

## Güneş Enerji Santrali Gerçek Üretim Verileri ile Benzetim Programlarından Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması

Derya DİP<sup>1</sup>, Engin Ufuk ERGÜL<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı, 05100, Amasya

<sup>2</sup>Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 05100, Amasya

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0002-0071-4436>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0100-5199>

\*Sorumlu yazar: engin.ergul@amasya.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.06.2024

Kabul tarihi: 07.09.2024

Online Yayınlanma: 15.01.2025

#### Anahtar Kelimeler:

Yenilenebilir enerji

Güneş enerji santrali

Pvsol

Pvsyst

Pvgis

Pvwatts

### ÖZ

Dünyada her geçen gün artan enerji talebinin karşılanması noktasında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı hızla artmaktadır. Fosil yakıtların çevreye olumsuz etkileri, yakın gelecekte azalacak ve tükenecek olması vb. nedenlerden dolayı temiz elektrik üretim sistemlerinin kullanımına yönelik farkındalık artmıştır. Türkiye birçok ülkeye göre güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça iyi konumdadır. Bu konuda artan bilinç ve yenilenebilir enerji yatırımlarının devlet destekleri kapsamında olması bu alanda yapılan yatırımlar için avantaj sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden elektrik üretimi için fotovoltaik (FV) sistemler kullanılmaktadır. FV sistemlerin çıktılarına yaklaşık olarak erişebilme noktasında benzetim programları sıklıkla kullanılmaktadır. Her geçen gün gelişen bu programlar sayesinde tesislere ait fizibilite raporları alınabilmekte ve farklı sistem tasarımlarıyla birlikte nihai sonuca varılabilmektedir. Bu çalışmada, Amasya İl'inde yer alan bir güneş enerjisi santrali üretim verileri ile PVSOL, PVSYST, PVGIS ve PVWATTS benzetim programlarında elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Gerçek üretim değerine en yakın sonuç PVSOL programı ile en uzak sonuç ise PVSYST programı ile elde edilmiştir. Fotovoltaik benzetim programlarının, zamanla azalan hata oranlarıyla birlikte gelecekteki çalışmalar için altyapı olacağı düşünülmektedir.

## Comparison of Real Solar Power Plant Production Data and The Data Obtained from Simulation Programs

### Research Article

#### Article History:

Received: 03.06.2024

Accepted: 07.09.2024

Published online: 15.01.2025

#### Keywords:

Renewable energy

Solar power plant

Pvsol

Pvsyst

Pvgis

Pvwatts

### ABSTRACT

The share of renewable energy sources is increasing rapidly at the point of meeting the increasing energy demand in the world. Awareness of the use of clean electricity generation systems has increased due to the negative effects of fossil fuels on the environment, their decrease and depletion in future, etc. Türkiye is in a very good position in terms of solar energy potential compared to many countries. Increasing awareness on this issue and the fact that renewable energy investments are within the scope of government supports provided an advantage for investments made in this field. Photovoltaic (FV) systems are used for electricity generation from solar energy, which is one of the renewable energy sources. Simulation programs are frequently used to reach the outputs of photovoltaic systems. Thanks to this programs, feasibility reports of the facilities can be obtained, and the result can be reached with different system designs. In this study, the production data of a solar power plant in Amasya was compared with the data obtained in PVSOL, PVSYST, PVGIS and PVWATTS simulation programs. The closest result to the actual production value was obtained with the PVSOL, the farthest result was obtained with the PVSYST. Photovoltaic simulation programs are thought to be the infrastructure for future studies with decreasing error rates over time.

**To Cite:** Dip D., Ergül EU. Güneş Enerji Santrali Gerçek Üretim Verileri ile Benzetim Programlarından Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(1): 414-431.

## 1. Giriş

Enerji, günümüzde vazgeçilmez yaşam kaynaklarından bir tanesi konumundadır. Bununla birlikte enerji, ülkelerin gerek sosyal gerekse ekonomik kalkınması açısından önemli girdileri arasında yer almaktadır. Enerji kullanım alanlarının yaygınlaşması fosil kaynaklara olan ihtiyacı artırmıştır (Tugal, 2014). Artan talebin aksine fosil kaynakların sınırlı olması alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasına yol açmıştır. Sonunda tükenecek olan sınırlı kaynaklar olan fosil yakıtların aksine, yenilenebilir enerji kaynakları bol miktarda bulunur ve sürekli olarak yenilenebilir. Fosil yakıtların sebep olduğu sera gazı emisyonu, küresel ısınma gibi çevreye verdiği zararlar da ele alındığında, ilerleyen zamanlarda daha da artmak üzere çevre ve insanlar üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği aşikârdır. Dünya sera gazı emisyonlarını azaltmanın ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmenin yollarını ararken, yenilenebilir enerji giderek daha önemli bir konu haline gelmiştir.

Elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir bölümü termal veya hidroelektrik enerji üretim santrallerinden elde edilmektedir. Buralarda üretilen elektrik enerjisinin olumsuz etkileri mevcuttur. Bu olumsuz etkilerden olan hava kirliliği ve çevresel olumsuzluklarla ilgili endişenin artmasıyla birlikte, elektrik üretimi için fotovoltaik (FV) sistemler gibi yenilenebilir enerji teknolojileri üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır (Akcan ve ark., 2020). Güneş enerjisinin devamlı olması, doğaya negatif etkilerinin hemen hemen hiç olmaması ve yakıt maliyetinin bulunmaması bu enerji türünü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından farklı bir noktada tutmaktadır (Ceylan, 2017).

Güneş enerji potansiyeli yüksek olan Türkiye için, FV sistemler kritik öneme sahiptir. FV panellerin monokristal, polikristal, ince film gibi çeşitleri mevcuttur. FV enerji sistemlerinin performansı üzerinde, coğrafi konum ve güneş alma miktarının yanı sıra FV panelin özellikleri de etkilidir (Akcan ve ark., 2020).

Gelişen ve değişen teknolojiyle beraber hâlihazırda FV sistemlerinin tahmini performans uygulamaları hakkında veri elde edebilmek için gerekli analizler, dijital ortamda farklı benzetim programlarıyla oluşturulabilmektedir. Bu programlar FV sistemlerin enerji üretim değerlerindeki verimliliğinin ne olacağını ve çalışma tutumunu araştırma konusunda önemli bir fayda sağlamaktadır. Güneş enerjisi benzetim programları ile birçok farklı sistem tasarımı geliştirilebilir. Benzetim programları vasıtasıyla yapılan üç boyutlu sistem tasarımı ile güneş panellerine düşen gölgelenmeler gerçek ortam ile aynı anda izlenebilir. Programların sağladığı imkânlarla FV sistem tasarımcıları, kurulumun gerçekleştirileceği coğrafi bölgeye, ihtiyaç olan enerji miktarına göre uygun seçimler yaparak en doğru sonuca ulaşabilir (Ceylan, 2017).

Elektrik üretimini sağlayacak sistemlere olan talep, her geçen gün artmaktadır. Bu artışa karşılık verebilmek için, yenilenebilir enerji tabanlı FV sistemler öne çıkmaktadır. Kurulacak olan tesislere özel olarak maliyet analizinin yapılabilmesi, üretim değerlerinin tahmin edilebilmesinin yanı sıra tasarımcının, mühendisin veya yatırımcının profesyonel model oluşturmasında benzetim programları kilit noktadadır.

Yetgin (2022), hâlihazırda bulunan bir tesisin çatısına kurulmuş olan ve 2020 yılının Ağustos ayından itibaren üretim verileri kaydedilen güneş enerji santralının (GES) gerçek değerlerini ve sistemin özelliklerini PVSYST (Meteonorm veri tabanı ile) benzetim programına işleyerek sonuç elde etmiştir. Benzetim neticesinde sistemin üretim verileri, kayıp verileri ve sistemin performans parametrelerini elde etmiştir. Performans parametreleri analizi için IEC 61724 standardını temel almıştır. Çalışma neticesinde, gerçek değerler ile benzetim değerlerinin yıllık olarak üretim sonuçları değerlendirmeye alındığında değerler arasında yakın sonuçlar olduğunu gözlemlemiştir. Gerçek üretim verileri ile program çıktıları arasındaki farklılıkların hangi etmenlerden kaynaklanabileceğini belirlemek için "one at a time" kullanılmıştır ve çevresel etmenlerden dolayı farklılıklar oluştuğu belirtilmiştir (Yetgin, 2022).

Arslan (2022), Uşak ve Kayseri illerinde bulunan 3 farklı fotovoltaik santralin gerçek üretim verileri ile benzetim programları kullanılarak elde edilen üretim verilerini karşılaştırmıştır. Araştırmacı Uşak ve Kayseri ilinde kurulu güçleri 862 kWp-1148 kWp arasında olan arazi ve çatı tipi güneş enerji santrallerini tercih ederek analiz gerçekleştirmiştir. Her üç santral için PVSOL (Meteonorm veri tabanı ile), PVSYST (Meteonorm, Nasa, PVGIS veri tabanları ile) ve PVGIS (Era5 ve Sarah veri tabanları ile) programlarından veriler üretmiş ve üretim sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda ortalama %3,83'lük hata oranıyla PVSYST (Meteonorm veri tabanı ile) programı kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları gerçeğe en yakın sonucu vermiştir (Arslan, 2022).

Acar (2022) Edirne ili için güneşten enerji üretme kapasitesi ve Edirne'de yapılması planlanan güneş enerji santralının analizi yapılmıştır. Bu analizler, PVGIS ve PVSYST 6.70 benzetim programları kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen veriler sonucunda Edirne'de kurulması planlanan güneş enerji santralının yatırım maliyetini kısa zamanda karşılayacağı belirtilmiştir (Acar, 2022).

Yalılı (2021) Van ili Edremit ilçesinde bulunan lisanslı ve şebekeye bağlı 1 MW gücündeki GES için finansal analiz ve üretim verileri üzerine bir çalışma gerçekleştirerek yatırımın ileride kârlı olup olmadığını irdelemiştir. Enerji üretim verilerinin elde edilmesinde PVGIS programını kullanmıştır. Yatırımın öz sermaye kullanılarak ya da bu alandaki özel kredilerin kullanılması durumuna göre analizler ve yorumlar yapmıştır. Bahsi geçen santral yatırımının öz sermaye ile gerçekleştirilmesi durumunda makul olabileceği, yatırımda kredi kullanılması durumunda ise olumsuz bir yatırım olacağı neticesine ulaşılmıştır (Yalılı, 2021).

Öztürk (2021) Aksaray ilinde yatırım gerçekleştiren Beştepe Enerji'nin tedarikçi firmaların kendilerine sunmuş olduğu fizibilite raporları ve PVSYST programından elde edilen fizibilite sonuçları kıyaslamıştır. Sonuçlara göre PVSYST programının üretim verilerinin gerçek üretim verilerinden %3,74 daha fazla olduğu görülmüştür (Öztürk, 2021).

Kılıcı (2020) Kayseri şehrinde; panellerin tek ve çift yüzü olmasına göre ve sistemin sabit, açısı değiştirilebilen tek eksenli güneş takip sistemi şeklinde olmalarına göre farklı sistem tasarımları yapmıştır. Bu tasarımlara ait üretim analizi yapmıştır. Her bir sistemin kurulu gücü eşit ve 1,189.76 kWp'tir. 5 farklı şekilde tasarlanan sistemlerin üretim analizleri PVSYST programı aracılığı ile

yapılmıştır. Hareketli ve çift yüzeyli panel ile yapılan sistem 2391.6 MWh enerji üreterek en yüksek enerji üretimine sahiptir. Sabit sistemler kendi arasında incelendiğinde; sabit çift yüzeyli panelin olduğu sistem, tek yüzeyli sisteme oranla %6 daha fazla enerji ürettiği gözlemlenmiştir. Hareketli sistemler incelendiğinde; çift yüzeyli panel %4 oranında daha fazla enerji ürettiği gözlemlenmiştir. Sabit sistem ile hareketli sistemler karşılaştırıldığında ortalama %13 ile %15 arasında hareketli sistemin daha fazla enerji ürettiği sonucuna varılmıştır (Kılıcı, 2020).

Aksangör (2019) Ankara’da bulunan bir kampüse ait bazı binaların elektrik ihtiyacının GES ile karşılanması durumunda tasarlanacak sistemden elde edilecek enerji miktarını ve sistemin performansını benzetim programında hesaplanmasını hedeflemiştir. Çalışmada PVSYST benzetim programı tercih edilmiştir. Meteorolojik veriler, programın sunduğu Meteororm 7.2 veri tabanından çekilmiştir. Sistemin kurulu gücü 604,8 kWh'tir. Çalışma sonucunda Aksangör, sistemin performans oranını %84,1 olarak belirtmiştir (Aksangör, 2019).

Türkyılmaz (2023) Bursa ilinin, Nilüfer ilçesi, Kayapa Organize Sanayi Bölgesinde, bulunan 1220 m<sup>2</sup>'lik çatı alanına sahip bir fabrikanın aylık fatura üzerinden bir yıllık gerçek tüketim verilerine dayanarak hesaplanan 126.176 kWh/yıl enerji ihtiyacını karşılamak adına, çatı tipi şebekeye bağlı güneş enerjisi santral sistemi tasarımı yapmıştır. Tasarlanan santralin yazılımlar arası sonuçlarını karşılaştırmak adına, PVSOL, PVSYST, EzDesinger, HelioScope ve PVGIS olmak üzere beş farklı yazılımı kullanarak incelenmiş ve programlar arası farklar ortaya koyulmuştur. (Türkyılmaz, 2023).

Kınalı (2019) Konya ve Karaman illerinde bulunan güneş enerji santrallerinin gerçek tasarım modellerini ve üretim verilerini, bu alanda kullanılan benzetim programları ile karşılaştırılarak yazılımların performansını irdelemiştir. Çalışmada PVSYST, PVSOL ve PVGIS benzetim programları ile analiz yapmıştır. Konya ve Karaman illerinde 250 kW ile 1 MW arasında değişen kurulu güçlere sahip arazi tipli üç GES'in ölçülen değerleri kıyaslanmıştır. Tüm sahalar için en doğru sonucun sırasıyla PVSOL, PVGIS ve PVSYST yazılımlarının verdiği ve PVGIS yazılımının ERA5 veri tabanı ile yapılan benzetim hariç tüm yazılımların %5 hata oranının altında bir analiz gerçekleştirdiği belirtilmiştir (Kınalı, 2019).

Mohammadi ve Gezegin (2022), Afganistan’da kurulu 5 MW'lık bir güneş enerjisi santralının tasarımı ve benzetimi incelenmişlerdir. Sistem tasarımında PVSYST, PVGIS ve HOMER yazılımlarını kullanmışlardır ve bu yazılımların ürettiği sonuçları karşılaştırmışlardır. HOMER ve PVGIS kullanılarak üretilen yıllık enerjinin sırasıyla yaklaşık 11698 MWh ve 10673 MWh, PVSYST'ten elde edilen sonucu ise yılda 11938 MWh'tir. Benzetimler sonucunda yıllık üretilen güç sonuçları, PVSYST sonuçlarına göre karşılaştırıldığında, PVGIS'in %10,6, HOMER'in ise %2 daha düşük olduğu sonucuna ulaşmışlardır. PVSYST ile HOMER arasında yaklaşık %2'lik bir fark oluştuğunu belirtmişlerdir.

Beyoğlu ve Demirtaş (2024) güneş enerjisi santralının proje sürecinde öngörülen enerji üretim tahmini için bir model ve program tasarlanmıştır. Tasarlanan modeli ile Balıkesir'de bulunan 54 kWh'lik güneş enerjisi santralının enerji üretim değerleri tahmin edilmiştir. Geliştirilen program verileri ile PVGIS'ten elde edilen enerji üretim sonuçları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen program, 2016-2020 yılları için toplam

enerji üretimini %1,5 farkla; PVGIS programı ise %5,3 farkla hesaplamıştır. Karşılaştırma sonucunda, geliştirilen programın aynı meteoroloji verileri kullanıldığında PVGIS programından daha gerçekçi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, Amasya İl'inde kurulu olan bir güneş enerji santrali (GES) üretim verileri ile benzetim programları aracılığıyla elde edilen verilerin karşılaştırılarak analizleri yapılmış ve bunun sonucunda elde edilen verilerin doğruluk oranları değerlendirilmiş, aynı zamanda benzetim programlarının da kendi aralarında karşılaştırılması yapılarak sapmalara neden olan etmenler irdelenmiştir. Bu çalışmanın gelecekte yapılması planlanan bilimsel çalışmalara ve uygulama çalışmalarına önemli bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Amasya İlinin Güneş Enerji Potansiyeli

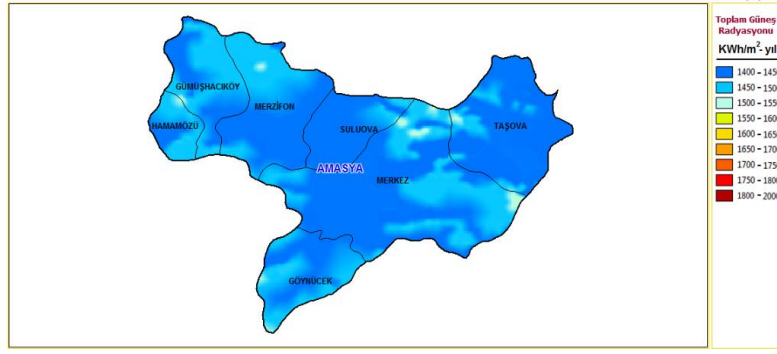
Amasya; Orta Karadeniz'in iç kısımlarında 34° 57' 06"- 36° 31' 53" Doğu Boylamları ile 41° 04' 54"- 40° 16' 16" Kuzey Enlemleri arasında bulunur. Amasya ili, kışın soğuk hava akımlarının etkisinde olsa da yükseltisinin fazla olmaması ve şehri denize kapatan kuzeydeki dağlık sahanın çok yüksek olmaması gibi nedenlerden dolayı kar yağışlarının az olduğu, kışın sıcaklığın çok fazla azalmadığı ve yaz sıcaklıklarının nispeten yüksek olduğu bir şehirdir (Yılmaz, 2020).

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan verilere göre Amasya ili iklim sınıflandırmaları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Amasya ilinin iklim sınıflandırması (MGM, 2023)

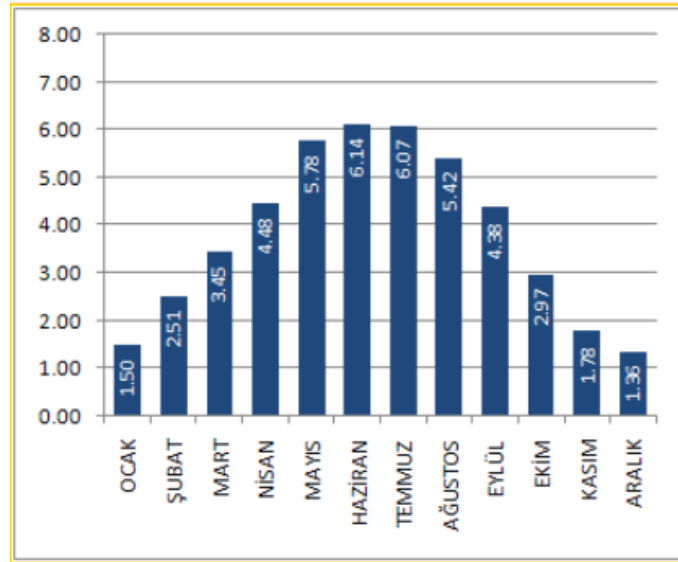
İklim Sınıflandırması	İklim Tipi
Aydeniz	Yarı Kurak
Erinç	Yarı Nemli
DeMartonne	Yarı Kurak-Nemli Arası
Trewartha	Kışları Serin-Yazları Sıcak
Thornthwaite	Yarı Kurak-Az Nemli

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre Amasya ili güneş enerji potansiyeli Şekil 1'de verilmiştir. Diğer bölgelere kıyasla Karadeniz Bölgesi'nin güneş enerji potansiyeli düşüktür. Amasya'da güneş radyasyonu ortalamasının yaklaşık 1400-1550 kWh/m<sup>2</sup>-yıl değerleri arasında olduğu görülmektedir. Bu değer Türkiye'nin ortalama yıllık toplam ışınım şiddetinden düşüktür (Kan Kaynar, 2020; Alaçam, 2022).



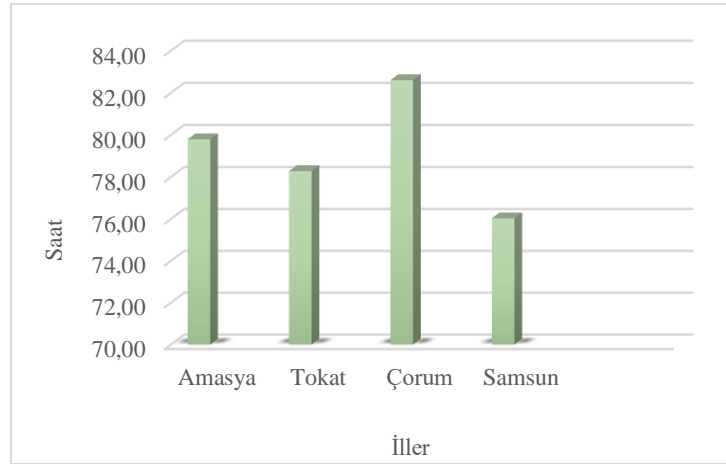
Şekil 1. Amasya ili güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA, 2023)

Güneşlenme süresi yanında diğer bir önemli etmen güneş ışınlarının geliş açısıdır. Çünkü güneş ışınlarının dik veya eğik gelmesi radyasyon (ışım) miktarı üzerinde etkilidir. Güneşin geliş açısının dik veya dike yakın gelmesi radyasyon miktarını artırıcı, daha düşük açıyla gelmesi ise azaltıcı etki yapmaktadır. Yaklaşık  $41^\circ$  kuzey enleminde yer alan Amasya'da güneş ışınlarının ufuk düzlemi üzerindeki maksimum yükseltisi 21 Haziran tarihinde  $72^\circ48'$  ya, minimum yükseltisi ise 21 Aralık tarihinde  $25^\circ54'$  ya ulaşmaktadır. Buna göre Amasya'ya yazın güneşin gelme açısı daha fazla olduğu için, bu dönemde güneş radyasyonunu daha fazla almaktadır (Yılmaz, 2020). Şekil 2'de Amasya ili global radyasyon değerleri verilmektedir. Buna göre yaz aylarında radyasyon değerinin fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Amasya global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) (GEPA, 2023)

Amasya ilinin çevresindeki illere göre yıllık ortalama güneşlenme süreleri Şekil 3'te verilmiştir. Çorum ilinin çevredeki diğer illere göre daha yüksek güneşlenme süresine sahip olduğu ve bu süreye yakın diğer ilin ise Amasya olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Karadeniz Bölgesi'ndeki bazı illerin yıllık ortalama toplam güneşlenme süreleri (GEPA, 2023)

2023 yılı için GEPA'dan alınan verilere göre Amasya'nın merkez ve ilçelerine ait ışınım şiddetleri Tablo 2'de verilmiştir. Amasya il merkezi için yıllık ortalama ışınım şiddeti 3,83 kWh/m<sup>2</sup>-gün olarak görülmektedir. Merkez ve ilçelerde en fazla ışınım şiddeti Haziran ayında görülmektedir.

**Tablo 2.** Amasya ili ve ilçelerinin global radyasyon değerleri (GEPA, 2023)

AY	Merkez (kWh/m <sup>2</sup> -gün)	Gümüşhacıköy (kWh/m <sup>2</sup> -gün)	Göynücek (kWh/m <sup>2</sup> -gün)	Hamamözü (kWh/m <sup>2</sup> -gün)	Merzifon (kWh/m <sup>2</sup> -gün)	Suluova (kWh/m <sup>2</sup> -gün)	Taşova (kWh/m <sup>2</sup> -gün)
Ocak	1,46	1,53	1,56	1,58	1,60	1,58	1,53
Şubat	2,51	2,41	2,43	2,60	2,57	2,47	2,41
Mart	3,47	3,39	3,52	3,49	3,43	3,42	3,39
Nisan	4,51	4,46	4,53	4,51	4,46	4,44	4,44
Mayıs	5,79	5,81	5,79	5,87	5,81	5,73	5,71
Haziran	6,14	6,15	6,16	6,19	6,15	6,11	6,08
Temmuz	6,08	6,14	6,07	6,20	6,14	6,01	5,99
Ağustos	5,43	5,41	5,46	5,46	5,41	5,38	5,38
Eylül	4,40	4,38	4,43	4,44	4,38	4,34	4,29
Ekim	2,99	2,94	3,09	2,98	2,94	2,94	2,93
Kasım	1,79	1,79	1,82	1,80	1,79	1,79	1,75
Aralık	1,37	1,34	1,41	1,36	1,34	1,34	1,33
<b>Ortalama (kWh/m<sup>2</sup>-gün)</b>	<b>3,83</b>	<b>3,81</b>	<b>3,86</b>	<b>3,87</b>	<b>3,84</b>	<b>3,80</b>	<b>3,77</b>

## 2.2. Benzetim Programları

Kurulması planlanan veya kurulmuş yenilenebilir enerji santralleri için ilk olarak irdelenen konulardan bir tanesi santral konumuna göre elde edilecek yıllık veya aylık bazdaki üretim verilerinin ne olacağıdır. Bu verilerin hesaplanmasında benzetim programları sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca bu programlar, FV santrallerin finansman aşamasında geri dönüş hesaplarının yapılmasında ve donanım geliştiriciler tarafından yeni malzemelerin çıktılarını almak için de kullanılmaktadır. Santral için birkaç farklı senaryo denenip raporlar neticesinde gerek yatırımcı tarafında gerekse uygulama aşaması için yol haritası oluşturulmaktadır.

Benzetim programlarına bütünleşik hava bilgileri genelde meteorolojik servislerden alınmaktadır. Santral bölgesi verilerinin otomatik olarak sistemde kayıtlı olmaması durumunda gerekli eklemeler yapılmalıdır. Santral yakınında gölgelenmeye sebep olabilecek ağaç, bina vs. çevresel faktörlerin programa yansıtılması çıktıları etkileyecektir. Programların doğruluk oranları ile ilgili iyileştirme çalışmaları sürekli devam etmekte ve gerekli güncellemeler yapılmaktadır. Bu noktada doğru verilerin elde edilmesinde programın kullanıcı deneyimi de çok önemlidir. Santral özelinde elde edilen raporlar sayesinde önemli bilgiler edinilmekte ve bu programlar yatırımcıya yön verme noktasında önem arz etmektedir.

Güneş enerji sistemlerinin analizi, benzetimi ve enerji hesabı Homer, PVSOL, PVSYST, Helioscope, PVWATTS, Polysun, RetScreen, PVDesign, PVGIS, BlueSol gibi programlar yardımı ile yapılabilir. Bu çalışmada; PVSOL, PVSYST, PVGIS ve PVWATTS programları kullanılarak elde edilen üretim verileri ve gerçek üretim verileri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

### 2.2.1. PVSOL

Valentin Software benzetim yazılımları 1998 yılında PVSOL yazılımını piyasaya sürmüştür ([www.valentin-software.com](http://www.valentin-software.com)). PVSOL, FV sistemler üzerinde üç boyutlu tasarım yapılmasını sağlayan bir yazılım programıdır. Gölge benzetimleriyle beraber, hâlihazırda var olan çatı üzerine veya arazi üzerine kurulum yapmamızı sağlar ve farklı tasarım seçenekleriyle (yatay yerleşim, dikey yerleşim, gölgeleme vb.) kıyaslama imkânı sunar. Birkaç modüllü küçük çatı sistemlerinden ticari çatılar, orta ölçekli sistemlerden büyük güneş santrallerine kadar tüm FV tasarımlarında kullanılır.

PVSOL yazılımı ile;

- Küçük evsel çatı sistemlerinde üç boyutlu depolamalı, depolamasız ya da hibrit tasarım yapılabilir,
- Doğrudan ilgili endüstriyel çatının kendisi üzerine yerleşim yapılabilir ve gölgeleme benzetimi yapılabilir,
- Mahsuplaşmalı ya da sulama arazilerinde zemin üzerine yerleşim imkânı sunar,
- İlgili konuma gitmeden sistem üzerinden çatıya ön yerleşim yapabilme imkânı sunar,
- Yapılan yerleşim ile beraber kullanılacak ürünlerin listesi ve ürün adedi çıkarılabilir,
- Üç boyutlu gölgeleme ile kazanç tahmininde yüksek doğruluk sağlar,
- Çatı yerleşimi yapılırken çatıda veya yerleşim alanı çevresinde gölgelemeye sebep olacak noktalar sistemde üç boyutlu olarak eklenebilir ve bu gölgelemeden dolayı oluşacak üretim düşüşü incelenebilir.

### 2.2.2. PVSYST

PVSYST programı, İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız FV sistemler, sulama sistemleri ve DC şebekeler gibi fotovoltaiik sistem projelerinin gerçekleştirilebildiği bir programdır (<https://www.pvsyst.com>). PVSYST; kullanıcıların detaylı



hesaplama yapmalarına ve farklı parametrelerin kullanılmasına olanak sağlar. PVSYST programında ilerlerken çalışma yapılacak çatıya dair bilinmesi gereken bilgiler şu şekildedir: enlem/boylam değeri, çatının eğimi, binanın azimut değeri. Hava durumunu çeken birkaç farklı seçenek sunulmaktadır. Bunlar Meteonom 8.0., NASA-SSE, PVGIS TMY, Soiest TMY, Solar'dır (<https://www.pvsyst.com>).

### 2.2.3.PVGIS

PVGIS Avrupa Komisyonu'nun Ortak Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen ve Avrupa'da ve ötesinde belirli bir yerin güneş enerjisi potansiyeli hakkında bilgi sağlayan ücretsiz çevrimiçi bir programdır. Belirli bir konum için aylık ve yıllık ortalamalar ile iklim verileri dâhil olmak üzere güneş radyasyonu ve fotovoltaik performans verilerine ulaşılabilir (<https://pvgis.com/>).

### 2.2.4.PVWATTS

PVWATTS, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen ve kullanıcıların FV sistemlerinin elektrik üretim potansiyelini tahmin etmelerini sağlayan bir yazılım aracıdır. Ön güneş enerjisi değerlendirmeleri, sistem tasarımı ve performans modellemesi için güneş enerjisi endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (<https://pvwatts.nrel.gov/>).

PVWATTS, bir FV sisteminin güneş enerjisi çıkışını tahmin etmek için konum, hava durumu verileri, sistem boyutu, eğim açısı, azimut açısı ve diğer parametreler gibi çeşitli faktörleri dikkate alır. Dünyanın dört bir yanındaki binlerce meteoroloji istasyonundan ölçülen veriler kullanılarak kalibre edilen, uydudan türetilen güneş radyasyonu verilerine dayanan bir matematiksel model kullanır.

### 2.3.Örnek GES'e Ait Genel Bilgiler

Çalışma kapsamında incelenen santralde 396 adet 385 Watt yerli üretim Viensol markalı FV panel, 3 adet 50 kW çıkış gücüne sahip ABB (FVS – 50-TL-SX2) marka evirici bulunmaktadır. Santralin üstten görüntüsü Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Örnek GES

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Gerçek Üretim Verileri

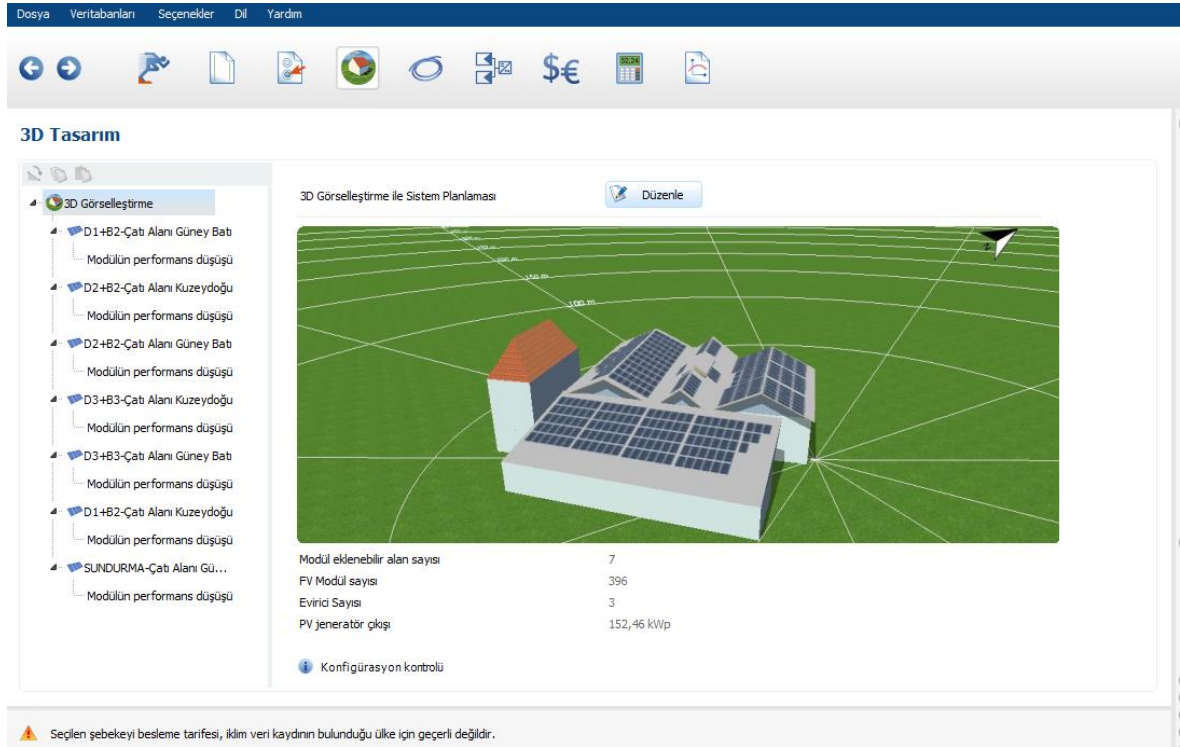
Santrale ait gerçek üretim verilerine Auro Vision (<https://www.auroravision.net/>) uygulaması üzerinden ulaşılmıştır. Bu programda santralin bugüne kadar toplam üretim, günlük, haftalık, aylık ve yıllık üretim verilerine ulaşılabilir. Uygulama üzerinden santralin günlük üretim verileri alınarak, aylık toplam üretilen elektrik değerleri belirlenmiştir. Tesisin toplam yıllık üretimi Tablo 3'te görüldüğü üzere 151 289 kWh'tir.

**Tablo 3.** Gerçek üretim verileri

<b>Aylar</b>	<b>Aylık Toplam Üretim (kWh)</b>
Ocak	3363
Şubat	2701
Mart	11769
Nisan	16232
Mayıs	19014
Haziran	19322
Temmuz	21149
Ağustos	20816
Eylül	16215
Ekim	10537
Kasım	5908
Aralık	4263
<b>Yıllık Toplam Üretim</b>	<b>151289</b>

#### 3.2. PVSOL Programından Elde Edilen Veriler

PVSOL programının deneme sürümü kullanılmıştır. Santrale ilişkin bilgiler programa girilmiş, sistem üç boyutlu olarak tasarlanmış ve panel yerleşimleri gerçekte olduğu gibi yapılmış, panel sistemde olmadığı için veri tabanına kaydedilmiş ve evirici girişleri ayarlanarak program işlem adımları takip edilmiş ve üretim raporu elde edilmiştir. Santrale ait PVSOL programında yapılan çizim Şekil 5'te verilmiştir. Çizim gerçek santral yerleşimine göre birebir yapılmış ve santralin hemen yanında bulunan bina gölgeleme faktörüne sebep olacağından çizime eklenmiştir.



**Şekil 5.** PVSOL programında yapılan GES tasarımı

Tablo 4'te PVSOL programından elde edilen aylık ve toplam yıllık üretim miktarı değerleri verilmektedir. Yıllık üretim 164852 kWh olarak elde edilmiştir. Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları en yüksek üretimin görüldüğü aylardır. Bu aylar içerisinde en yüksek üretim Temmuz ayında gerçekleşirken, tüm aylar içerisinde en düşük üretim Aralık ayında gerçekleşmiştir.

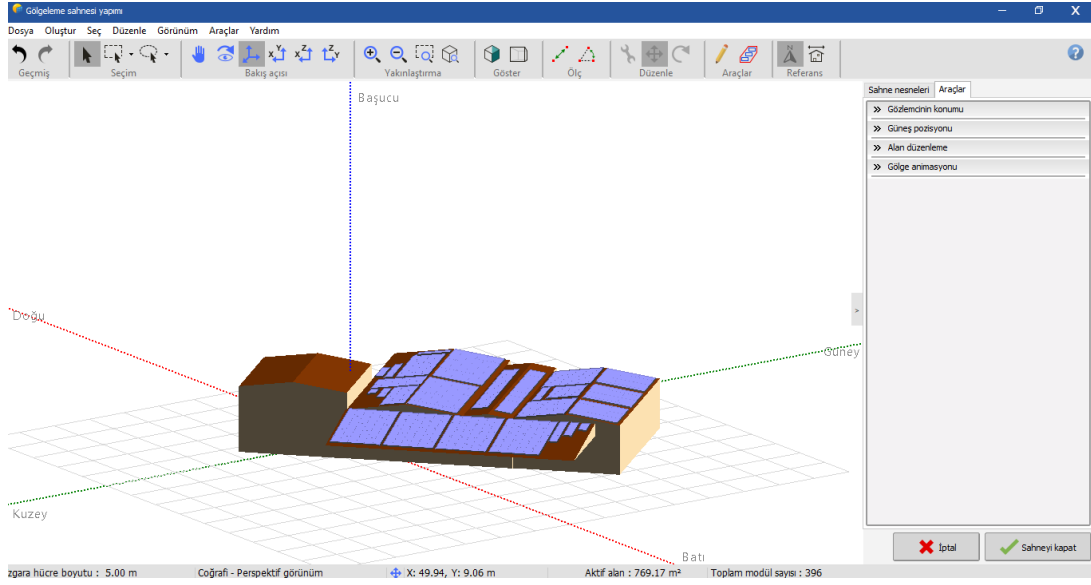
**Tablo 4.** PVSOL programından elde edilen üretim verileri

Aylar	Aylık Toplam Üretim (kWh)
Ocak	5844
Şubat	7870
Mart	12241
Nisan	15711
Mayıs	19942
Haziran	21916
Temmuz	22540
Ağustos	20585
Eylül	16033
Ekim	10799
Kasım	6397
Aralık	4972
<b>Yıllık Toplam Üretim</b>	<b>164852</b>

### 3.3. PVSYSYST Programından Elde Edilen Veriler

PVSYSYST programının deneme sürümü kullanılmıştır. Santrale ilişkin veriler girildikten sonra, meteorolojik veriler için Meteonorm 8.1 veri tabanı tercih edilmiştir. Eğim ve azimut değerleri girilmiş, panel ve eviriciler seçilmiştir. Kullanılan panel programda kayıtlı olmadığı için sisteme eklenmiştir. Gölgelemeler de girildikten sonra, sistem tasarımı yapılarak benzetim başlatılmıştır. Tesisin bitişğinde

bulunan binanın gölge faktörü olması nedeniyle PVSYST yakın gölgemeler bölümünde tasarım gerçekleştirilmiştir. Santrale ait PVSYST programında yapılan çizim Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. PVSYST gölgemeler kısmında yapılan tasarım

Tablo 5’te PVSYST programından elde edilen aylık ve toplam yıllık üretim miktarı değerleri verilmektedir. PVSYST programına göre yıllık toplam üretim 181119 kWh olarak görülmektedir. PVSYST programında en yüksek üretim Haziran, en düşük üretim Aralık ayında gerçekleşmiştir.

Tablo 5. PVSYST programından elde edilen üretim verileri

Aylar	Aylık Toplam Üretim (kWh)
Ocak	6158
Şubat	8430
Mart	13427
Nisan	18121
Mayıs	23299
Haziran	25547
Temmuz	23970
Ağustos	22105
Eylül	17019
Ekim	11027
Kasım	6581
Aralık	5435
<b>Yıllık Toplam Üretim</b>	<b>181119</b>

### 3.4. PVGIS Programından Elde Edilen Veriler

PVGIS programı çevrimiçi ve ücretsiz bir programdır. Santrale ilişkin bilgiler girildikten sonra, üç farklı güneş radyasyonu veri tabanı içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda daha doğru sonuçlar elde edildiği için PVGIS-SARAH seçilmiştir. Tesiste kullanılan panel silisyum yapıda olduğundan silisyum seçimi yapılmıştır. Sistem gücü kWp olarak girilmiştir. Çatı tipi tesis seçimi yapılmıştır. Eğim ve bina azimut değeri girilerek rapor elde edilmiştir.

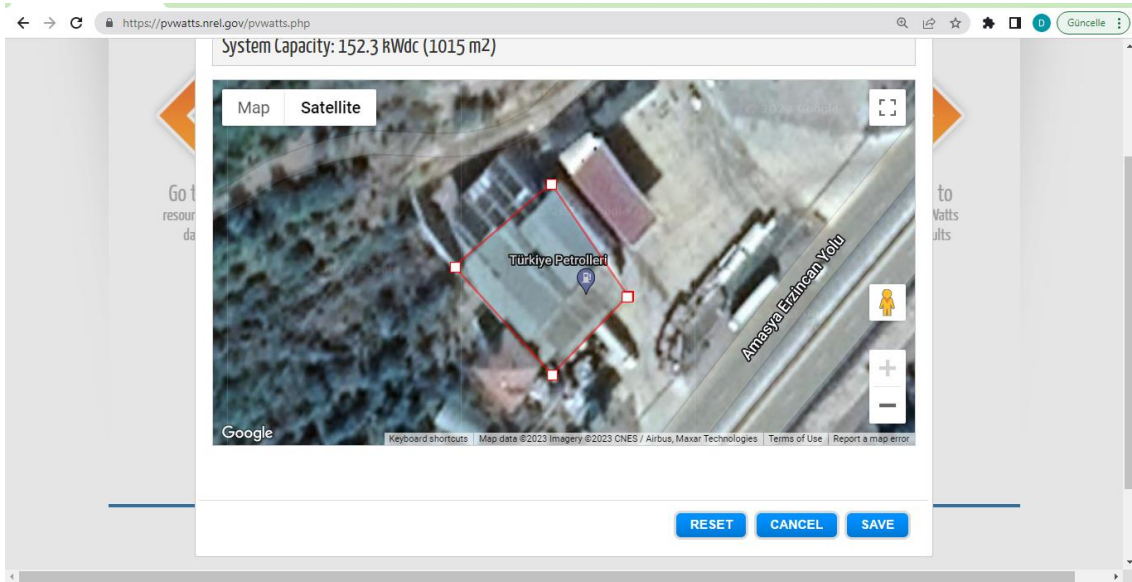
Tablo 6’da PVGIS programından elde edilen aylık ve toplam yıllık üretim miktarı değerleri verilmektedir. PVGIS programında yıllık toplam üretim 168294 kWh olarak elde edilmiştir. En yüksek üretim miktarına Temmuz ayında ulaşılmıştır. En düşük üretim Aralık ayında gerçekleşmiştir.

**Tablo 6.** PVGIS programından elde edilen üretim verileri

Aylar	Aylık Toplam Üretim (kWh)
Ocak	5431
Şubat	7579
Mart	12092
Nisan	16879
Mayıs	19652
Haziran	21850
Temmuz	22795
Ağustos	21616
Eylül	16808
Ekim	11035
Kasım	7323
Aralık	5234
<b>Yıllık Toplam Üretim</b>	<b>168294</b>

### 3.5. PVWATTS Programından Elde Edilen Veriler

PVWATTS ücretsiz çevrimiçi bir programdır. Santrale ilişkin veriler girildikten sonra, sırasıyla DC güç, modül tipi, panel montaj tipi, sistem kaybı, eğim ve azimut açıları girilmiştir. Bu program basit anlamda çizim olanağı da vermektedir. Şekil 7’de görüldüğü üzere tesise ait çatı sınırları çizilmiş ve sonuç raporu elde edilmiştir.



**Şekil 7.** PVWATTS programı çizim bölümü

Tablo 7’de PVWATTS programından elde edilen üretim verileri verilmiştir. Temmuz ayında en yüksek, Aralık ayında en düşük üretim verisine ulaşılmıştır. Yıllık toplam üretim ise 168614 kWh’tır.

**Tablo 7. PVWATTS programından elde edilen üretim verileri**

<b>Aylar</b>	<b>Aylık Toplam Üretim (kWh)</b>
Ocak	5544
Şubat	8338
Mart	12209
Nisan	15157
Mayıs	19529
Haziran	22475
Temmuz	24897
Ağustos	22184
Eylül	17179
Ekim	10714
Kasım	6168
Aralık	4220
<b>Yıllık Toplam Üretim</b>	<b>168614</b>

### 3.6. Genel Değerlendirme

Benzetim programlarında elde edilen tüm üretim verileri ve santralin gerçek üretim verileri Tablo 8’de verilmektedir.

**Tablo 8. Benzetim ve gerçek üretim verileri (12 Aylık)**

<b>Aylar</b>	<b>PVSOL</b>	<b>PVSYST</b>	<b>PVGIS</b>	<b>PVWATTS</b>	<b>Gerçek Üretim Değerleri</b>
Ocak	5844	6158	5431	5544	3363
Şubat	7870	8430	7579	8338	2701
Mart	12241	13427	12092	12209	11769
Nisan	15711	18121	16879	15157	16232
Mayıs	19942	23299	19652	19529	19014
Haziran	21916	25547	21850	22475	19322
Temmuz	22540	23970	22795	24897	21149
Ağustos	20585	22105	21616	22184	20816
Eylül	16033	17019	16808	17179	16215
Ekim	10799	11027	11035	10714	10537
Kasım	6397	6581	7323	6168	5908
Aralık	4972	5435	5234	4220	4263
<b>Toplam (kWh)</b>	<b>164852</b>	<b>181119</b>	<b>168294</b>	<b>168614</b>	<b>151289</b>

Tablo 8’e bakıldığında yıllık toplam üretimde gerçek değere en yakın değeri PVSOL programı vermiştir. En uzak değeri ise PVSYST programı vermiştir. Çevrimiçi olarak kullanılan PVGIS ve PVWATTS programlarının yıllık toplam üretimde birbirine çok yakın değerler verdiği ve PVSOL programından sonra gerçek üretim değerine en yakın sonuçların bu programlardan elde edildiği tespit edilmiştir. Tüm programlar değerlendirildiğinde en iyiden en kötüye doğru olan sıralama şöyledir: PVSOL, PVGIS, PVWATTS ve PVSYST.

Tablo 8’deki değerler aylara göre değerlendirildiğinde ise gerçek üretim değerlerine en yakın değerler; Ocak, Şubat, Mart ve Haziran aylarında PVGIS; Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında PVSOL; Nisan, Mayıs, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise PVWATTS programı tarafından elde edilmiştir.

Benzetim programlarından elde edilen üretim değerlerinin gerçek üretim değerlerine olan yaklaşımlarını değerlendirmek amacıyla Tablo 9 oluşturulmuştur. Tablo 9’da program verilerinin gerçek değerlerden farkları yüzdesel olarak verilmektedir.

**Tablo 9.** Program verileri ile gerçek üretim verileri arasındaki farklar (%)

<b>Aylar</b>	<b>PVSOL</b>	<b>PVSYST</b>	<b>PVGIS</b>	<b>PVWATTS</b>
Ocak	73,77	83,11	61,49	64,85
Şubat	191,37	212,11	180,60	208,70
Mart	4,01	14,09	2,74	3,74
Nisan	-3,21	11,64	3,99	-6,62
Mayıs	4,88	22,54	3,36	2,71
Haziran	13,43	32,22	13,08	16,32
Temmuz	6,58	13,34	7,78	17,72
Ağustos	-1,11	6,19	3,84	6,57
Eylül	-1,12	4,96	3,66	5,95
Ekim	2,49	4,65	4,73	1,68
Kasım	8,28	11,39	23,95	4,40
Aralık	16,63	27,49	22,78	-1,01
<b>Toplam (kWh)</b>	<b>8,96</b>	<b>19,72</b>	<b>11,24</b>	<b>11,45</b>

Tablo 9 değerlendirildiğinde; PVSOL programının gerçek üretim verilerine en yakın değerleri verdiği görülmektedir. Özellikle Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında PVSOL ile elde edilen yakınsama fazladır. Programların bazı aylarda %1 civarında gerçek değerlere yakın değerler ürettiği de görülmektedir. Ocak ve Şubat aylarında ise santralde meydana gelen evirici arızasının etkisi görülmektedir. Bu veriler ışığında evirici arızası vb. arızalar olmadığı durumlarda santralde üretilebilecek gerçek değere yakın sonuçlar da bu programlar tarafından belirlenerek, gelecek projeksiyonu belirlenebilir.

Ocak ve Şubat aylarında benzetim programlarının birbirine yakın değerler vermesine rağmen; gerçek üretim değerlerinin bu değerlere göre düşük olmasının nedeni; santralde meydana gelen evirici arızasıdır. Yıllık olarak bir değerlendirme yapıldığı için bu arızalar da dahil edilerek genel bir değerlendirme yapılmıştır. Santrale ait 2023 yılı verileri bulunduğundan değerlendirme bu verilere göre yapılmıştır. Santrallerde bu ve benzeri hataların olması normaldir. Gerçek üretim verileri ile benzetim programlarından elde edilen veriler arasındaki farklar; iklimsel verilerindeki değişiklikler, panellerdeki kirlenme miktarlarının bilinmemesi, panellerin çalışma sıcaklığının artması, santralde gerçekleşebilecek arızalar, kablo kayıpları, gölgeleme faktörleri veya eviricilerden kaynaklı vb. nedenlerle olabilmektedir. Bu programların geliştirilmesi ile bu etkiler dikkate alınarak ve program içerisine gömülerek gerçek üretim değerlerine daha yakın sonuçların elde edilmesi mümkün olabilecektir.

Evirici arızasının olduğu Ocak ve Şubat ayı verileri çıkarılarak 10 aylık bir değerlendirme yapıldığında elde edilen değerler Tablo 10’da verilmiştir.

**Tablo 10.** Benzetim ve gerçek üretim verileri (10 Aylık)

	<b>PVSOL</b>	<b>PVSYST</b>	<b>PVGIS</b>	<b>PVWATTS</b>	<b>Gerçek Üretim Değerleri</b>
<b>Toplam (kWh)</b>	151136	166531	155284	154732	145225

Tablo 10'da yer alan 10 aylık toplam üretim değerleri dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında; santralin gerçek üretim verilerine en yakın değeri PVSOL programı vermektedir. Tüm programlar değerlendirildiğinde en iyiden en kötüye doğru olan sıralama şöyledir: PVSOL, PVWATTS, PVGIS ve PVSYST. Bu durumda programlar tarafından gerçek üretim verilerine olan yakınsama değeri; PVSOL için %4,07; PVWATTS için %6.55; PVGIS için %6,93 ve PVSYST için %14,67 olmaktadır. Buna göre santralde meydana gelen arıza vb. durumlar dikkate alınmadığında programların gerçek üretim verilerine yakınsamaların daha da iyi olacağı görülmektedir.

#### **4. Sonuç**

Bu çalışma kapsamında Amasya ilinde kurulu olan 15246 kWp gücündeki çatı tip GES için gerçek üretim verileri ile benzetim programlarından elde edilen verilerin karşılaştırılması üzerine bir araştırma yapılmıştır. Gerçek yıllık toplam üretim miktarı 151289 kWh iken bu sonuca en yakın değer 164852 kWh olarak PVSOL programında elde edilmiştir. Çalışma sırasında kullanılan PVSOL programında bina çizimi yapılmış, paneller gerçekte olduğu gibi yerleştirilmiş, kullanılan evirici bilgileri girilmiş ve sonuç elde edilmiştir.

Çalışmada toplamda dört farklı programda çalışılmış, program seçimlerinde sistem tasarımı sağlayan iki program ve tasarım yapmadan sonuç üreten iki program olarak kategoriye ayrılmıştır. Basit ve hızlı şekilde enerji ihtiyacına göre çevrimiçi programlara başvurulabilir. Çevrimiçi programların da makul sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Sisteme yakın ve daha doğru sonuca ulaşmak istenildiğinde ise tasarım imkânı ve panel, evirici, kablo, gölgeleme bilgilerinin ve kayıp faktörlerinin eklenebildiği programlara başvurulmalıdır.

Benzetim programları ile gerçek üretim değerleri arasında tam olarak örtüşme sağlanamasa da yaklaşık değerlere ulaşılmaktadır. Üretim verilerindeki farklılıklar programsal altyapıların birbirinden farklı olmasının yanı sıra, bölgenin iklimsel verilerindeki değişimler, panellerdeki kirlenme miktarlarının bilinmemesi, panellerin çalışma sıcaklığının artması, santralde gerçekleşebilecek arızalar, kablo veya eviricilerden kaynaklı ya da gölgeleme gibi birçok etmene bağlı olabilmektedir.

En doğru sonuca ulaşabilme noktasında tesis özelinde belirlenecek parametreler nihayetinde farklı senaryolar denenebilir ve optimum üretim verilerinin elde edildiği seçenek hayata geçirilebilir.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. Bu araştırma Derya DİP'in, Dr. Öğr. Üyesi Engin Ufuk ERGÜL danışmanlığında yazılan Yüksek Lisans Tezi'nin bir kısmından hazırlanmıştır.

#### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.



## Kaynakça

- Acar M. Edirne ili güneş enerji potansiyelinin araştırılması ve örnek bir güneş enerji santrali analizi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:66, Edirne, Türkiye, 2022.
- Akcan E., Kuncan M., Minaz MR. PVsyst yazılımı ile 30 kW şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2020; (18): 248-261.
- Aksangör NN. Ankara şartlarında bir fotovoltaik sistemin PVsyst programı yardımı ile performans analizi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:96, Ankara, Türkiye, 2019.
- Alaçam B. 10 kW'lık çatı tipi fotovoltaik bir sistemin modellenmesi ve gerçek üretim verileri ile karşılaştırılması. Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:118, Amasya, Türkiye, 2022.
- Amasya Valiliği. Amasya coğrafi konumu. URL: <http://www.amasya.gov.tr/cografik-konum>. Son Erişim Tarihi 14.03.2022
- Arslan M. Güneş enerji santrallerinin simülasyon ile üretim verilerinin karşılaştırılması ve analizi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:240, Konya, Türkiye, 2022.
- Beyoğlu MF., Demirtaş M. Design of system model and program for estimation of annual PV energy production: A comparative study. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 26(1): 53-72.
- Ceylan O. Fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:82, Isparta, Türkiye, 2017.
- Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, GEPA. <https://gepa.enerji.gov.tr>, Erişim Tarihi: 21.04.2023.
- Kan Kaynar N. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Amasya ilindeki potansiyeli. Bilge International Journal of Science and Technology Research 2020; 4(2): 48-54.
- Kınalı MY. Güneş enerjisi simülasyon programlarının gerçek verilerle doğruluk analizi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:216, Konya, Türkiye, 2019.
- Kılıcı O. Değişken özellikli fotovoltaik güneş enerji santrallerinin mevcut verilerle PVSYST programında üretim ve performans analizi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:84, Konya, Türkiye, 2020.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). Amasya iklim sınıflandırması. URL: <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=AMASYA>. Son Erişim Tarihi 14.03.2023

- Mohammadi SAD., Gezeğin C. Design and simulation of grid-connected solar PV system using PVSYST, PVGIS and HOMER software. International Journal of Pioneering Technology and Engineering 2022; 1(01): 36-41.
- Öztürk H. Bir güneş enerji santralının üretim ile simülasyon değerlerinin karşılaştırılması ve kayıp analizi: Beştepe enerji örneği. Hasan Kalyoncu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:103, Gaziantep, Türkiye, 2021.
- PVGIS. <https://pvgis.com/>. Erişim Tarihi: 30.01.2023.
- PVsyst Program Interface. <https://www.pvsyst.com>. Erişim Tarihi: 22.01.2023.
- PVWatts. <https://pvwatts.nrel.gov/>. Erişim Tarihi: 15.01.2023.
- Tugal N. Enerji talebi ve enerji talebini belirleyen faktörler: Türkiye uygulaması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:117, Afyonkarahisar, Türkiye, 2014.
- Türkyılmaz A. Çatı uygulamalı bir güneş enerji santralının farklı yazılımlarda optimizasyon çalışması; Bursa örneği. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:167, Kütahya, Türkiye, 2023.
- Valentin Software. <https://valentin-software.com/en/products/custom-software/>. Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- Yetgin F. Binaya entegre fotovoltaik (PV) sistemlerin simülasyon ve gerçek üretim verilerinin karşılaştırılması. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:116, Konya, Türkiye, 2022.
- Yalılı M. Lisanslı fotovoltaik güneş enerji santrali yatırımının finansal analizi: Van ili örneği. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2021; 10(3): 1055-1074.
- Yılmaz Y. Amasya Şehri'nin iklim yapısı ve özellikleri. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2020; 24 (Aralık Özel Sayı): 167-186.