

# FOTOVOLTAİK POMPA SİSTEMİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ İZLENMESİ

Özcan ATLAM<sup>1</sup>

Feriha ERFAN KUYUMCU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Elektrik Eğitimi Bölümü- Anıtpark 41300 İzmit

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Anıtpark 41300 İzmit

<sup>1</sup>e-posta: oatlam@kou.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta: erfana@kou.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Fotovoltaik sistem, pompa motoru*

## ÖZET

Bu bildiriye, bir fotovoltaik pompa sisteminde, maksimum güç izleme stratejisi tanıtılmaktadır. Pompa sistemi, sabit mıknatıslı dc motor ve santrifüj pompa olarak ön görülmektedir. Sistemin maksimum güç noktalarında çalışmasını sağlayan dc/dc çeviricinin optimum çevirme oranları, örneklenen ışınımlara göre belirlenmektedir. Bu optimum çevirme oranlarının, sistemin maksimum güç noktalarında çalışmadaki rolü analiz edilmektedir. Ön görülen stratejinin geçerliliği, analiz edilen performans sonuçlarında görülmektedir. Analizler Matlab / Simulink ortamında yapılmaktadır.

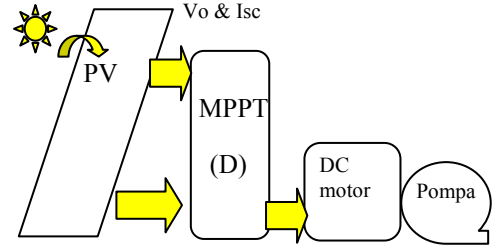
## 1. GİRİŞ

Fotovoltaik pompa sistemlerinde, geniş bir ışınım aralığı için, güneş paneli (PV) ile motor arasında mümkün olan en üst düzeydeki güç aktarımı önemli bir konudur. Işınım enerjisi değiştiğinde, PV'nin anlık mevcut kapasitesinden üst düzeyde yararlanmaya eğilimli olmayan bir sistem, durmakta veya daha düşük performansla çalışmaktadır. Verim düşerek performans ve maliyet açısından sistemden tatmin edici sonuçlar alınamamaktadır. Bir PV 'nin maksimum güç noktaları ışınım ile doğrusal olmayan bir değişim göstermekte ve geniş bir ışınım aralığı boyunca bir motorun bu noktalarla yapısal bir uyumu kolay olmamaktadır. Genelde ek kontrol devreleriyle sistemler desteklenmektedir. Bu devrelerden oluşan maksimum güç noktası izlemeli (MPPT) sistemlerde, PV'nin herhangi bir ışınımdaki maksimum güç noktasına göre motor giriş karakteristikleri kontrol edilmektedir [1,2,3].

Bir MPPT destekli sistemde, herhangi bir ışınımda PV ile motor arasında en üst düzeyde güç aktarımı söz konusudur. Kontrol devresi PV ile motor arasındadır. MPPT 'li sistem işletiminde yaygın olarak iki yaklaşım vardır. Bunlardan biri sabit gerilimli işletim, diğeri ise anlık ışınım göre işletimdir. Sabit gerilimli işletimde, PV gerilimi, bir gerilim regülatörü ile geniş bir ışınım aralığı boyunca maksimum güç noktalarının yoğunlaştığı bölgeye karşılık gelen uygun bir gerilim değeri tutulmaktadır. Bu yöntemde ideal olan

MPPT koşullarına %95-98 oranında yaklaşılmaktadır.[3].

Anlık ışınım göre işletimde, kontrol sistemi sürekli PV'nin maksimum güç noktalarını algılar. Algılama, PV'nin açık devre gerilimi(Vo) veya kısa devre akımına (Isc) bağlı bir algoritmayla yapılmaktadır[1,2]. PV ile motor arasında maksimum güçteki empedans uyumu doğrultusunda motorun giriş karakteristikleri ayarlanır. Bu işlem bir dc/dc çevirici ile yapılabilir. Çeviricinin anahtarlama frekansıyla ilgili olan çevirme oranı (D), ışınım göre sürekli değiştirilmektedir. Bu durum prensip olarak şekil -1 ile verilmektedir.



Şekil 1. MPPT 'li PV pompa sistemi

Bu bildiriye, örnek bir PV pompa sistemi için, MPPT işletimi sağlayacak optimum D tespitleri yapılmaktadır. Tanımlanan strateji doğrultusunda çalışan sistemin, PV maksimum güç noktalarını izleme yeteneği araştırılmaktadır.

## 2. PV- POMPA MOTORU MODELİ

Ön görülen PV sistemi, SM55 tipi Siemens güneş panellerinden oluşmaktadır. PV, sabit mıknatıslı dc motorlu santrifüj pompa yükünü beslemektedir. N<sub>s</sub> kadar seri ve buna N<sub>p</sub> kadar paralel SM55 'lerden oluşan bir PV sisteminin akım- gerilim (Ip-Vp) karakteristiği denklem -1 ile tanımlanabilir.

$$V_p = N_s \cdot 1.8390 \cdot \ln \left[ \frac{(s \cdot N_p \cdot 3.45 \cdot I_p + N_p \cdot 2.58 \cdot 10^{-5})}{(N_p \cdot 2.58 \cdot 10^{-5})} \right] \quad (1)$$

Denklem-1'deki  $s$  terimi, verilen bir ışınım enerjisinin  $1000 \text{ W/m}^2$ 'lik standart ışınım enerjisine olan oranıdır.  $s$  ışınım oranı birim değer (pu) olarak tanımlanmaktadır. Herhangi bir ışınım seviyesi için,  $I_p$  teriminin  $0- (s.N_p.3.45)$  aralığındaki değerlerine karşılık gelen  $V_p$  değerleri tanımlanabilir. Maksimum güç ( $P_m$ ) ise verilen bir ışınım için tanımlanan  $V_p.I_p$  değerlerinin en büyüğüdür.

$$P_m = V_{p_m} I_{p_m} \quad (2)$$

$V_{p_m}$  maksimum güçteki panel gerilimi,  $I_{p_m}$  ise panel akımıdır.

Sabit mıknatıslı dc motorlu santrifüj pompa için, aşağıdaki ifadeler yazılabilir [2,4].

$$V_{\text{mot}} = I_{\text{mot}} \cdot R_a + E_z \quad (3)$$

$$E_z = K \cdot \omega \quad (4)$$

$$T = K \cdot I_{\text{mot}} = k_p \cdot \omega^2 \quad (5)$$

$$P_{\text{mek}} = T \cdot \omega = V_{\text{mot}} \cdot I_{\text{mot}} - I_{\text{mot}}^2 \cdot R_a \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemler için,  $\omega$  açısal hızı (rad/s),  $K$  ilgili motorun moment sabitini,  $E_z$  zıt emk(volt)'yü,  $R_a$  endüvi sargı direncini,  $k_p$  ise pompa moment sabiti ( $\text{Nm}/(\text{rad/s})^2$ )  $P_{\text{mek}}$  ise mekanik gücü ifade etmektedir. Santrifüj su pompalar için yük momenti hızın bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Sistemin çalışma noktaları, denklem (1-6)'deki ifadelerin aynı anda birbirlerini sağladığı koşullarda tanımlanarak performans analizi yapılabilir.

### 3. MPPT İÇİN OPTİMUM ÇEVİRME ORANLARI

MPPT için, dc/dc çeviricinin tipi, pompa motorunun ilgili PV sistemindeki direk bağlı normal (kontolsüz) çalışma noktalarından tahmin edilebilir. Örnek olarak şekil-2'deki karakteristik eğrileri için, motor normalde PV'nin maksimum güç noktaları uzağında çalışmakta ve maksimum güçlerin alındığı empedanslara göre daha düşük bir empedans karakteri göstermektedir. Maksimum güç transferindeki empedans uyumu, motor girişindeki dc/dc çeviricinin düşürücü (buck) tipte bir işlev görmesiyle sağlanabilir. optimum çevirme oranını ( $D=D_m$ ), ilgili ışınımdaki PV  $P_m$  noktaları ile normal çalışma noktaları belirler.

Herhangi bir  $s$  ışınım seviyesinde verilen bir  $D$  çevirme oranı için motor ve PV 'nin çalışma noktaları denklem (7-9) ile bulunabilir. Genelde kayıpların düşük seviyelerde olması nedeni ile çevirici ideal kabul edilmektedir.

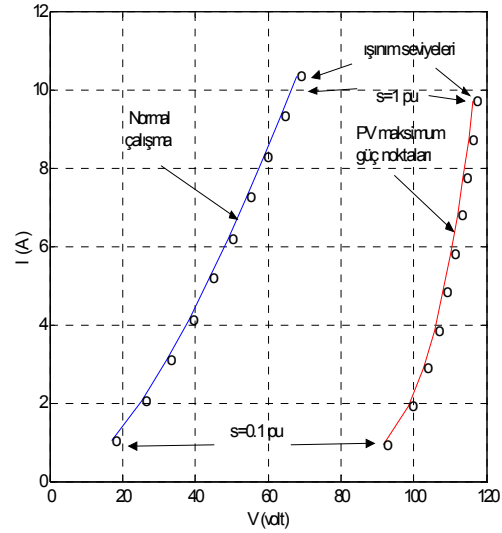
$$V_{\text{mot}} = V_p \cdot D \quad (7)$$

$$I_{\text{mot}} = I_p / D \quad (8)$$

Denklem (7,8) 'in denklem (3-5)'e uyarlanması ile,

$$V_p = (I_p \cdot R_a / D^2) + (K^{1.5} \cdot I_p^{0.5}) / (k_p^{0.5} \cdot D^{1.5}) \quad (9)$$

Denklem (9)'un denklem (1)'e olan eşitliğini sağlayan  $V_p$  ve  $I_p$  terimleri PV'nin çıkış gerilimi ve akımıdır. Denklem (8-9) ile motor tarafı terimleri tanımlanıp, performans analizi yapılabilir.



Şekil 2. Normal ve maksimum güçteki PV çalışma noktaları

MPPT işletimi sağlayan  $D_m$  optimum çevirme oranı tespiti için, ilk olarak ışınım göre PV maksimum güç noktaları tanımlanır. Bir önceki bölümde verilen model denklemleriyle, maksimum güçteki  $\omega$  bulunursa ( $\omega = \omega_m$ ),

$$\omega_m = ((P_m - I_{p_m}^2 R_a) / k_p)^{1/3} \quad (10)$$

Bu durumdaki zıt emk ( $E_{z_m}$ ) ise,

$$E_{z_m} = K \cdot \omega_m$$

Motor tarafının PV tarafına olan  $D$  terimiyle olan karşılığından,

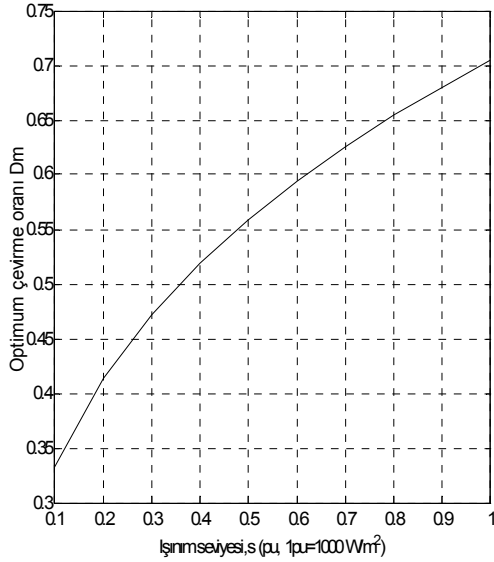
$$D_m^2 V_{p_m} - D_m E_{z_m} - I_{p_m} R_a = 0 \quad (11)$$

Denklem (11)'in pozitif kökü  $D_m$  terimini vermektedir. Tanımlan  $D_m$  ile PV'nin motor tarafına aktarabileceği performans terimleri belirlenebilir. Denklem (11) aynı zamanda PV, motor ve  $E_{z_m}$  'nin içinde pompa yükü parametrelerini içermektedir. Böylece sistem elemanlarının her birinin  $D_m$ 'nin tanımlanmasında etkisi bulunmaktadır. Örnek olarak  $3 \times 7$  SM55 panellerinden oluşan PV'nin parametreleri  $R_a = 2 \text{ ohm}$ ,  $K = 0.6$  ve  $k_p = 0.001 \text{ Nm}/(\text{rad/s}^2)$  olan sistemi beslediği düşünülerek, MPPT için  $D_m$  değişim algoritması tanımlanabilir. Tanımlanan  $D_m$

değerlerinin, sistemi PV maksimum güç noktalarında çalışma yeteneği analiz edilebilir. Analiz, Matlab/Simulink ortamında yapılan modelleme çerçevesinde yapılmaktadır. Işınım, 0.1-1 pu aralığında örneklenmektedir.

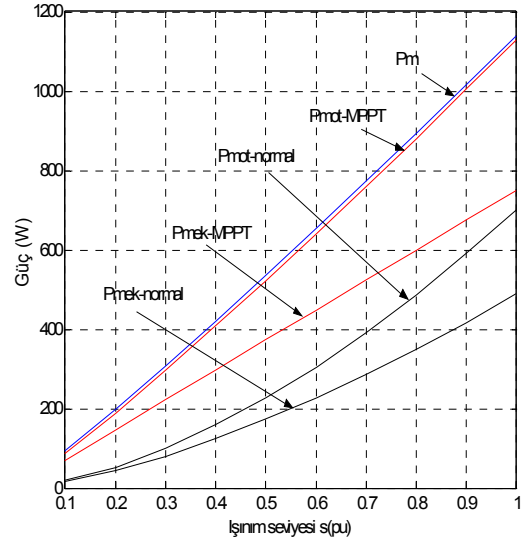
#### 4. SONUÇ

Parametreleri tanımlı bir PV –sabit mıknatıslı dc motor pompa sistemi için, MPPT stratejisi tanımlanmaktadır. PV maksimum güç noktalarında çalışma sağlayabilecek dc/dc çeviricinin optimum çevirme oranları ( $D_m$ ) belirlenmektedir. Önerilen algoritmaya göre tespit edilen  $D_m$  terimlerinin ışınıma bağlı olan değişimi şekil –3’dedir. Şekil-3’e göre  $D_m$  terimleri 1’den küçük olup çeviricinin düşürücü tipte olması gerektiği ön görülmektedir. Şekil-2, aynı zamanda örneklenen sistemin karakteristik eğrileridir. Böylece şekil-3 ile verilen sonuçlar, şekil –2 ‘te yapılan çevirici tipine yönelik tahmini doğrulamaktadır.



Şekil 3. Optimum çevirme oranının ( $D_m$ ) ışınımla değişimi

Tanımlanan  $D_m$  değerlerine göre, sistemin PV maksimum güç noktalarında çalışma başarısı, pompa motorunun performans analizi ile araştırılmaktadır. Performans analiz sonuçları şekil-4’dedir.  $P_{mot}$  terimi motorun giriş gücünü göstermektedir.  $D_m$  algoritmasının sağladığı MPPT’li sistemin normale göre olan karşılaştırılması da yapılmaktadır. Normal (direk bağlı, kontrolsüz) için  $D=1$  olarak alınmaktadır.



Şekil 4. MPPT’li ve normal sistem performansları

Şekil-4’e göre tanımlanan MPPT sistemi PV maksimum güç noktalarıyla oldukça uyumlu çalışmaktadır. Böyle bir durum normal sistemde bulunmamaktadır. Böylece oluşan mekanik güçler açısından MPPT avantaj sağlamaktadır. Bu durum  $D_m$  tanımlamalarının geçerliğini göstermektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Veera C.M., Steady- State And Dynamic Performance Analysis Of PV Supplied Motors Fed From Intermediate Power Converter, SOLAR ENERGY MATERIALS & SOLAR CELLS, Vol.61, pp.365-381,2000.
- [2] Langridge D., Development Of A Photovoltaic Pumping System Using A Brushless DC Motor And Helical Rotor Pump, SOLAR ENERGY, Vol.56, Iss.2, pp. 151-160,1996..
- [3] Moreas D., Analytical And Experimental Photovoltaic Water Pumping System, UNIVERSITAT-OLDENDENBURG, 2000.
- [4] Singer S., Starting Characteristics Of Direct Current Motors Powered By Solar Cells, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, Vol.8, Iss.1, pp. 47-52, 1993.