



Skye Adası İçin PV'nin Değerlendirildiği Rüzgar-Hidro-Batarya Ağırlıklı Hibrit Mikroşebeke Tasarımı ve HOMER Pro ile Ekonomik Optimizasyon

Economic Optimization of a Wind-Hydro-Battery-Dominated Hybrid Microgrid with Evaluated PV Integration for Isle of Skye Using HOMER Pro

Arda KORKUT,İbrahim Berat MERCAN

*Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yalova/Merkez
Yalova University Engineering Faculty Electrical and Electronics Engineering, Yalova/Merkez*

Özet

Bu çalışmada,İskoçya'nın Skye adasının elektrik üretiminin hibrit bir sistemle teknik,ekonomik ve çevresel faktörler göz önüne alınarak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.Sistem tasarım,gelişim ve yapılan analizler HOMER Pro yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup rüzgar türbini,hidroelektrik üretim ünitesi,dizel jeneratör,lityum-iyon batarya ve güç dönüştürücüden oluşan farklı seneryolar karşılaştırılmıştır.Çalışmada fotovoltaiik (PV) paneller sisteme alternatif yenilenebilir enerji kaynağı olarak eklenmiş,ancak alınan sonuçlarda PV'nin içinde olduğu seneryolarda,bölgenin coğrafi yapısı,iklimsel ve ekonomik koşulları göz önüne alındığında PV'nin dahil olduğu seneryoların en uygun çözüm olmadığı gözlemlenmiştir.Elde edilen optimizasyon sonuçlarına göre en düşük toplam net bugünkü maliyet (NPC) değerine sahip sistem iki adet 100kW rüzgar türbini 98kW kapasiteli hidroelektrik üretim ünitesi ,200kW dizel jeneratör,1MWh lityum-iyon batarya ve 200kW dönüştürücüden oluşmaktadır.Bu sistemin toplam NPC değeri 2.45 milyon dolar,seviyelendirilmiş elektrik enerjisi maliyeti(LCOE) ise 0.346\$/kWh olarak hesaplanmıştır.Bu sistem yıllık adadaki enerji ihtiyacının %96.5'ni yenilenebilir enerji kaynaklarında karşılamakta olup sistemde kullanılan dizel jeneratör sadece

This manuscript represents a preprint version. A revised and peer-reviewed version may be submitted to and published in a scientific journal at a later stage.

destekleyicidir.Elde edilen batarya durum grafiklerinden yola çıkarak enerji depolama sistemi yıl boyunca yüksek doluluk oranında çalıştığı görülmüştür.Yakıt tüketimi ve emisyon sonuçlarına bakıldığında dizel kullanımının az olduğu ve yıllık karbondioksit salınımı 17.4 ton seviyesine düşürülmüştür.Elde edilen bu sonuçlar bölge için hibrit bir sistemin çok önemli ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler:*Hibrit Enerji Sistemi,HOMER Pro,Ada Mikroşebekesi,Enerji Depolama Sistemi,Çevresel Etki Analizi*

Abstract

This study presents the optimization of the electricity generation of Scotland's Isle of Skye using a hybrid energy system by considering technical,economic and environmental factors.The system design,development and analyses were carried out using the HOMER Pro software and different scenarios consisting of wind turbines,a hydroelectric generation unit,a diesel generator,a lithium-ion battery,and a power converter were compared.In the study,photovoltaic (PV) panels were added to the system as an alternative renewable energy source;however,the results showed that scenarios including PV were not the most suitable solutions when the geographical structure,climatic conditions and economic factors of the region were taken into account. According to the obtained optimization results,the system with the lowest total net present coast (NPC) consists of two 100kW wind turbines,a 98kW hydroelectric generation unit,a 200kW diesel generator,a 1MWh lithium-ion battery and a 200Kw power converter.The total NPC value pf this system is 2.45 million dollars,and the levelized cost of electricity (LCOE) is calculated as 0.346\$/kWh.This system meets %96.5 of the island's annual energy demand from renewable energy sources,and the diesel generator is used only as a supporting unit.Based on the battery state of charge graphs,it is observed that the energy storage system operates at a high state of charge throughout the year.When fuel consumption and emission results are examined,diesel usage is found to be low,and the annual carbondioxide emission is reduced to 17.4 tons.These results show that a hybrid energy system is highly important and feasible for the region.

Keywords:*Hybrid Energy System,HOMER Pro,Islanded Microgrid,Energy Storage System,Environmental Impact Analysis*

1. Giriş

Günümüzde şebekeden bağımsız yerleşim yerlerinde enerji ihtiyacı; kurulacak sistemin bölgeye uygunluğu, yüksek üretim maliyetleri ve çevresel etkiler gibi önemli konulara bağlı olmasından dolayı Dünya'nın çoğu yerinde problem oluşturmaktadır. Bu nedenle rüzgar, hidroelektrik ve fotovoltaiik (PV) gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının batarya depolama sistemleri ile entegre edildiği hibrit mikroşebeke sistemleri hem ekonomik hem çevresel hem de sürdürülebilirlik açısından güçlü bir çözüm olmaktadır[1-3]. Şebekeden bağımsız hibrit sistemlerin ekonomik ve teknik açıdan değerlendirilmesi, en uygun sistem bileşiminin koşullara göre değişebildiğini göstermektedir. Özellikle şebekeden bağımsız sistemlerde, farklı enerji kaynaklarının birlikte kullanılmasından dolayı teknik ve ekonomik açıdan optimizasyon detaylı ve iyi bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir[1-3].Bu çalışma, İskoçya'nın Skye adasında elektrik

enerjisinin tamamının rüzgar türbini, hidroelektrik üretim ünitesi ,dizel jeneratör, lityum-iyon batarya ve güç dönüştürücünden oluşan hibrit bir enerji sistemi ile karşılanmasını amaçlamaktadır. Sistem HOMER Pro yazılımı kullanılarak optimize edilmiştir. Fotovoltaik paneller sisteme alternatif bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda ada koşullarında PV'nin de dahil olduğu senaryolar en uygun çözüm olmamıştır. Rüzgâr ve hidroelektrik kaynaklar, yıl boyunca daha dengeli ve iyi enerji üretimi yaparken, fotovoltaik (PV) sistemler adanın coğrafi konumunun güneşlenme süresini çok kısıtladığı için ve ekonomik faktörlerden dolayı enerji üretiminde sınırlı kalmıştır. Bu sebepten dolayı her yenilenebilir enerji kaynağı, her bölge için teknik ve ekonomik açıdan uygun olmayabilmektedir[4]. Hibrit sistemin tasarlanmasında uygulanabilir, gerçekçi ve yüksek yenilenebilir enerjiye sahip olmasına çok dikkat edilmiştir.

2. Sistem Tanıtımı

2.1.İncelenen Bölge ve Yük Tanımı

Bu çalışma İrlanda'nın Skye adasında yapılmıştır. Ada bölgelerine kurulacak sistemlerde yük profili, mevsimsel değişimler ve günlük olarak kullanılan enerji miktarı kurulacak enerji sisteminin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Çalışma HOMER Pro'nun sentetik yük profili yaklaşımı kullanılarak yıllık yük profili oluşturulmuştur. Elektrik yükü, ortalama 1500kWh/gün olacak şekilde belirlenmiş ve sistemin pik talebi yaklaşık olarak 309kW seviyelerinde oluşmuştur. Oluşan bu yük seviyesi küçük/orta büyüklükteki ada mikroşebekesi ölçeğiyle uyumludur.

2.2.Sistem Bileşenleri

Kurulan hibrit sistem aşağıdaki ana bileşenlerden oluşmaktadır:

Rüzgâr türbini: XANT M-21 (100kW) birim türbin modeli seçilmiş, farklı türbin adedi kombinasyonları HOMER'da arama uzayına dahil edilmiş ve sistem için en uygun rüzgâr türbini adedi 2 tane olarak belirlenmiştir. Skye adasında rüzgar potansiyeli yüksek olduğu için sistemde ana yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak değerlendirilmiştir.

Hidroelektrik Üretim Ünitesi: 98Kw kapasiteli bir adet hidorelektrik üretim ünitesi sisteme dahil edilmiştir. Bu ünite, yıl boyunca dengeli enerji üretimi sağlayarak hibrit sistemin güvenilirliğini ve performansını arttırmıştır.

Dizel Jeneratör: Şebekeden bağımsız sistemlerde güvenilirliği arttırmak amacıyla, dizel jeneratör yedek güç kaynağı olarak sisteme eklenmiştir. Bu yaklaşım, hibrit sistemlerin teknik açıdan uygulanabilirliğini artıran yaygın bir mühendislik tercihidir [2,3].

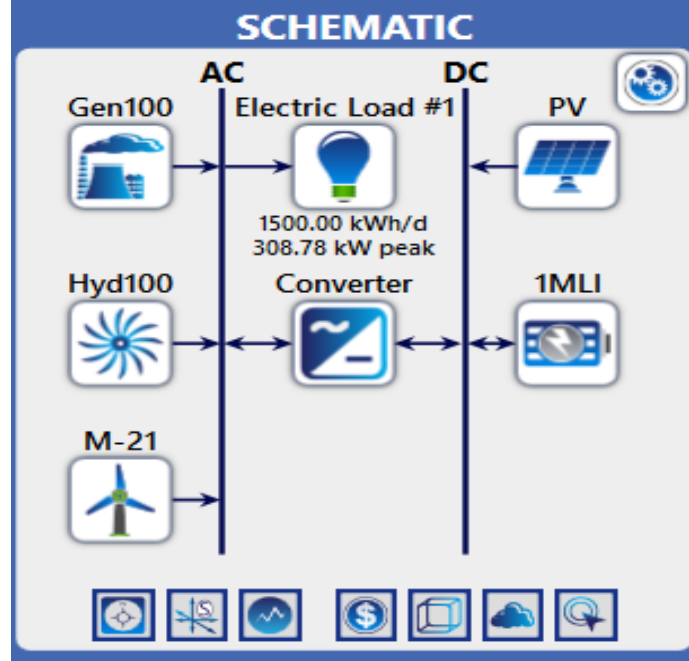
Lityum-İyon Batarya: 1MWh lityum-iyon batarya depolama sistemi eklenmiştir.Bu sistem ada mikroşebekesinde yenilenebilir enerji üretimindeki dalgalanmaların dengelenmesine yardımcı olmuştur.Depolama özellikle rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakların birlikte kullanılmasında önemlidir[1,2].

Güç Dönüştürücü: AC/DC dönüşümü için 200kW bir adet güç dönüştürücü kullanılmıştır. Bu bileşen DC tabanlı elemanlarla AC yük üretim entegrasyonunun sağlanması açısından zorunludur.

Fotovoltaik Paneller (PV): Fotovoltaik paneller sisteme alternatif bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak dahil edilmiştir fakat optimizasyon sonuçlarında PV'nin içinde

olduğu senaryoların, bölgenin düşük güneşlenme ve ışınlım gibi iklimsel ve ekonomik açıdan optimum çözümü vermediği gözlemlenmiştir. Bu durum PV sistemlerin bölge koşulları ve tasarım kısıtlamalarına duyarlı olduğunu vurgulayan çalışmalarla tutarlıdır[4].

Tasarlanan hibrit enerji sisteminin genel mimarisi Şekil 1’de gösterilmiştir.

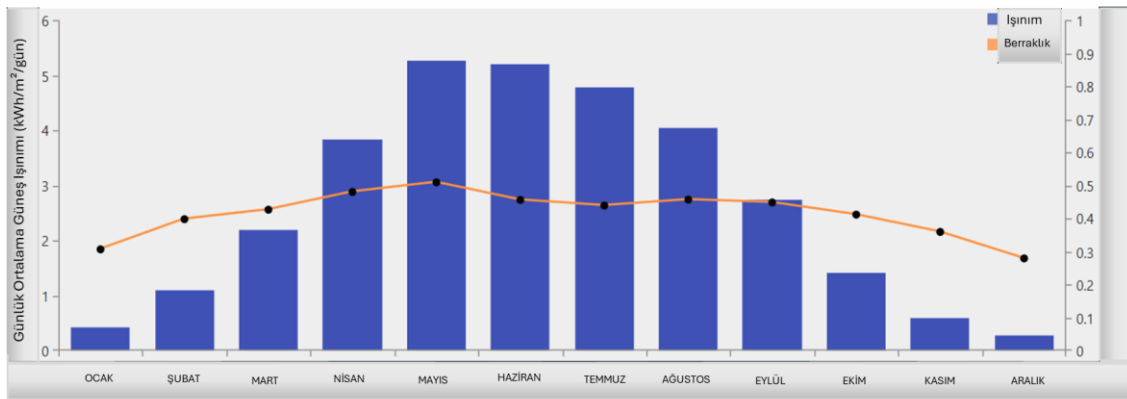


Şekil 1. Skye adası için tasarlanan hibrit enerji sisteminin genel mimarisi

3. Analiz ve Yöntem

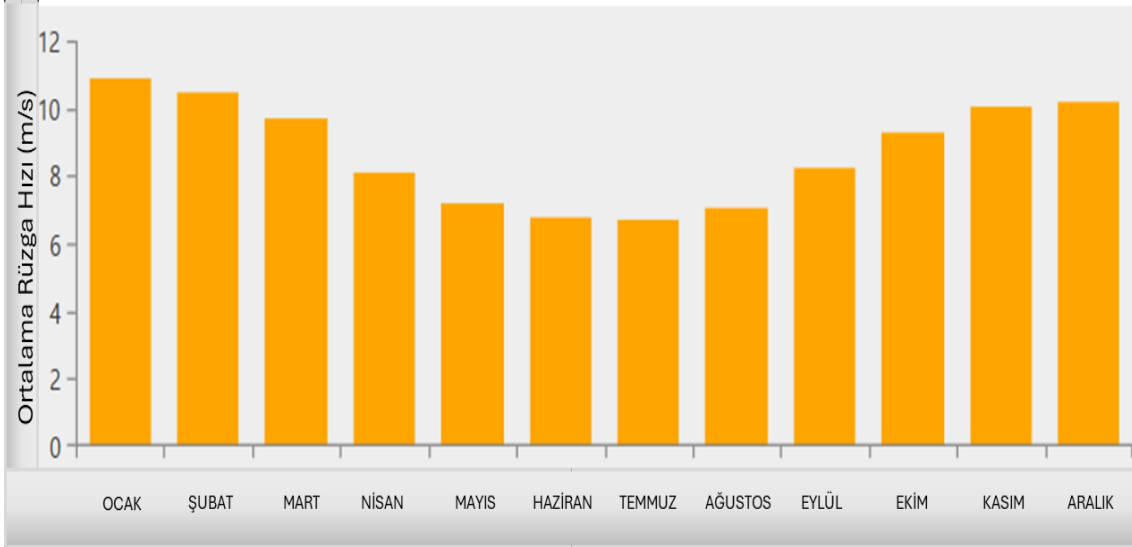
3.1. Kaynak Verileri

Güneş Kaynağı: NASA POWER tabanlı güneş ışınlım verileri kullanılmıştır. Yıllık ortalama Skye adasına düşen ışınlımın düşük olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 2’de Skye adası için aylara göre ortalama günlük güneş ışınlım(kWh/m²/gün) değerleri gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde kış aylarında güneş ışınlımının düşük seviyelerde kaldığı, yaz aylarında da az artış gösterdiği görülmektedir. Bu yüzden fotovoltaik paneller(PV) sistem optimizasyonunda en uygun sistemin içinde yer almamaktadır.



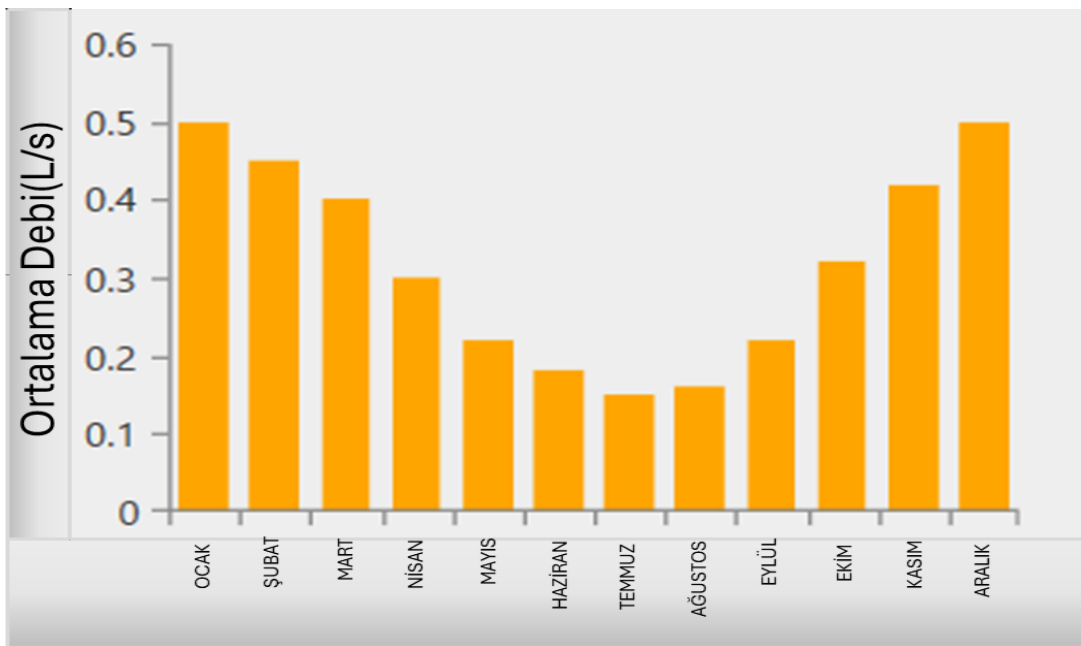
Şekil 2. Skye adası için aylara göre günlük güneş ışınlımı ve berraklık indeksi

Rüzgâr Kaynağı: NASA POWER tabanlı rüzgâr hızı verileri 50m yükseklikte hesaplanmıştır. Rüzgar'ın yıllık ortalama değeri yüksek olmasından dolayı sistemin ana üretim kaynaklarından biri olmuştur. Skye adasına ait rüzgar hızı profili Şekil 3'de görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi adanın yıl boyunca yüksek rüzgâr hızlarına sahip olması sistemde rüzgâr'ın ana üretim kaynaklarından biri olduğunu desteklemektedir.



Şekil 3. Skye adasına ait aylık ortalama rüzgâr hızı profili

Hidro Kaynağı: Mikrohidro üretim “run-of-river” mantığı ile değerlendirilmiş olup; debi ve net düşü gibi gerekli parametreler üzerinden türbin'in gücü hesaplanmıştır. Hidroelektrik üretim ünitesi ada'da mevcut olan su kaynaklarını kullanarak sistemin sürekliliğini ve enerji üretiminin çoğunu rüzgar türbinleriyle birlikte başarıyla sağlamıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi hidroelektrik üretim ünitesi yılın geneline yayılmış düzenli ve kararlı üretimi sayesinde sistemi dengeleyen ve enerji üretimine katkı sunan bir kaynak olduğu desteklenmektedir.



Şekil 4. Skye adası aylık ortalama akarsu debisi değerleri

3.2. Ekonomik ve Teknik Performans Kriterleri

Yapılan çalışmada sistemler; Toplam Net Bugünkü Maliyet(NPC), Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti(LCOE), toplam elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerjilerden karşılanma oranı, yakıt tüketimi ve emisyonlar gibi kriterlerle belirlenmiştir. Bu kriterler hibrit sistemin hem ekonomik fizibilitesini hem de çevresel etkilerini detaylı olarak bize göstermektedir.

3.3. İşletme Stratejisi

En uygun seneryoda yük takip stratejisi uygulanmıştır.Bu yaklaşımda yenilenebilir enerji ve batarya önceliklidir sistemimizdeki dizel jeneratör, sadece gerektiğinde yükü karşılamak için devreye girer. Bu stratejinin amacı fosil yakıt kullanımını en minimum seviyede tutulmasıdır.

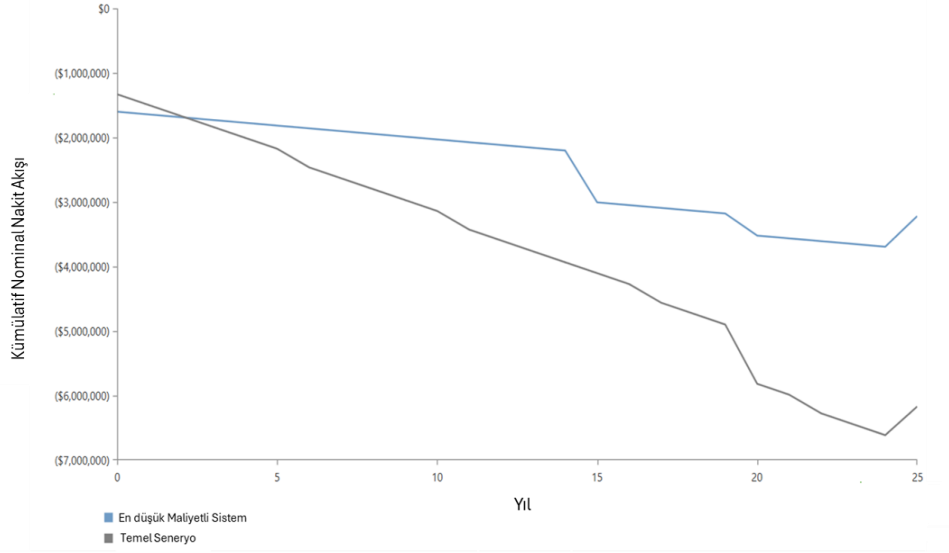
4. Sonuçlar ve Tartışma

4.1. Optimum Sistem Konfigürasyonu

Optimizasyon sonuçlarına göre en düşük toplam net bugünkü maliyete sahip hibrit sistem; iki adet 100kW kapasiteli rüzgar türbini, 98kW kapasiteli hidroelektrik üretim ünitesi, 200kW dizel jeneratör, 1MWh kapasiteli lityum-iyon batarya ve 200kW güç dönüştürücüden oluşmaktadır.Bu sistem ada koşullarında enerji sürekliliği sağlarken ekonomik açıdan da en optimumudur.Bu yüzden kurulması gereken en ideal sistemdir. Şekil 5'te en uygun sistem konfigürasyonu ve optimizasyon sonuçları bunu doğrulamaktadır.

	PV (kW)	M-21	Gen100 (kW)	1MU (#)	Hyd100 (kW)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	IRR (%)	Simple Payback (yr)	Hours	Production (kWh)	
		2	200	1	98.1	200	LF	\$2.45M	\$0.346	\$65,781	\$1.60M	96.5	6,648	49	2.1	312	19,371	
		200	2	200	1	98.1	200	LF	\$2.62M	\$0.370	\$63,236	\$1.80M	98.4	2,997	28	3.7	147	8,592
		200	2		2	98.1	400	LF	\$3.64M	\$0.514	\$89,520	\$2.48M	100	0	7.8	8.4		
		5	300		98.1		LF	\$3.84M	\$0.542	\$194,081	\$1.33M	59.6	79,048			2,749	221,171	
		200	5	300		98.1	200	LF	\$4.10M	\$0.579	\$194,102	\$1.59M	61.2	76,112			2,666	212,322
Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)	CAPEX	Energy Production (kWh/yr)	Capital Cost (\$)	Production (kWh/yr)	O&M Cost (\$)	Auxiliary Load Percent (%)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)	Nominal Capacity (kWh)	Accessible Capacity (kWh)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)	Mean Output (kW)			
6,648	1,248	9,972			300,000	973,641	8,000	0	12.8	138,753	1,000	800	16.6	14.3	0			
2,997	588	4,495	200,000	210,195	300,000	973,641	8,000	0	12.8	115,255	1,000	800	10.4	15.3	0			
			200,000	210,195	300,000	973,641	8,000	0	25.6	123,610	2,000	1,600	11.3	16.2	0			
79,048	16,494	118,572			750,000	2,434,102	20,000								0			
76,112	15,996	114,168	200,000	210,195	750,000	2,434,102	20,000						0	0.301	0			

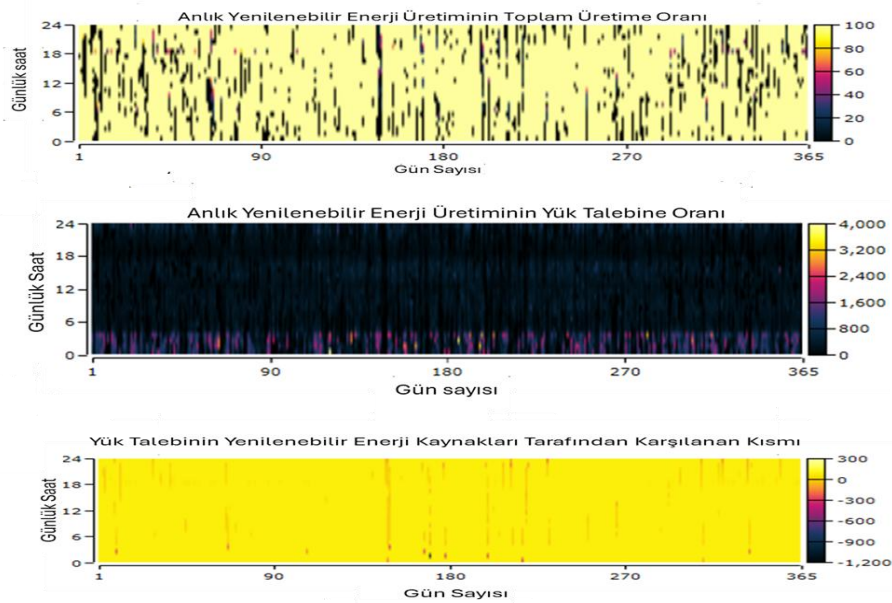
Şekil 5. En uygun sistem konfigürasyonu ve optimizasyon sonuçları



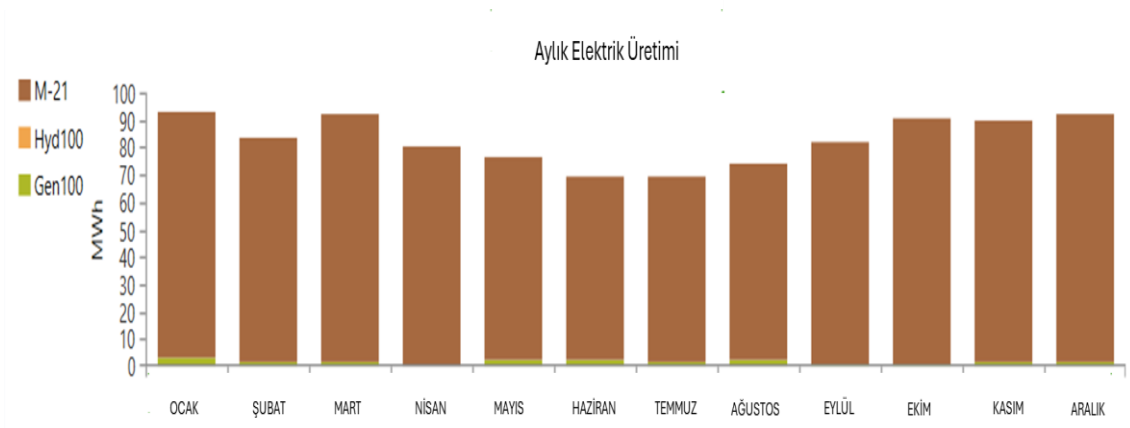
Şekil 6. En düşük maliyetli sistem ve temel seneryo için yıllara bağlı kümülatif nominal nakit akışı değişimi

4.2. Yenilenebilir Enerji Payı ve Jeneratörün Rolü

Önerilen sistemde yıllık enerji talebinin %96.5'i yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Dizel jeneratör yalnızca yenilenebilir üretimin yetersiz kaldığı kısa süreli durumlarda devreye girerek destekleyici unsur olmaktadır. Bu yaklaşım, hem yakıt tüketiminin azaltılması hem de sistemin güvenilirliğinin artmasını ve korunmasını sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sistemdeki yükü karşılama ve enerji üretimindeki yüksek payı Şekil 7'de görülmektedir. Aylık elektrik üretimi grafiğine bakıldığında hidroelektrik kaynak yıl boyunca istikrarlı üretim yaparken, rüzgar enerjisi mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir. Bu üretim dağılımı Şekil 8'de gösterilmektedir.



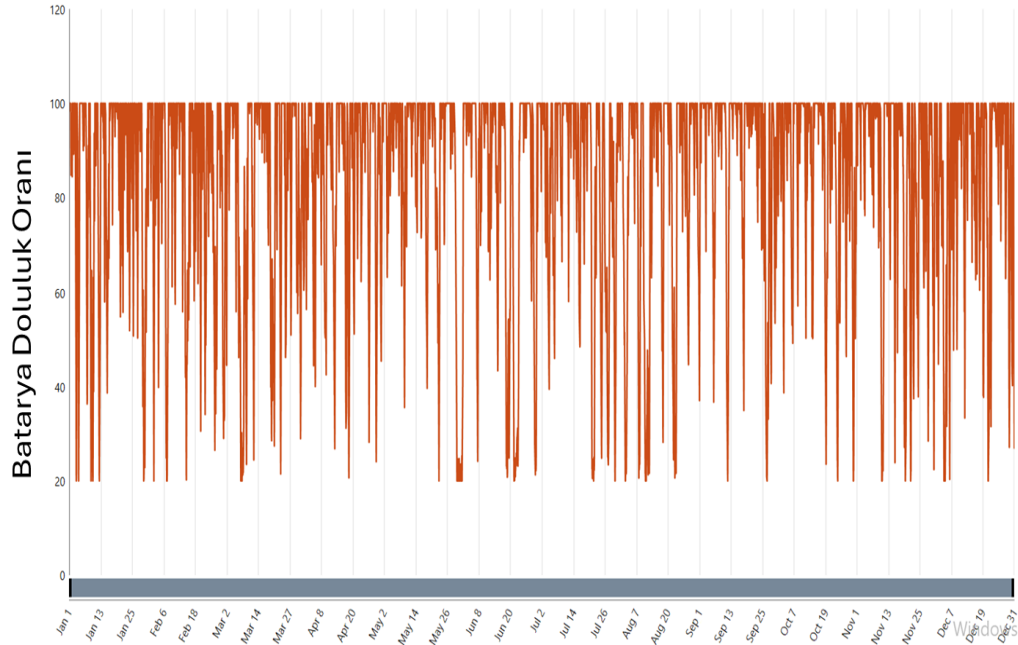
Şekil 7. Yenilenebilir enerji üretiminin yük ve toplam üretim üzerindeki anlık etkisi



Şekil 8. Hibrit sistemin aylık elektrik üretim dağılımı

4.3. Batarya Performansı ve Sistem Güvenilirliği

Batarya performansı incelendiğinde Şekil 9’da görüldüğü üzere enerji depolama sistemi yıl boyunca yüksek doluluk oranlarında çalıştığı görülmüştür. Batarya sistemi, özellikle rüzgâr üretimindeki dalgalanmaların dengelenmesinde ve dizel jeneratörün devreye girme sıklığının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır.

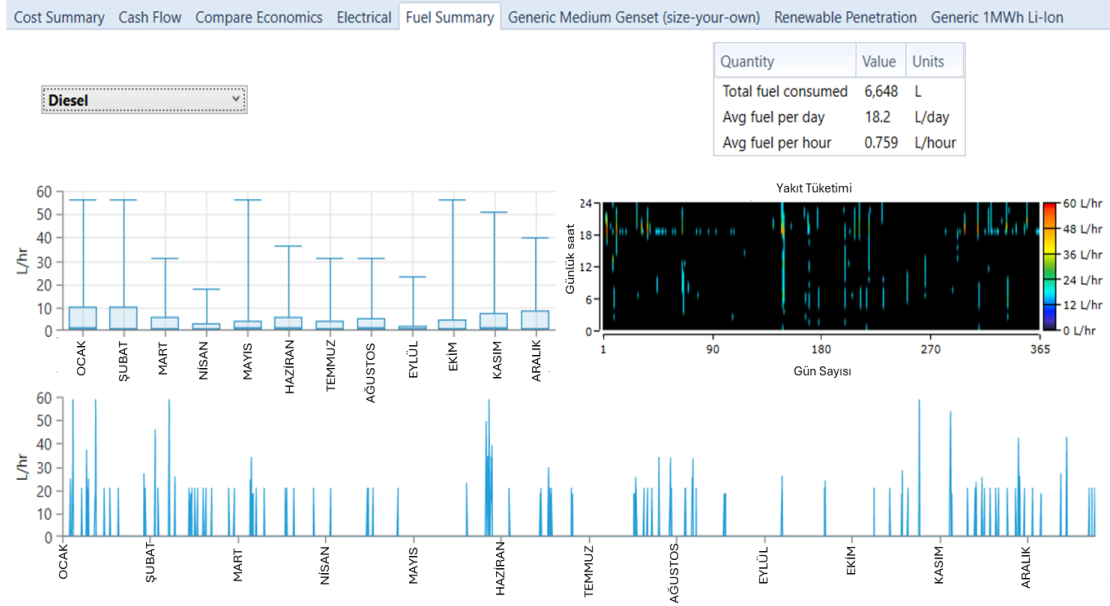


Şekil 9. Hibrit enerji sisteminde kullanılan 1MWh lityum-iyon bataryanın yıl boyunca saatlik durum doluluğu değişimi

4.4. Yakıt Tüketimi ve Emisyonlar

Yakıt tüketimi sonuçları, dizel jeneratör kullanımının sınırlı olduğunu göstermektedir. Dizel jeneratörün sınırlı kalmasına bağlı olarak yıllık yakıt tüketimi düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Yakıt tüketimi profili Şekil 10’da gösterilmiştir. Emisyon analizlerinde

de yıllık karbondioksit(CO₂) salınımı 17.4 ton seviyesine düşürülmüştür. Elde edilen bu değer yenilenebilir enerji ağırlıklı hibrit sistemlerin çevresel açıdan çok önemli sistemler olduğunu kanıtlamıştır. Sistemden kaynaklanan yıllık emisyon değerleri Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 10. Hibrit enerji sisteminde dizel jeneratörün yıllık yakıt tüketimi

Emissions		
Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	17,389	kg/yr
Carbon Monoxide	118	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	4.79	kg/yr
Particulate Matter	0.473	kg/yr
Sulfur Dioxide	42.6	kg/yr
Nitrogen Oxides	9.46	kg/yr

Şekil 11. Hibrit enerji sistemine ait yıllık emisyon değerleri

4. Sonuç

Bu çalışmada, İskoçya'nın Skye adası için hibrit bir enerji sistemi HOMER Pro yazılımı kullanılarak başarıyla modellenmiş ve optimizasyonu yapılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda sistemin yüksek yenilenebilir enerji oranı, düşük yakıt tüketimi ve sınırlı emisyon değerleri ile uygulanabilirlik açısından çok elverişli olduğu görülmektedir. Fotovoltaik panellerin en uygun sistemin içinde olmaması bölgesel koşulların yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında çok önemli bir rolü olduğunu göstermektedir. Tasarlanan bu hibrit enerji sistemi ile ada yerleşimleri gibi şebekeden bağımsız bölgelerde sürdürülebilir ve uygulanabilirlik açısından güvenli olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- [1].Turkdoğan, Sunay. "Design and optimization of a solely renewable based hybrid energy system for residential electrical load and fuel cell electric vehicle." *Engineering Science and Technology, an International Journal* 24.2 (2021): 397-404.
- [2].Türkdoğan, Sunay, Muhammet Talha Mercan, and Tuğçe Çatal. "Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: Teknik ve ekonomik analizleri." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 18 (2020): 476-485.
- [3].Türkdoğan, Sunay, Serkan Dilber, and Barış Çam. "Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açıdan İncelenmesi." *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 3.2 (2018): 52-65.
- [4].Arslan, Furkan, and Sunay Türkdoğan. "Kamu binalarında çatı üzeri fotovoltaik panel kurulum potansiyelinin belirlenmesi ve enerji üretim artışı için mimari tasarımın ele alınması: Yalova ili örneği." *Journal of Innovative Engineering and Natural Science* 2.2 (2022): 76-94.