



BALIKESİR İLİ ERDEK İLÇESİ İÇİN BAĞIMSIZ HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI VE EKONOMİK ANALİZİ

¹Aykut Fatih GÜVEN , ²Mertcan Kubilay METE 

^{1,2}Yalova University, Engineering Faculty, Energy System Engineering Department, Yalova, TURKEY
¹mertcankubilaymete@gmail.com, ²afatih.guven@yalova.edu.tr

(Geliş/Received: 03.08.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 15.11.2021)

ÖZ: Bu çalışmada Balıkesir'in Erdek ilçesinin 2020 yılı aylık elektrik tüketim değerlerini karşılamak amacı ile oluşturulabilecek en optimum şebeke bağlantısız hibrit enerji sistemi tasarımı HOMER programında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı ise fosil yakıtların tükenmesi ile artan maliyetleri ve çevreye verdikleri zararlardan ötürü seçilen bölgenin daha ucuz ve temiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi eldesini sağlamaktır. Bölgenin enerji ihtiyacını karşılayacak en optimum sistem arayışında farklı senaryolar oluşturulup analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu senaryoları oluşturan sistem bileşenleri ise güneş paneli, rüzgar türbini, batarya, dönüştürücü, yakıt pili, Elektrolizör, hidrojen tankı, dizel ve biyogaz jeneratörü olmaktadır. Oluşturulan farklı senaryolar arasındaki fark kullanılan jeneratör tiplerinden kaynaklanmaktadır. Oluşturulan senaryoların optimizasyon sonuçları arasında yapılan analizler sonucunda şebeke bağlantısız Güneş paneli /Rüzgar türbini/Dizel Jeneratör/Batarya sisteminin 165 milyon \$ net bugünkü maliyet ve 0,109 \$ birim enerji maliyeti ile en uygun sistem olduğu ortaya koyulmaktadır. Şebeke bağlantısız Güneş paneli/Rüzgar türbini/Dizel Jeneratör/Batarya sisteminin her ne kadar diğer sistemlere göre daha yüksek emisyon değerleri olsa da bu değerler kabul edilebilir düzeyde olmaktadır. Hem istenilen maliyet değerlerini hem de istenilen çevreci yaklaşım açısından en optimum sistem tasarımını temsil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik tüketimi, hibrit enerji sistem, HOMER, maliyet analizi, yenilenebilir enerji

Feasibility Study and Economic Analysis of Stand-Alone Hybrid Energy System for Balıkesir Province Erdek

ABSTRACT: In this study, the most optimal off-grid hybrid energy system design that can be created in order to meet the monthly electricity consumption values of Balıkesir's Erdek district for 2020 was carried out in the HOMER program. The aim of this study is to obtain electrical energy from cheaper and cleaner renewable energy sources in the selected region due to the increasing costs and environmental damage caused by the depletion of fossil fuels. Different scenarios were created and analyzed in search of the most optimal system to meet the energy needs of the region. System components that make up these scenarios are solar panel, wind turbine, battery, converter, fuel cell, electrolyzer, hydrogen tank, diesel and biogas generator. The difference between the different scenarios created is due to the generator types used. As a result of the analyzes made between the optimization results of the scenarios created, it is revealed that the off-grid Solar panel /Wind turbine/Diesel Generator/Battery system is the most suitable system with a net current cost of 165 million \$ and a unit energy cost of 0.109 \$. Although the Solar panel/Wind turbine/Diesel Generator/Battery system off-grid connection has higher emission values than other systems, these values are at an acceptable level. It represents the most optimum system design in terms of both the desired cost values and the desired environmentalist approach.

Key Words: Electricity consumption, hybrid energy system, HOMER, cost analysis, renewable energy

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Her geçen yıl artan dünya nüfusu ve teknolojinin hayatın her alanına entegre edilmesi ile birlikte yıllık enerji ihtiyacında artışlar görülmektedir. Bilindiği üzere enerji üretimi ilk olarak fosil yakıt kaynaklarının kullanıldığı sistemler ile yapılmıştır. Her geçen yıl artan enerji talebi ile birlikte de fosil yakıt kaynaklarının kullanımı artırılmıştır. Fosil yakıtların tükenebilir olması ve her geçen yıl daha fazla popülarite kazanmaları fiyatlarının da artmasına sebep olmuştur. Gerçekleşen fiyat artışları ile doğru orantılı olarak birim enerji maliyeti de yükselmiştir. Bu yükselmeler ve yüksek enerji talebi maddi açıdan zararlara sebebiyet vermiştir.

Bu zararlı durumun önüne geçmek adına ülkeler enerji politikalarında değişikliklere giderek yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya başlamıştır. Bu sayede üretilen enerjinin maliyeti düşmüş, çevreye verilen zararların azaltılması sağlanmıştır. 2020 yılı itibarıyla Almanya elektrik üretiminin %23'lük bölümü güneş enerjisinden sağlamaktadır. Fraunhofer Güneş Enerjisi Sistemleri Enstitüsü tarafından derlenen verilere göre Almanya'da 2020 yılı sonunda, 7,55 Teravat-saat (TWh) elektrik üretimi gerçekleşirken, bu üretimde güneş enerjisi santrallerinin payı 1,74 TWh'dır. Almanya'da 2019 yılında 1,05 TWh'lık bölümü güneş enerjisi kaynaklı olmak üzere, 10,63 TWh Elektrik üretimi gerçekleşmiştir (enerjigazetesi.ist, 2021). Almanya'nın yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %50.5 ve 247,01 TWh değerlerindedir. Üretimde rüzgâr enerjisinin payı %27, biyokütlenin %11.6, hidroelektriğin ise %4 değerlerindedir (ise.fraunhofer.de, 2021). Ayrıca bu üretimde nükleer enerji santralleri %16.2, kömürlü termik santraller %18.4 ve doğal gaz santrallerinin payı %10'dur. Almanya aldığı yeni kararlarla 2022'de öngörülen güneş enerjisi kapasitesini 1,9 GW'tan 6 GW'a çıkarmayı hedeflemektedir (Temizenerji.org, 2021).

2020 yılı ilk dokuz ayı sonunda Türkiye toplam kurulu gücü 93,2 GW seviyelerine ulaşmıştır. İlk dokuz ay içerisinde 1,912 megavat (MW) civarında gerçekleşen kurulu güç artışı yenilenebilir kaynaklardan elektrik üreten santrallerden meydana gelmiştir. 1,263 MW'lık kurulu güç artışı hidroelektrik santrallerinden sağlanmış, toplam artışın 374 MW'lık kısmı rüzgâr enerjisi santrallerinden (RES), 237 MW'lık kısmı ise güneş enerjisi santrallerinden (GES) kaynaklanmıştır. İlgili dönemde doğal gaz ve çok yakıtlılar kullanarak elektrik üreten santrallerin net toplam kurulu gücü 291 MW azalmıştır. Türkiye'nin Almanya'ya göre çok daha yüksek potansiyelini kullanması durumunda yüksek üretim sağlanabileceği görülmektedir (tsk.com.tr, 2021). Güneş enerjisinin yanı sıra Türkiye'nin Ege ve Marmara bölgelerinde de rüzgâr enerjisinden Elektrik enerji üretimi de gerçekleştirilmektedir (Tabak, 2021).

Güneş ve rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi yapan sistemler ayrı ayrı kullanıldıkları gibi birlikte de kullanılmaları durumunda Hibrit Enerji Sistemi adı verilen sistemleri oluşturmaktadırlar. Bu sistemler kullanılan bir kaynağın veriminin düşmesi durumunda ihtiyacın diğer kaynaktan sağlanması ile sistemin veriminin düşmemesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Balıkesir'in Erdek ilçesinin 2020 yılındaki elektrik tüketim istatistiklerine bakılarak bölgenin enerji ihtiyacının karşılanması için şebeke bağlantısız Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini/Jeneratör/Batarya hibrit enerji sistemi tasarımı HOMER programında gerçekleştirilmiştir. Tasarım senaryolarında kullanılan jeneratör bileşeninin 3 farklı türü olan dizel, biyogaz ve yakıt pili kullanılarak sonuçlar irdelenmiştir. Sonuç olarak, maliyet açısından ve çevreci yaklaşıma en uygun sistem tasarımı elde edilmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Projenin uygulanacağı yer olarak seçilen yer Türkiye'nin Marmara Bölgesinde bulunan Balıkesir ili Erdek ((40°23.9' N 27°47.5' E) ilçesidir. Yapılan araştırmalar ve alınan veriler 35.000 nüfuslu bir ilçe için yapılmıştır. Yük olarak belirlenen Erdek ilçesinin tüketim değerleri Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş (UEDAŞ)'nin 2020 yılı sonunda gerçekleştirdiği analiz raporlarından elde edilmiştir. Çizelge 1'de analizler sonucu elde edilen aylık enerji tüketim değerleri görülmektedir. Bu veriler kullanılarak yapılan

hesaplamalar sonucunda bölgenin günlük enerji ihtiyacı 208.171,27 kWh, günlük tepe değeri ise 34.807,11 kW'dır. HOMER programına önceden tanımlanmış ticari tip yük profili seçilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir.

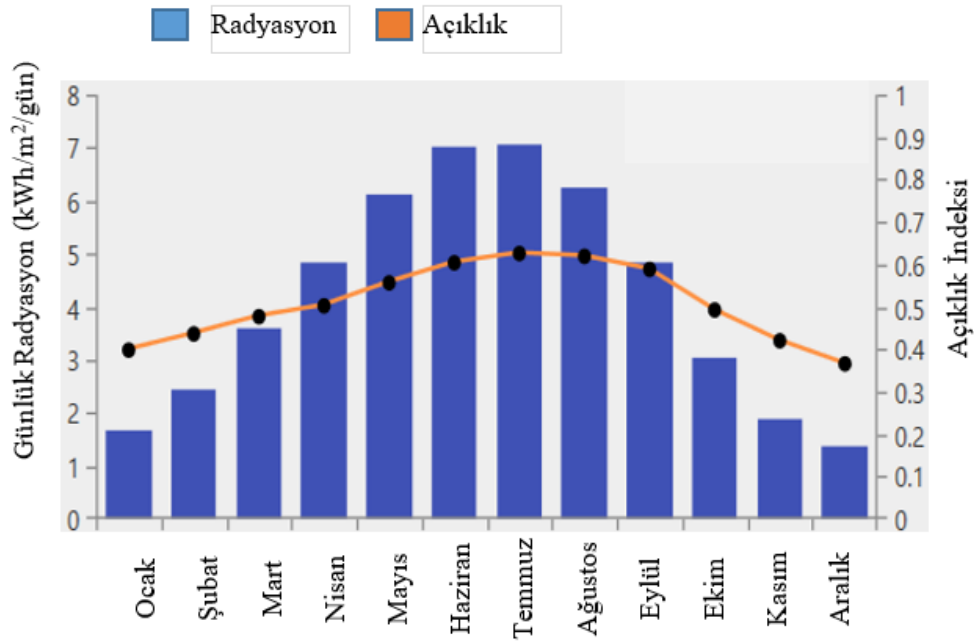
Çizelge 1. Erdek ilçesi ortalama elektrik enerjisi tüketim değerleri

Table 2. . Average electrical energy consumption values of Erdek district

Tarih	Tüketim (kWh)	Tarih	Tüketim(kWh)
01/2020	6.094.516,38	07/2020	8.134.237,44
02/2020	5.363.467,69	08/2020	9.441.486,41
03/2020	5.186.179,35	09/2020	7.406.112,21
04/2020	4.342.727,23	10/2020	6.679.949,20
05/2020	5.200.203,43	11/2020	5.653.133,68
06/2020	5.422.260,96	12/2020	7.058.241,91

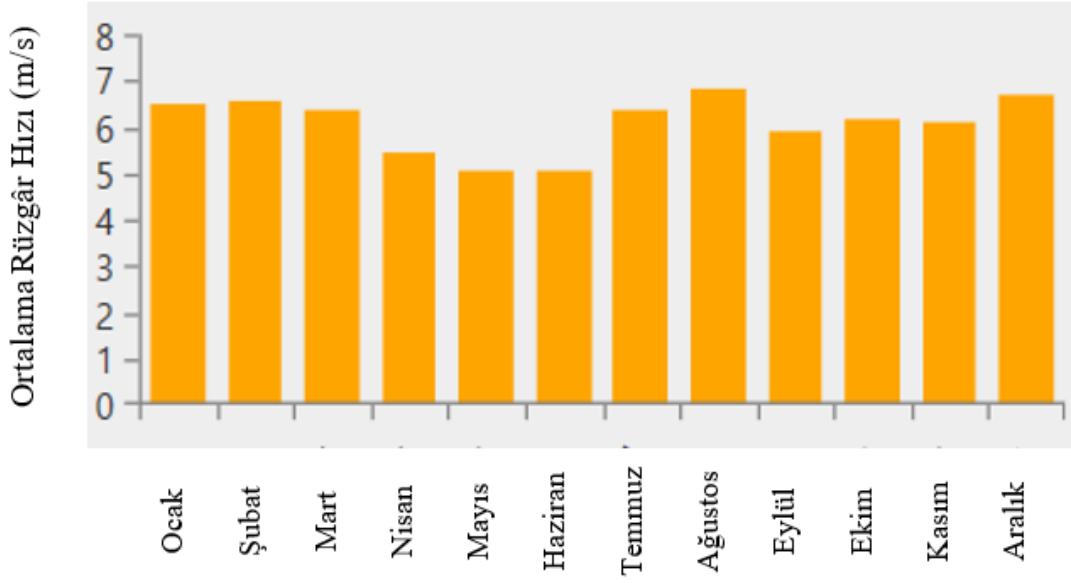
Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapacak olan güneş panellerinin üretebileceği enerji miktarı bölgenin meteorolojik verileri ile doğrudan ilgilidir. Bölgenin solar enerji verileri HOMER programına entegre edilmiş olan NASA'nın veri tabanından alınmaktadır. Şekil 1'de de görüldüğü gibi bölgenin ortalama solar enerji potansiyeli yaz aylarında daha fazla kış aylarında ise yaz aylarına göre daha azdır. Bununla birlikte ortalama günlük solar enerji potansiyeli 4,17 kWh/m² /gün olarak belirlenmiştir.

Rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri çok yüksek olduğundan kurulmadan önce bölgenin rüzgâr hızı profili iyi değerlendirilmelidir. Bölgenin ortalama rüzgâr hızı profili, güneş enerjisi potansiyelinde olduğu gibi NASA'nın veri tabanından alınmış ve ortalama rüzgâr hızı 6,08 m/s olduğu gözlemlenmiştir. Kış aylarında solar enerjinin yetersiz kalabileceği durumlarda rüzgâr enerjisinin bu eksikleri tamamlayıcı enerji kaynağı olacağı ve ikisinin birbirini tamamlayacağı aşikardır. Bu özelliklerinden dolayı da hibrit sistemlerde en çok tercih edilen enerji kaynaklarıdır. Bölgenin rüzgâr hızı profili de Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Bölgenin aylık ortalama solar radyasyon (kWh/m²/gün) profili

Figure 1. Monthly average solar radiation (kWh / m² / day) profile of the region



Şekil 2. Bölgenin aylık ortalama rüzgâr hızı (m/s) profili

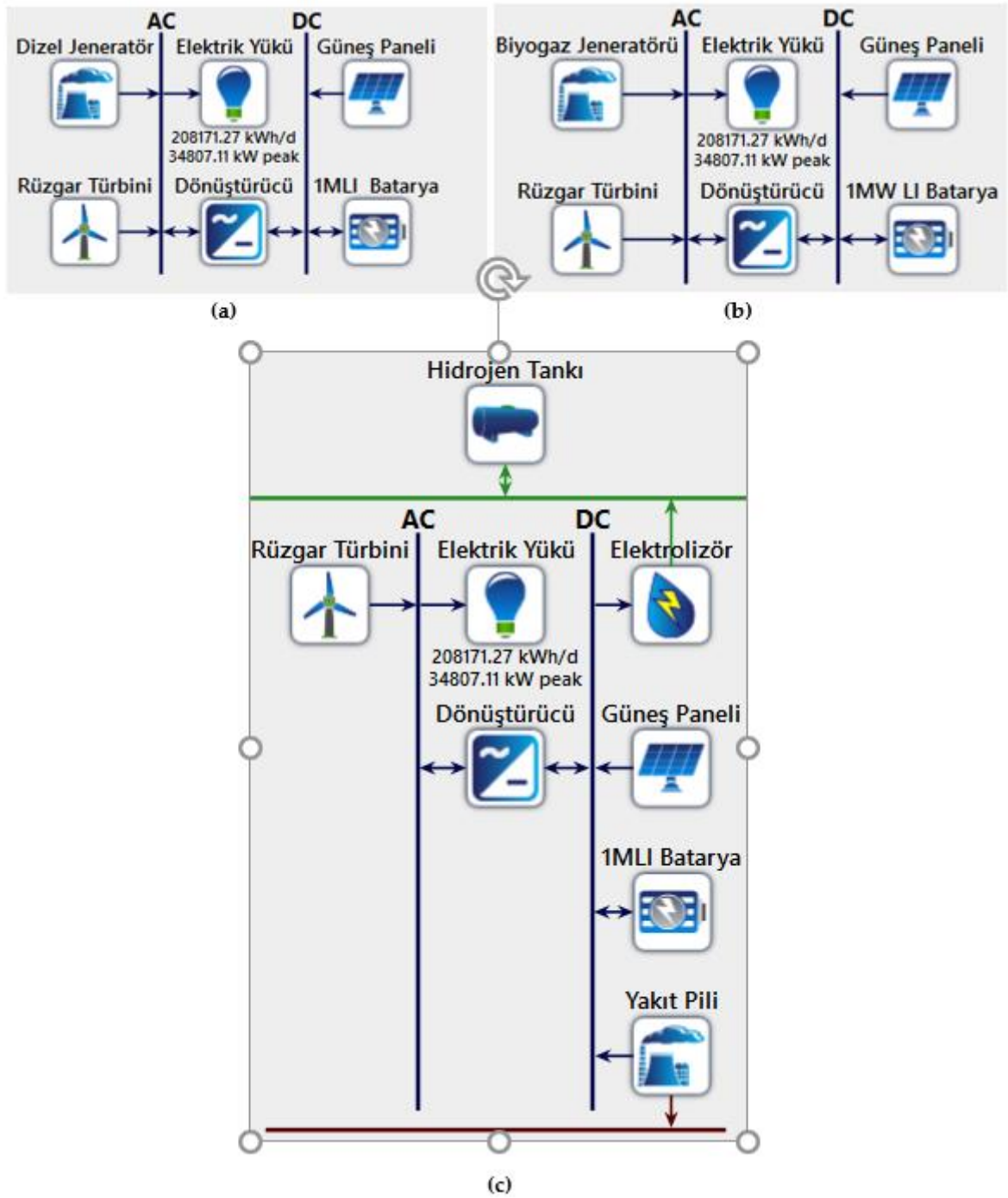
Figure 2. Monthly average wind speed (m / s) profile of the region

HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables)

Homer, mikro güç optimizasyonu modeli NREL(National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmiş, mikro güç sistemlerinin tasarımı ve farklı güç sağlayıcılarının değişik kombinasyonları ile en uygun bütçeli sistemin bulunmasını sağlayan programdır (Yılmaz ve diğ., 2010). Homer, dünyanın en gelişmiş mikro-şebeke modelleme yazılımıdır. Sistemlerin fiziksel davranışlarını, işleme maliyeti ve kurma maliyeti toplamı olan yaşam boyu maliyeti ve enerji birim maliyetini farklı kombinasyonlar için bulunmaktadır (Okedu ve Uhumwangho, 2014). Genellikle elektrik üretimi için kullanılsa da ısı üretimi uygulamaları da vardır. Enerji depolamalı/depolamasız, şebekeye bağlantılı/bağlantısız modelleri ayrı incelenebilir. HOMER programı yardımıyla dünyanın farklı yerlerinde çeşitli hibrit enerji sistem modelleri geliştirilir ve bu modeller sayesinde ilgili coğrafik bölge için en uygun maliyetli hibrit enerji sistemi elde edilir. Bunu yaparken de kendi içerisinde bulundurduğu farklı hassasiyet analizleri sonucunda da olası durumlarda hangi hibrit enerji sisteminin daha uygulanabilir olduğuna dair bilgileri bizlere sunmaktadır. HOMER programı, talep ve arz arasında optimum durumu sağlamak için yüzlerce verileri uzun saatler sürebilecek simülasyonları gerçekleştirebilir.

Hibrit Sistemin Bileşenleri (Components of the Hybrid System)

Hibrit sistemin temel bileşenleri Güneş panelleri, rüzgar türbini, dizel jeneratör, biyogaz jeneratörü, yakıt pili, invertörler ve bataryalar oluşturmaktadır. Evirici, gücün yönüne bağlı olarak elektrik gücünü AA(Alternatif Akım) veya DA(Doğru Akım)'dan dönüştürmek içindir. Sistemin AA bir akıma ihtiyacı vardır ve pilin de şarj olması için DA'ya ihtiyacı vardır. Bu güç kontrolünü ve dönüşümü optimize etmek için inverter eklenir. Dizel jeneratör ve biyogaz Jeneratörü, yakıt pili ve diğer tüm bileşenlerde enerji üretim verimliliği düşük olduğu zaman devreye girmektedir. Bütün bu bileşenler sisteme entegre edilmiş ve Homer programında simülasyonları elde edilmiştir. Şekil 3 (a)-(b)-(c)'de sistemin farklı senaryolara ait Homer şematik diyagramı verilmiştir.



Şekil 3. (a) Rüzgâr türbini/güneş paneli/dizel jeneratör/batarya/ **(b)** Rüzgâr türbini/güneş paneli/biyogaz jeneratör/batarya/ modeli **(c)** Rüzgâr türbini/güneş paneli/yakıt pili/batarya/ modeli

Figure 3. (a) Wind turbine / solar panel / diesel generator / battery / (b) Wind turbine / solar panel / biogas generator / battery / model (c) Wind turbine / solar panel / fuel cell / battery / model

Güneş Paneli (Solar panel)

Güneş panelleri, güneş ışınlarının üzerlerine düşmesi ile elektrik üretimi gerçekleştiren ve hareketli parçalarının olmamasından dolayı düşük maliyete sahip sistemlerdir. Türkiye'nin de güneş enerji potansiyelinin yüksek olması ile tercih edilebilecek en uygun yenilenebilir enerji sistemi güneş paneller olmaktadır. HOMER programının kullanımı ile tasarlanacak sistemde düz plaka güneş panel tercih

edilmiştir. Panel maliyeti ise 1 kW için 500\$, yenileme maliyeti 500\$ ve bir yıl için operasyon ve bakım maliyeti ise 17 \$ olarak kabul edilip simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Rüzgâr Türbini (Wind Turbine)

Rüzgâr türbinleri, kanatlarına çarpan rüzgâr ile mekanik enerji üreten ve bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Rüzgâr türbinleri maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı seçimlerinde önemlidir. Sistem tasarımında birçok türbin test edilerek en uygun türbinin Leitwind 80 modeli olacağına karar verilmiştir. Türbin 60 ile 80 metre aralığındaki gövde yüksekliğinde en yüksek verimi vermektedir. Bundan dolayı simülasyonda gövde yüksekliği olarak 65 metre tercih edilmiştir.

Çizelge 2. Rüzgâr Türbininin ortalama rüzgâr hızlarına dayalı çıkış gücü

Table 2. Output power based on wind speeds of wind turbine

Rüzgâr Hızı (m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Güç Çıkışı (kW)	19	70	157	286	459	650	764	800	800	800

Çizelge 2’de rüzgâr hızlarına göre türbinden elde edilebilecek çıkış güçleri görülmektedir. Bölgemizin rüzgâr hızı ortalama 6,08 m/s olduğu için türbinden yaklaşık olarak 286 kW’lık bir çıkış gücü elde edilecektir.

Batarya (Battery)

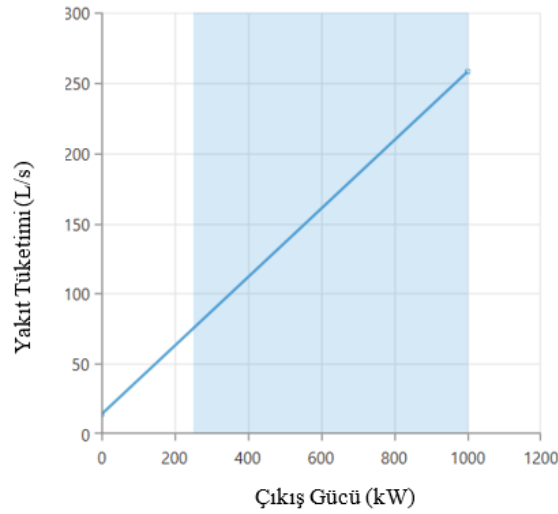
Batarya, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürüp depolanmasını sağlayan ve gerekli durumlarda kimyasal enerjiden elektrik enerjisi elde edilen sistem bileşenidir. Bataryalar enerjiyi DA gerilimde depolamaktadır veya sisteme aktarmaktadır (Salihoğlu ve diğ., 2019). Simülasyon seçeneği olarak yük izleme ve döngü şarj stratejisi tercih edilmiştir. Rüzgâr türbini gibi bataryalar da sistem maliyetini oldukça arttıran bir bileşen olduğu için batarya sayısının sisteme olan etkisi oldukça önem arz etmektedir. Sistemde kullanılan batarya tipi tespit edilirken çeşitli bataryaların simülasyon sonuçlarına bakılmış ve entegre edilebilecek en uygun batarya tipi tercih edilmiştir. Bu analizler sonucu sistemde tercih edilen Batarya, 1000 kWh lityum-iyon bataryadır. Bataryanın maliyeti 137.000 \$, yenileme maliyeti 137.000 \$, yıllık operasyon ve bakım maliyeti ise 100 \$ olarak kabul edilip simülasyona dahil edilmiştir. Bataryanın deşarj derinliği ise %80 olarak sistemde kullanılmıştır.

Jeneratör (Generator)

Jeneratör, kullanılan yakıtın yakılması ile ortaya çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren ve buradan da elektrik enerjisi elde eden sistem bileşenidir. Jeneratörler kullandıkları yakıtlara göre çeşitlilik göstermektedirler. Bu çalışmada, dizel ve biyogaz jeneratör kullanılmaktadır.

Dizel Jeneratör (Diesel Generator)

İlk olarak sistemde kullanılan dizel jeneratördür. Yakıtın litre başına fiyatı ise 0,813 \$ olarak kabul edilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir. Şekil 4’te ise jeneratörün tüketeceği yakıtı göre elde edeceği çıkış gücü görülmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi yüksek çıkış gücü değerleri için fazla miktarda yakıtı ihtiyaç duyulmaktadır. Buda maliyeti arttıracaktır. Bundan dolayı jeneratör ihtiyaç halinde devreye alınmaktadır.



Şekil 4. Dizel jeneratörün yakıt eğrisi

Figure 4. Fuel curve of diesel generator

Dizelin yakıt tüketimi jeneratör kendi çıkış gücüne dayanır ve denklem 1 ile ifade edilir (Kharrich ve diğ., 2020).

$$q(t) = a * P_{DG}(t) + b * P_r \quad (1)$$

$P_{DG}(t)$: DG (kW) tarafından t (saatte) üretilen güç

$q(t)$: Yakıt tüketimi (L / s)

P_r : DG'nin ortalama gücü ve a, b sabitlerdir (L / kW) ve standart olarak yakıt tüketimi parametrelerini sembolize eder. Sırasıyla 0,246 ve 0,08415 değerleri.

Sistemde tercih edilen dizel jeneratörün 1 kW için maliyeti 175 \$ olarak bulunmuştur. Sistemde 1 MW kapasiteli versiyonu kullanılacağı için maliyeti 175.000 \$, yenileme maliyeti 175.000 \$, operasyon ve bakım maliyeti ise bir yıl için 3.000 \$ olarak simülasyona dahil edilmiştir.

Biyogaz Jeneratörü (Biogas Generator)

Sistemde dizel jeneratörden sonra tercih edilen bir diğer jeneratör tipi biyogaz jeneratörüdür. Biyogaz jeneratörünün yakıtı hayvansal atıklardan elde edilmektedir. Seçilen yük bölgesinde yaklaşık olarak 5.0000 adet büyükbaş, 8.300 adet küçükbaş hayvan bulunmaktadır. Bir yıl için değerlendirildiğinde büyükbaş hayvandan 3,6 ton gübre ve 1 ton gübreden 33 m³ biyogaz elde edilirken, küçükbaş hayvandan bir yılda 0,7 ton gübre ve 1 ton gübreden 58 m³ biyogaz elde edilmektedir (Dursun, 2016). Bu bilgilerden yararlanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda bölgede 1 gün için 65,23 ton hayvansal atık kaynağı mevcuttur. Yakıt olarak kullanılan hayvansal atıkların 1 ton için maliyeti 17,64 \$ olarak hesaplanıp simülasyona dahil edilmiştir. Tercih edilen biyogaz jeneratörünün 1 kW için maliyeti 1000\$, yenileme maliyeti 1000 \$, operasyon ve bakım maliyeti 1 saat için 0,02 \$/kW olarak hesaplanmıştır. Sistemde 1 MW kapasiteli jeneratör kullanıldığı için maliyeti 1.000.000 \$, yenileme maliyeti 1.000.000 \$, operasyon ve bakım maliyeti ise 175.200 \$ olmaktadır.

Yakıt Pili (Fuel Cell)

Yakıt pili anot, katot ve elektrolit bileşenleri ile yakıttan elektrik ve ısı üreten elektrokimyasal sistem bileşenidir. Yakıt pilinde kaynak olarak hidrojen kullanılmaktadır. Tercih edilen yakıt pilinin 1 kW için maliyeti 2000 \$, yenileme maliyeti 2000 \$, operasyon ve bakım maliyeti 366 \$ olarak hesaplanmıştır.

Elektrolizör (Electrolyzer)

Elektrolizör, elektroliz işlemini gerçekleştiren ve bu işlem sonucunda hidrojen oluşumunu sağlayan sistem bileşenidir. Temel mantığı elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çeviren cihazdır. Sistemde kullanılan Elektrolizör 1 kW için maliyeti 1500 \$, yenileme maliyeti 641,61 \$, operasyon ve bakım maliyeti ise 100 \$ olarak kabul edilip simülasyona dahil edilmiştir.

Hidrojen Tankı (Hydrogen Tank)

Elektrolizörde elde edilen hidrojeni depolamaya yarayan en basit yöntem hidrojen tank kullanımudur. Hidrojen, hidrojen tankında sıkıştırılmış gaz halinde depolanmaktadır. Tankın 1 kg için maliyeti 130 \$, yenileme maliyeti 130 \$, operasyon ve bakım maliyeti 10 \$ olarak hesaplanmıştır (Khadem ve diğ., 2017). Tank boyutu olarak 0 kg, 100 kg ve 1000 kg tercih edilip simülasyona gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi entegre edilebilecek en iyi tercihin bulunmasıdır.

Dönüştürücü (Converter)

HOMER programına göre dönüştürücü, AA ve DA gerilimler arasındaki dönüşümü sağlayan sistem bileşenidir. DA ve AA bileşenleri arasındaki enerji akışını sürdürmek için hibrit rüzgâr/güneş paneli/batarya güç sistemi için bir güç dönüştürücü gereklidir. Bu sistemde dönüştürücünün veriminin %90 olduğu varsayılmaktadır (Lau ve diğ., 2010). Sistemde kullanılan konvertör maliyeti 256\$, yenileme maliyeti 256\$ ve işletme ve bakım maliyeti 3\$/yıl olarak kabul edilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Ekonomik Analiz Verileri (Economic Analysis Data)

HOMER programında gerçekleştirilen simülasyonlarda maliyet hesabı için yıllık gerçek faiz oranı kullanılmaktadır. Gerçek faiz oranını elde etmek için ise güncel faiz oranından ve enflasyon değerinden yararlanılmaktadır. Yıllık gerçek faiz oranının hesabı ise şu şekilde yapılmaktadır (Güven ve Poyraz, 2021).

$$i=(i'-f)/(1+f) \quad (2)$$

Burada;

i: Yıllık gerçek oranı

f: yıllık enflasyon oranı

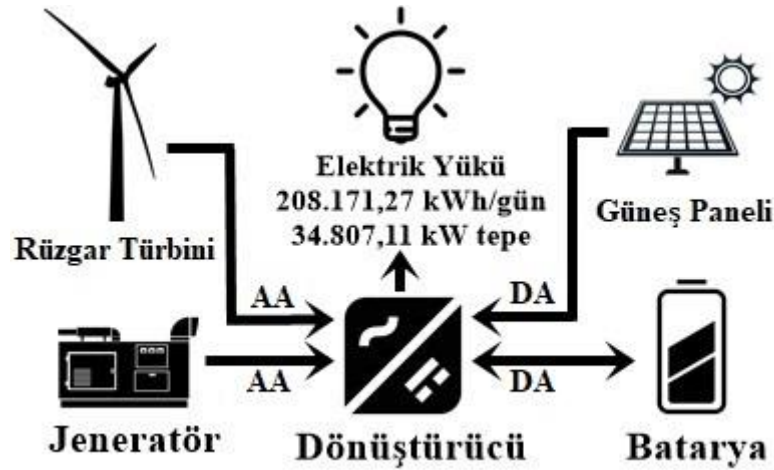
i': güncel faiz oranı

Sistemin faiz oranının %19 ve enflasyon değerinin %17,14 olması durumunda elde edilen yıllık gerçek faiz oranı %1,59 olarak bulunup simülasyona dahil edilmiştir. Sistem ömrü 25 yıl olarak kabul edilmiştir.

Hibrit Enerji Sistemi Modeli (Hybrid Energy System Model)

HOMER programı bir enerji sistemi tasarımının gerçekleştirilmesinde ve analizlerinin yapılmasında kullanılan bir yazılımdır. HOMER programında sistem tasarlanırken ilk olarak seçilen bölgenin enerji ihtiyacı ve enerji potansiyelleri belirlenmelidir, daha sonrasında sisteme eklenecek bileşenler seçilip maliyet, verim gibi gerekli sayısal değerleri girilmelidir. Gerçekleştirilen bu adımlar sonunda programa yaptırılan hesaplama ile tasarlanan sistemin bölgenin enerji ihtiyacını karşılayıp karşılayamadığına ve maliyet açısından uygulanabilirliğine karar verilmektedir.

Tasarlanmak istenen şebeke bağlantısız hibrit enerji sisteminin genel modeli Şekil 5'de yer almaktadır. Sistemi besleyen 5 adet bileşen bulunmaktadır. Ana bileşenler güneş paneller ve rüzgâr türbini, yardımcı bileşenler ise jeneratör ve batarya bağlantısıdır. Dönüştürücü ise AA gerilim ile çalışan rüzgâr türbini, şebeke ve jeneratörün DA gerilime çevrilmesini sağlamak amacı ile sisteme dahil edilmiştir.



Şekil 5. Şebeke bağlantısız güneş paneli/rüzgâr türbini/jeneratör/batarya sistem modeli

Figure 5. Off grid solar panel/wind turbin/generator/battery hybrid system model

Sistem senaryolarının değişmesi ile sistem modelinde sadece jeneratör türü değişeceği için oluşturulan her bir senaryoyu Şekil 5’de gösterilen model temsil etmektedir.

Balıkesir’in Erdek ilçesinin 2020 yılı elektrik tüketim değerlerini karşılayacak hibrit enerji sistemi Materyal ve Metot bölümünde tanımlanan verilerin simülasyona dahil edilmesi ile oluşturulmuştur. Farklı sistem senaryolarının optimum sonuçları çizelge 3’te yer almaktadır.

Çizelge 3. Hibrit enerji sistemi optimizasyon sonuçları

Table 3. Hybrid energy system optimization results

Senaryo	Güneş Paneli (kW)	Rüzgâr Türbini	Jeneratör (kW)	Batarya	Dönüştürücü (kW)	Optimizasyon Stratejisi	Net Bugünkü Maliyet (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$)
1	121.786	1	1.000	196	31.286	Yük İzleme	165 M	0,109
2	181.481	1	1.000	454	37.463	Döngü Şarj	272 M	0,175
3	173.842	1	250	522	31.594	Yük İzleme	281 M	0,181

Güneş paneli/rüzgâr türbini/Jeneratör/batarya bileşenleri ile oluşturulan Hibrit enerji sistemi arasındaki fark, jeneratör tipleridir. Senaryo 1’de dizel jeneratör, senaryo 2’de biyogaz jeneratörü, senaryo 3’te ise yapıt pili kullanılarak sistemler oluşturulmuştur. Sistemde kullanılan dizel jeneratörün fiyatının diğer seçeneklerine göre uygun olması ve dispatch tercihinde load following seçilmesi sistemde ihtiyaç duyulan batarya sayısını da azaltmaktadır. Bu sebep ile sistemin net bugünkü maliyeti ve birim enerji maliyeti de diğer senaryolara göre oldukça düşük olmaktadır. Sistemlerin maliyetleri karşılaştırıldığında, net bugünkü maliyeti 165 milyon \$ ve birim enerji maliyeti 0,109 \$ olan senaryo 1 en uygun tercih olmaktadır.

Tasarlanan sistemin maliyet analizi kadar emisyon değerlerinin analizi de bir o kadar önem arz etmektedir. Çizelge 4’de Senaryo 1’in emisyon değerleri görülmektedir. Senaryo 2 ve 3’ün emisyon değerleri HOMER programında yapılan simülasyonlarda 0’ya yakın bir değer çıktığı için program bu

değerleri 0 kabul edip %100 yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretildiğini göstermektedir. Böylece senaryo 2 ve 3'ün tercih edilmesi çevreci yaklaşıma daha uygun bulunmaktadır.

Çizelge 4. Senaryo 1 emisyon değerleri

Table 4. Scenario 1 emission values

	Senaryo 1 (Birimler: kg/yıl)
Karbondiyoksit	438.660
Karbon Monoksit	2.323
Yanmamış Hidrokarbonlar	123
Partikül Madde	19,9
Kükürt Dioksit	2.744
Azot Oksit	445

Sistem Bileşenlerinin Optimizasyon Sonuçları (Optimization Results of System Components)

Sistem senaryolarının optimizasyon sonuçları kadar bileşenlerin optimizasyon sonuçlarında değerlendirilmelidir. Bu sonuçların incelenmesi ile verimi düşük bileşenler tespit edilmektedir.

Şekil 6'da tasarlanan sistemler arasında tercih edilen en optimum sistem senaryo 1'in yılın farklı gün ve saatlerinde rüzgar türbininden elde ettiği çıkış gücü değerleri görülmektedir. Grafikte elde edilen çıkış gücü değerlerinin değişimi bölgenin o anki rüzgar hızına ve sistemin ihtiyacı olan üretim miktarına bağlı olmaktadır. Sisteme entegre edilen rüzgar türbini yılda 7.027 saat çalışıp toplamda 2.678.825 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Ürettiği elektrik enerjisinin birim maliyeti ise 0,0358 \$/kWh olmaktadır.



Şekil 6. Yılın farklı zamanlarında rüzgâr çıkış gücü değerleri

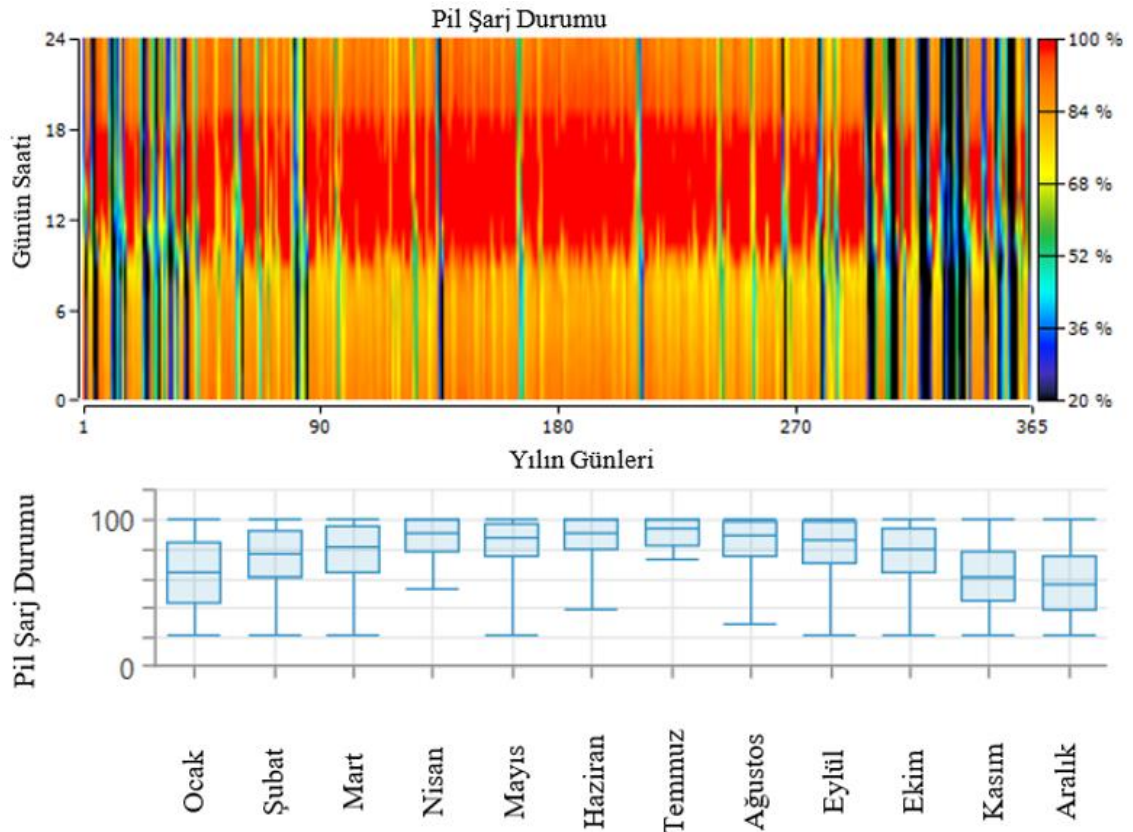
Figure 6. Wind output power values at different times of the year

Şekil 7'de senaryo 1'de kullanılan güneş panellerinin yılın farklı gün ve saatlerinde elde ettiği çıkış gücü değerleri görülmektedir. Sistemin ana enerji kaynağı güneş enerjisi olduğundan ve kullanılan panellerin kapasitesinin yüksek olmasından dolayı güneş panelleri kısa sürede daha fazla üretim gerçekleştirmektedirler. Güneş panelleri yılda 4.389 saat çalışarak toplamda 164.108.274 kWh/yıl elektrik üretmektedir. Ürettikleri enerjinin maliyeti ise 0,0307 \$/kWh olmaktadır.



Şekil 7. Yılın farklı zamanlarında güneş panellerinin çıkış gücü değerleri
Figure 7. Output power values of solar panels at different times of the year

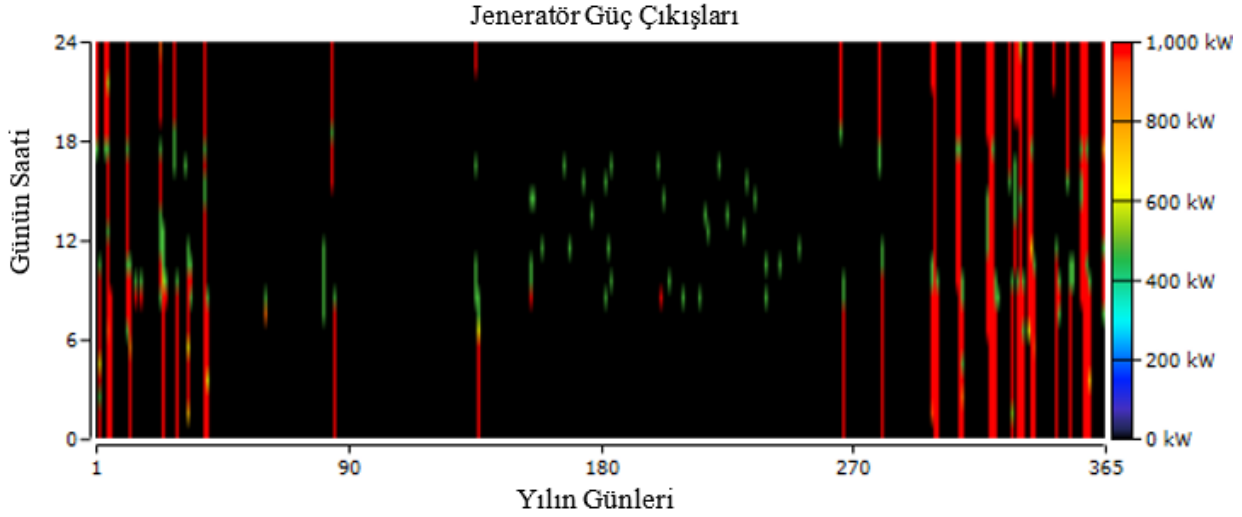
Şekil 8’de ise senaryo 1’de kullanılan bataryaların yılın farklı zamanlarındaki doluluk oranları görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere öğlen saatlerinde güneş panellerinin en fazla verim verdiği zamanlarda bataryalar çoğunlukla %100 doluluk oranında olmaktadır. Günün diğer saatlerinde ise bataryaların kullanımı artmakta ve yüke ihtiyacı olan enerji sağlanmaktadır.



Şekil 8. Yılın farklı zamanlarında batarya doluluk oranları
Figure 8. Battery occupancy rates at different times of the year

Şekil 9’da senaryo 1’de kullanılan dizel jeneratörün yılın farklı zamanlarındaki çıkış gücü değerleri görülmektedir. Dizel jeneratör, yakıt maliyetinin fazla olması ve sistemin emisyon değerlerini arttırmasından dolayı toplam enerji üretiminde düşük bir payı vardır. Jeneratör 1 yılda toplamda 659.844 kWh elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Üretilen elektriğin maliyeti ise 0,198 \$/kWh olmaktadır. Jeneratörden elde edilen enerjinin maliyeti de diğer sistem bileşenlerine göre yüksektir. Bu durum birim enerji maliyetini yükseltmektedir. Dolayısıyla sistemde jeneratörün devreye girmesi için rüzgar türbini ve

güneş panellerin yeterli enerji üretimi gerçekleştirememesi ve bataryaların doluluk oranlarının minimum düzeye düşmesi gerekmektedir. Jeneratörün kullanılmadığı senaryoda ise daha fazla batarya kullanılacak ve maliyet açısından olumsuzluklar yaşanacaktır. Buradan anlaşılacağı üzere jeneratör, yükün ihtiyacını karşılayacak en son seçenek olmakla birlikte bulunması da sistem için önem arz etmektedir.



Şekil 9. Yılın farklı zamanlarında jeneratör çıkış gücü değerleri

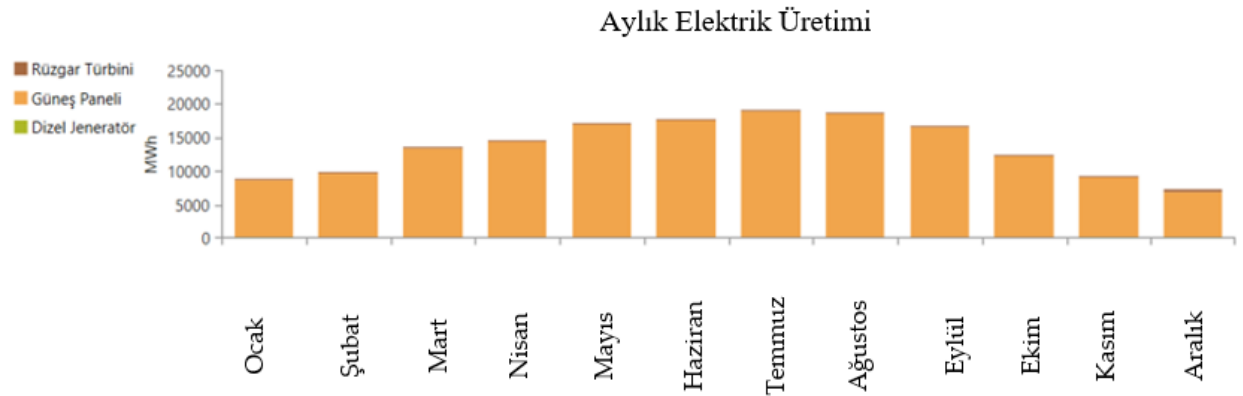
Figure 9. Generator output power values in different times of the year

Şekil 10'da sistem bileşenlerinin aylık olarak üretim dağılımı yer almaktadır. Çizelge 5'de ise toplam enerji üretimi ve bileşenlerin bu enerjideki paylarına ait değerler gösterilmektedir. Buradan sistemin bir yıllık üretiminin %98 gibi yüksek bir payını güneş panellerinin, %1,6'lık payı rüzgâr türbininin ve %0,394'lik payı dizel jeneratörünün karşıladığı görülmektedir.

Çizelge 5. Sistemin elektrik üretim ve tüketim bilgileri

Table 5. Electrical production and consumption information of the system

Üretim	kWh/yıl	%	Tüketim	kWh/yıl	%	Miktar	kWh/yıl	%
Güneş Paneli	164,108,274	98	AA Birincil Yük	73,811,687	26.5	Fazla Elektrik	88,092,230	52.6
Dizel	659,844	0.394	DA Birincil Yük	0	0	Karşılanmamış Elektrik Yüğü	2,170,827	2.86
Rüzgâr Türbini	2,678,825	1.60	Ertelenebilir Yük	0	0	Kapasite Sıkıntısı	3,861,843	5.08
						Yenilenebilir Fraksiyon		99.1
Toplam	167,446,943	100	Toplam	73,811,687	100	Maksimum Yenilenebilir		2.416



Şekil 10. Sistemin yıllık elektrik üretim dağılımı

Figure 10. Annual electrical production distribution of the system

Batarya Kullanımının Sistem Sonuçlarına Etkisi (Effect of Battery Usage on System Results)

Batarya, enerji üretim kaynaklarının yeterli üretim yapamadığı durumlarda depoladığı enerjiyi yüke aktarmaktadır. Fakat kullanılacak batarya sayısının seçimi maliyetinden dolayı önem arz etmektedir. Çizelge 6'da senaryolarda kullanılan batarya sayıları ve sonuçlara etkilerini içeren bilgiler görülmektedir. Senaryo 1'de, 196 adet batarya kullanımı ile birlikte 165 milyon \$ net bugünkü maliyet ve 0,109 \$ birim enerji maliyeti elde edilmiştir. Bu en uygun çözümdür. Senaryo 1'e kıyasla diğer senaryolarda batarya sayısı neredeyse ikiye katlanmış ve maliyette ciddi farklar oluşmuştur. Buradan da anlaşılacağı üzere batarya sayısının seçimi sistem sonuçlarına direkt etki etmekte ve belirlenmesi için detaylı bir şekilde çalışılmalıdır.

Çizelge 6. Sistemlerde kullanılan batarya sayısı ve etkileri

Figure 6. Number and Effects of Batteries Used in Systems

Senaryo	Batarya	Net bugünkü Maliyet	Birim Enerji Maliyeti
1	196	165 M	0,109
2	454	272 M	0,175
3	522	281 M	0,181

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu çalışmada Balıkesir'in ilçesi olan Erdek'in 2020 yılındaki aylık elektrik tüketimini karşılama amacıyla bir şebeke bağlantısız hibrit enerji sistemi önerilmiştir. Tasarlanan hibrit sistem Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini /Jeneratör/Batarya elemanlarından oluşmaktadır. Sistem bileşenleri güneş paneli, rüzgâr türbini ve bataryalar her bir sistemde aynı tip kullanılır iken, tercih edilen jeneratör tipinde değişiklikler yapılarak maliyet ve çevreci yaklaşıma en uygun sistem tasarlanmıştır. İlk olarak dizel jeneratör sonrasında biyogaz jeneratörü ve yakıt pili kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.Yapılan analizler sonucunda şebeke bağlantısız Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini /Dizel Jeneratör/Batarya sisteminin 165 milyon \$ net bugünkü maliyet ve 0,109 \$ birim enerji maliyeti ile en uygun sistem olduğuna karar verilmiştir. Tasarlanan sistemde çevreye verilen zararlarda dikkate alınmaktadır. Çalışma sonucunda çıkan senaryolarda dizel jeneratörün kullanıldığı sistemin emisyon değerleri diğer sistemlere göre yüksektir. Fakat fosil yakıt kaynaklarını kullanan sistemlerin yanında oldukça düşük değerlere sahip olduğu için tercih edilebilir bir sistem tasarımı olmaktadır. Bu değerlendirmeler sonucunda şebeke bağlantısız Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini /Dizel Jeneratör/Batarya sistemi simülasyonu gerçekleştirilen sistemler arasından kurulumu yapılabilecek en uygun sistemdir.

Yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerinin kurulmadan önce fizibilite çalışmalarının ciddi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bunun için sistem kurulmadan önce o bölgenin güneş ve rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi gereklidir. Aynı zamanda ihtiyaç olan elektrik yükünün detaylıca belirlenmesi de önemli bir unsur teşkil etmektedir. Hibrit enerji sistemleri, bölgenin meteorolojik verileri ve sistemin elektrik yükünün değişimi doğrultusunda, sistemlerin konfigürasyonunun değişmesiyle birlikte ekonomik açıdan da değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada yapıldığı gibi detaylı bir analiz gerektirmektedir. Bu çalışmada, yenilenebilir kaynaklı enerjilerin, sistem konfigürasyonları ele alınmış ve en uygun çözüm bulunmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Dursun, S., 2016, "Techno-Economic Evaluation of Kırklareli University Kayali Campus using Biomass-Wind-Solar Hybrid Power Generation System", Master's thesis, Kırklareli University institute of science.
- Güven, A., Poyraz, E., 2021, "Feasibility Study and Techno-Economic Analysis of Stand-Alone Hybrid Energy System for Muğla Province Köyceğiz", *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, Vol.11(1), pp.70-85.
- <https://temizenerji.org/2021/04/27/almanya-2022-yili-yenilenebilir-enerji-hedefini-artirdi/>, ziyaret tarihi: 09 Kasım 2021 .
- <https://www.enerjigazetesi.ist/gunes-almanya-nin-birincil-elektrik-uretim-kaynagi-oldu/>, ziyaret tarihi: 09 Kasım 2021.
- <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/news/2020/public-net-electricity-generation-in-germany-2020-share-from-renewables-exceeds-50-percent.html>, ziyaret tarihi: 09 Kasım 2021.
- <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2020.pdf>, ziyaret tarihi: 19 Ağustos 2021.
- Khadem, T., Billah, S. B., Barua, S., Hossain, M. S., 2017, "Homer based hydrogen fuel cell system design for irrigation in bangladesh", *2017 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, pp. 445-449.
- Kharrich M., Mohammed O., Akherraz M., 2020, "Design of Hybrid microgrid PV/wind/diesel/battery system: case study for Rabat and Baghdad", *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*.
- Lau K.Y., Yousof M.F.M., Arshad S.N.M., Anwari M., Yatim A.H.M., 2010, "Performance analysis of hybrid photovoltaic/diesel energy system under Malaysian conditions", *Energy*, Vol. 35, No.8, pp.3245-3255.
- Okedu, K. E., Uhunmwangho, R., 2014, "Optimization of Renewable Energy Efficiency using HOMER", *International Journal Of Renewable Energy Research*, Vol.4(2), pp. 421-427.
- Salihoğlu, N. K., Teksoy, A., Altan, K., 2019, "Determination of Biogas Production Potential from Cattle and Cattle Wastes: Example of Balıkesir Province", *Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, Vol.8(1), pp.31-47.
- Tabak, A., 2021, "Analysis and Design of a Hybrid Energy Production System to Meet the Energy Demand of a Plant in Konya", *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.13 (1), pp.220-230 .
- Yılmaz, U., Demiroren, A., Zeynelgil, H.L., 2010, "Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması", *Journal of Polytechnic*, Vol. 13, No. 3, pp.215-233.