



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Balıkesir Edremit Bölgesinde Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistemle Bir Binanın Elektrik İhtiyacının Karşlanması

Meeting The Electricity Needs of a Building with a Grid-Independent Hybrid System in Balıkesir Edremit Region

Yazar(lar) (Author(s)): Fikret YÜKSEL¹, Eren ADIGÜZEL²

¹ ORCID ID: 0000-0002-8247-6760

² ORCID ID: 0000-0002-1995-3181

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yüksel F., Adıgüzel E., “Balıkesir Edremit Bölgesinde Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistemle Bir Binanın Elektrik İhtiyacının Karşlanması”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(3): 131-146, (2024).

DOI: 10.46578/humder.1489199



Balıkesir Edremit Bölgesinde Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistemle Bir Binanın Elektrik İhtiyacının Karşılanması

Fikret YÜKSEL¹, Eren ADIGÜZEL^{2,*}

^{1,2} Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Bölümü, 77100, Merkez/YALOVA

Öz

Balıkesir'in Edremit İlçesi, Pınarbaşı (39°38.5'N, 26°56.7'E) lokasyonunda yer alan 10 haneli 40 kişilik bir binanın, şebekeden bağımsız (off-grid) şekilde elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla farklı hibrit enerji sistemleri araştırılmıştır. Hibrit sistemlerin teknik ve ekonomik analizleri HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) programı yardımıyla simüle edilerek değerlendirilmiştir. Hibrit sistemlerin 10 haneli binanın yaklaşık enerji tüketimi olan, günlük 80 kWh elektrik enerji değerini karşılayacak şekilde olması planlanmıştır. Farklı hibrit sistemlerinin değerlendirilmesi sonucunda en uygun sistemin PV/G10/1kWh/Li-Ion olacağı değerlendirilmiştir. Seçilen sistemin emisyon değerleri incelenerek, çevreye olan zararları diğerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Sistemin ekonomikliği, enerji verimliliği ve çevre-insan sağlığı açısından diğer sistemlere göre üstünlüğü değerlendirilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 24/05/2024

Yayın: 31/12/2024

Anahtar Kelimeler

Şebekeden bağımsız
Hibrit sistem
HOMER

Keywords

Off-grid
Hybrid system
HOMER

Meeting The Electricity Needs of a Building with a Grid-Independent Hybrid System in Balıkesir Edremit Region

Abstract

Different hybrid energy systems were investigated in order to meet the electricity needs of a 10-household building with 40 people capacity, located in Pınarbaşı (39°38.5'N, 26°56.7'E), Edremit District of Balıkesir, in an off-grid manner. Technical and economic analysis of hybrid systems were simulated and evaluated with the help of the HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) program. Hybrid systems are planned to meet the daily electrical energy value of 80 kWh, which is the approximate energy consumption of a 10-house building. As a result of the evaluation of different hybrid systems, it was evaluated that the most suitable system would be PV/G10/1kWh/Li-Ion. By examining the emission values of the selected system, its environmental damage was found to be lower than the others. The system's superiority over other systems in terms of economy, energy efficiency and environment-human health has been evaluated.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, enerji talebi de aynı oranda yükselmektedir. İhtiyaç duyulan enerji, fosil yakıt ve yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Fosil yakıtlara örnek olarak kömür, petrol ve doğalgaz verilebilir. Fosil yakıtlar, enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynamasına karşın, yüksek emisyon oranları nedeniyle çevreye ve insan sağlığına zarar vermeleri, iklim değişikliğine yol açmaları ve tükenbilir kaynak olmaları gibi dezavantajlara sahiptir. Sıralanan bu olumsuzluklar sebebiyle fosil yakıtlar yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgâr enerjisi başta olmak üzere hidroelektrik, gel-git, jeotermal, biyokütle ve hidrojen enerjisinden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre dostu olması, sürdürülebilir (zamanla tükenmeyen) olması ve yerli kaynakların kullanılmasına imkân vermesi olumlu yönleridir [1]. Yenilenebilir kaynakların hibrit bir yapıda kullanılması etkinlik derecelerini artırmaktadır. Güneş panellerinden günün sadece belirli saatlerinde enerji dönüşümünün sağlanması, rüzgâr enerjisinin de günün her saatinde olmaması sebebiyle her iki sistemin birlikteliği ile oluşturulan hibrit sistemle enerji dönüşümde süreklilik artırılabilir [2]. Hibrit enerji sistemleri, enerji kaynaklarının birlikte kullanılmasıyla oluşturulan

*İletişim Yazarı, e-mail: ena1653@gmail.com

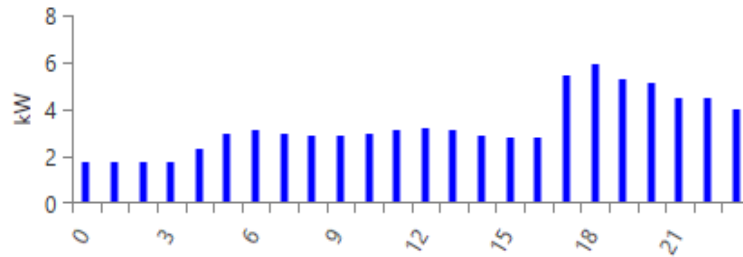
sistemlerdir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artan önemi ile şebeke bağlantısının olmadığı bölgelerde enerji sağlamanın etkili bir çözümü olarak geliştirilmiştir [3]. Hibrit sistemde kullanılacak her bir bileşenin sistem bütünlüğüne etkisinin belirlenmesi amacıyla simülasyon programları kullanılabilir. Gelişen noktada etkin simülasyon programlarının başında HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) yer almaktadır. Bir bilgisayar modellemesi olan HOMER, Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji laboratuvarı (NREL) aracılığıyla biçimlendirilmiş bir küçük güç optimizasyon sistemidir. HOMER programı, mikro güç modellerinin simülasyonunu sağlamak ve güç üretim teknolojilerini karşılaştırmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu program, güç modellerinin fiziksel özelliklerini ve yaşam ömürleri sürecindeki ücretleri olan toplam kurulum ve yönetim masraflarını tasarlar. Ayrıca teknik ve ekonomik verileri kullanarak çeşitli tasarım olanakları sunar. Ek olarak bu program, hibrit sistem modellenirken kullanılan verilerle yapılan farklılıkların ve belirsizliklerin ortaya çıkmasına da olanak sağlar [4]. Bu program, birden fazla kaynağın bir arada kullanımını sağlayarak belirlenen lokasyonda çeşitli sistem konfigürasyonları arasında en ideal sonucun belirlenmesine olanak tanır. Bu avantajlarından dolayı çalışmamızda kullanılacak program olarak HOMER tercih edilmiştir.

Çalışmada HOMER programı kullanılarak Balıkesir'in Edremit ilçesinde ($39^{\circ}38.5'N$, $26^{\circ}56.7'E$) belirlenen lokasyonda 10 haneli 40 kişilik ailenin elektrik enerjisi ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları olan, rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan hibrit bir sistemle karşılanması için gerekli olan konfigürasyon araştırılmıştır. Bu sistem konfigürasyonu; şebekeden bağımsız rüzgâr türbini, güneş paneli, jeneratör ve akü grubundan oluşan hibrit bir sistem olabileceği gibi onlarca farklı sistem grubu da olabilmektedir. Göz önüne alınan sistemde birden fazla farklı yapıların simülasyon sonuçları irdelenmiştir. Sistemler için gerekli olan güneş paneli, rüzgâr türbini, jeneratör ve akü maliyetleri araştırılarak maliyet değerlendirmeleri yapılmıştır.

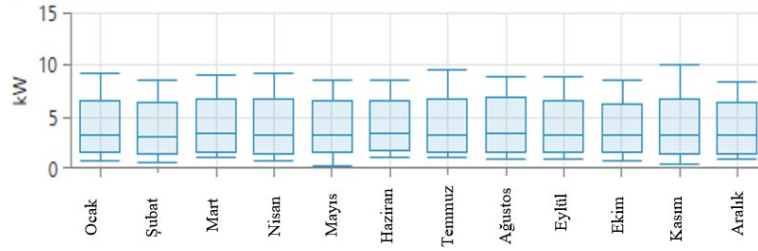
2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının genel tanımından ardından, hibrit sistemin kurulumu için Ege Bölgesi'nde yer alan Balıkesir ili Edremit ilçesi ($39^{\circ}38.5'N$, $26^{\circ}56.7'E$) seçilmiştir. Çalışma kapsamında Edremit'teki güneş ve rüzgâr enerjisinin hibrit bir sistemde nasıl kullanılabileceği ve bu sistemin detayları incelenmektedir. Enlem ve boylamı verilen lokasyonda toplam 10 hanelik ve 40 kişilik binanın elektrik ihtiyacının karşılanması esas alınmıştır.

TEİAŞ verileri doğrultusunda dört nüfuslu bir ailenin günlük ortalama elektrik tüketiminin 8 kWh olacağı değerlendirilerek [5] 10 hanelik binanın günlük elektrik ihtiyacı 80 kWh alınmıştır. Buradan, yıllık enerji ihtiyacının 29200 kWh olduğu görülmektedir. Genel enerji tüketim değerlendirmeleri dikkate alınarak (günlük elektrik tüketimi 80 kWh) [5] oluşturulan ve HOMER programında ön tanımlı olan topluluk yük profil grafiği Şekil 1'de, aylık elektrik yükü değer grafiği günlük elektrik enerjisi tüketimi girilerek Şekil 2'de verilmiştir [6]. Şekil 2'de görüldüğü gibi tepe güç değeri kasım ayı içinde oluşmakta ve 10,01 kW olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 1. Topluluk Yük Profil Grafiği [6]

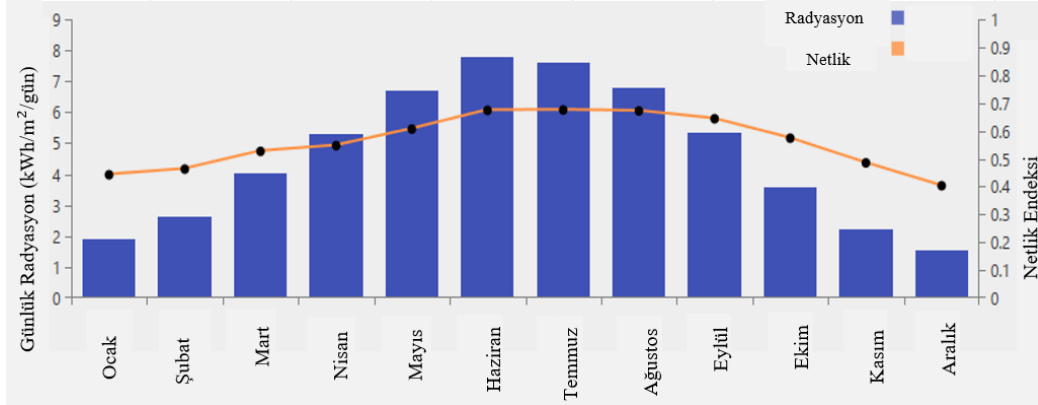


Şekil 2. Aylık Elektrik Yükü Değer Grafiği [6]

2.1. Güneş ve Rüzgâr Enerji Potansiyeli

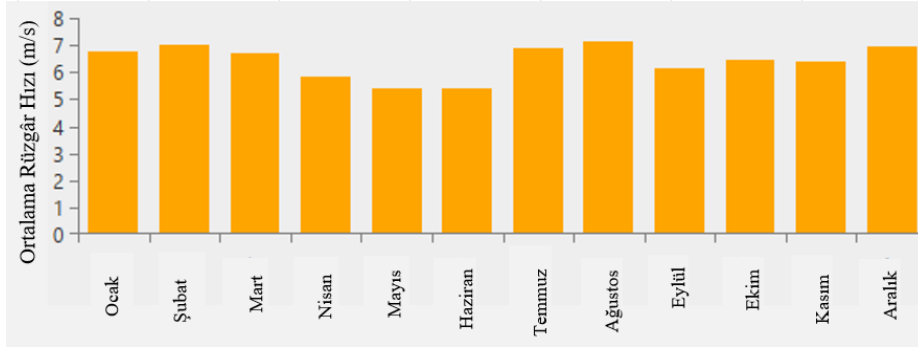
Güneş ve rüzgâr enerjisi, hibrit enerji sistemlerinin etkinliğini belirleyen kritik unsurlardır. Güneş enerjisi yeryüzünde ve atmosferdeki fiziksel süreçleri etkileyen bir kaynaktır. Dünya üzerindeki madde ve enerji akışları büyük ölçüde güneş enerjisine bağlıdır [7]. Güneş enerjisinin yenilenebilir olması, kullanım kolaylığı ve çevre dostu özellikleri, bu kaynağın önemini arttırmaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu sayesinde güneş enerjisi açısından yüksek bir potansiyele sahip olup, ortalama olarak günlük 7,5 saat güneş ışığı alırken, Almanya'ya kıyasla yüzde 60 daha fazla güneş ışımına maruz kalmaktadır [8]. Rüzgâr enerjisi ise rüzgârın kinetik enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan bir enerji türüdür ve dünya çapında bol miktarda bulunan, temiz, düşük maliyetli ve ticari olarak uygun enerji kaynaklarından biridir [9].

Hibrit sistem için güneş enerji verileri 1983-2005 yılları arasını kapsayan NASA veri tabanından alınmıştır [10]. Günlük güneşlenme süresi yaz aylarında daha yüksek olduğundan ilgili aylarda güneşten elde edilen enerji daha fazladır. Yapılan değerlendirmelerde seçilen lokasyonda güneşten gelen günlük ortalama radyasyon değerinin 4,62 kWh/m²gün olduğu belirlenmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi güneşten gelen yıllık radyasyon değerinin %40,06'sı yaz aylarında elde edilmektedir. Kış aylarında ise bu oran %10,98'e kadar düşmektedir.



Şekil 3. Aylık Ortalama Güneş Radyasyon Değeri

Güneş ve rüzgâr enerjisinden oluşan hibrit sistemlerde güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda rüzgâr enerjisi tamamlayıcı güç kaynağı görevi yapar. Özellikle kış aylarında güneş enerjisinin enerji taleplerini karşılamada yetersiz kaldığı zamanlarda destekleyici güç kaynağı olarak rüzgâr enerji sistemi devreye girerek enerji talebini karşılar. İlgili bölge için rüzgâr enerji verileri de 1983-1993 yılları arasını kapsayan NASA veri tabanından alınmıştır [10]. Elde edilen verilerden; yıllık ortalama rüzgâr hızının 6,41 m/s olduğu, aylık ortalama rüzgâr hızı değerlerinin Şekil 4'te verildiği gibi gerçekleştiği bu sebeple de rüzgâr enerjisinin güneş enerjisine nazaran mevsimsel bir değişim sergilemediği görülmektedir.

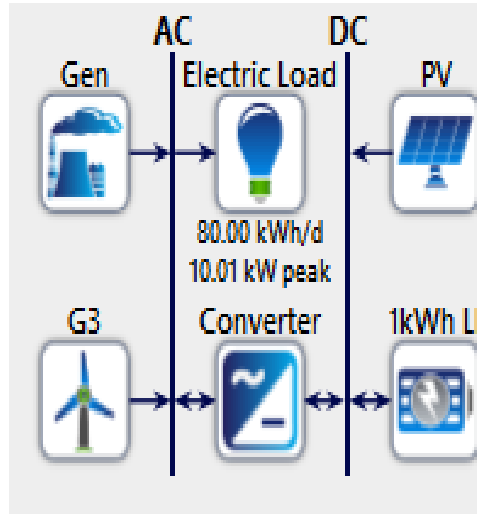


Şekil 4. Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Güneş ve rüzgâr enerji potansiyellerinin belirlenmesinin ardından, bu veriler HOMER simülasyonunda kullanılacak ve sistemin tüm bileşenleri detaylandırılacaktır.

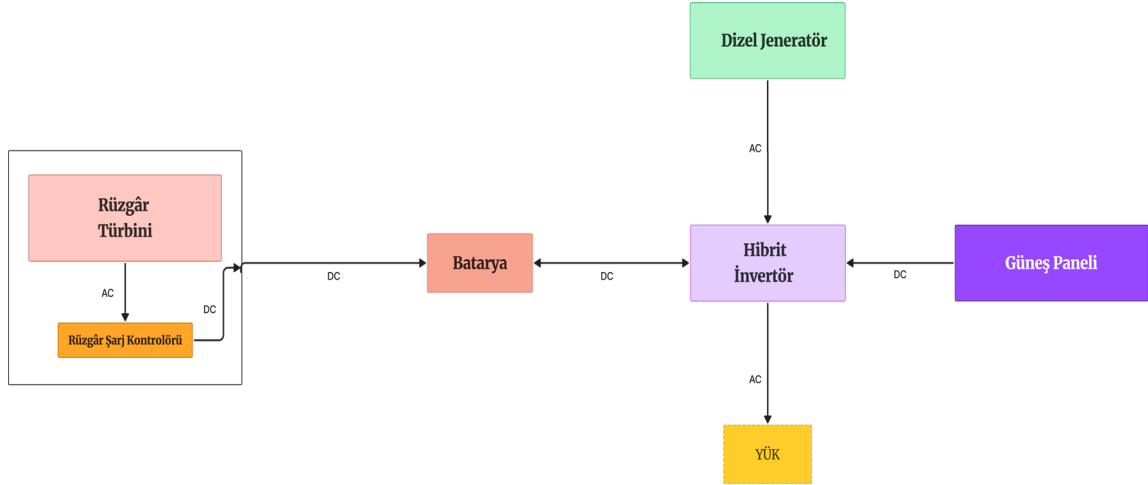
2.2. Sistemin Modellemesi ve Elemanları

Balıkesir ili Edremit ilçesinde belirlenen lokasyonda göz önüne alınan bina için hibrit sistem HOMER programı yardımıyla tasarlanmış ve simülasyon modelinin şeması Şekil 5'te verilmiştir. Hibrit sistemde jeneratör, güneş paneli, rüzgâr türbini, batarya, kazan ve termal yük olması durumu değerlendirilmiştir. HOMER programında oluşturulan sistemin günlük elektrik enerjisi ihtiyacı 80 kWh iken, elektrik enerjisinin belirli bir zaman diliminde en yüksek tükettiği güç değeri 10,01 kW olarak HOMER programı üzerinden hesaplanmıştır.



Şekil 5. Hibrit Sistem Modeli

Modellenen sistemde kullanılacak ekipmanların bağlantı şeması Şekil 6'da gösterilmiştir. Rüzgâr türbini çıkış gücü alternatif akım ile sağlanırken, güneş paneli çıkış gücü doğru akım ile sağlanmaktadır. Rüzgâr türbininde kullanılan şarj kontrol cihazı, rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik akımını, kontrollü olarak aküye iletir ve AC voltajı, belirli bir DC voltaj olarak regüle ederek, akımın ilgili yerlere iletilmesini sağlar. Güneş panellerinde akım ve gerilim her zaman sabit olarak üretilmez. Hibrit inverterin içerisinde bulunan MPPT cihazı, güneş panellerinden gelen akımı ve voltajı dengeleyerek akülerin fazla şarj veya yüksek voltajdan dolayı zarar görmesini engelleyen komponenttir ve temelinde bir DC-DC düzenleyicidir.



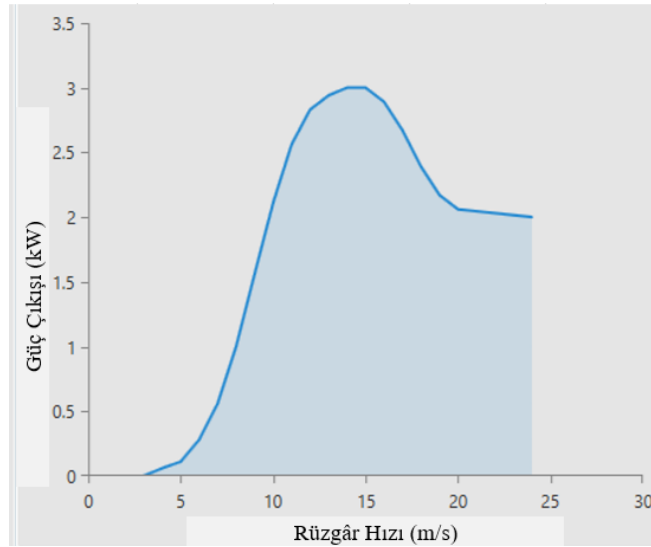
Şekil 6. Sistemde Modellenen Komponentlerin Bağlantı Şeması

2.2.1. Güneş Paneli

Bu sistemde kullanılan güneş paneli kurulum maliyeti 630 \$/kW [11] olarak kabul edilmiştir. Yıllık işletim ve bakım maliyeti 10 \$ [12], güneş panelinden sağlanan verimlilik %14 [13], panel yaşam ömrü 25 yıl olarak ele alınmıştır [14].

2.2.2. Rüzgâr Türbini

Bu çalışmada kW başına rüzgâr türbini kurulum maliyeti 2.500 \$ olacak şekilde kabul edilmiştir [15]. Çalışmada 3 kW'lık güce sahip rüzgâr türbini kurulmuş olup, kurulum maliyeti toplam 7.500 \$ olarak ele alınmıştır. Rüzgâr türbini işletim ve bakım maliyeti 500 \$, sistemde kullanılan türbin gövde uzunluğu 24 metre ve yaşam ömrü 20 yıl olarak programa eklenmiştir [14]. HOMER programı, 3 kW'lık güce sahip, türbinin rüzgâr hızına bağlı olarak verebileceği güç eğrisi Şekil 7'de verilmiştir. Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürüp transmisyon elemanlarıyla jeneratöre ileten ve elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan sistemlerdir [16]. Jeneratör, rüzgâr türbinlerindeki mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesine yarayan parçadır [17]. Bu hibrit sistemlerde, AC çıkışı tipik olarak bir invertör kullanılarak depolama birimlerine (örn. piller) veya doğrudan kullanım için yük cihazlarına (örn. ev aletleri veya endüstriyel ekipman) dönüştürülür. Sistemde kullanılan aygıtların çoğu AC gücüne bağlı olduğundan, AC çıkışı tercih edilir.



Şekil 7. 3 kW rüzgâr türbinin güç eğrisi

2.2.3. Dizel Jeneratör

Dizel jeneratör, elektrik enerjisi üretmek için dizel motor ile elektrik jeneratörünün bileşiminden oluşan sistemdir. Dizel yakıtlı jeneratörlerin maliyeti kW başına 250-500 \$ arası değişmektedir [18]. Çalışmada kW başına maliyeti 300 \$ olarak işleme alınmıştır, işletim ve bakım maliyeti ise saat başına 0,01 \$'dır [19]. Dizel yakıt fiyatı Aralık 2023 dolar kuru ile 1,22 \$/L olarak hesaba katılmıştır [20]. HOMER programından yararlanılarak dizel yakıtın emisyon değeri Tablo 1'de, yakıt özellikleri Tablo 2'de verilmiştir [21].

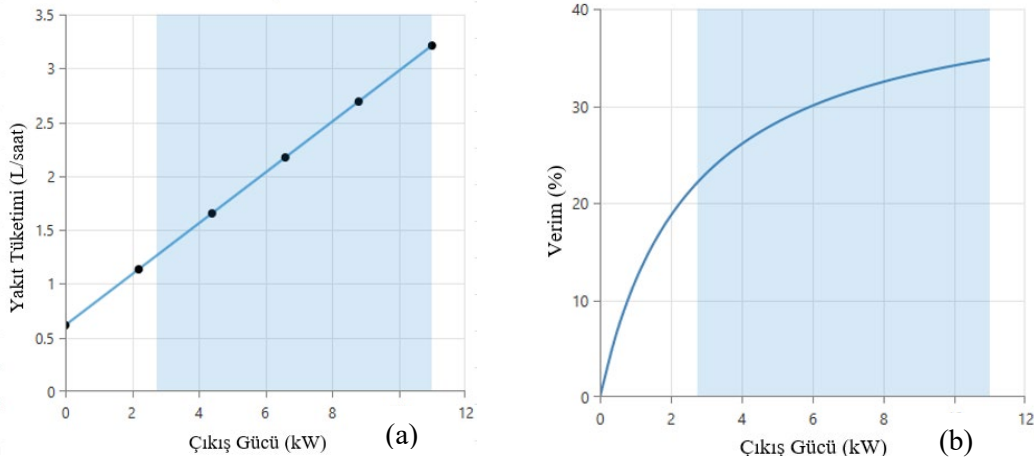
Tablo 1. Sistemde Kullanılan Dizel Yakıtın Emisyon Değerleri [21]

CO (g/L yakıt)	16,5
Partikül miktarı (g/L yakıt)	0,1
NO _x (g/L yakıt)	15,5
Yanmayan HC (g/L yakıt)	0,72

Tablo 2. Sistemde Kullanılan Dizel Yakıtın Özellikleri [21]

Alt ısı değer (MJ/kg)	43,2
Yoğunluk(kg/m ³)	820
Karbon içeriği (%)	88
Sülfür içeriği (%)	0,4

Dizel jeneratörün harcayacağı yakıtla paralel olarak erişeceği çıkış gücü ve çıkış gücüne göre verimliliği Şekil 8'de verilmiştir [6,21].



Şekil 8. (a) Dizel jeneratörün tüketeceği yakıtla çıkış gücü (b) Dizel jeneratörün çıkış gücüne göre verimliliği [6,21]

Dizel jeneratörün verim formülü aşağıda verilmiştir.

$$\text{Verim (\%)} = \frac{\text{Çıkış Gücü (kW)}}{\text{Giriş Gücü (kW)}} \quad (1)$$

Burada, giriş gücü (yakıtın sağladığı enerji) şu şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Giriş Gücü (kW)} = \text{Yakıt Tüketimi} \left(\frac{\text{L}}{\text{saat}} \right) \times \text{Yakıt Enerji Yoğunluğu} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{L}} \right) \quad (2)$$

Yakıt enerji yoğunluğu sabit bir değer olduğundan yakıt tüketimi ile çıkış gücü arasındaki doğrusal ilişki giriş gücüne de yansır ancak verim eğrisi doğrusal olmayan bir ilişki gösterir. Çünkü düşük güçlerde motorun verimi düşer ve optimum seviyeye gelinceye kadar artar. Optimum güce yaklaştıkça verim artışı yavaşlayıp sabit bir değere ulaşır.

2.2.4. Batarya

Sistemde 1 kWh kapasiteye sahip olan 6 V'luk Li-Ion bataryalar kullanılmıştır. Bataryalar 0.90 verimlilikte çalışmaktadır. Bataryaların yaşam ömrü 15 yıl, maksimum boşaltım oranı 0,20 olarak seçilmiştir. Lityum iyon bataryanın maliyeti 450 \$, yenileme maliyeti 450 \$, yıllık işletim ve bakım maliyeti ise 20 \$ olarak hesaba katılmıştır [21]. Sistemde kullanılan bataryaya ait teknik özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Generic 1 kWh Li-Ion Batarya Teknik Özellikleri

Nominal Voltaj (V)	6
Nominal kapasite (kWh)	1
Nominal kapasite (Ah)	167
Gidiş-dönüş verimliliği (%)	90
Maksimum şarj akımı (A)	167
Maksimum deşarj akımı (A)	500

2.2.5. İnvörtör (Dönüştürücü)

Dönüştürücü alternatif akım ve doğru akım gerilimleri arasındaki dönüşümü gerçekleştiren ekipmandır. Doğru akım ve alternatif akım bileşenleri arasındaki enerji akışını devam ettirmek için hibrit rüzgâr / güneş paneli / akü güç sistemi için gerekli olan dönüştürücüdür. Sistemimizde kullanılan dönüştürücünün verimi %90 olarak alınmıştır [22]. Sistemde kullanılan dönüştürücünün maliyeti 256 \$, yenileme maliyeti 256 \$ olarak belirlenmiştir. İşletim ve bakım maliyetinin yıllık 3 \$ olacağı değerlendirilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir [23].

2.2.6. Cihazların Matematiksel Modellemesi

Rüzgâr hızı, belirli bir konumdaki rüzgâr türbininin güç çıkışını belirleyen ana faktördür. Bir rüzgâr türbininin çıkış gücü denklem (3) [24] kullanılarak hesaplanabilir.

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v \leq v_{cut-in} \\ \frac{v - v_{cut-in}}{v_r - v_{cut-out}} P_r & v_{cut-in} < v < v_r \\ P_r & v_r < v < v_{cut-out} \end{cases} \quad (3)$$

P_r rüzgâr türbini nominal gücü (kW), $v(t)$ rüzgâr hızı (m/s), $v_{cut-out}$ rüzgâr türbininin düşük kesme hızı (m/s), v_r rüzgâr türbini nominal hızı (m/s) ve v_{cut-in} rüzgâr türbininin yüksek kesme hızı değerleridir (m/s).

$$V_t = V_m * \left(\frac{H_t}{H_m} \right)^{a_n} \quad (4)$$

Denklem (4) ilişkisine göre H_m rüzgâr türbini referans yüksekliği (m), H_t rüzgâr türbini kule yüksekliği (m), V_m rüzgâr türbini kule yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s), V_t referans yüksekliğindeki hız (m/s) ve a_n üstel güç yasası değerlerini ifade eder.

Güneş sistemindeki her bir güneş panelinin ürettiği toplam enerji miktarı, sistemin ürettiği toplam enerjiye eşittir. Basit PV modeli olarak bilinen Denklem (5), her panelin saatte ürettiği gücü belirlemek için ortam sıcaklığını ve güneş ışınımını kullanır [25].

$$P_{pvout}(t) = P_{(PVrated)} * \frac{v_i(t)}{1000} * [1 + \alpha_c((T_{amb} + (0,0256 * v_t)) - T_{cstc})] \quad (5)$$

$P_{pv_{out}}(t)$ PV modülünün çıkış gücünü (W), $v_i(t)$ güneş radyasyonunun değerini (W/m^2), $P_{(PV_{rated})}$ standart koşullar altında nominal PV gücünü, α_c sıcaklık katsayısını (-3.7×10^{-3} ($1/^\circ C$)), T_{CSTC} , hücre sıcaklığı ($0^\circ C$), ve T_{amb} ortam sıcaklığını ($0^\circ C$) ifade eder.

Yenilenebilir enerjideki boşlukları ve talep yüklerini gidermek için bir depolama sistemine ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerji, yükün toplam talebini aştığında piller şarj edilir. Ancak yük talebi üretilen gücü aştığında, piller güç açığını doldurmak için gönderilir. Denklemler (6) ve (7) sırasıyla akü şarj ve deşarj süreçlerini değerlendirmek için kullanılır [26].

$$E_{Batt_{ch}}(t) = E_{Batt}(t-1) * (1 - \sigma) + \left[E_{WT}(t) + E_{PV}(t) - \frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} \right] * \eta_{BC} \quad (6)$$

$$E_{Batt_{disch}}(t) = E_{Batt}(t-1) * (1 - \sigma) + \left[\frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} - (E_{WT}(t) + E_{PV}(t)) \right] * \eta_{BD} \quad (7)$$

$E_{Batt}(t)$ bataryanın t saatindeki kullanılabilir kapasitesini (kWh), $E_{Batt}(t-1)$ bataryanın (t-1) saatteki kullanılabilir kapasitesini (kWh), $E_L(t)$ saatteki yük talebini (kWh), E_{WT} rüzgâr türbininin t saatindeki enerji üretimini (kWh), σ bataryanın kendi kendine boşalma oranını, E_{PV} PV modülünün t saatinde enerji üretimini (kWh), η_{BC} batarya şarjının verimliliğini, η_{BD} Batarya deşarjının verimliliğini ve η_{Inv} invertörün verimliliğini temsil eder. Batarya şarj verimliliği, yukarıdaki iki denklemde de η_{BC} ve η_{BD} ile gösterilmiştir. Bu, her aşamada şarj akımına bağlı olarak değişecektir.

Talep noktalarını ve yenilenebilir enerji yüklerini idare etmek için bir depolama sistemine ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerji toplam yük talebini aştığında piller şarj edilir. Ancak yük talebi üretilen gücü aştığında, piller güç açığını doldurmak için gönderilir. Akünün deşarj ve deşarj süreçlerini değerlendirmek için denklemler (8) ve (9) kullanılmaktadır [26].

$$E_{Batt_{min}} = (1 - DOD) * E_{Batt_{max}} \quad (8)$$

Burada DOD maksimum batarya deşarjı derinliği (%)’ni temsil etmektedir. Denklem (7), invertörün giriş gücünü hesaplamak için kullanılabilir.

$$(P_{inv})(t) = \frac{P_L(t)}{\eta_{Inv}} \quad (9)$$

Burada $P_L(t)$ ve η_{Inv} sırasıyla yük gücü (kW) ve invertör verimliliğidir.

2.3. Sistem Ekonomik Girdileri

HOMER programı harcama hesaplamalarında yıllık gerçek faiz oranını kullanmaktadır. Bu simülasyon programında gerçek faiz oranı hesaplanırken güncel faiz oranı ve enflasyon oranlarından faydalanılır. Yıllık gerçek faiz oranı aşağıda verilen formül ile bulunmaktadır [21]:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (10)$$

Burada i gerçek faiz oranı, i' güncel faiz ve f güncel enflasyon oranı oranıdır. Bu çalışma kapsamında güncel enflasyon ve faiz oranları Aralık 2023 tarihi referans olarak belirlenmiş ve faiz oranı % 42,5 [27], enflasyon oranı ise % 64,77 [28] olarak kabul edilmiştir. Bu verilere göre gerçek enflasyon oranı -% 13,52 olarak bulunmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Balıkesir’in Edremit ilçesinde ($39^\circ 38.5'N$, $26^\circ 56.7'E$) 10 dairelik bir binaya şebekeden bağımsız hibrit sistemin kurulumunun analiz edilmesi için HOMER program destekli şebekeden bağımsız hibrit sistem, binanın elektrik ve termal yük ihtiyacını karşılayacak şekilde kurgulanmıştır. Güneş paneli, rüzgâr gülü, jeneratör ve pilin her biri bir komponent olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu komponentin yalnız başına veya bir diğer komponentle/komponentlerle birlikte kullanılması HOMER programı ile simüle edilerek en uygun sistem araştırılmıştır. Belirlenen lokasyonda göz önüne alınan bina için yapılan simülasyonlar birim enerji fiyatına göre sıralanmış ve en uygun 6 sistem Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Simülasyon Sonucu Ortaya Çıkan Hibrit Enerji Senaryoları

Architecture								Cost				System	
PV (kW)	G3	Gen (kW)	1kWh LI	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)		
41.7	2	17.0	67	22.0	LF	\$482,276	\$0.0608	\$1,473	\$82,142	98.4	213		
75.9			73	16.7	CC	\$562,353	\$0.0735	\$1,757	\$84,931	100	0		
73.2	1		66	18.1	CC	\$592,327	\$0.0757	\$1,856	\$87,980	100	0		
71.5		17.0	80	22.2	CC	\$629,778	\$0.0794	\$1,980	\$91,822	93.2	585		
	8		121	16.9	CC	\$1.05M	\$0.138	\$3,443	\$118,784	100	0		
	8	17.0	121	22.4	LF	\$1.16M	\$0.146	\$3,807	\$125,295	95.6	570		

Sistem genel olarak incelendiğinde jeneratör devrede değilken dönüştürücü gücünün 16-18 kW arasında değiştiği, jeneratör devrede iken 22 kW civarlarında olduğu gözükmektedir. Jeneratör devrede iken dönüştürücünün daha yüksek güç kapasitesinde olmasının 3 temel sebebi olabilir. Bunlar;

- **Güç Talebi:** Jeneratörlü bir sistemde, jeneratör hem yükü karşılamak hem de bataryaları şarj etmek için çalışabilir. Bu, daha fazla gücün dönüştürücü üzerinden geçmesi anlamına gelir. Dönüştürücü, alternatif akımdan doğru akıma (veya tam tersi) geçişi yönetir ve bu nedenle daha yüksek bir güç akışını yönetebilmesi için daha büyük kapasiteli bir cihaz gereklidir.
- **Yedekleme ve Güvenlik:** Jeneratör eklendiğinde, sistemin güç kapasitesi artar ve bu ekstra kapasiteyi yönetmek için konvertörün boyutunun da artırılması gerekebilir. Jeneratör hem yükü karşılamak hem de bataryaları şarj etmek için ek güç sağlar. Bu durumda, daha büyük bir dönüştürücü (22 kW) gereklidir çünkü jeneratörden gelen ek güç ile daha büyük bir enerji dönüşümü gerçekleştirilir. Aynı zamanda, daha büyük bir konvertör, yük artışlarına veya ani enerji taleplerine karşı sistemin daha güvenilir olmasını sağlar.
- **Verimlilik ve Performans:** Jeneratörlü sistemlerde, daha büyük bir konvertör, jeneratörden gelen gücü daha verimli bir şekilde yönetmek ve sistemin genel verimliliğini artırmak için gereklidir.

Hibrit enerji senaryoları içerisinde en uygun iki sistem Tablo 4'ün ilk iki satırında verilen sistemler olarak belirlenmiştir. En uygun birim enerji maliyeti 0,0608 \$ elde edilmiştir. Birim enerji maliyeti düşük olan ilk sistemde 41,7 kW'lık güneş paneli, 2 adet 3 kW'lık rüzgâr türbini, 17 kW'lık dizel jeneratör, 67 kWh'lik batarya depolama sistemi ve 22 kW'lık dönüştürücü kullanılması önerilmektedir. Uygunluk açısından ikinci sırada yer alan sistemde ise 75,9 kW'lık güneş paneli, 73 kWh'lik batarya depolama sistemi ve 16,7 kW'lık dönüştürücü olması yeterli görülmektedir. İlk sistemin net bugünkü maliyeti 482.276 \$ iken, dizel jeneratör ve rüzgâr türbininin devreden çıkarılıp elektrik enerjisinin sadece güneş paneliyle sağlanması durumunda net bugünkü maliyet %16,6 oranında artarak 562.353 \$'a yükselmektedir. İkinci sistemde ilk sisteme kıyasla daha fazla güneş paneli ve batarya olduğu için kurulum maliyeti 2.789 \$ artarak 82.142 \$'dan 84.931 \$'a yükselmiştir. Dizel jeneratörün sisteme dahil edilmesine bağlı olarak ilk sistem %98,4 yenilenebilir fraksiyon oranına sahipken ikinci sistem %100 yenilenebilir fraksiyona sahiptir olmaktadır. İlk sistemde devreye dizel jeneratörün dahil edilmesi güneş panelinde 34,2 kW azalma sağlamakta, onun yerine 17 kW'lık dizel jeneratör ve 2 adet 3 kW'lık rüzgâr türbini sisteme dahil edilmiş, elektrik üretiminin bir kısmı jeneratörle fosil yakıtlardan karşılanmıştır. Ancak, dizel jeneratörün devreye alınması emisyon değerlerinde artışa sebep olmaktadır. Dizel jeneratörün emisyon değerleri üzerine etkisi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. İlk Sistemin Emisyon Verileri

Nitelik	Değer	Birim
Karbondioksit	557	kg/yıl
Karbonmonoksit	3,51	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	0,153	kg/yıl
Partikül Madde	0,0213	kg/yıl

Sülfür dioksit	1,36	kg/yıl
Nitrojen Oksit	3,30	kg/yıl

3.1. Bataryanın Sisteme Olan Etkisi

Şebekeden bağımsız (off-grid) sistemlerde batarya maliyetinin genel maliyeti yükseltmesi sebebiyle problem teşkil ettiği tahmin edilmektedir. Güneş yoğunluğunun ve rüzgâr hızlarının sene içerisinde genele yayılmaması bataryasız sistemlerde jeneratörün kullanım miktarında artışa sebep olmaktadır. Bu artış enerji maliyetlerini, sistem maliyetlerini, yenilenebilir enerji oranını, yakıt miktarını, emisyon artışını önemli ölçüde etkilemektedir. Tablo 6'da görüleceği üzere bataryalı sistemin birim enerji maliyeti 0,0608 \$ iken batarya kullanılmayan sistemin maliyeti 0,450 \$ 'a olmaktadır.

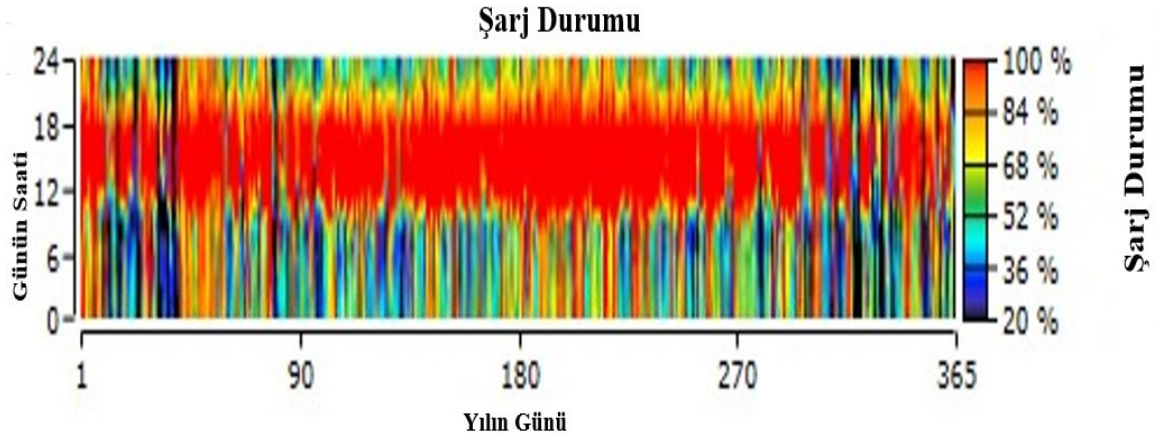
Tablo 6. Bataryalı ve Bataryasız Sistemlerin Simülasyona Bağlı Maliyet Değerleri

Architecture								Cost				System	
PV (kW)	G3	Gen (kW)	1kWh L	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)		
41.7	2	17.0	67	22.0	LF	\$482,276	\$0.0608	\$1,473	\$82,142	98.4	213		
79.9	12	17.0		7.96	CC	\$3.57M	\$0.450	\$12,592	\$147,485	50.9	6,489		

Sistemdeki yenilenebilir fraksiyonu %98,4'ten %50,9'a kadar gerilemiştir. Bununla birlikte sistemin şimdiki değeri 482.276\$'dan 3,57M\$'a (%640,24) yükselmiştir. İlk sistemde enerji kaynaklarının nasıl yönetileceğini belirleyen dağıtım stratejisi Yük İzleme (LF) iken bataryasız sistemde Döngü Şarj (CC) olmuştur. Yük İzleme stratejisi kapsamında bir jeneratöre talep olduğunda sadece talebi karşılayacak kadar güç üretir. Yük takibi, bazen yükün üzerinde çok fazla yenilenebilir enerjiye sahip sistemlerde optimal olma eğilimindedir. Döngü şarjı stratejisi kapsamında ise, bir jeneratöre talep olduğunda tam güçle çalışır ve fazla güç, batarya bankasını şarj eder. Yük İzleme yakıt tasarrufu sağlar, ancak bataryaların doluluk seviyesini korumak için daha az uygundur. Genellikle düşük talep veya değişken yüklerde tercih edilir. Döngü Şarj bataryaların her zaman dolu kalmasını sağlamak için daha iyidir, ancak daha yüksek yakıt tüketimine yol açabilir. Yüksek talep dönemlerinde ve sürekli enerji arzı gereken sistemlerde daha uygundur.

Tablo 6'da batarya kullanılmayan sistemin emisyon oranlarına bakıldığında sistemde %2.929,3 'lük oldukça yüksek bir emisyon artışı gerçekleşmiştir. Emisyon değerindeki bu artış yakıt tüketimindeki artıştan kaynaklanmaktadır. Yıllık yakıt tüketimi 213 L'den 6.489 L'ye çıkmaktadır. Batarya kullanılmayan sistemde yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen fazla elektrik enerjisi depolanamadığı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersiz kaldığı durumlarda da dizel jeneratör devreye girmekte ve emisyon oluşumuna sebep olmaktadır (Tablo 7).

En uygun olarak değerlendirilen ilk sistemde kullanılan bataryanın yıl içerisindeki kullanım ve doluluk değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Güneş ışınımının yoğun olduğu öğlen saatlerinde batarya doluluk oranının %100'e ulaştığı, diğer saatlerde ise kullanım oranlarına bağlı olarak doluluk oranında düşüşler meydana geldiği gözükmektedir.



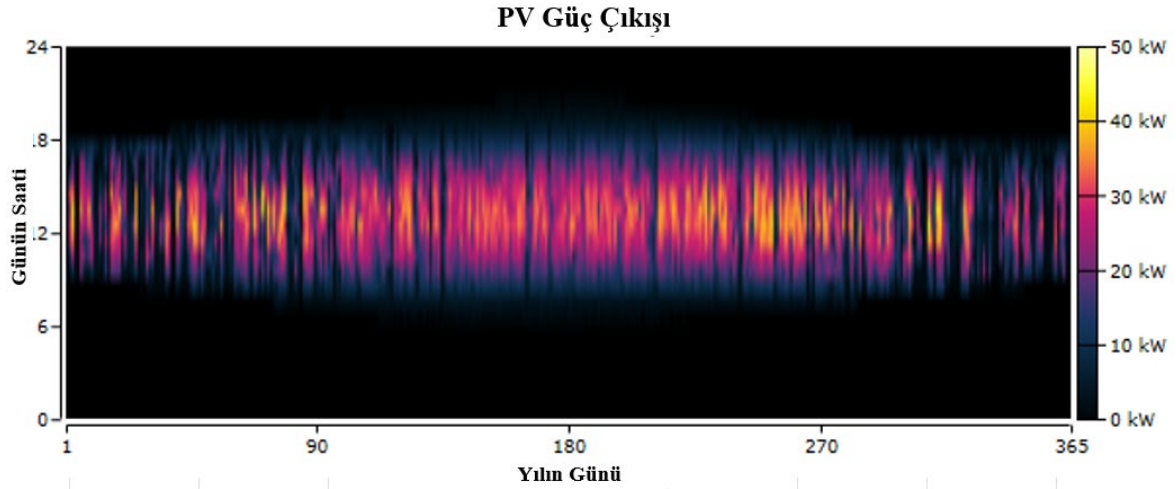
Şekil 9. Bataryanın Yıl İçerisindeki Doluluk Oranları

Tablo 7. Bataryasız Senaryonun Emisyon Verileri

Nitelik	Değer	Birim
Karbondioksit	16.985	kg/yıl
Karbonmonoksit	107	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	4,67	kg/yıl
Partikül Madde	0,649	kg/yıl
Sülfürdioksit	41,6	kg/yıl
Nitrojen Oksit	101	kg/yıl

3.2. Güneş Paneli ve Rüzgâr Türbininin Sisteme Olan Etkisi

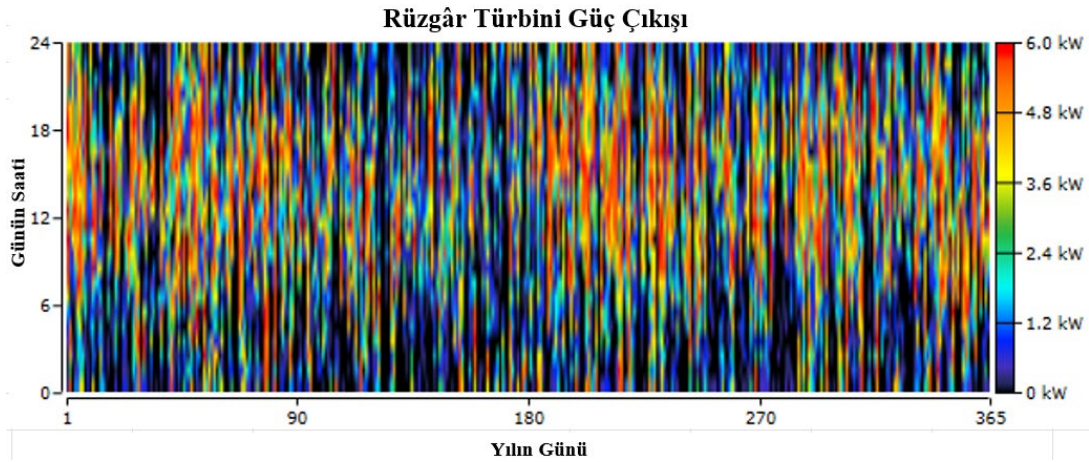
Tasarlanan sistem HOMER programında hesaplanmış ve Tablo 4’te simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Bu tabloya göre en uygun olan sistemde kullanılan güneş panellerinin, senenin farklı gün ve zaman dilimlerinde ürettiği çıkış gücü değerleri Şekil 10’da verilmiştir. Güneş paneli Şekil 10’dan da görüleceği gibi günün belirli zaman dilimlerinde yalnız kullanılmaları halinde yetersiz kalmaktadır. Modellenen sistem optimizasyonu itibarıyla, güneş panelleri üretilen güç için temel enerji kaynağıdır. Buna ek olarak, paneller yüksek kapasiteye sahip oldukları için az zamanda daha fazla enerji üretmektedir. Sistem için kullanılan güneş panelleri senede 4.388 saat çalışarak toplamda 62.863 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Sistemde modellenen güneş panelinin ortalama gücü 7,18 kW, günlük ortalama enerji üretimi 172 kWh ve kapasite faktörü %17,2 olmaktadır. Sisteme dahil edilen güneş panellerinin maksimum çıkış gücü ise 43 kW olarak görülmüştür. Paneller tarafından üretilen elektrik enerjisinin birim masrafı 0,00817 \$/kWh olarak belirtilmiştir.



Şekil 10. Optimum Sistemde Kullanılan Güneş Panelinin Yıl İçerisindeki Güç Çıkışı Değerleri

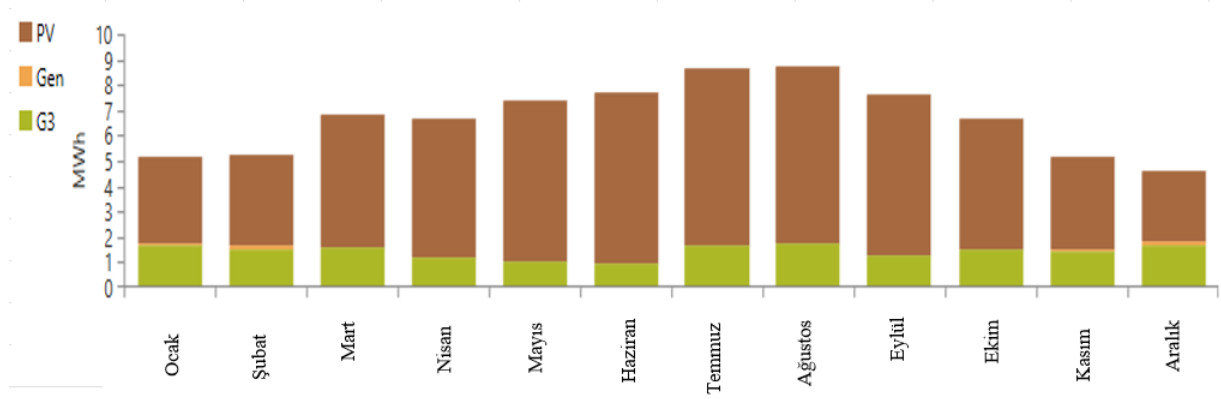
Tablo 4'teki en optimum sistemde yer alan rüzgâr türbini, yılda 7.623 saat çalışarak 17.219 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Sistem yer alan rüzgâr türbinlerinin maksimum çıkış gücü 6 kW, rüzgâr türbininin ortalama güç çıkışı 1,97 kW, günlük ortalama enerji üretimi 47,18 kWh ve kapasite faktörü %32,8 olarak belirlenmiştir.

Şekil 11'de ilk sistemde (en optimum sistem) kullanılan rüzgâr türbininin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri verilmiştir. Şekil 11'den de görüleceği üzere yılın ilk dönemlerinde rüzgar enerjisi daha etkin olmaktadır. Bunun sebebi kış aylarında güneş panellerinin yetersiz kalması ve rüzgâr türbininin sistemin ihtiyacı olan elektrik enerjisini karşılaması olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 11. Optimum Sistemde Kullanılan Rüzgâr Türbininin Yıl İçerisindeki Güç Çıkışı Değerleri

En uygun sistemde güneş paneli, rüzgâr türbini ve dizel jeneratör birlikte kullanılmıştır. Elektrik üretiminin büyük kısmı güneş enerjisi tarafından sağlanmıştır (Şekil 12). Şekil 12 incelendiğinde, yıllık 80.547 kWh elektrik üretimi gerçekleştirilen sistemde elektrik üretiminin %78'i (62.863 kWh/yıl) güneş panelleri, %21,4'ü (17.219 kWh/yıl) rüzgâr türbinleri ve geriye kalan kısmı olan %0,579'u (466 kWh/yıl) ise dizel jeneratör tarafından sağlandığı görülmektedir.

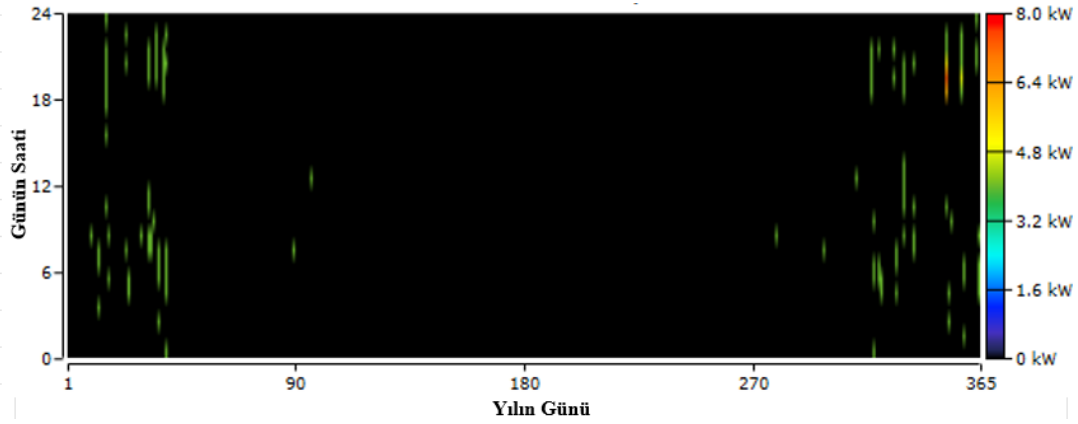


Şekil 12. Elektrik Enerji Üretimine Bileşenlerine Ayrılmış Hali

3.3. Dizel Jeneratör Ve Yakıt Tüketiminin Sisteme Olan Etkisi

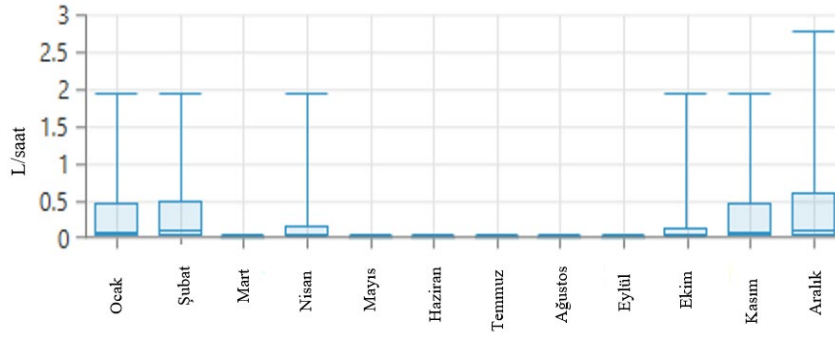
Tablo 4'teki en optimum sistemde yer alan dizel jeneratör, yılda 108 saat çalışarak 466 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Dizel jeneratörün yıllık yakıt tüketimi 213 L, spesifik yakıt tüketimi 0,456 L/kWh ve kapasite faktörü ise %0,313 olmaktadır.

İlk sistemdeki (en optimum sistem) dizel jeneratörün yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri Şekil 13'te verilmiştir. Dizel jeneratörler Şekil 12'den de görüleceği gibi nisan ve ekim ayları arasında çalıştırılmamıştır. Bunun nedeni yaz aylarında güneşli gün sayısının ve güneşlenme süresinin fazla olması sebebiyle panellerin çalışma zamanının artması hem de rüzgâr türbinin sistemin ihtiyacı olan elektrik enerjisini üretimine yeterli düzeyde katkı vermesi olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 13. Optimum Sistemde Kullanılan Dizel Jeneratörün Yıl İçerisindeki Güç Çıkışı Değerleri

Sistemde kullanılan dizel jeneratörün elektrik üretimi için dizel yakıt harcaması sebebiyle Şekil 13'te verilen güç çıkışına paralel dizel yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Şekil 14'te dizel yakıt tüketiminin ay bazında kullanım şeması verilmiştir. Burada dizel yakıtın aylık olarak güneş enerjisinden elde edilecek elektrik enerjisinin kış aylarında azalması, rüzgâr türbininin ve bataryadaki yedek elektrik enerjisinin yetersiz kalması gibi sebeplerle dizel jeneratörün devreye girme zamanlarında yakıt tüketimi artmıştır. Nitekim dizel yakıt en çok Aralık ayında kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 14. Optimum Sistemde Tüketilen Dizel Yakıtın Yıl İçerisindeki Kullanım Değerleri

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan bu çalışmada şebekeden bağımsız (off-grid) olarak Balıkesir'in Edremit ilçesinde (39°38.5'N,26°56.7'E) lokasyonuna tasarlanan sistem güneş panelleri, rüzgâr türbinler, dizel jeneratör, batarya ve invertörden oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model, hanenin elektrik yükünün sistem tarafından karşılanabileceği şekilde tasarlanmış, sistemin analizleri HOMER programıyla yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en iyi senaryonun PV/Rüzgâr türbini/Dizel Jeneratör/Batarya/İnvertörlü sistem olduğu belirlenmiştir. Proje kapsamında 41,7 kW'lık PV panel, 2 adet 3 kW'lık rüzgâr türbini, 17 kW dizel jeneratör, 67 adet 1 kWh'lik kapasiteye sahip 6 V'luk Li-Ion batarya depolama sistemi, 22 kW'lık dönüştürücü kullanılmıştır. Sistemin kurulum maliyeti 82.142\$, operasyon maliyeti 1.473\$/yıl, sistemin bugünkü net maliyeti 482.276\$ ve birim enerji maliyetinin 0,0608\$ olduğu hesaplanmıştır. Seçilen sistemin yenilenebilir yüzdesi %98,4 olarak bulunmuştur. Simülasyon sonucu bataryasız sistemde projenin bugünkü net maliyeti 3,57M\$ olacakken, sistemde batarya kullanıldığı takdirde projenin bugünkü net maliyeti 482.276\$'a düştüğü saptanmıştır. Bataryasız sistemde salınan zararlı emisyon gazlarının oranı bataryalı sisteme nazaran %2.929,3'lük kabul edilmesi oldukça zor bir artış gerçekleştirmektedir. Bu da sistemin kabul edilebilirliğini kısıtlamaktadır. Projenin detaylı maliyet bilgileri Tablo 8'de verilmiştir. Sistemde kullanılan komponentlerin kurulum maliyeti 82.141,67 \$, yenileme (değiştirme) maliyeti 589.601,87 \$, işletim ve bakım maliyeti 771.928,08 \$, yakıt maliyeti 70.485,18 \$ ve hurda kazanım girdisi ise 1.031.881,02 \$ olarak karşımıza çıkmaktadır. Tablo 8 incelendiğinde kurulum maliyetinde ve işletim bakım maliyetinde en büyük paya sahip olan komponentin 30.150 \$ (%36,7) kurulum maliyeti ve 364.062,48 \$ (%47,16) işletim bakım maliyeti ile Li-Ion bataryanın, yenileme maliyetinde en büyük paya sahip olan komponentin 273.751,69 \$ (%46,43) yenileme maliyeti ile rüzgâr türbininin olduğu görülmektedir. Yine tablodan da görüleceği üzere sistemde net bugünkü değere en çok fiyat artışı sağlayan 281.334,96\$ (%58,33) ile Li-Ion batarya cihazıdır. En çok hurda değeri getirisine baktığımızda ise rüzgâr türbininden sonra ikinci sırada gelmektedir ve bu ikisi genel hurda ücretinin yaklaşık %78'ini oluşturmaktadır. Bir diğer parametre olarak yakıt tüketimini incelediğimizde, yakıt tüketiminden kaynaklanan maliyetin sistemin net bugünkü değerine olan etkisinin %4,66 olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde giderlerin yaklaşık %51'inin operasyon ve yönetim kaynaklı olduğu gözükmektedir.

Tablo 8. Optimum Sistemin Harcama Geçmişi Tablosu

Komponentler	Maliyet (\$)	Yenileme (\$)	O&M (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
Jeneratör	\$5.100	\$0,00	\$4.988,20	\$70.485,18	(\$157.748,76)	(\$77.175,38)
1kWh Li-Ion Batarya	\$30.150	\$266.217,42	\$364.062,48	\$0,00	(\$379.094,95)	\$281.334,96
Rüzgâr Türbini 3 kW	\$15.000	\$273.751,69	\$271.688,42	\$0,00	(\$424.360,02)	\$136.080,09
Güneş Paneli	\$26.270,60	\$0,00	\$113.292,33	\$0,00	\$0,00	\$139.562,93
Dönüştürücü	\$5.621,07	\$49.632,76	\$17.896,65	\$0,00	(\$70.677,30)	\$2.473,18
Sistem	\$82.141,67	\$589.601,87	\$771.928,08	\$70.485,18	(\$1.031.881,02)	\$482.275,78

Bu projede hane başına 48.227,6\$ ödenmesi durumunda, 10 hanenin 25 yıllık süreyi kapsayacak şekilde elektrik ihtiyacının sistem tarafından karşılanacağı gözükmektedir. Bu da hane başına aylık yaklaşık olarak 161\$'a tekabül etmektedir. Bu sisteme yatırım yapılması sayesinde, hem yenilenebilir enerji emisyon oranlarının yenilenemez enerji kaynaklarına kıyasla daha az olmasıyla daha çevreci bir sistem olacak, hem de özkaynaklar ile enerji sağlandığı için enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına pozitif bir etki ederek ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber bu fiyatların daha da aşağı ineceği düşünülürse, gelecekte bu tip çalışmaların uygulanabilirliği için umut var demektir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Yılmaz, Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4:2 (2012) 33-54.
- [2] E. Mustafa, Bornova İçin Güneş-Rüzgâr Hibrid Enerji Üretim Sistemi Tasarımı. Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2:3 (2010) 11-20.
- [3] M. A. Aktacir, B. Yeşilata, & Y. Işker, Fotovoltaik-rüzgâr hibrid güç sistemi uygulaması. Yeni Enerji Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, 3:1 (2008) 56-62.
- [4] M.E. Dinçsoy, Orta ölçekli bir otelin elektrik enerjisinin hibrit sistemler ile modellenmesi ve optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [5] Gazelektrik. Erişim: 10.04.2024. <https://Gazelektrik.Com/Faydali-Bilgiler/Elektrik-Tuketimi>, 2020.
- [6] HOMER. Erişim: 13.04.2024. <https://www.homerenergy.com>
- [7] Ö. C. Külekçi, Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 1:2 (2009) 83-91.
- [8] F. Taktak, ve M. Ili, Güneş enerji santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği. Geomatik, 3:1 (2009) 1-21.
- [9] N. Demircan, Ve B. Bayraktar, Rüzgâr Enerjisi Ve Balıkesir Bölgesindeki Potansiyeli. Balıkesir Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1:2 (2020) 84-105.
- [10] P. W. Stackhouse, Surface meteorology and solar energy, 2019.
- [11] M. Ramesh, ve R. P. Saini, Dispatch strategies based performance analysis of a hybrid renewable energy system for a remote rural area in India. Journal of Cleaner Production, 120697 (2020).
- [12] H. Özcan, Bir hibrid enerji sisteminin modellenmesi ve analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [13] T. Lambet, P. Gilman, and P. Lilienthal, Micropower system modeling with HOMER, Integration of Alternative Sources of Energy, (2006) 379-418.
- [14] M. Y. KILIÇ, ve S. ADALI, Elektrik İhtiyacının Karşılansında Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi-Süpermarket Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5:1 (2022) 224-235.
- [15] R. Erkoç, Güneş Enerji Santrallerinin Modellenmesi, Ekonomik Analizi Ve Değerlendirme: Almanya Ve Türkiye Uygulamaları, Ordu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [16] E. Koç, Ve M. C. Şenel, Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri Mekanik Tasarım Esasları Ve Performans Araştırması. Anadolu Enerji Sempozyumu, 22-24 Haziran 2011.

- [17] J. Tangler, The evolution of rotor and blade design. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2000.
- [18] S. TÜRKDOĞAN, S. Dilber, ve Ç. A. M. Barış, Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açıdan İncelenmesi. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3:2 (2018) 52-65.
- [19] C. Ghenai, ve M. Bettayeb, Modelling and performance analysis of a stand-alone hybrid solar PV/Fuel Cell / Diesel Generator power system for university building. Energy, 171 (2019) 180-189.
- [20] OPET. Erişim: 19.04.2024. <https://www.opet.com.tr/>
- [21] A. F. Güven, ve C. Hatipoğlu, Şebekeden Bağımsız Güneş/Rüzgâr/Biyogaz/Yakıt Hücresi/Batarya Tabanlı Hibrit Enerji Sisteminin Tekno-Ekonomik Analizi: Muğla Zaferler Köyü Vaka Çalışması. EMO Bilimsel Dergi, 12:1 (2022) 53-65.
- [22] K. Y. Lau, M. F. M. Yousof, S. N. M. Arshad, M. Anwari, ve Y. AHM, Performance analysis of hybrid photovoltaic/diesel energy system under Malaysian conditions. Energy, 35:8 (2010) 3245-3255.
- [23] A. F. Güven, ve M. Mertcan, Balıkesir İli Erdek İlçesi İçin Bağımsız Hibrit Enerji Sisteminin Fizibilite Çalışması ve Ekonomik Analizi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9:4 (2021) 1063-1076.
- [24] Y. Chen, R. Wang, M. Ming, S. Cheng, Y. Bao, W. Zhang, ve D. Zhang, Constraint Multi-Objective Optimal Design of Hybrid Renewable Energy System Considering Load Characteristics. Complex & Intelligent Systems. 8:1 (2021) 803-817.
- [25] C. Ghenai, T. Salameh, ve A. Merabet, Technico-Economic Analysis of off Grid Solar PV/Fuel Cell Energy System for Residential Community in Desert Region. International Journal of Hydrogen Energy. 45:20 (2020) 11460–11470.
- [26] S. Ahmadi, S. Abdi, Application of the Hybrid Big Bang-Big Crunch Algorithm for Optimal Sizing of a Stand-Alone Hybrid PV/Wind/Battery System. Solar Energy. 134:1 (2016) 366–374.
- [27] TCMB. Erişim: 24.04.2024. <https://www.tcmb.gov.tr/>
- [28] TÜİK. Erişim. 26.04.2024. <https://data.tuik.gov.tr/>