

TARIMSAL SULAMADA RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ

Mahmut POLAT¹, Tolga ARABACI², Adnan CENGİZ³

^{1,2,3} Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd., Eskişehir,

¹ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-4964-896>

²ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-9740-2978>

³ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-3221-8584>

Anahtar Kelimeler	Özet
Tarımsal Sulama Güneş Enerjisi Rüzgâr Enerjisi Fotovoltaik Sistemler Eskişehir	<i>Sera etkisi nedeniyle, iklim değişiklikleri gün geçtikte olumsuz etkilerini artan bir şekilde dünyamızda hissettirmeye başlamıştır. Dolayısıyla, fosil kaynaklı yakıt kullanımını azaltmak için güneş ve rüzgâr gibi temiz enerji ve kısıtlı olan su kaynaklarını tasarruflu kullanmak artık hayati bir değer taşımayı geçmiş durumdadır. Bu çalışmanın amacı, Eskişehir iklim şartlarında özellikle tarımsal sulamanın yapıldığı zaman periyodunda; güneş ve rüzgâr enerji sitemlerinin enerji üretim performanslarının ve sulama enerji etkinliklerinin araştırılmasıdır. Çalışmada sistemlerden elde edilen enerji kullanılarak sulama kuyularından çıkarılan su, 350 ton kapasiteli havuzda depolanmakta ve sulamanın gerektiği zamanlarda kullanılmaktadır. Projenin sonuçlarına göre, sistemlerin 1 kWe kurulu gücün üretmiş olduğu enerji; rüzgârda 974 kWh/kWe, güneşte ise 1.357,74 kWh/kWe olarak gerçekleşmiştir. Sistemlerin geri kazanım (kendini amorti) süresi, rüzgâr enerjisi sisteminde 12,5 yıl, PV güneş enerjisi sisteminde ise 7,1 yıl olarak hesaplanmıştır. Maliyet analizi açısından; sulama suyunun temininde alternatif enerji kaynakları olarak rüzgâr enerjisi, PV güneş enerjisine nazaran 1,87 kat daha pahalı olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak; gerek birim enerji maliyeti ve gerekse kurulum ve bakım kolaylığı yönünden PV güneş enerjisi sistemi daha avantajlı olarak öne çıkmıştır.</i>

INVESTIGATION OF USAGE OPPORTUNITIES OF WIND AND SOLAR ENERGY SYSTEMS IN AGRICULTURAL IRRIGATION: THE CASE OF ESKISEHIR

Keywords	Abstract
Agricultural Irrigation Solar Energy Wind Energy Photovoltaic Systems Eskisehir	<i>Due to the greenhouse effect, climate changes have begun to feel their negative effects on our world day by day. Therefore, to reduce the use of fossil fuels, using clean energy sources such as the sun and wind and the limited water resources economically has now passed as a vital value. This study aims to investigate the energy production performances and usage possibilities of solar and wind energy systems, especially in agricultural irrigation in Eskisehir climate conditions. In the project, the water extracted from the irrigation wells using the energy obtained from the systems is stored in the pool with a capacity of 350 tons and used when irrigation is required. According to the project results, the energy produced by the 1 kWe installed capacity of systems has been realized as 974 kWh/kWe of wind power and 1.357.74 kWh/kWe of PV solar systems. The system's self-payback period was calculated as 12,5 years for wind power and 7,1 years for solar PV systems. In terms of cost analysis, in the case of using wind and PV solar energy systems as alternative energy sources in the irrigation water supply, wind energy is obtained 1,87 times more expensive than PV solar energy. As a result, the PV solar energy system stood out as more advantageous in terms of unit energy cost, installation convenience, and maintenance.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 14.02.2023

: 04.11.2023

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 14.02.2023

: 04.11.2023

* Sorumlu yazar: polat.mahmut@tarimorman.gov.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1251171>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

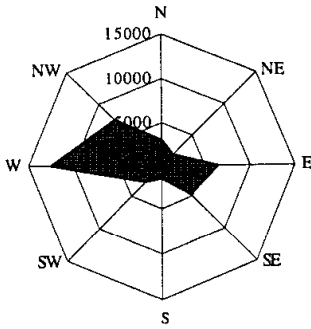
This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de etkilerini son zamanlarda etkin bir şekilde hissettiğimiz iklim değişiklikleri, tarımsal alanları da olumsuz yönde etkilemektedir. Düzensiz ve yetersiz yağış rejimlerine bağlı olarak, yerüstü sularının eksilmesi veya yetersiz olması nedenleriyle tarımsal sulamalarda yeraltı suyunun giderek etkin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu durumda gerekli suyun yeraltından çıkartılarak tarımsal sulamada kullanılması ve pompa başta olmak üzere tüm sulama sisteminin çalışması için enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerjinin yenilenebilir kaynaklardan temin edilmesi de ayrı bir öneme sahiptir.

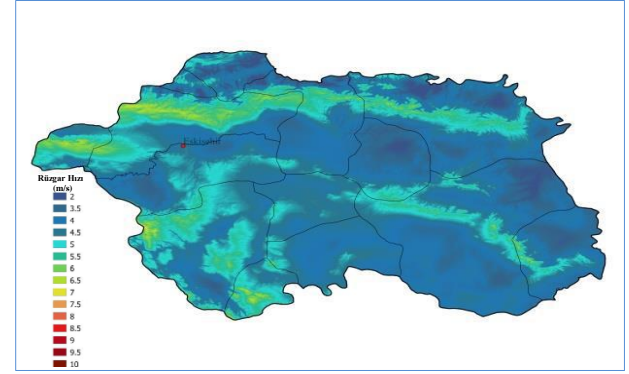
Türkiye’de tarımsal sulamada güneş ve rüzgar enerji sistemlerinin kullanılması ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmanın diğerlerinden farkı; iki sistemin aynı anda suyun depolanmasında ve sulama pompalarının enerji gereksinimlerinin temin edilmesinde kullanılmasıdır.

Eskişehir, İç Anadolu, Batı Karadeniz ve Akdeniz iklimlerinin etki alanı içinde olması nedeniyle, kendine özgü karasal (kontinental) iklime sahiptir. İklim yarı kurak, birinci dereceden mezotermal (orta sıcaklık olan iklimler), su fazlası olmayan yahut çok az olan şartlara sahiptir. Uzun yıllar iklim verilerine göre, Eskişehir’de hakim rüzgar sektörü batıdır. Batı rüzgarları diğer yönlerden esen rüzgarların yaklaşık %40’nı meydana getirir. Eskişehir’de yıllık esme sayısı ortalamalarına göre çizilen rüzgar gülü diyagramından da açık bir şekilde görülebilir (Şekil 1), (Yıldırım, Ü., 2004).



Şekil 1. Eskişehir İli Rüzgar Gülü Diyagramı

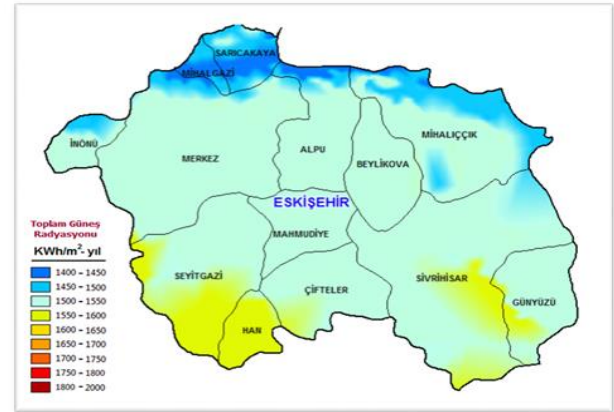
Eskişehir için rüzgar enerjisi potansiyeli yönünden (100 metre yükseklikte ölçülen ortalama değerler olmak üzere) rüzgar hızı 4,37 m/s, güç yoğunluğu 109,3 W/m² ve kapasite faktörü % 15,8 olarak belirlenmiştir (Şekil 2), (EİGM, 2023).



Şekil 2. Eskişehir İli Rüzgâr Enerjisi Kaynak Bilgileri (REPA)

Şekil 2’deki haritadan görüldüğü gibi Eskişehir, rüzgâr enerjisi potansiyeli yönünden kısmen iyi olmakla birlikte ortalama olarak düşük bir potansiyele sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Eskişehir için 1 m²’lik (yeryüzüne paralel) yüzeye gelen güneş enerjisi miktarı yıllık ortalama olarak 3,934 kWh/m² dir. Bu miktar güneşe doğru açı değiştiğçe artacaktır. Eskişehir İli Güneş (GEPA) enerjisi kaynak bilgileri Şekil 3’de verilmiştir (YEGEM, 2017).



Şekil 3. Eskişehir İli Güneş Enerjisi Kaynak Bilgileri (GEPA)

Şekil 3’deki haritadan Eskişehir, güneş radyasyonu yönünden ortalama 1400-1600 kWh/m² .yıl bandında bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

Eskişehir için rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, enerji üretimi amacıyla yönelik rüzgâr ve güneş enerjisi verileri bölgesel olarak detaylandırılmıştır.

Verilerin değerlendirilmesi sonucunda rüzgâr ve güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretiminin ekonomik olup olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmada hafif sınıfta kalan rüzgâr hızlarıyla, su pompalarını çalıştırmak ve ikinci derece güç üretimi uygun bulunmuştur (Yıldızay, Aras ve Yılmaz, 2014).

Kazdaloğlu, Ünlü ve Öztürk, (2013), çalışmalarında, orta büyüklükteki bir işletmenin enerji ihtiyacına alternatif olabilecek, güneş-rüzgar enerjisi kaynaklı bir hibrit sistem uygulamasını analiz etmişlerdir. Rüzgar türbini ve güneş paneli kullanılarak işletmenin yük eğrisine uyan bir üretim eğrisi veren bir sistem üzerinde çalışılmıştır. Hibrit sistem olarak önerilen şebekeye paralel olarak çalışan 132 kW'lık rüzgar türbini ve 25 kW'lık güneş paneli uygulaması işletmenin enerji ihtiyacı için uygun bir çözüm olarak önerilmiştir.

PV-Rüzgar enerjisi hibrit sistemden elde edilen enerji kullanılarak su pompalama amacıyla yapılan araştırmada, İzmir İli için batarya yedekli PV-RES hibrit enerji sisteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Tablo 1. Eskişehir İli Uzun Yıllar Meteorolojik Veriler

ESKİŞEHİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1991 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.1	1.6	5.3	9.9	14.9	18.9	21.9	21.9	17.5	12.1	5.8	1.7	11.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.0	7.0	12.0	17.0	22.3	26.5	29.8	30.0	26.0	20.2	12.7	6.1	17.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.0	-3.3	-0.8	2.9	7.2	11.0	13.7	13.6	9.2	5.0	0.0	-1.9	4.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.9	5.2	6.3	8.2	9.8	11.3	10.4	8.7	5.9	4.3	2.4	6.6
Ortalama Yağış Gün Sayısı	11.71	10.00	11.43	9.14	13.29	12.57	3.29	4.71	4.43	9.00	9.29	13.14	112.0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	44.63	29.49	30.46	32.43	39.66	63.11	15.53	16.36	14.01	25.14	24.09	30.06	365.0
Ölçüm Periyodu (1991 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.3	21.8	28.1	31.1	35.0	36.8	40.6	39.0	38.4	34.2	25.4	21.4	40.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-27.8	-28.6	-12.0	-10.4	-2.2	0.5	5.0	4.8	-2.0	-6.8	-12.2	-19.2	-28.6

Bu projenin esas amacı; Eskişehir iklim koşullarında özellikle tarımsal sulamanın yoğun olarak yapıldığı (Mayıs-Ekim) zaman periyodunda, 1 kWe kurulu güç esas olmak üzere, güneş (PV) ve rüzgâr enerjisi (rüzgâr türbininin) enerji üretim performansının belirlenmesi ve uygulamada çiftçi koşullarında kullanım imkânının araştırılmasıdır. Enerji üretme sistemleri ile sulama havuzu aynı yerdedir. Sulama havuzu tepelik (muhkem) bir noktada olup; Enstitü 'ye ait deneme ve üretim tarlaları, ortalama 32 m kot farkıyla 850 m mesafededir. Dolayısıyla havuzda biriken su, enerji harcamadan (kendi cazibesıyla) damla sulama sistemlerini besleyebilmektedir.

Bu çalışma; TAGEM Ar-Ge projesi olarak; TAGEM/TSKAD/14/A13/P08/03 proje numarasıyla Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (GKTAEM) tarafından 2014-2019 yılları arasında Eskişehir'de yürütülmüştür.

2. Materyal ve Yöntem

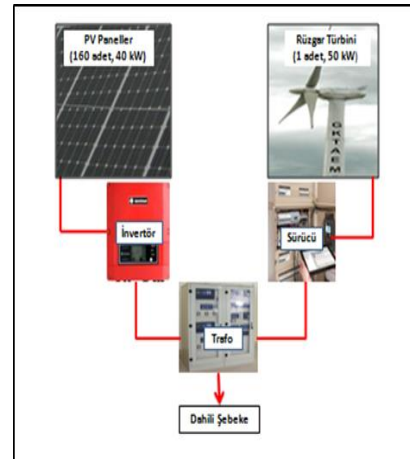
2.1. Materyal

Enerji üretme sistemlerinin kurulduğu noktaya ait koordinatlar: 39°46'00 57"K, 30°24'17 4"D boylamları olup yükselti ise 836 m'dir. Çalışmada, 50 kW nominal

PV-RES hibrit sistemiyle su pompalama için "MATLAB Simulink" programı yardımıyla yapılan simülasyon sonuçları verilmiştir. Günlük ortalama elektrik tüketimi 12,1 kWh olan ve en yüksek tüketimi 3,7 kW olan örnek ev otonom yük kabul edilmiştir. Çalışma sonucunda PV-RES hibrit sistemin elektrik üretme amacı için uygun çözüm olduğu anlaşılmıştır. Hibrit sistemde ayrıca invertör, şarj cihazı, dönüştürücü (convertor) ve kontrol ünitesi de mevcuttur. Yapılan simülasyonda iki sistem birlikte enerji üretmek su pompasını çalıştırdığı görülmüştür (Engin, 2004).

Eskişehir ili uzun yıllar (1991-2021) meteorolojik veriler Tablo 1'de verilmiştir (MGM, 2023).

güçte 1 adet rüzgâr türbini ve 40 kWe kurulu güçte güneş enerjisi (PV) sistemleri olmak üzere; toplam 90 kW kurulu güçte enerji üretme sistemi kullanılmıştır (Şekil 4), (Polat, Arabacı ve Cengiz, 2019).



Şekil 4. RES ve GES Ortak Sistem Şeması

Şekil 4'teki görselden görüleceği üzere, sistemlerden elde edilen elektrik enerjisi, ayrı hatlardan trafoya oradan da sulama kuyularına ve dahili şebekeye verilmektedir.

Rüzgar türbini, 50 kW nominal güçte ve 16 m çaplı rotora sahip, değişken hızlı pitch (yunuslama) ve yaw (sapma) kontrollü, 3 kanatlı bir yapıya sahiptir. Türbin çelik boru tipinde 1 adet kule, 1 adet gövde (nacelle), 1 adet pervane konisi (hub) ve 3 adet 7,35 m metre uzunluğunda kanattan oluşmaktadır. Kanat ve makine grubunu taşıyan kule 1 m çapında ve 22 m uzunluğundadır. Kule 5 parça olarak imal edilmiştir.

GES'te 160 adet 250 We nominal gücünde PV modül ve her biri 20 kW güce sahip 2 adet invertör kullanılmıştır. PV modüller, her sırada 40 adet olmak üzere 4 sıralı paneller şeklinde dizilmiştir.

2.1.1. Rüzgar Enerjisi Sistemi

Genel bir bilgi olarak, tipik bir rüzgâr türbinin çalışma prensibi kısaca şöyledir; rüzgârın kanatlarda uyguladığı baskı kanatlarda dönme hareketi meydana getirir. Dönme hareketi kanatların bağlı oldukları pervane konisi ve rotor flanşı vasıtasıyla rotora aktarılır. Rotorda oluşan hareket enerjisi ise sırasıyla dişli kutusu, kaplin, alternatör ve enerji çevrim ünitesi yardımıyla elektrik enerjisine dönüşerek güç panosuna, buradan da şebekeye iletilmektedir.

Çalışmada kullanılan rüzgâr türbini, 3-20 m/s rüzgâr hızı aralığında çalışabilmektedir. Kanat açıları, rüzgâr hızına göre en verimli olduğu (maksimum) güç ürettiği açı 0° ve durma noktası konumuna yaklaşık 90° gelmektedir. Kanatlar ile alternatör devirleri arasındaki senkronizasyon, düşük devir ve yüksek devir saftları üzerinde bulunan devir sensörleri vasıtası ile sağlanır. Kanatlar aktif pitch sistemi sayesinde aerodinamik fren yapma imkânına da sahiptir. Pitch pinyon dişlisi, her 3 kanadın da açısını senkronize bir şekilde 90° ye çıkarıp kanatların rüzgârı dik almasını sağlayarak aerodinamik frenleme imkânı tanır.

Türbin gövde dönüş kontrol (yaw) sistemi, türbinin rüzgâra emniyetli bir şekilde yönelmesini sağlayacak dişli sistemi ve frenleri ile donatılmıştır. Pervane konisi gövdesi çelik konstrüksiyondan imal edilmiştir. Pervane konisinin burun kısmı açılabilir kapağa sahiptir.

Türbinin genel teknik özellikleri Tablo 2, rotor teknik özellikleri Tablo 3 ve türbin operasyon verileri, rotor, alternatör ve teorik güç eğrisi özellikleri Şekil 5'te verilmiştir (Northel, 2013).

Tablo 2. Rüzgar Türbininin Genel Teknik Özellikleri

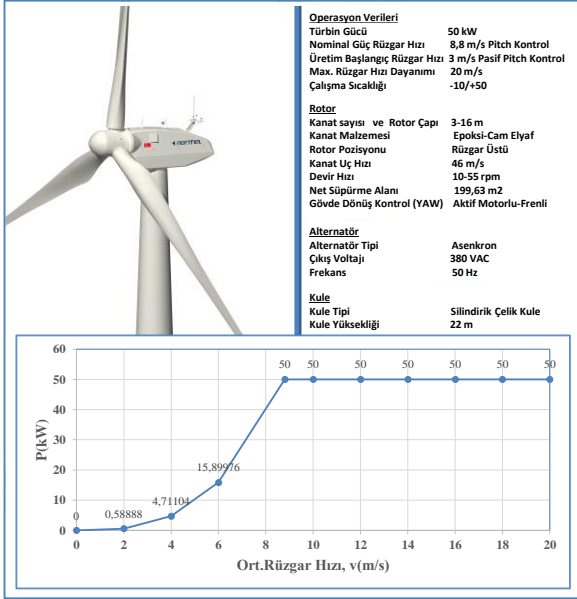
Rotor Çapı ve Kanat Sayısı	16 m-3
Devreye Girme-Çıkma Hızı	3-20 m/s
Anma Gücü Çıkışı(AG)	50 kW
Çalışma Ortam Sıcaklığı	-20 °C /+50 °C
Kule Tipi	Boru Tipli Çelik Kule
Göbek Mer. Yerden Yüksekliği	22,7 m
Ort. Pervane Devir Sayısı	53,5 d/d
Fren Sistemi	Pnömatik Tahrikli Fren
Alternatör/Dönüştürücü Tipi	Asenkron / Yoktur
Jeneratör Özellikleri	50 kW-1500 d/d-380 V 50 Hz-Asenkron

Tablo 2'de teknik özellikleri verilen türbinde, asenkron alternatör kullanıldığı için sistemde dönüştürücü bulunmamaktadır. Asenkron jeneratör, 50 kW gücünde ve 1500 d/d devir sayısına sahiptir.

Tablo 3. Rotor Teknik Özellikleri

Kanatların Süpürdüğü Net Alan	199,63 m ²
Rotor Hız Aralığı	52-55 m/s
Kanat Uçlarındaki Max. Hız	46 m/s
Hız Regülasyonu	Dişli Sistemi
Aerodinamik Fren	Pitch Kontrol ile Kanat Açısı Kontrolü
Koni Açısı /Rotor Eksen Eğim	0°/3°
Kanat Uzunluğu	7,35 m
Kanat Açısı Kontrolü (PITCH)	Dişli Sistem Tek Motor Tahrikli
Ana Dişli Kutusu Anma Gücü	59,5 kW
Dişli Kutusu Tipi/ Yağlama Sistemi	2 Kademeli Planet Sistem/Aktif Elektrikli Yağlama

Tablo 3'te pervanenin maksimum devrinde kanat uçlarındaki hız 46 m/s'dir. Sistem üzerinde fren diski, basınç şalteri, fren pompası ve pistonu bulunmaktadır. Rotor mili devri 54,8 d/d'nin üzerine çıktığı anda, öncelikle kanatlar pitch kontrol yaparak devri düşürmeye çalışacaktır.



Şekil 5. Türbin Kule ve Kanat Geometrisi, Operasyon Verileri ve Teorik Güç Eğrisi Özellikleri (Northel, 2013).

Şekil 5'te türbinin enerji üretimi başlangıç rüzgar hızı 3 m/s, nominal rüzgar hızı ise yaklaşık 8,8 m/s dir. Türbin, bu değer üzerindeki tüm hızlarda en fazla teorik güç (50 kW) değeri kadar enerji üretebilecek ve bu durum rüzgar hızı 20 m/s oluncaya kadar sabit olarak devam edecektir.

Türbinin üreteceği enerji, rüzgar hızının küpü " v^3 " ile orantılı olarak artar. Rüzgar hızı yaklaşık olarak 8,8 m/s'ye ulaştığında türbinin zarar görmemesi için frenleme sistemi (APS, Aktif Pitch Sistemi) devreye girerek kanat açılarını değiştirmek suretiyle aerodinamik kuvveti azaltacak ve sistemi koruyacaktır. APS sayesinde enerji üretimi rüzgar hızı 20 m/s değerine ulaşıncaya kadar devam edecek ve bu değer üzerine çıktığında ise rotor devre dışı bırakılarak türbinin emniyeti sağlanacaktır.

GES ve RES sistemlerinin kurulduğu yer, tepe ve kayalık bir alan olduğundan, ilk olarak zemindeki kayalar temizlenerek alanın kaba tesviyesi, sonra da rüzgâr türbininin kurulacağı alanda temel kazısı ve beton işlemleri yapılmıştır. Akabinde de kule ve türbin kurulum çalışmaları yapılmıştır (Şekil 6-9), (Polat, Arabacı ve Cengiz, 2019).



Şekil 6. Zemin Kazı Çalışmaları Gösterimi



Şekil 7. Betonlama Çalışmaları Gösterimi

Şekil 6 ve 7'deki zemin kazı, temel ve betonlama çalışmalarında, türbinin devrilme momenti de dikkate alınarak statik ve betonarme projelerine göre yapılmıştır.



Şekil 8. Kule Montajı Çalışmaları Gösterimi



Şekil 9. Türbin Göbeği (Hub) Montaj Gösterimi

Şekil 8 ve 9'daki kule montajı görsellerinde, servis, bakım ve onarım gibi hizmetler için kulenin içerisinde bir insanın rahatlıkla çıkabileceği bir servis merdiveni mevcuttur. Kule bir bütün olarak vinç yardımıyla kolayca indirilebilecek mafsallı ve kollu bir sistemle donatılmıştır.

2.1.2. Güneş Enerjisi Sistemi

GES; temel ve zemin inşaatı, PV modüller, evirici (invertör) üniteleri, kumanda panoları, panel taşıyıcı konstrüksiyonu, kablolar ve kablolama işleri, koruma, şalt malzemeleri, röleler, sayaçlar, veri kayıt ve uzaktan izleme sistemi ve enerji iletim sistemi temel sistem bileşenlerinden meydana gelmiştir.

PV panel sistem kurulumunda ilk olarak zemin düzeltme ve temel betonu inşaatı gerçekleştirilmiştir. Sonra panel taşıyıcı konstrüksiyon temele civatalarla bağlanarak sabitlenmiştir (Şekil 10), (Polat, Arabacı ve Cengiz, 2019).



Şekil 10. PV Panel Taşıyıcı Konstrüksiyon Kurulumu
Şekil 10'deki görselde görüldüğü gibi; PV paneller sabit (38°) eğimli, yerden 30 cm yükseklikte monte edilmiştir.

Panel sıraları arası mesafe 3 m olup her panel sırasında toplam 26 adet ayak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan PV modül ve invertörlere ait teknik özellikler Tablo 4 ve 5'te verilmiştir.

Tablo 4. PV Modül Teknik Özellikleri

Tüm teknik veriler Standart Test Koşulları olan 1000 W/m ² 'ya göre hazırlanmıştır	
Model	LCS Solarstrom AG-M255-JA/SI
Boyut	1650x991x40mm
Ağırlık	19,5 kg
Hücre Sayısı	60 (Monokristal)
Mak. Güçte Voltaj	31,16 V
Mak. Güçte Akım	8,18 A
$P_{max} (P_{max}=V_{max} \times A_{max})$	255 Wp -0/+5 Wp
Kısa Devre Akımı	8,64 A
Devre Açılış Voltajı	38,10 V
Sistem Max. Voltajı	1000 V
Sigorta Değeri	15 A
Modül Uygulaması	A Sınıfı
NOCT	+45°C ± 2°C
Ölçüm Toleransı	± %3

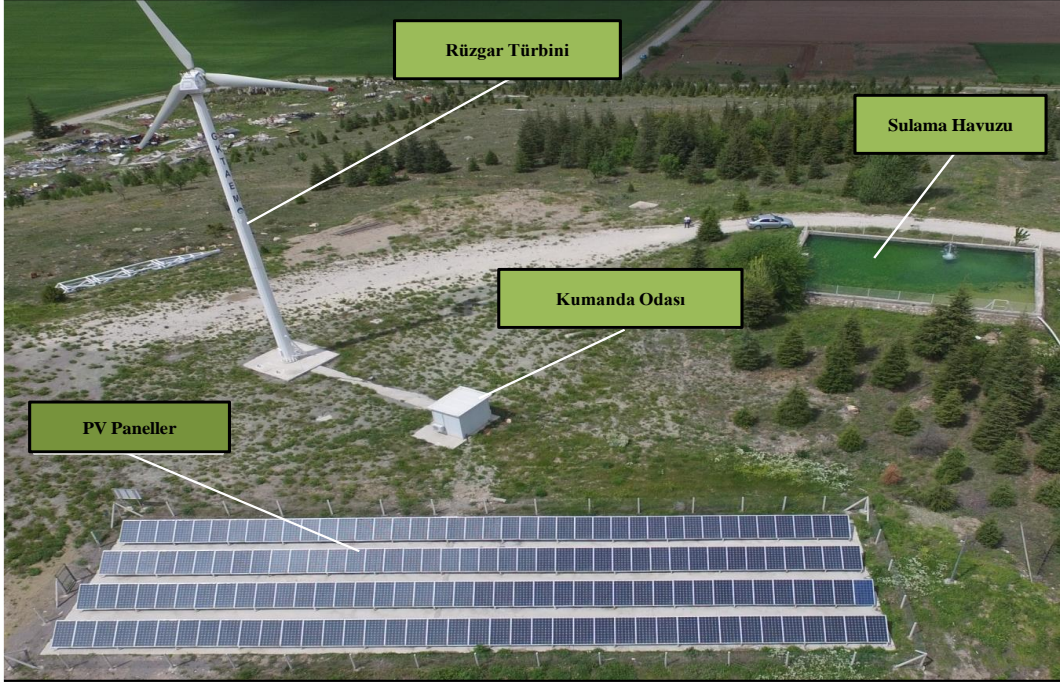
Tablo 4'te görüldüğü gibi; maksimum güçte volataj ve akım 31,16 V ve 8,18 A'dir. Buradan da maksimum güç 255 W olarak hesaplanabilir.

Tablo 5. İvertör Teknik Özellikleri

DC (Doğu Akım)-Giriş	
MODEL NO. : INFPV 1000	
Maksimum Giriş Voltaj	1000 V
Min. MPP Voltaj	370 V
Maksimum MPP ¹ Voltaj	850 V
Maksimum Giriş Akımı	2x14,3 A
AC (Alternatif Akım)-Çıkış	
Nominal Çıkış-Voltaj-Frekans	3/N/PE-230V-50 Hz
Nominal Çıkış Gücü	20 kW
Maksimum Çıkış Akımı	3x17 A
Nominal Çıkış Akımı	3x14,49 A
Max. Dayanım Gücü (S_{Emax})	22 kW
Çevirme	IP 65
Uyum	VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105

Tablo 5'te, invertörler, DC ve AC akım seçeneklerinde maksimum 22 kW dayanım güçlerine sahiptir.

Kurulumu gerçekleştiren rüzgar-güneş enerji sistemine ait 1 adet kumanda odası mevcuttur. Kumanda odasında kumanda ve güç panoları, invertörler, data logger cihazı ve USB bağlantılı cihazlar vardır. Sistemin kurulumu gerçekleştirildikten sonra araştırma çalışmalarına başlanmıştır (Şekil 11), (Polat, Arabacı ve Cengiz, 2019).



Şekil 11. Rüzgâr-Güneş (PV) Enerji Üretim ve Sulama Suyu Depolama Sistemi

2.2. Yöntem

2.1. Ölçüm ve Hesaplama

Rüzgâr türbininde rüzgâr hızını ölçen anemometre ve rüzgâr yönünü ölçen rüzgâr yön sensörleri bulunmaktadır. Her iki cihazdan gelen bilgiler PLC (programlanabilir mantık denetleyicisi) sistem yazılımı sayesinde optimum rotor hızını elde etmek için kanat pitch açıları otomatik olarak ayarlamak için kullanılmaktadır. Bu ayarlama, pervane konisi içinde bulunan elektrik motoru ve dişli sistemi vasıtasıyla yapılmaktadır. Sistem kanat açılarını değiştirerek hız kontrolü sağlama yanında aerodinamik fren işlevi de görür. Aerodinamik fren olarak kullanma kanat açılarının 90° ye getirilmesi ile sağlanır. Rüzgâra dik konumda kalan kanat dönme kabiliyetini yitireceğinden dolayı fren görevi görmüş olur.

Her sistem üzerinde veri ölçme ve kaydetme cihazları mevcuttur. İnternet üzerinden de izlenebilen uygulama sayesinde istenilen verileri grafik veya tablo olarak elde etmek ve sistemlerin çalışma durumlarını takip etmek mümkündür. Elde edilen veriler, araştırmaya esas olarak, bitkilerin vejetasyon süreleri gereği aylık olarak değerlendirilmiştir.

Sistemlerden elde edilen enerji, sayaç üzerinden trafoya gelmektedir. Trafoya gelen enerji kullanım durumuna göre sulamada ve sulamanın olmadığı durumlarda da şebekeye verilmektedir. Sistemlerin ürettiği enerji

enerjiyle beslenen ve sulama havuzunun yanında bulunan derin kuyudaki dalgıç tipi pompanın bastığı su havuzu doldurmakta ve bu su tarımsal sulamada kullanılmaktadır.

Herhangi bir rüzgâr türbininin üretebileceği maksimum (teorik) güç;

$$P_{teo} = \frac{1}{2} * \rho_{rüz} * A_{rnet} * C_p * v_{rüz}^3 \quad (1)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanabilir (Kıncay, O., Yumurtacı, Z., Bekiroğlu, N. (2018).

Burada P_{teo} ; türbin teorik gücü [W], $\rho_{rüz}$; Rüzgâr (hava) yoğunluğu [kg/m^3], A_{rnet} ; rotor net süpürme alanı) $v_{rüz}$; rüzgâr ortalama hızı [m/s], C_p ; güç katsayısı [%].

Kullanılan türbinin rotor net süpürme alanı, A_{rnet} ;

$$A_{rnet} = \frac{\pi(D_{rot}^2 - d_g^2)}{4} \quad (2)$$

eşitliği yardımıyla bulunabilir.

Burada D_{rot} ; rotor çapı [m], d_g ; kanat göbek çapı [m].

Herhangi bir enerji santralinin enerji üretim verimi veya gerçek kapasite faktörü (KF), santralin bir yılda ürettiği gerçek enerji miktarının, santralin tam kapasitede (teorik) üretebileceği enerji miktarına oranı şeklinde ifade edilebilir. Enerji verimli açısından kapasite faktörünün yüksek olması arzu edilir.

Rüzgâr türbininde kapasite faktörü KF, türbinin mevcut rüzgâr hızı değerleriyle bir yılda üretebileceği enerji

miktarının, türbinin tam güçteyken (teorik) üretebileceği enerji miktarına oranıdır.

Rüzgar türbini için KF;

$$KF = \frac{E_{ger}}{E_{teo}} = \frac{E_{ger}}{P_{teo} * 8760} \quad (3)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

Burada; KF; kapasite faktörü [%], E_{ger} ; türbinin ürettiği yıllık elektrik enerji miktarı [kWh], E_{teo} ; türbinin üretebileceği yıllık maksimum (teorik) elektrik enerji miktarı [kWh], P_{teo} ; türbinin teorik (nominal) gücü [kW].

Rüzgar türbini tarafından üretilebilecek teorik enerji miktarı E_{teo} ; 1 yıl (8.760 saat), 50 kW kurulu güç ve %28 türbin verimi esas olmak üzere; 122.640 kWh olarak hesaplanır.

Çalışmada kullanılan rüzgar türbini verimi %28 olarak alınmıştır (Nortel, 2013; Yücel M., Özder S., 2018).

Bu veriler doğrultusunda rüzgar türbini için KF;

$$KF_{RES} = \frac{E_{RESg}}{122640} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir.

Benzer şekilde GES'te kapasite faktörü, santralin 1 yılda (mevcut güneşlenme şartlarında) ürettiği enerjinin tam kapasitede üretebileceği enerjiye oranı olarak tanımlanır.

PV sistemi için için E_{teo} ; 365 gün, 40 kW nominal güç, Eskişehir için yıllık ortalama güneşlenme süresi (6,5 saat/gün) dikkate alındığında; 94.900 kWh olarak hesaplanır.

Bu veriler doğrultusunda Eşitlik (4), GES için tekrar düzenlenirse;

$$KF_{GES} = \frac{E_{ger}}{E_{teo}} = \frac{E_{GESg}}{94900} \quad (5)$$

olarak bir ifade ortaya çıkar.

2.2. Sistemlerin Maliyet Hesabı

Çalışmada "Sabit Yıllık Sermaye Masrafı Metodu" kullanılmıştır (Kıncay, O., Yumurtacı, Z., Bekiroğlu, N., 2018).

Bu metotta kullanılan eşitlikler:

1. İlk Yatırım Maliyeti (I_d):

$$I_d = C_s * N_e \quad (6)$$

Burada I_d ; ilk yatırım maliyeti [TL,\$], C_s ; birim tesis bedeli [TL,\$/kW], N_e ; baz alınan güç, [kW_e].

2. Eskalasyon (Fiyat Farkı) Yükü ($Y_e(t)$):

$$Y_e(t) = Y(t) * (1 + e)^{t_{ins}} \quad (7)$$

Burada $Y_e(t)$; inşaat süresince eskalasyon yükü [TL,\$], $Y(t)$; yatırım tutarı [TL,\$], e ; eskalasyon yükü [%6], t_{ins} ; inşaat süresi [yıl].

3. İnşaat Süresince Faiz Yükü ($T(t)$):

$$T(t) = Y_e(t) * [(1 + i)^{t_{ins}}] \quad (8)$$

Burada $T(t)$; inşaat süresince faiz yükü [TL,\$], $Y(t)$; yatırım tutarı [TL,\$], e ; eskalasyon yükü [%6].

4. Sabit Yıllık Sermaye Masrafı (C_k):

$$C_k = I_k * \left[\frac{f * (1 + f)^t}{(1 + f)^t - 1} \right] \quad (9)$$

Burada C_k ; sabit sermaye masrafı [TL,\$], I_k ; eskalasyon ve faiz yükleri de dahil olmak üzere inşaatın bitiminde toplam yatırım bedeli [TL,\$], f ; yıllık faiz oranı [%], t ; santral ömrü [yıl].

5. Yıllık Üretilen Enerji Miktarı (E):

$$E = 24 * 365 * N_e * L_f \quad (10)$$

Burada E ; yıllık üretilen enerji miktarı [kWh], N_e ; baz alınan güç [kW], L_f ; yük faktörü.

6. Birim Yatırım Maliyeti (g_k):

$$g_k = \frac{C_k}{E} \quad (11)$$

Burada g_k ; birim yatırım maliyeti [TL,\$/kWh].

7. Birim İşletme ve Bakım Maliyeti (g_m):

Toplam yıllık işletme ve bakım maliyeti, başlangıç maliyetinin %2'i olup şu şekilde hesaplanır:

$$C_m = I_d * 0,02 \quad (12)$$

$$g_m = \frac{C_m}{E} \quad (13)$$

Burada C_m ; toplam yıllık bakım ve işletme masrafı [\$], g_m ; birim işletme ve maliyeti [\$/kWh].

8. Birim Elektrik Enerji Maliyeti (g):

$$g = \frac{C_k + C_m}{E} = \frac{C_T}{E} \quad (14)$$

Burada g ; birim elektrik enerji maliyeti [\$/kWh].

9. Sistemlerin Geri Kazanım Süresinin Belirlenmesi (GÖS):

Paranın zaman değerini hesaba katan aşağıdaki genel ifadedden yararlanılmıştır (Finansal Analiz, 2016).

$$I = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{(1+i)^i} \quad (15)$$

Burada I ; yatırım tutarı [TL], A_i ; t zamandaki getiri [TL], önceden saptanmış iskonto haddi [%].

Sistemin geri kazanım (geri dönüş, geri ödeme, amorti) süresi GÖS (Geri Ödeme Süresi, 2016);

$$GÖS = \frac{I_d}{G_{sy}} \quad (16)$$

Burada GÖS; sistemin geri dönüş süresi [yıl], I_d ; sistemin ilk yatırım maliyeti [TL,\$], G_{sy} ; sistemden yıllık olarak elde edilen gelir (elde edilen enerjinin kWh cinsinden ilk yatırım tarihindeki birim fiyat üzerinden değeri), [TL,\$].

Üretilen enerjinin yıllık getirisi ise aşağıdaki eşitlik yardımı ile bulunur.

$$G_{sy} = E_{sger} * ebf \quad (17)$$

Burada E_{sger} ; sistemin üretmiş olduğu yıllık (gerçek) enerji miktarı [kWh/yıl], ebf ; elektriğin birim fiyatı [TL/kWh].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sistemlerin Elektrik Üretim Performansı

Proje sonunda 3 yıllık verilerin ortalaması olarak GES'ten 54.310 kWh, RES'ten ise 48.700 kWh enerji elde edilmiştir. Sistemlerin enerji üretim performansı şu şekilde hesaplanabilir;

$$r_s = \frac{E_{sger}}{P_{teo}} \quad (18)$$

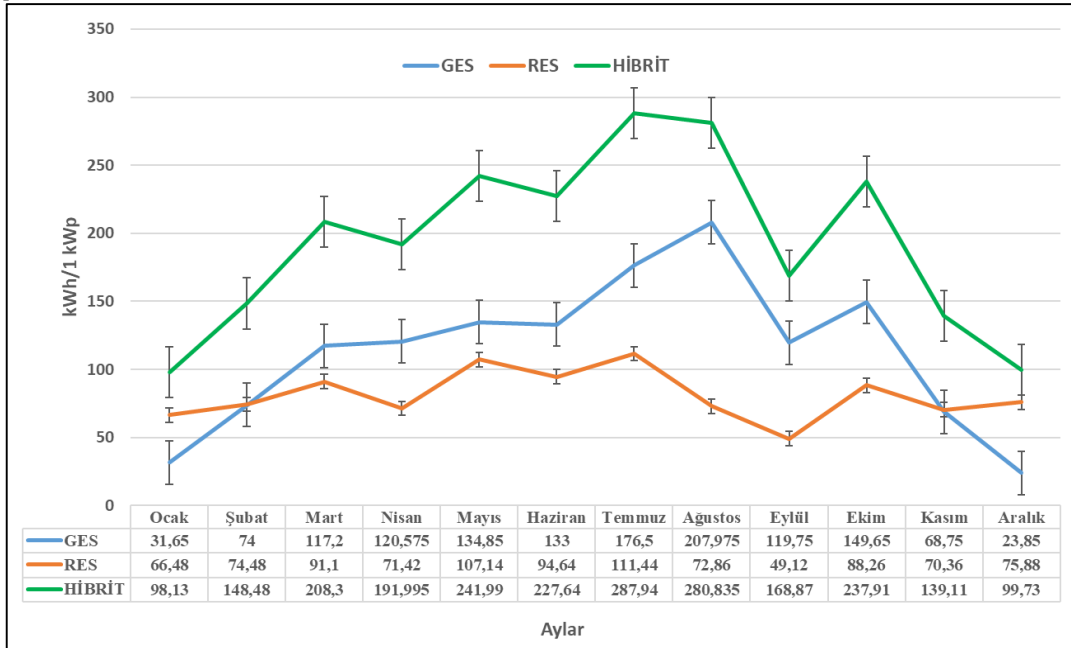
Burada r_s ; sistemin elektrik enerji üretim performansı [kWh/kWp], E_s ; sistemden yıllık üretilen (gerçek) enerji miktarı [kWh], P_{teo} ; Sistemin kurulu (teorik) gücü [kWp].

Eşitlik (18)'de P_{teo} , GES için 40, RES için ise 50 kW olarak alındığında, sistemlerin enerji üretim performansı; GES için; 1.357,342 kWh/kWp, RES için; 974 kWh/kWp olarak hesaplanır.

Aylar itibarıyla enerji üretim performansları Şekil 12'de verilen grafikte daha net olarak görülmektedir.

Şekil 12'de sulama sezonu boyunca sistemlerden elde edilen toplam elektrik enerjisinin, Enstitü 'ye ait sulama kuyuları için gerekli olan elektrik enerjisinin yaklaşık olarak %50'sini karşıladığı tespit edilmiştir.

Proje süresince rüzgâr türbininin kurulduğu (GKTAEM) yerde (25 m yükseklikte) rüzgâr hızı ölçümleri yapılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 12. Aylar itibarıyla sistemlerin enerji üretim performansları (kWh/1 kWp).

Tablo 5. Proje Süresince Ölçümü Yapılan Rüzgâr Hızı Aylık Ortalama Değerleri

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ort.
Rüzgâr Hızı (m/s)													
	4,27	4,59	4,70	4,59	4,17	4,81	4,91	4,49	3,31	3,31	3,52	4,59	4,27

Tablo 5'ten projenin sürdüğü 3 yılın aylık ortalamaları görülmektedir. Rüzgâr hızı yıllık ortalama olarak 4,27 m/s olarak gerçekleşmiştir.

EİGM (2023) verilerine göre; Eskişehir İli uzun yıllar yıllık rüzgâr hızı ortalaması 4,37 m/s olarak verilmiştir.

3.2. Sistemlerin Enerji Üretim Verimleri (KF)

Eşitlik (4) yardımıyla RES için kapasite faktörü KF, 0,397 ve eşitlik (5) yardımıyla da GES için KF, 0,572 olarak hesaplanmıştır.

Tipik bir rüzgâr türbinin kapasite faktörü; rüzgâr türbininin kurulduğu yerin rüzgâr kapasitesine bağlı olarak %20 ile %35 arasında değişir. Türkiye için rüzgâr türbinlerinin kapasite faktörünün %25 ve üzerinde olması yatırım için uygun görülmektedir (YEGM, 2017).

Çalışmada kullanılan rüzgâr türbininin enerji üretim veriminin yaklaşık %40 olarak çıkması enerji verimliliği açısından iyi bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

Aynı yorumu GES için de yapmak mümkündür.

3.3. RES Maliyet Analizi

Maliyet analizlerinde Mart 2013 tarihi itibarıyla elektriğin birim fiyatı; güncel olan EPDK tarifesine göre, tek zamanlı mesken tarife kullanan aboneler için

elektrik kWh fiyatı, tüm bedeller, fonlar ve vergiler dâhil 0,32 TL olarak baz alınmıştır (Gazete Elektrik, 2016).

RES le ilgili maliyet verileri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. RES Maliyet Analiz Verileri

Faiz Oranı (f)	0,05
Santral Ömrü (l)	20 Yıl
Yük Faktörü (L_f)	0,3
Baz Alınan (N_e)	50 kW
Birim Tesis Bedeli (C_s)	2 500 \$/kW _e
Eskalasyon Oranı (e)	0,06
İnşaat (Kurulum süresi) (t)	0,5 Yıl

Maliyet analizi ile ilgili yukarıda verilen (6-17) nolu eşitlikler kullanılarak; Birim Elektrik Maliyeti (g): 28 cent\$/kWh olarak hesaplanmıştır.

GÖS, RES için 12,5 yıl olarak gerçekleşmiştir.

3.4. GES Maliyet Analizi:

GES le ilgili maliyet verileri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. GES Maliyet Verileri

Faiz Oranı (f)	0,05
Santral Ömrü (l)	20 Yıl
Yük Faktörü (L_f)	0,4
Baz Alınan (N_e)	40 kW
Birim Tesis Bedeli (C_s)	2 000 \$/kW _e
Eskalasyon Oranı (e)	0,06
İnşaat (Kurulum süresi) (t)	3 ay (0,25 yıl)

Maliyet analizi ile ilgili yukarıda verilen (6-17) nolu eşitlikler kullanılarak; Birim Elektrik Maliyeti (g): 15 cent\$/kWh olarak hesaplanmıştır.

GÖS; GES için 7,1 yıl olarak gerçekleşmiştir.

Sistemlerin 6 aylık sulama sezonu (Mayıs-Ekim) boyunca 1 kW_e kurulu güçlerinin enerji üretim performansı karşılaştırıldığında GES'in RES'e göre 1,761 kat daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır.

Maliyet analizi açısından sulama suyunun temininde rüzgâr enerjisi, güneş enerjisine nazaran 1,87 kat daha pahalı olarak elde edilmiştir. Buradaki farkın yüksek olması, projenin başladığı yıl (2014) itibarıyla rüzgâr türbininin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasından kaynaklanmıştır.

Sistemlerden elde edilen enerji sürekli olarak (7/24) sulama suyunun temininde kullanılmıştır. Dolayısıyla kuyulardan çıkarılan suyun, 350 ton kapasiteli havuzda depo edilerek gerekli zamanlarda kullanılması sağlanmıştır.

Tarımsal sulamada YEK'dan faydalanarak kendi enerjisini üreten ve bu enerjiyi suyun kuyulardan çıkarılması, depolanması ve sulamanın yapılması için kullanan bu tür sulama suyu depolama sistemleri; "Proje Sonuç Raporun" da tarımsal sulamalar için bir model olarak önerilmiştir.

Proje süresince, sistemlerin kurulum, montaj, de-montaj, bakım, onarım ve servis kolaylığı açısından GES daha avantajlı olarak öne çıkmıştır.

Çiftçilerin tarımsal sulama amaçlı olarak RES ve GES sistemlerini tercih ederken, yukarıda açıklanan bütün

hususları ve kendi uygulama şartlarını da göz önünde bulundurmaları gerekir.

4. Sonuç

Çalışmayla elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

4.1. RES ile İlgili Sonuçlar

1. RES'te enerji üretim verimliliği (KF) %40 olarak gerçekleşmiştir.
2. 50 kW kurulu güce sahip RES'ten yıllık ortalama 48.700 kWh enerji elde edilmiştir.
3. Sistemin 1 kWe kurulu gücünün üretmiş olduğu enerji; 974 kWh/kWe, olarak hesaplanmıştır.
4. Rüzgâr türbinini bulunduğu yerin 3 yıllık ortalama rüzgâr hızı (25 metrede) 4,27 m/sn. olarak ölçülmüştür.
5. Birim enerji üretim maliyeti 28 cent/ kWh olarak gerçekleşmiştir.
6. Sistemin geri kazanım (geri dönüş) süresi 12,5 yıl olarak hesaplanmıştır.
7. Uygulamada türbinin rotor kısmında meydana gelen arızaların giderilmesi için rotorun özel (büyük kapasiteli) bir vinçle indirilmesi, tamir atölyesine gönderilmesi, tamir edilmesi ve tekrar geri getirilerek yerine monte edilmesi zaman ve maliyet açısından bir yük getirmiştir.

4.2. GES ile İlgili Sonuçlar

1. RES'te enerji üretim verimliliği (KF) %40 olarak gerçekleşmiştir.
2. 40 kW kurulu güce sahip GES'ten yıllık ortalama 54.309,7 kWh enerji elde edilmiştir.
3. Sistemin 1 kWe kurulu gücünün üretmiş olduğu enerji 1.357,34 kWh/kWe olarak hesaplanmıştır.
4. GES'te birim enerji üretim maliyeti 15 cent/ kWh olarak gerçekleşmiştir.
5. Sistemin geri kazanım (geri dönüş) süresi 7,1 yıl olarak gerçekleşmiştir.
6. Güneş Enerjisi Sistemi'nin anlık şebeke gücü olarak en düşük değer 9.079 W, en büyük değer ise 38.720 W olarak ölçülmüştür.
7. Kaydedilen anlık şebeke gücü açısından en yüksek değerler Mart ve Nisan, en düşük değerler ise Aralık ve Ocak aylarında ölçülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma, TAGEM Ar-Ge projesi olarak; TAGEM/TSKAD/14/A13/P08/03 proje numarasıyla Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (GKTAEM) tarafından 2014-2019 yılları arasında Eskişehir'de yürütülmüştür.

Desteklerinden dolayı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM)'e ve Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (GTAEM)'e teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada; proje lideri olarak Mahmut POLAT, projenin hazırlanması, Enstitü ve Bakanlık Araştırma Komitelerine sunulması, projenin uygulanması, elde edilen verilerin işlenmesi, değerlendirilmesi ve "Proje Sonuç Raporu" nun hazırlanması ile ilgili görevleri yapmıştır. Tolga ARABACI, yardımcı araştırmacı olarak; literatür araştırması, proje süresince sistemlerin özellikle elektriksel arızalar yönünden takip ve kontrol edilmesi, verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesi görevlerini yapmıştır. Adnan CENGİZ, projenin tarımsal sulama ile ilgili çalışmaları yapma ve verilerin değerlendirilmesi çalışmalarına katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

** Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.*

Kaynaklar

Engin, M. (2004). Güneş-Rüzgâr Hibrit enerji ile su pompalama. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. ISSN 1018-8551, 41(3):155-164.

EİGM, (2023). Eskişehir rüzgar enerjisi potansiyeli. Erişim adresi: <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/ESKISEHIR-REPA.pdf>.

Finansal Analiz, (2016). Erişim adresi: <https://finansal analiz/s-s-s/geri odeme suresi>

Gazete Elektrik, (2016). Erişim adresi: <https://gazelektrik.com/s-s-s/epdk-elektrik-tarifeleri>.

Geri Ödeme Süresi, (2014). AÜ ders notları. Erişim adresi:

https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/101488/mod_resource/content/0/12%20Geri%20%C3%96deme%20S%C3%BCresi.pdf.

Kazdaloğlu, A. ve ark., (2013), Orta büyüklükteki bir İşletme için güneş-rüzgar hibrit enerji santrali uygulaması. Erişim adresi:
<http://www.emo.org.tr/ekler/>.

Kıncay, O., Yumurtacı, Z., Bekiroğlu, N. (2018). YTE ders notları. Erişim Adresi:
<http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/yen.html>.

Koç, E., Şenel, M.C., (2012). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu -genel değerlendirme.
Erişim adresi:
http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a8c16d2696b35f9_ek.pdf.

MGM, (2023). Eskişehir İli uzun yıllar meteorolojik veriler. Erişim adresi:
<http://www.mgm.gov.tr>.

Northel, (2013). Firma ürün kataloğu. Erişim Adresi:
<http://www.northel.com.tr/>.

Polat, M., Arabacı, T., Cengiz, A. (2019). Tarımsal sulama amaçlı rüzgar ve PV güneş enerji sistemlerinden elektrik üretimi ve kullanım imkanlarının araştırılması (Eskişehir örneği) başlıklı Proje Sonuç Raporu. Proje No:TAGEM/TSKAD/14/A13/P08/03 Yayın No: GKTAEM-2019/001. Erişim adresi:
<http://projepaylasim.tagem.gov.tr/>

YEGEM, (2017), Erişim adresi:
<http://www.yegm.gov.tr>,

Yıldırım, Ü. (2004). Erişim adresi:
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/198542>.

Yıldızay, H.D., Aras, H., Yılmaz, V. (2014), Eskişehir de güneş ve rüzgar enerjisinin potansiyelinin belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. Cilt 5, Sayı 1, 49-58.

Yücel, M., Özder, S. (2018), Yaw ve pitch kontrollü dişli kutusuz 5kw rüzgâr türbini üretilmesi ve verimliliği. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2018:4,1, 74-87.
Erişim adresi:
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/473650>.