



Yayla Evlerinin Optimum Enerji İhtiyacının Fotovoltaik Sistemler Kullanılarak Düşük Maliyetle Karşlanması

Hilmi Zenk*

Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 28200 Giresun, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş 22 Haziran 2018
Kabul 22 Ekim 2018

Anahtar Kelimeler:

Yayla evi
Güneş enerjisi
Fotovoltaik güneş pili
Enerji birim maliyeti
Şebeke bağlantısız enerji sistemleri

*Sorumlu Yazar:

E-mail: hilmi.zenk@giresun.edu.tr

ÖZ

Fosil yakıtların giderek azalması ve çevreye olumsuz etkilerinden dolayı, yenilenebilir enerjiye ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bilindiği gibi güneş enerjisi kullanarak enerji üretilmesi yenilenebilir enerji kaynağı uygulamalarından en popüler olanıdır. Bunun sebeplerinden biri dünyadaki tüm enerjinin kaynağı olan güneşin çok uzun süre daha enerji verecek olmasıdır. Diğer önemli bir nedeni ise yarıiletken elektroniği teknolojisindeki hızlı gelişmeler olarak gösterilebilir. Güneş enerjisinden düzlem kollektörle doğrudan su ısıtma, fotovoltaik panellerle aracısız biçimde elektrik üretme ve hatta yoğunlaştırılmış parabolik sistemlerle daha yüksek güçlerle elektrik üretimi yapılabilmektedir. Bu çalışmada elektrik tesisi bulunmayan yaylalardan seçilen örnek ve geleneksel bir yayla evinde kullanılan Güneş panelleri ile güneş enerjisinden fotovoltaik güneş pilleri ile elektrik üretilmiş ve akü banklarında depolanmış, ihtiyaç halinde aküde depolanan elektrik enerjisi invertör aracılığı ile şebeke elektrigiğine dönüştürülmüştür. Evde tasarruflu elektrik elemanları seçilmiş, temel ihtiyaçlar için gereken minimum gücün üretilmesi sağlanmıştır. Yine tasarlanan sistemin ekonomikliği araştırılmış olup optimum seviyede enerji verimliliğini dikkate alarak verimlilik analizi yapılmıştır.

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 6(12): 1768-1774, 2018

Low Cost Provides of the Energy Needs of Plateau Houses by Using Photovoltaic Systems

ARTICLE INFO

Research Article

Received 22 June 2018
Accepted 22 October 2018

Keywords:

Plateau house
Solar energy
Photovoltaic solar battery
Energy unit cost
Off-grid energy systems

*Corresponding Author:

E-mail: hilmi.zenk@giresun.edu.tr

ABSTRACT

Renewable energy interest is increasing day by day due to the progressive decline of fossil fuels and negative effects on the environment. As is known, generating energy using solar energy is the most popular of renewable energy source applications. One of the reasons for this is that the sun, which is the source of all the energy in the world, will give energy for a very long time. Another important reason is the rapid developments in semiconductor electronics technology. Direct solar water heating with solar collector, power generation without photovoltaic panels, and even power generation with concentrated parabolic systems. In this research, electricity is generated by solar panels used in a traditional plateau house, photovoltaic solar batteries from solar energy and electricity stored in battery benches and electricity stored in the battery is converted to mains electricity through an inverter if necessary. Saving electric elements at home are selected, and the minimum power required for basic needs is provided. In addition, the economics of the designed system was investigated and efficiency analysis was carried out considering the energy efficiency at the optimum level.

Giriş

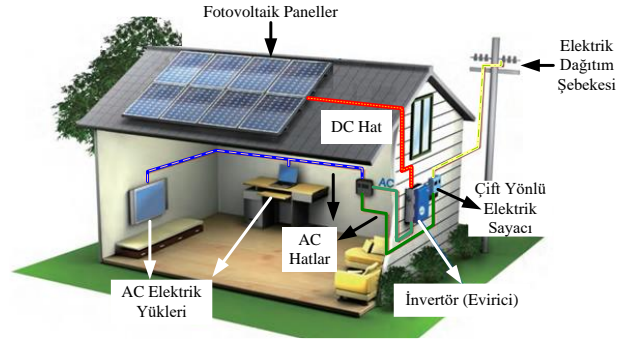
Fosil yakıtların giderek azalması ve çevreye olumsuz etkilerinden dolayı, yenilenebilir enerjiye ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji üreten sistemler bağımsız ya da şebeke bağlantılı olarak iki grupta düzenlenebilir. Seçilen sistemlerin mahal ve coğrafi konuma bağlı olarak sürdürülebilir olması önem arz etmektedir. Özellikle elektrik şebekesine uzak kalan kırsal kesimlerde elektrik üretim yöntemi olarak bağımsız sistemler öne çıkmaktadır. Bağımsız sistemler için kaynaklar güneş (Patel, 2006), rüzgâr (Ackerman, 2005), su (Ak ve ark., 2008) ve biokütle (Karayılmazlar ve ark., 2011) olarak karşımıza çıkmaktadır. Güneş ışığının farklı şiddetlerle de olsa her bölgeye ulaşabilmesi, alternatifler arasında bir avantaj arz etmektedir. Güneş enerjisinden düzlem kollektörle (Oturanc ve ark., 2002) doğrudan su ısıtma, fotovoltaik (Ropp ve Gonzales, 2009) panellerle aracısız biçimde elektrik üretme ve hatta yoğunlaştırılmış parabolik sistemlerle daha yüksek güçlerle elektrik üretimi yapılabilmektedir.

Geleneksel Türk kültürünün önemli bir parçası olan yaylacılık Türkiye, Orta Asya ülkeleri ve Orta Doğu'da yaşayan insanlar tarafından yaz aylarında yaylalara çıkılarak sürdürülen önemli bir gelenektir. Yaylalara çıkan insanlar, teknolojinin getirdiği günlük alışkanlıklarını sürdürebilmek için elektrik enerjisine ivedi ve kaçınılmaz biçimde ihtiyaç duymaktadır. Kırsal kesimlerde yerleşim yerleri ve evler birbirinden oldukça uzaktadır. Türkiye'nin batısı ile doğusu boyunca uzanan Karadeniz ve Akdeniz bölgelerinde bulunan yaylaların çok geniş bir alana yayılmaktadır. Bu yaylalarda yaşayan insanların toplu yerleşimden uzak durmaları ve birkaç ay gibi kısa bir süre buralarda kalıyor olmaları, bu bölgelere yatırım yapma kararı verecek olan elektrik dağıtım şirketlerini uzak hatlardaki teknik kayıpların (Deparu ve ark., 2011) büyüklüğü ve uzun hatların ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliği gibi sebepler yüzünden elektrik şebeke yatırımlarından vazgeçirmektedir. Bunun sonucunda kırsal kesim ve yayla yerleşimleri için şebekeden bağımsız otonom elektrik üretim sistemleri (Miland ve ark., 2006) önemli bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır.

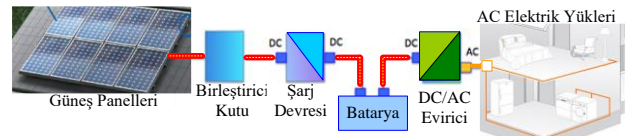
Enerjinin temiz, verimli ve ekonomik kullanımı, ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin en önde gelen ölçütü olarak değerlendirilmektedir. Dünya nüfusunun artışı ve kişi başına enerji tüketiminin yükselmesi alternatif enerji kaynaklarına yönelişi kaçınılmaz kılmakta ve hızlandırmaktadır. Bu çalışmada elektrik tesisi bulunmayan bir yayladaki yayla evi için güneş pillerinin kullanıldığı örnek bir projede benzetim yöntemiyle güneş enerjisinden fotovoltaik güneş pilleri vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilmesi sağlanmıştır. Üretilen enerji akü banklarında depolanarak nitelikli kullanıma uygun olması bakımından, tam sinüs dalgalı invertörler ile şebeke standartlarındaki 220V, 50Hz AC (alternatif akım) elektrik enerjisi olarak tasarlanmıştır. Enerjinin üretilmesi kadar önemli olan enerjinin verimli kullanılması gerçeği dikkate alınarak evde tasarruflu elektrik elemanları seçilmiş, temel ihtiyaçlar için gereken minimum gücün üretilmesi sağlanmıştır.

Materyal ve Metot

Güneş pili ile elektrik enerjisi üretimi uygulamaları, şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri (on-grid) ve bağımsız güneş pili sistemleri (off-grid ya da stand-alone) olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Şebekeye bağlı güneş sistemlerinin şebekeden bağımsız sistemlerden farkı akü grubunun olmamasıdır. Yani güneş panellerinin ürettiği fazla enerji depolanmaz şebekeye verilir. Yeterli enerji üretilmediği zaman ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC gerilimin, AC'ye çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir. Şekil 1'de şebekeye bağlı bir sistemin genel yapısı görülmektedir (Chen ve ark., 2007). Şekil 2'de şebekeden bağımsız bir sistemi oluşturan elemanlar görülmektedir. Genel olarak güneş paneli, şarj regülatörü, akümülatör (akü grubu) ve invertörden oluşmaktadır (Lagorse ve ark., 2009). Bazen de güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazları da bulunabilir. Yapılan çalışmalarda bölge elektrikli şebekeleri bulunmadığı için şebekeden bağımsız (off-grid) bir sistem seçilerek tasarım gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1 Şebeke bağlantılı (on-grid) güneş pili sistemleri
Figure 1 On-grid solar cell systems



Şekil 2 Şebeke bağlantısız (off-grid) güneş pili sistemleri
Figure 2 Off-grid solar cell systems

Tasarlanan Sistemin Bileşenleri

Güneşin enerjisinden yararlanmak üzere tasarlanan güneş pili uygulama modelleri bağlantı durumuna göre, akümülatör, evirici (invertör yada ondülör), akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir fotovoltaik sistem oluşturur (Köroğlu ve ark., 2010). Bu sistemlerin enerji kaynağı olarak yeterli sayıda güneş pili modülü, kullanılır. Sistemde kullanılan akümülatör güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince ihtiyacı karşılamak üzere genellikle bulundurulur. Gün boyunca elektrik enerjisi, güneş pili modülleri tarafından üretilerek, bataryalarda depolanır. Alıcılar için gerekli olan enerji, bataryalardan sağlanır. Batarya şarj devresi, akü gruplarının aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılır. Ayrıca bu şarj düzenleyici devreler akülerin durumuna göre, ya güneş pillerinden

gelen ya da yükün çektiği enerjiyi kontrol edebilir. Elektrikli cihazlar için gerekli şebeke standartlarındaki alternatif akım elektrik enerjisini, sisteme bir evirici eklenerek, bataryadaki DC gerilimi, standart 220 V – 50 Hz'lik tam sinüs dalgasına dönüştürülür. Uygulamanın şekline göre çeşitli elektronik devreler sisteme ilave edilebilir. Bazı sistem uygulamalarında, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleme devreleri de bulunabilir.

Şebeke bağlantısı olmayan (off-grid) güneş pili sistemleri yüksek güçte sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerjinin depolandığı ve yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise akü banklarından enerji alınabilir. Bir konutun günlük elektrik enerjisi tüketimi kW-saat (kWh) cinsinden hesaplanmaktadır. Evlerde kullanılan günlük ortalama enerji tüketimi değişim göstermektedir. Günlük elektrik tüketimi aylık elektrik faturasındaki tüketim miktarından yola çıkarak kW-saat cinsinden hesaplanabilir. Evlerde kullanılan her cihazın tükettiği güç etiketlerinde yazılır.

Fotovoltaik (Güneş) panelleri: Güneş panelleri güneşten gelen ışınları elektrik enerjisine çeviren ve sistemin ana elemanlarıdır. Gelişen teknoloji ile birlikte verimleri günümüzde %20'ye yaklaşmıştır (Öztürk, 2017; Şenay, 2011). Verimleri güneşin 1000 W/m² enerji yaydığı bölgeye göre hesaplanmaktadır (Markvat ve Castaner, 2006). Türkiye'de bu değer 1300 W/m² olduğundan verimleri daha iyi değerler almaktadır (Güneşsistemleri. 2018). Kayıplar ihmal 1m² alanda edilirse 195 Watt elektrik enerjisi üretilebileceği öngörülebilir (Ferhatenergy, 2018). Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum dikkate alındığında ortalama güneşlenme süresinin kış aylarında 5 saat, sonbaharda 7 saat ve yaz aylarında da 11 saat olduğu bilinmektedir (MGM, 2018). Bu bilgiler göz önünde bulundurulursa günlük ortalama yük ihtiyacı 5 kW-saat olan bir ev için; ortalama güneşlenme süresinin 6 saat olduğunu varsayılırsa saatlik 1 kW'lık üretim yapan bir güneş paneli sistemi tasarlanması evin enerji ihtiyacını karşılayacağı bilinmektedir. Panelin camının kirlenmesi, güneş ışınlarının sabah ve akşam dik açıyla gelmemesi, havanın çok sıcak ve çok soğuk olup verimin düşmesi gibi nedenlerden ötürü 1 kW'lık panel günlük 5 kW-saatlik ihtiyacı rahatlıkla karşılayacaktır (Yenilenebiliryaşam, 2011).

Batarya grubu: Bataryalar üretilen elektrik enerjisini depolamak amacıyla kullanılır ve genel olarak üç tipte üretilir. Bunlar, kuru tip (Flooded Lead Acid), AGM tip (Absorbed Glass Mat Sealed Lead Acid) ve GEL tip (Gelled Electrolyte Sealed Lead Acid) olarak sınıflandırılabilir (Victronenergy, 2018). Fotovoltaik enerji üretim sistemlerinde çoğunlukla kuru tip bataryalar tercih edilmektedir. Bataryaların enerji sağlama kapasiteleri Amper-saat (Ah) cinsinden ifade edilir. Batarya ömürlerini uzun tutmak için kapasitesinin %50'nin altına düştüğü durumlarda şarj başlatılmalıdır. Bunun için akıllı şarj sistemlerine ihtiyaç duyulur. Sektördeki hızlı gelişim batarya verimlerini %90'ın üzerine çıkartmıştır (Güneşsistemleri. 2018). Off-grid sistemler güneşin olmadığı durumlar için bazı sınır değerleri sağlaması gerekmektedir. Buna göre güneşsiz

geçecek 3 gün için gerekli ihtiyacı karşılayacak kadar akü kapasitesi gereklidir. Bu durumu uç durum Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum için çok nadir olduğundan 3. güne de yetecek kadar fazla akü almak faydasına göre pahalı bir yatırımdır. Bunun yerine şebeke elektriğinin olduğu yerde 2 gün, olmadığı yerde 3 günlük ihtiyacı depolayacak kadar akü kullanımı uygun olacaktır. Bu da günlük tüketimi 5 kW olan bir ev için 10 kW'ı karşılayacak akü kapasitesi demektir. 24 V - 200 Ah etiketli akü grubu 24 Volt × 200 Amper-saat = 4.800 Watt değerinde bir güç depolayabileceği anlamını taşır. Akülerde depolanan enerjinin tamamını hatta %70'inden fazlasını kullanmak akünün yapısını kısa zamanda bozmaktadır (Deparsolar, 2018). Bu yüzden 12 V 1200 Ah bir akü grubu tasarlanan sistemim için ideal olacaktır.

Akü şarj devresi: Şarj devresi, güneş panelinin ürettiği akımı düzenleyerek bataryaya iletilmesini sağlar. Bataryanın tam dolmasını ve aşırı kullanımlarında deşarj (boşalmasını) olmasını engeller. Bir şarj regülatörü sistemin çekeceği anlık aşırı akımlara ve sürekli maksimum akımlara dayanıklı olmalıdır (Ardenenergy, 2018). Sistemde kullanılan bu akü şarj devreleri için en önemli diğer bir parametre de kullanılan batarya voltajı ile uyumlu olmasıdır. İyi bir şarj için, şarj edilecek bataryanın hücre kimyasından daha ziyade batarya voltajı ve akımı daha önemlidir. Bataryaların şarjı ve elektriksel parametrelerinin izlenmesi amaçlı tümleşik devre tasarımları yaygın olarak kullanılır. Şarj devresi tasarımlarında geleneksel DC-DC çevirici yapıları tercih edilir. Bunlardan buck, boost, buck-boost, fly back, forward ve tam köprü yapıları akü şarj devre tasarımlarında en çok kullanılanlarıdır.

Evirici (İnvertör): Panellerin ürettiği yada bataryalarda hazır kıta bekleyen DC elektrik enerjisini, tüketicilerin gereksinim duyduğu AC elektrik enerjisine (220V-50 Hz) çevirir. İnvertörün ürettiği AC gerilim işaretinin sağlaması gereken standartlar çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve buzdolabı gibi elektrikli ev aletlerinin güvenli çalışması açısından önemlidir. Sistemden çekilecek anlık maksimum güç ya da diğer bir ifadeyle aynı anda çalışacağını düşünülen cihazların anlık toplam gücüne göre invertör gücü seçilmelidir. Seçilecek bir invertör için 2kW çamaşır makinesi, 300W televizyon, 150W buzdolabı ve 200W'lık lamba aynı anda çalıştırılmak istenirse 2650W'lık bir invertör seçimi gerekecektir. Ancak aynı anda daha çok elektrikli cihazın birlikte kullanılması gerekirse örneğin yukarıdaki ev aletlerine 2000W'lık bir fırın ilave edilirse 4650W'lık bir invertör seçimi gerekecektir. Kimi tasarımlarda invertör seçimi saatlik üretilen miktarla aynı yapılmaktadır.

Örnek Bir Yayla Evi İçin Gerekli Enerjinin Hesaplanması

Bir yayla evinde günlük tüketilen enerji, kullanıcıların tüketim davranışlarının düzenli olmaması nedeniyle günlük olarak değişiklik gösterebilir. Bu sebeple aylık ya da haftalık enerji tüketimi üzerinden bir hesap yapmak daha gerçekçi bir tasarım için gereklidir. Aylık ya da haftalık toplam tüketilen enerjiden bir günlük ortalama enerji tüketimi hesaplanabilir. Tablo 1'de bir yayla evi için haftalık enerji ihtiyaç değerleri verilmiştir. Tablo 1'e göre örnek alınan ev için tüketim verileri dikkate alındığında, günlük ortalama enerji tüketiminin

(25.207,50 / 7 = 3.601,07 ≈ 3.601) 3.601 Wh olduğu hesaplanmıştır. Herhangi bir fotovoltaik üretim sisteminin tasarımı yapılırken günlük Wh enerji ihtiyacı, çalışma süresi, çalışma gerilimi, yükün günlük profili gibi bilgilerin elde edildikten sonra gerçekleştirilmesi verimlilik açısından büyük önem taşımaktadır (Alkan ve ark., 2014).

Tüm elektrik sistemlerinde olduğu gibi fotovoltaik enerji üretim sistemlerinde de üretilen gücün tamamı yükü aktarılabilir. Kullanılan devre ekipmanlarının verimliliklerine bağlı olarak enerji kayıpları meydana gelir. Bu kayıpların üretilen enerji miktarının hesabında dikkate alınması gerekir. Sistem üzerindeki ekipmanlardaki verimlilik katsayıları farklıdır. Sistemin verimlilik analizi dikkate alındığında sırasıyla, güneş panelinin verimliliği ortalama $\eta_{\text{panel}} = \%85$, bataryaların verimliliği gelişen teknolojiler ile $\eta_{\text{batarya}} = \%85$ seviyelerine ulaşmış ve eviricilerin verimliliği de $\eta_{\text{evirici}} = \%90$ civarında kabul edilmektedir. Bütün bunlar dikkate alındığında sistem için verimliliği, η_{sistem} Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{\text{sistem}} = \eta_{\text{panel}} \cdot \eta_{\text{batarya}} \cdot \eta_{\text{evirici}} = (0,85) \cdot (0,85) \cdot (0,90) = 0,65 \quad (1)$$

$$E_{\text{Gsystem}} = E_{\text{YET}} / \eta_{\text{sistem}} \quad (2)$$

$$E_{\text{Gsystem}} = 3601 / 0,65 = 5540,11 \text{ Wh bulunur.}$$

Denklem 2 yükün gücünü hesaplamak için kullanılır. Burada E_{YET} , yükün enerji talebi, E_{Gsystem} tasarlanan sistemin üretmesi gereken enerjiyi ifade etmektedir. Buna göre 3601 Wh E_{YET} değeri için E_{Gsystem} değeri 5540,11 Wh olarak hesaplanmıştır.

$$PS = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı}}{\text{Bir güneş panelinin gücü} \times \text{Güneşlenme süresi}} \quad (3)$$

$PS = 5540,11 / [(200 \cdot 3,5)] = 7,9144 \approx 8$ Adet panele ihtiyaç duyulur.

Sistemde kullanılan panel sayısı PS, günlük enerji ihtiyacına ve güneşlenme süresine göre belirlenir. Panel sayısının belirlenmesinde Denklem 3 kullanılır. Burada PS panel sayısını ifade etmektedir. Günlük enerji ihtiyacı E_{Gsystem} değerine eşit olmalıdır. 200 W gücünde panellerin kullanılması durumunda, Denklem 3'e göre panel sayısı 8 olarak belirlenmektedir.

Bataryalar, enerji üretilmediği sürelerdeki enerji ihtiyacını karşılayacağı için batarya kapasitesi belirlenirken, havanın kapalı geçtiği gün sayısı da çok önemlidir. Bunun yanında deşarj olma faktörü (depth of discharge) batarya kapasitesi hesabında dikkate alınmaktadır. Gerekli batarya kapasitesinin (B_{cap}) hesaplanması için verilen Denklem 4'te kullanılan HKGGS, havanın kapalı geçen gün sayısını tanımlamaktadır.

$$B_{\text{cap}} = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı}}{\text{Deşarj olma faktörü}} \cdot \text{HKGGS} \quad (4)$$

$$B_{\text{cap}} = (E_{\text{Gsystem}} / 0,65) \times 1,5$$

$$= (5.540,11 / 0,65) \times 1,5$$

$$= 12.784,87 \text{ Wh}$$

Günlük enerji ihtiyacının 5530 Wh, 0,65 deşarj faktörü ve 1,5 gün olarak haftalık kapalı geçen gün sayısı bilinmektedir (Alkan ve ark., 2014). Veriler dikkate alındığında akü kapasitesi Denklem 4'e göre 12.784,87 W olarak hesaplanmıştır. Batarya sayısı BS, bataryanın kapasitesine ve kaç saat boyunca ne kadar akım üretebileceğini gösteren amper-saat (Ah) değerine göre belirlenir. Bataryaların bağlantı şekilleri de önemlidir. Buna göre 12 V'luk aküler seri bağlanırsa sistem gerilimi $V_{\text{sistem}} = 24 \text{ V}$ olur.

$$BS = \frac{\text{Gerekli batarya kapasitesi}}{\text{batarya kapasitesi} \times \text{sistem gerilimi}} \quad (5)$$

$$BS = B_{\text{cap}} / (V_{\text{sistem}} \times B_{\text{Ah}})$$

$$= 12.784,87 / (24 \times 200)$$

$$= 2,6635 \text{ adet bulunur.}$$

Kullanılacak batarya sayısının hesaplanması için Denklem 5 dikkate alınabilir. Batarya değerleri 200 Ah alınırsa, 12.784,87 Wh enerji elde edebilmek için 3 tane akünün seri bağlı olduğu 3 paralel kola ihtiyaç vardır. Bu durumda her biri 200 Ah toplam 6 tane aküye ihtiyaç vardır. Böyle bir sistem aslında $200 \times 24 \times 3 = 14.400 \text{ Wh}$ enerji depolayabilmektedir.

Fotovoltaik panellerde üretilen doğru akımın yayla evinde kullanılan alternatif akım elektrik enerjisine çevrilebilmesi için kullanılan İnvörtörün, yükün çekebileceği maksimum gücü karşılayabilmesi gerekir. Bir ev için bu buzdolabı, bilgisayar, ütü, aydınlatma ve televizyon gibi cihazların aynı anda çalıştığı sırada çekilen toplam yük baz alınır. Tablo 1 dikkate alındığında, $200 \text{ Wh} + 75 \text{ Wh} + 1.600 \text{ Wh} + 25 \text{ Wh} \times 5 + 100 \text{ Wh} = 2.100 \text{ Wh}$ neticede, yaklaşık 2-3 kW değerine sahip invertör tercih edilmelidir. Sistemin şebekeden bağımsız veya şebekeye bağlı olması kullanılacak invertör çeşidini deşışebilir.

Maliyet Analizi

Tasarımı yapılan sistemin maliyet hesabı yapılırken öncelikle şebekeden bağımsız olup olmadığına daha sonra hareketli sistem olup olmadığına karar verilir. Şebekeye bağlı sistemlerde akü grubu, sabit sistemlerde hareketli sistem modülü bulunmayacağı için bunlar hesaba katılmaz. Hareketli sistemlerde paneller hareketli sistemin üstüne yerleştirileceği için üçgen montaj ayağı maliyete dâhil edilmez. Tablo 2'de fotovoltaik sistemin en önemli elemanı olan güneş panellerinin piyasa fiyatları araştırılarak yaklaşık olarak güncel kur fiyat dikkate alınarak 200 W gücünde bir panelin maliyetinin yaklaşık 663,00 TL olacağı hesaplanmıştır.

Sistemde tasarlanan aküler için Tablo 3'te birim fiyatları verilmiştir. Yapılan araştırmada sekiz firmanın piyasa fiyatlarının ortalaması alındığında 1 adet 12V/200Ah'lik bataryanın fiyatının yaklaşık 999,19 TL olacağı görülmüştür. Tablo 4'de fotovoltaik sistemde kullanılan elemanların birim fiyatları verilmiştir. Şebekeden bağımsız sistemlerde (off-grid) akü grubu bulunacağından akü maliyeti hesaba katılır. Eğer sistem sabit sistem ise hareketli sistem maliyeti hesaba katılmaz onun yerine üçgen profil ayaklar maliyete dahil edilir. Tablo 5'te şebeke bağlantısı olmayan sabit bir sistemin ve Tablo 6'da şebekeden bağımsız hareketli sistem maliyet tabloları görülmektedir.

Tablo 1 Örnek bir yayla evinin haftalık enerji ihtiyacı tablosu

Table 1 Weekly energy requirement table of an example plateau house

Elektrikli Aletler	OG	A	ÇGS	ÇS	HET
Buzdolabı	200	1	7	10	14.000
Televizyon	100	1	7	3	2.100
Bilgisayar	75	1	7	0,5	262,5
Ütü	1600	1	1	0,2	320
Fırın	1000	1	1	0,2	200
Aydınlatma	20	4	7	5	2.800
Çamaşır Mak.	2000	1	1	1	2.000
Bulaşık Mak.	1800	1	1	1,5	2.700
Yayık	250	1	1	0,5	125
Diğer	100	1	7	1	700
				Toplam	25.207,5

OG: Ortalama Güç (W); A: Adet; ÇGS: Çalışma Günü Sayısı, ÇS: Çalışma Süresi (h); HET: Haftalık Enerji Tüketimi (Wh)

Tablo 2 FV sistemdeki 200W paneller için piyasa fiyatları

Table 2 Market prices for 200W panels in PV system

Marka	Güç	Adet	Birim Maliyet (USD)	200W Fiyatı (₺)
Astronergy Solar	270 W	1	\$1,02	918,00 ₺
Astronergy Solar	325 W	1	\$0,94	846,00 ₺
JA Solar	315 W	1	\$0,86	774,00 ₺
LG	300 W	1	\$1,15	1.035,00 ₺
Solarland	190 W	1	\$1,29	1.161,00 ₺
SolarWorld	295 W	1	\$1,14	1.026,00 ₺
Zhejiang Perlight Solar Co., Ltd.	260 W	1	\$0,45	405,00 ₺
Wuxi Ideal New Energy Co.	300 W	1	\$0,38	342,00 ₺
Suzhou Resun Solar Energy	250 W	1	\$0,65	585,00 ₺
Wuxi Ideal New Energy Co.	255 W	1	\$0,38	342,00 ₺
Guangzhou Kunyang New En. Co.	250 W	1	\$0,70	630,00 ₺
Nanjing Moge New Energy Co.	165 W	1	\$0,40	360,00 ₺
Shenzhen Crystal Solar Co	100 W	1	\$0,74	666,00 ₺
Guangzhou Anern Ener. Co.	250 W	1	\$0,60	540,00 ₺
Jiaxing Botao Solartech Co.	160 W	1	\$0,35	315,00 ₺
	Seçilen Ürünleri 200W Ortalama Fiyatı (₺)			663,00 ₺

Tablo 3 Tasarlanan sistemdeki 200 Ah'lik aküler için ortalama piyasa fiyatları

Table 3 Average market prices for 200 Ah of batteries in the designed system

Marka	Gerilim	Adet	Birim Maliyet (USD)	Fiyatı (TL)
Guangzhou Palma Battery	12V	1	\$300,00	1.350,00 ₺
Wolong Electric Group Co.	12V	1	\$200,00	900,00 ₺
Shenzhen Zhongyuan Chu	12V	1	\$76,00	342,00 ₺
Shenzhen Tengshun Power	12V	1	\$100,00	450,00 ₺
Shandong Ruiyu Accumulato	12V	1	\$45,00	202,50 ₺
Yangzhou Tianxiang Road	12V	1	\$100,00	450,00 ₺
Hefei Bluesun Solar Energy	12V	1	\$250,00	1.125,00 ₺
Zhuhai Ciyi Battery Co.	12V	1	\$140,00	630,00 ₺
	Seçilen Ürünlerin Ortalama Fiyatı (₺)			999,19 ₺

Tablo 4 FV sistem için gerekli malzeme fiyatları

Table 4 Material prices for PV system

Malzeme Birim Fiyatları (₺/Adet)	
Panel	663,00 ₺
Akü	843,76 ₺
Akü Şarj Sistemi	300,00 ₺
İnverter	1.000,00 ₺
Kablo	200,00 ₺
Konnektör	30,00 ₺
Üçgen ayak	50,00 ₺
Hareketli sistem	2.000,00 ₺

Tablo 5 Şebeke bağlantısı olmayan sabit bir sistemin maliyet tablosu

Table 5 Cost table of a stationary system without grid connection

Malzeme	Birim Fiyatları (₺/Adet)	Miktar	Toplam
Panel	663,00	15	9.945,00 ₺
Akü (24V-200Ah)	999,19	10	9.991,90 ₺
Akü Şarj Sistemi	500,00	4	2.000,00 ₺
İnverter (3kVA)	2.000,00	1	2.000,00 ₺
Kablo	200,00	1	200,00 ₺
Konnektör	30,00	10	300,00 ₺
Üçgen ayak	50,00	8	400,00 ₺
		Toplam	24.836,90 ₺

Tablo 6 Şebeke bağlantısı olmayan hareketli bir sistemin maliyet tablosu

Table 6 Cost table of a moving system without grid connection

Malzeme	Birim Fiyatları (₺/Adet)	Miktar	Toplam
Panel	663,00	15	9.945,00 ₺
Akü (24V-200Ah)	999,19	10	9.991,90 ₺
Akü Şarj Sistemi	500,00	4	2.000,00 ₺
İnverter (3kVA)	2.000,00	1	2.000,00 ₺
Kablo	200,00	1	200,00 ₺
Konnektör	30,00	10	300,00 ₺
Hareketli sistem	2.000,00	4	8.000,00 ₺
		Toplam	32.436,90 ₺

Tablo 7 Şebeke bağlantısı olmayan farklı güç seviyelerindeki sistemlerin maliyet tablosu

Table 7 Cost table of systems with different power levels off-grid connection

Güç (kW)	Sabit Sistem	Hareketli Sistem	% Değişim
1	9.702,57 ₺	13.602,57 ₺	40,20%
2	16.755,14 ₺	22.505,14 ₺	34,32%
3	24.836,90 ₺	32.436,90 ₺	30,60%
4	30.810,28 ₺	40.310,28 ₺	30,83%
5	37.362,85 ₺	48.712,85 ₺	30,38%
7,5	64.973,75 ₺	89.993,75 ₺	38,51%
10	79.134,08 ₺	111.884,08 ₺	41,39%
		Ortalama	35,17%

Bulgular ve Tartışma

Tasarımı yapılan bu çalışma ile 1 kW ile 10 kW güç aralığındaki sistemler için güneş enerjisi ile beslenen bir yayla evi için elektriksel olarak projelendirme, matematiksel analiz ve fizibilite araştırması yapılarak sistem maliyeti hesaplanmıştır. Maliyet hesabı sabit veya hareketli olması durumlarına göre analiz edilmiştir. Farklı türden ve farklı güç sistemleri için gerekli malzemelerin hesabı yapılarak toplam maliyet hesabı yapılmıştır. Tablo 7’de farklı sistemlerin maliyetleri görülmektedir.

1-10 kW güç aralığında, aynı güce sahip sabit bir sistem hareketli sistem olarak kurulduğunda maliyetin ortalama olarak yaklaşık %35,17 arttığı görülmüştür. Yapılan bu çalışma aynı zamanda bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak güce sahip bir fotovoltaik sistemde gerçekleştirilmiştir. Bir evin enerji ihtiyacını karşılayacak bir sistem şebekeden bağımsız sabit sistem olarak kurulmak istenirse maliyeti yaklaşık 24.836,90 TL olacaktır. Tasarlanan sistemin kurulu gücü yaklaşık 3 kW ‘tır. Güneş panellerinin maksimum verimde çalışması için MPPT özelliğine sahip şarj kontrol cihazları kullanılmıştır. Bu şarj kontrol cihazları güneş panellerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayarak verimi arttırdığı görülmüştür. Ayrıca akü grubunun güç kapasitesi 14,4 kW’dır. Dolayısıyla aküler tamamen boş

iken dolmaları yaklaşık 20 saat sürmektedir. Akülerin tam dolu iken güneş panelleri hiç enerji üretmese bile bir evin enerji ihtiyacını aküler 3 gün boyunca karşılayabilmektedir.

Sonuç

Elektrik enerjisi için güneş enerjisini kullanan sistemler en temiz ve güvenilir enerji kaynağıdır. Türkiye bulunduğu coğrafi konum sebebiyle güneşlenme süresi yönünden çok avantajlı bir bölgededir. Sonsuz bir enerji kaynağı olan Güneş ışınlarından enerji üretilmesiyle ilgili olarak birçok devlet vatandaşlarını çeşitli teşvik ve proje imkânlarıyla desteklemektedir. Fosil enerji kaynakları sınırlı ülkelerin enerjide dışa bağımlılığının azaltılması, çevre ile ilgili anlaşmaların gereğinin yerine getirilmesi için fotovoltaik enerji üretim sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması bir alternatif olmanın yanında bir zorunluluk olarak görülmelidir. Bu çalışma enerji iletim ve dağıtım hatlarının yetersiz olduğu kırsal tarım bölgelerinin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasına olanak vermektedir. Kaynağı güneş enerjisi olan güneş paneli tabanlı sistemlerin kullanımı gün geçtikçe artmakta ve sistem kurulum maliyeti azalmaktadır. Bu nedenle

kırsal kesimde elektrik şebekesinin bulunmadığı yerler için, ihtiyaç duyulan enerjinin sağlanmasında güneş panel sistemlerinin tasarımı ile günlük ihtiyacı ortalama 5 kW-saat olan bir yayla evi düşünülerek yapılmıştır. Tasarımı yapılan sistemin bileşenleri, bu bileşenlerin seçimi hakkında detaylı bilgiler sunulmuş ve maliyet unsuru ile birlikte değerlendirilmiştir. Şebeke bağlantısı olmayan farklı güç seviyelerindeki hareketli bir sistem kurulduğunda maliyetin ortalama olarak sabit bir sisteme göre yaklaşık %35,17 arttığı görülmüştür. Elektrik dağıtım şirketleri düşük enerji tüketen ve enerji bağlantı noktalarına uzak yaylalardaki az saydaki evleri için yüksek maliyetli kırsal dağıtım hattı yapmak yerine tüketicileri şebeke bağımsız güneş enerji sistemlerine teşvik edilmesi ya da desteklenmesi enerji verimliliği ve maliyet analizi açılarından daha uygun olduğu görülmektedir. Öte yandan çalışma kendi elektrik enerjisini güneş enerjisinden sağlamak isteyenler için de bir model olma niteliğindedir.

Kaynaklar

- Ackerman T. 2005. Wind Power in Power Systems, New York, John Wiley and Sons.
- Ak O, Çakmak E, Aksungur M, Çavdar Y, Zengin B. 2008. Akarsu Üzerindeki Doğal ve İnsan Kaynaklı Faaliyetlerin Sucul Ekosisteme Etkisine Bir Örnek: Yanbolu Deresi (Arsin, Trabzon). Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 24 (1): 389-400.
- Alkan S, Öztürk A, Zavrak S, Tosun S, Avcı E. 2014. Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu, ELECO 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 1: 78-82.
- Ardenergy. 2018. <http://www.ardenergy.com> [Erişim: 31.10.2018].
- Chen YM, Liu YC, Hung SC, Cheng CS. 2007. Multi-input inverter for grid-connected hybrid PV/wind power system, IEEE Transactions on Power Electronics, 22: 1070-1077.
- Deparsolar. 2018. <https://www.deparsolar.com/sayfa1.asp?id=585> [Erişim: 31.10.2018].
- Depuru S, Wang L, Devabhaktuni V. 2011. Electricity theft: overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft, Energy Policy, 39:1007-1015.
- Ferhatenerji. 2018. http://www.ferhatenerji.com/pdf/info_articles21.pdf [Erişim: 18.10.2018].
- Güneşsistemleri. 2018. <http://www.gunessistemleri.com/fotovoltaikkipman.php> [Erişim: 18.10.2018].
- Karayılmazlar S, Saraçoğlu N, Çabuk Y, Kurt R. 2011. Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi Cilt: 13(19): 63-75.
- Köroğlu T, Teke A, Bayındır KÇ, Tümay M. 2010. Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 439: 98-104.
- Lagorse J, Paire D, Abdellatif M. 2009. Sizing optimization of a stand-alone street lighting system powered by a hybrid system using fuel cell, pv and battery, Renewable Energy, 34: 683-691.
- Markvat T, Castaner L. 2006. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier.
- MGM. 2018. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx> [Erişim: 31.10.2018].
- Miland, H, Glöckner R, Taylor P, Aaberg, RJ, Hagen G. 2006. Load control of a wind-hydrogen stand-alone power system, International Journal of Hydrogen Energy, 31: 1215-1235.
- Oturanç G, Özbalta N, Güngör A. 2002. Performance Analysis of a Solar Cooker in Turkey, International Journal of Energy Research, 26: 105-111.
- Öztürk HH. 2017. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler, V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, 1: 1-14.
- Patel MR. 2006. Wind and Solar Power Systems, Boca Raton, Florida, CRC Press.
- Ropp ME, Gonzales S. 2009. Development of a MATLAB/Simulink model of a single-phase grid-connected photovoltaic system, IEEE Transactions on Energy Conversion, 24: 195-202.
- Şenay G. 2011. Çok Eklemlili Güneş Pillerinde Detaylı Denge Modeli İle Verim Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Müh. Anabilim Dalı, Ankara.
- Victronenergy. 2018. <https://www.victronenergy.com/batteries/gel-and-agm-batteries> [Erişim: 31.10.2018].
- Yenilenebiliryaşam. 2011. <http://yenilenebiliryasam.com/2011/01/fotovoltaik-paneller.html> [Erişim: 31.10.2018].