



## İKİ FARKLI SİMÜLASYON PROGRAMI KULLANILARAK OPTİMUM GÜNEŞ PANELİ EĞİM AÇISININ BELİRLENMESİ: AZERBAYCAN ÖRNEĞİ

Samir İSLAMOV<sup>1,a</sup>, Özlem ONAY<sup>2,b,\*</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.

<sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksekokulu, Eskişehir, Türkiye.

<sup>a</sup> islamovsamir221@gmail.com ORCID: 0009-0001-6114-8047

<sup>b</sup> oonay@eskisehir.edu.tr ORCID: 0000-0001-6230-9335

### ÖZET

Günümüzde giderek artan insan nüfusu ve sanayi toplumunun yarattığı enerji ihtiyacını karşılamak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için, yeni teknolojiler geliştirerek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en yaygın olarak kullanılan güneş enerjisi uygun maliyeti ve kolay kurulumu olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Güneş enerjisinden optimum miktarda elektrik elde edilebilmesi için fotovoltaik (PV) panellerin güneşe optimum bir açıda yerleştirilmesi oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca gölgeleme süresi, uygun ve kaliteli ekipman kullanımı, toz ve kirlilik gibi diğer etkenler de PV panel verimini etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında, güneş enerjisi yatırımları açısından henüz yeni gelişmekte olan Azerbaycan için yenilenebilir enerjiye olan teşvikin artırılması ve kullanımının yaygınlaştırılması amacı ile, Azerbaycan'ın 14 farklı siyasi bölgesi için yıllık değişim süreçlerinde optimum panel eğim açısı ve farklı eğim açılarında PV paneller üzerine gelen radyasyon miktarları ve elde edilen ışınım miktarları belirlenmiş ve elektrik enerjisine dönüştürülerek PV panellerin kurulumu için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada PVGIS ve PVsyst'de yapılan hesaplamalar sonucunda Nahçıvan ilindeki güneş enerji potansiyelinin en yüksek olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş pilleri, Optimum eğim açısı, PVGIS, PVsyst, Azerbaycan

#### \*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

**Atf (Citation):** İslamov, S., Onay, Ö., "İki Farklı Simülasyon Programı Kullanılarak Optimum Güneş Paneli Eğim Açısının Belirlenmesi: Azerbaycan Örneği", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), ss. 118-136, 2024.

**Geliş (Received):** 19.04.2024

**Kabul (Accepted):** 29.11.2024

**Yayın (Published):** 31.12.2024

## ABSTRACT

Today, the use of renewable energy sources is increasing gradually by developing new technologies in order to meet the energy needs created by the ever-increasing human population and industrial society and to reduce external dependence on energy. Solar energy, which is the most widely used of renewable resources, is more preferred due to its affordable cost and easy installation. In order to obtain the optimum amount of electricity from solar energy, it is very important to place the PV panels at an optimum angle to the sun. In addition, other factors such as shade avoidance, appropriate and quality equipment, dust and pollution avoidance also affect the optimum energy from the sun. Within the scope of this study, with the aim of increasing the incentive for renewable energy and popularizing its use in Azerbaijan, which is just developing in terms of solar energy investments, the optimum panel tilt angle and the radiation on PV panels at different tilt angles in the annual change processes for 14 different political regions of Azerbaijan are examined. The amounts of radiation were calculated, the obtained radiation amounts were converted into electrical energy and calculations were made for the installation of PV panels. In the study, as a result of the calculations made in PVGIS and PVsyst, the solar energy potential in Nakhchivan province is more effective when compared to other provinces.

**Keywords:** *Solar cells, Optimum tilt angle, PVGIS, PVsyst, Azerbaijan*

## 1. GİRİŞ

Dünyada kullanılan ve en çok ihtiyaç duyulan iki enerji türü olan ısı ve elektrik enerjisi, fosil yakıt tabanlı enerjiler ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Tüm bu enerji kaynaklarının hepsinden elde edilen enerjinin ekonomik, sağlık ve çevresel faktörler üzerinde faydaları ve zararları mevcuttur [1]. Fosil yakıt kaynaklarının aksine yenilenebilir enerji kaynakları tükenmeyen, sürekli kendisini yenileyen ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir [2,3]. Bu kaynakların yaygın olarak kullanımı hem yenilenebilir olmayan (fosil tabanlı) kaynakların kullanımından ortaya çıkan çevresel zararları önleyebilmekte hem de enerji güvenliği oluşturarak ulusal ve uluslararası bir seviyede istikrar sağlamaktadır.

Enerji Enstitüsü Dünya Enerjisine İlişkin İstatistiksel İnceleme (2023) verilerine göre 2022 yılında tüketilen enerjinin %81,79'u fosil kaynaklı yakıtlar %17,49'u ise yenilenebilir

kaynaklardır. Tüketilen toplam enerjinin 3.448,24 TWh'i güneş enerjisi karşılamaktadır [4]. En güncel verilere göre 2022 yılı toplam küresel elektrik enerjisi üretim miktarı 28.527,76 TWh'tir. Nükleer ve yenilenebilir enerji kaynakları (11.142,61 TWh), üretilen toplam elektrik enerjisinin üçte birinden fazlasını (%39.06) oluşturmaktadır. Üretilen toplam elektrik enerjisinin 17.385,15 TWh'i (%60,94) fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanmıştır [4].

Yenilenebilir kaynaklardan en yaygın olarak kullanılan güneş enerjisi hem geleneksel enerji kaynakları hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer türlerine göre çevreye en az zarar veren enerji kaynağıdır [5]. Güneş enerjisi ışınlarının dalga boyları uzayda 0,2  $\mu\text{m}$  ile 4  $\mu\text{m}$ , dünya üzerinde ise 0,3  $\mu\text{m}$  ile 3  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Atmosfer dışındaki ışınım değeri dünyadaki ışınım değerinden daha fazladır. Ortalama bir mesafe aldığımız zaman atmosfer dışında olan ışınım Güneş Sabiti denmekte ve ISC gibi ifade edilmektedir. Yapılan hesaplamalar ve ölçümlere göre atmosfer dışındaki ışınım miktarı (Güneş Sabiti) 1322  $\text{W}/\text{m}^2$  - 1395  $\text{W}/\text{m}^2$  arasında değişmektedir. Fakat araştırmacılar tarafından son yıllarda yapılan uzay ölçümleri sonucu güneş sabitinin 1353  $\text{W}/\text{m}^2$  (1164  $\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ h}$ ) olduğu kabul edilmiştir [6].

Güneş ışınımının atmosfere geliş açısına göre doğrudan: güneşten belli bir noktaya veya yüzeye gelen ışınım ve dolaylı: yer yüzünde dağılıma ve yansıma sonucu ortaya çıkan ışınım olmak üzere iki türü vardır. Güneş hücreleri yüzeylerine gelen güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen yarıiletken cihazlardır [7]. Çalışma prensibi fotovoltaiik olayına dayalı olan güneş hücreleri yarıiletken maddeden yapıldığından dolayı üzerlerine güneş ışığı (veya ışık) düştüğü zaman uçlarında bir potansiyel fark oluşmaktadır ve bu bir dış devreye bağlandığında devreden akım geçmektedir. PV piller seri bağlanma yoluyla birbirlerine bağlanıp bir katman üzerinde sıralı bir şekilde monte edilerek tipik güneş paneli oluşturmaktadırlar. Çok sayıdaki güneş hücrelerinden oluşturulan bu panelde toplam güç çıkışı arttırılarak çatı ve arazi tipli yerlerde şebeke bağlantılı veya şebekeden bağımsız güneş enerji sistemleri kurularak gereken enerji ihtiyacı veya bunun bir kısmı karşılanmaktadır.

PV güneş enerji sistemleri, kullanım amacına bağlı olarak farklı şekillerde monte edilebilmektedir. PV sistemlerin montaj şekillerine, arazi, çatı, kanal üstü, agrovoltaiik (tarım veya sera), açık deniz ve yüzer güneş enerji sistemleri örnek verilebilir. Arazi tip Güneş enerji sistemleri kurulmadan önce panel montaj yapılarının eğim açısı yıl boyunca güneşten maksimum yararlanacak şekilde ayarlanmaktadır. Çatı tipi PV sistemlerin kurulumunda, güneşten ve kurulan PV sistemden maksimum şekilde yararlanmak için, çatı üstünde veya bina

etrafında gölge oluşturacak nesne veya yapılardan kaçınmak gerekmektedir. PVGIS, PV\*SOL ve PVsyst gibi PV simülasyon yazılım araçları kullanılarak, fotovoltaik güneş sistemlerinin tasarımı, modellenmesi ve performans hesapları yapılabilmektedir.

PVGIS, dünya genelinde güneş enerjisi kaynaklarını ve fotovoltaik (PV) sistem performansını incelemeyi ve tahmin etmeyi amaçlayan ücretsiz bir çevrimiçi araçtır. PVGIS, kristalin silikon (c-Si), CdTe veya CIS güneş modüllerine sahip sabit veya izlemeli PV sistemleri için aylık ve yıllık elektrik üretim miktarlarının tahmini olarak belirlenmesini sağlar. İlk sürümleri güneş ışınımı ölçümlerini içerirken, en son sürümleri yalnızca uydu verilerine dayalı tahminleri içermektedir. Uydu verileri, METEOSAT gibi sabit uydulardan elde edilir ve 2005-2016 dönemini kapsar. Ayrıca PVGIS, sera gazı ve finansal analizlerinde yapılmasına olanak sağlar. PV\*SOL, çeşitli zemin, izleme, çatı entegrasyonu veya çatı montajlı PV sistemlerinin 2D veya 3D görselleştirmeyle detaylı gölgeleme analizi için özel olarak tasarlanmış bir yazılımdır. Aynı zamanda PV sistemlerinin performans ve finansal analiz değerlendirmelerini de sağlar. PV\*SOL, güneş modülleri ve invertörler için geniş bir kütüphane sunar ve gölgeleme etkilerini hesaplamak ve kapsama alanını optimize etmek için yakındaki nesnelere dikkate alır. PVsyst, PV sistem bileşenlerini, PV dizi özelliklerini, invertör modelini ve akü paketini gibi birçok değişkeni simüle edebilen, sistem analizi ve tasarımına yönelik bir yazılımdır. Ayrıca, finansal değerlendirmeler sunar ve sıralar arası gölgeleme etkilerini hesaplayabilir. PVsyst, birden fazla invertör türüne sahip PV sistemlerini ve farklı eğim ve azimut açılarına sahip PV dizilerini aynı anda modelleyebilir [8].

Literatürde zaman-optimum eğim açılarının belirlenmesine ilişkin birçok çalışma olduğu görülmektedir. Belmahdi ve Bouardi'nin yapmış olduğu bir çalışmada Fas'ın kuzeyinde 1 MW güce sahip bir PV güneş enerji sisteminin modellenmesi ve simülasyon çalışması yapılmış ve çalışmada Fas'ın Kuzey bölgesindeki dört farklı şehirde kurulan, sabit açılı ve mevsimsel olarak ayarlanmış eğim açılarındaki PV sistem için şebekeye aktarılan enerjiyi karşılaştırılmış ve bu şehirlerin performans oranı değerlerinin %76,9 ile %77,9 arasında değiştiği belirlenmiştir [9]. Dal tarafından yapılan bir çalışmada, Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) ve Hottel & Woertz (HW) metotlarını kullanarak güneş radyasyon miktarını ve eğim açılarının tespit etmiş ve çalışma sonucunda yıllık sabit (29,5°) eğim açısında yerleştirilen güneş paneline göre; her ay değişen, yılda iki ve dört kez değiştirilen panel eğim açılarındaki verimin sırasıyla yıllık olarak %4,11, %2,99 ve %3,25 oranda arttığını belirlemiştir

[10]. Taha ve arkadaşları, yaptıkları bir çalışmada PVGIS simülasyon aracı kullanarak Irak'ın Duhok kentindeki Duhok Politeknik Üniversitesi kampüsünde 50 kWp gücündeki PV sistem için aylık ve yıllık optimum eğim açılarını tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda 32,7°'in yıllık sabit açılı sistemler için optimum eğim açısı olduğu belirtilmiştir [11].

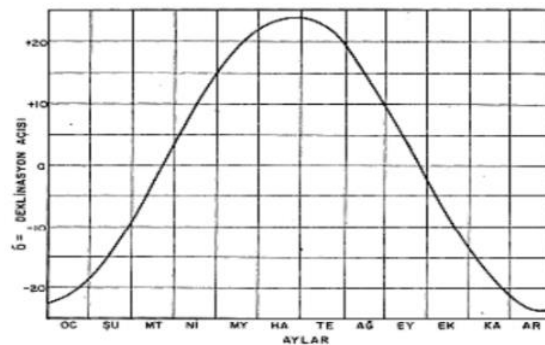
## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Güneş Açıları

Deklınasyon veya Sapma açısı ( $\delta$ ), güneş ışınımının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Deklınasyon açısı ( $\delta$ ), dünyanın kendi ekseninde dönme açısı ile güneş etrafındaki yörünge düzlemi arasındaki 23,45 derecelik açı nedeniyle oluşmaktadır. Bu açı değeri Güney yarımkürede negatif, Kuzey yarımkürede ise pozitif değerdir ve  $-23,45^\circ$  ile  $23,45^\circ$  arasında değişir. Deklınasyon açısı ( $\delta$ ), 21 Haziran tarihinde en yüksek değere sahipken ( $23,45^\circ$ ), kış aylarında en düşük değer ( $-23,45^\circ$ ) 22 Aralık' tadır. Deklınasyon (Sapma) açısını ( $\delta$ ) deneysel Cooper formülü ile hesaplamak mümkündür;

$$\delta = 23,45 * \sin[360 * (284 + n) / 365] \quad (1)$$

Burada;  $\delta$ - deklınasyon açısı, n- yıl için gün sayısını ve n= 1, 1 Ocak'ı temsil ettiğinde başlangıç olarak kabul edilir [12-14].



Şekil 1. Deklınasyon açısının eğrisi [12]

Saat açısı ( $\omega$ ), güneş ışınlarının bulunduğu boylamla gözlemlenen konumun boylamı arasındaki açıyı ifade etmektedir. Saat açısı 12'den önceki ve 12'den sonrası için açı değeri negatif (-) ve pozitif (+) olur. Bu açı öğle saatlerinde, yani, saat 12'de  $0^\circ$  dir. Her  $15^\circ$  C saat

açısı dünyanın Güneş etrafındaki 1 saatlik dönme zamanına eşittir. Saat açısı denklem 2'deki gibi hesaplanmaktadır [12, 13, 17];

$$\omega = 15(t_s - 12) \quad (2)$$

Bu ifade de  $t_s$ - saat cinsinden güneş zamanıdır.

Enlem açısı ( $\theta$ ), ekvatorun kuzey veya güney yönündeki herhangi bir konumun ekvatorun orijin noktasına göre oluşan açısız mesafesidir. Ekvatorun kuzey tarafı artı, güneyi tarafı ise eksi değer almakta ve  $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  arasında değişmektedir. Enlem ve Boylam değerleri, dünyadaki herhangi bir konumu belirlemek için kullanılır [13, 17].

Zenit açısı (güneş ışınlarının yatay düzlemin dikeyi ile oluşturduğu açı,  $\theta_z$ ) değeri güneşin doğumu ve batımı zamanı  $90^\circ$ , güneşin ışınlarının dik bir şekilde geldiği öğlen vaktiyse  $0^\circ$ 'dir. Zenit açısı ( $\theta_z$ ) denklem 3'teki gibi hesaplanmaktadır; [12, 13, 18]

$$\cos \theta_z = (\cos \delta * \cos \varphi * \cos \omega + \sin \delta * \sin \varphi) \quad (3)$$

**Azimet açısı:** Bir yüzeyin kuzey veya güneyden ölçülen yatay açısını ifade eder. Azimet açısı, Güneşin güney konumundan oluşturduğu açısız uzaklığı olup güney yönünde  $0^\circ$ , batı yönündeyse  $90^\circ$ 'ye beraberdir. 2 tür Azimet açısı vardır. Bunlar; Güneş Azimet Açısı ( $\gamma_s$ ) ve Yüzey Azimet Açısı ( $\gamma$ ). Güneş azimet açısı ( $\gamma_s$ ), güneşin dik açıda geldiği zaman  $180^\circ$ 'dir. Azimet açısı denklem 4 ile hesaplanır [13];

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left[ \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(\alpha)} \right] \quad (4)$$

Denklem içinde  $\delta$ - deklinasyon açısı,  $\omega$ - saat açısı ve  $\alpha$ - güneş yükseklik açısı olarak ifade edilmiştir.

Yüzey azimet açısı ( $\gamma$ ) Eğik bir yüzeyin dikinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney yönü arasındaki açı değeridir. Yüzey azimet açısı ( $\gamma$ )  $-180^\circ$  ile  $180^\circ$  arasına değişir [13].

Güneş yükselme açısı ( $\alpha$ ), Güneş ışınlarının yatay düzlemle oluşturduğu açıyı, yani güneşin ufuk çizgisinden yüksekliğini ifade etmekte ve denklem 5 ile hesaplanmaktadır [13].

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (5)$$

Geliş açısı ( $\theta$ ), yüzeye direkt olarak gelen güneş ışınlarının o yüzeyin normali arasında oluşturduğu açıdır. Geliş açısı, eğer yüzey güneş ışınlarına dik bir konumda geliyorsa  $0$  derece, paralel olarak geliyorsa  $90$  derecedir [14]. Geliş açısı denklem 6'da gösterilen ifade ile hesaplanmaktadır;

$$\theta = \cos^{-1} [\cos(\delta)\cos(\phi-\beta)\cos(\omega) + \sin(\delta)\sin(\phi-\beta)] \quad (6)$$

Bu eşitlikte  $\delta$  -deklınasyon açısı,  $\phi$ - enlem açısı,  $\omega$ - saat açısı ve  $\beta$ - yüzeyin eğim açısını gösterir.

Eğim açısı, paneller ile yatay düzlem arasındaki açı olup, simgesi ( $\beta$ )'dir. Bu açı, Kuzey Yarımküresinde güney yönüne doğru, Güney Yarımküresinde ise kuzey yönüne doğru yöneliktir. Bu açı değeri;  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$  gibi değişmektedir. PV güneş panellerinin, optimum eğim açısını belirlemek amacıyla öğlen saatlerinde güneşten maksimum miktarda yararlanabilmek için eğim açısı eşitlik 7'de verildiği gibi hesaplanarak montajı yapılabilir;

$$\beta = |\phi - \delta| \quad (7)$$

İlave olarak, tek eksenli (doğu-batı eksenli) bir sistem için, panel eğim açısı denklem 8 kullanılarak,

$$\tan\beta = \tan\theta_z / \cos\gamma_s \quad (8)$$

Yatay bir düzlemde çift eksenli (kuzey-güney eksenli) bir sistem için panel eğim açısı denklem 9 kullanılarak hesaplanmaktadır [12, 13, 17];

$$\tan\beta = \tan\theta_z / \cos(\gamma - \gamma_s) \quad (9)$$

Eğimli bir yüzey üzerine düşen toplam ışınım 3 farklı ışınımından oluşur. Bunlar; yüzeye doğrudan güneşten gelen ışınım olan direkt ışınım, güneş ışınımının atmosferde bulunan toz taneleri ve bulutlar tarafından bir miktarı yutulduğu veya saçıldığı yaygın ışınım ve yansıyan ışınımdır. Eğik bir yüzey üzerine (Güneş panellerine) gelen toplam ışınım denklem 10 kullanılarak hesaplanır. Bu denklemde  $R_d (I_t - I_y)$  ifadesi eğimli yüzeye düşen direkt ışınım değerini göstermektedir.

$$I_{et} = R_d (I_t - I_y) + (I_y) [1 + \cos(s) / 2] + (I_t) \times \rho [1 - \cos(s) / 2] \quad (10)$$

## 2.2. PVGIS Metodundaki Hesaplamalar

PVGIS simülasyon aracı, Avrupa Komisyonu'nu tarafından finanse edilen, İtalya Ortak Araştırma Merkezi'nde geliştirmiş çevrimiçi bir simülasyon aracıdır. PVGIS'in harita temelli kullanıcı ara yüzü kullanıcıların istedikleri konumu seçmesini sağlamaktadır. Herhangi bir



konumu enlem ve boylam koordinatlarını belirtilmiş alana girerek yapmak mümkündür [19]. PVGIS simülasyon programında eğimli yüzeyler üzerine gelen toplam güneş ışınımı güneş yükseklik açısı, güneş azimut açısı aynı zamanda eğim açısı değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Muneer'in geliştirdiği bu model gökyüzünün açık veya bulutlu olduğu durumları birbirinden ayırarak ışınımı tahmin etmektedir [20].

Bulutlu hava koşullarında PVGIS metodu eğimli düzleme düşen ışınımı hesaplamak için denklem 11'u kullanmaktadır;

$$G_{dT} = G_d \left[ \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + 0,25227 \cdot \left( \sin\beta - \beta \cdot \cos\beta - \pi \left( \sin \frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \right] \quad (11)$$

Gökyüzünün güneşli hava koşulları için eğimli düzlem üzerine gelen ışınım;

$$G_{dT} = G_d \left[ \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + \left( \sin\beta - \beta \cdot \cos\beta - \pi \left( \sin \frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \cdot \left( 0,00263 - 0,712 \frac{G_b}{G_0} - 0,6883 \cdot \left( \frac{G_b}{G_0} \right)^2 \right) \cdot \left( 1 - \frac{G_b}{G_0} \right) + \left( \frac{G_b}{G_0} \cdot \frac{\cos\xi}{\cos\sigma_z} \right) \right] \quad (12)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. Denklem 11 ve 12'de  $G_d$ , yatay düzlem üzerine gelen ışınımı [ $W/m^2$ ] ve  $G_0$ , atmosfer dışı toplam güneş ışınımı [ $W/m^2$ ].

### 2.3. PVsyst Metodundaki Hesaplamalar

PVsyst programı, 1992 yılında Cenevre Üniversitesinde doktora fizikçisi André Mermoud tarafından geliştirilmiş ve 1999 yılında Mermoud tarafından grafik ara yüz özelliklerini etkinleştirmiş bir programdır [21]. Güneş panellerinin eğim açısının belirlenmesi ve bu eğim açısının PV panellerden üretilen enerji üzerindeki etkisini hesaplamak için PVsyst programı tarafından elde edilen transpozisyon faktörü kullanılmaktadır. Transpozisyon faktörü, kazanç ve kayıp oranlarının hesaplanmasında önemli bir etkidir. Bu program sistemin konfigürasyonunun tasarlanmasına yardımcı olmakta ve aynı zamanda üretilen enerji miktarının hesaplanmasını sağlamaktadır. Sonuçlar, temel olarak PV sistemin coğrafi konumuna bağlı olan boyutlandırma sisteminin simülasyonuna dayanmaktadır. Sonuçlar aylık, günlük veya saatlik değerler olarak görüntülenebilen birçok simülasyon değişkenini içerebilmektedir [22].



Yatay düzlem üzerine gelen yıllık toplam global ışınım miktarını  $G_{YY}$  ve eğim açısı  $\alpha$  olan eğimli yüzeye gelen yıllık toplam global radyasyon miktarını da  $G_{YE}$  olarak isimlendirirsek;  $0^\circ$  eğim açısında, ( $\alpha = 0^\circ$ ),  $G_{YY}=G_{YE(0)}$  olacaktır.  $\alpha$  açısındaki yıllık transpozisyon faktörü  $G_{fY(\alpha)}$   $T_{fY(\alpha)}$  gösterilmektedir. Yıllık transpozisyon faktörü denklem 13’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [23].

$$T_{fY(\alpha)} = \frac{G_{YE(\alpha)}}{G_{YY}} = \frac{G_{YE(\alpha)}}{G_{YE(0)}} \quad (13)$$

#### 2.4. Simülasyon Programlarında Yapılan Hesaplamalar

Bu çalışmada PVGIS ve PVsyst simülasyon programlarına  $0-90^\circ$  arası eğim açıları onda birlik sayılar şeklinde girilerek ayrı ayrı hesaplamalar yapılmakta, maksimum güneş ışınımın miktarının olduğu açı değerleri tespit edilerek, aylık, mevsimlik, altı aylık, yıllık optimum açı değerleri, derece olarak ( $^\circ$ ) bulunmuş ve ara yüz programları kullanılarak grafiksel sonuçlar elde edilmiş ve Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Hesaplama yapılacak illerin coğrafi koordinatları

| BAKÜ BÖLGESİ         |         | ABŞERON-HIZI BÖLGESİ   |         | DAĞLIK ŞİRVAN BÖLGESİ   |         | KUBA-HAÇMAZ BÖLGESİ   |         | ŞEKİ-ZAGATALA BÖLGESİ |         |
|----------------------|---------|------------------------|---------|-------------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
| BAKÜ ŞEHRİ           |         | SUMGAYIT               |         | AKSU                    |         | SİYEZEN               |         | BALAKEN               |         |
| Enlem                | 40.3953 | Enlem                  | 40.5897 | Enlem                   | 40.5742 | Enlem                 | 41.0784 | Enlem                 | 41.7038 |
| Boylam               | 49.8822 | Boylam                 | 49.6686 | Boylam                  | 48.3896 | Boylam                | 49.1118 | Boylam                | 46.4044 |
| MERKEZİ ARAN BÖLGESİ |         | GENCE-DAŞKESEN BÖLGESİ |         | KAZAK-TOVUZ BÖLGESİ     |         | DOĞU ZENGEZUR BÖLGESİ |         | NAHÇIVAN BÖLGESİ      |         |
| YEVLAH               |         | GENCE                  |         | TOVUZ                   |         | CEBRAYIL              |         | NAHÇIVAN              |         |
| Enlem                | 40.6172 | Enlem                  | 40.6831 | Enlem                   | 40.9955 | Enlem                 | 39.3987 | Enlem                 | 39.2083 |
| Boylam               | 47.1500 | Boylam                 | 46.3608 | Boylam                  | 45.6166 | Boylam                | 47.0245 | Boylam                | 45.4122 |
| KARABAG BÖLGESİ      |         | MİL-MUĞAN BÖLGESİ      |         | LENKERAN-ASTARA BÖLGESİ |         | ŞİRVAN-SALYAN BÖLGESİ |         |                       |         |
| FİZULİ               |         | SAATLI                 |         | CELİLABAD               |         | HACIKABUL             |         |                       |         |
| Enlem                | 39.6003 | Enlem                  | 39.9311 | Enlem                   | 39.2052 | Enlem                 | 40.0394 |                       |         |
| Boylam               | 47.1431 | Boylam                 | 48.3697 | Boylam                  | 48.5101 | Boylam                | 48.9203 |                       |         |

Çizelge 2’de PVGIS ve PVsyst programlarında hesaplanan optimum eğim açı değerleri arasındaki fark gösterilmektedir. Bu fark PVsyst programından elde edilen açı değerinin PVGIS’te hesaplanan açı değerinden farklılığı olarak verilmiştir. Çizelge 2’de yazılan “-”

işareti PVsyst değerinin PVGIS değerinden az olduğunu göstermektedir. Çizelge incelendiği zaman her iki simülasyon programı arasında en düşük açı farkının  $\pm 0.10$ , en fazla eğim açısı farkının ise Nahçıvan ilinde Eylül- Şubat aylarında  $\pm 3.80$  olduğu görülmektedir. Ayrıca, Şubat ayında saatli ilinde, Nisan ayında Nahçıvan ilinde, Mayıs ayında Aksu ilinde, Haziran ayında Bakü ilinde, İlk bahar aylarında Cebrayıl ilinde, son olarak Kasım ayında Siyezen ayında her iki simülasyon programından elde edilen açı değerleri aynı oldukları için, hiçbir açı farkı oluşmamaktadır.

Çizelge 3'te her iki simülasyon programından alınan ışınım miktarlarının karşılaştırılması ve aralarındaki ışınım miktarı farkı hesaplanmıştır. Bu fark PVsyst programından elde edilen ışınım miktarının PV GIS'te hesaplanan ışınım miktarından ne kadar fazla veya düşük olduğu yönde hesaplanmıştır. Çizelge 3'te yazılan “-” işareti PVsyst değerinin PVGIS değerinden az olduğunu göstermektedir. İki program arasındaki en düşük ışınım farkı Siyezen ilinde Haziran ayında ( $0,06 \text{ kWh/m}^2$ ), en yüksek ışınım farkıysa Gence ilinde Panel eğimi yıllık sabit açıda ayarlandığı durumunda ( $238,7 \text{ kWh/m}^2$ ) gözükmektedir. Saatli ilinde ise Temmuz ayında PV panel üzerinde düşen ışınım miktarı her iki simülasyon sonuçlarına göre aynı değere sahiptir ( $207,87 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Çizelge 2.** PVGIS ve PVsyst programlarında hesaplanan optimum eğim açısı değerleri arasındaki fark

| ŞEHİRLER            | Bakü                                |                                     |                           | Sumgayıt                         |                                  |                           | Nahçıvan                         |                                  |                           | Gence                            |                                  |                           | Cebrayıl                         |                                  |                           | Fuzuli                           |                                  |                           | Tovuz                            |                                  |                           |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
|                     | PV GIS<br>Optimum<br>Eğim<br>Açısı° | PVSyst<br>Optimum<br>Eğim<br>Açısı° | Eğim<br>Açıları<br>Farkı° | PV GIS<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | PVSyst<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | Eğim<br>Açıları<br>Farkı° | PV GIS<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | PVSyst<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | Eğim<br>Açıları<br>Farkı° | PV GIS<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | PVSyst<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | Eğim<br>Açıları<br>Farkı° | PV GIS<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | PVSyst<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | Eğim<br>Açıları<br>Farkı° | PV GIS<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | PVSyst<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | Eğim<br>Açıları<br>Farkı° | PV GIS<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | PVSyst<br>Optimum<br>Eğim Açısı° | Eğim<br>Açıları<br>Farkı° |
| Ocak                | 59.7                                | 61,6                                | 1.9                       | 60.2                             | 63                               | 2.8                       | 60.3                             | 64                               | 3.7                       | 62.9                             | 65.3                             | 2.4                       | 62.5                             | 63.3                             | 0.8                       | 61.6                             | 63.3                             | 1.7                       | 63.1                             | 65                               | 1.9                       |
| Şubat               | 50.3                                | 49                                  | -1.3                      | 50.8                             | 51.7                             | 0.9                       | 52.3                             | 54.6                             | 2.3                       | 52.7                             | 54.7                             | 2                         | 52.6                             | 52.3                             | -0.3                      | 50.2                             | 52.3                             | 2.1                       | 52.4                             | 54.5                             | 2.1                       |
| Mart                | 39.4                                | 39,5                                | 0.1                       | 39.7                             | 39,4                             | -0.3                      | 41                               | 42                               | 1                         | 40.5                             | 41.8                             | 1.3                       | 40.5                             | 40.8                             | 0.3                       | 39.1                             | 40                               | 0.9                       | 40.5                             | 43                               | 2.5                       |
| Nisan               | 27.2                                | 25,6                                | -1.6                      | 27.5                             | 24,7                             | -2.8                      | 26.7                             | 26.7                             | 0                         | 26                               | 26.4                             | 0.4                       | 26                               | 24.2                             | -1.8                      | 24.8                             | 25.7                             | 0.9                       | 26.7                             | 26.9                             | 0.2                       |
| Mayıs               | 16.2                                | 15,4                                | -0.8                      | 16.5                             | 13,9                             | -2.6                      | 14.4                             | 13                               | -1.4                      | 14.7                             | 14.4                             | -0.3                      | 15                               | 13.9                             | -1.1                      | 14.5                             | 13                               | -1.5                      | 15                               | 13.9                             | -1.1                      |
| Haziran             | 9.3                                 | 9,3                                 | 0                         | 10                               | 9,2                              | -0.8                      | 8.7                              | 7,2                              | -1.5                      | 10                               | 8.7                              | -1.3                      | 9.3                              | 7.8                              | -1.5                      | 9.6                              | 8.6                              | -1                        | 10.3                             | 8.9                              | -1.4                      |
| Temmuz              | 13.8                                | 11,5                                | -2.3                      | 13.8                             | 11,6                             | -2.2                      | 13                               | 9.7                              | -3.3                      | 13                               | 12                               | -1                        | 12.3                             | 10                               | -2.3                      | 12.5                             | 10.3                             | -2.2                      | 13.8                             | 11.2                             | -2.6                      |
| Ağustos             | 24                                  | 21,9                                | -2.1                      | 24.1                             | 21,3                             | -2.8                      | 22.9                             | 23                               | 0.1                       | 23.1                             | 23.2                             | 0.1                       | 22.7                             | 22.3                             | -0.4                      | 22.6                             | 21.8                             | -0.8                      | 23.8                             | 24.5                             | 0.7                       |
| Eylül               | 37                                  | 34,1                                | -2.9                      | 37.1                             | 33,3                             | -3.8                      | 37.6                             | 38.2                             | 0.6                       | 36.2                             | 37.4                             | 1.2                       | 36.6                             | 35.9                             | -0.7                      | 35.7                             | 34.5                             | -1.2                      | 37.2                             | 37.3                             | 0.1                       |
| Ekim                | 48.4                                | 45,5                                | -2.9                      | 48.8                             | 47.2                             | -1.6                      | 50.2                             | 51.5                             | 1.3                       | 49.1                             | 50.8                             | 1.7                       | 49.1                             | 49.4                             | 0.3                       | 48                               | 46.9                             | -1.1                      | 49.9                             | 51.1                             | 0.2                       |
| Kasım               | 57.7                                | 59,4                                | 1.7                       | 58.6                             | 59,4                             | 0.8                       | 60.4                             | 61.9                             | 1.5                       | 60.3                             | 61.6                             | 1.3                       | 59.7                             | 61                               | 1.3                       | 59                               | 59.6                             | 0.6                       | 60.8                             | 61.3                             | 0.5                       |
| Aralık              | 62.3                                | 64,2                                | 1.9                       | 63.3                             | 64,6                             | 1.3                       | 63.4                             | 66.2                             | 2.8                       | 66                               | 67.2                             | 1.2                       | 65                               | 65.9                             | 0.9                       | 64.3                             | 65.4                             | 1.1                       | 66.5                             | 66.9                             | 0.4                       |
| YILLIK<br>SABİT AÇI | 31.6                                | 32.1                                | 0.5                       | 32.1                             | 33                               | 0.9                       | 33.7                             | 36.3                             | 2.6                       | 35                               | 37.2                             | 2.2                       | 34.1                             | 36.2                             | 2.1                       | 32.6                             | 34.7                             | 2.1                       | 35.4                             | 37.4                             | 2                         |
| KIŞ                 | 57                                  | 59.3                                | 2.3                       | 58.2                             | 60.4                             | 2.2                       | 58.8                             | 61.6                             | 2.8                       | 61.1                             | 64                               | 2.9                       | 60.4                             | 61                               | 0.6                       | 59.1                             | 60.9                             | 1.8                       | 61.1                             | 63                               | 2.9                       |
| İLK BAHAR           | 26.1                                | 25.6                                | -0.5                      | 26.7                             | 24.7                             | -2                        | 26.7                             | 27.4                             | 0.7                       | 26.6                             | 28                               | 1.4                       | 26                               | 26                               | 0                         | 24.9                             | 25.6                             | 0.7                       | 27                               | 28.5                             | 1.5                       |
| YAZ                 | 16                                  | 13.9                                | -2.1                      | 16.3                             | 13.8                             | -2.5                      | 14.6                             | 13.2                             | -1.4                      | 15.6                             | 14.4                             | -1.2                      | 14.7                             | 13.4                             | -1.3                      | 14.8                             | 12.8                             | -2                        | 16.1                             | 14.7                             | -1.4                      |
| SON<br>BAHAR        | 45.5                                | 44.6                                | -0.9                      | 46.3                             | 46                               | -0.3                      | 48                               | 49.5                             | 1.5                       | 47.6                             | 49                               | 1.4                       | 47.1                             | 47.6                             | 0.5                       | 46.2                             | 46.1                             | -0.1                      | 47.9                             | 48.9                             | 1                         |
| MART-<br>AĞUSTOS    | 20.5                                | 19                                  | -1.5                      | 20.3                             | 19.4                             | -0.9                      | 20.1                             | 19.8                             | -0.3                      | 20.3                             | 19.7                             | -0.6                      | 19.6                             | 18.8                             | -0.8                      | 19                               | 18.8                             | -0.2                      | 20.8                             | 20.7                             | -0.1                      |
| EYLÜL-<br>ŞUBAT     | 50.3                                | 51.3                                | 1                         | 51                               | 53.5                             | 2.5                       | 52.2                             | 56                               | 3.8                       | 53.9                             | 55.9                             | 2                         | 53.6                             | 54.4                             | 0.8                       | 52.3                             | 53.4                             | 1.1                       | 53.8                             | 56.5                             | 2.7                       |

**Çizelge 2. (Devam) PVGIS ve PVSyst programlarında hesaplanan optimum eğim açısı değerleri arasındaki fark**

| ŞEHİRLER         | Yevlah                     |                            |                    | Aksu                       |                            |                    | Balaken                    |                            |                    | Sivezen                    |                            |                    | Hacıgabal                  |                            |                    | Saatlı                     |                            |                    | Celilabad                  |                            |                    |
|------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
|                  | PV GIS Optimum Eğim Açısı° | PVSyst Optimum Eğim Açısı° | Eğim Açları Farkı° | PV GIS Optimum Eğim Açısı° | PVSyst Optimum Eğim Açısı° | Eğim Açları Farkı° | PV GIS Optimum Eğim Açısı° | PVSyst Optimum Eğim Açısı° | Eğim Açları Farkı° | PV GIS Optimum Eğim Açısı° | PVSyst Optimum Eğim Açısı° | Eğim Açları Farkı° | PV GIS Optimum Eğim Açısı° | PVSyst Optimum Eğim Açısı° | Eğim Açları Farkı° | PV GIS Optimum Eğim Açısı° | PVSyst Optimum Eğim Açısı° | Eğim Açları Farkı° | PV GIS Optimum Eğim Açısı° | PVSyst Optimum Eğim Açısı° | Eğim Açları Farkı° |
| Ocak             | 61.8                       | 64.2                       | 2.4                | 60.3                       | 62.8                       | 2.5                | 62.7                       | 65.2                       | 2.5                | 59.9                       | 61.9                       | 2                  | 60.3                       | 61.9                       | 1.6                | 60.5                       | 61.5                       | 1.5                | 60.3                       | 62.4                       | 2.1                |
| Şubat            | 52                         | 52.3                       | 0.3                | 49.8                       | 49.9                       | 0.1                | 52.8                       | 56.5                       | 3.7                | 50.5                       | 51.8                       | 1.3                | 50                         | 49                         | -1                 | 50.3                       | 50.3                       | 0                  | 50                         | 50.6                       | 0.6                |
| Mart             | 40.5                       | 40.8                       | 0.3                | 39.3                       | 39.2                       | -0.1               | 40.8                       | 42.1                       | 1.3                | 38.3                       | 41.8                       | 3.5                | 39.3                       | 37.9                       | -1.4               | 39.3                       | 40                         | 0.7                | 39.3                       | 39                         | -0.3               |
| Nisan            | 26.9                       | 26.3                       | -0.6               | 26.4                       | 24.6                       | -1.8               | 27.4                       | 28                         | 0.6                | 26.9                       | 24.4                       | -2.5               | 26.4                       | 23.8                       | -2.6               | 26.2                       | 24.7                       | -1.5               | 26.4                       | 25.1                       | -1.3               |
| Mayıs            | 16.2                       | 13.7                       | -2.5               | 16.4                       | 16.4                       | 0                  | 16.5                       | 14                         | -2.5               | 16                         | 15                         | -1                 | 16                         | 14.5                       | -1.5               | 16                         | 14.1                       | -1.9               | 16                         | 13.5                       | -2.5               |
| Haziran          | 10.9                       | 8.8                        | -2.1               | 11.7                       | 9.8                        | -1.9               | 11.5                       | 9.4                        | -2.1               | 9.7                        | 9.4                        | -0.3               | 10                         | 8.7                        | -1.3               | 11                         | 8.6                        | -2.4               | 10                         | 8.5                        | -1.5               |
| Temmuz           | 13.8                       | 11.3                       | -2.5               | 13.6                       | 11.4                       | -2.2               | 14.3                       | 11.7                       | -2.6               | 14.2                       | 11.8                       | -2.4               | 13                         | 10.8                       | -2.2               | 13.1                       | 10.7                       | -2.4               | 13                         | 9.9                        | -3.1               |
| Ağustos          | 24                         | 22.9                       | -1.1               | 23.9                       | 21.3                       | -2.6               | 24.8                       | 23.6                       | -1.2               | 24.2                       | 21.7                       | -2.5               | 23.3                       | 21.7                       | -1.6               | 23.4                       | 20.7                       | -2.7               | 23.3                       | 21                         | -2.3               |
| Eylül            | 37.2                       | 35.5                       | -1.7               | 37                         | 34.7                       | -2.3               | 38                         | 38.1                       | 0.1                | 38                         | 35.8                       | -2.2               | 36                         | 33.7                       | -2.3               | 36.2                       | 33.2                       | -3                 | 36                         | 34.7                       | -1.3               |
| Ekim             | 49.1                       | 48.4                       | -0.7               | 48.5                       | 46.6                       | -1.9               | 49.9                       | 50                         | 0.1                | 49.5                       | 46.7                       | -2.8               | 47.6                       | 44.5                       | -3.1               | 47.6                       | 45.1                       | -2.5               | 47.6                       | 46                         | -1.6               |
| Kasım            | 59.6                       | 60.6                       | 1                  | 59                         | 58.7                       | -0.3               | 60.9                       | 61.5                       | 0.6                | 59                         | 59                         | 0                  | 57.9                       | 59.7                       | 1.8                | 57.6                       | 59.4                       | 1.8                | 57.9                       | 57.6                       | -0.3               |
| Aralık           | 64.3                       | 66.5                       | 2.3                | 63                         | 65.3                       | 2.3                | 65.8                       | 67.5                       | 1.7                | 63.7                       | 64                         | 0.3                | 62.8                       | 64.3                       | 1.5                | 62.8                       | 64.1                       | 1.3                | 62.8                       | 64.2                       | -1.4               |
| YILLIK SABİT AÇI | 33.8                       | 35.7                       | 1.9                | 32                         | 33.3                       | 1.3                | 34.3                       | 36.5                       | 2.2                | 33                         | 32.8                       | -0.2               | 31.7                       | 31.9                       | 0.2                | 31.9                       | 32.8                       | 0.9                | 31                         | 33.3                       | 2.3                |
| KIŞ              | 59.6                       | 61.9                       | 2.3                | 57.9                       | 60.7                       | 2.8                | 60.5                       | 64.2                       | 3.7                | 58.1                       | 60.2                       | 2.1                | 58                         | 58.9                       | 0.9                | 58.1                       | 58.5                       | 0.4                | 57.5                       | 59.4                       | 1.9                |
| İLK BAHAR        | 26.8                       | 26.1                       | -0.7               | 25.5                       | 24.9                       | -0.6               | 27                         | 27.4                       | 0.4                | 25.7                       | 26.3                       | 0.3                | 25.8                       | 24                         | -1.8               | 25.8                       | 24.6                       | -1.2               | 24.5                       | 25.1                       | 0.6                |
| YAZ              | 16.3                       | 14.4                       | -1.9               | 16                         | 13.9                       | -2.1               | 16.9                       | 14.6                       | -2.3               | 16.3                       | 14                         | -2.3               | 15.6                       | 13.4                       | -2.2               | 15.6                       | 12.8                       | -2.8               | 14.6                       | 13                         | -1.6               |
| SON BAHAR        | 47.3                       | 47.7                       | 0.4                | 46.7                       | 46                         | -1.7               | 47.9                       | 49.1                       | 1.2                | 46.7                       | 46.1                       | -0.6               | 45.6                       | 44.8                       | -0.8               | 45.4                       | 45.1                       | -0.3               | 44.5                       | 45                         | 0.5                |
| MART-AĞUSTOS     | 20.6                       | 19.6                       | -1                 | 20                         | 19.2                       | -0.8               | 20.9                       | 20.6                       | -0.3               | 20.3                       | 19.4                       | -0.9               | 20                         | 18                         | -2                 | 19.9                       | 18.2                       | -1.7               | 18.8                       | 18.4                       | -0.8               |
| EYLÜL-ŞUBAT      | 52.3                       | 54.5                       | 2.2                | 51                         | 52.8                       | 1.8                | 53.4                       | 55.9                       | 2.5                | 51.4                       | 52.8                       | 1.4                | 50.6                       | 52                         | 1.4                | 51                         | 52                         | 1                  | 50.4                       | 52.9                       | 2.5                |



**Çizelge 3.** PVGIS ve PVsyst programlarında hesaplanan maksimum ışınım değerleri arasındaki fark

| ŞEHİRLER         | Bakü   |  |   | Sumgayıt                                       |  |   | Nahçıvan                                       |  |   | Gence  |  |   | Cebrayıl                                       |  |   | Fuzuli   |  |   | Tovuz  |  |   |
|------------------|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|
|                  | PV GIS Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks. Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> |
| Ocak             | 80,91  | 108,6  | 27,69                                   | 83,98  | 115,4  | 31,42                                   | 101,02   | 156,5  | 55,48                                   | 105,23   | 153,1  | 47,87                                   | 117,98   | 144,5  | 26,52                                   | 100,63   | 136,6  | 35,97                                   | 100,63   | 142,7  | 42,07                                   |
| Şubat            | 84,2   | 91,8   | 7,6                                     | 87,3   | 96,5   | 9,2                                     | 115,65   | 140,3  | 24,65                                   | 99,02  | 122  | 22,98                                   | 111,53   | 117,2  | 5,67                                    | 95,23  | 110  | 14,77                                   | 95,23  | 119,4  | 24,17                                   |
| Mart             | 127,23   | 134,5  | 7,27                                    | 129,77   | 134,9  | 5,13                                    | 156,3  | 177,4  | 21,1                                    | 131,77   | 156  | 24,23                                   | 145,79   | 150,9  | 5,11                                    | 132,44   | 143,7  | 11,26                                   | 132,44   | 158,5  | 26,06                                   |
| Nisan            | 153,43   | 146,2  | -7,23                                   | 156,34   | 145,3  | -11,04                                  | 167,53   | 183,8  | 16,27                                   | 138,53   | 152,9  | 14,37                                   | 156,59   | 155,2  | -1,39                                   | 140,6  | 151,5  | 10,9                                    | 140,6  | 154,4  | 13,8                                    |
| Mayıs            | 194,99   | 185,7  | -9,29                                   | 196,53   | 183,7  | -12,83                                  | 194,84   | 203,8  | 8,96                                    | 164,49   | 185,6  | 21,11                                   | 191,56   | 185,3  | -6,26                                   | 165,71   | 180,4  | 14,69                                   | 165,71   | 185,6  | 19,89                                   |
| Haziran          | 209,39   | 200,3  | -9,09                                   | 211,55   | 199,4  | -12,15                                  | 222,75   | 234,7  | 11,95                                   | 183,97   | 201,9  | 17,93                                   | 218,12   | 206,5  | -11,62                                  | 189,02   | 201,8  | 12,78                                   | 189,02   | 199,1  | 10,08                                   |
| Temmuz           | 206,87   | 193  | -13,87                                  | 212,14   | 193,6  | -18,54                                  | 231,96   | 230,4  | -1,56                                   | 188,95   | 196,7  | 7,75                                    | 219,1  | 196,6  | -22,5                                   | 195,52   | 193,1  | -2,42                                   | 195,52   | 185,6  | -9,92                                   |
| Ağustos          | 195,17   | 176,3  | -18,87                                  | 196,93   | 175,7  | -21,23                                  | 220,97   | 229,7  | 8,73                                    | 180,68   | 190  | 9,32                                    | 204,15   | 190,9  | -13,25                                  | 186,04   | 183,8  | -2,24                                   | 186,04   | 185,5  | -0,54                                   |
| Eylül            | 160,82   | 143,4  | -17,42                                  | 161,37   | 144,6  | -16,77                                  | 198,46   | 211,4  | 12,94                                   | 147,18   | 167,2  | 20,02                                   | 170,75   | 163,7  | -7,05                                   | 155,03   | 154,3  | -0,73                                   | 155,03   | 164,6  | 9,57                                    |
| Ekim             | 120,42   | 109,5  | -10,92                                  | 122,6  | 133,7  | 11,1                                    | 161,12   | 178,9  | 17,78                                   | 121,97   | 143,6  | 21,63                                   | 139,7  | 144,2  | 4,5                                     | 125,92   | 129,2  | 3,28                                    | 125,92   | 141,1  | 15,18                                   |
| Kasım            | 86,42  | 99,2   | 12,78                                   | 90,68  | 100,1  | 9,42                                    | 137,07   | 158,2  | 21,13                                   | 106,27   | 132,7  | 26,43                                   | 118,34   | 134,9  | 16,56                                   | 107,78   | 120  | 12,22                                   | 107,78   | 127,7  | 19,92                                   |
| Aralık           | 77,99  | 102,3  | 24,31                                   | 85,5   | 105  | 19,5                                    | 101,77   | 150,9  | 49,13                                   | 85,5   | 143,7  | 58,2                                    | 121,37   | 145,5  | 24,13                                   | 108,9  | 133,4  | 24,5                                    | 108,9  | 134,4  | 25,5                                    |
| KIŞ              | 242,34   | 301,2  | 58,86                                   | 255,9  | 315,7  | 59,8                                    | 317,52   | 446,4  | 122,88                                  | 313,71   | 417,4  | 103,69                                  | 349,64   | 405,7  | 56,06                                   | 303,43   | 378,6  | 75,17                                   | 303,43   | 395,2  | 91,77                                   |
| İLK BAHAR        | 471,31   | 461,3  | -10,01                                  | 478,06   | 458,2  | -19,86                                  | 511,63   | 555,7  | 44,07                                   | 429,58   | 487,3  | 57,72                                   | 487,97   | 484,5  | -3,47                                   | 433,45   | 469,1  | 35,65                                   | 433,45   | 490,3  | 56,85                                   |
| YAZ              | 609,39   | 567,8  | -41,59                                  | 618,48   | 567  | -51,48                                  | 672,87   | 690,6  | 17,73                                   | 551,76   | 586,1  | 34,34                                   | 639,08   | 591,3  | -47,78                                  | 568,59   | 576,6  | 8,01                                    | 568,59   | 567,1  | -1,49                                   |
| SON BAHAR        | 364,65   | 347,6  | -17,05                                  | 371,3  | 354  | -17,3                                   | 491,07   | 541,6  | 50,53                                   | 371,03   | 438  | 66,97                                   | 424,08   | 436,9  | 12,82                                   | 384,3  | 398,3  | 14                                      | 384,3  | 428,1  | 43,8                                    |
| MART-AĞUSTOS     | 1077,82  | 1025,3   | -52,52                                  | 1093,5   | 1021,9   | -71,6                                   | 1179,74  | 1238,8   | 59,06                                   | 978,27   | 1068,2   | 89,93                                   | 1122,96  | 1071   | -51,96                                  | 998,95   | 1041,2   | 42,25                                   | 998,95   | 1052,2   | 53,25                                   |
| EYLÜL-ŞUBAT      | 604,57   | 645  | 40,43                                   | 624,58   | 665,4  | 30,82                                   | 805,97   | 982,9  | 176,93                                  | 680,93   | 850,1  | 169,17                                  | 769,52   | 837,8  | 68,28                                   | 684,14   | 711,4  | 27,26                                   | 684,14   | 818,4  | 134,26                                  |
| YILLIK SABİT AÇI | 1642,94  | 1621,8   | -21,24                                  | 1675,45  | 1633,1   | 42,35                                   | 1925,59  | 2136,2   | 210,61                                  | 1607,1   | 1845,8   | 238,7                                   | 1831,19  | 1837,4   | 6,21                                    | 1630,83  | 1749,6   | 118,77                                  | 1630,83  | 1804,3   | 173,47                                  |



**Çizelge 3. (Devam) PVGIS ve PVSyst programlarında hesaplanan maksimum ışınım değerleri arasındaki fark**

| ŞEHİRLER         | Yevlah   |  |   | Aksu   |  |   | Balaken  |  |   | Siyezzen                                       |  |   | Hacıgabal                                      |  |   | Saatli   |  |   | Celilabad                                      |  |   |
|------------------|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|
|                  | PV GIS Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> | PV GIS Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | PVSyst Maks, Işınım Miktarı kWh/m <sup>2</sup> | Işınım Miktarı Farkı kWh/m <sup>2</sup> |
| Ocak             | 96,17  | 136  | 39,83                                   | 83,62  | 113,2  | 29,58                                   | 86,27  | 130,4  | 44,13                                   | 75,26  | 101,4  | 26,14                                   | 90,83  | 115,3  | 24,47                                   | 92,35  | 113,5  | 21,15                                   | 91,13  | 131,7  | 40,57                                   |
| Şubat            | 95,34  | 105,9  | 10,56                                   | 80,06  | 90   | 9,94                                    | 91,57  | 118,6  | 27,03                                   | 78,68  | 89,8   | 11,12                                   | 85,54  | 90,6   | 5,06                                    | 89,86  | 91,7   | 1,84                                    | 83,56  | 103,2  | 19,64                                   |
| Mart             | 134,4  | 143,8  | 9,4                                     | 122,38   | 126,5  | 4,12                                    | 124,04   | 148,8  | 24,76                                   | 111,21   | 131,3  | 20,09                                   | 129,61   | 128,7  | -0,91                                   | 128,63   | 129,3  | 0,67                                    | 123,6  | 138,4  | 14,8                                    |
| Nisan            | 148,38   | 149,9  | 1,52                                    | 144,06   | 137,8  | -6,26                                   | 140,67   | 156  | 15,33                                   | 139,36   | 141  | 1,64                                    | 149,99   | 139,3  | -10,69                                  | 147,26   | 139,3  | -7,96                                   | 140,36   | 148,2  | 7,84                                    |
| Mayıs            | 182,15   | 183,2  | 1,05                                    | 188,7  | 180,6  | -8,1                                    | 177,25   | 187,7  | 10,45                                   | 170,18   | 179,8  | 9,62                                    | 192,92   | 181,7  | -11,22                                  | 189,02   | 179,4  | -9,62                                   | 183,91   | 182,2  | -1,71                                   |
| Haziran          | 202,56   | 200,2  | -2,36                                   | 208,02   | 193,7  | -14,32                                  | 198,18   | 205,2  | 7,02                                    | 193,36   | 193,3  | -0,06                                   | 210,1  | 196,7  | -13,4                                   | 209,3  | 195,9  | -13,4                                   | 207,45   | 202,6  | -4,85                                   |
| Temmuz           | 204,74   | 192,5  | -12,24                                  | 207,33   | 184  | -23,33                                  | 197,42   | 193,5  | -3,92                                   | 196,98   | 186,4  | -10,58                                  | 208,73   | 187,6  | -21,13                                  | 207,87   | 207,87   | 0                                       | 205,12   | 193,8  | -11,32                                  |
| Ağustos          | 193,19   | 182  | -11,19                                  | 196,26   | 174,6  | -21,66                                  | 189,04   | 186,5  | -2,54                                   | 182,68   | 171,4  | -11,28                                  | 197,86   | 176,3  | -21,56                                  | 195,55   | 174,3  | -21,25                                  | 192,19   | 180,8  | -11,39                                  |
| Eylül            | 158,92   | 156,4  | -2,52                                   | 159,32   | 143,8  | -15,52                                  | 157,64   | 168  | 10,36                                   | 146,43   | 142,1  | -4,33                                   | 155,87   | 141  | -14,87                                  | 156,05   | 139,8  | -16,25                                  | 145,92   | 144  | -1,92                                   |
| Ekim             | 125,33   | 127  | 1,67                                    | 120,33   | 111,4  | -8,93                                   | 120,67   | 134  | 13,33                                   | 113,33   | 106,9  | -6,43                                   | 119,44   | 108,4  | -11,04                                  | 118,96   | 110,2  | -8,76                                   | 115,03   | 120,1  | 5,07                                    |
| Kasım            | 103,51   | 116,7  | 13,19                                   | 95,76  | 100,8  | 5,04                                    | 99,16  | 116,9  | 17,74                                   | 85,68  | 94,3   | 8,62                                    | 94,47  | 104,1  | 9,63                                    | 93,73  | 103,7  | 9,97                                    | 91,17  | 109,6  | 18,43                                   |
| Aralık           | 95,35  | 128,3  | 32,95                                   | 82,83  | 110,6  | 27,77                                   | 92,04  | 126,4  | 34,36                                   | 79,36  | 96,6   | 17,24                                   | 88,71  | 106,8  | 18,09                                   | 88,71  | 108,4  | 19,69                                   | 89,62  | 121,8  | 32,18                                   |
| KIŞ              | 285,91   | 368,5  | 82,59                                   | 245,59   | 312,3  | 66,71                                   | 268,85   | 374,3  | 105,45                                  | 232,45   | 287  | 54,55                                   | 262,1  | 311,2  | 49,1                                    | 269,99   | 312,4  | 42,41                                   | 263,28   | 355,4  | 92,12                                   |
| İLK BAHAR        | 459,94   | 470,2  | 10,26                                   | 450,95   | 440,1  | -10,85                                  | 437,29   | 485,1  | 47,81                                   | 417,26   | 445,8  | 28,54                                   | 467,99   | 445  | -22,99                                  | 460,45   | 442,2  | -18,25                                  | 443,67   | 463  | 19,33                                   |
| YAZ              | 598,4  | 572,2  | -26,2                                   | 609,52   | 550,7  | -58,82                                  | 582,57   | 582,7  | 0,13                                    | 571,29   | 549,4  | -21,89                                  | 614,61   | 558,6  | -56,01                                  | 610,64   | 555,3  | -55,34                                  | 602,86   | 575,2  | -27,66                                  |
| SON BAHAR        | 383,86   | 395  | 11,14                                   | 371,86   | 351,9  | -19,96                                  | 373,49   | 414,2  | 40,71                                   | 342,17   | 339,7  | -2,47                                   | 366,36   | 348,8  | -17,56                                  | 365,45   | 348,9  | -16,55                                  | 348,71   | 369,9  | 21,19                                   |
| MART-AĞUSTOS     | 1055,19  | 1038,3   | -16,89                                  | 1057,87  | 987,6  | -70,27                                  | 1017,14  | 1062,7   | 45,56                                   | 986,42   | 991,6  | 5,18                                    | 1079,59  | 1000,6   | -78,99                                  | 1068,13  | 993,5  | -74,63                                  | 1043,86  | 1034,2   | -9,66                                   |
| EYLÜL-ŞUBAT      | 666,7  | 758,3  | 91,6                                    | 615,07   | 659,8  | 44,73                                   | 639,3  | 783,1  | 143,8                                   | 572,42   | 622,9  | 50,48                                   | 625,63   | 655,9  | 30,27                                   | 632,48   | 657,1  | 24,62                                   | 609,16   | 720,6  | 111,44                                  |
| YILLIK SABİT AÇI | 1673,91  | 1734   | 60,09                                   | 1630,37  | 1595,2   | -35,17                                  | 1609,08  | 1779,3   | 170,22                                  | 1519,01  | 1566,1   | 47,09                                   | 1662,23  | 1604,5   | -57,73                                  | 1657,18  | 1599,3   | -57,88                                  | 1609,52  | 1696,1   | 86,58                                   |

### 3. SONUÇLAR

Hesaplama yapılan PVGIS simülasyon sonuçlarına göre PV panel eğim açısı yıllık sabit açıda ayarlanırsa hesaplama yapılan 14 farklı bölge içinde PV panel üzerine gelen en fazla ışınım miktarının Nahçıvan bölgesinde olduğu görülmektedir. Bu değer (1925,59 kWh/m<sup>2</sup>) panel eğim açısının 33,7° olarak ayarlandığı zaman görülmektedir. PVsyst simülasyon programında hesaplama yapıldığı zamansa panel üzerine gelen en yüksek ışınım miktarının yine Nahçıvan bölgesinde olduğu sonucuna varılmıştır (2136,2 kWh/m<sup>2</sup>). Bu değer ise PVsyst programında panel eğim açısının 36,3° olarak ayarlandığı zaman görülmektedir. Nahçıvan bölgesi için paneli eğim açısı yıllık sabit açıda ayarlandığı zaman her iki program arasında 2,6°'lik bir eğim açısı farkı ve 210,61 kWh/m<sup>2</sup>'lik (veya ≈ %11) ışınım miktarı farkı ortaya çıkmaktadır. Her iki simülasyon programı karşılaştırıldığı zaman Azerbaycan'da Nahçıvan ili için en fazla verim PV sistemin eğim açısının yılın her ayı (yılda 12 kez) değiştirildiği zaman elde edilmektedir. Bu değerler PVGIS programında 2009,44 kWh/m<sup>2</sup>, PVsyst programındaysa 2256 kWh/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Nahçıvan ili için yılın her ayı panel eğim açısı değiştirildiği zaman yıllık sabit optimum eğim açısına göre %4,35 (PVGIS) ve %5,60 (PVsyst) verim artışı elde edildiği tespit edilmiştir.

PVGIS ve PVsyst değerlerine bakıldığı zaman tüm eğim açısı ayarları dikkate alındığında Nahçıvan'da kurulan bir PV sistemden diğer illere göre %14,9 ila %38 daha fazla elektrik enerjisi elde edile bilinmektedir. PVsyst verilerine göre Nahçıvan ilinin Siyezen ve Gence illerine göre ne kadar fazla elektrik enerjisi ürettiği hesaplandığında Siyezen iline kıyasla 469 MWh/yıl, Gence ili ile kıyaslandığıdaysa 231,8 MWh/yıl daha fazla elektrik enerjisi ürettiği sonucuna varılmıştır. Hesaplamalar 1 MWp'lik saha için yapılmış ve bu hesaplamada Trina Solar firmasının üretmiş olduğu TSM-335DD14A(II) markalı 335Wp'lik monokristal güneş paneli ve Huawei firmasının üretmiş olduğu SUN2000-125KTL-M0 markalı 125kW'lık invertör kullanılmıştır.

Çalışmada yapılan hesaplamalar sonucunda, Nahçıvan ilindeki Güneş enerji potansiyelinin diğer illere bakıldığı zaman daha etkili olduğunu göstermektedir. Bu bilgilerden yola çıkarak daha detaylı şekilde bir inceleme yapılırsa ülke genelinde bir optimum eğim açısı haritası oluşturulabilir, bu şekilde Azerbaycan'ın tüm illeri için güneş enerjisinden daha verimli şekilde fayda elde edilebilir.



## Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

## KAYNAKLAR

- [1]Hernández-Callejo, L. Gallardo-Saavedra S., Alonso-Gómez(2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance, *Solar Energy*, 88, 426-440
- [2] Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu–Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 54 (639), 32-44.
- [3] Şenel, M. C. (2012). Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları–Dinamik Davranış. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., 202s.
- [4] Ember; Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023), <http-1: https://ember-climate.org/data-catalogue/yearly-electricity-data/> (Erişim tarihi: 20.07.2023).
- [5] Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., ve Tandiroğlu, A. (2016). Parametric Optimization and Exergetic Analysis Comparasion of Subcritical and Supercritical Organic Rankine Cycle (ORC) for Biogaz Fuelled Combined Heat and Power (CHP) Engine Ex-haust Gas Waste Heat. *Energy.*, 111, 922- 930.
- [6] Handbook of Solar Radiation Data for India, Anna Mani, Allied Publishers, New Delhi, 1981.
- [7] Köse, S. (1986). Yarıiletken Güneş Pilleri ve Verimlilikleri. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., 78s.
- [8] [http-46: https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/phys-2022-0042/html?lang=en#j\\_phys-2022-0042\\_ref\\_007](http-46: https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/phys-2022-0042/html?lang=en#j_phys-2022-0042_ref_007) (Erişim tarihi: 02.09.2023).
- [9] B. Belmahdi and A. El Bouardi. (2020) Solar potential assessment using PVsyst software in the northern zone of Morocco. *Procedia Manufacturing.*, 46, 738–745.
- [10] Dal, A. R. (2021). Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi.*, 241-250.
- [11] Taha, H. M. and Hameed, S. (2020). Optimization of Tilt Angle of a PV System to Get Maximum Generated Power: a Case Study. *Kurdistan Journal of Applied Research.*, 5 (2), 71-81.
- [12] R. A. Messenger, J. Ventre (2003) Photovoltaic systems engineering, Boca Raton, U. S.A, CRC Press.

- [13] J. A. Duffie, W. A. Beckman. (2006). Solar engineering of thermal processes. Wiley, Hoboken, New Jersey, U. S. A.
- [14] Patkó, I., Szeder, A. and Patkó, C. (2013). Evaluation the impact tilt angle on the sun collectors. Energy Procedia., 32, 222-231.
- [15] Darhmaoui, H., & Lahjouji, D. (2013). Latitude based model for tilt angle optimization for solar collectors in the Mediterranean region. Energy Procedia., 42, 426-435.
- [16] Şenpınar, A. (2006). Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması. Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi., 4 (2), 36-41.
- [17] Stine, W. B. and Geyer, M. (2015). Power from the Sun.
- [18] Despotovic, M. and Nedic, V. (2015). Comparison of optimum tilt angles of solar collectors determined at yearly, seasonal and monthly levels. Energy Conversion and Management., 97, 121-131.
- [19] http- 48: <https://www.whatnextnow.com/home/solar/PVGIS-a-comprehensivesolar-panel-calculator-for-photovoltaic-systems> (Erişim tarihi: 05.09.2023).
- [20] Gracia, A. M. and Huld, T. (2013). Performance comparison of different models for the estimation of global irradiance on inclined surfaces. European Comission: Luxemburg.
- [21] http- 51: <https://www.purepower.com/blog/when-to-use-pvsyst-helioscopeand-sam> (Erişim tarihi: 05.09.2023).
- [22] Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A. and Suhag, S. (2021). Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study. Materials Today: Proceedings., 46, 5322-5328.
- [23] Ekanem, O. D. and Onojo, J. O. (2017). Determination of yearly fixed optimal tilt angle for flat-plate photovoltaic modules based on perez transposition model. American Journal of Software Engineering and Applications., 6 (3), 80.