



Gaziantep Bölgesi İçin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Kurulacak Panellerin Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi

Hüseyin Yağlı^{1*}, Yıldız Koç²

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9777-0698)

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2219-645X)

(İlk Geliş Tarihi 7 Mayıs 2020 ve Kabul Tarihi 16 Haziran 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.733530)

ATIF/REFERENCE: Yağlı, H. & Koç, Y. (2020). Gaziantep Bölgesi İçin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Kurulacak Panellerin Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 475-483.

Öz

Dünyada ilerleyen teknolojiye paralel olarak enerjiye duyulan ihtiyaçta giderek artmaktadır. Güneş enerjisi, yenilenebilir olması ve çevreyi tehdit eden unsurları minimum seviyelere çekmesi bakımından enerji üretiminde ön plana çıkmaktadır. Güneş enerji sistemi kurulurken ortam koşulları büyük bir önem teşkil etmektedir. Bu çalışmanın amacı transpozisyon faktörü yardımıyla, kurulacak olan güneş panellerinin maksimum kapasitede enerji üretebilmeleri panellerin optimum açıların belirlenmesidir. Optimum açının belirlenmesinde yapılmış olan önceki literatür çalışmalarında realiteye daha yakın sonuçlar verdiği görülen Perez transpozisyon modeli yardımıyla elde edilen transpozisyon faktörleri kullanılmıştır. Elde edilen transpozisyon faktörleri göz önünde bulundurulduğu zaman optimum açı değeri 31° olarak elde edilmiştir. PVSyst programı kullanılarak açılara göre üretim değerleri karşılaştırılmış ve 30° panel eğim açısında üretilen enerji miktarının 31° panel eğim açısına göre farkının kayda değer olmadığı belirlenmiştir. Son olarak üretim maliyetini düşürmek için, yerleştirilecek olan panellerin 30° açıda yerleştirilebileceğine karar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Transpozisyon Faktörü, Optimum Eğim Açısı, Güneş Paneli, Güneş Işınımı, Yıllık Eğim Açısı, PVSyst.

Determination of Optimum Inclination Angles of Panels to be Installed in Solar Generation for Gaziantep Region

Abstract

With the development of technology in the world, the need for energy is gradually increasing. Solar energy comes to the forefront in energy production in terms of being renewable and minimizing environmental threats. Ambient conditions are of great importance when installing the solar energy system. The aim of this study is to determine the optimum angles of the panels, with the help of the transposition factor, to be able to generate energy at the maximum capacity of the solar panels to be installed. In previous literature studies in determining the optimum angle, transposition factors obtained with the help of the Perez transposition model, which seem to give results closer to reality, were used. When the transposition factors obtained are taken into account, the optimum angle value was obtained as 31°. Using PVSyst program, the production values were compared according to the angles and it was determined that the difference in the amount of energy produced at the 30° panel slope angle compared to the 31° panel slope angle was not significant. Finally, in order to reduce the production cost, it was decided that the panels to be placed can be placed at an angle of 30°.

Keywords: Transposition Factor, Optimum Slope Angle, Solar Panel, Solar Radiation, Annual Slope Angle, PVSyst.

* Sorumlu Yazar: İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9777-0698, huseyin.yagli@iste.edu.tr

1. Giriş

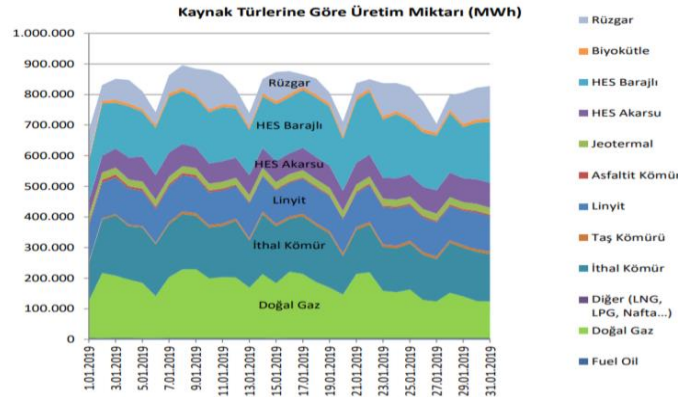
Teknolojinin gelişmesiyle birlikte dünyada enerji kaynaklarına olan ihtiyaç günden güne artış göstermektedir [1-3]. Enerji, ülkelerin ekonomisine büyük katkılar sağlamaktadır [4]. Bir ülkenin ne kadar gelişmiş olduğunu belirlemede, ülkede üretilen enerji ve tüketilen enerji miktarları dikkate alınan önemli parametrelerden birisidir. Bu nedenle, gelişmiş ülkelerde enerji üretimine çok fazla önem verilmektedir. Ülkemizde sanayi, sağlık hizmetleri, ısınma ve ulaşım hizmetleri büyük ölçüde enerji tüketen sektörlerden birkaçıdır [5-7]. Bu sektörlerin ciddi enerji tüketimine rağmen enerji ihtiyacımızın büyük bir kısmınının dış kaynaklardan karşılanması ülkemizin ekonomisinde ciddi cari açıklara sebep olmaktadır.

30 Eylül 2019 itibarıyla Türkiye'deki elektrik üretim gücü kullanılan sistemlere göre dataylı olarak incelendiğinde, üretilen enerjinin %51,61'i termik, %31,37'si hidroelektrik, %8,15'i rüzgâr enerjisi, %6,17'si güneş enerjisi, %2,71'i biokütle, atık ısı ve jeotermal santraller ile sağlanmaktadır [8]. 2019 yılında ay bazında işletmeye alınan santrallerin yakıt türüne göre kurulu güçleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. 2019 yılında ay bazında işletmeye alınan santrallerin yakıt türüne göre kurulu güçleri [8]

Yakıt Türü	Kurulu Güç MW							
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Toplam
Termik	200	54,5	0	532	2,3	532	2	1322,8
HES	67,3	18,3	14,3	11,4	6	11,4	10,5	139,5
RES	4,5	21	44,6	6,5	67,6	6,5	12	162,7
GES	0	0	0	0	0	0	9,9	9,9
Diğer	20	0	0	0	36,9	0	1,5	58,4
Toplam	291,86	93,8	58,9	549,9	113	549,9	35,9	1693,5

Tablo 1'den görüleceği üzere 2019 yılında da hizmete alınan santraller içerisinde termik santraller en ön sırada yer almaktadır. Bu durum Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını artırırken aynı zamanda olumsuz çevresel etkilere yol açmaktadır. 2019 yılı Ocak ayında kaynaklara göre enerji üretim miktarlarının dağılımı Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Türkiye'de enerji üretiminin kaynak türlerine göre dağılımı [8] (Veriler www.enerji.gov.tr 'de yayınlanan enerji istatistikleri raporundan alınmıştır.)

Bu çalışmada, güneş enerji santrallerinden elde edilen enerjinin, panellerin hangi optimum açıyla yerleştirilmesiyle birlikte olacağı hesaplanmıştır. Optimum açının belirlenmesinde yapılmış olan önceki literatür çalışmalarında realiteye daha yakın verdiği görülen Perez transpozisyon modeli yardımıyla elde edilen transpozisyon faktörleri kullanılmıştır.

2. Güneş Enerjisine Genel Bir Bakış

Güneş enerjisi, en yüksek potansiyele sahip yenilenebilir enerji türüdür [9-10]. Dünyanın yenilenebilir enerji ihtiyacının çoğunluğu güneş tarafından sağlanmaktadır [11]. Güneş enerjisinden enerji üretiminin diğer enerji kaynaklarına göre avantajları;

- Güneş'in var olmasıyla sağlandığı için tükenmeyen yenilenebilir enerji olmasıdır.
- Duman, gaz, CO, CO₂, radyasyon yayımı, kükürt vb. gibi atıkları olmadığı için çevreyi kirletmez, temizdir.
- Yerel uygulamalar için elverişlidir.
- Enerji üretmesi için dışardan ürün ithal edilmesine gerek yoktur.
- Bakım masrafı, işçilik vb. gibi giderler düşüktür.

Güneş enerjisinin avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar;

- Kurulacak birçok güneş enerji sisteminin ilk yatırım maliyetleri sebebiyle geri dönüş süreleri uzundur.

- Sürekli bir üretim gerçekleşmez. Bu sebeple enerji depolanması gerekir ve depolama işlemleri fazladan maliyet oluşturmaktadır.
- Kurulacak bölgenin güneş ışınımı bakımından zengin bir bölge olması gerekmektedir.
- Birim yüzeye düşen güneş ışınım miktarı azdır, bu yüzden toplayıcı yüzeyleri geniş olmalıdır.
- Kış aylarında ihtiyaç duyulan enerji miktarı artmasına karşın güneş ışınım miktarı azalması sebebiyle üretilen enerji miktarı azalmaktadır.
- Birçok kullanım alanının, enerji arzı ile talebi arasındaki zaman farkı ile karşılaşılmaktadır.

Tablo 2’de Türkiye’nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli ve aylara göre günlük ortalama güneşlenme süreleri verilmiştir.

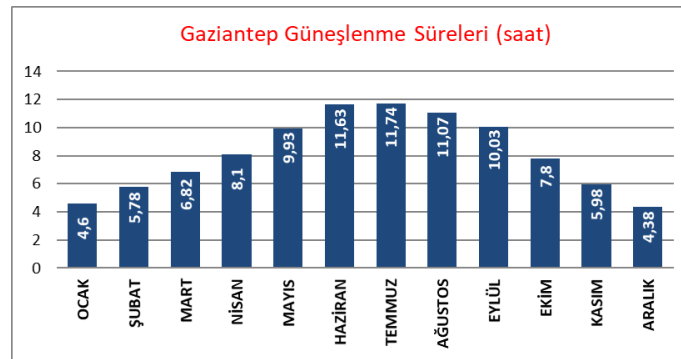
Tablo 2. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli ve aylara göre günlük ortalama güneşlenme süreleri [12]

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi	Güneşlenme Süresi
	<i>kWh/m²-gün</i>	<i>Saat/gün</i>
Ocak	1,67	3,32
Şubat	2,26	4,11
Mart	3,12	5,32
Nisan	4,07	6,57
Mayıs	4,96	9,10
Haziran	5,63	10,48
Temmuz	5,66	11,77
Ağustos	5,11	11,06
Eylül	4,11	9,33
Ekim	2,90	6,90
Kasım	2,03	5,23
Aralık	1,51	3,32
Toplam	43.02	86,53
Ortalama	3,58	7,2

Buradan da görüldüğü üzere kış aylarında hem güneş enerjisi ve hem de güneşlenme süreleri azalmaktadır. Güneş enerjisinin en dezavantajlı olmasının sebeplerinden biride bu durumdur.

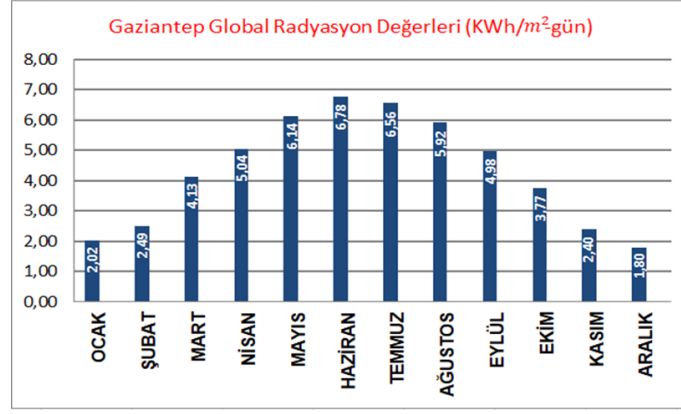
3. Gaziantep İçin Güneş Enerjisinin Değerlendirilmesi

Gaziantep, güneşlenme sürelerinin fazla olması ve yeryüzü şekillerinin düz olmasından dolayı güneş enerji santrali projeleri için oldukça elverişlidir. Gaziantep’te toplam 85,16 MW kapasiteye sahip kurulu Güneş Enerji Santralleri bulunmaktadır. Ayrıca toplam 40,21 MW kapasiteli güneş enerji santralleri hala yapım aşamasındadır [13]. Gaziantep’in ay bazında ortalama güneşlenme süreleri Şekil 2’de verilmektedir [14].



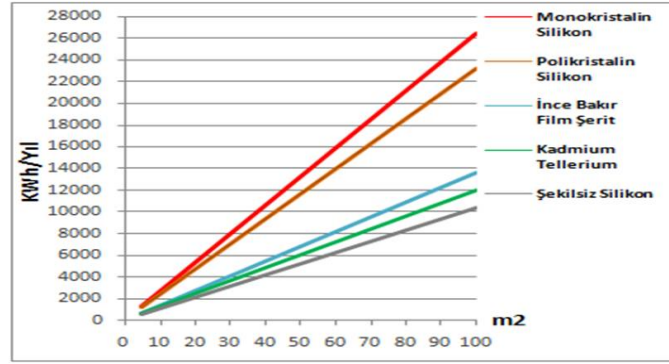
Şekil 2. Gaziantep’in ay bazında ortalama güneşlenme süreleri [14]

Gaziantep bölgesindeki günlük güneşlenme süresi Türkiye ortalamasından daha fazla olduğu görülmektedir. Türkiye’nin ortalama Güneşlenme süresi, Ocak ayında 3,32 saat/gün ve Haziran 10,48 saat/gün olurken; Gaziantep’in ortalama Güneşlenme süresi, Ocak ayı 4,6 saat/gün ve Haziran 11,63 saat/gün olmaktadır. Gaziantep üzerine düşen ay bazında günlük ortalama global radyasyon değerleri Şekil 3’de verilmektedir [14].



Şekil 3. Gaziantep üzerine düşen ay bazında günlük ortalama global radyasyon değerleri [14]

Şekil 3’den görüleceği üzere Gaziantep bölgesindeki günlük radyasyon değeri Türkiye ortalamasından daha fazladır. Türkiye’nin ortalama radyasyon değeri, Ocak ayında 1,67 kWh/m²-gün ve Haziran ayında 5,63 kWh/m²-gün olurken; Gaziantep’in ortalama radyasyon değeri, Ocak ayında 2,1 kWh/m²-gün ve Haziran ayında 6,78 kWh/m²-gün olmaktadır.



Şekil 4. Güneş paneli türlerinin yıllık üretimlerine göre kıyaslamaları [14] (Veriler yegm.gov.tr Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) üzerinden alınmıştır.)

4. Tanımlar ve Matematiksel Model

4.1. Deklinasyon Açısı (δ)

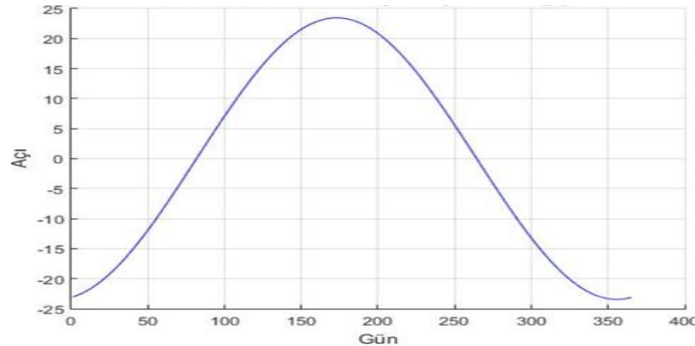
Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıya deklinasyon açısı denir. Deklinasyon açısı güne bağlı olarak denklem 1 [15] ve denklem 2’de [16] gösterildiği gibi iki farklı şekilde elde edilebilir.

$$\sin \delta = 0.39795 \cos[0.98563(N - 173)] \quad (1)$$

ya da;

$$\delta = 23.45 \sin\left[360 \cdot \frac{(284+N)}{365}\right] \quad (2)$$

Burada N gün sayısını ifade etmektedir. Günlere göre deklinasyon açısının değişimi Şekil 5’de verilmektedir.



Şekil 5. Günlere göre deklinasyon açısının değişimi

4.2. Saat Açısı

Dünya'nın kutup eksenini etrafındaki dönüşü tanımlanırken saat açısı kavramı kullanılır. Saat açısı, bulunulan konumun meridyeni ile düzlemi güneşi içeren meridyen arasındaki açısal uzaklığı ifade etmektedir. 24'lük saat diliminde 12.00'da bulunulan konuma gelen saat açısı (ω_0) denklem 3'ten elde edilmektedir [16].

$$\omega_0 = \cos^{-1}[-\tan(\delta)\tan(\phi)] \quad (3)$$

Burada ϕ enlem açısı olup güneş ışınlarının geliş açısı saatte 15° artış göstermektedir. Herhangi bir saatte gelen güneş ışınlarının açısını belirlemek için günlük saat açısı 24'lük saat dilimi kullanılarak denklem 4 kullanılarak derece cinsinden elde edilmektedir [17].

$$\omega = 15(t_s - 12) \quad (4)$$

4.3. Zaman Denklemi

Belirli bir tarihte ortalama güneş saati ve gerçek güneş saati farklılık gösterebilir. Gaziantep'in konumunun yengeç dönencesinin kuzeyinde olmasından dolayı herhangi bir günde öğlen 12.00'da güneş daima güney yönünde olacaktır. Bu yüzden gerçek güneş saati ve ortalama güneş saati yıllık döngü ile ortalamanın önünden veya arkasından 17 dakika sapma gösterebilmektedir [16].

$$x = \frac{360(N-1)}{365.242} \quad (5)$$

Denklem 5'ten elde edilen açı değeri derece cinsinden denklem 6'da yerine koyularak zaman denklemi olarak dakika cinsinden ifade edilir [16].

$$ZD = 0.258 \cos(x) - 7.416 \sin(x) - 3.648 \cos(2x) - 9.228 \sin(2x) \quad (6)$$

4.4. Azimut Açısı (A)

Bir cismin gözlemciye göre konumunun güneşin geliş açısına göre ufuktaki kuzey veya güney noktasından açısal olarak ifade edilmesine azimut açısı denir. Azimut açı değerleri doğuda negatif batıda pozitif değerler almaktadır. Azimut açısını elde etmek için bulunan konumun deklinasyon açısı (δ), yükseklik açısı (β), enlem açısı (ϕ), saat açısı (ω) bilinmesi gerekmektedir. [16]

$$\sin \beta = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (7)$$

Denklem 7'de β yalnız bırakılacak olursa;

$$\beta = \sin^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega) \quad (8)$$

Denklem 8'den elde edilen yükseklik açı değeri (β), denklem 3 ve denklem 4 kullanılarak elde edilen saat açısı (ω) ve denklem 2'den elde edilen deklinasyon açısı (δ) denklem 9'da kullanılarak sin A değeri elde edilir [16].

$$\cos \beta \sin A = -\cos \delta \sin \omega \quad (9)$$

Denklem 9'da bulunan sinüs değerinin tersi alınarak azimut açısı (A) derece cinsinden elde edilir.

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos \beta}\right) \quad (10)$$

Azimut açısını elde etmek için enlem açısının hesaplamalara dâhil edilmesi denklem 11'de gösterilmiştir [16].

$$\cos \beta \cos A = \sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \sin \phi \quad (11)$$

Burada ϕ enlem açısını ifade etmektedir. Güneş batış açısını belirlemek için denklem 12 kullanılır [18].

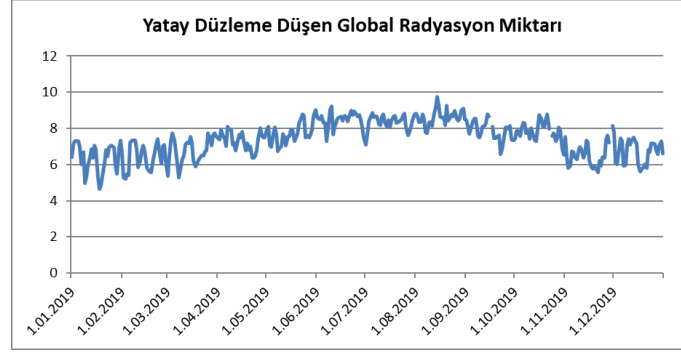
$$GBA = \cos^{-1}[-\tan \delta \tan \phi] \quad (12)$$

4.5. Transpozisyon

Güneş paneline verilen eğimin, güneş enerji üretimine sağladığı kazanç oranı ve kayıp oranının belirlenmesinde PVSyst programından elde edilen transpozisyon faktörü kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmalar eğim açısı değiştirildikçe eğimli alanlardan farklı güneş radyasyonu değerleri elde edildiğini göstermektedir. Öyle ki, fotovoltaik enerji sistemi tasarımcıları genellikle maksimum güneş radyasyonu değeri elde edilebilecek eğim açısının hesaplanmasıyla ilgilenmişlerdir. Maksimum güneş radyasyonu değeri elde edilebilecek eğim açısı optimum eğim açısı olarak adlandırılmaktadır. Yine yapılan çalışmalar sonucunda optimum eğim açısının da fotovoltaik enerji sisteminin yerleştirildiği lokasyona göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Fotovoltaik sistemin yerleştirileceği enleme göre optimum eğim açısı tekrar hesaplanmalıdır. Optimum eğim açısı yılın farklı zamanlarında farklı değerler almaktadır.

NASA portalından alınan yatay alana düşen yıllık global radyasyon miktarı verileri PVSyst software sistemine aktarılmaktadır. PVSyst sisteminde Perez transpozisyon modeli kullanılarak yatay alana düşen yıllık global radyasyon, eğimli alana gelen yıllık global radyasyona çevrilmektedir. Daha sonra bu transpozisyon faktör modeli sadeleştirilmiş PV modülü için yıllık optimum eğim açısı ve yıllık optimum transpozisyon faktörü elde edilmiştir. Yatay düzleme düşen global radyasyon miktarı grafiği Şekil 6'da verilmektedir [19].



Şekil 6. Yatay düzleme düşen global radyasyon miktarı [19]

4.6. Fotovoltaik Modüller İçin Yıllık Optimum Eğim Açısının Hesaplanması

Yatay alana düşen yıllık toplam global radyasyon miktarına G_{YY} ve eğim açısı α olan eğimli alana düşen yıllık toplam global radyasyon miktarına da G_{YE} denilecek olursa; eğim açısı 0° 'de, yani $\alpha = 0^\circ$, $G_{YY}=G_{YE(0)}$ olacaktır. Yıllık transpozisyon faktörü α açısında $T_{fY(\alpha)}$ olarak ifade edilmiştir. Böylece denklem 13'te gösterildiği gibi yıllık transpozisyon faktörü hesaplanabilir [20].

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

Perez transpozisyon modeli kullanılan PVSyst simülasyonunda eğimli alanda üretilen toplam yıllık global radyasyon $G_{YE(\alpha)}$ değerleri $\alpha \geq 0^\circ$ olacak şekilde α 'ya göre değişim göstermektedir. Eğer j . açı değeri α_j olarak tanımlanır, bir toplam n eğim açısı sayılır ve yıllık transpozisyon faktörü $T_{fY(\alpha_j)}$ eğim açısında (α_j) ifade edilecek olursa;

$$T_{fY(\alpha_j)} = \frac{G_{YE(\alpha_j)}}{G_{YY}} = \frac{G_{YE(\alpha_j)}}{G_{YE(0)}} \quad (14)$$

$j=0,1,2,\dots,n-1$ için, α_j 'ye göre çıkarılacak $T_{fY(\alpha_j)}$ grafiğinden 2. derece bir denklem çıkarılacak olursa;

$$T_{fY(\alpha_j)} = X(\alpha^2) + Y(\alpha) + Z \quad (15)$$

Buradan elde edilecek yıllık sabit optimum eğim açısını (α_{Yopt}) bulmak için denklemin 1. dereceden türevi alınırsa;

$$\frac{\partial(T_{fY(\alpha)})}{\partial(\alpha)} = 2(X)(\alpha) + Y \quad (16)$$

ve $\frac{\partial(T_{fY(\alpha)})}{\partial(\alpha)} = 0$ kabul edilirse, eğim açısına göre çözülürken yıllık sabit optimum eğim açısı α_{Yopt} denklem 17'den elde edilir [20].

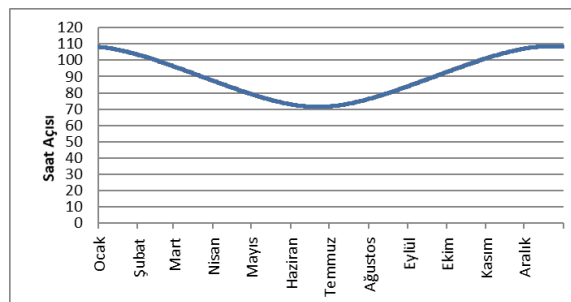
$$\alpha_{Yopt} = \alpha = \frac{-Y}{2(X)} \quad (17)$$

Yıllık optimum transpozisyon faktörü (T_{fYopt}) ise denklem 18'den elde edilir.

$$T_{fYopt} = X(\alpha_{opt}^2) - Y(\alpha_{opt}) + Z \quad (18)$$

5. Tartışma ve Sonuç

Gaziantep bölgesi için yapılan çalışmada, realiteye en yakın sonucu veren PVSyst programına Gaziantep için denklem 10'dan elde edilen azimut açı değeri girilmiş, elde edilen transpozisyon faktörü değerleriyle birlikte panellerin eğim açılarına göre ürettikleri enerji miktarları değerlendirilmiştir. Böylece elde edilen veriler kullanılarak Gaziantep bölgesi için optimum panel eğim açısı belirlenecektir. Saat açısının aylara göre değişimi Şekil 7'de verilmektedir.

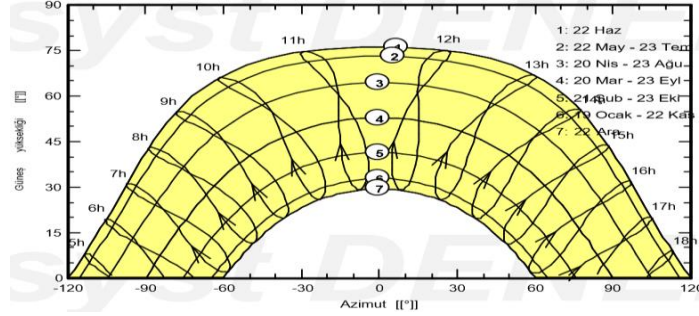


Şekil 7. Saat açısının aylara göre değişimi

Saat açısı günlük güneşlenme süreleri hakkında bilgi vermektedir. Saat açısına göre 23 Mart ve 21 Eylül tarihlerinde güneş ışınları saat 12.00'da bulunduğumuz enleme dik olarak gelmektedir. 180° de güneşin batacağı ve saat açısının tanımı yapılırken güneş'in 15° de 1 saat yol izlediği belirtilmiştir. Buradan 21 Eylül için öğle saatinden sonra yani güneş geliş açısı 90° iken güneşin ne zaman batacağı hesaplanacak olursa;

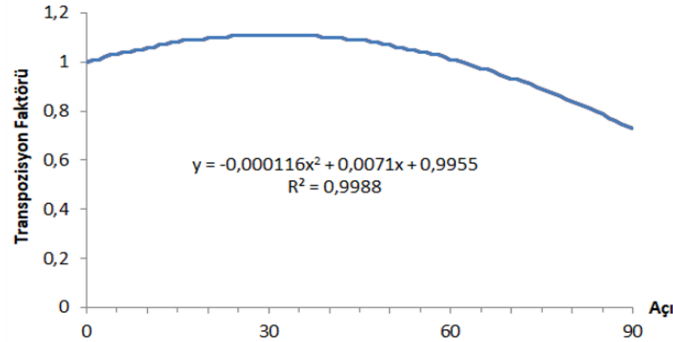
$$\frac{180-90}{15} = 6 \text{ saat sonra Güneş batacaktır.}$$

Yukarıdaki sonuca göre 23 Mart ve 21 Eylül tarihlerinde gece gündüz süreleri birbirine eşittir. Saat açısının eğrisine baktığımızda kış aylarında saat 12.00'da saat açısının 90° üstünde olduğu görülmektedir. Buda güneşin batış süresinin kısalmasından kaynaklı kış aylarında güneşlenme süresinin azaldığını, böylelikle güneş panellerinden elde edilen enerji miktarının düşeceğini belirtmektedir. Böylece, yaz aylarında kış aylarının aksine saat açısı 90°'nin altında olduğu için yaz ayları güneş panellerinden enerji elde etmek için kış aylarına göre daha elverişlidir sonucuna varılır.



Şekil 8. Güneş yolu – zaman grafiği

Şekil 8'da PVSyst programından elde edilen Güneş'in yoluna bakıldığında, güneş 22 Haziran tarihinde öğle saatlerinde ulaşabileceği maksimum yüksekliğe ulaşmış olmaktadır. Şekil 8'den yola çıkılarak çevre koşullarının yıl içerisinde aynı kaldığı varsayılırsa Güneş'ten enerji üretimi için en verimli gün 22 Haziran, en verimsiz gün ise 22 Aralık olarak görülmektedir.



Şekil 9. Yıllık transpozisyon faktörü – açı grafiği

Transpozisyon faktörünün açığa göre değişim eğrisi şekil 9'da elde edilmiştir. Transpozisyon faktörünün maksimum olduğu kısım, güneş panelinden maksimum üretimin sağlanması için gerekli olan optimum panel eğim açısıdır. Şekil 9'da elde edilen eğriden üretim için gereken optimum açı denklemi çıkarılabilir. Grafikten elde edilen eğriye göre optimum transpozisyon faktörü denklem 18'de yerine konulacak olursa;

$$T_{f_{Y_{opt}}} = -0,000116(\alpha_{opt}^2) + 0,0071(\alpha_{opt}) + 0,9955 \quad (19)$$

Buradan elde edilecek yıllık sabit optimum panel eğim açısını ($\alpha_{Y_{opt}}$) bulmak için denklemin 1. dereceden türevi alındığı zaman;

$$\frac{\partial(T_{f_{Y(\alpha)}})}{\partial(\alpha)} = -0,000232\alpha_{Y_{opt}} + 0,0071 \quad (20)$$

Burada $\frac{\partial(T_{f_{Y(\alpha)}})}{\partial(\alpha)} = 0$ alınırsa ve buradan elde edilen sonuçla birlikte optimum açı denklem 17'ye göre;

$$\alpha_{Y_{opt}} = \frac{0,0071}{-0,000232} = 30,6^\circ \quad (21)$$

Denklem 21'den elde edilen sonuçlara göre yıllık üretim miktarı en fazla 31° panel eğim açısında oluşması gerekmektedir. Tablo 3'de açılara göre yıllık enerji üretim miktarları verilmiştir.

Tablo 3. Açılara göre yıllık enerji üretim miktarları

Açılar	Üretim	T_{fY}	Açılar	Üretim	T_{fY}	Açılar	Üretim	T_{fY}
Derece	kWh	-	Derece	kWh	-	Derece	kWh	-
1	1916	1,01	16	2065	1,09	<u>31</u>	<u>2116</u>	<u>1,11</u>
2	1929	1,01	17	2071	1,09	32	2115	1,11
3	1942	1,02	18	2077	1,09	33	2115	1,11
4	1954	1,03	19	2083	1,09	34	2113	1,11
5	1966	1,03	20	2088	1,1	35	2111	1,11
6	1977	1,04	21	2092	1,1	36	2109	1,11
7	1987	1,04	22	2096	1,1	37	2109	1,11
8	1997	1,05	23	2100	1,1	38	2103	1,11
9	2007	1,05	24	2103	1,11	39	2100	1,1
10	2016	1,06	25	2107	1,11	40	2097	1,1
11	2025	1,06	26	2110	1,11	41	2092	1,1
12	2034	1,07	27	2112	1,11	42	2088	1,1
13	2043	1,07	28	2113	1,11	43	2083	1,09
14	2051	1,08	29	2115	1,11	44	2077	1,09
15	2058	1,08	<u>30</u>	<u>2116</u>	<u>1,11</u>	45	2071	1,09

Tablo 3'e göre transpozisyon faktörlerinin en yüksek olduğu değerde üretilen enerjinin maksimum olduğu görülmektedir. Şekil 9'daki transpozisyon faktörü eğrisinden elde edilen denklem 21 ile birlikte optimum açı 31° olarak elde edilmiştir. Tablo 1'de üretilen maksimum enerji miktarının 31° eğim açısında olduğu görülmektedir. Fakat enerji üretiminde 30° açıda yerleştirilen güneş panellerinin enerji üretiminde kayda değer bir fark oluşmadığı yine Tablo 1'de gösterilmiştir. Montaj sırasında kolaylık sağlamak için panelleri 30° açıyla yerleştirmek mümkündür. Kallioğlu ve ark. (2017), yatay düzleme gelen güneş ışınım değerlerini kullanarak yapmış oldukları çalışma ile yıllık transpozisyon faktörünü kullanarak yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar birbirini doğrulamaktadır [21].

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada güneş enerji santrallerinden elde edilen enerjinin, panellerin optimum açıyla yerleştirilmesiyle birlikte daha verimli çalışması amaçlanmıştır. Optimum açının belirlenmesinde daha önceki çalışmalarda realiteye daha yakın sonuç elde ettiği görüldüğü için Perez transpozisyon modeli yardımıyla elde edilen transpozisyon faktörleri kullanılmıştır. Elde edilen transpozisyon faktörleri göz önünde bulundurulduğu zaman optimum açı değeri 31° olarak elde edilmiştir. PVSyst programından açılara göre üretim değerleri karşılaştırılmış ve 30° panel eğim açısında üretilen enerji miktarının 31° panel eğim açısına göre farkının kayda değer olmadığı belirlenmiştir. Son olarak üretim maliyetini düşürmek için, yerleştirilecek olan panellerin 30° açıda yerleştirilebileceğine karar verilmiştir.

Kısaltmalar

- G_{YE} : Eğimli yüzeye gelen toplam global radyasyon miktarı
 ω_0 : Saat açısı
 G_{YY} : Yıllık toplam global radyasyon miktarı
 T_{fY} : Yıllık transpozisyon faktörü
 G_{BA} : Güneş batış açısı
 N : Gün sayısı
 ϕ : Enlem açısı
 ZD : Zaman denklemi
 α : Eğim açısı
 β : Yükseklik açısı
 δ : Deklinasyon açısı
 ω : Günlük saat açısı
 A : Azimut açısı

Kaynakça

- [1] Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., & Uğurlu, İ. (2018). dünyada ve türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(692), 86-114.
- [2] Tanç, B., Arat, H. T., Baltacıoğlu, E., & Aydın, K. (2019). Overview of the next quarter century vision of hydrogen fuel cell electric vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(20), 10120-10128.
- [3] Tanç, B., Arat, H. T., Conker, Ç., Baltacıoğlu, E., & Aydın, K. (2019). Energy distribution analyses of an additional traction battery on hydrogen fuel cell hybrid electric vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- [4] Arat, H. T., Baltacıoğlu, M. K., Tanç, B., Süreç, M. G., & Dincer, I. (2020). A perspective on hydrogen energy research, development and innovation activities in Turkey. *International Journal of Energy Research*, 44(2), 588-593.
- [5] Öksel, C., Koç, Y., Yağlı, H., & Koç, A. (2018) Kuantum Noktalı Güneş Hücreleri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 174-182.
- [6] Polat, Y., Yağlı, H., & Koç, Y. (2019). Bir Ameliyathanenin İklimlendirilmesi Süresince Hava Akımının Modellenmesi. *European Journal of Science and Technology*, 15, 420-432.
- [7] Polat, Y., Yağlı, H., & Koç, Y. (2019). Bir Ameliyathanenin İklimlendirilmesinde Üfleme Hızının Sayısal Analizi ve Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 605-619.
- [8] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İstatistikleri Raporu (Erişim Tarihi: 10 Mart 2020) <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/EIGM-Raporlari>.
- [9] Yağlı, H., Karakuş, C., Koç, Y., Çevik, M., Uğurlu, İ., & Koç, A. (2019). Designing and exergetic analysis of a solar power tower system for Iskenderun region. *International Journal of Exergy*, 28(1), 96-112.
- [10] Ustun, I., Karakus, C., & Yagli, H. (2020). Empirical models for estimating the daily and monthly global solar radiation for Mediterranean and Central Anatolia region of Turkey. *International Journal of Global Warming*, 20(3), 249-275.
- [11] Yağlı, H. (2020). Examining the receiver heat loss, parametric optimization and exergy analysis of a solar power tower (SPT) system. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(17), 2155-2180.
- [12] Güneş Sistemleri, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Raporu (Erişim Tarihi: 30 Ocak 2020) <http://www.gunessistemleri.com/potansiyel.php>
- [13] Enerji Atlası, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası (Erişim Tarihi: 30 Ocak 2020) <https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/gaziantep>
- [14] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA). (Erişim Tarihi: 30 Ocak 2020). <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/27.aspx>.
- [15] Karafil, A., Ozbay, H., Kesler, M., & Parmaksız, H. (2015, November). Calculation of optimum fixed tilt angle of PV panels depending on solar angles and comparison of the results with experimental study conducted in summer in Bilecik, Turkey. In *2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)* (pp. 971-976). IEEE.
- [16] Geyer, M., & Stine, W. B. (2001). Power from the Sun (Powerfromthesun. net). *JT Lyle Center*.
- [17] Chou, Y., Sheng, Y., & Zhu, Y. (2012). Study on the relationship between the shallow ground temperature of embankment and solar radiation in permafrost regions on Qinghai–Tibet Plateau. *Cold regions science and technology*, 78, 122-130.
- [18] Öztürk, H. H. (2008). *Güneş enerjisi ve uygulamaları*. Birsen Yayınevi.
- [19] National Aeronautics and Space Administration (NASA), NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. (Erişim Tarihi: 22 Ocak 2020) <https://power.larc.nasa.gov/>.
- [20] Ekanem, O. D., & 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.
- [21] Kallioğlu M. A., Ercan, U., Avci, A. S., & Karakaya, H. (2017). Optimization of tilt angle for solar panel. *2 nd International Energy & Engineering Conference*, Gaziantep (pp. 180-186).