

## Fotovoltaik Enerjinin Sulama Amaçlı Uygulama İçin Kurulacak Bir Sistemin Sayısal Tasarımı ve Model Çalışması

### Numerical Design & Modelling Study of Photovoltaic Energy System For Irrigation Applications

Volkan Peren <sup>1</sup>, Feriha Erfan Kuyumcu <sup>2</sup>, Çiğdem Gündoğan Türker <sup>2</sup>



<sup>1</sup> Hyundai Assan Otomobil Fab. Tesis Yönetimi Bölümü, Kocaeli, Türkiye  
volkanperen@hyundaiassan.com.tr

<sup>2</sup> İstanbul Gedik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul, Türkiye  
Elektrik ve Elektronik Müh. Bölümü  
feriha.kuyumcu@gedik.edu.tr, cigdem.gundogan@gedik.edu.tr

#### Öz

Çalışmanın amacı, sulama uygulamalarında fotovoltaik (FV) sistemlerin kullanılabilmesi için sistemin sayısal tasarımı ve modelinin geliştirilmesidir. Öncelikle, sistemin doğru boyutlandırılabilmesi için tasarım kriterleri belirlenir. Bu kriterlerden en önemlileri gereken su miktarı (debi), suyun temin edileceği kaynak ve kaynaktan iletileceği nokta arasındaki yükseklik, sistemin kurulacağı bölgedeki güneşlenme süresi ve ışınım miktarıdır. Sonrasında akım, gerilim ve güç gibi elektriksel özellikler ile FV sistemin verimi belirlenmektedir. Ayrıca model çalışması ile pompalanan suyun debisi, pompanın hidrolik güç ve motorun elektriksel güç değerleri hesaplanmaktadır. FV panellerden elde edilen enerji ile DA/DA dönüştürücü üzerinden Fırçasız Doğru Akım (DA) pompa motorunun sürücü devresi beslenmektedir. FV sisteme bağlı üretilen elektrik enerjisi ile dalgıç pompaların çalıştırılması durumu için sulama sistemi modelinin simülasyonu gerçekleştirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sulama, Güneş Enerjisiyle Su Pompalama.

#### Abstract

The aim of this study is to develop numerical design and model of photovoltaic (PV) systems in irrigation applications. First of all, the design criteria are determined for correct dimensioning of the system. The most important of these criteria are the amount of water (flow) required, the height between the source from which the water will be supplied and the point to be transmitted from the source, the amount of sunshine period and the amount of radiation in the region where the system will be installed. Afterwards, the electrical properties such as current, voltage and power and efficiency of PV system are determined. In addition, the flow rate of the pumped water, the hydraulic power of the pump and the electrical power of the motor are calculated with the model study. With the energy obtained from the PV panels, the drive circuit of the Brushless Direct Current (DC) pump motor is supplied via the DC / DC converter. The simulation of the irrigation system model is performed for the operation of the submersible pumps with the electrical energy generated connected to the PV system.

Keywords: Photovoltaic Irrigation, Solar Water Pumping.

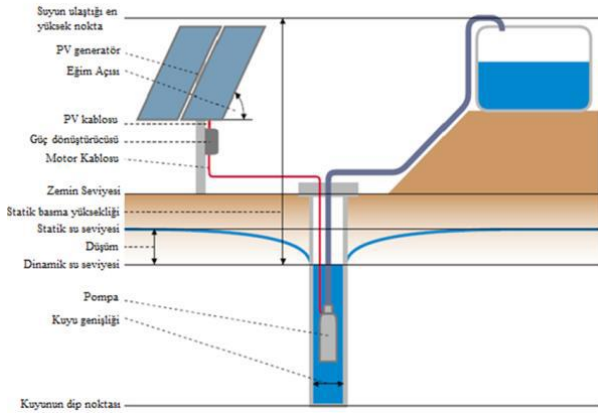
## 1.Giriş

Şebeke elektriğinin olmadığı tarımsal alanlarda sulama, fosil kaynaklı enerjiler ile sağlanmaktadır. Bu tip kaynaklar maliyetli, gürültülü ve devamlı ek yakıt gideri bulunmaktadır. Temiz ve sürekliliği ile ön planda olan fotovoltaik sistemleri her alanda olduğu gibi tarımsal alanda da çiftçilere sulamada daha ekonomik ve tamamen doğal yolla, çevreci bir kolaylık sağlamaktadır [1-3]. Güneş enerjili tarımsal sulama sistemleri, fosil yakıtlı sulama sistemleriyle kıyaslandığında amortisman süresi 1,5-2yıl gibi bir süreye kadar düşmektedir. Ayrıca, Tarımsal sulamaya devlet tarafından vergi teşviki ve hibeleri yer almaktadır.

Fotovoltaik sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, bu sistemlerin olabildiğince doğru bir şekilde boyutlandırılmasını gerektirmektedir. Güneş enerjisi ile çalışan tarımsal sulama sistemlerinin tasarımında; suyun pompalanacağı toplam yükseklik, gereksinim duyulan günlük su ve bölgedeki ortalama güneş enerjisi miktarlarının önceden hesaplanması veya tahmin edilmesi gereklidir. Bu verilere bağlı olarak sistemin boyutlandırılması ve panel, pompa, motor gibi bileşenlerin seçimi kolaylaşır. Bu çalışma ile gerçek veriler ile boyutlandırılmış tüm sistemin tasarımı, hesaplanması ve modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

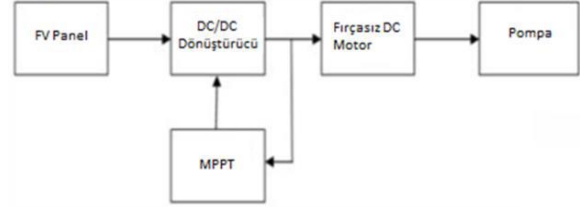
## 2. Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi

Fotovoltaik panelleri, güç dönüştürücüleri ve pompa motorundan oluşan su pompalama sisteminin blok diyagramı Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1: FV Su Pompalama Sistemi

FV panellerin çıkışındaki gerilim; ışınım ve sıcaklık gibi faktörlerden etkilenerek değişkenlik gösterebilir. DC/DC dönüştürücü bu olumsuzluğu çıkış gerilimini istenen değerlerde tutarak gidermeye çalışır. Bu amaçla sistemin maksimum verimde çalışabilmesi için maksimum güç noktasını izlemek üzere özel elektronik devre ve algoritmalar kullanılmaktadır. Sistemde güneş ışınımının bulunduğu sürelerde su pompalanır veya üretilen enerji daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Güneş ışınımının olmadığı sürelerde kullanılmak üzere bataryalarda güç depolanabilir. Batarya dolmuş sistemi kullanılması durumunda, sistemin kontrolü için elektronik kontrol üniteleri gereklidir. Bataryalar, bulutlu günlerde güneş ışınım şiddetinin düşük olması durumunda, sistemin çalışmasına olanak sağlarlar [4].



Şekil 2: FV su pompalama sistemi blok şeması

Fotovoltaik pompa sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olması, bu sistemlerin olabildiğince doğru bir şekilde boyutlandırılmasını gerektirmektedir. Şekil 2'de fırçasız DC motor kullanılan FV su pompalama sisteminin blok şeması verilmektedir. Fırçasız DC motorların en önemli avantajları; yüksek verim, sessiz çalışma, fırça ve kolektör sistemlerinin kaldırılmasından dolayı bakım işleminin oldukça basit ve masrafsız olmasıdır. Ayrıca, patlayıcı ortamlarda tehlike oluşturan elektriksel arkların oluşmaması, endüvi sargılarının statorlarda bulunması nedeniyle sargı sıcaklığının dışarıya kolayca aktarılması, rotor üzerinde hiçbir sargı bulunmadığından dolayı elektriksel kayıpların minimum olması gibi avantajları bulunmaktadır. Düşük güçlerde fırçasız DC motorlar, diğer motorlara göre daha iyi verim ve daha yüksek güç/hacim oranına sahip olduğundan, aynı motor boyutlarında daha fazla çıkış gücü sağlamaktadır.

Elektrik motoru, güç gereksinimi ve akım tipine bağlı olarak seçilmelidir. Alternatif akım (AC) ile çalışan motor kullanılması durumunda, sisteme DC/AC dönüştürücü yerleştirilmesi gerekir. Güç elektroniği dönüştürücüleri, gerilim düşümü etkisi ile oluşan kayıplar dikkate alındığında 42V ya da 72V gerilimle beslenebilecek BLDC (Fırçasız Doğru Akım Motoru) tipi motor kullanımı solar sulama sistemlerinde oldukça yaygındır [5-6].

Tarım sulama sistemlerinin tasarımında; suyun pompalanacağı toplam yükseklik, gereksinim duyulan günlük su ve bölgedeki ortalama güneş enerjisi miktarlarının önceden hesaplanması veya tahmin edilmesi gerekir. Uygulamada su kaynağı olarak kuyu, depo, nehir, kanal vb. olmasına göre kullanılacak pompa tipi değişecektir. Yüzeysel uygulamalarda santrifüj pompalar kullanılırken, kuyu suyu temini için dalgıç pompalar tercih edilmektedir. Derin kuyulardan su çıkarmak için kullanılan dalgıç pompa besleme borusuna asılı olarak sarkıtıldığı kuyuda su soğutmalı olarak çalışır. Kurşun bronz gibi özel malzemeden yapılan yataklar su ile yağlanır. Pompa mili motor miline özel bir kavrama ile bağlanır. Burada motor olarak kullanılan sincap kafesli asenkron motor ise, rotor sürtünme kayıplarını azaltmak için ince ve uzun yapılıdır. Su ile dış yüzeyden soğutulur. edelenen besleme kablosundan suyun motor ç ne sızmasını önlemek için kablo girişinde özel bir sızdırmazlık bulunur. Delik millî pompa motorlarında ters dönüş tek yönlü kavrama ile önlenir. Bu düzen kullanılmazsa akımı kesilen motor pompa içinde kalan suyun etkisi ile ters yönde döner ve pompa m l n n kavramadan çözülerek kuyuya düşmesine neden olabilir.

Simülasyonunu gerçekleştirilen uygulama için kuyudan su temini düşünülerek dalgıç tipi pompa seçilmiştir. Seçilen dalgıç pompalar fırçasız sürekli miktatsızlı doğru akım motoru (BLDC) tahriklidir.

### 3. Sistem Tasarımı

Fotovoltaik sulama sistemi tasarlanırken şu maddelere dikkat edilmelidir;

- Kurulumun yapılacağı yerdeki güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri,
- Gereken su miktarı,
- Sistemdeki toplam dinamik yükseklik,
- Pompalanan suyun kalitesi,
- Su kaynağı (kuyu, akarsu, su kanalı, baraj ya da tank),
- Kullanılacak FV teknolojisi (Mono/Polikristal, ince film),
- Panellerin kurulacağı yer (çatı, bahçe, arazi vb.) ve montaj tipi.

Uygulamanın yapıldığı arazi şartlarına, sulamanın yapılacağı ürüne göre sulama miktarı ve ihtiyaç duyulan su miktarı değişmektedir. Su miktarının değişmesi tasarımı etkilemektedir. Ayrıca, pompayla temin edilen suyun bir tankta depolanması avantaj sağlayacaktır. Böylece güneşlenmenin olmadığı zamanlarda da su kullanılabilir. Seçilen boru çapı da önemlidir. Geniş çapta boru seçmek dinamik basma yüksekliğini düşüreceğinden toplam güç tüketimini azaltacaktır [7-9].

#### 3.1. Günlük Su Gereksiniminin Belirlenmesi

Sistem tasarımını gerçekleştirebilmek için, öncelikli gereken bilgi günlük pompalanan su miktarıdır. Su pompaları için debi; m<sup>3</sup>/s, m<sup>3</sup>/saat, l/s gibi birimlerle ifade edilirken, fotovoltaik sistem güneş ışığına bağlı olarak çalıştığından sistem tasarımında ihtiyaç duyulan su miktarı gün bazında ele alınır.

Tasarlanan sistemde su ihtiyacı kuyudan karşılanan, tarım arazilerinin sulamasına yönelik bir sistem olarak düşünülmektedir. Sulamaya yönelik uygulamalarda yetiştirilen ürün tipine bağlı olarak su ihtiyacı, sulama süresi ve sulama yöntemleri değişiklik gösterebilir. Örnek bir uygulamadan yola çıkarak, 6 hektarlık bir alanın sulanması için sistemin toplam su ihtiyacı 120 m<sup>3</sup>/gün olarak kabul edilmektedir.

#### 3.2. Toplam Dinamik Yükseklik

Suyun en alçak noktası ile ulaştığı en yüksek nokta arasındaki mesafe, statik yükseklik olarak adlandırılır. Denklem 1'de verildiği gibi statik yükseklik ve sürtünme kayıplarından toplam dinamik yükseklik (TDY) hesaplanabilir.

$$TDY = H_g + H_d + H_p + H_f + H_v \quad (1)$$

H<sub>g</sub>; geometrik yükseklik, H<sub>d</sub>; derin kuyu ya da su kaynağında debiye bağlı meydana gelen seviye düşümü, H<sub>p</sub>; sistemin çıkışında istenen basınç veya işletme basıncı, H<sub>f</sub>; sistemde kullanılan düz boru ve endüvide meydana gelen toplam sürtünme kayıpları ve H<sub>v</sub>; pompalanan suyun hız enerjisidir. Geometrik yükseklik dışındaki yükseklik ve kayıplar mevcut uygulama için ihmal edilebilir ölçektektir. Buna bağlı olarak tüm kayıplar da dâhil olmak üzere sistem için öngörülen TDY, 40 m olarak düşünülmektedir.

#### 3.3. Pompanın Gücü

Pompalanan su miktarı, beraberinde sulama süresine bağlı olarak debinin ve TDY'nin bilinmesiyle pompa sistemi için gerekli olan Hidrolik güç (P<sub>h</sub>) hesaplanabilir;

$$P_h = Q \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot TDY \text{ (m)} \cdot \rho \text{ (10}^3\text{kg/m}^3) \cdot g \text{ (m/s}^2) \quad (2)$$

Pompa miline aktarılması gereken mekanik güç (P<sub>mek</sub>), hidrolik güç (P<sub>h</sub>) ve pompa verimi (μ<sub>p</sub>) ile Denklem (3)'deki gibi belirlenir;

$$P_{mek} \text{ (W)} = P_h \text{ (W)} / \mu_p \text{ (\%)} \quad (3)$$

Seçilen pompanın katalogunda yazan verim değeri %55, motorun verimi ise %92 alınmıştır. Gün içinde sulama yapılan süre, 8-10 saat olduğu bununla birlikte gün ışığına bağlı olarak üretilen güç ve pompalanan su debisi değişeceğinden, pompanın ortalama 15 m<sup>3</sup>/saat'lik bir debiye sahip olması durumunda toplam su ihtiyacını karşılayabileceği öngörülmektedir. (15 m<sup>3</sup>/saat=0,00416 m<sup>3</sup>/s)

$$P_h = 0,00416 \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot 40 \text{ (m)} \cdot 10^3 \text{ (kg/m}^3) \cdot 9,8 \text{ (m/s}^2) \quad (4)$$
$$= 1,63 \text{ kW}$$

$$P_{mek} \text{ (W)} = 1,63 \text{ kW} / 0,55 = 2,96 \text{ kW} \quad (5)$$

Mekanik çıkış gücünün motor verimine bölünmesiyle, elektriksel giriş gücü hesaplanır;

$$P_{elk} \text{ (W)} = 2,96 \text{ kW} / 0,92 = 3,21 \text{ kW} \quad (6)$$

Güç dönüştürücüsünün veriminin de % 90 olduğu kabul edilerek FV panellerden çekilecek olan güç değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$P_{FV} \text{ (W)} = 3,21 \text{ kW} / 0,9 = 3,57 \text{ kW} \quad (7)$$

#### 3.4. FV Panellerin Boyutlandırılması

Eğer sistemin geceleri de çalışması düşünülüyorsa batarya grubuna gereksinim duyulmaktadır. Fakat böyle bir zorunluluk yoksa enerjinin depolanması yerine, gün içerisinde suyun depolanması, akülerin pahalı, bakım ve kontrol gerektirmesi, ağır ve sınırlı bir kullanım ömrüne sahip olması göz önüne alınarak daha da ekonomik bir çözüm olacaktır.

FV panellerin boyutlandırılması sistem yükü ve sistemdeki tüm kayıplar göz önüne alınarak yapılmalıdır. Sistemde gerekli olan 3,57 kW 'lık gücü sağlamak için FV panellerden 3 dizi halinde 4 seri modül kullanılmaktadır. Bu durumda toplam kurulu güç;

$$P_K \text{ (W)} = 12 \cdot 305,2 \text{ kW} = 3,66 \text{ kW} \quad (8)$$

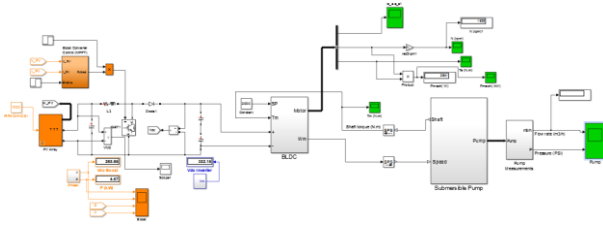
olmaktadır.

### 4. Simülasyon Sonuçları

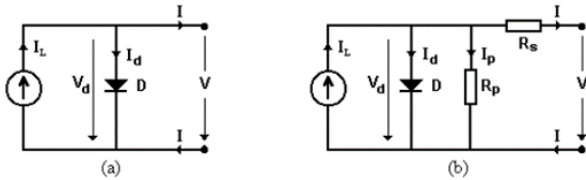
FV su pompalama sistemi simülasyonu için Matlab/Simulink ortamında tasarlanan model Şekil 3'de gösterilmiştir. Model FV panel, DC/DC dönüştürücü, MPPT kontrol bloğu, fırçasız DC motor ve pompadan oluşmaktadır.

Simülasyon başlatıldığında FV panellerde üretilen elektrik enerjisi DC/DC dönüştürücü üzerinden fırçasız DC motoru beslemekte ve pompanın çalışması sağlanmaktadır. Simülasyon başlangıcından itibaren FV panellerin çıkışındaki gerilim ve akım değerleri maksimum güç noktasına ulaşıncaya kadar yükselir ve bu noktaya ulaşıldığında gerilim ve akım değerleri

MPPT kontrol bloğunun gönderdiği kapı sinyalleri ile DC/DC dönüştürücünün çıkışındaki değerler kontrol edilmiştir. Simülasyonun başlangıç anından itibaren motorun devir sayısı ve pompalanan su miktarı giderek artar. Maksimum güç noktasında çalışırken bir süre sonra motorun devir sayısı istenen değere sabitlenir ve hedeflenen debiye ulaşılır. Pompa, bu noktada kararlı çalışmasını sürdürür. Modüler bir yapıya sahip olan FV su pompalama sisteminin her bir bileşeni, simulinkte ayrı ayrı bloklar halinde modellenmiş ve bir araya getirilmiştir.



Şekil 3: FV su pompalama sistemi simülasyon modeli



Şekil 4: Fotovoltaik hücrenin (a) basitleştirilmiş (b) tek diyotlu eşdeğer devresi

İdeal bir fotovoltaik hücre, Şekil 4’de görüldüğü gibi, bir diyot ve paralel bir akım kaynağı kullanılarak modellenebilir. Akım kaynağı, ışık şiddeti (G) ile direkt orantılı olan fotovoltaik akım  $I_L$ ’yi meydana getirir. Şekildeki diyot, fotovoltaik hücrenin P-N geçiş bölgesini temsil etmektedir. FV pil yarı iletken bir malzeme olması nedeniyle diyot ile gösterilmektedir.

Şekil 5’te verilen FV panelin modellenmesinde tek bir hücre için matematiksel olarak Denklem 9’dan faydalanılmaktadır;

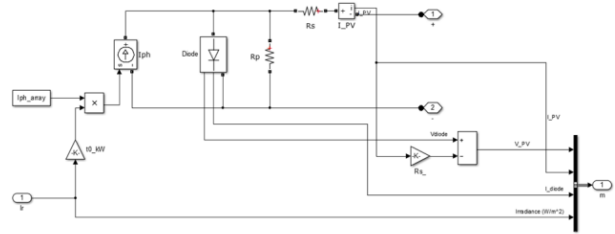
$$I = I_L - I_{sat} \left[ \exp \left( \frac{q(V+I.R_s)}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{(V+I.R_s)}{R_p} \quad (9)$$

$I_d$  ; diyot akımı, diyot ters doyma akımı,  $I_{sat}$  ; elektronun elektrik yükü,  $V$  ; diyot üzerinde düşen gerilim,  $n$ ; diyot emisyon faktörü,  $k$  ; Boltzmann sabiti ve  $T$ ; mutlak sıcaklıktır. Gerilim düşümü seri bir  $R_s$  direnci ile, pratikte gözlenen sızıntı akımı  $R_p$  direnci ile modellenebilir.

Fotovoltaik akım, ışık şiddeti ve fotovoltaik hücre sıcaklığının bir fonksiyonudur;

$$I_L = [I_{L,ref} + k_i (T - T_{ref})] \cdot (G/G_{ref}) \quad (10)$$

$k_i$  ; FV hücre kısa devre akımının sıcaklık katsayısı ( $A^\circ C$ ),  $I_{L,ref}$ ; referans sıcaklıktaki fotovoltaik akım,  $G_{ref}$ ; referans sıcaklıktaki ışık şiddetidir.



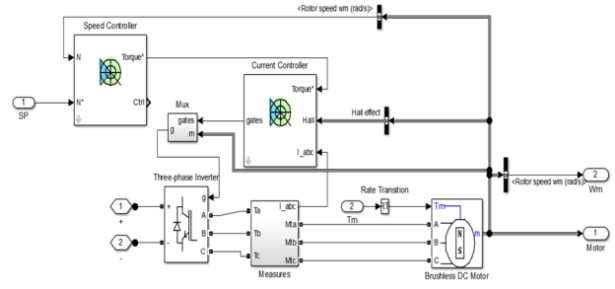
Şekil 5: FV panelin simülasyon modeli

Panelin katalog değerlerinden ışımanın değeri sabit 1000 W/m2 olarak seçilmiştir. Sıcaklık etkisi de 25 °C olarak alınmıştır. Seçilen güneş panellerinin her bir modülünde 96 adet hücre bulunmaktadır. 4 adet seri bağlı modülün bulunduğu 3 dizden meydana gelerek 3,66 kW 'lık kurulu güce sahiptir. Simülasyonda kullanılan güneş panellerinin katalog değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

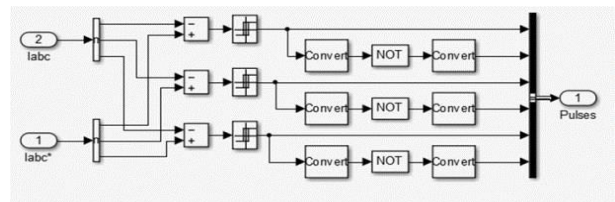
Tablo 1. FV Modülün Parametreleri

Sıra No	Parametreler	Değerler
1	Kısa devre akımı ( $I_{kd}$ )	64,2 A
2	Açık devre gerilimi ( $V_{od}$ )	5,96 V
3	Maksimum güç ( $P_{max}$ )	305,2 W
4	Maksimum güç noktasındaki gerilim ( $V_{mpp}$ )	54,7 V
5	Maksimum güç noktasındaki akım ( $I_{mpp}$ )	5,58 A
6	Seri hücre sayısı ( $N_s$ )	96
7	Paralel hücre sayısı ( $N_p$ )	1

Şekil 6’da görüldüğü gibi, Fırçasız DC Motorun simülasyon modelinde Fırçasız DC motor için dışarıdan referans bir hız değeri ve pompanın yük momenti girilmektedir. Buna bağlı olarak geri besleme elemanından alınan bilgiyle konum bilgisi alınarak referans akımlar hesaplanmakta ve anahtarlar sinyalleri üretilmektedir. Motorun sürücü kısmı akım kontrolü ve hız kontrolü olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir.



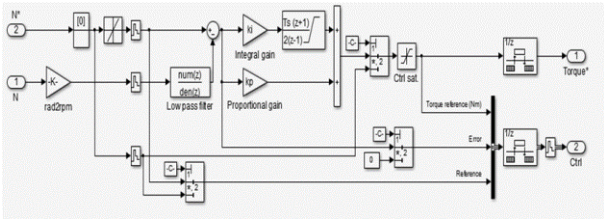
Şekil 6: Fırçasız DC motor simülasyon modeli



Şekil 7: Fırçasız DC Motor Akım kontrolü bloğu

Şekil 7’de verilen akım kontrolü bloğunda referans akımlar ile faz akımları histerezis kontrol yapısı ile karşılaştırılmaktadır. Histerezis kontrolör, gerçek akım ile referans akım arasındaki farkı hesaplayarak, gerçek akımın belirli bir aralık içinde kalmasını sağlar. Fazların enerjilendirilmesi için eviriciye gönderilecek olan darbe sinyalleri üretilir. Evirici bloğu altı adet mosfet kullanılarak oluşturulan üç faz tam köprü eviricidir. Akım kontrolöründen PWM anahtarlama için uygun darbe sinyalleri üretilir.

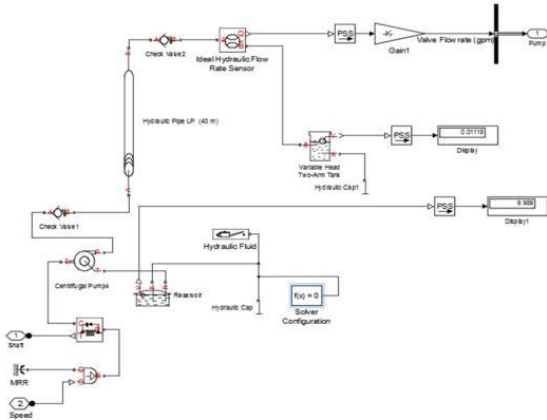
Şekil 8’de verilen hız kontrol bloğunda ise PI kontrolör yardımıyla, referans hız ile gerçek rotor hızı arasındaki hata hesaplanarak, hata sıfıra indirilmeye çalışılmıştır. Hız kontrolünden gelen moment sinyali ve hall konum sensörlerinden gelen pozisyona göre değişen bir fonksiyon kullanılarak referans akım sinyaline dönüştürülür.



Şekil 8: Fırçasız DC Motorun Hız kontrol bloğu

Şekil 9’da verilen pompa modelinde ise motor mili üzerinden bir mekanik hız bilgisi alınmakta, bu hız bilgisi moment sensörü üzerinden yük momenti olarak motora iletilmektedir. Burada su temin edilen kuyu, bir seviyesi değişen bir tank olarak düşünülmüştür. Pompa kuyudan çektiği suyu boru aracılığıyla basmaktadır. Basma yüksekliği 40 m uzunluğunda bir boru ile modellenmiştir. Boru çıkışına bir akış sensörü konularak debi ölçülmüştür.

Sistem simülasyonu sonucunda, güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi, dönüştürücü üzerinden fırçasız DC motoru besleyerek pompanın öngörülen miktarda yaklaşık 15,26m<sup>3</sup>/saat su pompalanması sağlanmaktadır.

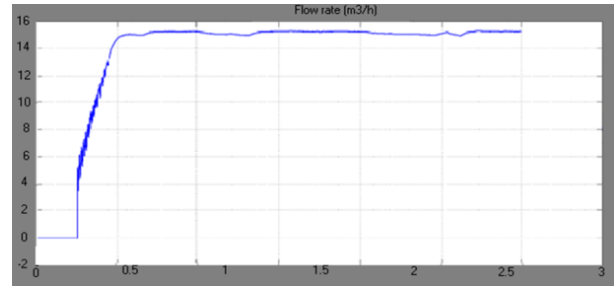


Şekil 9: Pompa simulink modeli

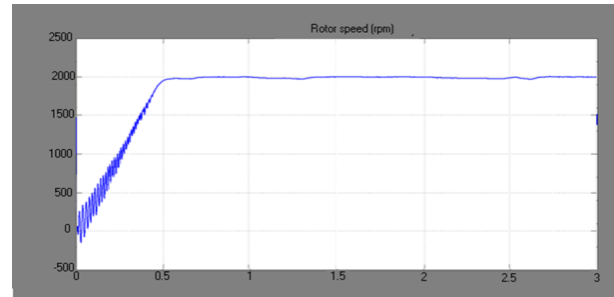
FV panellerden elde edilen güç değeri, maksimum noktada olduğu ve bu noktada kararlı çalıştığı görülmektedir. Dönüştürücünün girişi ve çıkışındaki gerilim değerleri, motorun çektiği akım ve güç değerleri motor kataloğundaki değerlerle örtüşmektedir. Simülasyonda dönüştürücünün giriş gerilimi 235V, çıkış gerilimi 365V, giriş akımı 15,58A çıkış

akımı 10A olarak elde edilmektedir. Pompa kataloğundan; motor besleme gerilimi max. 375 V, akımı max. 15A'dır. Şekil 10’da görüldüğü gibi, pompa yaklaşık 0,5 sn gibi bir sürede maksimum debiye ulaşmakta ve kararlı hale geçmektedir. Şekil 11’de gösterilen pompa devir sayısı set edilen referans hız değerinde, 2000 devir/dakika, çalışmaktadır. Şekil 12’de pompa mekanik güç değeri görülmektedir.

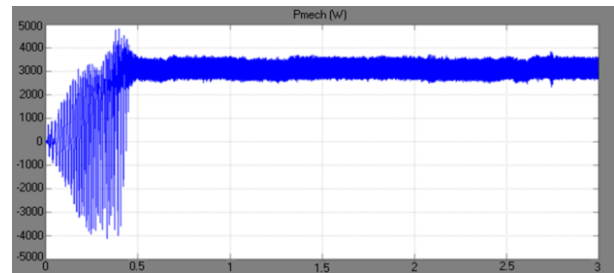
Şekil 13’te FV Panelin gerilim güç ve çevrim oranı değerleri verilmektedir. Panel verimi , pompanın verimi 'tir. MPPT algoritması yardımıyla belirlenen çevrim süresinin olarak simülasyon boyunca sabit kaldığı görülmektedir. Ayrıca, boost dönüştürücü üzerinden pompanın çektiği akımda dalgalılık gözlemlenmektedir. Mevcut dalgalılığı giderilerek pompanın daha düzgün çalışması için iyileştirmeler yapılabileceği sonucu çıkarılabilir. Şekil 14’de fırçasız DC motorun bir fazına ait stator akım, elektriksel moment ve pompa yük momenti dalga şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 10: Pompanın debi eğrisi

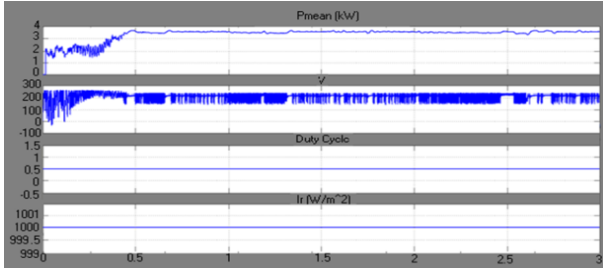


Şekil 11: Pompanın devir sayısı

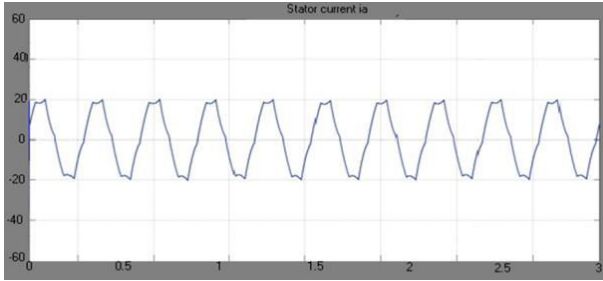


Şekil 12: Pompanın mekanik gücü

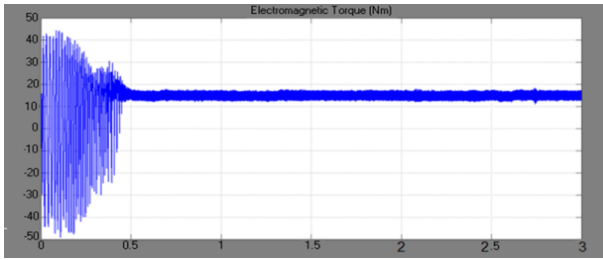




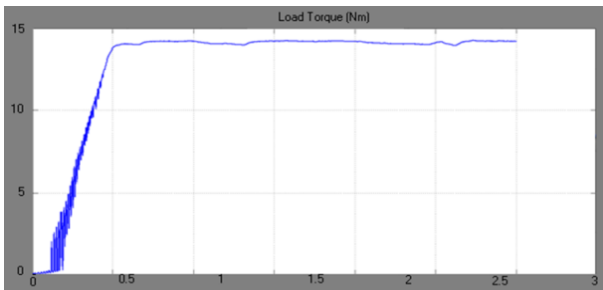
Şekil 13: FV Panelin gerilim, güç ve çevrim oranı değerleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 14: Fırçasız DC Motorun bir fazına ait (a) Stator akımı, (b) Elektriksel moment, (c) Pompanın yük momentini

## 5. Sonuçlar

FV su pompalama sistemlerinin, kullanım suyu, tarımsal ya da sulama amaçlı birçok uygulama alanında ekonomik ve uzun ömürlü olduğu açıkça gözlenmektedir. Özellikle, akaryakıt fiyatlarının dünya standartlarından çok fazla olduğu gerçeğinden yola çıkarak, tarımsal sulama için oldukça yüksek bütçeler ayrılmaktadır. Bu durum akaryakıt sektöründe dışa bağımlı olan ülkemiz için hem ekonomik açıdan hem de sürdürülebilir çevre için olumsuz bir durum yaratmaktadır. Sürdürülebilir çevre açısından son derece önemli olan yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve yerinde kullanımı,

yönetimler tarafından daha fazla desteklenmesi ile hızla yaygınlaşması beklenmektedir. Bu yeni teknolojilerin hem daha düşük maliyetlere kurulabilmesi hem de tüm toplum tabanına yaygınlaşabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle de FV teknolojilerin kullanılacağı her uygulama alanına destek verilmesi büyük bir önem arz etmektedir.

Bu çalışmada hedeflenen model ile daha önce arz edilen sorunların giderilmesi, verimli, ekonomik ve sürdürülebilir bir sistemin mevcut uygulamalarda fosil yakıtlı geleneksel sistemlerin yerini alabileceğine dair uygulama modeli oluşturuldu. Kurulan FV su pompalama sistemi modeli ile gerçek uygulamalardan örnek alınarak simülasyon gerçekleştirilmiş ve simülasyon sonuçları ile piyasada var olan ürünlerin performans değerlerinin örtüştüğü görülmektedir. Bununla birlikte pompa motorunun akımına ait dalgalı yapıdaki sinyal formunun düzeltilmesi için güç dönüştürücüsü ve motor sürücüsü üzerinde yapılacak iyileştirmeler, sistemin daha optimum bir performans sağlaması için geliştirilebilir özellikleri olarak değerlendirildi. Sistemin GSM ve/veya internet üzerinden kontrol edilebilmesi için gerekli donanımların sisteme eklenmesi, uzaktan kontrol ve gözlem imkânı tanınması sayesinde sistemin daha cazip hale getirilebileceğine kanaat getirilmektedir.

## 6. Kaynaklar

- [1] Lajnef T., Abid S., Ammous A., "Design and simulation of water pumping system", International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-4, April 2013 161.
- [2] Eker B., Solar powered water pumping systems, Trakia Journal of Sciences, Vol. 3, No. 7, pp 7-11, 2005 ISSN 1312-1723.
- [3] Rishel J.B., Water Pumps And Pumping Systems, 1st edition, McGraw-Hill, USA, 2002.
- [4] Messenger R., Ventre J., "Photovoltaic Systems Engineering", 2nd edition, CRC Press, USA, 2004.
- [5] Hammadi S., Hidouri N., Sbata L., FOC drive scheme for a photovoltaic water pmsm-pumping system, International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT'13) Proceedings Engineering & Technology - Vol.2, pp. 27-32, 2013.
- [6] Kulaksız A., Maksimum Güç Noktası İzleyicili ve UVM inverterli Fotovoltaik Sistemin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Kontrolü, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 212-386,2012.
- [7] Oi A. Design and simulation of photovoltaic water pumping system, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, September 2005.
- [8] ATLAM Ö., KUYUMCU F.E., Fotovoltaik pompa sisteminde maksimum güç noktasının izlenmesi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, 18-21 Eylül 2003, İstanbul, Türkiye.
- [9] Hamidat A. ve Benyoucef B., Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems, Renewable Energy, 2008,33, 933–942.