




Güneş panellerinin üretim ve kurulum süreçlerinde verimliliği belirleyen faktörlerin analizi

Analysis of factors determining efficiency in the production and installation processes of solar panels

Gamze Güven¹ , Ayşe Kocalmış Bilhan^{2,*} 

^{1,2} Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 50200, Nevşehir Türkiye

Öz

Dünya enerji talebinin artmasıyla birlikte, sınırlı fosil yakıt kaynakları ve bunların çevresel etkileri göz önüne alındığında, güneş enerjisi alternatif bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, fotovoltaik panellerin verimliliği üzerindeki etkilerin daha detaylı bir şekilde anlaşılması, güneş enerjisi teknolojisinin geliştirilmesi ve daha verimli enerji üretimi için önem taşımaktadır. Güneş panellerinin tasarımında kullanılan malzemelerin seçimi, üretim teknikleri ve test süreçlerinin, panelin nihai verimliliği üzerinde belirleyici olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, güneş paneli tasarımı ve üretimindeki değişkenlerin verimlilik üzerindeki etkilerin sistematik bir şekilde analiz edilmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan güneş panelleri üzerinde, Sun-Simulator cihazı kullanılarak farklı durumlar için testler yapılarak, bu panellere ait akım-gerilim (I-V) karakteristikleri elde edilmiştir. Gölgeleme, kirlilik, gibi çevresel faktörler ile çeşitli fiziksel faktörlerin güneş panellerinin verimliliği üzerindeki etkileri de detaylı bir şekilde incelenmiş ve analiz edilmiştir. Bu çalışma, güneş enerjisi teknolojisini verimliliğini artırmaya ve sürdürülebilir enerji uygulamalarını optimize etmeye katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Anahtar kelimeler: Enerji, Fotovoltaik panel, Güneş panelleri, Kayıplar, Solar hücreler, Verim.

1 Giriş

Güneş enerjisi, çağımızın en önemli ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından biri olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Dünya enerji talebinin artmasıyla birlikte, fosil yakıtların sınırlı kaynakları ve çevresel etkileri göz önüne alındığında, güneş enerjisi alternatif bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, fotovoltaik panellerin verimliliği üzerindeki etkilerin daha detaylı bir şekilde anlaşılması, güneş enerjisi teknolojisini geliştirilmesi ve daha verimli enerji üretimi için hayati önem taşımaktadır [1,2].

Yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik enerjisi üretiminde giderek artan bir öneme sahiptir. Hidroelektrik enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji gibi çeşitli kaynaklar, elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Güneş enerjisi, fotovoltaik

Abstract

With the increasing global energy demand and the limited fossil fuel resources along with their environmental impacts, solar energy emerges as an alternative solution. In this context, a more detailed understanding of the factors affecting the efficiency of photovoltaic panels is crucial for the development of solar energy technology and more efficient energy production. It is well known that the choice of materials used in the design of solar panels, production techniques, and testing processes are decisive for the final efficiency of the panel. Therefore, this study aims to systematically analyze the effects of variables in the design and production of solar panels on their efficiency. By conducting tests on the designed solar panels using a Sun-Simulator device, the current-voltage (I-V) characteristics of these panels under different conditions were obtained. The effects of environmental factors such as shading and pollution, as well as various physical factors, on the efficiency of solar panels were also examined and analyzed in detail. This study aims to contribute to enhancing the efficiency of solar energy technology and optimizing sustainable energy practices.

Keywords: Efficiency, Energy, Losses, Photovoltaic panel, Solar cells, Solar panels.

hücreler vasıtasıyla güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürken, rüzgar enerjisinde mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi durumu söz konusudur. Bu ve benzer doğal kaynakların elektrik enerjisi üretiminde kullanılması, gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki rolünün daha da önemli bir hale geleceğini göstermektedir [3,4].

Güneş enerjisi, sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra, dünya genelinde bol miktarda bulunması nedeniyle kullanımı yaygınlaşmaktadır [5,6]. Taşınabilir cihazlardan, araçlara, konutlardan şebekeye bağlanmalarına kadar hemen her alanda kullanımı yaygınlaştırılmakta ve güneş enerjisi teknolojileri yapılan çalışmalarla sürekli geliştirilmektedir [7].

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan fotovoltaik sistemler ise güneş enerjisini elektrik enerjisine

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: akbilhan@nevsehir.edu.tr (A. Kocalmış Bilhan)
Geliş / Received: 19.08.2024 Kabul / Accepted: 04.09.2024 Yayınlanma / Published: 15.10.2024
doi: 10.28948/ngumuh.1535918

dönüştüren özel fotovoltaik hücrelerden oluşur. Bu hücreler, doğrudan güneş ışığını emerek düşük gerilim ve akımda elektrik üretir. Ancak, üretilen bu elektrik enerjisinin pratik olarak kullanılabilmesi için fotovoltaik hücrelerin belirli bir düzen içerisinde birleştirilmesi gerekir. Fotovoltaik hücreler, öncelikle paralel ve seri bağlantılarla modüller oluşturur. Bu modüller, yine seri ve paralel bağlantılarla bir araya getirilerek PV panelleri meydana getirir. Son olarak, PV panellerinin benzer şekilde birbirine bağlanmasıyla daha büyük ölçekli diziler oluşturulur. Bu yapı sayesinde güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi, çeşitli uygulamalarda kullanılabilir hale gelir [8, 9]. 2000'li yıllara kadar güneş hücresinin gelişiminde oldukça hızlı bir ilerleme olmuştur. 2000'li yılların ortalarından itibaren ise, ince film güneş hücreleri gibi yeni teknolojilerin geliştirilmesi hız kazandı. Bu tür güneş hücreleri, geleneksel silikon tabanlı hücrelere kıyasla daha düşük maliyetlerle üretilebilir ve çeşitli uygulama alanlarında esneklik sağlamaktadır. 2007'de, Lungenschmied ve arkadaşları, poli(3,4-etilendioksitiyofen) ve polistiren sülfonat kullanarak esnek yüzeylere kaplanabilen bir güneş pilinin verimini %1,5 olarak belirlemiştir [10]. Liang ve meslektaşları, thienolitiyofen ve benzo ditiyofen kullanarak geliştirdikleri güneş pilleri ile %7,4'lük bir verim elde etmiştir [11]. Polyera adlı Amerikan firması, PEDOT-PSS polimer malzemesi kullanarak organik tabanlı güneş pillerinde %9,1 verim elde etmiştir [12]. Tascioglu'nun Bursa ilinde monokristal ve polikristal güneş panellerinin karşılaştırılması üzerine yapılan bir araştırmada ise, toplam ve direkt güneş ışınım değerlerinin belirlendiği ve panellerin zamana ve toplam ışınımına bağlı güç değerlerinin hesaplandığı ortaya çıkmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, her iki panel türü de aynı toplam güneş ışınımı değeri olan 1001.13 W/m² altında değerlendirilmiştir. Bu koşullar altında, monokristal güneş panelinden elde edilen ortalama güç miktarı 87.14 W iken, polikristal güneş panelinden elde edilen ortalama güç miktarı ise 80.17 W olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, monokristal güneş panellerinin, polikristal güneş panellerine kıyasla % 4.1 daha fazla anlık güç ürettiğini göstermektedir [13]. Ayrıca, güneş enerjisi depolama teknolojilerindeki ilerlemeler, güneş enerjisinin sürekli ve istikrarlı bir kaynak olarak kullanılmasını sağlamıştır. Aküler, termal depolama sistemleri ve hidrojen depolama çözümleri gibi çeşitli depolama yöntemleri, güneş enerjisinin etkin bir şekilde kullanılmasına katkıda bulunmuştur.

Fotovoltaik hücrelerin yanı sıra, güneş enerjisi sistemlerinde önemli bir role sahip olan bir diğer unsur fotovoltaik modüllerdir. Bu modüller, bir araya getirilmiş fotovoltaik hücrelerden oluşur ve genellikle koruyucu bir çerçeve içine monte edilmiştir. Çeşitli boyutlarda ve şekillerde bulunabilen bu modüller, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek için tasarlanmıştır. Fotovoltaik diziler ise, modüllerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan sistemlerdir. Bu diziler, genellikle güneş enerjisi tarlalarında veya büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerinde kullanılır.

Güneş panellerinde kullanılan hücreler monokristal ve polikristal silikon hücreler gibi farklı teknolojik temellere dayanmaktadır. Monokristal hücreler, tek bir kristal yapısından oluşur ve homojen bir yapıya sahiptirler [14,15].

Bu yapıları, yüksek enerji dönüşüm verimliliği sağlar ve fotovoltaik sistemlerin performansını artırır. Polikristal hücreler, birden fazla kristal yapısının bir araya gelmesiyle oluşur ve bu durum onlara daha düzensiz bir yapı kazandırır [14,16]. Bu düzensiz yapı, enerji dönüşüm verimliliklerinin genellikle monokristal hücrelere kıyasla daha düşük olmasına neden olur [17].

Güneş panelleri, içerdikleri hücrelerin elektriksel özelliklerini optimize etmek amacı ile seri ve paralel bağlantılarla düzenlenir. Seri bağlantılar pozitif kutupları negatif kutuplarla birleştirerek voltajı artırır. Paralel bağlantılar ise akımı artırarak panellerin toplam verimini optimize eder.

Hücreler ince metal tellerle birbirine bağlanır. Bu teller, güneş panellerinin içinden geçen elektrik akımını toplar ve biriktirir. Elektrik akımının etkin bir şekilde hareket etmesini sağlamak için akım yolları özenle tasarlanmaktadır. Güneş hücreleri özel bir destek tabakası ile güçlendirilmektedir. Dış etkilere karşı korumak için de bir cam tabaka ile kaplanmaktadır. Bu destek tabakası ve cam kaplama, hücrelerin dayanıklılığını artırır ve uzun vadeli performans garantisi verilmektedir.

Paneller, genellikle sağlam bir alüminyum çerçeve içine monte edilmektedir. Bu çerçeve, panellerin yapısal dayanıklılığını artırır ve montaj işlemini kolaylaştırır.

Güneş panellerinin verimini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin birçoğu güneş enerji santrallerinde ve üretimde kayıplara yol açmaktadır. Bu kayıpların bazıları çevresel (sıcaklık, tozlanma, rüzgar) olmakla birlikte bazıları da sistemeldir (gölgeleme, AC ve DC kayıplar) [18]. Diğer kayıplar ise güneş panelinin üretim aşamasında kullanılan malzemelerin kalitesiyle alakalıdır [19].

Bu araştırma, farklı güneş paneli tasarımlarının ve üretim süreçlerinin verimliliği üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, güneş panellerinde kullanılan malzemelerin, üretim tekniklerinin ve test süreçlerinin verimlilik üzerindeki rolünü analiz etmektedir. Araştırma kapsamında, farklı güç değerlerine sahip güneş panelleri tasarlanmış ve Sun-Simulator cihazı ile test edilmiştir. Elde edilen veriler, panel performansını belirlemek ve çevresel faktörlerin etkilerini değerlendirmek için kullanılır. Ayrıca, sahadan alınan geri dönüşler aracılığıyla arızalı panellerin nedenleri tespit edilerek, üretim ve tasarım süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

2 Materyal ve metod

2.1 Panelin üretimi

Bu çalışmada kullanılan güneş panelleri, bifacial multi busbar hücreler ve transparan backsheet gibi son teknolojiye sahip özelliklerle donatılmıştır. Bifacial özelliği, güneş panelinin hem ön yüzeyinden hem de arka yüzeyinden ışık toplayabilme yeteneğini ifade ederken, transparan backsheet ise panelin arka kısmında kullanılan malzemenin ışığı geçirgen olmasını sağlar. Ayrıca, panelde bulunan G12 Multi BB hücreler, birden fazla busbar kullanımıyla elektrik akımının daha etkili bir şekilde toplanmasını sağlar. Bu özelliklerin yanı sıra, 210mm G12 Mono-Perc hücrelerin kullanılması da panelin verimliliğini artırmak için önemli bir katkı sağlamaktadır. Yapılan bu çalışmada ise, kullanılan

güneş paneli özelliklerinin güneş enerjisi sistemlerinin performansını değerlendirmede kritik bir öneme sahip olduğu belirtilmektedir. Çalışmanın ilk aşaması, panelin üretimi sürecini kapsamaktadır. Bu süreçte, monokristal hücreler kullanılarak panel üretilmiştir. Hücreler hücre makinasında ortadan ikiye kesim işlemi tamamlandıktan sonra panelin tasarımı için stringer makinasında ribbon teller ile bağlantıları yapılmaktadır. Her bir hücre, stringer makinasından geçirilerek ara bağlantıları yapılmış ve hücrelere yerleştirilerek lehimlenmiş ve elektrik bağlantıları oluşturulmuştur. Ardından, temperli cam üzerine EVA (Etil Vinil Asetat) ve EVA üzerine string haline hücreler yerleştirilerek panel düzeni oluşturulmuştur. Daha sonra, Auto Bussing makinasında busbarlara lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlemi tamamlanan hücreler, lamine cihazı için tekrar EVA üzerine yerleştirilmiş ve buna ek olarak backsheet denilen malzeme en üste yerleştirilmiştir. Son olarak, lamine cihazında 2 aşamalı şekilde ısıtılarak panelin hücrelerinin hava almasını engelleyerek hazır hale getirilmiştir. Laminasyon işlemi yapılır iken panel 145°C derecede evalar ısıtılarak hücrenin hava alması engellenir ve 2 aşamalı şekilde ısıtma işlemi tamamlandıktan sonra soğutma işlemi için çıkarılır. Üretim sürecinin tamamlanmasının ardından, panel çerçeveleri ve diyetleri takılarak test edilmeye hazır hale getirilmiştir.

2.2 Sun-Simulator test cihazı ile panellerin test edilmesi

Araştırmada kullanılan güneş panelleri, 680W güç üreten polikristal half-cut hücrelere sahiptir. Bu paneller, yüksek enerji verimliliği ve mükemmel performans sağladığı için tercih edilmiştir. Güneş panellerinin performansını değerlendirmek için kullanılan sun simülatör, laboratuvar koşullarında kontrollü bir ortam sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistem, güneş ışığı benzeri bir spektrum üreterek panellerin çeşitli koşullarda nasıl tepki verdiğini simüle etmektedir.

Üretilen panelin test edilme sürecinde, panelin normal performansını doğrulamak amacıyla 680 W etiket değerine sahip olduğu belirlenen bir simülasyon ortamında kapsamlı bir test yapılmıştır. Bu test sırasında panelin elektriksel verimliliği, dayanıklılığı ve güvenilirliği detaylı bir şekilde incelenmiştir. Test sırasında pozitif ve negatif kutupların bağlantısı yapılmıştır. Testler, 1000W/m² ışık şiddetinde gerçekleştirilmiş ve bu veriler panelin performansını belirlemek için kullanılmıştır. İlk olarak, panelin normal ve gölgeli durumları karşılaştırılmıştır. Işık şiddeti farklılıklarının etkilerini değerlendirmek amacıyla panel, 372.77W/m², 681.1W/m² ve 996.81W/m² ışık şiddetlerinde test edilmiştir. Tozlanmanın etkilerini incelemek için, panelin kirliliği ve tozlu hali ile temizlendikten sonraki performansı karşılaştırılmıştır. Ayrıca, aynı watt değerine sahip monokristal ve polikristal paneller, aynı saat diliminde aküleri doldururken gerilim farklılıklarına göre verimlilikleri değerlendirilmiştir. Son olarak, hücrelerin aşırı ısınma nedeniyle yanmış olduğu ve bu yüzden panelin hiçbir güç üretmediği gözlemlenmiştir. Bu çeşitli testler, güneş panellerinin performansını etkileyen faktörleri anlamak ve panel verimliliğini optimize etmek için önemli veriler sağlamıştır.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Gölgeleme

Bu çalışmada, güneş panelinin gölgeleme koşullarında nasıl tepki verdiğini anlamak ve gölgelemenin panel performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla 680 W değerindeki standart bir güneş paneli seçilmiştir. Bu panel üzerinde gölgeleme etkisini incelemek için opak bir malzeme olarak kâğıt tercih edilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, güneş paneli normal ışık koşullarında test edilirken, ikinci aşamada panel üzerine kâğıt yerleştirilerek tekrar test edildi. İki aşamalı test ile panelin çalışma performansına gölgelemenin etkisinin nasıl olduğu ve güneş ışığına maruz kalan alanın azalmasıyla değişimin nasıl olacağı daha ayrıntılı bir şekilde incelenebilmiştir.

Normal ışık koşulunda test aşamasında, ilk olarak güneş panelinin, güneş simülasyon ortamında pozitif ve negatif kutup bağlantıları yapılmıştır. Bu süreçte panelin çıkış verileri kaydedilmiş ve analiz için belirlenen veri setine eklenmiştir.

Gölgeli ışık test aşamasında ise, Şekil 1 ile gösterildiği gibi belirli bir bölgenin gölge altında kalabilmesi için aynı panel üzerine, bir opak malzeme olan kâğıt yerleştirilmiştir. Şekil 2'de ise panele üzerinde bir bölgeye kâğıt yerleştirilmesi sonucunda panelin arka yüzüne ait bir resim verilmektedir. Daha sonra, pozitif ve negatif kutup bağlantıları yapılarak panel tekrar test edilmiş ve çıkış verileri kaydedilmiştir.

Elde edilen veriler, güneş panelinin farklı çalışma koşullarında gösterdiği davranışları daha ayrıntılı bir şekilde analiz etmek için kullanılmıştır. Normal ışık koşullarda test edilen panel, Şekil 3 ile gösterilen I-V değişim değerine sahip olurken, gölgeli durumda karşılaşılan I-V değişimi Şekil 4 ile verilmektedir. Normal ışık koşullarında beklenen bir güç değerine ulaşılmazken, gölge durumunda güç değeri ve verimin belirgin şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

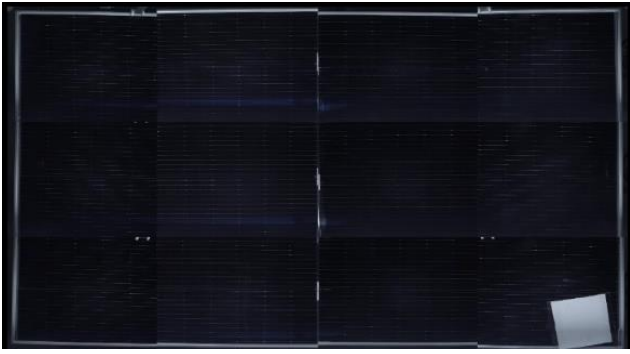
Gölgeleme, güneş panelinin bir kısmının ışık almasını engellediğinden, panelin toplam verimliliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Panel üzerine yerleştirilen opak malzeme (kâğıt) ile oluşturulan gölge, güneş panellerinin verimliliğini azaltmış ve bu durum güneş panelinin enerji üretim kapasitesini önemli ölçüde etkilemiştir. Normal ışık koşulunda ve gölgeli ışık koşulunda elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Gölgeleme testi sonucundaki veriler

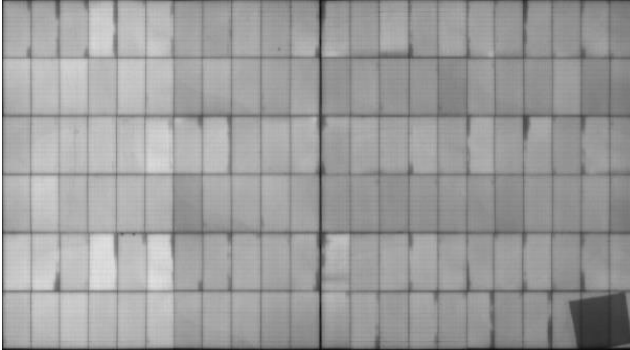
Gölgelememiş Durum	Gölgeleme Durumu
I _{sc} = 19.6695 A	I _{sc} = 19.7241 A
V _{oc} = 45.798 V	V _{oc} = 45.677 V
I _m = 18.6801 A	I _m = 14.775 A
V _m = 37.788 V	V _m = 39.886 V
Doluluk Faktörü (F.F.) = %78.36	Doluluk Faktörü (F.F.) = %65.41
I _{load} = 19.7131 A	I _{load} = 19.7808 A
V _{load} = 10 V	V _{load} = 10 V
Güneş Işını = 996.52 W/m ²	Güneş Işını = 995.72 W/m ²
Ortam Sıcaklığı = 21.1°C	Ortam Sıcaklığı = 21.1°C
Panel Sıcaklığı = 17°C	Panel Sıcaklığı = 17.1°C
R _s = 0.42879 Ω	R _s = 0.3919 Ω
R _{sh} = 99821.37049 Ω	R _{sh} = 99417.37543 Ω
Panel Çıkış Gücü = 705 W	Panel Çıkış Gücü = 689 W
Verimlilik (Eff) = %22.68	Verimlilik (Eff) = %18.94

Gölgelenmenin olmadığı durumda panelin verimliliği %22.68 olarak elde edilirken, gölgelenme olduğu durumda bu değer %18.94 olarak ölçülmüştür. Gölgelenme sonucunda panelin verimliliğinde %3.74'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, panelin akım ve gerilim karakteristiklerinin gölgelenme nedeniyle değiştiğini ve dolayısıyla panelin güç üretiminde azalma olduğunu göstermektedir.

Bu sonuçlar, güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu ve performansı ile ilgili yapılan çalışmalar için oldukça önemlidir. Gölgelenme riskinin dikkate alınması, güneş panelinin en iyi performansını sağlamak için alınacak önlemlerin belirlenmesine yardımcı olacaktır. Bu bağlamda, güneş panellerinin montajında ve yerleştirilmesinde gölgelenme risklerinin minimize edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1. PV panel kağıt koyulmuş ön yüz görünümü



Şekil 2. PV panel kağıt koyulmuş arka yüz görünümü



Şekil 3. Normal ışık koşulunda I-V grafiği



Şekil 4. Gölgeli ışık koşulunda I-V grafiği

3.2 Hücre sıcaklığı

Çalışmanın bir diğer aşamasında güneş panelinin hücrelerindeki çatlaklardan kaynaklı aşırı ısınan hücre incelenmiştir. Bu durum Şekil 5 ile gösterildiği gibi panelin belirli bir bölgesinde hücre yanmasına neden olmuştur. Hücrenin yanmasından sonra sun simülasyon ortamında test edildiğinde panelden hiçbir değer elde edilmediği gözlemlenmektedir.



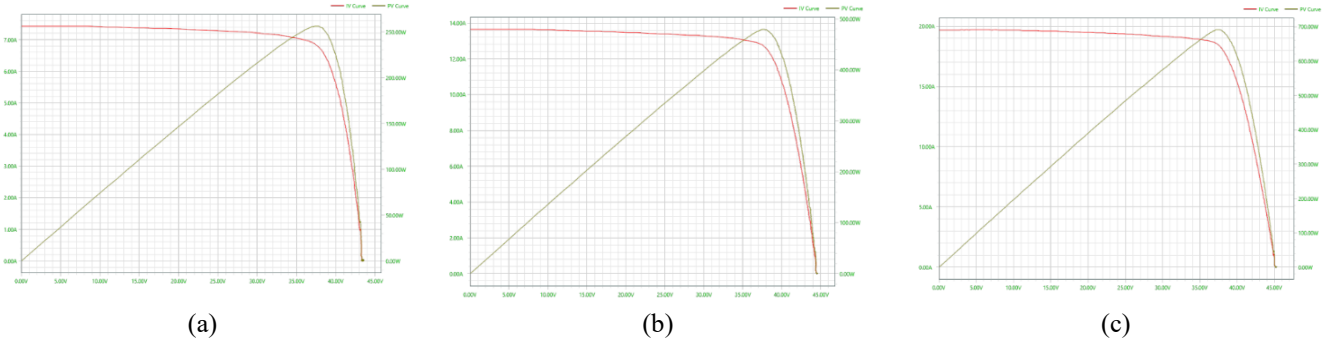
Şekil 5. Yanmış hücrelerden oluşan panel

Bu çalışmanın sonuçları, güneş panellerindeki çatlaklardan kaynaklanan aşırı hücre ısınmasının hücre yanmasına ve bu yanmanın panelin performansı üzerindeki olumsuz etkilerine yol açabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, güneş paneli tasarımı ve kullanımıyla ilgili önlemlerin alınması ve güneş panellerinin uzun vadeli dayanıklılığının sağlanması için önemlidir.

3.3 Işık şiddeti

Bu aşamada ışık şiddetinin değişiminin paneller üzerindeki etkileri incelenmiştir. Işık değeri normal test koşullarında 1000W/m^2 'den daha düşük seviyelere ayarlanarak üç ayrı test gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde, ışık şiddetinin güneş panelinin verimliliği üzerindeki etkisi net bir şekilde gözlemlenmiştir.

İlk teste, panele 372.77W/m^2 ışık şiddetinde çalıştırılmıştır. İkinci teste, ışık şiddeti 681.1W/m^2 olarak ayarlanırken, üçüncü teste normal koşullarda olduğu gibi 1000W/m^2 ışık şiddetine yakın bir değer olan 996.81W/m^2 uygulanmıştır. Şekil 6 a, b ve c ile verilen test sonuçları ile panelin performansı karşılaştırılmıştır. Üç farklı ışığa için elde edilen değerler Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 6. Farklı ışık şiddetlerinde elde edilen panel güç değerleri (a) 372W/m², (b) 681 W/m², (c) 996.81W/m²

Tablo 2. Işık şiddeti testi verileri

	372.77W/m ² ışık şiddeti altında	681.1W/m ² ışık şiddeti altında	996.81W/m ² ışık şiddeti altında
I _{sc}	7.4241 A	13.6319 A	19.6738 A
V _{oc}	43.219 V	44.339 V	44.992 V
I _m	6.7992 A	12.6847 A	18.4574 A
V _m	37.168 V	37.301 V	37 V
F.F.	%78.76	%78.28	%77.15
I _{load}	7.4132 A	13.6188 A	19.6455 A
V _{load}	10 V	10 V	10 V
Güneş Işını	372.77 W/m ²	681.21 W/m ²	996.81 W/m ²
Ortam Sıcaklığı	26.6 °C	26.6 °C	26.7 °C
Panel Sıcaklığı	24.1 °C	24.1 °C	24.1 °C
Panel Çıkış Gücü	252.708 Watt	473.151 Watt	682.922 Watt

Tablo 2 ile verilen veriler incelendiğinde, 372.77 W/m² ışık şiddeti altında, panelin çıkış gücü 252.708 Watt olarak ölçülmüştür. Aynı panel, 681.21 W/m² ışık şiddeti altında test edildiğinde ise çıkış gücü 473.151 Watt olarak ölçülmüştür. Son olarak, normal koşullarda beklenen ortalama 1000 W/m² ışık şiddeti altında gerçekleştirilen testlerde panelin çıkış gücü 682.922 Watt olarak ölçülmüştür.

Bu değerlere göre, ışık şiddeti düştüğünde, güneş panelinin veriminde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Daha düşük ışık seviyelerinde, panelin elektrik üretme kapasitesi de düşmüştür. Bu bulgu, güneş enerjisi sistemlerinin güneş ışığına maruz kalma derecesinin verimliliği üzerinde önemli bir faktör olduğunu doğrulamaktadır. Bu nedenle, güneş panellerinin optimum performansını sağlamak için güneş ışığına maruz kalma koşulları dikkatle gözlemlenmelidir.

3.4 Hücre ve panel seçimi

Bu aşamada, 85 Wattlık monokristal ve polikristal güneş panelleri, ve şarj ünitesi aynı ortamda, aynı anda güneş ışığına maruz bırakılarak bir aküyü doldurmak için kullanılmıştır. Monokristal ve polikristal panellerin performansını karşılaştırmak için güneş ışığının en yoğun olduğu saatler olarak seçilen saat 12.00 ile 14.00 tercih edilmiştir. Her iki panelin de aküyü doldurma süreci sırasında ürettikleri enerji ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3 ile gösterilmektedir. Her iki panel için akünün ilk şarj kontrol değeri Şekil 7'de verildiği gibi 11V olarak ölçülmüştür.

Tablo 3. Panel seçimi verileri

	Monokristal Panel	Polikristal Panel
Aküyü doldurma sürecinde ortalama gerilim değeri	11.0 V	11.0V
12.00 ile 14.00 saatleri arasında akünün dolması için gereken süre	2 SAAT	2 SAAT
Bu süre sonunda akünün ulaştığı gerilim	12.9 V	12.3



Şekil 7. Monokristal ve polikristal panel akülerinin ilk ölçüm değeri

Deney sonuçlarına göre, monokristal panelin polikristal panele kıyasla daha yüksek bir verimlilik sağladığı gözlemlenmiştir. Özellikle saat 12.00 ile 14.00 arasında, monokristal panel kullanıldığında aküde 12,91V'luk bir gerilim değerine ulaşılırken (Şekil 8a), polikristal panel kullanıldığında 12,3V'luk bir gerilim değerine ulaşabilmektedir (Şekil 8b).

Bu çalışma ile güneş enerjisi sistemleri için hücre ve panel seçiminde monokristal hücrelerin tercih edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Monokristal panellerin daha yüksek verimlilik sağladığı ve dolayısıyla daha etkili güneş enerjisi üretimine olanak tanıdığı sonucuna ulaşılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 8. 12.00- 14.00 arasındaki saatlerde akü gerilim değeri (a) Monokristal panel, (b) Polikristal panel

3.5 Panelin yaşlanması ve kirlenmesi

Panelin yaşlanması ve kirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmada, etiket değeri 680 W değerindeki bir güneş panelinin üzeri Şekil 9a'da gösterildiği gibi tamamen toz ile kaplanmış durumda test edilmiştir. Daha sonra panel Şekil 9b gösterildiği gibi temizlenerek aynı test işlemi tekrar sun simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, her iki durum için kısa devre akım (I_{sc}), açık devre gerilim (V_{oc}), maksimum akım, gerilim ve güç değerleri (I_m , V_m , P_m), yük akım ve gerilim değerleri (I_{load} , V_{load}) değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler Tablo 4 ile verilmektedir.

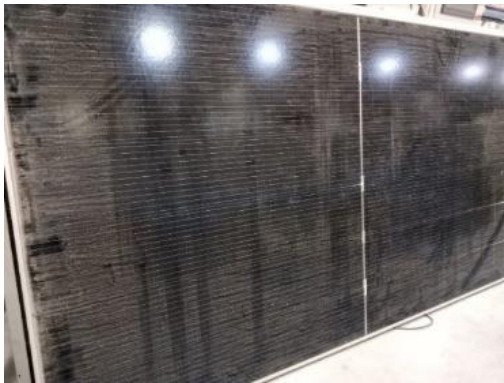
Deney sonuçları incelendiğinde, aynı ışımaya değerinde kısa devre akımının kirliliği ve tozlu olan panelde daha düşük olduğu ve verimin daha düşük olduğu net bir şekilde gözlemlenmiştir. Ayrıca kirliliği ve tozlu olan panel için Şekil 10a ile verilen I-V grafiği ve temiz panel için Şekil 10b ile verilen I-V grafik karşılaştırıldığında, maksimum akım değerinin temiz panelde daha yüksek olduğu görülmektedir.

Panelin toz ve kir ile kaplanması, güneş panelinin yüzeyindeki ışık emilimini azaltabilir ve dolayısıyla elektrik

üretim verimliliğini düşürebilmektedir. Temizlenmiş panelin test sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, kirlenmiş panelin veriminde belirgin bir düşüş olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Kirliliği ve temiz panel verilerinin karşılaştırılması

	Kirliliği ve tozlu panel	Temizlenmiş panel
Date	2024-07-08	2024-07-08
Time	16:21:52	16:40:19
I_{sc}	18.2698A	19.4402 A
V_{oc}	43.291V	43.448 V
P_m	618.654W	653.049 W
I_m	17.1974A	18.1651 A
V_m	35.974V	35.951 V
F.F.	% 78.22	%77.32
Eff	% 19.88	%20.98
I_{load}	18.1868A	19.3026 A
V_{load}	10V	10 V
Sun	997.09W/m ²	997.79W/m ²



(a)



(b)

Şekil 9. (a) Tozlu ve kirliliği panel, (b) Temizlenmiş panel



(a)



(b)

Şekil. 10. Sun simülatör kullanılarak elde edilen I-V grafikleri (a) Tozlu ve kirli panel, (b) Temizlenmiş panel

4 Sonuçlar

Bu çalışma güneş panellerinin performansını etkileyen gölgelenme, ışık şiddeti, yaşlanma ve kirlilik faktörleri kapsamlı bir şekilde incelemiş ve bu faktörlerin paneller üzerindeki negatif etkilerini açıkça ortaya koymuştur. Özellikle gölgelenme, hücre sıcaklığı, ışık şiddeti, hücre seçimi ve panelin yaşlanması gibi unsurların, güneş panellerinin verimliliğinde ciddi düşümlere neden olabileceği gözlemlenmiştir.

Gölgelenme, panelin akım, gerilim, doluluk faktörü ve verimlilik gibi kritik performans göstergelerinde kayda değer düşümlere yol açmıştır. Bu durum, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında gölgelenmenin en aza indirilmesinin ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Hücre sıcaklığı testi ise, hücre çatlaklarının panel performansını nasıl olumsuz etkileyebileceğini ve bu tür hasarların önlenmesi gerektiğini göstermiştir.

Işık şiddetinin panel performansı incelendiğinde, daha yüksek ışık şiddeti seviyelerinde panel verimliliğinin arttığını ortaya koyulmuş, aynı zamanda farklı ışık seviyelerinde optimum performansın sağlanması için dikkatli bir tasarımın önemi vurgulanmıştır. Monokristal hücrelerin polikristal hücrelere göre daha verimli olduğu belirlenmiş ve bu da hücre seçiminin güneş enerjisi sistemlerinde kritik bir karar olduğunu göstermiştir.

Son olarak, panelin yaşlanması ve kirlenmesiyle ilgili bulgular, güneş panellerinin düzenli bakım ve temizliğinin performansı korumak ve optimize etmek için vazgeçilmez olduğunu kanıtlamıştır. Panelin kirliliği ve tozlu yüzeyleri, ışık emilimini azaltarak elektrik üretim verimliliğini düşürmektedir.

Bu bulgular, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı, bakımı ve optimizasyonunda dikkate alınması gereken önemli stratejik kararları desteklemektedir. Bu çalışma, güneş enerjisi teknolojisinin daha verimli, güvenilir ve dayanıklı hale getirilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarına önemli bir katkı sunmaktadır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %5

Kaynaklar

- [1] S. Çamcı, K. Ulgen, Süperkapasitörlerin güneş enerjili insansız hava araçlarında kullanımına yönelik Matlab/Simulink modeli. DEÜ, FMD, 24(70), 221-232, 2022. <http://doi.org/10.21205/deufmd.2022247021>
- [2] S. Emikonel, A. Bilhan, Analysis of Turkey's solar energy potential in different regions. OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 5(Special Issue), 170-184, 2022. <http://doi.org/10.47495/okufbe.d.1034175>
- [3] B. M. Hamed, & M. S. El-Moghany, Fuzzy controller design using FPGA for sun tracking in solar array system. International Journal of Intelligent Systems and Applications, 4 (1), 46-52, 2012. <http://doi.org/10.5815/ijisa.2012.01.06>
- [4] M. Öztürk, R. Kayabşı, Güneş enerjisinin İç Anadolu bölgesinde kullanılabilirliği ve system analizi. NÖHÜ Müh. Bilim. Derg., 12(4), 1351-1359, 2023. <http://doi.org/10.28948/ngumuh.1310627>
- [5] F. M. Guangul, & G. T. Chala, Solar energy as renewable energy source: SWOT analysis. 2019 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC), s. 1-5, Muscat, Oman, 2019. <http://doi.org/10.1109/ICBDSC.2019.8645580>
- [6] C. Haydaroglu, B. Gümüş, Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 7(3), 491-500, 2016.
- [7] Ş. Sağlam, Şebeke bağlantılı fotovoltaik aydınlatma sisteminin bulanık mantık ile kontrolü. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s.10-15, İstanbul, 2006.

- [8] N. Yılkıran, D. İsaogulları, Photovoltaic system design and analysis: the case of Sivas Technology development zone. *Journal of Science and Technology*, 3(1), 14-20, 2024. <https://doi.org/10.69560/cujast.1464421>
- [9] J. Nelson, *The physics of solar cells*. Imperial College Press, s. 1004, New York, 2020.
- [10] C. Lungenschmied, G. Dennler, H. Neugebauer, S. N. Sariciftci, M. Glatthaar, T. Meyer, & A. Meyer, Flexible, long-lived, large-area, organic solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91 (5), 379-384, 2007. <http://doi.10.1016/j.solmat.2006.10.013>
- [11] Y. Liang, D. Feng, Y. Wu, S. T. Tsai, G. Li, C. Ray, & L. Yu, Highly efficient solar cell polymers developed via fine-tuning of structural and electronic properties. *Journal of the American Chemical Society*, 131 (22), 7792-7799, 2009. <http://doi.10.1021/ja901545q>
- [12] W. Hong, Y. Xu, G. Lu, C. Li, & G. Shi, Transparent graphene/PEDOT-PSS composite films as counter electrodes of dye-sensitized solar cells. *Electrochemistry Communications*, 10 (10), 1555-1558, 2008. <http://doi.10.1016/j.elecom.2008.08.007>
- [13] A. Taşcıoğlu, Monokristal ve polikristal güneş panellerinin Bursa koşullarındaki güç performansı üzerine bir araştırma. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 2015.
- [14] L. Jiang, S. Cui, P. Sun, Y. Wang & C. Yang, Comparison of Monocrystalline and Polycrystalline Solar Modules. 2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), 12-14 Haziran, 2020. <http://doi.10.1109/ITOEC49072.2020.9141722>
- [15] A. Pavlovic, C. Fragassa, M. Bertoldi & V. Mikhnych, Thermal Behavior of Monocrystalline Silicon Solar Cells: A Numerical and Experimental Investigation on the Module Encapsulation Materials. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, Vol. 7(3), ss. 1847-1855, Temmuz, 2021. <http://doi.10.22055/JA-CM.20.21.37852.3101>.
- [16] G. Albate, & M., Tucci, Polycrystalline silicon thin-film solar cells: Present status and future potential. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 60 (1), 343-352, 2000. <http://doi.10.1016/j.solmat.2013.05.043>
- [17] M. O. Karaağa., H. Oğul, F. Bulut, Evaluation of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panels in Sinop province. *Turkish Doğa ve Fen Dergisi*, 10(1), 176-181, 2021. <https://doi.org/10.46810/tdfd.855488>
- [18] C. Haydaroğlu, B. Gümüş, Investigation of the effect of short term environmental contamination on energy production in photovoltaic panels: Dicle University solar power plant example. *Applied Solar Energy*, 53(1), 31-34, 2017. <http://doi.10.3103/S0003701X17010066>
- [19] S. Duman, M. Alçı, Yarım ve tam fotovoltaik hücreleri ile tasarlanan güneş enerjisi panellerinin toplam verimliliğini etkileyen parametrelerin incelenmesi. *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg.* 11(3), 592-600, 2022. <http://doi.10.28948/ngmuh.1073976>

