

DİNAMİK ÇEVRE KOŞULLARININ FOTOVOLTAİK DESTEKLİ SU POMPASI SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Z. Abidin FIRATOĞLU
Bülent YEŞİLATA *

Bu çalışmada; bir fotovoltaik destekli su pompası sistemi (PVDSP) için değişken meteorolojik verilere bağlı olarak, sistem çıkışında gün ve yıl boyunca gerçekleşen dinamik değişim sayısal yöntem yardımıyla araştırılmıştır. Sistemde, PV panel motor-pompa ikilisine direkt olarak akuplelidir. Temel amaç; anlık ışınım şiddeti ve çevre sıcaklığı gibi meteorolojik değişkenlere karşı; sistem bileşenlerinin gösterdiği lineer olmayan tepkiyi belirlemektir. Bu sayede, pompalanan su debisi ve verim gibi temel sistem çıktılarındaki dinamik değişimin analizi mümkün olabilmektedir. Uygulama bölgesi olarak seçilen Şanlıurfa iline ait uzun dönem meteorolojik ölçüm değerleri doğrultusunda, bütün bir yıl sadece üç zaman dilimine (referans yüzeyine) ayrılarak hesaplamalar yapılmıştır. Gün boyunca, sistem debisi ve veriminde büyük değişimler belirlenmiş, ve bu nedenle, herhangi bir PVDSP uygulamasının, dinamik süreç araştırılmadan, günlük ortalama değerlere göre tasarlanmasının ciddi yanlışlıklara sebep olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar sözcükler : Fotovoltaik su pompası, direkt akupleli sistem, dinamik analiz.

In this study, daily and yearly dynamic variations of a photovoltaic powered water pump depending on variable meteorologic data are numerically investigated. PV panel and motor - pump is directly coupled in the system. Main object of the study is to determine nonlinear response of system componenets to meteorologic variables, such as instantaneous solar radiation and ambient temperature. By doing this, the analysis of dynamical variation on major system outputs of pumped water rate and efficiency could be possible. The computations are performed by dividing the full year into three time-period (reference surface) for the application site of Sanliurfa, of which long-term meteorological data is used. It is concluded that large variations in daily and yearly system efficiency and pumped-flow-rate exist; and thus, dynamic analysis of a photovoltaic powered water pump system must be made before designing system components with daily averaged meteorological data.

Keywords : Photovoltaic water pump, directly-coupled system, dynamic analysis.

* Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Güneş ışınımının yeryüzü ile yaptığı açıda; dünyanın gün boyunca saat açısı ve yıl boyunca da deklinasyon açısının zamana bağlı değişmesine paralel olarak, dinamik bir değişme görülür. Yeryüzünün fiziksel yapısından dolayı görülen bu dinamik değişme ayrıca yörenin enlemine bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Gün ve yıl boyunca güneş ışınımında görülen bu dinamik süreç, yalnızca ışınım şiddetinde değil, çevre sıcaklığı gibi diğer meteorolojik verilerde de bir değişime sebep olur. Bu dinamik süreç, literatürde uzun dönem meteorolojik verilerin ortalaması dikkate alınarak çeşitli matematiksel modellerle tanımlanmıştır.

Işınım şiddetine bağlı olarak meteorolojik verilerde görülen değişim ivmesi nedeniyle, tüm güneş enerjisi uygulamalarının performansında da gün ve yıl boyunca dinamik bir süreç yaşanması söz konusudur. Güneş uygulamalarının performansında görülen bu değişkenlik ivmesi, optimizasyon ve dizayn açısından fotovoltaik uygulamalarda son derece önemli bir noktadır. Bunun nedeni; panellerin I-V (Akım-Volt) karakteristiklerinin, ışınım şiddeti ve çevre sıcaklığı gibi iki değişkenin birer fonksiyonu olması nedeniyle, meteorolojik verilerdeki değişikliklerin etkisinin anlık olarak sisteme yansımaktadır [1].

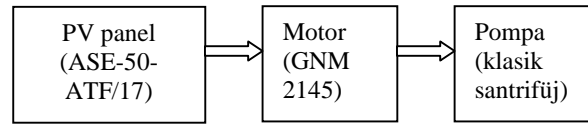
Güneş ışınlarının direkt olarak elektriksel güce dönüştürülebildiği teknolojiye verilen isim olan fotovoltaik (PV) sistemlerin kullanımı, özellikle son çeyrek asırda önemli derecede artmıştır. Bu artışta etkili faktör, bu tür sistemlerin çalışma prensibini oluşturan yarı-iletken malzemelerin üretim teknolojisinde son yıllarda ulaşılan gelişmelerdir. Bu gelişmeler doğrultusunda günümüzde PV sistemler, uzun yıllar öncesine kıyasla daha düşük maliyet ve çok daha yüksek verimle çalışabilmektedir [2,3]. Örneğin, ilk kullanılan PV sistemlerde yüzey üzerine ulaşan güneş ışınımı %1-%2 mertebesinde bir verim ile elektrik enerjisine dönüştürülürken, günümüzde bu oran amorf

hücreler için %17, tek kristalli hücreler için ise %25 seviyesine varabilmektedir. PV hücrelerinin maliyeti 1974 yılında yaklaşık 200 \$/Watt iken 2000' li yıllarda bu değer 2 \$/Watt seviyelerine gerilemiştir . Benzer şekilde önceleri sadece küçük pil hücrelerinin birleşmesi sonucu oluşturulan modüller, bugün süper teknoloji ile tek parça olarak üretilebilmekte ve yaklaşık otuz yıl bakım gerektirmeksizin kullanılabilir. Uzun ömürlü paneller vasıtasıyla kullanım yılı başına düşen maliyet, düşük seviyelerde kalabilmektedir [4,5]. PV sistemlerin yaygınlaşmasına engel teşkil eden bu dezavantajların çözümünde ulaşılan nokta henüz yeterli olmamakla birlikte, sistem sahip olduğu önemli avantajlar nedeniyle özellikle PVDSP gibi bazı spesifik uygulamalar için bugün en iyi enerji alternatifi olarak gündemdedir [6,7].

Bunun nedeni, elektrik şebekesinden uzak yerleşim alanlarının yer üstü ve yer altı su temininde, diğer enerji kaynaklarına nazaran PVDSP sistemlerinin daha ekonomik ve güvenilir olabilmesidir. Bir diğer önemli faktör ise, su ihtiyacı ile güneş ışınım şiddeti arasında doğal bir ilişkinin bulunmasıdır. Sistem sınırları içerisinde; güneş enerjisinin hidrolik enerjiye dönüşüm proseslerinin yaşandığı, fotovoltaiik destekli su pompalarının en basit kombinasyonu; pompa sürücüsü olan motorun panellere hiçbir ara düzenleyici olmadan direkt bağlandığı, direkt akupleli sistemlerdir. Direkt akupleli sistemlere ek olarak, PV panel ve motor arasına bataryanın yerleştirildiği bataryalı ve panellerin akım-gerilim (I-V) çıktılarını maksimum elektriksel güç teminine uygun olarak düzenleyen bir elektronik kontrol cihazının bulunduğu maksimum güç noktası izleyicili (MPPT) gibi kombinasyonlarda bulunmaktadır [8-10].

Bu çalışmada, direkt akupleli bir PVDSP sisteminin gün ve yıl boyunca ışınım şiddeti ve çevre sıcaklığının

anlık değişimine karşı gösterdiği dinamik tepki sayısal yöntemle araştırılmaktadır. Uygulama bölgesi olarak Şanlıurfa göz önüne alınmış ve uzun dönem (16 yıl; 1985-2001) yatay yüzey meteorolojik ölçüm değerleri kullanılarak, eğimli yüzey için gerekli anlık veriler literatürde kabul görmüş matematiksel modeller yardımıyla hesaplanmıştır. Sisteme ait temel elemanları gösteren şema Şekil 1'de gösterilmiş olup, PV panelden temin edilen elektriksel güç, DC motor yardımıyla pompanın çalıştırılmasında kullanılmaktadır. Sistemde, teknik özellikleri EK-1'de verilen ASE-50-ATF/17 tipi tek bir panel kullanılmış olup, panelin yatay yüzeye Şanlıurfa için daha önce belirlenen [11], aylık ortalama optimum eğim açılarında yerleştirildiği varsayılmıştır. Seçilen DC Motor, sürekli mıknatıslanmalı GNM 2145 tipi bir motordur. Sayısal hesaplamalar sırasında, sadece tek bir panel söz konusu olduğundan, toplam basınç kaybı düşük olan (5 mSS) bir uygulama seçilmiştir. Bu değer için yüksek



Şekil 1. Seçilen Sistemin Temel Elemanlarını Gösteren Akış Şeması

olması halinde elde edilen sonuçların trendinin değişmeyeceği fakat daha düşük pompalama debilerine ulaşılacağı hatırd tutulmalıdır.

Bu çalışmada seçilen yöntemin en önemli özelliği; uygulama bölgesi olan Şanlıurfa için tüm yılı sadece üç zaman dilimine (referans yüzeyine) ayırarak, yıl boyunca değişimin daha az bir hesap yükü ile belirlenebilmesidir. Daha önceki teorik çalışmamızda [11], yılın 12 ayı dikkate alınarak, her ay için ayrı ayrı yapılan optimizasyonların, sadece üç farklı PV sistem konfigürasyonu sonuçlandığı gözlemlendiğinden, bu yaklaşımın uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Bu yaklaşıma göre, ışınım şiddeti ve çevre

sıcaklığını ikilisinin birlikte etkileri, bazı aylar için aynı sayıda ve aynı bağlantı konfigürasyonunda bir PV panel sistemi tasarımını gerektirmektedir. Benzer sonuç veren ayların birlikte gruplandırılması sonucu, ortaya üç farklı zaman aralığı çıkmaktadır. Bu çalışmada söz konusu zaman aralıkları, mevsimlerle karıştırılmaması açısından, Referans Yüzeyi (RY) olarak isimlendirilmiştir ve her bir RY'nin hangi ayları kapsadığı ve RY için geçerli meteorolojik veriler [10] Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Referans Yüzeyleri ve Geçerli Meteorolojik Veriler

Referans Yüzeyleri (RY)	1-RY	2-RY	3-RY
	Mayıs Haziran Temmuz Ağustos	Mart Nisan Eylül Ekim	Kasım Aralık Ocak Şubat
I_{Ty} (kJ/m ² gün)	25439.5	18375.2	12318.2
T_{max} (°C)	34.95	24.55	13.12
T_{min} (°C)	20.12	11.43	3.85
h_s (°)	105.6	94.575	74.325

Bu şekilde bir gruplandırmanın diğer bir avantajı; ülkemizde farklı seviyede ışınım potansiyeline sahip diğer yörelerde PV sistem tepkileri ile ilgili yaklaşık bir yargıya ulaşma imkanı vermesidir. Çünkü, 1., 2. ve 3. RY'lerinin sırasıyla; yüksek, orta ve düşük ışınım siddeti ve çevre sıcaklığı değerlerine sahip yöreleri temsil ettiğini varsaymakta mümkündür.

GÜN BOYUNCA IŞINIM ŞİDDETİ VE ÇEVRE SICAKLIĞINDAKİ DİNAMİK DEĞİŞİM

Tablo 1'de verilen, yatay yüzeye gelen günlük toplam ışınım miktarı (I_{Ty}), maksimum sıcaklık (T_{max}), minimum sıcaklık (T_{min}) ve güneş batış açıları (h_s) verileri tanımlanan üç RY için uzun yıllar (16 yıl) ortalamaları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda söz konusu değerler önce yılın her ayı için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra, her bir RY'ni oluşturan aylara ait değerlerin aritmetik ortalaması yardımıyla RY ortalamaları bulunmuştur. Tablo 1'deki

veriler, ışınım şiddetinde ve çevre sıcaklığındaki anlık değişimin hesaplanabilmesi açısından gerekli olup, bu hesaplamalar aşağıda açıklandığı üzere literatürde mevcut matematiksel modeller vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

Anlık Işınım Şiddetinin Saptanması

Literatürde anlık ışınım şiddetindeki değişim; eksponansiyel, sinüzoidal ve polinomik gibi çeşitli matematiksel modellerle tanımlanmıştır. Bu çalışmada, bu matematiksel modellerin en yaygını olan Liu ve Jordan (Bkz:[12]) tarafından türetilen aşağıdaki bağıntıdan yararlanılmıştır.

$$\frac{I_a}{I_{Te}} = \frac{\pi}{24} \frac{\cos(h) - \cos(h_s)}{\sin(h_s) - (2\pi h_s / 360) \cos(h_s)} \quad (1)$$

Denklemdaki I_a anlık ışınım şiddetini, h güneş saat açısı ve h_s güneş batış açısını göstermektedir. Denklem (1) kullanılarak hesaplanan, her üç RY'deki anlık ışınım şiddetinin bir gün boyunca değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.

Anlık Çevre Sıcaklığının Saptanması

Gün boyunca anlık çevre sıcaklığında meydana gelen değişim literatürde birçok denklemle ifade edilmiştir. Bu çalışmada anlık çevre sıcaklığının tespitinde Tegethoff (Bkz:[13]) tarafından önerilen,

$$\begin{aligned} t \leq t_{max} &\Rightarrow T_a = T_{max} - a(t - t_{max})^2 \\ t \geq t_{max} &\Rightarrow T_a = T_{max} - 2a(t - t_{max})^2 \end{aligned} \quad (2)$$

bağıntıları kullanılmıştır. Bağıntılardaki t_{max} maksimum sıcaklık anını ve a regresyon ile tespit edilebilen genlik katsayısını göstermektedir. Şanlıurfa için t_{max} değeri 14:30 ve a katsayısının değeri ise $6.137 \cdot 10^{-5} \text{ K s}^{-2}$ 'dir [10]. Denklem (2)'deki bağıntılar yardımıyla her bir RY'ne ait anlık çevre sıcaklığının gün boyunca değişimi Şekil 2'deki diyagrama eklenmiştir. Beklenildiği üzere, yüksek ışınım şiddetine sahip RY, aynı zamanda yüksek çevre sıcaklığı

değerlerine de sahiptir. PV sistemler için burada ilginç olan husus; birinci parametrenin yüksekliği sistem performansı açısından pozitif bir etki yaratırken, ikinci parametrenin yüksekliği ise negatif bir etki yaratmaktadır. Dolayısıyla, iki etkinin birlikte değerlendirilmesi yapılmadan, sadece ışınım şiddeti değerlerine bakarak performans kıyaslaması yapılması kullanıcıyı bazen önemli yanılgılara götürebilecektir ve bu çalışmanın amaçlarından biri de bu hususu çarpıcı bir biçimde sergilemektir.

PVDSP SİSTEM KARAKTERİSTİKLERİNİN VE ÇALIŞMA NOKTALARININ BELİRLENMESİ

Şekil 2'de görüldüğü gibi gün boyunca ışınım şiddeti ve çevre sıcaklığında dinamik bir değişim söz konusudur. Bu dinamik değişime bağlı olarak, PVDSP sistemlerinin debi çıktılarında da gün boyunca bir değişim söz konusudur. Gün boyunca debideki bu değişim, anlık ışınım şiddetindeki değişime paralel bir seyir gösterir. Çünkü sistem verimi sabit olmayıp, her ışınım seviyesine karşılık gelen çalışma noktalarına bağlı bir değişim arz

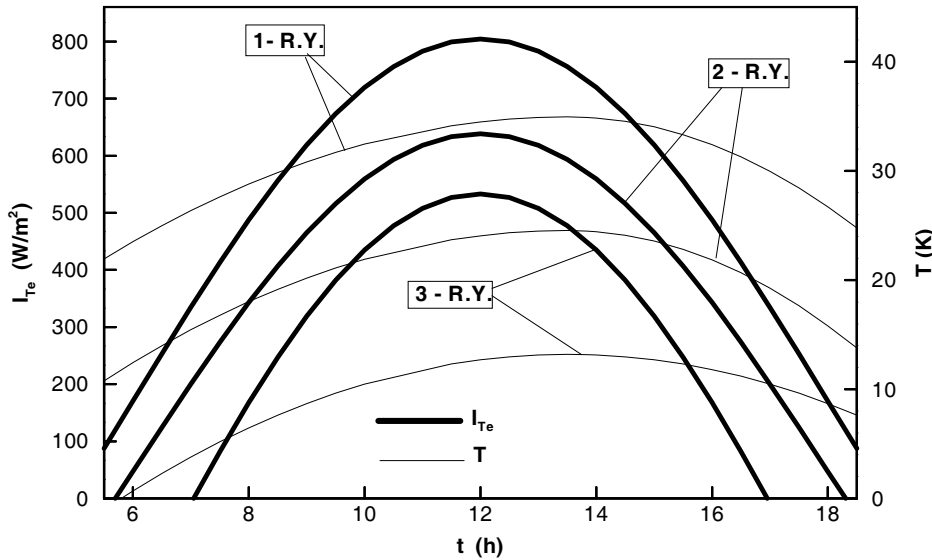
etmektedir. Ayrıca, ışınım şiddetiyle paralelliği söz konusu olan çevre sıcaklığının da direkt akupleli sistemlerin verimleri üzerinde aleyhte etkisi söz konusudur [14].

PVDSP sistemlerinin gün boyunca performanslarındaki değişim; yalnızca meteorolojik verilere bağlı olmayıp, sistem bileşenlerinin karakteristiklerine de bağımlı bir dinamik süreci içermektedir. Bu nedenle herhangi bir dinamik analizde, sistem bileşenlerinin de karakteristiklerinin tespiti gerekmektedir.

Panel-Motor Karakteristikleri

Pompa sürücüsü (Motor) ve panel I-V (Akım-Volt) karakteristikleri arasında birçok parametreye bağlı lineer olmayan bir ilişkinin bulunması, genel bir matematiksel modelin türetilmesinde önemli zorluklara sebep olmaktadır. Bu nedenle genellikle sürücü I-V karakteristiği, deneysel veriler kullanılarak türetilen amprik denklemlerle tanımlanır. Seçilen motor tipinin Tablo 2'de verilmiş deneysel verileri [8] yardımıyla, I-V büyüklükleri arasındaki ilişki için aşağıdaki üçüncü derecede lineer olmayan amprik denkleme ulaşılmıştır:

$$I = 7.179e-4 * V^3 - 1.769e-2 * V^2 + 0.153V - 0.00931 \quad (3)$$



Şekil 2. Anlık Işınım Şiddeti ve Anlık Çevre Sıcaklığı Değerlerinin Her Bir RY İçin Gün Boyunca Değişimi.

ASE-50-ATF/17 tipi panelin I-V karakteristikleri ise literatürde önerilen bir matematiksel model [15], yardımıyla tespit edilmiştir. Denklem (3)'deki I-V eğri denklemleri ile ışınım şiddeti ve sıcaklığın bir fonksiyonu olan panel I-V eğri denkleminin kesişme noktalarının bulunması ciddi seviyede işlem yükü gerektiren nümerik bir süreçtir. Bu noktaların

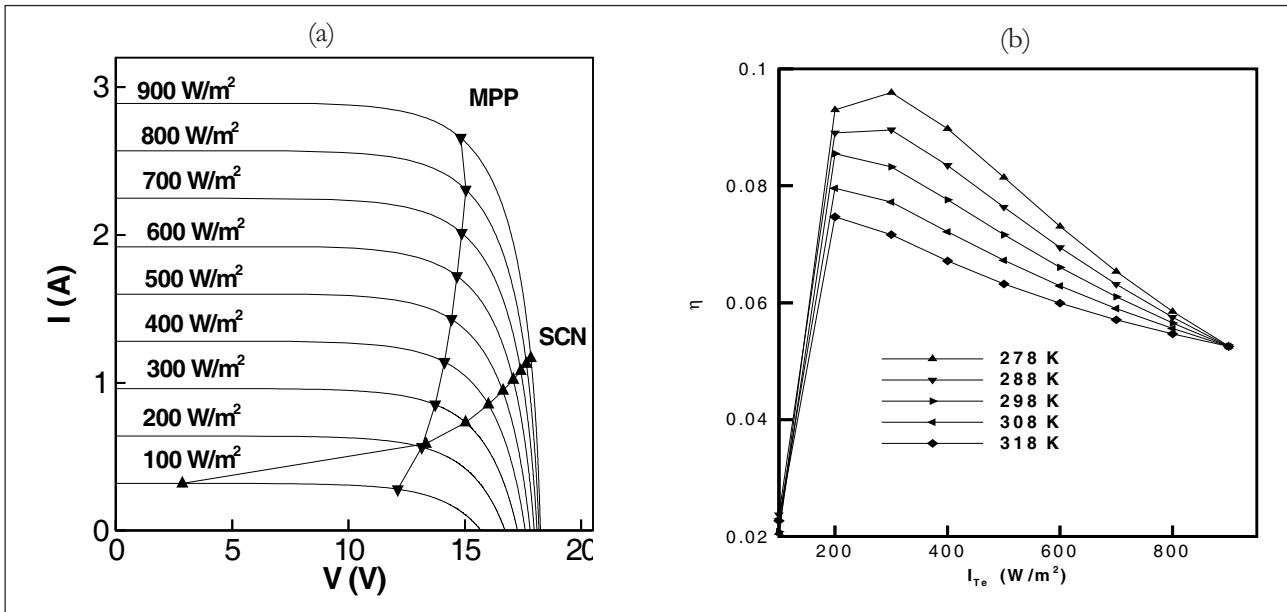
bulunması, sistemin farklı meteorolojik koşullardaki çalışma noktalarının bulunması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada söz konusu noktaların tespitinde Newton-Rapson nümerik çözüm yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3(a)'da, sistemin tespit edilen çalışma noktalarının (SCN), panel karakteristikleri üzerindeki konumları ile panel maksimum güç noktaları (MPP), nominal çevre sıcaklığı olan 298 K için gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, söz konusu panel-motor kombinasyonu ile sistem her durumda maksimum noktalardan daha uzakta bir çalışma profili sergilemektedir. Bu sistemi maksimum noktalara yakın çalıştırmak için, birden fazla panel kullanan büyük sistemlerde panel bağlantı konfigürasyonunu optimize etmek gerekmektedir. Bu optimizasyon ile ilgili detaylı bilgi daha önceki çalışmalarımızda [1,11] sunulmakta olup, mevcut çalışmanın kapsamı dışındadır. Çevre sıcaklığındaki değişimin, seçilen sistemin çalışma noktalarındaki verimi (η) üzerindeki etkisi ise, Şekil 3(b)'de gösterilmektedir.

Şekil 3(b)'de belirtilen sistem verimi; motor miline PV panel tarafından aktarılan gücün, panel yüzeyine ulaşan

Tablo 2. Seçilen Süürücünün Deneysel Dataları.

V (Volt)	I (Amper)
2.96875	0.323
3.82812	0.366
6.01561	0.413
7.89061	0.453
10	0.473
11.95612	0.521

ışınım gücüne oranı olarak tanımlanmaktadır. Ek-1'de verildiği üzere, sistemde kullanılan panel ile en uygun meteorolojik koşullarda dahi elde edilecek maksimum verimin 0.11 ile sınırlı olduğuna dikkat edilmelidir. Artan sıcaklıkla verimdeki düşüş anlaşılabilir bir husus olmakla birlikte, artan ışınım şiddeti ile verimin düşmesi Şekil 3(a)'dan görüleceği üzere, maksimum çalışma noktalarından sapmanın artması ile açıklanabilir. Çalışma veriminin en üst değeri aldığı 200 W/m^2 ($T_a=298 \text{ K}$ için) ışınım değerinde SCN ile MPP noktasının çakışması bu hususu çarpıcı bir biçimde açıklamaktadır. Şekil 3(b) basit görünümünün aksine, Şekil 2 ile birlikte kullanıldığında her bir RY için günün herhangi bir saatinde sistemden elde edilebilecek anlık verimi direkt olarak belirleme şansı tanımaktadır.



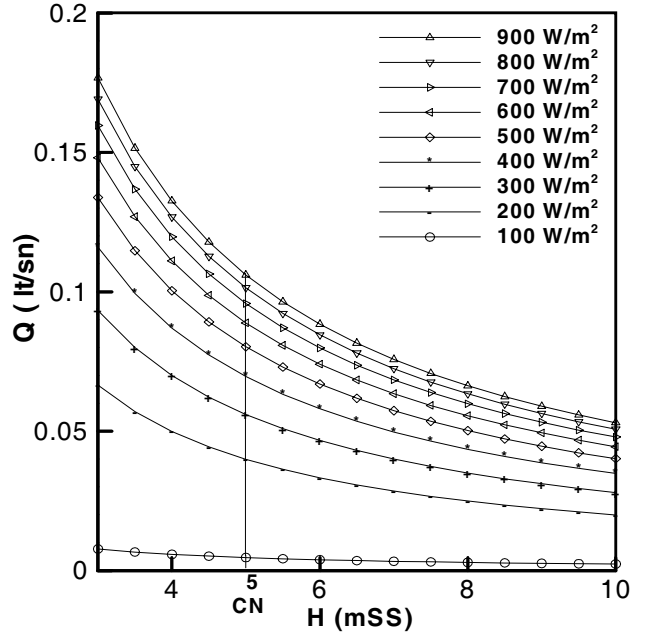
Şekil 3. (a) PVDSP Sistemi Çalışma Noktaları ($T_a=298 \text{ K}$), (b) Sistem Veriminin Çevre Sıcaklığına ve Işınım Şiddetine Bağlı Değişimi.

Panel-Motor-Pompa (Sistem) Karakteristikleri

PVDS sistemlerinde debi (Q) ve toplam pompa yükü (H) arasındaki ilişki,

$$Q = \frac{I_{py} * \eta * \eta_m}{\gamma H} \quad (4)$$

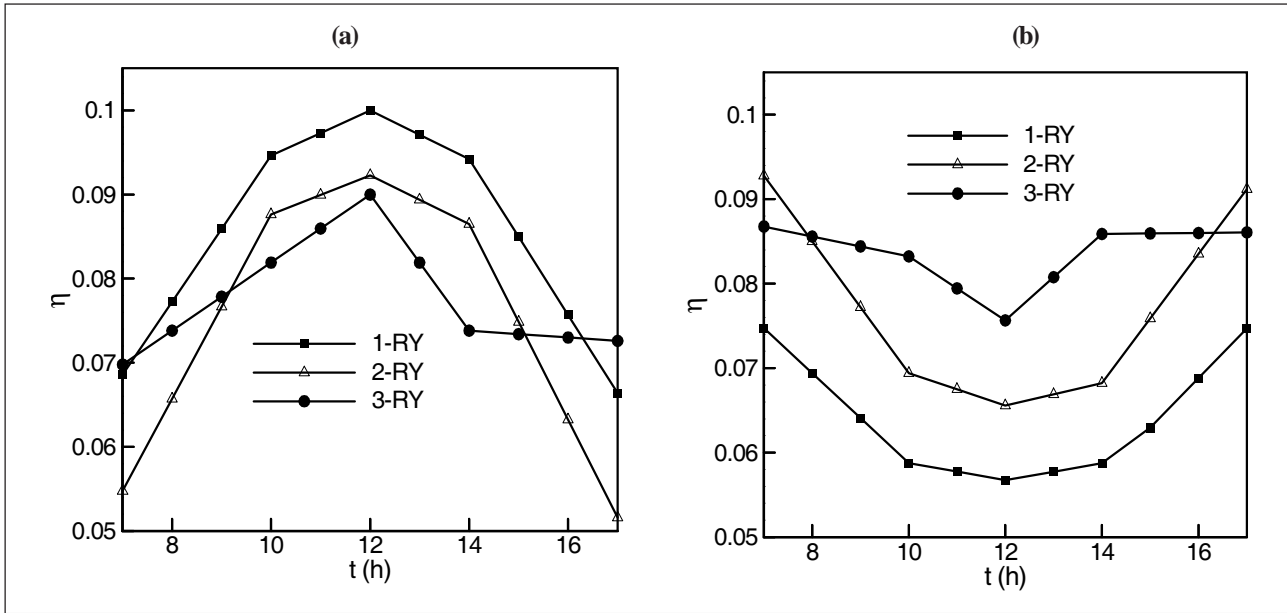
bağıntısı ile verilmekte olup, I_{py} panel yüzeyine gelen ışınım (W), η sistem verimini, η_m motor-pompa ikilisinin mekanik verimini ve γ suyun özgül ağırlığını göstermektedir. Tipik bir hidrolik sistemde; toplam yük, statik ve dinamik olmak üzere iki bileşen içerir. Statik yük, suyun pompalanacağı yükseklik ile su yüzeyi arasındaki düşey uzunluktur. Dinamik yük ise, akışkan sürtünmesinden kaynaklanan kayıptır. Optimal bir dizaynda, dinamik yükün toplam yüke oranı % 5-20 arasında değişir. Küçük bir pompa sisteminde ise statik yük, toplam yüke eşit alınabilir (Bkz:[16]). Bu çalışmada da bu yaklaşım benimsenerek, küçük bir pompa sistemi ($H=5$ mSS) için hesaplamalar yapılmıştır. Ancak, bu hesaplamaların aynı H değerine sahip ve dinamik yükün ihmal edilemeyeceği konumlarda da geçerli olduğu bilinmelidir. Motor-pompa mekanik verimi için ise, literatürde [17] ortalama değer olarak önerilen $\eta_m=0.25$ değeri kullanılmıştır. Panel-motor-pompa üçlüsünün farklı ışınım şiddetlerinde Q-H karakteristikleri, 298 K nominal çevre sıcaklığı için belirlenmiş ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu diyagramın tek panel uygulaması için tipik sayılabilecek küçük pompa yüklerindeki ($H=1-10$ mSS) kullanılabilirliğinin vurgulanması gerekmektedir. Çünkü diyagram yöreden bağımsız olarak seçilen bir H yükünde, herhangi bir ışınım şiddeti değeri için ulaşılabilecek debiyi belirleme imkanı vermektedir. Örnek olmak üzere bu çalışmada seçilen $H=5$ mSS için pompa çalışma noktaları (CN) diyagram üzerinde gösterilmiştir. Ancak dikkat edilmesi gerekli bir husus verilerin $T_a=298$ K için geçerli olmasıdır. Çevre sıcaklığı etkisi ise aşağıdaki kısımda ele alınmaktadır.



Şekil 4. PVDS Sisteminde (panel-motor-pompa) Debi-Yük (Q-H) ilişkisinin Işınım Şiddeti ile Değişimi ($T_a=298$ K).

DİNAMİK KOŞULLARIN POMPA DEBİSİ VE VERİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Uygulama yöresi olarak seçilen Şanlıurfa için belirlenen farklı üç RY'nde, anlık ışınım şiddeti ve çevre sıcaklığında mevcut dinamik sürecin gün boyunca değişimi Şekil 2'de verilmişti. Bu dinamik değerlerin sistem çıktısı üzerinde yarattığı etki, pompa debisi ve sistem verimi için hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5(a) ve (b)'de gösterilmiştir. Sistem çıktılarına gün içerisinde, öğle saati simetri noktası olmak üzere, ciddi değişimler söz konusudur. Beklenileceği üzere en yüksek Q değeri günün her saatinde 1 nolu RY için elde edilmektedir. Ancak en düşük Q değeri beklenen 3 nolu RY'de, günün erken ve geç saatlerinde 2 nolu RY'ne kıyasla daha fazla su pompalanabilmektedir. Bu durum çevre sıcaklığının 3 nolu RY için düşük olması ve yine aynı RY için geçerli ışınım şiddeti aralığında sistemin Şekil 3(a)'da gösterildiği üzere, MPP noktalarına daha



Şekil 5. Her bir RY için; (a) Pompa Su Debisinin, (b) Sistem Veriminin, Gün Boyunca Dinamik Değişimi.

yakın çalışmasındandır. Bu etki Şekil 5 (b)'de gösterilen η değerlerinde kendini çok daha net göstermekte ve en yüksek η değerlerine günün her saatinde 3 nolu RY değerleri ile ulaşılmaktadır. Bu sonuç genel beklentilerin aksine olmasına karşın, Şekil 3(b) yardımıyla kolayca açıklanabilir; çünkü, analizi yapılan PVDPS için artan ışınlam şiddeti ve çevre sıcaklığı ile verimdeki düşüş kaçınılmaz olmaktadır. Verimdeki bu düşüşün, büyük pompa sistemlerinde aynı debiye ulaşmak için daha fazla panel kullanma anlamına geldiği hatırd tutulmalıdır.

Bu kıyaslamalardan bağımsız olarak, Şekil 5(a) ve (b)'de gösterilen ve her bir RY için gün boyunca sistem çıktısındaki dinamik dalgalanmalar, sabit güç çıktısı arzulan PV sistem kullanıcısının göz önünde bulundurması gereken en önemli hususlardan birisidir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, seçilen bir PVDSP sisteminin, Şanlıurfa için belirlenen farklı üç RY'de, gün boyunca ışınlam şiddeti ve çevre sıcaklığındaki anlık değişime bağlı olarak performansındaki dinamik değişim araştırılmıştır. Bu

referans yüzeyleri gerçekte, ışınlam şiddeti ve çevre sıcaklığı arasında var olan doğal ilişki nedeniyle; yüksek, orta ve düşük anlık ortalama ışınlam şiddetine sahip bölgeler olarak da değerlendirilebilir.

Seçilen PVDSP uygulaması, özellikle düşük ışınlam şiddeti ortalamasına sahip bölgelerde, yüksek düzeylerde bir performansa erişebilmektedir. Şekil 3(a) ve (b)'deki diyagramlardan kolayca anlaşılacağı üzere bunun sebebi, panelin maksimum çalışma noktaları ve sistemin çalışma noktalarını arasındaki yakınlığa ek olarak, düşük çevre sıcaklığının PV sistem verimi üzerindeki olumlu etkisidir.

Şekil 5(a) ve (b)'den görüleceği üzere, gün içinde özellikle debide ve sistem performansında büyük değişimler görülmesi dolayısıyla, herhangi bir PVDSP uygulamasının, dinamik süreç araştırılmadan, günlük ortalama değerlere göre tasarlanması kullanıcıyı yanlışlığa sevk edebilecektir. Bu nedenle, herhangi bir bölge için PV sistem seçimi yapılırken, bölgenin meteorolojik koşullarının yıl ve gün boyunca gösterdiği değişimlere karşı, sistem komponentlerinin göstereceği dinamik tepki de göz önünde tutulmalıdır. Aksi halde sistem performansının beklenenin çok altında bir seviyede kalabilmesi gibi bir tehlike mevcuttur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı destekleyen Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu'na (HÜBAK Proje No: 440) teşekkürü bir borç biliriz.

η	Sistemin çalışma verimi
η_m	Motor-pompanın mekanik verimi
a	Regresyon katsayısı
H	Toplam pompa yükü (mSS)
I	Akım (A)
I_a	Anlık ışınım şiddeti (W/m^2)
I_{py}	Panel yüzeyine gelen ışınım (W)
I_{Ty}	Yatay yüzeye gelen günlük toplam ışınım miktarı ($kJ/m^2gün$)
T_a	Çevre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{max}	Maksimum sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_{min}	Minimum sıcaklık ($^{\circ}C$)
h	Güneş saat açısı ($^{\circ}$)
h_s	Güneşlenme süresi ($^{\circ}$)
V	Gerilim (V)

EK-1 ASE-50-ATF/17 PV Panelin Standart Test Koşullarındaki* Teknik Özellikleri

Nominal Gücü	50 W
Açık devre gerilimi	20 V
Maksimum nokta da panel gerilim çıktısı	17.2 V
Kısa devre akımı	3.2 A
Maksimum nokta da panel akım çıktısı	2.9 A
Panel verimi	% 11,3
Panel boyutları (mm)	965x452x50

* Standart test koşulları: $H=1000 W/m^2$, $T=25^{\circ}C$

KAYNAKÇA

1. Fıratoğlu Z. A., Yeşilata B., New Approaches on The Optimization of Directly Coupled PV Pumping Systems, Solar Energy, vol. 77, pp. 81-93, 2004.
2. Rosental, A.L., Lane, C.G., Solar Cells: Their Science, Technology, Applications and Economics, Elsevier Sequoia,, Vol.30, pp. 563, 1991.
3. Yeşilata, B., Aktacir, M.A., Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esasların Araştırılması, Mühendis ve Makine, cilt 42, sayı 493, sy 29-34, 2001.
4. Muntasser, M.A. , Bara, M.F., Quadri , H.A., EL-Tarabelsi, R., La-azebi, I.F., Photovoltaic Marketing İn Developing Countries, Applied Energy, Vol. 65, pp 67-72, 2000.
5. Al-Karaghoulı, A., Al-Sabounchi, A. M., A PV Pumping System, Applied Energy, Vol.65, pp. 145-151, 2000.
6. Agha K. R., Sbita M. N., On the Sizing Parameters for Stand-Alone Solar-Energy Systems, Applied Energy, Vol.65, pp. 73-84, 2000.
7. Buresch, M., Photovoltaic Energy Systems, McGraw-Hill, New York, 1983.
8. Kou Q., A Method for Estimation the Long- Term Performance of Photovoltaic Pumping Systems, Master Thesis, The University of Wisconsin-Madison, Solar Energy Laboratory, 1996.
9. Fıratoğlu, Z. A., Yeşilata, B., Bataryalı ve Direkt Akupleli Fotovoltaik Pompa Sistemlerinin Çalışma Karakteristiklerinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, sy 8-18, Haziran 2003.
10. Fıratoğlu Z. A., Fotovoltaik Destekli Su Pompası Sistemlerini Analiz ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
11. Fıratoğlu Z. A., Yeşilata B., Fotovoltaik Güç Destekli Dalgıç Pompa Sistemlerinde Optimum Dizayn Koşullarının Araştırılması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı.62, sayfa 59-66, 2001.
12. Duffie, J., Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd edn., Wiley Interscience, 1991.
13. Duzat R. M., Analytical and Experimental Investigation of Photovoltaic Pumping Systems, Ph.D. Thesis, The University of Oldenburg, 2000.
14. Metwally H. M. B., Anis W. R., Dynamic Performance of Directly Coupled Photovoltaic Water Pumping System Using D. C. Shunt Motor, Energy Convers. Mgmt, Vol. 37, No. 9, pp. 1407-1416, 1996.
15. Fıratoğlu Z. A., Yeşilata B., Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemlerin Optimum Dizayn ve Çalışma Koşullarının Araştırılması, Dokuz Eylül Fen ve Mühendislik Dergisi, v5, n1, sy.13/1-13/10, 2003.
16. Kou S.A., Klein A., Beckman W. A., Method for Estimating the Long-Term Performance of Direct- Coupled PV Pumping Systems, Solar Energy, Vol. 64, pp.33-40, 1998.
17. Bloos, H., "Analytical and Experimental Investigation of Photovoltaic Pumping Systems", Ph.D. Thesis, University of Oldenburg, 2000.