

FOTOVOLTAİK AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE OPTİMUM BOYUTLANDIRMA

Selen ÇEKİNİR¹, Mutlu BOZTEPE²

¹ İzmir Üni. Müh. Fak. Elektronik ve Haberleşme Müh. Böl., Üçkuyular, İzmir
selen.cekindir@izmir.edu.tr

² Ege Üni. Müh. Fak. Elektrik-Elektronik Müh. Böl., Bornova, İzmir
mutlu.boztepe@ege.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada bir fotovoltaik aydınlatma sisteminin analizi bilgisayar benzetimi ile yapılmış ve fotovoltaik modül ve batarya kapasitesi için optimum boyut araştırılmıştır. İzmir yöresi için yapılan benzetim çalışmalarında, fotovoltaik modüller tarafından üretilen enerjinin yaklaşık % 50'sinin kullanılmadığı belirlenmiştir. PV modüllerin yıllık optimum eğim yerine kış aylarına yönelik olarak biraz fazla eğim ile yerleştirilmesinin kullanılmayan PV enerjisini düşürdüğü ve gerekli PV modül boyutunu %10 azaltma potansiyeli bulunduğu belirlenmiştir. En az 1,2 günlük batarya kapasitesinin yeterli olduğu hesaplanmakla beraber, uygulamada öngörülen kapalı gün sayısına göre 2-3 gün arasında seçilmesi sistem güvenilirliği açısından daha uygun olacaktır.

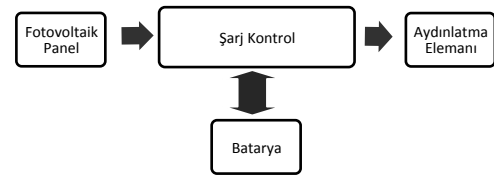
1. GİRİŞ

Ülkemiz, yıllık ortalama 3.6 kWh/m².gün güneş radyasyonu ve yaklaşık 2610 saat güneşlenme süresi ile güneş enerjisi açısından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir [1-2]. Fotovoltaik (PV) modüller ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilen güneş enerjisi, gerek şebekeye bağlı gerekse şebekeden bağımsız sistemlerle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Son yıllarda yol aydınlatmaları, park-bahçe aydınlatmaları ve bina aydınlatmaları gibi uygulamalarda da PV sistemler sıklıkla görülmeye başlanmıştır [3-5]. Aydınlatma gereksinimi gece, yani güneş enerjisi olmadığı zaman ortaya çıktığı için, PV aydınlatma sistemlerinde gün boyunca güneş enerjisinin depolanması ve geceleyin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle en uygun batarya kapasitesinin ve PV modül boyutunun belirlenmesi, PV aydınlatma sistemlerinin performansını ve maliyetini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Bu çalışmada bir PV aydınlatma sistemi bilgisayar ortamında modellenmiş ve benzetimi yapılmıştır. Yıllık bazda

incelenen sistemde en uygun batarya kapasitesi ve PV boyutu araştırılmıştır.

2. FOTOVOLTAİK AYDINLATMA SİSTEMLERİ

Temel olarak bir PV aydınlatma sistemi, PV modül, batarya, aydınlatma elemanı (lambda) ve şarj kontrol devresinden oluşmaktadır. Gün boyunca fotovoltaik modülden elde edilen elektrik enerjisi bataryada depolanmakta, gece ise depolanmış enerji aydınlatma için kullanılmaktadır. Sistem elemanlarının benzetimde kullanılan matematiksel modelleri ilerleyen bölümlerde ayrıntılarıyla verilmiştir.



Şekil 1. Fotovoltaik Aydınlatma Sistemi

a. Fotovoltaik modül

Fotovoltaik modüller, diğer bir deyişle güneş pilleri, ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren

elemanlardır. Dönüşüm verimleri uygulamada kullanılan teknolojiye göre yaklaşık olarak %10-15 civarında değişmektedir. PV modül verimi temelde üç parametreye bağlıdır; ışınım şiddeti, modül sıcaklığı ve yük. Maksimum güç noktası izleme devreleri kullanılarak yük değeri her zaman en uygun değerinde tutulabilmektedir. Yükün optimum olduğu kabul edilirse PV modülden elde edilen güç değeri Eşitlik 1'deki gibi ifade edilebilir [6].

$$P_{DC} = \eta \cdot G \cdot [1 - \beta \cdot (T_C - T_{C,REF})] \cdot SF_{PV} \quad (1)$$

Burada η 25°C'deki PV modül verimini, G ışınım şiddetini, β gücün sıcaklığa bağımlılık katsayısını, $T_{C,REF}$ referans sıcaklık değerini (25°C), SF_{PV} PV modül alanını (m^2) ve T_C modül çalışma sıcaklığını göstermektedir. PV modül çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığından her zaman daha yüksektir. Birçok çalışmada bu sıcaklığın güneş ışınımı ile doğrusal değiştiği kabul edilerek analizler yapılmaktadır. Buna göre ortam sıcaklığı T_A ve orantı katsayısı α olmak üzere modül çalışma sıcaklığı Eşitlik 2 ile hesaplanabilir.

$$T_C = T_A + \alpha \cdot G \quad (2)$$

Orantı katsayısı α , PV modülün NOCT sıcaklığı kullanılarak kolayca elde edilebilmektedir [9].

b. Güneş ışınımı

PV aydınlatma sisteminin bilgisayar benzetimi saatlik olarak yapılacağından, yıl boyunca her saat için modül yüzeyine gelen toplam ışınımın bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışma için İzmir ilinin aylık ortalama ışınım değerleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)'nin GEPA (Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası) sayfasından alınmıştır [7]. Daha sonra bu ışınım değerleri aşağıda anlatılan yöntem ile saatlik ışınımına dönüştürülerek benzetimde kullanılmıştır.

Yatay bir düzleme gelen extraterrestrial günlük toplam ışınımın aylık ortalaması (I_{onz}) Eşitlik 3 ile hesaplanır [8].

$$I_{onz} = \frac{24.3600}{\pi} \cdot 1353 \left(1 + 0,033 \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right) \cdot [\sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \frac{2\pi}{360} \cdot \omega_s + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\omega_s] \quad (3)$$

Burada n , her ayı temsil eden ortalama gün; φ , coğrafi enlem, δ deklinasyon, ω_s güneşin doğuş-batış saat açısını belirtir. GEPA atlasından elde edilen ışınım değeri, Eşitlik 3 ile hesaplanan değere oranlanarak aylık bulutluluk göstergesi K_{Th} elde edilir.

$$K_{Th} = \frac{I_{tnz}}{I_{onz}} \quad (4)$$

Collares - Pereira ve Rabl'in denklemi ile bulutluluk indeksine bağlı olarak yatay yüzeye gelen günlük ortalama ışınımın difüz bileşeni tahmin edilebilmektedir [8].

$$I_{dnz} = I_{tnz}(0,775 + 0,00653(\omega_s - 90) - (0,505 + 0,00455(\omega_s - 90)) \cdot \cos(115K_{th} - 103)) \quad (5)$$

Bu aşamada günlük toplam ışınım kullanılarak saatlik toplam güneş radyasyonu, günlük difüz ışınım kullanılarak saatlik difüz güneş radyasyonu ve I_{thz} ile I_{dhz} 'nin farkını alarak saatlik direkt güneş radyasyonu sırasıyla Eşitlik 6-8 ile hesaplanır [8].

$$I_{thz} = I_{tnz} \cdot r_t \quad (6)$$

$$I_{dhz} = I_{dnz} \cdot r_d \quad (7)$$

$$I_{ihz} = I_{thz} - I_{dhz} \quad (8)$$

Eşitliklerde r_t saatlik toplam güneş radyasyonu oran faktörü ve r_d saatlik difüz güneş radyasyonu oran faktörü olup sırasıyla Eşitlik 9 ve 10 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos\omega_s) \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi - \omega_s}{360}\right) \cos\omega_s} \quad (9)$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi - \omega_s}{360}\right) \cos\omega_s} \right) \quad (10)$$

Eşitlik 9 ve 10'da
 $a = 0,409 + 0,5016 \cdot \sin(\omega_s - 60)$,
 $b = 0,6609 - 0,4767 \cdot \sin(\omega_s - 60)$ ve w
 saat açısıdır.

Güneş pilleri genellikle belirli bir eğimle güneşe bakacak şekilde yerleştirilirler. Ancak elde edilen bu saatlik ışınlam değerleri yatay yüzey için geçerlidir ve eğimli bir yüzeye Eşitlik 11 kullanılarak dönüştürülebilir [8].

$$I_{thb} = R_b \cdot I_{thz} + I_{ahz} \frac{(1 + \cos\beta)}{2} + I_{thz} \cdot r_u \frac{(1 - \cos\beta)}{2} \quad (11)$$

Burada $R_b = \cos\theta / \cos\theta_z$ oran faktörü, R_u ise yerin yansıtma katsayısıdır. Dönüştürme metodu ile ilgili [8] numaralı referansta daha ayrıntılı bilgi bulunabilir.

c. Bataryalar

Güneş enerjisi kesikli ve süreksizdir. Ancak enerji depolama ile kesinti ve süreksizlikler dengelenebilir. İdeal batarya özelliklerine sahip olmamasına karşın, maliyetinin düşük olması nedeniyle kurşun-asit bataryalar PV aydınlatma sistemlerinde enerji depolayıcı olarak çokça kullanılmaktadırlar.

Kurşun-asit bataryaların deşarj derinliği (DOD) yaklaşık %80 olarak önerilmektedir [9]. Eğer daha fazla deşarj edilirse bataryanın devir ömrü kısalmaktadır. Bataryanın şarj/deşarj enerji verimi, sıcaklık, şarj durumu, yük akımı vs. gibi birçok parametreye bağlı olmasına rağmen bu çalışmada 0,86 değerinde sabit olarak alınmıştır [9].

Bataryanın boyutu yükün bir günlük ihtiyacına oranlanarak tanımlanmıştır. Örneğin $SF_{bat}=2$ ise batarya 2 gün yükü besleyebilecek kapasiteye sahip anlamına gelmektedir.

3. BENZETİM SONUÇLARI

Fotovoltaik aydınlatma sistemi benzetimi İzmir meteorolojik şartları altında yapılmış ve 15W gücünde tek bir lamba kullanıldığı varsayılmıştır. Diğer parametreler $\eta = 0,12$,

$\beta=0,05$, $\alpha=0,03375$, $r_u=0,2$, $DOD=0,8$ olarak kullanılmıştır. Güneş ışınlamı sıfırdan büyük iken yükün devre dışı olduğu, ışınlam sıfır olduğunda ise otomatik olarak devreye alındığı varsayılmıştır. Benzetim modeli üzerinde batarya kapasitesi, PV kapasitesi ve PV modül yerleşimi ile ilgili analizler yapılmış, elde edilen sonuçlar aşağıda iki ana başlık altında sunulmuştur.

a. PV modül ve batarya boyutları

Şekil 3'te İzmir için yıllık optimum modül eğimi olan 30°'de yükün enerjisiz kalma oranının batarya ve PV modül boyutlarına göre değişimi verilmiştir. Eğer batarya kapasitesi yeterince büyük değilse, PV boyutu ne kadar artırılsa artırılsın yükün enerjisiz kalma oranının sıfıra inmediği görülmektedir.

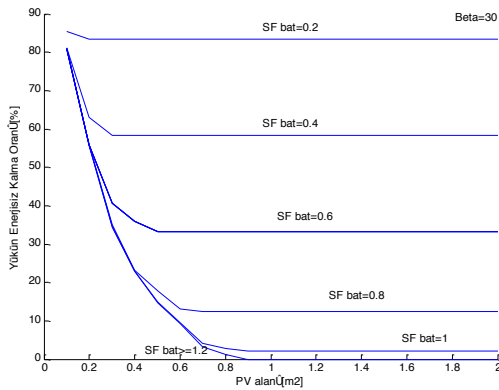
Buna karşın yaklaşık 0,9 m² PV alanı ve 1,2 günlük enerji depolama sağlanır ise yükün enerjisiz kalma yüzdesi sıfıra düşmektedir. Ancak burada kapalı günler hesaba katılmamıştır. Uygulamada 2 veya 3 kapalı gün olabileceği düşünülerek batarya kapasitesi arttırılmalıdır. Ayrıca kapalı günlerin ardından batarya kapasitesinin en kısa sürede tekrar eski haline gelebilmesi için PV modül boyutu da biraz arttırılmalıdır. PV aydınlatma sistemlerinde boyutlandırma kış aylarındaki düşük güneş ışınlamı şartlarına göre yapıldığından bu şart genellikle sağlanmaktadır. Bu durumda da Şekil 4'te açıkça görüldüğü üzere yaz aylarında ihtiyacın üzerindeki PV kapasitesi nedeniyle kullanılmayan PV enerjisi ortaya çıkmaktadır. Batarya dolu ise üretilen bu fazla enerji değerlendirilemeyecek ve kayıp olacaktır. Sıradan bir sistemde kullanılmayan PV enerjisi oranının %50 civarında olduğu anlaşılmaktadır. Yükün ihtiyacını karşılarken aynı zamanda kullanılmayan PV enerjisi miktarının da azaltılması optimum PV boyutunu belirlemekte hedef olmalıdır.

b. PV modül yerleşimi

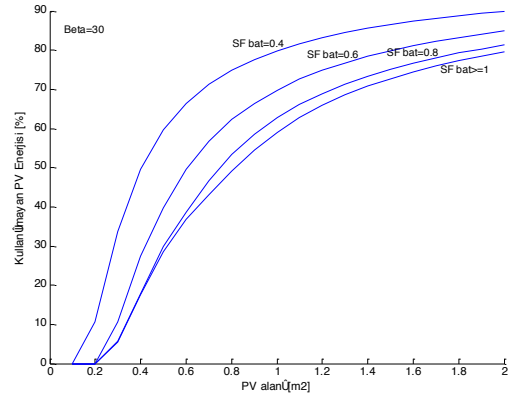
GEPA internet sitesinden alınan İzmir için bir yıllık güneş ışınlam değerleri, farklı eğimler için yeniden hesaplanmış ve elde edilen sonuç Şekil 5-a'da çizilmiştir. Şekil 5-b'de ise aydınlatma yükünün yıl boyunca değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi güneş ışınlamı ile yük arasında zıt bir ilişki vardır. Yaz aylarında ışınlam yüksek ve yükün enerji gereksinimi az, kış aylarında ise ışınlam az ama enerji ihtiyacı yüksektir. Enerji arzı ile enerji tüketimi arasında bir uyumsuzluk görülmektedir. Modül eğimi bu uyumsuzluğu azaltan bir etkiye sahiptir. Şekil 5-a'da görüleceği üzere modül eğimi yükseltirse yaz ve kış ayları arasındaki ışınlam farkı da azalmaktadır.

En uygun değeri bulmak amacıyla farklı modül eğimleri için hesaplama yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Hesaplamalarda batarya kapasitesi 1,5 gün olarak kullanılmıştır.

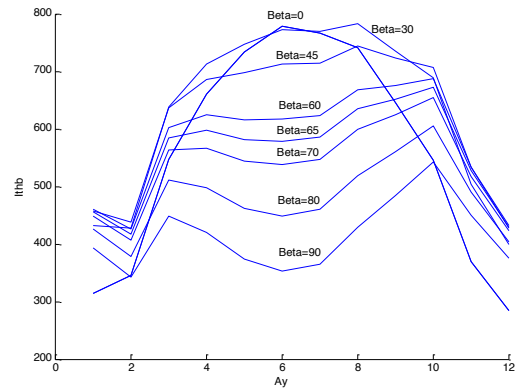
Şekil 6'da görüldüğü gibi modül eğimi artarken yükün enerjisiz kalma oranında önce bir düşme, sonrasında ise tekrar bir yükselme olmaktadır. PV kapasitesi 0.9m^2 olduğunda modül eğimi 30° - 90° arasında iken yük enerjisiz kalmamaktadır. Bununla birlikte PV kapasitesi 0.81m^2 ve eğim 60° olduğunda da yük problemsiz beslenebilmektedir. Bu durum modül eğiminin ağırlıklı olarak yükün fazla olduğu kış aylarına yönelik ayarlanmasının daha avantajlı olduğunu göstermektedir.



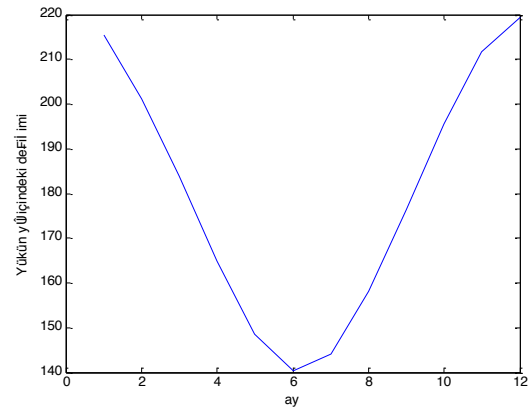
Şekil 3. PV modül ve batarya boyutlarına göre yükün enerjisiz kalma oranının değişimi



Şekil 4. PV boyutuna göre kullanılmayan PV enerjisi yüzdesi



(a)



(b)

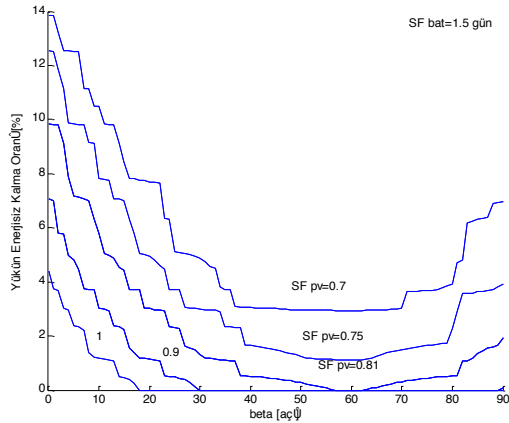
Şekil 5. (a) Güneş ışınlamının ve (b) aydınlatma yükünün yıl boyunca değişimi

Şekil 7'de ise modül eğiminin yükseltilmesinin aynı zamanda kullanılmayan PV enerjisini de düşürdüğü görülmektedir. PV alanı $0.8-1\text{m}^2$ için elde edilen eğriler yaklaşık 50° 'ye kadar çok

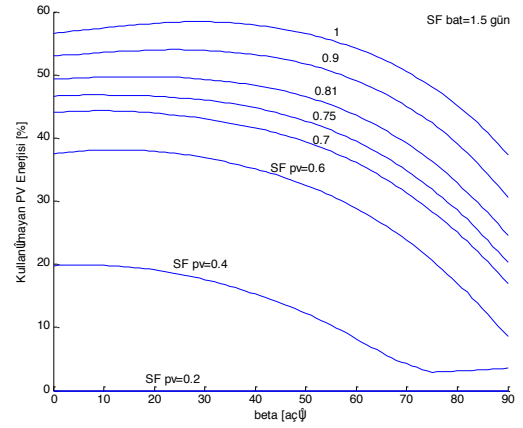
değişmezken bu noktadan sonra düşmeye başlamaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir PV aydınlatma sistemi bilgisayar benzetimi yoluyla analiz edilmiş ve sistem elemanlarının optimum boyutları araştırılmıştır. Batarya kapasitesinin en az 1,2 günlük enerjiyi depolayacak miktarda olması yeterli olmakla birlikte, öngörülen kapalı gün sayısına göre ilave depolama sistem güvenilirliğini artırmaktadır. Bu sistemlerde enerji arzı ile enerji tüketimi arasında bir uyumsuzluk görülmektedir ve ışıının çok ve yükün az olduğu yaz aylarında sistemde enerji fazlası ve dolayısıyla enerji kayıpları olduğu belirlenmiştir. Benzetim sonuçlarından PV modül eğiminin kış aylarına göre konumlandırılmasının bu kayıpları en aza indirebileceği görülmektedir. Böylece daha küçük bir PV modül alanı ile yükün beslenmesi mümkün olabilecektir.



Şekil 6. Modül eğimine göre farklı PV alanlarında yükün enerjisiz kalma oranları



Şekil 7. Modül eğimine göre farklı PV alanlarında kullanılmayan PV enerjisi yüzdesi

Çizelge 1’den de açıkça görülebileceği gibi 30° eğimde 0.9 m² modül alanı gerektiği halde, eğim 60° yapılırsa 0.81 m² modül alanının yeterli geleceği görülmektedir. Böylece PV boyutunun yaklaşık %10 azaltılabilmesi mümkündür.

PV alanı [m ²]:	0,81	0,9
Batarya kapasitesi:	1,5 gün	1,5 gün
Kullanılmayan PV enerji yüzdesi [%]:	43,5	53,9
Yükün enerjisiz kalma yüzdesi [%]:	0	0

Çizelge 1: 30° ve 60° modül eğimleri için sonuçların karşılaştırılması

KAYNAKLAR

1. Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özalp, M., Kanit, E.G., “Solar-energy potential in Turkey”, Applied Energy, 80:367-381, 2005.
2. Boztepe M. , “İzmir ve Çevresinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Kullanımı”, İzmir Kent Sorunları Sempozyumu, 2009.
3. Tekin, S.A., Ercan, H., Alçı, M., Fotovoltaik Modüllerle Gerçekleştirilen Elektrik Üretim Sistemi Ve Bir Aydınlatma Uygulaması”, Gümüşhane Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 1(2):177-184, 2011.
4. Çetin, E., Keleş P., Aydos, M. “Fotovoltaik Modül Beslemeli LED’li Aydınlatma Sistemlerinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”, 3. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 23-25 Kasım, Ankara , 2005
5. Dursun, B., Ulusoy, I., “Fotovoltaik ve fiber optik sistemlerin aydınlatma sistemlerinde

kullanılması”, 3. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 23-25 Kasım, Ankara , 2005.

6. Velasco G, Guinjoan F, Pigue, R., Conesa A, Negroni JJ., “Inverter Power Sizing Considerations in Grid-Connected PV Systems”, European Conference on Power Electronics and Applications, Aalborg, Denmark, pp. 1-10, 2-5 Sept. 2007.

7. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (Erişim tarihi: 14.09.2011)

8. Duffie, J.A., Beckman, W.A., “Solar Engineering of Thermal Processes”, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1991.

9. Masters, G.M., “Renewable and Efficient Electric Power Systems”, John Wiley&Sons, 2004.