piramitler oluşturacak kimyasal bir yüzey dokuma işlemiyle %30'dan %10'a düşürülür. Bu, fotonların yakalaması için önemlidir.

Silisyum levhayı güneş ışığından elektriğe dönüştüren bir malzemeye dönüştürmek için yüksek sıcaklıktayken fosfor, silisyum levhaya enjekte edilir. Daha sonra, fosfor levhanın arka yüzeyinden ve kenarlarından temizlenir. Günümüzde bu işlemler için geliştirilmiş cihazlar mevcuttur. Ardından, hücrenin ön ve arka yüzeylerindeki metalin üzerindeki temas noktaları silisyumda üretilen elektronları toplamayı sağlayacak şekilde çökeltilir.

Ayrıca, yansıtma özelliğini yaklaşık %10'dan %1'e düşürmek için hücrenin yüzeyindeki ince kimyasal tabaka da çökeltilir.

1 güneş paneli yapmak için solar hücrelerden 48, 60 veya 72 adedi bir araya getirilir ve 2 tabaka EVA arasına yerleştirilir. Daha sonra, arka tarafına 1 tabaka katmanı yerleştirilir ve tüm gövdeyi solar hücrenin etrafından sıkı bir koruyucu koza olacak şekilde ısıtılır. Ardından, yapısal stabilite ve koruma amacıyla birbirine su geçirmez bir yapışkanla bağlanacak şekilde, ön yüzeye cam ve çevresinin etrafına alüminyum çerçeveler yerleştirilir. Son olarak, güneş panelinin arkasına elektrik için bir çıkış terminali olarak sigorta kutusu yerleştirilir.

## 2.7. Fotovoltaik Güneş Hücresi Tipleri

Güneş hücresinin performansı, güneş ışığını elektriğe döndürmedeki verimi ile ölçülür. Tipik bir ticari güneş modülünün/panelinin verimi %16,5 civarındadır ya da bir başka deyişle güneş modülüne gelen her güneş ışınının yaklaşık olarak 1/6'sından fazlası elektriğe dönüştürülür. Mevcut FV endüstrisinin en önemli amacı hücre başına düşen ücretleri düşürürken güneş modüllerinin veriminin geliştirilmesidir.

Fotovoltaik güneş hücreleri 3 temel teknoloji alanında incelenebilir [17]. Bunlar;

I- Kristal silisyum

II- İnce-film

III-Diğerleri (çok-eklemlı, organik, boya-duyarlı)

### 2.7.1. Kristal silisyum

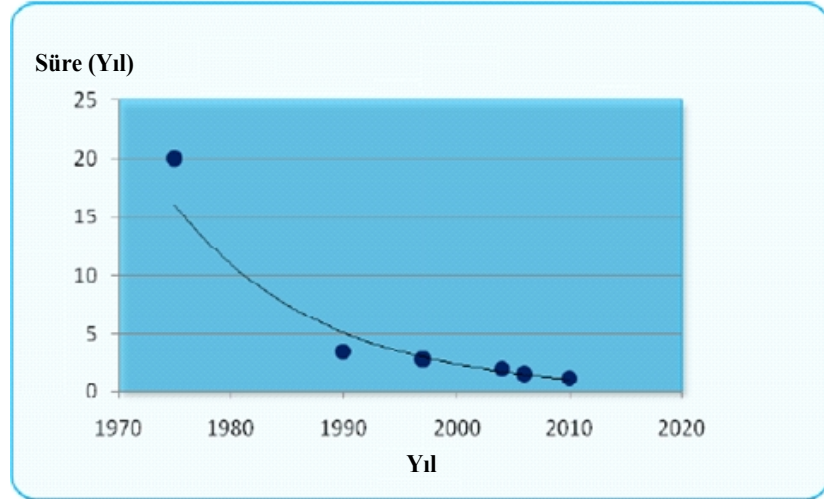
Kristal silisyum fotovoltaik hücreleri yani tekli silisyum kristal ya da çoklu silisyum kristal güneş hücreleri en yaygın kullanılan hücrelerdir ve günümüz güneş hücresi piyasasında 2011 yılı itibariyle satışların %87'sini oluşturmaktadır. Kristal silisyum fotovoltaik hücreleri laboratuvar ortamındaki enerji dönüşüm verimleri tekli kristal hücreler için %25 civarında iken çoklu kristal hücreler için ise %20,4 civarındadır. Endüstriyel üretimde ise güneş modüllerinin verimleri günümüzde %14 ile %24 arasında değişmektedir.

Kristal paneller yaklaşık olarak 30–35 yıllık bir ömre sahiptir. Bu teknik ömürlerinin yaklaşık %95'in de yani 28,5–32 yılında temiz sorunsuz elektrik üretirler. Kristal paneller 2 ayrı grupta incelenebilir.

Tekli (mono) kristal güneş hücreleri kristal hücre çeşitlerinin en verimlisi ve en kalitelisidir. Tekli kristal hücreler diğer tiplere göre %2 oranında daha az yer kaplar. Bu da verimlerinin artmasını sağlar. Ancak tekli kristal panel sistemlerinde üretim süreci uzun sürmektedir. Uzun vadeli kullanım için tekli kristal paneller tercih edilir.

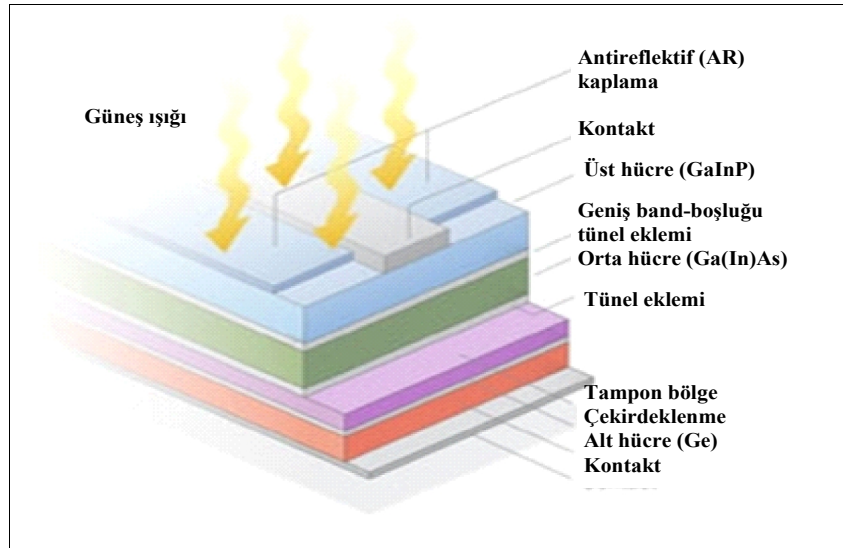
Diğer kristal hücre tipi olan çoklu (poli) kristal hücreler, tekli kristal hücrelere göre daha az verim sağlar. Ancak kullanım alanı çok daha yaygındır. Özellikle kolay üretilmesi, kolay ulaşılabilmesi ve bunun yanında sağladığı uygun maliyet kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

Wafer olarak adlandırılan ince silisyum dilimlerin kalınlıkları 0,17 mm'ye kadar düşürülmüştür. Kristal silisyum FV modül için yıllara göre geri kazanım sürelerine ait grafik Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Kristal silisyum FV modül için geri kazanım süreleri

Şekil 2.7'deki verilere göre kristal silisyum FV modüllerinin üretilmesi için harcanan geri kazanım süresi yıllar geçtikçe düşmektedir. Günümüzde bu geri kazanım süresi çoklu kristal yapıdaki silisyum hücreler için daha azdır ve 0,5–1,4 yıl arasında değişmektedir. Şekil 2.8'de kristal silisyum FV hücre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Kristal silisyum FV hücre yapısı

### **2.7.1.1. Tekli kristal (mono kristal) silisyum hücresi (c-Si)**

Silisyum dilimlerinden yapılır. Silisyum atomları homojen kristal yapıya sahip olup bütün atomlar aynı yönde sıralıdır. Tekli kristal yapıdaki silisyum hücresi “Czochralski geliştirme teknolojisi” adı verilen yöntemle eriyik saf silisyumun saatte birkaç santimetre çekilmesiyle oluşturulur. Tekli kristal silisyum güneş hücrelerinin üretimleri teknik açısından daha zor olduğundan ve daha çok zaman aldığından dolayı bu tip güneş hücrelerinin fiyatları da verimlilik kapasiteleri gibi diğer güneş hücresi çeşitlerinden daha yüksektir. Ancak uzun süreli kullanımlar için düşünüldüğünde dayanıklılık ve verim açısından daha iyi bir seçenek olacaktır.

Tekli kristal silisyum panelde verim verimlilik kapasitesi diğerlerinden yüksek olup %16,8–20,4 arasında markadan markaya değişmektedir.

### **2.7.1.2. Çoklu kristal (poli kristal) silisyum hücresi ( mc-Si)**

Erimiş silisyumun yüzeye dökülerek yapılır. Rengi koyu laciverttir. Verimi homojen kristale göre azdır ama yapımı kolay ve ucuzdur. Çoklu kristal yapıdaki güneş hücrelerinde malzeme birçok tekli kristalden oluşur ve atomik yapı homojen değildir. Çoklu kristal yapıdaki güneş hücrelerinin verimlilik kapasitesi yaklaşık %16 olup tekli kristal yapıdaki güneş hücrelerine göre daha düşük, CIS güneş hücrelerine göre ise daha yüksektir. Poli kristal güneş hücrelerinin maliyeti mono kristal güneş hücrelerinden daha düşük olduğu ve verimlilik kapasitelerinin maliyete oranı yüksek olduğu için en sık üretilen güneş hücreleridir.

### **2.7.2. İnce-film**

Diğer bir panel sistemi ise ince-filmdir. Işık tutma oranı yüksek olan ince-film paneller çok daha az kullanılırlar, çünkü verimlilikleri düşüktür.

Plazma tortulaştırılması gibi tortulaşma tekniği ile imal edilir. Kristal yapıya sahip değildir. Kristal yapıda olmayan anlamında amorf da denilir. Cam, paslanmaz çelik ya da plastik gibi düşük maliyetli bir destek malzemesinin üzerine ışığa duyarlı malzemenin son derece ince tabakalar halinde biriktirilmesiyle imal edilmektedir. Sahip olduğu daha düşük üretim maliyetleri ile bu teknolojinin % 10–15 arasında değişen düşük verimlilik oranlarını karşılamaktadır.

İnce-film teknolojileri kristal yapıya kıyasla daha düşük dönüştürme verimine sahip olmasına rağmen geleneksel yani kristal hücre sistemlerine göre daha kısa zamanda geri kazanım sağlar. Bu süre ise 1 yıldan azdır. 4 çeşit ince-film teknolojisi vardır.

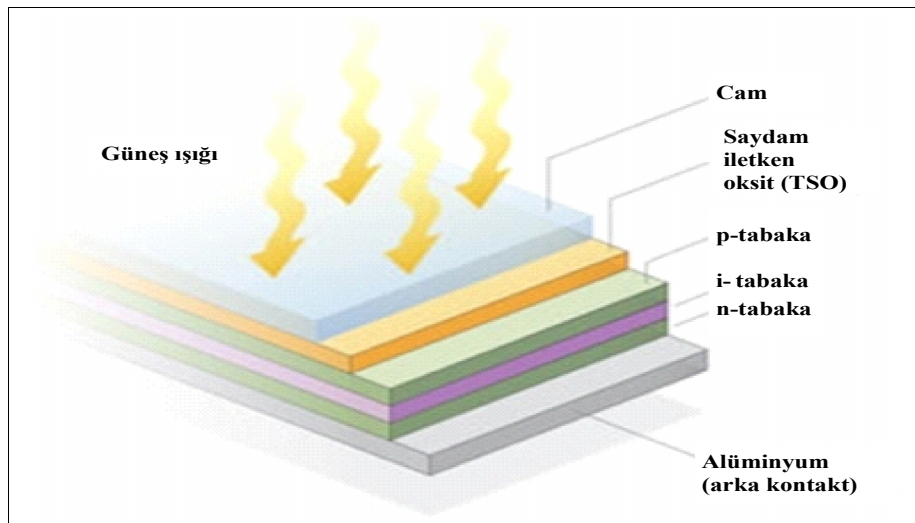
### 2.7.2.1. Amorf silisyum (a-Si) ince-film

İnce-film silisyum güneş hücreleri hidrojene edilmiş amorf silisyum, a-Si, olarak bilinir. Amorf, kristal yapılı olmayan anlamına gelmektedir. Laboratuvar ölçümlerinde hücrelerin dönüşüm verimi %12,5 iken yüksek seviyeli işlemlerle endüstriyel kullanım için üretilmiş amorf silisyum güneş hücrelerinin verimi %6-9 arasındadır. Amorf silisyum, kristal silisyum güneş hücrelerine oranla daha düşük verime sahiptir ama ışığı daha iyi tutar, esnektir ve daha az maliyetle üretilir. Amorf silisyum güneş hücreleri 2011 Dünya güneş hücresi piyasasında %3'lük paya sahiptir.

Amorf silisyum güneş hücrelerinin avantajları şunlardır;

- Daha az malzeme: Band boşluğu bulunmasından dolayı daha az silisyum kullanılır.
- Daha ucuz yüzeyler: Amorf silisyum güneş hücrelerinde cam, paslanmaz çelik ya da plastik gibi düşük maliyetli destek malzemesi kullanılmaktadır.
- Üretim kolaylığı: Amorf silisyum 300 °C'nin altında sıcaklıkta üretilebilir. Esnek yüzeyleri ve rulo olarak üretilmesi önemli özellikleridir.

Şekil 2.9'da amorf silisyum FV hücre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Amorf silisyum FV hücre yapısı

### 2.7.2.2. Kadmiyum-tellurid (CdTe) ince-film

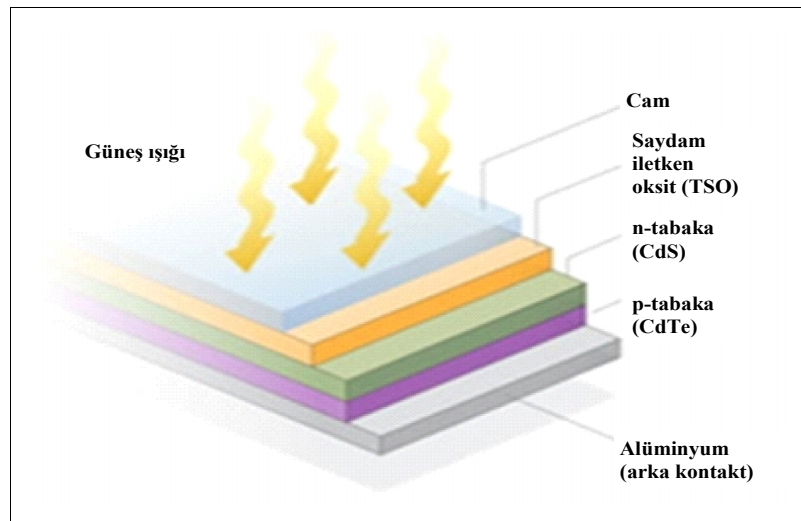
CdTe güneş hücreleri, Dünya piyasasında kristal silisyum güneş hücrelerinden sonra en çok bulunan FV teknolojisidir. 2013 yılı market hacmi %6 civarındadır. CdTe ince-film güneş hücrelerinin üretimi kolay ve ucuzdur. Bu özellikleriyle de geleneksel silisyum temelli teknolojilere daha düşük maliyetli bir alternatiftir. CdTe güneş hücreleri için rekor laboratuvar verimi %19,6'dır. Fakat ticari ürünlerde verim %10-15 arasında değişmektedir.

CdTe ince-film güneş hücrelerinin avantajları şunlardır;

- Yüksek emilim: Band aralığı enerjisi yaklaşık 1,45 (eV) olan doğrudan band aralıklı yapıya sahip malzemedir ki bu güneş ışığını elektrığe dönüştürmek için kullanılan en uygun jonksiyondur.
- Düşük üretim maliyeti: Üretiminde düşük üretim maliyetli teknolojiler kullanır.

En yaygın CdTe güneş hücresinin temeli p-n heterojonksiyon yapısıdır. Bu yapıda p katkılı CdTe katmanı ile eşleştirilmiş n katkılı kadmiyum sülfid (CdS) katmanı vardır ve bu katmanlar pencere gibi davranır. Bu yapıları diğer bir heterojonksiyon olan CIGS [bakır indiyum galyum (di)selenid] güneş hücrelerine benzer.

CdTe ince-film biriktirme tekniklerinden bazıları; fiziksel buhar, püskürtmeli ve elektrikle biriktirme ile yakın aralıklı yüceltme, buhar taşıma birikimi, ekran baskı birikimidir. Şekil 2.10'da kadmiyum tellurid ince-film FV hücre yapısı verilmiştir.



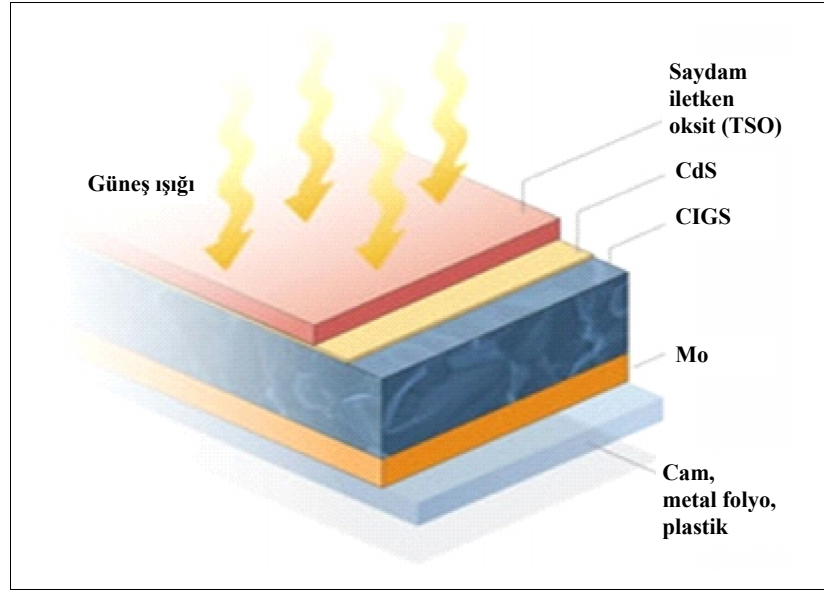
Şekil 2.10. Kadmiyum tellurid FV hücre yapısı



### 2.7.2.3. Bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) ince-film

Bakır indiyum diselenid ( $\text{CuInSe}_2$ ) ince-film teknolojisi ilk geliştirildiğinden beri elverişli elektronik ve optik özelliklerinden dolayı gelecek vadeden güneş hücreleri olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra indiyum (In) yerine galyum (Ga) kullanılmasıyla, bakır indiyum diselenid (CIS) filmler için 1,04 elektron-volt (eV) olan band aralığı, bakır galyum diselenid (CGS) filmler ile yaklaşık 1,68 eV oldu. En uygun ürün için indiyumun sadece bir kısmı yerine galyum kullanılmış olup bu sayede de genel verimde önemli bir artış ve daha uygun bir band aralığına imkân sağlanmıştır. Bu güneş hücreleri genellikle bakır galyum diselenid [ $\text{Cu}(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})\text{Se}_2$ ] ya da CIGS güneş hücreleri olarak bilinir. Laboratuvar ölçümlerinde hücre verimlerinin %20 seviyelerini aşmalarına rağmen ticari anlamda CIGS modülleri tipik olarak %12 ile %14 arasında verime sahiptir.

Şekil 2.11'de CIGS FV hücre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.11. CIGS FV hücre yapısı

CIGS güneş hücrelerinin avantajları şunlardır;

- Yüksek emilim: Doğrudan band aralıklı malzemesi, güneş spektrumunun önemli bir kısmını emer, bu da herhangi diğer bir ince-film teknolojisine sahip güneş hücresinin en yüksek verimini elde etmeyi mümkün kılar.
- Tandem tasarım: Tandem (önlü-arkalı) tasarım ile ayarlanabilir band aralığı vardır.

- Koruyucu tampon tabaka: Tanecik sınırları doğal bir tampon tabaka şeklindedir. Böylece, üretilmesinde kullanılan taneciklerin ebatlarının 1 mikrometreden daha az olması izin verirken, yüzeyin tekrar birleşmesini de önler.
- Düşük maliyet ve montaj kolaylığı: CIS güneş hücrelerinin ince yapılı olması montajının kolay olması maliyetinin düşmesi, geniş yüzeylerde uygulamasını kolaylaştırır ve hafiftir. Cam veya esnek yüzey ile kullanılabilir.

Dezavantajları ise pahalı üretim süreci ile birlikte geniş alan gereksinimidir.

#### **2.7.2.4. Bakır-çinko-kalay-sülfoselenit (CZTSSe) ince-film**

Şu anda kaynak-yoğunluklu fotovoltaik teknolojiler olan CIGS ve CdTe güneş hücreleri için en çok umut vaat eden alternatif bakır-çinko-kalay-sülfoselenit ( $Cu_2ZnSnSexS_{4-x}$  ya da basitçe CZTS) görülmektedir. Kurşun sülfür (PbS) ve pirit ( $FeS_2$ ) tabanlı malzemeler gibi diğer alternatifler de dikkat çekmiştir. Fakat burada (Earth-abundant chalcogenide) yerkürede bol olan kalkojenit emiciler için bir model sistem olarak CZTS güneş hücrelerine odaklanmaktadır.

CZTS güneş hücreleri opto-elektronik ve kristalografik özelliklerinin yanı sıra üretim yöntemleriyle de CIGS güneş hücrelerine çok benzer. Fakat CZTS güneş hücrelerinin laboratuvar verimleri sadece %10'un biraz üzerindedir ve bu CIGS güneş hücrelerinin verimini düşündüğümüzde yarısı kadardır. Kesterite CZTS güneş hücreleri, kalkopirit kristal yapısına çok benzer, ancak III. grup indiyum (In) ve galyum (Ga) iyonları, II. grup çinko iyonları ve IV. grup kalay iyonu eşit sayıda düzenli bir şekilde yer değiştirilebilir. Bu, CIGS güneş hücrelerinin opto-elektronik özelliklerinin çoğunu korurken aynı zamanda pahalı metal elementleri olan indiyum ve galyum metallere olan ihtiyacı ortadan kaldırır.

CZTS güneş hücrelerinin avantajları şunlardır;

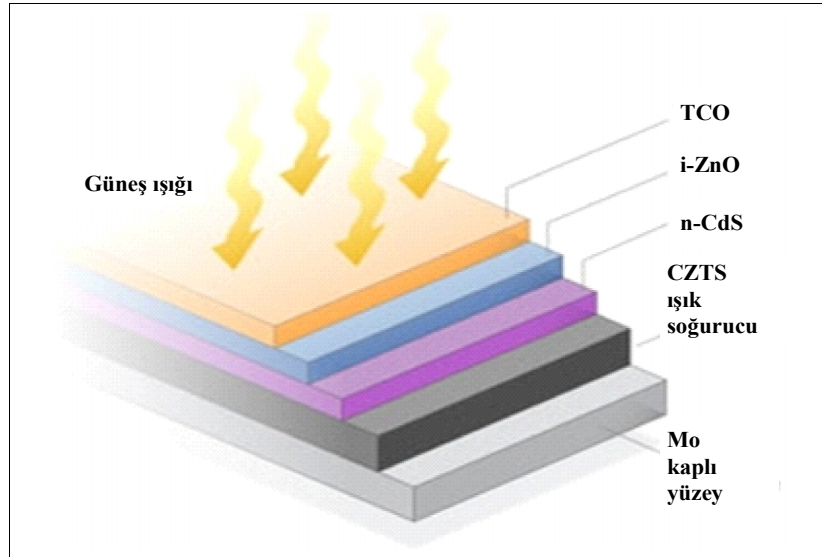
- Bol ve düşük maliyetli malzemeler: Benzer termal genleşme ve kristal kafes sabitleri sayesinde güneş hücrelerinin içerisinde CZTS yapısı ile CdS (kadmiyum-sülfür) pencere katmanı olarak, molibden (Mo) ise arka kontakt olarak konulabilir. Böylece emici katman için daha bol ve daha az maliyetli materyaller kullanılarak CIGS ile aynı fonksiyona sahip güneş hücresi türetilebilir.

- Ayarlanabilir band aralığı: CZTS güneş hücreleri sülfid/selenid oranının modüle edilmesiyle; bakır çinko kalay selenid için 1 eV seviyelerinden bakır çinko kalay sülfid için 1,5 eV seviyelerine varan modifiye etme imkanı veren ayarlanabilir bandaralığına sahiptir. Araştırmacılar galyum (Ga) katkılanmasıyla 2,25 eV gibi yüksek band aralığı değerlerine ulaşmıştır.

Ne silisyum olmayan earth-abundant materyaller ne de CZTS güneş hücreleri henüz büyük miktarlarda üretilmemektedir. Günümüzde CZTS güneş hücreleri hidrazin içerisinde CZTS solüsyonu kullanılarak üretilmektedir. Bu solüsyon daha sonra bir tabaka üzerine dökülmekte ve tavlanmaktadır. Bu işlem kullanılarak verim %10 seviyelerinin üzerine çıkartılmaktadır.

CIGS güneş hücrelerine benzer olarak, sodyum CZTS performansında önem arz etmektedir. CZTS performansında sodyumun işlevinin tam olarak anlaşılması için daha çok araştırma gereklidir.

Şekil 2.12’de CZTS fotovoltaik hücrenin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.12. CZTS FV hücre yapısı

### 2.7.3. Diğer tipler

Günümüzde birçok yeni FV hücre teknolojisi geliştirilmektedir. FV teknolojisi hızla ticari olmaktadır. Diğer tipler başlığı altında toplanan FV teknolojilerine örnek olarak; hücre içerisinde bir lens kullanılmasıyla güneş ışığına odaklanarak çalışan

yoğunlaştırılmış FV hücreler ve ince-film hücrelere benzer uygulama alanlarına ile benzer esnekliklerine sahip olan esnek FV hücreler verilebilir. Yaygın olan diğer güneş hücresi tipleri bu bölümde incelenecektir.

### **2.7.3.1. Çok-eklemlili (III.-V. grup yarı-iletkenler)**

Yüksek verimli çok eklemli (multi-jonksiyon) güneş hücreleri çoklu band aralıkları ya da eklemli (jonksiyonlar) kullanırlar ve bu sayede de güneş spektrumunun belirli bir bölgesinde güneş ışınlarının emilimi sağlanarak %43'ün üzerinde rekor denebilecek verim değerlerine ulaşılmıştır. Tek-band aralıklı güneş hücresi ile konsantre olmayan güneş ışığından elde edilen maksimum teorik verim yaklaşık %33,5'tir. Öncelikle bu geniş dağılan güneş fotonlarında kaynaklanmaktadır. Shockley-Queisser limiti olarak da bilinen bu limit verim güneş hücresinin açık devre geriliminden dolayı kısmen artış gösterse de emici materyalin band aralığı tarafından sınırlanır. Fotonlar, band aralığında emilenden ve ısı olarak kaybedilen enerjiden daha büyük enerjiye sahiptir. Elde edilen uyarımlar ile band aralığı enerjisi hızlıca rahatlatılır ve aşırı enerji ısı olarak kayıp olur.

Çok-eklemlili cihazlar, daha düşük enerjili fotonların geçmesine izin verirken yüksek enerjili fotonları emebilmek için yüksek band aralıklı üst hücre kullanırlar. Biraz daha düşük band aralıklı malzeme, biraz daha az enerjili fotonları absorbe edebilmek için yüksek band aralıklı eklemli altına yerleştirilir. Tipik çok-eklemlili hücreler 2 veya 3 emici tabaka kullanır ama çok eklemli üretilmesi için azalan band aralığı kalıpları prensipte tekrar edilebilir. Eklemli sayısı ile teorik maksimum verim artar. İlk araştırma, galyum indiyum fosfat (GaInP), galyum indiyum arsenit (GaInAs) ve germanyum (Ge) gibi çok-jonksiyonlu cihazların periyodik tablonun III. ve V. sütunlarındaki elementlerinden oluşan yarı-iletkenlerin özelliklerinin artırılması üzerineydi. III-V. sütundan yarı-iletkenlere sahip 3-eklemlili güneş hücreleri yoğunlaştırılmış güneş ışığı kullanarak %43 verimden daha fazlasına ulaşmıştır. Bu mimari, diğer güneş hücresi teknolojilerine de uygulanabilir.

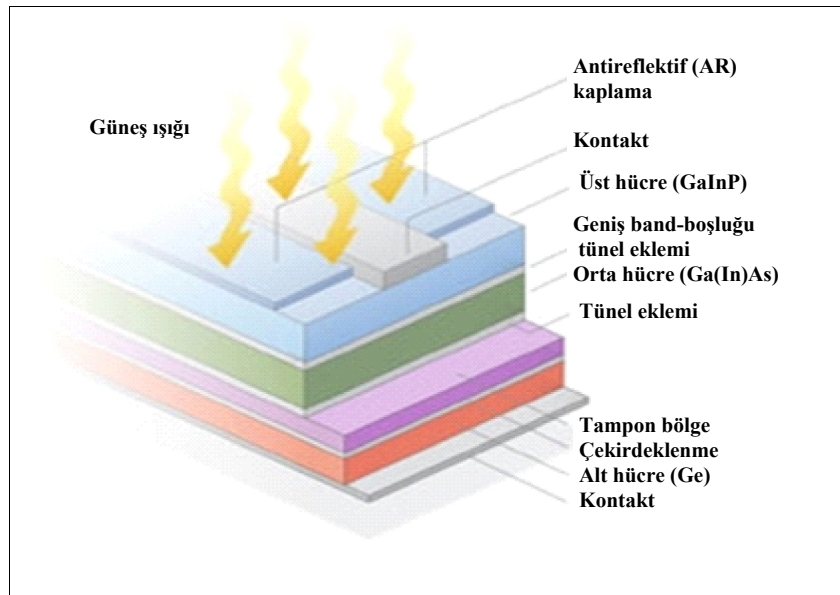
Günümüzde CIGS, silisyum, organik moleküller ve diğer materyaller kullanılarak yapılan çok-eklemlili hücreler ile ilgili araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Geçmişte, çok-eklemlı cihazlar öncelikle nispeten yüksek maliyetli güneş enerjisi kullanımını için izin veren hafif ağırlık güç üretiminin önemli olduğu uzay çalışmalarında kullanılmıştır. Karasal uygulamalar için silisyuma oranla yüksek maliyetleri olan bu yarı-iletken yüzeyler ilk olarak yoğun bir mercek tipi olan Fresnel lens kullanan mevcut sistemlerle dengelenmiştir. Yoğunlaştırılmış lensler güneş hücresindeki ışık miktarını arttırmaktadır. Böylece, daha fazla enerji üretilmektedir. Yoğunlaştırılmış lenslerin kullanımını, çift eksenli güneş takibini gerektirmektedir. Bu durum sistemin maliyetini arttırmaktadır. Bu amaçla, çok-eklemlı güneş hücrelerini kullanan FV sistemlerin yüksek maliyetlerinin düşürülmesi için güneş takip ve mercek alanlarında çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Çok-eklemlı III.-V. grup yarı-iletkenli güneş hücrelerinin avantajları şunlardır;

- Spektrum eşlemesi: Yüksek verimli hücreler (>%43) özel band aralıklarına sahip özel emici katmanlar ile güneş spektrumunun bölümlerini eşleştirilerek üretilebilir.
- Kristal yapı: III.-V. sütun yarı-iletkenleri, benzer kristal yapılara ve ideal güneş hücresi özelliklerine sahiptirler. Bunlar; uzun uyarım difüzyon uzunlukları, taşıyıcı hareketlilik ve uyumlu emici spektrumlarıdır.

Şekil 2.13'te çok-eklemlı (III.-V.) fotovoltaik hücre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Çok-eklemlı (III.-V.) FV hücre yapısı

### 2.7.3.2. Organik

Organik fotovoltaik (OFV) güneş hücreleri doğada bol olan (earth-abundant) ve düşük enerjili fotovoltaik (FV) çözümleri üretimi amaçlar. Bu teknoloji aynı zamanda birinci ve ikinci nesil güneş teknolojilerinden daha ucuz enerji sağlama konusunda teorik potansiyele sahiptir. Renkli ya da şeffaf OFV cihazlar üretmek için çeşitli emiciler kullanılabilirdiğinden bu teknoloji özellikle FV piyasasının binalarla birleştirilmesinde öncüdür. OFV güneş hücrelerinin veriminin hızla %10 seviyelerine yaklaşmıştır fakat uzun süreli güvenilirlik kadar önemli olan verimlerinin düşük seviyelerde olması tercih edilmelerine en büyük engeldir.

Organik olmayan çoğu güneş hücresinin aksine, OFV hücreleri tek molekül emiciler kullanmaktadır. Bu nedenle bir uyarım tek molekülden üretilmektedir. Bu moleküler emiciler fulleren gibi elektron transferini kolaylaştıran moleküler orbital enerji seviyelerine sahip bir elektron kabul edici ile birlikte kullanılır.

Bir fotonun emilmesinin ardından ortaya çıkan uyarım, emici materyal ile elektron kabul edici materyal arasındaki arayüzde hareket eder. Bu arayüzdeki moleküler orbitallerin enerjik uyumsuzluğu, uyarımı parçalamak ve serbest yük taşıyıcıları (elektron ve oyuk ) yaratmak için yeterli gücü sağlar.

Mevcut araştırmalar organik güneş hücresi teknolojisinin veriminin ve kullanım süresinin arttırılmasına yöneliktir. Emici malzemenin geliştirilmesiyle önemli bir verim değerine ulaşılmıştır. Son dönemlerdeki araştırmalarla emicilerin ve organik hücre yapısının en uygun mimariye ulaştırılması hedeflenmektedir.

OFV güneş hücrelerinin avantajları şunlardır;

- Düşük maliyetli üretim: Çözünebilir organik moleküller roll-to-roll işleme tekniklerine imkân sağlar ve düşük maliyetli üretim için de izin verir.
- Bol malzemeler: Yapı-blok malzemelerinin çok bol olması kaynak ve fiyat kısıtlamalarını azaltabilir.
- Esnek yüzeyler: Esnek yüzeylere uygulanabilmesi geniş kullanım çeşitliliğine izin verir.

OFV hücreleri 2 sınıfta incelenebilir;

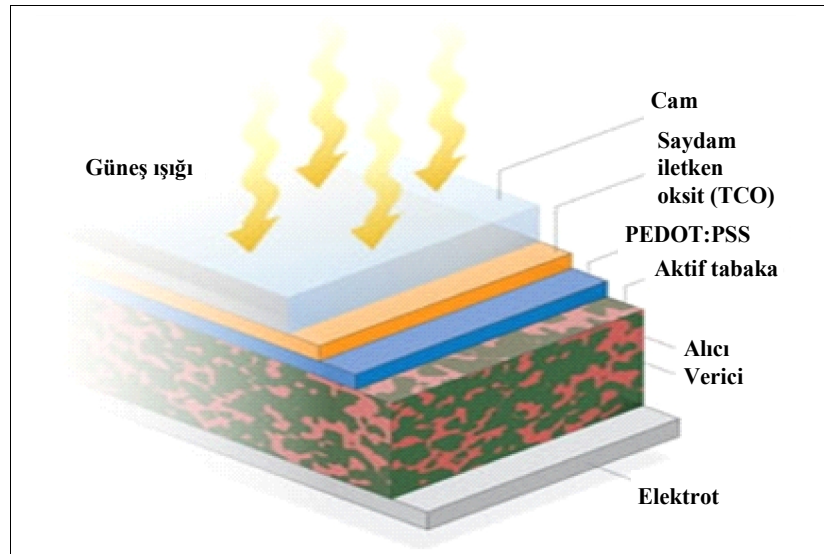
- Küçük-moleküllü OFV hücreleri
- Polimer-tabanlı OFV hücreleri

Küçük-moleküllü OFV hücre yapılarında, görünür ve elektromagnetik spektrumun yakın kızılötesi kısmında geniş emme gücüne sahip moleküller kullanılmaktadır. Yüksek birleşik sistemler tipik olarak ftalosiyanimler gibi elektron verici sistemler için kullanılır. Perilen boyalar ve fullerenler genellikle elektron kabul sistemleri olarak kullanılır. Bu cihazlar iki katmanlı ve tandem mimarilerini oluşturmak için en yaygın olarak vakumlu biriktirme yoluyla üretilir. Son zamanlarda, çözelti işlenmiş küçük moleküllü sistemleri geliştirilmiştir.

Polimer-tabanlı OFV hücreleri, küçük-moleküllü OFV hücreleri olan elektron-kabul etme sistemleri olarak türetilen fulleren (örneğin; PC60BM, PC70BM) ile birlikte elektron verici materyal (P3HT, MDMO-PPV gibi) için uzun zincirli moleküler sistemler kullanır. Bunlar küçük uyarım difüzyon uzunluklarına sahiptir ancak bu sınırlama, aktif cihaz içinde yüksek bir arayüz yüzey alanı ile aşılmaktadır.

OFV güneş hücreleri benzerlerinin aksine, (boya duyarlı teknolojiler) %10 seviyelerinin ötesinde verime sahiptir ama bu sistemde güneş hücresiyle beraber likit elektrolite ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da dayanıklılıklarını sınırlamaktadır.

Şekil 2.14'te organik fotovoltaik hücre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Organik FV hücre yapısı

### 2.7.3.3. Boya-duyarlı

Boya-duyarlı güneş hücreleri, 1990'ların başında Michael Gratzel tarafından İsviçre'de Lozan'daki Federal Politeknik Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Ticari üretimi çok az olan boya-duyarlı hücreler laboratuvar çalışmalarında %12,3 gibi bir verime ulaşılmıştır. Boya-duyarlı güneş hücrelerinin ilk üretim düşüncesi kararlı ve kolay üretilen materyallerin polimerlere yani toplu-heterojonksiyon organik fotovoltaiklere (OFV) karşı daha kaliteli bir alternatif oluşturmaya dayanmaktadır.

Boya-duyarlı güneş hücreleri 3 bileşene ayrılır. Bu bileşenler; emici boya, metal-oksit elektron transfer katmanı ve elektrolitik ya da oyuk transfer katmanı şeklindedir.

Birinci bileşen- boya- fotonları emmede etkili ve uyarım üreten görünür spektrumda güçlü emici olan organik ya da organo-metalik moleküldür.

İkinci bileşen olan metal-oksit elektron transfer katmanı metaloksitlerdendir. Genellikle  $TiO_2$ 'den yapılan oldukça gözenekli olan bir nano-yapı iskelesidir. Bu nano-yapı boya molekülleri için bir anlamda "ev" hizmeti görürken aynı zamanda uyarılmış boya molekülü ve anot arasında bir elektron otobanı gibi davranır.

Üçüncü bileşen ise elektrolit ya da oyuk-transfer katmanıdır. Bu bileşen elektron eksikliği olan boya moleküllerini oyukları boyadan katota taşıyarak doldurur.

Boya-duyarlı güneş hücrelerinin avantajları şunlardır:

- Bol malzeme: Boya-duyarlı güneş hücreleri eğer rutenyumsuz boyalar kullanılmış ise istikrarlı ve yeterli kaynağa sahip materyallere dayanır.
- Düşük-maliyet ve kolay üretim: Üretimi kolay ve maliyeti düşüktür.

Boya, bir boya çözeltisi içinde metal oksit anodun ıslatılmasıyla bu ağa sokulmaktadır. Boyalar genellikle klorofilden ve yaygın bir şekilde bir metal merkezin etrafında konumlanmış porfirinden sonra modellenmektedir. İlk olarak ruthenyum kullanılmasına rağmen son çalışmalarda ruthenyum yerine çinko-tabanlı ya da metalsiz boyalar kullanılarak da başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Emme sırasında boyanın merkezindeki atomundan metal-oksit olan bağlarda kullanılan

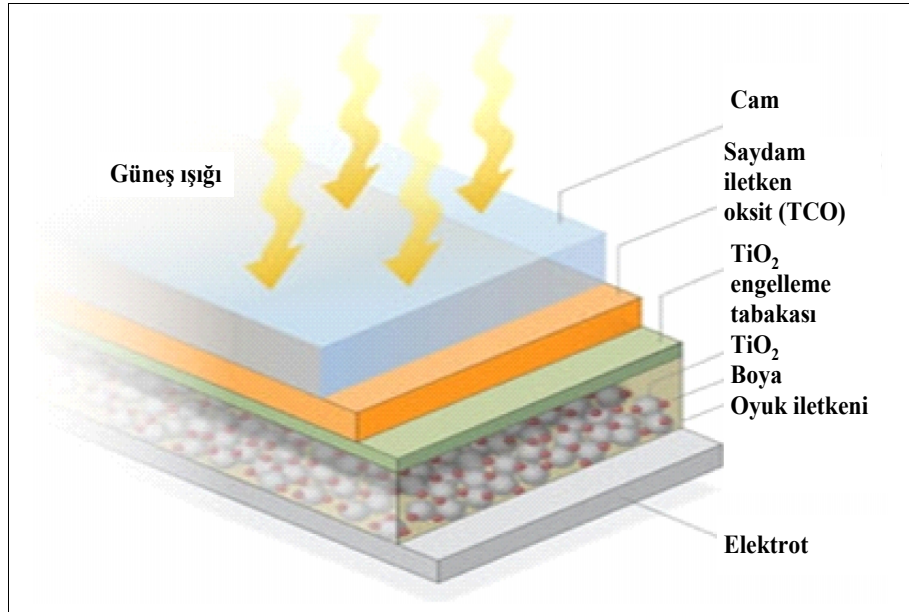


karbonsilat, sülfonat ya da fosfonat grupları daha sağlam bağların oluşmasını sağlamaktadır.

Son üretim etabı ise oyuk taşıma katmanı yaratmaktır. İyodür-iyot (I-/I<sub>3</sub>-) gibi bir likit elektrolit redoks çifti, katoda pozitif yükün taşındığı tamamlanmış redoks reaksiyon serileriyle birlikte oyuk taşıma katmanı oluşturulur. Bu işlem etkilidir fakat redoks çiftin likit yapısı bu güneş hücrelerinin alanda yerleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Sıvıların sıcaklık değişimindeki genişleme ve daralma eğilimleri zamanla hücre içinde çatlaklara neden olabilir.

Günümüzde polimer iletkenler, polimer-elektrolit jel yapılar ve küçük-moleküllü oyuk iletkenler gibi çeşitli katı-hal çözümleri üzerinde çalışılmaktadır. Elektrolit, hem boya molekülleri hem de katot ile temas oluşturmak için metal-oksit yapısı içerisine enjekte edilir.

Şekil 2.15'te boya-duyarlı Grätzel FV hücre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Boya-duyarlı Grätzel FV hücre yapısı

Boya-duyarlı güneş hücreleri, özünde boya emici küçük moleküller kullanan hibrit organik-inorganik teknolojilerdir. Bu boya emici küçük moleküller, elektrolit ile titanyum dioksit ya da çinko oksit gibi yeterli elektron kabul eden malzemelerin içerisinde tekrardan boya üretmektedir.

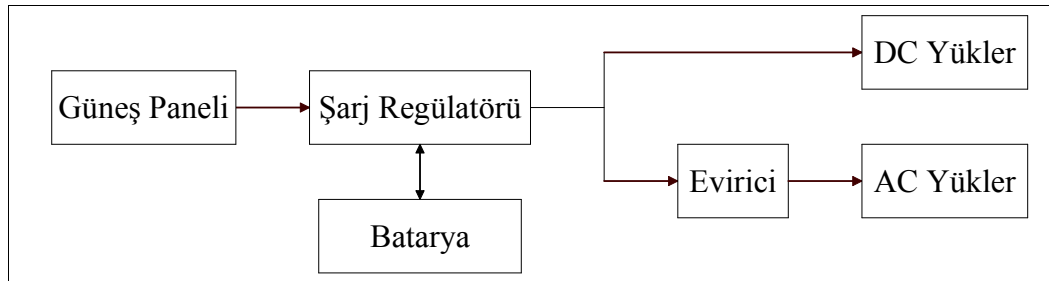
## 2.8. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemlerde yer alan elemanlar; FV panel (güneş hücresi), DC/AC dönüştürücü, DC-DC dönüştürücü, depolama elemanı (batarya), şarj regülatörü, solar kablo ve konnektörler, çift eksenli güneş izleyici, fotovoltaik ölçüm cihazı, uzaktan izleme modülü, montaj malzemeleri, termik manyetik şalter grubu ve parafudur sistemi şeklinde sayılabilir.

FV sistemler, orta ve uzun vadede ekonomik olarak avantajlıdır. FV modüllerde, hiçbir hareketli parça bulunmamaktadır. FV sistemler, diğer elektrik üretim sistemleri ile karşılaştırıldığında çok daha az bakıma ihtiyaç duymaktadır. FV sistemler arttırılmış güç ihtiyaçları için, var olan sisteme daha çok modül eklenerek genişletilebilir. FV sistemler sahip olduğu çok düşük CO<sub>2</sub> salınımı ile çevre dostu ve gürültüsüz olarak elektrik üretir.

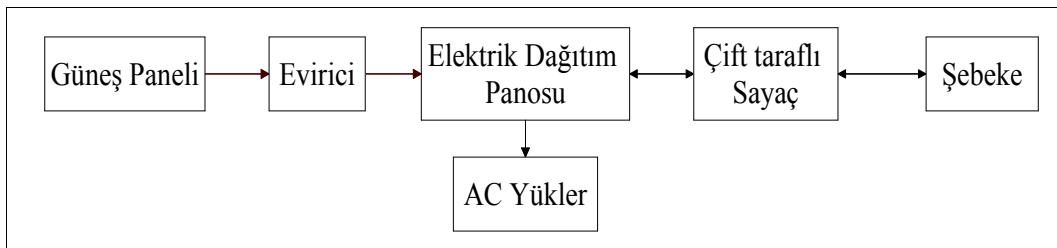
Fotovoltaik sistemler, şebekeden bağımsız çalışma ve şebekeye bağlı çalışma durumları olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Şekil 2.16’da şebekeden bağımsız çalışmada FV sistem gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Şebekeden bağımsız sistemler

Şekil 2.17’de ise şebekeye bağlı çalışmada FV sistemler gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Şebekeye bağlı sistemler

### **2.8.1. İhtiyaç duyulan FV sistem kapasitesinin hesaplanması**

Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenmesi planlanan konutlarda elektrik ihtiyacının FV sistem ile karşılanması istenilen kısmı için kurulacak FV sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenebilmesi gerekmektedir. Bunun için bazı hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Bu amaçla bu bölümde örnek bir hesaplama yapılmıştır.

Yapılan araştırmalar neticesinde bir evde bulunması muhtemel tüm elektrikli cihazlar ve bunların çalışma süreleri dikkate alınarak günlük ortalama 14 kWh enerjiye gereksinim olacağı varsayılmıştır. İhtiyaç duyulan 4 kWh'lik enerjinin rüzgar enerjisi ile karşılanması planlanan sistemde, FV sistemden üretilen güç için 10 kWh üzerinden hesap yapılmıştır.

FV sistemlerde üretilen gücün tamamı yüke aktarılamaz. Sistemde kullanılan cihazların verimliliklerine bağlı olarak enerji kaybı meydana gelir. Bundan dolayı, üretilen gücün bu enerji kaybı dikkate alınarak üretilmesi gerekir. Bütün cihazların verimlilik oranları farklıdır.

Normal koşullar altında güneş panellerinin ilk 10 yıl boyunca minimum % 90, daha sonraki 15 yıl ise minimum %80 performans ile çalışacağı garanti edilmektedir. Örneğin; nominal gücü 100 W olan bir güneş paneli ilk 10 yıl için minimum 90 W, sonraki 15 yıl için ise minimum 80 W güce sahip olacaktır. Genel olarak, eviricilerin verimi %90–95 civarındadır. Bu veriler dikkate alındığında sistem için verimlilik (performans) katsayısı 0,81 olarak hesaplanır. FV sistemden talep edilen günlük enerji 10 kWh olarak belirlendiği için 0,81 verim (performans) katsayısı sebebiyle kurulu FV sistemin 12,35 kWh'lik enerji kapasitesine sahip olması gerekmektedir.

Üretilen gücün talep gücü tamamen karşılanması hedefleniyorsa panel sayısının buna göre belirlenmesi gerekir. Panel sayısı, günlük panel enerji kapasitesi ve güneşlenme süresine göre belirlenir. Günlük ortalama güneşlenmenin 6,1 saat olarak kabul edildiği durumda %100 performansta 12,35 kWh enerji kapasitesine sahip olması istenen FV sistem, 250 W'lık 8 adet paneli içermelidir. Tercih edilen güneş panellerinin güç değerlerindeki farklılıklar ihtiyaç duyulan panel sayısını değiştirecektir.

Enerji üretilmediği zaman enerji ihtiyacı bataryalardan sağlanacağı için depolama kapasitesi belirlenirken kapalı geçen gün sayısı kadar enerji depo edileceği düşünülerek hesaplama yapılır. Aynı zamanda deşarj olma faktörü de dikkate alınır. Toplam günlük talep edilen enerjinin 14 kWh olarak belirlendiği varsayılan sistem için kapalı gün katsayısı 1,5 ve deşarj olma faktörü 1,25 olarak kabul edilip gerekli hesaplamalar yapıldığında ihtiyaç duyulan depolama kapasitesi yaklaşık olarak 26,250 kWh olarak bulunmaktadır.

Depolama için kullanılan batarya sayısı ve bataryanın amper-saat (Ah) değerine göre belirlenir. DC tabanlı bir konut olarak düşünülen sistem için gerilim seviyesi 120 V olarak belirlenirse piyasada rahatlıkla bulunabilen 24 V'luk bataryalardan 5 tanesi seri olarak bağlandığında DC bara gerilimi olarak belirlenen 120 V elde edilir. 24 Volt 200 Ah bataryalar tercih edildiğinde ihtiyaç duyulan depolama kapasitesi olan 26,250 kWh'lik enerji depolamak için 5 adet 24 Volt 200 Ah'lik bataryaya ihtiyaç vardır.

Evirici yükün çekebileceği maksimum gücü kaldırabilmelidir. Bir ev için bu buzdolabı, bilgisayar, ütü aydınlatma ve televizyon gibi cihazların aynı anda çalıştığı sırada çekilen toplam yük baz alınır. Şarj regülatörü gerilimi, güneş paneli çıkış geriliminden yüksek ve paralel bağlı panellerin akımları toplamı regülatör akım değerinden küçük olmalıdır.

## **2.9. Kurulu Fotovoltaik Sistemden Elde Edilen Veriler**

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi 40°49'17.40" Kuzey enlemi ve 29°55'23.19" Doğu boylamında yer almaktadır. Rakım 380 metredir ve güneş panelleri Mühendislik Fakültesi'nin çatısında yaklaşık olarak 405 metrede konumlandırılmıştır.

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde bulunan farklı tipteki ve farklı kurulu güçteki 3 farklı güneş paneli sisteminden oluşan kurulu fotovoltaik sistemde ölçülen 2014 yılı ışınım, sıcaklık ve hesaplanan üretilen günlük enerji değerleri grafiklerle sunulmuş ve analiz edilmiştir.

Şekil 2.18’de sistemde kullanılan poli kristal P 60 tipi güneş paneli gösterilmiştir.



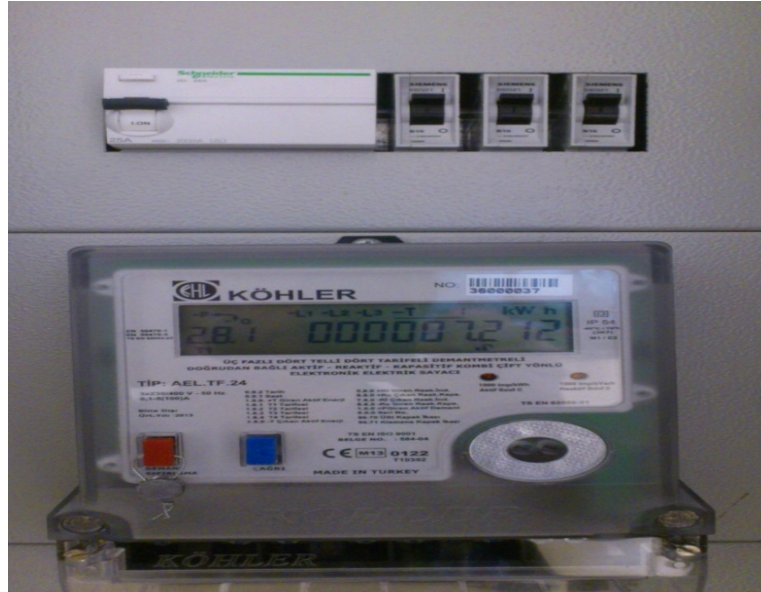
Şekil 2.18. Sistemde kullanılan poli-kristal (P 60) güneş paneli

Şekil 2.19’da sistemde kullanılan şebeke ile paralel eviriciler gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Sistemde kullanılan şebeke ile paralel eviriciler

Şekil 2.20’de sistemden şebekeye aktarılan enerjiyi ölçen 3 fazlı sayaç gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Şebekeye aktarılan enerjiyi ölçen 3 fazlı sayaç

Sistemde; Alman Solar fabrik firması tarafından üretilen Premium L poly markasının verimi %14,9 olan 250 W poli kristal P 60 tipindeki güneş panelinden 5 adet olmak üzere toplam 1250 Watt kurulu güçte poli kristal P 60 güneş paneli bulunmaktadır.

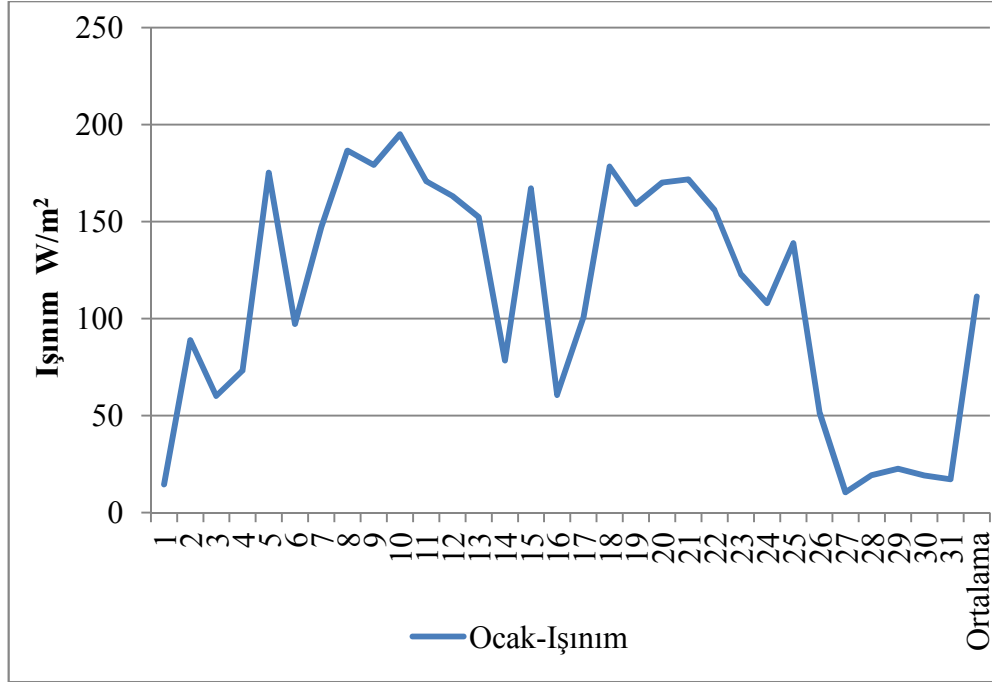
Bosch firması tarafından üretilen verimi %14,7 olan 195 W mono kristal M 48 tipindeki güneş panelinden 6 adet olmak üzere toplam 1170 Watt kurulu güçte mono kristal M 48 güneş paneli bulunmaktadır.

Solar frontier firması tarafından üretilen 150 W gücünde ve verimi %12,2 olan SF150-S markalı güneş panelinden 8 adet olmak üzere toplam 1200 Watt kurulu güçte ince- film tipindeki güneş paneli bulunmaktadır.

Tek fazlı ve maksimum verimi %92,1 olan Sunny Boy 1200 markalı evirici kullanılmaktadır. Eviricinin maksimum güç girişi DC 1320 W, AC nominal güç çıkışı ise 1200 W’dir.

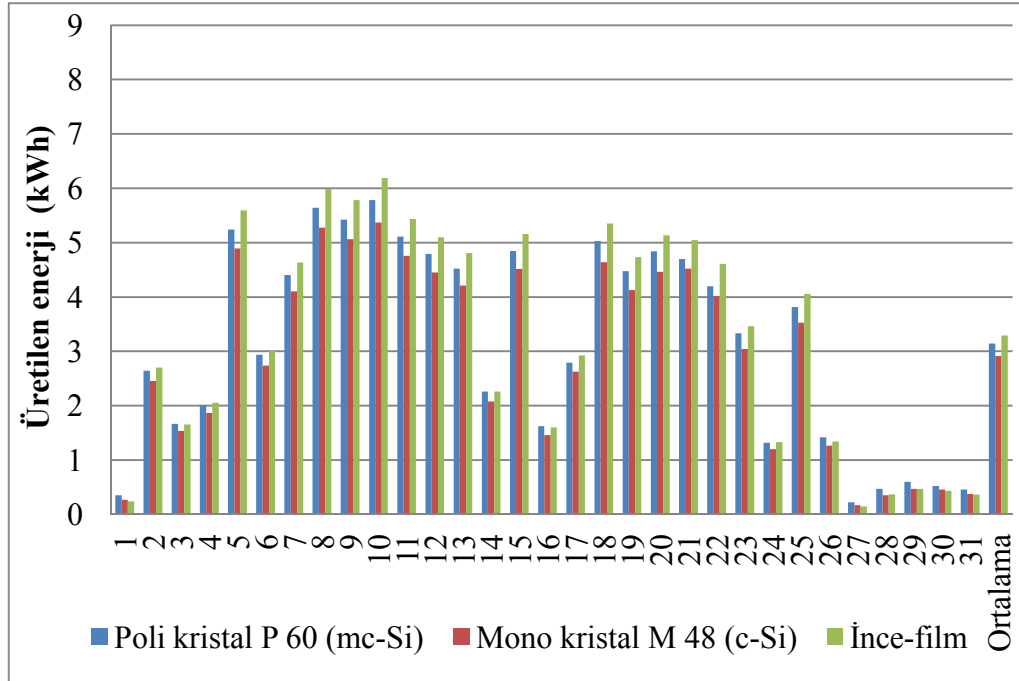
Sistemde haberleşme protokolü olarak RS485 kullanılmaktadır.

Şekil 2.21’de 2014 yılı Ocak ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



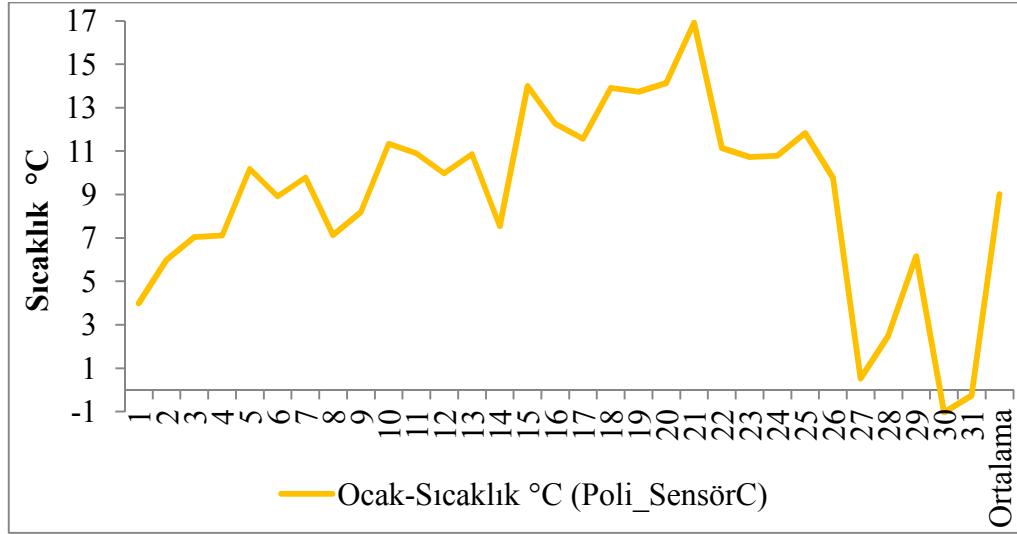
Şekil 2.21. 2014 yılı Ocak ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.22’de 2014 yılı Ocak ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.22. 2014 yılının Ocak ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.23'te 2014 yılı Ocak ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



Şekil 2.23. 2014 yılı Ocak ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

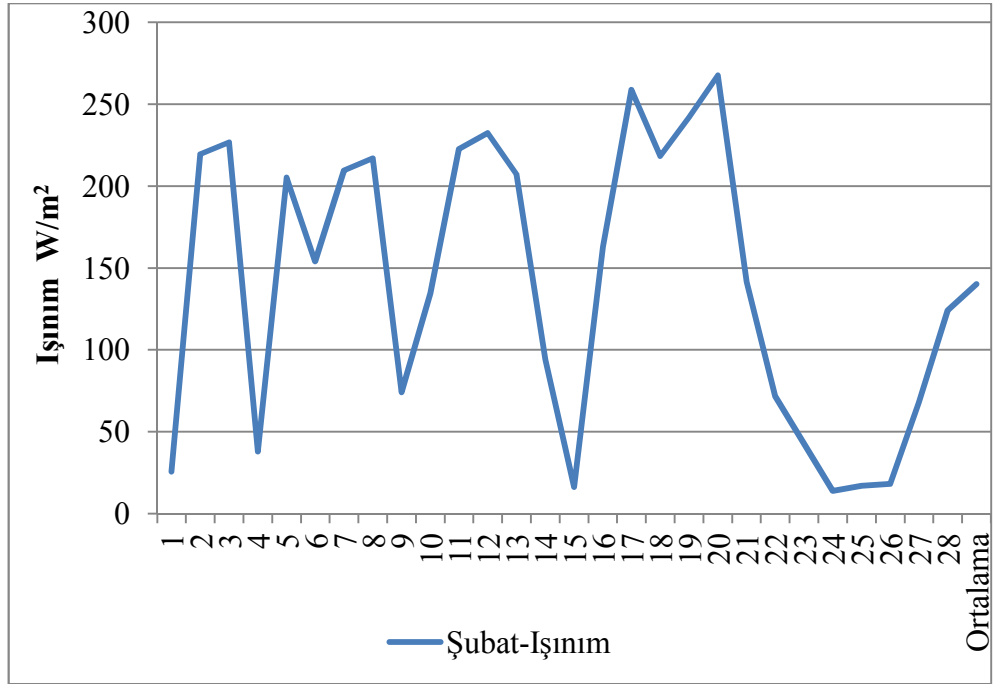
Şekil 2.21'de verilen 2014 yılı Ocak ayı günlük ışınlama ortalamaları grafiğine göre Ocak ayındaki en düşük günlük ortalama ışınlama değeri  $10,44 \text{ W/m}^2$  ile 27 Ocak'ta ve en yüksek ışınlama değeri ise  $194,97 \text{ W/m}^2$  ile 10 Ocak'ta gerçekleşmiştir. 2014 Ocak ayında ortalama günlük ışınlama  $111,44 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.22'de verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Ocak ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Ocak ayındaki en yüksek günlük enerji üretimi  $6,2 \text{ kWh}$  ile ince-film panel tarafından 10 Ocak'ta gerçekleşmiştir. Ocak ayının en düşük enerji üretimi ise yine ince-film güneş panelinde  $145 \text{ Wh}$  ile 27 Ocak'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Ocak ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $3,291 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $3,143 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $2,913 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.23'te 2014 yılı Ocak ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 21 Ocak'ta  $16,9 \text{ }^\circ\text{C}$  ve en düşük sıcaklık ise 30 Ocak'ta sıfırın altında  $1^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Ocak ayı ortalama sıcaklık değeri  $9 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

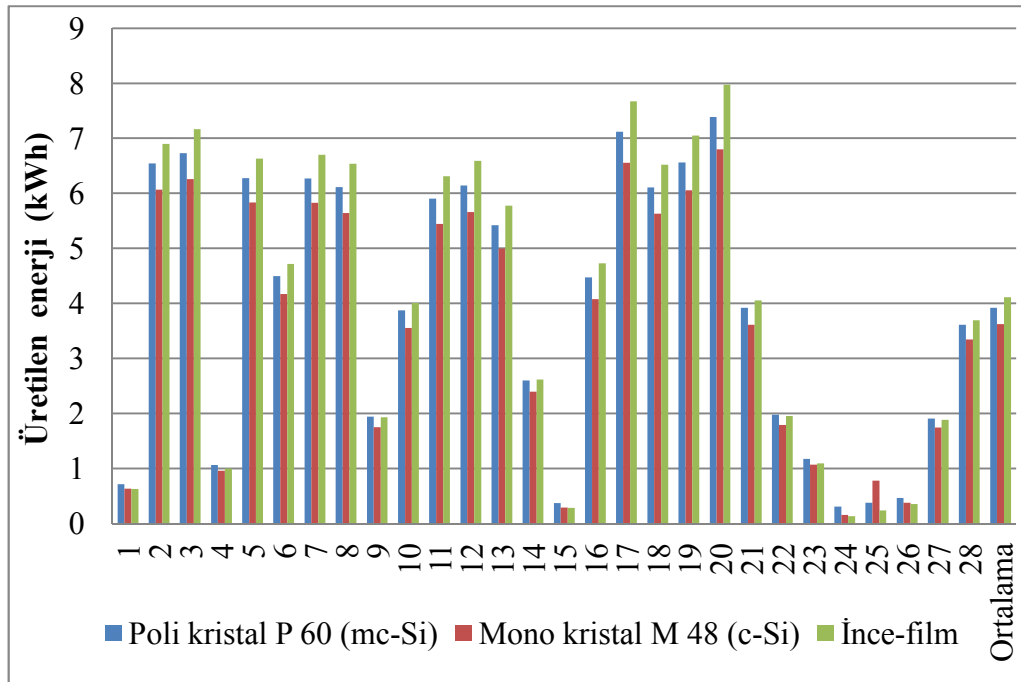


Şekil 2.24'te 2014 yılı Şubat ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



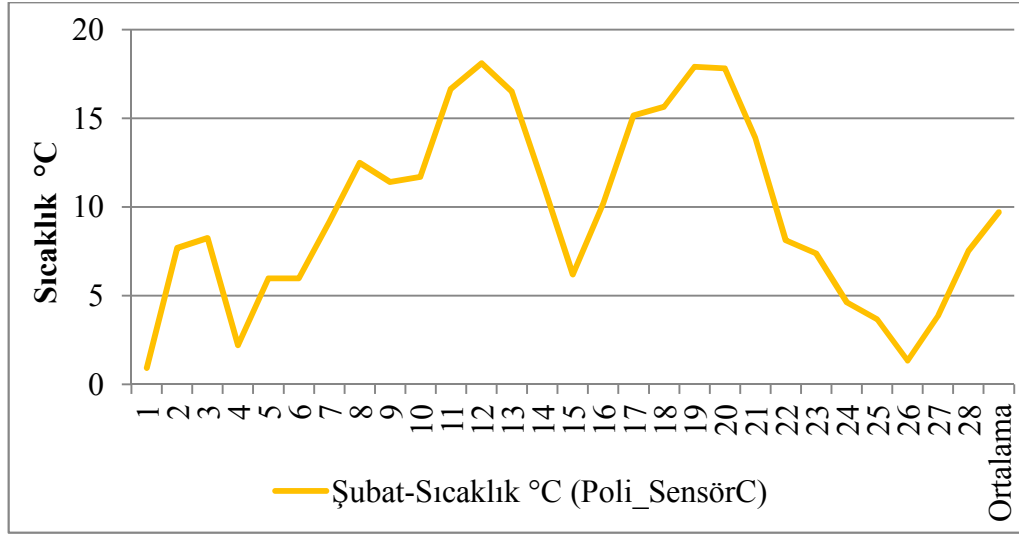
Şekil 2.24. 2014 yılı Şubat ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.25'te 2014 yılı Şubat ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.25. 2014 yılının Şubat ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.26'da 2014 yılı Şubat ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



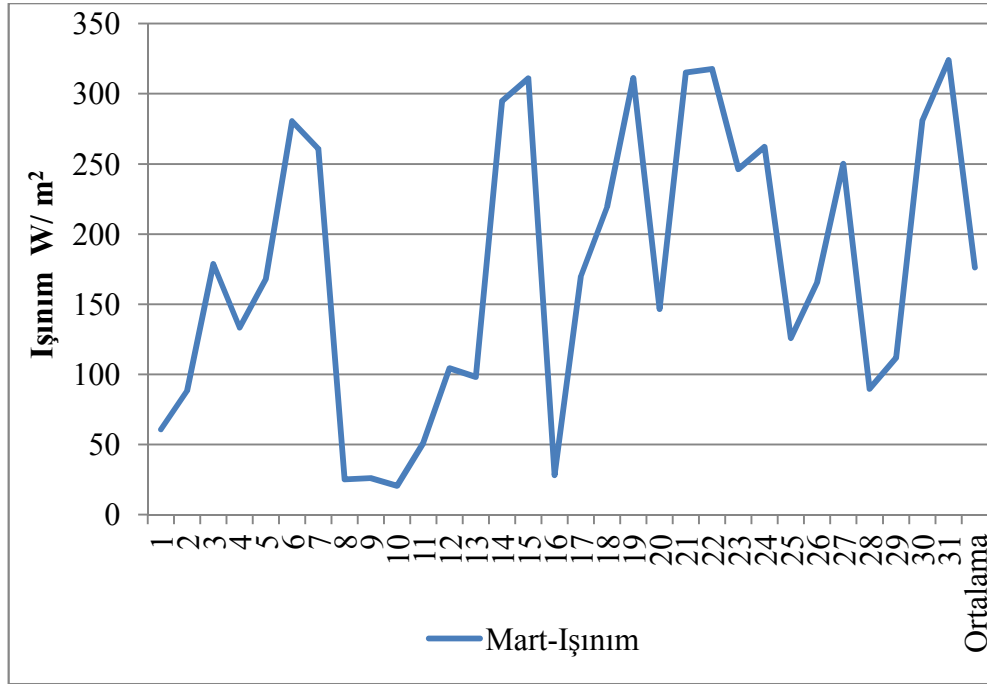
Şekil 2.26. 2014 yılı Şubat ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Şekil 2.24'te verilen 2014 yılı Şubat ayı günlük ışıınım ortalamaları grafiğine göre Şubat ayındaki en düşük günlük ortalama ışıınım değeri  $13,8 \text{ W/m}^2$  ile 24 Şubat'ta ve en yüksek ışıınım değeri ise  $267,58 \text{ W/m}^2$  ile 20 Şubat'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Şubat ayında ortalama günlük ışıınım  $140,13 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.25'te verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Şubat ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Şubat ayındaki en yüksek günlük enerji üretimi  $7,974 \text{ kWh}$  ile ince-film panel tarafından 20 Şubat'ta gerçekleşmiştir. Şubat ayının en düşük enerji üretimi ise yine ince-film güneş panelinde  $134 \text{ Wh}$  ile 24 Şubat'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Şubat ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $4,113 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $3,923 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $3,624 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

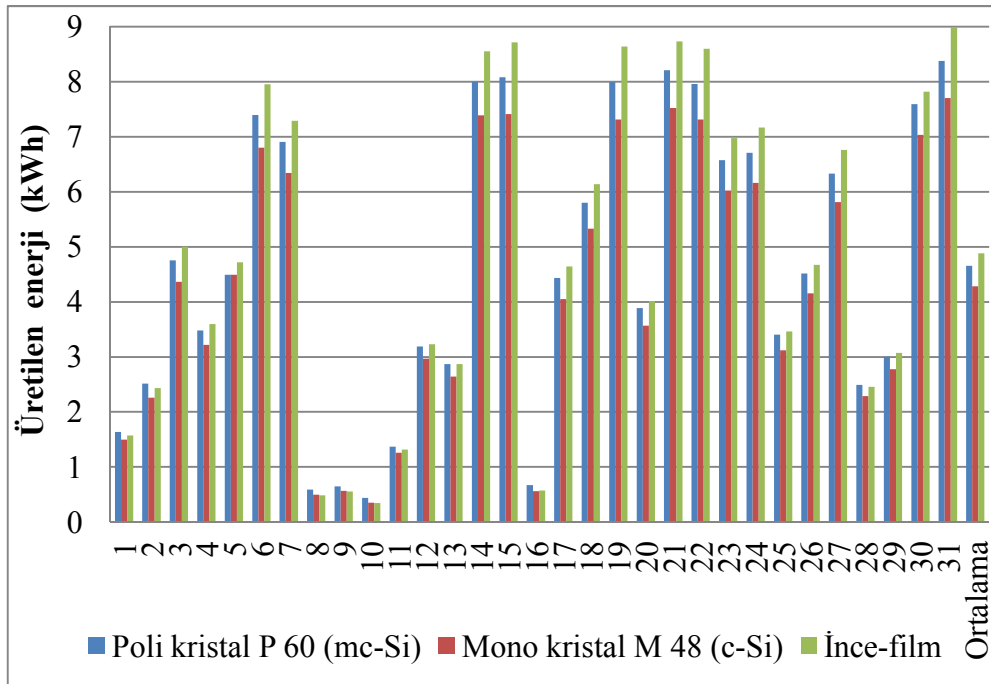
Şekil 2.26'da 2014 yılı Şubat ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 12 Şubat'ta  $18,1 \text{ }^\circ\text{C}$  ve en düşük sıcaklık ise 1 Şubat'ta  $0,93 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Şubat ayı ortalama sıcaklık değeri  $9,71 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.27’de 2014 yılı Mart ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



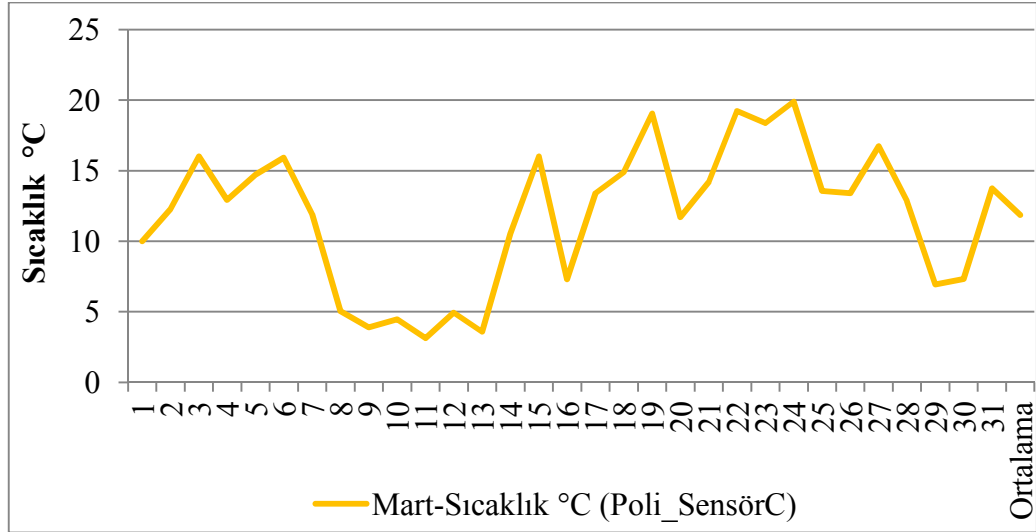
Şekil 2.27. 2014 yılı Mart ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.28’de 2014 yılı Mart ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.28. 2014 yılının Mart ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.29'da 2014 yılı Mart ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



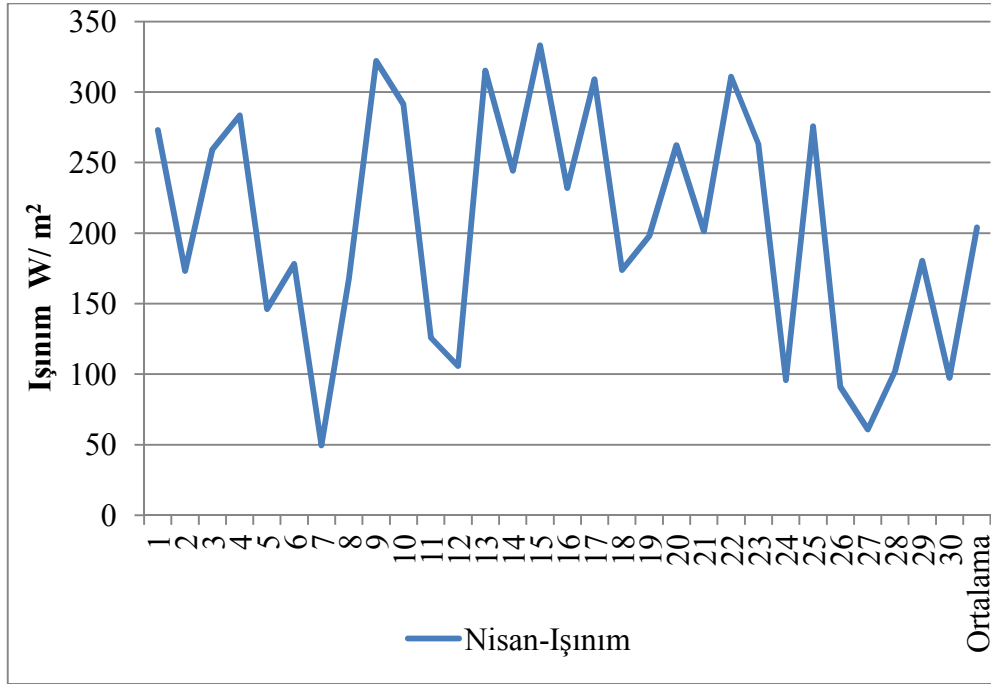
Şekil 2.29. 2014 yılı Mart ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Şekil 2.27'de verilen 2014 yılı Mart ayı günlük ışınlama ortalamaları grafiğine göre Mart ayındaki en düşük günlük ortalama ışınlama değeri  $20,51 \text{ W/m}^2$  ile 10 Mart'ta ve en yüksek ışınlama değeri ise  $324,06 \text{ W/m}^2$  ile 31 Mart'ta gerçekleşmiştir. 2014 Mart ayında ortalama günlük ışınlama  $176,27 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.28'de verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Mart ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Mart ayındaki en yüksek günlük enerji üretimi  $8,991 \text{ kWh}$  ile ince-film panel tarafından 31 Mart'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Mart ayının en düşük enerji üretimi ise yine ince-film güneş panelinde  $347 \text{ Wh}$  ile 10 Mart'ta gerçekleşmiştir. 2014 Mart ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $4,883 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $4,655 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $4,283 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

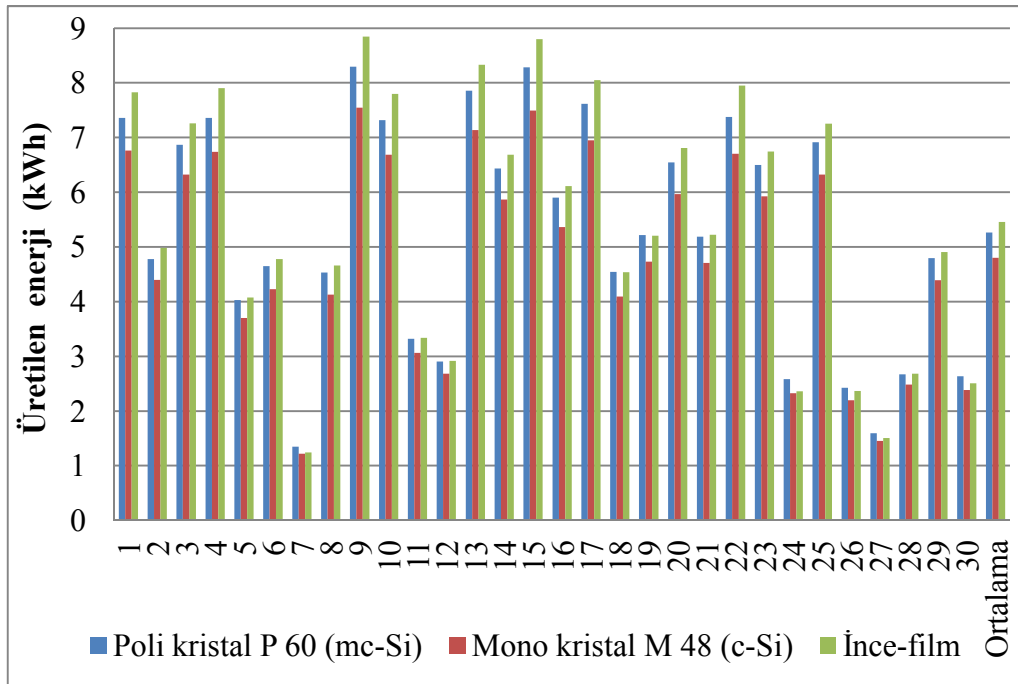
Şekil 2.29'da 2014 yılı Mart ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 24 Mart'ta  $19,9 \text{ °C}$  ve en düşük sıcaklık ise 11 Mart'ta  $3,12 \text{ °C}$  olarak ölçülmüştür. Mart ayı ortalama sıcaklık değeri  $11,87 \text{ °C}$  olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.30'da 2014 yılı Nisan ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



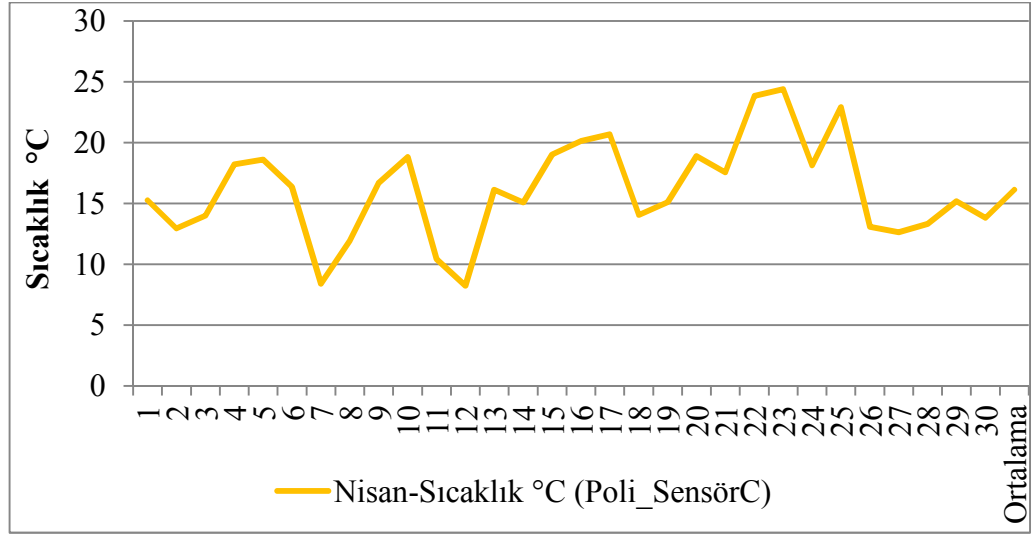
Şekil 2.30. 2014 yılı Nisan ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.31'de 2014 yılı Nisan ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.31. 2014 yılının Nisan ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.32’de 2014 yılı Nisan ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



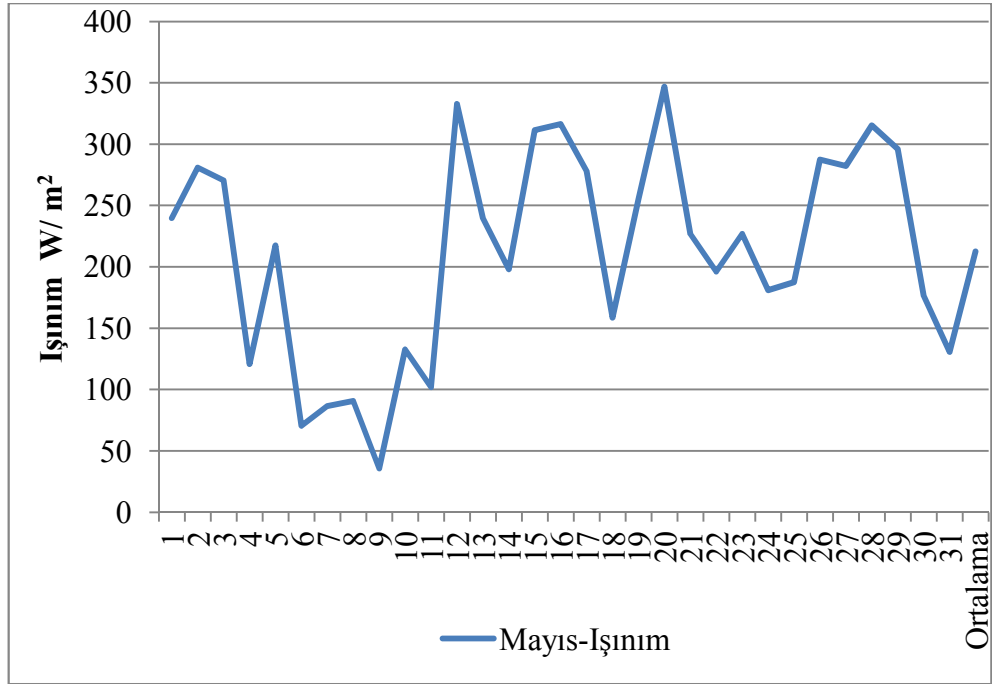
Şekil 2.32. 2014 yılı Nisan ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Şekil 2.30’da verilen 2014 yılı Nisan ayı günlük ışınlama ortalamaları grafiğine göre Nisan ayındaki en düşük günlük ortalama ışınlama değeri  $49,38 \text{ W/m}^2$  ile 7 Nisan’da ve en yüksek ışınlama değeri ise  $333,20 \text{ W/m}^2$  ile 15 Nisan’da gerçekleşmiştir. 2014 yılı Nisan ayında ortalama günlük ışınlama  $204,01 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.31’de verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Nisan ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Nisan ayındaki en yüksek günlük enerji üretimi  $8,848 \text{ kWh}$  ile ince-film panel tarafından 9 Nisan’da gerçekleşmiştir. 2014 Nisan ayının en düşük enerji üretimi ise mono kristal güneş panelinde  $1,217 \text{ kWh}$  ile 7 Nisan’da gerçekleşmiştir. 2014 yılı Nisan ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $5,456 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $5,261 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $4,799 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

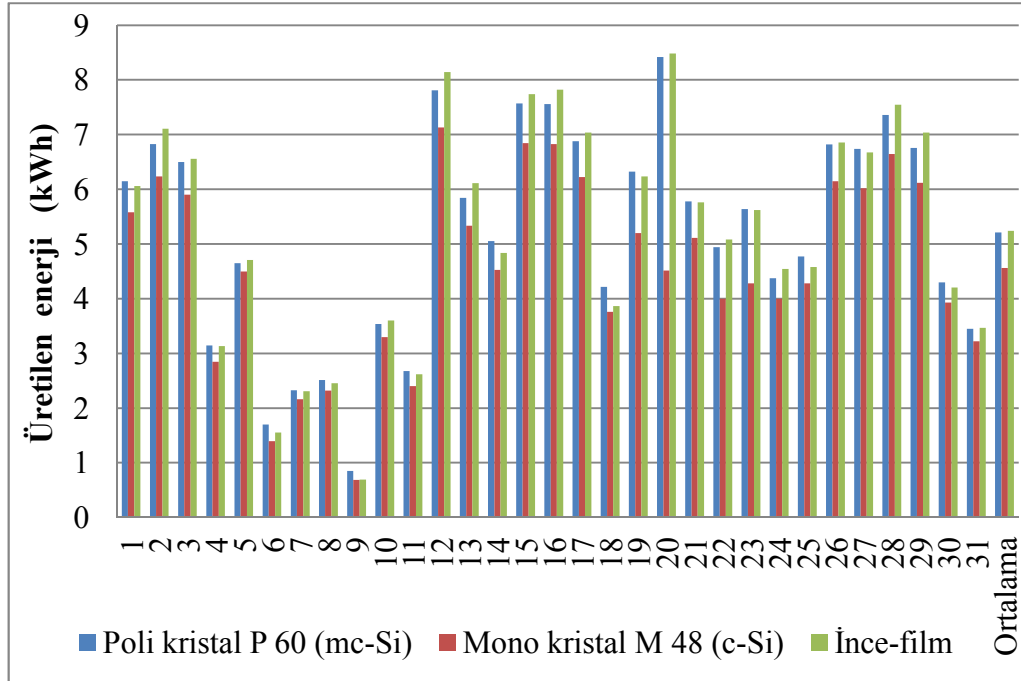
Şekil 2.32’de 2014 yılı Nisan ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 23 Nisan’da  $24,38 \text{ }^\circ\text{C}$  ve en düşük sıcaklık ise 12 Nisan’da  $8,24 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Nisan ayı ortalama sıcaklık değeri  $16,12 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.33'te 2014 yılı Mayıs ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



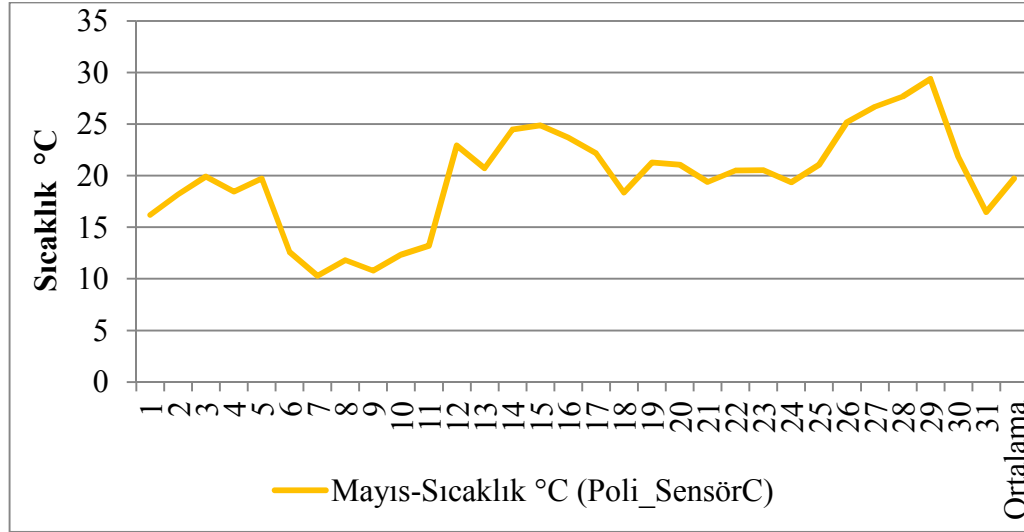
Şekil 2.33. 2014 yılı Mayıs ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.34'te 2014 yılı Mayıs ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.34. 2014 yılının Mayıs ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.35'te 2014 Mayıs ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



Şekil 2.35. 2014 yılı Mayıs ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

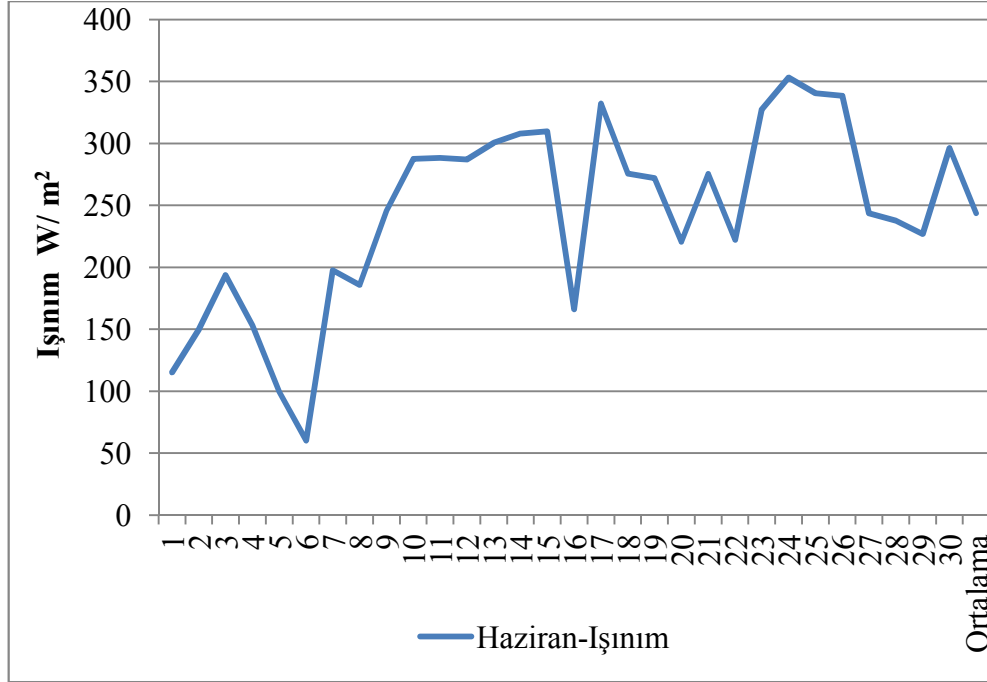
Şekil 2.33'te verilen 2014 yılı Mayıs ayı günlük ışınlama ortalamaları grafiğine göre Mayıs ayındaki en düşük günlük ortalama ışınlama değeri  $35,74 \text{ W/m}^2$  ile 9 Mayıs'ta ve en yüksek ışınlama değeri ise  $346,87 \text{ W/m}^2$  ile 20 Mayıs'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Mayıs ayında ortalama günlük ışınlama  $212,60 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.34'te verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Mayıs ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Mayıs ayındaki en yüksek günlük enerji üretimi  $8,485 \text{ kWh}$  ile ince-film panel tarafından 20 Mayıs'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Mayıs ayının en düşük enerji üretimi ise mono kristal güneş panelinde  $689 \text{ Wh}$  ile 9 Mayıs'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Mayıs ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $5,242 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $5,208 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $4,564 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.35'te 2014 yılı Mayıs ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 29 Mayıs'ta  $29,36 \text{ }^\circ\text{C}$  ve en düşük sıcaklık ise 7 Mayıs'ta  $10,29 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Mayıs ayı ortalama sıcaklık değeri  $19,7 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

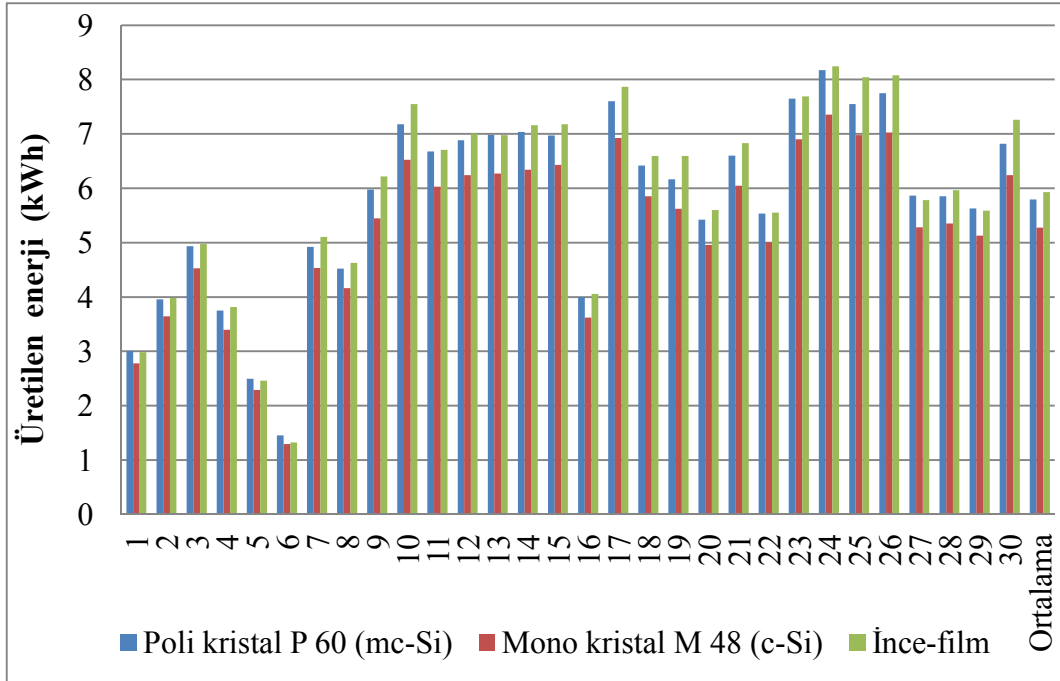


Şekil 2.36’da 2014 yılı Haziran ayı ölçülen günlük ışıınım ortalamaları verilmiştir.



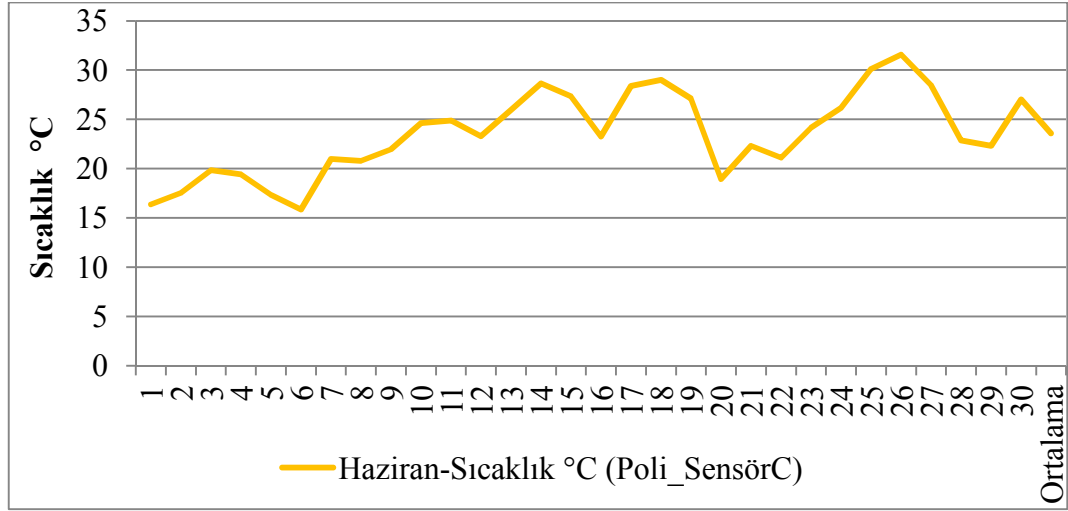
Şekil 2.36. 2014 yılı Haziran ayı ölçülen günlük ışıınım ortalamaları

Şekil 2.37’de 2014 yılı Haziran ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.37. 2014 yılının Haziran ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.38’de 2014 yılı Haziran ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



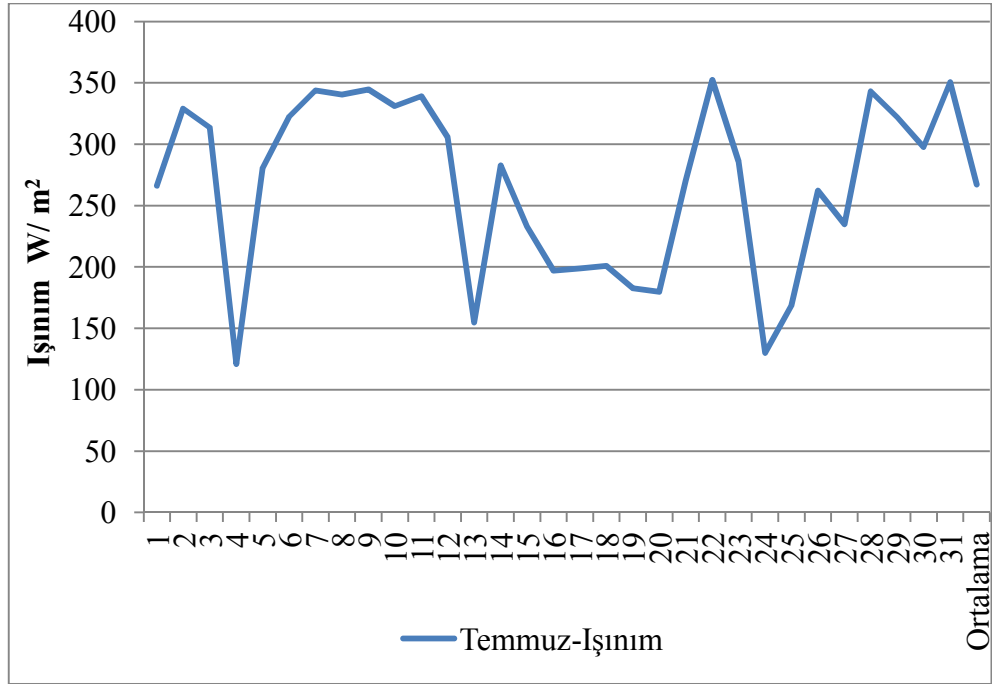
Şekil 2.38. 2014 yılı Haziran ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Şekil 2.36’deki 2014 yılı Haziran ayı günlük ışınlam ortalamalarına göre Haziran ayındaki en düşük günlük ortalama ışınlam değeri  $60,08 \text{ W/m}^2$  ile 6 Haziran’da ve en yüksek ışınlam değeri ise  $353,09 \text{ W/m}^2$  ile 24 Haziran’da gerçekleşmiştir. 2014 yılı Haziran ayında ortalama günlük ışınlam  $243,58 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.37’de verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Haziran ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Haziran ayındaki en yüksek günlük enerji üretimi  $8,243 \text{ kWh}$  ile ince-film panel tarafından 24 Haziran’da gerçekleşmiştir. 2014 yılı Haziran ayının en düşük enerji üretimi ise mono kristal güneş panelinde  $1,298 \text{ kWh}$  ile 6 Haziran’da gerçekleşmiştir. 2014 yılı Haziran ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $5,928 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $5,793 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $5,274 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

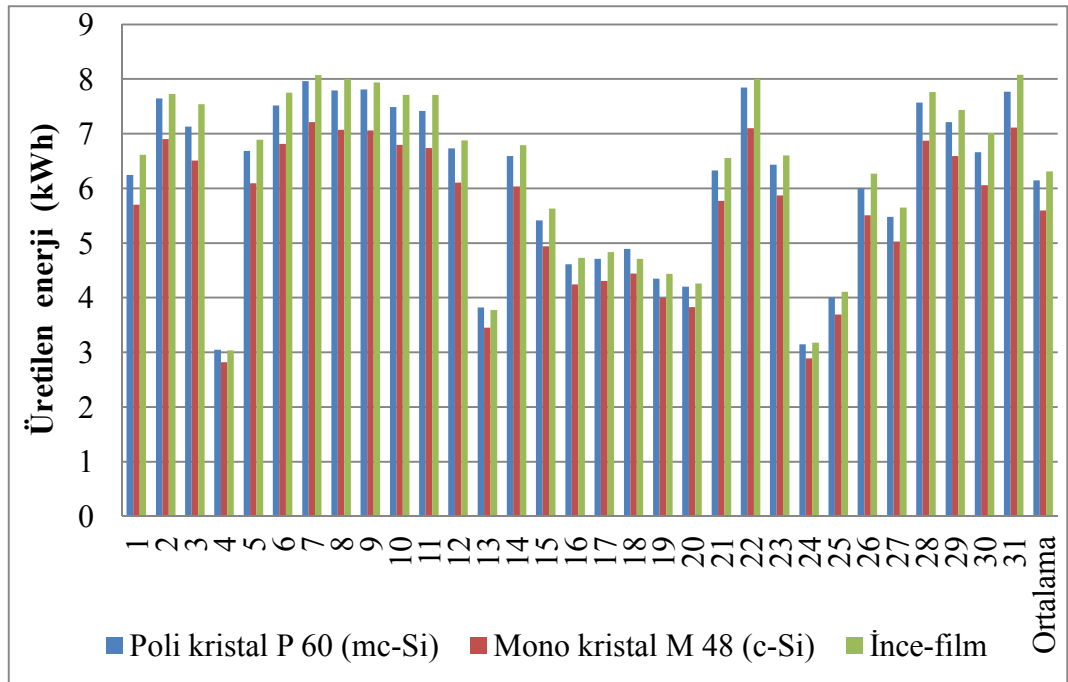
Şekil 2.38’de 2014 yılı Haziran ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 26 Haziran  $31,58 \text{ °C}$  ve en düşük sıcaklık ise 6 Haziran’da  $15,86 \text{ °C}$  olarak ölçülmüştür. Haziran ayı ortalama sıcaklık değeri  $23,6 \text{ °C}$  olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.39’da 2014 yılı Temmuz ayı ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



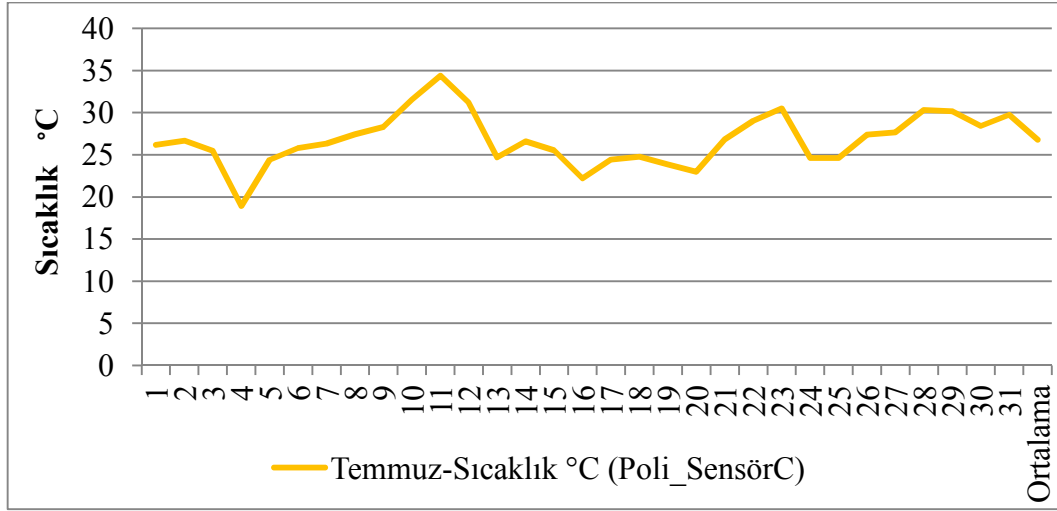
Şekil 2.39. 2014 yılı Temmuz ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.40’ta 2014 yılı Temmuz ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.40. 2014 yılının Temmuz ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.41’de 2014 yılı Temmuz ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



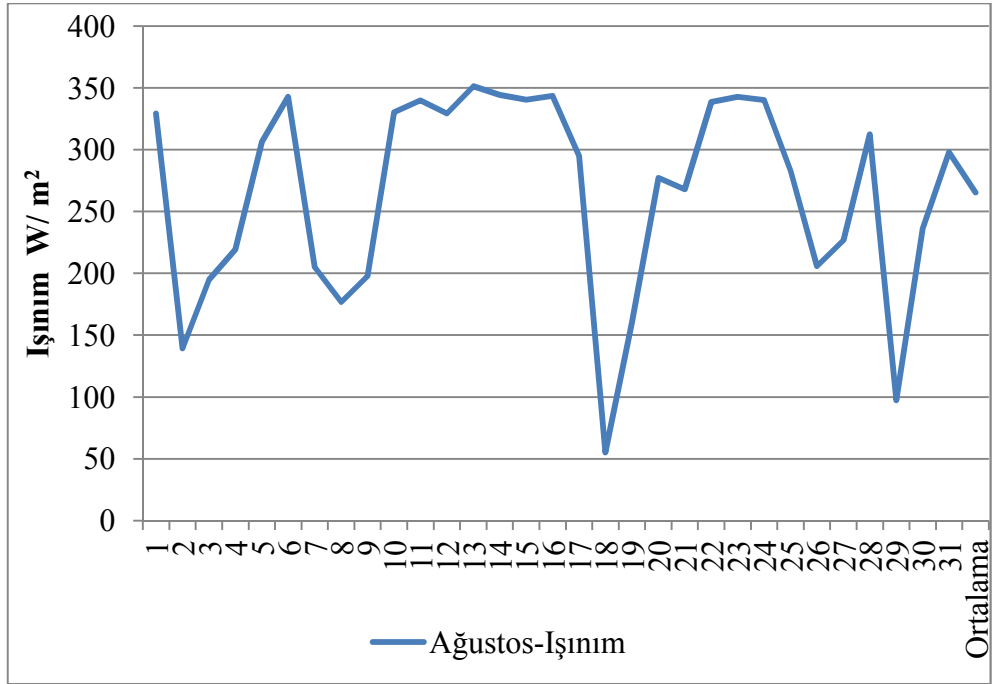
Şekil 2.41. 2014 yılı Temmuz ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Şekil 2.39’da verilen 2014 yılı Temmuz ayı günlük ışınım ortalamaları grafiğine göre Temmuz ayındaki en düşük günlük ortalama ışınım değeri  $120,81 \text{ W/m}^2$  ile 4 Temmuz’da ve en yüksek ışınım değeri ise  $352,35 \text{ W/m}^2$  ile 22 Temmuz’da gerçekleşmiştir. 2014 Temmuz ayında ortalama günlük ışınım  $267,19 \text{ W/m}^2$  olmuştur.

Şekil 2.40’ta verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Temmuz ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Temmuz ayındaki en yüksek günlük enerji üretimi  $8,08 \text{ kWh}$  ile ince-film panel tarafından 31 Temmuz’da gerçekleşmiştir. 2014 yılı Temmuz ayının en düşük enerji üretimi ise mono kristal güneş panelinde  $2,818 \text{ kWh}$  ile 4 Temmuz’da gerçekleşmiştir. 2014 yılı Temmuz ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $6,311 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $6,145 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $5,597 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

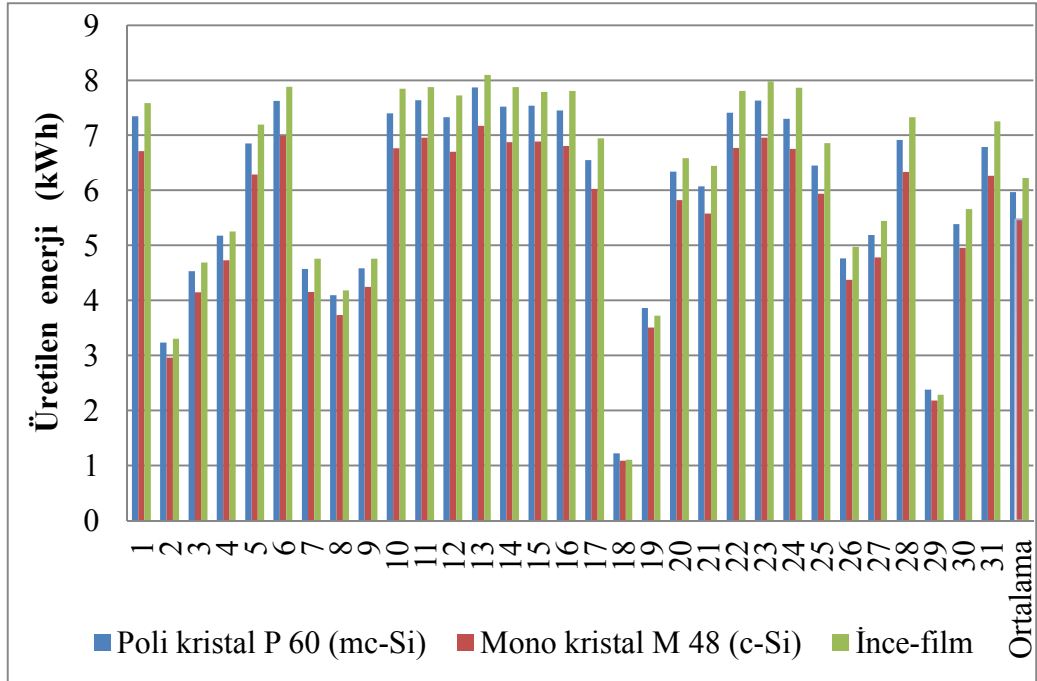
Şekil 2.41’de 2014 yılı Temmuz ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 11 Temmuz’da  $34,37 \text{ °C}$  ve en düşük sıcaklık ise 4 Temmuz’da  $18,94 \text{ °C}$  olarak ölçülmüştür. Temmuz ayı ortalama sıcaklık değeri  $26,8 \text{ °C}$  olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.42’de 2014 yılı Ağustos ayı ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



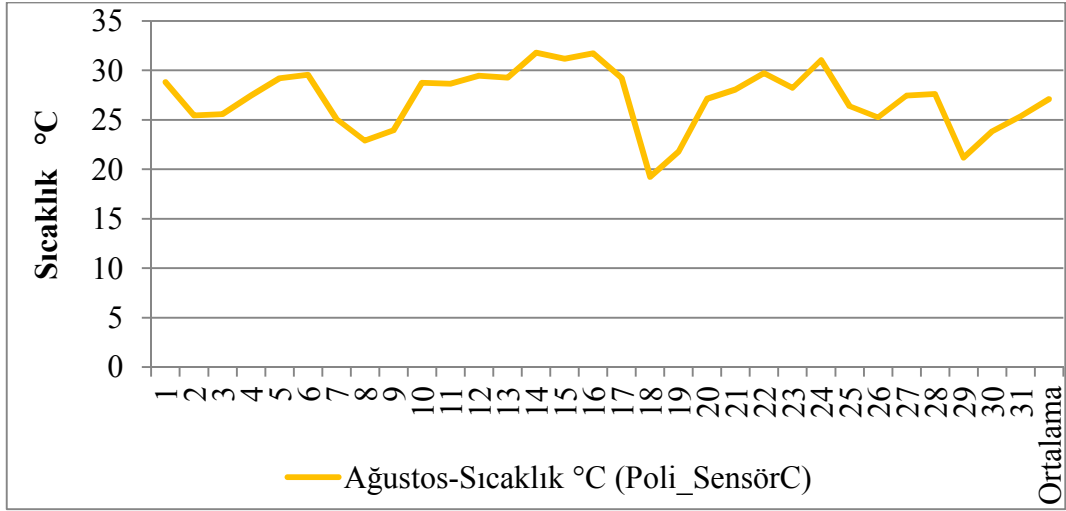
Şekil 2.42. 2014 yılı Ağustos ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.43’te 2014 yılı Ağustos ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.43. 2014 yılının Ağustos ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.44'te 2014 yılı Ağustos ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



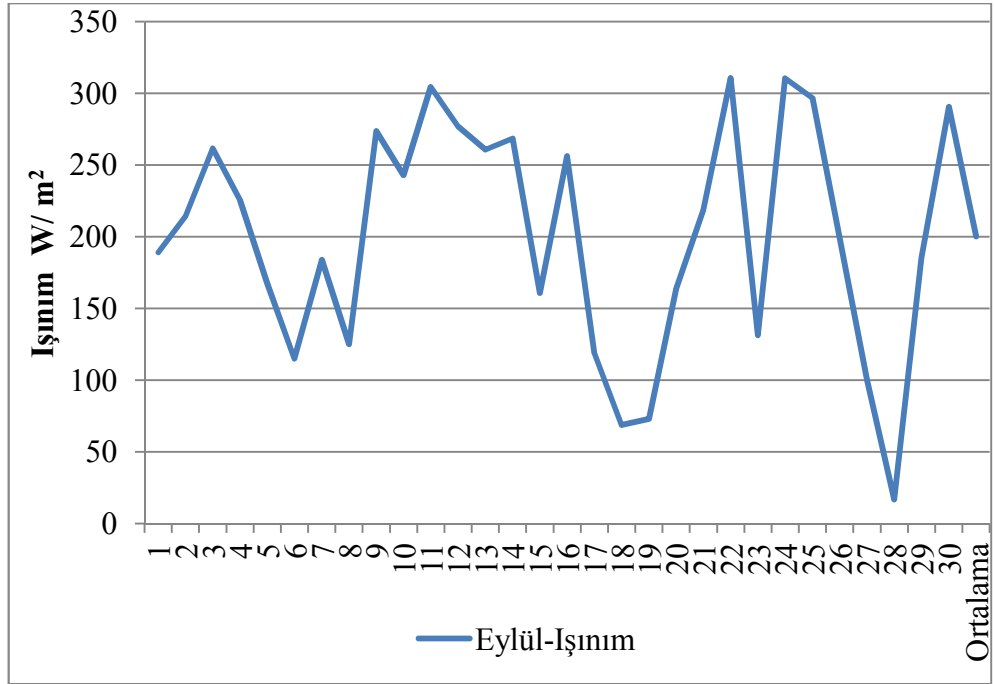
Şekil 2.44. 2014 yılı Ağustos ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Şekil 2.42'de verilen 2014 yılı Ağustos ayı günlük ışınlama ortalamaları grafiğine göre Ağustos ayındaki en düşük günlük ortalama ışınlama değeri  $55,01 \text{ W/m}^2$  ile 18 Ağustos'ta ve en yüksek ışınlama değeri ise  $351,37 \text{ W/m}^2$  ile 13 Ağustos'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Ağustos ayında ortalama günlük ışınlama  $265,34 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.43'te verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Ağustos ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Ağustos ayındaki en yüksek günlük enerji üretimi  $8,098 \text{ kWh}$  ile ince-film panel tarafından 13 Ağustos'ta gerçekleşmiştir. 2014 Ağustos ayının en düşük enerji üretimi ise mono kristal güneş panelinde  $1,087 \text{ kWh}$  ile 18 Ağustos'ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Ağustos ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $6,22 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $5,968 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $5,465 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

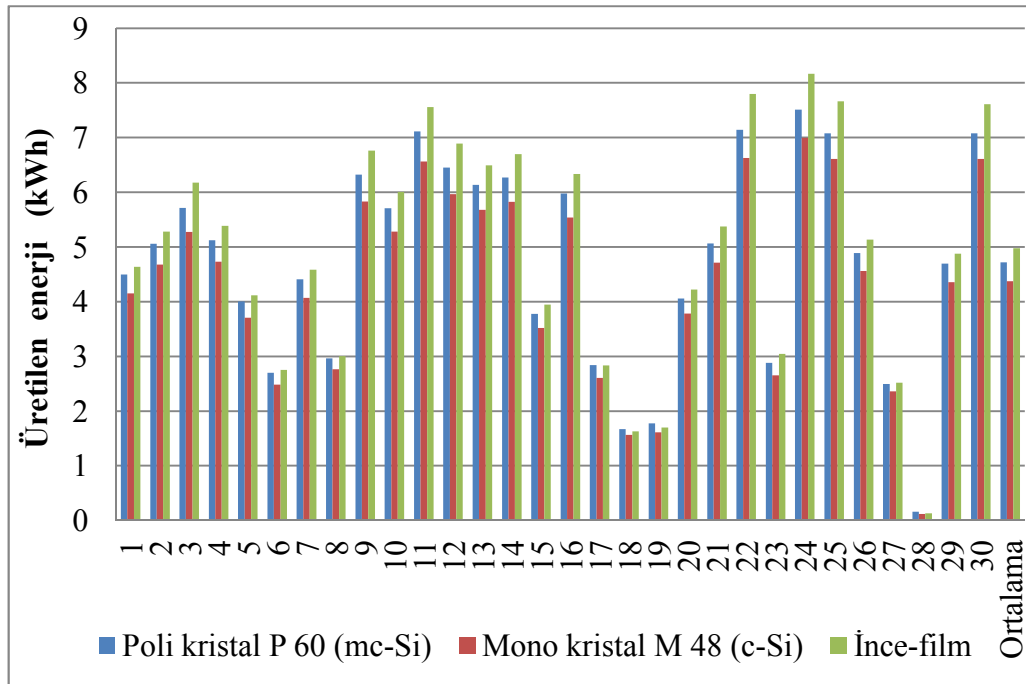
Şekil 2.44'te 2014 yılı Ağustos ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 14 Ağustos'ta  $31,77 \text{ }^\circ\text{C}$  ve en düşük sıcaklık ise 18 Ağustos'ta  $19,2 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Ağustos ayı ortalama sıcaklık değeri  $27,1 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.45'te 2014 yılı Eylül ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



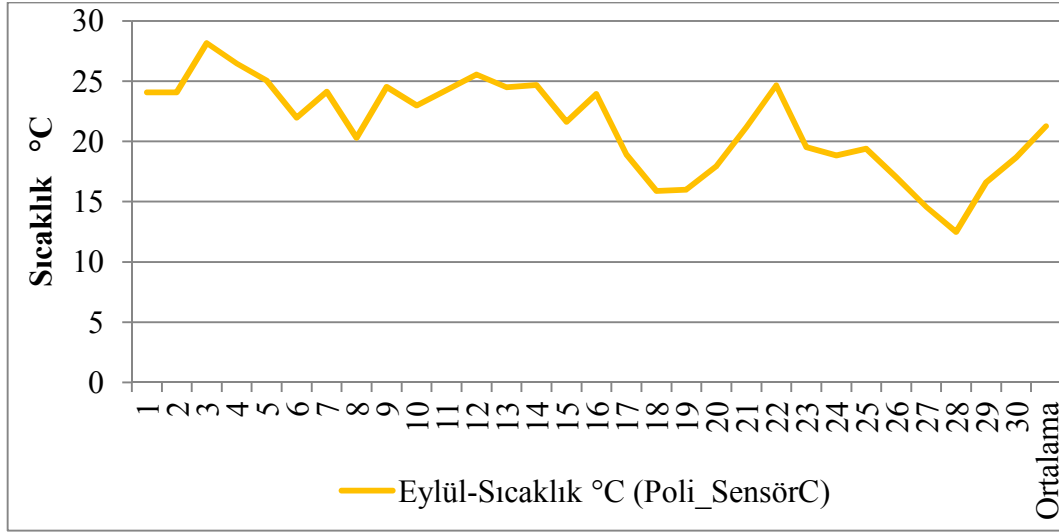
Şekil 2.45. 2014 yılı Eylül ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.46'da 2014 yılı Eylül ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.46. 2014 yılının Eylül ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.47’de 2014 yılı Eylül ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



Şekil 2.47. 2014 yılı Eylül ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

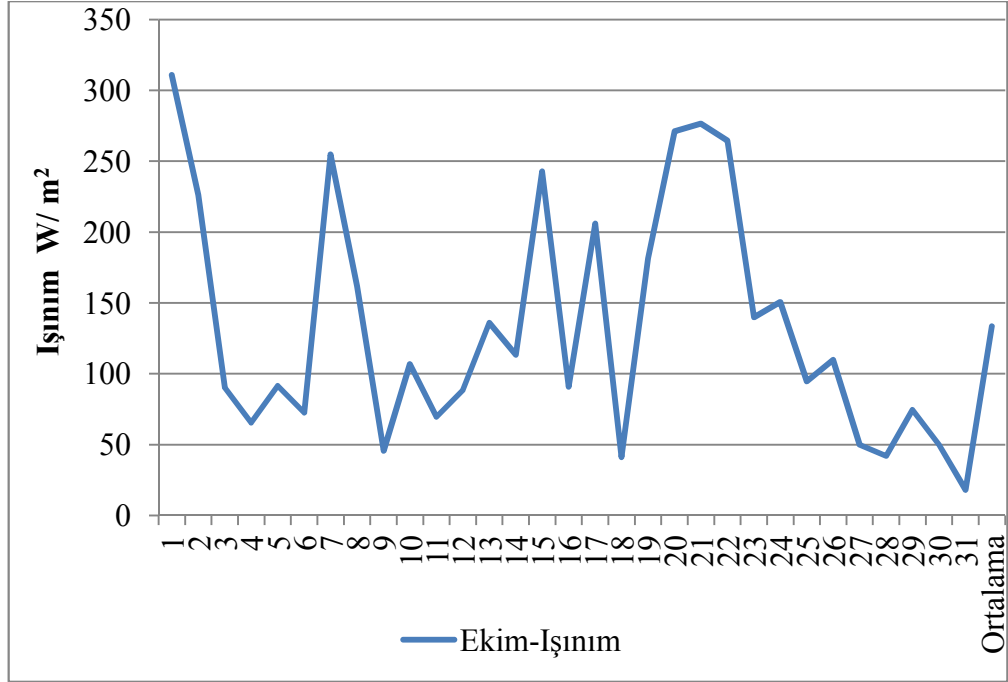
Şekil 2.45’te verilen 2014 yılı Eylül ayı günlük ışıınım ortalamaları grafiğine göre Eylül ayındaki en düşük günlük ortalama ışıınım değeri  $16,65 \text{ W/m}^2$  ile 28 Eylül’de ve en yüksek ışıınım değeri ise  $310,58 \text{ W/m}^2$  ile 22 Eylül’de gerçekleşmiştir. 2014 yılı Eylül ayında ortalama günlük ışıınım  $200,24 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.46’da verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Eylül ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Eylül ayında en yüksek günlük enerji üretimi  $8,169 \text{ kWh}$  ile ince-film panel tarafından 24 Eylül’de gerçekleşmiştir. 2014 Eylül ayının en düşük enerji üretimi ise mono kristal güneş panelinde  $119 \text{ Wh}$  ile 28 Eylül’de gerçekleşmiştir. 2014 yılı Eylül ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $4,978 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $4,719 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $4,374 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.47’de 2014 yılı Eylül ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 3 Eylül’de  $28,15 \text{ }^\circ\text{C}$  ve en düşük sıcaklık ise 28 Eylül’de  $12,49 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Eylül ayı ortalama sıcaklık değeri  $21,26 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

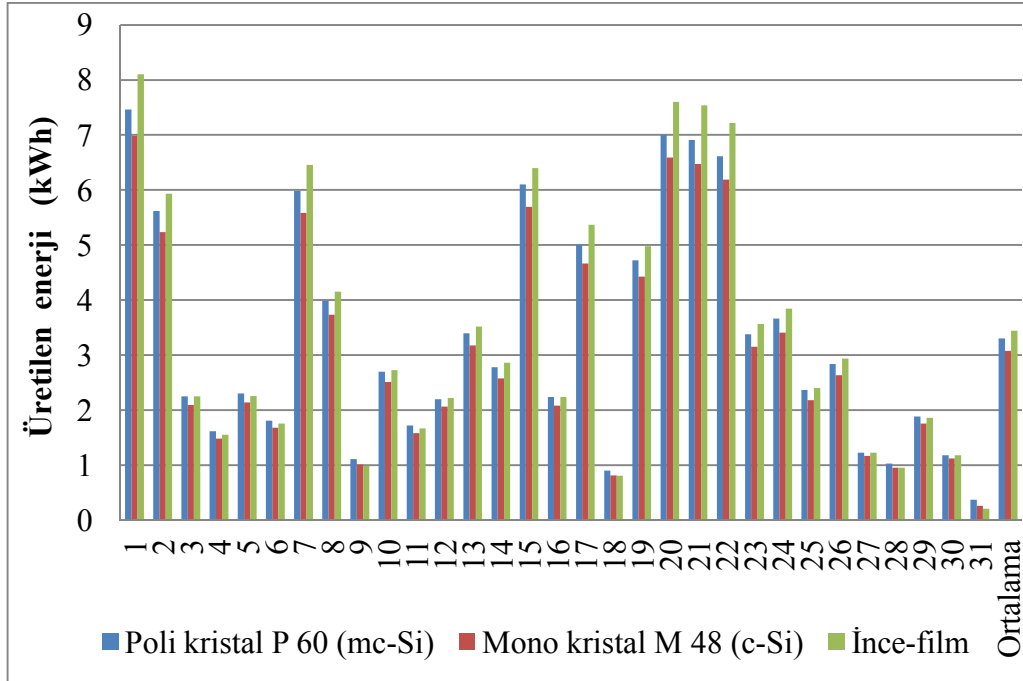


Şekil 2.48’de 2014 Ekim ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



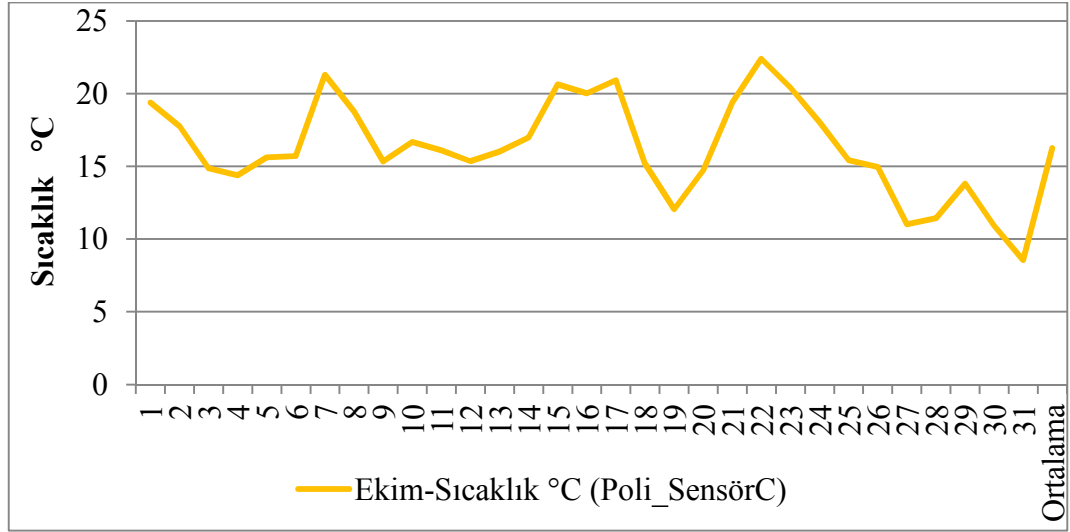
Şekil 2.48. 2014 yılı Ekim ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.49’da 2014 Ekim ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.49. 2014 yılının Ekim ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.50’de 2014 Ekim ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



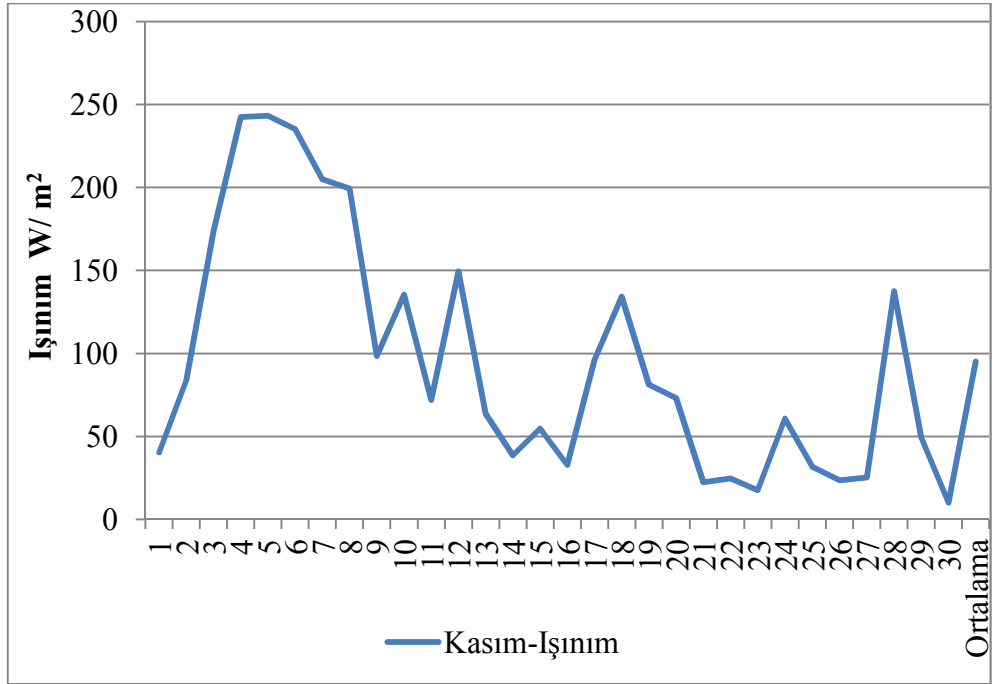
Şekil 2.50. 2014 yılı Ekim ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Şekil 2.48’de verilen 2014 yılı Ekim ayı günlük ışıınım ortalamaları grafiğine göre Ekim ayındaki en düşük günlük ortalama ışıınım değeri 18,04 W/m<sup>2</sup> ile 31 Ekim’de ve en yüksek ışıınım değeri ise 310,76 W/m<sup>2</sup> ile 1 Ekim’de gerçekleşmiştir. 2014 yılı Ekim ayında ortalama günlük ışıınım 133,44 W/m<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.49’da verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Ekim ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Ekim ayında en yüksek günlük enerji üretimi 8,1 kWh ile ince-film güneş paneli tarafından 1 Ekim’de gerçekleşmiştir. 2014 Ekim ayının en düşük enerji üretimi ise yine ince-film güneş panelinde 208 Wh ile 31 Ekim’de gerçekleşmiştir. 2014 yılı Ekim ayında 1200 W gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması 3,443 kWh, 1250 W gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması 3,301 kWh ve son olarak 1170 W gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise 3,077 kWh olarak gerçekleşmiştir.

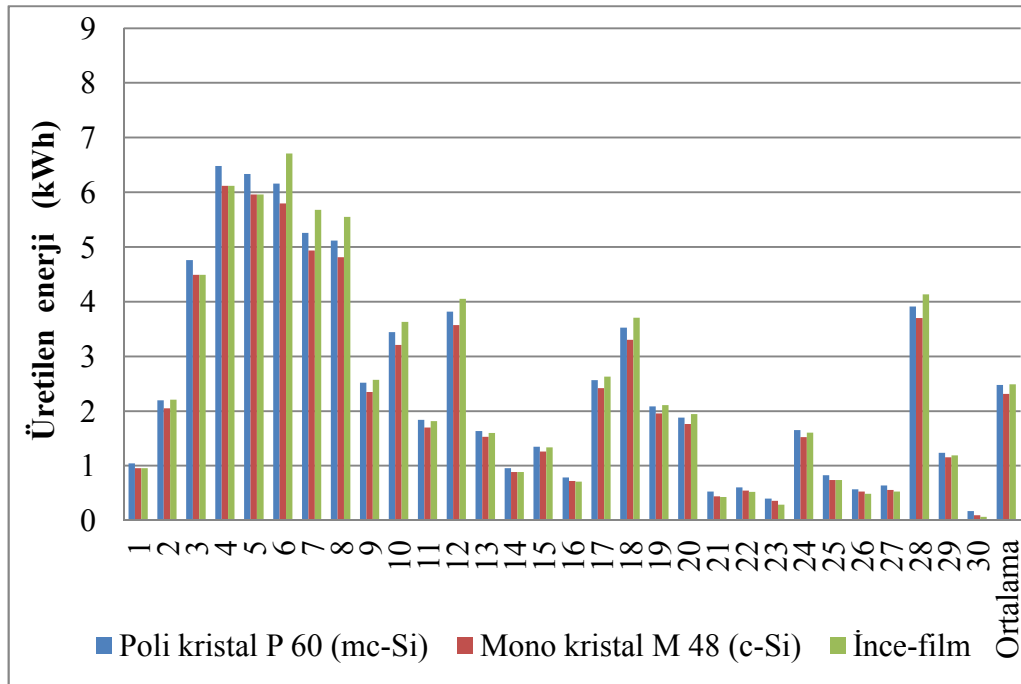
Şekil 2.50’de 2014 yılı Ekim ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 22 Ekim’de 22,39 °C ve en düşük sıcaklık ise 31 Ekim’de 8,51 °C olarak ölçülmüştür. Ekim ayı ortalama sıcaklık değeri 16,26 °C olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.51’de 2014 yılı Kasım ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



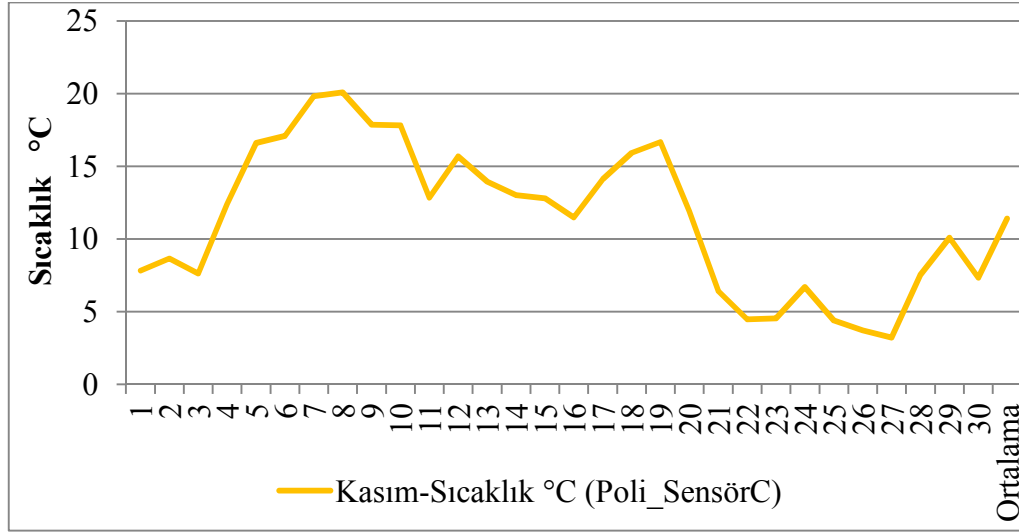
Şekil 2.51. 2014 yılı Kasım ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.52’de 2014 yılı Kasım ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.52. 2014 yılının Kasım ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.53’de 2014 yılı Kasım ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



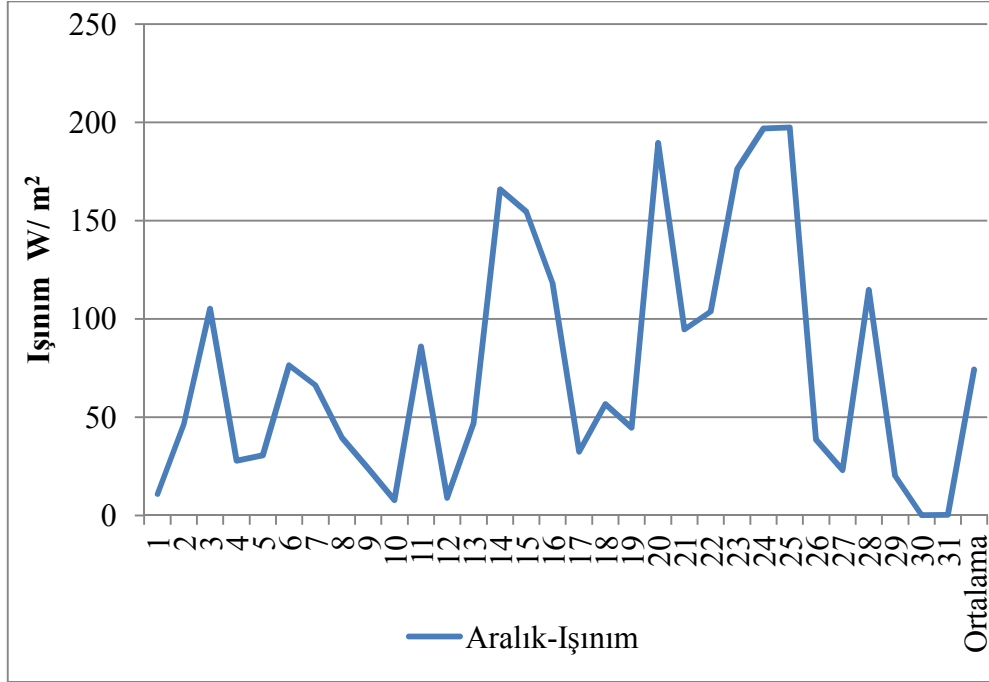
Şekil 2.53. 2014 yılı Kasım ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Şekil 2.51’de verilen 2014 yılı Kasım ayı günlük ışınlama ortalamaları grafiğine göre Kasım ayındaki en düşük günlük ortalama ışınlama değeri  $10,08 \text{ W/m}^2$  ile 30 Kasım’da ve en yüksek ışınlama değeri ise  $243,21 \text{ W/m}^2$  ile 5 Kasım’da gerçekleşmiştir. 2014 yılı Kasım ayında ortalama günlük ışınlama  $95,18 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.52’de verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Kasım ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Kasım ayında en yüksek günlük enerji üretimi  $6,712 \text{ kWh}$  ile ince-film güneş paneli tarafından 6 Kasım’da gerçekleşmiştir. 2014 Kasım ayının en düşük enerji üretimi ise yine ince-film güneş panelinde  $65 \text{ Wh}$  ile 30 Kasım’da gerçekleşmiştir. 2014 yılı Kasım ayında  $1200 \text{ W}$  ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $2,489 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $2,476 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $2,314 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

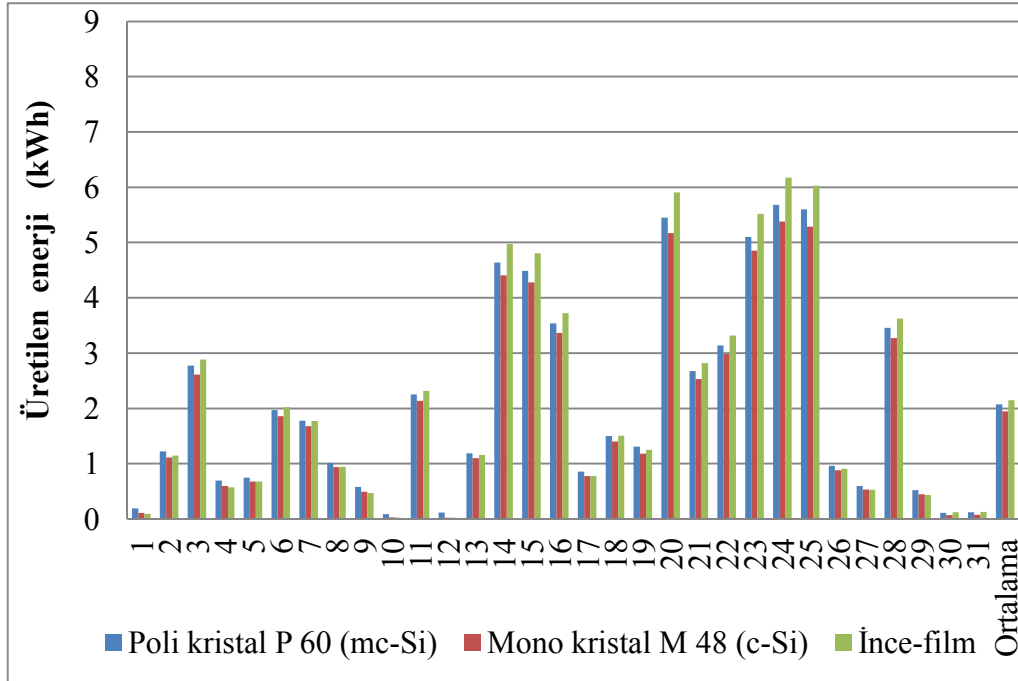
Şekil 2.53’de 2014 yılı Kasım ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 8 Kasım’da  $20,07 \text{ }^\circ\text{C}$  ve en düşük sıcaklık ise 27 Kasım’da  $3,21 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Kasım ayı ortalama sıcaklık değeri  $11,41 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.54’de 2014 Aralık ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları verilmiştir.



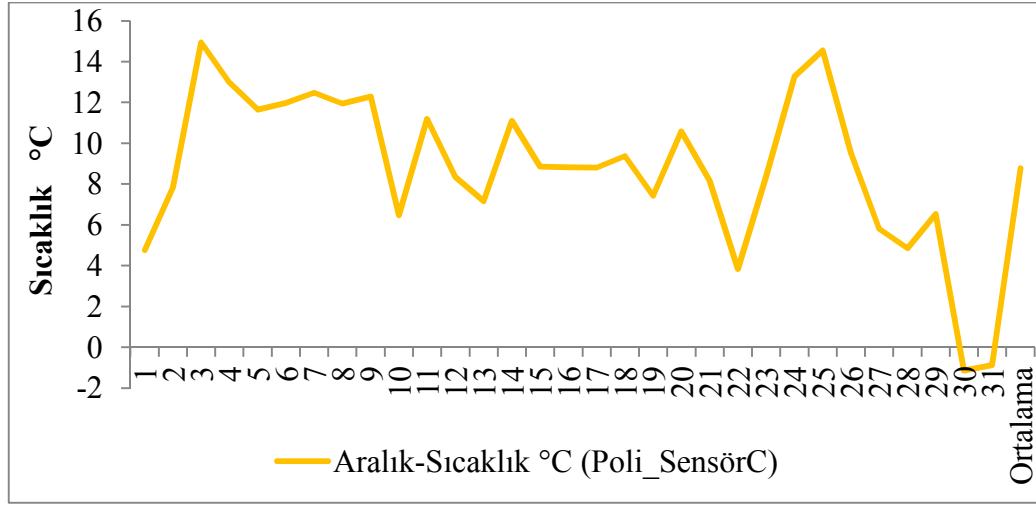
Şekil 2.54. 2014 yılı Aralık ayında ölçülen günlük ışınlam ortalamaları

Şekil 2.55’te 2014 yılı Aralık ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.55. 2014 yılının Aralık ayında farklı güç ve tipteki güneş panellerinde üretilen günlük enerji değerleri

Şekil 2.56’da 2014 yılı Aralık ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları verilmiştir.



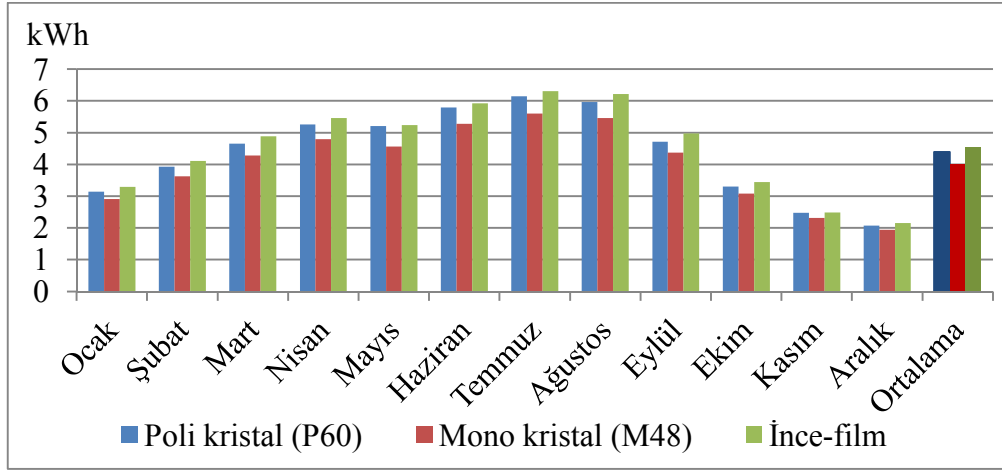
Şekil 2.56. 2014 yılı Aralık ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Şekil 2.54’te verilen 2014 yılı Aralık ayı günlük ışınım ortalamaları grafiğine göre Aralık ayındaki en düşük günlük ortalama ışınım değeri  $0,098 \text{ W/m}^2$  ile 30 Aralık’ta ve en yüksek ışınım değeri ise  $197,35 \text{ W/m}^2$  ile 25 Aralık’ta gerçekleşmiştir. 2014 yılı Aralık ayında ortalama günlük ışınım  $74,27 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir.

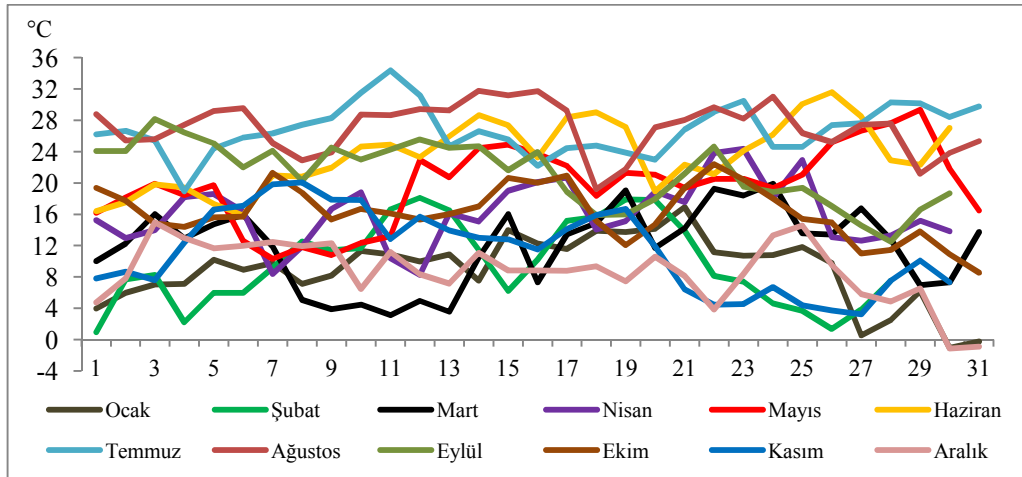
Şekil 2.55’te verilen farklı güç ve tipteki 3 güneş panelinin 2014 yılı Aralık ayı günlük enerji üretim değerleri grafiğine göre Aralık ayında en yüksek günlük enerji üretimi  $6,174 \text{ kWh}$  ile ince-film güneş paneli tarafından 24 Aralık’ta gerçekleşmiştir. 2014 Aralık ayının en düşük enerji üretimi ise ince-film güneş panelinde 10 Aralık’ta ve 12 Aralık’ta ise mono kristal güneş panelinde  $21 \text{ Wh}$  ile gerçekleşmiştir. 2014 yılı Aralık ayında  $1200 \text{ W}$  gücündeki ince-film güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $2,15 \text{ kWh}$ ,  $1250 \text{ W}$  gücündeki poli kristal (P 60) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması  $2,075 \text{ kWh}$  ve son olarak  $1170 \text{ W}$  gücündeki mono kristal (M 48) güneş panelinden üretilen günlük enerji ortalaması ise  $1,943 \text{ kWh}$  olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 2.56’da 2014 yılı Aralık ayı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü tarafından ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları grafiğine göre en yüksek sıcaklık 3 Aralık’ta  $14,94 \text{ }^\circ\text{C}$  ve en düşük sıcaklık ise 30 Aralık’ta  $-1,14 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Aralık ayı ortalama sıcaklık değeri  $8,76 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.57’de 2014 yılında üretilen günlük enerji ortalamaları ve Şekil 2.58’de ise 2014 yılı için poli kristal güneş panelinin sıcaklık sensörü ile ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.57. 2014 yılında üretilen günlük enerji ortalamaları



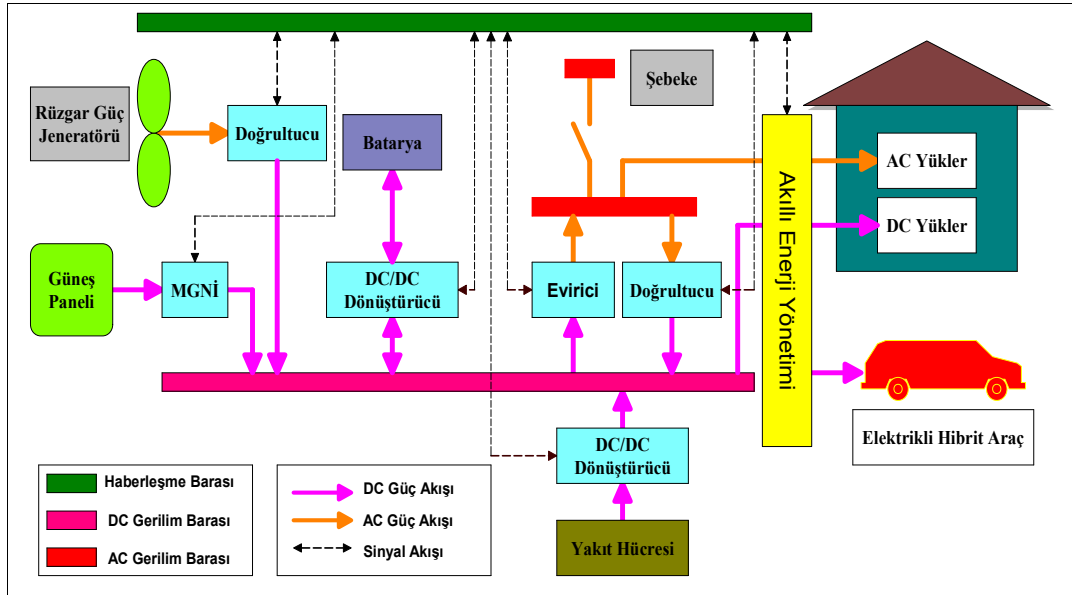
Şekil 2.58. 2014 yılı için poli kristal güneş panelinin sensörü ile ölçülen günlük sıcaklık ortalamaları

Günlük ortalama sıcaklık değerleri ile üretilen günlük enerji grafikleri birlikte incelendiğinde gün ortalaması sıfırın altındaki sıcaklıklarda da enerji üretimi görülmektedir. Bu durum sıcaklıkta yaşanan gün içerisindeki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Günlük sıcaklık ortalaması +4°C olan 1 Ocak 2014 ile -1°C olan 30 Ocak 2014 günlerindeki enerji üretimleri kıyaslandığında, 30 Ocak’ta üretilen enerjinin daha fazla olduğu görülmektedir. Buradan, sıcaklığın yanı sıra bulutluluk ve yağış durumunun da solar ışımayı dolayısıyla üretilen enerjiyi etkilediği anlaşılmaktadır.

### 3. ÖNERİLEN AKILLI ENERJİ DEPOLAMA VE YÖNETİM SİSTEMİ

Önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynaklarına sahip konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi, güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik üretilmesi ile depolama ünitesi olarak kullanılan bataryayı ve acil güç talebi için düşünülen yakıt hücrelerini içermektedir. Ayrıca önerilen sistem, şebeke bağlantısı sayesinde üretilen enerji fazlasını satma ve enerji ihtiyacında şebekeden satın alma imkanı vermektedir.

Akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminde; DC güç ağı, AC güç ağı, akıllı enerji yönetim ağı ile DC ve AC baralar ile kaynaklar arasında enerjinin dönüştürülmesini ve düzenlenmesini sağlayan evirici, doğrultucu, çift yönlü DC-DC dönüştürücü ve Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI) yer almaktadır. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlar için önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminin şeması Şekil 3.1’de verilmiştir [1].



Şekil 3.1. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlar için önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi şeması

Bu tasarım ekonomik katkısının yanı sıra güvenilir, yeterli, verimli enerji sunmaktadır. Sistem temel olarak 3 ana katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar; DC elektrik güç ağı, AC elektrik güç ağı ve akıllı enerji yönetim ağı şeklindedir.



### 3.1. DC Elektrik Güç Ağı

DC bara; güneş panelleri, rüzgâr-türbini generatörleri, yakıt pilleri ve bataryalar gibi çeşitli enerji kaynaklarını içermektedir. Rüzgâr generatörleri kullandıkları teknolojiye göre DC gerilimin yanı sıra değişken frekanslı ya da ayarlanabilen frekanslı AC gerilim üretir. Çıkış AC gerilimi bir doğrultucu üzerinden DC gerilime dönüştürülür. Solar panellerden elde edilen çıkış gücü güneş ışığının aydınlığına göre değişir. En yüksek verimi elde etmek ve DC bara gerilimi ile güneş panelinin gerilimini eşlemek için içerisinde DC-DC güç dönüştürücü ve bir kontrolör bulduran Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI) kullanılır [1, 2, 18, 19]. Yakıt hücresi sistemi elektrik enerjisini üretmek için hidrojen kullanır. Batarya çift yönlü DC-DC dönüştürücü üzerinden DC baraya bağlıdır. Bu çift yönlü DC-DC dönüştürücü kontrol edilerek bataryadan sisteme ya da sistemden batarya güç transferi yapılabilir. Bataryanın çıkış gücü yük talebine bağlıdır ve kontrol edilerek denge sağlanır.

Önerilen sistemde, şebekeden alınan AC gerilim doğrultucu üzerinden DC gerilime dönüştürülerek DC baraya bağlıdır. Üretilen ve depolanan gücün talep edilen gücü karşılayamaması durumunda evdeki DC yüklerin bu şekilde beslenmesi sağlanır.

DC gerilim genel olarak LED aydınlatma sistemlerinde, DC ile çalışan elektrikli cihazlarda ve fişe takılabilen hibrit elektrik araçların (PHEV) batarya şarjında kullanılmaktadır.

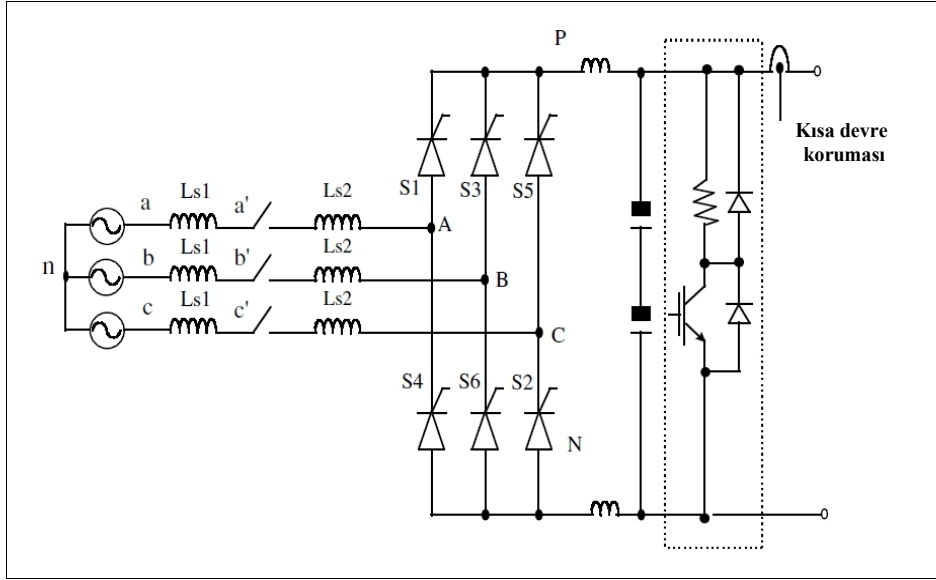
#### 3.1.1. Doğrultucu

Doğrultucular; doğal komütasyonludur ve tristör ile diyotlarla gerçekleştirilirler. Başlıca uygulama alanları ise DC motor kontrolü, akümülatör şarjı, galvano teknikte kaplama ve DC gerilim kaynaklarıdır.

Redresör diğer adıyla doğrultucu, bir veya daha fazla yarı-iletken elemanından (örneğin; diyot) oluşan alternatif akımı doğru akıma çevirmek için kullanılan elektrikseldir.

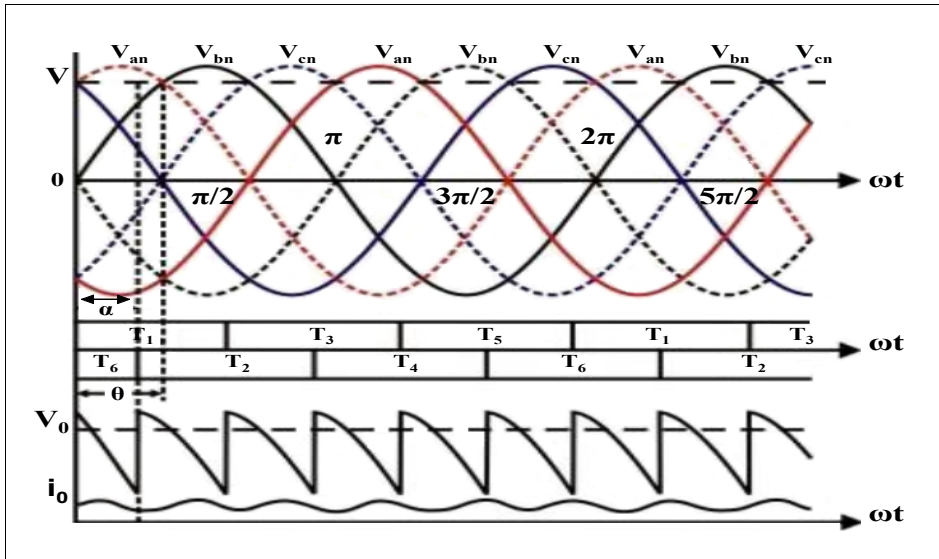
Doğrultucular faz sayısına, kontrol ve dalga durumuna göre sınıflandırılır. Faz sayısına göre; tek fazlı doğrultucu ve çok fazlı olarak 2 gruba ayrılır.

Tek fazlı ve 3 fazlı doğrultucular yaygındır. Endüstride 2 fazlı doğrultucu da kullanılır. 6 ve 12 fazlı doğrultucularla daha düzgün DC gerilim elde etmek mümkündür. Kontrolsüz doğrultucu sadece diyotla, kontrollü doğrultucu sadece tristör ile oluşturulur. Yarı kontrollü doğrultucu ise tristör ve diyotla oluşturulabilir. Şekil 3.2’de 3 fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu gösterilmiştir.



Şekil 3.2. 3 fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu

Şekil 3.3’te 3 fazlı tam dalga kontrollü doğrultucunun çıkış gerilimi eğrisi gösterilmiştir.

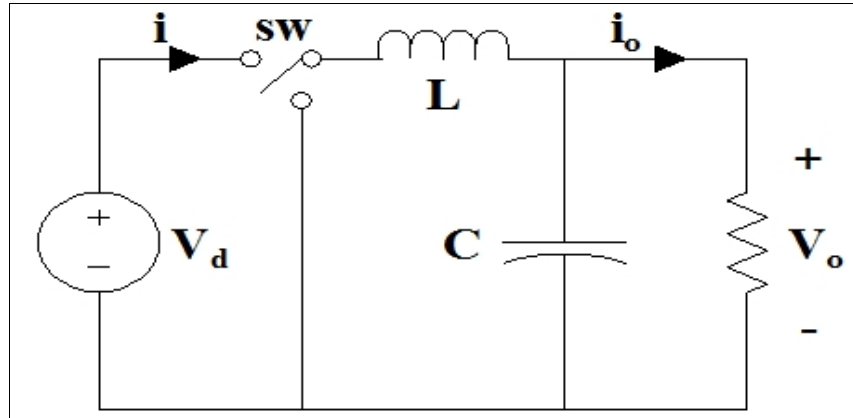


Şekil 3.3. 3 fazlı tam dalga kontrollü doğrultucunun çıkış gerilimi eğrisi

Önerilen sistemde rüzgar türbininden elde edilen (sabit frekans) AC gerilimin DC baraya aktarılabilmesinde doğrultucu kullanılmaktadır. Ayrıca evdeki DC yüklerin, AC şebekeden beslenmesi durumunda da yine aynı şekilde doğrultucu kullanılarak enerji devamlılığı sağlanmaktadır.

### 3.1.2. DC-DC dönüştürücü

DC-DC dönüştürücü, DC gerilimi bir başka DC gerilim seviyesine dönüştüren elektronik bir devredir. DC-DC dönüştürücüler batarya şarjında, kaynak makinelerinde, anahtarlamalı güç kaynakları, ısıtıcılarda ve DC gerilim regülatörlerinde ve DC motor kontrolünde kullanılmaktadır. Buck (düşürücü), boost (yükseltici), buck-boost (düşürücü- yükseltici), flyback, rezonans tip ve push-pull gibi DC-DC dönüştürücü tipleri vardır. Buck (düşürücü) tipi DC-DC dönüştürücü Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



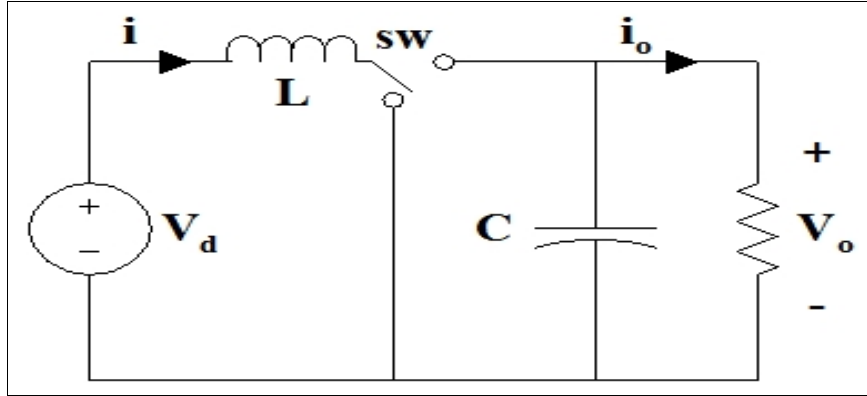
Şekil 3.4. Buck (düşürücü) DC-DC dönüştürücü

Buck tipi DC-DC dönüştürücünün çıkış gerilimi Denklem (3.1)'de verildiği gibi;

$$V_o = D \cdot V_d \quad (3.1)$$

şeklindedir. Burada D, anahtarlama elemanının doluluk oranını,  $V_o$  çıkış gerilimini  $V_d$  ise giriş gerilimini ifade etmektedir. Tipik buck dönüştürücü devrelerde giriş gerilimine paralel kondansatör bulunmaz. Bundan dolayı, anahtar açık iken giriş gerilimi güç üretmez. Fakat fotovoltaik modüllerde dönüştürücü anahtarı açık olduğunda da fotovoltaik modülün güç sağlaması için modüle paralel kapasitör bağlanır. Aksi takdirde, anahtar açık iken, fotovoltaik modül enerji üretmez.

Şekil 3.5'te Boost (yükseltici) tipi DC-DC dönüştürücü gösterilmiştir.



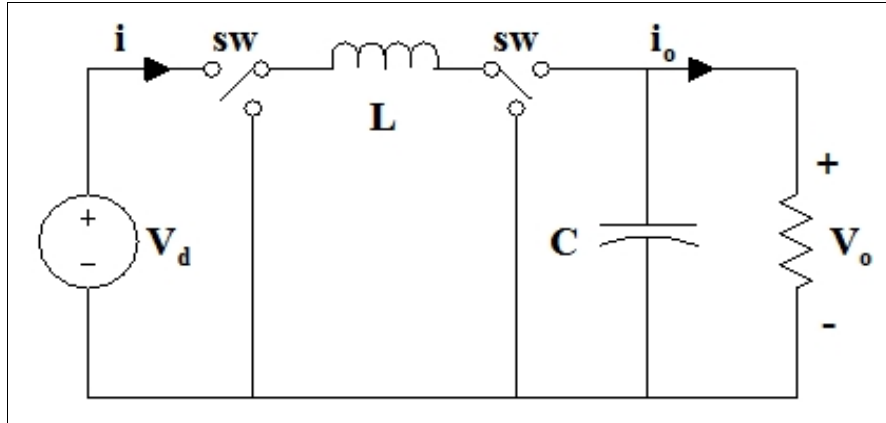
Şekil 3.5. Boost (yükseltici) DC-DC dönüştürücü

Boost tipi DC-DC dönüştürücünün çıkış gerilimi Denklem (3.2)'de verildiği gibi;

$$V_o = \left( \frac{1}{1-D} \right) \cdot V_d \quad (3.2)$$

şeklindedir.

Şekil 3.6'da buck-boost tipi dönüştürüclere örnek bir eşdeğer devre verilmiştir.



Şekil 3.6. Buck-boost (düşürücü-yükseltici) DC-DC dönüştürücü

Buck-boost (düşürücü-yükseltici) tipi DC-DC dönüştürücünün matematiksel ifadesi Denklem (3.3)'te verildiği gibi;

$$V_o = \left( \frac{D}{1-D} \right) \cdot V_d \quad (3.3)$$

şeklindedir.

DC-DC dönüştürücüler, zorlamalı komütasyonlu devrelerdir. Frekansa ve güce bağlı olarak BJT, IGBT, MOSFET çok yüksek güçlerde ise SCR kullanılır. Frekans arttıkça, çıkış akım ve gerilimindeki dalgalanmalar azalır. Dolayısıyla, frekans yükseldikçe filtre elemanları küçülür, devrenin boyutu ve fiyatı düşer, güç yoğunluğu artar. Çalışma frekansı kullanılan anahtarlama elemanına bağlıdır.

Darbe genişlik modülasyonu (DGM), frekans modülasyonu (FM) ile darbe genişlik modülasyonu ve frekans modülasyonu (DGM ve FM) DC-DC dönüştürücü için gerilim kontrol yöntemleridir.

DC-DC dönüştürücüler giriş-çıkış arasında transformatör kullanılarak izolasyonlu veya izolasyonsuz olarak da kullanılmaktadır.

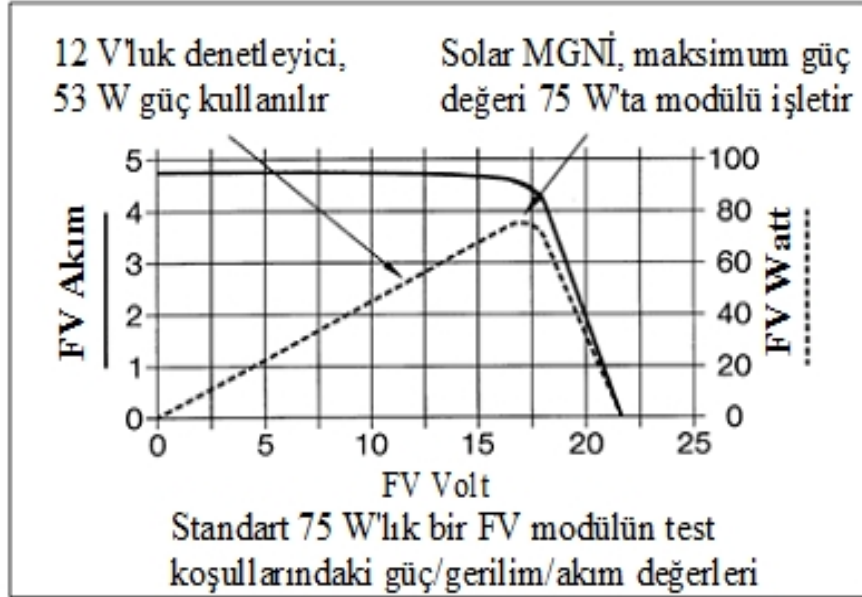
Düşük güçlü DC-DC dönüştürücülerde yüksek anahtarlama frekansı ve rezonans teknikleri kullanılmaktadır. Yüksek anahtarlama frekansı kullanılarak, pahalı transformatörler ve filtre elemanlarının (endüktans ve kapasite) boyutları, maliyetleri ve ağırlıkları azaltılabilmektedir.

Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlar için önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminde yer alan batarya ünitesinin DC bara ile bağlantısı çift yönlü DC-DC dönüştürücü ile sağlanmaktadır. Bu çift yönlü DC-DC dönüştürücü vesilesiyle batarya ile DC bara arasında çift yönlü enerji transferi yapılmaktadır. Çift yönlü enerji transferi yapılabilmesiyle bataryanın ihtiyaca göre hem depolama hem de kaynak olarak kullanılabilmesi imkan sağlanmıştır. Yine önerilen sistemde yer alan yakıt hücresinin DC bara ile olan bağlantısı DC-DC dönüştürücü vesilesiyle sağlanmaktadır. Böylece, acil yük taleplerinde yakıt hücresinden DC baraya enerji transferi yapılabilmektedir.

### **3.1.3. Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI)**

Belirli bir çalışma koşulu altında üretilebilecek maksimum gücün tüketiciye aktarılmasını sağlayan yazılım ve donanıma sahip sistemlere Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI) denir. Değişen sistem koşullarında bile MGNI en yüksek gücün çekilmesi için kullanılmaktadır. Rüzgar türbinleri ve güneş paneli sistemleri için farklı yapılarda MGNI çeşitleri mevcuttur. Kullanım alanlarına göre bazı teknik

farklılıkları olsa da genel olarak işleyiş şekilleri aynıdır. Şekil 3.7’de güneş paneli sistemlerinde MGNİ varken ve yokken üretilen güçlerin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.7. MGNİ varken ve yokken üretilen gücün karşılaştırılması

Fotovoltaik sistemler için en önemli sorun güneş panellerinden elde edilen enerjinin nasıl depolanacağı ve nasıl daha verimli şekilde kullanılacağıdır. FV panellerin karakteristiğine göre panellerden çekilen gücün kullanılacak sisteme göre adapte edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla elde edilen enerjinin en verimli şekilde kullanılması ve depolanması için güneş panelleri için Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNİ) tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Gün içinde güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısı sürekli değişmektedir. Buna bağlı olarak fotovoltaik hücrelerin absorbe ettiği ışın miktarı da değişeceği için elde edilen enerji her zaman aralığında farklı olacaktır. Fakat sistemin doğru işleyebilmesi için artan, azalan düzensiz bir güç eldesi doğrudan yüke verilemez. Bu güç değerlerinin evrilip düzenli ve verimli bir hale getirilmesi gerekmektedir.

MGNİ farklı zaman aralıklarında elde edilen farklı güç değerlerinin en büyük olduğu anları tespit ederek bir dizi işleme başlar. Bu işlemler, MGNİ içerisinde bulunan mikrodenetleyicideki kompleks algoritmalar sayesinde gerçekleştirilir.

Maksimum Güç Noktası İzleyicisi devrelerinin tasarımlarında bobin, kondansatör gibi temel devre elemanlarının yanı sıra diyot gibi anahtarlama elemanları ile gerilim, akım sensörleri ve veri sayacı bulunmaktadır. Güneş panelinden alınan, sonrasında evirilen ve bataryaya yollanan güç miktarları veri sayacı tarafından kaydedilir. Maksimum Güç Noktası İzleyicisi tasarımlarında sistemlerin düzenli bir şekilde çalışmasını kontrol eden, olası bir arıza veya tehlike anında sistemi kapatan ve yüksek verim elde etmek için yazılmış algoritmalara sahip mikrodenetleyici bulunmaktadır.

Maksimum Güç Noktası İzleyicisi olan fotovoltaik sistemlerde elde edilen enerji, Maksimum Güç Noktası İzleyicisi olmayan sistemlerde elde edilen enerjiye oranla %45'ler civarında arttırılabilmektedir. MGNİ olan fotovoltaik sistemlerde amortisman süresi daha kısa olmaktadır.

#### **3.1.4. FV sistemlerde maksimum güç noktası izleme algoritmaları**

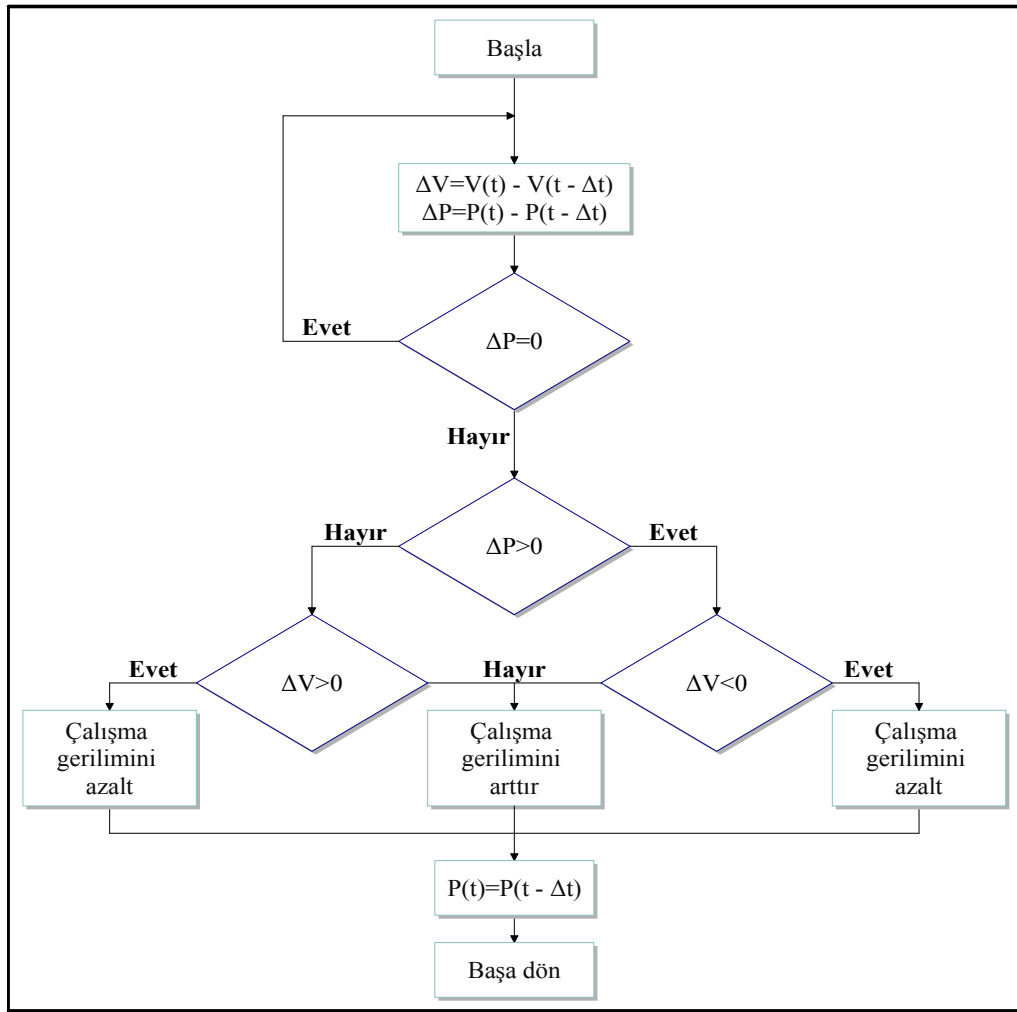
Güneş enerjisini daha verimli kullanmak için birçok MGNİ yöntemi geliştirilmiştir. Maksimum güç noktası izleme yöntemleri üzerine yapılan birçok çalışmada, şu ana kadar geliştirilen yöntemler MATLAB/Simulink ortamında karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve yöntemlerin birbirlerine olan üstünlüklerine değinilmiştir [20-22]. MGNİ konusunda literatürde pek çok yöntem vardır fakat en çok kullanılan yöntemler; değiştir ve gözle, artan iletkenlik yöntemleridir. MGNİ algoritmaları üzerine yapılan çalışmalarda, bu iki yöntem kıyaslanmış ve benzetim sonuçlarına göre artan iletkenlik algoritmasının maksimum güç noktasında gereksiz salınımlar yaptığı ve bu noktaya geç ulaştığı ve çok fazla işlem gerektirdiği, değiştir ve gözle algoritmasının ise maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığı, çevresel değişimlerde toparlanma süresinin kısa olduğu ve daha az işlem gerektirdiği ifade edilmiştir [23].

##### **3.1.4.1. Değiştir ve gözle algoritması**

Değiştir ve gözle algoritması literatürde en çok karşılaşılan ve diğer yöntemlere göre daha basit olan bir MGNİ yöntemidir. Genelde düşük maliyetli uygulamalarda tercih edilir. Bu yöntemde öncelikle panel gerilimi ve akımı ölçülerek ilk durumdaki panel gücü hesaplanır. İkinci adımda gerilimdeki veya yarı-iletken anahtarın doluluk boşluk oranındaki küçük değişimler göz önüne alınarak panelin gücü tekrar

hesaplanır. Elde edilen bu iki güç değeri arasında fark yok ise algoritma başa dönerek yeniden güç hesapları yapar. Eğer aradaki fark sıfırdan farklı ise bu sefer algoritma, panel geriliminin değişimine bakar. İki gerilim değeri arasındaki farka göre, yarı-iletken anahtarın doluluk boşluk oranı değiştirilerek maksimum güç noktası takibi yapılmış olur. Değiştir ve gözle yöntemi, hızla değişen atmosferik koşullarda, örneğin parçalı bulutlu havalarda, bazı sapmalar gösterebilir. Bunun sebebi güç eğrisindeki ani değişimlerde yöntemin hareket yönünü bir önceki durum için seçmiş olması ve eğri değiştikçe seçilen yönün geçerliliğini yitirmesidir. Bu yöntemde maksimum güç noktası tam olarak izlenememekte ancak maksimum güç noktasına yakın bir yerde salınım yapması sağlanabilmektedir [24].

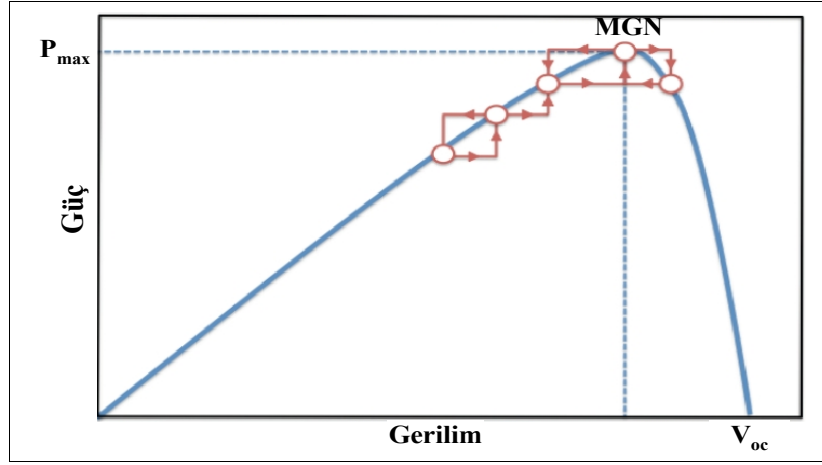
Değiştir ve gözle algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Değiştir ve gözle algoritması akış diyagramı



MGNİ için değiştir ve gözle yöntemine ait P-V grafiği Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Değiştir ve gözle yöntemine ait P-V grafiği

### 3.1.4.2. Artan iletkenlik algoritması

Artan iletkenlik algoritması fotovoltaik panel gücünün gerilime göre türevinin alınarak sıfıra eşitlenmesi esasına dayanır.

Fotovoltaik sistem için çıkış gücünün gerilime göre türevi Denklem (3.4)’teki gibi;

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Denklem (3.4)’ün çözümleri yapılmışta, maksimum güç noktasında sıfıra eşit olacağı, pozitif değerlerde maksimum güç noktasının solunda ve negatif değerlerde maksimum güç noktasının sağında yer alacağı söylenebilir. Bu bilgiler doğrultusunda denklemler;

Maksimum güç noktasında:

$$\left( \frac{\Delta I}{\Delta V} \right) = \frac{-I}{V} \quad (3.5)$$

Maksimum güç noktasının solunda:

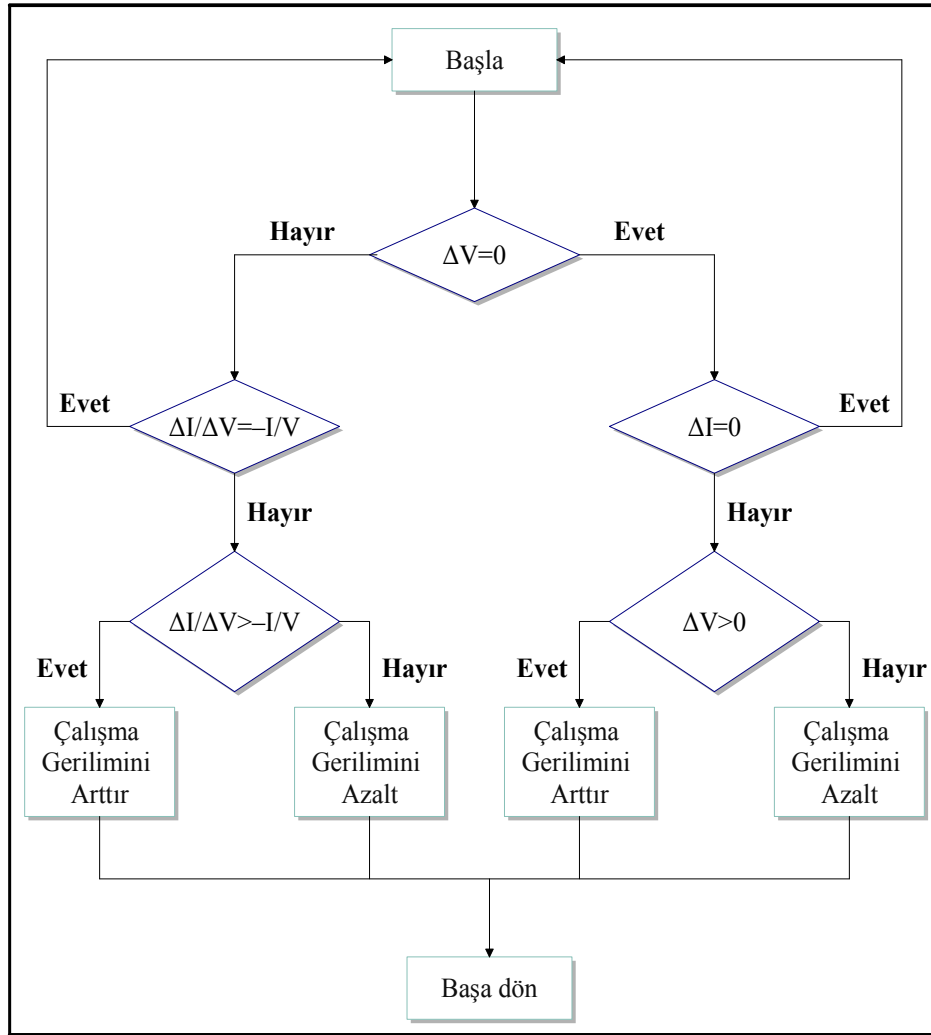
$$\left( \frac{\Delta I}{\Delta V} \right) > \frac{-I}{V} \quad (3.6)$$

Maksimum güç noktasının sağında:

$$\left(\frac{\Delta I}{\Delta V}\right) < \frac{-I}{V} \quad (3.7)$$

şeklinde olur.

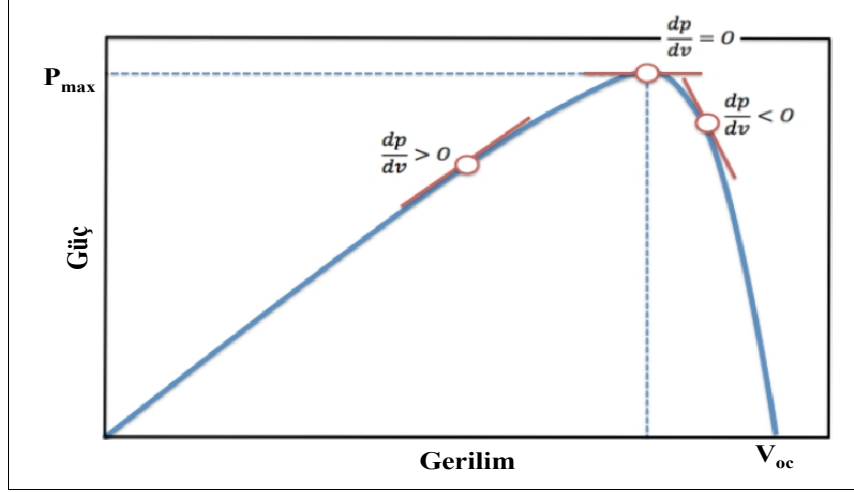
Şekil 3.10'da artan iletkenlik algoritmasının akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.10. Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı

Artan iletkenlik algoritmasında maksimum güç noktası (MGN), gerilim ve akım değerlerinin bir önceki gerilim ve akım değerleri ile karşılaştırılmasıyla bulunur [25].

Artan iletkenlik yöntemine ait P-V grafiği Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Artan iletkenlik yöntemine ait P-V grafiği

Değiştir ve gözle yönteminden farklı olarak, ne yönde bir gerilim değişimi yapması gerektiğini hesaplayabilmektedir. Ayrıca maksimum güç noktasına tam olarak ulaşılıp ulaşılmadığını da tespit edebilmektedir. Böylece, hızla değişen şartlar altında dahi yanlış yönlü bir izleme dolayısıyla MGN etrafında bir salınım yapmazlar.

Solar ışınımın değişmesi ve buna bağlı I-V eğrisinin sabit olmaması durumu için artan iletkenlik metodu daha iyi sonuç vermektedir.

### 3.2. AC Elektrik Güç Ağı

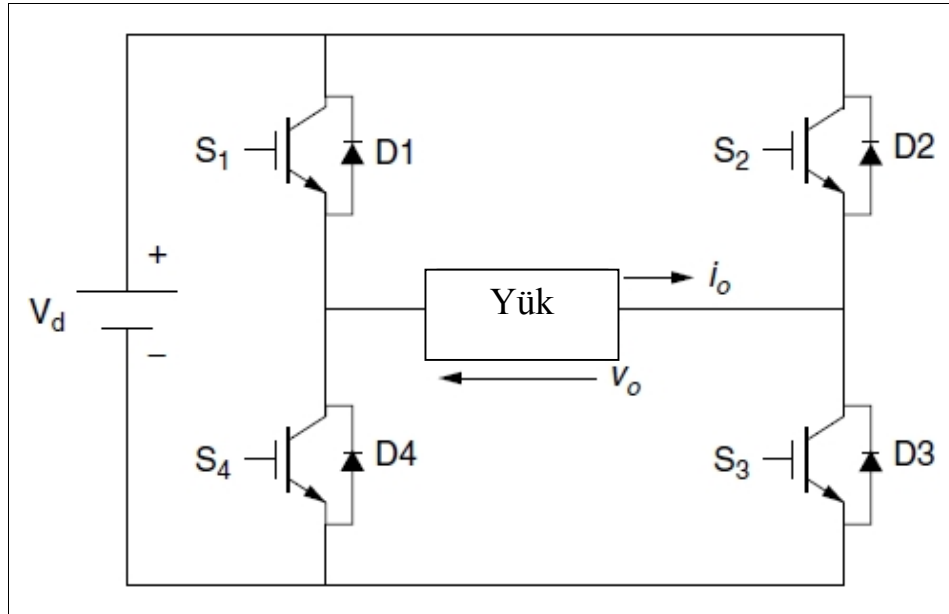
Mevcut elektrikli aletlerin çoğunun AC güç ile çalışmasından dolayı, DC gerilimin tek faz ya da 3 faz AC gerilime dönüştürülmesi gerekir. Bu güç dönüşümü, yüksek verimliliğe sahip gerilim kaynaklı eviriciler (invertör) tarafından sağlanır. Sistemde tüm enerji kaynaklarının AC ağı yerine DC elektrik güç ağında toplanmasından dolayı eviricilerin kontrolü çıkış geriliminin düzenlenmesi ya da kontrolü konusunda göreceli olarak basittir. Akıllı enerji yönetimi sistemi sayesinde AC güç yükünün tüketiminin kontrolü ve yüksek verim elde edilmesi sağlanır.

Bunun yanı sıra, önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasının sunacağı en optimum çözüme göre sistemin hibrit yapısı, şebekeden alınan AC besleme ile de AC yüklerin beslenebilmesine imkan sağlamaktadır.

### 3.2.1. Evirici (İnvertör)

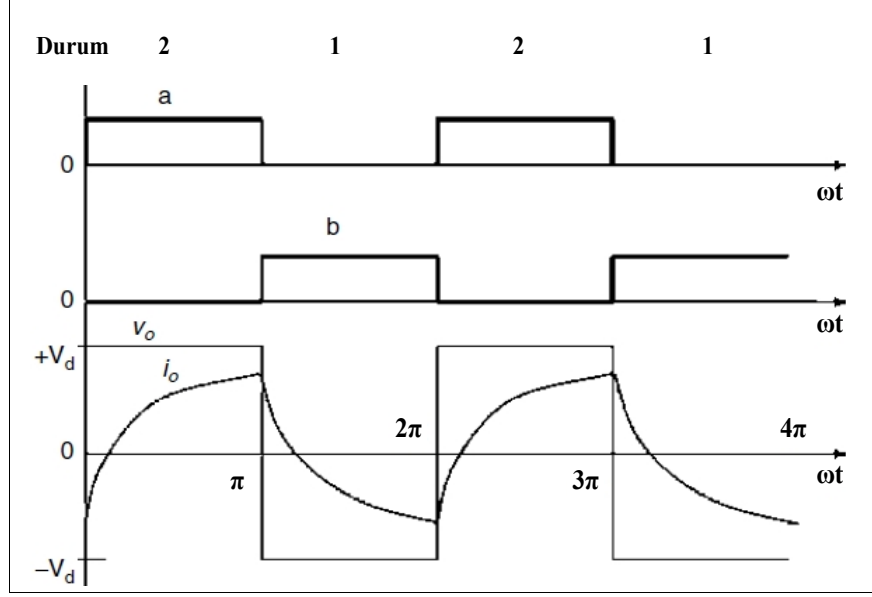
Evirici, doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çeviren elektriksel bir güç çeviricisidir. Doğru akım alternatif akıma evrilirken anahtarlama ve kontrol devrelerine bağlı olarak herhangi bir gerilimde ve frekansta olabilir. Günümüzde yarı-iletkenlerle yapılmış inverterler hareketli parçalara sahip değildir. Bilgisayarlarda kullanılan küçük güçteki anahtarlama güç kaynaklarından, elektrik dağıtım şebekelerine güç verebilen büyük sistemlere kadar geniş bir uygulama alanı vardır. Eviriciler, güneş paneli, rüzgar türbini, batarya gibi güç kaynaklarından sağlanan DC gücü kontrollü bir şekilde AC güce çevirmekte de kullanılmaktadır. Kısaca eviriciler, AC-DC doğrultucuların yaptığı işin tersini yaparak DC gücü istenilen gerilim, güç ve frekansta AC güce çevirirler.

Şekil 3.12’de tek fazlı tam köprü gerilim kaynaklı evirici gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Gerilim kaynaklı tek fazlı tam köprü evirici

Tek fazlı gerilim kaynaklı eviricide basit kare dalga uygulanarak yapılan anahtarlama ile elde edilen çıkış gerilim ve akım dalga formları Şekil 3.13’te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Kare dalga uygulanarak yapılan anahtarlama ile çıkış gerilim ve akım dalga formları

Tablo 3.1’de eviricinin anahtarlama parametreleri olan a ve b tanımlanmıştır.

Tablo 3.1. Eviricinin a ve b anahtarlama parametreleri

Anahtarlama değişkeni	ON (İletimde)	OFF (Kesimde)	Durum
a	S <sub>1</sub>	S <sub>4</sub>	1
	S <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>	0
b	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	1
	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	0

Tek fazlı tam köprü eviricinin çıkış gerilimi Denklem (3.8)’de verildiği gibi;

$$V_o = (a - b) \cdot V_d \quad (3.8)$$

şeklinde. Burada, a ve b anahtarlama elemanlarının doluluk oranını temsil etmektedir.  $V_d$  DC giriş gerilimini,  $V_o$  ise çıkış gerilimini ifade etmektedir. Bu evirici yapısında  $2^2$  olmak üzere 4 farklı durum vardır.

Tablo 3.2’de tek fazlı tam köprü eviricinin çalışma durumları verilmiştir.

Tablo 3.2. Tek fazlı tam köprü eviricinin çalışması

İletimdeki anahtarlar	Çıkış gücü	Durum
$S_1$ ve $S_3$	$+V_d$	2
$S_2$ ve $S_3$	$-V_d$	1
$S_1$ ve $S_2$	0	0
$S_3$ ve $S_4$	0	3

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç ve ilginin artmasıyla beraber, bu kaynaklardan elde edilen enerjinin kullanıma uygun hale getirilerek tüketiciye sunulabilmesi amacıyla eviricilerin kullanım alanları hızla genişlemektedir.

Eviriciler, zorlamalı komütasyonludur. Yüksek güç ve düşük frekanslarda SCR kullanılır. Orta güç ve orta frekanslarda BJT, düşük güç ve yüksek frekanslarda MOSFET kullanılır. Ayrıca, diğer güç elemanları, GTO yüksek güç ve düşük frekanslarda, IGBT ortanın üzerindeki güç ve frekanslarda, MCT yüksek güç ve orta frekanslarda kullanılmaktadır.

220 V AC çıkışlı olanları prensip olarak üç ana başlık altında toplamak mümkün olabilir. Bu çıkışlar; kare dalga, sinüs benzeşimli ve tam/saf sinüs dalga çıkış şeklindedir.

Eviricilerin uygulama alanlarından bazıları olarak mobil araçlar, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji uygulamaları, şebeke elektriğinin mevcut olmadığı uzak sahalar ve tüm haberleşme uygulamaları ile elektrik kesintilerine karşı batarya ile enerji yedeklemek sayılabilir.

Genellikle 12, 24, 48 Volt vb. DC girişli eviriciler ise şebeke elektriğinin hiç olmadığı ve/veya kesintilere tahammül olmayan yerlerde tercih edilmektedir. 12, 24, 48 Volt DC girişli eviriciler sayesinde güneş panellerinde üretilen enerjinin şebekeye aktarımı sağlanabilir.

### 3.2.1.1. Gerilim kontrollü DGM

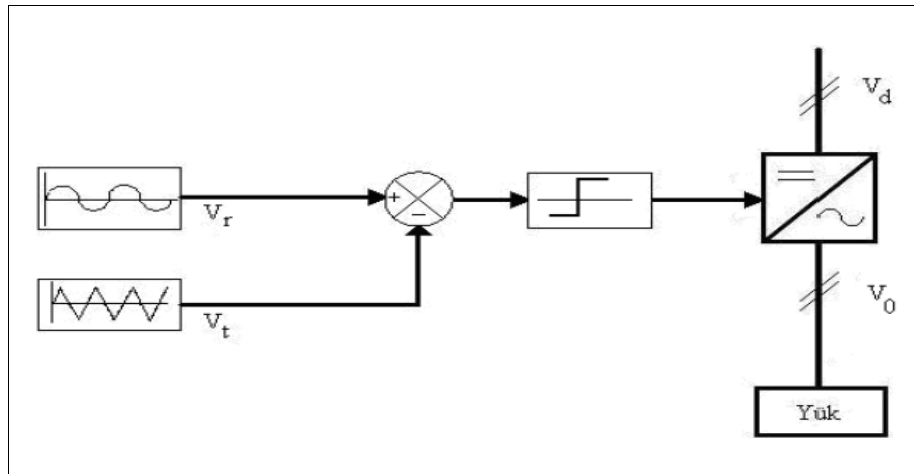
Literatürde gerilim kontrollü DGM açık döngü kontrol tekniği olarak adlandırılır. Açık kontrol tekniğinde bir referans giriş gerilimi alınarak sistemin sürekliliği gerçekleştirilir. Bu teknikte alınan giriş referans gerilimi işaretin farklı bir üçgen dalga işareti ile karşılaştırılması sonucu taşıyıcı temelli DGM oluşur.

Taşıyıcı temelli sinüsoidal DGM, eviricideki yarı-iletken anahtarlama elemanlarının tetikleme anlarını belirlemek ve eş zamanlamayı sağlayabilmek için sinüsoidal DGM metodu endüstriyel uygulamalarda çoğunlukla kullanılmaktadır.

Şekil 3.15’de gösterildiği gibi evirici çıkışının gerilimini ve frekansını belirleyecek bir sinüs referans işareti, frekans ve genliği sinüs işaretinden daha büyük bir üçgen dalga işaret ile karşılaştırılır. Bu iki işaretin kesiştiği noktalarda evirici içindeki aynı koldaki anahtarlama elemanları durum değiştirir.

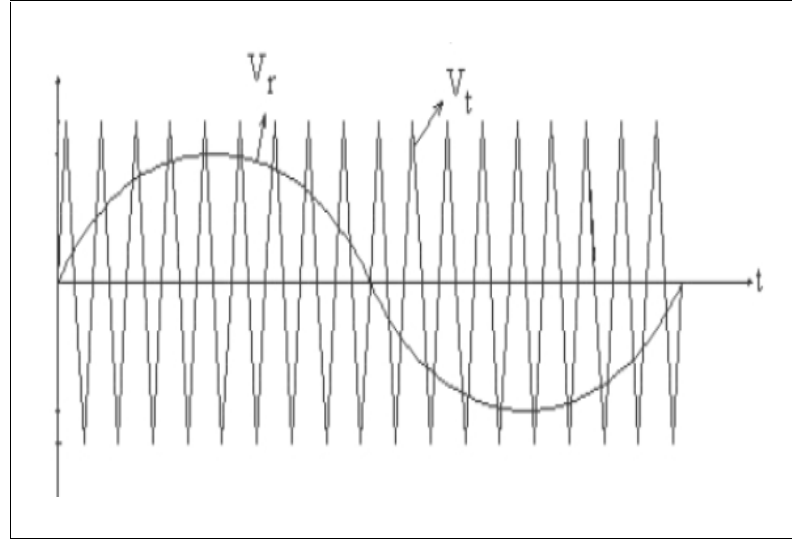
Evirici çıkış gerilimi ve frekansı değerinin değiştirilmesi için referans (kontrol) işareti genliğinin ve frekansının değiştirmesi yeterli olacaktır. Genliği değişken sinüsoidal referans işareti, daha yüksek frekanslı üçgen dalga taşıyıcı işaretin karşılaştırılması yapılarak oluşan kesişme noktaları ile anahtarlama elemanlarının anahtarlama süreleri belirlenmektedir. Sinüs dalgasının genliğinin yükseltilip azaltılmasıyla, çıkışta elde edilen DGM işaretinin darbe genişliklerinin değişmesi, temel bileşenin genliğinde değişme sağlar.

Şekil 3.14’te sinüsoidal DGM kontrol blok şeması verilmiştir.



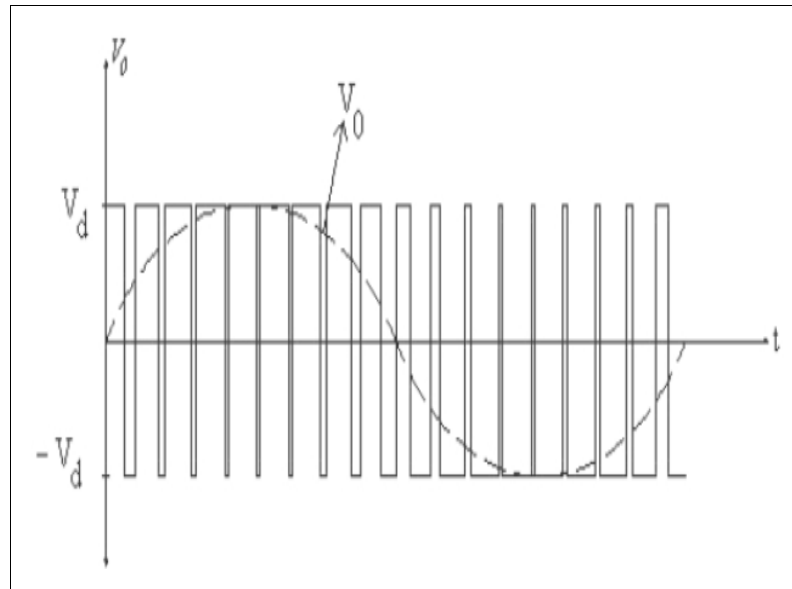
Şekil 3.14. Sinüsoidal DGM kontrol blok şeması

Çift yönlü gerilim anahtarlama sinüsoidal DGM kontrol blok şemasına ait taşıyıcı gerilimi Şekil 3.15’te verilmiştir.



Şekil 3.15. Çift yönlü gerilim anahtarlama sinüsoidal DGM taşıyıcı ve referans gerilimleri

Çift yönlü gerilim anahtarlama sinüsoidal DGM kontrol blok şemasına ait çıkış gerilimi Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.16. Çift yönlü gerilim anahtarlama sinüsoidal DGM çıkış gerilimi



### 3.3. Akıllı Enerji Yönetim Ağı

Akıllı enerji yönetim ağı, yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip sistem formu küçük bir şebeke olarak düşünülerek küçük güçlü kaynaklar ve yerel yüklerden oluşmaktadır. Bu önerilen sistem içerisinde enerji akışını kontrol etmek için kontrolörler kullanılır. Her bir kontrolör ayrı yük ve enerji kaynaklarını kontrol eder ve sonrasında hepsinin verileri akıllı enerji yönetim sistemi altında birleştirilir. Kontrolörler içerisindeki yazılım ile yük ve enerji kaynakları belirtilerek bir kontrol stratejisi geliştirilebilir. Kontrolör fonksiyonları farklı olabilir bu da kontrol edilen cihazların farklı karakteristiklere sahip olmasından kaynaklanır. Akıllı enerji yönetim ağı, enerji kaynaklarının verimliliğinin ve güvenilirliğinin sağlanması için kontrolör teknolojisinin temelinde geliştirilebilir [1].

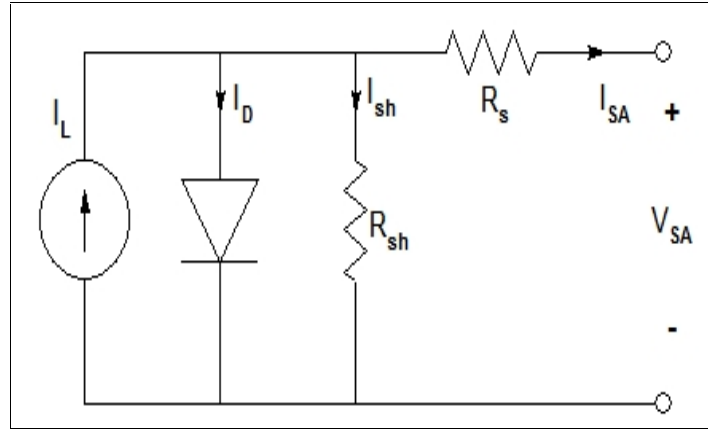
Akıllı enerji depolama ve yönetim algoritması kullanılarak yenilenebilir hibrit enerji kaynaklarından üretilen ve depolanan enerjiye göre; yüklerin kaydırılması ve yüksek talep sürelerinin ayarlanması ya da acil durumlar için planlamalar yapılabilmektedir. Rüzgar, güneş gibi dinamik enerji kaynaklarının kapasiteleri enerji verimliliği, güvenilirliği, esnekliği ve çevre koşulları dikkate alarak ulaşılabilirlik, beklenen talep ve tüketici-kullanım kriterlerine göre seçilmelidir.

#### 4. SİSTEMİN MODELLENMESİ

Bu bölümde, önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminde yer alan potansiyel enerji kaynaklarına ait elektriksel ve matematiksel modeller incelenmiştir.

##### 4.1. Güneş Hücresi Eşdeğer Devresi ve Elektriksel Modeli

Güneş hücresi Şekil 4.1'deki [26] eşdeğer devre kullanılarak modellenmiştir.



Şekil 4.1. Güneş hücresinin eşdeğer devresi

Güneş hücresinin elektriksel karakteristiğinin matematiksel ifadeleri;

$$V_{SA} = V_D - R_S \cdot I_{SA} \quad (4.1)$$

$$I_{SA} = I_L - I_D - \left( \frac{V_D}{R_{SH}} \right) \quad (4.2)$$

$$I_D = I_S \cdot \left( \exp \left( \frac{V_D}{V_{TH}} \right) - 1 \right) \quad (4.3)$$

şeklindedir.  $V_{SA}$  ve  $I_{SA}$  güneş hücresinin gerilimi ve akımıdır.  $I_L$  güneş ışığından üretilen akım (A),  $V_D$  PN jonksiyon gerilimi (V),  $I_D$  PN jonksiyon üzerindeki akım (A) ve  $R_s$  ile  $R_{sh}$  ise hücre yapısının sırasıyla seri ve şönt (paralel) dirençleridir ( $\Omega$ ).

Termal potansiyeli  $V_{TH}$  ve diyotun ters doyma akımı  $I_S$  Denklem (4.4) ve (4.5)'teki gibi;

$$V_{TH} = \left( \frac{k \cdot T_{SA}}{e} \right) \quad (4.4)$$

$$I_S = I_{S0} \cdot \left( \frac{T_{SA}}{T_0} \right)^3 \cdot \exp \left( \frac{e}{\gamma \cdot k} \cdot \left( \frac{E_g \cdot (T_0)}{T_0} - \frac{E_g \cdot (T_{SA})}{T_{SA}} \right) \right) \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $k$  Boltzmann sabiti ve  $e$  elektriksel yüküdür.  $T_0$  ortam sıcaklığını temsil ederken  $T_{SA}$  hücre sıcaklığını,  $I_{S0}$  ortam sıcaklığında ters doyma akımını,  $E_g$  enerji band aralığını ve  $\gamma$  ise hücre diyot ideallik faktörünü göstermektedir.

Işıktan üretilen  $I_L$  akımı, solar parlaklık ile doğru orantılıdır ve Denklem (4.6)'da verildiği gibi;

$$I_L = R_e \cdot A_{SA} \cdot P_{ir} + C_L = (T_{SA} - T_0) \frac{P_{ir}}{P_{ir0}} \quad (4.6)$$

şeklinde olur. Burada  $A_{SA}$  hücrenin aktif alanını ( $m^2$ ),  $C_L$  sıcaklık değişimi (A/K) yüzünden  $I_L$ 'nin sıcaklık katsayısını,  $P_{ir}$  parlaklığı ( $W/m^2$ ),  $P_{ir0}$  ortam sıcaklığındaki ( $T_0$ ) parlaklığı ( $W/m^2$ ) ve  $R_e$  spektral ortalama duyarlılığı (A/W) ifade eder.

Ortamdaki ısı değişimini ifade eden enerji denge denklemi [27];

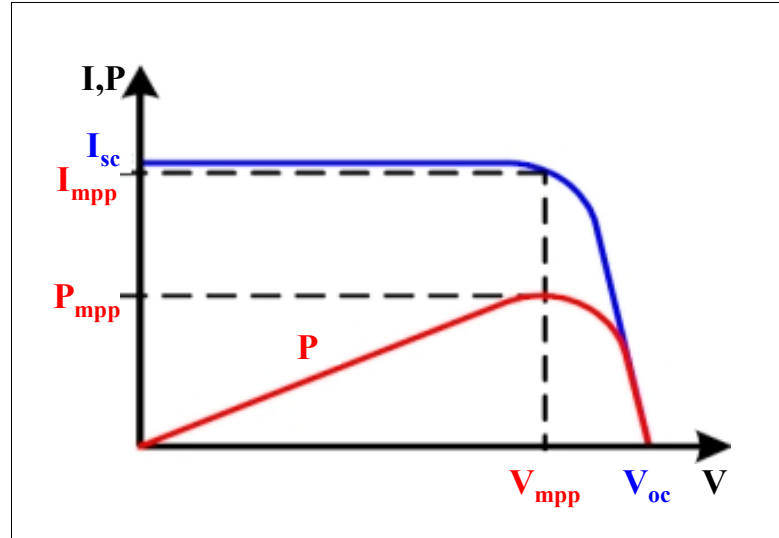
$$c_p \cdot M \cdot \frac{dT_{SA}}{dt} = \frac{(V_{SA} - V_D)^2}{R_s} + \frac{V_D^2}{R_{sh}} + I_D \cdot V_D + (1 - p - \tau - \eta) \cdot A_{SA} \cdot P_{ir} - \Sigma h_c(t) \cdot A_{SA} \cdot (T_{SA} - T_0) \quad (4.7)$$

olarak ifade edilir. Burada,  $c_p$  ortalama özel ısıyı (J/kg/K),  $M$  ortalama kütle (kg) ve  $h_c$  soğuma katsayısını ( $W/K/m^2$ ),  $\rho$  hücrenin yansımaya katsayısını,  $\tau$  hücrenin iletim katsayısını ve  $\eta$  ise hücrenin quantum verimliliğini gösterir.

#### 4.1.1. Güneş hücrelerinin I-V karakteristikleri

İdeal bir güneş hücresinin tipik I-V ve P-V karakteristiği Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Birbirine seri veya paralel bağlanmış birden fazla güneş panelinden oluşan sistemlerin karakteristikleri de sırasıyla  $V_{oc}$  ve  $V_{mpp}$  ya da  $I_{sc}$  ve  $I_{mpp}$  değerlerinin katlanmış olması dışında benzerdir.

Güneş hücreleri Şekil 4.2’de gösterilen karakteristik üzerindeki herhangi bir noktada çalışabilir. İdeal FV panelin I-V ve P-V eğrileri grafiğinde açık devre gerilimi  $V_{oc}$ , kısa devre akımı ise  $I_{sc}$  ile ifade edilmiştir. Burada açık devre gerilimi sıfır akımdaki maksimum devre gerilimi, kısa devre akımı ise sıfır gerilimdeki maksimum devre akımıdır. Şekil 4.2’den görüleceği üzere güneş hücreleri lineer olmayan bir karakteristiğe sahiptir ve 5 temel parametresi vardır. Bu parametreler;  $V_{oc}$  açık devre gerilimini,  $I_{sc}$  kısa devre akımını,  $P_{mpp}$  maksimum güç değerini,  $V_{mpp}$  maksimum güç noktası gerilimini,  $I_{mpp}$  maksimum güç noktası akımını ifade etmektedir.



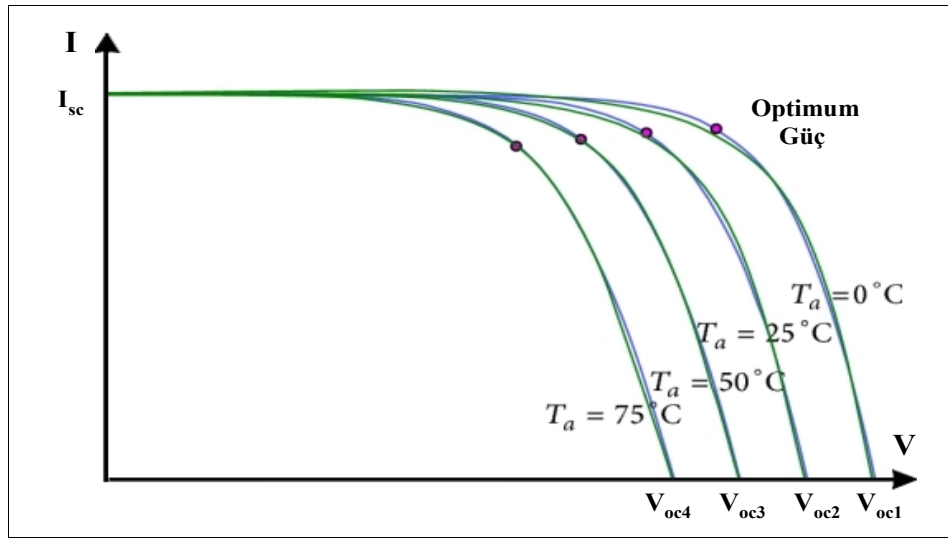
Şekil 4.2. İdeal FV panelin I-V ve P-V eğrileri

Güneş hücresi karakteristikleri güneş ışınımı ve sıcaklıktan etkilenir [28]. Bu yüzden Şekil 4.2’deki gibi bir eğri ancak tek bir sıcaklık ve ışınım değeri için geçerlidir. Şekil 4.2’deki I-V eğrisi, panel yüzeyinin tamamen ve homojen bir şekilde aydınlanmış olduğu, gölgeler ve kir nedeniyle gerçekte sağlanması oldukça zor olan bir koşul altında geçerlidir. Kısacası, bir güneş paneli için her koşulda doğru I-V eğrisinin elde edilebilmesi için ortam koşullarının hesaba katılması gerekmektedir.

#### 4.1.2. Sıcaklığın I-V eğrisine etkisi

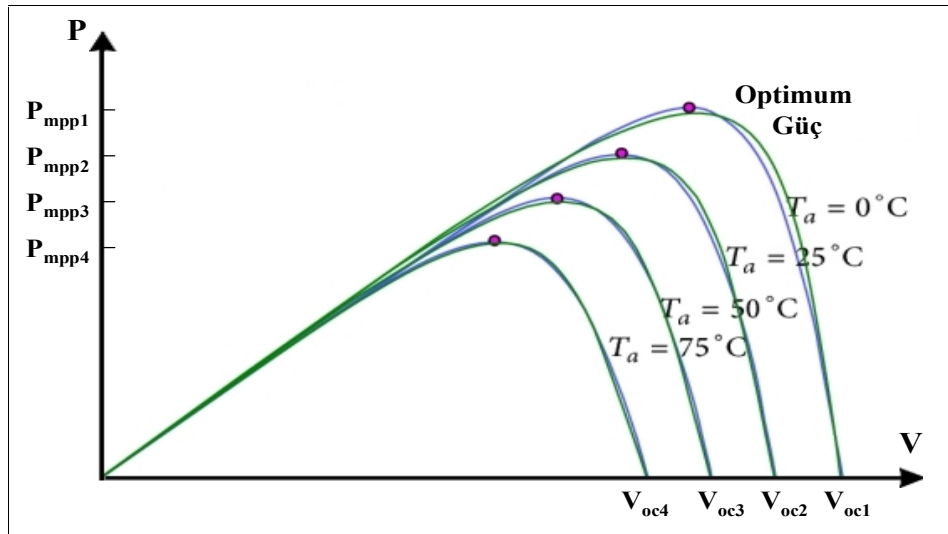
Güneş panelleri çok sayıda küçük hücreden oluşur. Her hücre en basit haliyle yüzeyi büyütülmüş bir P-N jonksiyonu olduğundan, parametreleri diyot parametreleri gibi sıcaklık ile değişir. Sıcaklık arttıkça  $V_{oc}$  azalır ve  $I_{sc}$  artar.  $V_{oc}$ 'deki azalma miktarı  $I_{sc}$ 'deki artış miktarından çok daha fazla olduğu için sıcaklık arttıkça panelden elde edilebilecek olan maksimum güç azalır.

$V_{oc}$  ve  $I_{sc}$  parametrelerinin sıcaklıkla değişimleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3.  $V_{oc}$  ve  $I_{sc}$  parametrelerinin sıcaklıkla değişimleri

$V_{oc}$  ve  $P_{mpp}$  parametrelerinin sıcaklıkla değişimleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

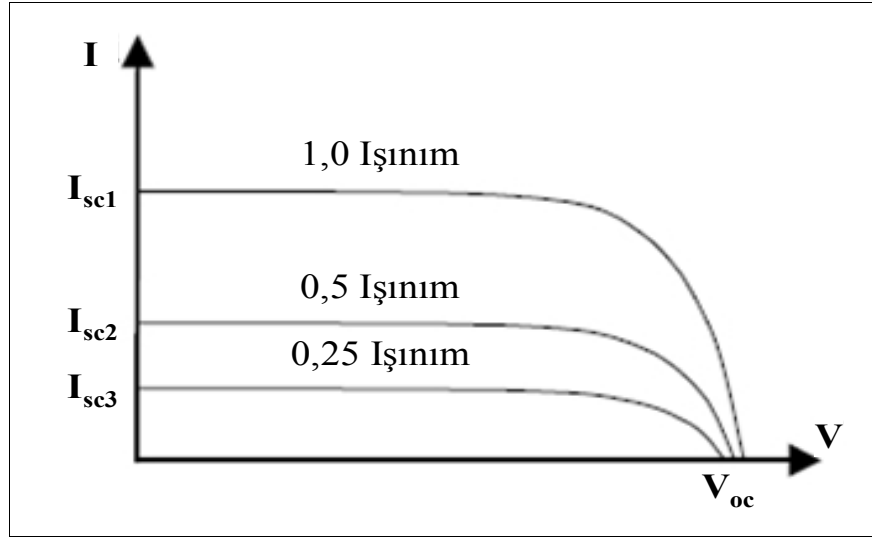


Şekil 4.4.  $V_{oc}$  ve  $P_{mpp}$  parametrelerinin sıcaklıkla değişimleri

### 4.1.3. Işımanın I-V eğrisine etkisi

Bir güneş panelinin kısa devre akımı ışığa ile doğrudan orantılıyken, açık devre gerilimi artan ışığa ile sadece az bir miktar artar.  $V_{oc}$ 'deki değişim  $I_{sc}$ 'deki değişime kıyasla ihmal edilebilecek seviyede olduğundan bir güneş panelinin maksimum çıkış gücünün de ışığa ile doğrudan orantılı olduğu söylenebilir.

Şekil 4.5'te aynı panelin 3 farklı ışınım değeri için I-V eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.5.  $V_{oc}$  ve  $I_{sc}$ 'nin ışığa ile değişimi

$I_{sc}$ , ışınım ile doğru orantılı olduğu için ışınımdaki  $1 \text{ W m}^2$ 'lik değişimin  $I_{sc}$  üzerindeki etkisini hesaplamak kolaydır. Ancak  $V_{oc}$ 'deki değişim ancak yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir çünkü ışınım ile  $V_{oc}$  arasında doğrudan bir orantı olmadığı gibi, panel kataloglarında bu 2 değer arasındaki bağıntıyı veren bir katsayıya da bulunmamaktadır.

### 4.2. Rüzgar Türbini Elektriksel Modeli

Bu yüksek lisans tezinde önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konut tasarımında rüzgar enerjisinden faydalanabilmek için rüzgar türbini de bulunmaktadır. Rüzgar türbini, doğrultucu ile DC baraya bağlanmıştır.

Rüzgar türbini kısmı yük altında çalıştırılıyorsa hızı; kesimdeki rüzgar hızı ile nominal rüzgar hızının arasındadır.

Rüzgâr türbininden elde edilen gücün formülü Denklem (4.8)'deki gibi;

$$P_{WT} = C_p \cdot \pi \cdot R_{WT}^2 \cdot \rho_0 \cdot v^3 / 2 \quad (4.8)$$

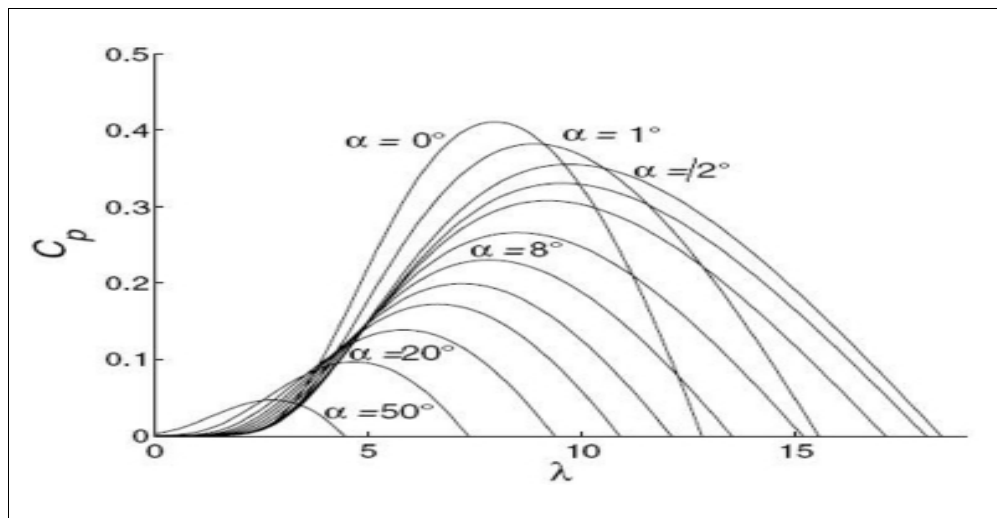
şeklinde olur [29-30]. Burada,  $P_{WT}$  türbinden elde edilen gücü,  $\rho_0$  hava yoğunluğunu,  $R_{WT}$  kanatların yarıçapını,  $v$  rüzgar hızını ve  $C_p$  güç katsayısını ifade etmektedir.

Rüzgar türbin kanatlarının önemli bir parametresi de “Pitch” açısıdır ki bu açı kanadın kirişi ile dönme düzlemi arasındadır. Kiriş hattı, hava setinin ön ve arka kenarlarını birbirine bağlayan düz bir hattır. Dönme düzlemi ise kanatların döndüğü zamanki düzlemdir. Rüzgar yönü dönme yönüne dik olduğu zaman tüm güç çıkışı elde edilir. ”Pitch” açısı (kanadın eğim açısı) duran bir açıdır ve sadece kanatların konumuna bağlıdır. Uç hız oranı  $\lambda$ , kanatların uçlarındaki hız ile rüzgar hızı arasındaki orandır ve Denklem (4.9)'da verildiği gibi;

$$\lambda = \Omega \cdot R_{WT} / v \quad (4.9)$$

şeklinde olacaktır. Burada  $\Omega$  kanatların dönme hızıdır.

Maksimum gücü elde etmek için türbin hızı rüzgar hızıyla senkron olarak değiştirilmelidir. Denklem (4.8)'e göre  $C_p$  güç katsayısı ayarlanarak rüzgârdan maksimum güç elde edilebilir [30]-[33]. Pitch açısı sabitken, uç hız oranının bir fonksiyonu olan  $C_p$  Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı kanat açıları için rüzgâr türbinin güç katsayısının eğrisi

### **4.3. Batarya**

Bu yüksek lisans tezinde önerilen akıllı konut tasarımı, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjiyi depolama ve gerekli durumlarda da kaynak olarak kullanma amacıyla batarya ünitesini içermektedir.

Amerika'da her gün yaklaşık 15,4 milyon varil petrol ve bu petrolün 2/3'ü otomobillerde kullanılmaktadır [34]. Ekonomik etkenler ve politik teşviklerle gelişen elektrikli araçlarda kullanılan şarj edilebilir bataryalardan, cep telefonlarına kadar geniş bir alanda küçük, orta ve büyük kapasitelerde şarj edilebilir bataryalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Şarj edilebilir bataryaların, Fransız fizikçi Gaston Planté tarafından 1859 yılında icat edilmesinden bu yana 150 yıllık bir geçmişi vardır [35]. Şarj edilebilir bataryalar aynı zamanda sekonder hücreler olarak da bilinirler çünkü kimyasal reaksiyonları elektriksel olarak ters çevrilebilir.

Değişik şarj edilebilir batarya tipleri çeşitli malzemeler kullanılarak icat edilmiştir. Şarj edilebilir batarya tiplerinden bazıları; kurşun-asit, nikel-demir, nikel-hidrojen ve lityum-iyon bataryalardır. Bu bataryaların hepsi kendine has karakteristiklere sahiptirler.

#### **4.3.1. Batarya modelleri**

Batarya davranışlarının benzetim çalışmaları ile ilgili mevcut modelleri 3 alt-gruba ayrılabilir [36]. Bu 3 alt-grup;

1-Deneysel model

2-Elektromekaniksel model

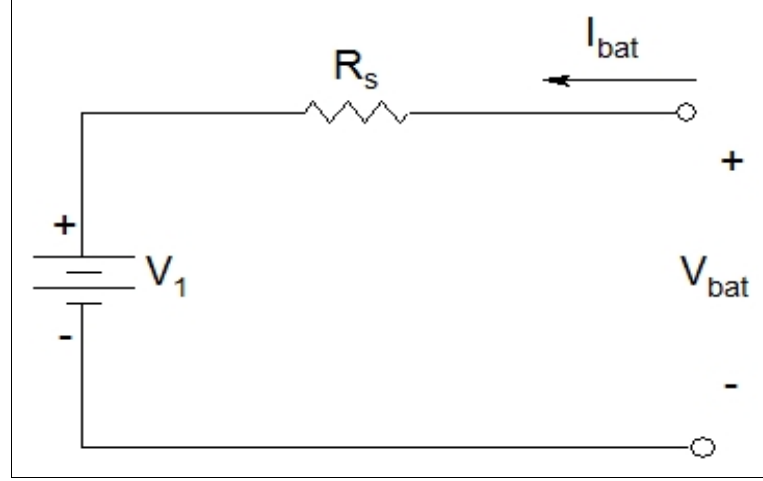
3-Elektriksel model

şeklindedir. Bu alt-gruplardan ilk iki model batarya dinamiklerinin düzgünce simüle edilmesi için uygun değildir. Geliştirilen elektrik devre temelli modeller ise bataryaların şarj-deşarj durumlarının kesin tahmini ve mevcut şarj seviyesinin belirlenmesinde kullanılabilir [36].



### 4.3.1.1. Bataryanın eşdeğer devresi ve elektriksel modeli

Basit batarya eşdeğer devresi Şekil 4.7’de gösterilmiştir [37].



Şekil 4.7. Basit batarya eşdeğer devresi

Kurşun-asit batarya deşarj modeli ( $i^* > 0$ ) ve şarj modeli ( $i^* < 0$ ) için matematiksel ifadeler sırasıyla Denklem (4.10) ve Denklem (4.11)’de verildiği gibi [36];

$$f_1(it, i^*, i, \text{Exp}) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left( \frac{\text{Exp}(s)}{\text{Sel}(s)} \cdot 0 \right) \quad (4.10)$$

$$f_2(it, i^*, i, \text{Exp}) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it + 0,1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left( \frac{\text{Exp}(s)}{\text{Sel}(s)} \cdot \frac{1}{s} \right) \quad (4.11)$$

şeklinde olacaktır.

Lityum-iyon batarya deşarj modeli ( $i^* > 0$ ) ve şarj modeli ( $i^* < 0$ ) için matematiksel ifadeler sırasıyla Denklem (4.12) ve Denklem (4.13)’te verildiği gibi [36];

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (4.12)$$

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it + 0,1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (4.13)$$

şeklinde olacaktır.

Nikel-kadmiyum ve nikel-metal-hibrit bataryaların deşarj modeli ( $i^* > 0$ ) ve şarj modeli ( $i^* < 0$ ) için matematiksel ifadeler Denklem (4.14) ve Denklem (4.15)'te verildiği gibi [36];

$$f_1(it, i^*, i, \text{Exp}) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left( \frac{\text{Exp}(s)}{\text{Sel}(s)} \cdot 0 \right) \quad (4.14)$$

$$f_2(it, i^*, i, \text{Exp}) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{|it| + 0,1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left( \frac{\text{Exp}(s)}{\text{Sel}(s)} \cdot \frac{1}{s} \right) \quad (4.15)$$

şeklinde olacaktır.

Batarya şarj durumu (state of charge-SOC) için matematik ifade [36];

$$\text{SOC} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{1}{Q} \cdot \int_0^t i(t) \cdot dt \right) \quad (4.16)$$

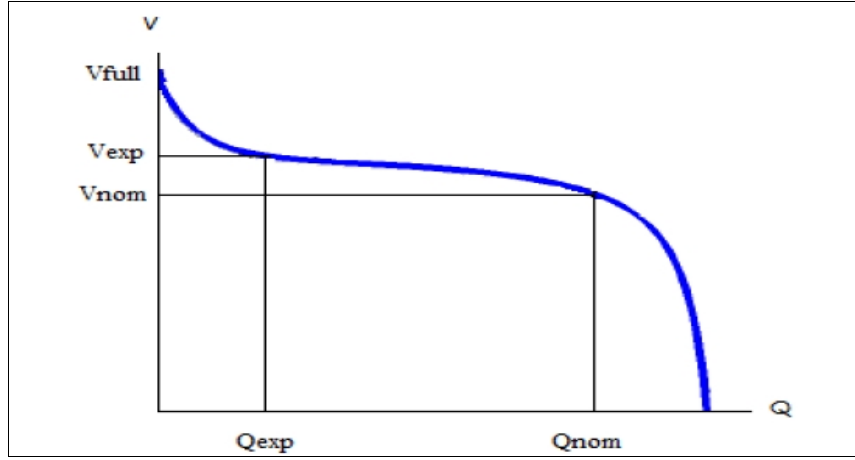
ya da

$$\text{SOC} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{it}{Q} \right) \quad (4.17)$$

şeklinde olur. Burada;  $V_b$  gerçek batarya gerilimi (lineer olmayan) (V),  $E_0$  batarya sabit gerilimi (V),  $\text{Exp}(s)$  üstel bölge gerilimi (V) olarak ifade edilirken  $\text{Sel}(s)$  bataryanın çalışma modunu ( $\text{Sel}(s)=0$  deşarj,  $\text{Sel}(s)=1$  şarj) gösterir.  $K$  polarizasyon direnci ( $\Omega$ ) ya da polarizasyon sabiti ( $\text{Ah}^{-1}$ ),  $i^*$  düşük frekansta akım dinamikleri (A),  $i$  gerçek batarya akımı (A),  $it$  mevcut batarya kapasitesi (Ah),  $Q$  maksimum batarya kapasitesi (Ah),  $A$  üstel bölge gerilimi (V),  $B$  üstel bölge zaman sabitinin tersi ya da üstel kapasite ( $\text{Ah}^{-1}$ ) olarak tanımlanır.

Bahsedilen tüm bu parametreler üretici ürün kataloglarında mevcuttur. Fakat polarizasyon direnci  $K$ , üstel bölge genliği  $A$  ve üstel bölge zamanının tersi  $B$  bataryanın deşarj eğrisinden hesaplanmalıdır.

Hesaplamalar için gerekli parametreler Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Örnek deşarj eğrisi

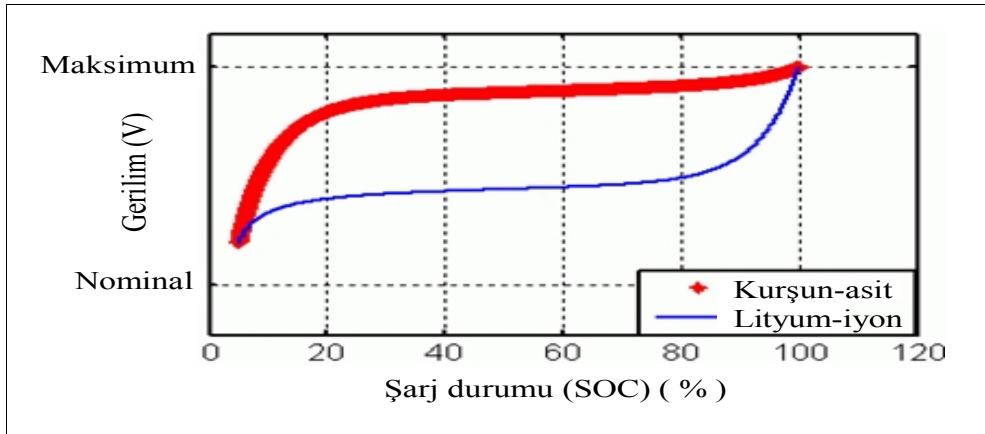
Tipik deşarj eğrisi 3 bölümde incelenir.

Birinci bölüm, batarya şarj durumundayken olan “üstel gerilim düşüşünü” ifade eder. Batarya tipine bağlı olarak bu alan daha geniş ya da dar olabilir.

İkinci bölüm, gerilim bataryanın nominal geriliminin altına düşene kadar bataryadan elde edilen şarj (kapasite) olarak açıklanabilir.

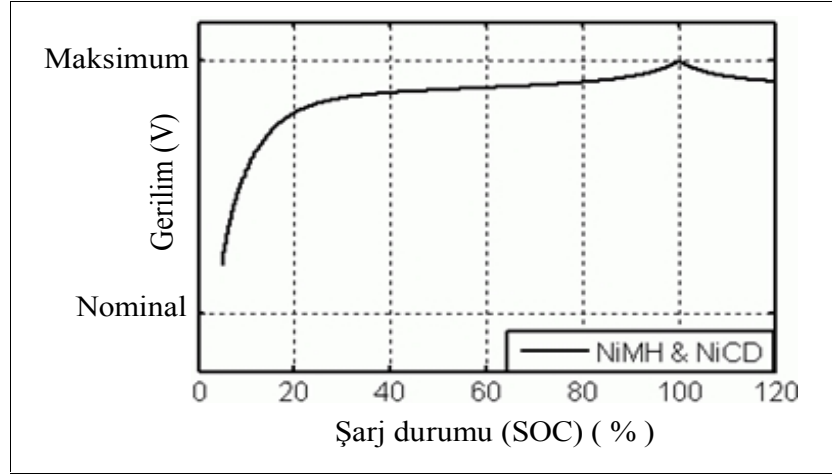
Üçüncü bölüm, gerilim düşüşünün hızlı olduğu bölge ise bataryanın deşarj durumunda olduğunu göstermektedir.

Batarya akımı negatif olduğu zaman batarya aşağıda gösterildiği gibi bir şarj karakteristiği ile şarj edilecektir. Kurşun-asit ve lityum-iyon bataryalar için tipik şarj karakteristikleri Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kurşun-asit ve lityum-iyon batarya tipik şarj karakteristikleri

Şekil 4.10'da NiMH bataryalar için tipik şarj karakteristiği gösterilmiştir.



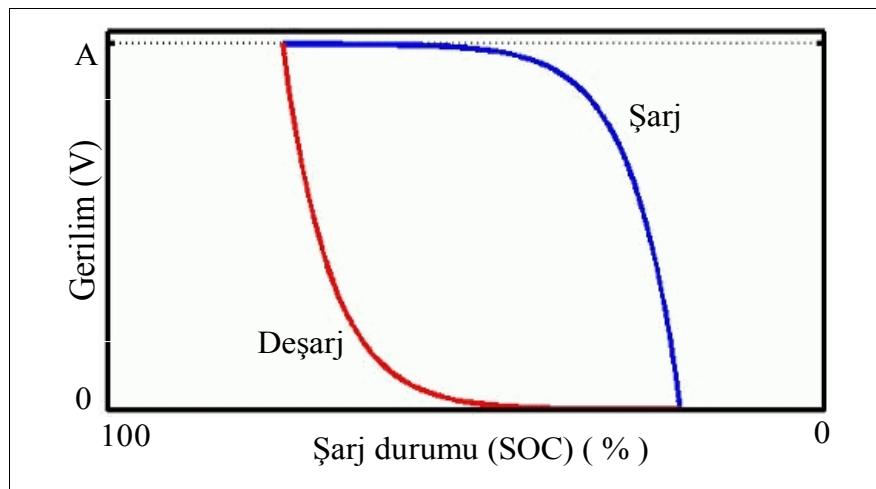
Şekil 4.10. NiMH batarya tipik şarj karakteristik eğrisi

Oluşturulan model için parametreler deşarj karakteristiklerinden elde edilmiş olup aynı şarj karakteristiklerine sahip oldukları farz edilmiştir.

Exp(s) transfer fonksiyonu kurşun-asit, nikel-kadmiyum ve nikel metal-hibrit batarya tipleri için şarj-deşarj çevrimleri sırasındaki histerezis olgusunu temsil eder.

Batarya şarj olurken bataryanın şarj durumunun önemi olmaksızın üstel gerilim artar. Batarya deşarj durumundayken ise üstel gerilim hızlı bir biçimde azalır.

Kurşun-asit, nikel-kadmiyum (NiCD), nikel metal-hibrit (NiMH) için üstel bölge şarj ve deşarj eğrileri Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Kurşun-asit, NiCD, NiMH için üstel bölge eğrisi

### 4.3.2. Batarya parametreleri

Yük parametreleri seçilen batarya tipinin nominal gerilim ve değerlendirilen kapasitesine göre girilmektedir.

Nominal gerilim (V): Bataryanın nominal gerilimi  $V_{nom}$  ile gösterilir ve birimi Volt'tur. Nominal gerilim deşarj karakteristiğinin doğrusal bölgesinin sonudur.

Değerlendirilen kapasite (rated capacity) (Ah): Değerlendirilen kapasite  $Q_{rated}$  ile gösterilir ve birimi Amper-saat'tir. Değerlendirilen kapasite bataryanın minimum etkin kapasitesi olarak alınır.

Başlangıç batarya şarj durumu-SOC (state of charge) (%): Bataryanın ilk şarj durumu (SOC) %100 olarak yani tam dolu kabul edilmiştir. Bataryanın şarj durumu (SOC) %0 ise tam boş olduğunu göstermektedir.

Maksimum kapasite (Ah): Maksimum teorik kapasite (Q), batarya geriliminde süreklilik olmadığı zamanlarda bu değer değerlendirilen kapasitenin ( $Q_{rated}$ ) %105'ine eşittir.

Tam şarj gerilimi (V): Tam şarj gerilimi ( $V_{full}$ ), verilen deşarj akımı için geçerlidir.

Nominal deşarj akımı (A): Nominal deşarj akımı, deşarj eğrisinde hesaplamalar yapılarak elde edilmiştir. Örneğin; 1,5 Ah NiMH batarya için tipik bir deşarj akımı değerlendirilen kapasitenin %20'si olarak alınır.

İç-direnç (ohm): Bataryanın iç-direnci (ohm) hazır model kullanıldığında jenerik değer nominal gücün %1'ine karşılık gelir. İç-direnç, akımın genliğiyle değişmeyecek ve şarj-deşarj çevrimleri sırasında sabit kalacak kabul edilmiştir.

Kapasite (Ah): Nominal kapasite ( $Q_{nom}$ ) bataryanın gerilimin nominal gerilimin altına düşene kadar bataryadan elde edilen kapasitedir. Bir başka deyişle  $Q_{exp}-Q_{max}$  arasındaki değerdir.

Üstel bölge [gerilim (V), kapasite (Ah)]: Gerilim ( $V_{exp}$ ) ve kapasite ( $Q_{exp}$ ) üstel bölgenin bitimine karşılık gelir. Gerilim,  $V_{nom}-V_{full}$  arasındaki bölge iken kapasite de  $0-Q_{nom}$  arasındaki bölgedir.

### **4.3.3. Batarya çeşitleri**

Bataryaların çok sayıda çeşitleri vardır ama bütün bataryaların soğuk ortam şartlarında düşük enerji kapasitesi ve kötü performans gibi ortak kusurları bulunmaktadır. Aynı zamanda, sıcaklık ve bataryanın uygunsuz kullanımıyla artan batarya eskime hızı gibi faktörlerle zamanla ortaya çıkan bataryanın etkin kapasite değerinde kayıp oluşması da bir problemdir.

Uygun depolama ve çalışma koşulları ile şarj-deşarj kontrollerinin iyi yapılması bataryanın yaşlanma süresinin uzamasına yardımcı olabilir.

#### **4.3.3.1. Kurşun asit batarya**

Şarj edilebilir kurşun-asit bataryalar, 1950'li yıllardan beri kullanılan ve günümüzde en yaygın akü tipleridir. Kurşun-asit bataryalar 6 V, 12 V ve 24 V olarak bulunabilirler. Yüksek akım verdiklerinden yüksek güç gerektiren projelerde kullanılabilirler. Kurşun-asit bataryaların dezavantajı ağır olmalarıdır.

#### **4.3.3.2. Nikel-metal hibrit batarya**

Ni-MH bataryalar yapılarında titanyum, nikel, manganez, kobalt, alüminyum, vanadyum, zirkonyum, demir ve krom bileşikleri içeren, uzun ömürlü, defalarca şarj edilebilen bataryalardır. Ni-MH bataryaların bir birimi 1,2 V gerilim üretir. Ni-MH bataryaların enerji kapasiteleri oldukça yüksektir. Ni-MH bataryalar da Ni-Cad bataryalar gibi tamamendeşarj olmadan şarj edilmemelidir çünkü bellek etkisi bu bataryalar için de geçerlidir. Ni-MH bataryalar birçok açıdan avantajlıdır ancak tek olumsuzlukları kullanılmadıklarındadeşarj olma sürelerinin oldukça kısa olmasıdır.

#### **4.3.3.3. Lityum iyon batarya**

Lityum iyon bataryalarda elektrotlar karbon ve metal oksit, elektrolit ise lityum tuzu çözeltisidir. Lityum iyon bataryalar şarj edilebilir. Enerji yoğunluğu diğer bataryalardan daha yüksektir ve 3,6 V gerilim üretebilir. Lityum iyon bataryalar enerji kapasiteleri yüksek, şarj tutma süreleri uzun ve diğer bataryalara göre çok daha hafiftir ama çok daha pahalıdır. Lityum iyon bataryaların diğer şarj edilebilir bataryalar gibi tamdeşarj olmadan şarj edilme sorunları yoktur.

#### 4.3.3.4. Lityum polimer batarya

Lityum polimer (li-polimer) bataryalar, lityum iyon bataryalar ile benzer karakteristik özelliklere sahiptir ve yüksek akım çıkışı vardır fakat enerji yoğunluğu daha düşüktür.

Li-polimer, (elektrona yalıtkan fakat iyona iletken) katı hal elektrotlardan oluşur. Elektrotları katı olduğundan bu bataryalara katı hal bataryaları da denmektedir. Polimer elektrot uygun bir elektrolit tuzuyla bileşik yapmış olan polietilen-oksitten oluşur. En iyi pozitif elektrot vanadyum-oksitten oluşur. Li-polimer bataryalar en yüksek özgül enerji ve en yüksek güce sahip bataryalardır. Daha kolay tutuşabilen elektrotlar yerine kullanılan katı polimerler iyon akışını 60 °C'deki sıcaklıklara kadar taşıyabilir.

Li-polimer bataryalar hücrelerden oluşmaktadır. Her bir hücrenin nominal gerilimi 3,7 voltur. Seri bağlı hücreler S harfi ile gösterilir. Bu durumda S harfinden önceki rakam hücre sayısını gösterir. Yani 2S denildiğinde 7,4 Volt anlaşılır. Bataryanın bir hücresinin boş haldeki gerilimi 3 V, tam şarjlı halde gerilimi 4,2 V olmalıdır. Kullanılan bataryanın herhangi bir hücresinin 3 V altına düşmesi durumunda bataryanın ömrünü tamamlama riski vardır.

Li-polimer bataryalar küçük olmasına rağmen yoğun güç içererek yüksek kapasitelidir. Li-polimer bataryalar Ni-Cd ve Ni-MH bataryalara göre çok daha fazla akım üretebilirler. Kıyaslama yapıldığında diğer bataryalara göre Li-polimer bataryalar hafiftir ve istenilen şekil veya boyutta üretilebilir bu da tasarımlarda kullanımı açısından bir avantajdır. Ni-Cd ve Ni-MH bataryalara göre kullanım süreleri daha uzundur. NiCad ve NiMH bataryalar ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır. Ortalama olarak 300–400 şarjda ömrünü tamamlamaktadır. Doğru kullanımda 1000 sefer şarj edilebilmektedir.

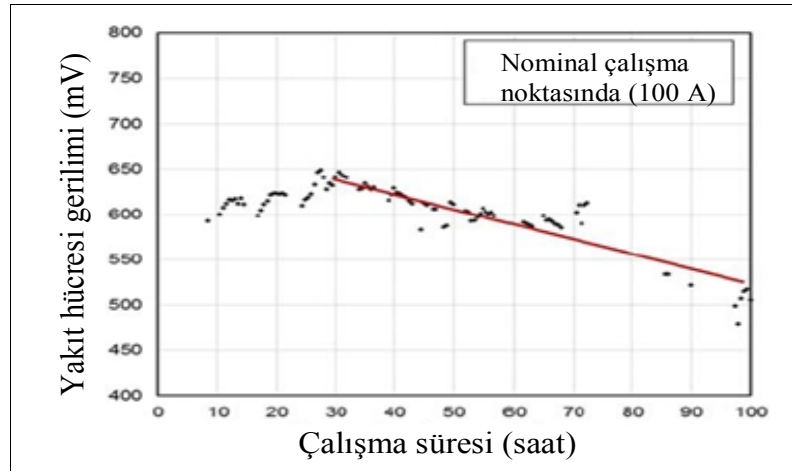
Uçucu elektrolitler kullanıldığı için yanlış kullanımda patlama veya tutuşma riski vardır. Özenli bakım gerektirir ki bakım durumu şarj, deşarj ve depolama ömrüne etki etmektedir.

#### 4.4. Yakıt Hücresi

PEM (Proton Exchange Membrane) yakıt hücresi (PEM-FC) sistemi hidrojen ve oksijen kullanarak kimyasal enerjiden doğrudan elektrik ve termal enerji üretir. Ürün sadece su olur ve bu durum karbon problemi olmadığını gösterir.

Doğru dönüşüm yanma işlemi kadar yüksek verimler sağlar. PEM tipi yakıt hücreleri diğer tip yakıt hücreleriyle kıyaslandığında rüzgâr ve PV gibi dinamik yükler için daha uygundur. Fakat PEM tipi yakıt hücreleri yüksek yaşam sürelerini sağlamak için en uygun çalışma stratejisine ihtiyaç duyan hassas sistemlerdir. Eğer iyi bir optimizasyon yoksa, sürekli yük değişimleri, frekansın açık-kapalı ve düşme zamanları ek stres faktörleri olarak eskimeyi hızlandırır.

Şekil 4.12’de yakıt hücresine ait mV-zaman eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.12. Yakıt hücresi mV-zaman eğrisi

PEM tipi yakıt pili için; her hücrenin gerilimi Denklem (4.18)'deki gibi;

$$V_{fc} = N \cdot \left[ \begin{array}{l} E_{H_2O_2} - (b_0 \cdot T_{FC}^2 + b_1 \cdot T_{FC} + b_2) \cdot \log\left(\frac{I_{fc}}{A_{cell}}\right) \\ -(r_0 \cdot T_{FC}^2 + r_1 \cdot T_{FC} + r_2) \cdot \frac{I_{fc}}{A_{cell}} \\ -(m_0 \cdot P_r^2 + m_1 \cdot P_r + m_2) \cdot \exp\left((n_0 \cdot P_r^2 + n_1 \cdot P_r + n_2) \cdot \frac{I_{fc}}{A_{cell}}\right) \end{array} \right] \quad (4.18)$$

şeklinde ve hücre gerilimi denkleme göre akım, sıcaklık ve basınç ile değişir [38].



$E_{H_2O_2}$   $H_2O_2$  reaksiyonunun standart potansiyelini (V),  $I_{fc}$  yakıt hücresinin akımını (A),  $V_{fc}$  yakıt hücresinin gerilimini (V), N hücre sayısını,  $A_{cell}$  hücrenin alanını ( $cm^2$ ),  $T_{FC}$  yakıt hücresinin sıcaklığını (K),  $P_r$  yakıt hücresindeki hidrojen basıncını ifade ederken,  $b_i$ ,  $r_i$ ,  $m_i$  ve  $n_i$  sabitleri ise ( $i=0, 1, 2$  için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayılarıdır. F Faraday sabitidir. İstenen hidrojen molar akış oranı  $n'_{fc}$  ile yakıt hücresi tarafından üretilen  $I_{fc}$  akımı arasındaki ilişki Denklem (4.19)'da verildiği gibi;

$$I_{fc} = \frac{2n'_{fc}F}{N} \quad (4.19)$$

şeklindedir. Yakıt hücresinin yararlanma (kullanım) faktörü  $u_{fc}$ , Denklem (4.20)'de verildiği gibi;

$$u_{fc} = \frac{n'_{fc}}{n'_s} \quad (4.20)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, sağlanan hidrojen molar akış oranı  $n'_s$ , yakıt akış kontrolörü tarafından belirlenmiştir. Yakıt hücresinden üretilen elektriksel güç  $P_{fc}$  ile ifade edilmektedir. Yakıt hücresinden üretilen elektriksel gücün ifadesi Denklem (4.21)'deki gibi;

$$P_{fc} = V_{fc} \cdot I_{fc} \quad (4.21)$$

şeklinde olmaktadır.

## 5. YÜK TİPLERİNİN BELİRLENMESİ VE SINIFLANDIRILMASI

Önerilen akıllı enerji yönetim algoritmasında, üretilen güç ile kıyası yapılacak olan talep edilen gücün belirlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden ülkemizde evlerde bulunması yüksek ihtimal olan elektrikli cihazların (DC ve AC beslemeli yüklerin) bir listesi çıkarılmıştır. Tablo 5.1’de verilen bu listede yüklerin besleme tipleri ve güçleri ile tahmini maksimum günlük tüketimlerine göre toplam talep ettikleri enerjiler belirlenmiştir. Gün 4 saatlik dilimlere bölünerek Tablo 5.1’de verilen maksimum günlük tüketim verileri esas alınarak yüklerin, kullanıcı tercihine bağlı olarak değişebilecek, gün içerisinde genelde kullanılma zamanlarına göre bu dilimler için Tablo 5.2’de talep edilen güçler yaklaşık olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 5.2’de verilen talep edilen enerji verileri daha sonrasında detaylandırılarak 5 dakikalık dilimlere indirgenerek önceki bölümlerde verilen Kocaeli ili için elde edilen rüzgar ve güneş verileri ile birlikte üretilen gücün talep edilen gücü karşılayıp karşılayamayacağını belirlemek için benzetim çalışmalarında kullanılmıştır.

Önerilen akıllı enerji yönetim algoritması için yükler Tablo 5.1’de 2 gruba ayrılarak enerji yönetimi bu 2 yük tipi dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu belirlenen 2 yük tipi kullanıcı temelli olup, üretilen güce ve talep edilen güç kapasitesine göre kullanıcı tercihine bağlı olarak tekrardan belirlenebilir.

Bu önerilen sistem için yük tiplerinin belirlenmesi ve sınıflandırılmasında besleme tipine bağlı olmaksızın kullanılma ve ihtiyaç duyulma durumları esas alınmıştır. Amaç öncelikli yüklerin enerjisiz kalmamasının sağlanmasıdır. İlk grupta en çok kullanılan ve ihtiyaç duyulan yükler yer almaktadır. Belirlenen ikinci grupta ise daha az kullanılan ve genelde büyük güçlü yükler yer almaktadır.

Öncelikli yük tipi PL1 olarak isimlendirilmiştir. PL1 yük tipi günümüzde her evde bulunması yüksek ihtimal olan aydınlatma, buzdolabı, televizyon, internet, telefon vb. için şarj, elektrikli şofben ya da kombi ile çamaşır makinası gibi ilk etapta ihtiyaç duyulan yükleri içermektedir.

İkinci yük tipi olan PL2 ise olduğunda hayatı kolaylaştıran bulaşık makinası, elektrikli süpürgesi, mikrodalga, ütü ve fırın gibi büyük güçlü yükleri içermektedir. Sistemde elektrikli araç mevcut ise PL2 tipi yük olarak sınıflandırılması planlanmaktadır.

Oluşturulan tablolarda ev aletlerinin güçleri ve tahmini kullanım sürelerinden hareketle günlük muhtemel enerji tüketimleri belirlenmiştir.

Tablo 5.1’de ülkemizde evlerde olması muhtemel elektrikli ev aletlerinin günlük tahmini çalışma süreleri ve enerji tüketimleri ile belirlenen yük tipleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Elektrikli ev aletlerinin günlük enerji tüketimleri ve belirlenen yük tipleri

Yük Tipi	Elektrikli Cihazlar	Harcadığı Güç (Watt)	Tipi	Tahmini Günlük Çalışma Süresi	Tahmini Günlük Tüketim (Watt-saat)
PL1	Aydınlatma	300	DC	5 saat	1500
PL1	Buzdolabı	1000	AC	3 saatte 15 dk	2000
PL1	LED -Tüplü	100	AC	8 saat	800
PL1	Plazma TV	300	DC	4 saat	1200
PL1	Bilgisayar-1	90	DC	10 saat	900
PL1	Bilgisayar-2	90	DC	5 saat	450
PL1	ADSL	24	DC	24 saat	576
PL1	Uydu alıcısı	10	AC	24 saat	240
PL1	Çamaşır mak.	2000	AC	90 dakika	3000
PL2	Bulaşık mak.	1500	AC	2 saat	3000
PL2	Fırın	2500	AC	1 saat	2500
PL1	Kombi/ Şofben	2500	AC	6 saat	15000
PL2	Ütü	2400	AC	1 saat	2400
PL1	Tost makinesi	1000	AC	30 dakika	500
PL2	Süpürge	2200	AC	30 dakika	1100
PL2	Mutfak robotu	800	AC	30 dakika	400
PL1	Fön Makinesi	2000	AC	15 dakika	500
PL1	Su ısıtıcısı	2200	AC	20-25 dakika	900
PL2	Mikrodalga	1200	AC	10 dakika	200
PL1	Telefon+ vb.	5	DC	10 saat	50
PL1	Fotoğraf mak.	2	DC	2 saat	4
PL1	Tıraş makinesi	10	DC	1 saat	10
PL1	Davlumbaz	150	AC	20 dakika	50
PL2	Dikiş Makinesi	85	AC	1 saat	85
PL2	Klima	2200	AC	5 saat	11000
PL2	Elektrikli araç	3000		5 saat	15000

Tablo 5.2’de 24 saatlik bir gün 4 saatlik dilimlere ayrılarak günün belirlenen 4 saatlik dilimleri için beklenen en fazla enerji talepleri verilmiştir.

Tablo 5.2. Günün belirlenen 4 saatlik dilimleri için beklenen en fazla enerji talepleri

SAAT	02–06 4saat	06–10 4saat	10–14 4saat	14–18 4saat	18–22 4saat	22–02 4saat	Günlük Toplam (kWh)
CİHAZ							
Aydınlatma	150			100	750	500	1,5
Buzdolabı	250	250	500	500	250	250	2
LED-Tüplü	100		100		200	400	0,8
Plazma TV					1200		1,2
Bilgisayar–1	90			90	360	360	0,9
Bilgisayar–2				90	180	180	0,45
ADSL	96	96	96	96	96	96	0,576
Uydu Alıcısı	40	40	40	40	40	40	0,24
Çamaşır mak.			3000				3
Bulaşık mak.					3000		3
Fırın				2500			2,5
Kombi/Şofben					10000	5000	15
Ütü				2400			2,4
Tost makinesi		500					0,5
Süpürge			1100				1,1
Mutfak Robotu		200			200		0,4
Fön Makinesi		300				200	0,5
Su ısıtıcısı		450				450	0,9
Mikrodalga			200				0,2
Telefon+ vb.		5	5		25	20	0,055
Tıraş makinesi		5				5	0,01
Davlumbaz					50		0,05
Dikiş Makinesi			85				0,085
Klima			6600	4400			11
Elektrikli araç	12000	3000					15
TOPLAM (kWh)	12,736	4,846	11,726	10,216	16,351	7,501	63,366

Genelde kullanılma zamanları dikkate alınarak oluşturulan Tablo 5.2’deki elektrikli ev aletlerinin günün belirlenen 4 saatlik dilimleri için beklenen en yoğun enerji talebi 10-22 saatleri arasındaki 12 saatlik dilimde gerçekleşmektedir.

## **6. GÜÇ KONTROLÜ VE ENERJİ YÖNETİM ALGORİTMASI**

Bu bölümde, önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynaklarına sahip sistemin güç durumu ve kontrol sistemleri ile üretilecek enerjinin tahmini için uygulanabilecek yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için bir algoritma önerilmiştir.

### **6.1. Güç Durumu ve Kontrol Sistemleri**

Akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminde; DC güç ağı, AC güç ağı, akıllı enerji yönetim ağı ile DC ve AC baralar ile kaynaklar arasında enerjinin dönüştürülmesini ve düzenlenmesini sağlayan doğrultucu, evirici, çift yönlü DC-DC dönüştürücü ve Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI) yer almaktadır.

Rüzgar generatörleri kullandıkları teknolojiye göre DC gerilimin yanı sıra değişken frekanslı ya da ayarlanabilen frekanslı AC gerilim üretir. Önerilen sistemde rüzgar türbininden elde edilen (sabit frekans) AC gerilimin DC baraya aktarılabilmesinde doğrultucu kullanılmaktadır.

FV sistemden elde edilen çıkış gücü güneş ışığının aydınlığına göre değişir. En yüksek verimi elde etmek ve DC bara gerilimi ile güneş panelinin gerilimini eşlemek için içerisinde DC-DC güç dönüştürücü ve bir kontrolör bulunduran Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI) kullanılır [1, 2, 18, 19].

Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlar için önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminde yer alan batarya çift yönlü DC-DC dönüştürücü üzerinden DC baraya bağlıdır. Bu çift yönlü dönüştürücünün kontrol edilmesiyle bataryadan sisteme ya da sistemden batarya güç transferi yönetilir. Bataryanın çıkış gücü yük talebine bağlıdır ve kontrol edilerek denge sağlanır. Çift yönlü enerji transferi yapılabilmesiyle bataryanın ihtiyaca göre hem depolama hem de kaynak olarak kullanılabilmesi mümkündür.

Önerilen sistemde yer alan yakıt hücresinin DC bara ile olan bağlantısı DC-DC dönüştürücü vesilesiyle sağlanmaktadır. Böylece, acil yük taleplerinde yakıt hücresinden DC baraya enerji transferi yapılabilmektedir.

Önerilen sistemde DC bara ve şebekenin de bağlı olduğu AC bara arasındaki enerji transferinin kontrolü evirici ve doğrultucu ile sağlanmaktadır. AC ya da DC yüklerin enerji talebine bağlı olarak enerji transferi yapılmaktadır. Üretilen ve depolanan gücün talep edilen gücü karşılayamaması durumunda şebekeden alınan enerji ile konuttaki AC ve DC yükler beslenmektedir. Böylece konutta enerji devamlılığı sağlanmaktadır. Üretimin, talep ve depolama kapasitesini aşması durumunda ise güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından DC baraya gelen enerji evirici üzerinden şebekeye aktarılabilir.

Akıllı enerji depolama ve yönetim algoritması kullanılarak yenilenebilir hibrit enerji kaynaklarından üretilen ve depolanan enerjiye göre; yüklerin kaydırılması ve yüksek talep sürelerinin ayarlanması ya da acil durumlar için planlamalar yapılabilmektedir. İsteğe bağlı olarak sistemde elektrikli araç da yer alabilir.

## **6.2. Üretilen Gücün Tahmini**

Geçmiş hava durumlarına ait solar ışımaya verileri temelinde yakın dönemin hava durumu tahminleri alınarak solar ışımaya tahmin edilebilir ve buradan FV güç çıkışı tahmin edilebilir. Eğer kullanılan FV sistemin geçmiş yıllara ait verileri mevcut ise uygulanacak yöntemler temel olarak iki grupta incelenebilir.

1-Geçmiş yıllarda aynı tarihlerde üretilen ortalama güç değerleri baz alınarak yaklaşık olarak üretilecek güç tahmini yapılabilir.

2-Hava tahmin raporlarına bakılarak geçmişte benzer hava durumları için elde edilen güç değerleri sistem geçmişinden bulunarak üretilecek güç için yaklaşık tahminde bulunabilir.

Eğer sistem yeni kurulmuşsa solar ışımaya etkileyen faktörler dikkate alınarak burada üretilecek gücün tahmini yapılabilir. Saat yani güneş ışınlarının gelme açısı, sıcaklık, yağış, bulutluluk durumları ile mevsim gerçekleri solar ışımaya etkileyen faktörlerdir.

Havanın yağmurlu, çok bulutlu, az bulutlu ve güneşli olması durumları için bilimsel olarak ortaya konmuş gerçeklerden yola çıkarak belirli sınırlar içerisinde solar ışıma için yaklaşık değerleri kabul ederek üretilecek güç için tahminde bulunulabilir. Örneğin; havanın güneşli olduğu bir yaz gününün yakın saatleri için ışıma yaklaşık  $1000 \text{ W/m}^2$  iken, az bulutlu gün için  $700 \text{ W/m}^2$ , çok bulutlu gün için  $400 \text{ W/m}^2$  ve yağmurlu gün için de  $100 \text{ W/m}^2$  olarak beklenebilir.

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'ne ait 2014 yılı ortalama ışıma verilerinin hava ve saate göre dağılımı Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1.Umuttepe 2014 yılı ortalama ışıma verilerinin hava ve saate göre dağılımı

Saat	Işıma sınırları $\text{W/m}^2$	Hava durumu				Sıcaklık ortalaması $^{\circ}\text{C}$
		Yağışlı $\text{W/m}^2$	Çok bulutlu $\text{W/m}^2$	Az bulutlu $\text{W/m}^2$	Güneşli $\text{W/m}^2$	
07–09	0–300	50	100	200	300	5–15
09–12.30	300–620	150	300	500	620	15–25
12.30–15	620–425	150	300	500	620	25–15
15–18	425–0	50	100	250	425	15–5

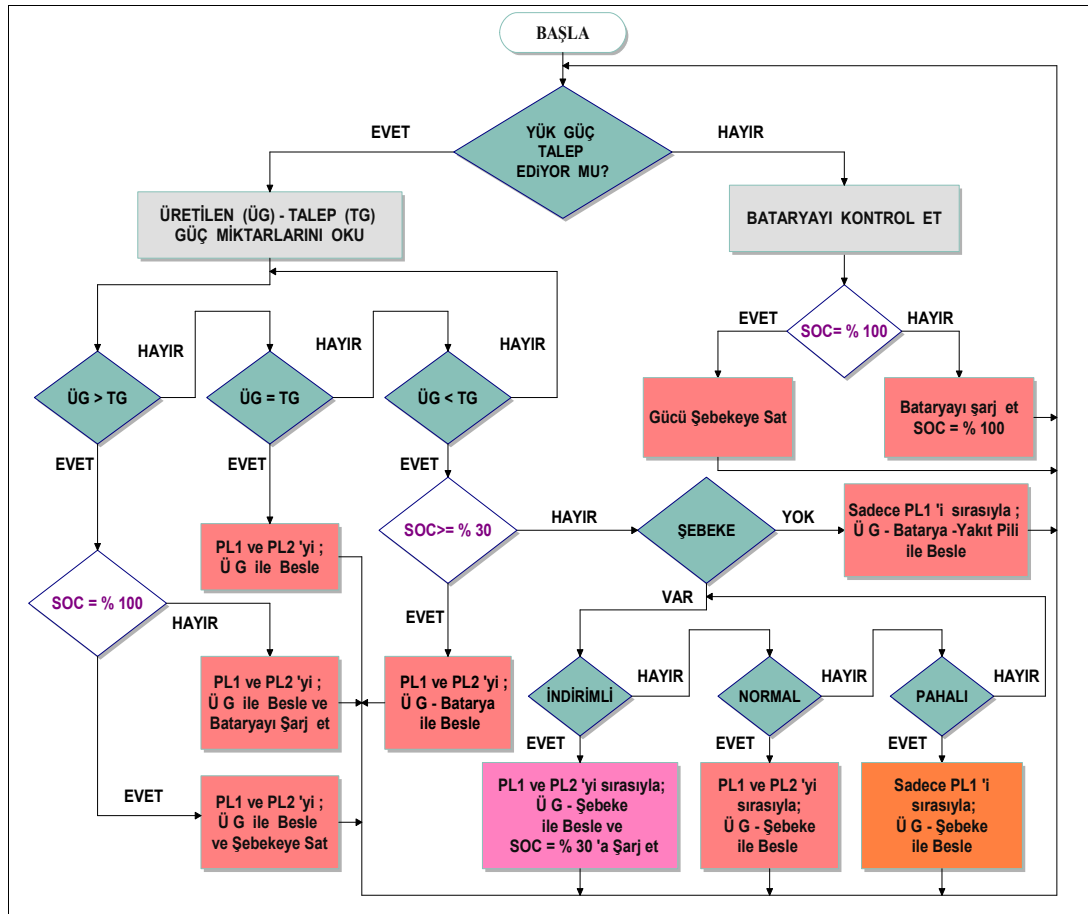
Tablo 6.1'de Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi için 2014 yılı ortalama ışıma verileri ve uzun dönem sıcaklık ortalamaları kullanılarak havanın olası bulutluluk ve yağışlılık durumu ile güneşin gelme açıları (saat) dikkate alınarak gerçekleştirilecek ışımanın tahmini sınırları belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu veriler mevsimsel ve aylık olarak hatta daha da detaylandırılarak günlük veriler incelenerek üretilecek gücün tahmini konusunda daha sağlıklı sonuçların elde edilmesi mümkün olur. Ama yine de her durumda hava durumunun kesin olarak bilinmesi yaşanmadan mümkün değildir. Bu yüzden, tahmin edilen üretilecek güç beklentisini düşük tutarak depolama ve şebeke durumları da dikkate alınarak öncelikli yükler dışındaki tüketimi planlamak daha akılcı olacaktır.

### 6.3. Önerilen Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Algoritması

Önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasının amacı, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olan DC tabanlı bir evde üretilen güç ile günümüz şartlarında evlerde bulunması yüksek ihtimal olan elektrikli ev aletlerinin (DC ve AC beslemeli yüklerin) talep ettiği gücün kıyaslanması ve bu kıyasın sonucuna göre üretilen güç, depolama ve şebeke durumlarını kontrol ederek sistemin izin verdiği en optimum çözümün uygulanmasıdır.

Önerilen bu algoritma ile üretilen güce göre evdeki yüklerin öncelikleri dikkate alınarak kullanımı için en uygun zamanlar belirlenebilir. Böylece üretilen güç daha verimli kullanılabilir. Bu şekilde, şebekeye olan bağımlılık en aza indirgenir dolayısıyla da faturalar düşürülerek tasarruf yapılabilir. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın blok diyagramı Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın blok diyagramı



Şekil 6.1’de verilen algoritmada ilk önce yük güç talep edip etmediği sorgulanır eğer güç talebi yoksa batarya kontrol edilir. Batarya tam doluysa üretilen güç şebekeye satılır, tam dolu değilse batarya %100’e şarj edilmeye çalışılır. Eğer yük güç talep ediyorsa, üretilen ve talep edilen güçler kıyaslanarak döngüye devam edilir. Önerilen algoritmanın sunduğu en optimum çözüm; eğer üretilen güç talep edilen güçten fazlaysa, yüklerin hepsinin beslenmesini ve bataryanın şarj durumuna göre şarj edilmesini ya da şebekeye satılmasını içerebilir. Eğer üretilen güç, talep edilen güce eşit ise bu durumda sunulacak en optimum çözüm; tüm yüklerin üretilen güç ile beslenmesi olacaktır. Eğer üretilen güç, talep edilen güçten az ise burada optimum çözüm için ilk bakılacak bataryanın doluluk oranı olacaktır. Üretilen gücün, talep edilen gücü karşılayamadığı durumda eğer bataryanın doluluk oranı belirlenen seviyenin üzerinde ise yüklerin hepsi üretilen güç ve batarya ile birlikte beslenecektir. Eğer bataryanın doluluk oranı belirlenen seviyenin altında ise sırasıyla şebekenin olup olmadığı ve tarife durumu kontrol edilerek en optimum çözüm sunulacaktır. Bu durumda eğer tarife indirimli ise sunulacak optimum çözüm; tüm yüklerin üretilen güç ve şebeke ile beslenmesi ve bataryanın belirlenen kritik seviyeye kadar şarj edilmesini içerecektir. Eğer tarife normal ise sunulacak optimum çözüm; yüklerin üretilen güç ve şebeke ile beslenmesini içerecektir. Eğer tarife pahalı ise sunulacak optimum çözüm; sadece kritik yüklerin üretilen güç ve şebeke ile beslenmesini içerecektir. Üretimin, talep ve depolama kapasitesini geçmesi durumunda ise üretilen enerji şebekeye satılarak gelir sağlanabilir.

Şekil 6.2’de verilen m-file kodunda yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın giriş verileri global değişken olarak atanmıştır.

```
function [y]=manf(YGT, Pgunes, Pruzgar, S, Tarife, Ptalep, SOC);  
global anahtar  
management; %algoritma  
y=anahtar;  
end
```

Şekil 6.2. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın global değişkenleri

Şekil 6.3’te yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritmanın m-file kodu verilmiştir.

```

management.m

%YGT=1; %Yukun guc talebi varsa 1 yoksa 0
%Pgunes=20; %Uretilen gunes gucu %Pruzgar=0; %Uretilen ruzgar gucu
Puretilen=Pgunes+Pruzgar; %Uretilen toplam guc
%PL1=1; %Talep edilen L1 yukunun gucu , %PL2=20; %Talep edilen L2 yukunun gucu
%Ptalep=PL1+PL2; %Talep edilen toplam guc
%SOC=20; %Batarya sarj seviyesi
%S=0; %Sebeke s varsa 1 yoksa 0
%Tarife=2; %Tarife durumu 1 indirimli, 2 normal, 3 pahali
global anahtar
if YGT==1;
ug=0;%uretilen gucu oku-goster
tg=0;%talep edilen guc oku-goster
if Puretilen == Ptalep;
anahtar=[1 1 0 0 0 1 1 0 0];
disp('L1 ve L2 yuklerini uretilen guc ile besle')
elseif Puretilen > Ptalep;
if SOC==100;
anahtar=[1 1 0 1 0 1 1 0 0];
disp('L1 ve L2 yuklerini uretilen guc ile besle ve sebekeye sat')
else
anahtar=[1 1 0 0 0 1 1 1 0];
disp('L1 ve L2 yuklerini uretilen guc ile besle ve bataryayı sarj et')
end
elseif Puretilen < Ptalep;
if SOC>=30;
anahtar=[1 1 0 0 0 1 1 0 1];
disp('L1 ve L2 yuklerini sirasiyla uretilen guc ve batarya ile besle')
elseif S==1;
if Tarife==1;
anahtar=[1 1 0 0 1 1 1 1 0];
disp('Indirimli-L1 ve L2 yuklerini uretilen guc-sebeke ile besle ve Bataryayı %30a sarj et')
elseif Tarife==2;
anahtar=[1 1 0 0 1 1 1 0 0];
disp('Normal tarife-L1 ve L2 yuklerini uretilen guc ve sebeke ile besle')
elseif Tarife==3;
anahtar=[1 1 0 0 1 1 0 0 0];
disp('Pahali tarife-L1 yukunu uretilen guc ve sebeke ile besle')
end
elseif S==0;
anahtar=[1 1 1 0 0 1 0 0 1];
disp('Sadece L1 yukunu sirasiyla uretilen guc ve bataryadan ve yakit hucresiyle besle')
end
end
else
if SOC==100; %bataryayı kontrol et
anahtar=[1 1 0 1 0 0 0 0 0];
disp('Gucu sebekeye sat')
else
anahtar=[1 1 0 0 0 0 0 1 0];
disp('Bataryayı SOC=%100 e sarj et')
end
end
end

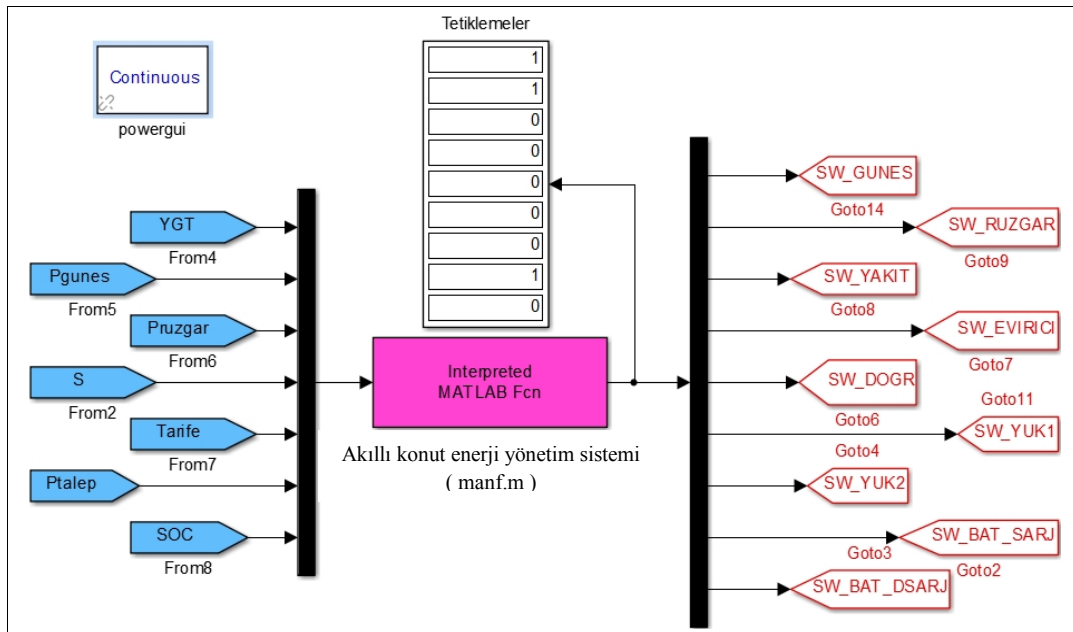
```

Şekil 6.3. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen algoritma

## 7. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi için önerilen MATLAB/Simulink modeli ve bu modelin, önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritması kullanılarak kontrol edilmesiyle gerçekleştirilen benzetim çalışmalarına ait sonuçlar verilecektir.

Şekil 7.1’de yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemine ait veri girişleri ve bu verilerin önerilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasında değerlendirilmesiyle sunulan optimum çözüme göre çıkış olarak anahtarlama elemanlarının durumları 1 ya da 0 olarak gösterilmiştir.

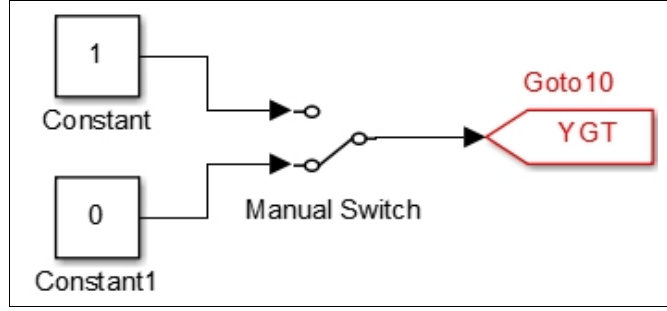


Şekil 7.1. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminin veri girişlerinin ve kontrol anahtarlarının gösterimi

Şekil 7.1’de verilen akıllı konut enerji yönetim sistemi kontrol bloku kullanılarak, Şekil 6.2’de verilen m-file kodu ile global değişken olarak atanan Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.7, Şekil 7.8 ve Şekil 7.9’da verilen bloklara ait girişler ile bataryanın şarj durumu bilgisini sağlayan giriş (SOC), Şekil 6.3’te verilen akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasında döngüye sokulmaktadır.

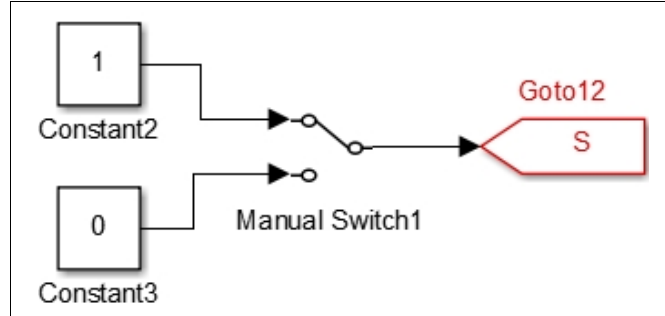
Önerilen algoritmanın sunduğu çözüme göre; güneş, rüzgar, yakıt hücresi, doğrultucu (şebekeden DC baraya transfer) ve eviricinin (DC baradan şebekeye transfer) çalışması ile bataryanın şarj ya da deşarj olmasını kontrol eden toplam 9 anahtarlar üzerinden önerilen MATLAB/Simulink modeli kontrol edilmektedir.

Şekil 7.2’de Yük güç talebi (YGT) varsa “1”, yoksa “0” ile gösterilmiştir.



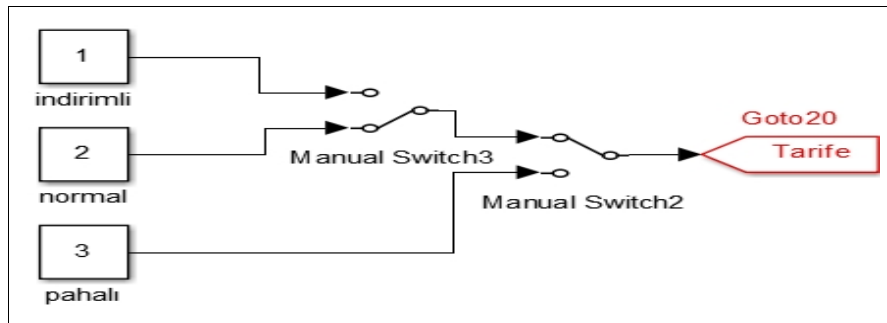
Şekil 7.2. Yük güç talebi (YGT) durumu

Şekil 7.3’te şebekenin (S) olması durumu “1”, olmaması ise “0” ile gösterilmiştir.



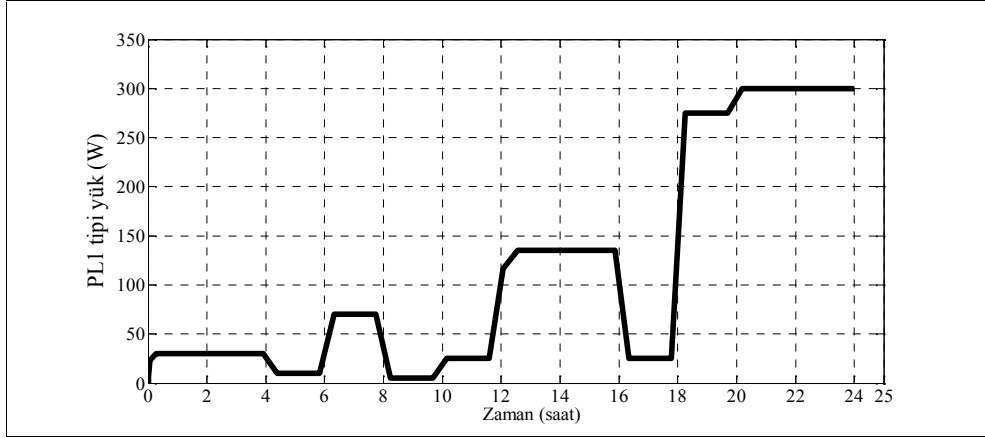
Şekil 7.3. Şebeke (S) durumu

Şekil 7.4’te indirimli tarifede olması durumu “1”, normal tarifede olması durumu “2” ve pahalı tarifede olması durumu ise “3” ile gösterilmiştir.

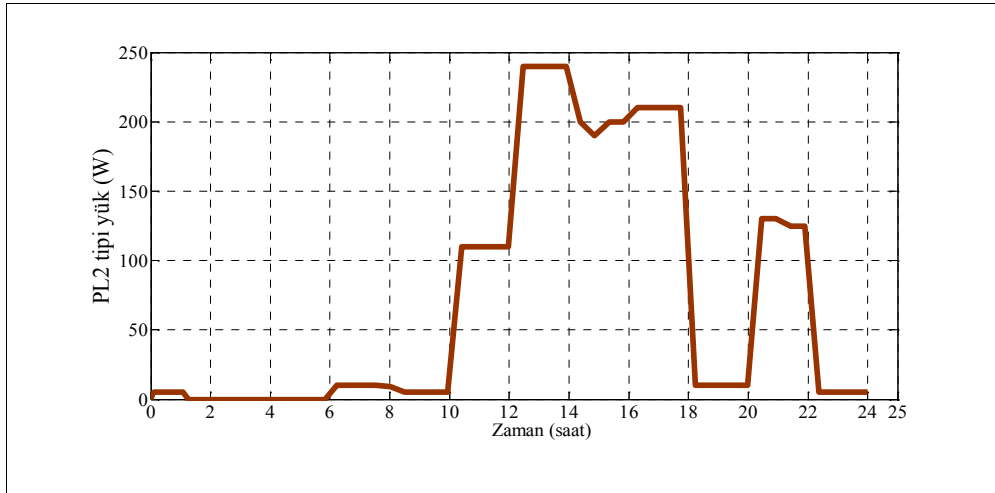


Şekil 7.4. Tarife durumu

Tablo 5.2'deki verilerle oluşturulan PL1 ve PL2 yüklerinin güç-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.5'te ve Şekil 7.6'da verilmiştir. Elektrikli araç dahil edilmemiştir.

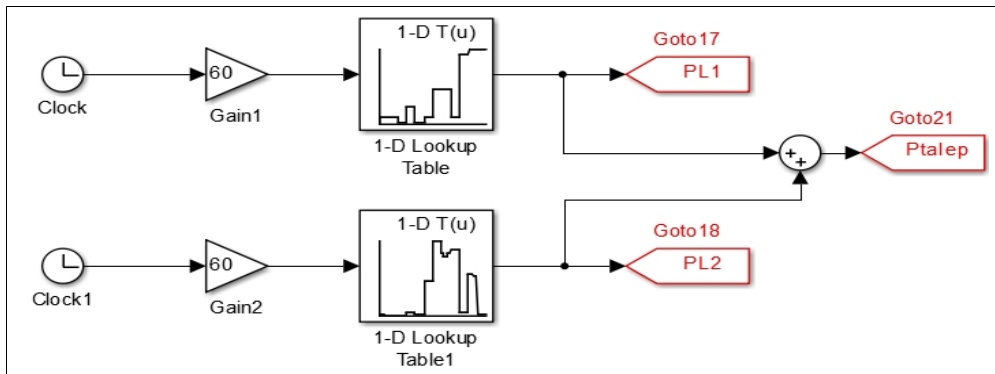


Şekil 7.5. Belirlenen PL1 tipi yüke ait güç-zaman grafiği



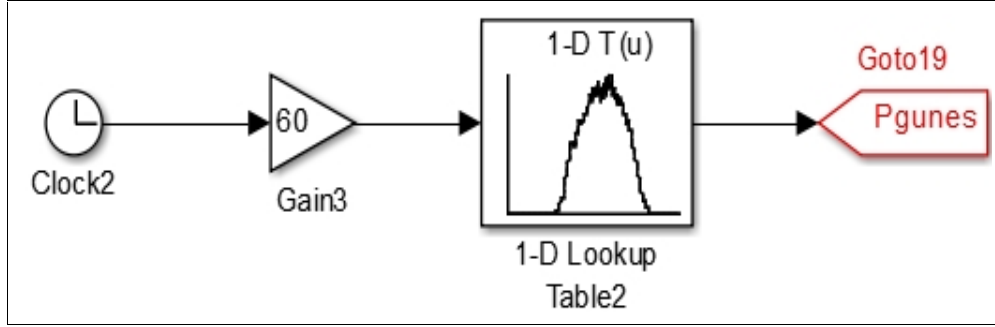
Şekil 7.6. Belirlenen PL2 tipi yüke ait güç-zaman grafiği

PL1 ve PL2 tipi yüklerin toplamından oluşan talep edilen gücün ( $P_{talep}$ ) MATLAB/Simulink'te oluşturulması için kullanılan blok Şekil 7.7'de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Talep edilen güç ( $P_{talep}$ ) eldesi

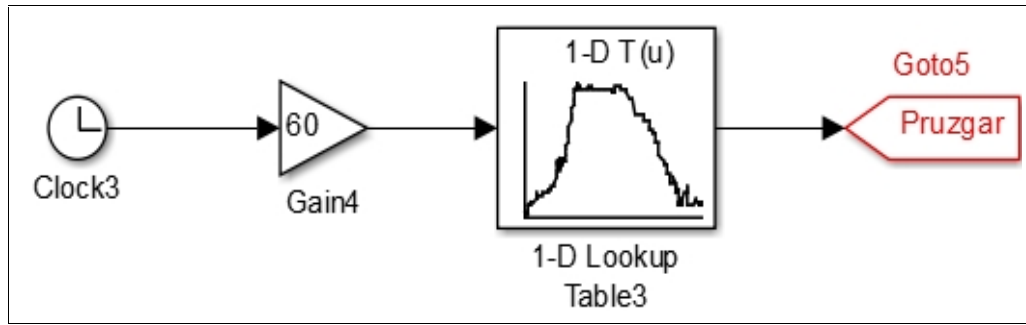
Kurulu FV sistemde ölçülen güç değerlerinden benzetim çalışmalarında yararlanılabilmesi için MATLAB/Simulink'te kullanılan blok Şekil 7.8'de gösterilmiştir.



Şekil 7.8. Gerçek güneş verilerinin MATLAB/Simulink'e aktarılması

Kocaeli bölgesine ait gerçek güneş verilerinden benzetim çalışmalarında yararlanarak benzetim çalışmalarının daha gerçekçi olması amaçlanmıştır. Birinci bölümde verilmiş olan Kocaeli bölgesinde konumlandırılmış olan 1250 W poli kristal (P 60) güneş panelinden elde edilen 2014 yılı güç verileri, Şekil 7.8'de verilen blok vesilesiyle benzetim çalışmalarında kullanılmıştır.

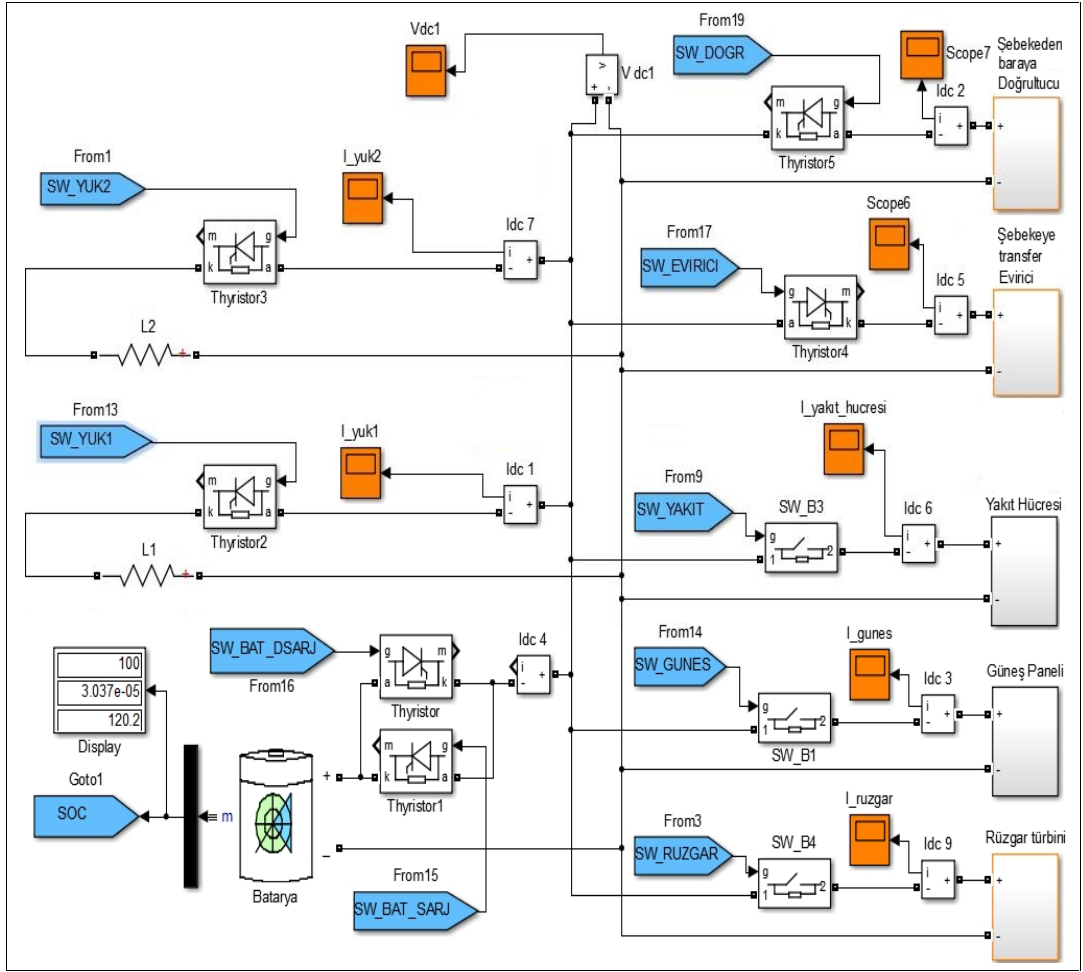
Kocaeli bölgesine ait gerçek rüzgar hızı verilerinden elde edilen güç değerlerinin MATLAB/Simulink'e aktarılması için kullanılan blok Şekil 7.9'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Gerçek rüzgar verilerinin MATLAB/Simulink'e aktarılması

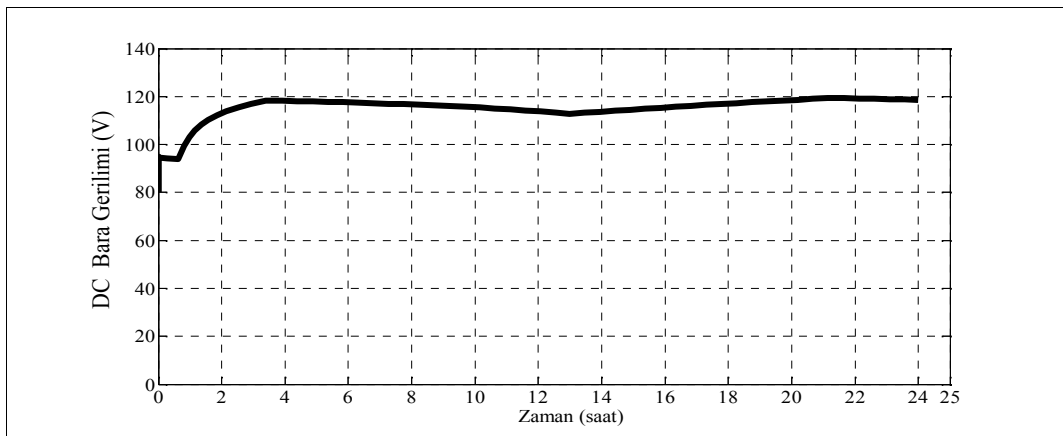
Kocaeli bölgesine ait gerçek rüzgar verilerinden benzetim çalışmalarında yararlanarak benzetim çalışmalarının daha gerçekçi olması amaçlanmıştır. Birinci bölümde verilen Kocaeli bölgesinde ölçülen ortalama rüzgar hızı verilerinden elde edilen güç değerleri Şekil 7.9'da verilen blok vesilesiyle benzetim çalışmalarında kullanılmıştır.

Şekil 7.10'da yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi MATLAB/Simulink modeli gösterilmiştir.



Şekil 7.10. Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi MATLAB/Simulink modeli

DC bara geriliminin zamanla değişimi Şekil 7.11'de gösterilmiştir.



Şekil 7.11. DC bara gerilimi

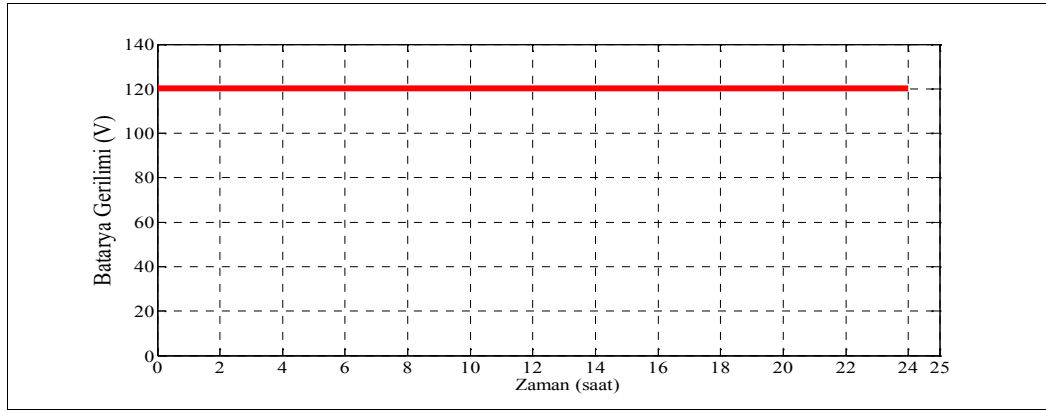
Önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlar için akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasına göre; ilk önce yükün güç talep edip etmediği sorgulanır eğer yük güç talep etmiyorsa (YGT=0) ve üretilen güç varsa batarya %100'e şarj edilir. Eğer batarya doluysa güç şebekeye satılır.

Başlangıçta YGT=0 ve bataryanın şarj durumunun (SOC) %100 olduğu Durum-1 için önerilen algoritmanın sunduğu optimum çözüm Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1 Durum-1 için önerilen optimum çözüm

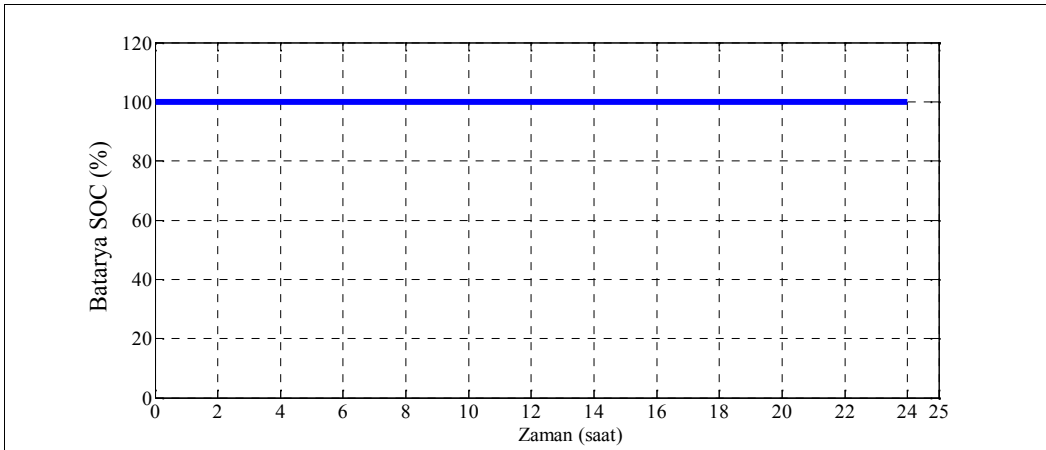
Güçü şebekeye sat.
--------------------

Durum-1 için önerilen optimum çözüm sonucunda batarya geriliminin zamanla değişimi Şekil 7.12'de gösterilmiştir.



Şekil 7.12. Durum-1 için batarya gerilimi

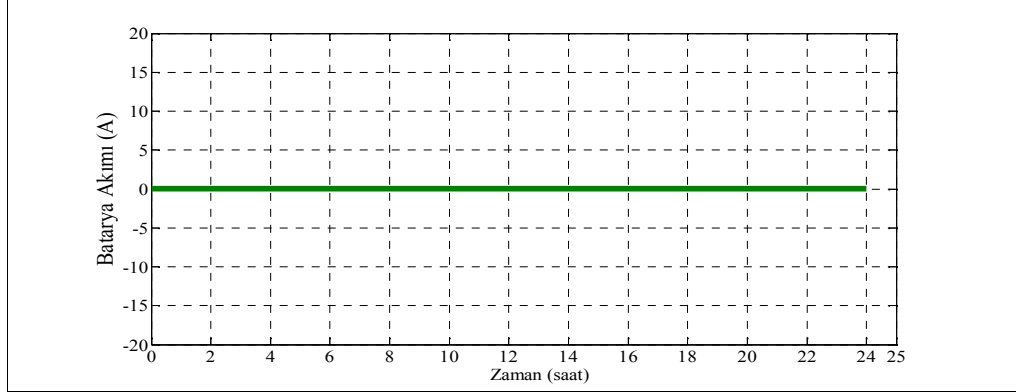
Durum-1 için önerilen optimum çözüm sonucunda batarya şarj durumunun (SOC) zamanla değişimi Şekil 7.13'te gösterilmiştir.



Şekil 7.13. Durum-1 için batarya şarj durumu (SOC) (%)

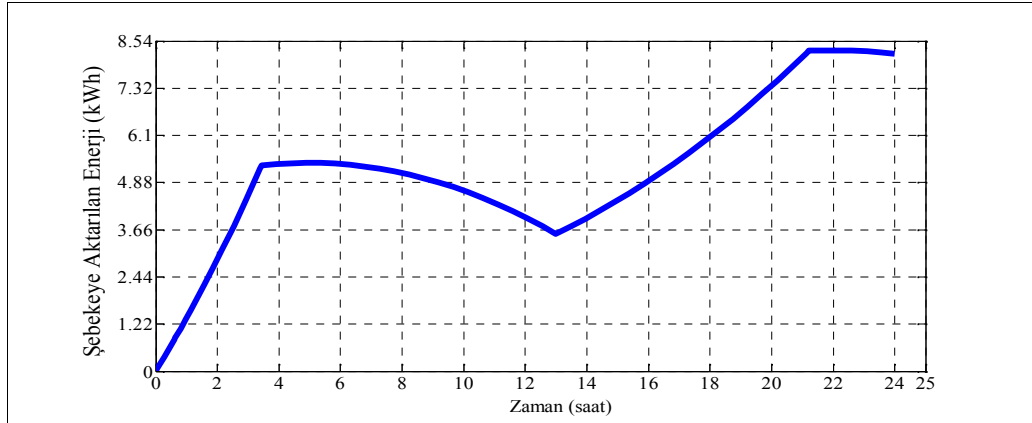


Durum-1 için önerilen çözüm sonucunda batarya akımı Şekil 7.14'te gösterilmiştir.



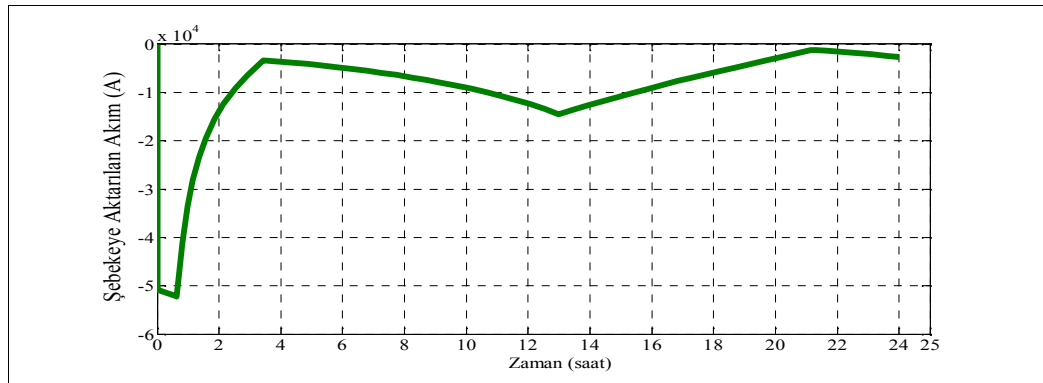
Şekil 7.14. Durum-1 için batarya akımı

Durum-1 için Tablo 7.1'de verilen optimum çözüme göre sistemden şebekeye aktarılan enerjinin zamanla değişimi Şekil 7.15'te gösterilmiştir.



Şekil 7.15. Durum-1 için şebekeye aktarılan enerji

Durum-1 için önerilen optimum çözüme göre şebekeye aktarılan akımın zamanla değişimi Şekil 7.16'da gösterilmiştir.



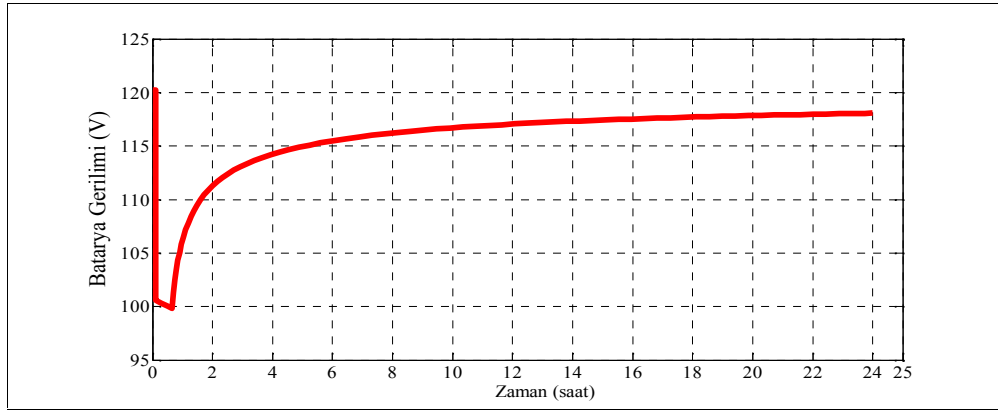
Şekil 7.16. Durum-1 için şebekeye aktarılan akım

Başlangıçta YGT=1 ve bataryanın şarj durumunun (SOC) %100 olduğu Durum-2 için önerilen algoritmanın sunduğu optimum çözüm, komutlar sırasıyla fakat farklı sürelerde olmak üzere, Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.2. Durum-2 için önerilen optimum çözüm

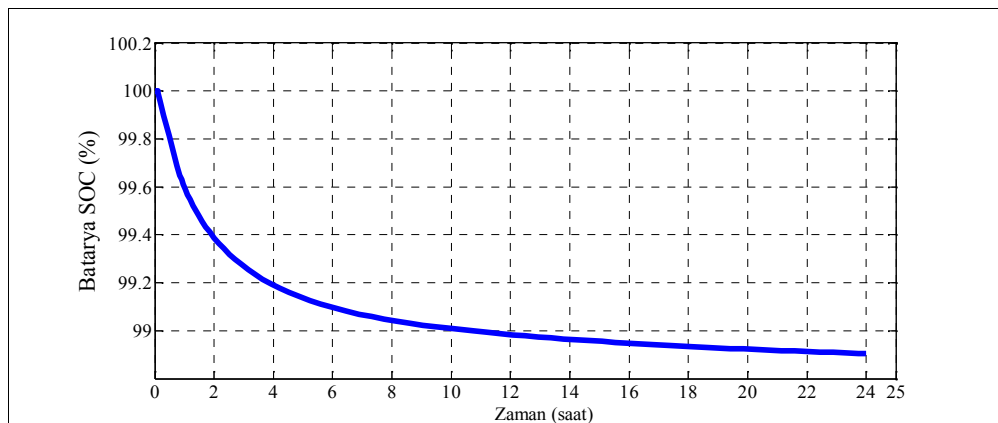
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve şebekeye sat,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
L1 ve L2 yüklerini sırasıyla üretilen güç ve batarya ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
L1 ve L2 yüklerini sırasıyla üretilen güç ve batarya ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
L1 ve L2 yüklerini sırasıyla üretilen güç ve batarya ile besle.

Durum-2 için önerilen optimum çözüm sonucunda batarya geriliminin zamanla değişimi Şekil 7.17’de gösterilmiştir.



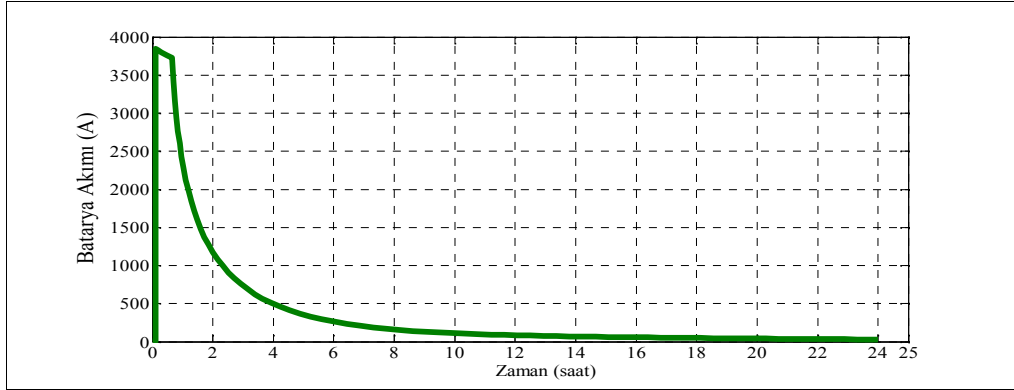
Şekil 7.17. Durum-2 için batarya gerilimi

Durum-2 için önerilen optimum çözüm sonucunda batarya şarj durumunun (SOC) zamanla değişimi Şekil 7.18’de gösterilmiştir.



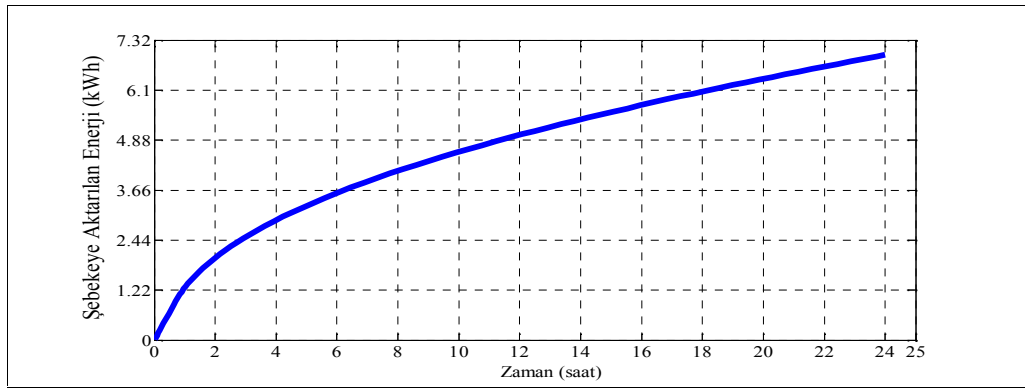
Şekil 7.18. Durum-2 için batarya şarj durumu (SOC) (%)

Durum-2 için önerilen çözüm sonucunda batarya akımı Şekil 7.19’da gösterilmiştir.



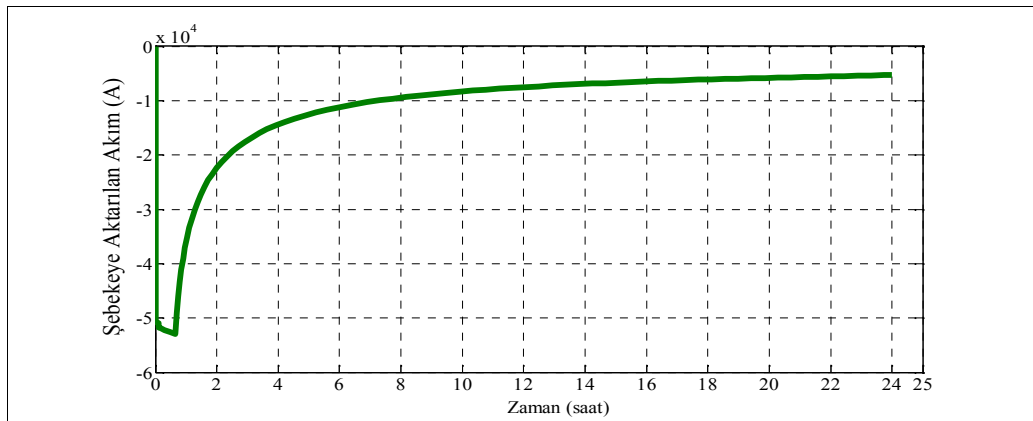
Şekil 7.19. Durum-2 için batarya akımı

Durum-2 için Tablo 7.2’de verilen optimum çözüme göre sistemden şebekeye aktarılan enerjinin zamanla değişimi Şekil 7.20’da gösterilmiştir.



Şekil 7.20. Durum-2 için şebekeye aktarılan enerji

Durum-2 için önerilen optimum çözüme göre şebekeye aktarılan akımın zamanla değişimi Şekil 7.21’de gösterilmiştir.



Şekil 7.21. Durum-2 için şebekeye aktarılan akım

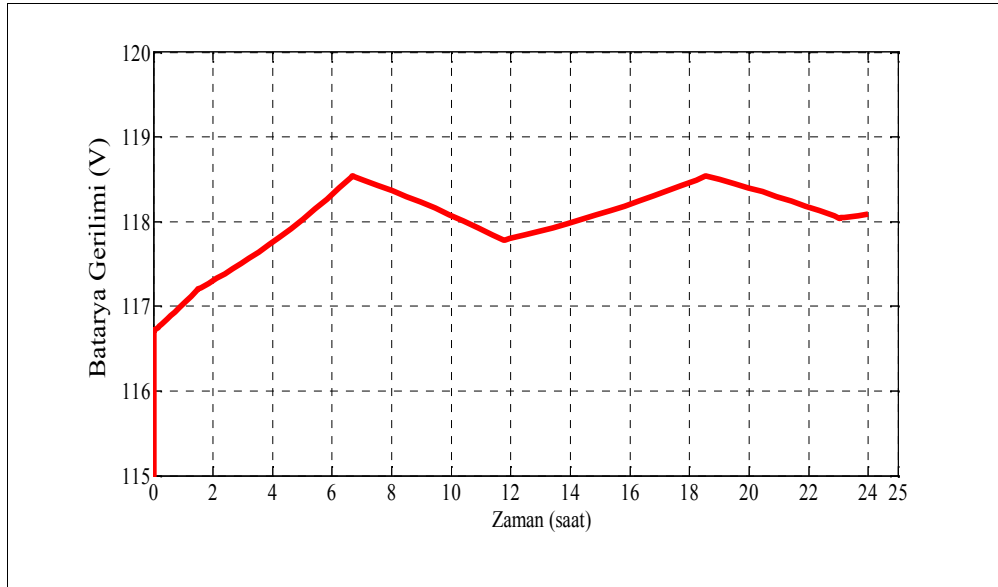
Önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlar için akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasına göre; yük güç talebi var (YGT=1) ve batarya belirlenen kritik seviye olan %30'un (SOC>%30) üzerindeyse, üretilen güç talep edilen güçten az olduğu durumlarda yükler üretilen güç ve batarya ile beslenir.

Başlangıçta YGT=1 ve bataryanın şarj durumunun (SOC) %30 olduğu Durum-3 için önerilen algoritmanın sunduğu optimum çözüm, komutlar sırasıyla fakat farklı sürelerde olmak üzere, Tablo 7.3'te verilmiştir.

Tablo 7.3. Durum-3 için önerilen optimum çözüm

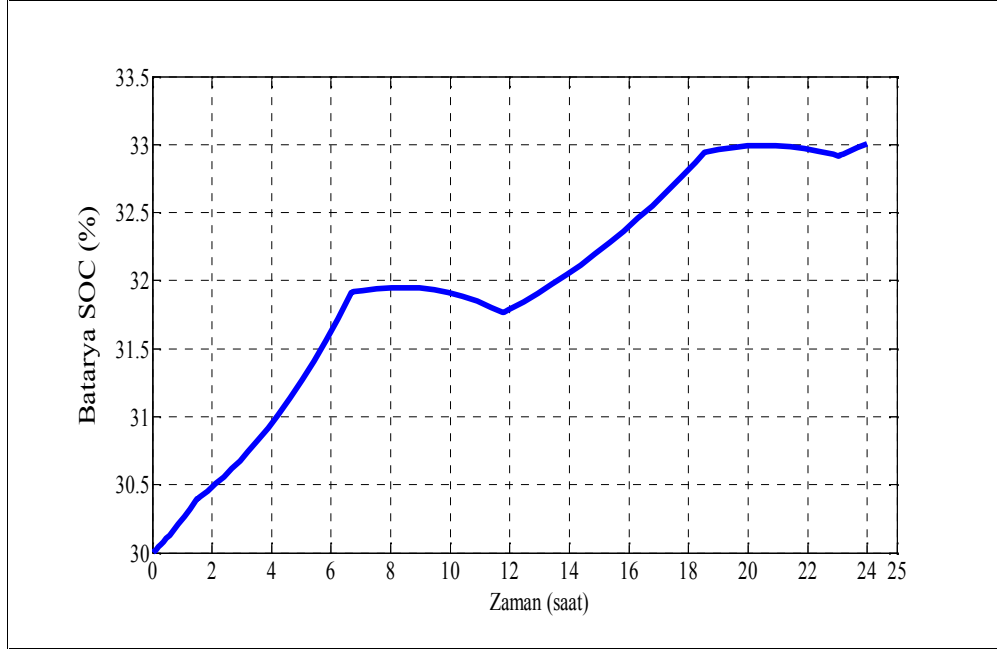
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
L1 ve L2 yüklerini sırasıyla üretilen güç ve batarya ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
L1 ve L2 yüklerini sırasıyla üretilen güç ve batarya ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
L1 ve L2 yüklerini sırasıyla üretilen güç ve batarya ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
L1 ve L2 yüklerini sırasıyla üretilen güç ve batarya ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
L1 ve L2 yüklerini sırasıyla üretilen güç ve batarya ile besle.

Durum-3 için önerilen optimum çözüm sonucunda batarya geriliminin zamanla değişimi Şekil 7.22'de gösterilmiştir.



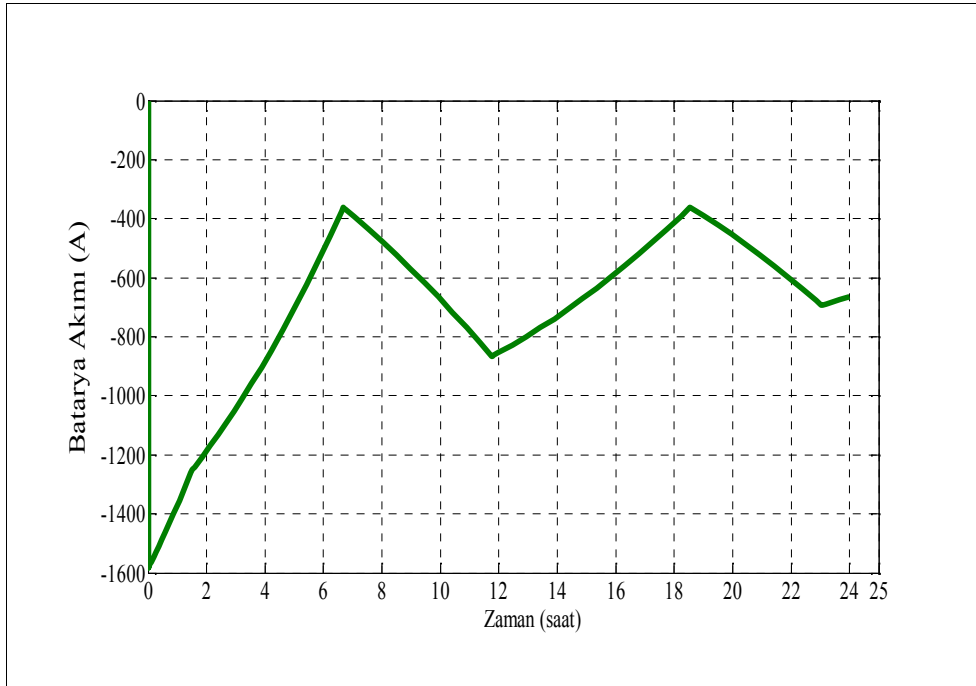
Şekil 7.22. Durum-3 için batarya gerilimi

Durum-3 için önerilen optimum çözüm sonucunda batarya şarj durumunun (SOC) zamanla değişimi Şekil 7.23'te gösterilmiştir.



Şekil 7.23. Durum-3 için batarya şarj durumu (SOC) (%)

Durum-3 için önerilen optimum çözüm sonucunda batarya akımı Şekil 7.24'te gösterilmiştir.



Şekil 7.24. Durum-3 için batarya akımı

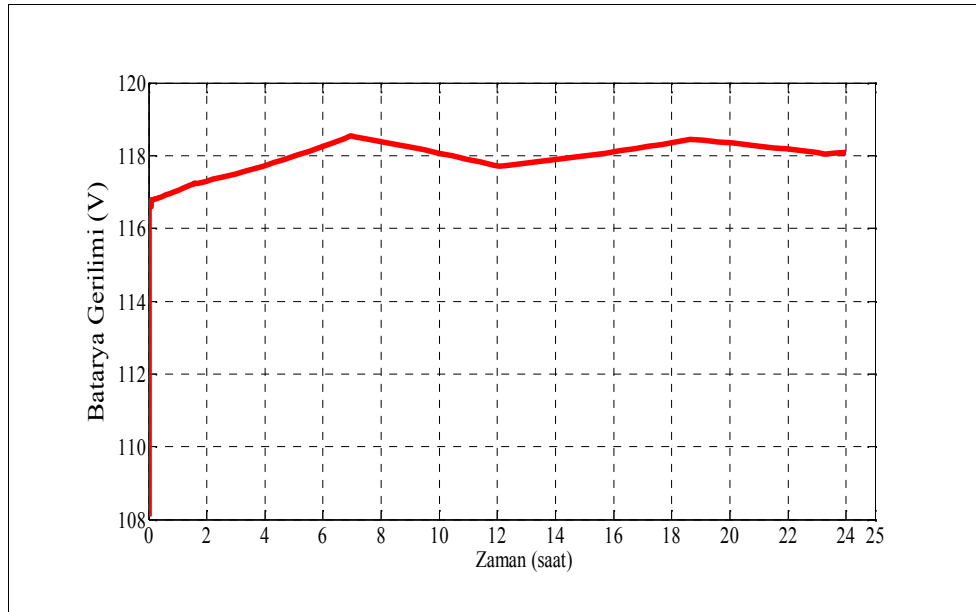
Önerilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlar için akıllı enerji depolama ve yönetim algoritmasına göre; yükün güç talep ettiği (YGT=1), bataryanın şarj durumunun belirlenen kritik seviye olan %30'un altında olduğu durumlarda önce şebeke durumu kontrol edilmektedir. Eğer şebeke varsa burada tarife durumu kontrol edilmektedir. Tarifenin indirimli, normal ya da pahalı tarife olmasına göre de en uygun çözüm sunulmaktadır.

Başlangıçta YGT=1, bataryanın şarj durumunun (SOC) %25, S=1 ve Tarife=2 olduğu Durum-4 için önerilen algoritmanın sunduğu optimum çözüm, komutlar sırasıyla fakat farklı sürelerde olmak üzere, Tablo 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.4. Durum-4 için önerilen optimum çözüm

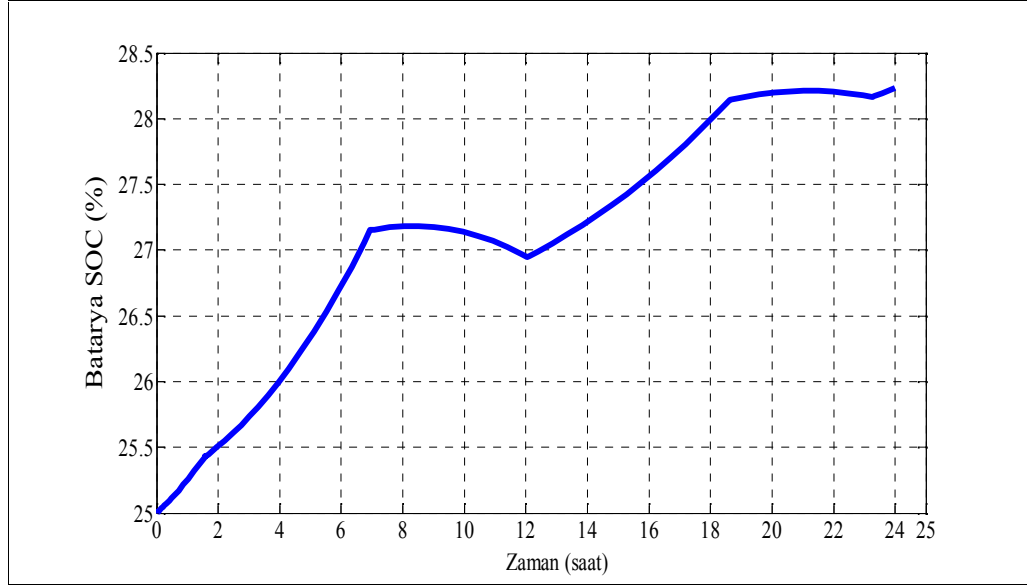
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
Normal tarife-L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ve şebeke ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
Normal tarife-L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ve şebeke ile besle,
L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ile besle ve bataryayı şarj et,
Normal tarife-L1 ve L2 yüklerini üretilen güç ve şebeke ile besle.

Durum-4 için önerilen optimum çözüm sonucunda batarya geriliminin zamanla değişimi Şekil 7.25'te gösterilmiştir.



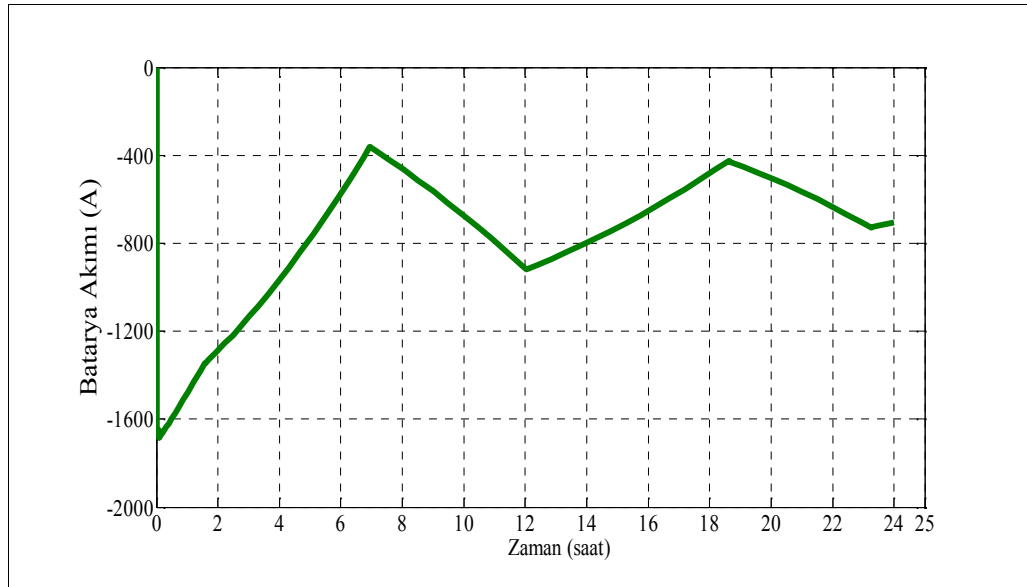
Şekil 7.25. Durum-4 için batarya gerilimi

Durum-4 için önerilen optimum çözüm sonucunda batarya şarj durumunun (SOC) zamanla değişimi Şekil 7.26'da gösterilmiştir.



Şekil 7.26. Durum-4 için batarya şarj durumu (SOC) (%)

Durum-4 için önerilen çözüm sonucunda batarya akımı Şekil 7.27'de gösterilmiştir.



Şekil 7.27. Durum-4 için batarya akımı

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde, konutlarda artan enerji tüketimi ve ortaya çıkan çevreye olumsuz etkileri olan atık ve salınımlara karşı en etkin çözüm; güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından daha verimli ve etkin şekilde yararlanabilmek için akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi kullanılmalıdır. Bu yüksek lisans tezinde önerilen sistemde, depolama ünitesi olarak kullanılan batarya ve acil güç talebi için düşünülen yakıt hücresi bulunmaktadır. Yenilenebilir hibrit enerji ile beslenen akıllı enerji depolama ve yönetim sistemine sahip konutlarda, sistemin şebeke ile bağlantısı sağlanarak hem enerjinin devamlılığı hem de arz fazlası enerjinin şebekeye satılarak ev ekonomisine katkı sağlanması hedeflenmiştir. Geliştirilen sistemde tüm enerji kaynaklarından gelen güçler DC barada toplanmıştır. Önerilen sistem için DC baranın gerilim seviyesi 120 Volt olarak düşünülmüştür.

Akıllı konut dizaynlarındaki en önemli parçalar, değişken çıkış güçlerine sahip güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ekonomik ve çevre dostu yenilenebilir enerjiden en üst seviyede yararlanabilmek için geliştirilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sisteminin kurulacağı bölgenin yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Kocaeli bölgesinin güneş ve rüzgar enerjisi potansiyelleri incelenmiştir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün verilerinden yararlanılarak Kocaeli bölgesine ait günlük ortalama rüzgar hızlarının aylık ve tüm yıl değerleri bu yüksek lisans tezinde sunulmuştur. Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi'nde bulunan 3 farklı tipte ve farklı kurulu güçteki güneş paneli sistemlerinde, Kocaeli ili 2014 yılı için ışınım, güç, sıcaklık değerleri ölçülerek 3 farklı güç ve tipteki FV sistem için hesaplanan günlük üretilen enerji değerleri ile birlikte sunulmuştur. Elde edilen bu veriler, bazı ülkelerin güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelden yararlanma durumları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu analizlerde; Kocaeli bölgesinin güneş potansiyelinin, Türkiye ortalamasında olduğu ve güneş enerjisine



büyük yatırımlar yapan başta Almanya olmak üzere birçok ülke ile bölgenin önünde olduğu görülmektedir. Eldeki veriler Kocaeli bölgesinin ivedilikle değerlendirilmesi gereken güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Üretilen enerji, konutun talebinden fazla olduğunda, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen bu ihtiyaç fazlası enerjinin depolanması gerekir. Kısa dönemlik enerji depolaması için en ideal çözüm şarj edilebilir batarya kullanmaktır. Talebin, üretilen enerjiden fazla olduğu durumlarda ise bu depolanan enerji yükleri beslemek için kaynak olarak kullanılabilir. Yenilenebilir hibrit enerji kaynaklarına sahip konutun şebeke ile bağlantısının da bulunması planlanmaktadır. Böylece, enerji üretiminde oluşabilecek olası arıza ya da üretim ve depolama kapasitesinin konutun enerji ihtiyacını karşılayamama durumlarında enerji devamlılığı sağlanabilmektedir. Şebeke bağlantısı sayesinde üretimin, talep edilen güç ve depolama kapasitesini aşması durumlarında enerji şebekeye satılarak ev ekonomisi için önemli bir gelir sağlanabilir. Aynı zamanda, önerilen sistemde üretilen ve depolanan enerjinin yetersiz, şebekenin ise olmadığı durumlarda oluşabilecek acil güç talepleri için yakıt hücrelerine de bulunmaktadır.

Önerilen algoritmada, üretilen güç ile kıyası yapılacak olan talep edilen gücün belirlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden ülkemizde evlerde bulunması yüksek ihtimal olan elektrikli ev aletlerinin (DC ve AC beslemeli yüklerin) bir listesi çıkarılmıştır. Bu önerilen sistem için yük tiplerinin belirlenmesi ve sınıflandırılmasında besleme tipine bağlı olmaksızın kullanılma ve ihtiyaç duyulma durumları esas alınmıştır. Amaç öncelikli yüklerin enerjisiz kalmamasının sağlanmasıdır. İlk grupta en çok kullanılan ve ihtiyaç duyulan yükler yer almaktadır. Belirlenen ikinci grupta ise daha az kullanılan ve genelde büyük güçlü yükler yer almaktadır. Bu belirlenen 2 yük tipi kullanıcı temelli olup, üretim, talep ve depolama kapasitelerine göre kullanıcı tercihine bağlı olarak tekrardan belirlenebilir.

Önerilen bu algoritma ile üretilen güce göre evdeki yüklerin öncelikleri dikkate alınarak kullanımı için en uygun zamanlar belirlenebilmektedir. Böylece, üretilen güç daha verimli kullanılabilir. Hem faturalarda tasarruf yapılabilir hem de şebekeye olan bağımlılık en aza indirgenmiş olur. Önerilen algoritma sadece şebeke ile beslenen evlerde de kullanılarak enerji tasarrufu yapılmasına imkân vermektedir.

Geliştirilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemine ait model ve yönetim algoritmasıyla MATLAB/Simulink ortamında yapılan benzetim çalışmalarında, benzetim çalışması sonuçlarının referans değer taşıyabilmesi ve Kocaeli bölgesi güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji potansiyeline ait verilerin yeterlilik durumlarının test edilebilmesi için bu yüksek lisans tezinde verilen gerçek verilerden yararlanılmıştır. Gerçek verilerle desteklenen bu benzetim çalışması sonuçları incelendiğinde Kocaeli bölgesinin ivedilikle değerlendirilmesi gereken yenilenebilir enerji potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Geliştirilen yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemine ait model ve algoritmanın kullanılmasıyla üretilen ve depolanan enerjinin anlık enerji seviyeleri kontrol edilerek talep edilen enerjiye göre sunulan en optimum çözümün uygulanmasıyla konutun enerji ihtiyacı başarılı şekilde karşılanmıştır. Böylece çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli ve etkin kullanılmasının yanı sıra üretilen ve depolanan enerjinin yetersiz kaldığı durumlar için önerilen en uygun çözümlerle yüklerin tüketim zamanları düzenlenerek enerji tasarrufu dolayısıyla da ekonomik açıdan tasarruf sağlanmıştır. Optimize ve gerekli enerji yönetimi yapılmış bir sistemde tesis edilerek kurulum gücü düşürüleceğinden kurulum maliyetleri azaltılmış, dolayısıyla da amortisman süresi kısalmış olacaktır. Aynı zamanda, geliştirilen bu sistem yeni popüler olmaya başlayan DC konutlar için bir taban model önerisi olarak sunulmuştur.

Bu yüksek lisans tezinde, üretilecek gücün tahmini için bazı yaklaşımlar önerilerek depolama ve şebeke durumlarının da dikkate alınarak enerji tüketiminin planlamasına imkan verilmiştir. Sonraki çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynakları ile beslenen konutlarda zaman içerisinde oluşacak veri tabanı ile yakın dönem hava durumu raporları birlikte işlenerek üretilecek güç tahmini daha sağlıklı yapılabilir. Böylece yüklerin kullanım zamanları depolanan ve üretilebilecek enerji dikkate alınıp ayarlanarak en ekonomik kullanım ve en yüksek verim sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Jiang Z., Rahimi-Eichi H., Design, Modeling and Simulation of a Green Building Energy System, *Power & Energy Society General Meeting*, Calgary, Alberta, Canada, 26-30 July 2009.
- [2] Boynuegri R., Yagcitekin B., Baysal M., Karakas A., Uzunoglu M., Energy Management Algorithm for Smart Home with Renewable Energy Sources, *Power Engineering, Energy and Electrical Drives 4th International Conference*, Istanbul, Turkey, 13-17 May 2013.
- [3] Yoza A., Uchida K., Yona A., Senjyu T., Optimal Operation of Controllable Loads in DC Smart House with EV, *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) International Conference*, Nagasaki, Japan, 11-14 November 2012.
- [4] Tanaka K., Uchida K., Yona A., Senju T., Funabashi T., Kim H., Ogimi K., Optimum Operation Planning of Controllable Loads in Smart House, *Power Electronics and Drive Systems (PEDS) IEEE 9th International Conference*, Singapore, Singapore, 5-8 December 2011.
- [5] Miyagi H., Yamauchi H., Uchida K., Yona A., Senjyu T., Advanced Smart House with an Electric Vehicle, *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) International Conference*, Nagasaki, Japan, 11-14 November 2012.
- [6] Zhu T., Xiao S., Ping Y., Towsley D., Gong W., A Secure Energy Routing Mechanism for Sharing Renewable Energy in Smart Microgrid, *Smart Grid Communications IEEE International Conference*, Brussels, Belgium, 17-20 October 2011.
- [7] Wu W., Aziz M., Huang H., Yu H., Gooi H., A Real-time Cyber-physical Energy Management System for Smart Houses, *Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT), IEEE PES*, Perth, Australia, 2011.
- [8] Kimura N., Morizane T., Omori H., Power Management Unit for DC Feeder in House (DC Smart House), *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) International Conference*, Nagasaki, Japan, 11-14 November 2012.
- [9] Barbato A., Capone A., Carello G., Delfanti M., Merlo M., Zaminga A., House Energy Demand Optimization in Single and Multi-User Scenarios, *Smart Grid Communications (SmartGridComm) IEEE International Conference*, Brussels, Belgium, 17-20 October 2011.

- [10] Tazoe T., Matsumoto J., Ishi D., Okamoto S., Yamanaka N., Novel Scheduling Method to Reduce Energy Cost by Cooperative Control of Smart Houses, *Power System Technology (POWERCON) IEEE International Conference*, New Zealand, 30 October-2 November 2012.
- [11] [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx) (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2015).
- [12] <http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php> (Ziyaret tarihi: 1 Aralık 2015).
- [13] [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_calismalari.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_calismalari.aspx) (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2015).
- [14] <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI> (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2015).
- [15] <http://www.alternaturk.org/turkiyede-ruzgar-enerjisi.php> (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2015).
- [16] <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-and-media/press-releases/presseinformationen-2013/world-record-solar-cell-with-44.7-efficiency> (Ziyaret tarihi: 10 Aralık).
- [17] <http://energy.gov/eere/sunshot/photovoltaics-research-and-development> (Ziyaret tarihi: 1 Mart 2015).
- [18] Noguchi T., Togashi S., Nakamoto R., Short-Current Pulse-Based Maximum-Power-Point Tracking Method for Multiple Photovoltaic-and-Converter Module System, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2002, **49**(1), 217-223.
- [19] Veerachary M., Senjyu T., Uezato K., Feed Forward Maximum Power Point Tracking of PV Systems Using Fuzzy Controller, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2002, **38**(3), 969-981.
- [20] Efram T., Chapman P. L., Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, *Energy Conversion*, 2007, **22**(1), 439-449.
- [21] Faranda R., Leva S., Maugeri V., MPPT Techniques for PV Systems: Energetic and Cost Comparison, *Power and Energy Society*, DOI: 10.1109/PES.2008.4596156.
- [22] Reisi A. R., Moradi M. H., Jamasb S., Classification and Comparison of Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic System, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, **19**(1), 433-443.
- [23] Petreus D., Moga D., Rusu A., Patarau T., Daraban S., A Maximum Power Point Tracker for a Photovoltaic System Under Changing Luminosity Conditions, *International Symposium on Industrial Electronics*, Bari, Italy, 4-7 July 2010.

- [24] Jie D., Chun-jiang Z., Yan-bang L., Comparison of Duty Ratio Perturbation and Observation and Reference Voltage Perturbation and Observation Methods Applied in MPPT, *Power Electronics and Motion Control Conference*, Harbin, China, 2-5 June 2012.
- [25] Safari A., Mekhilef S., Incremental Conductance MPPT Method for PV Systems, *24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Niagara Falls, 8-11 May 2011.
- [26] Fahmy F., Enhancement of Photovoltaic System Model, *Proceedings of the 35th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Washington, 9-12 August 1992.
- [27] Liu S., Dougal R. A., Dynamic Multiphysics Model for Solar Array, *Energy Conversion IEEE Transactions*, 2002, **17**(2), 285-294.
- [28] Tsai H.L., Tu C.S., Su Y.J., Development of Generalized Photovoltaic Model Using Matlab/Simulink, *IAENG*, San Francisco, USA, 22–24 September 2008.
- [29] Monroy A., Alvarez-Icaza L., Real-time Identification of Wind Turbine Rotor Power Coefficient, *Proceedings of The 45th IEEE Conference on Decision & Control*, San Diego, California, USA, 13–15 December 2006.
- [30] Hua G., Geng Y., A Novel Control Strategy of MPPT Taking Dynamics of Wind Turbine into Account, *37th IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Jeju, South Korea, 18-22 June 2006.
- [31] Cardenas R, Pena R., Sensorless Vector Control of Induction Machines for Variable-Speed Wind Energy Applications, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2004, **19**(1), 196-205.
- [32] Qihui L., Yikang H., Rende Z., The Maximal Wind-Energy Tracking Control of A Variable-Speed Constant-Frequency Wind-Power Generation System, *Automation of Electric Power Systems*, 2003, **27**(20), 62-67.
- [33] Datta R., Ranganathan V.T., A Method of Tracking The Peak Power Points for a Variable Speed Wind Energy Conversion System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2003, **18**(1), 163–168.
- [34] Erezadi-Amoli M., Choma K., Rapid-Charge Electric Vehicle Stations, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2010, **25**(3), 1883–1886.
- [35] Pop V., Bergveld H., *State of The Art of Battery State of Charge Determination*, 9th edition, Philips Research Book Series, Netherlands, 2008.
- [36] Tremblay, O., Dessaint, L., Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications, *EVS24*, Stavanger, Norway, 13–16 May 2009.

- [37] Bouharchouchel A., Berkouk E., Ghennaml T., Control and Energy Management of a Grid Connected Hybrid Energy System PV-Wind with Battery Energy Storage for Residential Applications, *8th International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, Istanbul, Turkey, 13-17 May 2013.
- [38] Kim J., Lee S., Srinivasan S., Modeling of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance with an Empirical Equation, *Journal of Electrochemical Society*, 1995, **142**(8), 1670-2674.

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Alkan A.**, Bilgin M. Z., Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi Güneş Enerjisi Potansiyelinin İncelenmesi, *VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM'15)*, Adana, Türkiye, 15-16 Ekim 2015.
- [2] **Alkan A.**, Bilgin M. Z., Kocaeli'de Yenilenebilir Hibrit Enerji Kaynakları ile Beslenen DC Konutlarda Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Sistemi, *Elektrik-Elektronik Mühendisliği Kongresi (EEMKON 2015)*, İstanbul, Türkiye, 19-21 Kasım 2015.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1988 yılında Giresun'da doğdu. İlköğretimi Ankara'da, ortaöğretim ve liseyi Balıkesir'de tamamladı. Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2012 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine 2013 yılında başladı. Başlıca çalışma konuları olarak yenilenebilir enerji ve akıllı enerji yönetim sistemleri sıralanabilir.