

GÜNEŞ PİLİ(PV)-DC MOTORLU SU POMPA SİSTEMİNDE OPTİMUM İŞLETME GERİLİMİNİN GENETİK ALGORİTMA DESTEKLİ TESPİTİ VE SİSTEM PERFORMANSINA OLAN KATKISI

Özcan ATLAM¹

Murat KALE²

Feriha ERFAN KUYUMCU³

^{1,2}Kocaeli Üniversitesi ,Teknik Eğitim Fakültesi-Elektrik ,41300,İzmit,Kocaeli

³Kocaeli Üniversitesi,Mühendislik Fakültesi-Elektrik Mühendisliği ,41300,İzmit,Kocaeli

¹e-posta: oatlam@kou.edu.tr

²e-posta: kale@kou.edu.tr

³e-posta: erfan@kou.edu.tr

Anahtar sözcükler: Solar Cell, Solar Pumping System, MPPT, Genetic Algorithms

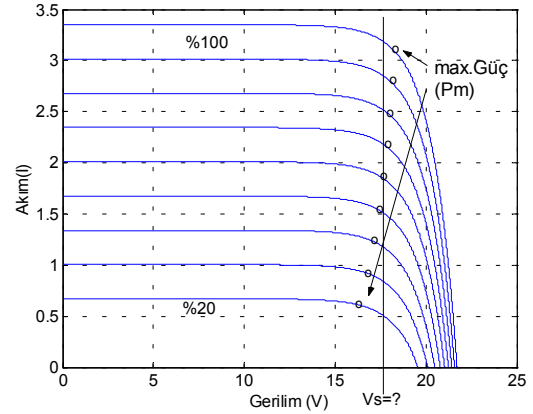
ABSTRACT

In this paper a genetic algorithm based, optimum fixed operating voltage solution to enhance the performance of a Photovoltaic(PV)-DC motor water pumping system, is presented. This voltage value is such that in a given radiation interval it corresponds to points on the PV current-voltage(I-V) curves which, considering also the duration for each curve, yield an energy value. This energy value is closest to the maximum available energy of the system if maximum power points were considered instead. The success in approximating the performance under maximum power point tracker (MPPT) conditions by the performance under the selected voltage, has been tested on a real mini PV-DC motor water pumping system. In the analysis, model parameters based on experimental data obtained from the real sample PV pumping system, have been used. In general 96-99% approximations have been possible. The experimental set consists of an SM55 solar panel and a centrifugal immersible pump with permanent magnet DC motor. To investigate the motor-pump and system match, two different pump motors were used and analyzed under the same conditions. The daily water flow rate was chosen as the criterion to measure the performance.

1.GİRİŞ

Güneş pilli(PV) fotovoltaik su pompa sistemlerinde, performansı en üst seviyede tutmak için maksimum güç aktarımı açısından uyumlu karakteristikli PV-motor seçimi optimizasyonu yapılmalıdır [1-3]. Bu tip sistemlerde maksimum güç tarayıcısı (MPPT) kullanımı da avantajlı bir yaklaşımdır. MPPT cihazı, sürekli PV'nin maksimum güç (Pm) noktalarını tespit ederek uygun şekilde motor giriş karakteristiklerini kontrol eder. Diğer yandan MPPT'nin işlevini yaklaşık olarak gören, uygun bir sabit gerilim modunda(Vs) çalışma sağlayabilecek dc-dc çevirici kullanmak da pratik bir çözüm olarak önerilebilmektedir [4]. Sabit gerilimli bir işletim sisteminde PV'nin belirli bir aralıktaki ışınım

enerjilerinde oluşan Pm noktalarının yoğunlaştığı bölge içinde uygun bir işletim gerilimi (Vs) seçilmektedir. Bu durum prensip olarak, Şekil- 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Bir PV'de Vs seçimi

Optimum bir Vs seçimi sistemin MPPT koşullarına yaklaşma derecesini belirler. Diğer yandan Pm değerleri kadar, bunları belirleyen ışınımın oluşma süreleri toplam kullanılabilir enerjiyi belirlemekte ve bu enerjiler de doğrudan meteorolojik şartlara dayanmaktadır. Böylece optimum bir Vs tespitinde meteorolojik verileri dikkate almak faydalı görülmektedir. Bu bildiride, gerçek mini bir PV-dc motor pompa sistemi modeli üzerinde, örneklenmiş bir meteoroloji veri takımı için optimum Vs tespiti genetik algoritma destekli yapılmaktadır. Oluşan performansın MPPT'ye yaklaşma başarısı ve normal sisteme olan avantajı analiz edilmektedir. Meteoroloji verileri bir gün için üç farklı şekilde örneklenmiş olup her biri için Vs tespit edilmektedir. Ayrıca sisteme olan pompa motoru uyumu, aynı şartlarda çalışan iki farklı motor arasında araştırılmaktadır.

2. GÜNEŞ PİLİ (PV) MODELİ

Bu çalışmada, bir adet Siemens marka SM55 tipi poli kristal güneş paneli kullanılmaktadır. PV paneli,

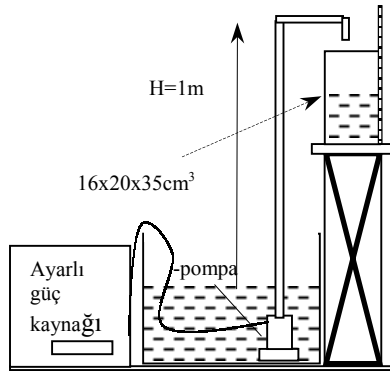
standart test koşullarında (STC ,1000W/m² Tc =25 °C) açık devre gerilimi Vo=21.7 V, kısa devre akımı Isc=3.3510 A, maksimum gücü Pm =55 W olarak etiket değerlerine sahiptir. SM55 paneli için, herhangi bir ışınım seviyesindeki I-V arasındaki ilişki denklem (1) ile ifade edilebilmektedir.

$$V=1,3386.ln[((3,3510.n -I) /0,301.10^{-6})+1] \quad (1)$$

(1) denklemindeki n katsayısı, ilgili ışınım seviyesinin, 1000W/m²'lik standart ışınımına olan oranıdır(n=0...1). Böylece (1) denklemini ile herhangi bir ışınım için I terimi , (0-3,3510.n) aralığında iterasyon yapılarak V değerleri bulunabilir. Bilindiği gibi Pm ise IxV değerlerinin en büyüğüdür.

3. ÖRNEK SİSTEM VE MODELİ

Örnek bir PV- dc motorlu su pompa sistemi için, Şekil-2 ile prensip olarak verilen küçük ölçekli gerçek bir su pompa sistemi kurulmuştur. Düşü yüksekliği H=1m, debi için ölçekli tankın boyutları 16x20x30 cm³'dür. Analiz, bu kurulu örnek sistem için, 10W ve 50 W 'lık sabit mknatsızlı dc motorlu iki dalgıç tipi santrifüj pompa (M10 W, M50 W) üzerinde yapılmaktadır. Her pompa için ayarlı güç kaynağı ile sistem sürülerek girişteki akım-gerilim (Imot-Vmot), dolayısıyla güç (Pmot=Imot.Vmot) ve debi (Q) değerleri kaydedilmekte olup, ölçümler SM55 panelinin çalışma aralığında yapılmaktadır.



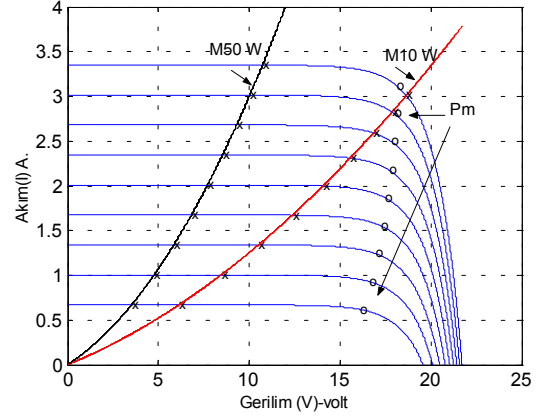
Şekil-2. Deney Seti

Şekil-2'deki sistemden alınan verilere göre, Imot - Vmot arasındaki ilişkiler, M10 W ve M50 W için (2) ve (3) denklemleriyle ifade edilebilmektedir.

$$I_{mot10} = 0,0042.(V_{mot10})^2 + 0,083.(V_{mot10}) \quad (2)$$

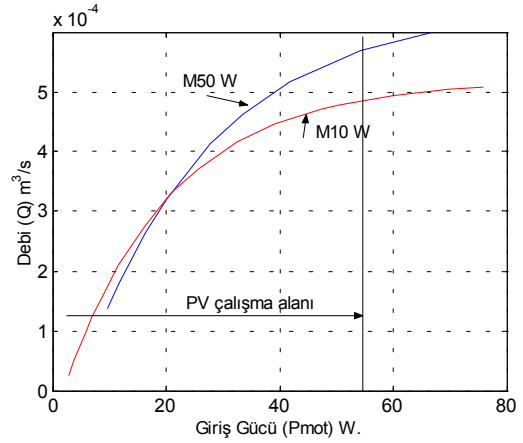
$$I_{mot50} = 0,017.(V_{mot50})^2 + 0,13.(V_{mot50}) \quad (3)$$

Örnek sistemi SM55 panelinin beslediği düşünülüp, (1), (2) ve (3) denklemlerinden aynı aralıkta I-V eğrileri tanımlandığında M10 W ve M50 W pompalarının SM55 panelindeki çalışma noktaları tespit edilebilir. Bu durum, Şekil-3 ile verilmektedir. Şekil-3'deki M10 W, PV'nin Pm noktalarına daha yakın bölgelerde çalıştığından, normalde M50 W 'a



Şekil-3. SM55'de M10 W ile M50 W

göre daha fazla performanslı olması beklenebilir. Diğer yandan, sistemin giriş gücü-debi (Pmot-Q) eğrileri her iki motor için şekil-4 ile verilmektedir.



Şekil-4. Pmot-Q Eğrileri

Yapılan ölçümler ışığında, her bir motorun Pmot-Q ilişkisi (4) ve (5) denklemleriyle tanımlanabilir.

$$P_{mot10} < 2,8 \text{ için, } \dots\dots\dots Q_{10}=0$$

$$P_{mot10} \geq 2,8 \text{ için,}$$

$$Q_{10} = (-30,80.e^{[-0,0529.(P_{mot10}-2,8)]} + 32,4).16.10^{-6} \quad (4)$$

$$(m^3/s)$$

$$P_{mot50} < 9,63 \text{ için, } \dots\dots\dots Q_{50}=0$$

$$P_{mot50} \geq 9,63 \text{ için,}$$

$$Q_{50} = (-31,60.e^{[-0,0432.(P_{mot50}-9,63)]} + 40,2).16.10^{-6} \quad (5)$$

$$(m^3/s)$$

Yukarıdaki (4) ve (5) denklemleri normal (kontolsüz) koşullardaki pompaların debi (Q) denklemleridir. Sistem MPPT'de çalışıyorsa bu denklemlerde Pmot güçleri yerine ilgili ışınımındaki(i) PV'nin Pm maksimum güç değeri yazılarak bu koşuldaki Q terimleri tanımlanabilir. Benzer şekilde, Vs sabit gerilimli çalışmada ise Vs sabit gerilimine karşılık gelen i.ışınımındaki PV gücü (Ps) terimi yazılabilir. Bir

günlük toplam debi (Qt), en genel ifade ile denklem (6) ile tanımlanabilir.

$$Qt = 3600 \cdot \sum_{i=1}^k Q(i) \cdot t(i) \quad (\text{m}^3/\text{gün}) \quad (6)$$

(6) denkleminde, Q(i) i. Işınmadaki debi (m³/s), t(i) ise i.ışınının oluşma süresi (saat), k ise, günlük ışınım seviyesi örnekleme sayısıdır. (6) denklemi, MPPT, Vs sabit ve normal işletim koşulları için ilgili Q terimleri yerlerine yazılarak tanımlanabilir.

4. GENETİK ALGORİTMALAR

Genetik algoritmalar (GA), arama ve optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılabilen adaptif bir yöntemdir. Biyolojik organizmalarda gerçekleşen genetik süreçlere dayalı olarak çalışırlar. Pek çok nesil aracılığıyla doğal nüfuslar, ilk kez Charles Darwin tarafından açıkça ifade edilen doğal seçim ve en iyinin hayatta kalma prensibine göre evrim geçirirler. Genetik algoritmalar bu süreci taklit ederek, bilgisayar ortamında problemleri evrimden geçirerek çözerler[5].

4.1. GA Çalışma Mekanizması

1.Adım: Rasgele başlangıç popülasyonunun oluşturulması. (Oluşturulan popülasyondaki her bir birey problemin olası çözümünü göstermektedir.)

2.Adım: Popülasyondaki her bir bireyin uygunluklarının hesaplanması.

3.Adım: Seçim, çaprazlama, mutasyon işlemlerini kullanarak yeni popülasyonun oluşturulması. (Seçim: Her bireyin uygunluk değerine bakılarak bir sonraki nesilde var olup olmayacağına karar verilmesi.

Çaprazlama: Rasgele seçilen bir noktadan iki bireyin bitlerinin birbirleriyle yer değiştirmesi. Uygunlukları yüksek olan bireylerin çaprazlama şansları daha fazladır.

Mutasyon: Mutasyon olasılığına göre bireyin bir biti değiştirilir.)

4.Adım: İterasyon sayısı kadar 1-2-3. adımlar tekrar edilir.

4.2. GA ile Problemin Çözümü

Genetik algoritmalarla problem çözümünde ilk yapılması gereken uygunluk fonksiyonunun ve sınır koşullarının belirlenmesidir. Bunların belirlenmesinde aşağıdaki verilerden faydalanılmıştır:

SM55 PV paneli için, ışınım seviyesi örnekleme sayısı k=9,

n = [0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1],

Işınım güçleri Pg

Pg=[200 300 400 500 600 700 800 900 1000] (W/m²)

i=1,2,...9

Bir çalışma periyodu 10 saat olarak alınmaktadır. Bir çalışma periyodu boyunca her bir ışınım şiddetinin oluşum süreleri aşağıdaki gibi 10 saate üç farklı şekilde dağıtılmakta olup, bütün bu ışınımına ait

örneklemelerin, PV panelinin yerleştirildiği eğim açısında gerçekleştiği varsayılmaktadır.

t₁=[2 1.8 1.7 1.3 1 0.75 0.7 0.5 0.25] (saat)

t₂=[0.25 0.5 0.7 0.75 1 1.3 1.7 1.8 2] (saat)

t₃=[0.25 0.5 0.7 1.3 2 1.8 1.7 0.75 1] (saat)

Uygunluğuna bakılacak olan gerilimin (Vs) her bir ışınım şiddetine karşılık gelen akım değerleri denklem-7 kullanılarak bulunur. Bulunan akım değerleriyle Vs çarpılarak (denklem (8)) her bir ışınım şiddetindeki güçler hesaplanır. Denklem (9) kullanılarak bir çalışma periyodu boyunca güneş pilinden alınacak olan toplam enerji miktarı bulunur.

Arama uzayının sınır koşulları; en büyük ışınım şiddetinin maksimum güç noktasındaki gerilim değeri 18.1349, en küçük ışınım şiddetinin maksimum güç noktasındaki gerilim değeri ise 16.1273 olduğundan bu iki değer arama uzayının alt ve üst sınırlarıdır.

$$I(i) = 3.3510 \cdot n(i) - 0.301 \cdot 10^{-6} \cdot [e^{(0.7471 \cdot Vs)} - 1] \quad (7)$$

$$P(i) = Vs \cdot I(i) \quad (8)$$

$$E = \sum_{i=1}^9 P(i) \cdot t(i) \quad (9)$$

Aşağıdaki Tablo-1'de genetik algoritma ile yapılan optimizasyon sonucunda, t₁, t₂, t₃ ışınım şiddeti dağılımlarına göre bulunan sabit çalışma gerilimi Vs ve güneş pili bu çalışma gerilimlerinde çalıştırıldığında bir çalışma periyodunda alınan enerji miktarları verilmektedir.

Tablo-1 Genetik algoritma ile yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen sabit çalışma gerilimleri.

	Sabit Çalışma Gerilimi(Vs) (V)	Alınan Enerji(E) (watt-saat)
t ₁ dağılımları	17.7500	406.2190
t ₂ dağılımları	17.1779	248.6021
t ₃ dağılımları	17.3585	290.2719

Yukarıda hesaplanan herhangi bir veri takımı için, tespit edilen Vs değerine karşılık gelen örnekleme ışınım aralığındaki PV güçleri (Ps(i)), M10 W için (4) denkleminde, M50 W için (5) denkleminde uygulanır ve (6) denklemiyle de ilgili günlük debi Qt (m³ /gün) hesaplanabilir.

Bütün veri takımları, günlük 10 saat çerçevesinde düşünüldüğünden günlük ortalama ışınım enerjisi, genel bir ifade ile (10) denklemi ile tanımlanabilir.

$$P_{ort} = (1/10) \cdot \sum_{i=1}^9 Pg(i) \cdot t(i) \quad (\text{W/m}^2\text{gün}) \quad (10)$$

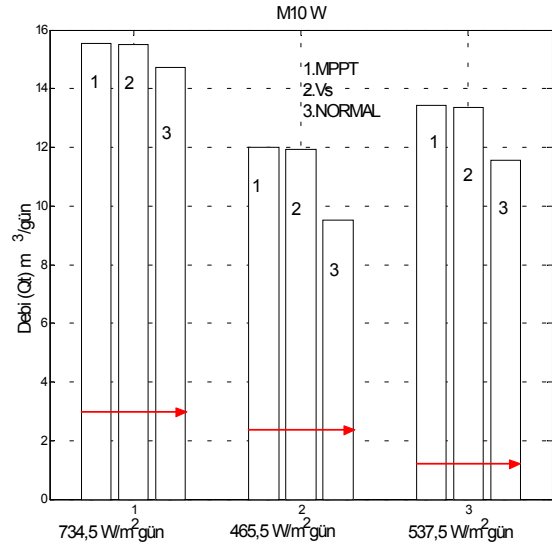
MPPT, V_s sabit işletim ve normal çalışma durumlarındaki Q_t performansları, ilgili veri takımı ve motor için (4)-(10) denklemleriyle belirlenmektedir.

5.SONUÇ

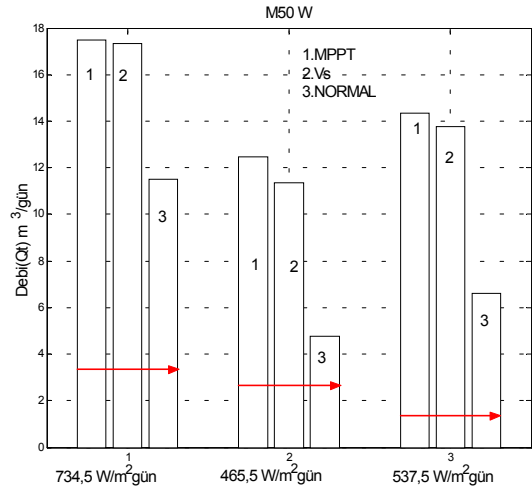
Örnek bir PV-dc motorlu su pompa sisteminde, performans iyileştirilmesine yönelik optimum sabit işletme gerilimi V_s , verilen günlük ışınım veri takımı için genetik algoritma destekli tespit edilmektedir. Analizde ek kontrol elemanı kayıpları, analizin asıl hedefi açısından göz önünde tutulmamıştır. Gerçekte ulaşılan V_s performanslarında küçük çapta azalmalar beklenebilir.

Örneklenen üç farklı ışınım verilerinden 734,5 W/m^2 gün için $V_{s1}=17,75$ V.; 465,5 W/m^2 gün için $V_{s2}=17,17$ V. ve 537,5 W/m^2 gün için $V_{s3}=17,3585$ V. değerindedir. Yaz, kış ve bahar sezonlarını andırarak bu verilerde günlük ortalama ışınım enerjisiyle V_s değerleri kısmen yükselmektedir. Tespit edilen V_s değerlerinin sağladığı performansların MPPT koşullarına olan yaklaşma başarısı, küçük ölçekli gerçek bir sistemden alınan temel model verileriyle analiz edilmiştir. Sabit basma yüksekliğinde kurulu örnek sistemdeki performans karşılaştırılması $Q_t(m^3/gün)$ debilerine göre. Sonuçlar, üç ayrı günlük ışınım verisi için, M10 W ile M50 W pompalarına göre Şekil-5, Şekil-6 ve Tablo-2'dedir.

Alınan sonuçlara göre, örneklenen bütün günlük ışınım ortalamalarında, pompalar en yüksek debileri ideal olan MPPT koşullarında vermektedir. Her ışınım verisi için hesaplanan V_s işletiminde oluşan debiler, ilgili MPPT koşullarına yaklaşık %96-99 oranında yaklaşmaktadır. Normalde her iki pompanın da debileri daha düşük seviyelerdedir. M10 W için, normale göre yaklaşık %6 –20 dolaylarında ek katkı sağlanırken, M50 W için bu katkı yaklaşık %30-60 değerlerindedir. Örneklenmiş üç verinin en düşüğü olan 465,5 W/m^2 gün'de her iki pompa için daha fazla katkı sağlanmaktadır.Yapılacak iyileştirmenin avantajı M50 W 'de daha belirgindir. Günlük debiler bakımından performans tercih ibresi normalde M10 W'da iken, MPPT veya V_s koşullarında ibre M50 W'a dönmektedir. Çünkü Şekil-3'e göre normalde M10 W, M50 W'a göre PV Pm'lerine daha yakın seyretmektedir. Ayrıca Şekil-4'deki P_{mot} -Q eğrilerine göre düşük güç aralığında(0-20W) M10 W, M50 W'dan aynı güç noktasında daha büyük debi ürettiğinden normal koşullarda avantajlıdır. Fakat MPPT veya V_s işletimlerinde ise M50 W avantajlıdır. Çünkü Şekil-4'e göre PV'nin Pm'lerine yakın güç aralığındaki aynı güce karşılık gelen M50 W'nin debileri, M10 W'ye göre fazladır. Böylece bir PV'nin Pm noktaları civarında çalıştırılması kadar, bu noktalarda daha geç doyuma ulaşan ve daha yüksek debi veren bir pompa –motor sistemi seçiminin de önemli olduğu görülmektedir.



Şekil-5. M10 W için Q_t durumları



Şekil-6.M50 W için Q_t durumları

Tablo-2. Analiz Sonuçları

DEBİ (Q_t) $m^3/gün$		Günlük Ortalama Işınım $W/m^2/gün$					
		734,5	% MPP T	465,5	% MPP T	537,5	% MPP T
M10 W	MPPT	15,55 49	100	12,01 20	100	13,41 74	100
	V_s	15,50 14	99,66	11,93 55	99,36	13,35 81	99,56
	NORM	14,71 89	94	9,508 1	79,16	11,56 18	86
M50 W	MPPT	17,50 03	100	12,45 18	100	14,33 82	100
	V_s	17,32 26	98,98	11,37 20	91,33	13,78 58	96,15
	NORM	11,49 73	65,70	4,765 9	38,27	6,617 0	46,15
V_s (V)		17,75		17,1779		17,3585	

KAYNAKLAR

- [1] Akbaba. M., Matching Of Separately Excited DC Motors To Photovoltaic Generators For Maximum Power Output, SOLAR ENERGY, Vol .63, Iss 6, pp,375-385, 1998.
- [2] Appelbaum J., The Operation Of Permanent Magnet DC Motors Powered By A Common Source Of Solar Cells, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, Vol 4, Iss 4, pp 635-642, 1989.
- [3] Saied M., Optimal Solar Array Configuration And DC Motor Field Parameters For Maximum Annual Output Mechanical Energy, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, Vol 4, Iss 3, pp 459-465, 1989.
- [4] Morozono M., A Study Of Optimum Operation By Voltage Mode Control For Solar Photovoltaic Systems, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol 26, Iss 5, 1987.
- [5] Beasley D., Bull D.R., Martin R.R., A OVERVIEW OF GENETIC ALGORITHMS PART I- FUNDAMENTALS UNIVERSITY COMPUTING, Vol 15, Iss 2, pp 58-69, 1993.