

Isparta İlinde Bir Evin Elektrik İhtiyacını Karşılacak Panel Sayısı, Verimi ve Ekonomik Analizinin Hesabı

Nermin KUTLU

Süleyman Demirel Üniversitesi, Yalvaç Teknik Bilimler MYO, Yalvaç/Isparta
kutlugulnermin@gmail.com

Geliş tarihi: 05.11.2016, Yayına kabul tarihi: 12.12.2016

Özet

Günümüz teknolojisinde, enerji ihtiyacının giderek artması yüzünden güneş enerjisi uygulamalarına talep gün geçtikçe artmaktadır. Gelişmekte olan birçok ülkenin kırsal bölgelerinde kullanılan elektrik ihtiyacını karşılamak için güneş pili sistemler önemli bir rol oynamaktadır. Gerekli bilgileri ve temel ekipmanları temin edildikten sonra enerji kullanılacak evlere Güneş pili sistemleri kurulur. Bu temel ekipmanlardan güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Isparta ili, oldukça zengin güneş ışınları potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada, Isparta iline ait bu zengin güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürmek için güneş pili sistemi kurulmuştur. Bir evin aydınlatılması ve çeşitli elektrikli ev eşyalarının kullanımı için kurulan bu sistemin ürettiği elektriğe karşılık gerekli panel sayısı, panel verim ve sistemin ekonomik analiz hesapları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, güneş rnerjisi, güneş ışınları, güneş pili sistemi

The Calculating of Panel Number, Panel Efficiency and Economic Analysis to Provide The Electricity Needs of a Home in Isparta City

Abstract

In the our present technology, the demand for solar energy applications has been daily increasing due to the increasing of energy needs. Photovoltaic systems play an important role for supplying the electricity needs used in rural areas of many developing countries. Photovoltaic cell systems are established in houses to be used for energy after it is provided the necessary information and basic equipment. Photovoltaic cells from these basic equipments directly convert into electricity the solar rays coming to their surface. Isparta city has quite rich solar rays potential. In this study, photovoltaic cell system has been installed to convert into electricity this quite rich solar rays owning of Isparta city. The capacity of this system which is number of solar panels, efficiency of solar panel and economic analysis were calculated the required system capacity to generate enough electricity by this system for the lighting in home and the using of various electrical household goods.

Keywords: Energy, solar energy, solar rays, solar cell system

Giriş

Güneş, bütün bir yıl boyunca insanlığın kullandığı toplam enerjinin çok daha fazlasını dünyaya gönderir. Güneş, tüm yenilenebilir enerjilerinin temel kaynağıdır. Hidrolik, rüzgar, biyokütle ve güneş enerjisi yenilenebilir enerji grubundadır (Türkseven Doğrusoy ve Serin, 2013). Bu kaynaklar arasında en güncel olanı ve en çok uygulama alanı olanı güneş enerjisidir (Kutlu, 2002). Güneş enerjisi bol, tükenmeyen, temiz ve bedava enerji kaynağıdır (Aksungur vd., 2013). Güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için güneş pilleri kullanılmaktadır (Dinçer, 2011). Güneş pilleri; fotovoltaik ilkeye dayalı olarak üzerlerine güneş ışığı düşmesiyle uçlarında bir elektrik geliri oluşturan ve elektrik enerjisi üretebilen yapılardır (Karaca, 2012). Işık şiddeti, güneş pillerinin temel enerji kaynağını oluşturmaktadır (Altaş, 1998). Her ay yeryüzüne farklı güneş ışınım düştüğü için güneş paneli farklı değerlerde güç üretir. Güneş paneli, $1000\text{W}/\text{m}^2$ güneş ışınım altında maksimum güç (P_{mak}) üretmektedir.

Elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her alanda Güneş Pili Sistemi (GPS), uygulamalı olarak güneş paneli, akü, şarj regülatörü, inverter, ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte oluşturulur (Beyoğlu, 2011). Bu sistemler, elektrik enerjisinin olmadığı izole yerlerde ekonomik olarak şebekeden bağımsız kullanılmıştır. GPS' nin en tipik ve en yaygın kullanım şekli, yerleşim yerlerinden uzak yörelerde enerji gereksinimini karşılayan şebekeden bağımsız (stand-alone) sistemlerdir (Karamanav, 2007). Şebekeden bağımsız bir GPS' nin gün ışığı haricinde çalışması için akü kullanılmalıdır (Koroğlu vd., 2010). GPS' nin diğer kullanım şekli ise şebeke bağlantılı sistemlerdir. Bu tür sistemlerde akü kullanılmamaktadır (Alkan vd., 2014). Bu sistemler, dünya çapında yüksek güçlerde ve çok çeşitli yüklerin enerji talebini karşılamaktadır.

GPS kurulumunda başlangıç yatırım masrafları yüksek olmasından dolayı ekonomik açıdan düşük kurulum maliyet ve yüksek verimliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Ama sonuçta böyle kurulacak sistemlerin kendi kurulum masraflarını çıkaracağı amortisman süresi bulunmaktadır. GPS model örneğinde amortisman süresi sonrasında ucuz enerji kazanılmaktadır (Cengiz ve Mamiş, 2016).

Isparta Türkiye' nin en fazla güneş ışınımı alan illeri arasında bulunmaktadır (Külcü, 2015). Bu çalışmada, Isparta ilinde bulunan kullanıcıların evlerinde kullandığı bazı elektrikli cihazları çalıştıracak gerekli elektriği temiz enerjiden sağlamak için şebekeden bağımsız güneş enerji sisteminin kurulması tasarlanmıştır. Tasarlanan böyle bir temiz enerji evinin elektrik ihtiyacını karşılayacak GPS' nin ekonomik analizi yapılmıştır.

Materyal ve Yöntem

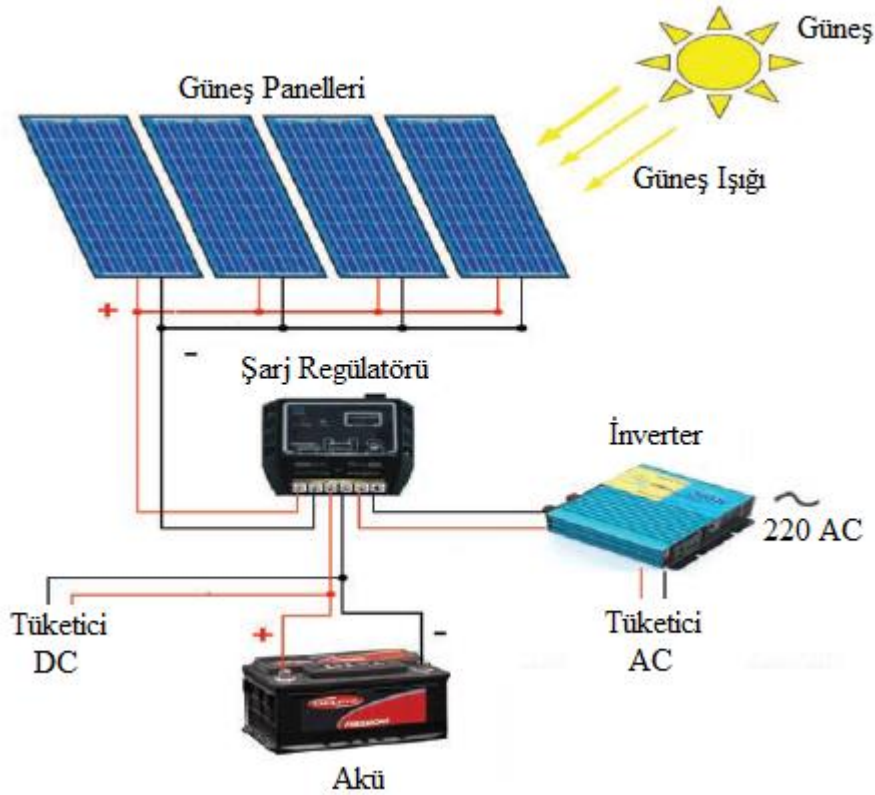
Güneş Pili Sisteminin Kurulması

Güneş Pili Sistemi (GPS) kurulması esnasında dikkat edilmesi gereken dış etkenlere bağlı olan üç önemli parametre bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, yılın en kötü ayına ait günlük güneş ışınım değerinin (Wh/m^2) tespit edilmesi, ikincisi o aya ait sistem veriminin hesaplanması ve üçüncü ise GPS tasarımının yapıldığı evde kullanılacak günlük ortalama yük değerinin [Wh] belirlenmesidir. Bu parametreler göz önünde bulundurularak GPS kurulur ve arıza olmadığı sürece belirlenen ekipmanlar ile üretilen elektrik diğer aylarda da kullanılabilir. GPS kurulumunda kullanılan temel ekipmanlar; güneş paneli, akü, şarj regülatörü ve inverterdir.

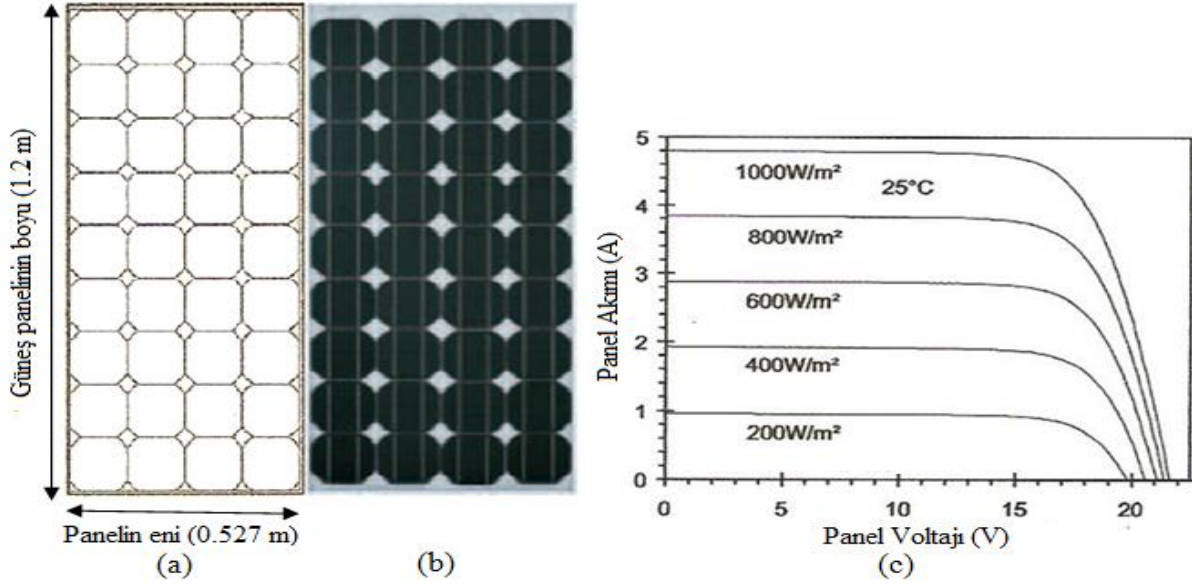
Bir GPS kurulurken önemli olan ilk aşamada, iç etkenlere bağlı unsurlardan birisi güneş paneli (GP) seçimidir. GPS kurulumunun ilk aşamasında enerji ihtiyacını karşılayacak GP' yi, kullanıcı ekonomik durumuna göre seçmelidir.

Panel seçildikten sonra panelin enerji çevrim verimlilikleri göz önünde bulundurularak GPS' deki ihtiyaç olan panel sayısı hesaplanmalıdır. İkinci aşamada da panel seçiminde olduğu gibi kullanıcının ekonomik durumuna göre akü seçilerek GPS tasarımı devam etmektedir. Üçüncü aşamada seçilen akü özelliklerine göre akü sayısı tespit edilir ve sonrasında şarj regülatörü kapasitesi bulunmalıdır. Aküyü aşırı şarjdan ve elektrik boşalmasından korumak için elektronik bir şarj regülatörü kullanılması şarttır. Kurulan bir GPS, GP dizisinin ürettiği enerjiden maksimum verim alabilmek için (Alkan vd., 2014) Maksimum Güç Sağlayıcılarını(MPPT) içermek zorundadır (Muthuramalingam ve Manoharan, 2015). MPPT şarj regülatörleri, kullanılan akünün tam dolu olmasını sağlar (Koroğlu vd., 2010). Böylece şarj regülatöründe oluşacak kayıplar %2 civarındadır (Kıyanççek, 2013) ve bu kayıp çok düşük olduğu için ihmal edilecek seviyededir. GPS' den

beslenen elektrikli cihazlar, genelde 220 V ve 50 Hz alternatif akımla çalışmaktadır. Ama GPS' de güneş ışığından üretilen elektrik, 12 Voltluk doğru akımdır (Öztürk ve Dursun, 2011). GPS ile üretilen doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi için inverter gereklidir. Dördüncü aşamada ise inverterin kapasitesi hesaplandıktan sonra GPS' deki kullanılacak temel ekipmanlar teorik hesaplamalarla bulunan özelliklere göre temin edilmelidir. Böyle teorikte kurulan GPS' den %100 verim almamız mümkün değildir. Güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilmektedir. Aküler ve inverterler ortalama %80-%90 verimle çalışmaktadır. GPS' deki temel ekipmanların sayısı ve kapasiteleri hesaplanırken seçilen temel ekipmanların verimleri elektronik özelliklerine göre kabul edilir. Şekil 1' de GPS modelinin dış görünümü gösterilmiştir.



Şekil 1. GPS modelinin dış görünümü (Koroğlu vd., 2010)



Şekil 2. Shell SQ75 markalı GP' nin (a) eni ve boyu, (b) dış görünümü ve (c) çeşitli güneş ışınımındaki akım ve gerilim grafiği

Bu çalışma için Şekil 2 (b)' de gösterilen SQ75 modelinde GP seçilmiştir. Bu GP, 36 tane 125 mm×125 mm PowerMax monokristal silikon güneş hücrelerinin seri bağlanmasıyla üretilmiştir. Bu GP' nin limit ömür veya garanti süresi 25 yıldır.

$$G.P.A=1.2 \times 0.527 = 0.6324 \text{ m}^2 \quad (2.1)$$

Şekil 2 (a)' da verilen güneş paneline ait eni ve boyu çarpılarak Güneş Panelinin Alanı (G.P.A), Denklem (2.1) ile ifade edilmiştir. Şekil 2 (c)' de verilen grafik, 25 °C sıcaklıkta 200 W/m²' den 1000 W/m²' ye artan güneş ışığı şiddetleri için elde edilen maksimum GP' nin çıkış gücü değerleri ile bu maksimum güce karşılık gelen akım ve gerilim değerlerini temsil etmektedir. Bu

grafikte görüldüğü gibi, ışınım seviyesi arttıkça güneş panelinin akım ve gerilim değerleri artmıştır. Böyle bir artış, maksimum çıkış gücünü de arttırmaktadır. Şekil 2 (c)' de gösterilen akım ve gerilim grafiğinden güneş panelinin ürettiği maksimum gücü, standart test koşulları olarak kabul edilen 25 °C sıcaklık ile 1000 W/m² güneş ışınımında hesaplanmaktadır. Açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akım (I_{sc}) fotovoltaik performans değerleri Çizelge 1' de verilmiştir. Ayrıca maksimum gerilim (V_{mak}), maksimum akım (I_{mak}) ve maksimum güç (P_{mak}) değerleri Çizelge 1' de görülmektedir.

Çizelge 1. SQ-75 güneş paneline ait fotovoltaik performans değerleri

Panel Modeli	P_{mak}	V_{mak}	I_{mak}	V_{oc}	I_{sc}
SQ-75	75 W	17 V	4.4 A	21.7 V	4.8 A

$$P_{mak.} = I_{mak.} \times V_{mak.} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2 ile GP' nin maksimum akım ve maksimum gerilim değerleri çarpılarak GP' ye ait maksimum gücü bulunur (Altaş, 1998).

$$\eta_{GP} = \frac{P_{mak.}}{(GPA \times H)} \times 100 \quad (2.3)$$

Denklem 2.3 ile GP' nin aylık verimi hesaplanmaktadır. Denklem 2.3' de η_{GP} , GP' nin verimidir. GP' ye ait verimin hesaplanması için $P_{mak.}$, G.P.A ve H değerleri Denklem 2.3' de kullanılmıştır (Kutlu, 2002).

$$E_{GP} = P_{GP} \times t_{1000W/m^2} \quad (2.4)$$

E_{GP} , GP' nin günlük ürettiği enerji Denklem 2.4 ile hesaplanabilmektedir. Denklem 2.4' de P_{GP} , GP' nin çalışma gücü ve t_{1000W/m^2} , standard test koşullarında GP' nin çalışma süresidir. Şekil 2 c grafiğinden yararlanarak ortalama aylık güneş ışınımına karşılık gelen akım ile sistem voltajı çarpılarak o aya ait panel gücü bulunmaktadır.

GPS' de kullanılacak temel ekipmanlar Şekil 3 ile dış görünümleri gösterilmiştir.

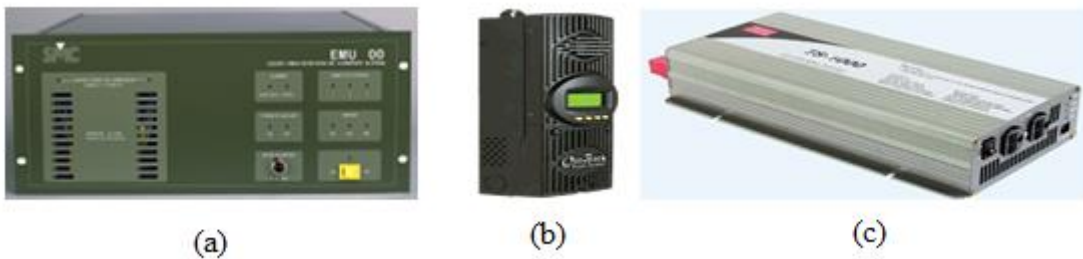
GPS' de tercih edilen EMU 300 modelli akünün kapasitesi 300 Ah' dir. Isparta ilinde kurulması planlanan GPS modeli, enerji elde etmede daha çok etkili olan GP ve akü özelliklerine göre oluşturulmuştur.

GPS' nin kurulmasında dış etkenlerden önemli bir parametre olan yatay düzleme gelen bölgesel güneş ışınımı ve güneşlenme süresidir. Güneş ışınım şiddeti (H) ve güneşlenme süreleri (t_{gs}) GPS' nin kurulmasında gerekli olan panel sayısının belirlenmesinde önemli parametrelerdir. t_{gs} , direkt güneş ışının gün boyunca geldiği süredir ($t_{gs}/gün$).

GPS' nin kurulacağı evde günlük tüketilecek enerji değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Böyle bir temiz enerji evinde kullanılacak en gerekli olan elektrikli ev aletleri olarak buzdolabı no-frost, bulaşık makinası, çamaşır makinası, 55 ekran tv, bilgisayar, ampul, saç kurutma makinası seçilmiştir.

$$P_t = P_h \times t_k \quad (2.5)$$

Denklem 2.5 ile elektrikli ev aletinin gün içi kullanım süresi (t_k) ve harcadığı güç (P_h) çarpılarak günlük harcadığı toplam güç (P_t) hesaplanmaktadır.



Şekil 3. GPS' deki (a) EMU-300 akü, (b) 12 V DC sistemler için 1000 W kapasiteli OutBack MX80 şarj regülatörü ve (c) True Sine Wave Inverter TS-1000-212[B] 1000 VA kapasiteli inverterin dış görünümleri

$$\eta_{sis.} = \eta_{GP} \times \eta_{akü} \times \eta_{inv.} \quad (2.6)$$

GPS' nin sistem verimi ($\eta_{sis.}$), Denklem 2.6' da verilmiştir (Kutlu, 2002). η_{GP} , $\eta_{akü}$ ve $\eta_{inv.}$ değerleri sırasıyla GP, akü ve invertere ait verimlerdir ve bu değerlerin çarpımıyla sistem verimi hesaplanmaktadır (Alkan vd., 2014).

$$PS = \left(\frac{E_{g.e.i.} \times \eta_{sis.}}{P_{GP} \times t_{g.s.}} \right) \quad (2.7)$$

Denklem 2.7 ile tüm aylara göre GPS' de kullanılacak panel sayısı (PS) tespit edilmektedir (Öztürk ve Dursun, 2011).

$$AS = \left(\frac{E_{g.e.i.} \times A_k}{V_a \times K_a} \right) \quad (2.8)$$

EMU 300 model akünün kapasitesi (K_a), akü kaybı (A_k), akü gerilimi (V_a) ve E_{gei} değerleri yardımıyla GPS' de kullanılacak akü sayısı (AS) Denklem 2.8 ile bulunmaktadır (Öztürk ve Dursun, 2011).

$$\dot{I}K = \left(\frac{E_{g.e.i.} \times \dot{I}_k}{t_{g.s.}} \right) \quad (2.9)$$

İnverter kaybı (\dot{I}_k), E_{gei} ve t_{gs} değerleri göz önünde bulundurularak Denklem 2.9 ile inverter kapasitesi belirlenmektedir (Öztürk ve Dursun, 2011).

$$\$RK = \left(\frac{E_{g.e.i.}}{t_{g.s.}} \right) \quad (2.10)$$

E_{gei} ve t_{gs} değerleri göz önünde bulundurularak Denklem 2.10 ile şarj regülatörü kapasitesi ($\$RK$) hesaplanmaktadır (Öztürk ve Dursun, 2011).

Güneş Enerji Sisteminin Ekonomik Analizi

GPS' de işletme ve bakım maliyetleri çok az olduğu için, toplam sistem

maliyetinin büyük bir bölümünü ilk yatırım maliyeti oluşturmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte ilk kurulum maliyetlerinin düşmesi, pil verimliliklerinin artmasına bağlı olarak daha küçük alanlarda daha yüksek verime ulaşılması beklenmektedir (Diken, 2000).

Elektrik enerjisi üretim maliyetini hesaplayabilmek için tesise yapılan masrafların bilinmesi gerekmektedir. Denklem 2.11 ile Wh başına enerjinin birim fiyatı (TL/Wh) para birimi TL olarak elde edilir.

$$g = \frac{c_k + c_m + c_f}{E} = \frac{c_t}{E} \quad (2.11)$$

Denklem 2.11' de " c_k " yıllık sabit sermaye veya yatırım giderleri, " c_m " yıllık işletme ve bakım giderleri (c_m değeri yıllık 100\$ olarak verilmektedir), " c_f " yıllık yakıt giderleri, " c_t " yıllık toplam giderleri, " E " yıllık elektrik enerjisi üretimini göstermektedir (Keçel, 2007).

$$c_k = I_{km} \times a \quad (2.12)$$

Denklem 2.12' de a , amortisman katsayısı ve I_{km} , kurulum ve montaj maliyetini ifade etmektedir. Bu denklemdeki c_k , kurulum maliyeti ve montaj işlemlerindeki tüm masrafların amortisman katsayısı ile çarpılması yıllık sabit sermayeyi kapsamaktadır (Köşker, 2007)

$$a = \left[\frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (2.13)$$

Denklem 2.13 eşitliğiyle a değeri hesaplanmaktadır. Bu denklemde n , toplam ömür süresi ve i , faiz katsayısıdır.

$$S = p(1+i)^n \quad (2.14)$$

Denklem 2.14, n yıl sonra herhangi bir p maliyetinin, i faiz katsayısından dolayı değiştiği S değerini vermektedir (Toprak, 2006).

$$E = I \times A \times \eta_{GP} \times \eta_{sis} \times 365 \quad (2.15)$$

Denklem 2.14' de E, üretilecek bir yıllık toplam enerjisidir. Yıllık ortalama ışımaya (H_2) ve panel yüzey alanı (A) değerleri de E' nin büyüklüğünü etkilemektedir. Bu denklemdeki η_{GP} Denklem 2.3 ve η_{sis} Denklem 2.6 ile her aya göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Açıklanan bu değerlere göre, GPS kurulumu için harcanan toplam gider elde edilen yıllık toplam enerji miktarına bölünerek Denklem 2.11' deki g değerini veren birim güç başına düşen maliyet bulunmaktadır (Korkmaz, 2011).

Bulgular

Kurulan GPS' deki panellerden üretilen doğru akımın depolanmasını sağlamak amacıyla Denklem 2.8 ile 0.88 sonucu 1 adet akü gerektiğini göstermektedir ve GPS' de EMU 300 model aküden 1 adet kullanılmıştır. İK, Denklem 2.9 ile 963.33 VA bulunmuştur. GPS' de, bu kapasite değerine yakın True Sine Wave İnverter TS-1000-212[B] isimli 1000 VA kapasiteye sahip inverter kullanılmıştır. ŞRK, Denklem 2.10 ile 875.76 W olarak bulunmuş ve bu değere uygun olarak 12

VDC sistemler için 1000 W kapasiteli OutBack MX80 şarj regülatörü kullanılmıştır. ŞRK hesabında etkili olan günlük enerji ihtiyacı ve güneşlenme saatleri değişme durumu olduğunda sıkıntı oluşmaması için 1000 W kapasiteli şarj regülatörü kullanılması uygun görülmüştür.

2015 yılına ait Isparta ilinin yeryüzüne ulaşan aylık ortalama güneş ışınım şiddet değerleri: H_1 , cal/cm²; H_2 , Wh/m²; H_3 , W/m²; H_4 , kW/m²(1kW=1000W) ve t_{gs} , saat (sa) cinsinden güneşlenme süresi Çizelge 2' de verilmektedir. Çizelge 2' de dört tane farklı birimlerde güneş ışınım değerleri görülmektedir. Bu değerler birbirine dönüştürülürken belirli katsayılar bulunmaktadır. H_1 değeri cal/cm² olduğu için ilk olarak H_2 değeri ve daha sonra H_2 değerini t_{gs} ' ye bölerek H_3 elde edilmektedir. Çünkü 1 cal cm⁻² h⁻¹=11.63 W m⁻², dir (Rodríguez-Rodríguez vd., 2004). Sonuç olarak 1 cal cm⁻²=11.63 W m⁻² h⁻¹, dir. Çizelge 3 ile GPS' nin kurulduğu temiz enerji evinde kullanılan cihazların günlük kullanım süreleri (t_k), harcadıkları enerji (P_h) ve toplamı (P_t) verilmektedir.

Çizelge 2. Isparta ili için aylık ortalama güneş ışınım şiddeti (H) ve t_{gs} verileri*

AYLAR	H_1 (cal/cm ²)	H_2 (Wh/m ²)	H_3 (W/m ²)	H_4 (kW/m ²)	t_{gs} .
Ocak	177.7	2066.7	666.3	0.67	3.3
Şubat	241.5	2808.7	702.2	0.70	4.0
Mart	327.8	3812.3	811.1	0.81	4.7
Nisan	517.1	6013.9	771.0	0.77	7.8
Mayıs	518.4	6028.9	803.9	0.80	7.5
Haziran	521.9	6069.7	879.7	0.88	6.9
Temmuz	667.6	7764.2	753.8	0.75	10.3
Ağustos	569.9	6627.9	712.7	0.71	9.3
Eylül	473.2	5503.3	604.8	0.60	9.1
Ekim	340.9	3964.7	558.4	0.56	7.1
Kasım	276.7	3218.0	434.9	0.43	7.4
Aralık	236.6	2751.7	393.1	0.39	7.0
YILLIK	405.8	4719.21	674.3	0.67	7.03

*Devlet Meteoroloji Müdürlüğü tarafından ölçülen değerler

Çizelge 3. GPS' nin kurulduğu temiz enerji evinde günlük kullanılan cihazların toplam enerjisi

Elektronik Cihazın Adı	t_k	P_h	P_t
Buzdolabı No-Frost	4(gün/hafta)	2000W/gün	8000Wh
Bulaşık Makinası	2(saat/hafta)	1200Wh	2400Wh
Çamaşır Makinası	6(saat/hafta)	1180Wh	7080Wh
55 Ekran TV	10(saat/hafta)	110Wh	1100Wh
Bilgisayar	3(saat/hafta)	250 Wh	750Wh
Aydınlatma	15(saat/hafta)	60 Wh	900Wh
Haftalık Enerji Toplamı			20230Wh
Günlük Enerji Toplamı			2890Wh

Çizelge 3' te verilen elektronik cihazların günlük kullanım süreleri ve harcadıkları enerjilerine göre günlük toplam enerji tüketimi 2890 Wh' dir. Fark edildiği gibi elektronik cihazların günlük kullanım süreleri enerji tasarrufu açısından minimum değerlerde tutulmuştur. Bu teorik olarak kurduğumuz GPS' den % 100 verim alınması mümkün değildir. Sistem verimliliği bulunurken panel verimi, akü verimi ve inverter veriminin çarpımlarıdır. Şarj regülatörü mppt özellikte olduğundan dolayı verim kaybı olmadığını kabul ediyoruz. Bu özellikten dolayı şarj kontrol cihazlarından MPPT “Maksimum Güç Sağlayıcıları” kullanarak akünün tam dolu olmasını sağlayacağız. Akü ve inverter verimleri % 90' dır. Sistem verimi, değişen panel verimine göre hesaplanmaktadır. Bahsedilen bu sistem verimi, GPS' deki PS tespitinde gerekli olan bir değerdir.

Çizelge 4' de Isparta ili için aylara göre η_{GP} , η_{sistem} , E_{GP} ve PS değerleri verilmektedir. E_{GP} , sistem voltajı 12 V' a karşılık GP' nin üreteceği enerji değeridir. PS hesaplanırken bir günlük pilin üreteceği maksimum enerji değeri kullanılmıştır.

Çizelge 4' ten görüldüğü gibi Ocak ayında η_{GP} , E_{GP} ve t_{gs} (sa cinsinden) değerleri en düşüktür ve bu yüzden GPS' de kullanılacak PS bu aya göre değerlendirilir. GPS' de 13 adet GP kullanılmıştır. GP ile üretilen doğru akımın depolanmasını sağlamak amacıyla yapılan teorik hesaplama sonucunda GPS' de 1 adet akü kullanılması uygun görülmüştür.

Ekonomik analiz yapılırken cihazların fiyatı hesaba katılmamıştır. Çizelge 5' de ekonomik analizinin sayısal değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. Isparta ili için aylara göre η_{GP} , η_{sis} , E_{GP} ve PS değerleri

AYLAR	η_{GP}	η_{sis}	E_{GP}	PS
Ocak	8.95	7.25	124.45	12.52 (13)
Şubat	8.95	7.25	158.90	10.33 (10)
Mart	9.01	7.30	217.14	8.80 (9)
Nisan	9.01	7.30	342.79	5.30 (5)
Mayıs	9.02	7.31	343.74	5.51 (6)
Haziran	9.07	7.35	348.01	5.66 (6)
Temmuz	9.01	7.30	442.56	4.01 (4)
Ağustos	8.96	7.26	375.37	4.44 (4)
Eylül	8.97	7.27	312.31	4.54 (5)
Ekim	9.13	7.40	228.85	5.83 (6)
Kasım	9.03	7.31	183.73	5.59 (6)
Aralık	8.96	7.26	155.90	5.90 (6)

Çizelge 5. Isparta ili için kurulan GPS model örneğinin 2016 yılına ait ekonomik analizi

GPS ekipmanları	Adet	Birim Fiyatı	Tutar(\$/TL;1\$=3.3730TL)*	
Shell Solar SQ 75	13	449 \$	5837 \$	19688.2 TL
EMU 300	1	70 \$	70 \$	236.1 TL
OutBack MX80	1	530 \$	530 \$	1787.7 TL
TS-1000-212[B]	1	239.3 \$	239.3 \$	807.2 TL
Ara Toplam			6676.3 \$	22519.2 TL
Kurulum Maliyeti %20			1335.3 \$	4503.8 TL
TOPLAM			8011.6 \$	27023.0 TL

*Merkez bankasının \$ kur değeri 08.12.2016 tarihine göre alınmıştır

Tartışma ve Öneriler

Hem panel veriminin hem de güneşlenme saatinin en düşük olduğu Ocak ayına göre GPS kurulmuştur. Eğer her iki değer yüksek olduğu Temmuz ayına göre GPS kurulsaydı PS az olacaktı. Kış aylarında güneşlenme süresi ve ışınımın düşük olması sebebiyle Temmuz ayı için kurulmuş bir GPS ile elektrik az üretilmektedir. Bunun sonucunda elektrikli cihazlar kış aylarında çalışmayacaktır.

GPS kurulumunun ekonomik analizinde faiz katsayısı %9.5, $n=25$ değerlerine göre Denklem 2.13 ile $a=0.1061$ bulunmuştur. GPS' nin toplam kurulum maliyeti 27023.0 TL; c_k , 2867.14 TL; GPS' de yakıt gideri olmadığından c_f değeri sıfır; c_m değeri 337.3 TL; c_t değeri 3204.44 TL' dir. Panel alanı 0.6324 m^2 , yıllık ortalama güneş ışınımı 4719.21 Wh/m^2 , ortalama panel verimi %9.01 ve sistem verimi %7.30 ise Denklem 2.15 ile hesaplanan tek bir panelin yıllık üretecek enerji değeri 7164.76 Wh ' dir. GPS' de 13 tane panel olduğuna göre 93141.88 Wh ' dir.

GP' nin 25 yıllık ömrü olduğuna göre GPS' nin de 25 yıllık ömrü olduğu kabul edilir. Yıllık bulunan c_k , c_m ve c_t değerleri 25 ile çarpılır. 25 ile çarpılan değerler $c_k=71678.5 \text{ TL}$, $c_m=8432.5 \text{ TL}$, $c_t=80111.0 \text{ TL}$ ' dir. 25 yıllık üretilen toplam enerji miktarı, 2328547.00 Wh ' dir. Bu değerlere göre, GPS' nin birim elektrik fiyatı $g=0.034404 \text{ TL/Wh}$ olarak bulunmuştur.

EPDK (Enerji ve Tabii Kaynaklar) onayladığı TEDAŞ şebeke elektriğinin 2016 yılına ait en son birim elektrik fiyatı 0.220862 TL/kWh ' dir. Günlük enerji tüketim miktarı 2890 Wh . Yıllık tüketim enerji miktarı 1054.85 kWh ' dir. Bu yıllık tüketim enerji miktarı 25 yıl için 26371.25 kWh ' dir. Bu 25 yıllık tüketim enerji miktarını TEDAŞ şebeke elektriği birim fiyatı ile çarparak 25 yıllık tüketim elektrik masrafı bulunur. TEDAŞ kurumuna ödenecek 25 yıllık kullanılacak elektrik faturası bedeli $26371.25 \text{ kWh} \times 0.220862 \text{ TL/kWh} = 5824.41 \text{ TL}$ ' dir. Bu 5824.41 TL , S formülündeki p değeridir. $S=p(1+i)^{25}$

formülünden yararlanarak $(1+0.095)^{25}$ 25 yıl sonra oluşabilecek faiz oranlarıyla TEDAŞ elektrik fatura bedeli 56312.51 TL olur. Ama güneş sistemimize tek seferde 27023.0 TL vererek kâr edildiği görülmektedir. Aradaki fiyat farkı 29289.51 TL ve bu fark kadar kâr vardır. Dolar kurunda düşüş gözlemlendiğinde bu kâr daha fazla olacaktır. Örneğin 2009 yılında dolar kuru $1\text{\$}=1.4675 \text{ TL}$ idi. Eğer bu kur değerine göre GPS kurulumu yapılmış olsaydı kurulum masrafı 11757.02 TL ve elde edilecek kâr 44555.49 TL olacaktı. Dolar kurundaki yükselme çok olsa da kâr durumu gözlenmektedir. Ayrıca ikinci bir durumda da kâr durumu gözlenmesi mümkündür. Bu kâr durumu, sistem kış için kurulmuştur ve yazın klima gibi elektrikli cihazlara yetecek kadar elektrik olacaktır. GPS' nin 25 yıllık bir ömrü olacağından üçüncü kâr durumu da söz konusudur. Bu kâr durumu, gelecekte güneş enerji dağıtımı için dağıtım şebeke alt yapısı oluşturulursa GPS ile üretilen fazla elektrik talep durumunda satılabilir.

Kaynaklar

- Aksungur, K.M., Kurban, M. ve Başaran Filik, Ü., 2013. Türkiye' nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi, EVK'2013, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 23-24 Mayıs 2013, Kocaeli.
- Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S. ve Avcı, E., 2014. Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu. ELECO'2014, Elektrik, Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, sayfa: 78-82, 27-29 Kasım 2014, Bursa.
- Altaş, İ.H., 1998. Fotovoltaj Güneş Pilleri:Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, Sayı 47, Sayfa:66-71, Bileşim yayıncılık A.Ş., İstanbul.

- Beyoğlu, M.F., 2011. Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- Cengiz, M.S. ve Mamiş, M.S., 2016. Termal Güneş Enerjisi Kullanımı ve CSP Sistemlerin Verimlilik Analizi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, sayı:5, sayfa:1-13, Bitlis.
- Diken, Ö., 2000. Fotovoltaik ünite tasarımı, elektrik enerjisi üretimi ve maliyet analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Dinçer, F., 2011. Türkiye’ de Güneş Enerjisinden Eelektrik Üretimi Potansiyeli, Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. KSU Mühendislik Dergisi, sayı: 14, sayfa: 8-17.
- Karaca, C., 2012. Güneş ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Karamanav, M., 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi. Konya.
- Keçel, S., 2007. Türkiye’nin değişik bölgelerinde evsel elektrik ihtiyacının güneş panelleri ile karşılanmasına yönelik model geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
- Kıyanççek, E., 2013. Fotovoltaik sistemlerin boyutlandırılması için PVS² paket programının gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi. Konya.
- Korkmaz, A., 2001. Güneş enerjisinden direk elektrik üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Koroğlu, T., Teke, A., Bayındır, K.Ç. ve Tümay, M., 2010. Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı: 439, sayfa:98-104, TMMOB Yayınevi.
- Köşker, F., Akbulut, U. ve Kıncay, O., 2007. Güneş enerjisinin kapalı olimpik yüzme havuzlarında kullanımı. Tesisat Mühendisliği dergisi, Sayı:98, s.31-38.
- Kutlu, S., 2002. Güneş tarlası ile elektrik enerjisi üretimi ve SDÜ kampüs alanında bir uygulama analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. Isparta.
- Külcü, R., 2015. Isparta İli için Yeryüzüne Ulaşan Güneş Işınımının Modellenmesi. SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, Sayı: 10, sayfa:19-25, Isparta.
- Muthuramalingam, M. ve Manoharan, P.S., 2015. Energy comparative analysis of MPPT techniques for PV system using interleaved soft-switching boost converter. World Journal of Modelling and Simulation, vol: 11, sayı: 2, sayfa: 83-93.
- Rodríguez-Rodríguez, M., Moreno-Ostos, E., de Vicente, I., Cruz-Pizarro, L. ve da Silva, S.L.R., 2004. Thermal Structure and energy budget in a small high mountain lake: La Caldera, Sierra Nevada, Spain. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, vol:38, sayı:5, sayfa: 879-894.
- Toprak, K., 2006. Rüzgar Enerjisi Santralleri Yardımıyla Hidrojen Eldesinin Ekonomik Analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Türkseven Dogrusoy, İ. ve Serin, E., 2013. İzmir Kentindeki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyelinin Mimari Açından İrdelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, sayı 45, sayfalar:1-25, Buca/İZMİR.
- Öztürk, A ve Dursun, M., 2011. 2, 10 ve 20 kVA’lık Fotovoltaik Sistem Tasarımı. 6th International Advanced Technologies

Symposium, 16-18 May 2011,
Elazığ.
Varınca, K.B. VE Gönüllü, M.T., 2006.
Türkiye’ de Güneş Enerjisi
Potansiyeli ve Bu Potansiyelin
Kullanım Derecesi, Yöntem ve
Yaygınlığı Üzeine Bir Araştırma.
UGHEK’2006. I. Ulusal Güneş ve
Hidrojen Enerjisi Kongresi, sayı
1 Sayfa: 270-275, 21-23 Haziran
2006, ESOGÜ, Eskişehir.