Makale Türü: Araştırma Makalesi
Gönderim Tarihi: 26-09-2019 **Kabul Tarihi:** 19-03-2020

Düzce Çevresi Su Temini Uygulamalarında Kullanılacak 15 kWp Fotovoltaik Sistemin Fayda-Maliyet Analizi
Cost-Benefit Analysis of 15 kWp Photovoltaic System for Water Supply Application in DUZCE Region

Ali Yıldız[1], *Emin Yıldırız*[2]

[1] Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye
aliyildizytu@gmail.com

[2] Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye
mehmetrecepminaz@siirt.edu.tr

Öz

Bu çalışmada Düzce ili gereksinimleri göz önüne alınarak su temini amaçlı kurulacak bir almaşık akım dalgıç pompasının şebeke bağlantılı 15 kWp gücünde bir Güneş Enerji Santrali (GES) üzerinden beslenmesinin fayda-maliyet çözümlemesi yapılmıştır. Bunun için Düzce'nin ışınım değerleri, dört ayrı veri tabanı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bölgenin 30 yıl sonraki su gereksinimi dikkate alınarak sistemin geri ödeme süresi hesaplanırken, gelecekteki enerji üretiminin doğru kestirimi gerekir. Bunun için yazında da önemli bir yer tutan PVsyst programı ve istatistiksel bir yöntem olarak da eğri uydurma yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen veriler, var olan GES verileri de göz önüne alınarak incelenmiş ve bu üç verinin ortalaması üretim kestimininde kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik, Regresyon çözümlemesi, fayda-maliyet.

Abstract

In this study, taking into consideration the requirements of Duzce province, a cost-benefit of the AC pump to be installed for water supply via grid-connected a 15 kWp Solar Power Plant (SPP) has been analyzed. Therefore, the radiation values of Duzce have been determined by considering four different databases. When calculating the refund period of the projected system considering the water requirement after 30 years, the future energy production must be estimated accurately. For this purpose, PVsyst program which has an important place in literature and curve fitting method as a statistical method has used. The calculated data's have been examined by taking into account the existing SPP data and the average of these three data has been considered in the production estimation.

Keywords: Photovoltaic, Regression analysis, Cost-Benefit.

1. Giriş

Türkiye'nin güneş enerji gizilgücü 380 TWh/yıl ve kurulu güç potansiyeli 56.000 MW olarak kestirim edilmektedir [1]. 31 Ağustos 2019 tarihi itibariyle, Türkiye'deki elektrik enerjisi santrali kurulu gücünün (90.403,40 MW) %6,12'sine karşılık gelen Güneş Enerjisi Santrali (GES) kurulu gücüne ulaşılmıştır [2]. Ancak güneş gizilgücü göz önene alındığında, kurulu gücümüzün %61,9'unu sadece GES ile oluşturabiliriz. TEİAŞ'ın 2019 ağustos raporuna göre; ülkemizde 10 Lisanslı, 6420 Lisanssız olmak üzere, toplam 6430 GES bulunmaktadır. Bu santrallerden bazıları tarımsal sulama ve sondaj amaçlı kullanımlar için şebekeye bağlı (on-grid) iken, şebekeden bağımsız (off-grid) uygulamalar da vardır [3]-[7]. Yazında Şanlıurfa, Elazığ ve Kahramanmaraş gibi Türkiye'nin güneyinde kalan illerde sulama amaçlı dalgıç pompa sistemleri hakkında araştırmalar yapılmış, ancak Türkiye'nin kuzeyindeki bir il için GES beslemeli bir içme suyu sistemi bu çalışmada ilk kez incelenmiştir.

Bu çalışmada; Düzce ilindeki sondaj kuyuları ve bu kuyulardan kaynaklanan bölgenin gereksinimleri göz önüne alınarak, 30 yıl sonrasının su ihtiyacını karşılayabilecek bir su temini sisteminin güç gereksinimi belirlenmiştir. GES beslemeli bu su temini uygulamasının fayda-maliyet çözümlemesini yapmak için, üretilebilecek elektrik enerjisi miktarının kestirim edilmesi ve dolayısıyla güneş enerji (GE) gizilgücünün belirlenmesi gerekir. Bunun için yazındaki çalışmalardan farklı olarak, dört önemli veri tabanının ortalaması göz önüne alınmıştır. Bu veri tabanları; PVGIS, GEPA, Meteonorm ve NASA'dır. GES gizilgücü belirlendikten sonra, fayda-maliyet çözümlemesi için yıllık elektrik enerjisi üretiminin doğru şekilde belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bunun için yazında pek çok model ve yöntem önerilmiş ve incelenmiştir [8]-[9]. Bunlardan biri de regresif yöntem kullanmaktır [10]. Regresyon çözümlemesi, istatistik biliminin en önemli konularından biridir. Bu çalışmada; Düzce ilinde yıllık enerji üretim kestirimi için, çokterimli regresyon modelli eğri uydurma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde; her seferinde iki farklı değişken göz önüne alınarak, 6 adet regresyon modeli oluşturulmuştur. Göz önüne alınan veriler; sıcaklık ortalaması, güneşlenme süresi ve ışınım düzeyidir.

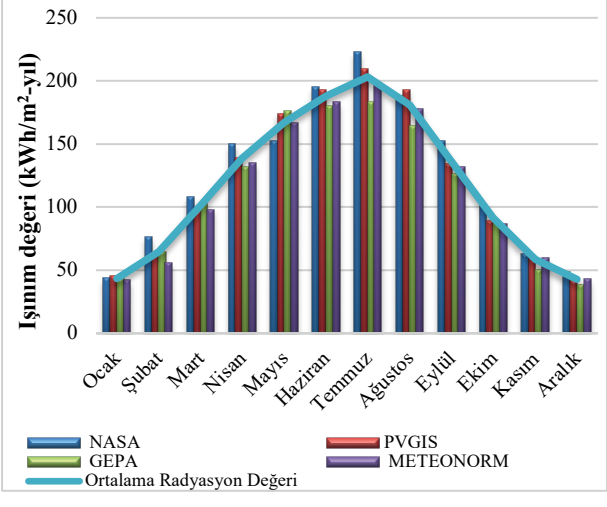
Nihai elektrik enerjisi üretim değeri için; var olan GES verileri, eğri uydurma ile elde edilen kestirim ve PVsyst programı ile elde edilen verilerin ortalaması göz önüne alınmıştır. Yazındaki GES beslemeli sulama sistemlerinin kendini geri-ödeme (amortisman) süreleri hesaplanırken,

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun dikkate alınarak teşvikli enerji bedeli kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada, EPDK tarafından açıklanan ve 01.07.2019 tarihinde belirlenen kendi abone grubuna ait perakende tek zamanlı enerji bedeli göz önüne alınmıştır. İlk 10 yıllık süreçte fiyat kestirimi için geçmiş 10 yıllık dönemde meydana gelen enerji bedelindeki değişim göz önüne alınmıştır. İlk 10 yıldan sonraki süreçte ise, Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketinin YEKDEM elektrik enerjisi pozitif dengesizlik fiyat ortalaması göz önüne alınarak olası fiyat belirlenmiştir.

2. Düzce'nin GE Potansiyeli Ve Su Temini

Türkiye; coğrafi konumu ve orta kuşak ikliminde yer almasından dolayı, güneşten elektrik enerjisi üretiminde önde gelen pek çok Avrupa Birliği ülkesinden daha yüksek bir GE gizilgücü vardır. Ancak ülkemiz, bu gizilgücü şimdiye kadar üretime aktaramamıştır. TEİAŞ'ın *2018 yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı* raporuna göre, üretilen 303,9 TWh enerjinin sadece %2,6'sı güneş enerjisinden sağlamıştır [11]. Aynı yıl Almanya'da bu oran %8,4 olarak gerçekleşmiştir [12]. Bu veriler ülke olarak önümüzde daha çok uzun bir yol olduğunu göstermektedir.

Ülkemizin kuzey bölgelerindeki GE gizilgücü diğer bölgelere göre nispeten düşüktür. Bir bölgenin GE gizilgücü değerlendirilirken öncelikle ışınım değerlerine bakılır. Güneş enerjisi sistem kurulumunda kabul görmüş 4 farklı veri tabanı bulunmaktadır. Bunlar; Avrupa Birliği Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemleri Veri Tabanı (PVGIS) [13], Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) [14], Meteonorm [15] ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)'dır [16]. Şekil 1'de Düzce ilinin ışınım değerleri verilmiştir.



Şekil 1. Farklı veri sistemlerine göre Düzce ili aylık güneş ışınım değerleri

Düzce ilinin ışınım değerleri 1350-1500 kWh/m²-yıl civarındadır ve Türkiye ortalamasının altında olduğu söylenebilir. Buna rağmen göz önüne alınan dört önemli veri tabanının ışınım ortalaması 1415,685 kWh/m²-yıl'dır. Bu değer Almanya'nın en büyük kurulu güç kapasiteli GES'lerin bulundukları eyaletlerde görülen ışınım düzeyleri ile karşılaştırılmıştır. Almanya'nın en büyük 7 GES'inin kurulu güçleri [17, 18] ve ışınım düzeyleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'deki GES'lerin ışınım düzeyleri; bulundukları eyaletler göz önüne alınarak, PVGIS üzerinden belirlenmiştir. Düzce'nin ışınım düzeyi, incelenen 7 GES'in ortalamasından %32.72 daha fazladır.

Tablo 1. Almanya'nın en büyük GES'lerinin kurulu güçleri ve bulunduğu konuma göre ortalama ışınım düzeyleri

Tesis Adı	Kurulu güç (MWp)	Işınım (kWh/m²-yıl)
Senftenberg Güneş Kompleksi	166	1078
Neuhardenberg Havalimanı	145	1066
Templin-Groß Dölln Güneş Parkı	128	1038
Brandenburg-Briest Güneş Parkı	91	1066
Eberswalde/Finow Askeri havaalanı	84,5	1043
Finsterwalde Güneş Parkı	80,7	1072
Lieberose Güneş Parkı	53	1062

2.1. GES Beslemeli Dalgıç Pompa Sistem Seçimi

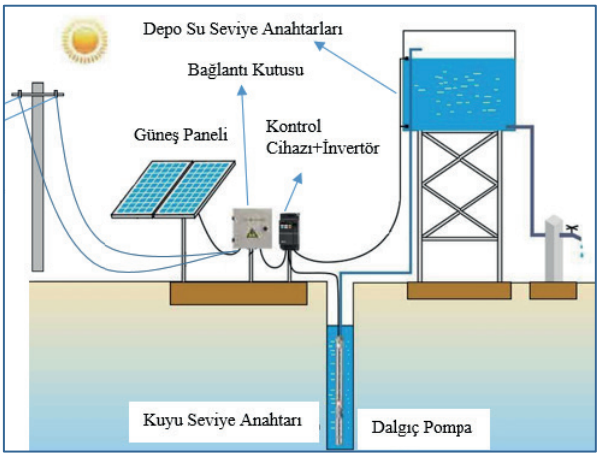
Tarımsal sulama ve içme suyu temini için kullanılan dalgıç pompa sistemleri, sistemin kurulacağı bölgede enerji dağıtım hattının olup olmamasına göre gruplandırılırlar. Almaşık akım (AC) sistemde çalışan dalgıç pompalar; genellikle elektrik dağıtım şebekesinin bulunduğu bölgelerde kullanılırlar. Böylece dağıtım şebekesine bağlı (on-grid) fotovoltaik sistemler kurulabilir. Doğru akım (DC) sistemde çalışan dalgıç pompalar ise; genellikle elektrik dağıtım şebekesinin bulunmadığı, yani şebekeden bağımsız (off-grid) sistemlerde tercih edilir. Her iki durumda da bakım masrafları ve maliyet açısından bataryasız sistem öngörülmüştür (Şekil 2).

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem, üretilen elektrik enerjisini bataryalarda depolamak yerine üretim yerinde tüketilmesi prensibine dayalı çalışmaktadır. Fotovoltaik etki ile modüller üzerinde üretilen doğru akım, evirici yardımıyla almaşık akıma dönüştürülür ve elektrik dağıtım şebekesine bağlanır. Eğer güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjisi yetersizse, ihtiyaç duyulan enerji şebekeden karşılanır. Hem üretilen hem de tüketilen enerji çift yönlü sayaç yardımıyla ölçülür ve belli dönemlerde ilgili dağıtım şirketiyle mahsuplaşmaya gidilir.

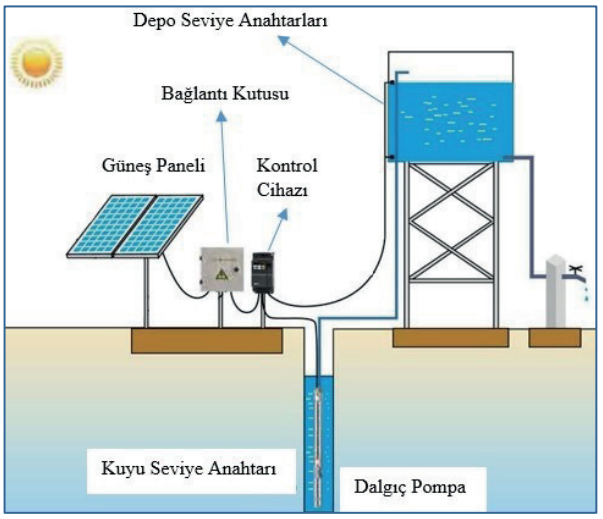
Dağıtım şebekesinden uzak bölgelerde DC dalgıç pompalar tercih edilir. GES beslemeli DC dalgıç pompa sisteminde eviriciye gerek yoktur. Bu haliyle hem maliyet hem de kurulum kolaylığı açısından yapılabilirliği yüksek bir yatırım elde edilir. Çok derin kuyularda DC dalgıç pompa motor kullanımı, verim açısından uygun değildir. Ancak, derin olmayan su kuyuları ve su kanalları ile 3 kW güce kadar olan uygulamalarda, ideal bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır [19].

Off-grid sistemler; evirici kayıpları olmadığından, on-grid sistemlere göre daha verimli çalışmaktadır. Her iki sistemde de su temininin sürekliliğini sağlamak önemli olduğundan, su tankı kullanılması zorunluluktur. Bununla birlikte; off-grid sistemlerde güneşsiz günler de göz önüne alındığında, kesintisiz su temini için su tankı gereksiniminin daha büyük

seçilmesi uygun olacaktır. Düzce ve çevresinde bulunan içme suyu sondaj kuyularının köy yerleşim alanlarına yakın olması, bu sondaj kuyularına yakın enerji dağıtım hatlarının bulunması ve ortalama güneşlenme süresinin 5.8 saat olması nedeniyle bu çalışma kapsamında on-grid PV sistemin fayda-maliyet çözümlemesi yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2. GES beslemeli (a) on-grid ve (b) off-grid dalgıç pompa sistemi [20]

2.2. Su tüketim çözümlemesi ve dalgıç pompa özellikleri

Bir bölgenin su tüketim hesabı yapılırken, kurulacak su iletim hattına göre 20 veya 30 yıl sonraki nüfus göz önüne alınır. Düzce İl Özel İdaresi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğünün 2019 yılı verilerine göre, Düzce ilinde 75'i aktif toplam 83 tane sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu tesislerde genelde 7,5-15 kW aralığında değişen dalgıç pompalar kullanılmaktadır. 2018 TUİK verilerine göre; Düzce'de sondaj kuyularından su temini yapılan köylerin çoğunda, nüfus 1000 kişi civarındadır. Bu nedenle; GES beslemeli dalgıç pompa sisteminin fayda maliyet çözümlemesinin daha anlamlı olması için, nüfusu 1000 kişi ve üzeri olan yerleşim yerleri göz önüne alınmıştır.

Tablo 2. Su tüketim çözümlemesi [22]

İhtiyaç Türleri			Nüfus (A)	Birim İhtiyaç (lt/gün) (B)	Toplam İhtiyaç (lt/gün) (AxB)	[(AxB)/(24x60x60)]	Mevcut Durum (lt/sn)	Gelecek Durum (lt/sn)
Görevsel İhtiyaçlar	İnsan	Mevcut	1.000	179	179.000	2,0718 (a)	2,2598 (a+f+g+h) (Y)	3,0366 (d+f+g+h) (W)
		20 yıl sonra	1.245	179	22.804	2,5788 (b)		
		30 yıl sonra	1.375	179	246.114	2,8485 (d)		
	Büyükbaş		250	50	12.500	0,1447 (f)		
	Küçükbaş		250	15	3.750	0,0434 (g)		
	Askeri Birlik		-	500	-	0 (h)		
Özel İhtiyaçlar	Tavuk		1.250	0,15	188	0,0022 (j)	0,0069 (j+k+m+n+p) (X)	0,0069 (j+k+m+n+p) (Z)
	Hindi		300	0,70	210	0,0024 (k)		
	Ördek		250	0,80	200	0,0023 (m)		
	Yatılı Okul (Öğrenci)		-	500	-	0 (n)		
	Sağlık Ocağı (Yatak Adedi)		-	250	-	0 (p)		
Toplam İhtiyaç (lt/sn)							2,2668 (X+Y)	3,0435 (Z+W)
							Mevcut Durumda	30 Yıl Sonra

Düzce ilinin günlük kişi başına su tüketim miktarı (litre/kişi-gün) 179 litredir [21]. Tüketim miktarı belirlenirken köydeki büyükbaş, küçükbaş, tavuk, hindi, ördek gibi olası hayvan sayıları da göz önüne alınmıştır. Ayrıca söz konusu bölgede yatılı bölge okulu, askeri birlik, sağlık ocağı gibi tesislerin olmadığı düşünülmüştür. Ayrıntılı su tüketim çözümlemesi Tablo 2'de görülmektedir. Buna göre bölgenin günümüzdeki su tüketim miktarı 2,2668 (8,2 m³/h)'dır. 30 yıl sonra ise 3,0435 (10,9 m³/h) olacağı hesaplanmıştır [22]. 20 ve 30 yıl sonraki nüfus hesaplanırken Tablo 3'den faydalanılır. En son nüfus sayımı 2017 yılında yapıldığından, 2019 yılı nüfusu belirlenirken t değeri 2 olarak alınmıştır. Gelecek yıla ait nüfus hesabı denklem (1) ile yapılır.

$$N_{Gelecek} = Nx(1+P)^2 \quad (1)$$

Tablo 3. Gelecek yıllarda olabilecek kestirimi nüfus miktarı [20]

2017 yılındaki nüfus	N	1000
Son Nüfus Sayımından Bu Zaman Kadar Artan Nüfus Miktarı/100	P	0,01
Son Nüfus Sayımından Geçen Süre (yıl)	t	2
Birim İnsan İh.(100-201 Lt/Gün)		179
Gelecek Nüfus	N20	1245
	N30	1375
Varolan Nüfus	M	1030

30 yıl sonrası için su deposunun sığası V, eşitlik (2)'den hesaplanır. Burada Q_{ih} 30 yıl sonra ihtiyaç duyulacak su miktarı, F(m³) olası yangın için ihtiyaç duyulan su miktarıdır. Formüldeki değişmez 3 değeri, suyun depolanma zamanı ile ilişkilidir. Nüfusu 1000 kişiden fazla olan yerlerde, F değeri 36 m³ alınmalıdır [20]. Buna göre gerekli olan su deposu hacmi 123,65 m³'tür.

$$V = \frac{Q_{ih}x8640}{3x1000} + F \quad (2)$$

Tablo 4. 9 kW ($p_d = 21{,}6\ m^3/h$) güçteki dalgıç pompaya ait etiket değerleri

Sarım Şekli	Y	Anma Gerilimi (V)	380
Motor Gücü (kW)	9	Kalkış (Is/In-Kalkış Akımı/Nominal Akım)	4,5
Motor Gücü (HP)	12,5	Devir Hızı (devir/dakika)	2880
Güç Faktörü (Cos ϕ)	0,83	Eksenel Yük (kN)	25
Anma Akımı (In)	20,5	Motor Boyu (Mil Boyu Hariç) (mm)	790

Günümüzde farklı türde pek çok dalgıç pompa kullanılmaktadır [23]. Dalgıç pompalarda su basma yüksekliği arttıkça debi azalmaktadır. Aynı debi için, su basma yüksekliği artarsa seçilecek pompa motorun gücü arttırılmalıdır. Bu çalışmada Düzce ili güneşlenme süresi göz önüne alınarak pompa seçimi yapılmıştır. 6 lt/sn ($p_d = 21{,}6\ m^3/h$) özellikli 11 kW güçteki bu dalgıç pompası, 90 metre yüksekliğe su basabilmektedir (Tablo 4). Buna göre 123,65 m³ lük bir depoyu doldurmak için pompanın çalışma süresi t_P, 5,72 olarak hesaplanır (3). Bu süre, Düzce'nin ortalama güneşlenme süresine yakın ve altındadır. Seçilen pompa anma değerlerinde çalışırken, motorunun giriş gücü $P_P = 13328{,}13\ W$'tır. Seçilen pompa; boş bir depoyu doldururken, 76,3 kWh enerji harcayacaktır (4).

$$t_P = \frac{V}{p_d} \tag{3}$$

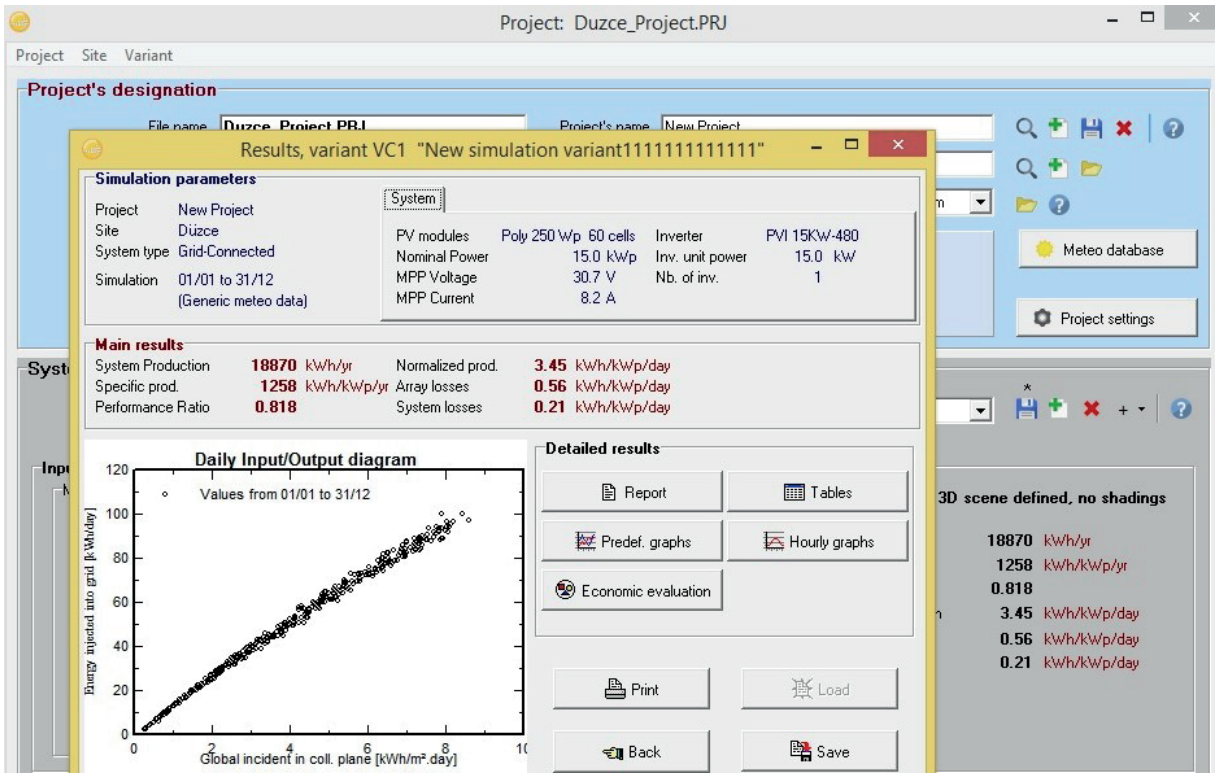
$$W = P_P . t_P \tag{4}$$

3. GES Üretim Analizi

Bir GES'in ekonomik çözümlemesinin iyi yapılabilmesi için, yıllık enerji üretiminin doğru hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada üretim verilerinin kestirimi, iki ayrı yöntem kullanılarak yapılmıştır. Birinci yöntem, yazında da onaylanmış PVsyst programı kullanmaya dayanır [24]-[26]. İkinci yöntemde, farklı disiplinlerde de kullanılan istatiksel bir yöntem (eğri uydurma yöntemi) kullanılmıştır. Bu yöntemde, varolan bir GES'in verileri göz önüne alınmıştır.

3.1. PVSyst ile Üretim Kestirimi

PVsyst; fotovoltaik sistemlerin boyutlandırılmasını, benzetim ve veri çözümlemesini yapılabilen bir paket programdır. Birçok farklı kaynaktan elde ettiği verileri bulundurduğu gibi, Meteonorm programının verilerini de alabilmektedir. Ayrıca, şebekeye entegre ve şebekeden uzak sistemler modellenebilmektedir. PVsyst programı kullanılırken; tesisin kurulacağı yerdeki meteorolojik veriler, ayrıntılı güneş ışınım değerleri, gölgelenme ve bulutlu gün sayılarına ilişkin çözümlemeler, bölgenin kirlilik oranı, kullanılacak güneş panelleri ve eviricinin bazı özellikleri vb. gibi ayrıntıların göz önüne alınması gerekir [27]. Şekil 3'te; PVsyst programında hesaplanan, Düzce'de 15 kWp güçteki bir fotovoltaik tesisin yıllık elektrik üretim eğrisi görülmektedir. Bunun için PVsyst'e girilen değişmezler ise Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 3. PVsyst programı ekran görüntüsü

15 kWp güçteki GES için, PVsyst kütüphanesindeki 250W gücündeki polikristal panel seçilmiştir. Şebeke bağlı olarak planlanan GES'in koordinatları girilmiş ve sistemin yıllık

üretimi 18870 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Meteorolojik veri olarak, program veri tabanı göz önüne alınmıştır.

Tablo 5. PVsyst programına girilen değişmezler

Azimut açısı	0°
Koordinatlar	31,17° Doğu-40,35° Kuzey
Yansıma (Albedo) değeri	0,20
Ortalama rüzgâr hızı	2,3 m/s
Tozlanma kaybı	%1,5
Ufuk çizgisi	Görünür ve açık
PV Panel (60 adet)	250 W Generic Poly 250 Wp
Evirici (1 adet)	Solectria PVI 15kW-480

3.2. Eğri Uydurma Yöntemi ile Üretim Kestirimi

İstatistik biliminin en önemli konularından birisi regresyon çözümlemesidir. Regresyon çözümlemesinde; herhangi bir bağımlı değişkenin bir veya birden fazla bağımsız değişkenle aralarındaki ilişki, matematiksel bir fonksiyon biçiminde ifade edilir ve bu fonksiyon regresyon denklemi adını alır. Regresyon denklemi sayesinde, bağımsız değişkenlerin farklı değerlerine karşılık, bağımlı değişkenin alacağı değerler kestirim edilir.

Eğri uydurma problemlerinin çözümünde regresyon teknikleri sıklıkla kullanılır. Araştırma ile ilgili bilinen parametrelerden yola çıkarak, bu parametreler için bir regresyon modeli geliştirilebilir. Bu çalışmada, çok terimli regresyon modeli ile kestirim yöntemi uygulanmıştır. Çok terimli regresyon modelinde, veriler arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. k. dereceden bir eğri uydurma yapılacaksa, $k+1$ tane doğrusal denklem takımı çözmek gerekir. k. dereceden bir çokterimli, denklem 5'te verilmiştir. Buradaki $a_0, a_1 \ldots . a_k$ bağıntıları çokterimli katsayılarıdır.

$$P_k(x) = a_0 + a_1.x + a_2.x^2 + \cdots + a_k.x^k \qquad (5)$$

Yanılgıların en küçük olabilmesi için yanılgıların karelerin türevleri alınır ve sıfıra eşitlenir. Böylece çokterimli katsayılarını bulmak için gerekli denklem takımları bulunur (6).

$$S_r = \sum_{i=1}^{n}(y_i - a_0 - a_1.x - a_2.x^2 - \cdots - a_k.x^k)^2$$

$$\frac{\partial S_r}{a_0} = 0 \rightarrow a_0 n + a_1 \sum x_i + a_2 \sum {x_i}^2 + \cdots + a_k \sum {x_i}^k = \sum y_i$$

$$\frac{\partial S_r}{a_1} = 0 \rightarrow a_0 \sum x_i + a_1 \sum {x_i}^2 + \cdots + a_k \sum {x_i}^{k+1} = \sum x_i y_i$$

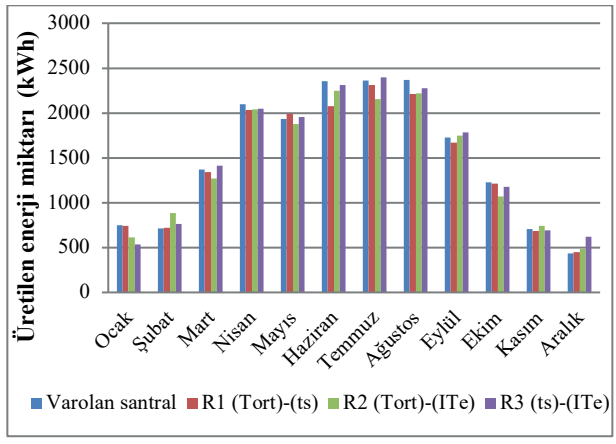
$$\frac{\partial S_r}{a_2} = 0 \rightarrow a_0 \sum {x_i}^2 + a_1 \sum {x_i}^3 + \cdots + a_k \sum {x_i}^{k+2} = \sum {x_i}^2 y_i$$

… …… …..

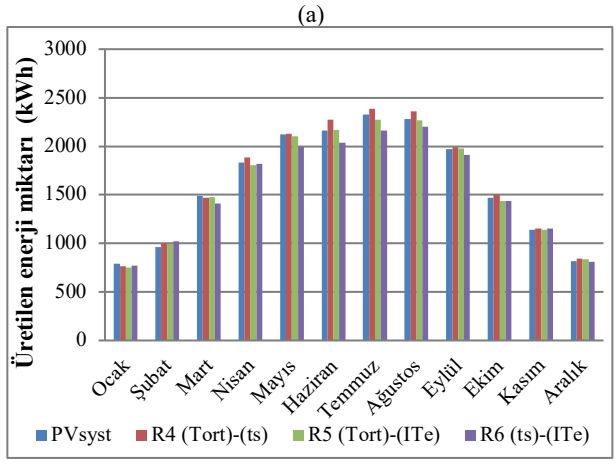
$$\frac{\partial S_r}{a_k} = 0 \rightarrow a_0 \sum {x_i}^k + a_1 \sum {x_i}^{k+1} + \cdots + a_k \sum {x_i}^{2k} = \sum {x_i}^k y_i \qquad (6)$$

Kestirim yöntemi kullanılırken, varolan GES'den elde edilen elektrik üretim verileri ve PVsyst program çıktıları kullanılmıştır. Sıcaklık ortalaması (T_{ort}) - güneşlenme süresi (t_s), sıcaklık ortalaması (T_{ort}) - ışınım düzeyi (I_{Te}), güneşlenme süresi (t_s) - ışınım düzeyi (I_{Te}) şeklinde her seferinde iki farklı değişken göz önüne alınarak regresyon modelleri elde edilmiş ve üretim miktarları (R1-R6) Şekil 4'teki gibi hesaplanmıştır.

Bu çalışmada PVsyt programı, varolan 15 kWp'lik GES verileri ve eğri uydurma (regresyon çözümlemesi) ile elde edilen aylık üretim verilerinin (R1-R6) ortalaması alınarak yıllık üretim kestirimi 18606,24 kWh olarak belirlenmiştir. Fayda-maliyet çözümlemesi, bu enerji değeri üzerinden yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4. Varolan santral (a) ve PVsyst programı (b) verilerine göre regresyon modelleri ile elde edilen üretim miktarları

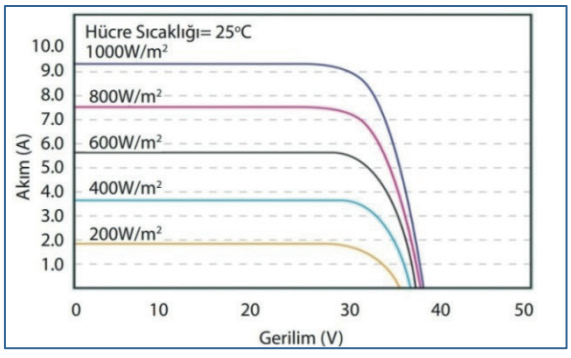
4. Fayda-Maliyet Çözümlemesi

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimini desteklemek için, 29.12.2010-09.05.2019 tarihleri arasında *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun* uygulanmıştır. Bu kanun kapsamında; fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde, üretilen enerjinin birim fiyatı 13,3 cent/kWh olarak belirlenmiştir. 09.05.2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı ile gereksinim fazlası üretim fiyatı; (EPDK) tarafından duyurulan kendi abone grubundaki perakende tek zamanlı enerji bedeline bağlanmıştır. 01/07/2019 tarihi itibariyle alçak gerilim abonelerinde ticarethane grubu için bu bedel, 47,109 kuruş olarak açıklanmıştır. Fayda-maliyet çözümlemesinde, bu güncel fiyatlar göz önüne alınmıştır.

4.1. Tesis Yatırım Maliyeti

GES ile ilgili olarak yatırım bedelini oluşturan ana ögeler; proje yönetimi ve mühendislik giderleri, makine ve teçhizatlar, lisans bedeli, sahanın hazırlanması ve kazılması, trafo ve enerji besleme kablosu, kurulum ve işletmeye alma ve öngörülemeyen giderler olarak gösterilebilir.

Bu çalışma ile planlanan 15kWp gücündeki GES'de, SPE270 polikristal fotovoltaik panel kullanımı planlanmıştır. 1000 W/m² ışınım seviyesinde, 270 W tepe gücü verebilen panelin akım-gerilim özeğrisi Şekil 5'de verilmiştir. Şebekeye bağlı evirici olarak; anma gücü 15 kW olan, trafosuz 3 fazlı bir aygıt (Fronius Symo 15.0-3-M) seçilmiştir. Seçilen evirici, 200-800 V DA gerilim aralığında en büyük güç izleyebilmektedir. En büyük DA panel çıkış gücü ise 22,5 kW'tır. Bu verilere göre seçilen evirici, kullanılacak fotovoltaik dizi ile uyumludur. Evirici çıkışı 3 faz 380 V, 21,7 A ve 15 kWp gücündedir. Dalgıç pompanın özellikleri (Tablo 4) incelendiğinde, istenilen anma akımını (20,5 A) karşıladığı ve uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5. SPE270 Polikristal fotovoltaik panelin ışınım düzeyine göre akım-gerilim eğrisi [28]

Sulama amaçlı Düzce kırsalına kurulacak GES beslemeli dalgıç pompa sistemi için; köye ait arazilerin kullanılması planlandığından, arazi bedeli ön görülmemiştir. 9 Mayıs 2019 tarihi temelinde; mesken abonelerinde lisansız üretim üst sınırı 10 kW (10 kW dahil), diğer tesislerde ise 5 MW güce kadar çıkartılmıştır. Köylerde içme suyu temini için yapılacak tesislerde lisans alma zorunluluğu olmadığından, herhangi bir lisans başvuru maliyeti hesaba katılmamıştır. Öngörülemeyen giderler olarak da toplam giderin %1,5'i ayrılmıştır. Çeşitli hizmet alımları için sektördeki ilgili firmalarla görüşülerek alınan tekliflerin ortalaması işleme alınmıştır. Buna göre GES yatırım maliyeti, Tablo 6'da belirtilen kalemler üzerinden 15.600 $ olarak hesaplanmıştır.

4.2. Faaliyet Giderleri

Kurulacak sistemde batarya grubu olmadığından sürekli bakım gideri bulunmamaktadır. GES'de kullanılan donanımların genelde 5 yıllık garanti sürelerinin olması sebebiyle ilk 5 yıl için herhangi bir yenileme gideri düşünülmemiştir. İlk 5 yıldan sonra ise bakım - yenileme gideri olarak makina donanım ve bağlantı yatırım bedelinin % 1'i oranında olacağı kabul edilmiştir [27].

Fotovoltaik modül üzerine düşen güneş ışınlarının en yüksek düzeyde elektriksel güce dönüştürülebilmesi için, olabildiğince camla kaplı dış yüzeyinin temiz tutulması gerekmektedir. Fotovoltaik panel temizliği özdenetimli aygıtlar ile yada hizmet alımı ile yapılabilir. Ancak Düzce ilinin yağış alma oranının yüksek olması, panel temizleme işleminin uzmanlık gerektiren bir işlem olmaması ve panel sayısının az olmasından dolayı bu işlem için herhangi bir maliyet öngörülmemiştir. Dalgıç pompanın bakım giderlerinin, bakım ve yenileme giderleri kaleminden karşılanması planlanmıştır.

Tablo 6. 15 kWp GES için öngörülen yatırım maliyet kalemleri

İmalatın Cinsi	Miktarı	Birim Fiyatı ($)	Yaklaşık Maliyet ($)
Proje Yönetimi ve Mühendislik Giderleri	1 Adet	1.000	1.000
Evirici 15kW	1 Adet	3.000	3.000
PV panel-Polikristal	56 Adet	100	5.600
PV Kablo	100 metre	2	200
Çelik Kontrüksiyon	Muhtelif	3745	3745
Besleme Kablosu	100 metre	1,7	170
Nakliye	Muhtelif	100	100
Montaj/Devreye Alma	Muhtelif	1.200	1.200
Sahanın Hazırlanması ve İnşaat İşleri	Muhtelif	300	300
Öngörülemeyen Giderler	Muhtelif	285	285

4.3. Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi, kârlılık ölçüsü olmayıp yalnızca bir zaman kavramıdır. Yapılabilirlik raporlarında geri ödeme süresi kısaldıkça, yatırımın daha az risk taşıdığı ve likiditesinin artacağı söylenebilir. T_G geri ödeme süresi denklem (7)'den hesaplanır. Burada T_Y toplam yatırım bedelini, Y_{GE} yıllık net nakit girişini ve Y_{GI} yıllık gideri belirtir.

$$T_G = \frac{T_Y}{Y_{GE} - Y_{GI}} \quad (7)$$

Maliyet kalemlerinin döviz, elektrik enerjisi bedelinin ise TL cinsinden olması nedeniyle kur dönüşümü yapılmalıdır. 19.01.2009 tarihindeki bir Amerikan Doları 1,55 TL iken 19.06.2019 tarihinde ise bir Amerikan Doları 5,85 TL'dir. Yani 10 yıllık süreçte yıllık bazda Dolarda %14,2'lik, Euro'da %11,8'lik bir artış görülmüştür. 01.01.2009 tarihinden itibaren uygulanan tarifelerle ilgili 25.12.2008 tarih ve 1905 sayılı kurul kararına göre, perakende tek zamanlı ticarethane grubuna ait elektrik enerjisi birim fiyatı 19.997 kuruştu. 01.07.2019 tarihinden itibaren uygulanacak tarifelerle ilgili 27.06.2019 tarih ve 8689 sayılı kurul kararına göre ise, perakende tek zamanlı ticarethane grubuna ait elektrik enerjisi birim fiyatı 47,109 kuruştur. Yani yaklaşık 11 yıllık süreçte yıllık bazda %10'lik bir artış gösterdiği görülmektedir. 09.05.2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı'nda ilk 10 yıl için güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin birim fiyatı belirlenmiş iken, 10. yıldan sonra uygulanacak birim fiyat tarifesi hakkında herhangi bir ayrıntı

bulunmamaktadır. Bu nedenle ilk 10 yıldan sonra uygulanacak elektrik enerjisinin birim fiyatını öngörmek için; 2009-2019 yılları arasında uygulanan elektrik birim fiyatında meydana gelen yıllık ortalama %10'luk artış oranı göz önüne alınmıştır. Ayrıca bu bedele, Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketinin 31.05.2018-31.05.2019 tarihleri arasındaki YEKDEM elektrik enerjisi pozitif dengesizlik fiyat ortalaması (0,25 TL/kWh) da ilave edilmiştir. Böylelikle 11 inci ve 25 inci yıllar arasındaki birim fiyatlar bulunup üretim gelirleri hesaplanmıştır. Ayrıntılı fayda-maliyet çözümlemesi Tablo 7'te verilmiştir.

Tablo 7. Güncel kanun ve verilere göre 15 kWp gücündeki bir PV sisteminin fayda maliyet çözümlemesi

Yıl	Yıllık PV Panel Verimlilik Kaybı	Enerji Üretimi kWh/Yıl	Yıllık Elektrik Üretim Geliri (TL)	Yatırım Bedeli (TL)	Bakım Onarım Gideri (TL)	Beklenmeyen Gider TL (%1,5)	Makine ve Teçhizat Amortisman (%10)	Yatırımın Geri Dönüşü
1	0	18606	8765	-107686	Garanti Süresi	-1615,3	-5122	-105658
2	0,99	18420	9545				-5122	-101234
3	0,98	18234	10394				-5122	-95962
4	0,97	18048	11316				-5122	-89767
5	0,96	17862	12320				-5122	-82569
6	0,95	17676	13410		-512		-5122	-74793
7	0,94	17490	14596		-589		-5122	-65907
8	0,93	17304	15885		-677		-5122	-55821
9	0,92	17118	17286		-779		-5122	-44436
10	0,91	16931	18808		-896		-5122	-31646
11	0,9	16745	10858		-1030			-21817
12	0,89	16559	11811		-1185			-11191
13	0,88	16373	12847		-1362			294
14	0,87	16187	13971		-1567			12698
15	0,86	16001	15191		-1802			26087
16	0,85	15815	16516		-2072			40531
17	0,84	15629	17954		-2383			56102
18	0,83	15443	19514		-2740			72876
19	0,82	15257	21207		-3151			90931
20	0,81	15071	23043		-3624			110350
21	0,8	14885	25034		-4167			131217
22	0,79	14699	27194		-4793			153618
23	0,78	14513	29534		-5511			177641
24	0,77	14327	32071		-6338			203374
25	0,76	14141	34820		-7289			230905

5. Sonuç

Bu çalışmada; Düzce ilinde bulunan sondaj kuyularından su temini için, 15 kWp gücünde fotovoltaik güç sistemi tasarlanmıştır. Bunun için Düzce ili güneş enerji potansiyeli 4 farklı veri tabanı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Panel gücü kırsal bölgenin 30 yıllık su gereksinimleri belirlenerek yapılmıştır.

Tasarlanan GE sistemin üretim kestirimi yazındaki çalışmalardan farklı olarak; PVsyst programı, varolan GES verileri ve eğri uydurma (regresyon çözümlemesi) yöntemi ile yapılmıştır. Ay bazında üretim kestirimlerinde küçük farklar görülmektedir. Bu nedenle yaklaşık üretim kestirimi, bu verilerin ortalaması alınarak, 18604,24 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Fayda maliyet çözümlemesinde 09.05.2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı ile belirlenen güncel alım bedeli göz önüne alınmıştır. Kurulum ve bakım giderleri göz önüne alınarak yapılan fayda-maliyet çözümlemesinde, tesis yatırımının geri dönüş süresi 12 yıl olarak hesaplanmıştır. Her ne kadar Düzce ilimiz, Türkiye ortalamasının altında bir GE gizilgücü olsa da; sistemin kullanım ömrü göz önüne alındığında, Düzce ili su temini için GES kullanımın akılcı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın; ülkemizin kuzey bölgelerinde GE gizilgücünün yetersiz olduğu algısını kırması ve ülkemizin tüm bölgelerinde kurulabilecek diğer dalgıç pompa sistemlerinin planlanmasına örnek olması beklenmektedir.

Kaynaklar

[1] Cebeci, S., "Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim potansiyelinin değerlendirilmesi", Uzmanlık tezi, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, T.C. Kalkınma Bakanlığı, yayın no: 2977, Ankara, Türkiye, 2017.

[2] Türkiye Elektrik İletim A.Ş., "Kurulu güç raporu-ağustos 2019", (2019, 19 Eylül). [Online]. Erişim: https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-09/KURULU%20G%C3%9C%C3%87%20%C4%B0NTERNET%20%28A%C4%9EUSTOS%20AYI%20SONU%20%C4%B0T%C4%B0BAR%C4%B0%20%C4%B0LE%29.pdf

[3] Gençoğlu, E., "Güneş pili ile çalışan bir su pompa sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi", Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2015.

[4] Atmaca, M., Yusufoğlu, G. ve Kurtuluş, A. B., "Güneş enerjili sulamanın tarım sektöründe uygulaması", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* c. 3, sayı 2, ss. 142-153, 2014.

[5] Yılmaz, Ş., Uçan, K., Keten, M. ve Narin N., "Meyve bahçelerinin sulanmasında güneş enerjisinden yararlanma olanakları", *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 5, sayı özel, ss. 169-178, 2016.

[6] Yılmaz, Ş., Özçalık, H. R., Öter, A. ve Aydoğan, O., "Güneş enerjili tarımsal sulama sisteminin ekonomik analizi", *11. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi*, Samsun, Türkiye, 2014, c.2, ss. 1113-1119.

[7] Atay, Ü., Işıker, Y. ve Yeşilata, B., "Fotovoltaik güç destekli sulama sistemi projesi-1: Genel esaslar", *5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı,* Diyarbakır, Türkiye, 2009, ss. 57-62.

[8] Inman, R. H., Pedro, H. T. C. and Coimbra, C. F. M., "Solar forecasting methods for renewable energy integration", *Progress in Energy and Combustion Science,* vol. 39, no. 6, pp. 535-576, 2013.

[9] Antonanzas, J., Osorio, N., Escobar, R., Urraca, R., Martínez-de-Pison F. J. and Antonanzas-Torres, F., "Review of photovoltaic power forecasting", *Solar Energy,* vol. 136, pp. 78-111, 2016.

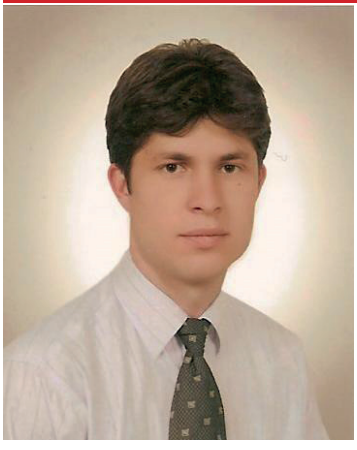
[10] Alfadda, A., Adhikari, R., Kuzlu, M. and Rahman, S., "Hour-ahead solar PV power forecasting using SVR based approach", *2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference,* Washington DC, USA, 2017, pp. 1-5.
[11] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2019, 19 Eylül). [Online]. Erişim: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik.
[12] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, (2019, September 19). [Online]. Available: https://www.energy-charts.de/energy_pie.htm?year=2018.
[13] European Commission Joint Research Centre. (2019, May 17). *Photovoltaic geographical information system (PVGIS).* [Online]. Available: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/.
[14] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2019, 17 Mayıs). *Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası.* [Online]. Erişim: http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx.
[15] Anonim. (2019, May 17). [Online]. Available: https://meteonorm.com/.
[16] Anonim. (2019, May 20). [Online]. Available: https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/.
[17] Anonim. (2019, May 20). [Online]. Available: https://solarfeeds.com/wiki/solar-energy-in-germany/.
[18] Castro C.D., Mediavilla M., Miguel L.J., Frechoso F., "Global solar electric potential: A review of their technical and sustainable limits", *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 28, pp. 824-835, 2013.
[19] Anonim. (2019, 11 Mayıs). [Online]. Erişim: https://liderlerenerji.com/solar-sulama-sistemleri.
[20] Anonim. (2019, 11 Mayıs). [Online]. Erişim: https://deryasolar.com.tr/urunler/tarimsal-sulama-sistemleri/
[21] Türkiye İstatistik Kurumu, (2019, 23 Eylül). *Kişi başı çekilen günlük su miktarı (litre/kişi-gün)-2016*. [Online]. Erişim: https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=121&locale=tr.
[22] Su Getirme Etüt ve Proje Bilgisi, Etüt ve Proje Dairesi Başkanlığı-T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2000, ss. 16-19.
[23] Sarıgül A., "Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği" Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
[24] Bektaş Ekici, B., Gülten, A., "Elazığ ili için şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin performans analizi", *2nd. International Sustainable Buildings Symposium*, Ankara, Türkiye, 2015, ss. 848-853.
[25] Sauer, K. J., Roessler, T. and Hansen, C. W., "Modeling the irradiance and temperature dependence of photovoltaic modules in PVsyst", *IEEE Journal of Photovoltaics,* vol. 5, no. 1, pp. 152-158, 2015.
[26] Yadav, P., Kumar, N. and Chandel, S. S., "Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst", *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication,* Chennai, India, 2015, pp. 358-363.
[27] Girgin, M. H., "Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi", Yüksek lisans tezi, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
[28] Schmid-Pekintaş Enerji, "Polikristal SPE 270 fotovoltaik paneli", (2019, 10 Mayıs). [Online]. Erişim: http://www.schmid-pekintas.com/poly.pdf.

Ali YILDIZ



Ali YILDIZ, 2005 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden lisans derecesini, 2019 yılında Düzce Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden yüksek lisans derecesini almıştır. Halen Düzce Üniversitesi Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde doktora programına devam etmektedir. 2005-2009 yıllarında Çanakkale Bayındırlık ve İskân Müdürlüğünde Mühendis, 2009-2014 yıllarında Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğünde Mühendis, 2014-2015 yıllarında Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda Atom Enerjisi Uzman Yardımcısı olarak görev yapmıştır. 2015 yılından itibaren Düzce İl Özel İdaresinde Yüksek Mühendis olarak görev yapmaktadır. Araştırma alanları arasında nükleer enerji, yenilenebilir enerji kaynakları, güç trafoları, elektrik makinaları ve enerji kalitesi bulunmaktadır.

Emin YILDIRIZ



Emin YILDIRIZ, 2004 yılında Gazi Üniversitesi Elektrik Elektrik Eğitimi Bölümünden ve 2014 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans derecelerini, 2008 yılında Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden yüksek lisans derecesini almıştır. 2014 yılında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Elektrik Makinaları Anabilim Dalından doktora derecesini almıştır. 2005-2014 yılları arasında Cumhuriyet Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2015 yılından beri Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları geleneksel ve sıradışı sürekli mıknatıslı senkron makine tasarımı, yenilenebilir enerji kaynakları, kablosuz güç aktarımı sistem tasarımı ve geliştirilmesi, Sezgisel elektromanyetik sistem geliştirme üzerinedir.