

## Türkiye'deki Farklı Şehirlerde Kurulan Güneş Enerjisi Sistemlerinde Üretim Verimlerinin Analizi

*Analysis of Production Efficiencies in Solar Energy Systems Established in Different Cities in Turkey*

Adem YURTSEVER<sup>1</sup>, Sinan ATEŞ<sup>1</sup>, Cemal ÖZTÜRK<sup>2</sup>, Ayşe Elif ATEŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü İstanbul/Türkiye

<sup>2</sup> Lokal Enerji İnşaat San. Tic. LTD. ŞTİ. Gaziantep/Türkiye

### Öz

Ülkemiz alternatif enerji kaynakları açısından yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Özellikle ilk yatırım maliyetleri ve enerji üretim maliyetleri açısından en verimli şekilde kurulması ve işletilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada optimum verimliliğin sağlanması ve fizibilite raporlarının doğru hazırlanabilmesi için 4 bölgede ve 8 ayrı ilde kurulan güneş enerjisi santrallerinin üretim değerleri izlenerek birbirleriyle ve buldukları illerin güneş potansiyelleri ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede paylaşılan verilerin sonraki çalışmalara yol gösterici olması amaçlanmaktadır. Ortalama güneş enerjisi potansiyeli açısından en yüksek verim %118 ile Elâzığ'da elde edilmiştir. Sonrasında Şanlıurfa'da %116, Aksaray'da %115, Konya'da %114, Gaziantep'te %113, Kahramanmaraş'ta %113 potansiyelin üzerinde verimler elde edilmiştir. Ancak, Diyarbakır ve Osmaniye'de sırasıyla %78 ve %85 verimler elde edilmiş ve potansiyelin altında kalmıştır. Bu durum fizibilite raporları hazırlanırken seçilecek parametrelerin önemini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi Sistemleri, Verim Analizi, Enerji Üretimi

### Abstract

Our country has high solar energy potential in terms of alternative energy sources. It needs to be established and operated in the most efficient way, especially in terms of initial investment costs and energy production costs. This study, to ensure optimum efficiency and to prepare feasibility reports correctly, the production values of solar energy plants established in 4 regions and 8 different provinces were monitored and compared with each other and the solar potentials of the provinces where they are located. The highest efficiency in terms of average solar energy potential was obtained in Elâzığ with 118%. Afterwards, efficiencies above the potential were obtained in Şanlıurfa 116%, Aksaray 115%, Konya 114%, Gaziantep 113%, Kahramanmaraş 113%. However, efficiencies of 78% and 85% were obtained in Diyarbakır and Osmaniye, respectively, and remained below the potential. This situation shows the importance of the parameters to be selected when preparing feasibility reports.

**Keywords:** Solar Energy Systems, Efficiency Analysis, Energy Production

## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), enerji üretiminde giderek artan bir rol oynamaktadır. Bu kaynaklara ilişkin maliyetlerin azalmasıyla birlikte, yenilenebilir enerjinin toplam enerji üretimindeki payı hızla artmaktadır. Çeşitli alanlarda enerji sağlamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmakta ve bu sayede sera etkisini sınırlandırarak küresel ısınmayla mücadelede temel bir unsur haline gelmektedir.

Enerji üretiminde güneş radyasyon potansiyeli, en önemli alternatif enerji kaynaklarından biri olarak öne çıkmaktadır. Ekvatora yakın deniz seviyesinde maksimum radyasyon akısı 1.020 W/m<sup>2</sup> düzeyine ulaşabilmektedir. Orta enlemlerde ise bu değer yaz aylarında yaklaşık 800 W/m<sup>2</sup>, kış aylarında ise 300 W/m<sup>2</sup> civarında gerçekleşmektedir [1]. Dolayısıyla, enerji üretiminde güneş enerjisi sistemleri (GES) önemli bir paya sahiptir.

Artan nüfusa bağlı olarak üretimdeki büyüme, enerji talebini de beraberinde getirmektedir. Bu durum, enerji tüketimine paralel olarak emisyon seviyelerinin yükselmesine ve dolayısıyla iklim değişikliğine yol açmaktadır. Bu bağlamda, ülkelerin daha çevreci ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelimi giderek artmaktadır [2][3]. Türkiye'nin yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olması, temiz enerji üretimi açısından güneş enerjisini ülkemiz için güçlü bir alternatif haline getirmiştir [4][5]. Tablo 1'de Türkiye'nin toplam enerji kapasitesi ve güneş enerjisinden elde edilen enerji miktarları verilmiştir.

**Tablo 1.** Türkiye’nin yıllara göre güneş enerjisi kapasitesi ve toplam güç miktarları (MW) [6]

	Güneş Enerjisi kapasitesi	Toplam Kurulu Güç	Oran
2015	248	73.146	0,34%
2016	832	78.497	1,06%
2017	3.420	85.200	4,01%
2018	5.062	88.550	5,72%
2019	5.995	91.266	6,57%
2020	6.667	95.890	6,95%
2021	7.815	99.819	7,83%
2022	9.425	103.809	9,08%

Tabloya bakıldığında, ülke içindeki kurulu güç miktarları 2015 yılında toplam 73.146 MW iken güneş enerjisi kapasitesi 243 MW olarak belirlenmiştir. 2022 yılına gelindiğinde ise toplam kurulu güç 103.809 MW’a yükselirken güneş enerjisi kapasitesi 9.425 MW’a yükselmiştir. 2015 yılında güneş enerjisi kapasitesinin toplam kurulu güce oranı %0,34 iken 2022 yılında bu oran %9,08 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, Türkiye güneş enerjisi açısından çok elverişli bir coğrafi konumda bulunmasına karşılık, mevcut potansiyelini yeterince değerlendiremediğini göstermektedir. Bu durum, ülkemiz için önemle üzerinde durulması gereken bir konu olarak göze çarpmaktadır [7].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan verilere göre, 2024 yılı haziran ayı itibarıyla Türkiye’nin toplam kurulu gücü 110.518 MW’a ulaşmış olup, bu kapasitenin %13,7’si güneş enerjisine dayalı sistemlerden oluşmaktadır [8]. Yatırım eğilimleri incelendiğinde, güneş enerjisi alanındaki yatırımların artarak devam ettiği görülmektedir. Ancak, tesis kurulum maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, bölgesel düzeyde yapılacak fizibilite çalışmalarında birçok parametrenin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir [9]. Literatürde bu kapsamda yapılan çalışmalarda; arazinin eğimi ve yönü, güneşlenme süresi ve radyasyon miktarı, rüzgâr hızı, hava sıcaklığı, arazi kullanımı, iletim hatlarına uzaklık, nem oranı, hava basıncı, yüzey sıcaklığı ve yükselti gibi çeşitli parametreler dikkate alınmaktadır [10].

Bouzuenda vd. (2014) tarafından yürütülen bir çalışmada, elektrik üretimi amacıyla kurulan fotovoltaik (FV) sistemin, aylık bazda yüksek güneşlenme süresine sahip bir bölgede yer almasına rağmen, yüksek sıcaklıkların panel verimliliğini olumsuz etkilediği ve üretim kayıplarına neden olduğu belirtilmiştir [11]. Ayrıca, yüzey kirlenmesi, fotovoltaik modül bozulması, sıcaklık kaynaklı kayıplar, dahili şebeke ve invertör kayıpları, trafo kaybı ile sistemin genel kullanılabilirliği ve şebekeye bağlantı gibi faktörler de toplam PV performans kayıplarına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır [12].

Guo vd. (2015) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, çöl ikliminde yer alan fotovoltaik sistemlerin performansı, özellikle toz birikimine bağlı yüzey kirlenmesinden etkilenmiştir. Katar’da kurulu bir GES üzerinde yapılan bu çalışmada, çevresel toz yükü ve hava koşullarının fotovoltaik modül verimliliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, yüzey kirlenmesinin enerji üretiminde ciddi kayıplara yol açtığını ortaya koymuştur. Araştırma kapsamında, her iki ayda bir temizlenen FV modüllerinin, yalnızca toz birikimi nedeniyle günlük %0,45 oranında, aylık ise %10 ila %20 arasında verim kaybı yaşayabileceği gösterilmiştir [13].

Bunlara bağlı olarak, bu çalışmada Türkiye’nin farklı şehirlerinde kurulmuş olan 1 MW kapasiteli GES’lerin bir yıllık enerji üretim verileri incelenmiş ve kurulu kapasite üzerinden verim analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede hem bölgesel düzeyde hem de şehir bazında enerji verimlilikleri ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, gelecekte bu bölgelerde kurulması planlanan GES tesisleri için referans alınabilecek ortalama verim değerlerinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

## II. MATERYAL VE METOT

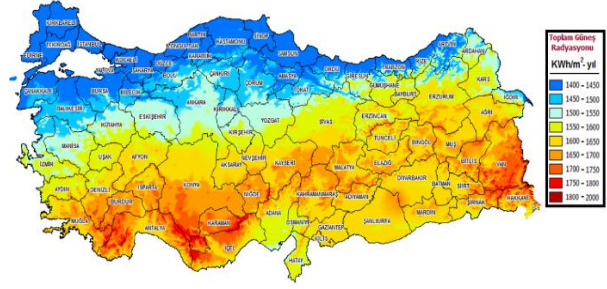
### 2.1. Türkiye’deki Bölgelerin Güneş Potansiyelleri

Türkiye, dört mevsimin belirgin şekilde yaşandığı ve her bölgesinde farklı enerji kaynaklarının üretilebildiği ender ülkelerden biridir. Ülke, fosil yakıt rezervleri, nükleer enerji üretimi için gerekli hammadde potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynakları açısından dikkate değer bir çeşitliliğe sahiptir. Bu bağlamda, Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelini görsel olarak ortaya koyan güneş enerjisi haritası Şekil 1’de verilmiştir.

Çalışmada sunulan güneş enerjisi potansiyel hesaplamalarında “ESRI Solar Radiation Model” kullanılmıştır. Bu modelleme, çeşitli meteorolojik ve coğrafi parametrelere dayanarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar, güneş enerjisinin enerji üretimindeki verimliliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Güneş potansiyelinin belirlenmesinde; yıllık ortalama güneşlenme süresi ve ışınım miktarı gibi güneş ışınımı verileri, bulutluluk, nem, sıcaklık ve rüzgâr hızı gibi meteorolojik değişkenler ile enlem-boylam, rakım gibi coğrafi konum bilgileri dikkate alınmıştır. Ayrıca, zenit ve azimut açıları 32 farklı yönde değerlendirilmiş; açık ve kapalı gökyüzü senaryoları da modele entegre edilmiştir. Bu parametrelerin bütüncül olarak değerlendirilmesi sonucunda, Türkiye genelinde aylık ortalama güneş ışınımı değerleri hesaplanmış ve 500 m x 500 m çözünürlükte grid formatında haritalandırılmıştır [8].

Bölgelerin güneş enerjisi potansiyellerine bakıldığında, teorik olarak en fazla enerji üretilebilecek bölge 1.460 kWh/m<sup>2</sup>yıl kapasite ile Güneydoğu Anadolu Bölgesidir. Bu bölgeyi 1.390 kWh/m<sup>2</sup>yıl ile Akdeniz

Bölgesi takip etmektedir. En düşük potansiyele sahip bölge ise 1.120 kWh/m<sup>2</sup> yıl ile Karadeniz Bölgesi olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Benzer durum güneşlenme süreleri için de geçerlidir. Yıllık bazda en yüksek güneşlenme süresine sahip bölge 2.993 saat/yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi iken, en düşük güneşlenme süresine sahip bölge 1.971 saat/yıl ile Karadeniz Bölgesidir. Bu değerler ortalama değerler olup, bölgenin kendi içerisinde de alansal olarak farklılıklar olabilmektedir. Dolayısıyla güneş enerjisi santralinin (GES) ilgili bölge içerisinde kurulacağı alan da önemli olmaktadır.



Şekil 1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [14].

Tablo 2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin ve güneşlenme sürelerinin bölgelere göre dağılımı [8].

BÖLGE	Güneş Enerjisi Miktarları			Güneşlenme Süreleri		
	Toplam ortalama (kWh/m <sup>2</sup> yıl)	En çok (Haziran) (kWh/m <sup>2</sup> )	En az (Aralık) (kWh/m <sup>2</sup> )	Ortalama (saat/yıl)	En çok (Haziran) (saat)	En az (Aralık) (saat)
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

## 2.2. Çalışılan Bölgeler ve Santraller

Çalışma kapsamında, dört farklı coğrafi bölgede yer alan sekiz güneş enerjisi santralinin elektrik üretim kapasiteleri ve verimlilikleri şehir bazında değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, Osmaniye, Kahramanmaraş, Aksaray, Konya, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır ve Elâzığ illerinin kırsal bölgelerinde kurulu bulunan güneş enerjisi santrallerine ait yıllık üretim verileri analizde kullanılmıştır.

**Aksaray:** Aksaray ilinin yıllık ortalama güneş enerjisi potansiyeli 1.550-1.600 kWh/m<sup>2</sup> düzeyindedir. Bu değer, bölgenin güneş enerjisi açısından elverişli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Kış aylarında yoğun kar yağışları ve sert hava koşulları gözlemlenmekle birlikte, bu dönemde güneşlenme süresi azalsa da yıllık ortalama güneşlenme süresi Türkiye ortalamasına yakın seviyelerdedir. Türkiye genelinde ortalama günlük güneşlenme süresi yaklaşık 7 saat olarak kabul edilmektedir.

**Konya:** Arazi alanı bakımından daha geniş bir yüzeye sahip olması, güneş enerjisi yatırımları açısından avantaj sağlamaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengin olan şehir, aynı zamanda hammadde temini ve ulaşım açısından da merkezi bir konumda yer almaktadır. Konya ilinin güney kesimleri, yıllık 1.700-1.800 kWh/m<sup>2</sup> düzeyinde güneş

radyasyonuna maruz kalmakta olup; doğu bölgelerinde bu değer 1.600-1.650 kWh/m<sup>2</sup>/yıl aralığında gerçekleşmektedir. Bu veriler, güneş enerjisi yatırımları açısından yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

**Elâzığ:** Coğrafi konumu ve yapısı itibarıyla bölgesel olarak avantajlı bir konuma sahiptir. Ortalama rakımı çevre illere kıyasla daha düşüktür (1.250-1.450 m). Güney komşularına göre daha ılıman bir iklime sahip olan Elâzığ'da yıllık ortalama sıcaklık 12,5-13 °C arasında değişmektedir. İl genelinde güneş radyasyonu 1.600-1.700 kWh/m<sup>2</sup>-yıl düzeyindedir ve bu da güneş enerjisi açısından uygun bir potansiyele işaret etmektedir.

**Gaziantep:** Günlük ortalama 8,35 saatlik güneşlenme süresiyle yüksek bir potansiyele sahiptir. Bu değer, güneş enerjisi santrali kurulumu için gerekli eşik değerinin üzerindedir. İl genelinde yıllık güneş radyasyonu 1.600-1.650 kWh/m<sup>2</sup> düzeyinde olup, bu durum Gaziantep'i güneş enerjisi yatırımları için elverişli bir bölge haline getirmektedir.

**Şanlıurfa:** Bölgesel olarak güneşlenme süresi fazla olan bir illerden bir tanesidir. Güneşten yararlanma konusunda 1. Kuşakta yer alır. Günlük Güneşlenme süresi ortalaması 8-9 saat arasındadır. 1.600-1.650 kWh/m<sup>2</sup>-yıl eşik değerleri arasında güneş radyasyonuna maruz kalmaktadır.

**Diyarbakır:** Bölgesindeki diğer illere göre özellikle kış ayları daha zorlu geçmektedir. Doğu Anadolu illeriyle olan komşulukları buna sebep olmaktadır. Buna rağmen bölgesel olarak güneşlenme süresi fazladır. Diyarbakır ilinde yaz aylarında sıcak ve kuru bir hava etkindir. Güneşlenme süresi yaklaşık 8-8,5 saat arasındadır.

**Osmaniye:** Bölge olarak güneş enerjisi bakımından 1. Kuşakta yer almaktadır. Osmaniye ilinin toplam güneşlenme radyasyonu 1.650-1.700 kWh/m<sup>2</sup>-yıl arasındadır. Güneşlenme süresi 8-8,5 saat arasındadır.

Güneş enerjisini en verimli şekilde kullanılacak en yüksek değerlere sahip şehirlerden biridir.

**Kahramanmaraş:** Her ne kadar Akdeniz Bölgesi’nde yer alsada Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin iklim koşullarından da etkilenmektedir. İl genelinde bağlı arazilerde yıllık güneş radyasyonu 1.650-1.800 kWh/m<sup>2</sup> düzeyindedir. Bu durum, Kahramanmaraş’ın güneş enerjisinden faydalanma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.

**Tablo 3.** Türkiye’nin farklı bölgelerinde kırsal alanlara kurulan güneş enerjisi santrallerinin teknik özellikleri

Şehir	Bölge	Kurulduğu Alan	Panel Türü	Panel Sayısı (Adet)	Panel Gücü (Wp)	Net Kurulu Güç (Wp)	İnverter Türü
Aksaray	İç Anadolu	Kırsal	Cam-cam	10.110	117,5	1.187,93	String inverter (Abb 27.6 trio)
Konya	İç Anadolu	Kırsal	Polikristal	4.036	285	1.150,26	String inverter (Huawei 100 kWe)
Osmaniye	Akdeniz	Kırsal	Polikristal	4.182	275	1.150,05	String inverter (Huawei 100 kWe)
K. Maraş	Akdeniz	Kırsal	Polikristal	4.182	275	1.150,05	String inverter (Huawei 100 kWe)
Gaziantep	Güneydoğu Anadolu	Kırsal	Polikristal	4.340	265	1.150,10	String inverter (Huawei 100 kWe)
Diyarbakır	Güneydoğu Anadolu	Kırsal	Polikristal	4.340	265	1.150,10	String inverter (Huawei 100 kWe)
Şanlıurfa	Güneydoğu Anadolu	Kırsal	Polikristal	4.182	275	1.150,05	String inverter (Huawei 100 kWe)
Elâzığ	Doğu Anadolu	Kırsal	Polikristal	4.036	285	1.150,26	String inverter (Huawei 100 kWe)

Çalışmada değerlendirilen toplam sekiz ilde kurulan güneş enerji santrallerine ait teknik özellikleri Tablo 3’te sunulmaktadır. Kurulumlar benzer kapasite hedeflenerek gerçekleştirilmiş olup, santrallerin tamamında string inverter teknolojisi tercih edilmiştir. Aksaray ilindeki kurulumda cam-cam tipi paneller ve ABB 27.6 Trio model inverter kullanılmışken, diğer tüm illerde polikristal paneller ile Huawei marka 100 kWe kapasiteli inverterler tercih edilmiştir. Panel güçleri 117,5 Wp ile 285 Wp arasında değişmekte olup, panel sayıları bu farklılığa göre optimize edilerek yaklaşık 1.150 kWp düzeyinde net kurulu güç elde edilmiştir. Bu yapı, saha koşulları ve proje hedeflerine göre ekipman seçimlerinin çeşitlendiğini; ancak kurulu güç bakımından belirli bir standartta kaldığını göstermektedir.

### 2.3. Verilerin Toplanması ve Analizi

Çalışmada kullanılan veriler, yaklaşık 1 MW kapasiteli Güneş Enerjisi Santrali (GES) sistemlerinin bir yıllık gerçek üretim verileridir. Bu santraller, üretim miktarlarını günlük ve aylık bazda kaydetmektedir. Çalışmanın yöntemi, bu sistemlerden elde edilen aylık üretim verilerinin detaylı bir şekilde incelenmesine dayanmaktadır. Veriler, 2018 yılına ait olup tam olarak 1 yıllık üretim verisi her bir il için ayrı ayrı analiz

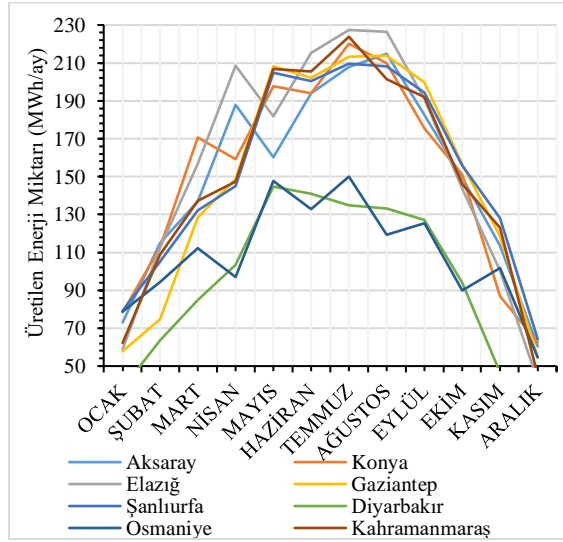
edilmiştir. Analiz sürecinde, santrallerin her birinin üretim miktarları hesaplanarak, elde edilen sonuçlar diğer illerle karşılaştırılmıştır.

Veri analizi, santrallerin üretim verilerinin bölgesel performans farklarını belirlemek amacıyla yapılmış ve istatistiksel kıyaslamalar ile bölgesel enerji verimliliği değerlendirilmiştir. Bu yöntem, Türkiye genelindeki güneş enerjisi üretim potansiyelinin karşılaştırılmasına ve bölgesel enerji stratejilerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, güneş enerjisinin farklı coğrafi bölgelerdeki performansını anlamaya yönelik sağlam bir metodolojik yaklaşım sunmakta ve bölgesel enerji planlamasında yönlendirici bir rol oynamaktadır.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

İlk olarak, 8 farklı ilde kurulan güneş enerjisi üretim tesislerinin aylık üretim değerleri şekil 2’de verilmiştir. Üretim değerlerine bakıldığında 8 il arasında en fazla üretim Doğu Anadolu Bölgesinde Elâzığ’da (1.864.660 kWh/yıl) gerçekleşmiştir. Bu sonuç, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerindeki diğer illeri geride bırakarak, yalnızca güneş enerjisi potansiyelinin tek başına yeterli olmadığını; sistem verimliliğinde

iklimsel ve yapısal birçok etkenin de belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.



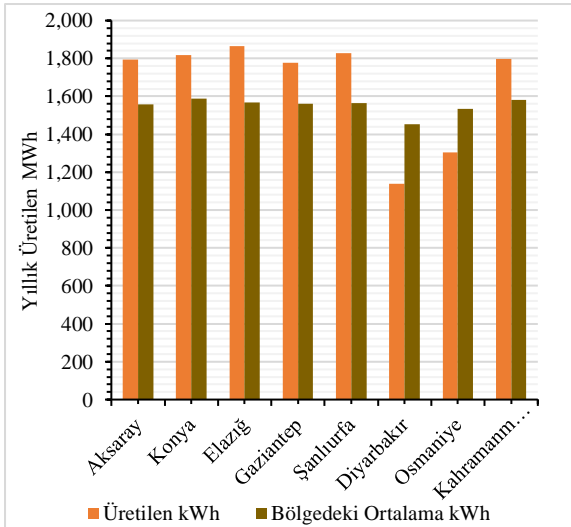
Şekil 2. Tesislerde üretilen güneş enerji miktarlarının aylara göre dağılımı

Santrallerin ilk 4 ay üretimine baktığımız zaman Diyarbakır 289.843, Gaziantep 409.736, Şanlıurfa 461.259, Osmaniye 382.405, Kahramanmaraş 455.477, Konya 520.704, Aksaray 461.259, Elâzığ 536.358 kWh olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre yılın ilk 4 ayında, yani kış aylarında en çok üretim Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan ilimiz Elâzığ’da olmuştur. Kış aylarının zorlu iklim koşullarıyla bilinen Elâzığ ilinde, yıllık üretim değerinin bu denli yüksek olması (özellikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerindeki illerle kıyaslandığında) beklenen bir durum değildir. Ancak yüksek verimle çalışan santral, bu süreçte diğer yedi üretim tesisinin tamamını geride bırakmıştır. Kış aylarında yağışlı, karlı ve bulutlu hava koşullarının etkili olabileceği göz önüne alındığında, üretim değerlerinin iller arasında belirgin farklılıklar gösterdiği anlaşılmaktadır. Yaz aylarında ise genellikle açık ve sıcak hava koşulları hâkim olduğundan, bu dönemdeki üretim değerleri diğer aylara kıyasla anlamlı şekilde artış göstermektedir. Yaz aylarından Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarının üretim değerleri incelendiğinde, Diyarbakır 536.070, Gaziantep 828.637, Şanlıurfa 812.730, Osmaniye 527.847, Kahramanmaraş 822.374, Aksaray 799.249, Konya 799.344, Elâzığ 859.942 kWh olarak belirlenmiştir. Yaz ayları üretimleri incelendiğinde Elâzığ yine diğer illeri geride bırakmıştır. İç Anadolu Bölgesinde yer alan Aksaray ve Konya illeri birbirine çok yakın değerlerde üretim gerçekleştirmiştir. Aralarındaki fark 95 kWh olarak görülmektedir. Bu mevsim de üretim değerlerinin ve verimin en üst seviyede olması gerekmektedir. Yağmur, kar, bulutlanma çok nadir görüldüğü için üretim olumsuz yönde etkilenmemektedir. Fakat Diyarbakır ve Osmaniye illerinin değerlerinin hem kış aylarında hem de yaz aylarında diğer illere göre çok düşük olduğu görülmektedir. Bunların sebepleri arasında üretim

değerlerinin alındığı dönemdeki hava durumu, santrallerin arıza ve bakım durumları, kesintiler olabilir. İki santralin üretimleri diğer 6 santrale göre yaklaşık 265.000 kWh daha az olmuştur. Değerleri kullanılan 8 ilin yaz ayları üretimleriyle kış ayları üretimleri farkı sırasıyla, Diyarbakır 246.227, Gaziantep 418.901, Şanlıurfa 351.471, Kahramanmaraş 366.897, Osmaniye 145.442, Konya 278.640, Aksaray 286.486, Elâzığ 323.584 kWh olarak belirlenmiştir. Üretim değerleri incelendiğinde en çok fark Gaziantep ilinde görülmektedir. Gaziantep ilinde yaz aylarında diğer illere göre daha fazla üretim olmuştur. Tüm bu üretim değerleri güneşin bölgesel olarak radyasyon potansiyeline, güneş paneline ve diğer kullanılan malzemelere tek başına bağlı olmadığı anlaşılmıştır. Mariano vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, Mevsimsel ışınlanma ve sıcaklık değişimlerinin, fotovoltaik sistemler tarafından üretilen güç üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [15]. Dolayısıyla özellikle güneydoğu bölgesinde yaz aylarındaki ışınlanmanın daha yüksek olması nedeniyle Gaziantep ilinde daha yüksek enerji üretilmesi olası bir durumdur. Bununla birlikte, yapılan bir çalışmada da güneş enerjisi santrallerinin verimliliğinin, toz, su damlacıkları, kuş pislikleri ve gölgeleme koşullarının varlığından etkilenebildiği, bu nedenle çevresel faktörlerin önemli olduğu vurgulanmıştır [16]. Her ne kadar Elâzığ’ın içinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesi, çalışılan bölgeler arasında kış aylarında (Aralık) en az güneşlenme süresine sahip (96 saat) olan bölge olsa da hem çevresel faktörlere hem de diğer faktörlere bağlı olarak kış aylarında daha yüksek enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla bu durum, bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır. Güneşlenme süresi, ortalama sıcaklık vb. gibi faktörlere bağlı olarak kurulan GES’lerde daha düşük verim elde edilebileceği gözlenmiştir. Güneş enerjisi santrallerinin verimliliği teknik, çevresel ve operasyonel faktörlerin birleşiminden etkilenir. Güneş radyasyonu, sıcaklık, izleme sistemleri, entegrasyon stratejileri ve saha seçimi gibi faktörleri göz önünde bulundurarak ve optimize ederek, güneş enerjisi santralleri daha yüksek verimliliklere ulaşabilir, sürdürülebilir ve güvenilir enerji üretimine katkıda bulunabilir [17][18].

### 3.1. Tesislerin Üretim Değerlerinin, Bölgesel Ortalama Potansiyelleriyle Karşılaştırılması

Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgesinin illerinde kurulumu yapılmış ve şu an aktif olarak üretim yapmaya devam eden güneş enerji santralleri kendi aralarında verim bazında değerlendirilmiştir. Şekil 3’te, yıllık üretilen enerji miktarları ile bölgesel olarak ortalama enerji potansiyelleri karşılaştırılmıştır. Grafikten yer seçiminin üretim verimlerine etkisi olduğu açıkça görülmektedir. Şehirlerin, il sınırları içerisinde bile radyasyon potansiyeli farklılıklarının olduğu şekil 1’de görülmektedir.



**Şekil 3.** Tesislerin üretim ve bölgesel potansiyelleri bakımından verimlerinin karşılaştırılması

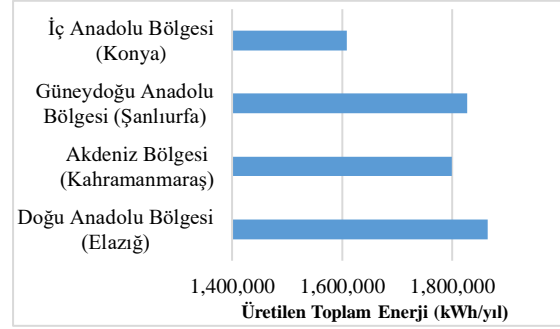
Karşılaştırmasını yaptığımız radyasyon potansiyeli değerleri ortalama olduğu için pik noktalarda yapılacak tesislerden elde edilecek verimler ortalama değerlerin üzerinde olacaktır. Bu nedenle aynı il sınırları içerisinde bile farklı konumlardaki farklı tesislerin üretim miktarları değişecektir. Elâzığ’da verimin beklenenden yüksek çıkması, Diyarbakır ve Osmaniye de verimlerin beklenenden düşük çıkması, sıcaklığın panel verimleri üzerinde sınırlayıcı bir etki yapmasından kaynaklanmış olabilir [19]. Ancak bu durum verimler arasındaki farkın bu kadar açık olmasının tek nedeni değildir.

Karşılaştırma yapılan sekiz il bazında üretim değerleri incelendiğinde, bölgesel olarak en düşük güneş enerjisi potansiyeline sahip olan Doğu Anadolu Bölgesi’ndeki Elâzığ ili, yıllık 1.864.660 kWh üretim değeriyle diğer tüm illeri geride bırakmıştır.

İç Anadolu bölgesindeki üretim yapan iki santral verim olarak diğer bölgelerdeki santrallerin önüne geçmiştir. Güneş enerjisinin bölgesel potansiyeline göre İç Anadolu bölgesi üretim verimi olarak diğer iki bölgeden daha az olması beklenirdi. Ama üretim, sadece güneşin enerji potansiyeline göre olmamaktadır. Santrallerde kullanılan paneller ve bu panellerin doğru yerleştirilmesi, İnverter seçimi, Kablo seçimi, Trafo ve hücrelerin seçimi çok önemlidir. Ama en önemlisi sadece bu ürünleri doğru seçmek değil, seçtikten sonra doğru montaj ve dizayn edilmesidir. Ayrıca santrallerdeki periyodik bakımlar da verim üzerinde etkili olabilmektedir. Ancak bu çalışma sınırları içerisinde bu gibi teknik detaylar değerlendirilmemiş olup, santrallerden bir yıllık bazda üretilen enerji miktarları kıyaslanmıştır. Hantoro vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, izleme ve bakım, optimum performansın sağlanması için olmazsa olmazı olup, düzenli izleme, güneş ışınımının ve tesis koşullarının verimlilik üzerindeki etkilerinin

değerlendirilmesine yardımcı olacağı belirtilmiştir [18].

Bölgelere göre bir yılda üretilen toplam enerji miktarları Şekil 4’te verilmiştir. Doğru kıyaslama için, grafiğin çiziminde ilgili bölgede en yüksek üretimin gerçekleştirildiği il seçilmiştir. Şekle bakıldığında, en yüksek üretimin meydana geldiği bölge Doğu Anadolu Bölgesi iken, en düşük üretim İç Anadolu Bölgesinde gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.** Bölgelere göre üretilen toplam enerjinin kıyaslanması

Üretilebilecek yıllık güneş enerjisi miktarlarına bakıldığında, Doğu Anadolu Bölgesinde bu değer 1.365 kWh/m<sup>2</sup>’yıl olup, İç Anadolu Bölgesinde 1.314 kWh/m<sup>2</sup>’yıl’dır. En yüksek değer 1.460 kWh/m<sup>2</sup>’yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde olmasına karşılık, bu bölge enerji üretiminde Doğu Anadolu Bölgesinden sonra ikinci sıradadır. Daha önce de tartışıldığı üzere, birçok faktör bu durum üzerinde etkili olabilmektedir. Dolayısıyla bölgesel anlamda, teorik olarak daha fazla güneş üretimi gerçek ölçekte daha fazla enerji üretim anlamına gelmemektedir. Enerji üretimine etki edebilecek diğer faktörlerin de değerlendirilmesi gerektiği söylenebilir.

Güneş enerjisi santrallerinin verimliliği yalnızca kurulum yapılan bölgenin coğrafi ve meteorolojik özelliklerine bağlı kalmamakta, aynı zamanda teknik parametrelerle de doğrudan ilişkilidir. Bu teknik faktörler arasında güneş panellerinin montaj açısı, enerji üretimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Panelin uygun olmayan bir açıyla yerleştirilmesi, toplam güç üretiminde yaklaşık %5 oranında sapmaya neden olabilmektedir. Bu görünüşte küçük değişim, özellikle geniş panel dizilerinde önemli enerji kayıplarına yol açabilir. Örneğin, her biri 250 W gücünde olan 10 panelin optimum açıyla konumlandırılması durumunda, panel başına yaklaşık 12,5 W ek üretim sağlanabilir. Bu da toplamda 125 W’lık bir artış anlamına gelmekte olup, büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerinde göz ardı edilemeyecek bir katkı sağlamaktadır.

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışma, Türkiye’nin farklı bölgelerinde kurulu sekiz ayrı güneş enerjisi santraline (GES) ait bir yıllık gerçek üretim verilerinin, bölgesel güneş radyasyonu potansiyelleriyle karşılaştırılmalı olarak incelenmesini kapsamaktadır. Değerlendirilen santraller arasında en yüksek yıllık üretim Elâzığ ilinde 1.864.660 kWh ile kaydedilmiş; en düşük üretimler ise sırasıyla Diyarbakır (536.070 kWh/yıl) ve Osmaniye (527.847 kWh/yıl) illerinde gerçekleşmiştir. Elâzığ, güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye’de üçüncü sırada yer alan Doğu Anadolu Bölgesi’nde konumlanmasına rağmen, en yüksek üretim değerine ulaşarak yalnızca güneş radyasyonu miktarının değil, aynı zamanda sistem tasarımı, sıcaklık koşulları, bakım düzeyi ve ekipman kalitesi gibi teknik faktörlerin de enerji verimliliğinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Öte yandan, yüksek güneşlenme süresi ve radyasyon potansiyeline sahip olmalarına rağmen Diyarbakır ve Osmaniye illerinde elde edilen düşük üretim değerleri, bu illerde sistemsel kayıplar veya işletmeye bağlı aksaklıkların mevcut olabileceğini düşündürmektedir. Bu durum, yalnızca teorik potansiyel verilerine değil, saha performansını etkileyen tüm teknik ve işletmesel koşullara bütüncül yaklaşılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, bu tür sistemsel detayların da ele alındığı kapsamlı analizlerin literatür açısından önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir. Türkiye’de güneş enerjisi yatırımlarının hızla artmakta olduğu gözlemlenmekle birlikte, bu yatırımların ekonomik olarak verimli ve sürdürülebilir olabilmesi için kurulum ve işletme süreçlerinde daha titiz fizibilite çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş panellerinin doğru montajı, uygun açı optimizasyonu ve teknik parametrelerin dikkatle yönetilmesi, enerji üretim kapasitesinin maksimize edilmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, yerel iklim ve çevre koşullarının yanı sıra, teknolojik iyileştirmeler ve sistem optimizasyonları gibi faktörlerin de göz önünde bulundurulması, güneş enerjisi sistemlerinin daha verimli ve güvenilir bir şekilde işletilmesine katkı sağlayacaktır.

#### ETİK KURUL ONAYI VE ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

“Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur”

“Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır”

#### YAZAR KATKILARI

-A. YURTSEVER, Verilerin analizi ve yorumlanması, Çalışma konsepti ve tasarım, makale yazımı

-S. ATEŞ, Çalışma konsepti ve tasarım, Makale yazımı.

-C. ÖZTÜRK, Veri toplama, Verilerin analizi ve yorumlanması

-A. E. ATEŞ, Taslağın oluşturulması, makale yazımı.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü’nde kabul edilmiş olan 621591 nolu ‘‘Güneş Enerji Sistemlerinde Verim Analizi ve Enerji Kayıplarının Tespiti’’ isimli tezden üretilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Lavrik A., Yakovleva E., Leskov A. (2018). Assessing the Solar Power Plant Efficiency Degradation Resulting from Heating. *Journal of Ecological Engineering*, 19(3), 115-119.
- [2] Acar, C., Beskese, A., & Temur, G. T. (2018). Sustainability analysis of different hydrogen production options using hesitant fuzzy AHP. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(39), 18059-18076.
- [3] Sachs, J., Moya, D., Giarola, S., & Hawkes, A. (2019). Clustered spatially and temporally resolved global heat and cooling energy demand in the residential sector. *Applied Energy*, 250, 48-62.
- [4] Topcu, C., & Yünsel, D. T. (2012). Yenilenebilir enerji raporu. Çukurova Kalkınma Ajansı, Adana
- [5] Uyan, M., (2016). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4): 343-351
- [6] <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
- [7] Kılıç, F. Ç. 2015. “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri,” *Mühendis ve Makina*, cilt 56, sayı 671, s. 28-40.
- [8] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik#:~:text=2023%20y%C4%B1%C4%B1nda%20elektrik%20C3%BCretimimizin%2C%20%36,si%20di%C4%9Fer%20kaynaklardan%20e%20edilmi%C5%9Ftir>
- [9] Effat, H. A. (2013). Selection of potential sites for solar energy farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and multicriteria analysis. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2(1), 205-220.
- [10] Sahin, G., Akkus, I., Koc, A., & van Sark, W. (2024). Multi-criteria solar power plant siting problem solution using a GIS-Taguchi loss function based interval type-2 fuzzy approach: The case of Kars Province/Turkey. *Heliyon*, 10(10).

- [11] Bouzguenda, M., Al Omair, A., Al Naeem, A., Al-Muthaffar, M., and Wazir, O. B. (2014). Design of an off-grid 2 kW solar PV system. In *Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Ninth International Conference*, 1-6.
- [12] Kymakis, E., Kalykakis, S., & Papazoglou, T. M. (2009). Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. *Energy conversion and management*, 50(3), 433-438.
- [13] Guo, B., Javed, W., Figgis, B. W., & Mirza, T. (2015, March). Effect of dust and weather conditions on photovoltaic performance in Doha, Qatar. In *2015 First Workshop on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)* (pp. 1-6). IEEE.
- [14] <https://gepa.enerji.gov.tr/>
- [15] Mariano, J. R. L., Liao, M., & Ay, H. (2021). Performance evaluation of solar PV power plants in Taiwan using data envelopment analysis. *Energies*, 14(15), 4498.
- [16] Mustafa, R. J., Gomaa, M. R., Al-Dhaifallah, M., & Rezk, H. (2020). Environmental impacts on the performance of solar photovoltaic systems. *Sustainability*, 12(2), 608.
- [17] Windarta, J., Saptadi, S., Satrio, D. A., & Silaen, J. S. (2020). Technical Analysis on Household-Scale Rooftop Solar Power Plant Design with On-Grid System in Semarang City. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 202, p. 08006). EDP Sciences.
- [18] Hantoro, R., Septyaningrum, E., Cony Setiadi, I., Fahmi Izdiharrudin, M., Damien Uwitije, P., Akbar, A., ... & Sinatra, L. (2020). *Design and Implementation of Real-Time Monitoring System for Solar Power Plant in Surabaya, Indonesia*.
- [19] Haydaroglu, C., & Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 491-500.