

Panel Konumu ve Açısının Fotovoltaik Panel Karakteristiği Üzerine Etkisi

Kadir GELİŞ^{1*}, Eda Feyza AKYÜREK², Mehmet YOLADI²

ÖZET: Enerji kaynaklarının hızla tükendiği ve enerji verimliliğinin her geçen gün daha da önemli olduğu günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının temel unsuru olan güneşten maksimum faydayı sağlamak ve güneşten faydalanan sistemlerin daha anlaşılır hale gelmesi hakkında çalışmalar yapmak kaçınılmazdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan fotovoltaik hücreler içinde bulunan yarı iletken malzemeler vasıtasıyla güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Bitmez tükenmez bir enerji kaynağı olarak anılan güneşten maksimum faydanın sağlanması ve güneş ışınlarından enerji elde edilmesi konusu bilim insanlarının temel ilgi alanlarından birisi haline gelmiştir. Bu çalışmada da yapay bir ışık kaynağı kullanılarak 120 W gücündeki bir fotovoltaik panelin yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik paneller arasındaki mesafe (0.8 m-1.4 m-2 m) ve yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik paneller arasındaki açının (0°- 20°- 40°) değişimi ile fotovoltaik panel karakteristiği arasında deneysel bir çıkarım yapmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlar yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik panel arasındaki mesafenin artması ile güç üretiminin azaldığını ve fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağı arasındaki açının artışı ile güç üretiminin azaldığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: panel açısı, panel konumu, fotovoltaik panel karakteristiği, polarizasyon eğrisi

Effect Of Panel Position And Angle On Photovoltaic Panel Characteristics

ABSTRACT: In today's world, where energy resources are rapidly depleted and energy efficiency is becoming more and more important, it is inevitable to work on providing the maximum benefit from the sun, which is the main element of renewable energy sources, and to make the systems benefiting from the sun more understandable. It converts solar radiation into electrical energy by means of semiconductor materials in photovoltaic cells, one of the renewable energy sources. The issue of providing maximum benefit from the sun, which is known as an inexhaustible energy source, and obtaining energy from the sun rays has become one of the main areas of interest of scientists. In this study, by using an artificial light source, the distance between the artificial light source and photovoltaic panels (0.8 m-1.4 m-2 m) of a 120 W photovoltaic panel and the angle between the artificial light source and photovoltaic panels (0 °- 20 °- 40 °) and an experimental inference between the photovoltaic panel characteristic. The results showed that power generation decreased with increasing distance between the artificial light source and the photovoltaic panel, and the power generation decreased with the increase in the angle between the photovoltaic panel and the artificial light source.

Keywords: panel angle, panel position, photovoltaic panel characteristic, polarization curve

¹ Kadir GELİŞ (Orcid ID: 0000-0001-8612-2233), Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

² Eda Feyza AKYÜREK (Orcid ID: 0000-0003-4007-6846), Mehmet YOLADI (Orcid ID: 0000-0002-4729-0768), Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Kadir GELİŞ, e-mail: kadirgelis@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Elektrik neredeyse her yerde kullanıldığı için günlük yaşantımız için çok önemlidir. Artan nüfus oranıyla ilişkili olarak elektriğe talep artmaktadır. Artan nüfusun yanı sıra, çevreye duyarlı yeni ürünlerdeki (örneğin elektrikli araçlar) araştırma, geliştirme ve yenilikler de elektrik talebini artırmıştır. Bu nedenle, daha fazla elektriğin temin edilmesi çok gereklidir (Saracoglu ve ark., 2018). Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) 2014'e göre, toplam enerji talebinin 2012 ile 2035 yılları arasında % 32 artması bekleniyor. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının (hidroelektrik, jeotermal, rüzgâr, güneş, okyanus vb.) aynı dönemlerde % 73 artarken, yenilenemeyen enerji kaynakların gelecekte tükeneceği öngörülüyor. Mevcut santraller tarafından üretilen elektrik enerjisi nüfus gereklilikleri için yetersizdir, bu nedenle çevre dostu alternatif bir elektrik kaynağı bulunmalıdır. Sonuç olarak artan küresel ısınma ve zararlı çevresel gaz emisyonlarının yanı sıra fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi, birçok politikacı ve araştırmacıyı gelecekteki tüketim için alternatif enerji kaynakları aramaya motive etmiştir. Ayrıca son yıllarda, küresel toplumu yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanmaya zorlayan iklim değişikliği tehlikeleri ve enerji güvenliği konularında artan farkındalık olmuştur. Güneş enerjisi teknolojilerinin kullanımı, CO₂ emisyonlarını azaltarak ve fosil yakıt enerji santrallerinden kaynaklanan kirliliği azaltarak çevremize yardımcı olabilir. Fotovoltaik hücreler, güneş radyasyonunu elektriğe dönüştürmek için kullanılan yaygın bir güneş enerjisi teknolojisidir. Fotovoltaik (PV) hücrelerin performansı büyük ölçüde yönüne, hücre eğim açısına, optik ve geometrik özelliklere, makro ve mikro iklim koşullarına, coğrafi konuma ve kullanım süresine bağlıdır (Gopinathan, 1991). Bununla birlikte, PV sistemleri için optimal özelliklerin (ör. Boyut, yer) belirlenmesi araştırmacılar için önemli bir sorundur. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak PV sistemlerde fotovoltaik hücrelerin kullanılması ile santrallerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi elde etmesi amaçlanmaktadır. Ancak güç üretiminin değişken yapısından dolayı maksimum enerjiye ihtiyaç durumunda daha dik bölgelere ve daha sık şekilde yerleştirilmesi, ayrıca yedekleme kapasitesine duyulan ihtiyaç nedeniyle elektrik sistemleri için ek maliyetleri beraberinde getirmiştir. Bu maliyetleri azaltmanın bir yolu da tüm sistemdeki PV'den toplam üretimi artırmak için PV panellerinin kurulum açılarının, güneş ışınlarını dik alabilecek şekilde farklı konumlandırılması olabilir. Eğim açılarının üretimi yaz ve kış aylarında değişebilir ve azimutun doğudan batıya değişimi gün içinde üretimi kısmen değiştirebilir, sabah veya öğleden sonra saatlerinde üretimi artırabilir. Bununla birlikte, sabit monteli PV panelleri için, yıl boyunca PV panelinin toplam çıktısını en üst düzeye çıkaran bir açı kombinasyonu vardır ve bu açı kombinasyonundan her sapma toplam çıktı kaybına yol açar (Hartner ve ark., 2015). Son yıllarda, literatürde güneş pilleri ve güneş kolektörleri için optimum eğim açısını içeren çalışmalar yapılmıştır. Birçok çalışma, fotovoltaik hücre oryantasyonu ve eğiminin performansı üzerindeki etkisine odaklanmaktadır; PV dizilerinin yatay olarak açısı olarak tanımlanan eğim açısı, sabit bir PV dizisinin toplanabilir radyasyonunu etkileyen baskın bir parametredir. Morad ve arkadaşları (2018) Bağdat'ta bulunan 3 ilde fotovoltaik hücreler için hem aylık hem de yıllık optimum eğim açısını tahmin etmek için çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, matematiksel modeller, elde edilen maksimum güneş enerjisi yoğunluğuna bağlı olarak optimum eğim açısını bulmak için mühendislik denklem çözücü EES tarafından kullanılmış ve programlanmıştır; eğim açısı 0 ° ila 90 ° arasındadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, tüm bu şehirler için optimum eğim açısının 31 ° için aynı olduğunu göstermektedir. Aylık eğim açısının bir aydan diğerine farklı olduğu belirtilmiştir. Soulayman (1991) ise yaptığı çalışmada optimum eğim açısı neredeyse enleme eşit olduğunu belirtmiştir. Vilela (2003) ve arkadaşları toplanan günlük güneş enerjisinin, doğu-batı izleme sistemine sahip bir güneş PV panelinde sabit bir sisteme göre %19-24 daha yüksek olduğu bildirmiştir. Ulgen (2006) PV dizisinin optimum oryantasyonunun, kuzey yarımkürede güneşe bakan ekvatora doğru

yönlendirilmesi gerektiğini ve optimum eğim açısının sadece enleme bağlı olduğunu bildirmiştir. Skeiker (2009) yaptığı çalışmada Suriye'de yılda 12 kez PV hücresinin eğim açısının değişmesinin, yatay bir yüzeye sabitlenmiş bir güneş kolektöründen yaklaşık %30 daha fazla güneş radyasyonu sağladığını göstermiştir. Kacira ve ark. (2004) ve arkadaşları Şanlıurfa'da (37° Kuzey) birincisi sabit bir eğim açısında ve ikincisi iki eksenli bir güneş takip sistemine monte edilmiş iki PV paneli kullanarak, PV panellerin optimum eğim açısını araştırdı. Sonuçlarına göre, aylık optimum eğim açısı Haziran'da 13° ile Aralık'ta 61° arasında değişmektedir. Karanfil ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çalışmada Bilecik şehri için eğim açıları güneş açıları kullanılarak hesaplanmış ve eğim açılarının matematiksel değerleri deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. PV panellerinin güneş açılarına bağlı olarak aylık, mevsimsel ve yıllık optimum sabit eğim açılarını matematiksel analiz ile hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada ise, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos için optimum sabit eğim açıları, 10°, 20°, 30°, 40°, 50° ve 60° eğim açılarına yerleştirilen PV paneller ile belirlenmiştir. Sonuçlar da deneysel sonuçların matematiksel sonuçlardan yaklaşık 11° farklı olduğunu belirtilmiştir. Farkın, sıcaklık, toz ve kir gibi bazı çevresel faktörlerden kaynaklandığı düşünülmüştür. PV panellerinden maksimum güç elde etmek için panellerin optimum eğim açısını belirlemede toz gibi çevresel faktörlerin de dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Emin (2017) tarafından yapılan çalışmada farklı eğim açılarındaki ünitelerin (15°-30°-45° ve 60°), üretmiş oldukları enerjinin miktarı anlık, günlük ve aylık hesaplanmıştır ve karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçta elde edilen verilere göre eğim açısının etkisiyle oluşan enerji miktarındaki farklılık % olarak belirlenmiştir. Panellerin yıl boyunca 15° eğimle konumlandırılması durumunu diğer açılar ile kıyaslandığında yılın ilk 4 ve son 4 ayı yaklaşık % 7-10 enerji kayıplarına yol açtığı diğer 4 aylık sürede diğer eğim açılarına göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Literatürden de anlaşılacağı üzere PV paneller ile kaynak arasındaki etkileşim oldukça önemlidir. PV panel ile ışık kaynağı arasındaki açı, panelin doğru konumlandırılması ancak bu etkileşimin doğru anlaşılması ile mümkündür. Yanlış projelendirilmiş PV santrallerinde birçok olumsuzlukla karşılaşılır, bunların en başında parametrelerin doğru seçilmemesinden kaynaklı amorti sürelerinin uzamasıdır. Mevcut santrallerden birim zamanda alınan enerji miktarını artırarak bu amorti sürelerini kısaltmak optimum yerleşim yeri ve optimum açıların elde edilmesi ile iyileştirilebilir.

Bu çalışmada da yapay bir ışık kaynağı kullanılarak 120 W gücündeki bir fotovoltaik panelin yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik paneller arasındaki mesafe (0.8 m-1.4 m-2 m) ve yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik paneller arasındaki açının (0°-20°-40°) değişimi ile fotovoltaik panel karakteristiği arasında deneysel bir çıkarım yapmak üzere çalışmalar yapılmış ve bu farklı durumlar için polarizasyon eğrileri elde edilerek yorumlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

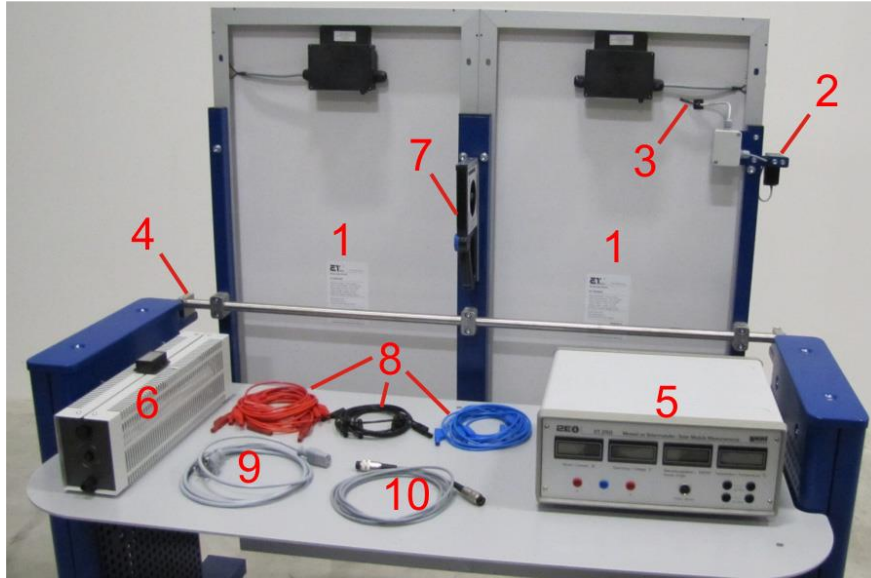
Deneyler esnasında kullanılan deney setinin genel görüntüsü Şekil 1'de, deney düzeneğini oluşturan temel bileşenler ise Şekil 2'de verilmiştir.

Deney setinde 8 kW gücünde yapay ışık kaynağı kullanılmıştır. Yapay ışık kaynağı ile oluşturulan ışının yüzeye düşen miktarı piranometre ile ölçülmüştür. Hem deney seti hem de yapay ışık kaynağı tekerlekli ve hareket edebilir kabiliyettedir. Yapay ışık kaynağı ve panel arasındaki mesafe bu iki sistem uygun konuma alınarak yapılmıştır. Sistem üzerinde panelin hareket etmesini sağlayan ve üzerinde dijital açölçer bulunan mekanizma bulunmaktadır. Yapay ışık kaynağı ve panel arasındaki açı bu açölçer kullanılarak manuel olarak oluşturulmuştur. Sistemin açık devre voltajı 18 V'tur, açık devre voltajından daha düşük voltajlara inebilmeyi sağlamak amacıyla sistemde 20A'lik bir reosta bulunmaktadır. Sistem tarafından oluşturulan gerilim, akım ve ışınım yoğunluğu değerlerinin

kaydedildiği bir veri toplama ünitesi bulunmaktadır. Şekil 2 de numaralandırılarak sunulan deney sisteminin temel ekipmanları Çizelge 1’de verilmiştir.



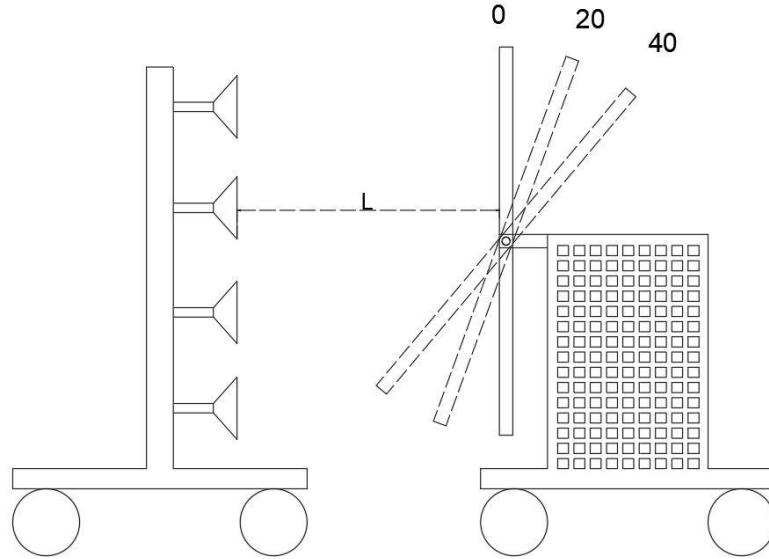
Şekil 1. Deney düzeneğinin genel görüntüsü



Şekil 2. Deney düzeneğinin bileşenleri

Çizelge 1. Deney setinde kullanılan temel ekipmanlar

Ekipman	Ekipman İsmi
1	Fotovoltaik Modüller
2	Piranometre
3	Sıcaklık Sensörü
4	Açı ayarlamak için sıkma bloğu
5	Veri toplama ünitesi
6	Reosta
7	Dijital açı ölçęi
8	Bağlantı Kabloları
9	Güç Kablosu
10	Veri toplama ünitesi baęlantı kablosu



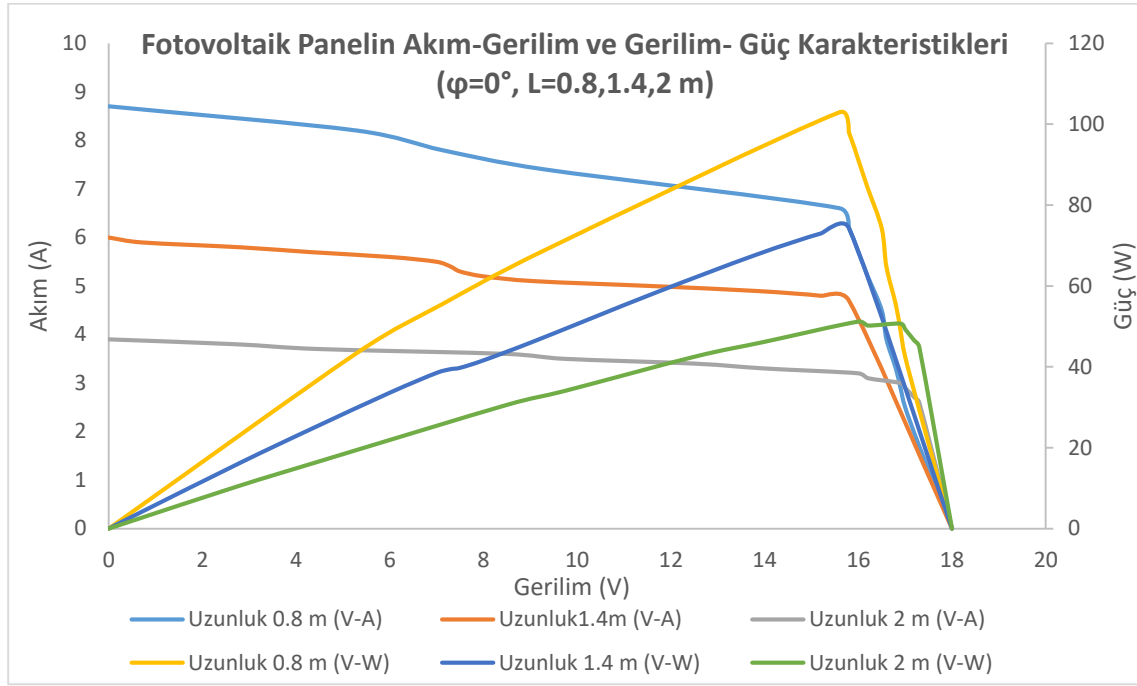
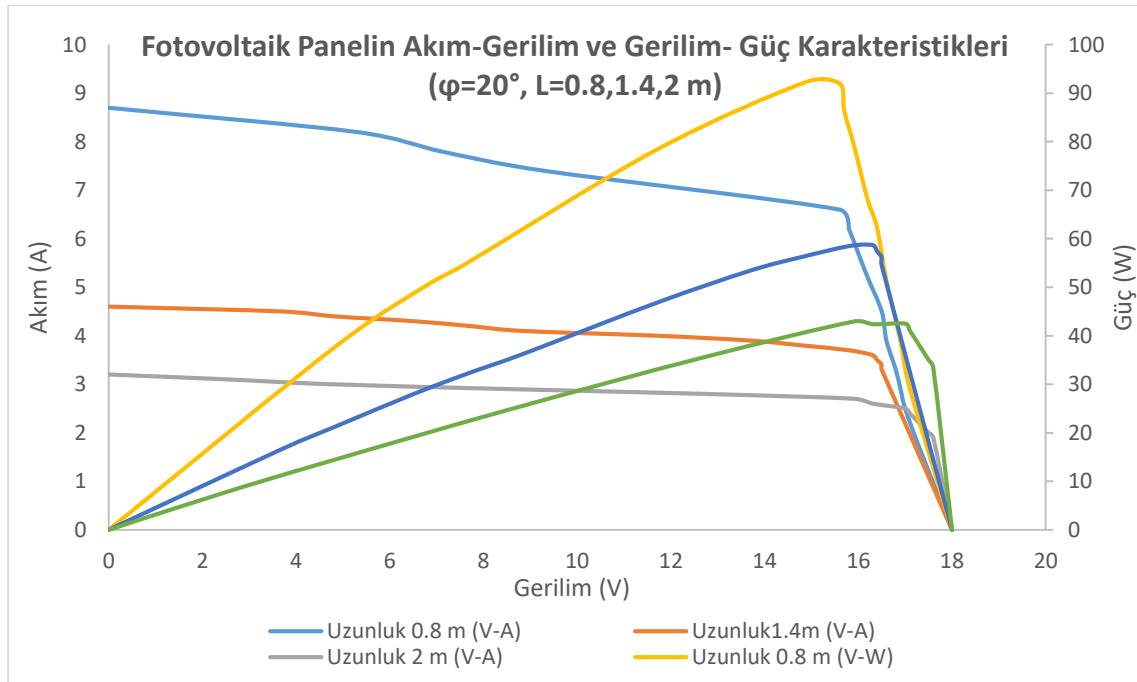
Şekil 3. Farklı mesafe ve açı değerlerinin gösterimi

Şekil 3'te verilen L yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik panel arasındaki mesafenin değerini temsil etmektedir. Deneylerde mesafe 0.8 m, 1.4 m ve 2 m olarak ölçümler yapılmıştır. Yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik panel arasındaki açı ise şekilde gösterildiği üzere 0°, 20° ve 40° derece olarak değiştirilmiştir.

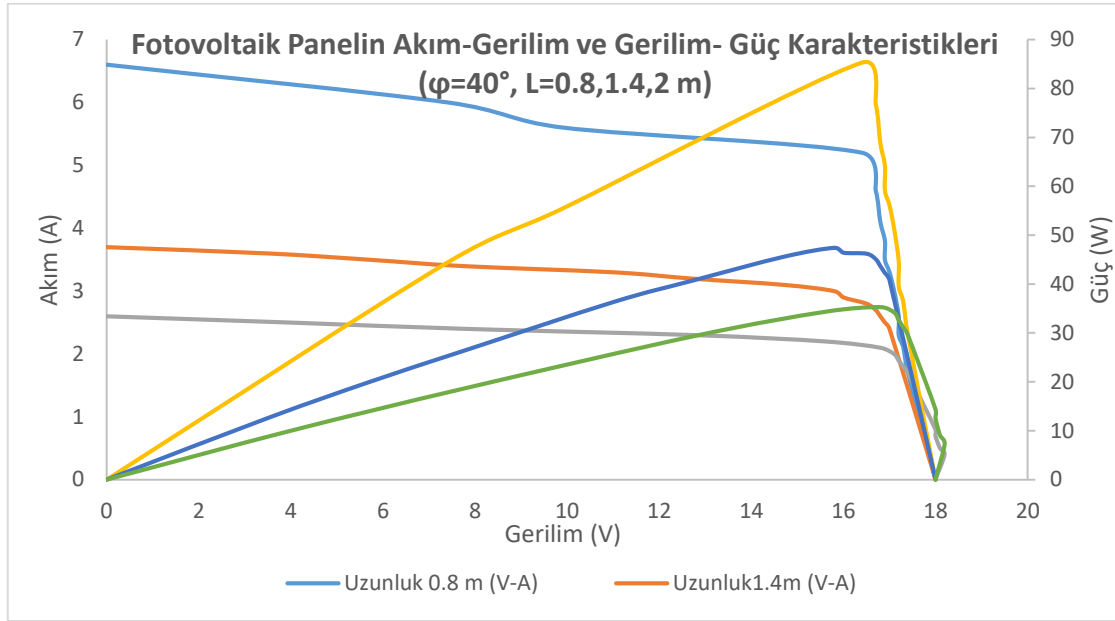
BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneylerin belirtilen parametreler dikkate alınarak tamamlanması ile farklı durumlar için elde edilen polarizasyon eğrileri Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiş ve yorumlanmıştır.

Şekil 4'te Φ değerinin 0° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere mesafenin artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0.8 metreden 1.4 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 102.96'dan 74.26 ya düşmüştür. 0.8 metreden 2 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 102.96'dan 50.7 ye düşmüştür.

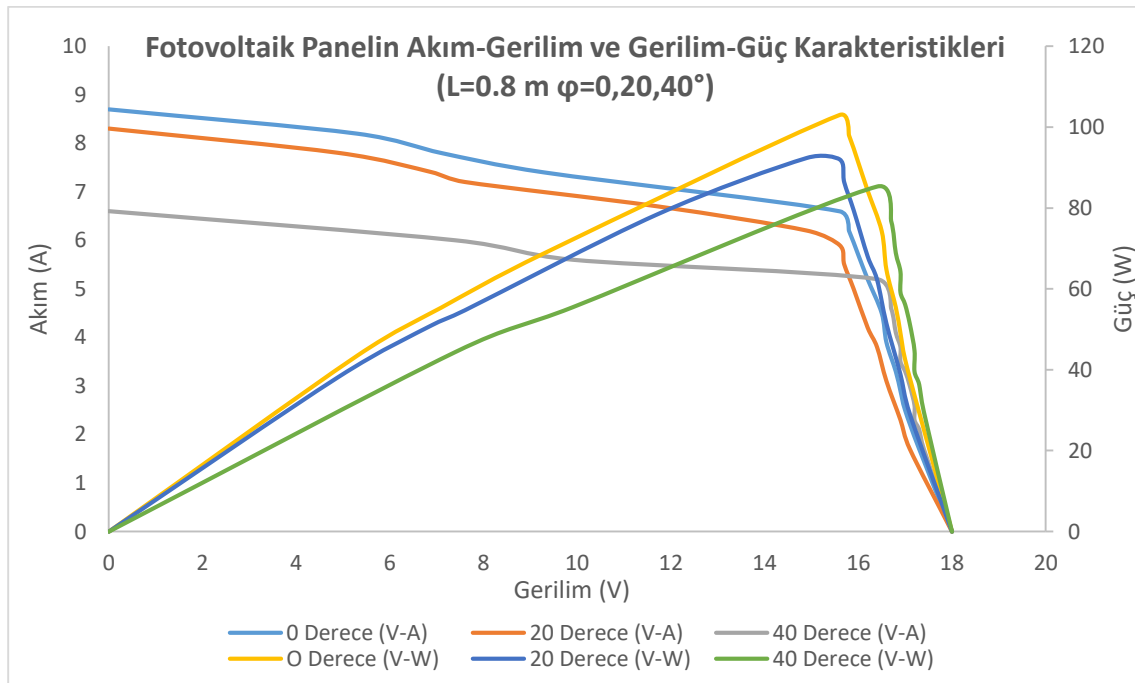
Şekil 4. $\Phi=0$, $L=0.8, 1.4, 2$ m için polarizasyon eğrileriŞekil 5. $\Phi=20$, $L=0.8, 1.4, 2$ m için polarizasyon eğrileri

Şekil 5'te Φ değerinin 20° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere mesafenin artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0.8 metreden 1.4 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 92.38 den 58.68 e düşmüştür. 0.8 metreden 2 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 92.38 den 42.5'e düşmüştür.



Şekil 6. $\Phi=40$, $L=0.8, 1.4, 2$ m için polarizasyon eğrileri

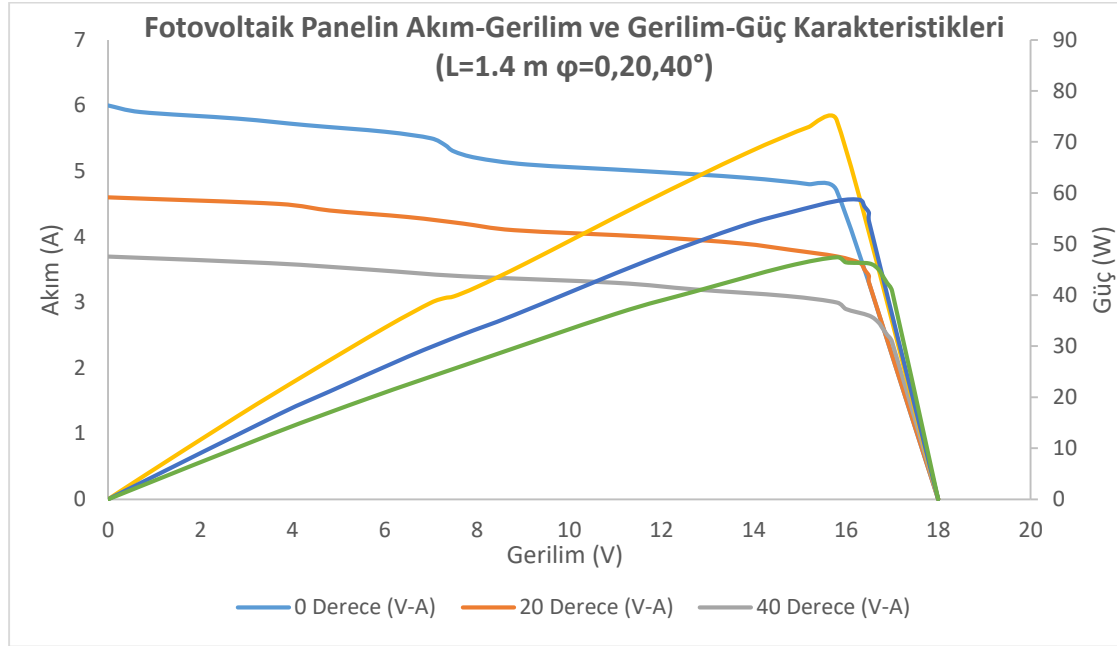
Şekil 6'da Φ değerinin 40° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere mesafenin artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0.8 metreden 1.4 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 85.28 den 47.4'e düşmüştür. 0.8 metreden 2 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 85.28 den 35.28'e düşmüştür.



Şekil 7. $L=0.8$ m, $\Phi = 0, 20, 40^\circ$ için polarizasyon eğrileri

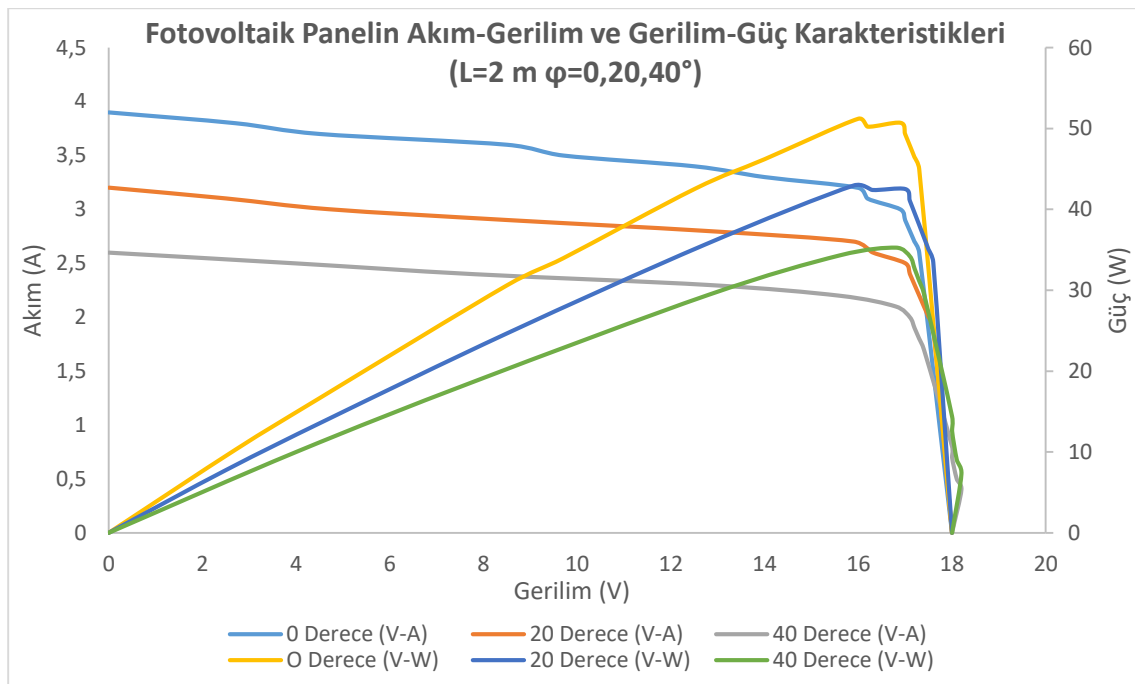
Şekil 7'de L değerinin 0.8 m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0, 20 ve 40° olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere açının artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen

akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0° den 20° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 102.96'dan 92.38'e düşmüştür. 0° den 40° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 102.96'dan 85.28'e düşmüştür.



Şekil 8. L=1.4 m, $\Phi =0, 20, 40^\circ$ için polarizasyon eğrileri

Şekil 8'de L değerinin 1.4 m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının $0, 20$ ve 40° olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere açının artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0° den 20° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 74.26' dan 58.68'e düşmüştür. 0° den 40° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 74.26' dan 47.4'e düşmüştür.



Şekil 9. L=2 m, $\Phi =0, 20, 40^\circ$ için polarizasyon eğrileri

Şekil 9'da L değerinin 2 m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0, 20 ve 40° olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere açının artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0° den 20° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 50.7'den 42.5'a düşmüştür. 0° den 40° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 50.7'den 35.28'e düşmüştür.

SONUÇ

Nüfusun, sanayileşmenin ve konfor seviyesinin artışı ile birlikte enerjiye olan talepte sürekli artmaktadır. Bu sebeple enerjinin verimli kullanılması ve doğru projelendirmeler çok önemli hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan fotovoltaik hücreler hakkında yapılan bu deneysel çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik panel arasındaki mesafenin artması ile güç ve akım üretiminin azalmıştır
- Yapay ışık kaynağı ile Fotovoltaik panel arasındaki açının artışı ile güç ve akım üretiminin azalmıştır
- Φ değerinin 0° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 102.96, 74.26, 50.7 olarak tespit edilmiştir. Yani uzaklık 1.75 kat artırıldığında(0.8 den 1.4 m ye) güç değerinde % 27,87'lik bir azalma, uzaklık 3.125 kat artırıldığında(0.8 den 2 m ye) güç değerinde %50.76'lık bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Φ değerinin 20° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 92.38, 58.68, 42.5 olarak tespit edilmiştir. Yani uzaklık 1.75 kat artırıldığında(0.8 den 1.4 m ye) güç değerinde % 36.48'lik bir azalma, uzaklık 3.125 kat artırıldığında(0.8 den 2 m ye) güç değerinde % 54'lük bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Φ değerinin 40° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 85.28, 47.4, 35.28 olarak tespit edilmiştir. Yani uzaklık 1.75 kat artırıldığında(0.8 den 1.4 m ye) güç değerinde %44.4'lük bir azalma, uzaklık 3.125 kat artırıldığında(0.8 den 2 m ye) güç değerinde % 58.63'lük bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- L değerinin 0.8m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0°, 20° ve 40° olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 102.96, 92.38, 85,28 olarak tespit edilmiştir. Yani açı 0° den 20° ye çıkarıldığında güç değerinde %10.28'lik bir azalma, açı 0° den 40° ye çıkarıldığında güç değerinde %17.17'lik bir azalma meydana gelmiştir.
- L değerinin 1.4 m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0°, 20° ve 40° olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 74.26, 58.68, 47.4 olarak tespit edilmiştir. Yani açı 0° den 20° ye çıkarıldığında güç değerinde %29.98'lik bir azalma, açı 0° den 40° ye çıkarıldığında güç değerinde %36.17' lik bir azalma meydana gelmiştir.
- L değerinin 2m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0°, 20° ve 40° olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 50.7, 42.5, 35.28 olarak tespit edilmiştir. Yani açı 0° den 20° ye çıkarıldığında güç değerinde %16.17'lik bir azalma, açı 0° den 40° ye çıkarıldığında güç değerinde % 30.41'lik bir azalma meydana gelmiştir.
- Yukarıdaki sayısal verilerden de anlaşılacağı üzere uzaklıktan ziyade panel ile ışık kaynağının etkileşim açılarının performansına olan etkisi daha fazladır. Bu sonuç bize yapılan projelendirmelerde ışık kaynağı ile panel arasındaki açılardırmanın çok önemli olduğu çıkarımını sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Morad A, Al-Sayyab A. M, Abdulwahid M. A, 2018. Optimisation of tilted angles of a photovoltaic cell to determine the maximum generated electric power: A case study of some Iraqi cities. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12(July), 484–488.
- Bilgili M, Dağtekin M. 2017. Fotovoltaik Piller İle Elektrik Üretiminde Uygun Eğim Açısının ve Yıllık Oluşan Enerji Farkının Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6 (Özel Sayı (BSM 2017)), 156-167.
- Gopinathan K, 1991. Optimization Of Tilt Angle Of Solar Collectors For Maximum Irradiation On Sloping Surfaces. *International Journal of Solar Energy*, 10(1–2): 51–61.
- Hartner M, Ortner A, Hiesl A, Haas R, 2015. East to west - The optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from an electricity system perspective. *Applied Energy*, 160: 94–107.
- Kacira M, Simsek M, Babur Y, Demirkol S, 2004. Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. *Renewable Energy*, 29(8): 1265–1275.
- Karafil A, Ozbay H, Kesler M, Parmaksiz H, 2016. 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. *ELECO 2015 - 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 971–976.
- Saracoglu B, Ohunakin O, Adelekan O. S, Gill D. S, Atiba J, Okokpujie O. E, Atayero A. A, 2018. A framework for selecting the location of very large photovoltaic solar power plants on a global/supergrid. *Energy Reports*, 4: 586–602.
- Skeiker K, 2009. Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria. *Energy Conversion and Management*, 50(9): 2439–2448.
- Soulayman S. S, 1991. On the optimum tilt of solar absorber plates. *Renewable Energy*, 1(3–4): 551–554.
- Ulgen K, 2006. Optimum tilt angle for solar collectors. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 28(13): 1171–1180.
- Vilela O. C, Fraidenraich N, Tiba C, 2003. Photovoltaic pumping systems driven by tracking collectors. Experiments and simulation. *Solar Energy*, 74(1): 45–52.