



Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı rüzgâr hızı ve güneş radyasyon oranına sahip bölgeler için mikro şebeke tasarımı ve karşılaştırmalı analizi

*Microgrid design and comparative analysis for regions with different wind speed and solar radiation rate*Mehmet Ali KÖPRÜ^{1*}, Dursun ÖZTÜRK², Burak Yıldırım³¹ Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, makopru@bingol.edu.trORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3761-399X>² Bingöl Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, dozturk@bingol.edu.trORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0335-8118>³ Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, byildirim@bingol.edu.trORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2118-4297>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 12 Mayıs 2024
Revizyon 13 Ağustos 2024
Kabul 15 Ağustos 2024
Online 30 Eylül 2024

Anahtar Kelimeler:

Mikro şebekeler, Yenilenebilir enerji kaynakları, HOMER Pro, NPC, LCOE.

ÖZ

Geçtiğimiz on yıllar boyunca küresel enerji talebinin yaklaşık %80'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu durum hem çevre ve insan sağlığına zarar vermekte hem de fosil yakıtların sınırlı kaynaklar olması nedeniyle enerji arz güvenliğini tehdit etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) bu problemlerin iyi bir çözümü olabilir. Ancak, anlık değişebilir özellikleri nedeniyle YEK'lerin tek başına kullanılması yerine birden fazla kaynağın bir arada olduğu hibrit mikro şebekelerin (MŞ) kurulması daha uygun bir çözüm olacaktır. MŞ'lerin performansını artırmak ve kullanımını yaygınlaştırmak için literatürde yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada HOMER Pro yazılımı kullanılarak Türkiye'de rüzgâr hızı ve güneş radyasyon değerleri farklı olan Çanakkale, Diyarbakır ve Rize illeri için aynı yükü besleyen fotovoltaik (FV) paneller, rüzgâr türbini (RT), dizel jeneratör (DJ) ve batarya depolama sisteminden (BDS) oluşan bir hibrit MŞ tasarımı yapılmış olup, simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonucunda tasarlanan modellerin net bugünkü maliyet (Net Present Cost-NPC) değerleri Çanakkale, Diyarbakır ve Rize illeri için sırasıyla 153,560.53 \$, 228,718.34 \$ ve 285,946.32 \$ olarak elde edilmiştir. Seviyelendirilmiş enerji maliyet (Levelized Cost of Energy-LCOE) değeri ise aynı sırayla 0.193 \$/kWh, 0.293 \$/kWh ve 0.366 \$/kWh olarak çıkmıştır. Bu değerlere göre Çanakkale için tasarlanan modelin diğer modellerden daha üstün olduğu görülmektedir. Ayrıca Çanakkale'deki modelde YEK'lerin üretim payı %94.8 ile en yüksek oranda gerçekleşmiştir. Son olarak Çanakkale ilinin sahip olduğu güçlü rüzgâr potansiyelinden dolayı modeli oluşturan bileşenlerin boyutlarının diğer illere göre daha küçük olduğu görülmüştür.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 May 2024
Received in revised form 13 August 2024
Accepted 15 August 2024
Available online 30 September 2024

Keywords:

Microgrids, Renewable energy sources, HOMER Pro, NPC, LCOE.

Doi: 10.24012/dumf.1482569

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Over the past decades, approximately 80% of global energy demand has been met by fossil fuels. This situation both harms the environment and human health and threatens the security of energy supply since fossil fuels are limited resources. Renewable energy sources (RES) could be a good solution to these problems. However, due to their instantaneous changeable properties, instead of using RESs alone, establishing hybrid microgrids that combine multiple resources would be a more appropriate solution. Studies on improving the performance and increasing the adoption of ERmicro grids (MGs) are increasing every day in the literature. In this study, using HOMER Pro software, hybrid MGs composed of photovoltaic (PV) panels, wind turbines (WT), diesel generators (DG), and battery storage systems (BSS) were designed for the Turkish provinces of Çanakkale, Diyarbakır, and Rize, which have different wind speeds and solar radiation values, to supply the same load, and the simulation results were compared. As a result of the simulation, the net present cost (NPC) of the designed models for Çanakkale, Diyarbakır, and Rize was calculated as \$153,560.53, \$228,718.34, and \$285,946.32, respectively. The levelized cost of energy (LCOE) was \$0.193/kWh, \$0.293/kWh, and \$0.366/kWh, respectively. According to these values, it can be seen that the model designed for Çanakkale was superior to the other models. Moreover, in the model for Çanakkale, the share of RES in total energy generation was the highest at 94.8%. Finally, due to the strong wind potential of Çanakkale province, it was observed that the size of the components constituting the model was smaller compared to other provinces.

Giriş

Gelişmekte olan ülkeler refah seviyelerini artırmak ve sürdürülebilir ekonomik kalkınma için sanayileşmeye önem vermektedirler. Hızla artan sanayileşmeden dolayı enerji ihtiyaçları giderek artmaktadır [1]. Artan bu enerji talebinin önemli bir kısmı fosil yakıtlar olarak bilinen kömür, petrol ve doğal gaz gibi geleneksel enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Enerji fiyatlarındaki artışlar, doğal olarak maliyet artışlarına neden olmakta, bu da ekonomileri olumsuz etkilemektedir. Ayrıca çok uzak olmayan bir gelecekte tükenmesi beklenen fosil yakıtlar, sera gazları gibi havayı kirletici emisyonlarından dolayı çevreyi olumsuz etkilerler [2]. Geleneksel yakıtların çevreye yaydıkları emisyonları azaltmak ve artan enerji talebini karşılamak için YEK'lerin kullanılması önem arz etmektedir [3]. YEK'ler güneş, rüzgâr, hidrolik ve biyokütle gibi doğada kolay erişilebilir sonsuz, doğal ve çevreci enerji kaynaklarıdır. YEK'ler, sürdürülebilir kalkınma için artan elektrik enerji talebini karşılayan ve sosyo-ekonomik faydalar sağlayan en önemli kaynaklardır [4].

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'nin, artan nüfusu ve gelişen sanayisi ile birlikte enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Enerji talebini hidroelektrik, termik, nükleer, rüzgâr, güneş santralleri gibi farklı kaynakları kullanarak karşılamaktadır. Türkiye elektrik üretiminin %44.8'ini fosil yakıtlardan, %55.2'sini YEK'lerden elde etmektedir. Ayrıca elektriği üretirken %67.7'sini yerli kaynaklar, %33.3'ünü ithal kaynaklar kullanarak gerçekleştirmektedir [5].

Türkiye coğrafik yapısı ve konumundan dolayı jeotermal, güneş, rüzgâr, biyokütle, hidroelektrik gibi YEK'ler bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Türkiye'de kurulabilecek rüzgâr elektrik santrallerinin toplam kapasitesi 47,849.44 MW olmasına karşılık Haziran 2022 sonu itibarıyla rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu güç değeri 10,976 MW'tır [6]. Bu değer, sahip olunan rüzgâr potansiyelinin dörtte birinden daha azdır. YEK'lerden enerji üretimi artırılarak sürdürülebilir ekonomik kalkınma ve enerji güvenliği açısından önemli bir avantaj sağlanabilir. Bundan dolayı YEK'lere olan teşvik mekanizmalarının artırılması, ülkenin enerji sektöründe daha da güçlenmesine yardımcı olabilir.

YEK'ler büyük enerji santralleri olarak inşa edileceği gibi, birden fazla enerji kaynağının tek bir şebekeye bağlı olduğu küçük ölçekli MŞ şeklinde de kurulabilir. MŞ'ler, dağıtık enerji sistemlerinin şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız elektrik enerjisi üretebilen yerleşmiş enerji sistemleridir. MŞ'ler ayrıca elektrik kesintileri ve enerji kayıplarını azaltırlar. Buda şebekelerin güvenilirliği ile birlikte enerji verimliliğini artırır [7]. YEK tabanlı MŞ'ler, geleneksel yakıt emisyonlarının azaltılmasına ve enerji arzının güvenliğine yardımcı olurlar [8]. Artan enerji talebinin karşılanması ve fosil yakıtların kullanımından dolayı oluşan çevresel kaygıların azaltılması için YEK'lerden oluşan hibrit üretim sistemlerinin oluşturulması günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Bu alanda Homer Pro yazılım programı kullanılarak literatürde yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Merino ve Castro, Şili'deki 2000 nüfuslu bir köyün elektrik talebini karşılamak için HOMER Pro yazılımını kullanarak şebekeye bağlı FV ve RT'den oluşan bir MŞ tasarımı yapmışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda 2.5 kW FV ve 12,300 kW RT ile elektrik talebinin %85'ini YEK'lerden karşılayan optimal bir çözüm belirlediklerini ve sistemin NPC değerinin 25 milyon euro olarak elde edildiğini ifade etmişlerdir [9].

Farah ve arkadaşları, Endonezya'nın Sebira adası için HOMER Pro yazılımını kullanarak şebekeden bağımsız FV, DJ ve BDS'den oluşan iki farklı sistemin tekno-ekonomik analizini ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarına göre, birinci ve ikinci senaryonun LCOE değerleri sırasıyla 0.128 \$/kWh ve 0.6577 \$/kWh olarak elde edilmiştir [10].

Melit ve arkadaşları, Kuzey Cezayir'deki bir konutun elektrik talebini karşılamak için şebekeye bağlı enerji depolamalı ve depolamasız FV sistemli iki senaryonun ekonomik analizini HOMER Pro yazılımı yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları ekonomik analiz sonucunda, depolamasız şebekeye bağlı FV sistemin en düşük NPC ve LCOE değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir [11].

Odekunle ve arkadaşları, Gana'daki Ashesi Üniversitesine ait pansiyonun elektrik enerjini sağlamak için şebekeye bağlı FV, biyogaz jeneratörü (BJ) ve BDS'den oluşan bir MŞ'nin teknik ve ekonomik analizini HOMER Pro yazılımı aracılığıyla yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda sistemin LCOE ve NPC değerlerinin sırasıyla 0.0329 \$/kWh ile 186,226 \$ olarak elde edildiğini ve sistemin LCOE değerinin Gana'daki şebekenin LCOE değerine göre %79 daha düşük olduğunu belirtmişlerdir [12].

Yusupov ve Almagrahi, HOMER Pro yazılımını kullanarak Karabük Üniversitesinin mühendislik fakültesi için şebeke/DJ, şebeke/DJ/FV, şebeke/DJ/FV/BDS ve şebeke/DJ/BDS'den oluşan dört farklı senaryoyu tasarlayıp analiz etmişlerdir. Simülasyon sonucunda şebeke/DJ/FV kombinasyonunun 0.284 \$/kWh LCOE değeri ile en uygun sistem olduğunu belirtmişlerdir [13].

Chebabi ve arkadaşları, Cezayir'deki Biskra tesisi için HOMER Pro yazılımı yardımıyla üç sistemin (FV, FV/RT ve FV/RT/DJ) ekonomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucunda sistemlerin NPC değerleri sırasıyla 11.7 M\$, 13.3 M\$ ve 9.45 M\$ olarak elde edilmiştir. Sistemlerin LCOE değerleri ise yine sırasıyla 0.19 \$/kWh, 0.728 \$/kWh ve 0.188 \$/kWh olarak hesaplanmıştır [14].

Jenkins ve Sonar, New Mexico'daki Navajo topluluğu için HOMER Pro yazılımını kullanarak tasarladıkları FV, RT, DJ ve BDS'den oluşan MŞ'nin analizini gerçekleştirmişler. Tüm bileşenlerin olduğu senaryonun 164,048 \$ NPC değeri ve 0.16 \$/kWh LCOE değeri ile en uygun çözüm olduğunu belirtmişlerdir [15].

Jahangiri ve arkadaşları, İran'nın Abadan bölgesinde yaptıkları çalışmada HOMER Pro yazılımını kullanarak RT, FV, BJ, yakıt hücresi ve boiler bileşenlerini içeren konut ölçeğinde bir bileşik ısı ve güç sistemini incelemişlerdir. BJ ve yakıt hücresinde açığa çıkan ısıya geri kazanıldığı bu

avantajlı sistemin LCOE değeri 1.16 \$/kWh olarak hesaplanmıştır [16].

Acar ve arkadaşları, Türkiye'nin Afyon ilinde şebekeden bağımsız bir evin enerji ihtiyacını karşılamak için FV, elektrolizör, hidrojen tankı ve yakıt hücresinden oluşan bir sistem tasarlamışlardır. Hibrit sistemdeki her bir bileşenin boyutunun diğer bileşenlerin boyutuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir [17].

John ve arkadaşları, Delhi Teknoloji Üniversitesi bilim bloğu için HOMER Pro yazılımını kullanarak FV, elektrolizör, hidrojen tankı ve yakıt hücresinden oluşan bir sistem tasarlamışlardır. Sistemin NPC ve LCO değerleri sırasıyla 1,030,406 \$ ve 0.6050 \$ olarak hesaplanmıştır [18].

Tiam Kapen ve arkadaşları, HOMER Pro yazılımını kullanarak iki farklı hibrit sistemin tekno-ekonomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Birinci sistem FV, yakıt hücresi, elektrolizör ve BJ bileşenlerinden oluşurken ikinci sistem FV, BDS, yakıt hücresi, elektrolizör ve BJ bileşenlerinden oluşmaktadır. Optimizasyon sonucunda ikinci sistemin 0.139 \$/kWh LCOE değeri ile daha ekonomik olacağını ifade etmişlerdir [19].

Ennemiri ve arkadaşları, HOMER Pro yazılımı yardımıyla FV, BJ ve BDS'den oluşan bir hibrit sistem tasarlayarak tekno-ekonomik performansını değerlendirmişlerdir. 231 kW'lık FV, 170 kW'lık BJ 201 kWh'lik BDS bileşenlerinden oluşan sistemin LCOE değerinin 0.280 \$/kWh olduğu belirtilmiştir [20].

Bir kısmı yukarıda belirtilen literatürdeki çalışmalarda görüldüğü gibi araştırmacılar farklı bileşenleri bir araya getirerek MŞ'ler tasarlamış ve ekonomik analizler yapmışlardır. Benzer çalışmalar karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. MŞ için yapılan çalışmalar

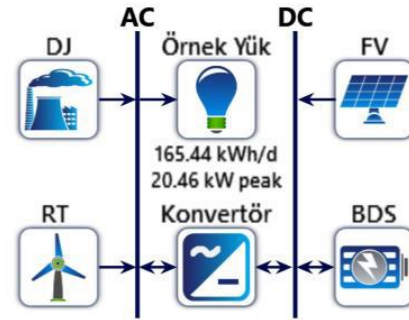
MŞ	Enerji Yönetim Sistemi	LCOE (\$/kWh)
FV/RT [14]	HOMER Pro	0.19
FV/RT/BJ [21]	HOMER Pro	0.110
FV/RT/DJ [22]	HOMER Pro	0.462
FV/RT [23]	HOMER Pro	0.0589
FV/RT/DJ [24]	HOMER Pro	0.179
FV/RT/DJ [25]	HOMER Pro	0.471

Bu çalışmada sabit bir yükün FV, RT, DJ ve BDS'den oluşan bir MŞ ile beslenme durumu incelenmiştir. Bunun için öncelikli olarak rüzgâr ve güneş enerji potansiyeli farklı olan Çanakkale, Diyarbakır ve Rize illeri seçilmiştir. Çanakkale ilinin rüzgâr potansiyeli öne çıkarken Diyarbakır ilinin ise güneş potansiyeli öne çıkmaktadır. Rize ilinde ise her iki potansiyel diğer illere göre düşüktür. Bu üç şehrin HOMER Pro yazılımındaki meteorolojik verileri kullanılarak ayrı ayrı optimizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen illere göre tasarlanan sistemlerin tekno-ekonomik analizleri yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. Böylece her şehrin kendi YEK kaynaklarını kullanarak ihtiyaç duyulan enerjinin üretilmesinin önemi vurgulanmıştır.

Materyal ve Metot

Sistemin modellenmesi

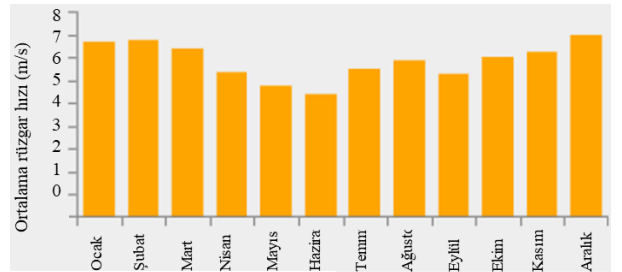
Türkiye'de günlük 165.44 kWh enerji tüketen referans bir topluluğun elektrik talebini karşılamak için şebekeden bağımsız FV, RT, DJ ve BDS'den oluşan bir MŞ modellenmiştir. HOMER Pro yazılımında tasarlanan MŞ'nin yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Tasarlanan model Çanakkale, Diyarbakır ve Rize illerinin meteorolojik verileri girilerek ayrı ayrı optimize edilmiş ve tekno-ekonomik analizleri yapılmıştır.



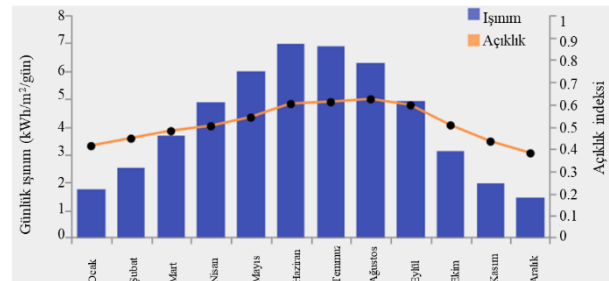
Şekil 1. HOMER Pro yazılımında tasarlanan mikro şebeke.

Bölgenin meteorolojik verileri

Çanakkale, Diyarbakır ve Rize'ye ait güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı verileri HOMER Pro yazılımına entegre edilmiş NASA veri tabanından alınmış olup sırasıyla Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4'te verilmiştir.

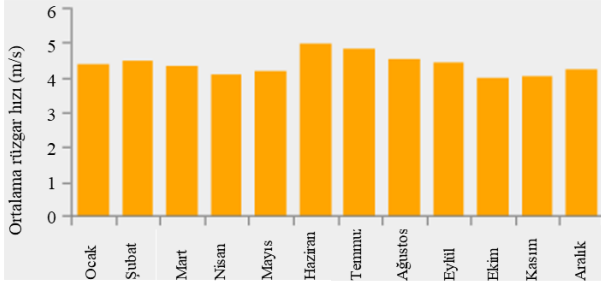


(a)

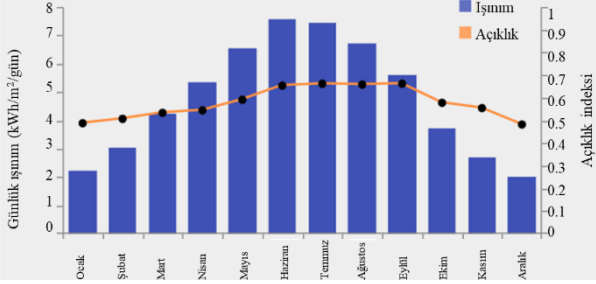


(b)

Şekil 2. Çanakkale için aylık ortalama rüzgâr hızı ile güneş radyasyonu ve netlik indeksi.

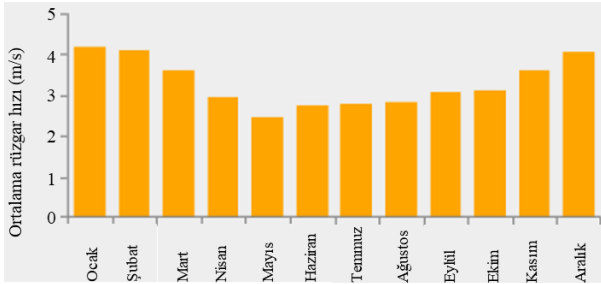


(a)

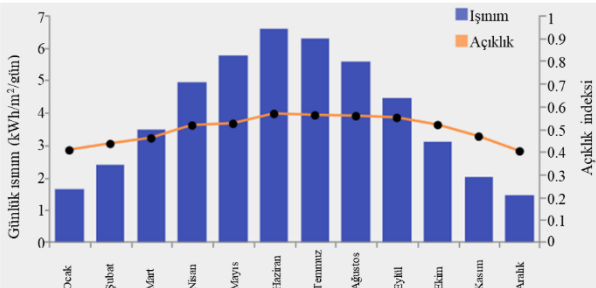


(b)

Şekil 3. Diyarbakır için aylık ortalama rüzgâr hızı ile güneş radyasyonu ve netlik indeksi.



(a)



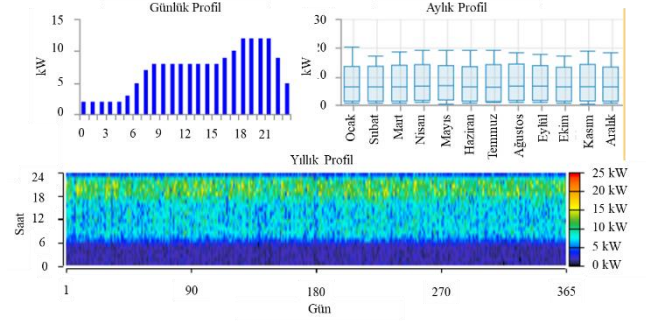
(b)

Şekil 4. Rize için aylık ortalama rüzgâr hızı ile güneş radyasyonu ve netlik indeksi.

Çanakkale'nin güneş radyasyonu 4.62 kWh/m²/gün, ortalama rüzgâr hızı 6.93 m/s'dir. Diyarbakır ilinin güneş radyasyonu 4.77 kWh/m²/gün, ortalama rüzgâr hızı 5.25 m/s'dir. Rize'nin güneş radyasyonu 3.98 kWh/m²/gün, ortalama rüzgâr hızı 3.29 m/s'dir.

Yük profili

Mevcut olan örnek topluluğun yük profili HOMER Pro yazılımında Şekil 5'te görüldüğü gibi oluşturulmuştur.



Şekil 5. Örnek yük profili.

Sistem bileşenlerinin matematiksel modelleri

Bu çalışmada 350 W'lık FV panel kullanılmıştır. HOMER Pro yazılımı FV dizisinin güç çıkışını Denklem 1'e göre hesaplamaktadır [26].

$$P_{FV} = Y_{FV} f_{FV} \left(\frac{\overline{G}_T}{\overline{G}_{T,STC}} \right) \left[1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC}) \right] \quad (1)$$

Burada Y_{FV} test koşulları altındaki güç çıkışını (kW), f_{FV} FV değer kaybı faktörünü [%], \overline{G}_T geçerli zaman adımında FV dizisine düşen güneş ışımasını miktarını [kW/m²], $\overline{G}_{T,STC}$ standart test koşullarında gelen radyasyon miktarını [1 kW/m²], α_p güç sıcaklık katsayısını [%/°C], T_c geçerli zaman adımındaki FV hücre sıcaklığını [°C], $T_{c,STC}$ ise standart test koşulları altında FV hücre sıcaklığını [25°C] ifade etmektedir.

MŞ modellemesinde Eocycle 10 RT kullanılmıştır. RT, 15.81m rotor çapına, 10kW nominal kapasiteye, 2.75 m/s devreye girme rüzgâr hızına ve 20 m/s'lik devreden çıkma hızına sahiptir. HOMER Pro yazılımı, RT'nin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızını logaritmik yasaya göre Denklem 2'deki gibi hesaplar.

$$U_{hub} = U_{anem} \cdot \left(\frac{Z_{hub}}{Z_{anem}} \right)^\alpha \quad (2)$$

Burada U_{hub} rüzgâr türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızını (m/s), U_{anem} anemometre yüksekliğindeki rüzgâr hızını (m/s), Z_{hub} rüzgâr türbininin göbek yüksekliğini (m), Z_{anem} anemometre yüksekliğini (m) ve α ise güç yasası üssünü ifade etmektedir.

Sistem şebekeden bağımsız olduğundan dolayı enerji depolamak için 1 kWh kurşun asit piller kullanılmıştır. HOMER Pro yazılımı, BDS'nin şarj ve deşarj durumlarını Denklem 3 ve 4'e göre hesaplamaktadır.

$$P_b(t) = \frac{kQ_1(t)e^{-k} + Q(t)kc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (3)$$

$$P_b(t) = \frac{-kQ_{max} + kQ_1(t)e^{-k\Delta t} + Q(t)kc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (4)$$

Burada Q_{max} toplam depolama kapasitesini, Q_1 akülerdeki enerji miktarını (kWh), Q toplam enerji miktarını (kWh), c depolama kapasite oranını; k depolama hız sabitini, Δt ise zaman aralığını ifade eder.

Sistem bileşenlerinin matematiksel modelleri

Homer Pro yazılımı, bir sistemin NPC ve LCOE değerlerini Denklem 5, 6, 7 ve 8'e göre hesaplamaktadır [26].

$$NPC = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(d,Yr)} \quad (5)$$

$$CRF = \frac{d(1+d)^{Yr}}{(1+d)^{Yr}-1} \quad (6)$$

$$d = \frac{i-f}{1+f} \quad (7)$$

$$LCOE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{served}} \quad (8)$$

Burada $C_{ann,tot}$ sistemin toplam maliyetini (\$/yıl), CRF sermaye geri kazanım faktörünü, d indirim oranını, Yr proje ömrünü (yıl), i nominal faiz oranını, f enflasyon oranını ve E_{served} ise hizmet verilen toplam elektrik yük miktarını (kWh/yıl) ifade etmektedir.

Sistem bileşenlerine ait birim maliyet değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. MŞ bileşenlerinin birim maliyet değerleri.

Bileşenler	Başlangıç yatırım maliyeti (\$/kW)	Geri dönüşüm maliyeti (\$/kW)	Bakım ve onarım maliyeti (\$/kW/yıl)	Çalışma ömrü
FV	700	700	10	25 yıl
RT	29000	25000	30	20 yıl
DJ	500	500	0.030	15000 saat
BDS	300	300	300	10 yıl
Konvertör	300	300	0	15 yıl

Bulgular ve Tartışma

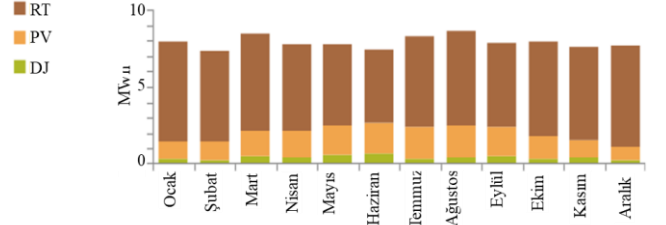
Türkiye'de konumları ve meteorolojik durumları farklı olan Çanakkale, Diyarbakır ve Rize illeri için HOMER Pro yazılımında oluşturulan MŞ'nin tekno-ekonomik analiz yapılmıştır. Simülasyon sonucunda oluşturulan MŞ bileşenlerinin optimum kapasite değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Şehirlere göre MŞ bileşenlerinin kapasite değerleri

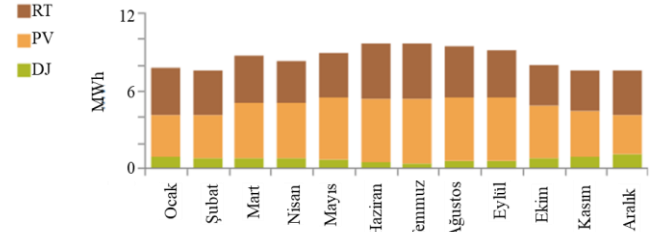
Name	Çanakkale	Diyarbakır	Rize
		Kapasite	
RT (kW)	10	10	10
FV (kW)	14.7	33.4	47.1
DJ (kW)	23	23	23
BDS (kWh)	66	101	124
Konvertör (kW)	12	11.7	12.1

Elektrik üretimi

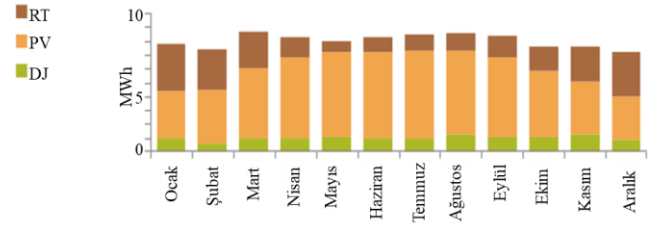
Tasarımı yapılan MŞ'nin günlük yük talebi 165.44 kWh'tir. Çanakkale, Diyarbakır ve Rize illeri için ayrı ayrı yapılan analiz sonucunda gerçekleşen kaynaklara göre aylık elektrik üretim miktarları sırasıyla Şekil 6, 7, 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Çanakkale için MŞ bileşenlerinin aylık üretim değerleri.



Şekil 7. Diyarbakır için MŞ bileşenlerinin aylık üretim değerleri.



Şekil 8. Rize için MŞ bileşenlerinin aylık üretim değerleri.

MŞ bileşenlerinin aylık üretim miktarları incelendiğinde Çanakkale'de üretimin %74.4'ü RT, %20.3'ü FV ve %5.28'i DJ tarafından gerçekleştirilmiştir. Diyarbakır'da toplam üretimin %49'u FV, %42'si RT ve %8.93'ü DJ tarafından gerçekleştirilirken bu oranlar Rize'de ise %62.6 FV, %24.8 RT ve %12.6 DJ olarak elde edilmiştir. YEK'lerin üretimdeki payına bakıldığında Çanakkale'de YEK'lerin üretimdeki payına bakıldığında %94.7 ile en iyi orana sahip olduğu görülmektedir. Diyarbakır'da bu oran %91 iken. Rize ilinde ise %87.4 olarak gerçekleşmiştir. DJ'ler FV, RT ve BDS'nin yük talebini karşılayamadığı zamanlarda devreye girerek ihtiyaç duyulan yük miktarını karşılamaktadır. Rize ilinin rüzgâr hızı ve güneş radyasyon oranı diğer illere göre daha düşük olduğundan dolayı DJ tarafından üretilen enerjinin daha fazla olduğu görülmüştür. Çanakkale ilinin rüzgâr potansiyelinin yüksek olmasından dolayı bu il için tasarlanan MŞ'de en yüksek üretim payı RT'in olmuştur. Benzer şekilde Diyarbakır ilinin yüksek güneş potansiyeline bağlı olarak buradaki MŞ'nin de FV payı diğer bileşenlere göre yüksek çıkmıştır. Ayrıca RT'in üretim potansiyelinin fazla olduğu bölgede MŞ'yi oluşturan bileşenlerin optimum boyutlarının diğer illere göre daha küçük olduğu görülmüştür.

Ekonomik analiz

Oluşturulan MŞ'nin teknik uygulanabilirliğinin yanında ekonomik olarak uygulanabilirliği de önemlidir. Yapılan ekonomik analiz sonucunda maliyet açısından en uygun modelin Çanakkale için tasarlan model olduğu görülmüştür. Sistemin NPC değeri 153,560.53 \$, başlangıç sermaye maliyeti 74,223.20 \$, yenileme maliyeti 38,773.06 \$, işletme bakım maliyeti 16,158.32 \$, yakıt maliyeti 30,204.69 \$, geri dönüşüm maliyeti 5,798.73 \$ ve LCOE si 0.196 \$/kWh'tir. Diyarbakır için tasarlanan sistemin NPC değeri 228,718.34 \$, başlangıç sermaye maliyeti 97,705.31 \$, yenileme maliyeti 59,292.74 \$, işletme bakım maliyeti 26,336.49 \$, yakıt maliyeti 52,493.16 \$, geri dönüşüm maliyeti 7,109.36 \$ ve LCOE'si 0.293 \$/kWh'tir. Rize için tasarlanan sistem, maliyet açısından en yüksek maliyete sahip olup NPC değeri 285,946.32 \$, başlangıç sermaye maliyeti 114,316.28 \$, yenileme maliyeti 84,620.98 \$, işletme bakım maliyeti 33,671.44 \$, yakıt maliyeti 69,167.81 \$, geri dönüşüm maliyeti 15,830.18 \$ ve LCOE değeri 0.366 \$/kWh'tir.

Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye'nin güneş ve rüzgâr potansiyelleri farklı olan Çanakkale, Diyarbakır ve Rize illeri için FV, RT, DJ ve BDS'den oluşan bir MŞ tasarlanmıştır. Aynı yük miktarına sahip bu üç şebekenin teknik ve ekonomik analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. Çanakkale ilinin güneş radyasyonu 4.62 kWh/m²/gün, aylık ortalama rüzgâr hızı 6.93 m/s'dir. MŞ bileşenlerinin kapasite değerleri HOMER Pro yazılımı tarafından 10 kW RT, 14.7 kW FV, 23 kW DJ ve 66 kWh BDS olarak belirlenmiştir. Toplam üretilen enerjinin %74.4'ü RT, %20.3'ü FV, %5.28'i DJ tarafından üretilmiş olup sistemin NPC değeri 153,560.53 \$, LCOE değeri ise 0.196 \$/kWh'tir. İkinci olarak Diyarbakır ilinin güneş radyasyonu 4.77 kWh/m²/gün, aylık ortalama rüzgâr hızı 4.37 m/s'dir. MŞ bileşenlerinin kapasite değerleri HOMER Pro yazılımı tarafından 10 kW RT, 33.4 kW FV, 23 kW DJ ve 101 kWh BDS olarak belirlenmiştir. Toplam üretilen enerjinin %42'si RT, %49'u FV, %8.93'ü DJ tarafından üretilmiş olup sistemin NPC değeri 228,718.34 \$, LCOE değeri de 0.293 \$/kWh'tir. Son olarak Rize ilinin güneş radyasyonu 3.98 kWh/m²/gün, aylık ortalama rüzgâr hızı 3.29 m/s'dir. MŞ bileşenlerinin kapasite değerleri HOMER Pro yazılımı tarafından 10 kW RT, 47.1 kW FV, 23 kW DJ ve 124 kWh BDS olarak belirlenmiştir. Toplam üretilen enerjinin %24.8'i RT, %62.6'sı FV, %12.6'sı DJ tarafından üretilmiş olup sistemin NPC değeri 285,946.32 \$, LCOE değeri ise 0.366 \$/kWh'tir.

Tüm bu değerlerden de görüleceği gibi tasarlanan MŞ'nin en uygun NPC ve LCOE değerleri Çanakkale ili için elde edilmiştir. Çanakkale ilinin öne çıkmasını sağlayan en önemli parametre, o ilin sahip olduğu güçlü rüzgâr potansiyelidir. Diyarbakır ilinin güneş radyasyon potansiyeli rüzgâr potansiyelinden daha iyi olduğundan FV sistemin üretim payı RT'nin üretim payından daha yüksek olmuştur. Rize ilinin rüzgâr hızı ve güneş radyasyon değerleri diğer iki ilden daha düşüktür. Ancak, rüzgâr potansiyeli güneş potansiyelinden çok daha düşük olduğundan FV sistemin üretim payı RT'nin payından çok daha yüksek gerçekleşmiştir.

Kaynaklar

- [1] G. Erdal, H. Erdal, ve K. Esengün, "The causality between energy consumption and economic growth in Turkey," *Energy Policy*, vol. 36, no. 10, pp. 3838-3842, 2008/10/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.07.012>.
- [2] A. İpek ve A. Sekin, "Hibrit yenilenebilir enerji sistem tasarımı: Balıkesir örneği," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 13, no. 3, pp. 517-529, 2024.
- [3] A. Rahman, O. Farrok, ve M. M. Haque, "Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 161, p. 112279, 2022/06/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279>.
- [4] M. F. Zia, E. Elbouchikhi, ve M. Benbouzid, "Microgrids energy management systems: A critical review on methods, solutions, and prospects," *Applied Energy*, vol. 222, pp. 1033-1055, 2018/07/15/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.103>.
- [5] <https://www.enerjiatlas.com/elektrik-uretimi/> (accessed 03 May 2024, 2024).
- [6] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (accessed 03 January 2024, 2024).
- [7] A. Hirsch, Y. Parag, ve J. Guerrero, "Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues," *Renewable and Sustainable Energy reviews*, vol. 90, pp. 402-411, 2018.
- [8] B. Kroposki, R. Lasseter, T. Ise, S. Morozumi, S. Papathanassiou, and N. Hatzigiorgiou, "Making microgrids work," *IEEE power and energy magazine*, vol. 6, no. 3, pp. 40-53, 2008.
- [9] C. Merino ve R. Castro, "Optimization of a Hybrid Solar-Wind Microgrid for Sustainable Development: A Case Study in Antofagasta, Chile," *Sustainability*, vol. 16, no. 9, p. 3668, 2024.
- [10] L. Farah et al., "Techno-Economic Assessment and Optimization of a Standalone System in Sebira Island, Indonesia," *JURNAL TEKNOLOGI REAKTOR NUKLIR TRI DASA MEGA*, vol. 26, no. 1, pp. 33-44, 2024.
- [11] A. Melit, F. Chekired, ve A. Meflah, "Optimal Sizing of a Hybrid Microgrid System in a Mediterranean Climate," in 2023 14th International Renewable Energy Congress (IREC), 2023: IEEE, pp. 1-5.
- [12] O. Odekunle, T. Asare, ve H. R. Beem, "Feasibility study of a PV/biogas/grid system for the Micro-grid supply at Ashesi University," in 2023 IEEE Green Energy and Smart Systems Conference (IGESSC), 2023: IEEE, pp. 1-6.
- [13] Z. Yusupov ve N. Almagrah, "Techno-economic and environmental analysis of microgrid: A case study of Karabuk University," *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 41, no. 4, 2023.
- [14] A. Chebabhi, I. Tegani, A. D. Benhamadouche, ve O. Kraa, "Optimal design and sizing of renewable energies in microgrids based on financial considerations a case

- study of Biskra, Algeria," *Energy Conversion and Management*, vol. 291, p. 117270, 2023/09/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117270>.
- [15] P. Jenkins ve A. C. Sonar, "Feasibility Analysis of an Islanded Microgrid in Tohatchi, New Mexico Using HOMER Pro," *Energy and Power Engineering*, vol. 12, no. 06, pp. 357-374, 2020.
- [16] M. Jahangiri, F. Karimi Shahmarvandi, R. J. J. o. R. E. Alayi, ve Environment, "Renewable energy-based systems on a residential scale in southern coastal areas of Iran: trigeneration of heat, power, and hydrogen," vol. 8, no. 4, pp. 67-76, 2021.
- [17] C. Acar, E. Erturk, ve I. Firtina-Ertis, "Performance analysis of a stand-alone integrated solar hydrogen energy system for zero energy buildings," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 48, no. 5, pp. 1664-1684, 2023/01/15/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.051>.
- [18] A. John, S. Basu, Akshay, ve A. Kumar, "Design and evaluation of stand-alone solar-hydrogen energy storage system for academic institute: A case study," *Materials Today: Proceedings*, vol. 47, pp. 5918-5922, 2021/01/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.461>.
- [19] P. Tiam Kapen, B. A. Medjo Nouadje, V. Chegnimonhan, G. Tchuen, ve R. Tchinda, "Techno-economic feasibility of a PV/battery/fuel cell/electrolyzer/biogas hybrid system for energy and hydrogen production in the far north region of cameroon by using HOMER pro," *Energy Strategy Reviews*, vol. 44, p. 100988, 2022/11/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100988>.
- [20] N. Ennemiri, A. Berrada, A. Emrani, J. Abdelmajid, ve R. El Mrabet, "Optimization of an off-grid PV/biogas/battery hybrid energy system for electrification: A case study in a commercial platform in Morocco," *Energy Conversion and Management: X*, vol. 21, p. 100508, 2024/01/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100508>.
- [21] M. U. Khan, M. Hassan, M. H. Nawaz, M. Ali, ve R. Wazir, "Techno-economic Analysis of PV/wind/biomass/biogas hybrid system for remote area electrification of Southern Punjab (Multan), Pakistan using HOMER Pro," in 2018 International conference on power generation systems and renewable energy technologies (PGSRET), 2018: IEEE, pp. 1-6.
- [22] T. Ma ve M. S. Javed, "Integrated sizing of hybrid PV-wind-battery system for remote island considering the saturation of each renewable energy resource," *Energy Conversion and Management*, vol. 182, pp. 178-190, 2019/02/15/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.059>.
- [23] A. M. Hemeida et al., "Optimum design of hybrid wind/PV energy system for remote area," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 11-23, 2020/03/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.005>.
- [24] F. A. Khan, N. Pal, ve S. H. Saeed, "Optimization and sizing of SPV/Wind hybrid renewable energy system: A techno-economic and social perspective," *Energy*, vol. 233, p. 121114, 2021/10/15/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121114>.
- [25] G. Zhang, C. Xiao, ve N. Razmjoooy, "Optimal operational strategy of hybrid PV/wind renewable energy system using homer: a case study," *International Journal of Ambient Energy*, vol. 43, no. 1, pp. 3953-3966, 2022.
- [26] <https://homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf> (accessed 21 February 2024, 2024).