

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE PERFORMANSI ETKİLEYEN
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ: BAYBURT GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS

Badel KOCAGÖZ DEMİR

MAYIS-2022
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE PERFORMANSI ETKİLEYEN
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ: BAYBURT GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALİ ÖRNEĞİ**

**AN EXAMINATION OF PARAMETERS AFFECTING PERFORMANCE IN
PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS: THE CASE OF BAYBURT SOLAR
ENERGY PLANT**

YÜKSEK LİSANS

Badel KOCAGÖZ DEMİR

**MAYIS-2022
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE PERFORMANSI ETKİLEYEN
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ: BAYBURT GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALİ ÖRNEĞİ**

**AN EXAMINATION OF PARAMETERS AFFECTING PERFORMANCE IN
PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS: THE CASE OF BAYBURT SOLAR
ENERGY PLANT**

YÜKSEK LİSANS

Badel KOCAGÖZ DEMİR

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Engin BAŞOĞLU

**MAYIS-2022
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Performansı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi: Bayburt Güneş Enerji Santrali Örneği**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

09/05/2022

.....
Badel KOCAGÖZ DEMİR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa Engin BAŞOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Eğitim-öğretim hayatım boyunca manevi desteğini hep hissettiğim annem Perihan KOCAGÖZ'e; mesleki tecrübelerinden yararlandığım, maddi ve manevi hep destek olan babam Aydın KOCAGÖZ'e; desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ablam Betül KOCAGÖZ TORUN ve kardeşim Beren Nisa KOCAGÖZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez yazım süresince hep destek olan yol arkadaşım Çevre Yüksek Mühendisi Volkan Emre DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez konumu belirlememde bana yol gösteren ve HelioScope programı ile tasarımların yapılmasında bana yardımcı olan kuzenim Elektrik-Elektronik Mühendisi Bedirhan KELEŞ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamda bana destek olan Öğr. Gör. Süleyman DEMİR ve Arş. Gör. Nagehan ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Gümüşhane Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünde birlikte çalıştığım değerli müdürüme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresince hep destek olan sevgili dostlarıma da teşekkür ederim.

Badel KOCAGÖZ DEMİR
GÜMÜŞHANE- 2022

ÖZET

Günümüzde sanayileşme faaliyetlerine ve artan insan nüfusuna bağlı olarak enerjiye olan ihtiyaç artmıştır. Hızla gelişen sanayileşme ve artan enerji ihtiyaçları, fosil kökenli ham maddeleri sürekli azaltmaktadır. Elektrik enerjisinin genellikle fosil kökenli kaynaklar kullanılarak elde edilmesi, çevre kirliliği ve küresel ısınma başta olmak üzere doğada önemli tahribatlara yol açmıştır. Bu tahribatı azaltmak ve ortadan kaldırmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önemli bir alternatif haline gelmiştir. Bu doğrultuda en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi; yakıt maliyeti olmayan, çevreye zararı yok denecek kadar az olan, güneş ışınlarından yararlanmak için geniş alanlara kurulan, güneş panelleri yardımıyla enerji elde edilen sistemlerdir. Bu tezde Bayburt'ta bulunan Güneş Enerji Santrali'nin 2020 yılında ürettiği elektrik enerjisi verisine bağlı olarak bir güneş enerjisi sisteminin (GES) performans parametrelerinin incelenmesine dair rehber niteliğinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bayburt GES'in 2020 yılında ürettiği enerji miktarı 12.1 GWh'dir. Aylık üretilen enerji ve aylık ortalama güneş ışıyım değerinden yıllık ortalama performans oranı %89.04, kapasite faktörü %18.3, panel verimliliği ise %16.88 hesaplanmıştır. Faaliyette olan Bayburt GES'in HelioScope programında tasarımı yapılmıştır. HelioScope'da yapılan tasarım sonucunda santralin ürettiği yıllık enerji miktarı 11.03 GWh ve performans oranı %86.3 hesaplanmıştır. Tasarım tipi, güneş paneli eğim açısı, azimut açısı sistemin verimini önemli ölçüde etkilediğinden HelioScope programında farklı tasarımlar yapılarak bir GES'in performansını etkileyen parametrelerin etkileri incelenmiştir. Güneş panelinin üzerine düşen gölge etkisinin ve güneş panellerinin kirlenmesinin sistemin verimini düşürdüğü sonuçlardan görülmüştür. Gölge etkisi olan sistemin performans oranı değeri %62.7 iken optimizier kullanılarak iyileştirilen sistemin performans değeri %75.8 olmuştur.

Anahtar Kelimeler: FV sistemler, Güneş enerji sistemi, HelioScope, Kapasite faktörü, Performans oranı

SUMMARY

Considering the needs of today's world and the multitude of human population, the need for energy has increased. Rapidly developing industrialization and human needs have consumed raw materials and energy resources. Unconscious industrialization has led to damage in the atmosphere that is difficult or even impossible to repair. Especially non-renewable energy sources, which are fossil sources, have caused great damage to the environment. In this thesis, a guideline study was carried out to examine the performance parameters of a solar energy system (SES) based on the electrical energy data produced by the Solar Power Plant in Bayburt in 2020. The amount of energy produced by Bayburt SPP in 2020 is 12.1 GWh. Based on the monthly produced energy and the monthly average solar radiation value, the annual average performance ratio was calculated as 89.04%, the capacity factor was 18.3%, and the panel efficiency was 16.88%. The design of the active Bayburt SES was made in HelioScope program. As a result of the design made in HelioScope, the annual energy amount produced by the power plant was 11.03 GWh and the performance ratio was calculated as 86.3%. Since the design type, solar panel inclination angle and azimuth angle affect the efficiency of the system, different designs are made in the HelioScope program and the effects of the parameters affecting the performance of a SPP are examined. While the performance ratio value of the system with shadow effect was 62.7%, the performance value of the system improved using the optimizer was 75.8%.

Keywords: PV systems, Solar energy system, HelioScope, Capacity factor, Performance ratio

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLOLAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Kavramı ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	3
1.2. Güneş Enerjisi	6
1.2.1. Güneş Enerjisinin Avantajları	7
1.2.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları.....	8
1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi	8
2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	12
2.1. Fotovoltaik Sistem Elemanları.....	13
2.1.1. Güneş Paneli	13
2.1.1.1. Tek Diyotlu Güneş Hücresi Eşdeğer Devre Modeli	14
2.1.1.2. Güneş Paneli Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Grafikleri.....	17
2.1.2. Evirici.....	18
2.1.3. Batarya ve Şarj Kontrol Cihazı	19
2.2. Performans Oranı	20
2.3. Performans Oranını Etkileyen Faktörler	20
2.4. Kapasite Faktörü	22
2.5. Ortalama Panel Verimliliği	22
2.6. Spesifik Enerji.....	22
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. HelioScope Programı	23
3.2. FV Sistemlerde Performansı Etkileyen Parametrelerin HelioScope ile Analizi.....	24
3.2.1. Panel Kurulum Yerine Göre Analiz.....	24
3.2.1.1. Çatı Tipi Tasarım için Analiz.....	24
3.2.1.2. Carport Tasarım için Analiz.....	27

3.2.2. Güneş Paneli Eğim Açısına Göre Analiz	30
3.2.2.1. 15° Eğim Açısı Durumu için Analiz	30
3.2.2.2. 25° Eğim Açısı Durumu için Analiz	32
3.2.3. Azimut Açısına Göre Analiz	34
3.2.4. Konum Farkına Göre Analiz	36
3.2.4.1. Şanlıurfa Mevkii için Analiz	37
3.2.4.2. Trabzon Mevkii için Analiz	39
3.2.5. Gölge Etkisine Göre Analiz	42
3.2.5.1. Gölge Almayan GES için Analiz	42
3.2.5.2. Gölgeleyen GES için Analiz	44
3.2.6. Optimizer Kullanımının Performansa Etkisi.....	46
4. BULGULAR	50
4.1. Bayburt İli Güneş Enerji Potansiyeli	50
4.2. Bayburt Güneş Enerji Santrali	52
4.3. Bayburt Güneş Enerji Santralinin Performans Oranı, Kapasite Faktörü, Ortalama Panel Verimliliğinin Hesaplanması.....	58
4.4. Bayburt Güneş Enerji Santralinin HelioScope ile Analizi.....	61
5. SONUÇ	69
KAYNAKÇA.....	71
ÖZGEÇMİŞ	75

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Tasarımda kullanılan güneş paneli ve evirici katalog bilgileri	25
Tablo 2. Güneş paneli boyutları, panel sayısı, santral panel alanı ve santral kurulu gücü	58
Tablo 3. Bayburt GES için aylık üretilen enerji, aylık ortalama güneş ışınlamı, sistemin çalıştığı gün sayısı.....	59
Tablo 4. Bayburt GES için aylık PR, KF ve η değerleri	59



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dünyadaki birincil enerji kaynakları tüketimi (URL-1, 2020).	4
Şekil 2. Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücü (URL-2, 2021).	5
Şekil 3. Türkiye'nin 2021 yılı kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı (URL-3, 2022).	6
Şekil 4. Dünya güneş enerjisi potansiyeli (URL-4, 2019).	7
Şekil 5. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası	8
Şekil 6. Aylık ortalama radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün)	9
Şekil 7. Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat)	10
Şekil 8. 2021 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında kurulu güç dağılımı (URL-7, 2022).	10
Şekil 9. 2021 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin yenilenebilir kaynaklarına göre dağılımı (URL-8, 2022).	11
Şekil 10. FV hücre, modül, güneş paneli ve güneş dizisi	12
Şekil 11. FV hücre yapısı ve çalışma ilkesi	14
Şekil 12. Güneş hücresi tek diyot devre modeli	15
Şekil 13. Güneş hücresi akım-gerilim grafiği	17
Şekil 14. Güneş hücresi güç-gerilim grafiği	18
Şekil 15. FV sistemlerde kullanılan evirici çeşitleri	18
Şekil 16. Merkezi ve dizi evirici bağlantısı	19
Şekil 17. Çatı tipi tasarımın sembolik görüntüsü	25
Şekil 18. Çatı tasarımı performans oranı ve yıllık üretilen enerji	26
Şekil 19. Çatı tasarımda sistem kayıplarının dağılımı	26
Şekil 20. Carport tasarımı sembolik görüntüsü	27
Şekil 21. Carport tasarım için veri giriş ekranı	28
Şekil 22. Carport tasarımın performans oranı ve yıllık üretilen enerji değeri	29
Şekil 23. Carport tasarımı güç kayıplarının dağılımı	29
Şekil 24. 15° eğim açılı tasarımın sembolik görüntüsü	30
Şekil 25. 15° eğim açılı panellerin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı	31
Şekil 26. 15° eğim açısına sahip sistemde güç kayıplarının dağılımı	32
Şekil 27. 25° eğim açılı tasarımın sembolik görüntüsü	33
Şekil 28. 25° eğim açılı panellerin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı	33
Şekil 29. 25° eğim açısına sahip GES'te oluşan güç kayıplarının dağılımı	34

Şekil 30. 150° azimut açısına sahip tasarımın veri giriş ekranı	35
Şekil 31. 150° azimut açısına sahip tasarımının sembolik görüntüsü.....	35
Şekil 32. 150° azimut açısına sahip sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı değeri	36
Şekil 33. Şanlıurfa ili için yapılan GES tasarımının sembolik görüntüsü.....	37
Şekil 34. Şanlıurfa’da tasarlanan sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı	38
Şekil 35. Şanlıurfa konumlu tasarımı yapılan sistemin kayıp dağılımı	39
Şekil 36. Trabzon ili için yapılan GES tasarımının sembolik görüntüsü	40
Şekil 37. Trabzon konumlu GES’in sistem metrikleri (yıllık ürettiği enerji ve performans oranı).....	40
Şekil 38. Trabzon konumlu tasarımı yapılan sistemin güç kaybı dağılımı	41
Şekil 39. Gölge almayan örnek bir çatı tipi GES’in sembolik görünüşü	42
Şekil 40. Gölge almayan GES’in yıllık ürettiği enerji ve performans oranı	43
Şekil 41. Gölgenin oluşmadığı GES için kayıp güçlerin dağılımı	44
Şekil 42. Gölgeleyen GES için tasarım görüntüsü.....	44
Şekil 43. Gölge etkisi olan sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı.....	45
Şekil 44. Gölgeleme etkisindeki tasarımda oluşan kayıpların dağılımı	45
Şekil 45. Optimizer tasarımı yapılan sistemin veri giriş ekranı	47
Şekil 46. Optimizer bağlantısı yapılan sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı	48
Şekil 47. Optimizer bağlantısı yapılan sistemin kayıpları	49
Şekil 48. Bayburt ili güneş enerjisi potansiyel haritası	50
Şekil 49. Aylık global güneş radyasyonu toplamı	51
Şekil 50. Aylık ortalama güneşlenme şiddeti.....	51
Şekil 51. Aylık toplam güneşlenme süresi	52
Şekil 52. Güneş enerji santralinin görüntüsü-1	53
Şekil 53. Güneş enerji santralinin görüntüsü-2	53
Şekil 54. Güneş enerji santralindeki paneller.....	54
Şekil 55. Santralde kullanılan evirici ve anlık göstergesi.	54
Şekil 56. Santralde kullanılan transformatör örneği	55
Şekil 57. Drop isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı.....	56
Şekil 58. Sirius isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı.....	56
Şekil 59. Poyraz Yıldızı isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı.....	56
Şekil 60. Konteks isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı.....	57
Şekil 61. Lux isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı.....	57

Şekil 62. Regen isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı.....	57
Şekil 63. 2020 yılı için Bayburt Güneş Enerji Santralinin ürettiği toplam enerji miktarı.....	58
Şekil 64. Bayburt GES aylık PR grafiği.....	60
Şekil 65. 2020 yılı için Bayburt GES'in aylık kapasite faktörü değişimi grafiği	61
Şekil 66. 2020 yılı için Bayburt GES'in aylık ortalama panel verimliliği değişim grafiği.....	61
Şekil 67. Bayburt GES'in Helioscope programında tasarımı (veri girişi örneği)	62
Şekil 68. Bayburt GES Google harita görünümü.....	62
Şekil 69. Bayburt GES tasarımı için kullanılan güneş paneli, evirici, kablo bileşenlerinin markası ve miktarı.....	63
Şekil 70. Tasarımı yapılan santralin üstten görünümü.....	64
Şekil 71. Tasarımı yapılan santralin yandan görünümü.....	64
Şekil 72. Bayburt GES'in Helioscope'daki tasarımı ve elde edilen aylık güneş ışıınımı ve enerji üretim değerleri.....	65
Şekil 73. Tasarımı yapılan santralin yıllık ürettiği enerji ve güneş ışıınım değeri.....	66
Şekil 74. Tasarımı yapılan santralin güç kaybı dağılımları.....	67
Şekil 75. Tasarımı yapılan santralin yıllık ürettiği enerji miktarı ve performans oranı	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: panel alanı
a-si	: amorf silisyum
AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
cal	: kalori
CdTe	: Kadmiyum Tellür
CIS	: bakır indiyum selenoid
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
E _A	: aylık üretilen enerji (kWh)
E _{AT}	: aylık toplam güneş ışıınım enerjisi
FV	: fotovoltaiik
g	: gün sayısı
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	: Güneş Enerji Sistemi
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatt-saat
I _d	: diyot akımı
I _{mpp}	: maksimum güç noktasındaki akım değeri
I _o	: diyot doyma akımı
I _p	: paralel dirençten akan akım
I _{ph}	: fotoakımı
I _{sc}	: kısa devre akımı
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
i	: çıkış akımı
J	: Joule
k	: Boltzman sabiti
KF	: Kapasite Faktörü
km	: kilometre
kVA	: kiloVolt-Amper
kW	: kilowatt
kWh	: kilowatt-saat
m	: metre
m ²	: metrekare

MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MMO	: Makine Mühendisleri Odası
MW	: Megawatt
MWh	: Megawatt-saat
n	: diyot idealite faktörü
n_s	: seri bağlı hücre sayısı
P_{STK}	: Kurulu güç (standart test koşullarında)
PR	: Performance Ratio (Performans Oranı)
q	: elektron yükü
Q_A	: aylık ortalama güneş ışınlımı
Q_{STK}	: standart test koşullarında güneş ışınlımı (1000 W/m ²)
R_p	: paralel direnç
R_s	: seri direnç
T	: Kelvin cinsinden sıcaklık değeri
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
v	: çıkış gerilimi (volt)
V_{mpp}	: maksimum güç noktasındaki gerilim değeri
V_D	: diyot gerilimi
V_{OC}	: açık devre gerilimi
W	: Watt
Wh	: Watt-saat
3D	: 3Boyutlu
η	: panel verimi
$^{\circ}$	: derece
$^{\circ}C$	: santigrat derece

1. GİRİŞ

Enerji, toplumların kalkınması ve gelişmesi için en önemli ihtiyaçlardan biridir. Bu ihtiyaç fosil kaynaklardan sağlanırken zamanla fosil kaynakların azalması insanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Tükenmeyen ve zamanla kendini yenileyen bu kaynaklardan biri olan Güneş, son zamanlarda elektrik enerjisi üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir GES, güneş ışınımından yararlanarak elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. Günümüzde sıkça kullanılan bu sistemler küresel ısınmayı önlemeye yardımcı olur. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre nispeten pahalı olmayan GES'ler kurulum yeri olarak geniş arazilere ihtiyaç duyar. Bu sebeple GES'lerin ilk yatırım maliyeti yüksek, işletme maliyeti ise düşüktür.

Girgin (2011) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında Karaman bölgesinde kurulması planlanan 5 MW gücündeki santralin enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı güneş paneli çeşidi ve farklı evirici modellerindeki enerji üretimi PVsyst programı kullanarak incelenmiştir. İlgili tez çalışmasında en verimli sistemin sabit montaj ve kadmiyum tellür güneş panelleriyle elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır (Girgin, 2011).

Aksungur K. M., Kurban M. ve Başaran Filik Ü. yaptıkları çalışmada Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinden alınan güneş ışıınım değerlerinden güneş enerjisi üretimindeki farklılıkları değerlendirmiştir. Güneş ışıınım değerlerine göre dört kuşağa ayrılan Türkiye'nin, üretim miktarları arasında çok az bir fark olduğu görülmüştür (Aksungur vd., 2013).

Baçoğlu (2013)'nun sunmuş olduğu yüksek lisans tez çalışmasında güneş panellerinden daha fazla verim elde etmek amacıyla geliştirilen yöntemleri/algoritmaları incelemiştir. Bu kapsamda DA-DA dönüştürücü tasarımı, değiştir gözle tipi maksimum güç noktası izleme algoritması kullanılarak, farklı güneş ışıınım değerleri için deneysel çalışmalar gerçekleştirerek güç artışı sağlanabileceğini göstermiştir (Baçoğlu, 2013).

Akar (2016) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında Ankara ili Haymana ilçesindeki güneş enerji santralinin kurulumu ve performans analizi yapılmıştır. Bir yıllık dönem boyunca fotovoltaik (FV) sistemin ürettiği elektrik enerjisi, sistemin performans oranı ve performansa etki eden parametreler incelenmiş, FV sistemin mali analizleri gerçekleştirilmiştir. Tesis yatırım maliyetinin elektrik kazancına oranı hesaplanarak, santralin amortisman süresinin 6.6 yıl olduğu sonucuna varılmıştır (Akar, 2016).

Başıoğlu (2017) tarafından hazırlanan doktora tez çalışmasında düşük güç dönüştürme verimine sahip güneş panellerinin kapasite faktörlerinin artırılması incelenmiştir. Düzenli ışınlam ve parçalı gölgelenme durumunda gerilim-güç grafikleri çizilmiş ve maksimum güç noktası izleme yöntemi geliştirilmiştir (Başıoğlu, 2017).

Boztepe (2017) tarafından yapılan çalışmada FV güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler araştırılmıştır. Güneş panelleri güneş ışınlamından maksimum güç üretilmesini sağlayacak şekilde yerleştirmek, güneş panelleri üzerine düşen gölgelemeden kaçınmak ve panel-evirici uyumuna dikkat etmek güç sistemlerinde verimliliği arttıran parametreler olduğu tespit edilmiştir (Boztepe, 2017).

Ceylan (2017)'ın yüksek lisans tez çalışmasında PV*SOL, HelioScope, Polysun ve PVGIS tasarım programlarını kullanarak Isparta'daki 1 MW kurulu güce sahip güneş enerji santralinin tasarımını gerçekleştirmiştir. Aynı dönem içerisinde sahadan alınan enerji verileri ile tasarım programlarından elde edilen veriler karşılaştırılmış ve programların doğruluğu incelenmiştir. Isparta GES'in enerji üretim verisine en yakın sonucu Helioscope tasarım programı ile ulaşıldığı görülmüştür (Ceylan, 2017).

Şimşek (2018)'in yüksek lisans tez çalışmasında FV sistemlerin performans analizini ve verimliliğini etkileyen parametreler incelenmiştir. Işınlam parametresinin sistem verimini nasıl etkilediği hesaplanmıştır. FV sistemlerde oluşan kayıpların sıcaklık, tozlanma, yansıma, panel uyumsuzluğu kayıpları olduğu görülmüş ve sistem kayıpları arasında en fazla paya sahip olanın sıcaklık kaybı olduğu değerlendirilmiştir. Isıl kaybın azalacağı durumda yıllık üretimin Torbalı GES'te %3.5, Gölbaşı GES'te %1.2 artış olabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Şimşek, 2018).

Ayran (2019) tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında Kütahya ili için güneş enerji potansiyelinin araştırılması ve 336 kWh güce sahip lisanssız güneş enerji santrali için farklı güneş panelleri kullanılarak PVsyst programında sistem tasarımları yapılmıştır. En uygun güneş paneli çeşidinin CdTe yapıda ince film paneller olduğu, en verimli panel eğim açısının 25° olduğu yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür (Ayran, 2019).

Cihan (2019) yüksek lisans tezinde; Türkiye'nin enerji durumunu, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve güneş enerjisini incelemiştir. Yapılan araştırmalarda Türkiye'nin artan enerji ihtiyacını karşılamak için son dönemlerde güneş enerjisinden fazlaca yararlanıldığı görülmüştür (Cihan, 2019).

Doğan (2019)'ın yüksek lisans tez çalışmasında; Bingöl ili için güneş enerji potansiyeli değerlendirilmiş ve büyük bir yapının yıllık elektrik ihtiyacının güneş enerji sisteminden karşılanması için yatırımın uygunluğunu analiz edilmiştir. Yapılan çalışma

sonucunda 17.4 kW kurulu güçteki santralin yatırım bedelinin kendini amorti etme süresinin 6 yıldan az olduğu görülmüştür (Doğan, 2019).

Gündüz (2019) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde ülkemizdeki enerji üretim yöntemleri ve üretim payları incelenmiştir. Özellikle güneş enerjisinin ülkemizdeki yeri ve potansiyeli değerlendirilmiştir. Kütahya ili Simav ilçesinde bulunan güneş enerji santralinin üretim verileri ile PvSyst yazılımı kullanılarak elde edilen veriler karşılaştırılmış ve %10.58 oranında bir fark elde edilmiştir. Bu oran, güneş enerjisinin teorik hesaplamalarının gerçeğe en yakın oranda belirlenebildiğini göstermiştir (Gündüz, 2019).

Kanat (2019)'ın yüksek lisans tez çalışmasında güneş enerjisi yatırımlarını etkileyen faktörleri inceleyerek, Konya ili için yatırım analizi gerçekleştirilmiştir. Güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu, yapılan yatırım analizi için gerekli olduğundan Meteoroloji'den Konya ili güneş verilerine ulaşılmıştır (Kanat, 2019).

İşen ve Koçhan (2020)'a göre güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan FV hücrelerin tek diyotlu modelinden yararlanarak güneş paneli elektriksel modeli elde edilmiştir. Kullanılan modelin farklı sıcaklık ve güneş ışınım değerlerinde FV sistemin elektriksel çalışma eğrilerine ulaşılmıştır (İşen ve Koçhan, 2020).

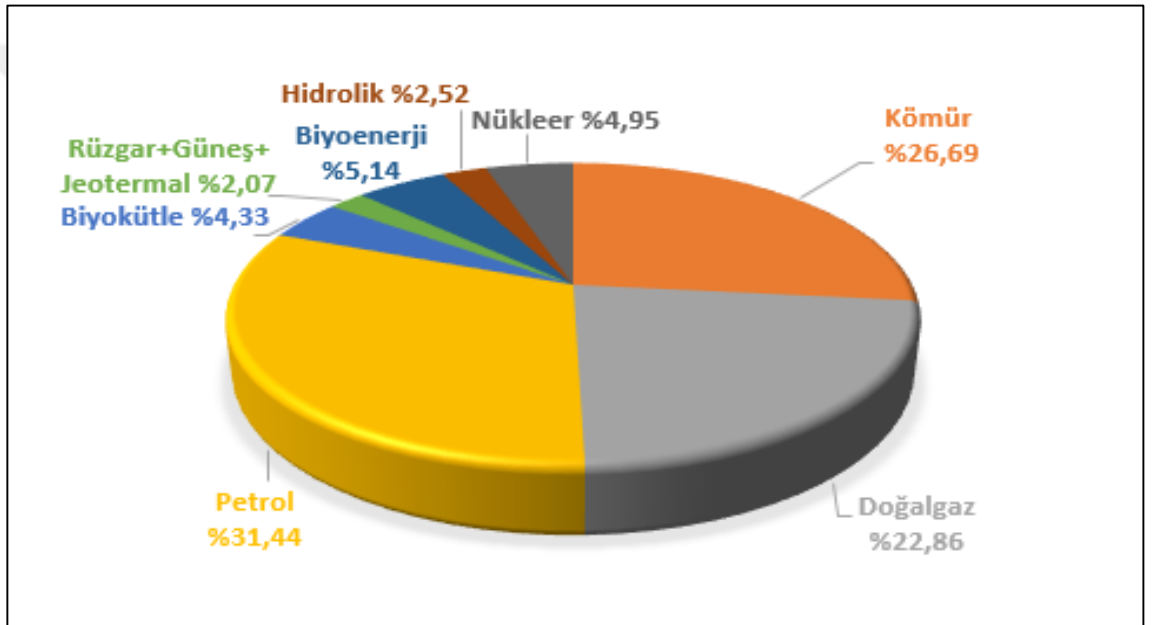
Özcan (2020) tarafından hazırlanan araştırma makalesinde Bursa'nın Osmangazi ilçesindeki 1 MW şebekeye bağlı santralde mono-kristal, poli-kristal ve ince film teknolojiye sahip güneş panelleri kullanılarak santralin aylık ve yıllık performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre mono-kristal yapılı panellerin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı değeri en fazla iken, ince film (CIS) yapılı güneş panellerinin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı değeri daha küçüktür. Monokristal panellerin %85 performans oranı ile yüksek verimle çalıştığı, ince film panellerin ise %70 performans oranı ile düşük verimle çalıştığı belirlenmiştir (Özcan, 2020).

1.1. Enerji Kavramı ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Enerji genel bir ifadeyle iş yapabilme yeteneğidir. Makinelerin, elektrikli aletlerin çalışması iş yapıldığını ve enerji kavramını tanımlamaktadır. Çağımızda çok önemli bir yere sahip olan enerji, toplumun refah seviyesini göstermekte olup ekonomik ve teknolojik ilerlemenin öncüsüdür. Toplumun kalkınması, enerji kaynaklarının varlığı ve miktarı ile paralellik gösterir. Öte yandan insanlığın temel ihtiyacı olan enerjiye talep gün geçtikçe artmaktadır. Bunun nedeni; nüfusun, şehirleşmenin, sanayileşmenin artması ve ticaret hacminin büyümesidir. Bu artan talep var olan enerji kaynaklarının tükenmesine ve alternatif enerji kaynaklarına yönelime sebep olmuştur. Enerji, yenilenebilir ve

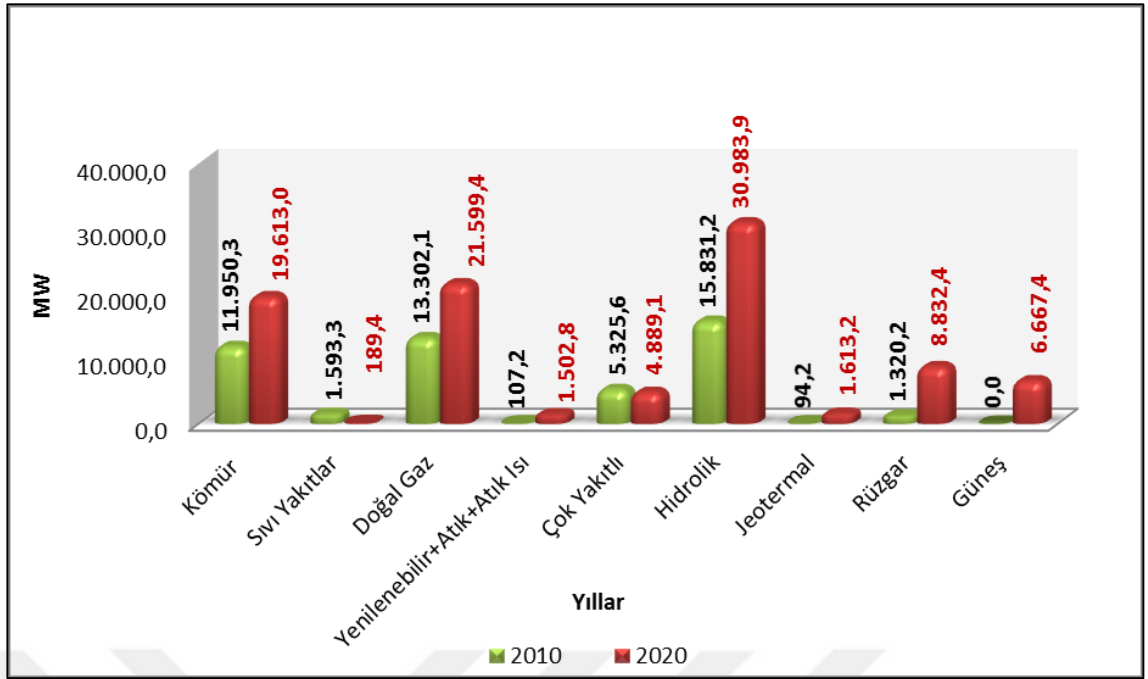
yenilenemeyen enerji olarak ikiye ayrılır. Yenilenemeyen enerji; sürdürülebilir olmayan, tükenebilen, kullanıldığında doğayı kirleten enerjidir. Yakılması sonucunda çok büyük enerji açığa çıkan yenilenemeyen enerji kaynaklarına örnek petrol, doğalgaz ve kömürdür. Nükleer enerji de yenilenemeyen enerji kaynakları arasında yer alır.

Yenilebilir enerji; doğaya zarar vermeyen, kaynakların kendini sürekli yenileyebildiği enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak güneş, rüzgâr, su, biyokütle, hidrojen, jeotermal, dalga, gelgit enerjisi verilebilir. Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları, birincil enerji diye de adlandırılan enerji üretiminde doğadaki mevcut halini doğrudan kullandığımız kaynaklardır. Şekil 1’de dünyada bulunan enerji kaynakları bazında birincil enerji tüketimi gösterilmiştir (Cihan, 2019).



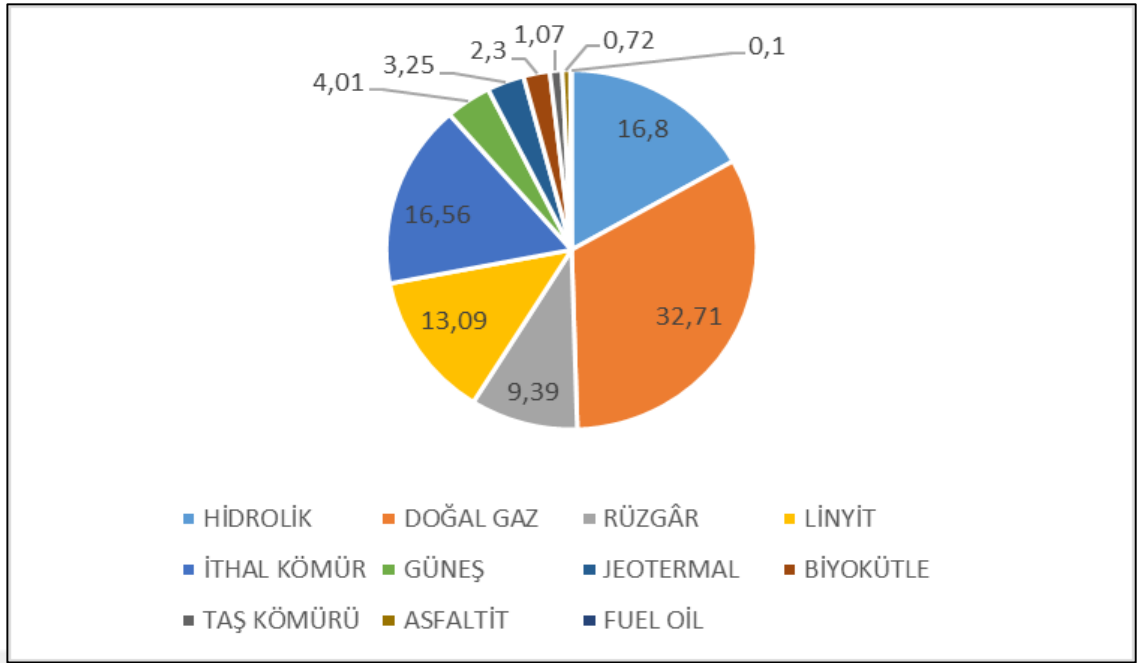
Şekil 1. Dünyadaki birincil enerji kaynakları tüketimi (URL-1, 2020).

Dünyada 1970’li yıllara kadar enerji kaynağı olarak daha çok kömür ve petrol tercih edilmiştir. İlerleyen yıllarda çıkan petrol krizi sebebiyle farklı enerji kaynaklarına yönelinmiştir. Kaynağının sınırsız ve ucuz olmasına önem veren insanoğlu yenilenebilir enerji alanında çalışmalar yapmış ve bu enerji kaynaklarını daha sık kullanmaya başlamıştır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olmuştur. Yenilenemeyen enerji kaynaklarından yani fosil kaynaklardan yararlanarak üretilen enerjide artış söz konusuysen yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak üretilen enerjide daha çok artış olmuştur. Özellikle güneş ve rüzgârdan yararlanarak üretilen elektrik enerjisi miktarında artış yaşanmıştır. Şekil 2’de Türkiye’nin 2010-2020 yılları birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücü gösterilmiştir.



Şekil 2. Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücü (URL-2, 2021).

Türkiye'nin artan enerji ihtiyacının karşılanması ve bu ihtiyaç karşılanırken enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Şehirleşmenin artması, sanayinin gelişmesi kullanılan fosil kaynakların enerji üretiminde yetmediğini göstermiştir. Kömür, petrol, doğalgazdan enerji üretimi yıllar içerisinde artsa bile yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olduğu ve yıllar öncesinde hiç yararlanılmayan enerji kaynaklarından güneş ve rüzgâr enerjisinden her geçen gün daha fazla yararlanıldığı görülmüştür. Doğal ısı ve ışık kaynağımız olan güneşin enerji üretiminde kullanılması da son yıllarda epeyce artmıştır. 2021 yılı verilerine bakıldığında kurulumu kolay olan santraller, elektrik üretiminde kaynak olarak kullanılmıştır. Özellikle güneş enerji santrallerinin küçük güçlerden çok büyük güçlere kadar kurulabilmesi, bakım-onarım masraflarının diğer enerji kaynaklarına göre daha az maliyetli olması, lisanssız üretiminin yaygın olması güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretilmesini sağlamıştır. EPDK'nın son verilerine göre Türkiye'nin 2021 yılı kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Türkiye'nin 2021 yılı kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı (URL-3, 2022).

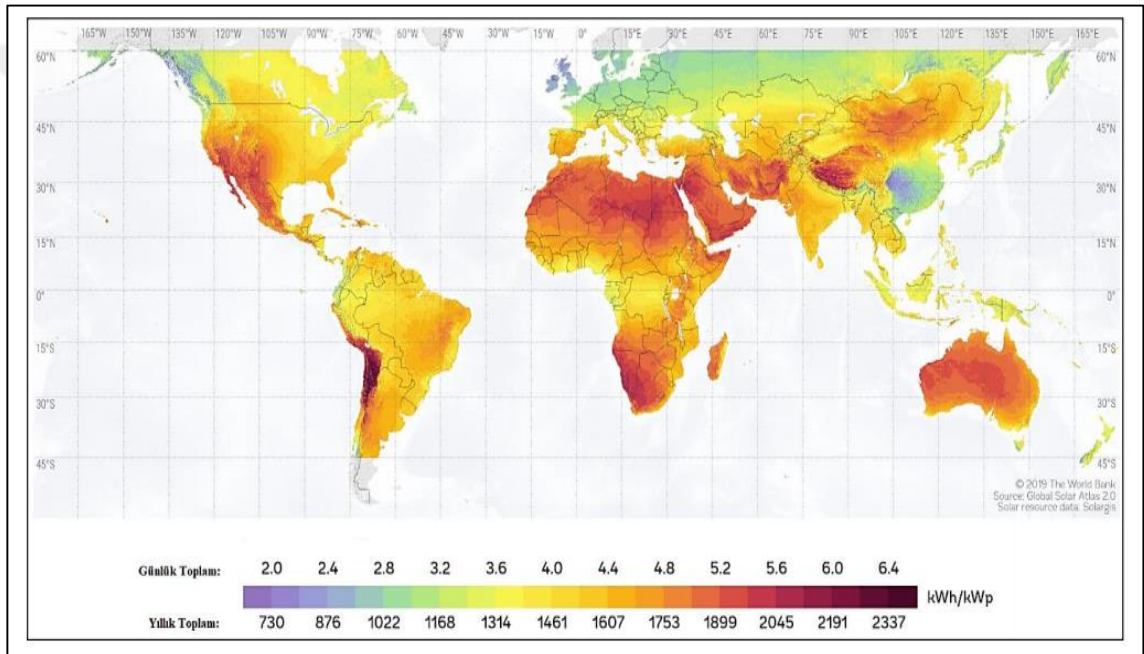
1.2. Güneş Enerjisi

Yenilenemeyen enerji kaynaklarından fosil kaynaklar rezervlerinin kısıtlı olması, bu kaynakların insan sağlığını ve çevreyi tehdit etmesi, alternatif/yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi sağlamıştır. Özellikle 1973 yılında petrol krizinin ortaya çıkmasıyla insanlık, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır. Bu kaynakların en başında daha temiz, ucuz, potansiyeli iyi, çevreye zararı yok denecek kadar az olan; yakıt maliyeti olmayan güneş enerjisi gelmektedir.

Güneş, diğer enerji kaynaklarının temelidir. Bu nedenle elektrik üretiminde diğer kaynaklar için büyük öneme sahiptir. Güneşte reaksiyonlar meydana gelmekte ve bu reaksiyonlar sonucu büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Bu açığa çıkan enerji, güneş enerjisidir. Diğer bir ifadeyle güneş çekirdeğinde füzyon reaksiyonu ile oluşan ısıtım enerjisidir. Güneşte her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Bu dönüşüm esnasında kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı $3,86 \times 10^{26}$ J enerji açığa çıkarak ısıtım şeklinde uzaya yayılmaktadır. Bir kısmı da yeryüzüne ulaşmaktadır. Yeryüzüne ulaşan bu enerji ısıtma, soğutma, elektrik üretimi amaçları ile kullanılabilir (Akar, 2016).

Uluslararası enerji kuruluşu (IEA) verilerine göre son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim yaygınlaşmıştır. 2020 yılında üretilen enerjinin %26'sı yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiştir. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin payı büyüktür. Yenilenebilir enerji kaynakları

içerisinde hızlı büyüyen güneş enerjisinden dünyanın tüm ülkeleri eşit yararlanmamaktadır. Yeryüzünün bütün bölgelerine eşit dağılmayan güneş ışınları, bu durumun temel sebebidir. Güneş ışınlarının geliş açısı, sıcaklık, bakı, yüzey şekilleri, denize göre konum, bulutlu gün sayısı gibi temel coğrafi özellikler güneş ışıınım değerini etkiler. Dünyanın her bölgesinde farklı olan güneş ışıınım değeri, farklı miktarda güneş enerjisi üretimini belirler. Ülkelerin coğrafi konumuna göre güneşlenme süresi ve güneş ışıınım şiddeti arttıkça güneş enerjisinde avantajlı durumda olduğu bilinir. Ekvatora yakın ve orta kuşakta yer alan ülkeler coğrafi konum itibarıyla güneş enerjisinden yararlanma açısından daha avantajlıdır. Şekil 4'te dünya güneş enerji potansiyel haritası gösterilmiştir (Oral, 2020).



Şekil 4. Dünya güneş enerjisi potansiyeli (URL-4, 2019).

1.2.1. Güneş Enerjisinin Avantajları

Güneş enerjisinin avantajları oldukça fazla olup, aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Güneş, diğer enerji kaynaklarını besleyen ve yenilenebilir enerji kaynaklarının devamlılığını sağlayan temel enerji kaynağıdır.
- Güneş, tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisi, temiz enerjidir ve çevreyi kirletmez. FV sistemlerde kullanılan güneş panellerinin enerji üretimi sırasında çevreye herhangi bir olumsuz etkisi yoktur.
- Güneş enerjisi, dışa bağımlı değildir. Bu yüzden ekonomik yönden elverişlidir.
- Güneş enerji santrallerinin işletmesi karmaşık olmayıp masrafları azdır.

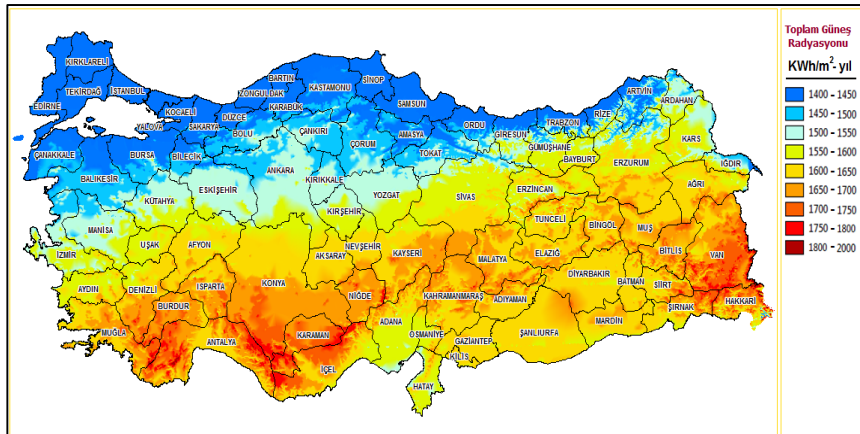
1.2.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

Güneş enerjisinin dezavantajlarının bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Güneş enerji santrallerini oluşturan ekipmanların fazla olması ve bu santrallerde kullanılan güneş panellerinin güneş ışınlamından maksimum seviyede yararlanması için FV sistemlerin kurulum alanları geniş tercih edilmelidir.
- Güneş enerjisinden faydalanma oranı mevsimlere ve gün içinde güneşin konumuna bağlıdır. Kış aylarında az olan ve geceleri hiç olmayan güneş ışınlamı bunun temel nedenidir. Bu sürekli olmayan güneş ışınlamını depolamak gerektiğinden gerekli teçhizatın kurulum maliyeti fazladır.
- Güneş enerji santrallerinin ilk yatırım ve kurulum maliyetleri fazladır.
- Güneş enerji santrallerinde güneş ışınlarını doğrudan ve sürekli alabilmek için sistemin çevresinin açık olması, gölgede kalmaması gerekir. Güneş panellerinin santral çevresinde bulunan binaların, ağaçların gölgesinde kalması istenmeyen durumdur (Sayın ve Koç, 2011).

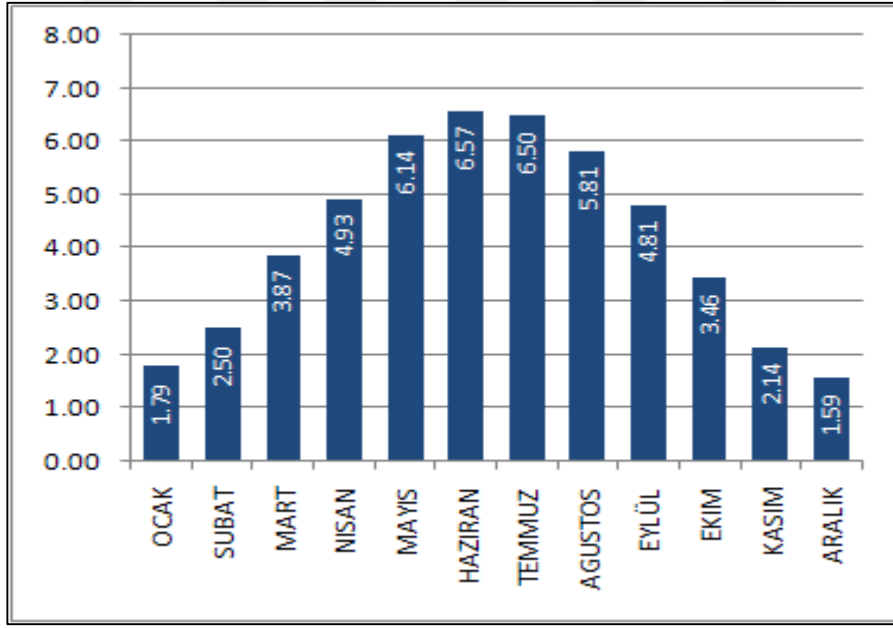
1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye, 36°-42° kuzey enlemleri arasında orta kuşakta yer alan güneş enerji potansiyeli zengin olan bir ülkedir. Coğrafi koordinatları açısından güneş ışığından verimli şekilde faydalanır ve bu güneş ışığından enerji elde edilir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı güncel verilerine göre Türkiye’nin yıllık ortalama güneşlenme süresi toplam 2741.07 saat/yıl, günlük ortalama güneşlenme süresi toplam 7.5 saat/gün, yıllık ortalama ışınlam şiddeti toplam 1527.46 kWh/m²-yıl, günlük ortalama ışınlam şiddeti toplam 4.18 kWh/m² –gündür. Şekil 5’te Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası gösterilmiştir (URL-5, 2020).



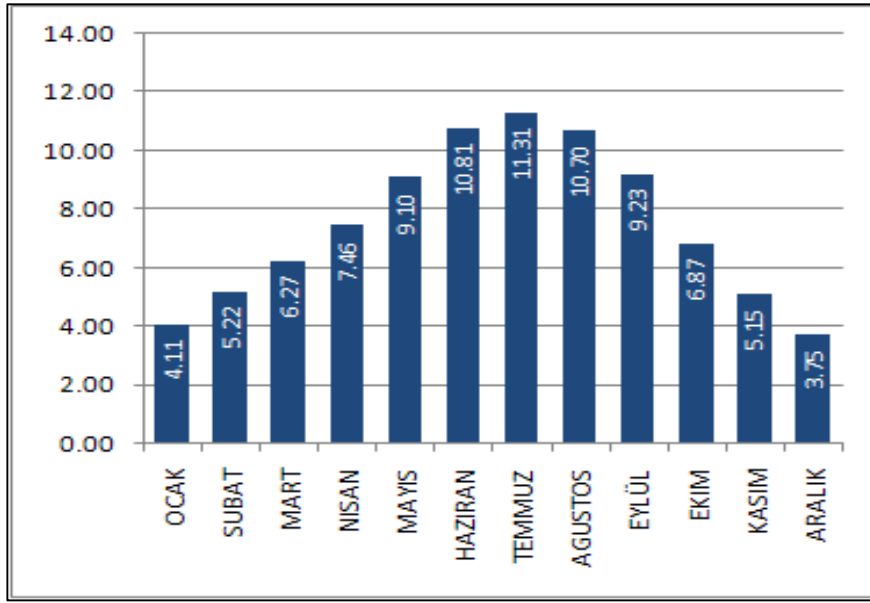
Şekil 5. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası

Türkiye'nin güneş enerji potansiyel atlası incelendiğinde koyu kırmızı ve sarı renkler ile gösterilen alanlar güneş ışıını fazla olan bölgelerdir. Kırmızı renkle ile gösterilen Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgeleri en fazla güneş ışıınından yararlanır ve güneş enerji potansiyeli en fazla olan bölgelerdir. Ülkemizin daha kuzeyinde açık ve koyu mavi ile gösterilen Karadeniz kıyıları ve Marmara bölgesinde ise güneş ışıını azdır. Bölgeler için ortalama güneş ışıını değerlerine baktığımızda 1460 kWh/m²-yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi birinci, 1390 kWh/m²-yıl ile Akdeniz Bölgesi ikinci sırada yer alır. Son sırada ise 1120 kWh/m²-yıl ile en düşük güneşlenme değerine sahip olan Karadeniz Bölgesi yer almaktadır. Ülkemiz için düşük olan Karadeniz Bölgesi ışıını değeri başka ülkeler için oldukça yüksek sayılan değere sahiptir. Şekil 6'da Türkiye'nin aylık ortalama güneş radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) gösterilmiştir (Turhan ve Çetiner, 2012).



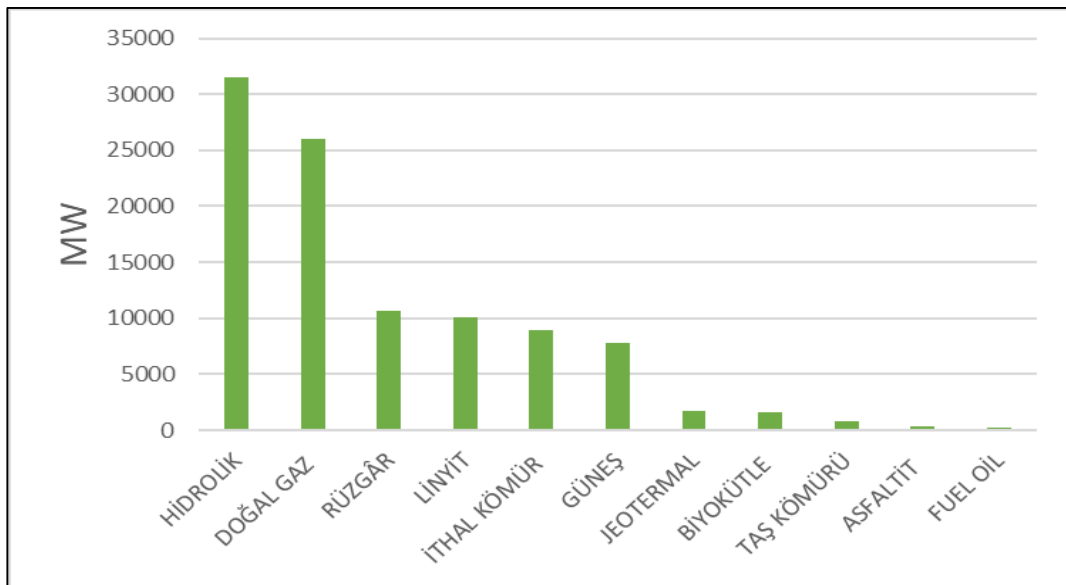
Şekil 6. Aylık ortalama radyasyon değerleri (kWh/m²-gün)

Türkiye, coğrafi koordinatları bakımından orta kuşakta yer aldığından güneşten saat olarak fazlaca faydalanabilmektedir. Kuzey yarım kürede bulunan ülkemiz için yaz ayları olan haziran, temmuz ve ağustosta en fazla güneşlenme gerçekleşirken, kış ayları olan aralık, ocak ve şubatta en az saat güneşlenme gerçekleşir. Temmuz ayında 11.31 saat ile maksimum güneşlenme süresi ve aralık ayında 3.75 saat ile minimum güneşlenme süresi, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün verilerinden elde edilmiştir. Şekil 7'de Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süresi (saat) gösterilmiştir (URL-6, 2020).



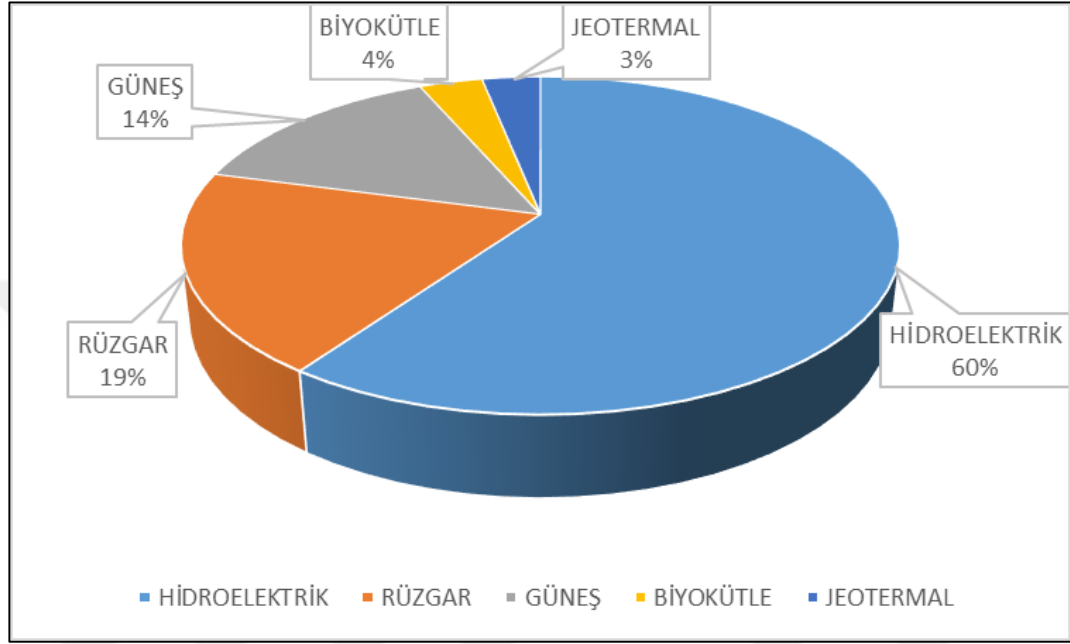
Şekil 7. Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat)

Sanayinin ve teknolojinin gelişmesi, şehirleşmenin yaygınlaşması, nüfusun artması enerjiye duyulan talebi de arttırmıştır. Enerjiye duyulan ihtiyacın artması, enerjinin fazlaca üretilmesi gerektiğini beraberinde getirmiştir. Gelişen ekonomi ve ticaret hacmi, elektrik enerjisini fazla üretilip doğru tüketmeyi zorunlu kılmıştır. Elektrik ihtiyacının karşılanmasında birçok enerji kaynağından yararlanılmıştır. Bu kaynaklar kömür, petrol, linyit, doğal gaz olan yenilenemeyen kaynaklar ve rüzgâr, güneş, jeotermal, su, atık olan yenilenebilir kaynaklar olarak ayrılmıştır. Şekil 8’de 2021 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında kurulu güç dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 8. 2021 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında kurulu güç dağılımı (URL-7, 2022).

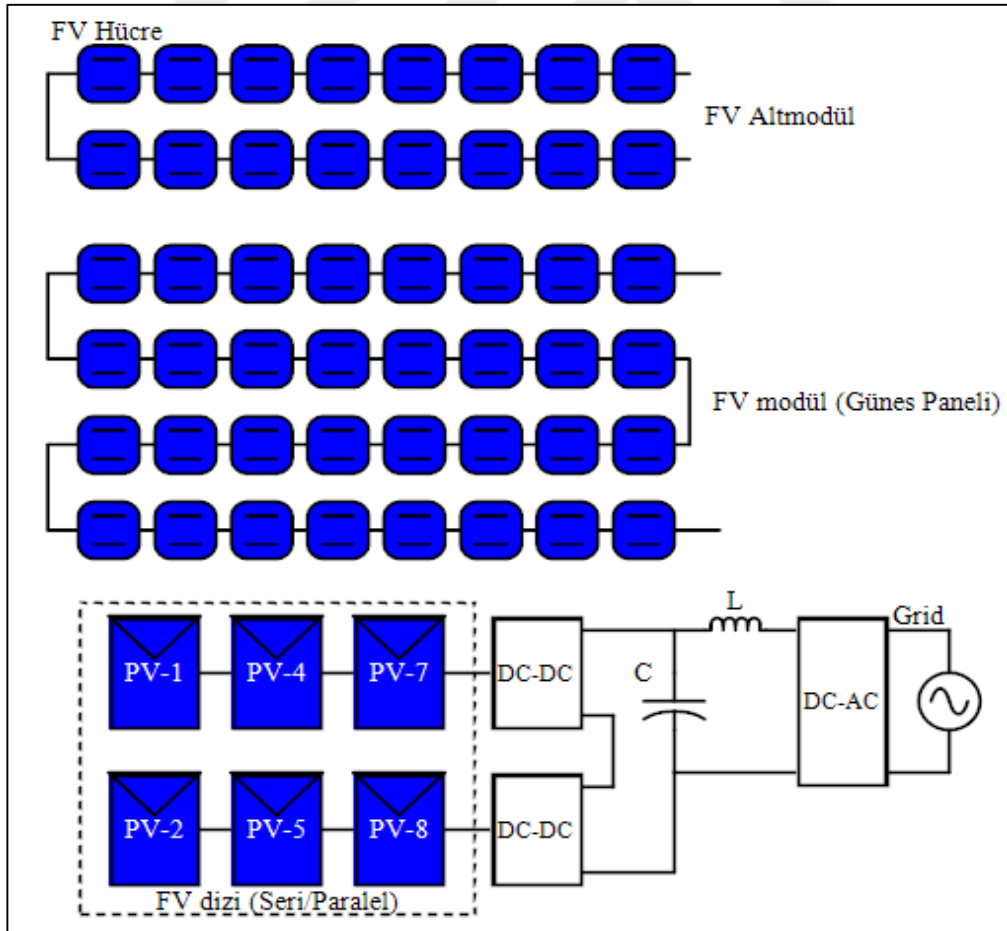
Ülkemizde güneş enerjisinden farklı alanlarda yararlanılır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi başta olmak üzere seraların ve konutların ısıtılmasında, evlerin ve binaların aydınlatılmasında, sıcak su temininde, ulaşımda yararlanılır. TEİAŞ 2021 verilerine göre güneş enerjisi, yenilenebilir kaynaklar içerisinde %14'lük paya sahiptir. Şekil 9'da 2021 yılında Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminin yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dağılımı gösterilmektedir (Cihan, 2019).



Şekil 9. 2021 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin yenilenebilir kaynaklarına göre dağılımı (URL-8, 2022).

2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

FV, kelime anlamı olarak ışık anlamına gelen “photo” ve elektrik enerjisi anlamına gelen “voltaic” kelimelerinin birleşiminden oluşur. FV sistemler, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretir. Bu sistemler güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. FV sistemlerin en küçük birimi güneş hücreleridir. Yarı iletken malzemeden oluşan güneş pilleri, hücrenin ara yüzüne gelen ışık fotonlarının elektron sökmesi ve bu elektronların hareketi prensibine dayanır. Güneş hücrelerinin yani güneş pillerinin bir araya gelmesiyle yarı iletken alt modüller oluşur. Modüllerin hareketli ekipmanı olmadığından kullanım ömrü uzun, bakım masrafları azdır. Çevreye zarar vermeden sessiz çalışan alt modüller seri bağlanarak güneş panellerini oluşturur. Büyük santrallerde birçok güneş paneli seri/paralel bağlanarak güneş dizilerini oluşturur. Bu diziler DC gerilime sahip olup, genellikle bir evirici üzerinden şebekeye bağlanır. Şekil 10’da FV hücre, alt modül (modül), güneş paneli ve güneş dizisi sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. FV hücre, modül, güneş paneli ve güneş dizisi

FV sistemler bağlantı şekillerine göre, şebekeye bağlı sistemler ve şebekeden bağımsız sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Şebekeden bağımsız FV sistemler; elektrik şebekesinden ayrı kurulan, güneş panelleri ile üretilen elektrik enerjisini akülerde depolayarak, evirici aracılığıyla AC yükleri besleyebilen genellikle küçük güçlerde tesis edilen sistemlerdir. Bu sistemler genellikle merkezi yerlerden uzak ve şebeke bağlantısının ulaşmadığı veya şebeke bağlantısının maliyetli olduğu durumlarda elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Şebekeden bağımsız sistemlerde üretilen enerji, akülerde depolanarak kullanıldığı için akülerin sıcaklığa dayanıklı, verimi yüksek ve kullanım ömrü uzun olması beklenir. Şebekeden bağımsız FV sistemler; haberleşme ve hava gözlem istasyonlarında, bina içi ya da dışı aydınlatmalarında, yerleşim yerinden uzaktaki evlerde, tarımsal sulamada, güvenlik sistemlerinde kullanılır.

Şebekeye bağlı FV sistemler; doğrudan şebeke bağlantısı yapılarak üretilen elektrik enerjisini dağıtım hattına aktaran sistemlerdir. Bu sistemlerde depolama ünitesine gerek duyulmadan, evirici vasıtasıyla DC-AC dönüşümü yapılarak, üretilen enerji şebekeye aktarılır. Şebekeye bağlı sistemler, küçük ya da büyük güçte kurulan GES'lerin sınıflandırması için kullanılır (Ceylan, 2017).

2.1. Fotovoltaik Sistem Elemanları

Genel bir FV güç sistemi genel olarak güneş paneli, evirici, batarya, koruma elemanları, mekanik konstrüktif bileşenler ve dağıtım hattına bağlantı için transformatör gibi elemanlardan oluşur. Bu kısımda genel olarak güneş paneli, evirici ve FV güç sistemi parametrelerinden bahsedilmiştir.

2.1.1. Güneş Paneli

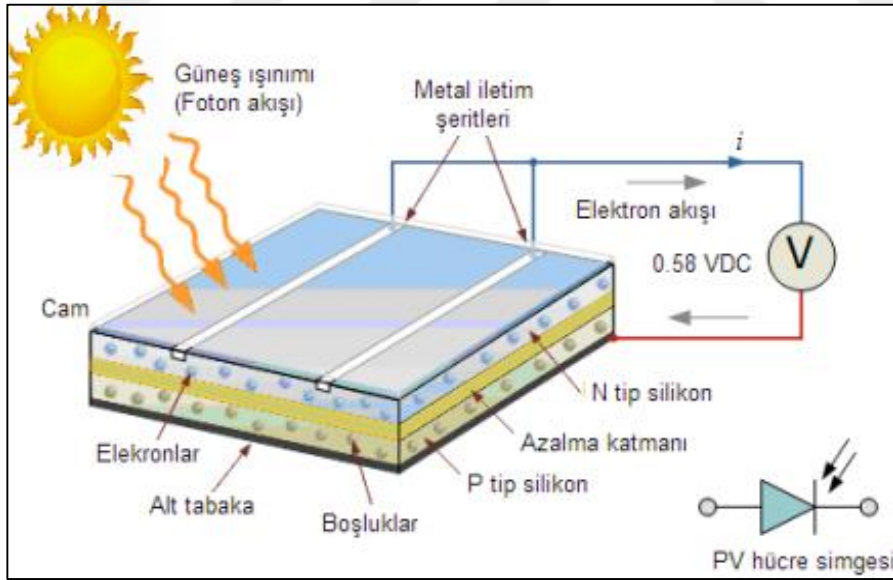
FV sistemlerin temel parçası olan güneş panelleri, güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretir. Üretilen enerji, DC formunda elektrik enerjisidir. Bu enerjiyi üreten eleman, güneş paneli yapısında bulunan yarı iletken yapılmış olan güneş hücreleridir. Güneş hücreleri; kullanım alanlarına, diziliş şekillerine göre seri veya paralel bağlanarak farklı kapasitelerde güneş panellerini oluşturur. Panel çeşitlerinden en yaygın olanlar; monokristal, polikristal, ince film yapılarıdır.

Güneş hücresinde yaygın olarak kullanılan silisyum; yarı iletken maddeden yapılan ve dayanıklı olan malzemedir. Kullanım sırasında yapısal, elektriksel ve soğurma özelliklerini muhafaza ettiğinden güneş hücrelerinde sıkça kullanılır. Tek kristal, çok

kristal ve ribbon silisyum kristal olmak üzere 3 farklı silisyum hücre çeşidi bulunmaktadır. Tek kristal silisyum (monokristal) hücre çeşidi, en yüksek verime sahip güneş pillerdir. Tek kristal silisyum hücrelere göre daha kolay üretilen çok kristalli silisyum (polikristal ya da multikristal) hücreler maliyet açısından daha avantajlıdır. Tek kristal hücre üretiminde oluşan kayıpları azaltmak için Ribbon silisyum hücreleri geliştirilmiştir (Sayın ve Koç, 2011).

İnce film güneş pilleri; güneş hücrelerinde kullanılan malzeme ve işçiliği azaltarak, maliyetleri düşürmeye yarayan FV pillerdir. Amorf silisyum, kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum diselenid gibi çeşitleri vardır. Amorf silisyum (a-si), küçük ölçekli sistemlerde enerji üretmek için en yaygın kullanılan güneş pilidir. Kadmiyum tellür ince film güneş pilleri ise geniş yüzey alanlı üretimlerde yaygın kullanılır. Bakır indiyum (CIS) güneş pilleri; bakır, indiyum diselenid ve selenyumdan üretilen, sistemin verimliliğini arttıran ve uzun ömürlü olmasını sağlayan pillerdir (Sayın ve Koç, 2011).

Yarı iletken hücrenin çalışma prensibi; p-n eklem bölgesine ışık düşmesiyle elektron-boşluk çiftleri oluşur. Fotonlar tarafından kopartılan elektronlar eklemde harekete geçer ve elektrik akımını oluşturur. FV hücrenin yapısı ve çalışma ilkesi Şekil 11’de gösterilmiştir (Öztürk, 2013).

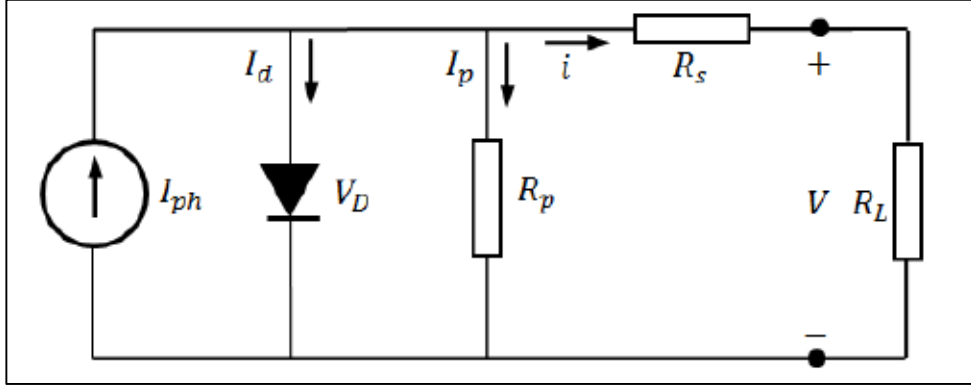


Şekil 11. FV hücre yapısı ve çalışma ilkesi

2.1.1.1. Tek Diyotlu Güneş Hücresi Eşdeğer Devre Modeli

Tek diyotlu eşdeğer devre modeli kullanılarak FV hücre için matematiksel model elde edilmiştir. R_s seri direnci, devre yolunun toplam direncini temsil etmektedir. R_p paralel direnci ise kaçak akımdan kaynaklanan kaybı ifade etmektedir. Şekil 12’de tipik

bir güneş hücresine ait tek diyotlu eşdeğer devre modeli gösterilmiştir. Bu devre modelinde foton akımı Eşitlik 1’deki gibi hesaplanır.



Şekil 12. Güneş hücresi tek diyot devre modeli

$$I_{ph} = I_d + I_p + i$$

(Eşitlik 1)

Bu eşitlikte:

I_{ph} : foton akımını,

I_d : diyot akımını,

I_p : paralel direnç akımını,

i : FV hücre çıkış akımını göstermektedir.

Şekil 12’deki devrede Kirchhoff akım yasası uygulanarak Eşitlik 1 elde edilmiştir. Buradaki diyot akımı Eşitlik 2’de ifade edilmiştir.

$$I_d = I_o \left[e^{\frac{qV_d}{nkT}} - 1 \right]$$

(Eşitlik 2)

Bu eşitlikte:

I_o : ters doyma akımını,

q : elektron yükünü,

V_d : paralel direnç akımını,

n : diyot idealite faktörünü,

k : Boltzmann sabiti

T : Kelvin cinsinden sıcaklığı temsil etmektedir.

Eşitlik 1’deki paralel direnç akımı Eşitlik 3’te hesaplanmıştır.

$$I_p = \frac{V+iR_s}{R_p} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Bu eşitlikte:

I_p : paralel direnç akımını,

V : çıkış gerilimini,

R_s : seri direnci,

R_p : paralel direnci temsil etmektedir.

Eşitlik 1’deki i akımı FV hücre çıkış akımı olup, Eşitlik 4’te ifade edilmiştir.

$$i = I_{ph} - I_o \left[e^{\frac{q(V+iR_s)}{nkTn_s}} - 1 \right] - \frac{V+iR_s}{R_p} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Bu eşitlikte:

n_s : seri bağlı FV hücre sayısını göstermektedir.

FV hücre termal gerilimi Eşitlik 5’te ifade edilmiştir. Eşitlik 5, Eşitlik 4’te yerine koyulursa çıkış akımı Eşitlik 6’da ifade edilebilir. Bu eşitlikte n_s hücre sayısı kullanıldığında, akım FV modül veya güneş paneli akımını göstermektedir.

$$V_t = \frac{kTn}{q} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

$$i = I_{ph} - I_o \left[e^{\frac{(V+iR_s)}{V_t n_s}} - 1 \right] - \frac{V+iR_s}{R_p} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Fotovoltaik sistemlerde I_{sc} kısa devre akımı, FV hücre çıkışı kısa devre olduğunda devreden akan akımdır. Gerilimin sıfır ($v=0$), akımın kısa devre akımına eşit olduğu ($0, I_{sc}$) değeri Eşitlik 6’da yerine yazılırsa Eşitlik 7 elde edilir.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_o \left[e^{\frac{(I_{sc}R_s)}{V_t n_s}} - 1 \right] - \frac{I_{sc}R_s}{R_p} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

V_{mpp} maksimum güç noktasındaki gerilim değeri, I_{mpp} maksimum güç noktasındaki akım değeridir. Maksimum güç noktasındaki gerilim ve akım değerleri (V_{mpp} , I_{mpp}) Eşitlik 7’de yerine yazılırsa Eşitlik 8 elde edilir.

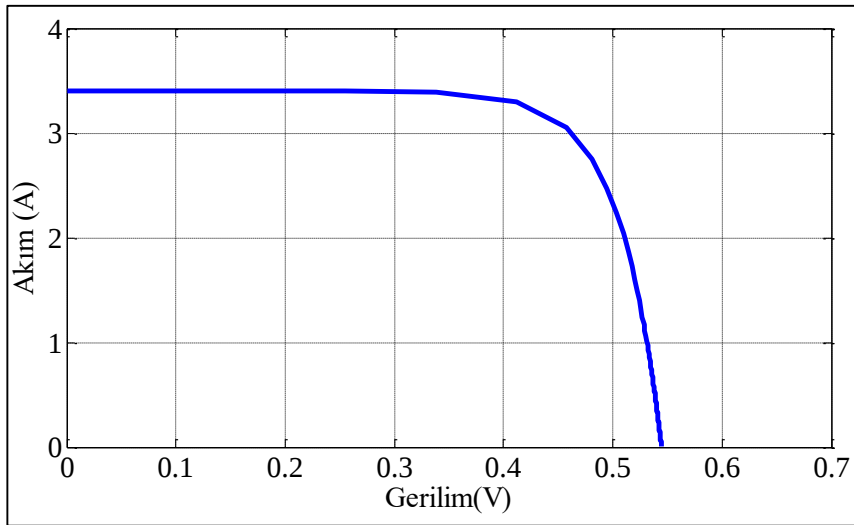
$$I_{mpp} = I_{ph} - I_o \left[e^{\frac{(V_{mpp} + I_{mpp} R_s)}{V_t n_s}} - 1 \right] - \frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s}{R_p} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

FV sistemlerde V_{oc} açık devre gerilimi, devreden akan akımın sıfır olması durumunda devre uçlarından ölçülen gerilimdir. Eşitlik 6’da akım değerine sıfır ($i=0$), gerilim değerine V_{oc} yazılırsa Eşitlik 9’daki denklem elde edilir.

$$0 = I_{ph} - I_o \left[e^{\frac{V_{oc}}{V_t n_s}} - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

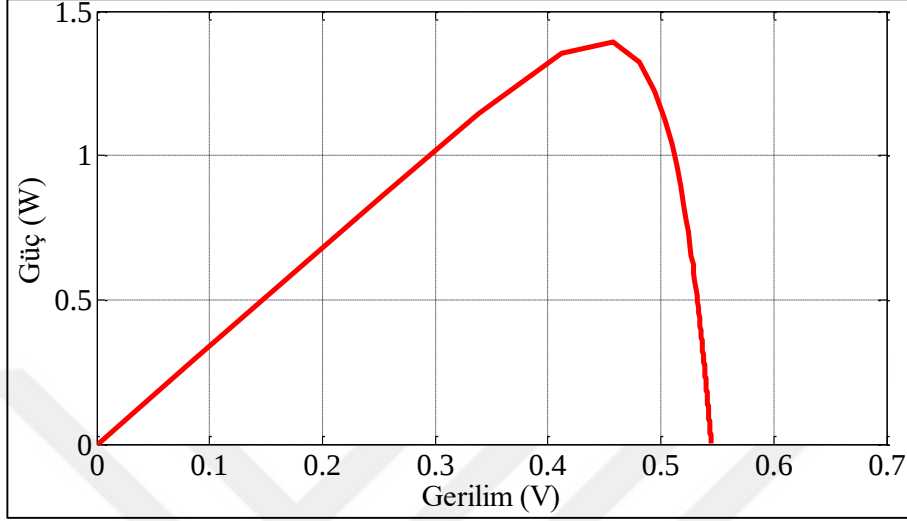
2.1.1.2. Güneş Paneli Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Grafikleri

Güneş hücresi/paneli için akım-gerilim (I-V) grafiği; panel uçlarına bağlı değeri değişebilen bir direncin $R=0$ ’dan $R=R_{maks}$ aralığında ölçülen akımı ve gerilimi ile basit bir şekilde elde edilir. Açık devre gerilimi (V_{oc}), devreden geçen akımın sıfır olması durumunda hücre uçlarındaki gerilimdir. Kısa devre akımı (I_{sc}) ise sıfır gerilimde hücreden geçen ve en yüksek değerde olan akımdır. Gerilim sıfır iken bulunan akım değeri ve akım sıfır iken bulunan gerilim değeri ile FV panel modellenerek akım-gerilim eğrileri oluşturulur. Şekil 13’te tipik bir güneş hücresi için I-V grafiği gösterilmiştir.



Şekil 13. Güneş hücresi akım-gerilim grafiği

Akım ve gerilim değerlerinden FV hücrenin ürettiği güç bulunur ve güneş paneli modellenerek güç-gerilim (P-V) eğrileri çıkarılır. Çıkış gücü, hem kısa devre hem de açık devre değerlerinde sıfırdır. Maksimum güç noktasında ise güneş panelinin gücü en yüksektir. Şekil 14’te tipik bir güneş hücresinin P-V grafiği gösterilmiştir.



Şekil 14. Güneş hücresi güç-gerilim grafiği

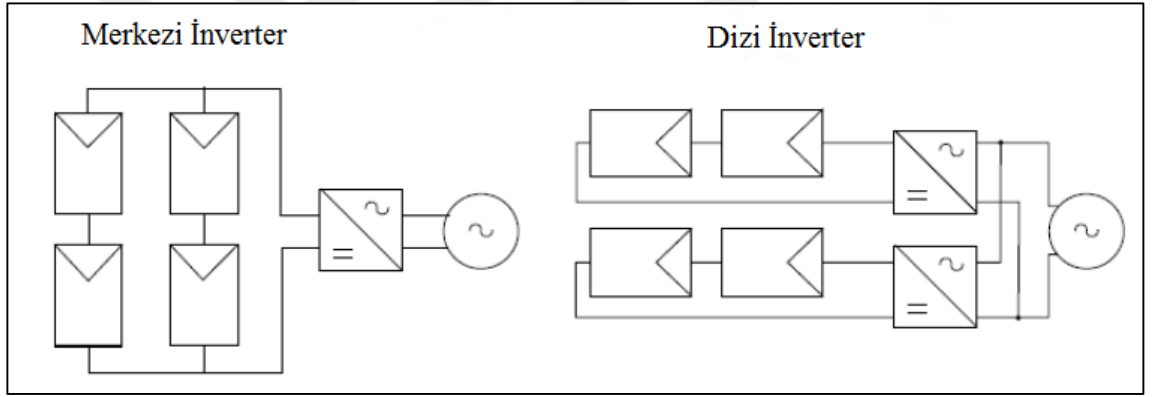
2.1.2. Evirici

FV sistemlerde kullanılan eviriciler (inverter), güneş panellerinde üretilen DC elektrik enerjisini AC elektrik enerjisine dönüştüren elemandır. Diğer bir tanımla; doğru dalga formundan sinüsoidal dalga elde edilen cihazlardır. Günümüzde kullanılan yeni nesil eviriciler şarj kontrol cihazına da sahip akıllı eviricilerdir. Bu akıllı eviriciler; güneş panelinin üretim bilgilerini, akü gerilim değerini ve kullanılan enerji gibi bazı bilgileri kullanıcıya gösterir. Maksimum güç noktası takibi işlemi de gerçekleştirebilen eviriciler, koruma ve izolasyon fonksiyonlarını da yerine getirir. Şekil 15’te FV sistemlerde kullanılan evirici örnekleri gösterilmiştir (Ceylan, 2017).



Şekil 15. FV sistemlerde kullanılan evirici çeşitleri

FV sistemlerde kullanılan evirici çeşitleri, şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız olarak ikiye ayrılır. Şebeke bağlantılı sistemlerde, güneş enerjisi kesildiğinde elektrik kaynağı şebekeden karşılanır. Şebeke bağlantılı eviriciler, şebekenin gerilim seviyesi ve frekansına göre ayarlanarak sistemi besler. Şebeke bağlantılı eviriciler, uygulama alanlarına göre dizi evirici ve merkezi evirici olarak sınıflandırılır. Merkezi evirici; ana evirici olarak çalışan, ışıının az olması durumunda bazı eviricilerin kapatılmasını sağlayarak yük paylaşımı yapan, yüksek güçteki santrallerde yaygın olarak kullanılan eviricilerdir. Dizi evirici ise merkezi eviriciye göre daha az üretim maliyetine sahip ve daha düşük güçteki FV sistemlerde kullanılan eviricilerdir. Merkezi eviricilerde arıza meydana geldiğinde tüm santral devre dışı kalabilirken, dizi eviricilerde arızalar lokal bazlı olduğundan tamiri daha kolay ve enerji kayıpları daha az olur. Şekil 16’da merkezi ve dizi evirici bağlantısı gösterilmiştir (Akar, 2016).



Şekil 16. Merkezi ve dizi evirici bağlantısı

Şebeke bağlantısız eviriciler, şebekenin bulunmadığı veya şebeke bağlantısına ihtiyaç duyulmayan uygulamalarda tercih edilir. Bu uygulamalarda genel olarak yedek enerji ünitesi olarak batarya sistemleri bulunur. Güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisi yükleri besler, fazla enerji ise batarya grubuna aktarılır.

2.1.3. Batarya ve Şarj Kontrol Cihazı

Batarya (akü), şebekeden bağımsız FV sistemlerde üretilen elektrik enerjisini depolayan ve enerjiye ihtiyaç duyulduğunda sistemi enerjilendiren ekipmandır. Akü, şebekeye bağlı FV sistemlerde ise enerji kesildiğinde sistemin çalışmasını sağlar (Ceylan, 2017).

Şarj kontrol cihazı, güneş panelinden aktarılan doğru akımı düzenleyerek sabitleyen ve bataryanın şarjı için gerekli DC elektrik enerjisi oluşturan cihazlardır. Diğer bir görevi

ise oluşabilecek ters akımın güneş paneli tarafına geçişini engellemektir. Şarj kontrol cihazı, akü dolduğu zaman güneş panelinden gelen enerjiyi keser ve böylece aküyü aşırı şarjdan korur. Küçük güç sistemlerinde şarj kontrol cihazları ve bataryalar kullanılırken büyük güçteki güneş enerji santrallerinde şarj kontrol cihazı olan akıllı eviriciler kullanılır (Atalay vd., 2019).

2.2. Performans Oranı

FV sistemlerde üretilen enerjinin, paneller üzerine düşen güneş ışıyım enerjisine oranı olarak tanımlanan performans oranı aynı zamanda sistem kalitesinin de ölçüsüdür. Bu oran FV sistemlerin performans parametrelerini incelemek ve değerlendirmek için kullanılır. Performans oranı (PR); 0.1 ile 0.99 aralığında hesaplanır. Bu değerin 100 ile çarpılmasıyla performans açısından verimlilik yüzdesi bulunur. FV sistem, %100'e ne kadar yakınsa ilgili santral o kadar verimli çalışıyor demektir (Tozlu, 2004; Aksangör, 2019).

Isı, iletim, evirici kayıplarından dolayı performans oranı %100 olmaz. Varsa arızalı elemanlar ya da sistem elemanlarının arasındaki uyumsuzluk da bu değerin düşmesine neden olur. Konum, güneş ışıyım miktarı, panel tipi, ortam ve panel sıcaklığı, panel yüzey temizliği, rüzgâr hızı, gölgelenme sistemin performans oranını etkileyen diğer etmenlerdir.

Matematiksel olarak performans oranı; üretilen aylık enerjinin (E_A), aylık güneş ışıyım değeri (Q_A) ve santral kurulu gücünün (P_{STK}) çarpımına oranı olarak hesaplanır. FV sistemin kurulduğu konum, güneşlenme süresini ve güneş ışıyım miktarını belirlediğinden performans oranı değerini de başlıca etkileyen parametredir. Panel tipi, eğim açısı, yüzey temizliği, çalışma sıcaklığı panel verimliliğini belirlediğinden santralin üreteceği enerjiyi de etkiler ve böylece performans oranı etkilenir. Performans oranı denklemi Eşitlik 10'da ifade edilmiştir (Başoğlu vd., 2015).

$$PR = \frac{E_A}{\frac{P_{STK}}{Q_{STK}} \int_0^t Q_A dt} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

2.3. Performans Oranını Etkileyen Faktörler

GES'lerde enerji üretim performansını etkileyen çok fazla parametre vardır. Bu parametreler aşağıda sıralanmış ve açıklanmıştır.

- **Panel Sıcaklığı:** Güneş panelleri çalışırken oluşan sıcaklık, ortama ısı yayacağı için fazla ısınmaya sebep olur ve çalışma verimini düşürür. Düşük sıcaklıklarda

daha verimli çalışan güneş panelleri, yüksek performans oranı sağlar. Güneş panelinin arkasında havalandırma sağlanan uygulamalarda FV panellerden yüksek verim elde edilir.

- **Güneş Işınımı:** FV sistemlerin konum bilgilerine göre güneş ışıınım miktarı, güneşlenme süresi, güneşlenme şiddeti değişiklik gösterir. Yağmurlu, bulutlu, sisli, zamanlarda güneş ışıınım değeri düşüktür. Yaz ayları ve özellikle güneşin tepede olduğu öğle vakitlerinde, güneş ışıınımı fazla olduğundan performans oranı değeri daha yüksek olur.
- **Panelin Gölgede Olması:** Kurulum yerine bağlı olarak tesisler, binalar, ağaçlar güneş panellerine gölge olabilir. Gölge etkisine maruz kalan paneller, normalden daha az güneş ışığı soğurur. Bu da verimliliğin ve performans oranı değerin düşmesine sebep olur.
- **Panelin Kirli Olması:** Panelin tozlu ve kirli olması performans oranının hatalı hesaplanmasına neden olur. Ayrıca güneş panellerinin kar ile kaplanması, panelin güneş ışığından yararlanmasını ve verimli çalışmasını engeller. FV sistemlerin verimli çalışması için panel yüzeylerinin belirli aralıklarla temizlenmesi gerekir.
- **Panel Eğim Açısı ve Bakı Yönü:** Paneller, güneş ışığının geliş açısına ve sistemin kurulacağı alanın arazi yapısına göre panel eğim açısı ayarlanıp konumlandırılır. Güneş ışığından maksimum derecede yararlanmak için panellerin bakı yönü güney olmalıdır.
- **Konumu:** Güneş enerji sisteminin kurulduğu alanın coğrafi konumu, sistem performansını etkileyen başlıca etmenlerdendir. Enlem-boylam koordinatlarına göre güneş ışıınlarının geliş açısı, güneş ışıınım miktarı, güneşlenme süresi değişkenlik göstereceği için bölgenin konumu seçilirken dikkat edilmelidir.
- **İletim Kayıpları:** Kablonun cinsi ve malzemesine bağlı olarak iletim kayıpları meydana gelir. İletim kayıplarının fazla olması performans oranını azaltır.
- **Farklı Güneş Pillerinin Kullanılması:** Güneş panellerinde farklı tür güneş pili kullanıldığında farklı performans oranı ortaya çıkar. Panelin yüzeyine gelen güneş ışığının bir kısmı soğrulmaz ve geri yansır. Bu yansımayı en aza indirmek için panellerin yüzeyini kaplayan camların yapısı çok önemlidir. Güneş pillerinin bozulması ya da kullanıma bağlı olarak güneş pillerinin yıpranması düşük performans oranının oluşmasına sebep olur.

2.4. Kapasite Faktörü

Kapasite faktörü; bir yıllık ya da bir aylık enerji üretiminin, günde 24 saat tam güçte çalışmış varsayılan santralin kurulu gücüne oranıdır. FV sistem bileşenlerinin arızalanması ya da işlevini kaybetmesi durumunda sistem kapasitesi düşer ve kapasite faktörü azalır (Tanış, 2019).

Matematiksel olarak kapasite faktörü; aylık üretilen enerjinin (E_A), standart test koşullarındaki santral kurulu gücü (P_{STK}), aydaki gün sayısı (g) ve günlük 24 saat çalışma süresi çarpımına oranıdır. Kapasite faktörü bağıntısı Eşitlik 11’de verilmiştir.

$$KF(\%) = \frac{100E_A}{24gP_{STK}} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

2.5. Ortalama Panel Verimliliği

Panel verimliliği (η); sistem tarafından şebekeye aktarılan enerjinin, toplam FV panel üzerine düşen ışıınım enerjisine oranıdır. Sistem verimi; günlük, aylık, yıllık olmak üzere farklı zaman diliminde hesaplanabilir (Tozlu, 2004). Matematiksel olarak η ; aylık üretilen enerjinin (E_A), aylık toplam güneş ışıınım enerjisi (E_{AT}) ve toplam panel alanının (A) çarpımına oranıdır. Sistem panel verimliliği Eşitlik 12’de ifade edilmiştir.

$$\eta(\%) = \frac{100E_A}{E_{AT}A} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

2.6. Spesifik Enerji

Spesifik enerji tipik veya fiili bir yıl boyunca her bir kWp modül kapasitesi için ne kadar enerji (kWh) üretildiğini ifade eder. Tipik değerler 1 kWh/kWp'den 2 kWh/kWp'nin üzerine kadar değişebilirken, gerçek değer; konum, hava durumu verisi, eğim açısı, güneş paneli tipi gibi faktörlere bağlı olarak değişir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. HelioScope Programı

Güneş enerjisi; yenilenebilir enerji kaynakları arasında yatırım maliyeti yüksek, işletme maliyeti düşük denilebilecek bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinden yararlanmak istenildiğinde yatırım maliyeti yüksek olduğu için fizibilite çalışması yapmak gerekir. HelioScope programı sayesinde, kurulması planlanan güneş enerji sisteminin fizibilite çalışması gerçekleştirilebilir. Güneş enerji sistemi tasarım programı olan HelioScope benzetim programı ile üç boyutlu (3D) sistem tasarımları yapılabilir. Tasarlanan herhangi bir GES'in yıllık ürettiği enerji, santral verimi, performans oranı; ekonomik analizin en önemli parçalarındandır. HelioScope yazılım programını kullanarak fizibilite raporlarıyla enerji analizini yapmak ve analizi yapılan santralin yatırım maliyetini hesaplamak mümkündür. Programda tasarlanan ve maliyeti hesaplanan sistemin verileri istenilen aralıkta olduğunda santral kurulumu yapılabilir.

HelioScope programında tasarım yapılırken ilk olarak kullanıcı bilgileri (isim, soy isim, mail adresi) doldurularak profil oluşturulur. Profil tanımlandıktan sonra proje adı girilir. Proje adı belirlenen tasarımın istenilen mekân için adres girişi yapılır. Adres, coğrafi koordinatları girerek (enlem-boylam) ya da Google harita aracılığıyla doldurularak tamamlanır. Bu adımdan sonra GES tasarımı için gerekli esas iş bölümlerine geçilir. İlk olarak alana dizilecek güneş panellerinin yapısı, cinsi, gücü yani teknik özellikleri belirlenmeli ve kataloglarda bulunan güneş paneli çeşitlerinden seçilmelidir. Panel katalog bilgileri girildikten sonra belirlenen alana panel yerleştirme işlemine başlanır. Sahanın özelliklerine göre panel açısı ve montaj eğimi ayarlanıp kurulum yapılır. Güneş ışığının geliş açısı ve bakı etkisi güney yönlü olacak şekilde paneller konumlandırılır. Panellere düşen gölgelenmeler programda görülür ve gölge etkisini minimize etmek için paneller dizilirken açık alan seçilir. Panel diziliminden sonra evirici seçimine geçilir. Evirici markası ve özellikleri katalogdan seçilir, sayısı belirlenir. Giriş gerilimi-çıkış gerilimi (DC/AC oranı) ayarlanır. Yani eviricinin teknik özelliklerine ve gücüne göre evirici dizilimi sağlanır. Panel ve evirici seçiminden sonra enerji kabloları ayarlanır. Sistemin enerji üretmesi ve iletilmesinde kullanılan enerji kablolarının uzunluğu, kesiti, cinsi belirlenir. Ana bileşenlerin katalog girişleri ve dizilimi tamamlandıktan sonra seçilen adrese göre güneş ışınım değerleri program veri tabanından çekilir ve GES'in performansına dair analizler yapılır.

3.2. FV Sistemlerde Performansı Etkileyen Parametrelerin HelioScope ile Analizi

HelioScope programı ile FV sistemlerdeki güneş panelleri gücünü, dizilişini ve montaj açısı vb. kriterleri değiştirerek analizler yapılabilir. Güneş panellerinin kurulum yerine ve eğim açısına göre farklılıklar oluştuğunda sistem performansı da değişir. FV sistemin kurulacağı konum farkı ve azimut açısı da performans oranını etkileyen diğer parametrelerdendir. Güneş panellerine düşen gölge etkisi ve gölge etkisini iyileştirmek için kullanılan optimizer etkisi de FV sistemlerin performansını etkileyen diğer bir parametredir.

3.2.1. Panel Kurulum Yerine Göre Analiz

FV sistemler; bina ve fabrika çatılarına, açık arazi alanlarına kurulabilmektedir. Çatı tipi, arazi tipi ve Carport tasarım tipi diye kurulum yerine göre adlandırılan sistemlerin performansını etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Güneş panellerinin tasarım tipine göre performans oranı, verimi, kayıpları değişir. GES'lerin kurulacağı yere göre güneş panellerinin sıcaklıkları, sistemin performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Panel sıcaklığının sistemi etkilemesi arazi tipi kurulumlarda az iken çatı tipi kurulumlarda daha fazladır. Çatı üzerine monte edilen panellerin çalışırken meydana getireceği sıcaklık yine o alanda panellerin üzerinde kalacağı için panellerin çalışma sıcaklığı artar ve sistemin performansında ciddi oranda azalma meydana gelir.

Carport tipi tasarımlar, yanları açık garaj olarak da bilinen elektrikli araçların şarj olması için güneş panelleri yerleştirilerek enerji üreten sistemlerdir. Carport tasarımlarda sistemin yere uzaklığı fazla olduğundan panellerin çalışma sıcaklıkları sistem üzerinde kalmamakta ve böylece panellerin performansı da çok etkilenmemektedir. Kurulum alanlarına göre panellerin çalışma sıcaklıkları farklılıklar gösterir ve farklı performans oranları oluşur. Bu farklılıkları gözlemlemek adına HelioScope programı ile tasarımlar oluşturarak performans analizleri yapılmıştır.

3.2.1.1. Çatı Tipi Tasarım için Analiz

Ev, fabrika, iş yeri çatılarına kurulan güneş enerji sisteminin güneş ışınlamında yararlanarak elektrik enerjisi üretmesi çatı tipi tasarımlar ile sağlanır. Çatılara monte edilen güneş panellerinin üreteceği enerjiyi, sistemin performans oranını, sistemin kayıplarını ve nedenlerini gözlemlemek için HelioScope programı aracılığıyla tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarım için gerekli ilk veri girişi güneş panelinin çeşidi ve modeli

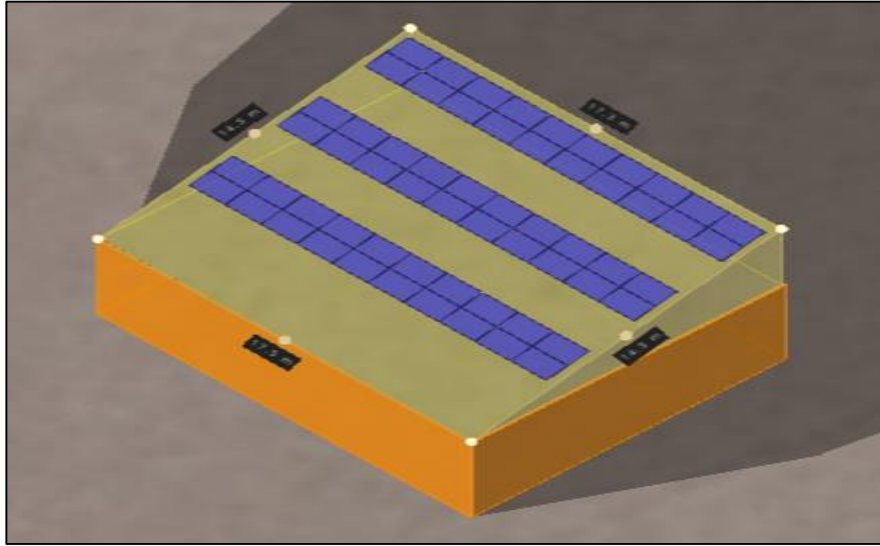
olmak üzere toplam güneş paneli sayısıdır. Panel kataloğundan kullanılan güneş panelinin markası, gücü seçilir. Santralin gücüne göre kullanılacak panel sayısı belirlenir. Tasarımın yapılacağı alana göre panelin eğim açısı ve güneş panellerinin güneye bakacak şekilde azimut açısı ayarlanır. Güneş panellerinin dizilimi esnasında panellerin birbirine gölge düşürmemesi için diziler arası mesafe verisi yani panel satır aralığı girilir.

Tasarım için 18 kW gücünde, Erzincan'da yer alan bir GES planlanmıştır. Meteoroloji veri tabanına sahip program, Erzincan'ın sıcaklık ve güneş ışıyım bilgilerini kullanmıştır. Güneş paneli eğim açısı 15°, paneller güneye bakacak şekilde yani Azimut 180° olarak ayarlanmıştır ve 60 tane güneş paneli kullanılmıştır. Tasarımda kullanılan güneş paneli ve evirici katalog bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tasarımda kullanılan güneş paneli ve evirici katalog bilgileri

	PANEL	EVİRİCİ
Marka	Solar Fabrik	Huawei
Seri	Monokristal (M)	SUN2000-10KTL
Güç	300 W	18 kW

Programda güneş panellerini çatıya gömme montaj yaparak tasarlanan kurulum yeri seçilmiştir. Şekil 17'de çatıya monte edilen tasarımın sembolik görüntüsü verilmiştir.



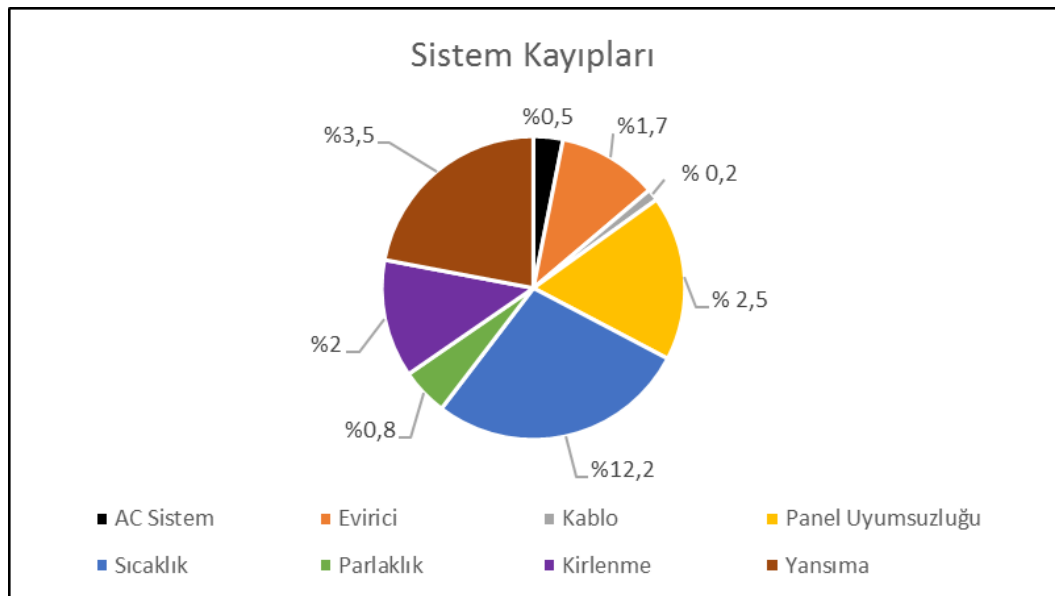
Şekil 17. Çatı tipi tasarımın sembolik görüntüsü

Tasarımı yapılan sistem için güneş ışıyım verileri program veri tabanında tarafından çekilerek yıllık tahmini enerji üretim verisi elde edilmiştir. Buna göre tasarımın üreteceği yıllık enerji miktarı 22.45 MWh ve performans oranı %77.9 olarak tespit edilmiştir. Şekil 18'de tasarımın yıllık ürettiği enerji, performans oranı, kWh/kWp oranı gibi bazı parametrelerin okunabileceği sistem metrikleri verilmiştir.

Sistem Metrikleri	
Tasarım (değiştir kaynağı değiştir)	tasarım yeri
Modül DC İsim Plakası	18.0 kW
İnvertör AC İsim Plakası	18.7 kW Yük Oranı: 0.96
Yıllık Üretim	22.45 MWh
Performans oranı	% 77.9
kWh / kWp	1.247,0
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simülatör Sürümü	a0c5d46b32-7a6147211c-a0dad6a18f-574e86d866
Gölge Raporu	Gölge Raporunu Görüntüle

Şekil 18. Çatı tasarımı performans oranı ve yıllık üretilen enerji

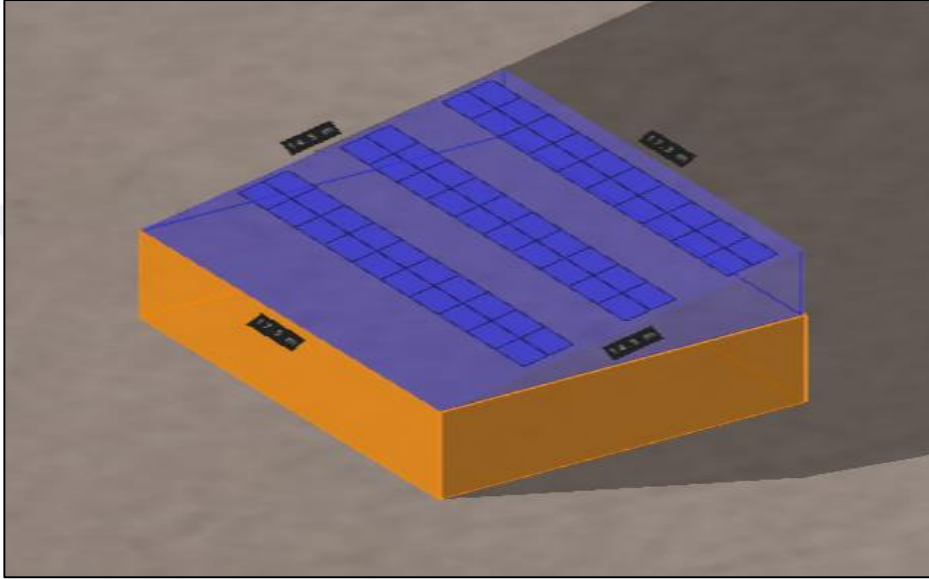
Performans oranı değerine bakıldığında %80-85 civarının altında olduğundan istenilen seviyede olmadığı görülmüştür. Şekil 19’da verilen sistem kayıplarına göre en büyük paya sahip olan sıcaklık parametresinin, sistemi büyük ölçüde etkilediği sonucuna ulaşmak mümkündür. Çatıya monte edilen güneş panellerinin çalışması sonucunda oluşan sıcaklık yine çatı ortamında kalacağı için sistemin performans oranını düşürmüştür. Bu tasarıma için tasarlanan GES’te oluşan diğer kayıplara dair detaylı dağılım Şekil 19’da verilmiş olup, yansıma ve panel uyumsuzluğu kayıpları da çatı tipi sistemde diğer önemli kayıplar olarak öne çıkmıştır.



Şekil 19. Çatı tasarımı sistem kayıplarının dağılımı

3.2.1.2. Carport Tasarım için Analiz

Üzerine güneş panelleri yerleştirilerek elektrikli arabaların şarj olmasını sağlayan enerjiyi üreten, yanları açık olan, garaj görevi gören tasarımlar Carport olarak tanımlanır. HelioScope programıyla Carport tasarımın benzetimi gerçekleştirilip “Flush Mount” (çatıya gömme montaj) çatı tipi sistem ile enerji üretimi, performans oranı ve sistem kayıpları açısından karşılaştırmalar yapılması amaçlanmıştır. Program aracılığıyla benzetimi oluşturulan Carport tasarımın sembolik görüntüsü Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. Carport tasarımı sembolik görüntüsü

Çatı tipi tasarım ile Carport tasarım arasındaki performans farklılıklarını görmek ve nedenlerini belirlemek için çatı tipi tasarımda kullanılan GES tasarım verilerinin aynısı kullanılmıştır ve 18 kW gücünde aynı şehirde bulunan tasarım Tablo 1’deki güneş paneli ve evirici verisi kullanılarak Carport sistemi için uygulanmıştır. Azimut ve eğim açısı aynı olacak şekilde güneş panelleri dizilmiştir. Şekil 21’de Carport tasarımı veri girişi gösterilmiştir. Burada sistemin gücü, azimut açısı, eğim açısı, güneş paneli dizileri arasında mesafeler gibi tasarıma dair bazı veriler tanımlanmaktadır. Ayrıca güneş panellerinin kapladığı alan bilgisi de yer almaktadır. Bu bilgi gerçek bir GES tasarımı için oldukça önemlidir.

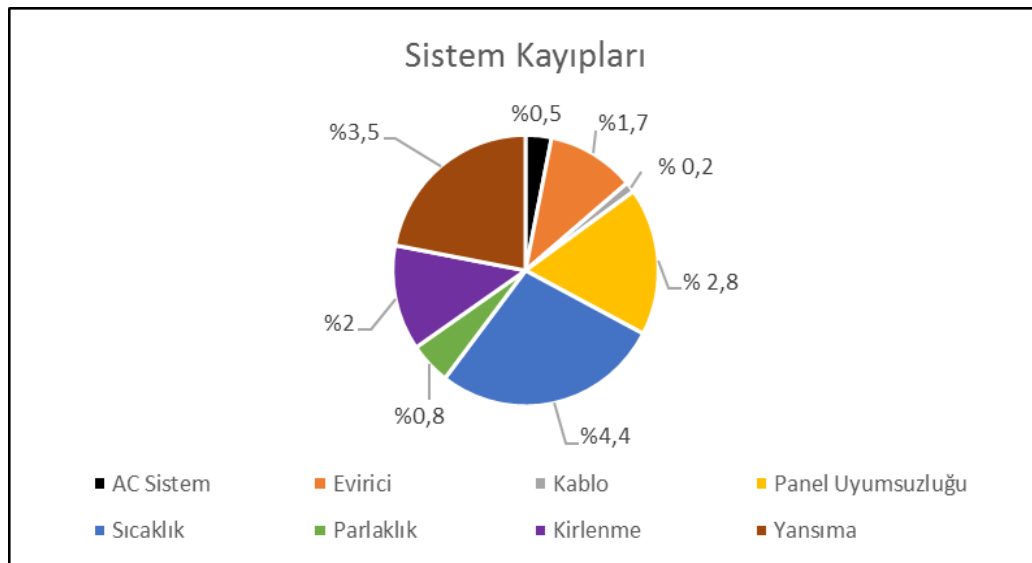
Şekil 21. Carport tasarım için veri giriş ekranı

Carport tasarımı için performans oranı %84.6 olarak belirlenmiştir. Bu değer %80-85 aralığında olduğu için sistem verimli çalışmaktadır. Carport tipi tasarım ile yıllık tahmini enerji üretim verisi 24.38 MWh olarak tespit edilmiştir. Enerji üretim değeri çatı tipi tasarıma göre yaklaşık %8.6 kadar daha fazladır. Carport tipi tasarımın çatı tipi tasarıma göre daha verimli çalıştığı, daha büyük performans oranı elde edildiği anlaşılmaktadır. Çatı tipi tasarımının performans oranı %77.9 seviyesindeyken, Carport tasarımın performans oranı değerinin %84.6 olduğu görülmüş ve bu durumun çatı tasarımında çalışma sıcaklığının performansı düşürmesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Şekil 22’de Carport tasarımın performans oranı ve yıllık üretilen enerji verisine ilişkin program ekran görüntüsü verilmiştir.

Sistem Metrikleri	
Tasarım (değiştir kaynağı değiştir)	tasarım yeri
Modül DC İsim Plakası	18.0 kW
İnvertör AC İsim Plakası	18.7 kW Yük Oranı: 0.96
Yıllık Üretim	24.38 MWh
Performans oranı	% 84.6
kWh / kWp	1.354,3
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simülatör Sürümü	a0c5d46b32-7a6147211c-a0dad6a18f-574e86d866
Gölge Raporu	Gölge Raporunu Görüntüle

Şekil 22. Carport tasarımının performans oranı ve yıllık üretilen enerji değeri

Carport tasarıma dair sistem kayıpları Şekil 23'te verilmiş olup, çatı tipi tasarıma göre sıcaklık bazlı kayıpların daha az olduğu görülmektedir. Çatı tipi tasarımda sıcaklığa bağlı kayıplar %12.2 iken, Carport tipi tasarımda sıcaklık bazlı kayıplar %4.4 mertebesinde dir. Bunun nedeninin ise güneş panelinin ideal çalışma sıcaklığının, panelin monte edildiği yere göre farklılıklar göstermesinden kaynaklandığı bilinmektedir. Çatıya monte edilen panellerin alt zemini çatı alanı olduğundan panel, çalışma sıcaklığını dışarıya veremez ve sistemin sıcaklığını artırır. Carport tipi tasarımda da yansımaya ve güneş paneli uyumsuzluğu kayıpları çatı tipinde olduğu gibi baskındır.



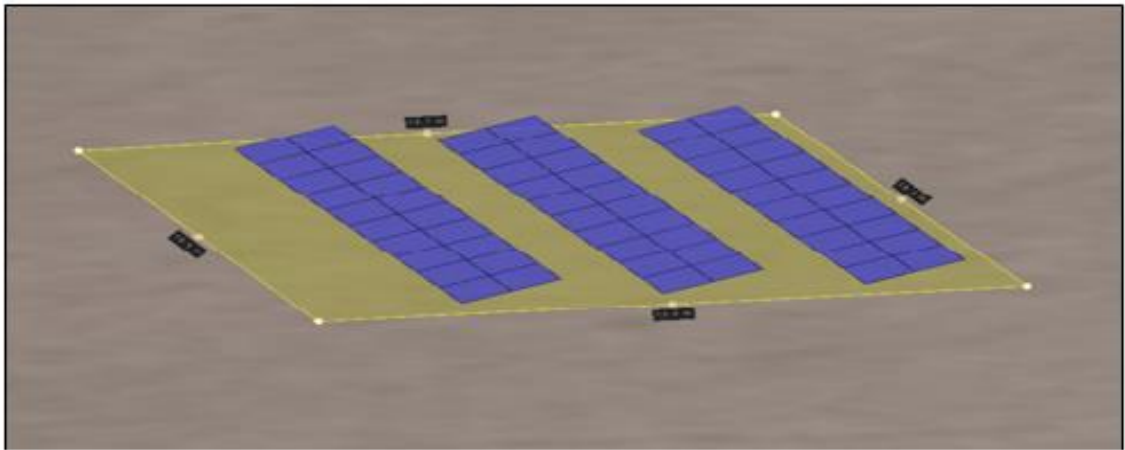
Şekil 23. Carport tasarımı güç kayıplarının dağılımı

3.2.2. Güneş Paneli Eğim Açısına Göre Analiz

Güneş paneli eğim açısı, FV sistemlerde panel ile zeminin arasındaki açıdır. Panel kurulumu yapılırken güneş ışınlarının geliş yönüne ve açısına göre paneller konumlandırılır ve eğim açısı ayarlanır. Performans oranını etkileyen diğer bir parametre olan panelin eğim açısına göre GES performansını tespit etmek ve farklı eğim açıları için tasarımların performans oranını, ürettiği enerjiyi ve kayıp güçlerin dağılımını anlamak için iki farklı eğim açısı için tasarımlar yapılmıştır. Bu tasarımlar, HelioScope programı ile farklı panel açıları ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Konum bilgileri, güç değerleri, evirici özellikleri aynı kalacak şekilde sadece panelin eğim açısı değiştirilerek ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.2.2.1. 15° Eğim Açısı Durumu için Analiz

Erzincan konumlu, 18 kW gücünde, arazide tasarlanması planlanan FV sistem için Tablo 1’de verilen güneş paneli ve evirici bilgileri kullanılmıştır. 18 kW gücü elde etmek için 60 adet güneş paneli kullanılmış ve panel yüzeyi ile zeminin yatay yüzeyi arasındaki açı 15° ayarlanmıştır. Sadece eğim açısının etkisini tespit etmek için güneş paneli dizileri arasında gölgelenme etkisini ortadan kaldıracak şekilde panel satır aralığı ayarlanmıştır. Şekil 24’te eğim açısı 15°’ye ayarlanmış örnek bir GES’e dair örnek bir tasarım gösterilmiştir.



Şekil 24. 15° eğim açılı tasarımın sembolik görüntüsü

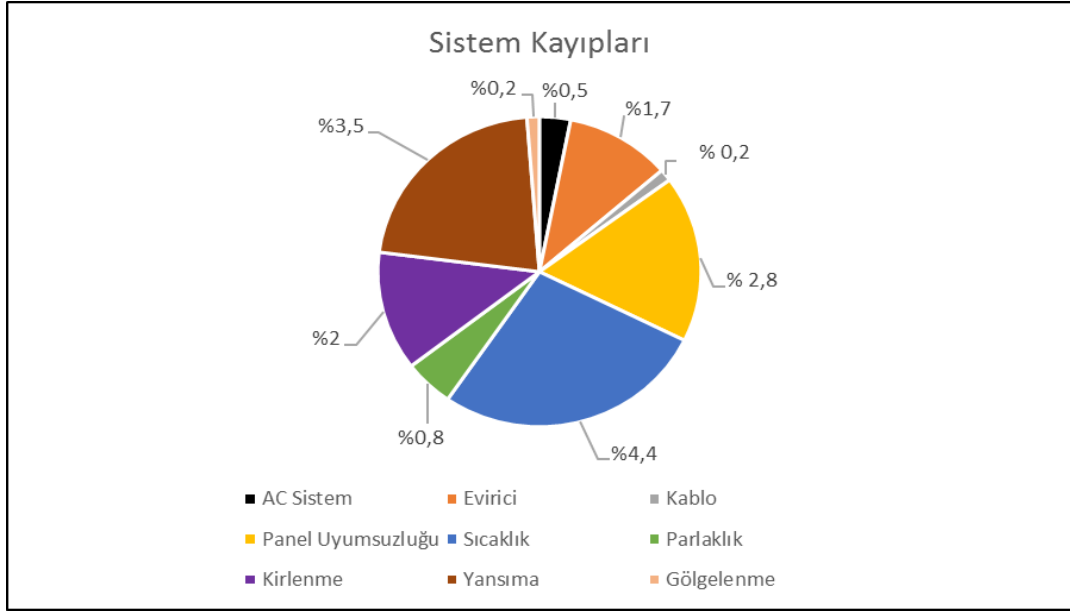
Şekil 24’te verilen yüzey ile 15° eğim açılı, tasarımın yıllık üretebileceği tahmini elektrik enerjisi değeri 24.34 MWh olarak tahmin edilmiştir. Performans oranı ise %84.5 olarak hesaplanmıştır. Eğim açısının doğru tespit edilmesi, güneş ışınlarından yararlanmayı olumlu yönde etkilediği için performans oranı yüksektir. Bu tasarım için

spesifik enerji değeri yıllık 1352.5 kWh/kWp olarak hesaplanmış olup, detaylı metrikler Şekil 25'te gösterilmiştir.

Sistem Metrikleri		PDF	CSV
Dizayn	15 derece		
Modül DC İsim Plakası	18.0 kW		
İnvertör AC İsim Plakası	18.7 kW Yük Oranı: 0.96		
Yıllık Üretim	24.34 MWh		
Performans oranı	% 84,5		
kWh / kWp	1.352,5		
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)		
Simülasyon Sürümü	a0c5d46b32-7a6147211c-a0dad6a18f-574e86d866		
Gölge Raporu	Gölge Raporunu Görüntüle		

Şekil 25. 15° eğim açılı panellerin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı

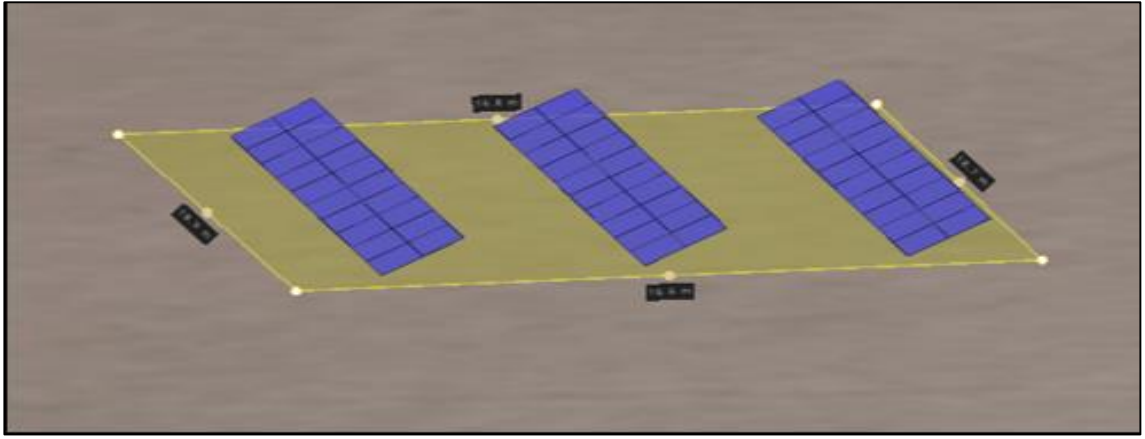
15° eğim açılı FV sistemin tasarımı yapılırken paneller ile yüzey arasındaki eğim açısı küçük değerli olduğu için güneş panellerinin birbirini gölgelendirme ihtimali azalmıştır. Panel eğim açısı düşük olan sistemlerin kayıplarında gölgelenme etkisinin çok az olduğu gözlemlenmiştir. Sistemi etkileyen diğer bir parametrenin yansıma etkisi olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ise az eğime sahip panellerin güneş ışınlarından yararlanması azaldığı için yansıma kaybını arttırmasıdır. Yansıma etkisi, panel eğim açısı düşük olan sistemlerin kayıplarında en fazla paya sahip olanlardan birisidir. 15° eğim açılı sistem kayıplarının analizi Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 26. 15° eğim açısına sahip sistemde güç kayıplarının dağılımı

3.2.1.2. 25° Eğim Açısı Durumu için Analiz

Kurulacak sistemin konumu, santral gücü, panel markası ve gücü, evirici markası ve gücü 15° eğim açısına sahip GES tasarımı ile aynı olacak şekilde ayarlanmıştır. Panel yüzeyi ile sistemin kurulacağı yüzey arasındaki eğim açısı 25° yapılmıştır. Güneş panellerinin eğim açısı değiştiğinde sisteme dair elektriksel parametrelerin değişimi incelenmiştir. Bir önceki analizde olduğu gibi panel dizileri arasında gölgeleme etkisini sıfırlamak, güneş paneli dizileri arasına yeterli mesafe bırakılmıştır. Panel eğim açısı daha büyük olan sistemlerde, satır aralığı denilen panel dizilerinin mesafesi arttırılır. Bu tasarımı gerçekleştirirken panel satır aralığını değiştirmemizin sebebi; panellerin eğim açısı değiştikçe oluşacak gölgeleme kayıplarını azaltmak ve sadece panel eğim açısının sisteme etkisini değerlendirmektedir. 15° eğim açılı güneş panelleri ile farklılıkları görmek ve performans oranlarını kıyaslamak için 25° eğim açısına sahip yeni tasarım gerçekleştirilmiştir. Şekil 27’de güneş panellerin 25° eğim açısına sahip tasarıma ait sembolik görüntü verilmiştir.



Şekil 27. 25° eğim açılı tasarımın sembolik görüntüsü

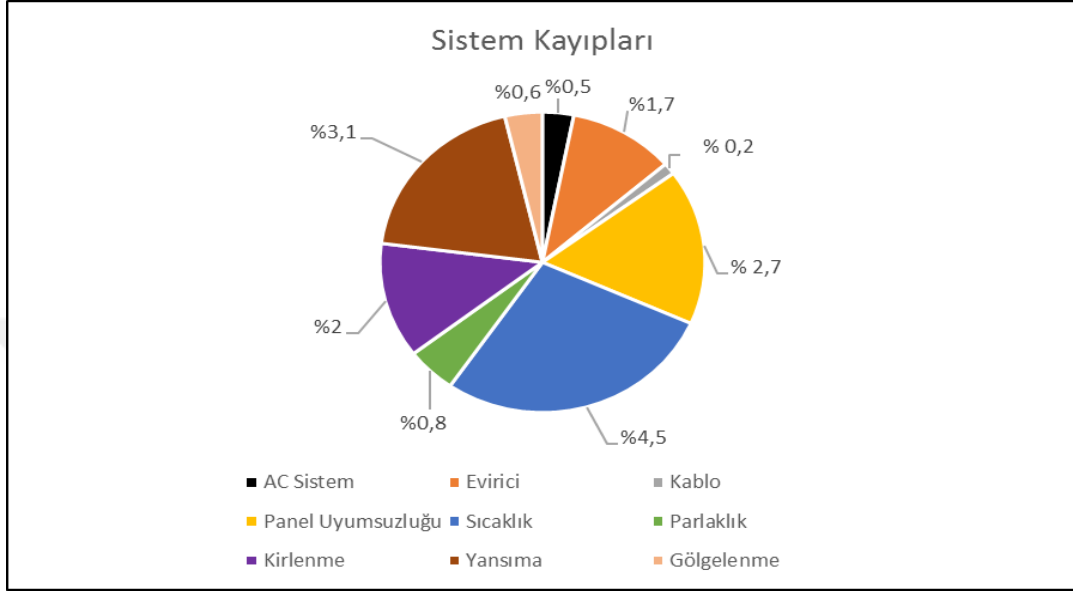
25° eğim açısına sahip GES'in yıllık üreteceği enerji miktarı 25 MWh olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca performans oranı %84.4 olarak hesaplanmıştır. 15° eğim açısına sahip tasarıma göre üretilen yıllık enerji miktarında artış olmasının sebebi; 25° eğim açısına sahip panellerin, güneş ışınlamından daha fazla yararlanmasıdır. Yıllık enerji üretim miktarı artarken performans oranı artmamış, bir miktar azalmıştır. Performans oranındaki bu değişimin nedeni; paneller daha dik konumlu olduğundan gölgelenme oluşturup, panellerin birbiri üzerine gölge düşürmesinden kaynaklanmıştır. 25° eğim açısına sahip panellerin sistem metrikleri Şekil 28'de gösterilmiştir.

Sistem Metrikleri		PDF	CSV
Dizayn	25 derece		
Modül DC İsim Plakası	18.0 kW		
İnvertör AC İsim Plakası	18.7 kW Yük Oranı: 0.96		
Yıllık Üretim	25.00 MWh		
Performans oranı	% 84,4		
kWh / kWp	1.389,0		
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)		
Simülatör Sürümü	a0c5d46b32-7a6147211c-a0dad6a18f-574e86d866		
Gölge Raporu	Gölge Raporunu Görüntüle		

Şekil 28. 25° eğim açılı panellerin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı

Bu tasarımda 15° eğim açısına sahip tasarıma göre gölgeleme kayıplarının arttığı Şekil 29'dan anlaşılmaktadır. 15° eğimli tasarımda gölgelenme kayıpları %0.2 iken 25° eğim açılı tasarımda %0.6'dır. Bu durum, 25° eğimle yerleştirilen güneş panellerinin

birbiri üzerine daha fazla gölge yapmasından kaynaklanmıştır. Daha eğimli konumlandırılan panellerin güneş ışınlamından yararlanma süresi ve miktarı arttığından yansıma kayıpları azalmıştır. Performans oranı ve üretilen enerjideki farklılıklar bu kayıplardan kaynaklanmıştır. 25° eğim açılı sistem kayıplarının dağılımı Şekil 29’da gösterilmiştir.



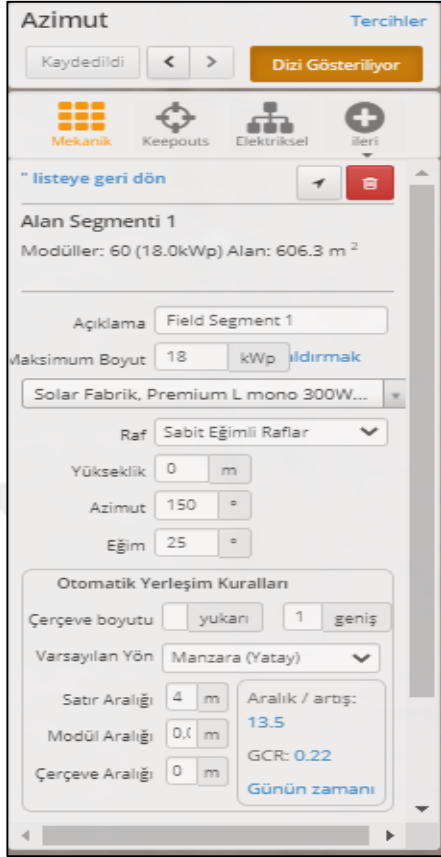
Şekil 29. 25° eğim açısına sahip GES’te oluşan güç kayıplarının dağılımı

3.2.3. Azimut Açısına Göre Analiz

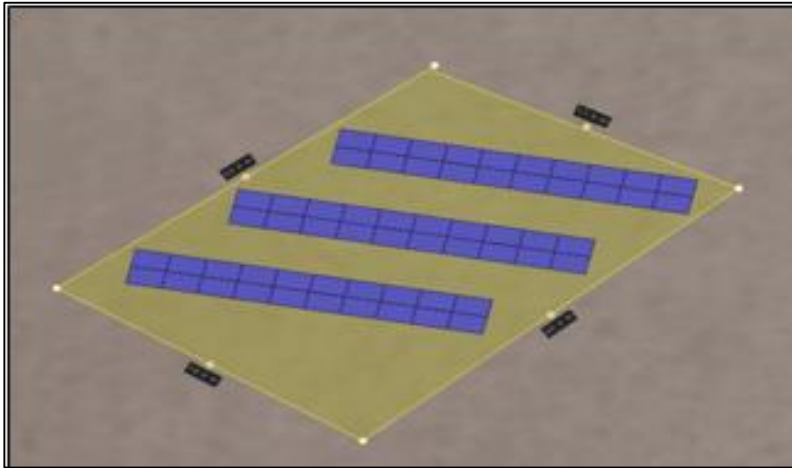
Güneş panellerini konumlandırırken dikkate alınan azimut açısı; güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümünün, kuzey–güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıya denir (Aksangör, 2019). Bazı çalışmalarda güney doğrultusu için azimut açısı 0° kabul edilirken bazı çalışmalarda ise azimut açısı 180° kabul edilir. Bu çalışmada azimut açısı, güney yönü için 180° kabul edilmiştir. Yani güney yönü ile yapılan açı 180° olan panellerin en yüksek verimle çalıştığı varsayılarak çalışmalar yapılmıştır (Tozlu, 2004). Azimut açısının GES’leri nasıl etkilediğini anlamak, performans oranı ve üretilen enerji değerlerini yorumlamak için iki farklı tasarım yapılmıştır.

Güneş enerji sistemlerinde azimut açısının etkisini değerlendirmek için azimut açısı 180° olan Şekil 27’deki tasarımın konum bilgileri, arazi yapısı, panel katalog bilgileri ve gücü, evirici bilgileri aynı kalacak şekilde sadece azimut açısını 150° ayarlayarak benzetim gerçekleştirilmiştir. Sistem tasarımı için veri girişi ekranı Şekil 30’da gösterilmiş olup, güneş panellerinin kaplayacağı alan, panel satır aralığı, güneş paneli tipi vb. bilgiler görülmektedir. Güneş enerji sistemlerinde panellerin güney yamaca bakacak

şekilde tasarımını yapmak, güneşten en iyi şekilde yararlanmayı sağlar. Azimut açısı 150° tasarımın sembolik görüntüsü Şekil 31’de gösterilmiştir.



Şekil 30. 150° azimut açısına sahip tasarımın veri giriş ekranı



Şekil 31. 150° azimut açısına sahip tasarımının sembolik görüntüsü

Azimut açısı 150° ayarlandığında sistemin yıllık öngörülen üretim miktarı 24.58 MWh ve performans oranı %84.4 olarak hesaplanmıştır. Şekil 28’de verilen azimut açısı 180° olan sistem ile azimut açısı 150° olan sistem için tüm veri girişleri aynı olup tek farklı parametre azimut açısıdır. Azimut açısı parametresinin, performans oranını nasıl

etkilediğini belirlemek için yapılan tasarımda yıllık üretilen enerji miktarı dışında pek farklılıkların olmadığı sonucuna varılmıştır. Bir önceki tasarım örneği olan 180° azimut açılı sistemin güney ile tam doğrultulu olduğu ve güneş ışınlımından maksimum şekilde yararlanabildiği görülmüş ve böylece yıllık üretilen enerji miktarı, 150° azimut açısına sahip sistemden daha fazla olmuştur. 180° azimut açılı tasarımda yıllık üretilen enerji miktarı 25 MWh iken 150° azimut açılı tasarımda bu değer 24.5 MWh olarak öngörülmüştür. Performans oranı değerlerinin ise her iki tasarımda da %84.4 olarak hesaplanmıştır. Performans oranı değerlerinin değişmemesi sistem kayıplarının aynı parametrelere bağlı olduğu ve yaklaşık aynı değerlerde hesaplandığı sonucunu çıkarmıştır. Yıllık üretilen enerji miktarındaki farklılıkların sebebinin ise azimut açısına bağlı olduğu, güney ile yapılan açının sistemin ürettiği enerjiyi etkilemesinden kaynaklandığını göstermiştir. Şekil 32’de 150° azimut açısına sahip sistemin yıllık enerji üretimi, spesifik enerji ve performans oranı değerleri gösterilmiştir.

Sistem Metrikleri		PDF	CSV
Dizayn	Azimut		
Modül DC İsim Plakası	18.0 kW		
İnvertör AC İsim Plakası	18.7 kW Yük Oranı: 0.96		
Yıllık Üretim	24,58 MWh		
Performans oranı	% 84.4		
kWh / kWp	1.365,4		
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)		
Simülasyon Sürümü	a0c5d46b32-7a6147211c-a0dad6a18f-574e86d866		
Gölge Raporu	Gölge Raporunu Görüntüle		

Şekil 32. 150° azimut açısına sahip sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı değeri

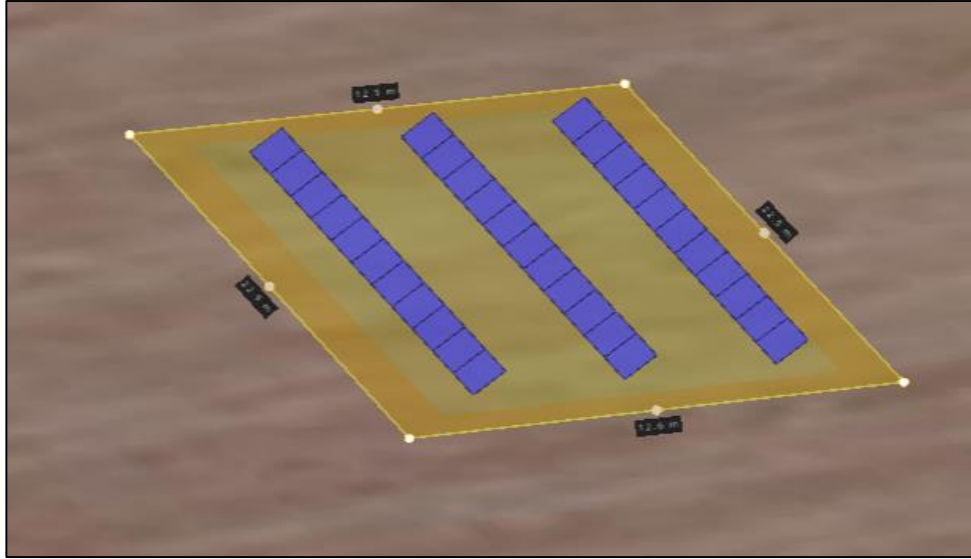
3.2.4. Konum Farkına Göre Analiz

Konum farkı, paneller için gerekli güneş ışınlımının farklı değerlerde olmasından dolayı kurulan sistemlerin veriminin, performans oranı değerinin, yıllık enerji üretiminin farklı olmasına sebep olur. Bir başka ifadeyle performans oranını etkileyen bir diğer parametre santralin kurulduğu konumdur. HelioScope programı ile tasarım yapılarak farklı iki şehirdeki eşdeğer GES örnekleri için performans karşılaştırması yapılmıştır. Bu amaçla GES’lerin konumu ülkemizin güneyinde bulunan Şanlıurfa ve tam kuzeyde yer

alan Trabzon şehri referans alınmıştır. Bu seçim yapılırken farklı enlem ve güneş enerji potansiyel haritasına göre farklı ışıınım değerlerine sahip olan iki il tercih edilmiştir.

3.2.4.1. Şanlıurfa Mevkii için Analiz

Tasarım adresini Şanlıurfa-Ceylanpınar mevkii girerek, boş araziye gömme montaj tasarım tipi seçerek, 25° eğim açısına sahip güneş panelleri tam güneye bakacak şekilde yani azimut 180° olacak şekilde dizilmiştir. 10 kW güce sahip GES'te kullanılacak paneller için Tablo 1'deki güneş paneli tercih edilmiştir. Evirici ise Tablo 1'deki evirici tercih edilmiş fakat gücü 10 kW seçilmiştir. 25° sabit eğim ile güneye bakacak şekilde dizilen 33 adet güneş paneli birbirine gölge düşürmeyecek şekilde belirli aralıklarla yerleştirilmiştir. Şekil 33'te Şanlıurfa ili için tasarlanan sistemin sembolik görüntüsü verilmiştir.



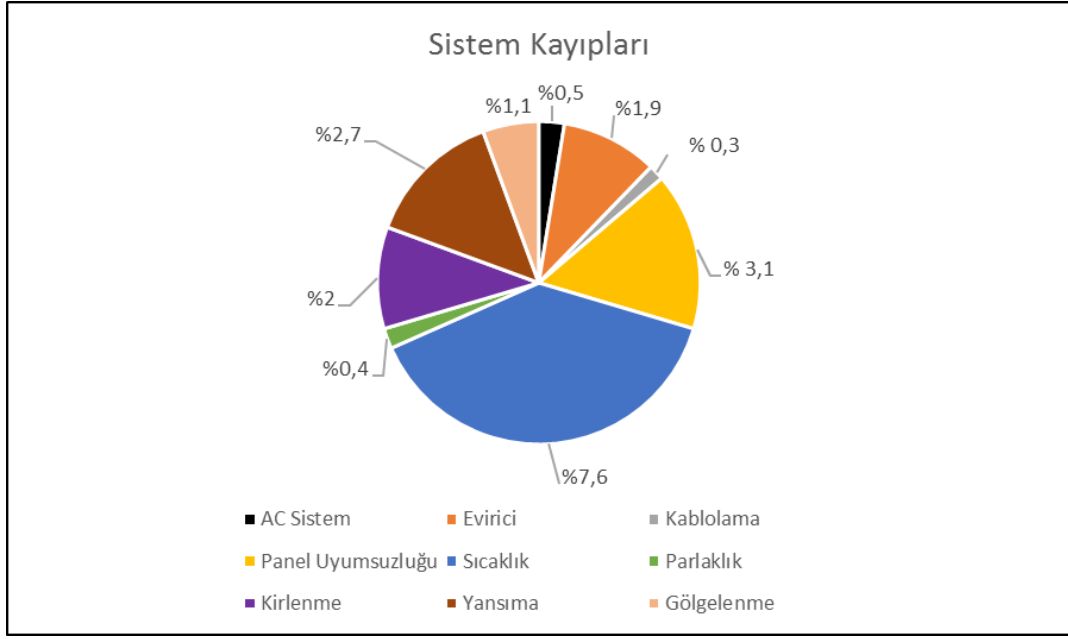
Şekil 33. Şanlıurfa ili için yapılan GES tasarımının sembolik görüntüsü

Şanlıurfa ili için tasarımı yapılan sistemin yıllık öngörülen enerji üretim değeri 16.67 MWh ve performans oranı değeri %82'dir. HelioScope programının meteorolojik veri tabanı referans alındığında, ortalama 22.9 °C ortam sıcaklığına sahip Şanlıurfa ilinin sıcaklığının yüksek olması ve panellerin çalışma sıcaklığını etkilemesinden dolayı sistem performansı düşmüştür. Şekil 34'te Şanlıurfa'da tasarlanan sistem için sistem metrikleri gösterilmiştir.

Sistem Metrikleri	
Tasarım (değiştir kaynağı değiştir)	Tasarım 1
Modül DC İsim Plakası	9,90 kW
İnvertör AC İsim Plakası	10.00 kW Yük Oranı: 0.99
Yıllık Üretim	16.67 MWh
Performans oranı	% 82.0
kWh / kWp	1.683,5
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simülatör Sürümü	74229d5799-f58a9b0c56-a978769182-27e179afda

Şekil 34. Şanlıurfa’da tasarlanan sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı

Şanlıurfa konumlu tasarlanan GES’in yıllık üretilen enerji değeri fazla iken performans oranı değerinin çok yüksek olmadığı görülmüştür. Bunun temel sebebi, sistem kayıplarından ötürü bazı parametrelerin performans oranını etkilemesidir. Performans oranını etkileyen en önemli parametrenin sistem sıcaklığı olduğu ve bu kaybın %7.6 civarında olduğu Şekil 35’te görülmektedir. Ortam sıcaklığı yüksek olan Şanlıurfa-Ceylanpınar’da güneş paneli çalışma sıcaklığı da sistemi etkilediğinden sıcaklık kaybı fazla olmaktadır. Program çıktılarına göre panel çalışma sıcaklığı ortalama 33.6°C hesaplanmış ve meteorolojik verilere göre hesaplanan 22.9°C ortam sıcaklığına göre çok yüksek olduğu görülmüştür. Güneş ışıınının fazla olması istenirken ortam sıcaklığının aşırı artması panel çalışma sıcaklığını etkilediğinden kayıpları arttırmıştır. Ortam sıcaklığı, panel çalışma sıcaklığını etkilerken paneller arası uyumsuzluk kayıplarına da sebep olmuştur. Şekil 35’te Şanlıurfa konumlu tasarımı yapılan sistemin kayıp dağılımı gösterilmiştir.

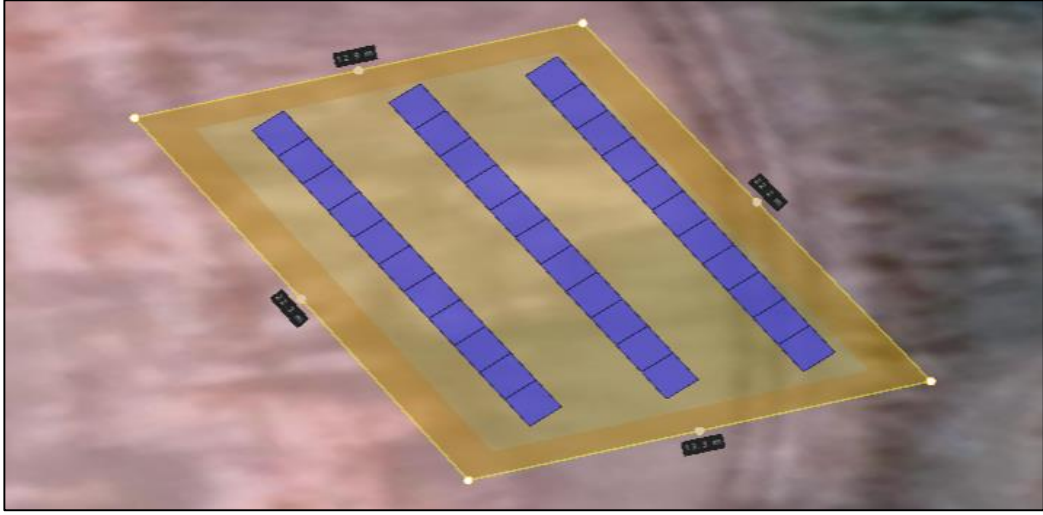


Şekil 35. Şanlıurfa konumlu tasarımı yapılan sistemin kayıp dağılımı

3.2.4.2. Trabzon Mevkii için Analiz

Konumu Şanlıurfa'ya göre daha kuzeyde olan Trabzon ili seçilerek, konum farklılıklarının FV sistemleri nasıl etkilediği tasarım yapılarak değerlendirilmiştir. Trabzon'da bulutlu gün sayısının fazla olması ve güneşli gün sayısının az olması sebebiyle Trabzon'da aynı özelliklerde kurulacak FV sistemin üreteceği gücün daha az olacağını öngörmek mümkündür. Şanlıurfa ili için yapılan tasarımın aynısı Trabzon ili için tekrarlanmıştır.

Şanlıurfa'ya göre daha eğimli araziye sahip olan Trabzon ili için tasarım yapılırken daha büyük alan tercih edilmiştir. Panellerin kurulacağı alan Şanlıurfa'da 300.5 m² iken Trabzon için 337.5 m²'dir. Tasarım alanına 25° eğime sahip, tam güneye bakacak şekilde, 3 sıra halinde, toplam 33 adet güneş paneli yerleştirilmiştir. Araziye yerleştirilen GES'in güneş paneli içeren sembolik görüntüsü Şekil 36'da gösterilmiştir.



Şekil 36. Trabzon ili için yapılan GES tasarımının sembolik görüntüsü

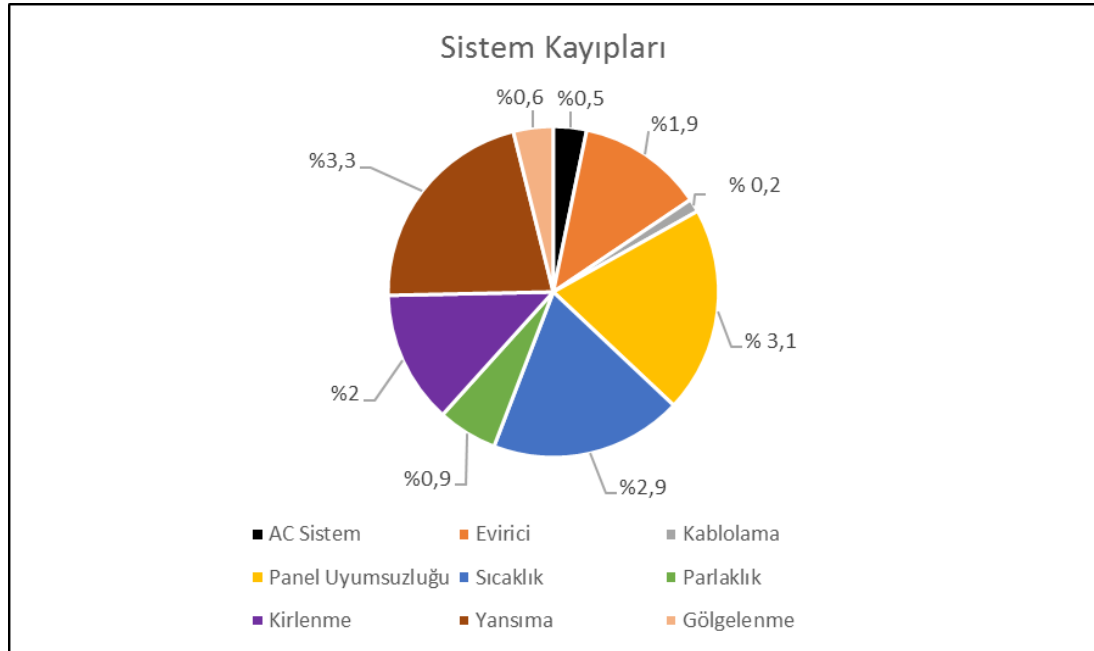
Trabzon ili için tasarımı yapılan GES'in yıllık 12.2 MWh enerji üretimi tahmin edilmektedir. Bu değer Şanlıurfa ili için yapılan tasarıma göre daha düşüktür. Bunun temel sebebi, Trabzon'da ortalama güneş ışınım değerinin daha düşük ve bulutluluk oranının daha fazla olmasıdır. Performans oranının ise %85.6 değerinde hesaplandığı ve Şanlıurfa'da yapılan tasarıma göre performans oranı değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şanlıurfa'daki hava sıcaklığının 22.9°C, Trabzon'daki hava sıcaklığından 17.7°C olması, panel çalışma sıcaklığını etkilemiştir. Panel çalışma sıcaklığı arttıkça sistemin performans oranını düşürmüştür. Şekil 37'de Trabzon ili için tasarlanan sistemin metrikleri verilmiştir.

Sistem Metrikleri	
Tasarım (değiştir kaynağı değiştir)	Tasarım 1
Modül DC İsim Plakası	9,90 kW
İnvertör AC İsim Plakası	10.00 kW Yük Oranı: 0.99
Yıllık Üretim	12.20 MWh
Performans oranı	% 85.6
kWh / kWp	1.231,9
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, Trabzon, Türkiye, null (özel)
Simülatör Sürümü	74229d5799-f58a9b0c56-a978769182-27e179afda

Şekil 37. Trabzon konumlu GES'in sistem metrikleri (yıllık ürettiği enerji ve performans oranı)

İki farklı konum için yapılan eşdeğer tasarımda üretilmesi öngörülen enerji miktarı ve yıllık ortalama performans oranı değerleri, güneş ışıınımı ve sıcaklık gibi temel parametrelere çok bağlıdır. Şekil 35'te ve Şekil 38'de verilen sistem kayıp dağılımları incelendiğinde; Şanlıurfa konumlu tasarımda sıcaklık kayıplarının çok fazla olduğu görülürken Trabzon'da sıcaklık kayıplarının daha az olduğu görülmüştür. Şanlıurfa'da yapılan tasarım için sıcaklık kayıpları %7.6 iken bu kayıp değeri Trabzon'da %2.9 olmuştur. Bu durumun temel sebebinin ise ortam sıcaklığının panel çalışma sıcaklığını etkilemesidir. Ortalama 17.7°C ortam sıcaklığına sahip Trabzon ilinde sistemin panel çalışma sıcaklığı 25.2°C olarak belirlenmiştir. Şanlıurfa'ya göre daha düşük değerde olan panel çalışma sıcaklığı Trabzon ilinin performans oranının yüksek olmasını sağlamıştır.

Güneş ışıınım değerinin yüksek olduğu Şanlıurfa ilinde yıllık üretilen enerji fazla iken güneş ışıınım değerinin düşük olduğu Trabzon'da yıllık üretilen enerji daha az olmuştur. Yıllık ortalama güneş ışıınım değerleri Şanlıurfa'da 1937 kWh/m², Trabzon için 1357.4 kWh/m²dir. Güneş ışıınım miktarları verilen bu şehirlerde daha yüksek değerli Şanlıurfa için gölgeleme kayıplarının fazla olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme kayıpları Şanlıurfa için %1.1 iken Trabzon'da ise %0.6'dır. Yansıma kayıpları ise güneş ışıınım değerinin yüksek olduğu Şanlıurfa'da daha az olmuşken bulutlu gün sayısının fazla olduğu Trabzon'da daha çok olmuştur. Şekil 38'de Trabzon konumlu tasarımı yapılan sistemin kayıpları gösterilmiştir.



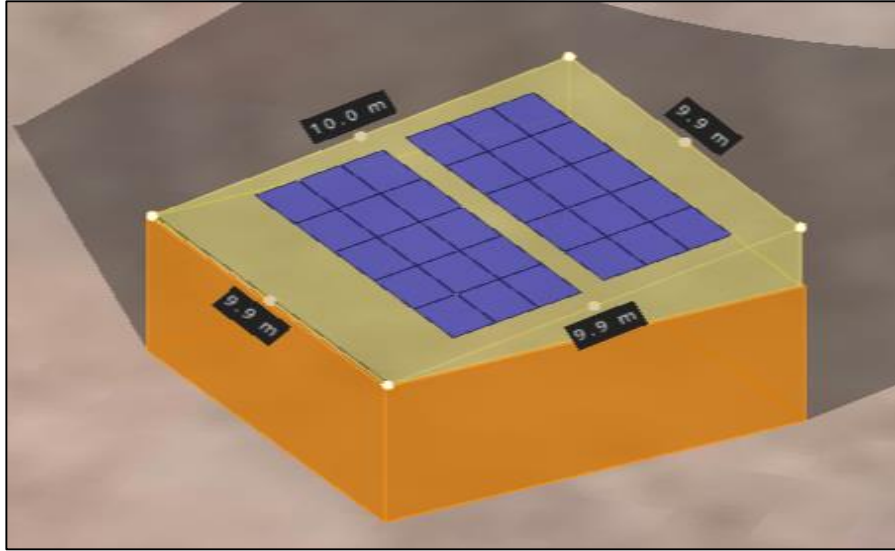
Şekil 38. Trabzon konumlu tasarımı yapılan sistemin güç kaybı dağılımı

3.2.5. Gölge Etkisine Göre Analiz

Güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışınimleri bina, tesis, ağaç gibi panellere gölge oluşturabilecek etkenler sebebiyle FV sistemlerde verimsizlik oluşturabilir. Gölge etkisi, güneş ışınımından tam olarak yararlanmayı engeller ve FV sistemlerin yıllık ürettiği enerjiyi azaltır ve performans oranı değerini düşürür. Bu çerçevede gölgelenme etkisinin bir GES'i nasıl etkilediğini belirlemek için iki farklı tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımların birinde gölgelenmenin olduğu varsayılmış diğerinde ise gölgelenme oluşmayacak şekilde planlama yapılmıştır.

3.2.5.1. Gölge Almayan GES için Analiz

Gölge etkisini incelemek için yapılan tasarım Bayburt ili referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Çatı tipi tasarıma göre gölge etkisi inceleneceğinden bina çatısına paneller dizilmiştir. Tablo 1'deki panel ve evirici modeli tercih edilmiştir. Gerekli alanda toplam 9 kW panel gücü için 30 adet panele ihtiyaç duyulmuştur. Sistem gücü 9 kW olduğundan evirici gücü 10 kW olarak seçilmiştir. Bina çatısına yapılan tasarımda panel eğim açısı 10° olacak şekilde ayarlanmıştır. HelioScope programı aracılığıyla tasarımı yapılan gölgesiz sistemin sembolik görünüşü Şekil 39'da gösterilmiştir.



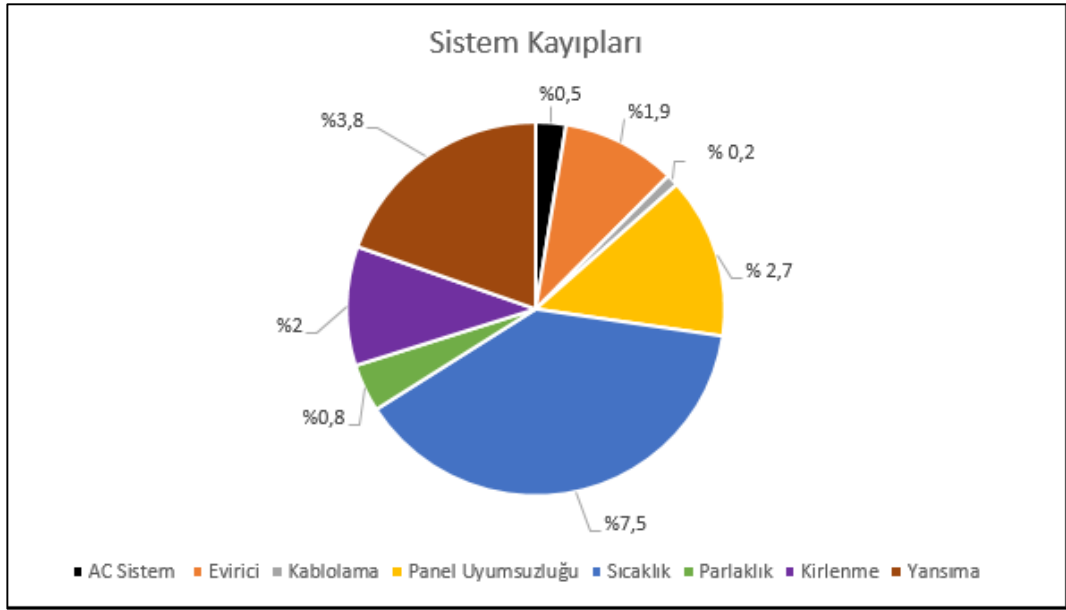
Şekil 39. Gölge almayan örnek bir çatı tipi GES'in sembolik görünüşü

Bayburt ili yıllık güneş ışınım değerinden yararlanarak belirlenen santralin gücüne göre üretilen enerji 11.77 MWh öngörülmüştür. Çatıya monte edilen ve gölge etkisi olmayan güneş panellerinin performans oranı %82 olarak hesaplanmıştır. Şekil 40'ta gölge almayacak şekilde tasarlanan GES'in yıllık ürettiği enerji ve performans oranının gösterildiği ekran gösterilmiştir.

Sistem Metrikleri	
Tasarım (değiştir kaynağı değiştir)	Tasarım 1
Modül DC İsim Plakası	9,00 kW
İnvertör AC İsim Plakası	10.00 kW Yük Oranı: 0.90
Yıllık Üretim	11.77 MWh
Performans oranı	% 82.0
kWh / kWp	1.307,6
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simülatör Sürümü	74229d5799-f58a9b0c56-a978769182-27e179afda

Şekil 40. Gölge almayan GES'in yıllık ürettiği enerji ve performans oranı

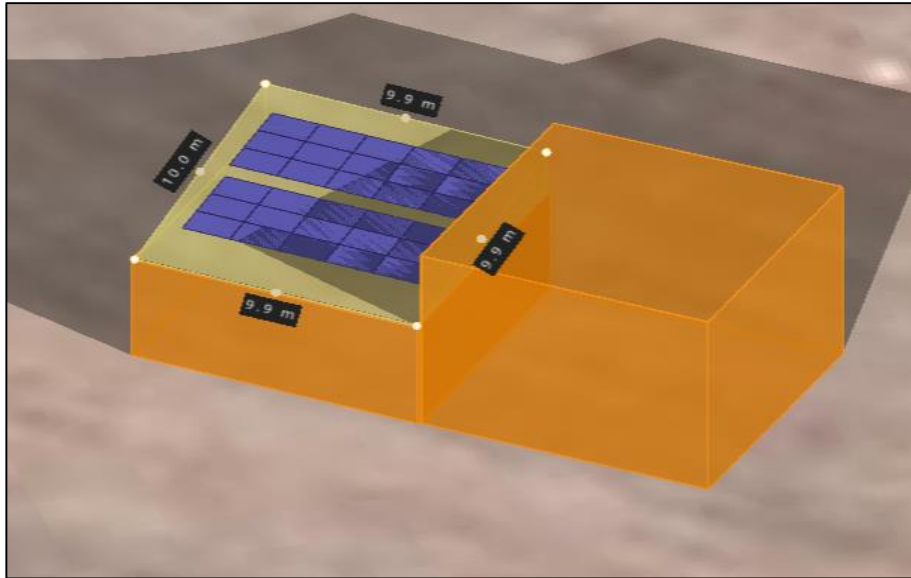
Bayburt ilinin meteorolojik verileri baz alınarak bina çatısına monte edilen GES'in performans oranını ve sistem verimini etkileyen bazı kayıplar vardır. Gölgenin oluşmadığı sistemde analiz sonuçları incelendiğinde sıcaklık etkisine bağlı kayıpların diğer kayıplara göre daha fazla olduğu Şekil 41'de görülmektedir. Bina çatısına monte edilen güneş panelleri enerji üretirken ısınır ve sistemin çalıştığı ortama ısı verir. Bu fazla ısı, güneş panellerinin çalışmasını etkiler ve sistemin verimini düşürür. Gölge etkisi olmadığı için gölgelenme kaybı yoktur. Bayburt ilinde güneş ışıınım değeri yüksek olduğundan panelin yansıtacağı ışık değeri azalır. Parlaklık kaybı %0.8 olurken yansıma kaybı %3.8 civarında hesaplanmıştır. Şekil 41'de gölgenin oluşmadığı sistem kayıplarının dağılımı ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 41. Gölgenin oluşmadığı GES için kayıp güçlerin dağılımı

3.2.5.2. Gölgeleyen GES için Analiz

Gölge etkisinin olmadığı tasarım ile kıyaslama yapılabilmesi için aynı elektriksel özelliklere sahip GES Helioscope'da tasarlanmıştır. Bunun için güneş panelleri üzerinde gölge oluşturacak bir yapı oluşturulmuştur. Şekil 42'de bu ilave yapı ve güneş panelleri üzerinde oluşan gölgelenme etkisi görülmektedir.



Şekil 42. Gölgeleyen GES için tasarım görüntüsü

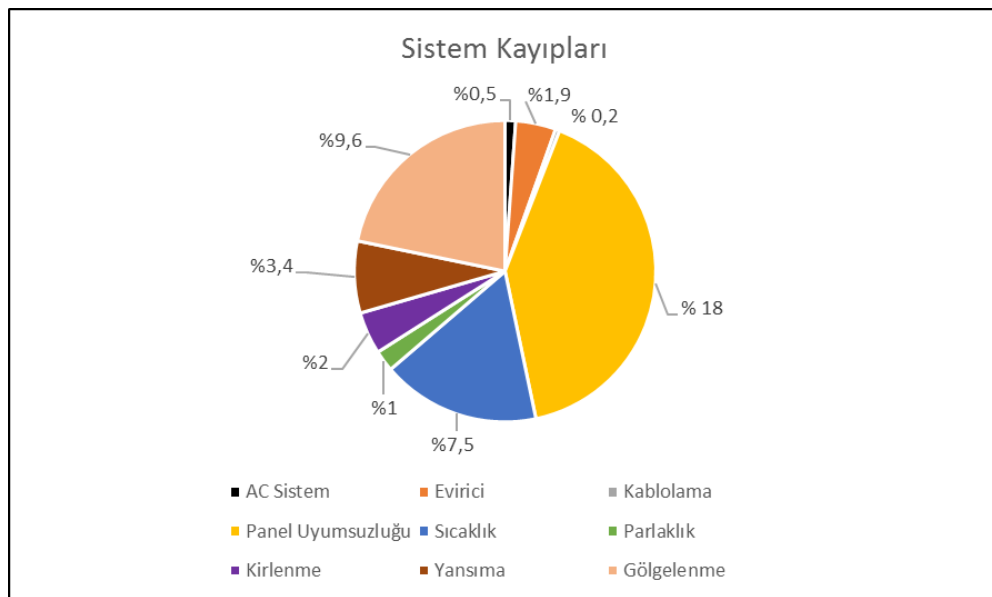
Şekil 42'de verilen gölgelenmiş GES tasarımının sistemi nasıl etkilediğini görmek için sistem metriklerine bakılmıştır. Yıllık üretilen enerji değeri 8.99 MWh ve performans oranı %62.7 olarak hesaplanmıştır. Gölgenin oluşmadığı tasarıma göre performans oranı

ve yıllık üretim değerinin azaldığı görülmüştür. Şekil 43'te gölge etkisi olan sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı gösterilmiştir.

Sistem Metrikleri	
Tasarım (değiştir kaynağı değiştir)	Tasarım 2
Modül DC İsim Plakası	9,00 kW
İnvertör AC İsim Plakası	10.00 kW Yük Oranı: 0.90
Yıllık Üretim	8,993 MWh
Performans oranı	% 62.7
kWh / kWp	999.2
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simülatör Sürümü	74229d5799-f58a9b0c56-a978769182-27e179afda

Şekil 43. Gölge etkisi olan sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı

Gölgelenen tasarımda oluşan kayıpların, sistem verimini ve performans oranını nasıl etkilediğini görmek için kayıpların nedenlerine detaylı bakılmalıdır. Tasarımı yapılan gölgeli sistemin kayıplarının en çok gölgelenme ve güneş panellerinin gölgelenmeye bağlı uyumsuz çalışma koşullarından kaynaklandığı Şekil 44'te görülmüştür.



Şekil 44. Gölgelenme etkisindeki tasarımda oluşan kayıpların dağılımı

Güneş panellerinin üzerine düşen gölge, %9.6 gölgelenme kaybına sebep olmuş ve sistemin verimini düşürmüştür. Panellerin performansını da düşüren gölge etkisi, güneş ışığından yararlanamayan panellerin enerji üretiminin azalmasına sebep olmuştur. Gölge etkisi, güneş panellerinin uyumsuzluk kaybını da arttırmıştır. Paneller arası uyumsuzluk kaybı, seri bağlı panellere gölge düşmesi durumunda gölge düşen panelin çalışma performansına göre diğer panellerin düşük güçle çalışmasıdır. Düşük güçle çalışan paneller, sistemin verimini düşürmüştür. Bina çatısına kurulan paneller, sistemde sıcaklık kaybı da oluşturmuştur. Şekil 44'te gölgeli tasarım yapılan sistemin kayıpları gösterilmiştir.

3.2.6. Optimizer Kullanımının Performansa Etkisi

Güneş panelleri seri bağlanarak güneş dizileri oluşur ve bu diziler eviriciye bağlanarak enerjinin şebekeye veya AC yüklere aktarılması sağlanır. Seri bağlı güneş panellerinde herhangi bir arıza ya da panele düşen gölgelenme durumunda sistem en az güçte çalışan panele göre çalışır ve bu nedenle üretilen enerji azalır. Gölgelenen panelin çalışma gücü ne ise sistemdeki tüm panellerin çalışma gücü ona göre ayarlanır ve sistem çalışır. Bu durumda sistemin performansı düşer ve panelin üretebileceği enerjiden daha az üretim yapılır. Optimizer kullanılarak bu durumun önüne geçilebilir. Optimizer kullanımı sayesinde güneş panelleri eviriciye bağlanmadan önce optimizere ayrı ayrı bağlanarak panellerin birbirinden bağımsız hale gelmesi sağlanır. Böylece güneş panellerinde maksimum güç üretilir. Bir başka ifadeyle, gölgelenen güneş panelleri düşük akıma sahip elektrik üreteceğinden optimizer kullanarak diğer panellerin performansını azaltmadan üretilen enerjinin maksimize edilmesi sağlanır.

İyileştirici olarak da adlandırılan optimizer, gölgelenme ihtimali küçük veya büyük güçlü GES'lerde sistem kayıpları azaltarak performans oranını artırır. Bir önceki tasarımda anlatılan gölge etkisini azaltmak ve sistemi iyileştirmek için Huawei marka SUN2000P-375W optimizerli evirici kullanılmıştır. Şekil 45'te optimizer etkisini görmek için yapılacak tasarımın veri girişi gösterilmiştir.

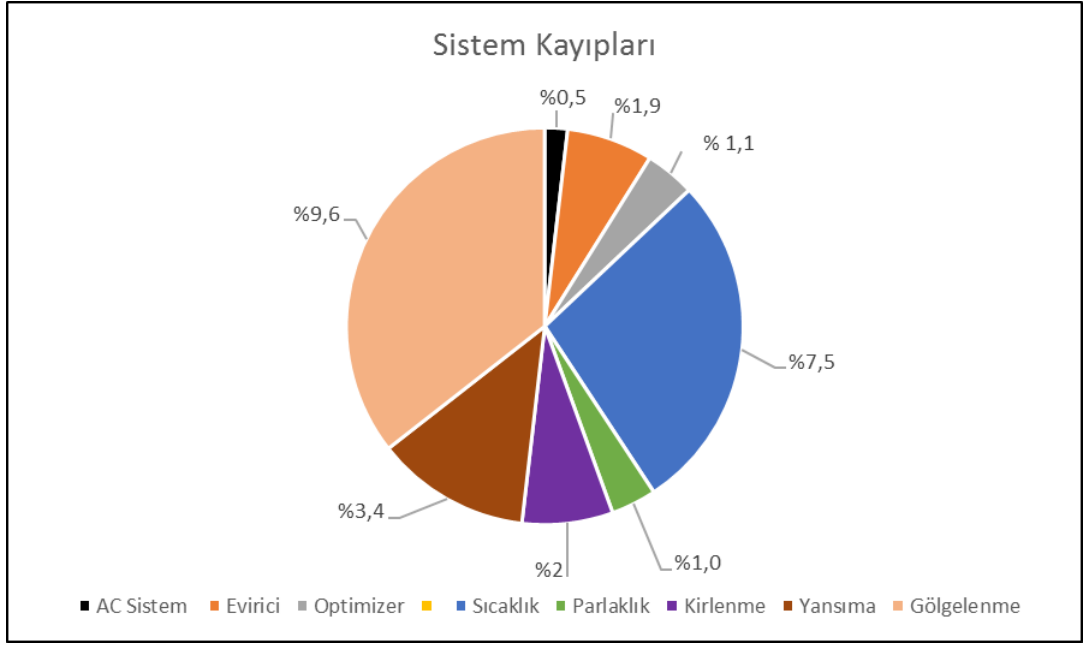
Şekil 45. Optimizer tasarımı yapılan sistemin veri giriş ekranı

Optimizer bağlanan güneş panelleri birbirinden bağımsız hale gelir ve gölge etkisi olsa bile diğer paneller kendi güçlerini maksimum seviyede tutar. Gölge etkisi olan sistemin yıllık ürettiği enerji 8.99 MWh iken optimizer etkisiyle yıllık ortalama 10.87 MWh enerji üretilmiştir. Gölge etkisinden bahsedilen tasarımın performans oranı %62.7 değerindeyken, optimizer bağlanan sistemin performansı %75.8'lere yükselmiştir. Gölge düşen seri bağlı güneş panellerine optimizer bağlanarak, seri bağlı sistem bağımsız hale getirilmiş, her bir panelin ayrı üretim yapması sağlanmış ve yıllık üretim-performans oranı değeri iyileştirilmiştir. Şekil 46'da optimizer bağlantısı yapılan sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı değeri görülmektedir.

Sistem Metrikleri	
Tasarım (değiştir kaynağı değiştir)	optimize edici
Modül DC İsim Plakası	9,00 kW
İnvertör AC İsim Plakası	10.00 kW Yük Oranı: 0.90
Yıllık Üretim	10.87 MWh
Performans oranı	% 75,8
kWh / kWp	1.207,8
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simülasyon Sürümü	74229d5799-f58a9b0c56-a978769182-27e179afda

Şekil 46. Optimizer bağlantısı yapılan sistemin yıllık ürettiği enerji ve performans oranı

Gölgelenme olan sisteme optimizer bağlantısı yapılarak sistemdeki kayıpların değişimi Şekil 47’de verilmiş olup, gölgelenme kayıplarının oluşmadığı görülmektedir. Optimizerin dâhil edilmesiyle güneş panellerinin bir bölümünün gölgelendiği sistemde enerji üretimi artmıştır. Optimizer bağlantısı olmayan gölge etkili tasarımdaki kayıpların, optimizer bağlantısı olduktan sonra nasıl değiştiğinin detaylarına bakılırsa panellerin uyumsuzluk kaybı ortadan kalkmıştır. Bunun nedeni; optimizer olmayan sistemlerde, seri bağlı paneller arası uyumsuzluk kaybı fazla iken optimizer bağlantısı yapıldıktan sonra panellerin birbirini etkilemesi söz konusu değildir. Gölgelenme olan sisteme optimizer bağlanarak yeni oluşturulan tasarımda ekstra optimizer kaybı da meydana gelmiştir. Optimizer bağlantısı yapılan sistemin kayıp dağılımı Şekil 47’de gösterilmiştir.

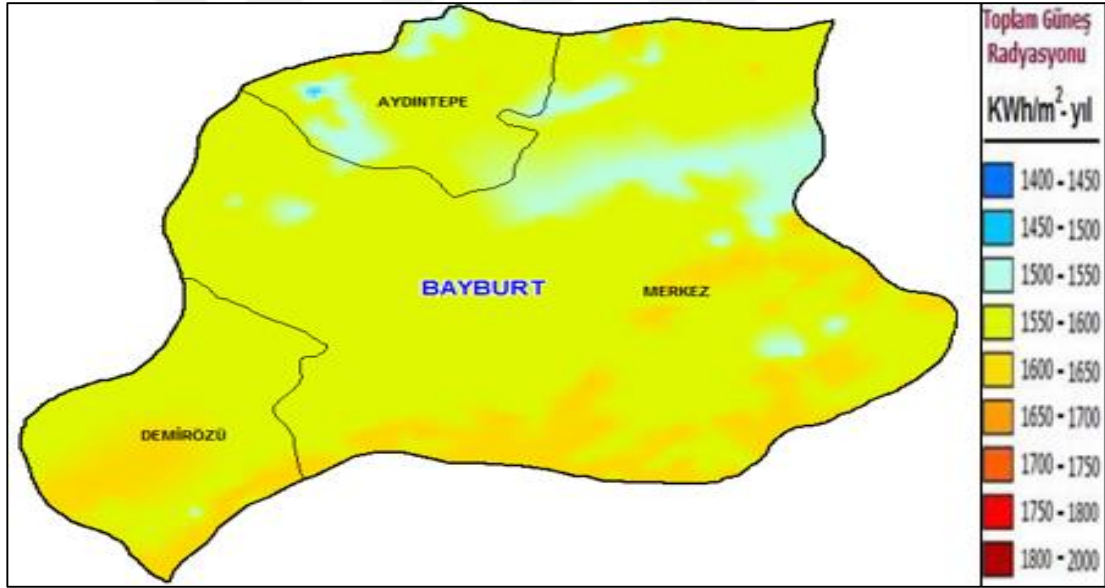


Şekil 47. Optimizer bağlantısı yapılan sistemin kayıpları

4. BULGULAR

4.1. Bayburt İli Güneş Enerji Potansiyeli

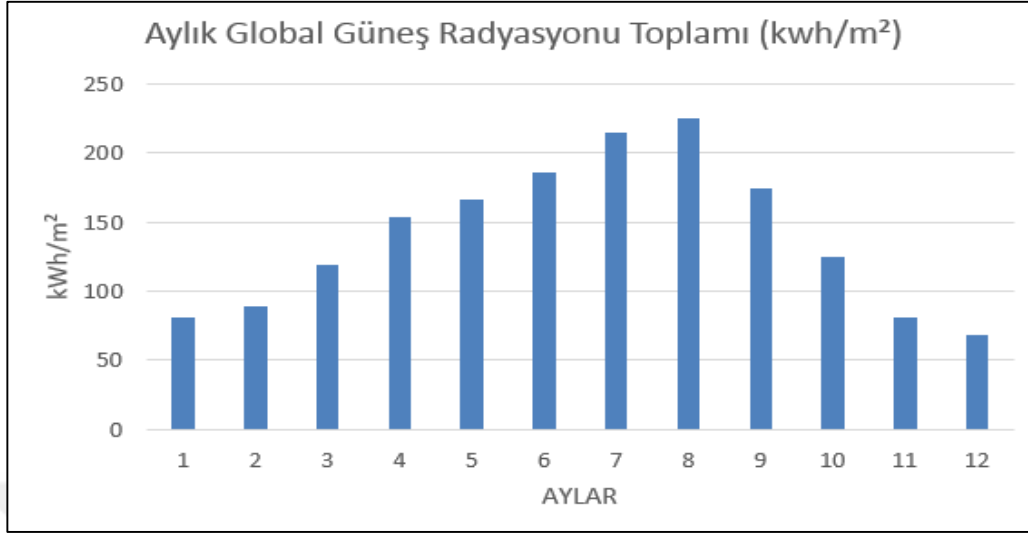
Güneşlenme süresi ve güneş ışıınım değerleri, kurulacak güneş enerji santrallerinin verimli çalışmasını etkileyen en önemli parametrelerdendir. GES'ler, temelde bulundukları konumun güneş ışıınım değerlerine bağlı olarak üretim kapasitesi tahmin edilebilen ve üretimleri meteorolojik verilere bağlı olan enerji üretim sistemleridir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen verilere göre Bayburt ili genelinde güneş enerji potansiyelinin yüksek olduğu değerlendirilebilir. Sayısal olarak Bayburt ili yıllık toplam güneş radyasyon değeri 1500-1750 kWh/m² arasında değişkenlik göstermektedir. Demirözü ve Merkez mevkide 1700 kWh/m²'ye ulaşan radyasyon değerleri elde edilebilmektedir. Şekil 48'de Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Bayburt ili için güneş enerji potansiyel haritası gösterilmiştir (URL-9, 2020).



Şekil 48. Bayburt ili güneş enerjisi potansiyel haritası

Bir GES için, üretilebilecek enerjinin tahmin edilmesi birçok parametreye bağlı olup, değişkenlik gösteren bir durum olarak düşünülmelidir. Bu parametreler temelde aylık/yıllık global güneş radyasyonu toplamı, aylık/yıllık ortalama güneşlenme şiddeti, aylık/yıllık toplam güneşlenme süresi değerleridir. Bayburt ili için Bayburt Meteoroloji İl Müdürlüğünden alınan verilere göre güneş radyasyon toplamının en fazla ağustos ayında 224.9 kWh/m² değerinde, güneş radyasyon toplamının en az aralık ayında 68.9

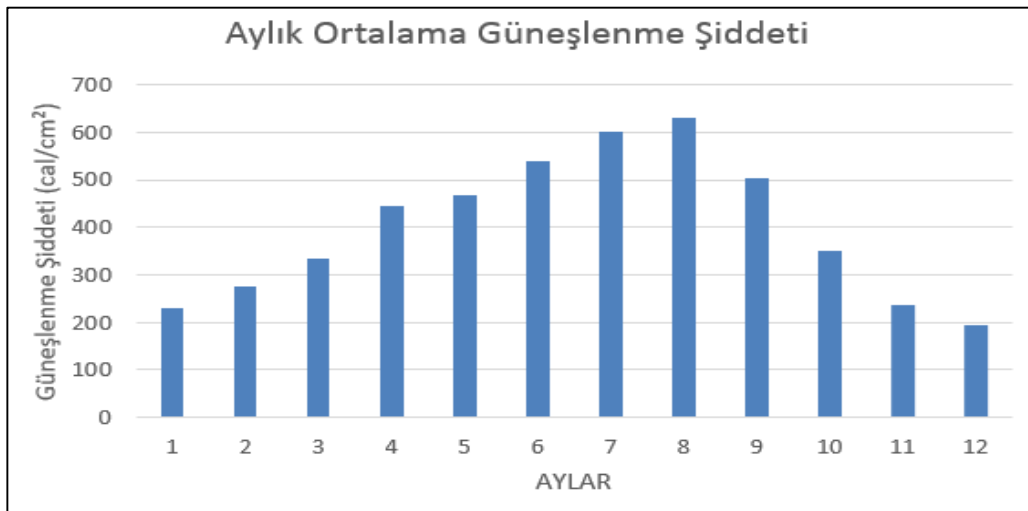
kWh/m² değerinde olduğu tespit edilmiştir. şekil 49’da Bayburt şehri için aylık global güneş radyasyon grafiği gösterilmiştir.



şekil 49. Aylık global güneş radyasyonu toplamı

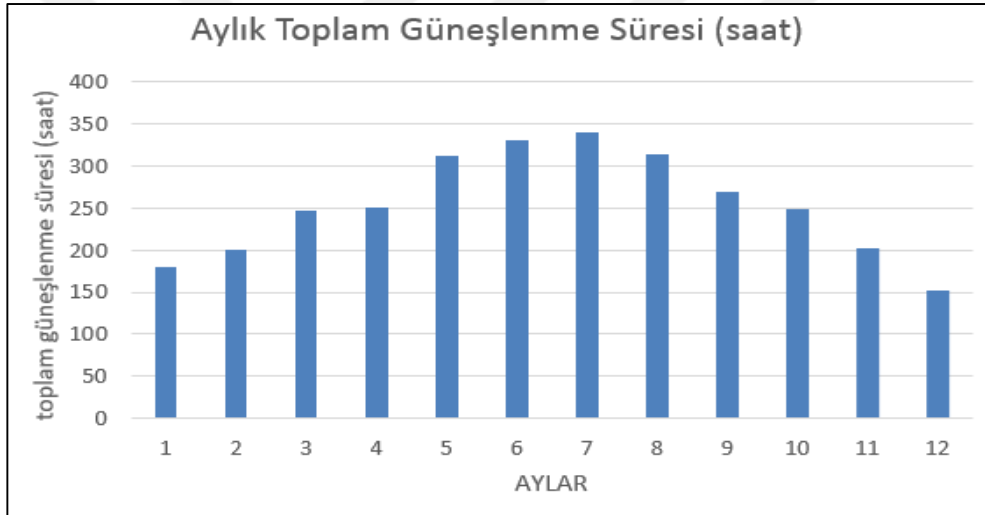
Saniyelik llen güneşlenme şiddeti verilerinden yararlanılarak dakikalık ortalama güneşlenme şiddeti belirlenir. Daha sonra günün toplam güneşlenme süresi ile günlük güneşlenme şiddeti hesaplanır. Her gün için hesaplanan değerlerden aylık ortalama güneşlenme şiddeti verileri bulunur (Arslan vd., 2016).

Bayburt istasyonundan llen, Bayburt Meteoroloji İl Müdürlüğünden alınan verilere göre güneşlenme şiddetinin cal/cm² olduğu grlmştir. Ağustos ayında ortalama 629 cal/cm² değerle en fazla güneşlenme şiddeti ölçülürken aralık ayında ortalama 194.3 cal/cm² değerle en az güneşlenme şiddeti llmştir. Bayburt ilinin aylara göre ortalama güneşlenme şiddeti şekil 50’de gösterilmiştir.



şekil 50. Aylık ortalama güneşlenme şiddeti

Dünya Meteoroloji Örgütü'nün tanımına göre güneşlenme süresi; belirli bir zaman aralığında birim alana doğrudan ulaşan güneş ışınımının 120W/m^2 'yi geçtiği süredir. Bu süre herhangi bir konum için günlük, aylık veya yıllık olarak hesaplanabilir. Güneşlenme süresinin uzun olması güneş enerji santrallerinin daha fazla enerji üretmesini sağlar. Yaz aylarında daha uzun olan güneşlenme süresi, santralin fazla enerji üretmesini sağlar. Kış aylarında güneşlenme süresi azalsa bile Türkiye, orta kuşak ülkesi olduğu için santralin çalışabilmesi için yeterli süre vardır. Meteoroloji İl Müdürlüğü'nün Bayburt istasyonundaki ölçüm sonuçlarına göre toplam güneşlenme süresi en fazla temmuz ayı için 340.4 saat olarak hesaplanmıştır. Bayburt ili için en düşük güneşlenme süresi, 152.1 saat ile aralık ayında gerçekleşmiştir. Şekil 51'de Bayburt ili aylık toplam güneşlenme süresi grafiği verilmiştir.



Şekil 51. Aylık toplam güneşlenme süresi

4.2. Bayburt Güneş Enerji Santrali

Bayburt ili Danişment Köyü mevkiinde bulunan özel bir şirkete ait olan güneş enerji santrali şebeke bağlantılı olup, 6 MW kurulu gücündedir. Büyük açık araziye kurulan santral 6 transformatöre sahiptir. 1250 kVA gücünde olan transformatörlerin ürettiği enerji şebekeye aktarılır. Santralin enerji üretiminde kullanılan güneş panelleri; Solar Fabrik marka, standart test koşullarında (1 kW/m^2 , 25°C , A.M.:1.5) 270 W gücünde, polikristal yapılıdır. Güneş enerji santralinin genel görüntüsü Şekil 52 ve Şekil 53'te gösterilmiştir.



Şekil 52. Güneş enerji santralinin görüntüsü-1



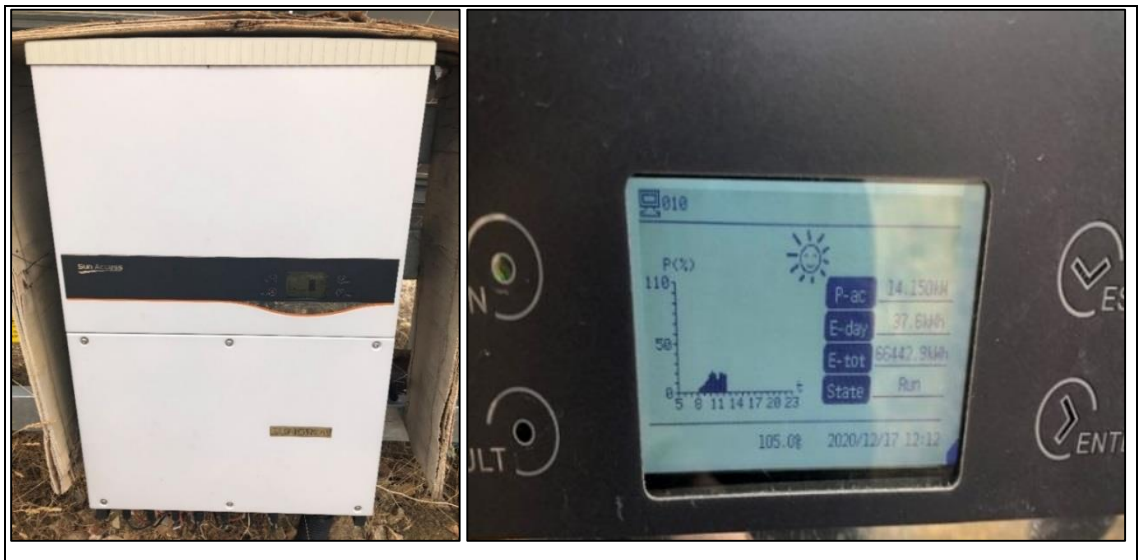
Şekil 53. Güneş enerji santralinin görüntüsü-2

Bayburt GES'te 1 güneş dizisinde toplam 22 tane seri bağlı güneş paneli bulunmaktadır. 25° eğim açısına göre yerleştirilen P270 model güneş panelleri, bakı yönü güney olacak şekilde ayarlanmıştır. Güneş ışınlarının geliş açısına göre ayarlanan azimut açısı 180° seçilmiştir. Yönü ve açısı ayarlanan paneller Şekil 54'te gösterilmiştir.



Şekil 54. Güneş enerji santralindeki paneller

Bayburt GES'te kullanılan evirici SunGrow marka ve 60 kW gücündedir. Bu eviriciler, güneş dizilerinin ürettiği enerjiyi alternatif akım şebekesine aktarırlar ve anlık olarak bazı elektriksel bilgileri gösterebilen akıllı eviricilerdir. Santralde kullanılan evirici örneği ve anlık enerji bilgilerini içeren panele ait örnek bir resim Şekil 55'te gösterilmiştir. Bayburt GES'te bulunan 6 transformatöre 16 tane evirici bağlanmaktadır ve santralde toplam 96 adet evirici bulunmaktadır. Santralde kullanılan toplam güneş paneli sayısı ise 27456'dır.



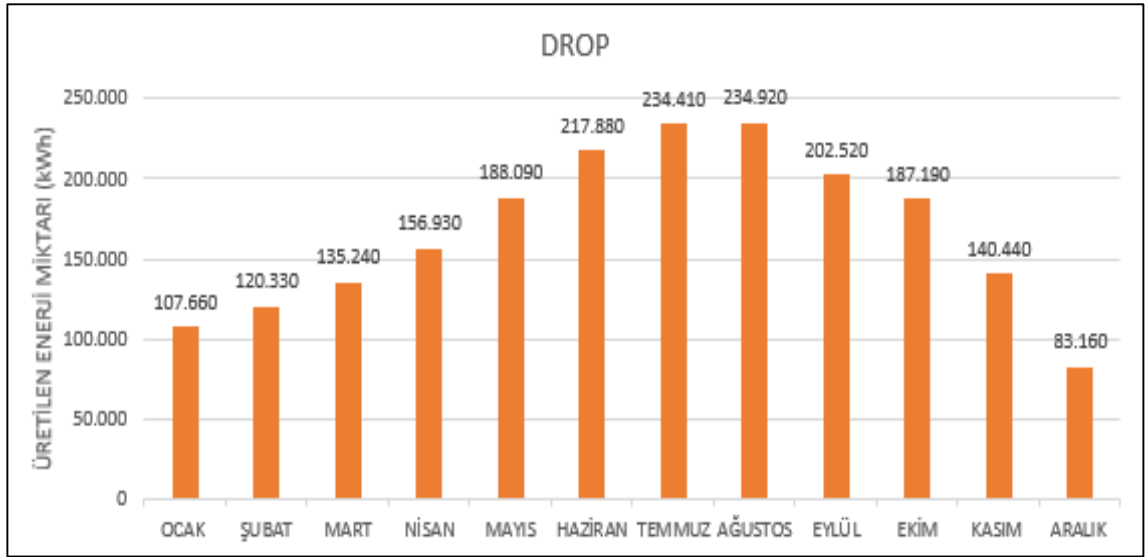
Şekil 55. Santralde kullanılan evirici ve anlık göstergesi.

Bayburt GES'te bulunan 6 tane transformatör; soğutma durumuna göre yağlı tip olan hermetik transformatördür. Elektrik santrallerinde yaygın olarak kullanılan hermetik transformatörler, kazanı yağ dolu olan ve transformatör yağı hava ile temas etmediğinden nem almayan transformatörlerdir. Koruma aletlerinin kontrolü dışında pek bakıma ihtiyaç duymayan transformatörlerin kullanım ömrü uzundur. 3 fazlı olan transformatörler 1250 kVA nominal güçtedir. Şekil 56'da santralde bulunan bir transformatör için kabin içindeki durumu gösterilmiştir.

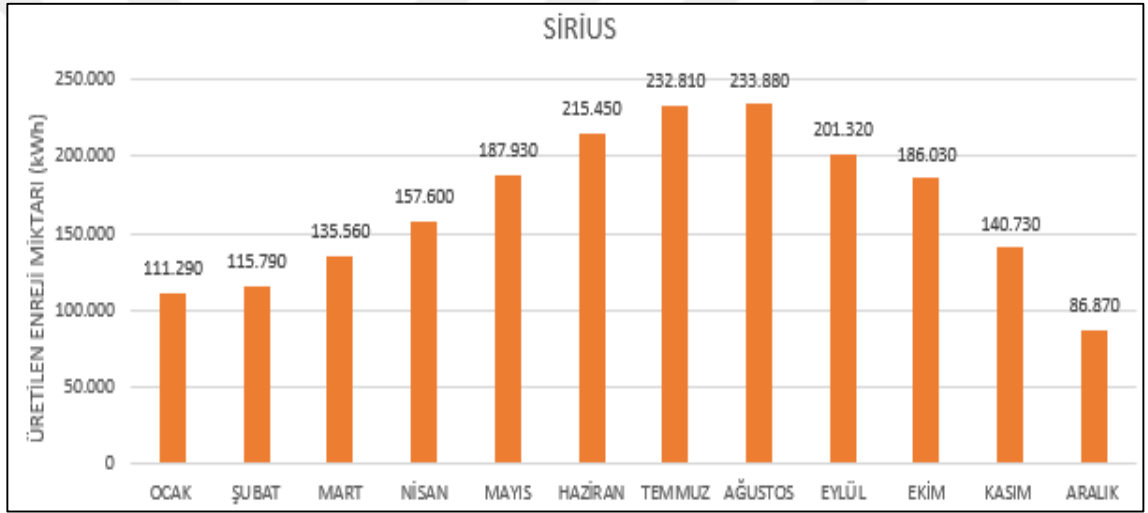


Şekil 56. Santralde kullanılan transformatör örneği

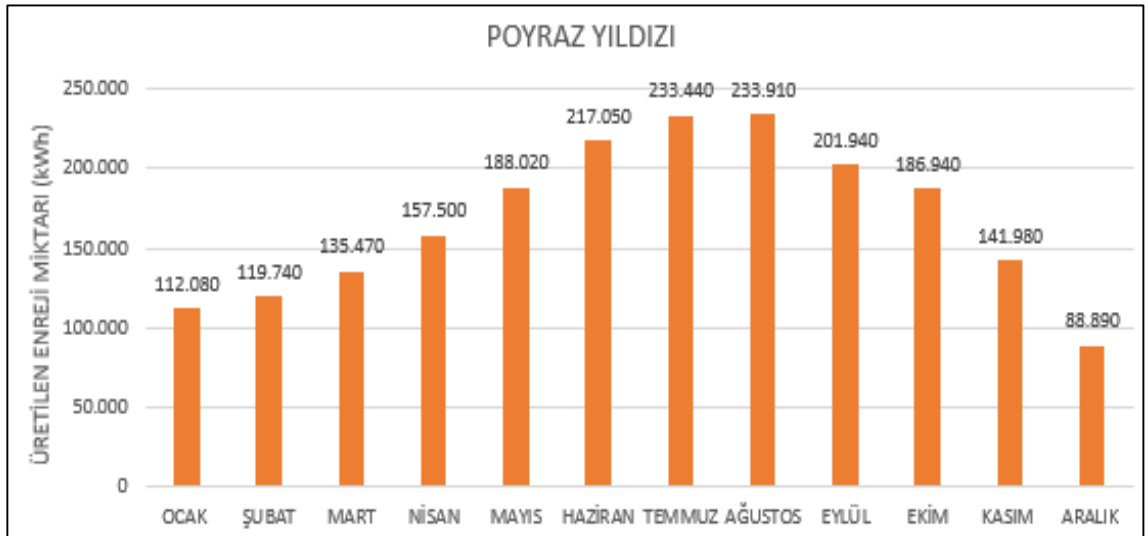
Bayburt GES'te üretilen enerji miktarları kayıt altına alınmaktadır. Altı transformatöre bağlanan evirici sayısı ve eviricilere bağlanan panel sayısı aynı olsa bile transformatörlerin çıkışındaki enerji miktarları farklı olmuştur. Bazı panellerin kırık ya da çatlak olması, daha çok yıpranmış olması bu panellerin farklı üretim gerçekleştirmesine sebep olmuştur. Yıllık üretilen enerji miktarı en fazla Poyraz Yıldızı ve Drop isimli transformatörlerde iken Lux isimli transformatörden geçen enerji en düşük seviyededir. Şekil 57'de Drop isimli transformatörün aylara göre yıllık ürettiği enerji miktarı, Şekil 58'da Sirius transformatörünün aylara göre yıllık ürettiği enerji miktarı, Şekil 59'da Poyraz Yıldızı transformatörünün aylara göre yıllık ürettiği enerji miktarı, Şekil 60'da Konteks isimli transformatörün aylara göre yıllık ürettiği enerji miktarı, Şekil 61'de Lux transformatörünün aylara göre yıllık üretim miktarı ve Şekil 62'de Regen isimli transformatörün aylara göre yıllık ürettiği enerji miktarı (kWh) gösterilmiştir.



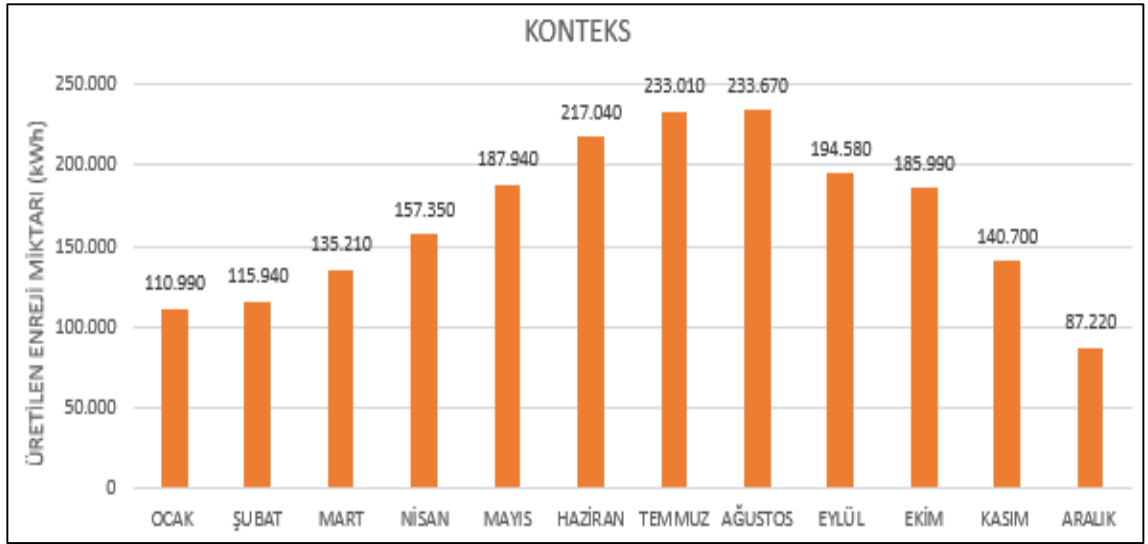
Şekil 57. Drop isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı



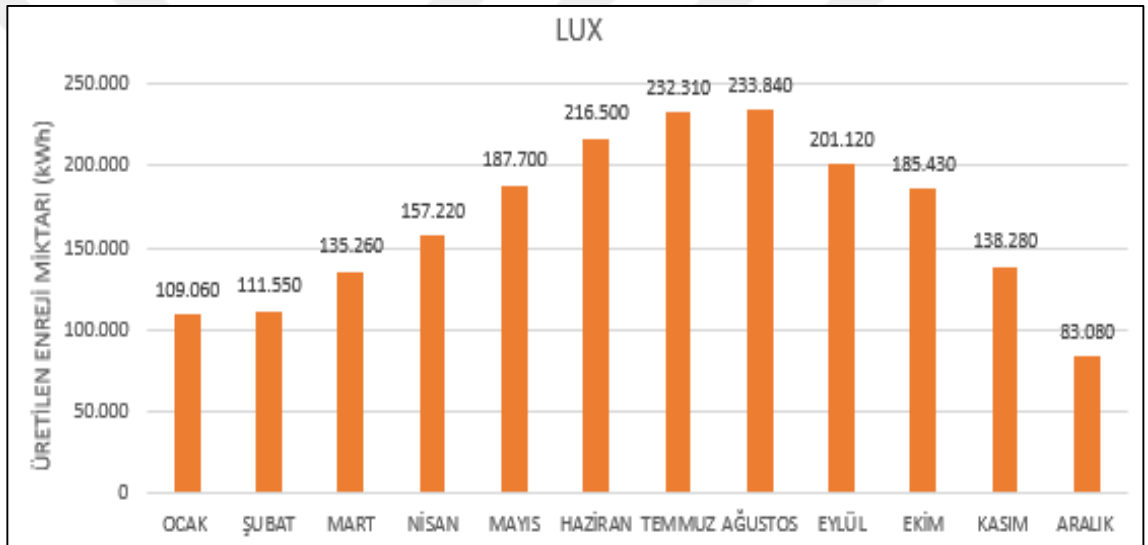
Şekil 58. Sirius isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı



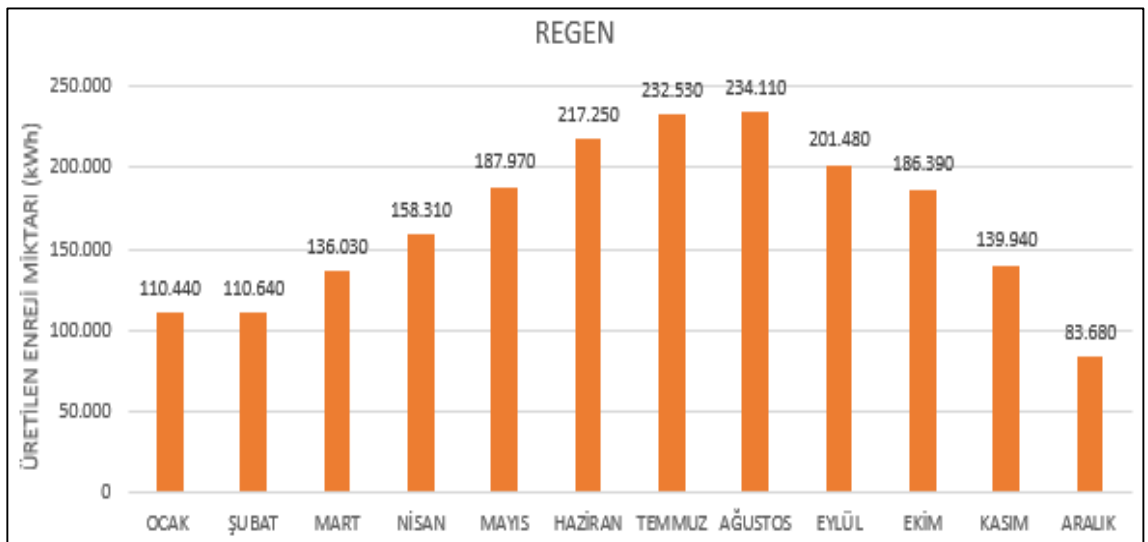
Şekil 59. Poyraz Yıldızı isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı



Şekil 60. Konteks isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı

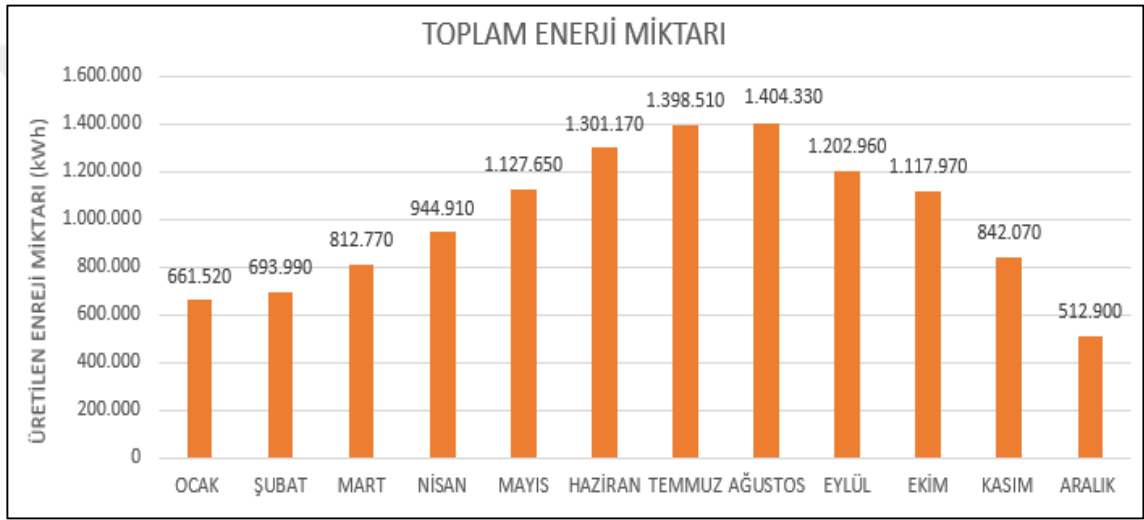


Şekil 61. Lux isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı



Şekil 62. Regen isimli transformatörün yıllık ürettiği enerji miktarı

Bayburt Güneş Enerji Santralinde bulunan 6 ayrı transformatörün 2020 yılı içinde ürettiği enerji miktarlarından santralin toplam ürettiği yıllık enerji miktarını bulmak mümkündür. Santralin ürettiği en az enerji miktarı aralık ayında ortalama 512.9 MWh ölçülmüştür. En fazla enerji üretimi yaz aylarında olmuştur. 1404.33 MWh değeriyle ağustos ayında maksimum enerji üretimi gerçekleşmiştir. Enerji üretiminde en fazla olan diğer ay temmuz olup 1398.51 MWh enerji üretilmiştir. Kış aylarında üretimde azalma olsa bile gün ışığından yararlanma sağlanmış ve enerji üretimi görülmüştür. Santralin bir yıllık toplam ürettiği enerji 12020.75 MWh hesaplanmıştır. Şekil 63'te Bayburt Güneş Enerji Santralinin 2020 yılı için aylara göre ürettiği toplam enerji miktarı verilmiştir.



Şekil 63. 2020 yılı için Bayburt Güneş Enerji Santralinin ürettiği toplam enerji miktarı

4.3. Bayburt Güneş Enerji Santralinin Performans Oranı, Kapasite Faktörü, Ortalama Panel Verimliliğinin Hesaplanması

Bayburt GES'in ürettiği bir yıllık enerji verileri ve Bayburt ili Danişment köyüne ait meteorolojiden alınan güneş ışıma verileri ile performans oranı, kapasite faktörü ve ortalama panel verimliliği hesaplanabilir. Santralde bulunan güneş panellerinin kapladığı alan ve santralin kurulu gücü performans oranı, kapasite faktörü ve ortalama panel verimliliği değerlerinin hesaplanması için bilinmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin değerlerinin hesaplamasında kullanılacak gerekli parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Güneş paneli boyutları, panel sayısı, santral panel alanı ve santral kurulu gücü

Güneş Panellerinin Boyutları	En * Boy	1.60 m * 1 m	1.60 m ²
Santraldeki Panel Sayısı	Panel Sayısı * İnverter Sayısı	286 * 96	27456

Tablo 2. (Devamı)

Panel Alanı (A_{panel})	Panel Boyutları * Panel Sayısı	1.6 m ² * 27456	43929.6 m ²
Kurulu Gücü (P_{STK})	Panel Sayısı * Panel Gücü	27456 * 270 W	7413.12 kW

Bayburt GES'in 2020 yılı içinde aylık olarak şebekeye aktarılan enerji değeri (kWh), aylık ortalama güneş ışıınım miktarı (kWh/m²), santralin çalıştığı aydaki gün sayıları Tablo 3'te gösterilmiştir. Performans oranı, kapasite faktörü ve ortalama panel verimliliği değerlerinin hesaplanması için Tablo 3'te aylara göre üretilen enerji, ortalama güneş ışıınım miktarı ve santralin aylık çalıştığı gün sayısı Eşitlik (10), Eşitlik (11) ve Eşitlik (12)'de yerine yazılarak Tablo 4 elde edilmiştir. Bayburt GES'in aylık performans oranı, kapasite faktörü ve ortalama panel verimliliği değerleri yüzde olarak Tablo 4'te gösterilmiştir.

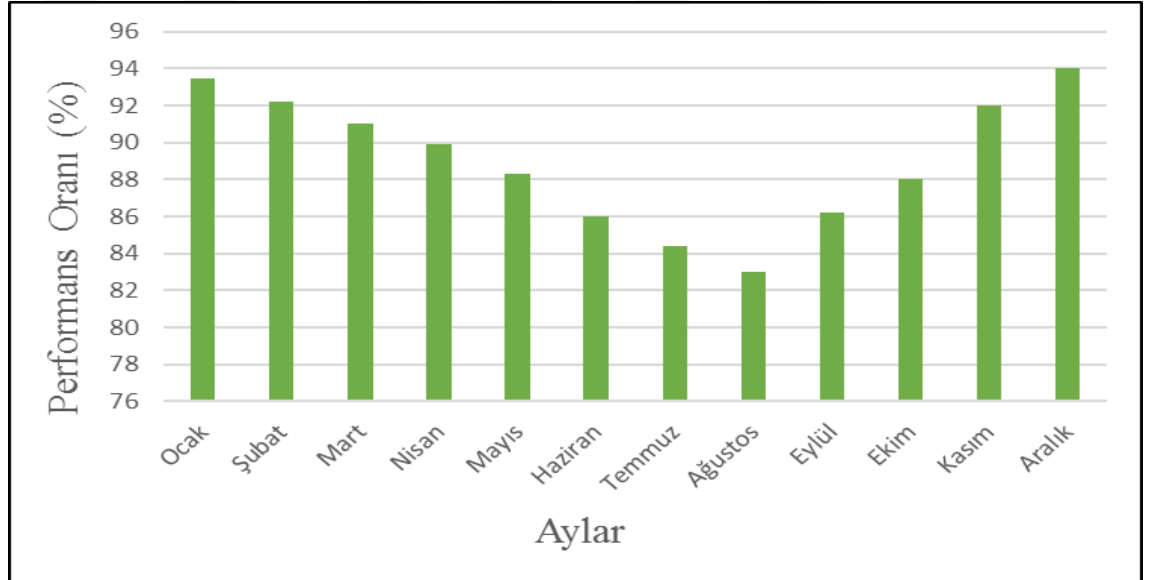
Tablo 3. Bayburt GES için aylık üretilen enerji, aylık ortalama güneş ışıınımı, sistemin çalıştığı gün sayısı

Aylar (2020)	Üretilen Enerji (kWh)	Ortalama Güneş Işıınım Miktarı (kWh/m²)	Aydaki Gün Sayısı
Ocak	661520	81.5	31
Şubat	693990	88.8	29
Mart	812770	118.5	31
Nisan	944910	153.1	30
Mayıs	1127650	166.5	31
Haziran	1301170	186.1	30
Temmuz	1398510	214.5	31
Ağustos	1404330	224.9	31
Eylül	1202960	174.9	30
Ekim	1117970	125	31
Kasım	842070	81.4	30
Aralık	512900	68.9	31

Tablo 4. Bayburt GES için aylık PR, KF ve η değerleri

Aylar (2020)	Performans Oranı (%PR)	Kapasite Faktörü (%KF)	Ortalama Panel Verimliliği (%η)
Ocak	93.5	11.99	18.5
Şubat	92.2	13.4	17.79
Mart	91	14.7	15.61
Nisan	89.9	17.7	14
Mayıs	88.3	20.4	15.4
Haziran	86	24.4	15.9
Temmuz	84.4	25.3	14.84
Ağustos	83	25	14.2
Eylül	86.2	22.5	15.6
Ekim	88	20.2	20.4
Kasım	92	15.77	23.5
Aralık	94	9.3	16.9

Santralin aylık performans oranı değerlerine bakıldığında, sistemin kış aylarında yüksek performansla çalışırken yaz aylarında performansın düştüğü gözlemlenmiştir. 2020 yılı verilerine göre performans oranı %83-94 aralığında değişmektedir. Yaz aylarında enerji üretimi fazla olmasına rağmen, performans oranının kış aylarına göre daha düşük olmasının nedeni; mevsim sıcaklığı ve bundan dolayı da panel çalışma sıcaklığının artmasıdır. Aralık ayında %94 ile en verimli performansla çalışan sistem, Ağustos ayında %83 ile en düşük performansla çalışmıştır. Standart test koşullarında hesaplanan santral kurulu gücü aylara göre sabit olduğundan, aylık şebekeye aktarılan enerji değeri ve aylık ortalama güneş ışınım değerleri performans oranını belirlemiştir. Bayburt GES için aylara göre hesaplanan performans oranının grafiği Şekil 64'te gösterilmiştir.

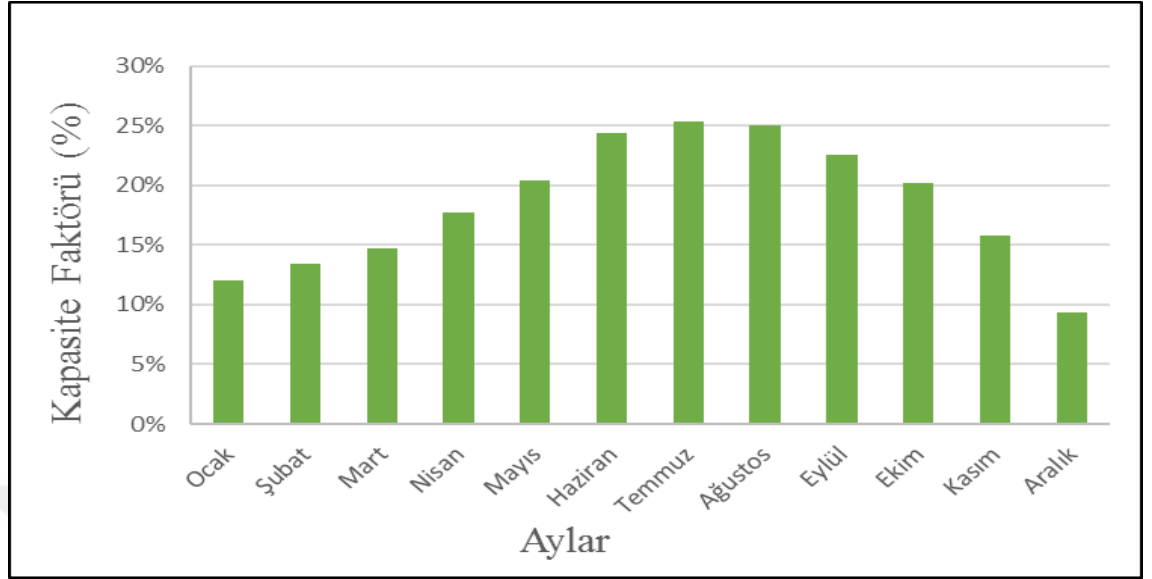


Şekil 64. Bayburt GES aylık PR grafiği

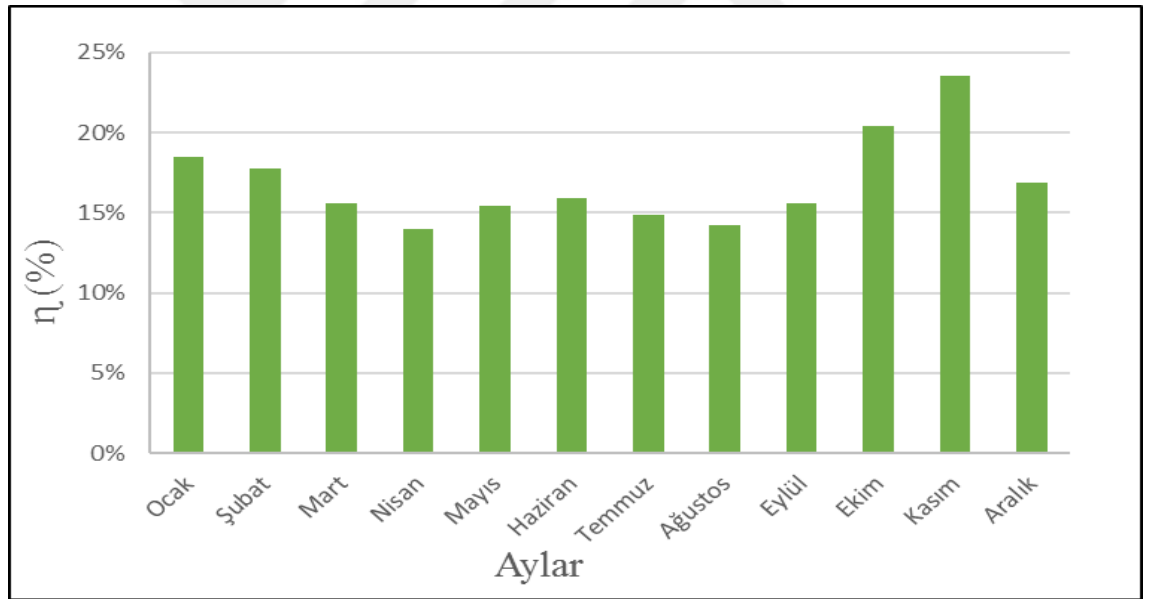
Bayburt GES için aylık kapasite faktörü, güneş ışınım ortalaması yüksek olduğu için yaz aylarında büyük değerler hesaplanmıştır. Kapasite faktörü; en yüksek Temmuz ayında %25.3 değerinde, en düşük ise Aralık ayında %9.3 değerinde hesaplanmıştır. Standart test koşullarında hesaplanan santral kurulu gücü aylara göre sabit olduğundan, aylık şebekeye aktarılan enerji değeri ve sistemin çalıştığı gün sayısı kapasite faktörünü belirleyen parametreler olmuştur. Bayburt GES için aylara göre hesaplanan kapasite faktörünün değişimi Şekil 65'te gösterilmiştir.

Santralin aylık ortalama panel verimliliği, santral alanı aylara göre sabit değerde olduğundan aylık şebekeye aktarılan enerji ve aylık ortalama güneş ışınım değerlerine

göre değişkenlik göstermiştir. Güneş panellerinin verimliliğini etkileyen parametreler, η değerinin de etkilenmesine sebep olmuştur. Bayburt GES için aylara göre hesaplanan panel verimliliği grafiği Şekil 66’da gösterilmiştir.



Şekil 65. 2020 yılı için Bayburt GES’in aylık kapasite faktörü değişimi grafiği

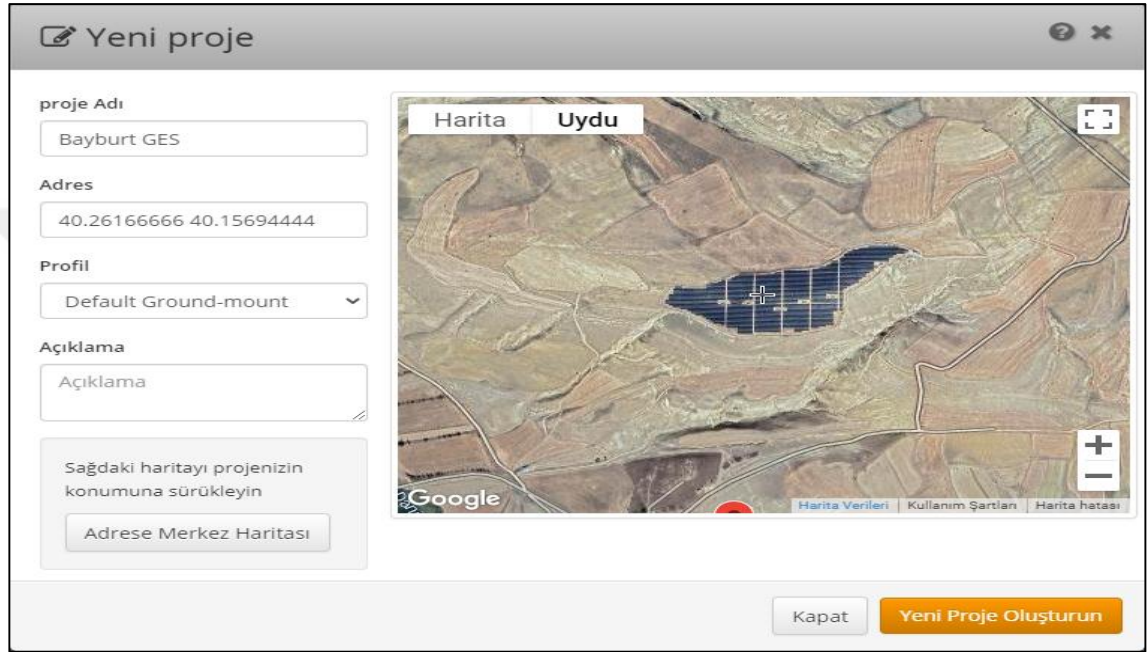


Şekil 66. 2020 yılı için Bayburt GES’in aylık ortalama panel verimliliği değişim grafiği

4.4. Bayburt Güneş Enerji Santralinin HelioScope ile Analizi

Bayburt ili Danişment Köyünde bulunan, özel işletmeye ait olan güneş enerji santralinin 2020 yılına ait enerji üretim verileri ile Helioscope programında birebir aynı özelliklerde ve konumda kurulan GES tasarımının üretim verileri kıyaslanmıştır. Ayrıca performans oranı, verimi, kayıpları ve kayıpların nedenleri gerçekleştirilen analiz ile değerlendirilmiştir.

Tasarımı yapılacak santralin ilk olarak coğrafi koordinatlarını HelioScope programına girerek yeni proje oluşturulmuştur. Google Harita aracılığıyla mevkiisi bilinen santralin adresini seçerek veya 40° 15' 42" N ve 40° 09' 25" E santralin coğrafi koordinatlarını doldurarak adres girilmiştir. Proje adı ve adres girişleri yapıldıktan sonra santralin tasarımı için ilk adım tamamlanmıştır. Tasarım türü için güneş panellerinin zemine montajı seçilmiştir. Şekil 67'de santralin proje adı, adres ve profil girişi, Şekil 68'de Bayburt GES'in Google haritada görünümü verilmiştir.



Yeni proje

proje Adı
Bayburt GES

Adres
40.26166666 40.15694444

Profil
Default Ground-mount

Açıklama
Açıklama

Sağdaki haritayı projenizin konumuna sürükleyin
Adrese Merkez Haritası

Harita Uydu

Google

Harita Verileri Kullanım Şartları Harita hatası

Kapat Yeni Proje Oluşturun

Şekil 67. Bayburt GES'in Helioscope programında tasarımı (veri girişi örneği)



Şekil 68. Bayburt GES Google harita görünümü

Bayburt santralinde kullanılan güneş panelleri; Solar Fabrik marka, 270 W güce sahip, polikristal yapılıdır. Santralin tasarımı yapılacak HelioScope programında ise güneş paneli kataloğunda bulunan en yakın özellikte olan güneş panelleri tercih edilmiştir. Aynı marka ve aynı güçte olan paneller monokristal yapılı seçilmiştir. Santralin kurulu gücüne göre yerleştirilen panel sayısının tasarımda da aynı olması sağlanmıştır. Güneş enerji santralindeki evirici SunGrow marka ve 60 kW gücünde olduğu santral verilerinde belirtilmiştir. Tasarım yaparken aynı marka ve aynı güçte evirici seçilmiştir. Tasarım kataloğundan “SG60KTL” seçilen eviricinin miktarı, 100 adet girilmiştir. Tasarımda kullanılan evirici sayısı, santralde olandan biraz daha fazladır. Bunun sebebi reelde santralin evirici kapasitesinin maksimum gücü ile çalışıp, tasarımda nominal değeri baz alarak simule etmesidir. Tasarımı yapılacak santralde tercih edilen panel, evirici, kablo bileşenlerinin markası, miktarı, Şekil 69’da gösterilmiştir.

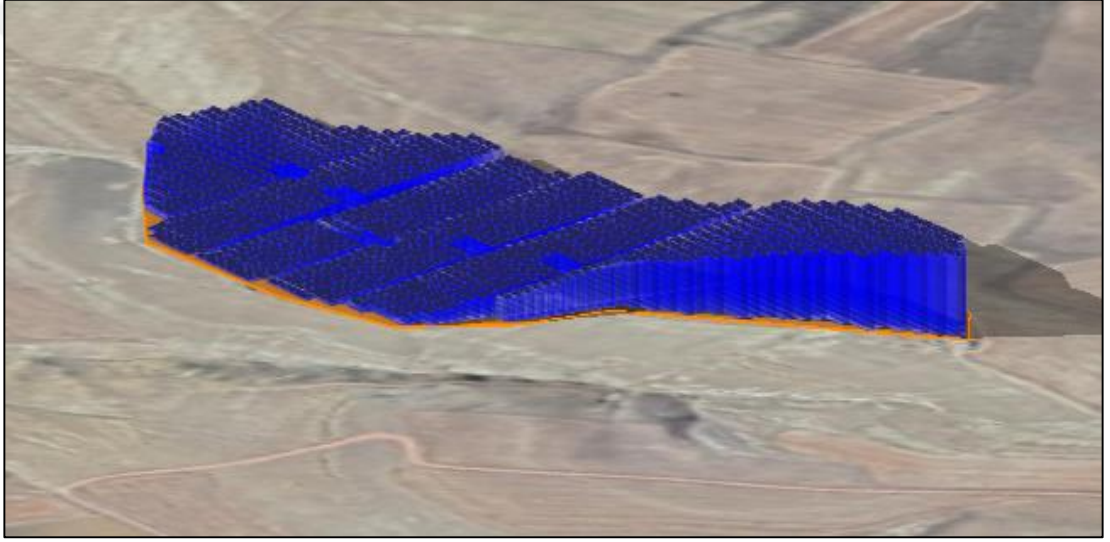
Bileşenler		
Bileşen	İsim Soyisim	Miktar
İnvertörler	SG60KTL (SunGrow)	100 (6,00 MW)
Teller	10 AWG (Bakır)	1.248 (69.332,8 m)
Modül	Solar Fabrik, Premium L mono 270W (270W)	27.456 (7,41 MW)

Şekil 69. Bayburt GES tasarımı için kullanılan güneş paneli, evirici, kablo bileşenlerinin markası ve miktarı

Tasarımı oluşturan temel öğelerin programda seçimi yapıldıktan sonra alana güneş panellerinin yerleşimi yapılmıştır. Eğimli araziye kurulan güneş panelleri, birbirine fazla gölge düşürmeyecek şekilde aralıklarla ayarlanmıştır. Transformatör yerleri boş bırakılarak tasarım yapılmıştır. Santral alanına yerleştirilen panellerin tasarım görüntüsü Şekil 70’te üstten görünümü, Şekil 71’de yandan görünümü verilmiştir.



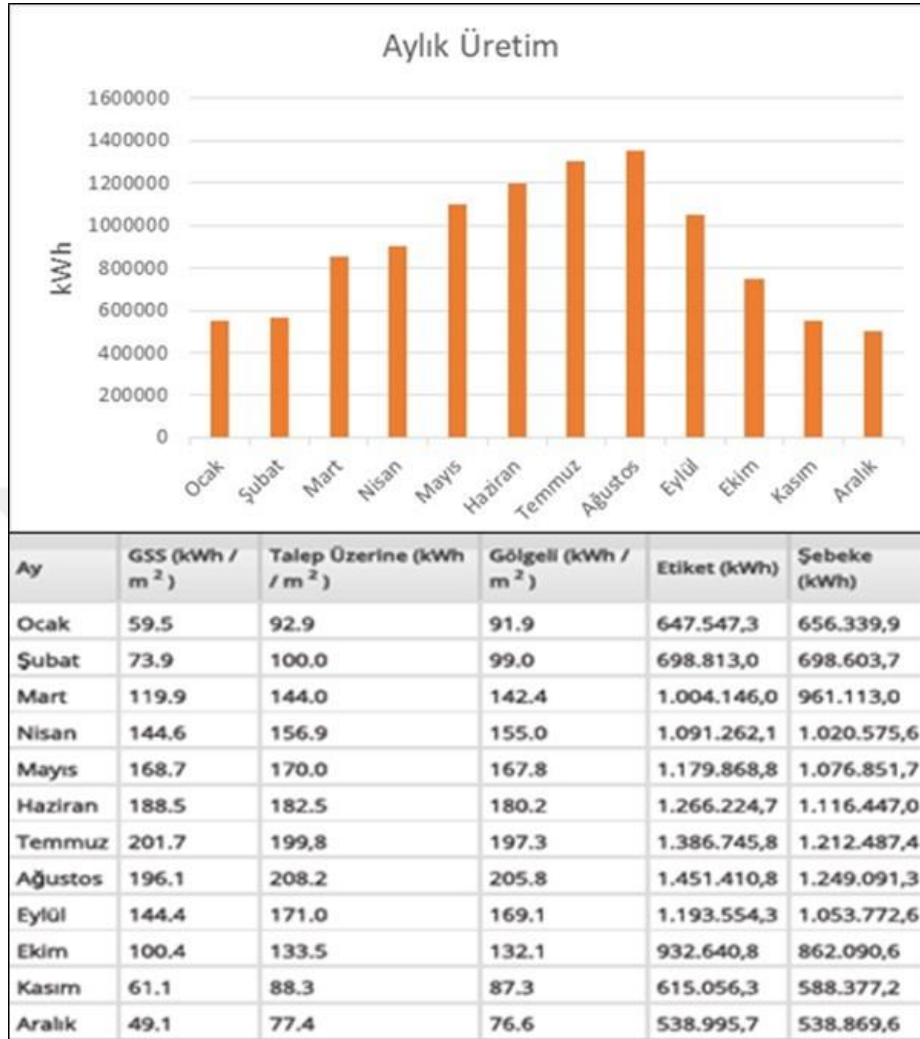
Şekil 70. Tasarımı yapılan santralin üstten görünümü



Şekil 71. Tasarımı yapılan santralin yandan görünümü

Bayburt GES'te 2020 yılı için üretilen enerji miktarı toplam 12.020.750 kWh'tir. HelioScope programında tasarımı yapılan aynı santralin ürettiği yıllık enerji miktarı 11.034.620 kWh'tir. Santralin gerçekte ürettiği değer ile tasarım sonucunda öngörülen enerji üretim değeri arasında %8 oranında fark olduğu görülmüştür. Aylık enerji üretimleri incelendiğinde santralin gerçekte ve tasarımda en fazla üretimi ağustos ayında, en az üretimi ise aralık ayında gerçekleştirmiştir. Şekil 72'de verilen aylık güneş ışıınım değerlerine göre meteorolojik verilerin daha büyük olduğu, tasarımda ise güneş ışıınımını etkileyen bazı nedenlerden dolayı ışıınım değerinin daha az olduğu görülmüştür. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Bayburt ili için verdiği ışıınım değeri ağustos ayı için 224.9 kWh/m², tasarımda ise ağustos ayı için 208.2 kWh/m² güneş ışıınımı olduğu değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi, HelioScope programının tasarım yaparken olabilecek en olumsuz durumları referans alarak güneş ışıınımını hesaplamasıdır. Şekil

72’de tasarımı yapılan santralin bulunduğu konuma ulaşan güneş ışınımının aylara göre miktarları ve gerçekleştirilen tasarıma göre tahmini enerji üretim değerleri listelenmiştir.



Şekil 72. Bayburt GES’in Helioscope’daki tasarımı ve elde edilen aylık güneş ışınımı ve enerji üretim değerleri

Tasarımda güneş panellerinin çalışma sıcaklığı ortalama 17.5 °C iken santralin bulunduğu ortamın sıcaklığı ise ortalama 8.8 °C hesaplanmıştır. Güneş ışınımının dizi düzleminde ölçülen değeri (POA), panel üzerine düşen gölgeler sonucu azalmıştır. Güneş panelleri, çektiği güneş ışığının bir kısmını absorbe ederken bir kısmını geri yansıttığından yansıma sonrasında ışınım değeri biraz daha azalmıştır. Güneş panellerinin kirlenmesi, tozlanması da güneş ışığından tam olarak yararlanmayı engellediği için ışınım değerinin azalmasına sebep olmuştur. Güneş ışınım değerini etkileyen bu parametrelerin sistem üzerindeki etkisi Şekil 73’te listelenmiştir.

Üretilen enerji değeri, panel çıkışında maksimum değerindeyken panelin hücre sıcaklığı bu değerin azalmasına neden olmuştur. Paneller arası uyumsuzluk da üretilen enerji miktarını düşürmüştür. Yıllık üretilen enerjinin düşmesine etki eden diğer bir

parametre de evirici kaybından kaynaklanmıştır. Güneş panellerinden eviriciye aktarılan enerji; evirici verimine bağlı olarak biraz daha azalmıştır. Tüm bu etkenler, üretilen enerjiyi biraz düşürerek şebekeye aktarılmasını sağlamıştır. Yıllık üretilen enerji miktarı (kWh) Şekil 73'te gösterilmiştir.

⚡ Yıllık Üretim			
	Açıklama	Çıktı	% Delta
Işınım (kWh / m ²)	Yıllık Küresel Yatay Işınım	1.507,8	
	POA Işınımı	1.724,5	% 14,4
	Gölge Işınım	1.704,4	-% 1,2
	Yansımaya Sonrası Işınım	1.651,8	-% 3,1
	Kirlenmeden Sonra Işınım	1.618,8	% -2,0
	Toplam Toplayıcı Parlaklığı	1.618,8	% 0,0
	Enerji (kWh)	Tabela	12.006.265,6
Işınım Düzeylerinde Çıktı		11.916.170,7	-% 0,8
Hücre Sıcaklığı Düşüşünde Çıkış		11.776.351,8	-% 1,2
Uyumsuzluktan Sonra Çıktı		11.396.457,1	-% 3,2
Optimal DC Çıkışı		11.360.848,9	-% 0,3
Kısıtlı DC Çıkışı		11.237.751,0	-% 1,1
Inverter Çıkışı		11.090.071,0	-% 1,3
Şebekeye Enerji		11.034.620,0	-% 0,5
Sıcaklık Metrikleri			
Ort. Çalışma Ortam Sıcaklığı		8,8 ° C	
Ort. Çalışma Hücresi Sıcaklığı		17,5 ° C	
Simülasyon Metrikleri			
Çalışma saatleri			4606
Çözülen Saatler			4606

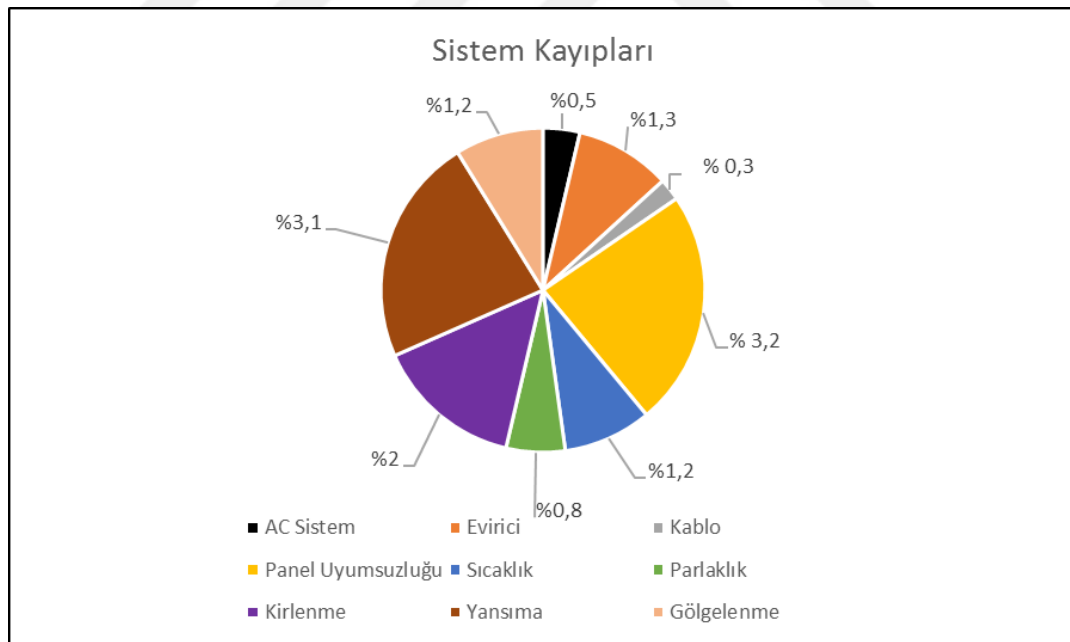
Şekil 73. Tasarımı yapılan santralin yıllık ürettiği enerji ve güneş ışınım değeri

Santralin ürettiği enerji miktarı ve o bölgedeki güneş ışınım değerleri ile tasarımı yapılan santralin üreteceği yıllık enerji miktarı ve aylık ortalaması verilen güneş ışınım değerleri arasındaki farklılıkların nedenlerini değerlendirmek mümkündür. Bu farklılıkların bazı sistem kayıplarından kaynaklandığı bilinmektedir. Sistem kayıplarından biri güneş panelleri arasındaki uyumsuzluktur. Güneş panelleri seri bağlanıp dizileri oluşturduğundan herhangi bir panelde bozulma, kırılma, çatlama, gölgelenme durumu olduğunda o panelin çalışmayıp diğer seri bağlı panelleri de etkilemesidir. Böylece bazı paneller verimli çalışırken bazıları ise hiç çalışmamaktadır. Seri bağlı paneller arasında gölgelenen panelden dolayı uygun akımda çalışmayan güneş paneli, diğer güneş panellerinde uyumsuzluğa sebep olur.

Diğer bir sistem kaybı panellerin çalışma sıcaklığıdır. Paneller çalışırken ortama sıcaklık yayacağından santralin bulunduğu çevredeki ortalama sıcaklık düşük olmalıdır. Sıcaklığın fazla olması değil güneş ışınımının fazla olması istenen durumdur. Işıma değeri de sistemi etkileyen diğer bir etkidir. Güneş ışınım değerinin istenilen seviyede

olması santralin verimli çalışmasını sağlar. Böylece santralde yüksek performans oranı değeri oluşur.

Sistemi etkileyen diğer kayıp parametresi panelin kirlilik miktarıdır. Güneş panellerinin yüzeyinin tozlanması, kirlenmesi panelin güneş ışığını soğurmasını engeller. Panelin kirlenmesi ile güneş ışınlamından az yararlanması doğru orantılıdır. Soğurulan düşük ışık miktarı santralin performans oranını düşürür ve üretilen enerji miktarını azaltır. Soğurulan ışığın fazla olması istenirken yansımanın olabildiğince az olması istenir. Yansıma kaybı, panelin tüm ışığı soğurmadan bir kısmını geri yansıtmasından oluşur. Yansıyan ışık fazla olduğunda sistemin performansını düşürür. Sistem kayıplarından bir diğeri gölgelenmedir. Panel üzerine düşen ağaç, bina gölgesi güneş panellerinin absorbe edeceği ışık miktarını etkileyeceğinden sistemin verimini azaltır. Bu yüzden santraldeki güneş panelleri ve varsa ölçüm aleti gölgede bulunmamalıdır. Evirici kayıpları, AC sistem çıkışını etkilediğinden sistemin performans oranını düşürür. Kablolama kayıpları da diğer sistem kayıpları arasındadır. Kablonun uzunluğu, kesiti, cinsi santralin çalışmasını etkiler. Tasarımı yapılan santralin kayıpları ve kayıpların dağılımı oransal olarak Şekil 74’te gösterilmiştir.



Şekil 74. Tasarımı yapılan santralin güç kaybı dağılımları

Tasarımı yapılan santralin aylık ve yıllık üretimi, aylık ışınlam değerleri, sistem kayıpları ve sebepleri incelenmiştir. Güneş panelinin DC nominal gücü 7.41 MW'tır. Paneller, eviriciye bağlanmış ve DC enerji 6 MW gücünde AC enerjiye dönüştürülmüştür. Santralin yıllık ürettiği enerji 11.03 GWh hesaplanmıştır. HelioScope

programı ile tasarımı yapılan Bayburt Güneş Enerji Santralinin performans oranı değeri %86.3 hesaplanmıştır. Performans oranı yüksek olduğundan santralin verimli çalıştığı değerlendirilmiştir. Şekil 75'te tasarımı yapılan santralin yıllık ürettiği enerji miktarı ve performans oranı gösterilmiştir.

Sistem Metrikleri	
Dizayn	Tasarım 1
Modül DC İsim Plakası	7.41 MW
İnvertör AC İsim Plakası	6.00 MW Yük Oranı: 1.24
Yıllık Üretim	11.03 GWh
Performans oranı	% 86.3
kWh / kWp	1.488,5
Hava Durumu Veri Kümesi	TMY, 10 km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simülatör Sürümü	aefb703db8-36b21dfb41-c46179cfd5-d26d482e39

Şekil 75. Tasarımı yapılan santralin yıllık ürettiği enerji miktarı ve performans oranı

5. SONUÇ

Bu çalışmada Bayburt ili Danişment köyünde kurulmuş olan Güneş Enerji Santrali'nin sahasında incelemeler yaparak GES'te kullanılan güneş paneli, evirici gibi ekipmanların teknik bilgileri elde edilmiştir. Ayrıca Bayburt GES'te 2020 yılı için aylık enerji üretim verisine ulaşılmıştır. Bayburt GES'in aylık üretilen enerji değerlerinden, yıllık şebekeye aktardığı enerji miktarı hesaplanmış ve bu değer 2020 yılı için toplam 12.1 GWh olarak bulunmuştur.

Bayburt GES için aylık üretilen enerji ve meteorolojiden alınan aylık ortalama güneş ışıınım değerlerinden performans oranı, kapasite faktörü ve ortalama panel verimliliği hesaplanmıştır. Performans oranı değerinin en büyük olduğu aylar kış mevsiminde, en düşük olduğu zamanlar ise yaz mevsiminde gerçekleşmiştir. %94 performans oranı değeri ile aralık ayında en yüksek verimle çalışan santral; yaz sıcaklıkları ve panel çalışma sıcaklığından dolayı %83 ile ağustos ayında en düşük verimle çalışmıştır. Yıllık ortalama %89.04 hesaplanan performans oranı; Bayburt GES'in verimli çalıştığını göstermektedir. Yaz mevsiminde en yüksek değerlerde hesaplanan kapasite faktörü; %25.3 ile temmuz ayında maksimum değerde çıkmıştır. Kış mevsiminde azalan kapasite faktörü; %9.3 ile aralık ayında en düşük değerde hesaplanmıştır. Ortalama panel verimliliği sistem kayıplarına ve sıcaklığa bağlı olarak aylara göre değişkenlik göstermiştir. Aylara göre değişkenlik göstermesinin başlıca sebebi ise; güneş ışıınlarının geliş açısının, aylık ortalama ışıınım miktarının, aylık güneşlenme süresinin panel verimliliğini etkilemesidir.

HelioScope güneş enerji tasarım programını kullanarak, Bayburt GES'in tasarımı amaçlanmış ve benzetim çalışmaları sonucunda programın hesapladığı yıllık enerji miktarı, performans oranı ve sistem kayıpları santral veri sonuçları ile kıyaslanmıştır. HelioScope programında Bayburt GES ile aynı özellikte ve aynı güçte tasarımı yapılan fotovoltaiik sistemin yıllık ürettiği enerji miktarının 11.03 GWh olduğu tespit edilmiştir. Tasarımı yapılan santralin performans oranının %86.3 değerinde hesaplandığı ve sistemin yüksek verimle çalıştığı sonucu çıkarılmıştır. Sistem kayıplarının %13.6 değerinde hesaplandığı ve bu kayıpların içinde en çok paya %3.2 ile paneller arası uyumsuzluk etkisinin sahip olduğu görülmüştür. Panel yüzeyine gelen güneş ışıınlarının yansıması, kayıplar içerisinde %3.1'lik paya sahiptir. Güneş panellerinin kirlenmesi, panellere düşen gölge etkisi ve ortam sıcaklığı da sistemin performansını düşüren diğer kayıplardır.

Bu tezde GES'lerin verimini, performans oranını hangi parametrelerin etkilediğini araştırıp sistemlerin daha verimli çalışması için neler yapılabileceği üzerinde durulmuştur. Performans oranını etkileyen parametrelerin, HelioScope programında tasarımlar yapılarak FV sistemler üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Güneş panelinin kurulum yerine, eğim açısına, azimut açısına göre etkisi araştırılmış güneş sistemlerinin kurulacağı konuma göre sistemi nasıl etkilediği yorumlanmıştır. Gölge ve kirlilik parametresinin sistem verimini düşürdüğü saptanmıştır. Gölge etkisine maruz kalan güneş panellerinin performans oranı değeri ortalama %62.7 hesaplanmıştır. Optimizer etkisinin gölge düşen sistemi iyileştirdiği ve performansını arttırdığı yapılan tasarımlar ile görülmüştür. Optimizer bağlantısı yapılan tasarımın performans oranı %75.8'lere çıkmıştır.

HelioScope gibi güneş enerji tasarım programları, tasarımlar yaparak FV sistemlerin üreteceği enerjiyi, sistem performansını, tahmini kayıpları ve maddi analizleri gerçekleştirerek kişiyi ya da firmayı bilgilendirmeyi sağlamaktadır. Bu çalışmada; Bayburt ilinde yer alan GES' in üretim sonuçları, HelioScope programında yapılan tasarım sonucu elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır ve FV sistem sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür. Bayburt ili Aydıntepe mevkiinden alınan meteorolojik verilerden aylık global güneş radyasyon değeri ile HelioScope programının veri sisteminden alınan güneş ışıınım miktarlarının bazı aylarda yakın değerlerde olduğu ve bu yüzden sistem sonuçlarının benzer hesaplandığı gözlemlenmiştir. Ocak ayı global güneş radyasyon değeri 88.8 kWh/m² iken HelioScope programı güneş ışıınım değeri 91 kWh/m²'dir. Meteorolojiden alınan global güneş radyasyon verilerinden ağustos ayı değerinin ortalama 224.5 kWh/m², HelioScope programı güneş ışıınım değerinin ise 208.2 kWh/m² olduğu kaydedilmiş ve böylece güneş ışıınının en fazla olduğu ağustos ayında performans oranı sonuçlarında farklılıklar saptanmıştır.

Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve ülke ekonomisine katkıda bulunmak için son zamanlarda sıkça güneş enerjisinden elektrik üretimi yaygınlaşmıştır. Küçük güçlerden çok büyük güçlere kadar kurulma imkânı sağlayan güneş enerji sistemleri bina çatı-cephe uygulamalarından arazi, tarla kurulumuna kadar geniş imkânlar sunmaktadır. Kurulan fotovoltaik sistemlerin verimli çalışması için gerekli şartlar ve sistem kayıplarının nedenleri detaylı incelenmiş ve sonraki çalışmalara öncülük etmesi amaçlanmıştır.

KAYNAKÇA

- Açıkgöz, M. (2019). *Otobüs tamir bakım atölyesi için enerji verimliliği çalışması. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (540159).*
- Adıyaman, Ç. (2012). *Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (322308).*
- Akar, A. (2016). *Bir güneş enerji santralinin kurulumu ve performansının analizi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (432760).*
- Aksangör, N. N. (2019). *Ankara şartlarında bir fotovoltaiik sistemin PVsyst programı yardımı ile performans analizi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (567917).*
- Aksungur, K. M., Kurban, M. ve Filik, Ü. B. (2009). Türkiye'nin farklı bölgelerindeki güneş ışınım verilerinin analizi ve değerlendirilmesi. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 3–6.
- Arslan, E., Topal, H. ve Yıldırım, M. U. (2016). Güneşlenme şiddetini ölçen aletlerin verilerinin Iğdır ilinde gösterdiği değişkenlikler ve bunların nedenlerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2/1, 41-52.
- Arslanoğlu, N., Yiğit, A. ve Eker, B. S. (2019). Fotovoltaiik sistemlerin projelendirme, kurulum işletilmesinde önemli faktörler. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 483–490. <https://doi.org/10.17482/uumfd.562016>
- Atalay Ayran, Z. (2019). *Kütahya ili güneş enerji potansiyelinin araştırılması ve örnek bir güneş enerji santralinin ekonomik analizi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (563915).*
- Atalay, Ö., Yorgun, B. ve Erdem, R. (2019). FV Güneş Enerjisi Sistemleri ve Çatı Uygulamaları Bildirisi.
- Baçoğlu, M. E. (2013). *Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan maksimum güç noktası izleyicili yükseltici DA-DA dönüştürücü analizi ve gerçekleştirilmesi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (323167).*
- Baçoğlu, M. E., Kazdaloğlu, A., Erfidan, T., Bilgin, M. Z. ve Çakır, B. (2015). Performance analyzes of different photovoltaic module technologies under İzmit, Kocaeli climatic conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.108>

- Başoğlu, M. E. (2017). *Fotovoltaik sistemler için yeni bir maksimum güç noktası izleme yönteminin geliştirilmesi ve uygulanması. Doktora tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (494783).*
- Bayramoğlu, T. (2018). Yenilebilir enerji potansiyeli ve etkileri: Bayburt örneği. Bayburt Üniversitesi İktisat Bölümü, *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 2018(1), 1–16.
- Boztepe, M. (2015). Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler. *Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi*, 1–8.
- Ceylan, O. (2017). *Fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (487731).*
- Ozan Ceylan, K. T. (2018). Isparta ili için fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 895–903.
- Cihan, E. (2019). *Yenilenebilir enerji ve Türkiye’de güneş enerjisi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (542432).*
- Doğan, S. (2019). *Bingöl ilinde bulunan bir yapının yıllık tüm enerji ihtiyaçlarını karşılayacak güneş enerji sisteminin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (595624)*
- Erdemir, D. ve Altuntop, N. (2013). Dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisi ile ilgili gelişmeler. *Mühendis ve Makina Dergisi*, sayı 639, s.69-77.
- Girgin, M. H. (2011). *Bir fotovoltaik güneş enerji santralinin fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW’lık güneş enerji santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (333077).*
- Gündüz, M. S. (2019). *Bir fotovoltaik güneş enerji santralinin tekno -ekonomik analizi; Kütahya-Simav örneği. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (583045).*
- Taşova, M. (2018). Türkiye' nin güneş enerjisi parametre değerleri ve güneş enerjisinden faydalanma olanakları. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7 (3) , 10-17.
- İşen, E. ve Koçhan, Ö. (2020). Fotovoltaik panelin tek diyotlu modellenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırma Dergisi*, 2(1), 1–10.
- Kaynar, N. K. (2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Amasya ilindeki potansiyeli. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 48–54.

- Kanat, H. (2019). *Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi yatırımlarını etkileyen faktörler: Konya güneş enerjisi yatırımları analizi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (616556).*
- Karakaş Ulusoy, C. (2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanımındaki gelişmeler; güneş enerji sistemleri ve finansman modelleri. 12. Uluslararası Kamu Yönetimi Sempozyumu, 25-27 Ekim 2018, Kırıkkale.
- Letcher, T. M. (2014). *Future energy: Improved, sustainable and clean options for our planet.* London, United Kingdom, doi:10.1016/0306-4522(89)90252-2
- Letcher T. M. (2016). *Climate change: Observed impacts on planet earth. (2nd ed.)* Kidlington, Oxford, United Kingdom
- Letcher. T. M. (2016). *Storing energy: With special reference to renewable energy sources.* New York, NY.
- Letcher, T. M. (2017). *Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines In Wind Energy Engineering.* London, England.
- Oral, M. (2020). Solar energy potential of Turkey and Evaluation of Pv 1 applications in local scale: Case of Karabük province. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 482–503.
- Özcan, Ö. ve İzgi, E. (2020). Şebekeye bağlı fotovoltaik çatı sisteminin karşılaştırmalı performans analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 127–140.
- Öztürk, H. H. (2017). Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre Ve Sergisi, 18-21 Ekim 2017, İzmir.
- Rüstemli, S., Dinçer, F., Çelik, M. ve Cengiz, M. S. (2013). *Fotovoltaik paneller : Güneş takip sistemleri ve iklimlendirme sistemleri.* 2(2), 141–147.
- Sayın, S. ve Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (Pv) sistemler ve yapılarda kullanma biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 89–106.
- Şimsek, S. (2018). *Fotovoltaik sistemlerde verimliliği etkileyen faktörlerin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (528039).*
- Taktak, F. ve Ilı, M. (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği. *Geomatik*, 3(1), 1–21. <https://doi.org/10.29128/geomatik.329561>.
- Tanış, Z. (2019). *Elazığ ilinde yer alan şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerjisi santralinin performans analizi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (544343).*

- Tozlu, C. (2004). *Muğla Üniversitesinde kurulu şebekeye bağlı fotovoltaik güç sistemlerinin performans analizi. Yüksek lisans tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (184846).*
- Turhan, S. ve Çetiner, İ. (2012). Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12-13 Nisan 2012, Bursa.
- URL-1, <https://enerji.mmo.org.tr>. 09 Ekim 2021.
- URL-2, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>. Ekim 2021.
- URL-3, <https://www.gensed.org/bilgi-bankasi/raporlar>. 06 Mayıs 2022.
- URL-4, <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>. 21 Ağustos 2021.
- URL-5, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>. 17 Kasım 2021.
- URL-6, <https://gepa.enerji.gov.tr>. 19 Ocak 2021.
- URL-7, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-167/resmi-istatistikler>. 06 Şubat 2022.
- URL-8, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-167/resmi-istatistikler>. 07 Şubat 2022.
- URL-9, <https://mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx>. 07 Mart 2021.
- Yılankırkan, N. ve Doğan, H. (2020). Türkiye'nin enerji görünümü ve 2023 yılı birincil enerji arz projeksiyonu. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 10(2), 77–92.

ÖZGEÇMİŞ

Badel KOCAGÖZ DEMİR lise öğrenimini Gümüşhane Mareşal Çakmak Anadolu Öğretmen Lisesi Fen Bilimleri alanında tamamladı. 2012 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2017 yılında eğitimini tamamlayarak mezun oldu. Şubat 2019 yılında Gümüşhane Belediye Başkanlığı Fen İşleri Müdürlüğünde çalışmaya başladı. Aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 11.02.2022 tarihi ile Gümüşhane Belediyesindeki görevinden ayrıldı ve 19.04.2022 tarihinde Gümüşhane Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğünde Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak çalışmaya başladı.