



*Süleyman Demirel Üniversitesi*  
**YEKARUM e-DERGİ**  
*(Journal of YEKARUM)*



*Cilt 9, Sayı 2, 147-163, 2024*  
*E - ISSN:1309-9388*

## **Güneş Işınım Verilerine Entropi Yaklaşımıyla Fotovoltaik Sistem Çıkış Gücü Değişiminin İncelenmesi**

Ahmet KABUL<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9579-2757), [ahmetkabal@mehmetakif.edu.tr](mailto:ahmetkabal@mehmetakif.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 02/12/2024 ve Kabul Tarihi 18/12/2024)

### **ÖZET:**

Fosil yakıtların neden olduğu problemlerin gün geçtikçe görünür hale gelmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artırmaktadır. Fotovoltaik (PV) güneş panelleri tabanlı elektrik üretim santralleri gerek ülkemizde gerekse de dünyada yenilenebilir enerji kaynakları arasında tercih edilen santral tiplerinden birisidir. PV panel güç kapasitesini tahmin edebilmek ya da panel verimliliğini arttırabilmek amacıyla temel meteorolojik verilerin (sıcaklık, hava açıklığı, nem, rüzgâr, vb.) takibi ve analizi yapılmaktadır. Temel meteorolojik verilerin çeşitliliği ve her bir parametrenin ayrı ayrı değerlendirilmesi panel çıkış güçlerinin ve verimliliklerinin takibini zorlaştırmaktadır. Günümüzdeki çalışmalar temel meteorolojik verilerin güneş ışınım değerleri olan yatay düzlem global ışınım (GHI), direkt normal ışınım (DNI) ve difüz yatay ışınım (DHI) parametrelerini tahmin etme üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada DNI, DHI ve GHI verilerinin ayrı ayrı analizleri yapılarak hangi verinin panel çıkış gücünü doğrudan etkilediği tespit edilmektedir. Önerilen yöntem ilgili verilerin ortalama değerlerini kullanarak entropi analizi için özellik çıkarımı yapmaktadır. Önerilen yöntemin sonuçları Mendeley Data web sitesinde açık-kaynak olarak sunulan "Solar Panel Data" isimli ve Rajasthan/Hindistan bölgesinden elde edilen verilerin analizi ile test edilmektedir. Analiz sonucunda sıcaklık, hava açıklığı, DNI, DHI ve GHI verilerinin eğim fark açıları PV panel çıkış gücü eğim açıları ile karşılaştırılmaktadır. Elde edilen veriler GHI parametresinin güneş paneli çıkış gücü ile doğrudan ilgili olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik panel çıkış gücü, Direkt normal ışınım, Difüz yatay ışınım, Yatay düzlem global ışınım, Entropi, Fark eğim açıları

## **Investigation of Photovoltaic System Output Power Variation with Entropy Approach to Solar Radiation Data**

### **ABSTRACT**

Since the problems caused by fossil fuels become more visible, the trend towards renewable energy sources increases. Power generation plants based on photovoltaic (PV) solar panels are one of the most preferred types among renewable energy sources both in our country and in the world. Basic meteorological data (temperature, cloud opacity, humidity, wind, etc.) are monitored and analyzed in order to predict PV panel power capacity or increase panel efficiency. The variety of meteorological data and individual evaluation of each parameter make it

\* Sorumlu yazar E-mail: [ahmetkabal@mehmetakif.edu.tr](mailto:ahmetkabal@mehmetakif.edu.tr)

difficult to monitor panel output power and efficiency. Current studies focus on predicting the global horizontal irradiance (GHI), direct normal irradiance (DNI) and diffuse horizontal irradiance (DHI) which are basic solar irradiance data. In this study, the parameters of DNI, DHI and GHI are analyzed separately to determine the data which affects the panel output power directly. The proposed method uses the average values of aforementioned data for the process of feature extraction. The results of the proposed method have been tested by analyzing the data obtained from the Rajasthan/India region of “Solar Panel Data”, which is available as open-source on the Mendeley Data website. As a result of the analysis, the slope difference angles of temperature, cloud opacity, DNI, DHI and GHI data are compared with the PV panel output power slope angles. The obtained data show that the GHI parameter is directly related to the solar panel output power.

**Keywords:** *Photovoltaic panel output power, Direct normal irradiance, Diffuse horizontal irradiance, Global horizontal irradiance, Entropy, Difference slope angles*

## 1. GİRİŞ

Fosil yakıt rezervlerinin azalması ve çevresel kaygılar, fosil yakıt temelli enerji üretiminin geleceğini de sorgulamaya açmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu enerji üretiminin önemli çözümlerinden bir tanesidir [1]. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji olarak günümüzde tercih edilmekte ve mevcut enerji talebinin karşılanmasında giderek artan oranda söz sahibi olmaktadır [2]. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik çözümleri göz önüne alındığında temiz enerji kaynakları olarak da adlandırılmaktadır [3]. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre 2020 yılında yaklaşık olarak her 1 birimlik temiz enerji yatırımına karşılık 1,23 birimlik fosil yakıt temelli enerji yatırımı yapılırken; bu durum 2023 yılı için yaklaşık her 1 birimlik temiz enerji yatırımına karşılık 0,6 birimlik fosil yakıt temelli enerji yatırımı olarak gerçekleşmiştir [4].

Güneş, Dünya için tükenmez bir enerji kaynağı olarak araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Fotovoltaik (PV) güneş panelleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirerek yenilenebilir enerjinin kullanımına aracılık etmektedir. Güneş tarafından iletilen enerjinin PV paneller ile hasatında elde edilecek enerji miktarı farklı parametrelere (iklim, coğrafi konum, ışınım miktarı, vb.) göre değişiklik göstermektedir. Güneşten elde edilen yıllık enerjinin %1,25’i ( $\approx 5 \cdot 10^4$  EJ) hasat edebilecek bir formda olmasına rağmen, solar enerji hasadında ulaşılan güncel değerler, bu yüzdenin çok uzağındadır [5]. Buna rağmen PV panellerin kullanım oranları gün geçtikçe artmaktadır. Son 20 yılda PV kapasitesinin kW seviyelerinden MW mertebesine yükseldiği yakın bir gelecekte de bu kapasitenin TW boyutlarına ulaşacağı öngörülmektedir [6]. Giderek yaygınlaşan PV panel tabanlı enerji tarlalarının kurulum

aşamasında birçok meteorolojik parametre birlikte değerlendirilerek elde edilebilecek enerji kapasitesi doğru bir şekilde tahmin edilmeye çalışılmaktadır [7].

Sıcaklık, nem, rüzgâr hızı gibi temel meteorolojik verilerin yanında solar ışınım verilerinin de doğru olarak yorumlanabilmesi enerji kapasitesinin belirlenmesinde ve tahmin edilmesinde oldukça önemlidir. Ancak solar ışınım verilerinin anlık olarak değişmesi bu verilerin sağlıklı yorumlanmasını zorlaştırmaktadır [8]. Ulusal Güneş Işınımı Veri Tabanı (NSRDB)’nda açık-kaynak olarak sunulan verilerde ışınım bilgilerinin en yaygın kullanılan üç ölçümüne yer verilmektedir. Bu ölçümler; yatay düzlem global ışınım (GHI), direkt normal ışınım (DNI) ve difüz yatay ışınım (DHI) bilgilerini içermektedir [9].

Temel meteorolojik verilerin güneş paneli gücü üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmaktadır. Tripathi ve arkadaşları nem verisinin PV panel performansı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada panelin bulunduğu ortamın nemini farklı seviyelerde kurgulayarak, panel çıkış gerilimini ve akımını ölçmüşlerdir [10]. Güven tarafından 2022 yılında Denizli/Türkiye ilinde yapılan bir çalışmada PV panel yüzey sıcaklığının panel çıkış gücü ve verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir [11]. Kirpichnikova ve Maksumov, PV panellerin ortam sıcaklığının fazlaca yükseldiği durumlarda çıkış güçlerinin olumsuz etkilendiğini ortaya koymuşlardır. Panel yüzey sıcaklıklarının ortam sıcaklığına dirençli hale gelmesi için gereken işlemleri de çalışmalarında paylaşmışlardır [12]. Adak ve arkadaşları 2019 yılında yaptıkları çalışmada benzetim programı aracılığıyla PV panel modellemesi yaparak, panel çıkış gücünün sıcaklık ve ışımaya bağlı olarak değişimlerini analiz etmişlerdir. Sıcaklık parametresinin PV panelin monokristal ve polikristal yapıları için ayrı ayrı simüle etmişlerdir. Çalışmalarında PV panele ait gerekli analitik verilerin çıkarımı Sosyal Bilimler için İstatistik Paketi (SPSS) programı ile yapılmıştır. Işınım durumu değişimi PV panel üzerinde kısmi gölgelenme durumu simüle edilerek yapılmıştır [13]. Aswati ve arkadaşları sıcaklık ve ışınım verilerinin PV sistemler üzerindeki etkilerini MATLAB/Simulink programı üzerinden incelemişlerdir. İlgili parametrelerin değişimlerini Alternatif Akım (AC) ve Doğru Akım (DC) yüklerinde maksimum panel gücü üzerinden yorumlamışlardır [14]. Mustafa ve arkadaşları PV paneller üzerinde doğal koşullar sonrası meydana gelen kirliliğin (toz, su damlaları, kuş pislikleri, vb.), panel çıkış gücü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [15]. Dhaundiya ve Atsu, rüzgârın PV panellerin yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarını enerji ve hidrodinamik denklemler ile çerçeveli ve çerçevesiz PV modül kullanan solar sistemler üzerinden ifade etmişlerdir [16].

Leow ve arkadaşları rüzgâr hızının PV panel üzerindeki etkisini Perlis/Malezya bölgesinde analiz etmişlerdir. Belirli saatlerde PV panel çıkış güçlerini rüzgârlı ve rüzgârsız durumlar üzerinden kaydetmişlerdir [17]. Başay ve arkadaşları, 835 m yükseklikte yapılan çalışmada nemin, hava açıklığının, sıcaklığın ve Ultraviyole (UV) ışınımının PV panel üzerindeki etkilerini modül ömrü üzerinden yorumlamışlardır. Modül ömrü üzerinden karşılaştırma deniz seviyesinde kullanılan PV panellerin modül ömrü ile kıyaslanarak yapılmıştır [18]. Watt ve Campell, PV paneller beslenen pompalama sistemi için panel çıkış gücünün pompa motor gücüne oranını ifade eden bir indeks hesaplamışlardır. Bu indeksin değişimi havanın açıklık oranına göre incelenmiştir [19]. Bonkaney ve arkadaşları 2017 yılında Niamey/Nijerya bölgesinde PV panel veriminin değişimini havanın açıklık durumu ve panel yüzeyindeki kirlilik üzerinden araştırmışlardır. Çalışma sonucunda yüzey kirliliğinin uzun vadede, hava açıklığı oranının ise kısa vadede PV panel verimi üzerinde etki ettiğini tespit etmişlerdir [20]. Dal, 2021 yılında panel eğim açılarının PV panel verimi üzerindeki etkisini Kayseri/Türkiye bölgesinde incelemiştir. Çalışmada panelin bulunduğu bölgedeki eğim açılara göre aylık, mevsimsel ve altı aylık şartlara göre panel eğim açısı ayarlanarak panel verimi analiz edilmiştir [21]. Literatür bilgisi sunulan bu çalışmalarda her ne kadar çevresel meteorolojik parametreler öncelenecek PV panel çıkış gücü ve verimliliği analiz edilse de neredeyse tamamında dolaylı yoldan bu parametrelerin ışınım verileri üzerindeki yansımaları da incelenmiştir. Önerilen bu çalışmada ise saha çalışmasında elde edilen PV panel gücü, sıcaklık ve hava açıklığı gibi temel meteorolojik parametrelerin yanında ışınım verileri (GHI, DHI ve DNI) üzerinden de analiz edilecektir.

Son yıllarda GHI, DHI ve DNI solar ışınım verileri üzerinden yapılan araştırma çalışmalarına da literatürde rastlanılmaktadır [22]-[26]. Bu veriler, belli bir lokasyondaki PV panel tabanlı güneş tarlalarından elde edilebilecek elektriksel gücün tahmin edilmesinde araştırmacılara doğruluğu yüksek bilgiler sunmaktadır. Tahmin tabanlı araştırma çalışmalarında tercih edilen veri eğitimi, makine öğrenmesi, yapay öğrenme, vb. yöntemlerde entropi tabanlı özellik çıkarımları da kullanılmaktadır. Tribak ve Zaz 2019 yılında yaptıkları çalışmada PV paneller üzerindeki kirlilik seviyesini görüntüde entropi hesaplaması ile tespit etmişlerdir [27]. Liu ve arkadaşları PV panel gücünü entropi tabanlı yöntem ile tahmin eden bir çalışma yapmışlardır [28]. Bir başka çalışmada da Zhang ve arkadaşları PV panel gücünü yine entropi tabanlı yöntem ile tahmin etmişlerdir [29]. Takamatsu ve Nakajima, güneş ışınım verilerinin analizi için gerekli olan özellik çıkarımlarını entropi ile hesaplamışlardır [30].

Önerilen bu çalışmada, entropi ile analiz yapılacaktır. Entropi analizi için ışıınım verilerinin standart sapmasından elde edilen özellik çıkarımı kullanılacaktır.

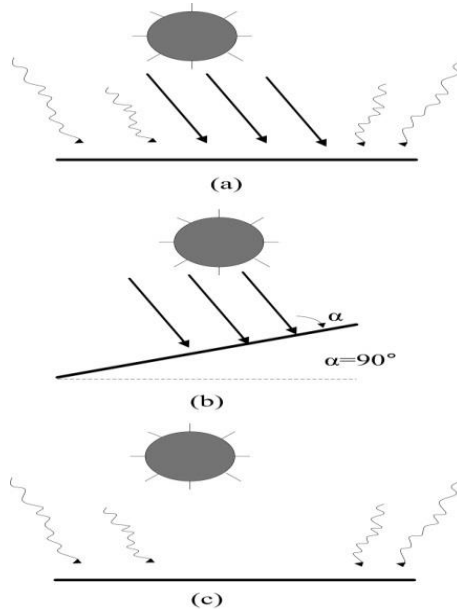
Önerilen çalışmanın temel motivasyonu GHI, DHI ve DNI ışıınım verilerinin entropi tabanlı analizi ile saha çalışmasından elde edilen PV panel gücü değişiminin karşılaştırmasının yapılmasıdır. Saha verileri olarak Mendeley Data web sitesinde açık-kaynak olarak sunulan “Solar Panel Data [31]” isimli ve Rajasthan/Hindistan bölgesinden elde edilen veriler kullanılacaktır.

Makalenin organizasyonu şu şekildedir. Çalışmanın 2. Bölümünde kullanılan yöntemlerin teorik bilgileri, 3. Bölümünde ise önerilen yöntemin analiz sonuçları sunulmaktadır. Çalışma, analiz sonuçlarının değerlendirildiği Sonuçlar Bölümü ile sonlandırılmaktadır.

## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1. Güneş Işınım Verileri

Güneş ışıınım verilerine ait temel parametreler GHI, DHI ve DNI olarak öne çıkmaktadır. Bu temel parametrelerin gösterimleri Şekil 1’de sunulmaktadır [32].



Şekil 1. Güneş ışıınım parametreleri (a) GHI, (b) DNI, (c) DHI.

Bu üç parametrenin birbiri ile olan ilişkisi Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır [32], [33].

$$GHI = DHI + DNI * \cos \emptyset \quad (1)$$

$\emptyset$ , güneşin doğrultusu ile yatayın oluşturduğu açığı ifade etmektedir.

## 2.2. Önerilen Yöntem

Analiz edilen veriler Mendeley Data web sitesinde bulunan “Solar Panel Data [31]” isimli ve Rajasthan/Hindistan bölgesinden elde edilen verilerdir. İlgili verilerde panel çıkış gücü 20 kW ve 100 kW kapasiteye sahip iki adet evirici üzerinden ölçülmektedir. Panel gücü hesabında kullanılan akım ve gerilim verileri 6<sup>00</sup>-15<sup>00</sup> saatleri arasında her 30 dk’da bir kaydedilmiştir. Ölçüm işlemleri 1 sene boyunca devam ettirilmiştir (Teknik bir nedenden dolayı Aralık ayına ait ölçümlerin büyük bölümü alınamamıştır). Sıcaklık, nem, hava açıklık oranı gibi temel meteorolojik verilerin yanında GHI, DNI ve DHI verileri de ilgili veri dosyası içinde bulunmaktadır [31].

Önerilen yönteme ait blok diyagram Şekil 2’de sunulmaktadır.



Şekil 2. Blok diyagram.

Veriler, açık-kaynak olarak “Solar Panel Data [31]” isimli dosyadan çekilmektedir. Dosyada bulunan verilerden “panel çıkış gücü (kW), hava sıcaklığı (°C), hava açıklık oranı, DNI (kWh/m<sup>2</sup>), DHI (kWh/m<sup>2</sup>) ve GHI (kWh/m<sup>2</sup>)” bilgileri bu çalışmada analiz edilmiştir. Gün içerisinde belirli saatlerde ölçülerek kayıt altına alınan bu verilerin öncelikle aylık ortalamaları hesaplanmıştır. Daha sonra Aralık ayı hariç tutularak ilgili verilerin kendi içerisindeki yıllık ortalamaları hesaplanmaktadır. Aylık ve yıllık ortalamalar kullanılarak

yukarıda bahsedilen her bir veri türünün standart sapmaları Eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır [34].

$$\text{Standart Sapma} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de sunulan ifadede  $N$ , örneklem sayısını;  $x_i$ , hesaplanan değeri;  $\bar{x}$  ise hesaplanan verilerin ortalama değerini ifade etmektedir. Standart sapma hesaplamasının ardından ilgili verinin entropi hesabı için özellik çıkarımı ( $\sigma$ ) yapılmaktadır. Özellik çıkarımı Eşitlik 3 ile yapılmaktadır.

$$\sigma = \frac{\text{Veri}_{\text{Aylık Ortalama}}}{\text{Veri}_{\text{Standart Sapma}}} \quad (3)$$

Özellik çıkarımının ardından ilgili verinin entropisi Shannon entropisi [35] baz alınarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada entropi hesaplaması kümülatif toplam ( $\Sigma$ ) üzerinden değil verilerin standart sapma değeri baz alınarak noktasal (lokal) olarak yapılmaktadır. Bu nedenle Shannon entropi hesaplamasında kullanılan kümülatif toplam ( $\Sigma$ ) işareti hesaplama sırasında kullanılmamaktadır. Ayrıca bu çalışmada entropi sonuçları ardışıl iki nokta arasındaki değişimin eğim açısı olarak değerlendirilmektedir. Ardışıl iki noktanın ileri yönlü ya da geri yönlü seçilmesi eğim açısı hesaplamasını değiştirmeyeceği için Shannon entropi hesaplamasındaki (-1) çarpanı da entropi hesaplamasında kullanılmamaktadır. Çalışmada kullanılan entropi hesap denklemini Eşitlik 4’te sunulmaktadır.

$$\text{Entropi} = \text{Veri}_{\sigma} * \log_2 \text{Veri}_{\sigma} \quad (4)$$

### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

#### 3.1. Ham Veriler

Açık-kaynak olarak sunulan “Solar Panel Data [31]” isimli dosyadan çekilen verilere ait bir görsel Şekil 3’te sunulmaktadır.

Ultra vibrant Solar Energy Pvt. Ltd.														
Plant Generation Datasheet														
Plant Name Fitpack Textiles														
Year Tem.05														
Inv-1 Sungrow														
Inv-2 Sungrow														
Month	Date	Main	AirTemp	CloudOpacity	Dni	DHI	Ghi	RelativeHumidit Y	PM2.5 (ug/m3)	PM10 (ug/m3)	NOx (ppb)	NH3 (ug/m3)	SO2 (ug/m3)	CC
1	1	351,70	12,44	6,85	188,83	93,58	159,88	64,68	113,67	159,33	98,57	68,29	9,81	
1	2	401,70	13,17	8,44	156,08	83,17	153,00	67,58	110,14	151,15	70,19	48,81	11,45	
1	3	378,00	14,49	4,10	184,88	93,92	158,83	67,36	125,42	173,39	77,03	53,30	16,33	
1	4	373,50	16,90	40,51	125,71	66,75	133,00	63,66	115,32	162,59	91,70	63,30	9,79	
1	5	115,70	14,68	62,47	0,00	0,00	32,50	90,64	76,95	95,76	38,80	28,01	9,00	
1	6	48,70	14,91	66,57	0,00	0,00	30,46	91,75	110,47	123,78	23,69	25,39	8,86	
1	7	201,60	16,04	62,85	0,00	0,00	60,25	92,38	45,10	61,96	16,46	21,76	8,68	
1	8	173,10	15,80	47,02	7,54	1,88	57,67	92,41	29,13	52,14	27,22	31,78	12,25	
1	9	355,30	12,49	15,35	163,33	75,75	153,71	80,75	22,96	48,97	22,28	25,91	12,64	
1	10	489,90	11,43	3,79	262,04	129,92	180,29	79,14	20,57	46,94	34,08	38,16	11,90	
1	11	451,20	11,13	7,20	176,88	95,13	165,29	75,71	39,30	83,29	58,74	64,67	13,45	
1	12	341,10	10,49	15,92	117,00	63,71	145,00	77,09	38,71	75,73	36,51	41,02	14,84	
1	13	405,20	10,46	7,20	161,46	88,58	163,75	79,73	54,67	103,75	55,03	60,74	13,50	
1	14	349,90	10,85	13,01	101,00	53,96	145,67	79,45	57,35	110,69	65,45	72,14	11,77	
1	15	274,70	9,75	13,90	81,75	46,92	139,75	83,23	57,84	106,15	42,25	47,25	12,73	
1	16	334,00	8,87	17,03	159,04	86,21	155,38	83,13	63,22	111,14	28,47	32,58	12,92	
1	17	319,50	9,87	8,20	194,58	107,33	167,04	82,34	41,42	77,52	32,52	36,87	13,76	
1	18	413,00	11,11	4,75	244,38	129,08	182,29	80,28	82,55	139,33	86,02	84,29	12,90	
1	19	464,20	13,66	5,80	197,13	101,33	169,96	76,29	56,61	89,32	51,34	39,93	8,93	
1	20	448,60	14,20	12,33	115,71	68,21	151,25	80,83	54,42	86,73	35,66	28,12	10,30	
1	21	315,10	13,88	35,03	99,50	56,96	137,04	83,36	74,07	106,97	33,76	26,85	8,76	

Şekil 3. Ham verilere ait bir görsel [31].

### 3.2. Aylık Ortalama Veriler

PV panel güçleri, hava sıcaklığı, bulutluluk oranı, DNI, DHI ve GHI verilerine ait ortalama değerler Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1. Verilerin aylık ortalama değerleri

Aylar	PV panel güçleri (kW)	Hava sıcaklığı (°C)	Hava açıklık oranı	DNI (kWh/m <sup>2</sup> )	DHI (kWh/m <sup>2</sup> )	GHI (kWh/m <sup>2</sup> )
Ocak	379	12,84	17,83	150,2	79,49	146,6
Şubat	458,6	18,5	6,43	211,6	126,7	205,7
Mart	608,8	26,6	8,9	226	157	251,4
Nisan	620,9	32,53	13,79	210,1	160,3	273,6
Mayıs	515	34,93	18,16	139,9	117,3	261,5
Haziran	478,5	33,68	31,44	125,4	102,3	238,5
Temmuz	439,7	29,15	50,09	94,4	74,43	200,2
Ağustos	440,2	27,94	47,61	80	61,94	174,5
Eylül	460,2	28,39	25,18	166,1	119,1	218
Ekim	480,4	24,73	9,2	216,7	135,4	211,3
Kasım	366,3	20,26	3,85	219,2	119,5	183,6



### 3.3. Standart Sapmalar

Eşitlik 2’de verilen denklem kullanılarak hesaplanan standart sapmalar Tablo 2’de sunulmaktadır.

**Tablo 2.** Verilerin standart sapmaları

Hava sıcaklığı (°C)	Hava açıklık oranı	DNI (kWh/m <sup>2</sup> )	DHI (kWh/m <sup>2</sup> )	GHI (kWh/m <sup>2</sup> )
6,812	15,95	53,02	32,07	38,87

### 3.4. Özellik Çıkarımı

Eşitlik 3’te verilen denklem kullanılarak yapılan özellik çıkartım değerleri Tablo 3’te sunulmaktadır.

**Tablo 3.** Özellik çıkarımı

Aylar	Hava sıcaklığı (°C)	Hava açıklık oranı	DNI (kWh/m <sup>2</sup> )	DHI (kWh/m <sup>2</sup> )	GHI (kWh/m <sup>2</sup> )
Ocak	1,885	1,118	2,833	2,479	3,772
Şubat	2,716	0,4031	3,991	3,951	5,292
Mart	3,905	0,5580	4,263	4,896	6,468
Nisan	4,775	0,8646	3,963	4,998	7,039
Mayıs	5,128	1,139	2,639	3,658	6,728
Haziran	4,944	1,971	2,365	3,190	6,136
Temmuz	4,279	3,14	1,780	2,321	5,151
Ağustos	4,102	2,985	1,509	1,931	4,489
Eylül	4,168	1,579	3,133	3,714	5,608
Ekim	3,630	0,5768	4,087	4,222	5,436
Kasım	2,974	0,2414	4,134	3,726	4,723

### 3.5. Entropi Hesabı

Eşitlik 4’te sunulan denklem kullanılarak yapılan entropi hesaplamaları Tablo 4’te sunulmaktadır.

**Tablo 4.** Entropi değerleri

Aylar	Hava sıcaklığı (°C)	Hava açıklık oranı	DNI (kWh/m <sup>2</sup> )	DHI (kWh/m <sup>2</sup> )	GHI (kWh/m <sup>2</sup> )
Ocak	1,724	0,1797	4,256	3,246	7,223
Şubat	3,914	-0,5284	7,969	7,831	12,72
Mart	7,674	-0,4697	8,916	11,22	17,42
Nisan	10,77	-0,1815	7,872	11,60	19,82
Mayıs	12,09	0,2131	3,694	6,843	18,50
Haziran	11,40	1,93	2,937	5,338	16,06
Temmuz	8,975	5,185	1,482	2,819	12,18
Ağustos	8,352	4,709	0,8955	1,834	9,726
Eylül	8,582	1,04	5,161	7,030	13,95
Ekim	6,753	-0,4579	8,301	8,773	13,28
Kasım	4,677	-0,4950	8,466	7,071	10,58

### 3.6. Entropi Eğim Açılarının PV Panel Güçleri Eğim Açıları İle Karşılaştırılması

Eşitlik 5’te sunulan eğim açısı hesaplama denklemi ile elde edilen eğim açıları Tablo 5’te sunulmaktadır. Örnek eğim açısı hesaplama işlemi Eşitlik 6’da sunulmaktadır. Aylar arasındaki geçiş değeri 1 olarak kabul edilmiştir.

$$\begin{aligned}
 P_{Ocak \rightarrow \text{Şubat}} &= 89,33^\circ \\
 P_{Ocak} &= 379 \text{ kW} \\
 P_{\text{Şubat}} &= 458,6 \text{ kW} \\
 \text{Eğim Açısı} &= \tan^{-1} \frac{(458,6 - 379)}{1} = 89,33^\circ \\
 GHI_{Ocak \rightarrow \text{Şubat}} &= 79,73^\circ \\
 GHI_{Ocak} &= 7,223 \text{ kWh/m}^2 \\
 GHI_{\text{Şubat}} &= 12,72 \text{ kWh/m}^2 \\
 \text{Eğim Açısı} &= \tan^{-1} \frac{(12,72 - 7,223)}{1} = 79,73^\circ
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Tablo 5’te sunulan tüm eğim açısı değerleri Eşitlik 6’da sunulan referans çözümlere göre hesaplanmıştır.

**Tablo 5.** Eğim açıları

Aylar arasındaki geçişler	PV panel güçleri (°)	Hava sıcaklığı (°)	Hava açıklık oranı (°)	DNI (°)	DHI (°)	GHI (°)
Ocak→Şubat	89,33	65,50	-35,32	74,96	77,74	79,73
Şubat→Mart	89,66	75,14	3,362	43,47	73,59	78,02
Mart→Nisan	85,33	72,14	16,08	-46,27	21,11	67,39
Nisan→Mayıs	-89,50	52,91	21,55	-76,58	-78,18	-52,78
Mayıs→Haziran	-88,48	-34,73	59,81	-37,11	-56,42	-67,77
Haziran→Temmuz	-88,57	-67,63	72,96	-55,54	-68,38	-75,58
Temmuz→Ağustos	26,58	-31,96	-25,44	-30,40	-44,59	-67,86
Ağustos→Eylül	87,18	12,99	-74,79	76,85	79,15	76,72
Eylül→Ekim	-88,45	-61,37	-56,3	72,37	60,19	-33,98
Ekim→Kasım	-89,06	-64,31	-2,125	9,329	-59,59	-69,70

Hesaplanan eğim açılarının PV panel güç eğim açıları ile ilişkisinin kurulabilmesi amacıyla ilgili ay geçişlerindeki PV panel güçleri eğim açılarından her bir parametredeki eğim açıları çıkartılarak Tablo 6 elde edilmektedir. Örnek hesaplama Eşitlik 7’de sunulmaktadır.

$$Fark (GHI_{Nisan \rightarrow Mayıs}) = -36,72^\circ$$
$$P_{Nisan \rightarrow Mayıs} \quad Eğim Açısı(GHI_{Nisan \rightarrow Mayıs}) \quad -89,50^\circ - (-52,78^\circ) = -36,72^\circ \quad (7)$$
$$-89,50^\circ \quad -52,78^\circ$$

Tablo 6’da sunulan tüm eğim açısı değerleri Eşitlik 7’de sunulan referans çözüme göre hesaplanmıştır.

**Tablo 6.** PV panel güçleri ile eğim açısı tabanlı kıyaslama

Aylar arasındaki geçişler	PV panel güçleri (°)	Hava sıcaklığı (°)	Hava açıklık oranı (°)	DNI (°)	DHI (°)	GHI (°)
Ocak→Şubat	89,33	23,83	124,6	14,36	11,59	9,59
Şubat→Mart	89,66	14,52	86,30	46,20	16,08	11,64
Mart→Nisan	85,33	13,18	69,24	131,6	64,22	17,93
Nisan→Mayıs	-89,50	-142,4	-111,1	-12,93	-11,33	-36,72
Mayıs→Haziran	-88,48	-53,75	-148,3	-51,36	-32,05	-20,71
Haziran→Temmuz	-88,57	-20,94	-161,5	-33,03	-20,18	-12,98
Temmuz→Ağustos	26,58	58,53	52,02	56,98	71,17	94,44
Ağustos→Eylül	87,18	74,19	162,0	10,34	8,04	10,46
Eylül→Ekim	-88,45	-27,08	-32,15	-160,8	-148,6	-54,47
Ekim→Kasım	-89,06	-24,74	-86,93	-98,39	-29,47	-19,36

Analiz edilen verilerden PV panel güçleri eğim açısına yaklaşan değeri tespit edebilmek amacıyla hesaplanan fark değerlerinin ortalama değerleri alınmaktadır. Sonuçlar Tablo 7’de sunulmaktadır.

**Tablo 7.** Farkların ortalama değerleri

Hava sıcaklığı	Hava açıklık oranı	DNI	DHI	GHI
-8,47	-4,58	-9,71	-7,06	-0,02

Tablo 7 değerlendirildiğinde PV panel güç eğim açısı değerlerine en çok yaklaşan parametrenin, ortalama değeri sifıra oldukça yaklaşan GHI olduğu tespit edilmiştir. GHI, eviricilerden elde edilen toplam güçteki dalgalanmaya entropi hesaplamasında anlık olarak tepki vermektedir. Ay bazında değişimler incelendiğinde ay geçişlerindeki toplam güç kapasitesindeki değişimlere bağlı olarak GHI verileri de aşağı ya da yukarı yönlü belirgin hareketlerde bulunmaktadır. Tablo 1’de sunulan güç kapasitelerine göre ay geçişlerinde 6 adet yukarı yönlü 4 adet de aşağı yönlü hareket bulunmaktadır. Aylık geçişlerdeki güç kapasitesi artım ve güç kapasitesi azalım miktarları toplandığında sifıra yakın bir değer elde edilmektedir. Önerilen yöntemde entropi hesaplamasına en iyi cevap veren parametrenin de

bu değişimleri takip ederek sifıra en yakın ortalamaya ulaşması gerekmektedir. GHI parametresinin entropi eğim açısı fark değerlerinin de yıllık bazdaki toplamı sifıra oldukça yakın çıkmaktadır. Bu da GHI değerinin aylık bazdaki toplam güç değişimine bağlı olarak anlık belirgin iniş ve çıkış eğrisi çizmesine rağmen, bu değerleri güçteki değişime bağlı olarak belli bir aralıkta ayarladığını göstermektedir.

Gerek anlık entropi değişim değerleri ile gerekse de eğim açısı değerinin güç kapasitesi eğim açısı değeri ile oluşturduğu farkın değerlendirildiği matematiksel yaklaşım ile GHI verileri, güç kapasitesindeki değişime çok daha iyi uyum sağlamaktadır. Işınım verileri ile güç kalitesi arasında bir korelasyon kurulacaksa verdiği kararlı değişim tepkisinden dolayı bu korelasyonun GHI ile kurulması mantıklı olacaktır.

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

PV güneş panellerinin güçlerini ve verimliliklerini artırma çalışmalarına yakın zamana kadar temel meteorolojik parametreler (sıcaklık, nem, hava açıklık oranı, rüzgâr, vb.) yön vermektedir. Bu parametrelerin tekil analizleri doğru ve etkili sonuçlar verse de parametrelerin çoklu ve eş zamanlı etkileri PV panellerin güçlerinin ve verimliliklerinin analizini karmaşık ve zor bir hale getirmektedir.

Bu çalışmada günümüz literatür çalışmalarına da yön veren güneş ışınım verilerinin analizi üzerinde durulmaktadır. Literatürde temel güneş ışınım parametreleri GHI, DHI ve DNI'dır. Bu çalışmada Mendeley Data web sitesinde açık-kaynak olarak sunulan “Solar Panel Data” isimli, Parashar ve Verma tarafından Rajasthan/Hindistan bölgesinden alınan veriler analiz amaçlı kullanılmıştır [31].

Çalışmada önerilen yöntem, verilerin ortalama değerlerinden elde edilen özellik çıkarımına uygulanan entropi analizi ile bu analiz sonucunda hesaplanan PV panel güçleri eğim açılarından sırasıyla sıcaklık, hava açıklığı, DNI, DHI ve GHI eğim açılarının çıkarılması prensibi ile çalışmaktadır. Önerilen yöntemin son aşamasında elde edilen fark değerlerinin ortalamaları hesaplanmıştır. Sıcaklık, hava açıklığı, DNI, DHI ve GHI verileri için sırasıyla bu açı fark değerleri “ $-8,47^\circ$ ,  $-4,58^\circ$ ,  $-9,71^\circ$ ,  $-7,06^\circ$  ve  $-0,02^\circ$ ” olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler yorumlandığında PV panel güç kapasitesinin aylık değişimine (aşağı ve yukarı yönlü) en uygun tepkinin GHI parametresi tarafından verildiği tespit edilmiştir.

DNI, DHI ve GHI verilerinin sensörler aracılığıyla ölçümleri yüksek maliyetli bir işlemdir. Bu nedenle bu parametrelerin doğrudan ölçüldüğü sistemler oldukça azdır. Bu verilere ulaşım genellikle uydu sistemleri üzerinden ölçüm yapan ve ölçüm sonuçlarını açık-kaynak olarak sunan kuruluşlara başvurularak yapılmaktadır. PV güneş tarlalarının kurulmadan önceki güç kapasitelerinin tahmin edilmesinde ışınım verilerinin temel meteorolojik verilere bağlı olarak makine/veri öğrenmesi teknikleri ile tahmin edilmesi çalışmaları gelecekteki çalışmalar için değerlendirilebilir. Bu çalışmanın literatüre sunduğu katkı ise bu üç temel güneş ışınım verisinden hangisine daha çok ihtiyaç duyulacağı sorusuna alternatif bir cevap sunmasıdır. Ayrıca makine/veri öğrenmesine dayalı tekniklerin ihtiyaç duyduğu özellik çıkarımlarına ulaşmak için de entropi tabanlı hesaplamaların kullanılabileceğine yine bu çalışmada değinilmiştir.

#### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

#### **KAYNAKLAR**

- [1] Y. Gu, Y. Huang, Q. Wu, C. Li, H. Zhao and Y. Zhan, “Isolation and Protection of the Motor-Generator Pair System for Fault Ride-Through of Renewable Energy Generation Systems,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 13251-13258, 2020.
- [2] A. Qazi et al., “Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 63837-63851, 2019.
- [3] Ö. Bilhan, “Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları açısından hidroelektrik ve güneş enerjisinin bölgesel ve iller bazında incelenmesi”, *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg.*, c. 13, sy. 4, ss. 1504–1516, 2024.
- [4] International Energy Agency (IEA), “Global energy investment in clean energy and in fossil fuels, 2015-2023,” *IEA*, 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-investment-in-clean-energy-and-in-fossil-fuels-2015-2023> [Accessed: Dec. 02, 2024].
- [5] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun and K.-H. Kim, “Solar energy: Potential and future prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82 (1), pp. 894-900, February 2018.

- [6] N. M. Haegel and S. R. Kurtz, "Global Progress Toward Renewable Electricity: Tracking the Role of Solar," *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 11, no. 6, pp. 1335-1342, Nov. 2021.
- [7] S. Somuncu ve C. Oral, "Yapay Sinir Ağı ve ANFIS kullanılarak Meteorolojik Verilere Bağlı Güneş Enerjisi Tahmini", *OKÜ Fen Bil. Ens. Dergisi ((OKU Journal of Nat. & App. Sci)*, c. 7, sy. 4, ss. 1685–1701, 2024.
- [8] K. Achuthan et al., "Remote Triggered Dual-Axis Solar Irradiance Measurement System," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 56, no. 2, pp. 1742-1751, March-April 2020.
- [9] M. Sengupta, Y. Xie, A. Lopez, A. Habte, G. Maclaurin and J. Shelby, "The National Solar Radiation Data Base (NSRDB)," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 89, pp. 51-60, 2018.
- [10] A. K. Tripathi, S. Ray, M. Aruna and S. Prasad, "Evaluation of solar PV panel performance under humid atmosphere," *Materials Today: Proceedings*, vol. 45(7), pp. 5916-5920, 2021.
- [11] Ş. Güven, "Fotovoltaik Panel Yüzey Sıcaklığının Denizli İli için Çıkış Gücü ve Verim Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi," *Mühendis ve Makina*, c. 63, sy. 707, ss. 429-442, 2022.
- [12] I. M. Kirpichnikova and I. B. Makhsumov, "The Influence of Ambient Temperature on the Energy Characteristics of Solar Modules," *2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, Sochi, Russia, 2020, pp. 1-5.
- [13] S. Adak, H. Cangi ve A. S. Yılmaz, "Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu," *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, c. 11, sy. 1, ss. 316-327, Ocak 2019.
- [14] R. J. Mustafa, M. R. Gomaa, M. Al-Dhaifallah and H. Rezk, "Environmental Impacts on the Performance of Solar Photovoltaic Systems," *Sustainability*, 12(2), 608, 2020.
- [15] A. Dhaundiyal and D. Atsu, "The effect of wind on the temperature distribution of photovoltaic modules," *Solar Energy*, vol. 201, pp. 259-267, 2020.
- [16] W. Z. Leow, Y. M. Irwan, M. Irwanto, A. R. Amelia and I. Safwati, "Influence of wind speed on the performance of photovoltaic panel," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 15 (1), pp. 60-68, Jul. 2019.

- [17] A. M. A. Aswadi, Ç. Aydın, M. Farazadi ve D. Ç. Atilla, “Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Sistemler Üzerindeki Etkileri,” *AURUM Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, c. 7, sy. 2, ss. 235-257, 2023.
- [18] V. Başay, R. Eken, ve G. Yılmaz, “Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Güneş Enerjisi Santralinde Fotovoltaik Modüllerin Yaşlanması Araştırılması”, *UUJFE*, c. 24, sy. 2, ss. 325–336, 2019.
- [19] F. W. Watt and P. A. Campell, “The effects of solar insolation and cloud opacity on the optimum array size for a direct-coupled solar pumping system,” *Renewable Energy*, vol. 228, 120594, July 2024.
- [20] A. Bonkaney, S. Madougou and R. Adamou, “Impacts of Cloud Cover and Dust on the Performance of Photovoltaic Module in Niamey,” *Journal of Renewable Energy*, vol. 217, 9107502, September 2017.
- [21] A. R. Dal, “Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi,” *BSEU Journal of Science*, c. 8, sy. 1, ss. 241-250, 2021.
- [22] J. A. Qadourah, A. M. Al-Falahat and S. S. Alrwashdeh, “Assessment of solar photovoltaics potential installation into multi-family building’s envelope in Amman, Jordan,” *Cogent Engineering*, vol. 9, 2082059, 2022
- [23] M. H. d. S. Campos and C. Tiba, “npTrack: A n-Position Single Axis Solar Tracker Model for Optimized Energy Collection,” *Energies*, vol. 14, p. 925, 2021.
- [24] R. Pravalie, C. Patriche and G. Bandoc, “Spatial assessment of solar energy potential at global scale. A geographical approach,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, pp. 692-671, 2019.
- [25] A. Kumler, Y. Xie and Y. Zhang, “ A Physics-based Smart Persistence model for Intra-hour forecasting of solar radiation (PSPI) using GHI measurements and a cloud retrieval technique,” *Solar Energy*, vol. 177, pp. 494-500, 2019.
- [26] A. R. Pazikadin et al., “Solar irradiance measurement instrumentation and power solar generation forecasting based on Artificial Neural Networks (ANN): A review of five years research trend,” *Science of the Total Environment*, vol. 715, 136848, 2020.
- [27] H. Tribak and Y. Zaz, "Dust Soiling Concentration Measurement on Solar Panels based on Image Entropy," *7th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, Agadir, Morocco, 2019, pp. 1-4.



- [28] H. Liu, H. Wang, L. Lin, L. Yao, W. He and Y. Zhou, "Prediction of Photovoltaic Power Based on Entropy Weight Combination Forecasting Method," *IEEE 4th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, Wuhan, China, 2020, pp. 4081-4086.
- [29] X. Zhang, B. Jiang, X. Zhang, F. Fang, Z. Gao and T. Feng, "Solar Photovoltaic Power Prediction Based on Similar Day Approach," *Proceedings of the 36th Chinese Control Conference*, Dalian, China, 2017, pp. 10634-10639.
- [30] T. Takamatsu and T. Y. Nakajima, "Study of Spatial Asynchrony Analysis for Solar Irradiance," *7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Paris, France, 2018, pp. 711-714.
- [31] B. Parashar and R. Verma, Richa, "Solar Panel Data", *Mendeley Data*, V1, 2024.
- [32] A. Balabel et al., "Potential of Solatube technology as passive daylight systems for sustainable buildings in Saudi Arabia," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, pp. 339-353, 2022.
- [33] B. L. Madhavan and M. V. Ratnam, "Impact of a solar eclipse on surface radiation and photovoltaic energy," *Solar Energy*, vol. 223, pp. 351-366, 2021.
- [34] A. Boretti, "High-frequency standard deviation of the capacity factor of renewable energy facilities: Part 1—Solar photovoltaic," *Energy Storage*, vol. 2(1), 2:e101, Feb. 2020.
- [35] C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication", *Bell Syst. Tech. J.*, 27, pp. 379-423, Oct. 1948.