





## Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin PVSyst ile Analizi

Ömür AKYAZI<sup>1</sup>, Şeymanur BAŞLIK<sup>2</sup>, Kanan KHIDIRZADE<sup>3</sup>, Bora ÇAVDAR<sup>4\*</sup>

### Öz

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş enerjisinin önemi ve kullanımı git gide artmaktadır. Özellikle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olan Türkiye gibi ülkeler için, fotovoltaik sistemler aracılığıyla güneş enerjisinden elektrik üretimi oldukça kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada Türkiye'nin yedi bölgesi içinden global radyasyon değerlerine göre seçilen illerde, 24 MW gücünde şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler modellenmiştir. Bu modeller PVSyst yazılımı aracılığıyla oluşturulmuş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları sayesinde bölgelerin fotovoltaik sistemler için performans karşılaştırmaları yapılmıştır. En yüksek yıllık küresel radyasyon değeri Güneydoğu Anadolu bölgesinde, en yüksek performans, yani faydalı enerji üretimi ise İç Anadolu bölgesindedir. Bu durum sıcaklık faktörünün Güneydoğu Anadolu bölgesinde verim üzerindeki olumsuz etkisini göstermektedir. Sonuç olarak, elde edilen bulgular Türkiye'nin coğrafi bölgelerindeki fotovoltaik sistemlerin verimliliği üzerine detaylı analizi literatüre sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Panel, PVSyst.

## Analysis of Turkey's Solar Energy Potential with PVSyst

### Abstract

The importance and utilization of solar energy, which is one of the renewable energy sources, is increasing day by day. Especially for countries like Turkey, which has a high solar energy potential, electricity generation from solar energy through photovoltaic systems is of critical importance. In this study, a 24 MW grid-connected photovoltaic systems model has been designed in provinces selected according to global radiation values from seven regions of Turkey. These models were installed and simulated using PVSyst software. Thanks to the simulation results obtained, performance comparisons of the regions for photovoltaic systems were made. The highest annual global radiation value is in the Southeastern Anatolia Region, while the highest performance, i.e. useful energy production, is in the Central Anatolia Region. This shows the negative effect of temperature factor on yield in the Southeastern Anatolia Region. As a result, the findings provide the literature with detailed results on the efficiency of photovoltaic systems in geographical regions of Turkey.

**Keywords:** Solar Energy, Photovoltaic Panel, PVSyst.

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, [oakyazi@ktu.edu.tr](mailto:oakyazi@ktu.edu.tr)

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, [412010@ogr.ktu.edu.tr](mailto:412010@ogr.ktu.edu.tr)

<sup>3</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, [kenanhidirzade@hotmail.com](mailto:kenanhidirzade@hotmail.com)

<sup>4</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, [boracavdar@ktu.edu.tr](mailto:boracavdar@ktu.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

## 1. Giriş

Dünya genelinde artan elektrik enerjisi ihtiyacı ile insanlar yeni enerji kaynakları arayışına girmiştir. Bu arayışın sebepleri arasında; kullanılan fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve bu kaynakların çevreye olan zararları bulunmaktadır. Bu durum daha sürdürülebilir ve çevreci olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi sağlamıştır. Bu enerji kaynakları arasında olan güneş, tartışılmaz olarak insanoğlu için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli düşünüldüğünde bu potansiyel artan enerji ihtiyacını karşılayacak değerli bir katkı payına sahiptir (Öztürk ve ark., 2023).

Güneş enerjisi, daimî olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları sayesinde oluşan ışınım enerjisidir ve gerçekleşen kütle değişikliği ısı enerjisine çevrilerek uzay boşluğuna dağılmaktadır. Güneş enerjisinin ışınım şiddeti yaklaşık olarak  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir ancak yerküreye ulaşabilen miktarı atmosfer içindeki kayıplar nedeniyle  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında farklılık gösterebilmektedir. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin küçük bir kısmı bile insanlığın mevcut enerji tüketiminden çok daha fazladır. Güneş enerjisi fotovoltaik sistemler adı verilen ve fotovoltaik (PV) paneller aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılır (Akcan ve ark., 2020). Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan teknolojinin nispeten daha basit yapıda olması ve kullanılan bu teknolojinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha ucuz olması bu kaynağa olan talebin artmasına sebep olmuştur (Küçükgoze, 2016).

Güneş enerjisi araştırmaları, 1970'lerden itibaren büyük bir ivme kazanmıştır. Özellikle fotovoltaik sistemler üzerinde yapılan çalışmalarda bilimsel olarak ilerleme kaydedilmiş ve maliyet açısından önemli düşüşler yaşanmıştır (Akcan ve ark., 2020; Tuğcu, 2023). Güneş enerjisinin doğal bir kaynak olması, temiz enerji kaynakları arasında önemli bir yer edinmesine katkıda bulunmuştur (Çanka ve ark., 2015). Son zamanlarda Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla ilgili önemli adımlar atılmıştır. Özellikle güneş enerjisiyle elektrik üretimi üzerine yapılan araştırmaların sayısı artmıştır (Tuğcu, 2023). Güneş enerjisinden elde edilen elektrik miktarı ise sürekli olarak artmaktadır. Ülkemizde 2024 yılı ocak ayı itibariyle güneş enerjisi kurulu gücü  $11.707 \text{ MW}$ ' a yükselmiştir (URL-1). Türkiye'nin 81 ilinde güneş enerjisinden faydalanılarak elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde güneş enerjisinde en yüksek kurulu güce sahip il Konya olup onu,  $694 \text{ MW}$  ile Ankara,  $595 \text{ MW}$  ile Gaziantep,  $555 \text{ MW}$  ile Kayseri,  $451 \text{ MW}$  ile Şanlıurfa,  $442 \text{ MW}$  ile Niğde,  $389 \text{ MW}$  ile İzmir,  $358 \text{ MW}$  ile Kahramanmaraş,  $335 \text{ MW}$  ile Mersin ve  $319 \text{ MW}$  ile Manisa illeri izlemektedir (URL-2).

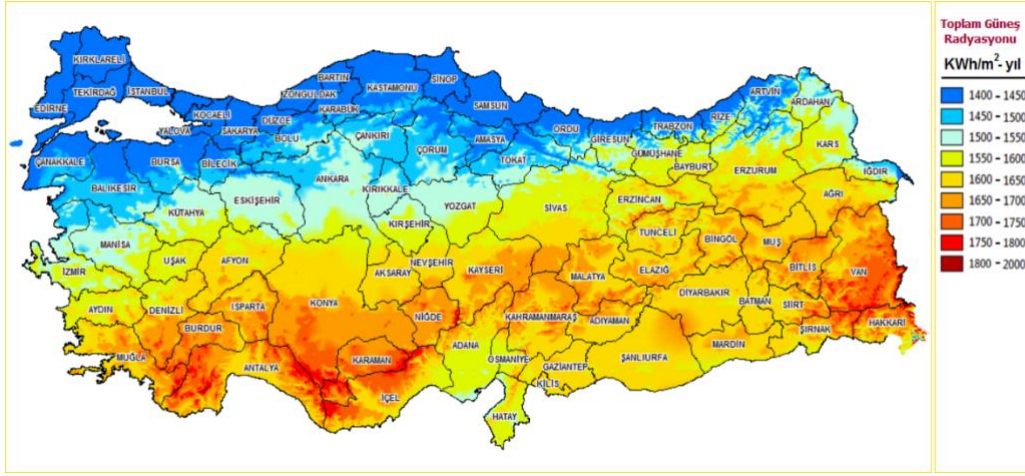
Güneş enerjisinden faydalanmak için kullanılan fotovoltaik panellerin verimleri maksimum %24 değerindedir. Bu da güneş enerjisinden tamamen faydalanılamadığı, ortalama olarak %80 oranında faydalı, kullanılabilir elektrik enerjisi elde edilemediği anlamına gelir (Karakaya ve Şen,

2019). Fotovoltaik panellerin verimini olumsuz etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar; panellerin aşırı ısınması, gölgeleme faktörü, tozlanma, panel açısı, güneş ışığı yoğunluğu ve geliş açısı olarak sıralanabilir (Kerem ve ark., 2020). Panel verimliliğini değerlendirmek için performans oranı parametresi kullanılır. Performans oranı ile güneş enerjisinden teorikte ve gerçekte elde edilen veriler arasında karşılaştırma yapılması sağlanır. Bu karşılaştırmada; invertör verimsizliği, kablo kayıpları, hücre uyumsuzluğu kayıpları, modül sıcaklık kayıpları vb. gibi farklı kayıplardan dolayı üretilen enerjiden hangi oranda kayıp olduğu sonucuna varılır (Kumar ve ark., 2020).

Literatürde Türkiye'nin farklı şehirleri için güneş enerjisinden elektrik üretiminin etkinliği araştırma konusu olmuştur. Literatürde ele alınan araştırmalar genellikle il bazlı sadece o il için elde edilen sonuçları içermektedir. Yapılan araştırmalarda ele alınan illerden bazıları Kahramanmaraş (Taşkın ve Korucu, 2014), Adıyaman (Behçet ve Oral, 2013), Burdur (Kırbaş ve ark., 2013), Amasya (Kaynar, 2020), Kayseri (Oğuz ve Akkurt, 2017), Karabük (Oral, 2020), Hatay (Kumruoğlu ve Ateş, 2022), Nevşehir (Bilhan ve Emikönel, 2021), Ankara (Varlı ve ark., 2022), Mardin (Doğanay, 2021), Denizli (Tanrıku ve Partigöç, 2024), Bilecik (Başkaya ve Kaya, 2023), Sinop (Alcan ve ark., 2018), Trabzon (Çakmak ve Altaş, 2016) ve Erzincan'dır (Çakmak ve Altaş, 2017). Bu çalışmada literatürden farklı olarak Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi için ayrı ayrı eşdeğer güçte şebeke ile bağlantılı fotovoltaik sistemlerin (santrallerin) analizi yapılmıştır. Çalışmanın amacı bölgelere göre fotovoltaik sistemlerin verimliliğini test etmek diğer bir deyişle bölgelerin güneş enerjisinden elektrik üretimindeki etkinliğini karşılaştırmaktır. Her bir bölge için fotovoltaik sistemlerin performansı PVSyst simülasyon programı aracılığı ile analiz edilip kıyaslanmaktadır.

### **1.1. Coğrafi Bölgelere Göre Güneş Enerjisi Potansiyeli**

Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)'na göre, ülkemizde yıllık ortalama güneşlenme süresi 2,741 saat olarak hesaplanmıştır, bu da günlük ortalama 7,5 saat demektir. Ayrıca gelen toplam güneş enerjisi ışınım miktarı 1,527 kWh/m<sup>2</sup>-yıl olarak hesaplanmıştır ve günlük ortalama 4,18 kWh/m<sup>2</sup>-gün değerindedir (URL-3).



Şekil 1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli (URL-4).

Şekil 1'de yer alan GEPA, Türkiye'nin şehir bazında detaylı bir güneş enerjisi potansiyeli analizini sunar. Genel bir bakışla, mavi veya mavi tonlarına yakın bölgelerin düşük potansiyele sahip olduğu, kırmızı veya kırmızı tonlarına yakın bölgelerin ise yüksek potansiyele işaret ettiği görülmektedir. Güneş enerjisinden en çok haziran ayında yararlanılırken, en az aralık ayında yararlanılır. Güneşlenme süresinden ise en çok temmuz ayında faydalanılırken en az aralık ayında faydalanılır. Bölgelere göre özelleştirilmiş güneş enerjisi potansiyeli hakkında Tablo 1'den daha net verilere ulaşılabilir.

Tablo 1. Bölgelere Göre Güneşlenme Süreleri (URL-5)

Bölgeler	Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi	
	En Çok (kWh/m <sup>2</sup> /ay)	En Az (kWh/m <sup>2</sup> /ay)	En Çok (Saat)	En Az (Saat)
Güneydoğu Anadolu	202,5	54,56	372	129,58
Akdeniz	203,4	57,04	361,77	134,23
Doğu Anadolu	201	48,67	350,61	122,76
İç Anadolu	197,1	50,22	358,36	110,67
Ege	198	52,08	361,77	127,1
Marmara	184,2	40,3	347,67	100,6
Karadeniz	184,8	40	299,46	96,1

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Bölgelerin Belirlenme Kriterleri

Fotovoltaik sistemin kurulacağı bölgelerin belirlenmesinde GEPA tarafından sağlanan yıllık global radyasyon değerleri kullanılmıştır. Bu değerler kullanılarak Türkiye'nin yedi bölgesi için ortalama yıllık global radyasyon değeri hesaplanır. Bu hesaplama bölgede bulunan illerin yıllık global

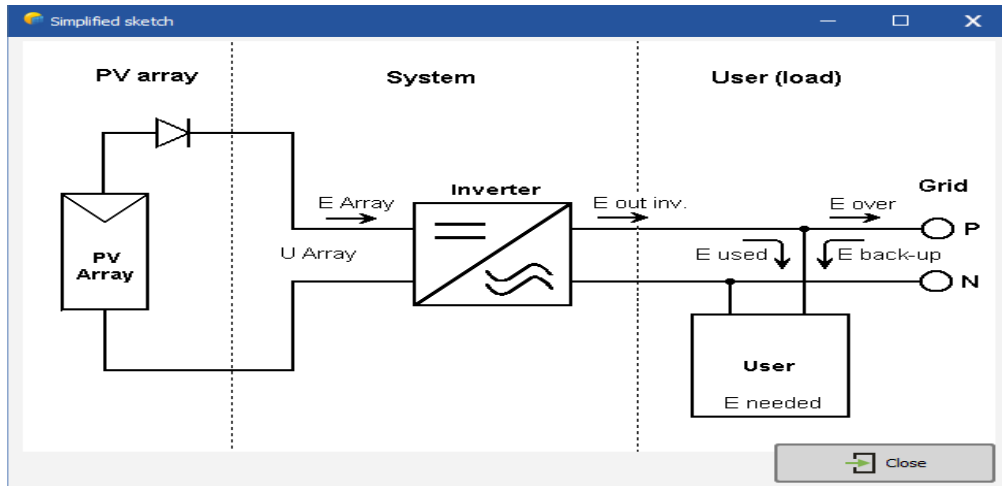
radyasyon değerlerinin ortalaması şeklinde elde edilmektedir. Bölgelerin yıllık global radyasyon değerleri elde edildikten sonra bu değere en yakın olan iller seçilerek bu illere fotovoltaik sistemlerin kurulumu simülasyon programı aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Tablo 2’de bölgelerin ve bu bölgeleri temsil eden illerin yıllık global radyasyon değerleri verilmektedir. Ayrıca bu illerde fotovoltaik sistemlerin kurulduğu enlem ve boylam bilgileri de Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca Tablo 2’de verilen illerde hali hazırdaki kurulu güç değerleri Batman için 28 MW, Kahramanmaraş için 358 MW, Erzincan için 58 MW, Uşak için 213 MW, Sivas 130 için MW, Çanakkale için 26 MW ve Amasya için 53 MW’tır.

**Tablo 2.** Bölgelerin Yıllık Global Radyasyon Değerleri ve Seçilen İllerin Bilgileri

Bölgeler	kWh/m <sup>2</sup> -Yıl	Seçilen İl	kWh/m <sup>2</sup> -Yıl	Seçilen Enlem	Seçilen Boylam
Güneydoğu Anadolu	1572,41	Batman	1576,19	37,54	41,33
Akdeniz	1597,03	Kahramanmaraş	1604,48	38,13	36,41
Doğu Anadolu	1557,77	Erzincan	1555,51	39,44	38,94
Ege	1542,96	Uşak	1540,91	38,51	29,76
İç Anadolu	1538,1	Sivas	1538,48	38,65	37,13
Marmara	1382,22	Çanakkale	1375,14	39,57	26,33
Karadeniz	1393,47	Amasya	1394,3	40,92	35,28

## 2.2. Şebeke Bağlantılı (On-Grid) Fotovoltaik Sistem

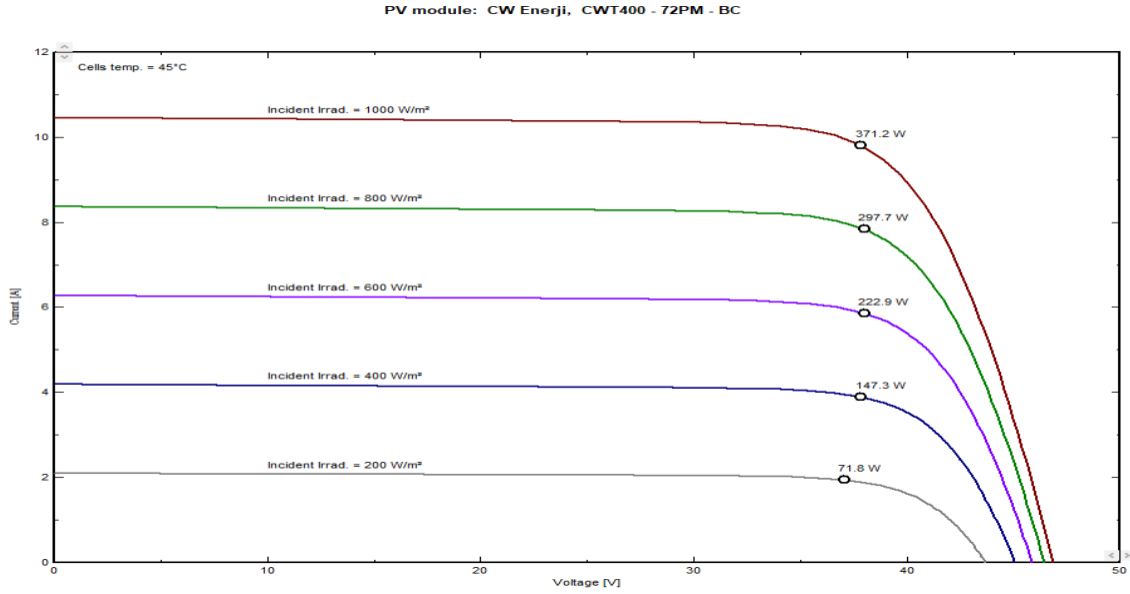
Çalışmanın amacına yönelik sistemler kurulacağı için şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tercih edilmiştir. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem; fotovoltaik paneller, inverterler, güç şartlandırma ünitesi ve şebeke bağlantı ekipmanlarının bütününden oluşmaktadır. Tavsiye edilen, şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem modeli Şekil 2’de PVSyst yazılımı ile gösterilmiştir (Saraswat ve Sathans, 2017).



**Şekil 2.** Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistem Modeli.

### 2.3. Fotovoltaik Panel Seçimi

Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesinde kurulacak fotovoltaik sistemlerde ortak paneller kullanılacak olup CW Enerji markasına ait CWT-400-72PM-BC-V modeli 400 watt gücünde tercih edilmiştir. Şekil 3'te kullanılacak panel modelinin akım-gerilim grafiği verilmiştir.

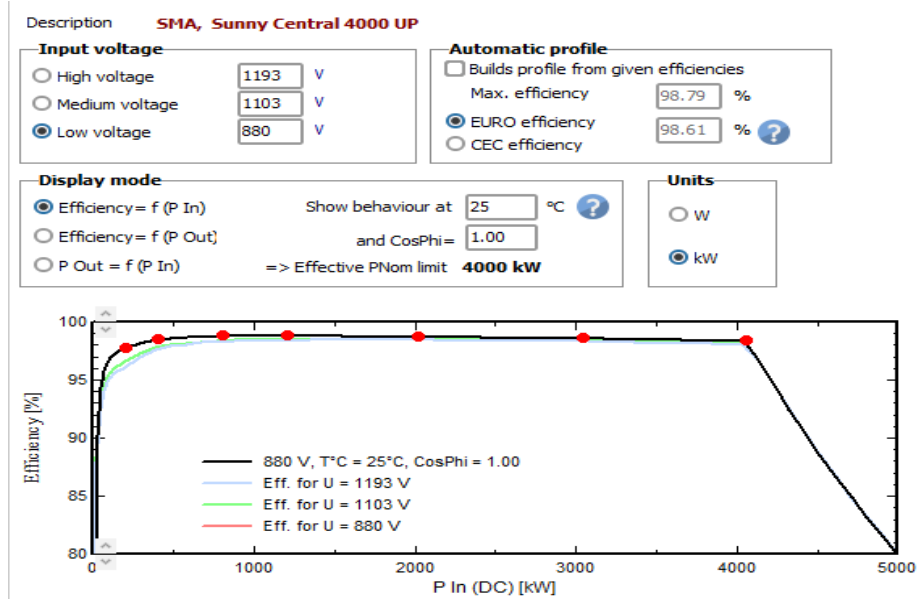


Şekil 3. Sistemlerde Ortak Kullanılan Fotovoltaik Panelin Akım-Gerilim Eğrisi.

Şekilde ideal test koşullarındaki ( $1000W/m^2 - 25^0C$ ) akım gerilim eğrisinde fotovoltaik panelin maksimum güç noktası 371,2W olarak gözlemlenmiştir.

### 2.4. İnverter Seçimi

İnverter seçilirken başlıca dikkat edilmesi gereken hususlar; veriminin yüksek olması, kayıplarının düşük olması ve fotovoltaik panellerle uyumlu çalışmasıdır. Kurulacak tüm fotovoltaik sistemlerde ortak bir şekilde kullanılacak olan inverter "SMA" markasının 4000 kW'lık "Sunny Central 4000 UP" modeli seçilmiştir. Sistemde 6 adet Sunny Central 4000 UP modeli inverter kullanılmıştır. Şekil 4'te inverterlere ait verim bilgileri gösterilmiştir. İnvertörlerin düşük gerilim değeri 880 V, yüksek gerilim değeri ise 1193 V'tur. İnvertörden elde edilecek en yüksek verim ise %98,79'dur.



Şekil 4. Sistemlerde Ortak Kullanılan İnvörtöre Ait Verim Bilgileri

### 3. Tasarım ve Simülasyon Sonuçları

PVSyst programı aracılığıyla simülasyonu gerçekleştirilecek olan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımının kurulum bölgeleri için Güneydoğu Anadolu'dan Batman, Akdeniz'den Kahramanmaraş, Doğu Anadolu'dan Erzincan, İç Anadolu'dan Sivas, Ege'den Uşak, Marmara'dan Çanakkale ve Karadeniz'den Amasya şehirleri seçilmiştir. Bu şehirler ait oldukları coğrafi bölgelerin içindeki diğer şehirler arasında, bölgenin ortalama yıllık global radyasyon değerine yakın olduğu için seçilmiştir. Yıllık global radyasyon değerleri GEPA verilerinden faydalanılarak elde edilmiştir.

Türkiye'ye ait 7 coğrafi bölgede PVSyst programı aracılığı ile kurulacak fotovoltaik sistemlerde kurulu güç 24 MWp olacak biçimde ayarlanmıştır. Bunun sonucunda 24 MWp fotovoltaik sistem ve kurulacak sisteme ait belirlenmiş elemanların 119873 m<sup>2</sup>'lik bir alana ihtiyacı olduğu hesaplanmıştır. Şekil 5'te PVSyst'de yapılan bu hesaplamaların ekranı yer almaktadır.

Şekil 5. Sistem Tasarımına Dair Ara Yüz Ekranı.

PVSyst programı, bütünleşmiş şekilde çalıştığı programlar ve yazılımlar aracılığı ile istenilen konuma sistemi kurmakta kolaylık sağlamaktadır. Harici bir şekilde tam konum girilmek istenirse enlem ve boylam koordinatları girilerek de konum belirlenebilir. Daha sonra kurulacak fotovoltaik panellerin oryantasyon ayarları yapılır. Kayıpları en aza indirmek amacı ile PVSyst programında panel açısı optimum kayıp en az olacak şekilde ayarlanmalıdır (Soualmia ve Chenni, 2017). Gerekli oryantasyon ayarları yapıp en uygun panel açısı da belirlenerek sistem tasarımı hazır hale getirilir. Bu bölümde tüm bölgelerde kurulan sistemler için optimum panel ayarları paylaşılmaktadır. Bu ayarlar ve sonucunda elde edilen yıllık meteorolojik verim bilgileri Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Optimum Panel Ayarları ve Verimi

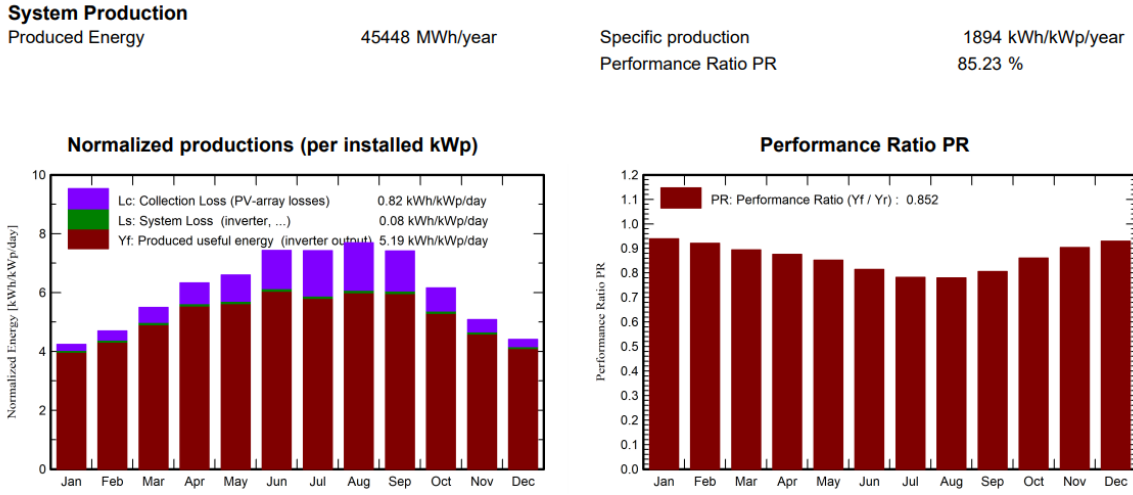
Bölgeler	Saha Parametreleri		Yıllık Meteorolojik Verim		
	Eğim	Azimet	FT	Kayıp (%)	kWh/m <sup>2</sup>
Güneydoğu Anadolu (Batman)	35°	0°	1.18	0	2256
Doğu Anadolu (Erzincan)	35°	0°	1.20	0	2201
İç Anadolu (Sivas)	35°	0°	1.19	0	2222
Ege (Uşak)	35°	0°	1.18	0	2078
Akdeniz (Kahramanmaraş)	35°	0°	1.18	0	2106
Karadeniz (Amasya)	37°	0°	1.19	0	1822
Marmara (Çanakkale)	33°	0°	1.15	0	1946

### 3.1. Güneydoğu Anadolu Bölgesi (Batman) İçin Simülasyon ve Modelleme

Batman'da gölgelenme ve rüzgâr faktörlerini göz önünde bulundurarak net bir konum PVSyst programı ile belirlenmiştir. Sistemde inverter çıkışından elde edilen sağlıklı ve kullanışa hazır olan enerji, Şekil 6'da kırmızı taralı alanla (Yf) gösterilmiştir. Aylara göre günlük ortalama 5,19 kWh değerindedir. Sistemde inverterden kaynaklanan kayıplar yeşil taralı alanla (Ls) gösterilmiştir ve



aylara göre günlük ortalama 0,08 kWh değerindedir. Fotovoltaik dizilerden kaynaklı kayıplar ise mor taralı alanla (Lc) gösterilmiştir ve aylara göre günlük ortalama 0,82 kWh değerindedir. Performans oranı %85,23 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Batman'da Verimin Aylara Göre Değişimi ve Kayıp Faktörleri.

Kurulan sistemlerde yaşanan kayıpların başlıca sebepleri yansıma, ışınım seviyesi, sıcaklık, modül ve diziler arasındaki uyumsuzluk, kablo direnci, invertör ve gece tüketimidir. Batman'da kurulan sistem için yıl içinde yüzdesel olarak meydana gelecek kayıplar %1,94 yansımadan, %0,34 ışınım seviyesinden, %8,52 sıcaklıktan, %2,1 modül ve diziler arasındaki uyumsuzluktan, %1,2 kablo direncinden, %2,13 invertörden ve %0,02 gece tüketiminden kaynaklanır.

### 3.2. Doğu Anadolu Bölgesi (Erzincan) İçin Simülasyon ve Modelleme

Doğu Anadolu bölgesine kurulacak 24 MWp fotovoltaik sistem için seçilen Erzincan şehrinde, kırsal bölgelere ve ovalara oranla yüksek rüzgârdan kaynaklanan kayıpları önleme amacı ile merkezi bir konum belirlenmiştir. Konum seçimi yapıldıktan sonra, konuma göre ayarlanması gereken en uygun panel açısı belirlenmiş ve panelin oryantasyon ayarları yapılmıştır.

Şekil 7'de sistemde üretilen kullanışa hazır olan invertör çıkışındaki enerji (Yf) aylara göre günlük ortalama 5,25 kWh değerinde olmaktadır. Sistemde invertörden kaynaklanan kayıp (Ls) aylara göre günlük ortalama 0,08 kWh değerindedir. Fotovoltaik dizilerden kaynaklı kayıplar (Lc) ise aylara göre günlük ortalama 0,52 kWh değerindedir. Sistemin performans oranı %89,69 olarak hesaplanmıştır.

**System Production**

Produced Energy

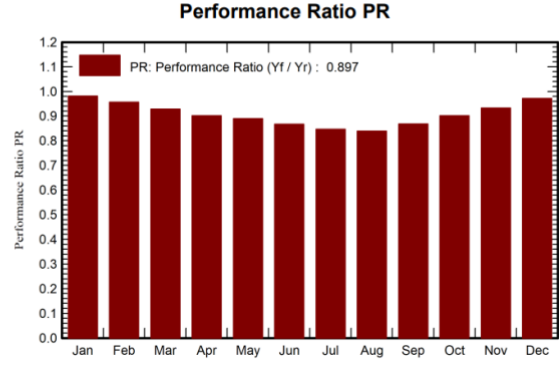
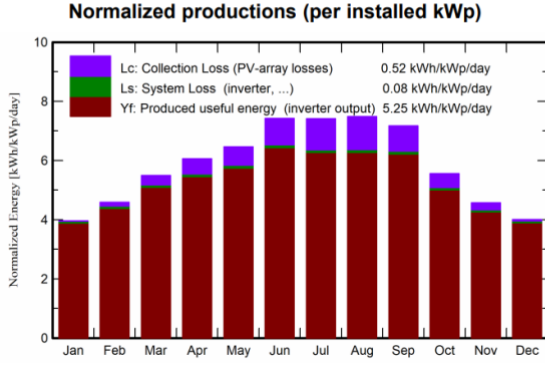
45993 MWh/year

Specific production

1916 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR

89.69 %



Şekil 7. Erzincan'da Verimin Aylara Göre Değişimi ve Kayıp Faktörler.

Erzincan'da kurulan sistem için yıl içinde yüzdesel olarak meydana gelecek kayıplar %2,1 yansımadan, %0,5 ışınım seviyesinden, %3,82 sıcaklıktan, %2,1 modül ve diziler arasındaki uyumsuzluktan, %1,18 kablo direncinden, %1,75 invertörden ve %0,02 gece tüketiminden kaynaklanır.

### 3.3. İç Anadolu Bölgesi (Sivas) İçin Simülasyon ve Modelleme

Sivas şehri için konum belirlenirken yine diğer bölgelerde olduğu gibi gölgelenme ve rüzgâr faktörlerini göz önünde bulundurarak olabildiğince daha merkezi ve deniz seviyesine yakın bir lokasyon seçilmiştir. Fotovoltaik sistemin kurulacağı konum seçimi yapıldıktan sonra fotovoltaik paneller için en verimli panel açısı hesaplanır ve oryantasyon ayarı tamamlanmış olur.

**System Production**

Produced Energy

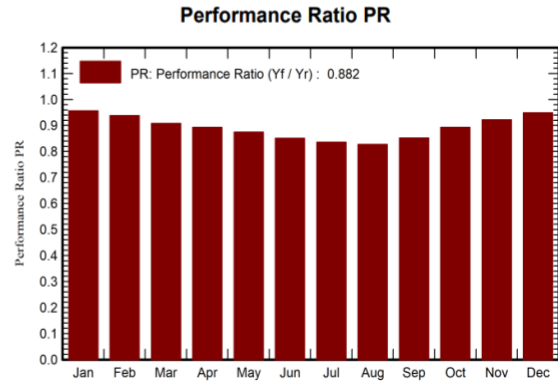
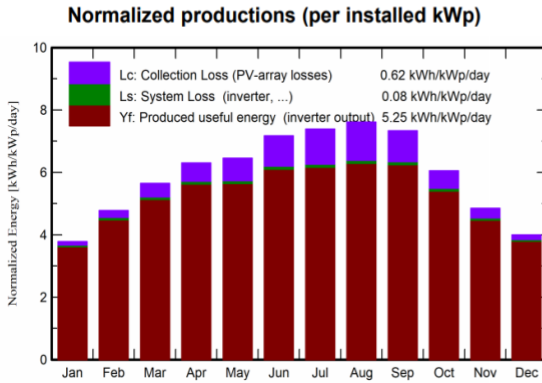
46015 MWh/year

Specific production

1917 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR

88.24 %



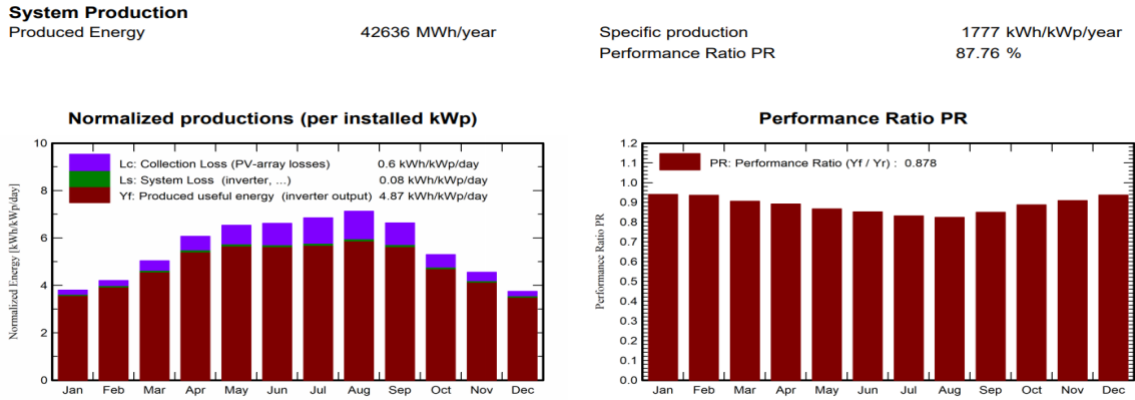
Şekil 8. Sivas'ta Verimin Aylara Göre Değişimi ve Kayıp Faktörler.

Şekil 8’de sistemde üretilen kullanışa hazır olan inverter çıkışındaki enerji (Yf) aylara göre günlük ortalama 5.25 kWh olmaktadır. Sistemde inverterden kaynaklanan kayıplar (Ls) aylara göre günlük ortalama 0.08 kWh şeklindedir. Fotovoltaik dizilerden kaynaklı kayıplar (Lc) aylara göre günlük ortalama 0,62 kWh değerindedir. Sistemdeki performans oranı %88,24 olarak elde edilmiştir.

Sivas’ta kurulan sistem için yıl içinde yüzdesel olarak meydana gelecek kayıplar %2,02 yansımadan, %0,43 ışıınım seviyesinden, %5,58 sıcaklıktan, %2,1 modül ve diziler arasındaki uyumsuzluktan, %1,18 kablo direncinden, %1,67 invertörden ve %0,02 gece tüketiminden kaynaklanır.

### 3.4. Ege Bölgesi (Uşak) İçin Simülasyon ve Modelleme

Ege bölgesi için seçilen il Uşak’ta kurulan fotovoltaik sistemin konumu seçildikten sonra kurulum için optimum ayarlar yapılır ve Şekil 9’daki veriler elde edilir. Sistemde üretilen kullanışa hazır olan inverter çıkışındaki enerji (Yf) aylara göre günlük ortalama 4,87 kWh değerindedir. Sistemde inverterden kaynaklanan kayıplar (Ls) aylara göre günlük ortalama 0,08 kWh iken fotovoltaik dizilerden kaynaklı kayıplar (Lc) aylara göre günlük ortalama 0,6 kWh değerindedir. Sistemin performans oranı %87,76 olarak elde edilir.

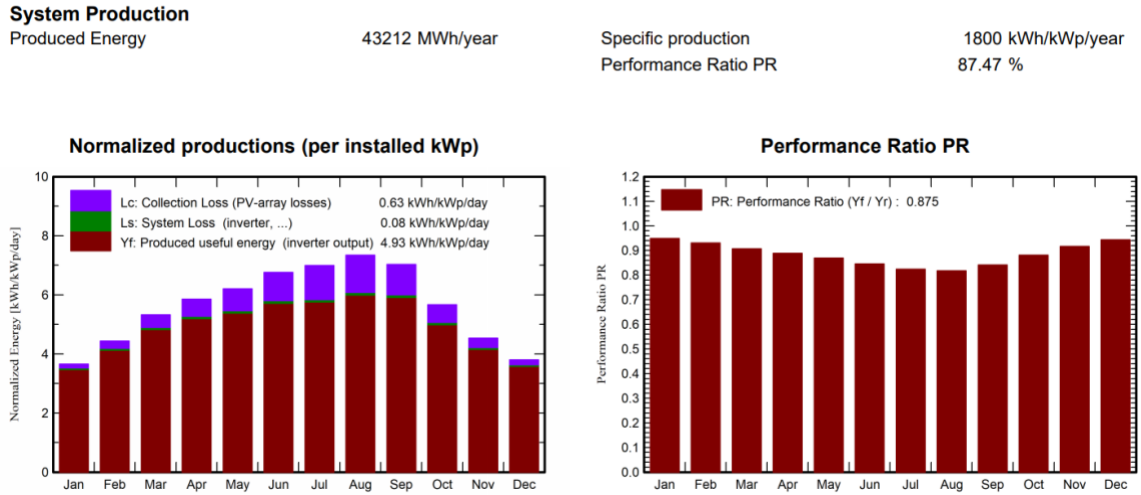


Şekil 9. Uşak'ta Verimin Aylara Göre Değişimi ve Kayıp Faktörleri.

Uşak'ta kurulan sistem için yıl içinde yüzdesel olarak meydana gelecek kayıplar %2,17 yansımadan, %0,48 ışıınım seviyesinden, %5,99 sıcaklıktan, %2,1 modül ve diziler arasındaki uyumsuzluktan, %1,13 kablo direncinden, %1,64 invertörden ve %0,02 gece tüketiminden kaynaklanır.

### 3.5. Akdeniz Bölgesi (Kahramanmaraş) İçin Simülasyon ve Modelleme

Kahramanmaraş şehrinde belirlenen konum için en verimli panel açısı ayarlanıp oryantasyon ayarları tamamlanır. Şekil 10’da sistemde üretilen kullanışa hazır olan inverter çıkışındaki enerji (Yf) aylara göre günlük ortalama 4,93 kWh değerindedir. Sistemde inverterden kaynaklanan kayıplar (Ls) aylara göre günlük ortalama 0,08 kWh iken fotovoltaik dizilerden kaynaklı kayıplar (Lc) aylara göre günlük ortalama 0,63 kWh değerindedir. Performans oranı %87,47 olarak elde edilmektedir.



Şekil 1. Kahramanmaraş'ta Verimin Aylara Göre Değişimi ve Kayıp Faktörler.

Kahramanmaraş'ta kurulan sistem için yıl içinde yüzdesel olarak meydana gelecek kayıplar %2,06 yansımadan, %0,49 ışınım seviyesinden, %6,28 sıcaklıktan, %2,1 modül ve diziler arasındaki uyumsuzluktan, %1,15 kablo direncinden, %1,74 invertörden ve %0,02 gece tüketiminden kaynaklanır.

### 3.6. Karadeniz Bölgesi (Amasya) İçin Simülasyon ve Modelleme

Karadeniz bölgesinde seçilen şehir Amasya'dır. Amasya için elde edilen sistem performansı Şekil 11’de verilmektedir. Kullanışa hazır olan inverter çıkışındaki enerji (Yf) aylara göre günlük ortalama 4,2 kWh değerindedir. Sistemde inverterden kaynaklanan kayıplar (Ls) aylara göre günlük ortalama 0,06 kWh olarak elde edilir. Fotovoltaik dizilerden kaynaklı kayıplar (Lc) aylara göre günlük ortalama 0,54 kWh değerindedir. Sistemin performans oranı ise %87,39 olarak elde edilir.

**System Production**

Produced Energy

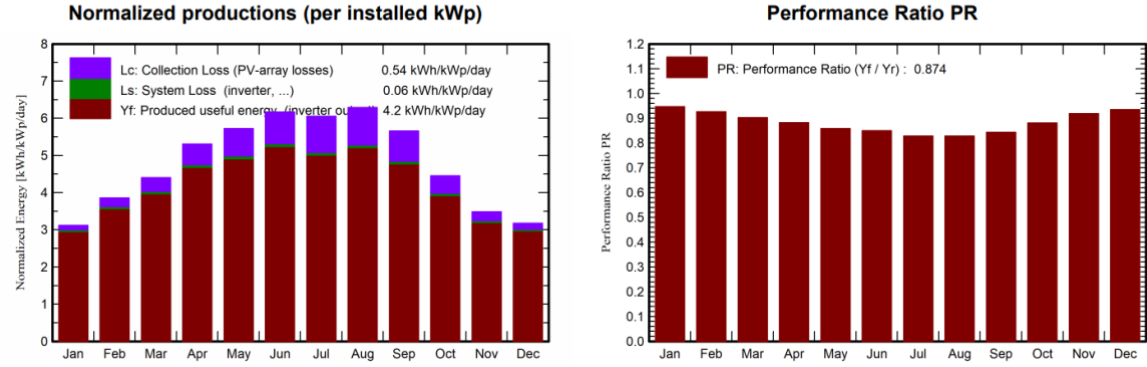
36835 MWh/year

Specific production

1535 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR

87.39 %



Şekil 11. Amasya'da Verimin Aylara Göre Değişimi ve Kayıp Faktörleri.

Amasya'da kurulan sistem için yıl içinde yüzdesel olarak meydana gelecek kayıplar %2,12 yansımadan, %0,69 ışınım seviyesinden, %6,23 sıcaklıktan, %2,1 modül ve diziler arasındaki uyumsuzluktan, %1,07 kablo direncinden, %1,72 invertörden ve %0,03 gece tüketiminden kaynaklanır.

**3.7. Marmara Bölgesi (Çanakkale) İçin Simülasyon ve Modelleme**

Marmara bölgesinde belirlenen il Çanakkale için gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen sistem çıktıları Şekil 12'de verilmektedir.

**System Production**

Produced Energy

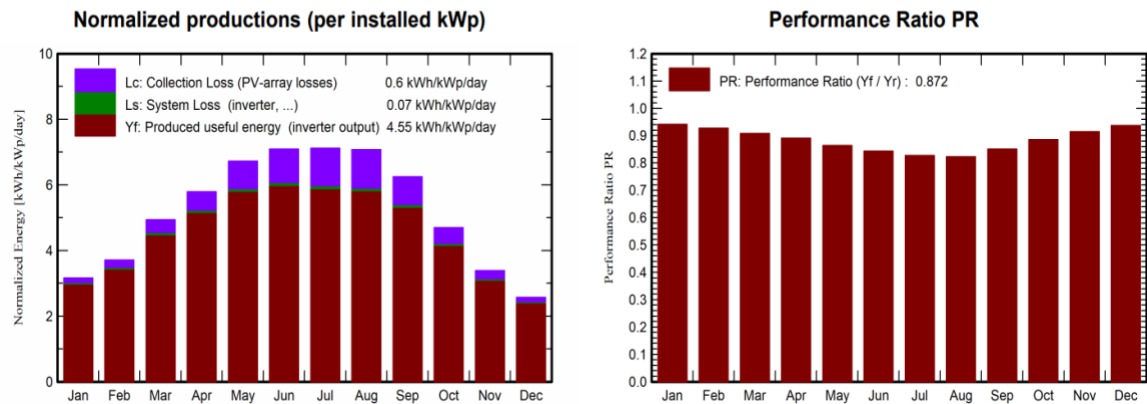
39863 MWh/year

Specific production

1661 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR

87.23 %



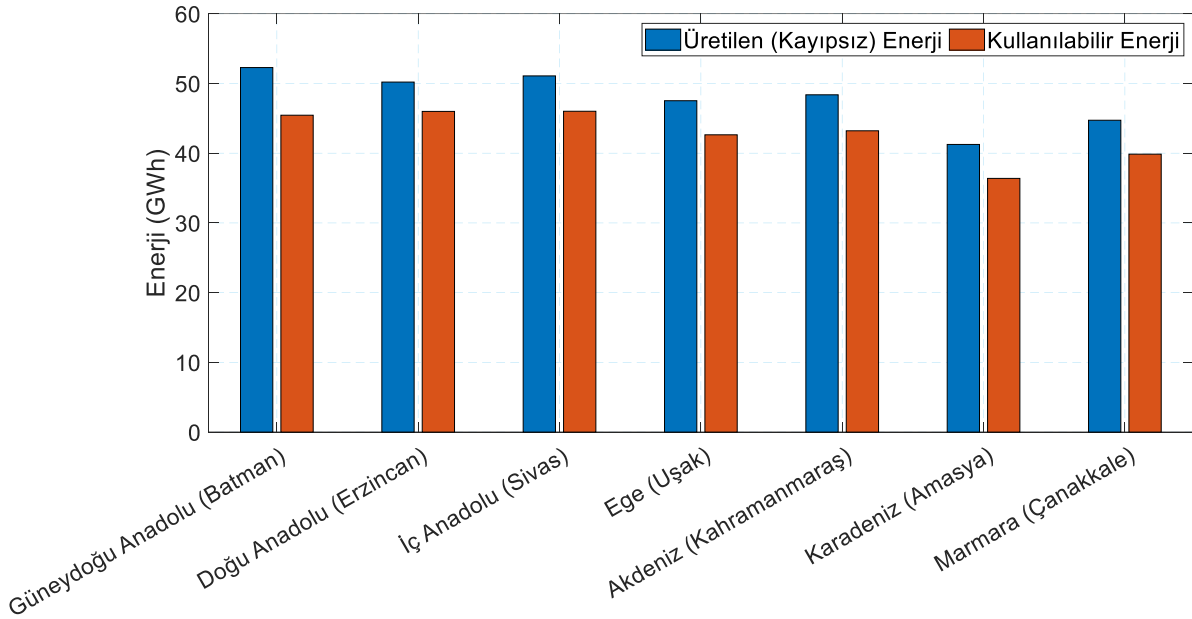
Şekil 12. Çanakkale'de Verimin Aylara Göre Değişimi ve Kayıp Faktörleri.

Kullanışa hazır olan inverter çıkışındaki enerji (Yf) aylara göre günlük ortalama 4,55 kWh değerindedir. Sistemde inverterden kaynaklanan kayıplar (Ls) aylara göre günlük ortalama 0,07 kWh şeklindedir. Fotovoltaik dizilerden kaynaklı kayıplar (Lc) ise aylara göre günlük ortalama 0,6 kWh olarak ortaya çıkar. Sistemin genel performans oranı ise %87,23 olarak elde edilir.

Çanakkale’de kurulan sistem için yıl içinde yüzdesel olarak meydana gelecek kayıplar %2,12 yansımadan, %0,54 ışıınım seviyesinden, %6,63 sıcaklıktan, %2,1 modül ve diziler arasındaki uyumsuzluktan, %1,08 kablo direncinden, %1,61 invertörden ve %0,03 gece tüketiminden kaynaklanır.

#### 4. Sonuçlar

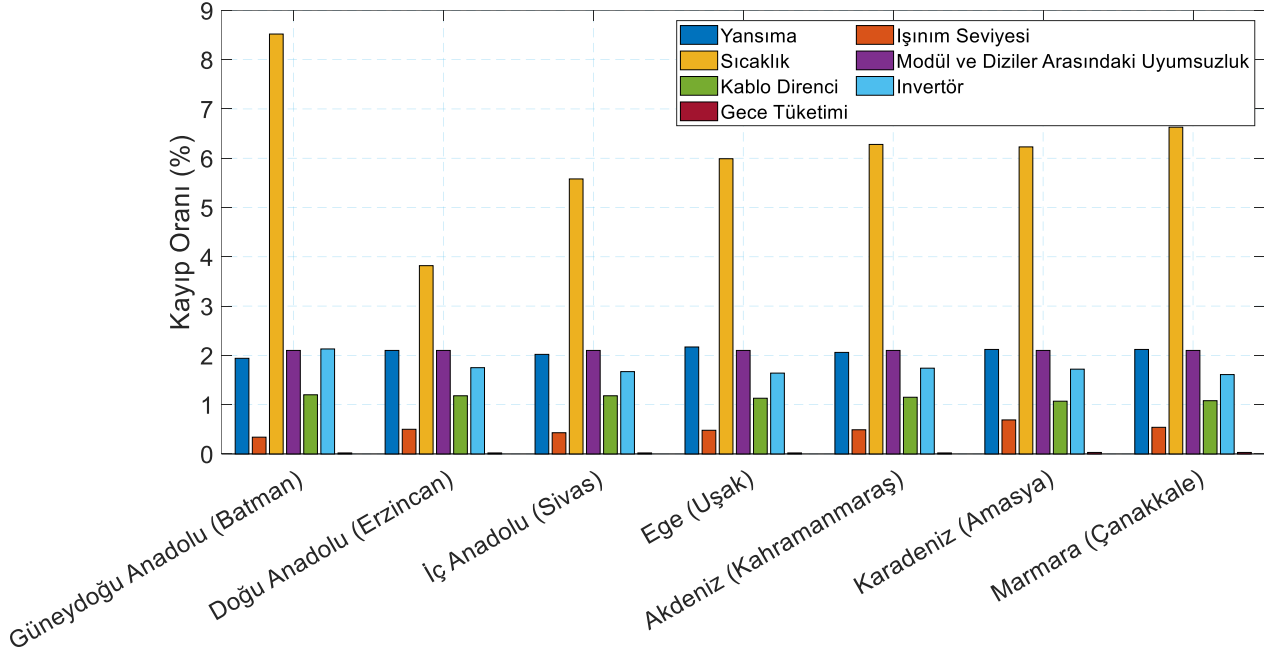
Yapılan araştırmalar sonucunda hazırlanan bu çalışmada, amaçlandığı üzere 24 MWp gücündeki fotovoltaik sistemin Türkiye’nin yedi farklı coğrafi bölgesinde PVSyst programı kullanılarak tasarlanmıştır. Simülasyon ve modellemesine ilişkin yıllık üretilen ve kullanılabilir enerji sonuçları Şekil 13’te verilmiştir.



**Şekil 13.** Üretilen ve Kullanılabilir Enerji

Sistemin ürettiği yıllık (kayıpsız) toplam enerji miktarı ve kayıplar çıktığında sistemin bir yılda ürettiği kullanılabilir faydalı enerji miktarı Şekil 13’te verilmektedir. GEPA verilerine göre en yüksek potansiyel Güneydoğu Anadolu bölgesinde olmasına rağmen kayıplar sebebiyle kullanılabilir faydalı enerjinin en fazla (46,015 GWh) üretildiği bölge İç Anadolu bölgesi (Sivas) olmuştur. En düşük (36,835 GWh) faydalı güç ise Karadeniz Bölgesi’nde (Amasya) kurulan sistemde üretilmiştir.

Enerji kayıplarına neden olan etmenler; yansımadan, ışıınım seviyesinden, sıcaklıktan, modül ve diziler arasındaki uyumsuzluktan, kablo direncinden, invertörden ve gece tüketiminden kaynaklanır. Çalışma sonucunda kayıplara neden olan etmenler için elde edilen yüzdesel yıllık kayıp oranları Şekil 14’te verilmektedir.



Şekil 14. Yıllık Kayıp Oranları

Şekil 13’te verilen bir yılda üretilen enerji ve kullanılabilir enerji arasındaki farkın sebepleri Şekil 14’teki kayıplardan kaynaklanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre fotovoltaik sistemlerde yaşanan güç kayıplarının başlıca nedeni sıcaklıktır. Türkiye’nin yüksek sıcaklıklara sahip bölgelerinde oluşan kayıpların fazla olması sistem verimini ve kullanılabilir enerjisi azaltmaktadır. GEPA verilerine göre belirlenen ve yapılan tüm analizler sonucunda, Türkiye topraklarında kurulması hedeflenen bir fotovoltaik santral için, en mantıklı ve kârlı yer seçiminin İç Anadolu bölgesinde, ikinci tercih olarak da Doğu Anadolu bölgesinde olacağı söylenebilir. Öte yandan elde edilen çalışmalar sonucunda Marmara ve Karadeniz bölgesinde verimin diğer bölgelere göre çok düşük olduğu ortaya koyulmaktadır.

### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. R. (2020). PVsyst Yazılımı İle 30 Kw Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *European Journal of Science and Technology*, 248–261.
- Alcan, Y., Demir, M., & Duman, S. (2018). Sinop ilinin güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin ülkemiz ve Almanya ile karşılaştırarak incelenmesi. *El-Cezeri*, 5(1), 35-44.
- Başkaya, Z., & Kaya, S. (2023). Güneş enerjisi potansiyeli ve güneş enerjisi santralleri: Bilecik ili örneği. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*.
- Behçet, R., Oral, H., & Gül, H. (2013). Adıyaman ilinin güneş enerjisi potansiyeli ve kullanımı. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 3(2), 52-67.
- Bilhan, A., & Emikönel, S. (2021). Nevşehir ili güneş enerji potansiyelinin analizi ve kurulu güneş enerji santralleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 289-294.
- Çakmak, R., & Altaş, İ. A. (2016, December). Türkiye'nin doğu karadeniz bölgesi'nde güneş enerjisi potansiyeli: Trabzon ili örneği. In *Conference: 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO)*, Bursa.
- Çakmak, R., & Altas, I. H. (2017). Erzincan'da Güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli: Almanya ile karşılaştırılması. *Uluslararası Erzincan Sempozyumu*, Erzincan, 407-419.
- Çanka, F. (2015). Solar Energy, its Recent Status in Turkey and Production Technologies. *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28-40.
- Doğanay, M. M. (2021). Mardin bölgesi güneş (fotovoltaik) enerjisi potansiyel analizi. *Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 86-117.
- Karakaya, H., & Şen, İ. E. (2019). Fotovoltaik Panellerde Verim İyileştirme Yöntemleri. *Academic Perspective Procedia*, 2(3), 1179–1188.
- Kaynar, N. K. (2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Amasya ilindeki potansiyeli. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 48-54.
- Kerem, A., Atik, M., & Bayram, A. (2020). Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2).
- Kırbaş, İ., Çifci, A., & İşyarlar, B. (2013). Burdur ili güneşlenme oranı ve güneş enerjisi potansiyeli. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 20-23.
- Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A., & Suhag, S. (2020). Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5322–5328.
- Kumruoğlu, L. C., & Ateş, S. B. (2022). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve İskenderun için örnek üretim projeksiyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(1), 293-305.
- Küçükgoze, O. M., (2016). Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- Oğuz, M., & Akkurt, Ş. (2017). Kayseri İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 362-374.
- Oral, M. (2020). Solar energy potential of Turkey and evaluation of PV applications in local scale: Case of Karabük province. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42(48), 2-503.



- Öztürk, B., Akyazı, Ö., Şahin, M., Yılmaz, G. (2023). Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrali'nin Modellenmesi ve Simülasyon Analizi: Ağrı/Çukurçayır Köyü 999 kW Güneş Enerjisi Santrali Örneği. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(4), 1623-1647.
- Saraswat, R., & Sathans. (2017). Comparative performance evaluation of solar PV modules from different manufacturers in India by using PVsyst. 1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016.
- Soualmia, A., & Chenni, R. (2017). Modeling and simulation of 15MW grid-connected photovoltaic system using PVsyst software. Proceedings of 2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2016.
- Tanrıkulu, Y. S., & Partigöç, N. S. (2024). Güneş enerjisi santrallerinin (ges) coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı analitik hiyerarşi süreci (ahs) yöntemi ile yer seçimi: Denizli ili örneği. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*.
- Taşkın, O., & Korucu, T. (2014). Kahramanmaraş ili güneş enerjisi potansiyeli ve kullanım olanakları. *Tarım ve Doğa Dergisi*, 17(4), 12.
- Tuğcu, A. (2023). PVSYST Simülasyon Aracı Kullanılarak Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Yerleşkesi Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi Santralinin Tasarımı ve Ekonomik Analizi. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 397-417.
- Varlı, H., Tuna, M., & Tombul, M. (2022). Bölgesel güneş enerji potansiyeli ve enerji santrali yatırımı değerlemesi: Sincan Örneği. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(2), 657-666.
- URL-1: <https://www.gensed.org/basin/tei%CC%87a%C5%9F-2024-ocak-ay%C4%B1-kurulu-g%C3%BC%C3%A7-raporunu-yay%C4%B1mlad%C4%B1>, (Erişim Tarihi: 29 Nisan 2024).
- URL-2: <https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye> (Erişim Tarihi: 23 Temmuz 2024)
- URL-3: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes#:~:text=%C3%9C%20k%C4%9Fraf%C4%B1%20nedeniyle%20%C3%B6nemli,kWh%20olarak%20hesaplanm%C4%B1%C5%9F%C4%B1r.>, (Erişim Tarihi: 29 Nisan 2024).
- URL-4: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>, (Erişim Tarihi: 02 Mayıs 2024)
- URL-5: <https://tuba.gov.tr/yayınlar/suresiz-yayınlar/raporlar/tuba-gunes-enerjisi-teknolojileri-raporu-1>, (Erişim Tarihi: 02 Mayıs 2024)