
Araştırma Makalesi / Research Article

Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri

Sabir RÜSTEMLİ^{*1}, Furkan DİNÇER², Murat ÇELİK³, M. Sait CENGİZ⁴

¹B.E.Ü., Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitlis

²M.K.Ü., Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antakya

³Y.Y.Ü., Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van

⁴B.E.Ü., Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis

Özet

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi fotovoltaik (PV) adı verilen güneş panelleri ile sağlanmaktadır. Fotovoltaik panellerin fiyatlarında düşüş yaşanması ve güneş enerjisinin elektrik enerjisi üretiminde temiz bir enerji kaynağı olmasından dolayı güneş enerjisinin kullanımında son yıllarda önemli bir artış görülmektedir. Bir güneş panelinin performansı verimiyle ölçülmektedir. Aldığı güneş ışınlarının yüzde kaçını kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürdüğü, verimi belirleyen en önemli parametredir. Ancak belli dalga boylarındaki ışın elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Geri kalan büyük bir miktar ya güneş panelini oluşturan madde tarafından emilerek ısıya dönüştürülmekte ya da yansıtılmaktadır. Bundan dolayı, bu çalışmada fotovoltaik panelin enerji kazancını artırıcı yöntemler ele alınmış, değerlendirilmiş ve çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş takip sistemleri, İklimlendirme

Photovoltaic Panels: Sun Tracking Systems and Cooling Systems

Abstract

Solar electric power is generated by solar energy photovoltaic (PV) solar panel. In the recent years a significant increase could be observed in the use of solar energy because of that the price of photovoltaic panels are decreasing and solar energy is a clean source energy in the production of electric energy. A solar panel performance can be measured with energy yield. The percentage of conversion of sunlight into usable electricity is the most important parameter for energy yield. Depending on construction, photovoltaic panels can produce electricity from a range of wavelengths of light, but usually cannot cover the entire solar range. The rest of incident sunlight energy is reflected or makes up a great of heat being absorbed by solar panel. Therefore in this study, earnings-enhancing methods of efficiency in the photovoltaic panel energy were evaluated and some suggestions were proposed.

Keywords: Solar energy, Solar systems, Air conditioning

1. Giriş

Günümüzde elektrik enerjisi insanlığın en yaşamsal ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Dolayısıyla bugün için en kullanışlı ve ekonomik enerji elektrik enerjisidir. Teknolojinin gelişmesiyle enerji ihtiyacı her geçen yıl yaklaşık olarak %4 - %8 oranında artmaktadır. Buna karşılık bu ihtiyaçların büyük bir bölümünü karşılayan fosil yakıt rezervleri ise çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. Önümüzdeki yıllarda bu rezervlerin tükeneceği ve ihtiyacı karşılayamayacağı yapılan tahminlerden anlaşılmaktadır. Diğer taraftan fosil yakıtların çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar belirgin bir şekilde hissedilmektedir. Fosil yakıtlardan enerji üretimi ile havaya salınan sera gazları nedeniyle küresel iklim değişikliği, ekolojik dengelerin bozulmaya başladığı günümüzde gerekli önlemlerin alınmaması durumunda dünyamız yaşanılabilir bir dünya olmaktan çıkabilir. Bundan dolayı araştırmacılar bir yandan yeni enerji kaynaklarını araştırmaya, diğer yandan ise var olan enerji

* Sorumlu Yazar: srustemli@beu.edu.tr

kaynaklarını daha verimli bir şekilde değerlendirme yönünde çalışmalar yapmaya yönelmişlerdir [1, 2].

Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen İklim Değişikliği Konferansları'ndan "temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketim payı tüm enerji kaynakları içerisinde en az %25 olmalıdır" sonucu çıkmıştır. Bu hedefe en geç 30 yıl içerisinde ulaşılması, aksi takdirde dünyada yaşanılmayacak bölgelerin oluşacağı ve değişen iklim koşullarının kalıcı olacağı belirtilmiştir. Çünkü fosil yakıtlar küresel ısınma, iklim değişikliği gibi birçok önemli sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunların boyutları giderek insanlık açısından bir tehdit oluşturmaya başlamıştır. Bundan dolayı fosil yakıtlar yerine küresel bazda yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma zorunluluğu doğmaktadır [3, 4].

Kendini sınırsız tekrarlayan yenilenebilir ve hammadde bağımlısı olmayan enerji kaynakları (güneş, rüzgâr, su, jeotermal ve biokütle gibi) çok kısa bir süre içerisinde enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün karşılanmasında önem kazanacaktır. Dünyanın birçok ülkesinde yeni enerji üretim yatırımlarının artık temiz enerji odaklı olması gerekmektedir. Örneğin; geçtiğimiz zamanlarda Alman hükümeti ülkedeki tüm nükleer santralleri kapatma ve temiz enerji kaynaklarına yatırım yapma kararı almıştır. Birçok özel araştırma kurumunun hazırladıkları raporlara göre 2060 yılında dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %60'nın yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması hedeflenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en baskın, doğal ve yatırıma uygun kaynaklardan birisi güneş enerjisidir [5]. Güneşten dünyaya gelen enerjinin yoğunluğu, dünya atmosferinin dışında m² başına 1.35 kW kadardır. Bu yoğunlukta dünya çapının kapladığı alana gelen güneş gücü 178x10⁶ MW düzeyindedir. Dünyanın tüm yüzeyine bir yılda gelen güneş enerjisi, 1.22x10¹⁴ TET (ton eşdeğer taş kömürü) ya da 0.814x10¹⁴ TEP (ton eşdeğer petrol) gibi görkemli boyuttadır. Bir başka anlatımla, bir yılda gelen güneş enerjisi miktarı, bilinen kömür rezervinin elli katı, bilinen petrol rezervinin 800 katıdır.

Güneş enerjisi; kömür, petrol gibi fosil yakıtların aksine atmosfere ve çevreye zararlı gaz salınımında olmayan, çevre dostu, temiz bir enerji kaynağıdır. Birçok bilim adamı, güneş enerjisinin sınırsız olması, ulaşılabilir olması, ilgi çekici olmasından dolayı güneş enerjisinin önemini vurgulamıştır [6,7].

2. Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik Paneller

Güneş enerjisi, güneşten gelen ve dünya atmosferinin dışında şiddeti sabit ve 1370 W/m², yeryüzünde ise 0 – 1100 W/m² değerleri arasında olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre birçok avantajları vardır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [8];

- Güneş enerjisi bol ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisi temiz bir enerji kaynağıdır ve çevreyi kirletici atıkları yoktur.
- Enerjiye ihtiyaç duyulan hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür.
- Dışa bağımlı olmadığından doğabilecek ekonomik bunalımlardan bağımsızdır.
- Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmadığından işletme masrafları çok azdır.

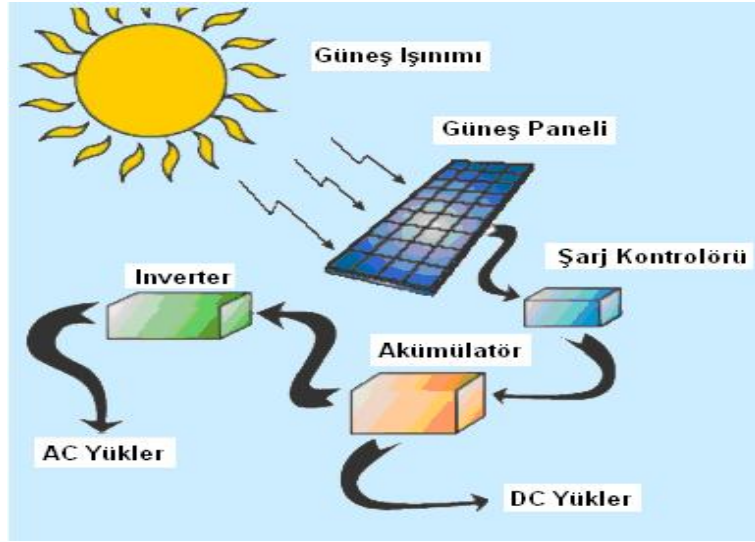
Belirtilen avantajların yanında güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre birçok dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [8];

- Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Depolama imkânları ise sınırlıdır.
- Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.
- Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışınlarını sürekli alabilmesi için sistemin çevresinin açık olması, gölgelenmemesi gerekmektedir.
- Güneş ışınımından yararlanılan birçok sistemin ilk yatırım maliyeti yüksektir.

Güneş enerjisinden pasif ve aktif sistemler olmak üzere temelde iki farklı şekilde yararlanılabilmektedir. Pasif sistemler ile sıcak su üretimi sağlanırken aktif sistemler ile de elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim kısmı ele alınmıştır.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi fotovoltaik paneller yardımıyla sağlanmaktadır. Fotovoltaik paneller, güneş panelleri ya da fotovoltaik hücreler olarak da adlandırılabilir. Fotovoltaik paneller; taşınabilir, ergonomik, çok az bakım gerektiren, kullanımı kolay, estetik görünüme sahip yarıiletken teknolojisi ile çalışan cihazlardır.

Güneş panelleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş paneli uygulamaya bağlı olarak, akümülatör, inverter, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş paneli sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim bölgelerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanıldığı zaman ekonomik olmaktadır. Fotovoltaik sistemin görünümü ve blok diyagramları şekil 1’de gösterilmiştir [8,9].



a) Fotovoltaik sistemin görünümü



b) Fotovoltaik sistemin blok diyagramı

Şekil 1. Fotovoltaik sistemin görünümü ve blok diyagramı

Fotovoltaik paneller ilk üretildikleri yıllarda kendini amorti etme süresi, panelin kendi ömründen daha fazlaydı. Fakat günümüzde, özellikle gelişmiş ülkelerin uyguladığı teşvik ve ekolojik politikalar sayesinde fotovoltaik panellerin kendini amorti etme süreleri 3-4 yıla kadar düşebilmektedir. Tabii ki bu süre ülkelere ve şartlara bağlı olmakla birlikte değişebilmektedir. Uzun yıllardır yapılan araştırmalar sonucunda fotovoltaik panellerin maliyetlerinde gittikçe azalma sağlanabilmektedir. Bu bağlamda gelecekte bu sürenin daha da düşebileceği öngörülmektedir.

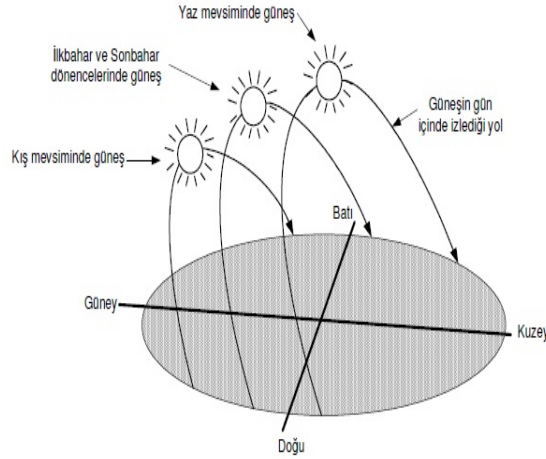
Günümüzde fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi kurulu gücü gigawattlar seviyesindedir. Ayrıca, fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi kurulu gücü her geçen yıl hızla artmaktadır. Fakat dünyamızın güneş enerjisi potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda kurulu gücün henüz istenilen seviyelere ulaşmadığı görülebilmektedir. Bu durumun önündeki en büyük engel fotovoltaik panellerin maliyetlerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Dünyadaki mevcut durum ülkemiz açısından değerlendirildiğinde bu durumun hiç iç açıcı seviyelerde olmadığı görülmektedir. Bilindiği üzere ülkemiz, güneş enerjisi kuşağı altındadır ve ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli dünya ortalamasının çok üzerinde olup Avrupa Birliği ülkeleri arasında neredeyse en büyük güneş enerjisi potansiyeline sahip ülke konumundadır. Fakat bu derece önemli güneş enerjisi potansiyeline sahip olmamıza rağmen ülkemizde güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim kurulu gücü bir kaç MW civarlarında olup henüz araştırma çalışmaları seviyesindedir. Fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi üretimine yeterli desteklerin verilmemesi ve teşvik politikalarının uygulanmaması bu derece önemli potansiyelimizin kullanılmamasına neden olmaktadır.

Fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi üretimi maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi üretim kazançlarının artırılmasına yönelik çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerin en önemlileri; güneş takip sistemleri, soğutma sistemleri ve gölgeleme etkisinin azaltılması şeklinde sıralanabilir.

3. Güneş Takip Sistemleri

Güneşlenmenin günün her saatinde en yüksek seviyede tutulabilmesi için fotovoltaik panellerin güneşi takip etmesi gerekmektedir. Güneş ile panel yüzeyi arasındaki açı günün her saatinde dik olursa, güneşlenme de en yüksek seviyede olur. Fotovoltaik panellerin güneşi dik açı ile görebilmeleri için sabah gün doğumundan akşam gün batımına kadar fotovoltaik panellerin güneşi takip etmeleri gerekir. Ancak gün boyu yapılan takip işlemi yılın her mevsimi için aynı kazancı sağlamaz. Çünkü dünyanın güneş eksenindeki hareketine bağlı olarak yıl içerisinde güneş her mevsim farklı yörüngeleri takip etmektedir. Güneşin mevsimlere göre izlediği yörüngeler Şekil 2’de verilmiştir [10].



Şekil 2. Güneşin mevsimlere göre izlediği yörüngeler

Güneş takip sistemleri, güneş ışınlarının fotovoltaik panelin yüzeyine dik gelmesini sağlayarak elde edilen enerji kazanç miktarını arttırmaktadır. Bu sistemleri kullanarak fotovoltaik panellerden elde edilen enerji kazancı yaklaşık olarak %35 oranında artırılabilir. Örneğin; NREL (National Renewable Energy Lab.) tarafından Denver, USA eyaleti için yapılan ölçümlere göre [11];

- Güneş takip sistemi olmayan fotovoltaik panellerden 5.5 kW/m^2 yıllık ortalama ışımaya enerjisi elde edilmektedir.
- Tek eksenli güneş takip sistemi yapılırsa 7.2 kW/m^2 yıllık ortalama ışımaya enerjisi elde edilmektedir.
- Buna göre artış $100 \cdot [(7.2 - 5.5) / 5.5] = \%30.9$ olmaktadır.

- Çift ekseninde güneş takip sistemi yapılırsa 7.4 kW/m^2 yıllık ortalama ışımaya enerjisi elde edilmektedir.
- Buna göre artış $100 \cdot [(7.4 - 5.5) / 5.5] = \%34.5$ olmaktadır.

Ülkemizde, güneş takip sistemleri ile ilgili son zamanlarda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde yapılan başka bir çalışmada; fotovoltaik panelin tek ekseninde güneşi takip etmesi sağlanarak fotovoltaik panellerden sabit sistemlere göre ortalama %29 daha fazla elektrik enerjisi kazancı elde edildiği tespit edilmiştir [7].

Ek olarak; güneş takip sistemleri özellikle yer kısıtlaması olan uygulamalarda çok kullanışlı olmaktadır. Örneğin; gemi, karavan gibi araçlarda gerekli enerji elde etmek için kullanılacak panel sayısı güneş takip sistemleri ile daha az sayıya düşürülerek alandan tasarruf edilebilmektedir [11]. Güneş takip sistemleri uygulamalarına bir örnek Şekil 3'te verilmiştir [12].



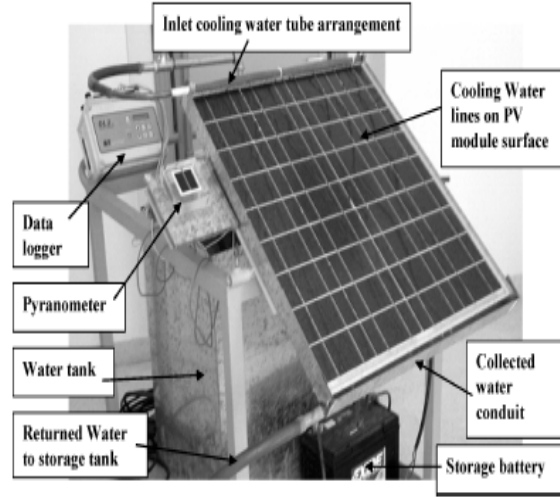
Şekil 3. Güneş takip sistemlerine örnek

4. İklimlendirme Sistemleri

Fotovoltaik panellerin elektrik enerjisi kazancını etkileyen en önemli faktörlerden biri de panel sıcaklığıdır. Fotovoltaik panelin çalışma sıcaklığı arttıkça panelin elektrik enerjisi kazancı azalmaktadır. Fotovoltaik panellerin çalışma sırasında sıcaklıkları ortam şartlarına göre daha fazla olmaktadır. Bu durum da elektrik enerjisi kazancını doğrudan etkilemektedir.

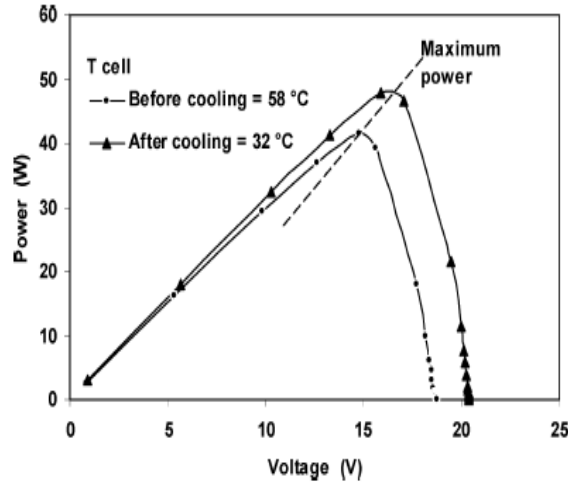
Fotovoltaik panel sıcaklığını etkileyen en önemli iki çevresel faktör; hava sıcaklığı ve rüzgâr hızıdır. Fotovoltaik panelin sıcaklık değişiminde panelin bulunduğu ortamın çevresel faktörleri büyük önem arz etmektedir [2, 6]. Fotovoltaik panelin bulunduğu ortamın hava sıcaklığı arttıkça panelin elektrik enerjisi kazancı azalmakta olup ortamın rüzgâr hızı arttıkça fotovoltaik panelin elektrik enerjisi kazancında artış gözlemlenebilmektedir. Bu değişimin nedeni; panel sıcaklığı arttıkça fotovoltaik panelde çok az bir akım artışı gözlemlense de önemli bir gerilim düşüşünden dolayı elde edilen güç de azalmaktadır. Bundan dolayı fotovoltaik panellerin bulunduğu çevresel faktörler paneller için ayrı bir öneme sahiptir. Fakat fotovoltaik panellere çeşitli iklimlendirme testleri de uygulayarak belirli oranlarda fotovoltaik panellerin elektrik enerjisi kazançları artırılabilir. Tabii ki; sistemin ekonomiklik ve maliyet-etkin durumu göz önünde bulundurularak iklimlendirme sistemlerinin kendini kısa sürede amorti edebilmelerine imkân sağlayacak ortamlar tercih edilmelidir. Örneğin; bir deniz kıyısı veya göl kıyısı olabilir. Böylece iklimlendirme yapılacak ortama yakınlık ile sistem avantajlı hale dönüştürülebilir.

Örneğin bir çalışmada çeşitli iklimlendirme sistemleri oluşturulmuş ve bu sistemlerin fotovoltaik panele entegreleri sağlanarak sistemin verdiği tepkiler karşılaştırmalar ile ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli iklimlendirme sistemleri ile fotovoltaik panellerden %4 - %10 civarlarında daha fazla elektrik enerjisi kazancı elde edilebileceği tespit edilmiştir. Fotovoltaik panele entegre olarak örnek bir iklimlendirme sistemi Şekil 4'te verilmiştir [13].



Şekil 4. Fotovoltaik panele entegre iklimlendirme sistemi

Bir araştırmada, yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilen gerilim – güç grafiği Şekil 5’te verilmiştir. Şekil 5’ten; iklimlendirme sistemi olmadan fotovoltaik panelin çalışma sıcaklığı 58°C olarak ölçüldüğü ve iklimlendirme sonrası bu sıcaklığın 32°C ’ye kadar düşürüldüğü gözlemlenebilmektedir. Bu sayede sistemde elektrik enerjisi kazancının arttığı rahatlıkla anlaşılabilmektedir.



Şekil 5. İklimlendirme sistemi öncesi ve sonrası fotovoltaik panelin güç – gerilim eğrisi[13]

5. Sonuç ve Öneriler

Güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli, Türkiye’nin tüm bölgeleri için ciddiyle ele alınmasını gerektiren bir büyüklüktedir. Güneş enerjisinin aktif yöntemle yapı ısıtılmasından, seraların ısıtılmasına, tarımsal ve endüstriyel kurutmaya, endüstriyel ısı uygulamalarına, soğutmaya, metalürjik fırınlara, fotokimyasal ve foto biyolojik işlemlere dek çeşitli kullanım alanlarındaki araştırmaların desteklenmesinin yanı sıra uygulamaların yaygınlaştırılmasına da çalışılmalıdır.

Bu çerçevede güneşli soğutma konusu, ülkemiz koşullarında tarımsal ürünlerin ve gıda sanayi ürünlerinin saklanması açısından üzerinde önemle durulması gereken bir seçenektir [5].

Fotovoltaik panellerin elektrik enerjisi üretiminde maliyet-etkin yani ekonomik olabilmeleri için fotovoltaik panel sistemlerine ek olarak çeşitli ek entegre sistemleri fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi kazancının artırılarak panellerin kendini daha kısa sürede amorti etmeleri sağlanabilir. Böylece maliyeti fazla olan fotovoltaik panellerin daha az maliyete sahip olması gerçekleştirilebilir.

Fotovoltaik panellerin elektrik enerjisi kazançlarını arttıracak en önemli sistemler; güneş takip sistemleri ve iklimlendirme sistemleridir. İklimlendirme sistemleri, fotovoltaik panellerin elektrik

enerjisi kazançlarını az oranda arttırsa da kullanılacağı bölge itibar ile duruma göre tercih edilebilir. Fakat güneş takip sistemleri ile fotovoltaik panelin güneşi gün boyunca takip etmesi sağlanarak güneşten optimum düzeyde yararlanılabilmesini gerçekleştirmektedir. Yapılan birçok çalışmada güneş takip sistemlerinin sabit sistemlere göre fotovoltaik panellerin elektrik enerjisi kazançlarını önemli oranda arttırdığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı uygulanacak fotovoltaik panel sistemlerine entegre olarak durum şartlar göz önünde bulundurularak güneş takip sistemlerinin kullanımı tavsiye edilmektedir.

Kaynaklar

1. Rüstemli S., Cengiz M. S., Dinçer F. 2011. Van İli Elektrik Enerjisinin Dünü, Bugünü ve Yarını, Kaynak Elektrik Dergisi, 260, pp. 108 – 115.
2. Rüstemli S., Dinçer F. 2012. Research On Effects Of Environmental Factors On Photovoltaic Panels and Modeling With Matlab / Simulink, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), R.88 NR 7a/2012, pp: 63-66.
3. Çolak İ., Bayındır R., Sefa İ., Demirbaş Ş., Ergen H. 2005. Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımı, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, 19-20-21 Ekim, Mersin.
4. Rüstemli S., Dinçer F. 2011. Economic Analysis and Modeling Process of Photovoltaic Power Systems, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), R.87 NR 9a/2011, pp: 243-247.
5. Rüstemli S., Dinçer F., Dinçadam F. 2011. Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Enerjisinin Dünü, Bugünü ve Yarını”, Kaynak Elektrik Dergisi, 261, pp. 140 – 144.
6. Rüstemli S., Dinçer F. 2011. Modeling of Photovoltaic Panel and Examining Effects of Temperature in Matlab/Simulink, Elektronika Ir Elektrotehnika (Journal of Electronics and Electrical Engineering), 3(109), pp. 35 – 40.
7. Rustemli S., Dincadam F., Demirtas M. 2010. Performance Comparison of the Sun Tracking System and Fixed System in the Application of Heating and Lighting, Arabian Journal for Science and Engineering, 35, (2B), pp. 171 – 183.
8. Dinçadam F. 2008. Güneş Pilleri İle Sıcak Su Elde Etme, Sokak Aydınlatması ve Güneş Takip Sistemi Uygulaması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van.
9. Rüstemli S., Dinçadam F., Demirtaş M. 2009. Güneş Pilleri İle Sıcak Su Elde Etme ve Sokak Aydınlatması, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, pp 42-49, 19-20-21, Diyarbakır.
10. Demirtaş M. 2008. Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
11. Bilgin Z. 2006. Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
12. http://www.callcgr.com/Current_Events/page_2355291.html, (Erişim Tarihi: 01.06.2011).
13. Odeh S., Behnia M. 2009. Improving Photovoltaic Module Efficiency Using Water Cooling, Heat Transfer Engineering, 30 (6), pp. 499-505.