



# Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Modellenmesi

## *Modeling of the Solar Irrigation System Using Photovoltaic Effect*

Adnan Topuz<sup>\*</sup>, Beytullah Erdoğan, Güneyhan Taşkaya

Bülent Ecevit Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

### Öz

Bu çalışmada Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin tasarım parametreleri araştırılmış ve bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmıştır. Bu amaçla, İç Anadolu Bölgesi'nin güneş enerjisi potansiyeli hesaplanmış ve bölgede özellikle de Niğde ilinde oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu potansiyelden yararlanmak üzere Niğde'de teorik olarak kurulan örnek bir pompaj tesisinin elektrik ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistemin kurulu gücü hesaplanmış, aynı hesaplamalar modelleme programına da yaptırılarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilerek Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin tasarımını oldukça pratik hale getiren bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiş ve geliştirilen yazılımın yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına katkısı açısından önemi vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik, Güneş enerjisi, Yenilenebilir enerji kaynakları

### Abstract

In this study the design parameters of solar powered irrigation system that operates with photovoltaic effect have been researched and patterned in computer programming. For this purpose, the potential of solar power in the Central Anatolia region has been calculated and it has been determined that there is a high potential of solar power in the region, particularly in Niğde. In order to benefit from this potential, installed power of photovoltaic system which will provide the required electricity of a sample pumping facility established by theory in Niğde has been calculated, and similar results have been obtained upon making the same calculations in the modelling programme. By assessing the outputs, a computer software, which renders the design of solar powered irrigation system that operates with photovoltaic effect quite practical, has been developed and the significance of the developed computer software in terms of its contribution to the utilization of renewable energy.

**Keywords:** Photovoltaic, Solar energy, Renewable energy sources

## 1. Giriş

Su, dünyadaki tüm canlılar için temel besin kaynağıdır. Dünyamızın ve vücudumuzun üçte ikisinin su olması, suyun canlı yaşamı için önemini vurgular niteliktedir. Sulama, yeryüzündeki bitkilerin normal gelişimini sürdürebilmek için ihtiyaç duydukları ve doğal yolla karşılanamayan suyun, doğru zaman ve miktarda bitki köklerine ulaştırılmasıdır.

Geçmişten günümüze kadar minimum güç sarf ederek su pompalayabilmek için pek çok yöntem geliştirilmiş, insan ve hayvan gücü, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve fosil yakıtlar gibi oldukça farklı güç kaynaklarından yararlanılmıştır.

Yurdumuzun bazı bölgelerinin kurak ve yarı kurak iklim kuşağında olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu bölgelerde yetişen bitkilerin, yeterli yağış alamamaları durumunda verimin ve kalitenin maksimum olabilmesi için en uygun yöntemle sulanması gerekir. Ayrıca son yıllarda nüfusun hızla artması, artan nüfusa karşılık gelen enerjinin mevcut enerji kaynaklarından yeterli miktarda sağlanamaması ve özellikle tüm Dünya ülkelerinin enerji yönünden dışa bağımlı olmamak, kendi enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yeni stratejilere yönelmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Güneş enerjisi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Tarımsal sulamada güneş enerjisinden yararlanılması halinde, toplam üretim masrafları içerisinde en büyük paya sahip olan sulama masrafları azalacak, dolayısıyla üretim maliyeti de azalacaktır.

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [adnan.topuz@beun.edu.tr](mailto:adnan.topuz@beun.edu.tr)

Türkiye’de ve Dünya’da güneş enerjisi, enerji ihtiyacının büyük çoğunluğunu sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Güneş enerjisi kaynağından yararlanılarak yapılan sulama işleminde kullanılan sisteme güneş enerjili sulama (GES) sistemi denir. GES sistemleri günlük bakım istemezler ve güneşin bol olduğu herhangi bir yerde kolayca kurulabilirler. Bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına karşın, yakıt ve bakım masrafı olmadığı için kısa sürede kendini amorti ederek, ekonomik hale gelirler. Tarımsal sulama uygulamalarında suya maksimum ihtiyaç duyulan zaman, güneş ışınımının en yoğun olduğu zamandır. Bu durum GES sistemleri için avantaj sağlarken, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve GES sistem veriminin geçerli hava koşullarına göre değişiklik göstermesi bu sistemlerin en büyük dezavantajını oluşturur. Bunun yanı sıra, sistemin kurulumu sırasında oluşan gürültü kirliliği ve kurulduğu yerde kapladığı alan da sistemin çevreye verdiği olumsuz etkiler arasında gösterilebilir. Ancak GES sistemlerinin yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre çevreye çok daha az olumsuz etki verdiği bilinen bir gerçek olduğundan, yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre çok daha fazla tercih edilmelidir.

Güneş enerjisi ile su pompalama ve tarımsal sulama konusunda son on yıldan günümüze kadar, uluslararası düzeyde yapılan bazı çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Bu çalışmalar, araştırma sonuçlarının değerlendirilip karşılaştırılması ve yorumlanmasına katkı sağlayacaktır.

Bione vd. (2004) sabit PV (PV:fotovoltaik pil) sistemle, su pompalama amaçlı güneşi izleme ve odaklama mekanizmalarına sahip PV sistemleri karşılaştırmışlar ve bir yılda, güneşi izleyen sistem ile 1.41 kat, odaklayıcı PV sistem ile 2.49 kat daha fazla su pompalandığını, su pompalama maliyetinin birim m<sup>3</sup> için, güneşi izleyen sistem ile % 19, odaklayıcı sistem ile % 48 oranında azaldığını ortaya koymuşlardır.

Hrayshat ve Al-Soud (2004) Ürdün için, su pompalamada güneş enerjisinden yararlanma potansiyelini incelemişler, farklı potansiyellere bağlı olarak belirledikleri 10 değişik bölge için, güneş enerjisinin pompalanan su miktarını önemli düzeyde artırdığını belirlemişlerdir.

Çelik ve Abut (2005) PV sulama sistemindeki, PV modül, akü, elektrik motoru ve santrifüj pompa gibi çeşitli sistem bileşenlerinin zamana göre değişimlerini incelemişlerdir.

Fiaschi vd. (2005) değişken devirli santrifüj pompalardan yararlanarak, PV etki ile çalışan derin kuyu pompalarının verimlerini artırma imkanlarını araştırmış, 100 m derinliğindeki kuyudan su çekebilecek, 30 m<sup>2</sup> ve yaklaşık 3

kW güç üreten PV sistem dikkate alınarak karşılaştırmalar yapmışlardır.

Purohit ve Kandpal (2005) Hindistan’da su pompalama sisteminde kullanılabilecek yenilenebilir enerji teknolojilerini araştırmış ve PV sistem, biyogaz ve rüzgâr pervaneleri ile çalışan pompalardan oluşan sistemleri incelemişlerdir.

Ghoneim (2006) PV uygulamaların en etkin kullanım alanlarından birinin, su pompalama amacıyla güç kaynağı olarak kullanılmalrı olduğunu savunmuştur. Çalışmasında, Kuveyt iklimi koşullarında PV su pompalama sisteminin verimini değerlendirmiştir.

Glasnovic ve Margeta (2007) mevcut güneş enerjisi ve gerekli hidrolik enerji değerlerine göre, sulama yapmak için su pompalama amacıyla PV sistemlerin tasarım kriterlerini inceleyerek model geliştirmişlerdir.

Yeşilata ve Fıratoglu (2008) güneş ışınım şiddetine ilişkin birtakım değerleri göz önünde bulundurarak, PV su pompalama sisteminden elde edilen güç miktarının değişimini incelemişlerdir. Güneş ışınım şiddetinin PV sistemlerin doğru bir şekilde tasarımlanabilmesi için önemli bir değişken olduğunu belirtmişlerdir.

Bouzidi vd. (2009) Cezayir’de bir PV pompalama sisteminin verimini belirlemek için bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir. Günde ortalama 60 m<sup>3</sup> su pompalayabilecek sistem büyüklüğünü, yaşam döngüsü maliyet analizi ile ekonomik olarak değerlendirmişlerdir.

Kaldellis vd. (2009) şebekeden bağımsız bir PV sistemin, su pompalama ile birlikte elektrik gereksinimini karşılamasını araştırmışlardır. Uygun olarak tasarlanmış 610 W gücündeki bir PV pompalama sistemi ile uzakta bulunan birçok yerleşim birimlerinde, en fazla 2 kWh/gün elektrik ve 400 L/h su gereksiniminin karşılanabileceğini ortaya koymuşlardır.

Sallem vd. (2009) PV sulama sistemlerinin veriminin, elektrik miktarı ve pompalanan su hacmi arasındaki uyuma bağlı olduğunu belirtmiştir. PV panel, su pompası ve aküden oluşan bir PV su pompalama sisteminin kontrolü için bir algoritma geliştirmişlerdir. PV sistemin günlük çalışma süresi ile pompalanan su hacmi arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir.

Gençoğlu vd. (2010) Doğu Anadolu Bölgesi’ndeki güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla, küçük güçlü tüketicilerin beslenmesinde fotovoltaik sistemlerin kullanılmasını incelemişler, bu sistemlerin besleme sürekliliği açısından problem olması ihtimaline karşı PLC yardımıyla

kontrol edilen yedek enerji kaynaklarından yararlanılmasını amaçlamışlardır.

Öztürk (2010) PV sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasının, bu sistemlerin olabildiğince doğru bir şekilde boyutlandırılması gerektirdiğini belirtmiştir. Çalışmasında, meyve bahçelerinde damla sulama amacıyla, su pompalama sistemi için gerekli PV tesisatın tasarım ölçütlerinin belirlenmesini amaçlamıştır.

Mokeddem vd. (2011) DC üreten fotovoltaik PV üniteye doğrudan bağlı su pompalama sisteminin verimini değerlendirebilmek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. PV su pompalama sistemi; 1.5 kW gücünde PV dizi, DC motor ve santrifüj bir pompadan oluşmaktadır. Dört ay süren denemeler sonucunda, sistemin verimini farklı iklim koşulları ve iki farklı statik basınç düzeyinde değerlendirmişlerdir.

Öztürk vd. (2011) su pompalama için gerekli olan mekanik enerjinin, termodinamik veya doğrudan dönüşüm yöntemleriyle elde edilebileceğini, güneş enerjisiyle su pompalamanın, doğrudan dönüşüm yöntemleri ya da termodinamik yöntemler ile uygulanabilen bir işlem olduğunu ve doğrudan dönüştürme yönteminde, güneş enerjisinden üretilen elektrik akımıyla, geleneksel bir pompa motorunun çalıştırıldığına belirtmişlerdir.

Belgacem (2012) özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal alanlarda, PV sistemlerle su pompalamanın ekonomik olarak uygulanabileceğini savunmuştur. Tunus koşullarında, yılda 3000 h güneşlenme süresi ve 6 kWh/m<sup>2</sup> gün değerindeki güneş enerjisinden, su pompalama amacıyla yararlanılabileceği vurgulanmıştır.

Benghanem vd. (2013) helisel bir pompayı, PV ilkeye bağlı olarak güneş ışınımından üretilen DC elektrikle çalıştırabilmek için tasarım etmenlerini belirlemek amacıyla dört farklı PV dizi tasarımı gerçekleştirmişler ve 80 m basma yüksekliğinde denemeler yapmışlardır. PV dizi tarafından üretilen elektrikle çalıştırılan helisel pompa ile günlük ortalama olarak 22 m<sup>3</sup> su basılabilmektedir.

Atik (2013) fotovoltaik etki ile çalışan su pompalarının tasarım esaslarını belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada yenilenebilir enerji çeşitleri arasında en ilgi çekenlerden bir tanesi olan güneş enerjisinin Türkiye ve dünyadaki mevcut durumu, mevcut fotovoltaik bir kaynaktan beslenen su pompalama sistemlerinin tasarım esasları hakkında araştırma yapmıştır.

Shimy (2013) AC motorlu bir PV sulama sisteminin boyutlandırılması için optimizasyon çalışması yapmıştır. PV

pompalama sistemini oluşturan değişik bileşenlerin etkileri ve PV dizinin eğim açısını dikkate almıştır.

Gökalp (2014) Güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik ile bir santrifüj pompanın çalıştırılması için yararlanılan güneş enerjisiyle sulama (GES) sisteminin bazı teknik özelliklerini incelemiştir. Bu amaçla, her birinde toplam 72 adet PV hücre bulunan 5 adet modülden oluşan, 3 dizi halindeki PV sistemin; akım, gerilim ve güç gibi elektriksel özellikleri ile PV sistemin toplam verimi belirlenmiştir. PV sistem tarafından üretilen elektrik ile çalıştırılan bir santrifüj pompa ile su pompalanması durumunda, su debisi, pompanın hidrolik güç değeri ve verimi hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ise, fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sisteminin tasarım parametreleri araştırılmış ve bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmıştır.

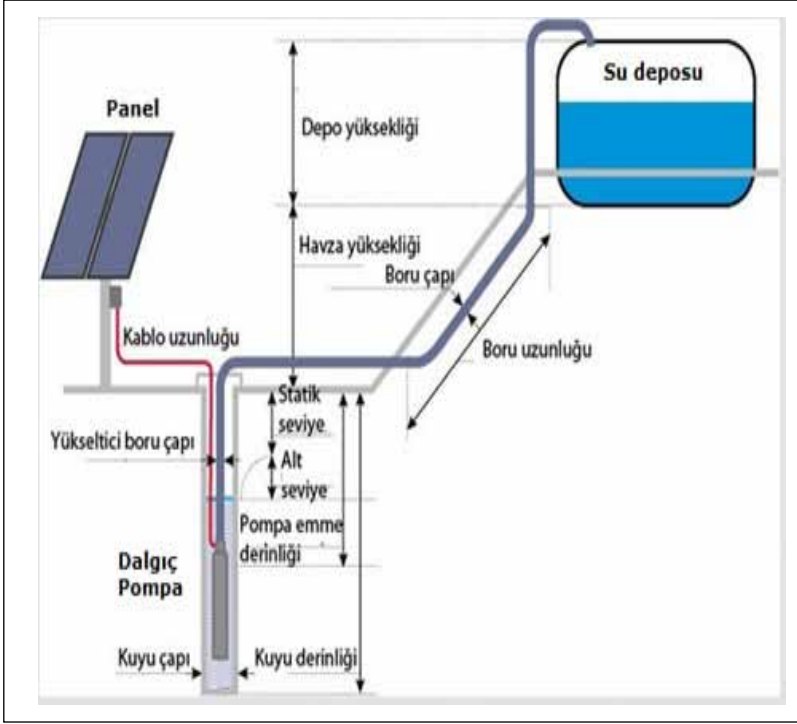
Bu amaçla, İç Anadolu Bölgesi'nin güneş enerjisi potansiyeli hesaplanmış ve bölgede özellikle de Niğde ilinde oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu potansiyelden yararlanmak üzere Niğde'de teorik olarak kurulan örnek bir pompaj tesisinin elektrik ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistemin kurulu gücü hesaplanmış, aynı hesaplamalar modelleme programına da yaptırılarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilerek fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sisteminin tasarımını oldukça pratik hale getiren bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Bu çalışmanın, yapılacak olan diğer çalışmalara sağlam bir kaynak teşkil edeceği ve literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. Gereç ve Yöntem

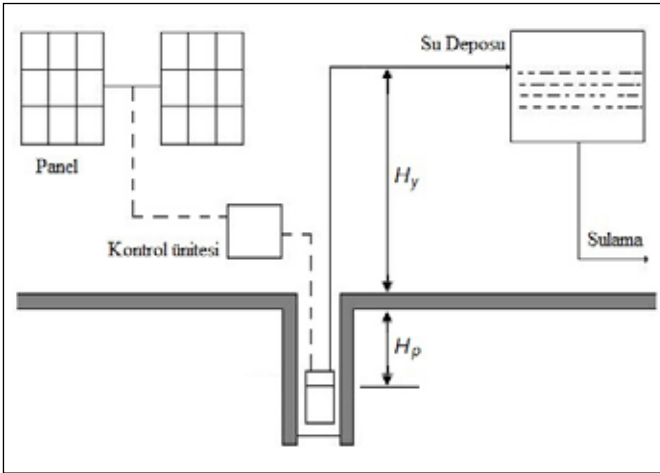
Bu bölümde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan fotovoltaik etki ile çalışan sulama sisteminin tasarım parametreleri MATLAB® bilgisayar programı ile modellenerek örnek bir pompaj tesisinde kullanımına ilişkin hesaplamalar yapılmıştır.

Fotovoltaik (PV) etki ile çalışan GES sistemleri; güneş panelleri, pompa, elektrik motoru (DC), akü, şarj regülatörü (kontrol ünitesi) ve su deposundan (isteğe bağlı) oluşur (Şekil 1). Sistem tasarımında bu elemanların doğru seçilmesi çok önemlidir.

İç Anadolu Bölgesi'nin Niğde ili için yüksek güneş enerjisi potansiyelinden yararlanarak fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemi kurulması düşünülmektedir. Niğde ili 37° 25' kuzey ve 38° 58' kuzey paralelleri ile batıda 33° 10' batı ve 35° 25' doğu meridyenleri arasında yer



Şekil 1. PV Sulama sistem elemanları.



Şekil 2. Fotovoltaik sistemde yükseklikler.

almaktadır. Bozkır iklimine sahiptir ve yılda ortalama 347 mm yağış alır. Bu yağışın büyük bir bölümü kış aylarında meydana gelir. Türkiye'nin en az yağış alan bölgelerinden biridir. Bu güne kadar ölçülen en düşük sıcaklık  $-27.5^{\circ}\text{C}$  ve en yüksek sıcaklık  $38.6^{\circ}\text{C}$ ' dir. Tarım oldukça yaygındır ve elma üretiminde Türkiye'de ilk sırayı alır.

Bölgede 1 hektar büyüklüğündeki arazi üzerine ekili elma için nisan ile ekim ayları arasında önerilen sistemden gerekli olan (günde yaklaşık 39) su pompalanacaktır. Sulama işlemi DC pompa kullanılarak yapılacaktır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 13 yıllık (2000 – 2013) istatistiklerden yararlanılarak Niğde ilinin belirtilen aylar için günlük ortalama sıcaklığı  $18.1^{\circ}\text{C}$ , günlük ortalama güneşlenme süresi 9.6h ve ortalama güneş radyasyonu  $6.7\text{kWh/m}^2$ .gün olarak hesaplanmıştır.

Fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemleri tasarımı yapılırken belirlenmesi gereken parametreler şöyle sıralanabilir: Günlük su ihtiyacı, birim ağırlıktaki suyun enerji ihtiyacı (toplam manometrik yükseklik), pompa çıkış gücü, pompa motor gücü, ekonomik boru çapı, ısınım şiddeti, fotovoltaik sistem gücü, akü ve şarj regülatörü kapasiteleri, panel sayısı ve bağlantı şekli, GES sistem verimi.

Günlük su ihtiyacı, kurulum yapılacak olan bölgenin toprak cinsi, ekili alanın büyüklüğü ve ekin cinsine göre belirlenmelidir. Birim ağırlıktaki suyun enerji ihtiyacı, Şekil 2 dikkate alınarak şöyle hesaplanabilir:

Birim ağırlıktaki suyun enerji ihtiyacı, su çekilecek kaynağın derinliğine ( $H_p$ ), depo yüksekliğine ( $H_y$ ), düz boru kaybı ve yerel kayıplara bağlıdır.

$$H_m = H_g + H_{dk} + H_{yk} \quad (1)$$

Burada;  $H_m$ , birim ağırlıktaki suya verilen enerji (J/N),  $H_g$  ( $H_y + H_p$  olarak) geometrik yükseklik (m),  $H_{dk}$  düz boru kayıpları (m.s.s),  $H_{yk}$ , lokal kayıpları (m.s.s) ifade eder. Düz boru kayıpları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$H_{dk} = f \frac{L}{D_e} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

Burada;  $f$ ; boru sürtünme katsayısı,  $L$ , toplam boru uzunluğu (m),  $D_e$  ekonomik boru çapı (m),  $V$ , hız (m/s),  $g$ , yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )'dir. Yerel boru kayıpları borulama sisteminde kullanılan bağlantı malzemelerinden kaynaklanan kayıplardır ve aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$H_{yk} = \sum K \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

Burada;  $K$ : Boru bağlantı malzemesi kayıp katsayısıdır. Bu durumda toplam birim ağırlıktaki suyun enerji ihtiyacı  $H_m$  aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$H_m = H_y + H_p + f \frac{L}{D_e} \frac{V^2}{2g} + \sum K \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

Pompa çıkış gücü için, aşağıdaki bağıntı önerilebilir:

$$P_{pc} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m \quad (5)$$

Burada;  $P_{pc}$ , pompa çıkış gücü (W),  $\rho$ , sulama suyunun yoğunluğu ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$ , yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )'dir. Elektrik motorunun pompa miline uyguladığı güç ( $P_e$ ) efektif güç olarak adlandırılır ve pompa çıkış gücünün pompa verimine ( $\eta_p$ ) oranlanması ile bulunur.

$$P_e = \frac{P_{pc}}{\eta_p} \quad (6)$$

Elektrik motorunun gücü ise;

$$P_m = \alpha \cdot P_e \quad (7)$$

ile hesaplanır. Burada;  $P_m$ , elektrik motorunun gücü (W),  $\alpha$ , emniyet faktörü (1/elektrik motoru verimi).

$$P_e < 6,8 \text{ kW} \text{ ise } \alpha = 1.3$$

$$6,8 \text{ kW} \leq P_e < 34 \text{ kW} \text{ ise } \alpha = 1.2$$

$$P_e \geq 34 \text{ kW} \text{ ise } \alpha = 1.1$$

alınır. Ekonomik boru çapını ( $D_e$ ) belirlemek için, her bir boru çapı için senelik toplam maliyet hesaplanarak en düşük maliyetli boru çapı, ekonomik boru çapı olarak tayin edilir. Senelik toplam maliyet aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunur.

$$S.E.M = P_m \cdot T \cdot E_u \quad (8)$$

Burada;  $S.E.M$ , senelik elektrik masrafı (TL/sene),  $T$ , pompanın günlük çalışma süresi (h),  $E_u$ , elektrik ücreti (TL/kWh).

$$S.S.M = K_f \cdot B_u \quad (9)$$

Burada;  $S.S.M$ , senelik sabit masraf (TL/sene),  $K_f$ , kayıp faktörü (1/sene),  $B_u$ , boru birim boy ücreti (TL/m).

$$K_f = \frac{i \cdot (i + 1)^n}{(i + 1)^n - 1} \quad (10)$$

Burada;  $n$ , borunun kullanım süresi (sene),  $i$ , boru birim boydaki fiyat artış yüzdesi.

$$S.T.S.M = S.S.M \cdot L \quad (11)$$

Burada;  $S.T.S.M$ , senelik toplam sabit masraf (TL/sene),  $L$ , toplam boru uzunluğu (m).

$$S.T.M = S.E.M + S.T.S.M \quad (12)$$

Burada  $S.T.M$  senelik toplam maliyeti ifade eder ve minimum olduğunda ekonomik boru çapını verir. Işınım şiddetini hesap edebilmek için, bölgenin ortalama güneş enerjisi potansiyelinin meteoroloji istasyonundan alınan istatistiklerden yararlanılarak bulunması gerekir. Fotovoltaik sistem gücü aşağıdaki bağıntıyla bulunur (Acakpovi vd. 2012).

$$P_{pv} = G_r \cdot A \cdot \eta_r \quad (13)$$

Burada;  $P_{pv}$ , PV sistem gücü (W),  $G_r$ , maksimum ışınlanma ( $1000 \text{ W/m}^2$ ),  $\eta_r$ , standart test koşullarındaki ( $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $25^\circ\text{C}$ ) hücre verimi,  $A$ , toplam PV alanı ( $\text{m}^2$ ). Fotovoltaik sistem tarafından üretilen elektriksel güç pompa motorunu harekete geçirmek için kullanılacaktır. Dolayısıyla pompa motorunun gücü sistemin ürettiği elektriksel güce eşittir.

$$E_{pv} = P_m \quad (14)$$

Fotovoltaik sistem verimi, sistemde üretilen elektrik miktarının sisteme gelen güneş enerjisi miktarına oranıdır.

$$\eta_{pv} = \frac{E_{pv}}{I \cdot A} \quad (15)$$

Dolayısıyla sistemin elektriksel gücünü veren bağıntı aşağıdaki gibidir (Acakpovi vd. 2012).

$$E_{pv} = I \cdot A \cdot \eta_{pv} \quad (16)$$

Burada;  $I$ , ışınım şiddeti,  $G_r$ , maximum ışınlanma ( $1000 \text{ W/m}^2$ ),  $\eta_r$ , standart test koşullarındaki ( $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $25^\circ\text{C}$ ) hücre verimi,  $A$ , toplam PV alanı ( $\text{m}^2$ ). Bununla birlikte  $\eta_{pv}$  aşağıdaki formül ile de hesaplanabilir (Acakpovi vd. 2012).

$$\eta_{pv} = F_m \cdot [(1 - \phi)(T_c - T_r)] \cdot \eta_r \quad (17)$$

Burada;  $F_m$ , tesis kurulum kayıp faktörü ( $\sim 0,85$ ),  $\phi$ , hücre sıcaklık faktörü, (monosilikon paneller için  $0,004-0,005 \text{ 1/}^\circ\text{C}$ , polisilikon paneller için  $0,001-0,002 \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ,  $T_c$ , günlük ortalama sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ ),  $T_r$ , standart test koşullarındaki sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ ). Sonuç olarak fotovoltaik sistemin kurulu gücü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$P_{pv} = G_r \cdot \frac{E_{pv}}{\eta_{pv} \cdot I} \cdot \eta_r \quad (18)$$

Akü kapasitesinin hesaplanabilmesi için öncelikle günlük ihtiyaç duyulan enerji belirlenmelidir. Akü kapasitesi günlük ihtiyaç duyulan enerjinin akü voltajına bölünmesiyle elde edilir. Ancak burada akü kayıplarını da dikkate almak gerekir. Akü kayıpları yaklaşık %10 civarındadır (Öztürk ve Dursun 2011). Ayrıca akülerin kullanım ömrünü uzatmak bakımından tam boşaltılmayacağı göz önünde bulundurulursa, akü kapasitesi hesaplanırken aşağıda hesap edilen değer %25 fazlasını almak uygun olacaktır.

$$AKAP = \frac{GEI \cdot AK}{AV} \quad (19)$$

Burada;  $AKAP$ , akü kapasitesi (Ah),  $GEI$ , günlük enerji ihtiyacı (Wh),  $AK$ , akü kayıpları,  $AV$ , akü voltajı (V).

Akü voltajı ile şarj regülatörü voltajı birbiriyle uyumlu olmalıdır. Sisteme ilave edilmesi gereken şarj regülatörleri, güneş panellerinden gelen doğru akımı düzenleyerek akünün fazla dolmasını veya tamamen boşalmasını engeller ve kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanır (Öztürk ve Dursun 2011).

$$\mathcal{S}C = \frac{GEI}{GGS} \quad (20)$$

Burada;  $\mathcal{S}C$ , şarj regülatörünün kapasitesi (W),  $GGS$ , günlük güneşlenme süresi (h).

Fotovoltaik sistem gücü belirlendikten sonra, bu gücü karşılayacak özellikteki panel türü ve sayısı belirlenebilir. Ancak sistem geriliminin sağlanabilmesi için sistemde seri ve paralel bağlı panel sayısını net olarak belirlemek gerekir. Sistemdeki seri bağlı panel sayısı, pompa nominal geriliminin panelin maksimum gerilimine oranıyla bulunur. Seri ve paralel bağlı panel sayısını veren eşitlikler aşağıda gösterilmiştir:

$$n_s = \frac{V_{nom}}{V_m} \quad (21)$$

$$n_p = \frac{P_{pv}}{P_{dizi}} \quad (22)$$

Sonuç olarak sistemde kullanılması gereken toplam panel sayısı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$n_{tp} = n_s \cdot n_p \quad (23)$$

GES sistemlerinin en büyük dezavantajı verimlerinin düşük olmasıdır. Bu sistemlerde istenilen verimi elde edebilmek için uygulamada kullanılacak olan pompaların verimlerinin yüksek olması gerekir. Günümüzde GES uygulamaları için yeni nesil güneş enerjisi ile çalışan dalgıç pompalar geliştirilmiştir ve bu pompaların % 90'ın üzerinde verimle çalıştığı bilinmektedir. GES sistemlerinin verimi yükseklik ve pompa tipine bağlı olarak yüzde 12 - 50 arasında değişmektedir (Khatip 2010).

**Çizelge 1.** Farklı derinlik ve pompaj uygulamalarında GES verimi.

Derinlik (M)	Pompa Tipi	Verim (%)
0-5	Santrifüj	12-25
6-21	Jet dalgıç santrifüj	15-25
21-100	Dalgıç	35-45
>100	Dalgıç	35-50

Fotovoltaik etkili güneş enerjili sulama sisteminin tasarımı için gerekli olan tüm parametreler MATLAB® bilgisayar programına tanıtılmış, çeşitli derinliklerden farklı debilerde su çekebilmek için gereken panel sayısını ve sistemin kurulum maliyetini elde edecek şekilde bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım sistemde kullanılan boru için, ekonomik boru çapı hesabı yaparak minimum maliyeti hesaplar ve bu maliyete karşılık gelen boru çapını sistemin tasarımı için gerekli olan diğer parametrelerin hesaplanmasında kullanır. İstenilen derinlikten, gerekli olan debideki suyu elde etmek için boruda meydana gelen kayıpları, gerekli olan hidrolik enerjiyi, elektrik motorunun gücünü, akü ve şarj cihazının kapasitesini, seri ve paralel bağlı olmak üzere kaç adet panel kullanılması gerektiğini ve sistemin kurulum maliyetini kullanıcıya sunar. Bu yazılım İç Anadolu Bölgesinde Niğde ili için geliştirilmiş olup, sistemde kullanılacak olan panel, pompa ve akü gibi sistem bileşenleri önceden belirlenerek bu bileşenlerin kullanım özellikleri yazılıma tanıtılmıştır. Ancak göreceli olarak seçilen sistem bileşenleri ve iller için yeni kullanım özellikleri yazılıma girildiği takdirde tüm farklı bileşen ve iller için kullanılabilir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Güneş enerjisi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Tarımsal sulamada güneş enerjisinden yararlanılması halinde, toplam üretim masrafları içerisinde en büyük paya sahip olan sulama masrafları azalacak dolayısıyla çiftçinin üretim maliyeti de azalacaktır. Elektriğin sağlanmadığı kırsal kesimlerde çiftçiye alternatif sunan güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğu için ülke ekonomisine ve kalkınmasına önemli ölçüde fayda sağlayacaktır.

Bu amaçla yapılan çalışmada, İç Anadolu Bölgesi'nin (İAB) güneş potansiyeli araştırılmak üzere Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne başvurularak bölgede bulunan 14 ilin 13 yıllık (2000 - 2013) istatistikleri elde edilmiştir. Günlük ortalama global güneş radyasyon değerlerinin her il için aylık ortalamaları hesaplanmış ve 13 yılın ortalaması alınmıştır. Buna göre İAB'nin yıllık toplam gelen güneş enerjisinin 1569.5 kWh/m<sup>2</sup>×yıl (günlük toplam 4.3 kWh/m<sup>2</sup>), yıllık toplam güneşlenme süresinin ise 2.518 saat (günlük toplam

6.9 saat) olduğu tespit edilmiştir. Bölgedeki en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olan Niğde aynı zamanda Türkiye elma üretiminde ilk sırada yer almaktadır. Dolayısıyla Niğde ilinde, bir hektar alan üzerinde yetiştirilecek elmanın günlük su ihtiyacını (39 m<sup>3</sup>) karşılamak üzere örnek bir pompaj tesisi tasarlanmış ve 100 m derinlikten su elde etmek için gerekli kurulu güç 2,5 kW olarak tespit edilmiştir. Fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemi uygulamalarının yaygınlaşmasına katkı sağlamak amacıyla, sistem bilgisayar ortamında modellenmiş ve bilinen bir derinlikten, gerekli olan günlük su ihtiyacını karşılayacak panel sayısı veren bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım yardımıyla yapılan çalışmalara göre, Niğde ilinde üzüm yetiştirilmek istendiğinde, üzümün günlük su ihtiyacı daha düşük olduğundan (35 m<sup>3</sup>/gün) 100 m'den su çekebilmek için gerekli olan panel sayısı 8 adet bulunmuştur. İAB'deki en düşük güneş radyasyonuna sahip olan Eskişehir'de elma yetiştirilmek istendiğinde ise 100 m'den su çekebilmek için gerekli olan panel sayısı 14 adet bulunmuştur. Niğde ilinde yetiştirilecek olan elmanın günlük su ihtiyacı 100 m yerine 180 m derinlikten sağlanmak istendiğinde gereken panel sayısının 16 adet olduğu görülmüştür. Ekonomik boru çapının, 200 m derinliğe kadar belli bir debi değeri için sabit olduğu, farklı debi değerleri için değişim gösterdiği belirlenmiştir. Boru kaybının, yükseklik arttıkça arttığı ve her 20 m'lik derinlik farkı için 3-4 m kadar bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. Dolayısı ile panel sayısına en çok etki eden parametrelerin günlük su ihtiyacı, ışınım şiddeti ve manometrik yükseklik olduğu tespit edilmiştir.

Aynı zamanda, fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemi ile şebekeden beslenen sulama sistemi maliyetleri belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre; aynı sulama uygulamasında şebeke elektriğini tercih eden çiftçi 5.505 TL ilk yatırım maliyeti ile kurduğu sistem için her yıl 4.145 TL elektrik faturası ve sabit gider masrafı ödeyecek, sistem maliyeti zaman içinde giderek artacaktır. Ayrıca bu sistemlerin bakım onarım gereksinimleri de göz önüne alındığında şebekeli sulama sistemi, bu sistemi tercih eden çiftçi için oldukça masraflı hale gelecektir.

Günümüzde AR-GE ve endüstriyel uygulamalara devlet tarafından teşvikler verilmektedir. Niğde, Türkiye yatırım haritasında 5. bölgede yer almaktadır ve % 60 teşvik oranına sahiptir. Üreticiye, projesini uygulamaya alıp çalıştırması için bir yıl süre verilir ve bu süre dolduğunda hak ettiği teşvik tarafına ödenir (KOSGEB 2015).

Bu durumda, GES sistemi uygulamasını tercih eden çiftçi ilk önce 22.969 TL tutarındaki ilk yatırım maliyetini ödeyecek,

bir yıl sonra devlet katkısı için KOSGEB'e başvurarak yaptığı masrafın % 60'ını geri alacaktır. Böylece ikinci yılın sonunda sistemin maliyeti yaklaşık % 50 oranında düşecektir. Sistemin bakım onarım gereksinimi fazla olmadığı için yıllara göre maliyeti minimum düzeyde artacaktır. Böylece GES sistemi bir süre sonra kendini amorti ederek bu sistemi tercih eden çiftçi için oldukça ekonomik hale gelecektir.

Bu çalışmanın, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda daha sonra yapılacak olan çalışmalara teknik bilgi sağlayacağı ve uygulama konusunda yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşmasına olumlu etki ederek ülke ekonomisine yarar sağlaması beklenmektedir.

#### 4. Kaynaklar

- Acakpovi, A., Xavier, FF., Awuah-Baffour, R. 2012.** Analytical Method of Sizing Photovoltaic Water Pumping System. *2012 IEEE 4th Int. Conf. Adap. Sci. Tech. (ICAST)*, 65-69.
- Atik, KP. 2013.** Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Parametrelerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 38, Tekirdağ.
- Bedeloğlu, A., Demir, B., Bozkurt, Y. 2010.** Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. *Tekstil Tekn. Elek. Der.*, 4 (2):43-58.
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı UNEP 2014.** <http://energyworld.com.tr/yenilenebilir-enerji-yatiriminda-kuresel-trendler-2014-raporu-ve-turkiye-icin-cikarimlar.html>. (Erişim tarihi, 13 Mayıs 2014).
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2013.** 2010-2013 yılı Günlük Ortalama Sıcaklık, Günlük Toplam Global Güneş Radyasyonu, Günlük Güneşlenme Süresi İstatistikleri
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2014.** Mavi Kitap
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015.** <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Erişim tarihi, 10 Mart, 2015).
- Fıratoglu Z A ve Yeşilata B. 1994.** Dinamik Çevre Koşullarının Fotovoltaik Destekli Su Pompası Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, *Müh. ve Mak. Der.*, 46 (544):17-24
- Gençoğlu M T, Cebeci M, Güneş M. 2010.** Güneş Enerjisi ile Çalışan PLC Kontrollü Su Pompası Sistem Tasarımı.
- Gökalp Y. 2014.** Güneş Enerjisinden Yararlanarak Santrifüj Pompa ile Su Pompalama Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, 37, Adana.
- Khatip, T. 2010.** Design of Photovoltaic Water Pumping Systems at Minimum Cost for Palestine: A Review. *J. App. Sci.*, 10 (22):2773-2784.

- KOSGEB 2015.** <http://www.kobi-line.com.tr>
- Köksal, ES. 2006.** Sulama Suyu Düzeylerinin Şekerpancarı Verim, Kalite ve Fizyolojik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İnfrared Termometre ve Spektrometre İle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Ankara 101.
- Köksal, MA. 2012.** Güneş enerjisiyle su pompalama üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı,41, Adana.
- Niğde İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü,** <http://nigde.tarim.gov.tr> Erişim tarihi (15 Nisan 2015).
- Önder, S. 2006.** Patatesten Su Verim İlişkileri 4.Patates Kongresi 6-8 Eylül, 10, Niğde
- Özgür, C. 1977.** Su Makinaları. İstanbul Teknik Üniversitesi matbaası: 226
- Öztürk, A., Dursun, M. 2011.** 2,10 ve 20 KVA'lık Fotovoltaik Sistem Tasarımı. *6th Int. Adv. Techn. Symp.(LAST'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ.
- Öztürk, HH. 2010.** Güneş pili ile çalışan tarımsal sulama sistemleri için tasarım ölçütlerinin belirlenmesi. *4. Gün.En. Sis. Semp. ve Ser. Bild. Kit.*, 6-7 Kasım 2009, 58-73, Mersin.
- Öztürk, HH., Eren, Ö., Özsavran, M., Arslan, M. 2011.** Güneş enerjisiyle termo-mekanik dönüşüm ilkesine göre çalışan su pompalama uygulamalarının değerlendirilmesi. *5. Gün. En. Sis. Semp. ve Ser. Bild. Kit.*, MMO Yayın No: E/2011/562, 277-294, Mersin.
- Öztürk, L. 2014.** Fotovoltaik Modüllerin Verimine Modül Sıcaklığının Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, 42, Karabük.
- T.C Uzunköprü Kaymakamlığı Gıda Hayvancılık ve İlçe Müdürlüğü** <http://uzunkoprutarim.com> (Erişim Tarihi 06 Haziran 2015).
- Türkiye Elektrik İletim Aş.** <http://www.teias.gov.tr/ElektrikUretimPlani.aspx> (Erişim tarihi, 20 Nisan 2015).
- Vatansever, H. 2014.** Enerji Altyapısı ve Yatırımları İzmir Bölgesi Enerji Forumu.
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2015.** [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr) (Erişim tarihi, 15 Mart 2015).
- Yeşilata, B. 2011.** Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompasının Dizayn Esaslarının Araştırılması.
- Yeşilata, B., Aydın, M., Işıker, Y. 1994.** Küçük Ölçekli Bir PV Su Pompalama Sisteminin Deneysel Analizi, *Müh. ve Mak. Der.*, 47(553):31 -38.
- Yeşilata, B., Fıratoglu, ZA. 2008.** Effect of Solar Radiation Correlations on System Sizing: PV Pumping Case. *Ren. Ene.*, 33: 155-161.
- Yılmaz M. 2012.** Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üni. Çev. Bil. Der.*, 4(2): 33-54.