



Theoretical and Experimental Examination of Solar Energy Potential for Agricultural Irrigation Purposes in Niğde Province

Burak Şen^{1,a,*}, Remzi Gözyuman^{2,b}, Mustafa Bayrak^{2,c}, Oğuzhan Yıldız^{2,d}

¹Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Technology, Niğde Ömer Halisdemir University, 51240 Niğde, Turkey.

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Niğde Ömer Halisdemir University, 51240 Niğde, Turkey.

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 19/03/2019 Accepted : 16/04/2019</p> <p>Keywords: Renewable energy resources Photovoltaic battery Niğde Agriculture Agricultural irrigation</p>	<p>There has been a growing interest in renewable energy in the recent years. This trend was primarily initiated through calculation for potentials, which was followed by the application of new technologies. Technological applications of solar power are implemented for heating, electricity production and agricultural irrigation in general. Photovoltaic battery applications have gained a great momentum for electricity production throughout the world. The archaic methods employed for dimension analysis of photovoltaic irrigation systems take into consideration solely the requirements of hydraulic energy. Contrary to these methods, this paper uses a systematic approach to the problem and analyses all the fragments and components of the system. In this paper, the energy requirements of a potato producing enterprise is established, which was chosen in accordance with the agricultural structure of Niğde province. And the results indicate that agricultural irrigation requires a great deal of energy consumption. The economic gain of obtaining this energy need from sun changes depending on the Project design, application and use of the produced electricity. In this paper, these problems are studied with different scenario of application.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(5): 816-823, 2019

Niğde Bölgesinde Tarımsal Sulama Amaçlı Güneş Enerjisi Potansiyelinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 19/03/2019 Kabul : 16/04/2019</p> <p>Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları Fotovoltaik pil Niğde Tarım Tarımsal sulama</p>	<p>Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelme son yıllarda giderek artmaktadır. Bu yöneliş, öncelikle potansiyel hesaplamalarıyla başlamış, zamanla teknolojilerin uygulamasına geçmiştir. Teknolojik anlamda güneş enerjisi uygulamaları; genelde ısıtma, elektrik üretme ve tarımsal sulama amaçlı olmaktadır. Elektrik üretimde fotovoltaik pil (PV) uygulamaları, dünya çapında büyük ivme kazanmıştır. Fotovoltaik sulama sistemlerinde boyut analizi yapılırken, kullanılan eski metotlar, sadece üretilen hidrolik enerjinin gereksinimlerini dikkate alırdı. Bu metotların aksine bu çalışmada problem, sistematik olarak ele alınıp, sistemin bütün elemanlarının ve bileşenlerinin analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, öncelikle Niğde'nin tarımsal yapısına uygun olarak, patates üretimi yapılan işletmenin enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Söz konusu çalışmalar göstermiştir ki; tarımsal amaçlı sulamada, çok büyük bir enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Bu enerji ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanmasının ekonomik boyutu sistemin projelendirilmesi, uygulanması ve üretilen elektriğin değerlendirilmesine göre çok değişkenlik göstermektedir. Çalışmada, bu sorunlar uygulama ve farklı senaryolar dahilinde irdelenmiştir.</p>

^a bsen@ohu.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0001-8105-1106>

^c agit2004@hotmail.com

^d <https://orcid.org/0000-0003-3720-2194>

^e mbayrak@ohu.edu.tr

^f <https://orcid.org/0000-0003-0353-8650>

^g oguzhan.yildiz@ohu.edu.tr

^h <http://orcid.org/0000-0002-2443-0502>



Giriş

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının, hızla bitme noktasına gelmesi, bakım onarım fiyatlarının yüksek olması, insanlara, diğer canlılara ve doğal çevreye zarar vermesi, mevcut enerji kaynaklarının pahalı olması, son dönemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi artırmış ve yeni çalışmalar yapılmasını gerektirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük kapasiteye sahip olan rüzgâr enerjisinin yanında, dünyada hızlı bir şekilde artış gösteren enerji türü, güneş enerjisi sistemleridir. Güneş enerjisi sistemleri kullanımı 2006 ve 2007 tarihlerinde, yaklaşık olarak %50 artarak 10 GW'a yaklaşmıştır. Bu rakam, dünyada 2 milyona yakın evin güneş enerjisi kullanarak, kendi elektriklerini ürettiği demektir (Anonim, 2009).

Gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de çiftçiler için, fotovoltaik enerji uygulamalarının sürdürülebilirliğini sağlamak, daha ekonomik ve çevre dostu olan bu sistem konusunda araştırmalar yapılmaktadır (Şen, 2007; Yalçın, 2010; Gençoğlu ve ark., 2010; Öztürk, 2009; Öztürk ve ark., 2011; Anonim, 2011; Dalkılıç, 2012; Köksal, 2012; Yusufoglu, 2013; Öztürk ve ark., 2016). Gelecekte, dünyada yaklaşık %60 ek gıda ihtiyacı, sulu tarımdan karşılanacaktır (FAO, 1999). Dünya gıda güvenliğinin sağlanması için, küçük işletmelerin yaptığı tarımda kullanılan sulama tekniklerinin geliştirilmesi gerekir (FAO, 1999). En önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden tarımsal sulama amacıyla yararlanılması durumunda, toplam üretim giderleri içerisinde büyük yer tutan sulama giderleri azalacak ve buna bağlı olarak üretim maliyeti de düşecektir (Odeh ark., 2006). Ayrıca sulama uygulamalarında, suya en fazla gereksinim duyulan zaman, güneş ışınımının en fazla olduğu zamandır. Bu durum, bu sistemler için bir üstünlük olarak değerlendirilebilir (Vilela ve ark., 2003)

Öncelikle fotovoltaik enerji; bütün canlılar için ve doğal çevre için temiz ve hiçbir şekilde atık madde içermeyen, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Kömür, petrol gibi nükleer ve fosil yakıtlar, çevreye büyük miktarda zarar vermektedir. Fotovoltaik enerji hem modülerdir hem de çevreye hiçbir zararı bulunmamaktadır. Modüler olmasından dolayı montajı, istenildiği zaman, istenildiği yere yapılabilir. Gerekli görüldüğü takdirde fotovoltaik sisteme yeni modüller, çok kısa bir sürede monte edilebilir. Bu durum, geleneksel enerji sistemleri için söz konusu değildir. Özellikle su kaynağına ve sulanacak araziye yakın bir yerde kurulan fotovoltaik sistemler, birçok ekipman ihtiyacını azalttığından dolayı, daha ekonomik olabilmekte ve daha güvenli enerji üretimi sağlamaktadır.

Güneş enerjisi sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri dışındaki bakım ve işletme maliyetleri, geleneksel enerji sistemlerine oranla yok denecek kadar az miktardadır. Özellikle kırsal bölgelerde, fotovoltaik sistemlerle daha ucuz ve daha çevre dostu enerji üretmek mümkündür.

Güneş enerjisinin, ilk yatırım maliyetinin fazla olması, çok fazla miktarda panele gereksinim duyulması, enerjinin sürekli olarak değişken olması ve henüz yaygınlaşmaması dışında, işletme ve bakım masraflarının çok az olması, doğrudan ısı enerjisi olarak kullanılması, enerji kaynağının hiçbir zaman tükenmemesi ve tam bir çevre dostu olması dolayısıyla, diğer enerji sistemlerine göre birçok avantajları mevcuttur (Bahaj ve Mohammed, 1994; Al-Ali ve ark., 2001; Hamidat ve ark., 2003; Cuadros ve ark., 2004; Fiaschi ve ark. 2005; Purohit ve Kandpal, 2005;

Amer ve Younes, 2006; Ghoneim, 2006; Odeh ve ark., 2006a, 2006b; Glasnovic ve Margeta, 2007; Abdolzadeh ve Ameri, 2009; Hamidat ve Benyoucef, 2009; Sallem ve ark., 2009; Betka ve Attali, 2010; Mokeddem ve ark., 2011).

Fosil yakıtlı enerjiler, karbon temelli iklim değişikliğine ve hava kirliliğine neden olurlar. Ayrıca, fosil yakıtların maliyetlerinin artması ve enerjinin sürdürülebilir olması için, dünyanın birçok yerinde temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi temel alınmıştır. Tarımsal sulama yapmak için, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yoğun enerji sağlayan fotovoltaik sistemli pompalama (PVP) öne sürülmüştür (Barlow ve ark., 1993). Ancak, fotovoltaik sistemin diğer enerji uygulamaları gibi hem teknik, hem de ekonomik olarak uygulanabilir olması gerekir. Bu yüzden yapılacak uygulama için, iyi bir fizibilite çalışması yapmak gerekmektedir. Etkin bir sulama için gerekli olan bu fizibilite çalışmaları; ürün türü, yeri, su derinliği, enerji maliyetleri, devlet teşvikleri ve karbon vergileri gibi birçok faktöre bağlıdır.

Bu çalışmanın amacı, gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de çiftçiler için, fotovoltaik enerji uygulamalarının sürdürülebilirliğini sağlamak, daha ekonomik ve çevre dostu olan bu sistem konusunda araştırmalar yapmaktır.

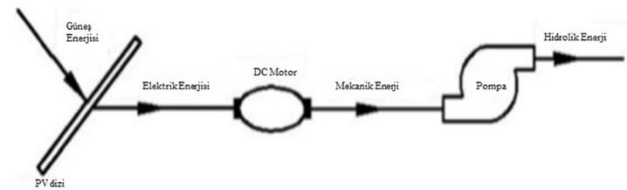
Materyal ve Yöntem

Fotovoltaik su pompalama sistemlerinin başlıca hedefi, öncelikle fiyat azaltma olmak üzere, sistem bileşenlerinin karşılıklı uyumu ve etkili kullanılmalarının geliştirilmesini sağlamaktır (Avicenna Programme Papers for distribution, 1997). Diğer taraftan fotovoltaik sistemlerin optimal boyutlandırılması yapılırken, sistemin çıkış hidrolik enerjisi hesaplamaları en aza indirilmeye çalışılır. Fotovoltaik su pompalama sistemleri için gerekli olan hidrolik enerji, gerekli olan su miktarı verilerine dayalı olarak hesaplanır (Kenna ve Gillet, 1985).

Hidrolik enerji ihtiyacı bütün aylar boyunca sabit bir değeri olmayıp, kritik ay dışında maksimum değere ulaşmaz. Kuyu içindeki su miktarı, aydan aya farklılık gösterir. Bu yüzden suyun statik seviyesi çok önemlidir.

Güneş enerjili sulama sisteminde kullanılan başlıca bileşenler (Şekil 1):

- PV paneller
- Motor-pompa ünitesi
- Dönüştürücü (invertör)
- Sistem tasarımına bağlı olarak depolama aküleri ve şarj regülâtörü.



Şekil 1 Doğrudan bağlantılı PV su pompalama sisteminin başlıca bileşenleri (Yesilata ve Firatoglu, 2008)

Figure 1 The main components of PV water pumping system with direct connection

Teknik Fizibilite

Bir PVP sulama sisteminde, güneş dizisi monte etmek için yeterli arazi varsa, teknik olarak uygulanabilir olduğu kabul edilir. Burada güneş panelleri için gereken arazi, yaklaşık olarak güneş panellerinin alanı ile aynı olduğu varsayılır (Cuadros ve ark., 2004).

Gerekli güneş paneli dizisi alanı,

$$A_s = \frac{P_p}{I_p \eta_{sa}} \quad (1)$$

P_p , Su pompalamak için gereken güç olup, watt ile gösterilir, I_p güneşin yoğun olduğu saatlerde güneş radyasyon olayının ortalama miktarıdır, η_{sa} güneş dizisi ve elektronik verimliliğidir.

Su pompalamak için gereken güç,

$$P_p = \frac{\rho ghQ}{\eta_p} \quad (2)$$

Q , maksimum hacimsel debi (m^3/s), ρ suyun yoğunluğu, g yerçekimi sabiti, h toplam dinamik yükseklik (m) η_p pompa/motor verimliliğidir.

Toplam dinamik yükseklik, suyun çekilmesi gereken yükseklikten ve boru sürtünme kayıplarından dolayı, metre olarak enerji kayıplarından oluşur. 10 metreden daha yüksek kuyularda pompalama için toplam dinamik yükseklik h , yaklaşık olarak doymuş bölgenin derinliğidir. Yüzey pompalama için, dinamik yükseklik boru sürtünme kayıplarından hesaplanır.

Gerekli olan maksimum akış hızı,

$$Q = \frac{ET \times A_f}{3600t} \quad (3)$$

ET m/gün olarak, ürün için en yüksek su tüketim oranı, A_f tarla alanı (m^2), t saatlik pompalama süresidir. Çalışmada, havuzdan pompayla yağmurlama sulama sistemine verilen su miktarı, pompa çıkışında debimetre ile ölçülmüştür.

Ekonomik Fizibilite

PVP sistemler, tüm yaşam döngüsü boyunca, dizel ve şebekeden destekli elektrikli sistemlere nazaran daha az maliyetli ise, ekonomik olarak uygulanabilir olduğu kabul edilir.

Sistemin yaşam döngüsü maliyeti; sermaye maliyeti, bakım maliyeti, işletme maliyeti, yakıt maliyeti ve ekipman hurda değerini kapsar. Buradaki yaklaşım, karşılaştırmalı indirgenmiş nakit akım metodunun kullanılmasıdır (White ve ark., 2010).

Çalışmada sadece alternatif güç sistemleri arasındaki farklılıklar karşılaştırılıp, güneş enerjili ve şebekeden destekli elektrikli sulama sistemlerinin maliyetleri kıyaslanmıştır. Fakat bütün sulama sistemlerinin bileşenleri buna dâhil değildir. Patates Araştırma Enstitüsü'nde hâlihazırda bulunan kuyudan, şebeke destekli dalgıç pompayla, havuza su çekilmektedir. Bu çalışmada, havuzda biriken su, yüzey tipi pompalarla araziye pompalanmaktadır. Bu yüzden dalgıç pompanın fiyatı, bu çalışmada yer almayıp, kullanılan yüzey tipi bahçe pompalar fiyata eklenmiştir. Benzer şekilde, su deposu, su dağıtım sistemi ve kuyu kazma maliyetleri de

dâhil değildir. Bunlar, güç kaynağından bağımsız olarak düşünülmüştür.

Çalışmada, proje bütçesine bağlı olarak, yaklaşık 17280 m^2 'lik bir alanın sulama ihtiyacına göre ve yüzey su kaynağından su elde edilerek yağmurlama sulama sistemi kullanılması koşullarına bağlı olarak, bir fotovoltaik sistem planlaması ve uygulaması yapılmıştır. Ancak, deneme sonucunda ölçüm verilerine göre, işletme yüküklüğü ve su kaynağı göz önüne alınarak, işletmenin tüm sulama suyu enerjisini karşılayacak bir sistemin planlaması da yapılmıştır.

Çalışmada, İç Anadolu Bölgesi'ni temsilen, Niğde ili ve en yüksek su tüketimine sahip bitkilerden, patates bitkisi referans alınmıştır. Böylece, en yüksek enerji ihtiyacına göre sistem tasarımı yapılmıştır.

Uygulama

Çalışma; Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Niğde Patates Araştırma Enstitüsü'nün Niğde merkezdeki uygulama alanında yürütülmüştür. Araştırma Enstitüsü'nce, üretim amaçlı patates ekimi yapılan arazinin 2014 sezonu için, yaklaşık 17280 m^2 'lik kısmı, çalışma için tahsis edilmiştir. Tüm ekim ve yetiştiricilik faaliyetleri, Araştırma Enstitüsü'nce yürütülmüş olup, sadece sulama programı ve uygulaması, çalışma ekibince yürütülmüştür. Çalışmanın amacına bağlı olarak, patates üretiminde sulama suyu için gerekli olan enerji, fotovoltaik sistemle karşılanmıştır.

Sistemin Kurulumu

Fotovoltaik sistem, Patates Araştırma Enstitüsü'nün mevcut havuzuna yakın bir yere kurulmuştur (Şekil 2). Havuzdan araziye kadar olan mesafe, yaklaşık olarak 400 metredir. Havuzla arazi arasında kot farkı bulunmamakta olup, pompanın basma yüksekliği, sıfırdır. Pompanın emme yüksekliği ise, 3 metredir. Niğde Patates Araştırma Enstitüsü tarafından, 80 metre derinliğindeki kuyudan, şebeke elektriği kullanılarak, havuza su basılmaktadır. Havuzda biriken su, yine şebeke elektriği kullanılarak araziye verilmektedir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, sistemin panel-panel ve panel-pompa bağlantıları yapıldıktan sonra, sistem elektrik üretir duruma gelmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken konu, panellerin birbirlerini gün ve yıl içerisinde gölgelemeyecek aralıkta yerleştirilmesidir.

Şekil 3'de görülen 4 adet AC su pompalarının montajı havuzun en uygun yerine yapılmıştır. Bu pompalardan 1 ve 2 nolu pompa birinci sisteme, 3 ve 4 nolu pompa ikinci sisteme bağlanmıştır. Sistemden üretilen DC elektrik akımı invertör aracılığıyla AC elektrik akımına dönüştürülür. AC elektrik akımı pompaları çalıştırarak havuzda bulunan suyu çeker ve böylece arazinin sulanmış olması sağlanır.

Kurulan Fotovoltaik Sistemin Maliyeti ve Ürettiği Enerji

1 kW gücündeki sistemin piyasa ortalama fiyatı, 1500 dolardır. Dolar/TL 2,7 alındığında, kurulan 7,36 kW sistem için maliyet;

1500 USD/kW×2,7 TL/USD×7,36 kW=29 808 TL'dir.

Çizelge 1'de görüldüğü gibi kurulan 7,36 kW'lik fotovoltaik sistemin ürettiği enerji, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından oluşturulan fotovoltaik coğrafi bilgi sistemine bağlı olarak, Niğde'ye gelen aylık toplam radyan değerlerine göre yıllık 13910,4 kW' tır.



Şekil 2 Montajı yapılan fotovoltaik paneller
Figure 2 Mounted photovoltaic panels



Şekil 3 Pompaların havuzun üstüne montajı
Figure 3 Installation of pumps on top of the pool

Sulama Dönemi Boyunca Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Analiz

6 kW gücündeki pompaların, günde 8 saat çalışarak, 90 gün boyunca ürettiği güç;

$$6 \times 8 \times 90 = 4320 \text{ kW}$$

1 kW elektrik tüketiminin birim fiyatı 0,29 TL (EPDK, 2016) olup;

$$4320 \text{ kW} \times 0,29 \text{ TL/kW} = 1252,8 \text{ TL}$$

Çalışmada fotovoltaik sistem kullanılsaydı, 6 kW gücündeki pompalar şebekeye bağlı olup, 90 gün için harcanan 4320 kW enerjinin yıllık maliyeti 1252,8 TL olacaktır. Bu tutara dağıtım sistem kullanım bedeli ve diğer bedeller dâhil değildir.

Sistem Elektrik Şebekesine Bağlandığı Durumda Ekonomik Analiz

Sistemde kullanılan paneller ithal ise; Sistemden üretilen yıllık 13910,4 kW enerjiden, 90 günlük ihtiyaç duyulan 4320 kW enerji kullanıldıktan sonra 9590,4 kW enerji fazlası oluşur. Buna göre, güneş enerjisi için ödenen 13,3 ABD dolar cent/kWh (EPDK, 2016) destek bedeli ödemesi üzerinden destekleme bedeli hesaplandığında;

$$13910,4 \text{ kW} - 4320 \text{ kW} = 9590,4 \text{ kW}$$

$$9590,4 \text{ kW} \times 0,133 \text{ USD/kW} \times 2,7 \text{ TL/USD} = 3443,9 \text{ TL.}$$

Buna göre; Yıllık, ihtiyaç fazlası enerjiden 3443,9 TL destek ödemesi ve 90 gün için kullanılacak olan 4320 kW enerji bedeli olan 1252,8 TL tasarruf edilmiş olur. Toplam Tasarruf = 3443,9 TL + 1252,8 TL = 4696,7 TL yıllık tasarruf edilir.

Sistem maliyetini toplam tasarrufa bölersek;
 $29808 \text{ TL} \div 4696,7 \text{ TL/yıl} = 6,3 \text{ yıl.}$

Sistemde kullanılan paneller yerli ise; Bu durumda 0,133 USD/kW destek bedeline ek olarak 0,008 USD/kW ilave edilir (EPDK, 2016).

$$9590,4 \text{ kW} \times (0,133 \text{ USD/kW} + 0,008 \text{ USD/kW}) \times 2,7 \text{ TL/USD} = 3651 \text{ TL}$$

Toplam Tasarruf = 3651 TL + 1252,8 TL = 4903,8 TL yıllık tasarruf edilir.

Sistem maliyetini Toplam Tasarrufa bölersek;
 $29808 \text{ TL} \div 4903,8 \text{ TL/yıl} = 6 \text{ yıl}$

Tüm yıl boyunca üretilen elektriğin kullanılması durumunda ekonomik analiz

Sistemden üretilen yıllık toplam enerjinin tamamının kullanıldığını ve şebekeye enerji satılmaması durumunda;

$$13910,4 \text{ kW} \times 0,29 \text{ TL/kW} = 4034 \text{ TL}$$

Sistem maliyetini bu bedele bölersek;
 $29808 \text{ TL} \div 4034 \text{ TL/yıl} = 7,4 \text{ yıl}$

FV sistemin tüm elektrik enerjisi ihtiyacı için kullanılması durumunda ekonomik analiz

Yıllık tüketilen enerjiye göre; Çizelge 2 ve çizelge 3'te görüldüğü gibi, Patates Araştırma Enstitüsü'nün 2014 yılı tarımsal sulama için gece-gündüz yıllık toplam 17550 kW enerji harcanması sonucu toplam 9402,4 TL fatura bedeli ödenmiştir. 2014 yılı resmi daireler için yıllık 3703 kW enerji harcanıp, toplam 1499 TL fatura bedeli ödenmiştir. Toplam harcanan enerji miktarı, yıllık 21253 kW'tır. Ödenen fatura bedeli ise, yıllık 10901,4 TL'dir.

Kurulan fotovoltaik sistem, yaklaşık olarak 17 dönümlük arazi sulanması için kullanılmıştır. Patates Araştırma Enstitüsü'nün toplam sulanan alanı 30 dönümün üstünde olduğu için ve resmi dairenin de harcayacağı enerjiyi düşünürsek kurulacak olan yeni bir fotovoltaik sistemin yaklaşık olarak 15 kW olması gerekmektedir. Patates Araştırma Enstitüsü'nün gece-gündüz tarımsal sulama ve resmi daireler için yıllık ortalama tükettiği enerji miktarı 21253 kW olup, bu miktar ekimi yapılan ürün çeşidi, yağış ve arazi durumuna göre değişmektedir. Bu yüzden ihtiyacımız olan enerjiyi yıllık ortalama 25000 kW olarak, kaç kW'lık bir sistem kurabileceğimizi hesaplarız. Niğde ili için yıllık güneşlenme süresi 5,2 saattir (MGM, 2016).

$$25000 \text{ kW} \div 365 \text{ gün} = 68,49 \text{ kW/gün}$$

$$68,49 \text{ kW/gün} \div 5,2 \text{ saat/gün} = 13,1 \text{ kW/saat}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nün tüm alanı ve resmi daireler için tasarımı düşünülen 13,1 kW fotovoltaik sistemin kayıpları da düşünülürse ortalama olarak 15 kW'lık bir sistem kurmak gerekmektedir. 15 kW fotovoltaik sistemin maliyeti;

$$15 \text{ kW} \times 1500 \text{ USD/kW} \times 2,7 \text{ TL/USD} = 60750 \text{ TL.}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nün 2014 yılı tarımsal sulama ve resmi daireler için ödediği elektrik tutarı 10901,4 TL olup,

$$60750 \text{ TL} \div 10901,4 \text{ TL/yıl} = 5,57 \text{ yıl.}$$

Mevcut anlık maksimum enerji ihtiyacına göre; Patates Araştırma Enstitüsü'nde mevcut kuyudan havuza su çekmek için biri 22 kW, diğeri 37 kW gücünde 2 adet dalgiç pompa ve havuzdaki suyu araziye basmak için biri 22 kW, biri 18,5 kW ve diğeri de 4,5 kW gücünde olmak üzere 3 adet pompa bulunmaktadır. Tasarlanacak yeni güneş enerjisi sistemi, hem bu pompaları çalıştıracak hem de resmi dairelerin enerji ihtiyacını sağlayacak güçte olmalıdır.

Çekme ve basma pompaları toplam gücü;

$$22+37+22+18,5+4,5=104 \text{ kW}$$

Resmi dairelerin yıllık enerji ihtiyacı 3703 kW olup, günlük enerji ihtiyacı 10 kW'tır.

Anlık toplam enerji ihtiyacı aşağıdaki gibi olur.

$$104+10=114 \text{ kW}$$

Kurulacak olan yeni fotovoltaik sistemin en az 115 kW'lık anlık enerji sağlayacak kapasitede olması gerekmektedir. Bu sistemin maliyeti;

$$115 \text{ kW} \times 1500 \text{ USD/kW} \times 2,7 \text{ TL/USD} = 465750 \text{ TL.}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nde elektrik faturalarına göre en fazla tüketim ağustos ayında olmuştur. Çizelge 2 ve 3'e göre ağustos ayı için gündüz tarımsal sulama ve resmi daireler toplamı 2362 kW olup, günlük 76,19 kW, gece tarımsal sulama toplamı 2200 kW olup günlük 71 kW'tır.

Planlanan 115 kW'lık sistem 0,66 saat çalışarak gündüz tarımsal sulama ve resmi daire ihtiyacını karşılamaktadır. Gece tarımsal sulama ihtiyacını ise, 0,62 saat çalışarak karşılamaktadır.

$$115 \div 76,19 = 0,66 \text{ saat}$$

$$115 \div 71 = 0,62 \text{ saat}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nde gece de sulama yapıldığı için, gündüz üretilen enerjinin akülerde depolanıp, gece kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden sistem maliyetine akü maliyeti de eklenmelidir.

115 kW sistem, günde ortalama 0,62 saatte 71,3 kW (71300 watt) enerji üretir.

$$P=I \times V$$

$$71300 = I \times 12$$

$$I = 5942 \text{ A}$$

Akülerde depolanan enerjinin tamamını hatta %70'inde fazlasını kullanmak akünün yapısını kısa zamanda bozmaktadır. Bu yüzden hesaplanan 5942 A'lık akü akımını %30 artırırsak;

$$I \times 30 / 100 = 5942 \times 30 / 100 = 1783 \text{ A}$$

$$\text{Akü kapasitesi} = 5942 + 1783 = 7725 \text{ A.}$$

$$12 \text{ V } 200 \text{ A/h 'lik akü ihtiyacı} = 7725 \div 200 = 38,6 \text{ adet}$$

$$12 \text{ V } 7725 \text{ A/h'lik akü sistem için yeterli olacaktır.}$$

Bu yüzden sistem için 39 adet 12 V 200 A/h'lik akü kullanılmalıdır. Akülerin piyasa fiyatı yaklaşık 1000 TL olup, toplam akü maliyeti 39000 TL olmaktadır.

Toplam maliyet=Fotovoltaik sistem maliyeti+Akü maliyeti

$$\text{Toplam maliyet} = 465750 \text{ TL} + 39000 \text{ TL} = 504750 \text{ TL.}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nün 2014 yılı tarımsal sulama ve resmi daireler için ödediği elektrik tutarı 10901,4 TL olup,

$$504750 \text{ TL} \div 10901,4 \text{ TL/yıl} = 46,3 \text{ yıl}$$

Optimum enerji ihtiyacına göre; Patates Araştırma Enstitüsü'nde önce kuyudan havuza su çekilip, sonra araziye su basma işleminin yapıldığı ve sulama işleminin gün içerisinde daha uzun vadeye yayıldığı koşullarda, sistemin planlanması durumunda maliyet daha da düşecektir.

Patates Araştırma Enstitüsü'nde sulanan arazi alanı, 30000 m²'dir. Sulama aralığı, 5 günde 1 olarak düşünülürse, bir günde sulanacak arazi için sulama suyu ihtiyacı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Patatesin 1000 m² alan için sulama gereksinimi, 900 mm olarak alınmış olup, bu da 1 dönüm için 900 m³ su demektir. Patates ekimi, Patates Araştırma Enstitüsü tarafından yapılmış olup, bir dönem için toplam 16 sulama yapılması hedeflenmiştir.

Her sulama için su ihtiyacı = $900 \div 16 = 56,25 \text{ m}^3$ (1 dönüm için)

Toplam alan için su ihtiyacı = $56,25 \times 30 = 1687,5 \text{ m}^3$ olarak bulunur. (30 dönüm için)

Her bir sulama için su ihtiyacı = $1687,5 \div 5 = 337,5 \text{ m}^3$ (5 günde 1 sulama yapılacak)

337,5 m³ suyu mevcut 37 kW'lık pompa (debisi 65 m³/h) ile havuza çekmek için gereken süre = $337,5 \text{ m}^3 \div 65 \text{ m}^3/\text{h} = 5,2 \text{ saat}$

Mevcut 22 kW ve 18,5 kW'lık iki pompa arazide toplam 164 m³/h'lik debi ile su basmaktadır. 337,5 m³'lük suyu araziye basmak için gerekli süre;

$$337,5 \text{ m}^3 \div 164 \text{ m}^3/\text{h} = 2,1 \text{ saat olarak bulunur.}$$

Bu durumda 41 kW'lık sistem, gerekli enerji ihtiyacını sağlayacaktır. Bu sistem için maliyet hesabı;

$$41 \text{ kW} \times 1500 \text{ usd/kW} \times 2,7 \text{ TL/usd} = 166050 \text{ TL}$$

Yaz ayları için güneşlenme süresi 8 saat olarak alındığında resmi daire ve sistem yedeği için gerekli akü hesabı;

Sistemin toplam günlük üretimi = $41 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 328 \text{ kWh}$
Pompaların toplam günlük tüketimi = $(37 \text{ kW} \times 5,2 \text{ h}) + (40,5 \text{ kW} \times 2,1 \text{ h}) = 277,5 \text{ kWh}$

Akülerde kullanılacak olan enerji = $328 \text{ kWh} - 277,5 \text{ kWh} = 50,5 \text{ kWh}$

Tarımsal sulama için sistem çalıştırıldıktan sonra geriye 50,5 kW'lık enerji kalır. Bu enerjinin akülerde depolandıktan sonra kullanılacak miktarı %30 kayıp düşürüldüğünde;

$$50,5 \text{ kW} \times 0,70 = 35 \text{ kW olacaktır.}$$

Bu miktar günlük resmi daire kullanımı (6 kW) ve pompa yedek gücünü ($29 \div 40,5 = 0,71$ saat) karşılamaya yeterli gelecektir.

Akü maliyeti:
50,5 kW, 50500 watt eder.
 $P=I \times V$
 $50500 = I \times 12$
 $I = 4208 \text{ A}$
12 V 200 A/h'lik akü ihtiyacı $= 4208 \div 200 = 21$ adet
12 V 4208 A/h'lik akü sistem için yeterli olacaktır.

Bu yüzden sistem için 21 adet 12 V 200 A/h'lik akü kullanılmalıdır. Akülerin piyasa fiyatı yaklaşık 1000 TL olup, toplam akü maliyeti 21000 TL olmaktadır.

Toplam maliyet = Fotovoltaik sistem maliyeti + Akü maliyeti
Toplam maliyet = $166050 + 21000 = 187050$ TL.
Patates Araştırma Enstitüsü'nün 2014 yılı tarımsal sulama ve resmi daireler için ödediği elektrik tutarı 10901,4 TL olup,
 $187050 \text{ TL} \div 10901,4 \text{ TL/yıl} = 17,2$ yıl

Çizelge 1 2014 yılı aylık toplam radyan değerlerine göre sistemin yıllık ürettiği enerji (JRC, 2016)

Table 1 The annual energy produced by the system according to the monthly radial values of 2014 (JRC, 2016)

Aylar	Aylık Toplam Radyan	Üretim (kWh)	Toplam Üretim (kW)
Ocak	99	7,36	800,11
Şubat	107	7,36	857,59
Mart	169	7,36	1170,46
Nisan	164	7,36	1229,86
Mayıs	192	7,36	1368,96
Haziran	196	7,36	1463,90
Temmuz	204	7,36	1528,67
Ağustos	198	7,36	1492,17
Eylül	193	7,36	1397,66
Ekim	164	7,36	1168,18
Kasım	112	7,36	861,12
Aralık	92	7,36	720,99
Toplam	1890		13910,4

Çizelge 2 Patates Araştırma Enstitüsünün 2014 yılı için tarımsal sulamada gece ve gündüz tükettiği enerji miktarı ve ödenen fatura bedeli

Table 2 The amount of energy consumed by the Potato Research Institute during the day and night in agricultural irrigation for 2014 and the invoice amount paid

Tarih	Gündüz Tüketim (kWh)	Gece Tüketim (kWh)	Birim Fiyat (kWh/TL)	Toplam Ödenen (TL)
Ocak 14	45	163	0,216131	183,4
Şubat 14	39	149	0,208279	184,2
Mart 14	38	127	0,208279	158,8
Nisan 14	38	134	0,208279	165,1
Mayıs 14	1638	1275	0,206668	1.465,75
Haziran 14	1375	1709	0,206668	1.671,45
Temmuz 14	1627	1750	0,208279	1.891,90
Ağustos 14	2170	2200	0,207333	1.575,70
Eylül 14	1103	810	0,207333	1.163,70
Ekim 14	199	460	0,207333	478,10
Kasım 14	58	184	0,207333	224,00
Aralık 14	83	176	0,207333	240,30
Toplam	8413	9137		9402,4

Çizelge 3 Patates araştırma enstitüsünün 2014 yılı için resmi dairelerde gece ve gündüz tükettiği enerji miktarı ve ödenen fatura bedeli

Table 3 The amount of energy consumed by the potato research institute in the day and night in the official departments for the year 2014 and the invoice amount paid

Tarih	Gündüz Tüketim (kWh)	Gece Tüketim (kWh)	Birim Fiyat (kWh/TL)	Toplam Ödenen (TL)
Ocak 14	1030	0	0,251649	384,1
Şubat 14	346	0	0,243929	138
Mart 14	237	0	0,243929	97,1
Nisan 14	266	0	0,243929	100,4
Mayıs 14	240	0	0,242828	99,20
Haziran 14	207	0	0,242828	87,30
Temmuz 14	185	0	0,242828	79,00
Ağustos 14	192	0	0,243509	81,9
Eylül 14	186	0	0,243509	79,80
Ekim 14	239	0	0,243509	98,90
Kasım 14	343	0	0,268046	148,50
Aralık 14	232	0	0,268046	104,80
Toplam	3703			1499

Bulgular ve Tartışma

Kurulan sistemin teknik ve ekonomik fizibilite çalışması yapıp, özellikle ekonomik olup olmadığını saptayabilmek için 3 farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır.

- Sistemden sulama ihtiyacımızı karşılayacak olan 90 günlük enerji kullanıldıktan sonra geri kalan enerjinin şebekeye satılmasıdır. Sistem iki şekilde düşünülmüştür. Birincisi; kullanılan paneller ithal ise, destek bedeli ödemesi 0,133 USD/kWh olur. Bu durumda yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin kendini amorti etme süresi 6,3 yıl olmaktadır. İkincisi; kullanılan paneller yerli ise, destek bedeli ödemesi 0,141 USD/kWh olur. Bu durumda yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin kendini amorti etme süresi 6 yıl olmaktadır.

Sistemin çalışılan her 2 durumunda da kendini amorti etme süresinin uygun ve ekonomik olduğunu göstermiştir.

- Sistemden üretilen yıllık toplam enerjinin tamamının kullanıldığı ve şebekeye enerjinin satılmaması durumunda kendini amorti etme süresi 7,4 yıl çıkmıştır. Bu durum, sistem bu şekilde kullanıldığı zaman ekonomik olduğunu göstermektedir.
- Sistem Patates Araştırma Enstitüsü'nde hem tarımsal sulamanın enerji ihtiyacı için, hem de resmi dairelerin enerji ihtiyacı için düşünülmüştür. Bu durumda sistem 3 şekilde planlanmıştır. Birincisi; Patates Araştırma Enstitüsü'nün yıllık tükettiği enerji ihtiyacına göre yapılan hesaplamalarda sistemin kendini amorti etme süresi 5,57 yıl olmaktadır. Bu durumda sistemin kendini amorti etme süresi bakımından ekonomik olduğu görülmektedir. İkincisi; sistemin mevcut pompaları çalıştırmak için ihtiyacı olan anlık maksimum enerjiye göre yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin kendini amorti etme süresi 46,3 yıl çıkmaktadır. Bu durum sistemin ekonomik olmadığını göstermektedir. Üçüncüsü; sistemin mevcut pompaları kullanarak optimum işletme politikası uygulanmasıyla ihtiyacı olan anlık maksimum enerjiye göre yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin kendini amorti etme süresi 17,2 yıl olarak belirlenmiştir. Sistemin ekonomik ömrünün 25 yıl olduğu düşünüldüğünde karlı bir yatırım olarak gözükmese de (fazla üretilen elektriğin satılmadığı veya harcanmadığı koşullarda) çevreci ve yenilenebilir enerji kaynağı olması, dışarıya enerji bağımlılığını azaltma konusunda katkı sağlaması da göz önüne alındığında, uygulanabilir olarak değerlendirilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma FEB 2014/18 BAGEP no'lu proje kapsamında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar ayrıca maddi ve teknik desteklerinden ötürü Gookir Global Engineering & Trade Co.Ltd. sahibi Gökhan Kırmalı ve çalışma arkadaşlarına teşekkür eder.

Kaynaklar

- Abdolzadeh M, Ameri M. 2009. "Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells", *Renewable Energy* 34(1), 91–96.
- Al-Alı AR, Rehman S, Al-Agılı S, Al-Omarı MH, Al-Fayezı M. 2001. "Usage of photovoltaics in an automated irrigation system", *Renewable Energy* 23, 17–26.
- Amer EH, Younes MA. 2006. "Estimating the monthly discharge of a photovoltaic water pumping system: Model verification", *Energy Conversion and Management* 47(15-16), 2092–2102.
- Anonim. 2009. Türkiye Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (0013/2009), Ankara, s.98.
- Anonim. 2011. Tarımsal Uygulamalarda Güneş Enerjisi Kullanımı Araştırma Raporu, Karacadağ Kalkınma Ajansı. Ceylanpınar. s67.
- Avicenna Programme Papers for distribution. 1997. Prepared by it power as part of the concerted action for the testing and cost reduction of PV water pumping systems, Contract AVI-CT094-0004, IT Power Ref. 95501.
- Bahaj A, Mohammed A. 1994. "Sizing of a photovoltaic pumping system and its storage capacity to meet crop water requirements in remote areas", *Proceedings of the 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, s.1969-1972.*
- Barlow R, Mclenis B, Derrick A. 1993. "Solar Pumping: An introduction and update on the technology, performance, costs, and economics", *Intermediate Technology Publications Ltd., London, s.4-17.*
- Betka A, Attali A. 2010. "Optimization of a photovoltaic pumping system based on the optimal control theory", *Solar Energy* 84(7), 1273–1283.
- Cuadros, F, Lopez RF, Marcos A, Coello JA. 2004. "Procedure to size solar powered irrigation (photirrigation) schemes", *Solar Energy* 76, 465–473,
- Dalkılıç E. 2012. Güneş enerjisiyle çalışan damla sulama projesinde hidrolik aksamı, Bitirme Tezi, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Sakarya, s. 62.
- EPDK. 2016. <http://www.epdk.gov.tr>. [Erişim: 05.04.2016]
- FAO. 1999. The state of food insecurity in the World, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Roma, İtalya.
- Fiaschi D, Graniglia R, Manfrida G. 2005. "Improving the effectiveness of solar pumping systems by using modular centrifugal pumps with variable rotational speed", *Solar Energy* 79, 234–244.
- Gençoğlu MT, Cebeci M, Güneş M. 2010. Güneş enerjisi ile çalışan PLC kontrollü su pompası sistem tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ghoneim AA. 2006. "Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems", *Energy Conversion and Management*, 47(11–12), 1449–1463.
- Glasnovic Z, Margeta J. 2007. "A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems", *Solar Energy* 81, 904–916.
- Hamidat A, Benyoucef B, Hartani T. 2003. "Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions", *Renewable Energy* 28(7), 1081–1096.
- Hamidat A, Benyoucef B. 2009. "Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage". *Energy Policy*, vol. 37, issue 4, 1489–1501.
- Jafar M. 2000. "A model for small-scale photovoltaic solar water pumping", *Renewable Energy* 19, 85–90.
- JRC. 2016. re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php. [Erişim: 05.04.2016]
- Kenna J, Gillet B. 1985. *Solar Water Pumping: A Handbook*, Intermediate Technology Publications, London.

- Köksal M.A. 2012. Güneş enerjisiyle su pompalama üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- MGM, 2016. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=NIGDE> (Erişim: 05.04.2016)
- Mokeddem A, Midoun A, Said Hiadsi DK, Raja IA. 2011. "Performance of a directly-coupled PV water pumping system", *Energy Conversion and Management* 52(10), 3089–3095.
- Odeh AI, Yohanis YG, Norton B. 2006a. "Influence of pumping head, insolation and PV array size on PV water pumping system performance", *Solar Energy* 80(1), 51–64.
- Odeh AI, Yohanis YG, Norton B. 2006b. "Economic viability of photovoltaic water pumping systems", *Solar energy* 80(7), 850–860.
- Öztürk HH. 2009. "Güneş pili ile çalışan tarımsal sulama sistemleri için tasarım ölçütlerinin belirlenmesi", 4. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Mersin, 6-7 Kasım. s. 58–73.
- Öztürk HH, Eren Ö, Özsavran M, Arslan M. 2011. "Güneş enerjisiyle termo-mekanik dönüşüm ilkesine göre çalışan su pompalama uygulamalarının değerlendirilmesi", 5. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Mersin, 6-7 Ekim. s.277–294.
- Öztürk HH, Küçükerdem K, Gökalp Y. 2016. "Tarımsal Sulamada Güneş Enerjisi Kullanımı Üzerine Bir Araştırma." *International Multidisciplinary Congress of Eurasia*, Odessa, 11-13 July. p.415-421.
- Purohit P, Kandpal TC. 2005. "Renewable energy technologies for irrigation water pumping in India: projected levels of dissemination, energy delivery and investment requirements using available diffusion models", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9(6), 592–607.
- Sallem S, Chaabene M, Kamoun MBA. 2009. "Energy Management algorithm for an optimum control of a photovoltaic water pumping system", *Applied Energy* 86, 2671-2680.
- Şen Z. 2007. *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques: Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy*, Springer-Verlag London Limited, İstanbul.
- Vilela OC, Fraidenraich N, Tiba C. 2003. "Photovoltaic pumping systems driven by tracking collectors. Experiments and simulation", *Solar Energy* 74(1), 45–52.
- White JA, Case KE, Pratt DB. 2010. "Principles of engineering economic analysis. Hoboken NJ", Wiley Higher Education.
- Yesilata B, Fıratoglu ZA. 2008. "Effect of solar radiation correlations on system sizing: PV pumping case", *Renewable Energy* 33, 155–161.
- Yalçın L. 2010. Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve güneş enerjisinden yararlanabilme olanakları, Doktora Tezi, A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 220.
- Yusufoğlu G. 2013. Şebeke elektriğinin bulunmadığı tarımsal alanlarda güneş enerjisiyle sulamanın yapılması, Yüksek Lisans Tezi, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 55.