

T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEBEKE BAĞLANTILI HİBRİT DAĞITIK ÜRETİM SİSTEMİNİN
MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Tezi Hazırlayan
Elif Tuba ÖZTÜRK

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ersan KABALCI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Temmuz 2024
NEVŞEHİR

T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEBEKE BAĞLANTILI HİBRİT DAĞITIK ÜRETİM SİSTEMİNİN
MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Tezi Hazırlayan
Elif Tuba ÖZTÜRK

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ersan KABALCI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Temmuz 2024

Prof. Dr. Ersan KABALCI danışmanlığında Elif Tuba ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “**Şebeke Bağlantılı Hibrit Dağıtık Üretim Sisteminin Modellenmesi ve Analizi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

30/07/2024

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Yasin KABALCI

Üye : Prof. Dr. Ersan KABALCI

Üye : Doç. Dr. Altan GENCER

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun.....tarih ve..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.../.../20..

Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Elif Tuba ÖZTÜRK

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının yűrűtűlmesinde desteęini esirgemeyen danıőman hocam Prof. Dr. Ersan KABALCI'ya, hayatım boyunca her zaman yanımda olan anneme, babama ve kız kardeőim Ebrar Afra ŐZTŪRK'e sonsuz teőekkűr ederim.



ŞEBEKE BAĞLANTILI HİBRİT DAĞITIK ÜRETİM SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Elif Tuba ÖZTÜRK

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2024

ÖZET

Gün geçtikçe artmaya devam eden enerji ihtiyacının ileride tek başına fosil yakıtlı kaynaklardan karşılanması olası gözükmemektedir. Bunun sonucu olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi sürekli artmaktadır. Çalışmada tasarlanan çeşitli senaryolar ile mikro şebeke sistemlerinin maliyet analizleri yapılarak şebekeye entegre edilebilecek en makul seçeneğin belirlenmesi için incelemeler gerçekleştirilmiştir. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi'nin 2016-2022 yılları arasındaki elektrik enerjisi tüketim değerlerinin ortalaması bulunarak yük profili elde edilmiştir. Tasarlanacak sistemler ile talep edilen elektrik enerjisini karşılayacak hibrit sistem tespit edilmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen literatür taramasından sonra dört farklı senaryo oluşturulmuştur. Sistem modellemeleri "HOMER" programı yardımıyla tasarlanmıştır. Şebekeye bağlı düşünülen sistem tasarımlarında güneş panelleri, rüzgar türbini ve hidrojen teknolojilerinden faydalanılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları beraber kullanılarak hibrit sistemler oluşturulması ile enerjide süreklilik sağlanması hedeflenmiştir. Çevreye verilen zararın azaltılması ile temiz enerjinin sağladığı yararlar üzerinde durulmuştur. Tez çalışmasında yapılan analizler neticesinde en mümkün sistem tasarımının dördüncü senaryo olduğu anlaşılmıştır. Tasarımda 800 kW rüzgar türbini, 1000 kW güneş paneli kullanılmıştır. Birim enerji maliyeti 0,446 ₺ ve yenilenebilir enerji oranı % 94,4 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Sistemler, Rüzgar Enerjisi, Güneş Enerjisi, HOMER

Tez Danışman: Prof. Dr. Ersan KABALCI

Sayfa Adeti: 69

MODELING AND ANALYSIS OF A GRID-CONNECTED HYBRID DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM

(M. Sc. Thesis)

Elif Tuba ÖZTÜRK

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCE

JULY 2024

ABSTRACT

It seems unlikely that the energy demand, which continues to increase day by day, will be met from fossil fuel resources alone in the future. As a result, interest in renewable energy sources is constantly increasing. The cost analysis of microgrid systems with various scenarios designed in the study was carried out to determine the most reasonable option that can be integrated into the grid. The load profile of Nevşehir Hacı Bektaş Veli University was obtained by obtaining the average of the electrical energy consumption values between 2016-2022. It was tried to determine the hybrid system that will meet the demanded electrical energy with the systems to be designed. After the literature review, four different scenarios were created. System modeling was designed with the help of "HOMER" program. Solar panels, wind turbines and hydrogen technologies were utilized in the system designs that are considered grid-connected. It is aimed to provide continuity in energy by creating hybrid systems by using renewable energy sources together. The benefits of clean energy are emphasized by reducing the damage to the environment. As a result of the analyzes carried out in the thesis study, it was understood that the most feasible system design was the fourth scenario among the proposed ones. In the design, 800 kW wind turbine and 1000 kW solar panel were used. The unit energy cost is 0.446 ₺ and the renewable energy rate is 94.4 %.

Keywords: Hybrid Systems, Wind Energy, Solar Energy, HOMER

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Ersan KABALCI

Page Number: 69

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
ENERJİ KAYNAKLARI	
2.1. Dağıtık Üretim	12
2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	13
2.2.1. Güneş enerjisi.....	14
2.2.2. Rüzgar enerjisi	16
2.2.3. Hidrojen enerjisi.....	18
2.3. Mikro Şebekeler	19
3. BÖLÜM	
HİBRİT SİSTEM MODELLEMESİ	
3.1. Hibrit Sistem Tasarımı	21
3.1.1. Birinci senaryonun tasarımı	22
3.1.2. İkinci senaryonun tasarımı	23

3.1.3.	Üçüncü senaryonun tasarımı	24
3.1.4.	Dördüncü senaryonun tasarımı	25
4.BÖLÜM		
HİBRİT SİSTEM ANALİZİ VE SONUÇLARI		
4.1.	Oluşturulan Senaryoların Karşılaştırılması	26
4.1.1.	Birinci senaryo	26
4.1.2.	İkinci senaryo	33
4.1.3.	Üçüncü senaryo	40
4.1.4.	Dördüncü senaryo	49
5.BÖLÜM		
SONUÇ VE ÖNERİLER		58
KAYNAKLAR		61
ÖZGEÇMİŞ		70

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Yıllık üretimin kaynaklara göre dağılımı.....	12
Tablo 2.2.	Yıllık Türkiye elektrik enerjisinin aylara göre dağılımı.....	14
Tablo 3.1.	Saatlik ortalama elektrik tüketim değerleri.....	21
Tablo 3.2.	Nevşehir ili açıklık indeksi, günlük radyasyon, ortalama rüzgar hızı.....	22
Tablo 4.1.	Senaryo 1'in maliyet analizi sonuçları.....	32
Tablo 4.2.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu.....	32
Tablo 4.3.	Senaryo 2'nin maliyet analizi sonuçları.....	39
Tablo 4.4.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu.....	39
Tablo 4.5.	Senaryo 3'ün maliyet analizi sonuçları.....	46
Tablo 4.6.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu.....	47
Tablo 4.7.	Senaryo 3'ün yakıt hücresi yokken maliyet analizi sonuçları.....	48
Tablo 4.8.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu.....	49
Tablo 4.9.	Senaryo 4'ün maliyet analizi sonuçları.....	55
Tablo 4.10.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu.....	56
Tablo 4.11.	Maliyet analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Enerji kapasitesi artışında yenilenebilir enerji payı.....	11
Şekil 2.2.	Dağıtık üretim sistemi örneği.....	13
Şekil 2.3.	Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası.....	15
Şekil 2.4.	Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası.....	15
Şekil 2.5.	Dünya rüzgar enerjisi potansiyel atlası.....	17
Şekil 2.6.	Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlası.....	17
Şekil 2.7.	Yakıt hücresi çalışma prensibi.....	18
Şekil 2.8.	Şebeke yapısı.....	19
Şekil 2.9.	Mikro şebeke yapısı.....	20
Şekil 3.1.	Senaryo 1'in blok diyagramı.....	23
Şekil 3.2.	Senaryo 2'nin blok diyagramı.....	23
Şekil 3.3.	Senaryo 3'ün blok diyagramı.....	24
Şekil 3.4.	Senaryo 3'ün yakıt hücresi yokken blok diyagramı.....	25
Şekil 3.5.	Senaryo 4'ün blok diyagramı.....	25
Şekil 4.1.	Rüzgar türbin çıkış gücü.....	26
Şekil 4.2.	Birinci senaryonun aylık elektrik üretimi.....	27
Şekil 4.3.	Girişim oranı.....	27
Şekil 4.4.	Aylık ortalama şebekeden enerji alımları.....	28
Şekil 4.5.	Günlük ortalama şebekeden enerji alımları.....	28
Şekil 4.6.	Aylık ortalama şebekeye enerji aktarımları.....	29
Şekil 4.7.	Günlük ortalama şebekeye enerji aktarımları.....	29
Şekil 4.8.	Aylık ortalama toplam elektrik yükü.....	30
Şekil 4.9.	Günlük ortalama toplam elektrik yükü.....	30
Şekil 4.10.	Aylık ortalama yenilenebilir enerji üretimi.....	31

Şekil 4.11.	Günlük ortalama yenilenebilir güç üretimi.....	31
Şekil 4.12.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri.....	33
Şekil 4.13.	GES çıkış gücü.....	33
Şekil 4.14.	Aylık ortalama elektrik üretimi.....	34
Şekil 4.15.	Girişim oranı.....	34
Şekil 4.16.	Aylık ortalama şebekeden enerji alımları.....	35
Şekil 4.17.	Günlük ortalama şebekeden enerji alımları.....	35
Şekil 4.18.	Aylık ortalama şebekeye enerji aktarımları.....	36
Şekil 4.19.	Günlük ortalama şebekeye enerji aktarımları.....	36
Şekil 4.20.	Aylık ortalama toplam elektrik yükü.....	37
Şekil 4.21.	Günlük ortalama toplam elektrik yükü.....	37
Şekil 4.22.	Aylık ortalama yenilenebilir enerji üretimi.....	38
Şekil 4.23.	Günlük ortalama yenilenebilir enerji üretimi.....	38
Şekil 4.24.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri.....	40
Şekil 4.25.	Yakıt hücresi çıkış gücü.....	40
Şekil 4.26.	Yakıt tüketim değerleri.....	41
Şekil 4.27.	Aylık ortalama elektrik üretimi.....	42
Şekil 4.28.	Girişim oranı.....	42
Şekil 4.29.	Aylık ortalama şebekeden enerji alımları.....	43
Şekil 4.30.	Günlük ortalama şebekeden enerji alımları.....	43
Şekil 4.31.	Aylık ortalama şebekeye enerji aktarımları.....	44
Şekil 4.32.	Günlük ortalama şebekeye enerji aktarımları.....	44
Şekil 4.33.	Aylık ortalama toplam elektrik yükü.....	45

Şekil 4.34.	Günlük ortalama toplam elektrik yükü.....	45
Şekil 4.35.	Aylık ortalama yenilenebilir enerji üretimi.....	46
Şekil 4.36.	Günlük ortalama yenilenebilir enerji üretimi.....	46
Şekil 4.37.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri.....	47
Şekil 4.38.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri.....	49
Şekil 4.39.	Aylık ortalama elektrik üretimi.....	50
Şekil 4.40.	Girişim oranı.....	50
Şekil 4.41.	Aylık ortalama şebekeden enerji alımları.....	51
Şekil 4.42.	Günlük ortalama şebekeden enerji alımları.....	52
Şekil 4.43.	Aylık ortalama şebekeye enerji aktarımları.....	52
Şekil 4.44.	Günlük ortalama şebekeye enerji aktarımları.....	53
Şekil 4.45.	Aylık ortalama toplam elektrik yükü.....	53
Şekil 4.46.	Günlük ortalama toplam elektrik yükü.....	54
Şekil 4.47.	Aylık ortalama yenilenebilir enerji üretimi.....	54
Şekil 4.48.	Günlük ortalama yenilenebilir enerji üretimi.....	55
Şekil 4.49.	Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

\$	Dolar
\$/kWh	Dolar/kilowatt saat
₺/kWh	Türk lirası/kilowatt saat
GES	Güneş Enerji Sistemleri
HOMER	Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
Kg	kilogram
kg/yıl	kilogram/yıl
kW	kilowatt
kW/gün	kilowatt/gün
kWh	kilowatt saat
kWh/gün	kilowatt saat/gün
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
m/s	Metre/saniye
MATLAB	Matrix laboratory
MW	Megawatt
W/m ²	Watt/metrekare

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Dünyadaki teknolojik gelişmeler ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır. Bu ihtiyacın giderilebilmesi için çeşitli kaynaklar kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan kaynaklar petrol, kömür, doğalgaz vb. olarak sıralanırken bu kaynakların rezervleri sınırlıdır. Diğer yandan fosil yakıtlı kaynakların kullanımı ile havaya zararlı gazlar karışmakta atmosferdeki karbondioksit oranını arttırmaktadır. Azalan oksijen seviyesi ile birlikte asit yağmurları ve karbon salınımı artmakta, olumsuz iklim değişiklikleri meydana gelmektedir. Ayrıca savaşlar, salgın hastalıklar, doğal afetler vb. nedenlerle insanların enerjiye erişimi gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Fosil tabanlı kaynakların kullanımı ile çevreye verilen zararın önlenmesi için alternatif enerji kaynaklarına olan yönelim her geçen gün artmaktadır. Şebeke altyapılarının geliştirilmesiyle elektriğin üretim, dağıtım ve iletiminin daha güvenli bir şekilde yapılabilmesine olanak sağlayan dağıtık üretim sistemlerinin kullanımının arttığı gözlemlenmektedir. Dağıtık üretim, tüketim alanına yakın bölgelerde kurulan güç üretim sistemleridir.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile oluşturulan dağıtık üretim sistemleri çevreye verilen zararın azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Şebekeye entegre edilen dağıtık üretim sistemleri ile sürdürülebilir ve güvenilir enerji elde edilmektedir. Dünyadaki birçok ülke fosil yakıtlarının kullanımının yerine temiz enerji kaynaklarını içeren mikro şebekeler ile ilgili çalışmalara yönelmişlerdir. Mikro şebekeler birden fazla enerji kaynağının birlikte kullanıldığı güvenli ve temiz enerji elde edilebilmesine olanak sağlayan güç tesisleri olarak tanımlanabilmektedir. Rüzgar, güneş, hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile oluşturulan mikro şebekeler sayesinde enerjiye erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde de elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Bu şebekeler karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlarken bağımsız enerji üretimini de mümkün kılmaktadır.

Şebekeye entegre edilen mikro şebeke tasarımları ise enerjide süreklilik oluşturmakta ve enerji güvenliğini arttırmaktadır. Farklı türdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada kullanılması ile hibrit sistemlerin oluşturulması ve enerjide verimin artırılması

amaçlanmaktadır. Farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada kullanılması ile güneşin etkisinin fazla olmadığı ve rüzgar hızının yüksek olduğu kış aylarında rüzgar türbininden enerji elde edilirken güneşin etkisinin fazla olduğu ve rüzgar hızının düşük olduğu yaz aylarında da güneş panellerinden enerji elde edilerek üretimde süreklilik sağlanmaktadır. Bu kaynaklara ek olarak diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının da sisteme entegre edilmesiyle üretilen enerjide artış sağlanmaktadır. Enerji depolama sistemleri ise talepten daha fazla enerji üretildiğinde bu enerjinin depolanmasını ve ihtiyaç duyulduğu zaman kullanılabilmesini sağlamaktadır. Şebeke bağlantılı olarak tasarlanan sistemlerde üretilen enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda şebekeden enerji aktarımı sağlanırken, üretilen fazla enerji şebekeye aktararak tesisten gelir elde edilebilmektedir.

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı hibrit sistemleri içeren mikro şebekeler üzerine yapılan birçok çalışma bulunduğu görülmektedir [1]-[30]. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalar ve talep edilen yükün karşılanabilmesi için en makul tasarımın önerildiği dağıtık üretim sistemleri detaylı olarak incelenmiştir.

Abdolmaleki ve Berardi tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Kuzey Amerika’da bir apartmanın günlük enerji ihtiyacı 650 kWh/gün olarak belirlenmiştir. İncelenen çalışmada güneş panelleri–batarya, güneş panelleri–hidrojen ve güneş panelleri–hidrojen–bataryadan oluşan üç farklı sistem tasarımının önerildiği görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda bir apartman için en uygun sistemin 1830 kW kurulu güce sahip GES (Güneş Enerji Sistemleri), 200 kW elektrolizör, 30 kW yakıt hücresi, 300 kg hidrojen tankı, 85,7 kW güç dönüştürücüsü ve 1022 adet bataryadan oluşan bir sistem olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada araştırmacılar önerdikleri mikro şebeke sayesinde hava kirliliğinin önlenmesi ve iklim değişikliği ile mücadele edilebileceğini ifade etmişlerdir [1].

Bir diğer çalışmada Abidin ve çalışma arkadaşları, Avustralya’nın beş farklı bölgesinde şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız hibrit sistemler tasarlamışlardır. Bu sistemlerde güneş panelleri, rüzgar türbini, hidrojen enerjisi ve lityum iyon batarya kullanılmıştır. Analizler sonucunda iki bölge için belirlenen en uygun sistemlerin sırasıyla şebekeden bağımsız enerji maliyeti 0,32 \$/kWh, şebeke bağlantılı enerji

maliyeti 0,030 \$/kWh iken diğerk bölgenin enerji maliyeti sırasıyla 0,38 \$/kWh, 0,034 \$/kWh olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada şebeke bağlantısız sistemler daha ekonomik olmasına karşın şebeke bağlantılı sistemlerin fazla enerjinin şebekeye aktarılmasına olanak sağladığı ifade edilmiştir [2].

Gökçek ve çalışma arkadaşları Türkiye’de Niğde ve İspanya’da Zaragoza bölgelerinde fosil yakıt kullanılmaması için teknik ve ekonomik analizler gerçekleştirmişlerdir. Modellemede rüzgar türbini, güneş panelleri ve hidrojen teknolojileri kullanılmıştır. Niğde için en uygun sistemin güneş enerjisini içeren modelleme olduğu anlaşılırken bugünkü net maliyeti 6.832,39 \$ olarak belirlenmiştir. Zaragoza için en uygun sistemin ise güneş enerjisi ve rüzgar türbinini içeren modelleme olduğu anlaşılırken bugünkü net maliyeti 6.499,72 \$ olarak belirlenmiştir. Hidrojen enerjisinin kullanılması ile havaya zararlı gazların karışması önlenerek ulaştırma alanındaki enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir [3].

Wang ve Grimmelt Almanya’nın iki farklı bölgesindeki topluluk için şebeke bağlantısız hibrit sistem tasarlamışlardır. HOMER programında rüzgar türbini, güneş panelleri, yakıt hücresi, elektrolizör, hidrojen tankı, batarya ve dönüştürücü kullanılarak analizler gerçekleştirmişlerdir. Mevcut analizlerin sonucunda batarya–hidrojen ve güneş–rüzgar modellemeleri en uygun yenilenebilir enerji tasarımları olarak tespit edilmiştir. Hidrojen enerjisinin depolanması ile diğerk enerji türlerine dönüştürülerek kullanımına olanak sağlanmaktadır [4].

Suresh ve çalışma arkadaşları Hindistan’ın Karnataka eyaletinde Chamarajanagar bölgesinde üç köyden oluşan bir topluluğun enerji ihtiyacını karşılamak için şebeke bağlantısız hibrit sistem tasarlamış ve dört farklı senaryo oluşturmuştur. Bunlar; yakıt hücresi–güneş panelleri–batarya, yakıt hücresi–güneş panelleri, batarya–güneş panelleri ve yalnızca güneş panelleri olarak sıralanmaktadır. Birinci senaryonun en uygun tasarım olduğu anlaşılmıştır. Daha az karbondioksit emisyonuna sahip olan ilk senaryo ile en düşük birim enerji maliyeti 0,163 \$/kWh olarak belirlenirken bütün yük karşılanmıştır [5].

Chamazkoti ve çalışma arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada şebeke bağlantılı güneş, rüzgar ve biyogaz enerjisini içeren hibrit sistem oluşturulmuştur. Çalışmanın amacı enerji ihtiyacının karşılanırken fazla enerjinin şebekeye aktarılması ve arıtma tesisinin oluşturulması olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada en uygun seçimin 1924 kW kurulu güce sahip GES, 1,5 MW rüzgar türbini, 500 kW biyogaz jeneratörü, 578 kW güç dönüştürücüsü ve 1270 kW gücünde elektrolizör olarak tespit edilmiştir. Araştırmacılar sistemin yılda ortalama 82,45 ton yeşil hidrojen ürettiğini böylece atmosfere karbon salınım oranının azaldığını ifade etmektedirler [6].

Dekkiche ve çalışma arkadaşları Cezayir'in Chlef şehrinin küçük bir alanına elektrik sağlamak için şebeke bağlantılı sistemin teknik ve ekonomik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada 2020 yılı için yük profili oluşturulmuştur. Günlük 16.000 kWh enerji talep edilmektedir. Tasarımda güneş paneli ve yakıt hücresi birlikte kullanılmıştır. HOMER programında 13.860 simülasyon gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar güneş takip sistemleri ile ilgili analizler gerçekleştirerek en uygun tasarımı incelemişlerdir [7].

Ateş ve Karaarslan, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak İzmir'in Çeşme ilçesinde yaşayan dört kişilik bir ailenin enerji ihtiyacını karşılayabilen güneş, rüzgar ve hidrojen enerjisini içeren hibrit sistem modellemişlerdir. 79.500 simülasyon gerçekleştirilirken 28.360'ının gerçekleştirilebilir olduğu anlaşılmıştır. Tasarlanan sistemin birim enerji maliyeti 0,262 \$ olarak saptanmıştır. Araştırmacılar bu teknolojik tasarımların ülkelerin enerjide yabancı kaynaklara olan bağılıklarını azaltacağını ifade etmişlerdir [8].

Adedoja ve çalışma arkadaşları, Nijerya'nın Abuja ve Anyigba bölgelerinde yer alan laboratuvarların güç ihtiyacını sağlayabilmek için güneş panelleri, rüzgar türbini, hidrojen sistemi ve bataryadan oluşan şebeke bağlantısız sistemin tasarımı HOMER programı ile yapılmıştır. Teknik ve ekonomik analizler gerçekleştirilerek en uygun sistemin belirlenmesi amaçlanmıştır. Abuja bölgesi için en uygun sistemin bugünkü net maliyeti 220.930 \$, Anyigba bölgesine kurulacak sistemin bugünkü net maliyeti ise 106.955 \$ olarak saptanmıştır. Çalışmada hidrojen sisteminin diğer kaynakların kesintili çalışmasını düşürebileceği ifade edilmiştir [9].

Kumar ve çalışma arkadaşları Hindistan'ın kırsal bölgesinde yer alan bir köyünde HOMER programı ile hibrit sistem modelleyerek teknik ve ekonomik analizler yapmışlardır. İlk olarak ev, topluluk ve ticari olarak üç farklı yük profili belirlenmiştir. Sistemde batarya ihtiyacının düşürülmesi için hidrojen tankı kullanılmıştır. Araştırmacılar en makul sistemin rüzgar türbini, elektrolizör, hidrojen tankı, dönüştürücü ve bataryadan oluşan modelleme olduğu sonucuna varmışlardır. Duyarlılık analizi ile tasarımda güneş ışınım şiddeti ve rüzgar hızının değişken olmasının neticesinde sistemin maliyetini arttırdığı belirlenmiştir [10].

Alruwaili ve Cipcigan, sivil bir havaalanının enerji ihtiyacını sağlamak için şebeke bağlantılı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı bir sistem tasarlamışlardır. Yakıt hücresi ve güneş panellerinin yer aldığı tasarım HOMER yazılımı kullanılarak ekonomik analizler yapılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerin bulgularında en uygun sistemin 50 kW gücünde yakıt hücresi ve 1,15 MW kurulu güce sahip GES içeren tasarım olduğu tespit edilmiştir [11].

Zhao ve çalışma arkadaşları Çin Tarım Üniversitesi Doğu kampüsü için enerji sistemi tasarlayarak HOMER programı ile teknik ve ekonomik çalışmalar yapmışlardır. Sistemin ömrü 20 yıl olarak belirlenmiştir. Dört farklı senaryo içerisinde en uygun sistemin tespit edilebilmesi için maliyet analizleri incelenmiştir. Sonuç olarak en makul tasarımın rüzgar türbini, güneş panelleri, biyokütle ve bataryadan oluşan hibrit sistem olduğu anlaşılmıştır. Sistemin birim enerji maliyeti 0,0671 \$'dır. Araştırmacılar şebeke bağlantılı tasarım ile elektrik tüketim maliyetinin azaltılabileceğini ifade etmektedirler [12].

Badi ve Wahaibi, Umman'ın Dhofar bölgesinde hidrojen enerjisinin kullanıldığı hibrit sistem tasarlamışlardır. Bu çalışmada güneş-batarya, güneş-yakıt hücresi ve yakıt hücresi-güneş-batarya ile üç senaryo oluşturulmuştur. Sistemde üretilen enerji istenilen yük talebini karşılayarak enerji fazlasının elektrolizör aracılığıyla hidrojen üretilerek bir tankta depolanması planlanmıştır. Çalışmada araştırmacılar hidrojen enerjisi ile fosil yakıtların kullanımının azalacağını ifade etmektedirler [13].

Tiong ve çalışma arkadaşları küresel ısınmanın azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren mikro şebeke oluşturarak teknik ve ekonomik değerlendirmeler yapmışlardır. Hidrojen enerjisinin de kullanıldığı dört farklı senaryo oluşturulmuştur.

En makul tasarımın şebeke bağlantılı batarya–hidrojen depolama sistemi olduğuna karar verilmiştir. Araştırmacılar önerilen çalışma ile fosil yakıt kullanımının azaltılacağı, temiz enerji elde edileceği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşacağı sonuçlarına varmışlardır [14].

Khan ve çalışma arkadaşları Pakistan'ın Peşaver kentinde şebeke bağlantılı rüzgar türbini ve güneş panellerinden oluşan mikro şebeke oluşturmuşlardır. Batarya teknolojisi için kurşun asit ve lityum iyon pil kullanılarak en makul sistem araştırılmıştır. Teknik ve ekonomik analizler sonucunda lityum iyon bataryanın kurşun asit bataryadan daha düşük birim enerji maliyetine sahip olduğu tespit edilmiştir [15].

Chisale ve çalışma arkadaşları tarafından Afrika kıtasında yer alan Malavi ülkesinde yetersiz enerji probleminin olduğu bir bölgede güneş, rüzgar ve biyogaz enerjilerini içeren hibrit sistem tasarlanmıştır. Bölgede yaşanan elektrik kesintileri nedeniyle enerji ihtiyacı karşılanamamaktadır. Bu çalışma ile enerji kesintilerinin önlenmesi ve maliyetlerin azaltılması amaçlanmıştır. Altı farklı tasarım modellenirken teknik, ekonomik ve çevresel analizler yapılmıştır. Araştırmacılar birim enerji maliyeti en düşük 0,095 \$/kWh olan biyogaz jeneratörünü içeren sistemin en uygulanabilir tasarım olduğunu ifade etmişlerdir [16].

Cretu ve çalışma arkadaşları Romanya'da bulunan bir üniversite binasının enerji talebi için teknik değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Şebekeye entegre olan sistemde rüzgar türbini ve güneş panelleri kullanılmıştır. Binada 4 kW güneş panelleri kurulmuştur ancak talep edilen yükü karşılayamamaktadır. Bu çalışmada dört farklı tasarım oluşturularak teknik ve ekonomik değerlendirmelerde bulunulmuştur. Yapılan değerlendirmeler neticesinde en uygun sistem belirlenmiştir. Önerilen çalışma ile araştırmacılar karbondioksit salınım miktarının azaldığını belirtmişlerdir [17].

Kotian ve çalışma arkadaşları Kanada'nın Newfoundland eyaletinde yer alan Ramea ada bölgesinde bulunan rüzgar–hidrojen–dizel jeneratör sisteminin yerine yeni bir sistem önermişlerdir. Önerilen tasarım güneş–rüzgar–batarya–jeneratör olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada RETScreen, REopt, MATLAB ve HOMER gibi çeşitli yazılım programları kullanılmıştır. Düşük birim enerji maliyeti ile seçenekler arasında en uygun model araştırılmıştır. Çalışmada araştırmacılar tarafından MATLAB ile sıcaklık ve ışınım gibi dış etkenlere sistemin tepkileri gözlemlenmiştir [18].

Tri ve çalışma arkadaşları Vietnam genelinde bir hanenin enerji ihtiyacına cevap verilebilmesi için rüzgar ve güneş enerji sistem teknolojilerini kapsayan tasarımları gerçekleştirmişlerdir. Günlük 11,26 kW/gün elektrik tüketim değeri kabul edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre 5 kW güneş panelleri, 1kW rüzgar türbini en uygulanabilir sistem olarak bulunmuştur. Birim enerji maliyetinin değeri ise 0,031-0,043 \$/kWh aralığında değiştiği tespit edilmiştir [19].

Gospodinova ve çalışma arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada Bulgaristan'da yer alan müstakil bir evin enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan hibrit bir sistem ile karşılanabilmesi için HOMER programı ile analizler yapılmıştır. Sistemde şebeke bağlantılı güneş ve rüzgar enerjisinin birlikte kullanıldığı hibrit tasarım esas alınmıştır. Bu çalışmada önerilen tasarım ile karbondioksit gazı salınım oranının azalacağı belirlenmiştir [20].

Mannai ve çalışma arkadaşları Tunus'taki bir laboratuvar için enerji maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla hibrit bir proje oluşturmuşlardır. Seçilen bölgenin aylık ortalama rüzgar hızı ve güneş ışımaya verileri belirlenmiştir. Şebekeye entegre olan tasarımda güneş panelleri ve rüzgar türbini kullanılırken depolama sistemleri de yer almaktadır. Maliyet ve duyarlılık analizi gerçekleştirilerek en makul seçenek tespit edilmiştir. Çalışmada birim enerji maliyeti 0,137 \$/kWh olarak bulunurken yenilenebilir enerji oranı % 50 olarak bulunmuştur. Araştırmacılar en uygun sistemin karbondioksit seviyesinin yüksek olduğunu ve bu konuda daha fazla çalışma yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir [21].

Katauea ve çalışma arkadaşları, Kiribati ülkesinin Tarava adasında yeşil enerji kullanarak talep edilen enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılayan bir sistem oluşturmuşlardır. HOMER programı yardımıyla yenilenebilir enerji oranı ve maliyet analizi gibi değerlendirmeler yapılmıştır. Batarya kullanılan sistemin birim enerji maliyeti 0,27 \$/kWh, hidrojen teknolojisinin kullanıldığı sistemin maliyeti ise 0,30 \$/kWh olarak bulunmuştur. Önerilen her iki tasarımda da kar sağlandığı ancak hidrojen depolamalı sistemin çevreye daha az zarar verdiği için en uygun seçenek olacağı düşünülmüştür. Diğer yandan bu çalışmada araştırmacılar hidrojen donanım maliyetlerindeki düşüş ile birlikte kara ve deniz taşımacılığında da kullanılacağını ifade etmişlerdir [22].

Sedeeqi ve çalışma arkadaşları, Afganistan'ın Herat şehrinde bulunan bir köyün enerjisinin yenilenebilir enerji sistemleri ile elde edilebilmesini sağlamak hedefiyle ekonomik açıdan en uygun tasarımı belirlemişlerdir. Tasarımda şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantılı olmadan incelemeler yapılmıştır. Güneş ve rüzgar enerjisi birlikte kullanılarak hibrit sistem oluşturulmuştur. HOMER programında hassaslık ve duyarlılık analizleri yapılarak teknik ve ekonomik incelemeler yapılmıştır. Sonuç olarak şebeke bağlantılı sistemin daha uygulanabilir olduğu anlaşılmıştır [23].

Ayan ve Türkay, güneş enerji potansiyeli yüksek olan Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantılı olmayan iki tasarımda da rüzgar türbini ve güneş panelleri beraber kullanılmıştır. Günlük ortalama 13,26 kWh/gün enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Çanakkale ve Artvin illeri için yapılan değerlendirmelerde şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız sistem için sırasıyla net maliyet 2.540,00-8.951,00 \$, 23.372,00-40.858,00 \$ arasında değişim göstermektedir. Araştırmacılar şebekenin sisteme etkisini karşılaştırma yaparak incelemişlerdir [24].

Medam ve çalışma arkadaşları ülkelerin temiz enerji elde etmek ve karbon ayak izini azaltma hedeflerine yönelik olarak hibrit sistem modellemişlerdir. Önerilen mikro şebeke ile en makul tasarımın tespit edilmesi amaçlanmıştır. Şebekeye entegre güneş-rüzgar-dizel ve biyogaz jeneratör-batarya içeren yapı ile günlük 2.700 kWh elektrik enerjisi talebine cevap verebilecek en uygun sistem oluşturulmuştur. Yapılan analiz neticesinde mikro şebekenin toplam enerji üretiminin % 29,3'ü olarak belirlenmiştir. Bu mikro şebeke tasarımına alternatif olarak araştırmacılar gelecek çalışmalarda farklı yazılım programlarının kullanılabilceğini anlatmaktadırlar [25].

Adetoro ve çalışma arkadaşları, Nijerya'da insanların çoğunluğunun kırsal alanda yaşadıklarını ve enerjiye erişimin zor olduğu koşulların yarattığı dezavantajı yok etmek için yenilenebilir enerji kaynakları ile mikro şebeke oluşturmuşlardır. HOMER programı ile teknik, ekonomik ve çevresel değerlendirmeler yapmışlardır. Batarya kullanımı ile enerji ihtiyacı karşılanırken maliyetlerin azaldığı anlaşılmıştır. Güneş panelleri ve batarya dizel yakıt kullanımını % 48,9 oranında azaltarak atmosfere zararlı gazların karışması önlenmektedir [26].

Mbasso ve çalışma arkadaşları, Kamerun'un alt kıyısında yer alan Manoka adasında bir konutun enerji ihtiyacının giderilebilmesi için incelemeler yapmışlardır. Ayrıca balıklar için oksijen üretimi gerçekleştirmişlerdir. Enerji ihtiyacı ev içerisinde bulunan televizyon, aydınlatma ve su pompaları gibi cihazların kullanımından doğmaktadır. Bu cihazların günlük ortalama elektrik tüketimi 9,28 kWh olarak kabul edilmiştir. Çalışmada güneş panelleri, batarya, dizel jeneratör, dönüştürücü, elektrolizör ve oksijen tankını kapsayan kombinasyon kullanılmıştır. Üretilen oksijen ile balık yetiştiriciliğine katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Önerilen çalışma ile kaynakların korunması ve temiz enerji elde edilebileceği anlaşılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yenilenebilir enerji oranı % 92,5 iken yıllık karbon salınımı 1,69 kg olmaktadır [27].

Ennemiri Fas'ın Berkane şehrinde ticari bir işletmeye güvenli enerji sağlamak amacıyla bir sistem önermişlerdir. Sistem bileşenleri güneş panelleri, biyogaz jeneratörü ve bataryadan oluşmaktadır. Enerji sisteminin en makul seçeneği 231 kW güneş paneli, 170 kW biyogaz jeneratörü, 140 kW dönüştürücü ve 201 kWh depolama olarak değerlendirilirken birim enerji maliyeti 0,280 \$/kWh olmuştur. Hibrit sistem ile ekonomik ve çevresel yararlar sağlanmıştır. Araştırmacılar yapılan analizlerin gelecekteki çalışmalar için örnek olacağını söylemişlerdir [28].

Yan ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan çalışmada yüksek verimli enerji elde edebilmek amacıyla rüzgar ve hidrojen enerjisini temel alan mikro şebeke oluşturmuşlardır. Sisteme güneş paneli ilavesinin etkisi incelenirken rüzgar enerjisi kullanılarak duyarlılık analizleri yapılmıştır. En uygulanabilir model rüzgar-güneş-hidrojen enerjisini içeren hibrit tasarım olarak tespit edilmiştir. Birim enerji maliyeti ise 0,345 \$/kWh olmuştur [29].

Sunny ve çalışma arkadaşları, Bangladeş Dakka'da bulunan Uttara Üniversitesinde bulunan inşası devam eden bir binanın enerji ihtiyacının giderilebilmesi için HOMER programı ile mikro şebeke tasarlamışlardır. Tasarımda rüzgar ve güneş enerjisi birlikte kullanılmıştır. Batarya ile fazla enerjinin depolanması sağlanmıştır. Yük profili çıkarılarak ortalama enerji tüketim değeri belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde hibrit sistem ile enerjide süreklilik sağlanabileceği, şebekeye olan bağımlılığın önlenilebileceği anlaşılmıştır [30].

Yapılan literatür taraması sonucunda oluşturulan senaryolardan en uygun seçeneğin belirlenmesi ve talep edilen enerjinin karşılanabilmesi için tasarlanan sistemlerin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Teknik ve ekonomik analizler ile en verimli sistem oluşturulurken ileride yaşanabilecek sorunların öngörülmesi sağlanmaktadır.

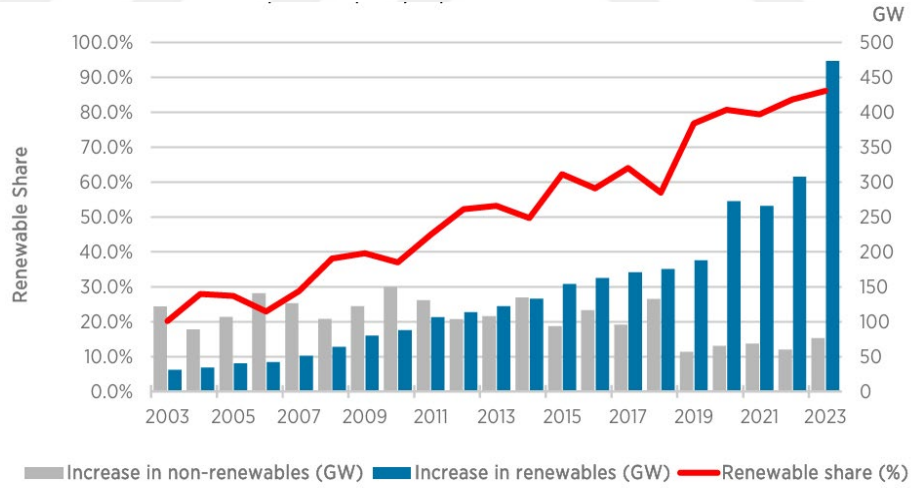
Hibrit sistemler ile oluşturulan mikro şebekelerin kullanımının birçok avantajı olmasına rağmen, elektrik dağıtımında enerji kayıpları yaşanabilmektedir. Sistemin şebekeye entegrasyonunda yaşanan sıkıntıların giderilebilmesi için dağıtık üretim sisteminin detaylı olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Yapılan analizler karşılaştırılarak en uygun tasarım oluşturulmalıdır. Ulusal ve uluslararası çalışmalarda birçok farklı modelleme yazılımı kullanılmaktadır. Bunlar PVsyst, RETScreen, DigSilent Power Factory, MATLAB vb. olarak sıralanabilmektedir. Önerilen sistemde maliyet analizleri önem arz ederken yenilenebilir enerji oranının yüksek olması hedeflenmektedir. Yukarıda belirtilen modelleme yazılımlarında teknik analizler mümkün olmakla birlikte yatırım maliyeti, bakım ve onarım giderleri, net üretim gelirleri gibi ekonomik analizler yapılamamaktadır.

Bu tez çalışmasında hibrit bir dağıtık üretim sisteminin tasarlanması için gerekli olan teknik ve ekonomik analizle, yenilenebilir enerji kaynakları ile oluşturulan sistemlerin analizinde yaygın olarak kullanılan HOMER programı ile gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan mikro şebeke tasarımında rüzgar türbini, güneş panelleri ve hidrojen teknolojilerinden yararlanılmıştır. Üniversite binasının yük profili oluşturularak programa veri girişleri yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı önerilen sistemde kamu binasının elektrik enerji talebinin karşılanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı sistemler tasarlanarak teknik, ekonomik ve çevresel analizler gerçekleştirmektir. Gerçekleştirilen çalışma ile hem üniversitenin enerji ihtiyacı karşılanırken hem de sisteme enerji aktarımı sağlanmaktadır. Bu hedefler doğrultusunda oluşturulan tez çalışmasında HOMER yazılım programı kullanılmıştır. Böylece güç akış analizi yapan diğer modelleme araçlarına alternatif olarak HOMER yazılımı kullanılarak teknoekonomik analizler yapılmıştır.

2.BÖLÜM

ENERJİ KAYNAKLARI

Dünya genelinde enerji kaynaklarının sınırlı olması yeni enerji kaynaklarına olan talebi arttırmıştır. Günümüzde fosil yakıtlarının kullanımının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar da önemli artış göstermiştir. Uluslararası Enerji Ajansının 2023 yılı verilerine göre yenilenebilir enerji kapasitesi önceki yıllara göre % 13,9 artmıştır. Yenilenebilir enerji kapasitesindeki artış da 2023 yılında 2022 yılına kıyasla önemli oranda değişiklik göstermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kapasite artışındaki payı ise % 40,4'ten % 43,2'ye çıkmıştır. Şekil 2.1'de enerji kapasitesi artışında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı gösterilmiştir [31].



Şekil 2.1. Enerji kapasitesi artışında yenilenebilir enerji payı [31]

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artarken ülkemizde de bu kaynakların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye'de 2024 yılında enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı Tablo 2.1'de gösterilmiştir. Fosil yakıtlı kaynaklardan üretilen güç yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminden daha fazla olmaktadır. Ancak önceki yıllara göre bu kaynaklardan sağlanan enerjiye ek olarak yeni kaynakların kullanılması da söz konusudur [32].

Tablo 2.1. Yıllık üretimin kaynaklara göre dağılımı [32]

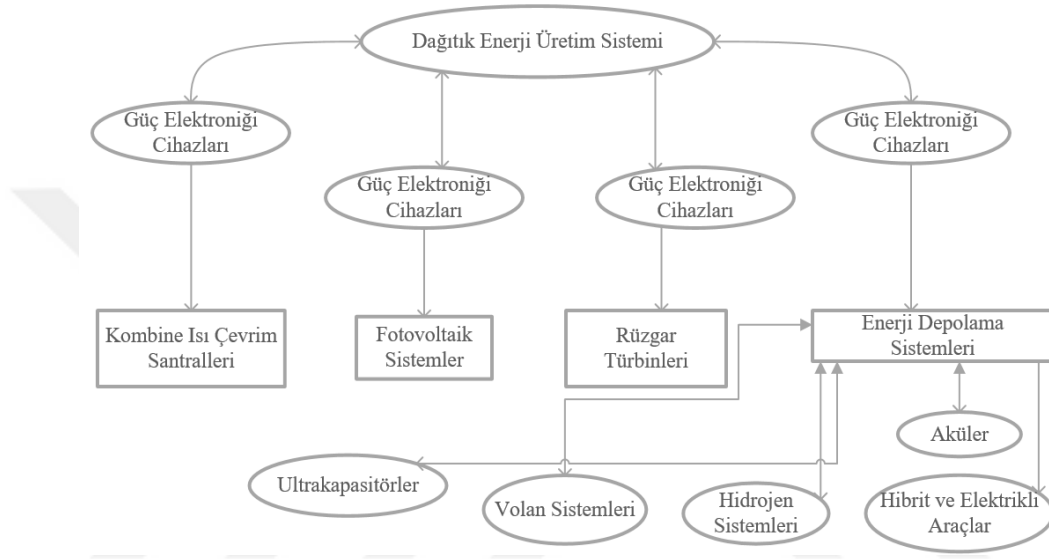
Kaynak Türüne Göre Santraller	Üretim (MWh)
Akarsu	7.901,68
Asfaltit Kömür	264,37
Atık Isı	304,47
Barajlı	21.713,80
Biyokütle	3.068,31
Doğalgaz	13.664,34
Fuel Oil	342,58
Güneş	6.500,24
İthal Kömür	22.260,03
Jeotermal	3.915,23
Linyit	12.373,99
LNG	0,00
LPG	0,00
Motorin	2,88
Nafta	0,00
Rüzgar	12.281,53
Taş Kömür	1.294,31
Toplam	105.887,82

Bu bölümde dağıtık üretim sistemleri, mikro şebekeler ve yenilenebilir enerji kaynakları hakkında bilgi verilmektedir.

2.1. Dağıtık Üretim

Dağıtık üretim, elektrik dağıtım ağındaki tüketim bölgesine yakın yerlerde kurulan enerji elde edilmesini sağlayan santrallerdir. Dağıtık üretim enerji sistemleri genellikle yenilenebilir enerji sistemleri ile ilişkilidir. Rüzgar, güneş, jeotermal vb. kaynakları içeren dağıtık üretim santralleri çevreye daha az zarar vermektedirler. Yenilenemez enerji kaynaklarının oluşturduğu zararlı atıkların bertaraf edilmesine olanak sağlamaktadırlar [33]. Şekil 2.2’de dağıtık üretim sistemi örneği verilmiştir. Dağıtık üretim santralleri rüzgar türbinleri, fotovoltaik sistemler, kojenerasyon, hidrojen sistemleri gibi bileşenleri içermektedir [34].

Dağıtık üretim teknolojilerinin belirlenmesinde güç çıkışı, yakıt kullanımı, maliyet hesabı ve çevresel faktörler etkili olmaktadır. Dağıtık üretim ile evler, okullar, hastaneler, askeri üsler ve uzak toplulukların güç ihtiyacı karşılanmaktadır. Şebekeden bağımsız olarak mikro şebekelerin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.2. Dağıtık üretim sistemi örneği [34]

Dağıtık üretimin geleneksel üretim yöntemlerine göre avantajları bulunmaktadır. Bunlar ekosisteme verilen zararın az olması, güç kalitesiyle ilgili sorunların azaltılması, elektrik piyasasının serbestleştirilmesi ve şebekenin bağımsız konumu kullanılarak yeni iletim hattı ihtiyacının azaltılması olarak sıralanabilmektedir [35].

2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine ve kullanılışlarına göre ikiye ayrılmaktadırlar. Dönüştürülebilirliklerine göre birincil ve ikincil; kullanılışlarına göre yenilenebilir ve yenilenemez olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Birincil kaynaklar; kömür, petrol, doğalgaz, nükleer, biyokütle, hidrolik, güneş, rüzgar, gel-git iken ikincil kaynaklar; elektrik, benzin, motorin, hidrojen, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)'dir. Yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgar, güneş, hidrolik, biyokütle, jeotermal, gel-git ve hidrojen vb. iken yenilenemez enerji kaynakları; kömür, petrol, doğalgaz, uranyum ve toryum enerjisidir [36].

Türkiye’de 2023 yılında üretilen elektrik enerjisinin 2.038,08 MWh’lık kısmı ihraç edilmiştir. Tüketilen enerjinin karşılanabilmesi için ise 5.823,62 MWh elektrik enerjisi ithal edilmektedir. Ülkemizdeki 2023 yılında yıllık elektrik enerjisi üretim, tüketim, ithalat ve ihracat değerlerinin aylara göre dağılımı Tablo 2.2’de gösterilmiştir [32].

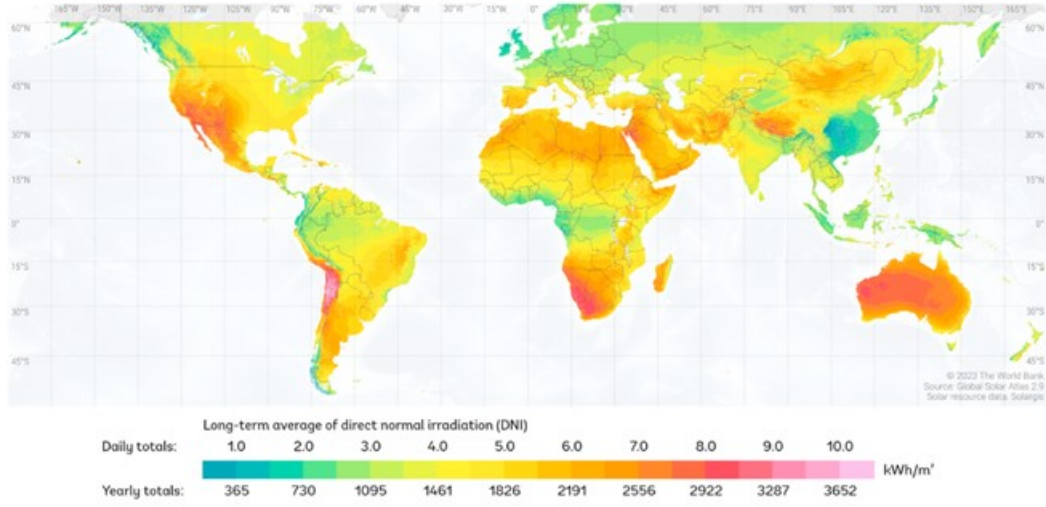
Tablo 2.2. Yıllık Türkiye elektrik enerjisinin aylara göre dağılımı [32]

Aylar	Üretim (MWh)	İthalat (MWh)	İhracat (MWh)	Tüketim (MWh)
Ocak	26.805,33	903,22	240,20	27.468,35
Şubat	24.141,06	569,07	222,07	24.488,06
Mart	25.980,03	559,86	164,05	26.375,85
Nisan	24.077,46	374,92	172,48	24.279,91
Mayıs	25.709,56	365,05	120,44	25.954,17
Haziran	24.943,27	332,38	149,17	25.126,47
Temmuz	31.509,69	462,80	189,39	31.783,09
Ağustos	33.300,85	495,52	138,76	33.657,60
Eylül	28.199,69	462,09	141,90	28.519,88
Ekim	25.141,98	279,39	157,53	25.263,85
Kasım	25.104,342	435,72	160,96	25.379,09
Aralık	27.248,64	583,59	181,13	27.651,10
Toplam	322.161,91	5.823,62	2.038,08	325.947,45

Türkiye kalori değeri düşük olan linyit kömürü dışında fosil yakıtlı kaynaklar açısından zengin bir ülke değildir. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları açısından potansiyelinin oldukça yüksek olduğu öngörülmektedir [37].

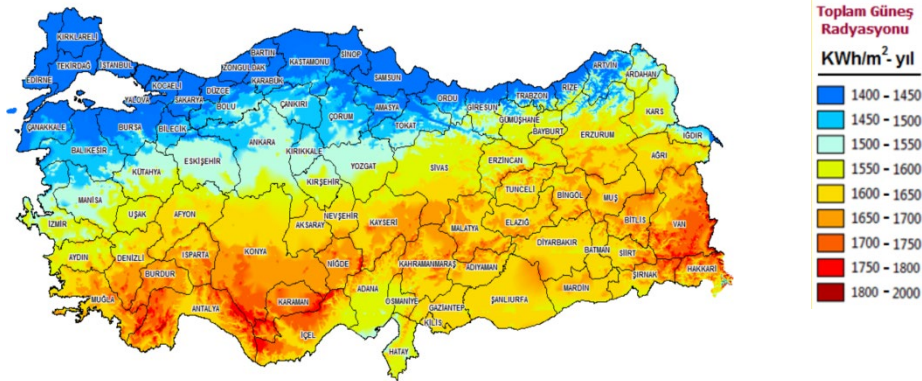
2.2.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen füzyon sonucunda açığa çıkan ışınım enerjisiyken bu enerji sınırsızdır. Yeryüzünde güneş ışınımının şiddeti 0-1100 W/m² arasında değişmektedir. Dünyaya ulaşan enerjinin küçük bir kısmı ile gezegendeki enerji tüketiminden çok daha fazla güç elde edilebileceği düşünülmektedir. Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar 1970’li yıllardan sonra artış göstermiştir [37]. Dünya güneş enerji potansiyel atlası Şekil 2.3’te görülmektedir [38].



Şekil 2.3. Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası [38]

Dünyanın güney yarım küresinde güneş enerjisi potansiyelinin daha yüksek olduğu görülürken kuzey yarım kürede yer alan ülkemizin de güneş enerjisi potansiyelinin yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. Güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de güney bölgelerinin güneş enerjisi potansiyeli bakımından daha elverişli olduğu görülmektedir [39].



Şekil 2.4. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası [39]

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için fotovoltaik sistemler geliştirilmiştir. Fotovoltaik sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedirler. Bir fotovoltaik sistem güneş panelleri, dönüştürücüler ve akülerden oluşmaktadır. Güneş panelleri ise yarıiletken malzemelerden oluşmaktadır. Hücreler seri veya paralel bağlanarak modülleri, modüllerde panelleri oluşturmaktadır. Panellerin birleştirilmesiyle fotovoltaik sistem oluşturulmaktadır [40].

Güneş enerjisi teknolojisinin gelişmesiyle birlikte kullanım alanları da artmaktadır. Bu kullanım alanlarından bazıları şunlardır:

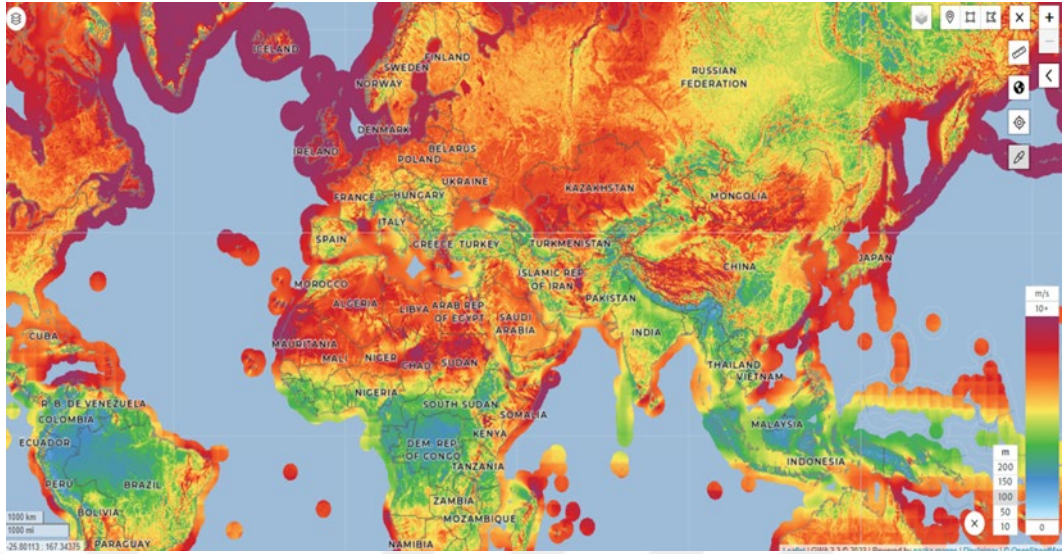
- Evlerin ve binaların elektrik enerji talebinin karşılanmasında
- Seraların ısıtılması ve sıcak su eldesinde
- Soğutma işlemlerinde
- Kurutma işlemlerinde
- Suyun damıtılmasında
- Bahçe, sokak ve karayollarının aydınlatılmasında
- Trafik işaret lambalarının enerji ihtiyacının karşılanmasında
- Hesap makinesi ve saatlerde
- Yapay uydularda ve güneş kulelerinde

Yapılan deneysel çalışmalar ile güneş enerjisinin kullanımının farklı sahalarda da yaygınlaşmasının mümkün olacağı düşünülmektedir [41].

Güneş enerjisinin diğer enerji kaynaklarına göre avantajları bulunmaktadır. Güneş enerjisi sınırsız, temiz, ihtiyaç duyulan her yerde kullanılabilen ve karmaşık olmayan teknolojilerinden dolayı düşük işletme maliyetlerine sahiptirler. Ancak birçok faydasına rağmen dezavantajları da bulunmaktadır. Güneş ışınımı devamlı olmadığından büyük yüzeylere ihtiyaç duyulmaktayken depolama ihtiyacı doğmaktadır. Sistem çevresinde gölgeleme nedeniyle güneş ışınımından istenilen düzeyde faydalanılamamaktadır [42].

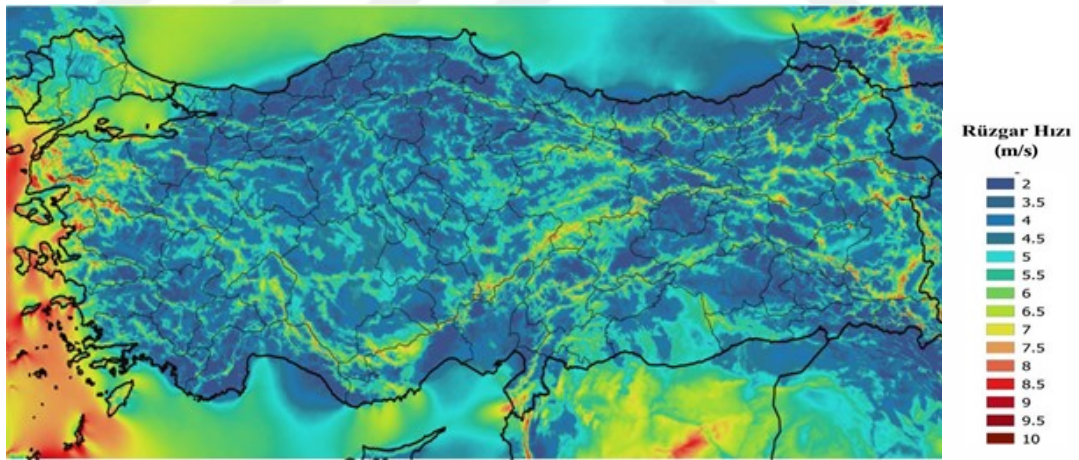
2.2.2. Rüzgar enerjisi

Havanın yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket etmesiyle rüzgar oluşmaktadır. Rüzgar enerjisinden yararlanılması çok eski çağlara dayanmaktadır. Yel değirmenleri besinleri öğütmede kullanılmışlardır. Günümüzde yel değirmenlerinin devamı niteliğinde olan rüzgar türbinlerinden enerji elde edilmektedir [43]. Güneşten kaynaklanan rüzgar enerjisi dünyada bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Dünya genelinde rüzgar enerjisi potansiyel atlası Şekil 2.5'te gösterilmiştir [44].



Şekil 2.5. Dünya rüzgar enerjisi potansiyel atlası [44]

Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyeli dünyanın geneline bakıldığında ortalama bir yere sahip olduğu Şekil 2.5'te görülmektedir. Ülkemizin rüzgar enerjisi atlası Şekil 2.6'da gösterilmiştir [45].



Şekil 2.6. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlası [45]

Rüzgar enerjisinden yararlanmak için rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgar türbinleri mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürken genel yapısı kule, jeneratör, dişli kutusu, kanatlar ve elektronik bileşenlerden oluşmaktadır. Rüzgar türbinleri dönme eksenlerine göre yatay eksenli, dikey eksenli ve eğik eksenli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde dönme eksenli rüzgar yönüne paralelken dikey eksenli rüzgar türbinlerinde ise sistem rüzgar yönüne

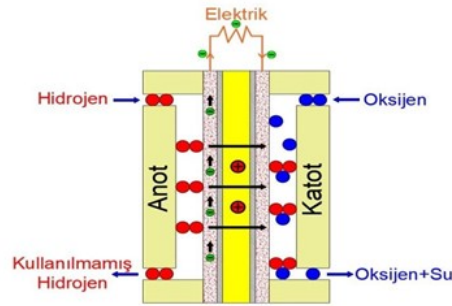
çevrilebilmektedir. Eğik eksenli rüzgar türbinlerinde ise kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır[46].

Rüzgar enerjisi elektrik üretiminde, suyun pompalanmasında, çeşitli ürünlerin öğütülmesinde vb. yerlerde kullanılmaktadırlar. Rüzgar enerjisi sürekli, temiz, yakıt-hammadde maliyeti olmamasının yanı sıra rüzgar enerjisi sektöründe istihdam oluşturarak işsizliğin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Ancak rüzgar enerjisinin faydalarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır.

2.2.3. Hidrojen enerjisi

Hidrojen enerjisi, uzak bölgelere taşınabilen ve depolanabilen temiz enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji ile üretilen fazla elektriğin depolanmasını sağlayan hidrojen enerjisi ile dengeli ve güvenilir güç elde edilebilmektedir [48].

Suyun elektrolizi hidrojen üretimi için kullanılan, yenilenebilir enerji kaynakları ile kolay entegre olabilen bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Elektroliz ile yeşil hidrojen enerjisi ortaya çıkmaktadır [49]. Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemler yakıt hücreleri olarak tanımlanabilmektedir. Yakıt hücreleri anot ve katot kısımlarında gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda elektrik enerjisi üretmektedirler. Yakıt hücresinde anot kısmından hidrojen, katot kısmından ise oksijen verilerek anot kısmında yükseltgenme katot kısmında indirgenme reaksiyonları gerçekleşmektedir. Sonuç olarak su, ısı ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Şekil 2.7’de yakıt hücresinin çalışma prensibi görülmektedir [50].



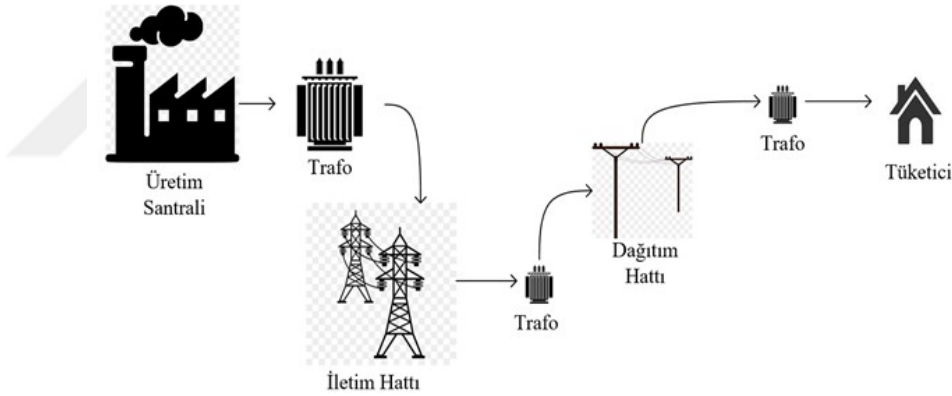
Şekil 2.7. Yakıt Hücresi çalışma prensibi [50]

Yakıt hücrelerinin diğer enerji kaynaklarına göre avantajları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; temiz ve verimli enerji, düşük gürültü kirliliği, yakıt çeşitliliği

dezavantajları ise maliyet ve karmaşık teknolojik yapısı olarak sıralanabilmektedir [51]. Yakıt hücreleri kullanılan elektrolitin cinsine göre adlandırılmaktadır. Bunlar alkali yakıt hücresi, erimiş karbonat yakıt hücresi, fosforik asit yakıt hücresi, katı oksit yakıt hücresi ve proton değişim membranlı yakıt hücresi olarak ifade edilebilmektedirler. Proton değişim membranlı yakıt hücreleri aşınmaya karşı dayanıklı, sessiz ve çevreye zararlı atık oluşturmadıkları için tercih edilmektedirler [52].

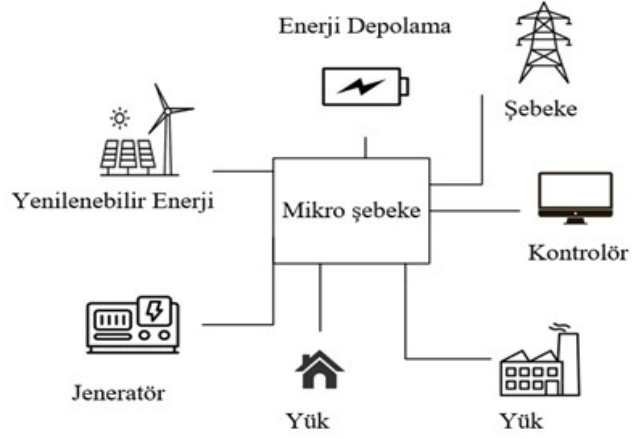
2.3. Mikro şebekeler

Enerji üretimi yapılan santraller yaygın olarak şehirlerin dışında bulunurken iletim hatları ile uzak mesafelere taşınan elektrik enerjisi tüketicilere ulaştırılmaktadır. Elektrik şebekeleri üreticiden tüketiciye tek yönlü enerji sağlayan sistemlerdir. Şebeke güç sistemlerine mikro şebeke gibi teknolojik yeniliklerin eklenmesiyle enerji üretiminde verim artışı sağlanabilmektedir. Şekil 2.8’de şebeke yapısı görülmektedir [53].



Şekil 2.8. Şebeke yapısı [53]

Mikro şebekeler dağıtık üretim sistemleri ile birlikte enerji üretilmesini sağlayan elektrik şebekeleri olarak tanımlanabilmektedir. Bu şebekeler yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dahil olmasına olanak sağlayarak enerjinin en yüksek verimle kullanılmasının yolunu açmaktadır. Mikro şebekeler şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız olarak oluşturulabilmektedir [54]. Şekil 2.9’da mikro şebekenin yapısının bir örneği görülmektedir. Üretim santralindeki enerji, transformatörler aracılığı ile iletim hatlarında taşınarak dağıtım hatları üzerinden tüketicilere ulaştırılmaktadır.



Şekil 2.9. Mikro şebeke yapısı

Artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için mikro şebeke kullanılmasının birçok avantajı bulunmaktadır. Elektrik şebekelerinde meydana gelen arızaların giderilmesi yüksek maliyete neden olmaktadır. Bu tip sorunların çözümünde bakım ve onarım maliyetleri daha düşük olan mikro şebekeler tercih edilmektedir. Şebekelerde enerji güvenliğinin sağlanmasında bağımsız kontrol edilebilen mikro şebekeler önemli rol oynamaktadırlar [55].

3.BÖLÜM

HİBRİT SİSTEM MODELLEMESİ

Tez çalışmasının hedefi istenilen elektrik yükünün yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanabilmesidir. Simülasyon çalışmasında kullanılacak olan HOMER programı hibrit sistemlerin tasarım ve analizleri için özel olarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada HOMER programı ile rüzgar ve güneş enerjisini esas alan hibrit sistem tasarlanmıştır. Sistem tasarımında üniversitenin elektrik tüketim değerlerinin ortalaması bulunarak yük profili oluşturulmuştur. Tasarlanan modellerden en uygun olanına karar verilmiştir.

3.1. Hibrit Sistem Tasarımı

Çalışmada Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi'nin 2016-2022 yılları arasındaki elektrik tüketim verilerinin ortalaması alınarak enerji ihtiyacı ortaya çıkarılmıştır. Tablo 3.1'de kamu binasının aylara göre saatlik ortalama enerji tüketim değerleri görülmektedir.

Tablo 3.1.Saatlik ortalama elektrik tüketim değerleri

Aylar	Tüketim (kWh)
Ocak	568.02
Şubat	462.16
Mart	536.32
Nisan	380.10
Mayıs	326.93
Haziran	310.82
Temmuz	332.55
Ağustos	374.70
Eylül	333.71
Ekim	378.27
Kasım	477.38
Aralık	521.82

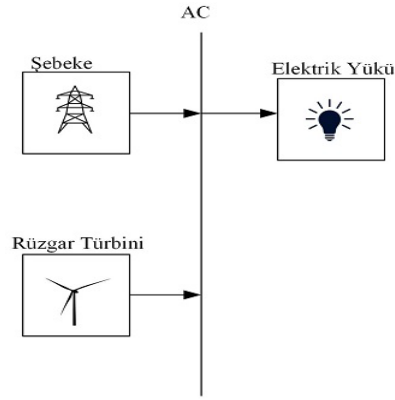
Gerekli analizlerin yapılabilmesi için Nevşehir ilinin rüzgar hızı ve günlük ışıma değerleri HOMER programına indirilmiştir. Bu değerler Tablo 3.2’de görülmektedir.

Tablo 3.2. Nevşehir ili açıklık indeksi, günlük radyasyon, ortalama rüzgar hızı

Aylar	Açıklık İndeksi	Günlük Radyasyon (kWh/m ² /gün)	Ortalama Rüzgar Hızı(m/s)
Ocak	0.497	2.220	5.240
Şubat	0.510	2.980	6.330
Mart	0.536	4.170	5.900
Nisan	0.519	5.040	5.250
Mayıs	0.549	6.070	4.870
Haziran	0.618	7.160	4.570
Temmuz	0.649	7.330	4.760
Ağustos	0.636	6.480	4.650
Eylül	0.617	5.200	4.160
Ekim	0.565	3.620	5.550
Kasım	0.510	2.430	4.710
Aralık	0.463	1.870	5.180

3.1.1. Birinci senaryonun tasarımı

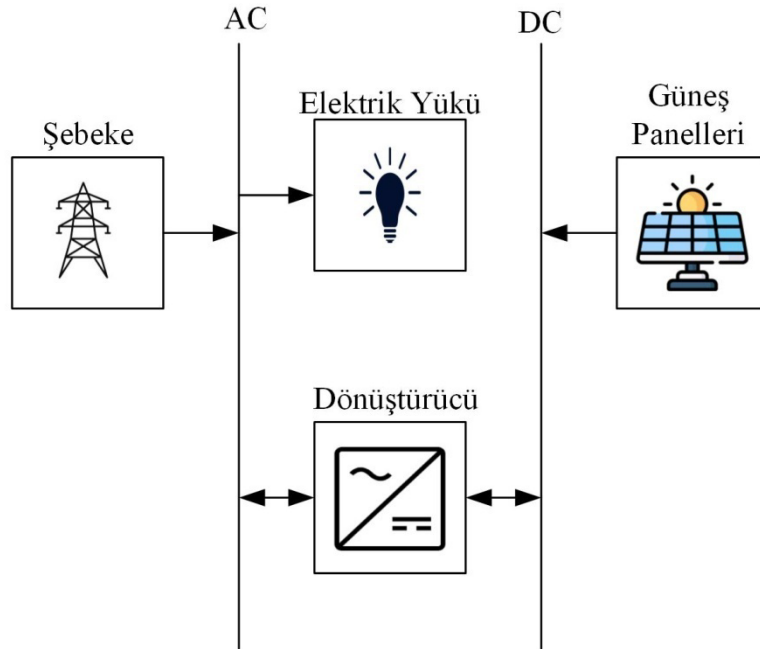
Birinci senaryoda şebeke bağlantılı tasarımda 800 kW anma gücünde Enercon E-53 rüzgar türbini kullanılmıştır. Rüzgar türbininin teknik verileri incelendiğinde başlatma hızının 3 m/s, anma gücündeki rüzgar hızının 12 m/s, durdurma hızının 34 m/s ve rotor çapının 52,9 metre olduğu görülmektedir. Tasarımın blok diyagramı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Senaryo 1'in blok diyagramı

3.1.2. İkinci senaryonun tasarımı

İkinci senaryoda şebeke bağlantılı tasarımda 1000 kW kurulu güce sahip Schneider Conext CL25000 E GES kullanılmıştır. Sistemde kullanılan panellerin ömrü 20 yıl olarak belirlenmiştir. Tasarımda 30kW gücünde Sinexcel dönüştürücüler kullanılmıştır. Sistemde kullanılan dönüştürücünün ömrü 10 yıl olarak belirlenmiştir. Tasarımın blok diyagramı Şekil 3.2'de görülmektedir.

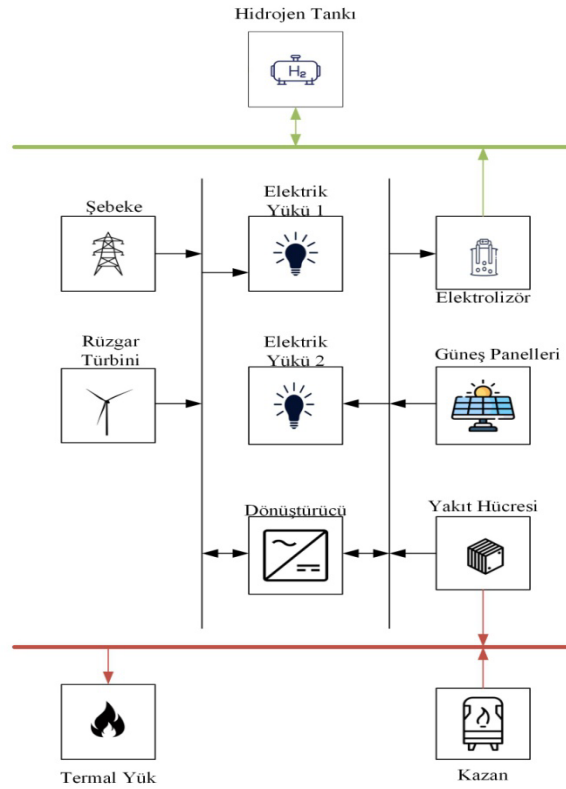


Şekil 3.2. Senaryo 2'nin blok diyagramı

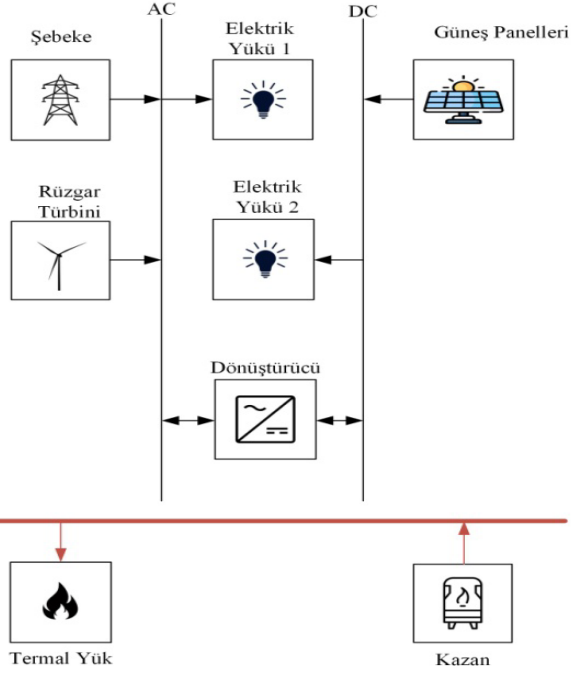
3.1.3. Üçüncü senaryonun tasarımı

Üçüncü senaryoda şebeke bağlantılı bir tasarım düşünülmüştür. Tasarımda 1500 kW kurulu güce sahip Schneider Conext CL25000 E GES,800 kW anma gücünde Enercon E-53 rüzgar türbini, 10 kW gücünde Generic Fuel Cell yakıt hücresi,Sinexcel 30kW gücünde dönüştürücüler, 100 kW gücünde elektrolizör ve 100 kg kapasiteli hidrojen tankı kullanılmıştır. Tasarımın blok diyagramı Şekil 3.3'te görülmektedir.

Üçüncü senaryoda sistemden yakıt hücresi çıkarılarak yapılan analizler tekrarlanmıştır. Tasarımda 1500 kW kurulu güce sahip Schneider Conext CL25000 E GES, 800 kW anma gücünde Enercon E-53 rüzgar türbini, Sinexcel 30 kW gücünde dönüştürücü kullanılmıştır. Tasarımın blok diyagramı Şekil 3.4'te görülmektedir.



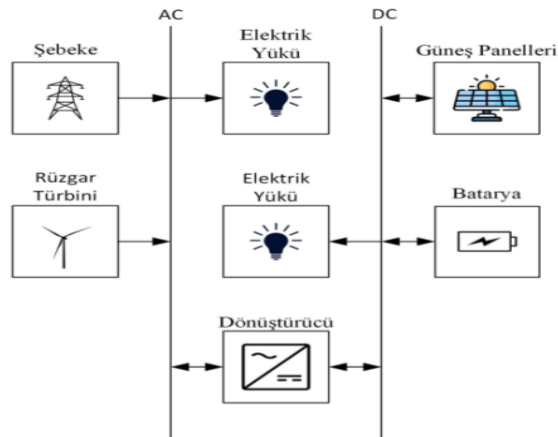
Şekil 3.3. Senaryo 3'ün blok diyagramı



Şekil 3.4. Senaryo 3'ün yakıt hücresi yokken blok diyagramı

3.1.4. Dördüncü senaryonun tasarımı

Dördüncü senaryoda şebeke bağlantılı bir tasarım düşünülmüştür. Tasarımda 1000 kW kurulu güce sahip Schneider Conext CL25000 E GES, 800 kW anma gücünde Enercon E-53 rüzgar türbini, Sinexcel 30kW gücünde dönüştürücü ve 100 kWh gücünde lityum iyon batarya kullanılmıştır. Tasarımın blok diyagramı Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5. Senaryo 4'ün blok diyagramı

4.BÖLÜM

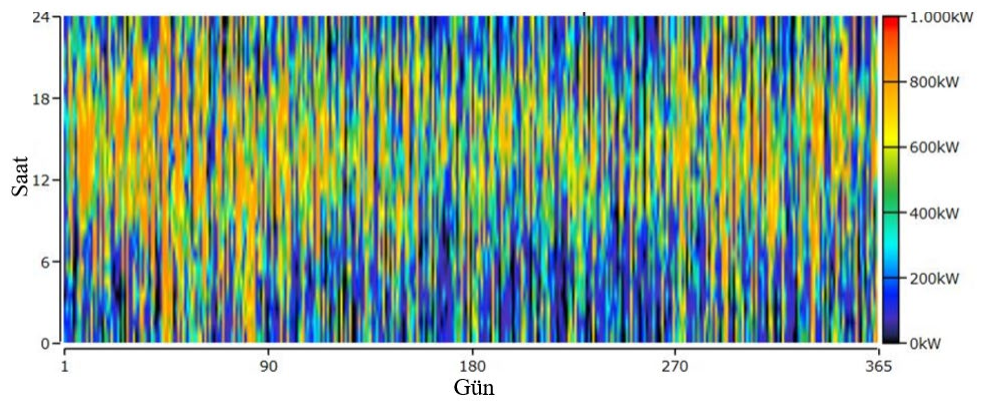
HİBRİT SİSTEM ANALİZİ VE SONUÇLARI

Yapılan analizler sonucunda en uygun senaryonun tespit edilmesi gerekmektedir. İlk olarak ekonomik yönden birim enerji maliyeti en düşük senaryo belirlenecektir. Daha sonra farklı senaryoların şebekeye katkısı incelenecektir. Sistemin yenilenebilir enerji oranları da dikkate alınacaktır.

4.1. Oluşturulan Senaryoların Karşılaştırılması

4.1.1. Birinci senaryo

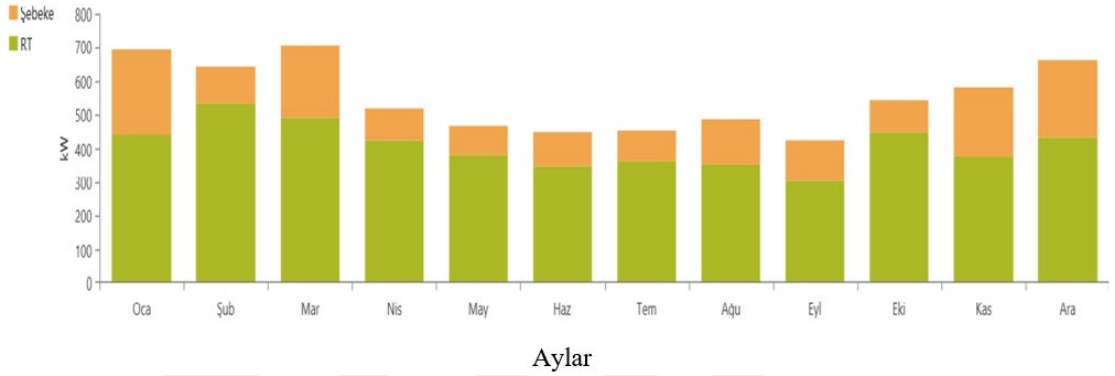
Birinci senaryoda şebeke bağlantılı bir tasarım düşünülmüştür. Tasarımda 1 adet 800 kW gücünde rüzgar türbini kullanılmıştır. Türbin kapasite faktörü % 51 iken toplam 3.571,33 kWh/yıl üretim gerçekleştirmektedir. Ortalama çıkış değeri 408 kW, maksimum çıkış değeri 857 kW ve rüzgar girişim oranı % 92,1'dir. Rüzgar türbini yıl boyunca 8.555 saat çalışırken üretimin birim maliyeti 0,562 ₺/kWh olarak tespit edilmiştir. Rüzgar türbininin çıkış gücü Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Rüzgar türbin çıkış gücü

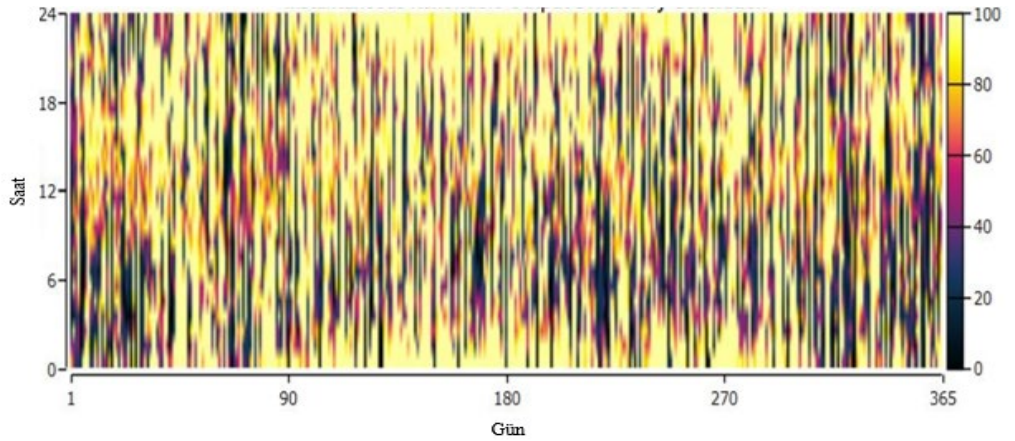
Gerçekleştirilen ekonomik analizler sonucunda Enercon E-53 rüzgar türbininin yatırım maliyeti 22.750.000,00 ₺, yenileme maliyeti 7.252.867,21 ₺, bakım ve onarım maliyeti 14.478,82 ₺ olarak belirlenmiştir. Sistemin toplam yatırım maliyeti ise 29.497.510,72 ₺, yenileme maliyeti 7.252.867,21 ₺, bakım ve onarım maliyeti 3.582.099,32 ₺ olarak

belirlenmiştir. Tasarımın yıllık enerji üretiminin % 73,9'u 3.571,33 kWh/yıl ile rüzgar türbininden üretilen enerji ile karşılanırken % 26,1'i 1.260,71 kWh/yıl ile şebekeden karşılanmaktadır. Enerji tüketimindeki yük toplam enerjinin % 80,3'üne karşılık gelen 3.878,31 kWh/yıl kadar enerjiyi tüketirken şebekeden alınan enerjinin oranı % 19,7 olarak 953.397kWh/yıl olmaktadır. Toplam tüketim 4.831,71 kWh/yıl'dır. İlk senaryonun aylık ortalama elektrik üretimi Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Birinci senaryonun aylık elektrik üretimi

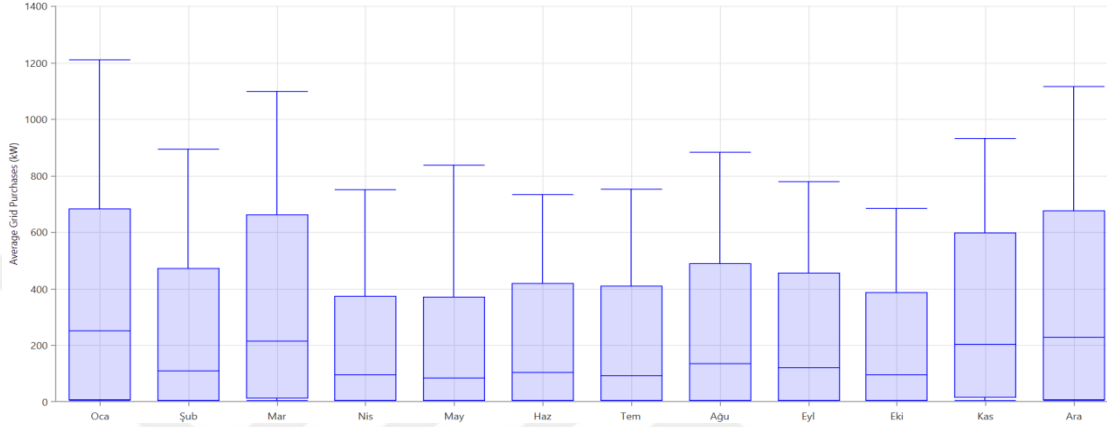
Şekil 4.3'te saatlik olarak elektrik enerji üretiminin anlık yenilenebilir enerji oranına bölünmüş değeri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde yılın 365 günü 24 saatlik zaman aralığında enerji üretimi genel dağılım göstermektedir. Fakat yılın son günlerinde ve yılın ilk günlerinde enerji üretiminin arttığı da belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Girişim oranı

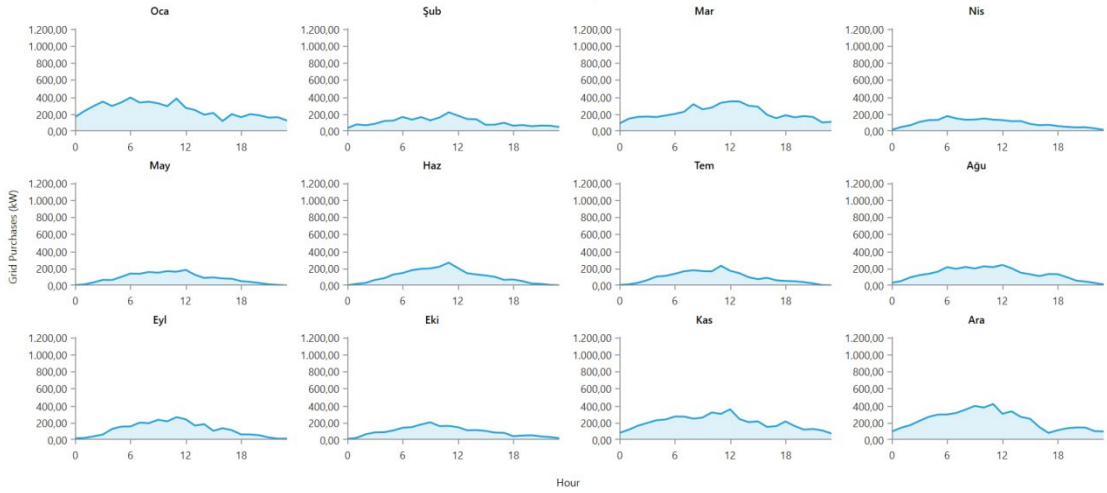
Çalışmada ne kadar temiz enerji elde edilebileceğinin belirlenebilmesi için karbon salınım değerleri de incelenmiştir. Sonuç olarak atmosfere 796.561 kg/yıl karbon dioksit, 3.453 kg/yıl sülfür dioksit ve 1.689 kg/yıl nitrojen oksit salındığı anlaşılmıştır.

Modellemede şebekeden sisteme enerji aktarılmasının grafiği Şekil 4.4'te görülmektedir. Şebekeden çekilen enerjinin en yüksek değeri Ocak ayında 1.209,47 kW iken en düşük enerji değeri Eylül ayında 686,71 kW olmaktadır. Kış aylarında elektrik enerji ihtiyacı artmaktadır. Eylül ayına kıyasla Ocak ayında şebekeden daha fazla enerji çekilmiştir.



Şekil 4.4. Aylık ortalama şebekeden enerji alımları

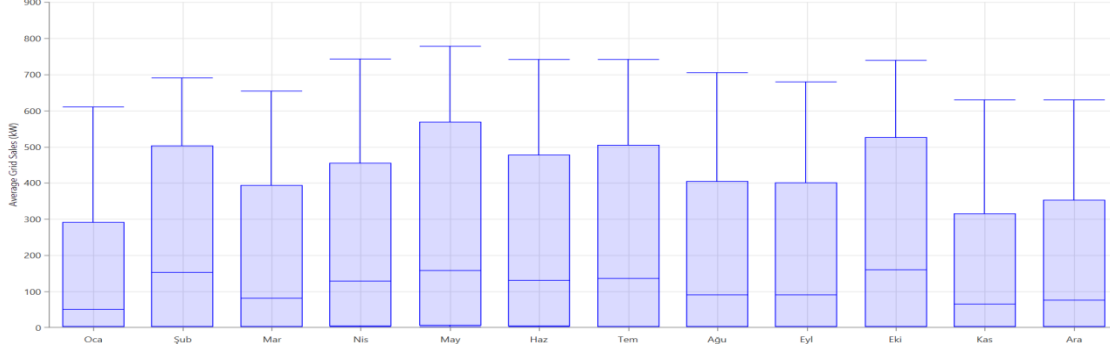
Şekil 4.5'te şebekeden temin edilen enerjinin günlük profiline ait grafiksel gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak saat 06:00-18:00 arasında enerji ihtiyacının arttığı görülmektedir.



Şekil 4.5. Günlük ortalama şebekeden enerji alımları

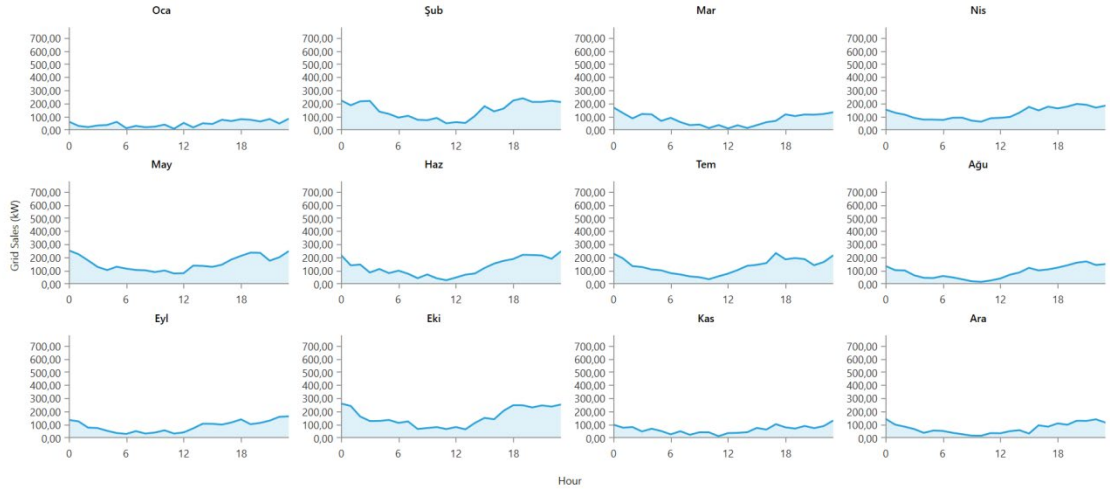
Çalışmada şebekeye enerji aktarılmasının grafiği Şekil 4.6'da görülmektedir. Üretilen enerjinin yüksek değeri Mayıs ayında 778,43 kW olurken en düşük enerji değeri Ocak ayında 609,48 kW olmaktadır. Ocak ayında enerji ihtiyacının fazla olması nedeniyle

şebekeye aktarılan enerjinin değeri düşmektedir. Mayıs ayında ise daha az elektrik tüketilmekteyken şebekeye daha fazla enerji aktarılmaktadır.



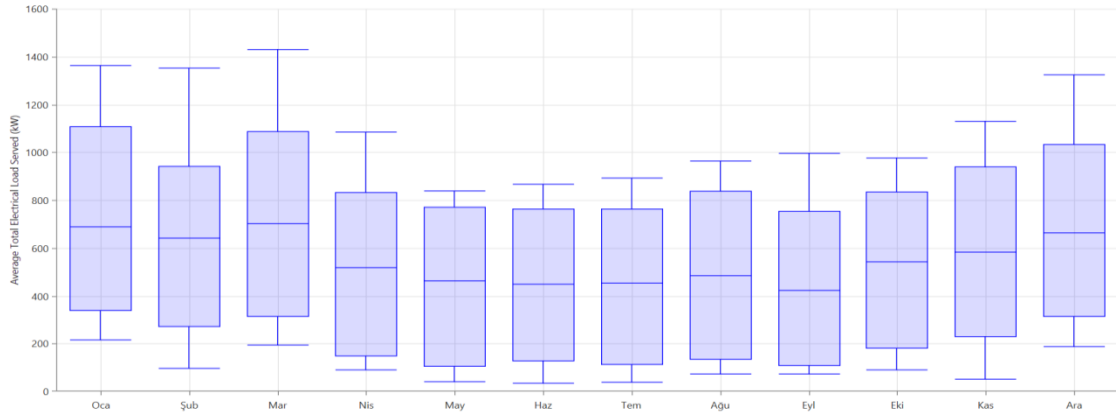
Şekil 4.6. Aylık ortalama şebekeye enerji aktarımları

Şekil 4.7'de şebekeye aktarılan enerjinin günlük profiline ait grafiksel gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak saat 00:00-06:00 saatleri arasında ve 18:00'dan sonra şebekeye enerji satışının arttığı görülmektedir.



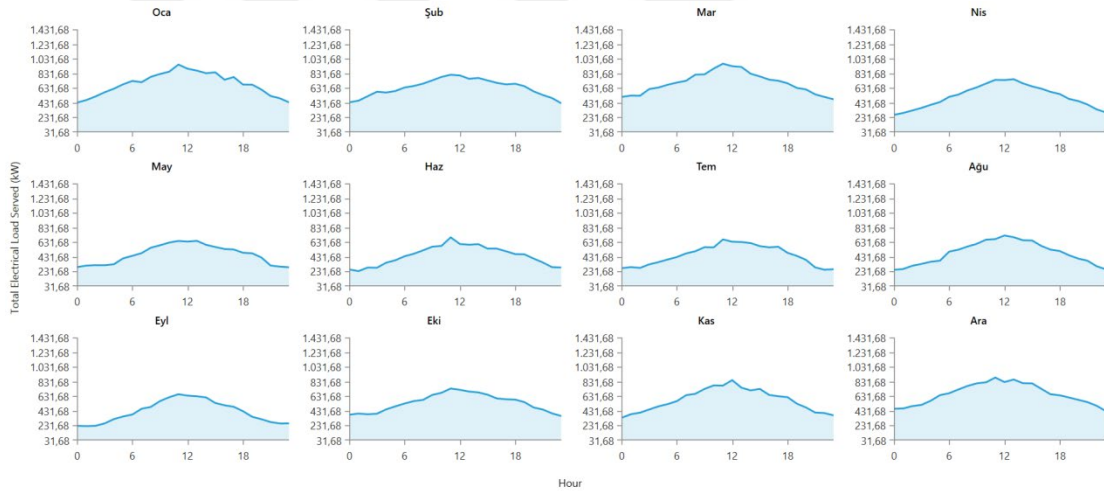
Şekil 4.7. Günlük ortalama şebekeye enerji aktarımları

Sistemdeki aylık ortalama elektrik yüküne ait grafik Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Toplam elektrik yükünün en yüksek değeri Mart ayında 1.432,57 kW olarak belirlenirken en düşük değeri Mayıs ayında 839,80 kW olmaktadır. Hava sıcaklıklarının düşük olması enerjiye olan talebi arttırmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak özellikle Aralık, Ocak, Şubat ve Mart gibi aylarda enerji yükü maksimum seviyelere çıkmaktadır. Mayıs, Haziran ve Temmuz gibi yaz aylarında okulların tatil olması nedeniyle boş kalan kamu binasının enerji ihtiyacı diğer aylara göre daha düşük olmaktadır.



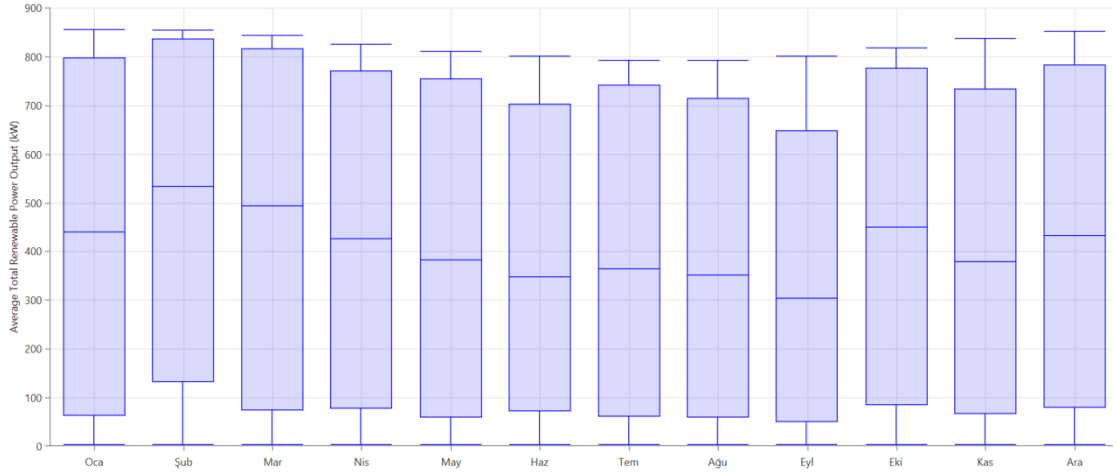
Şekil 4.8. Aylık ortalama toplam elektrik yükü

Şekil 4.9’da talebi karşılanan elektrik yükü miktarının grafik olarak gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak saat 06:00-18:00saatleri arasında elektrik enerjisi yükünün arttığı görülmektedir.



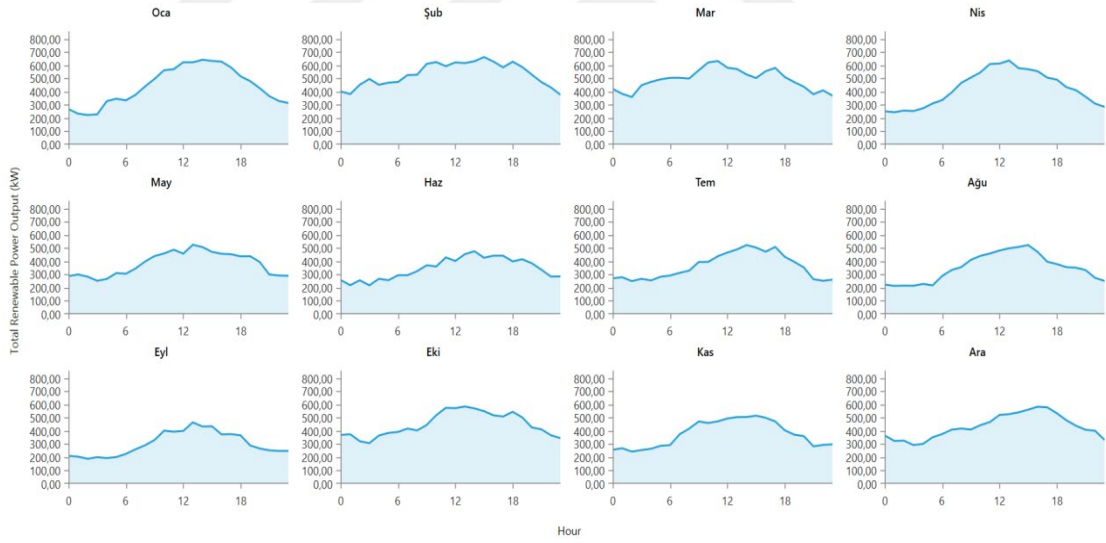
Şekil 4.9. Günlük ortalama toplam elektrik yükü

Sistemdeki toplam yenilenebilir enerjinin aylık ortalama elektrik üretimine ait güç çıkışı grafiği Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda gücün en yüksek değeri Ocak ayında 856,66 kW olurken en düşük değeri Temmuz ayında 792,24 kW’tır. Sistem tasarımında kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar türbini kış aylarında daha fazla güç üretmekteyken yaz aylarında daha pasif kalmakta olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.10. Aylık ortalama yenilenebilir enerji üretimi

Şekil 4.11’de toplam yenilenebilir güç üretiminin grafik olarak gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak saat 06:00-18:00 saatleri arasında güç üretiminin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.11. Günlük ortalama yenilenebilir güç üretimi

Aşağıda birinci senaryonun maliyet analiz sonuçları Tablo 4.1’de görülmektedir. Sistemde birim enerji maliyeti 0,472 ₺, yenilenebilir enerji oranı % 73,9 olarak bulunmuştur. HOMER programında birim enerji maliyetine göre en uygun sistem bulunarak incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.1. Senaryo 1'in maliyet analizi sonuçları

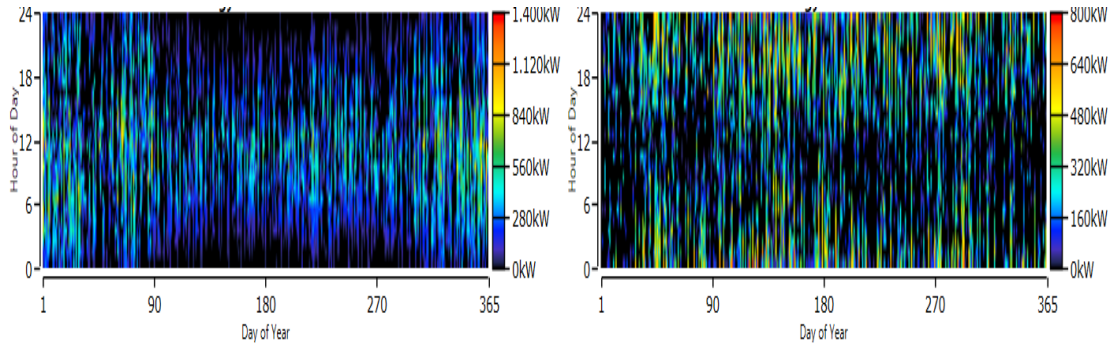
Birim	Enerji	Net	Şimdiki	İşletme	Bakım	İlk	Yatırım	Yenilenebilir
Maliyeti (₺)		Maliyeti (₺)		Maliyeti (₺/yıl)		Maliyeti (₺)		Enerji Oranı (%)
0,472		29,5M		521,95		22,8M		73,9

Oluşturulan ilk sistem ile şebekeye aktarılan ve şebekeden alınan enerji değerlerinin aylara göre dağılımı Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde Şubat, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ekim aylarında enerji ihtiyacı karşılanırken fazla enerjinin şebekeye aktarıldığı görülmektedir. Diğer aylarda ise yeterli olmayan enerji üretiminden dolayı şebekeden elektrik enerjisi satın alınarak talep edilen güç ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Yıllık şebekeden çekilen enerji değeri 1.260,38 kWh olurken 953,39 kWh enerji şebekeye aktarılmıştır.

Tablo 4.2. Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu

Aylar	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Satın Alınan Net Enerji (kWh)
Ocak	186,39	36,45	149,93
Şubat	72,51	102,42	-29,90
Mart	157,64	60,37	97,27
Nisan	67,20	92,09	-24,89
Mayıs	62,05	116,98	-54,92
Haziran	74,55	93,28	-18,72
Temmuz	68,22	100,27	-32,04
Ağustos	99,73	66,87	32,85
Eylül	86,21	63,94	22,27
Ekim	70,17	118,76	-48,58
Kasım	145,68	46,50	99,18
Aralık	169,96	55,41	114,55
Yıllık	1.260,38	953,39	306,98

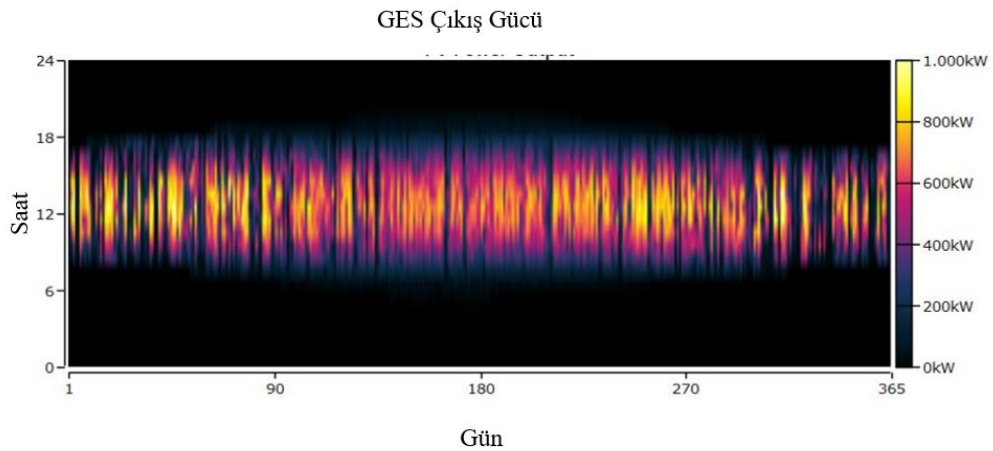
Şekil 4.12'de şebekeye aktarılan ve şebekeden alınan enerjinin yılın 365 günü için saatlik değerleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde yoğun enerji ihtiyacının olduğu 06:00-18:00 arasındaki saatlerde şebekeden sisteme enerji aktarılırken enerji ihtiyacının nispeten daha az olduğu 00:00-06:00 ve 18:00-24:00 saatlerinde şebekeye enerji aktarıldığı görülmektedir.



Şekil 4.12. Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri

4.1.2. İkinci senaryo

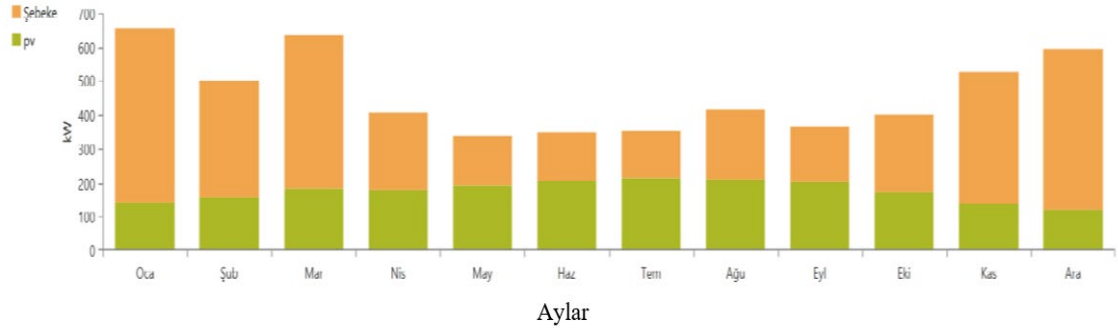
İkinci senaryoda şebeke bağlantılı bir tasarım düşünülmüştür. Tasarımda 1000 kW kurulu güce sahip bir GES modellenmiştir. Güneş panellerinin kapasite faktörü % 17,62 iken toplam 1.543,75 kW/yıl üretim gerçekleştirmektedir. Yılda 4.377 saat çalışan GES'in girişim oranı % 39,82 ve maliyeti 1,01 ₺/kWh olarak tespit edilmiştir. GES'nin çıkış gücü Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4.13. GES çıkış gücü

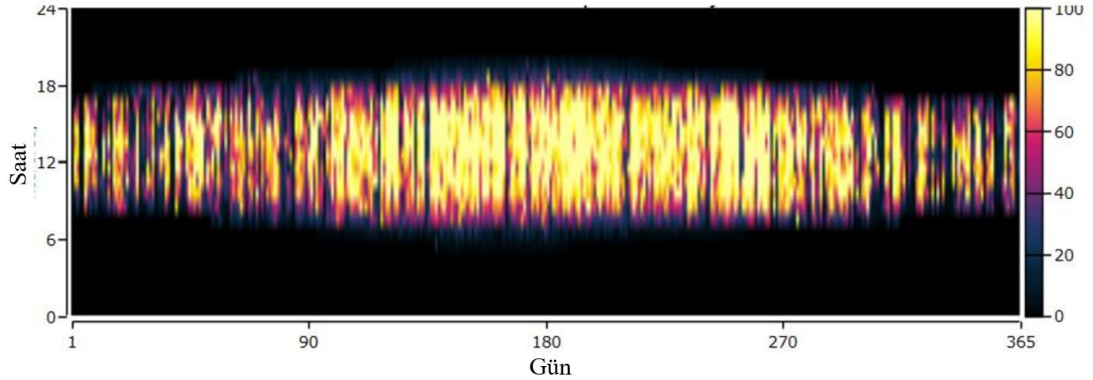
Gerçekleştirilen ekonomik analizler sonucunda Schneider Conext CL25000 E GES'in yatırım maliyeti 20.000.000,00 ₺, yenileme maliyeti 0 ₺, bakım ve onarım maliyeti 129.275,17 ₺ olarak belirlenmiştir. Sinexcel 30kW dönüştürücünün ise yatırım maliyeti 299.964,58 ₺, yenileme maliyeti 198.750,00 ₺, bakım ve onarım maliyeti 64.629,95 ₺ olarak belirlenmiştir. Sistemin toplam yatırım maliyeti ise 20.299.964,58 ₺, yenileme maliyeti 198.750,00 ₺, bakım ve onarım maliyeti 10.113.524,04 ₺ olarak belirlenmiştir. Tasarımın yıllık enerji üretimi % 38,1'i 1.543,75 kWh/yıl ile GES'ten üretilen enerji ile

karşılırken % 61,9'u 2.502,92 kWh/yıl ile şebekeden karşılanmaktadır. Enerji tüketimindeki yük % 97,2'si 3.878,31 kWh/yıl iken şebekeye aktarılan enerji % 2,77'si 110,45kWh/yıl olmaktadır. Toplam tüketim 3.988,77 kWh/yıl'dır. İkinci senaryonun aylık ortalama elektrik üretimi Şekil 4.14'te görülmektedir.



Şekil 4.14. Aylık ortalama elektrik üretimi

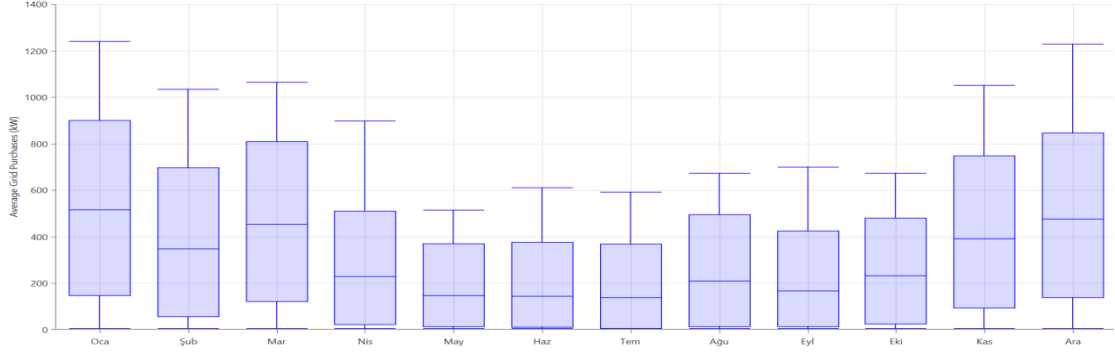
Şekil 4.15'te saatlik olarak elektrik enerji üretimin anlık yenilenebilir enerji oranına bölünmüş değeri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde yılın 365 günü 06:00-18:00 saatlik zaman aralığında enerji üretimi genel dağılım göstermektedir. Fakat yılın 00:00-06:00 ve 18:00-24:00 saatleri arasında enerji üretiminin düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 4.15. Girişim oranı

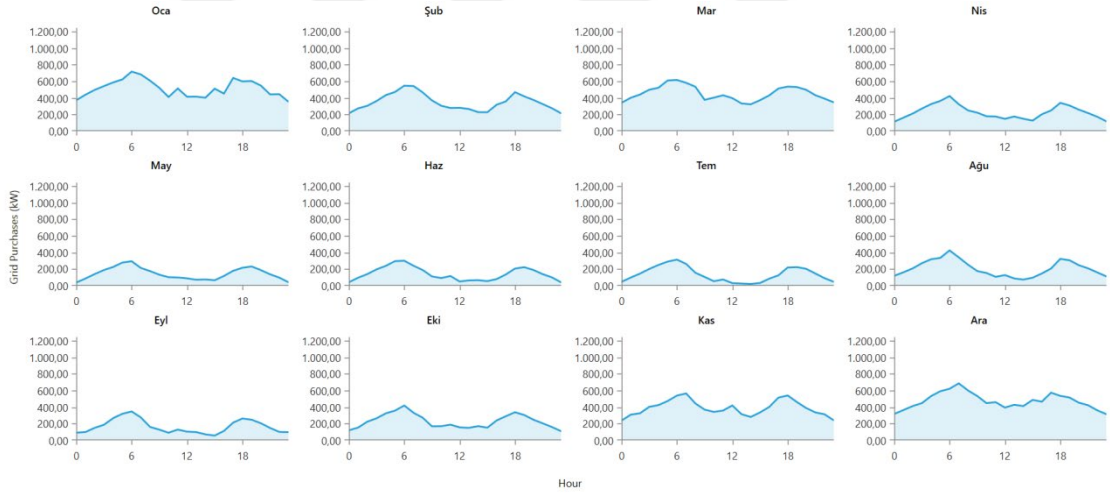
Tez çalışmasında karbon salınım değerleri de incelenmiştir. Sonuç olarak atmosfere 1.581,84 kg/yıl karbon dioksit, 6.858 kg/yıl sülfür dioksit ve 3.354 kg/yıl nitrojen oksit salındığı anlaşılmıştır. Bu değerlerin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada şebekeden sisteme enerji aktarılmasının grafiği Şekil 4.16'da görülmektedir. İkinci senaryoda şebekeden çekilen enerjinin en yüksek değeri Ocak ayında 1.241,04 kW iken

en düşük değeri Mayıs ayında 514,95 kW olarak saptanmıştır. Burada ilk senaryoda olduğu gibi Ocak ayında enerji talebi artarken Mayıs ayında bu değer düşmektedir.



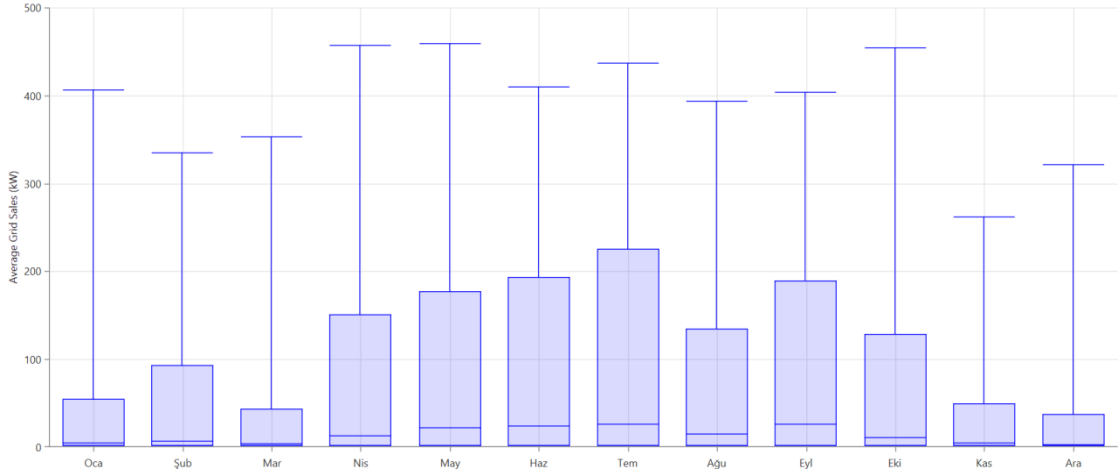
Şekil 4.16. Aylık ortalama şebekeden enerji alımları

Şekil 4.17'de şebekeden temin edilen enerjinin günlük profiline ait grafiksel gösterimlerine yer verilmiştir. Grafiklerin geneline bakıldığında yaklaşık olarak saat 06:00 ve 18:00'da enerji ihtiyacının en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir.



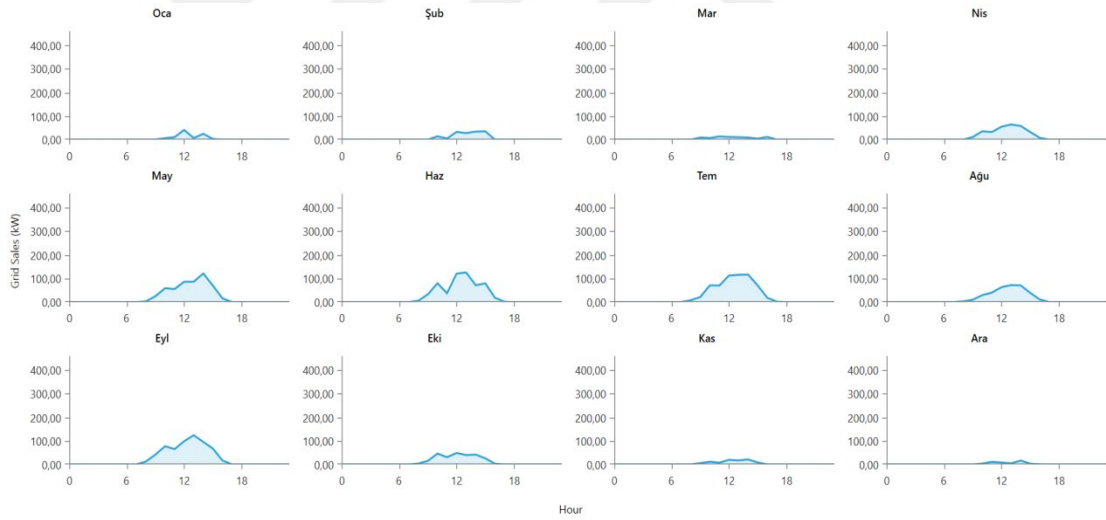
Şekil 4.17. Günlük ortalama şebekeden enerji alımları

Tasarımda şebekeye enerji aktarılmasının grafiği Şekil 4.18'de görülmektedir. Şebekeye aktarılan enerjinin en yüksek değeri Mayıs ayında 459,49 kW olmaktadır. Enerjinin en düşük değeri Kasım ayında 262,17 kW olarak belirlenmiştir. Mayıs ayında az enerji tüketiminden dolayı şebekeye daha fazla enerji aktarılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı GES yaz aylarında daha fazla enerji üretmektedirler. Hava sıcaklığının düştüğü Kasım ayında aylık ortalama daha az enerji üretimi olduğundan şebekeye enerji aktarılması minimum seviyededir.



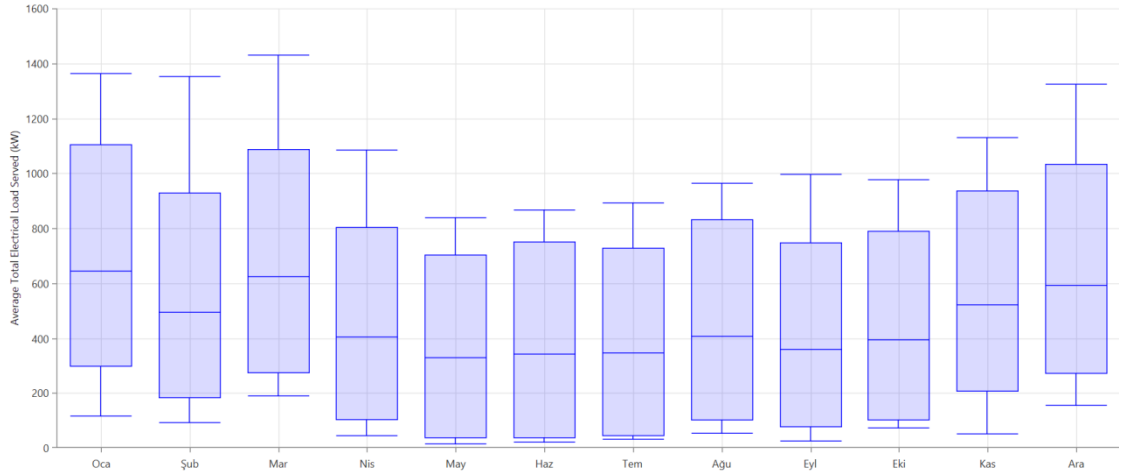
Şekil 4.18. Aylık ortalama şebekeye enerji aktarımları

Şekil 4.19’da şebekeye aktarılan enerjinin günlük profiline ait grafiksel gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak saat 06:00 ve 18:00 saatleri arasındaki enerjinin şebekeye dahil edildiği görülmektedir.



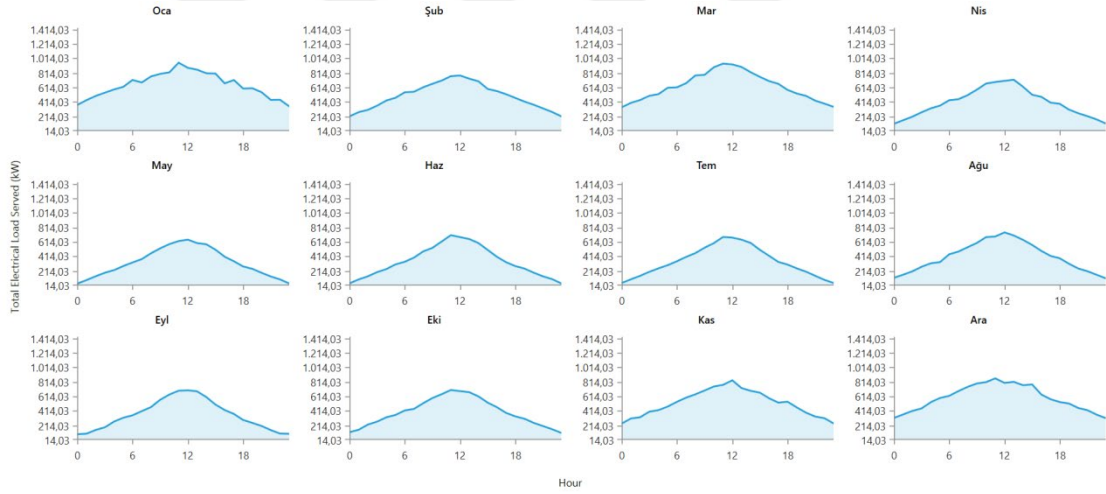
Şekil 4.19. Günlük ortalama şebekeye enerji aktarımları

Sistemdeki aylık ortalama elektrik yüküne ait grafik Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda enerjinin yükünün en yüksek değeri Mart ayında 1.432,57 kW olduğu anlaşılmıştır. Enerjinin en düşük değeri Mayıs ayında 839,80 kW’tır. Daha önceki analizler ile paralel olarak bu senaryoda da havanın soğuk olduğu aylarda elektrik yükü fazla iken sıcak aylarda bu değer düşüğü belirlenmiştir.



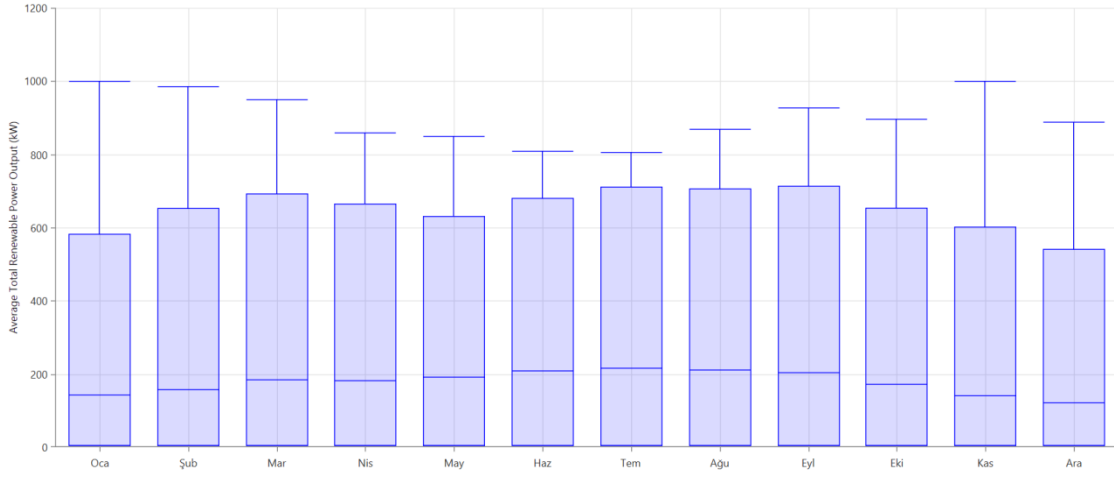
Şekil 4.20. Aylık ortalama toplam elektrik yükü

Şekil 4.21’de toplam elektrik yükünün grafik olarak gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak çalışma saatleri olan 06:00-18:00 arasında enerji yükünün arttığı görülmektedir.



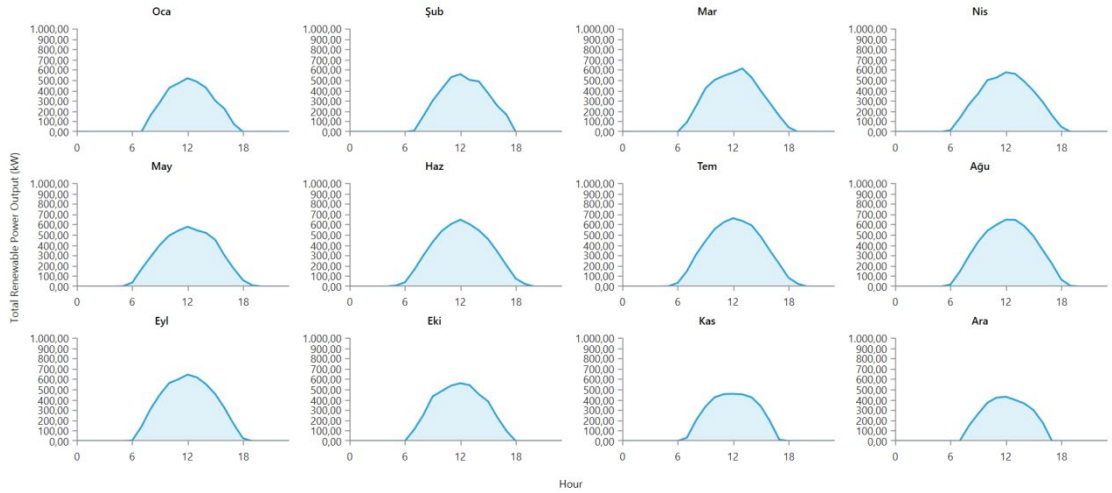
Şekil 4.21. Günlük ortalama toplam elektrik yükü

Sistemdeki toplam yenilenebilir enerjinin aylık ortalama elektrik üretimine ait grafik Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Gücün en yüksek değeri Kasım ayında 1.000,00 kW iken en düşük güç değeri Temmuz ayında 805,55 kW olarak saptanmıştır.



Şekil 4.22. Aylık ortalama yenilenebilir enerji üretimi

Şekil 4.23’de toplam yenilenebilir enerji üretiminin grafik olarak gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak saat 06:00-18:00 arasında güç üretiminin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.23. Günlük ortalama yenilenebilir enerji üretimi

Aşağıda ikinci senaryonun maliyet analiz sonuçlarının yer aldığı Tablo 4.3. görülmektedir. Sistemde birim enerji maliyeti 0,593 ₺ yenilenebilir enerji oranı % 37,3 olarak bulunmuştur. İlk senaryoda birim enerji maliyeti 0,472 ₺ olmaktadır ikinci senaryoda birim enerji maliyeti artmıştır. Yenilenebilir enerji oranı da % 73,9’dan % 37,3’e düşmüştür.

Tablo 4.3. Senaryo 2'nin maliyet analizi sonuçları

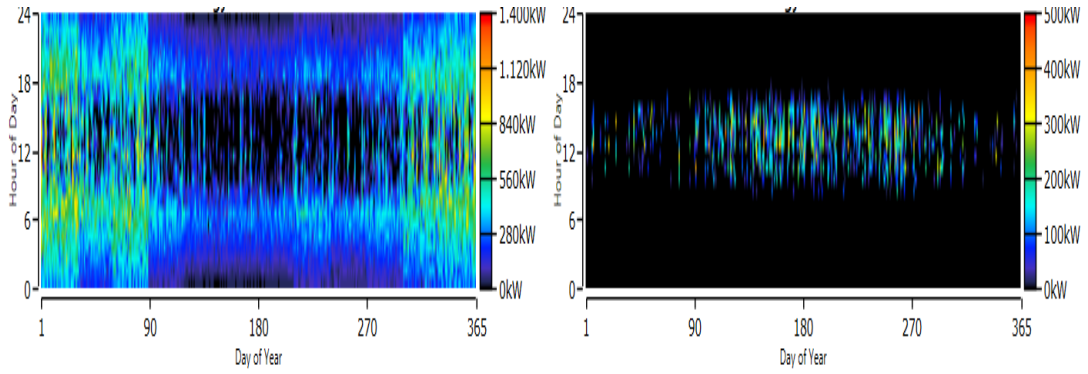
Birim	Enerji	Net	Şimdiki	İşletme	Bakım	İlk	Yatırım	Yenilenebilir	Enerji
Maliyeti (₺)		Maliyeti (₺)		Maliyeti (₺/yıl)		Maliyeti (₺)		Oranı (%)	
0,593		30,6M		795,61		20,3M		37,3	

Oluşturulan ikinci sistem ile şebekeye aktarılan ve şebekeden alınan enerji değerlerinin aylara göre dağılımı Tablo4.4'te gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde yeterli olmayan enerji üretiminin sonucu olarak elektrik enerjisi ihtiyacının bir kısmı şebekeden karşılanmıştır. Yıllık 2.502,92kWh enerji şebekeden çekilirken 110,45 kWh enerji şebekeye dahil edilmiştir. Birinci senaryoda yıllık şebekeden çekilen enerji değeri 1.260,38 kWh olurken 953,39 kWh enerji şebekeye aktarılmıştır. İkinci senaryoda şebekeye daha az enerji aktarıldığı görülmektedir.

Tablo 4.4. Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu

Aylar	Satın	Alınan	Enerji	Satılan Enerji	Satın	Alınan	Net
	(kWh)			(kWh)	Enerji		(kWh)
Ocak	381,84			2,88			378,96
Şubat	232,76			4,17			228,59
Mart	336,09			2,34			333,74
Nisan	164,15			8,88			155,27
Mayıs	108,07			16,07			91,99
Haziran	102,34			17,11			85,23
Temmuz	100,80			18,67			82,13
Ağustos	153,92			10,43			143,49
Eylül	119,24			17,90			101,33
Ekim	171,169			7,84			163,32
Kasım	280,04			2,67			277,37
Aralık	352,45			1,45			351,00
Yıllık	2.502,92			110,45			2.392,46

Şekil 4.24'te şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin yılın 365 günü için saatlik değerleri gösterilmiştir. Yılın ilk ve son günlerinde şebekeden sisteme enerji aktarılması daha yoğun olmaktadır. Şekil 4.24 incelendiğinde 06:00-18:00 saatleri arasında şebekeye enerji aktarılmıştır.

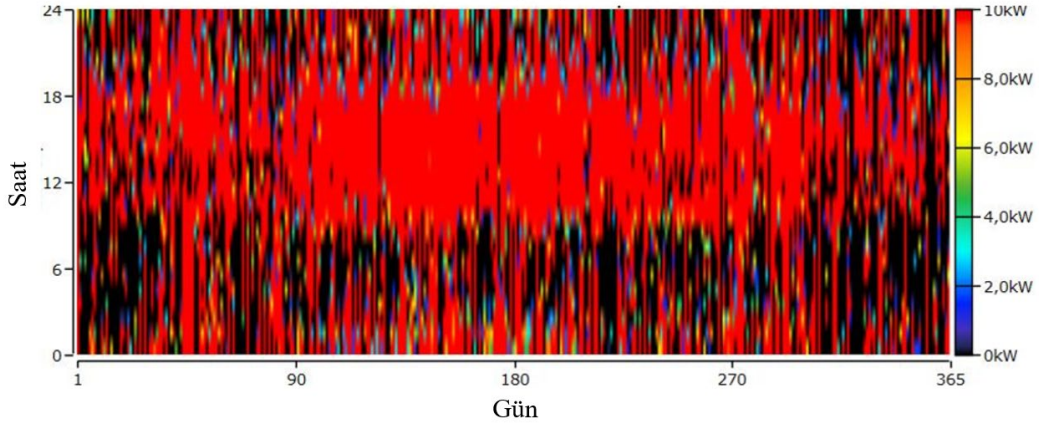


Şekil 4.24. Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri

4.1.3 Üçüncü senaryo

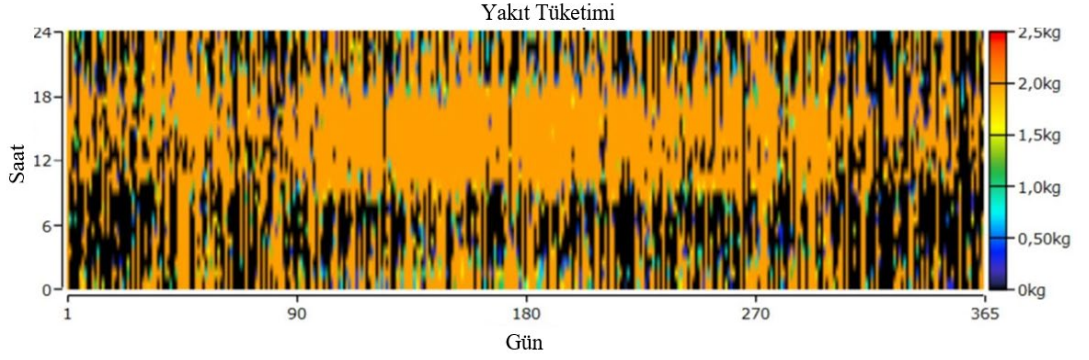
Üçüncü senaryoda şebeke bağlantılı bir tasarım düşünülmüştür. Tasarımda 1500 kW kurulu güce sahip bir GES ve 1 adet 800 kW gücünde rüzgar türbini kullanılmıştır. Rüzgar türbini yıl boyunca 8.555 saat çalışmıştır. Yıl boyunca 5.834 saat çalışan ve kapasite faktörü %59,6 olan yakıt hücresinin çıkış gücü Şekil 4.25'te görülmekteyken yıl ortasında yaklaşık 08:00-18:00 saatleri arasında daha fazla üretim gerçekleştirildiği saptanmıştır.

Yakıt Hücresi Çıkış Gücü



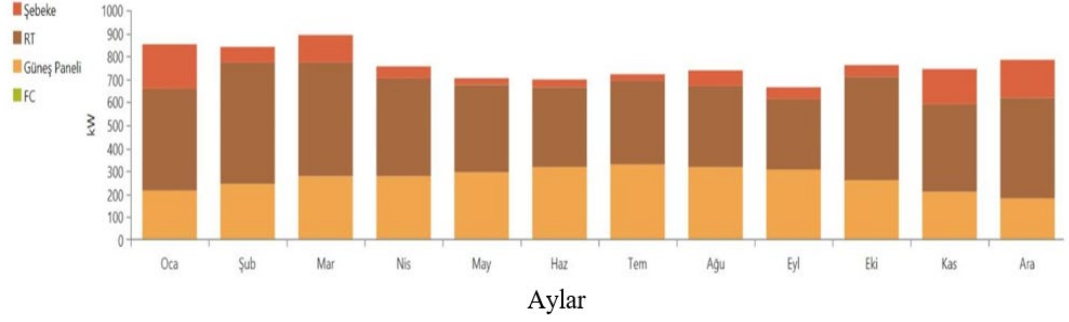
Şekil 4.25. Yakıt hücresi çıkış gücü

Yakıt hücresinden 52.193 kWh/yıl elektrik enerjisi üretilirken 187.895kWh/yıl da termal enerji üretilmektedir. Yakıt tüketimi ise 10.961 kg olarak bulunmuştur. Şekil 4.26'da yakıt tüketiminin saatlik değerleri görülmektedir. Günlük ortalama yakıt tüketimi 30 kg/gün iken saatlik yakıt tüketimi 1,25 kg/saattir.



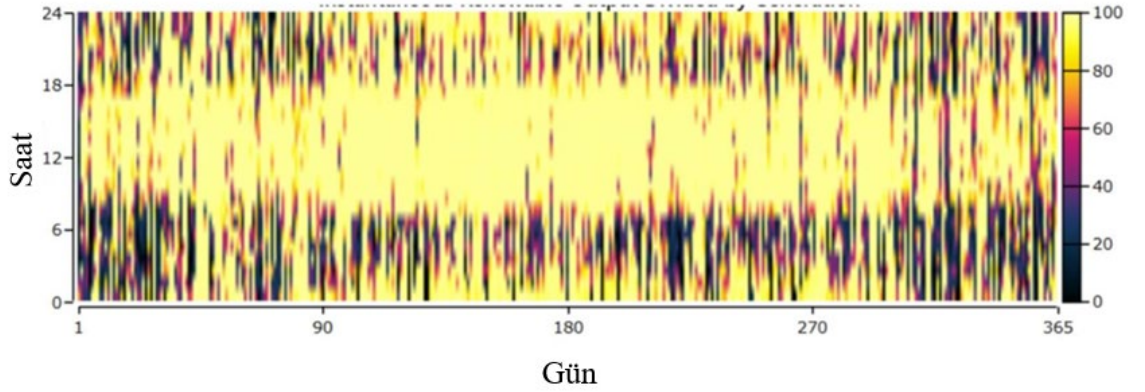
Şekil 4.26. Yakıt tüketim değerleri

Kapasite faktörü % 57,8 olan elektrolizör yıl boyunca 7.023 saat çalışmıştır. Sistemde kullanılan boyler 8.572,10 kWh/yıl enerji üretirken yıl boyunca 8.760 saat çalışmıştır. Gerçekleştirilen ekonomik analizler sonucunda Schneider Conext CL25000 E GES'in yatırım maliyeti 30.000.000,00 ₺, yenileme maliyeti 0 ₺, bakım ve onarım maliyeti 193.912,75 ₺ olarak belirlenmiştir. Sinexcel 30kW dönüştürücünün yatırım maliyeti ise 250.716,67 ₺, yenileme maliyeti 221.492,54 ₺, bakım ve onarım maliyeti 38.893,73 ₺ olarak belirlenmiştir. Yakıt hücresinin yatırım maliyeti 30.000,00 ₺, yenileme maliyeti 24.702,76 ₺, bakım ve onarım maliyeti 7.541,91 ₺ olarak belirlenmiştir. Sistemin toplam yatırım maliyeti ise 34.914,71 ₺, yenileme maliyeti 1.040,69 ₺, bakım ve onarım maliyeti 38.893,73 ₺ olarak belirlenmiştir. Tasarımın yıllık enerji üretimi % 34,6'sı 2.315,62 kWh/yıl ile GES'ten üretilen enerji ile karşılanırken % 53,3'ü 3.571,33 kWh/yıl ile rüzgar türbininden karşılanmaktadır. Yakıt hücresi % 0,77 oranında 52.193kWh/yıl, % 11,3 oranında 757.176kWh/yıl enerji üretimi ise şebekeden sisteme aktarılmaktadır. Enerji tüketimindeki yük % 58,4'ü 3.878,31 kWh/yıl iken şebekeye aktarılan enerji % 28,3'ü 1.876,93kWh/yıl olmaktadır. Toplam tüketim 6.635,31 kWh/yıl'dır. Üçüncü senaryonun aylık ortalama elektrik üretimi Şekil 4.27'de görülmektedir. Üretimin büyük çoğunluğu rüzgar türbininden sağlanırken çok küçük bir kısmı yakıt hücresi tarafından oluşturulmaktadır. Yakıt hücresinin üretimdeki payının az olması nedeniyle üçüncü senaryoda sistemden yakıt hücresi çıkartılarak analizler tekrar edilmiştir.



Şekil 4.27. Aylık ortalama elektrik üretimi

Şekil 4.28’de saatlik olarak elektrik enerji üretimin anlık yenilenebilir enerji oranına bölünmüş değeri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde yılın 365 günü 06:00-18:00 saatlik zaman aralığında daha fazla enerji üretimi görülmektedir. Yılın 00:00-06:00 ve 18:00-24:00 saatleri arasında enerji üretiminin düştüğü belirlenmiştir.

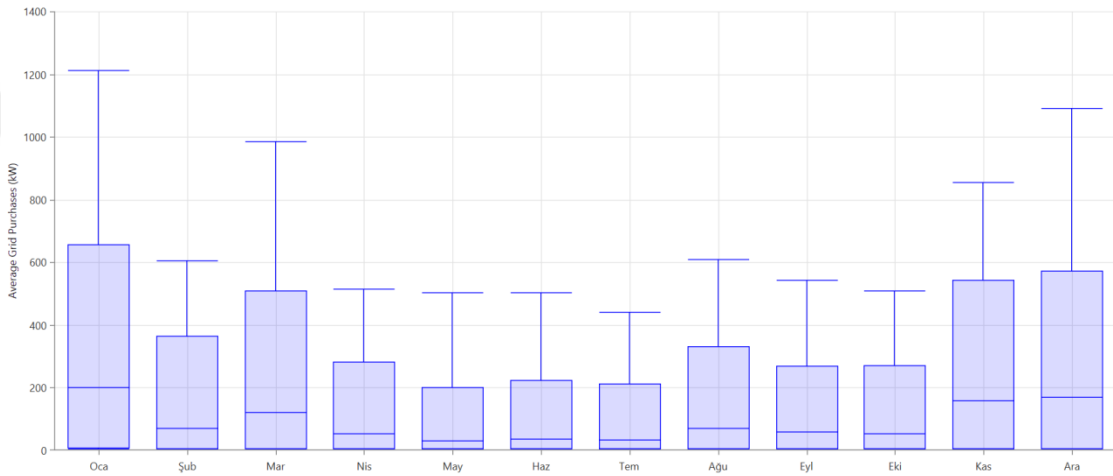


Şekil 4.28. Girişim oranı

Yakıt hücresini içeren temiz hidrojen enerjisinin kullanıldığı üçüncü senaryoda atmosfere 478.532 kg/yıl karbondioksit, 219 kg/yıl karbonmonoksit, 2.075 kg/yıl sülfürdioksit ve 1.015 kg/yıl nitrojenoksit salınmaktadır. İlk senaryoda atmosfere 796.561 kg/yıl karbon dioksit, 3.453 kg/yıl sülfür dioksit ve 1.689 kg/yıl nitrojen oksit salınırken ikinci senaryoda 1.581,84 kg/yıl karbon dioksit, 6.858 kg/yıl sülfür dioksit ve 3.354 kg/yıl nitrojen oksit salınmıştır. İlk iki senaryoda atmosfere daha fazla zararlı gaz salınırken üçüncü senaryoda hidrojen enerjisinin kullanılmasının bir sonucu olarak bu gazların salınım değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Tez çalışmasında şebekeden sisteme enerji aktarımının grafiği Şekil 4.29’da görülmektedir.

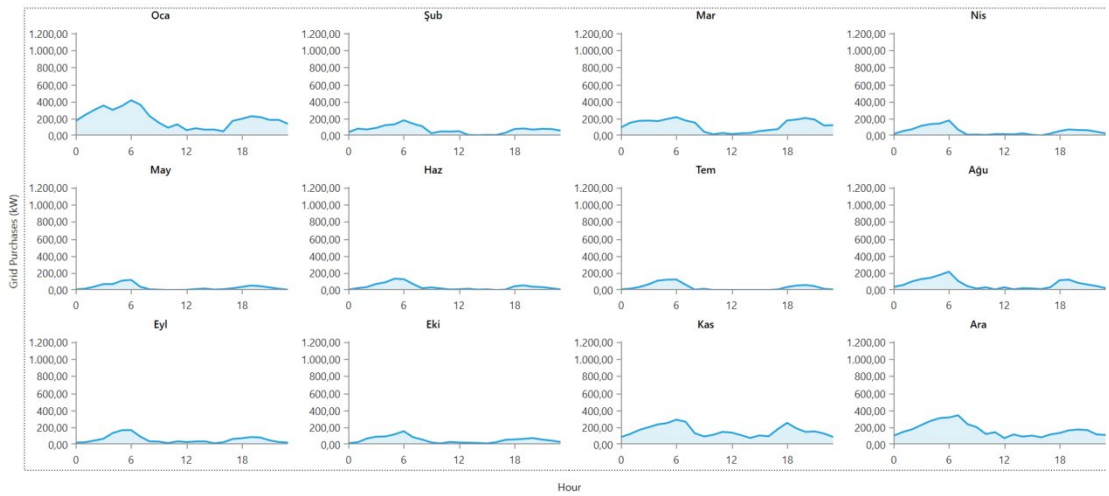
Şebekeden çekilen enerjinin en yüksek değeri Ocak ayında 1.212,45 kW'tır. Enerjinin en düşük değeri ise Temmuz ayında 442,85 kW olarak saptanmıştır.

İlk senaryoda şebekeden çekilen enerjinin en yüksek değeri Ocak ayında 1.209,47 kW iken en düşük enerji değeri Eylül ayında 686,71 kW olmaktadır. İkinci senaryoda şebekeden çekilen enerjinin en yüksek değeri Ocak ayında 1.241,04 kW, en düşük değeri Mayıs ayında 514,95 kW olarak saptanmıştır. Üç senaryoda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır.



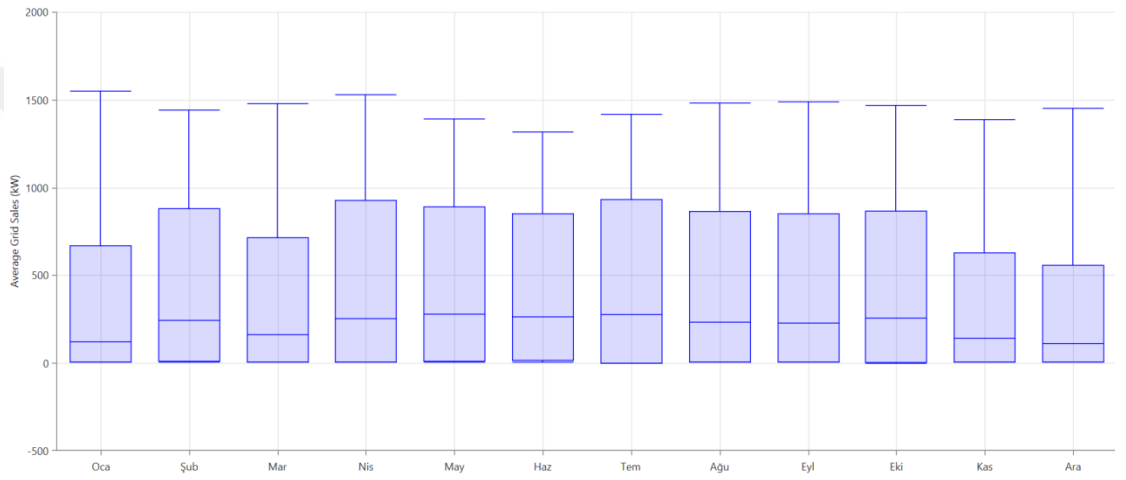
Şekil 4.29. Aylık ortalama şebekeden enerji alımları

Şekil 4.30'da şebekeden temin edilen enerjinin günlük profiline ait grafiksel gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak yaklaşık saat 00:00-06:00 ve 18:00'dan sonra enerji ihtiyacının yüksek seviyelere ulaştığı görülmektedir.



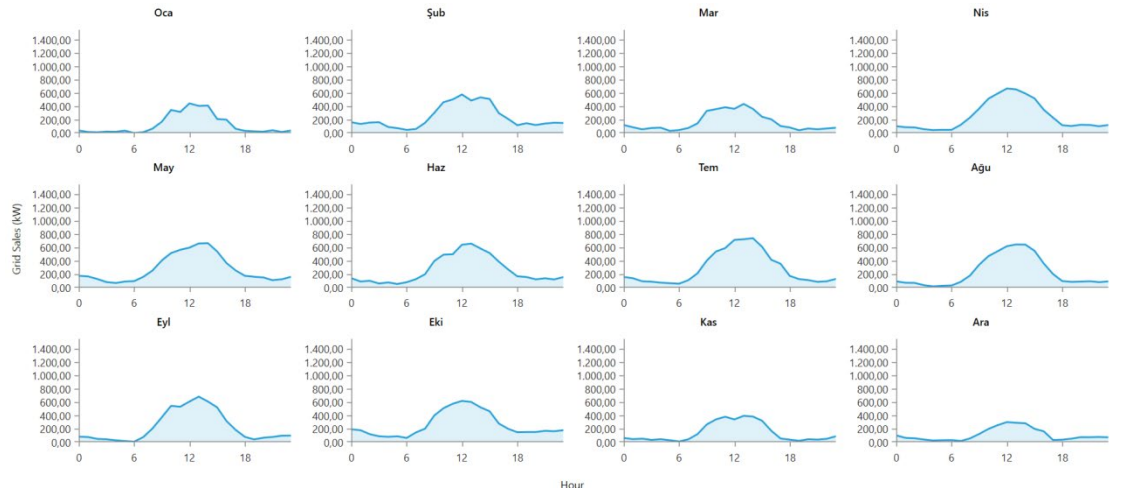
Şekil 4.30. Günlük ortalama şebekeden enerji alımları

Tasarımda şebekeye enerji aktarılmasının grafiği Şekil 4.31’de görülmektedir. Şebekeye dahil edilen enerjinin en yüksek değeri Ocak ayında 1.548,01 kW olmaktadırken en düşük enerji değeri Haziran ayında 1.314,96 kW olmaktadır. Üçüncü senaryoda rüzgar türbini ve GES beraber kullanılmıştır. Rüzgar türbini sayesinde güneşin olmadığı saatlerde de üretim gerçekleştirilebilmektedir. Bu durumun sonucu olarak Şekil 4.31 incelendiğinde üretimin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Nitekim şebekeye aktarılan enerjinin en yüksek ve en düşük değerleri arasındaki farkın oldukça az olduğu belirlenmiştir. Hibrit sistemler ile enerji üretiminde süreklilik sağlanmaktadır.



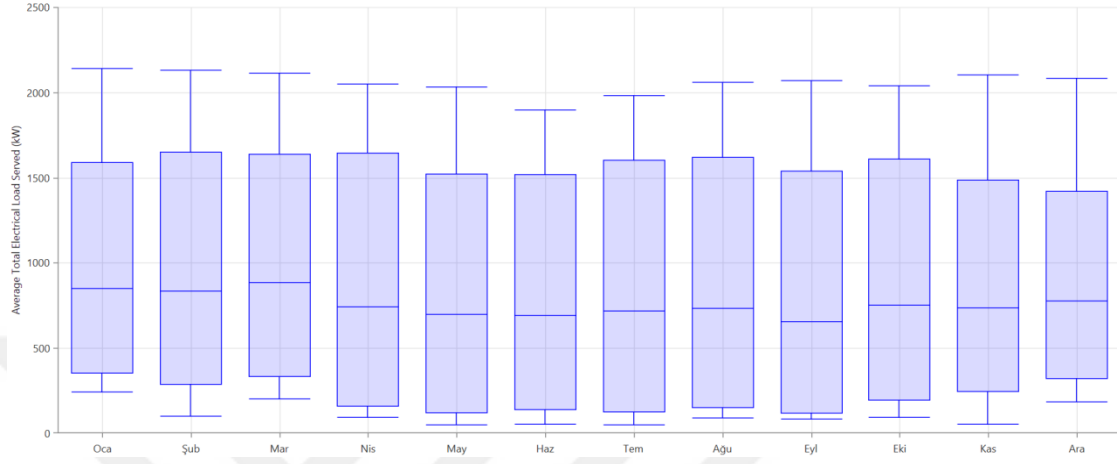
Şekil 4.31. Aylık ortalama şebekeye enerji aktarımları

Şekil 4.32’de şebekeye aktarılan enerjinin günlük profiline ait grafiksel gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak yaklaşık saat 06:00-18:00 arasında şebekeye enerji aktarımının arttığı görülmektedir.



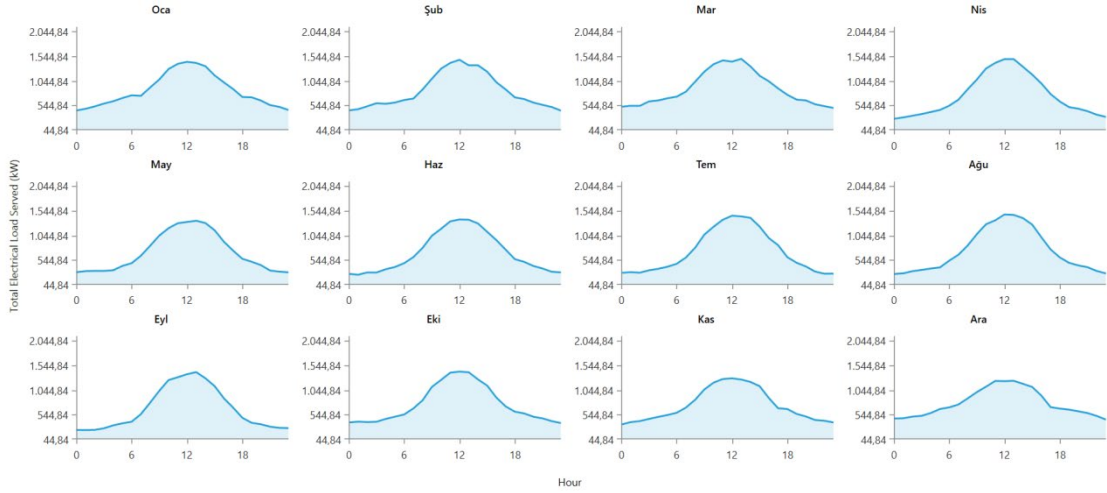
Şekil 4.32. Günlük ortalama şebekeye enerji aktarımları

Sistemdeki aylık ortalama elektrik yüküne ait grafik Şekil 4.33'te gösterilmiştir. Toplam elektrik yükünün en yüksek değeri Ocak ayında 2.140,61 kW iken en düşük enerji değeri Haziran ayında 1.897,71 kW olmaktadır.



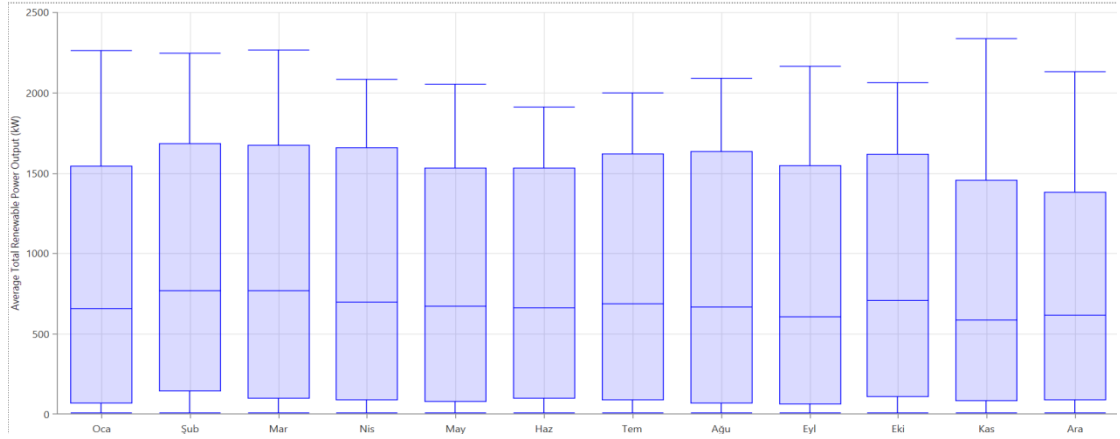
Şekil 4.33. Aylık ortalama toplam elektrik yükü

Şekil 4.34'te toplam elektrik yükünün grafik olarak gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak çalışma saatleri olan 06:00-18:00 arasında enerji yükünün arttığı görülmektedir.



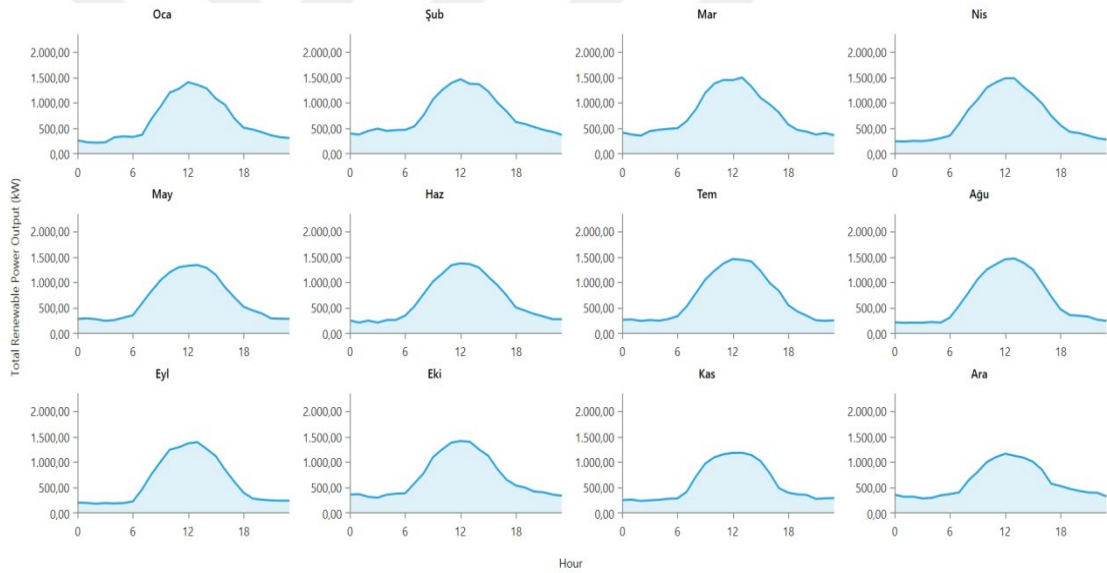
Şekil 4.34. Günlük ortalama toplam elektrik yükü

Sistemdeki toplam yenilenebilir enerjinin aylık ortalama elektrik üretimine ait güç çıkışı grafiği Şekil 4.35'te gösterilmiştir. Üretilen toplam gücün en yüksek değeri Mart ayında 2.265,29 kW'tır. En düşük güç değeri Haziran ayında 1.912,04kW'tır .



Şekil 4.35. Aylık ortalama yenilenebilir enerji üretimi

Şekil 4.36'da toplam yenilenebilir enerji üretiminin grafik olarak gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak saat 06:00-18:00 arasında güç üretiminin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.36. Günlük ortalama yenilenebilir enerji üretimi

Sistemin ekonomik analizine ait maliyet değerlendirmeleri Tablo 4.5'te verilmiştir. Tasarımın birim enerji maliyeti 0,770 ₺ ve yenilenebilir enerji oranı % 37,4 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Senaryo 3'ün maliyet analizi sonuçları

Birim Enerji Maliyeti (₺)	Net Enerji Maliyeti (₺)	Şimdiki İşletme Maliyeti (₺/yıl)	Bakım İlk Yatırım Maliyeti (₺)	Yenilenebilir Enerji Oranı (%)
0,770	74,3M	2,82M	37,9M	37,4

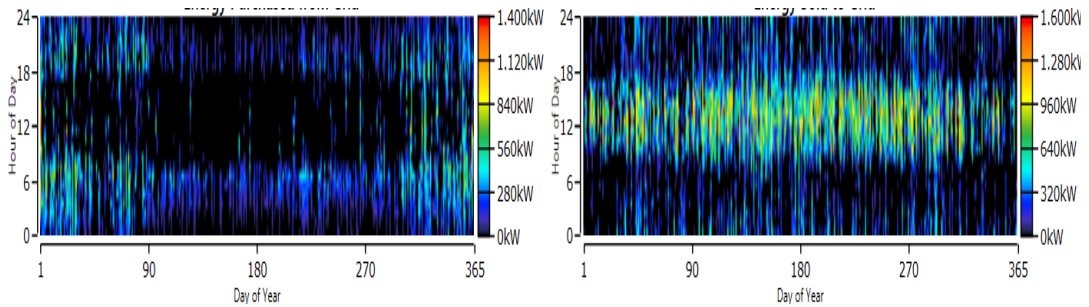
Oluşturulan üçüncü sistem ile şebekeye aktarılan ve şebekeden alınan enerji değerlerinin aylara göre dağılımı Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde

Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında enerji ihtiyacı karşılanırken fazla enerjinin şebekeye aktarıldığı görülmektedir. Diğer aylarda ise yeterli olmayan enerji üretiminden dolayı şebekeden elektrik enerjisi satın alınarak talep edilen güç ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Sonuç olarak toplamda talep edilen yıllık enerji ihtiyacı karşılanırken fazla enerji şebekeye entegre edilmiştir.

Tablo4.6.Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu

Aylar	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Net Enerji (kWh)
Ocak	146,94	92,14	54,79
Şubat	45,18	161,70	-116,51
Mart	87,63	120,79	-33,16
Nisan	36,27	179,63	-143,36
Mayıs	21,43	207,24	-185,80
Haziran	24,61	187,45	-162,83
Temmuz	23,05	211,36	-188,30
Ağustos	49,47	171,31	-121,83
Eylül	39,69	162,01	-122,32
Ekim	37,15	194,43	-157,28
Kasım	111,95	100,88	11,07
Aralık	124,52	81,77	42,74
Yıllık	747,94	1.870,75	-1.122,80

Yapılan analizlerin neticesinde şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri Şekil 4.37’de görülmektedir. Zaman aralıklarına bakıldığında 06:00-18:00 saat yelpazesinde daha fazla güce ihtiyaç duyulurken bu süreçte aynı zamanda daha fazla güç elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.37. Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri

Üçüncü senaryoda yakıt hücresinin katkısının düşük olması nedeniyle sistem tasarımından çıkarılarak yapılan analizler tekrar edilmiştir.

Üçüncü senaryoda şebeke bağlantılı bir tasarım düşünülmüştür. Tasarımda 1500 kW kapasiteli güneş panelleri, 800 kW rüzgar türbini, 30 kW dönüştürücü kullanılmıştır.

Tasarımın yıllık enerji tüketiminin % 34,8'i güneş panellerinden, % 53,7'si rüzgar türbininden üretilen enerji ile karşılanırken % 11,5'i şebekeden karşılanmaktadır. Sistemin ekonomik analizine ait maliyet değerlendirmeleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Modellemenin birim enerji maliyeti 0,549 ₺ ve yenilenebilir enerji oranı % 38 olarak belirlenmiştir. Yakıt hücresinin yer aldığı tasarımda birim enerji maliyeti 0,770 ₺ iken yakıt hücresi yokken 0,549 ₺'ye düşmüştür. Yakıt hücresinin kullanılması temiz enerji elde edilmesini sağlmasına rağmen maliyet olarak ciddi bir artışa neden olmaktadır.

Tablo 4.7. Senaryo 3'ün yakıt hücresi yokken maliyet analizi sonuçları

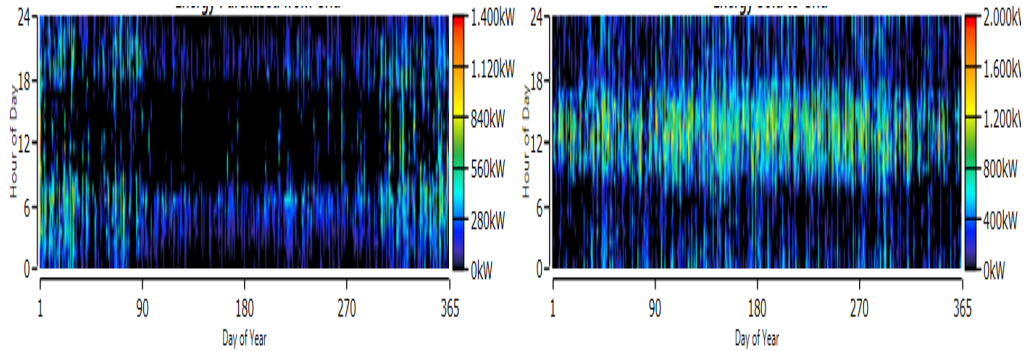
Birim	Enerji	Net	Şimdiki	İşletme	Bakım	İlk	Yatırım	Yenilenebilir	Enerji
Maliyeti (₺)		Maliyeti (₺)	Maliyeti (₺)	Maliyeti (₺/ yıl)		Maliyeti (₺)		Oranı (%)	
0,549		60,3M		2,32M		30,4M		38,0	

Oluşturulan üçüncü senaryoda yakıt hücresi yokken şebekeye aktarılan ve şebekeden alınan enerji değerlerinin aylara göre dağılımı Tablo 4.8'de gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında enerji ihtiyacı karşılanırken fazla enerjinin şebekeye aktarıldığı görülmektedir. Diğer aylarda ise yeterli olmayan enerji üretiminden dolayı şebekeden elektrik enerjisi temin edilerek talep edilen güç ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Sonuç olarak toplamda talep edilen yıllık enerji ihtiyacı karşılanırken fazla enerji şebekeye entegre edilmiştir.

Tablo 4.8. Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu

Aylar	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Satın Alınan Net Enerji (kWh)
Ocak	148,54	119,61	28,92
Şubat	46,49	202,88	-156,38
Mart	89,40	158,27	-68,86
Nisan	37,56	221,72	-184,16
Mayıs	22,56	255,12	-232,56
Haziran	25,94	232,05	-206,108
Temmuz	24,40	259,06	-234,66
Ağustos	50,86	211,29	-160,43
Eylül	41,25	199,89	-158,64
Ekim	38,52	240,08	-201,55
Kasım	113,31	129,33	-16,02
Aralık	125,91	110,29	15,61
Yıllık	764,77	2.339,64	-1.574,86

Yapılan analizlerin neticesinde şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri Şekil 4.38’de görülmektedir.



Şekil 4.38. Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri

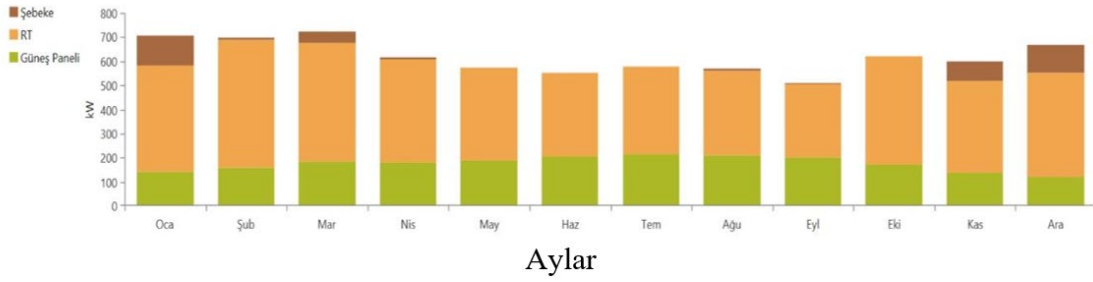
Zaman aralıklarına bakıldığında 06:00-18:00 saat yelpazesinde daha fazla güce ihtiyaç duyulurken bu süreçte aynı zamanda daha fazla güç elde edildiği tespit edilmiştir.

4.1.4 Dördüncü senaryo

Dördüncü senaryoda şebeke bağlantılı bir tasarım düşünülmüştür. Tasarımda 1000 kW kurulu güce sahip bir GES ve 1 adet 800 kW gücünde rüzgar türbini kullanılmıştır. Rüzgar türbini yıl boyunca 8.555 saat çalışmıştır. Gerçekleştirilen ekonomik analizler

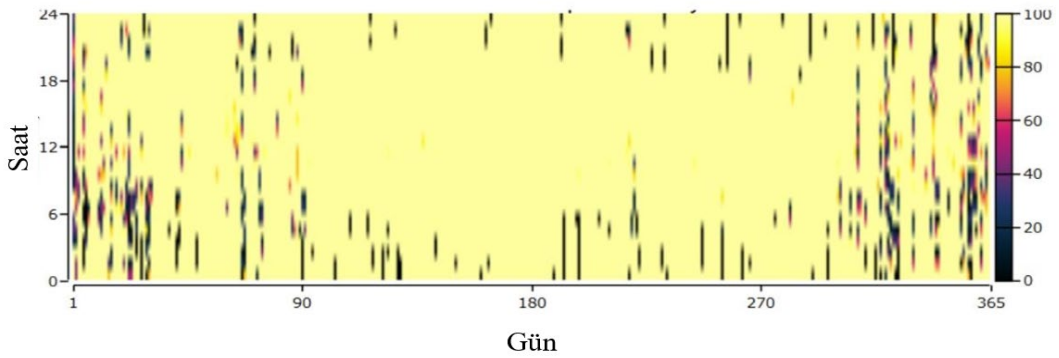
sonucunda Schneider Conext CL25000 E GES'in yatırım maliyeti 20.000.000,00 ₺, yenileme maliyeti 0 ₺, bakım ve onarım maliyeti 129.275,17 ₺ olarak belirlenmiştir. Sinexcel 30kW dönüştürücünün ise yatırım maliyeti 292.689,32 ₺, yenileme maliyeti 193.929,57 ₺, bakım ve onarım maliyeti 63.062,43 ₺ olarak belirlenmiştir. Sistemin toplam yatırım maliyeti ise 23.232.689,32 ₺, yenileme maliyeti 1.433.911,98 ₺, bakım ve onarım maliyeti 6.047.385,64 ₺ olarak belirlenmiştir.

Tasarımın yıllık enerji üretimi % 28,5'i 1.543,75 kWh/yıl ile GES'ten üretilen enerji ile karşılanırken %66'sı 3.571,33 kWh/yıl ile rüzgar türbininden karşılanmaktadır. Sistemde %5,46 oranında 295,51kWh/yıl enerji üretimi ise şebekeden sisteme aktarılmaktadır. Dördüncü senaryonun aylık ortalama elektrik üretimi Şekil 4.39'da görülmektedir. Üretimin büyük çoğunluğu rüzgar türbininden sağlanmaktadır.



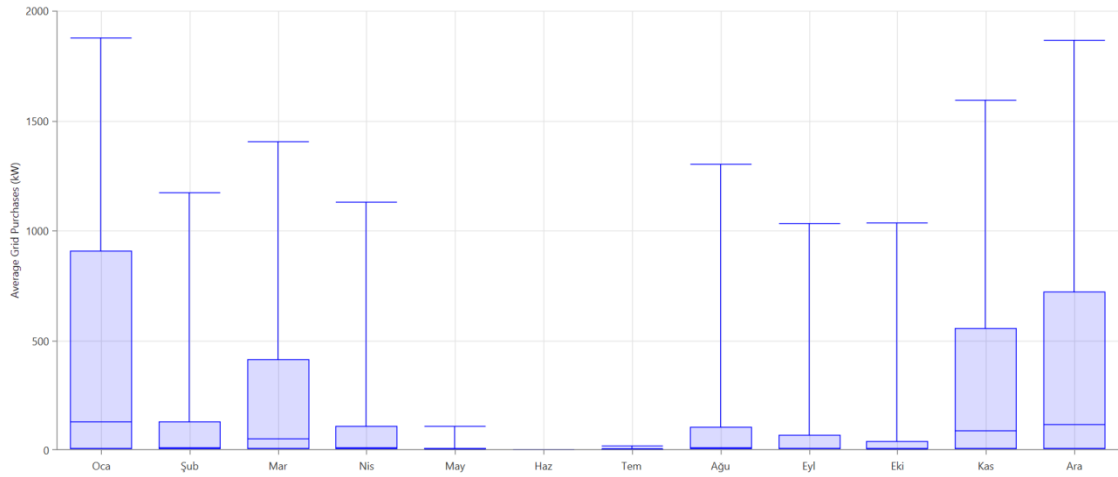
Şekil 4.39. Aylık ortalama elektrik üretimi

Şekil 4.40'ta saatlik olarak elektrik enerji üretiminin anlık yenilenebilir enerji oranına bölünmüş değeri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde yılın genelinde yenilenebilir enerji üretiminin kısmen eşit dağılım gösterdiği belirlenmiştir.



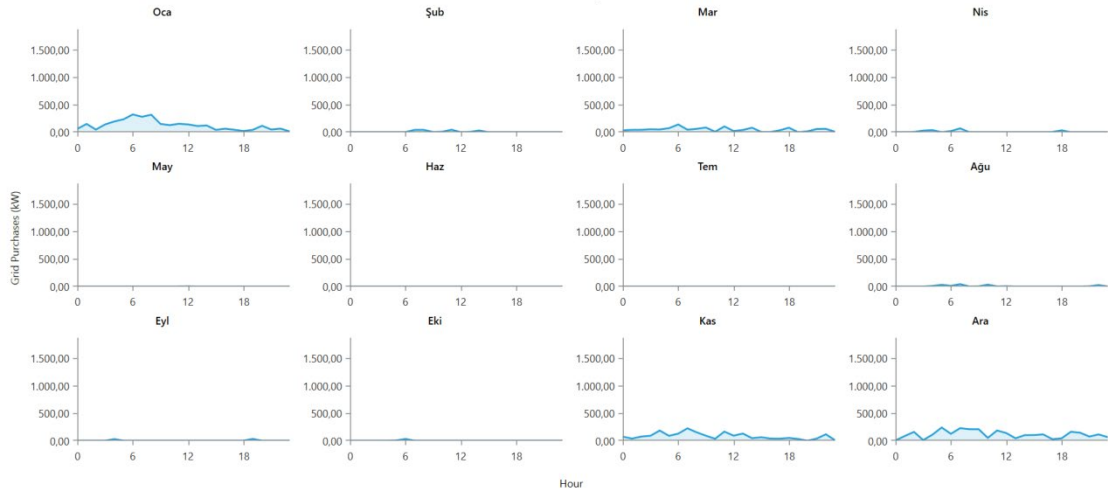
Şekil 4.40. Girişim oranı

Dördüncü senaryoda atmosfere 186.762 kg/yıl karbondioksit, 0 kg/yıl karbonmonoksit, 810 kg/yıl sülfürdioksit ve 396 kg/yıl nitrojenoksit salınmaktadır. İlk senaryoda atmosfere 796.561 kg/yıl karbon dioksit, 3.453 kg/yıl sülfür dioksit ve 1.689 kg/yıl nitrojen oksit salınırken ikinci senaryoda 1.581,84 kg/yıl karbon dioksit, 6.858 kg/yıl sülfür dioksit ve 3.354 kg/yıl nitrojen oksit salınmıştır. Üçüncü senaryoda atmosfere 478.532 kg/yıl karbondioksit, 219 kg/yıl karbonmonoksit, 2.075 kg/yıl sülfürdioksit ve 1.015 kg/yıl nitrojenoksit salınmaktadır. Dört senaryo karşılaştırıldığında son sistemin atmosfere daha az miktarda zararlı gaz salınımı yaptığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada şebekeden sisteme enerji aktarımının grafiği Şekil 4.41’de görülmektedir. Şebekeden çekilen en yüksek enerji değeri Ocak ayında 1.877,88 kW olurken en düşük enerji değeri Haziran ayında 0,87 kW olmaktadır. Bu iki değer arasında çok fazla fark olduğu görülmektedir. Çalışma genelinde Ocak ayında enerji ihtiyacı diğer aylara göre daha fazla olmaktadır. Haziran ayında şebekeden sisteme enerji aktarımı oldukça düşük olmaktadır.



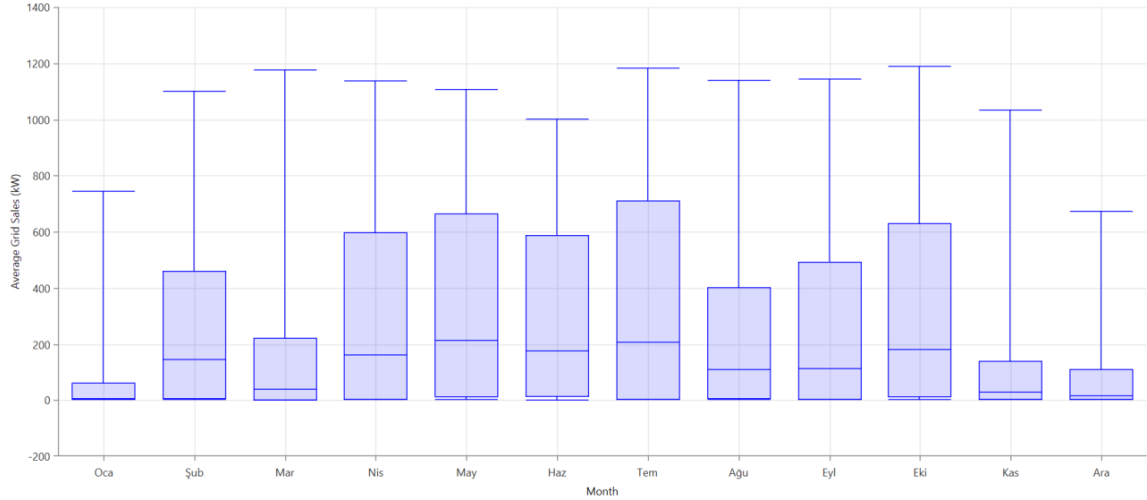
Şekil 4.41. Aylık ortalama şebekeden enerji alımları

Rüzgar türbini ve GES kombinasyonu sayesinde şebekeden alınan enerji değerleri düşmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının beraber kullanılması şebekeye olan bağılılığın azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Yapılan analizler ile en uygun kombinasyon bulunmaya çalışılmıştır. Şekil 4.42’de şebekeden temin edilen enerjinin günlük profiline ait grafiksel gösterimlerine yer verilmiştir. Ocak, Mart, Kasım ve Aralık aylarında enerji ihtiyacının diğer aylara göre daha fazla olduğu anlaşılmıştır.



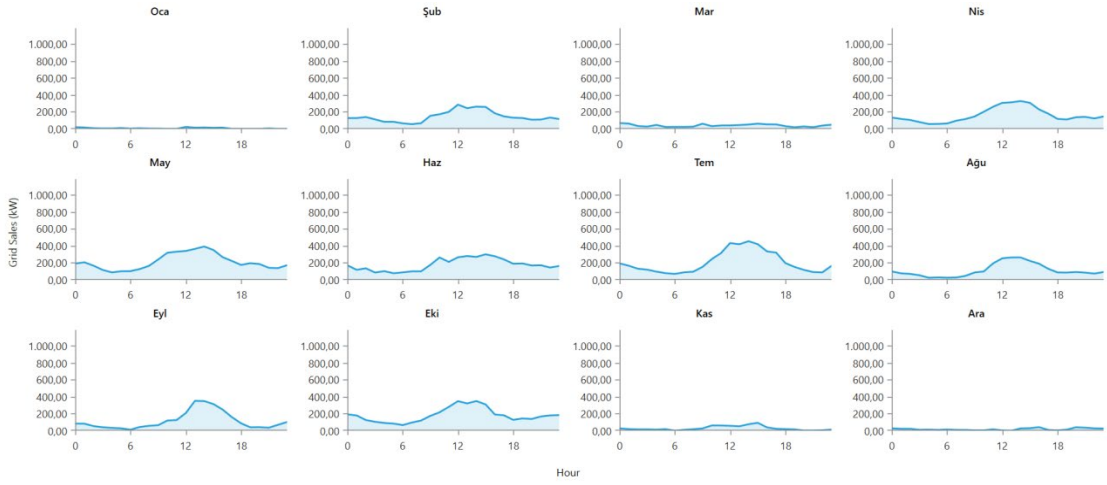
Şekil 4.42. Günlük ortalama şebekeden enerji alımları

Tasarımda şebekeye enerji aktarılmasının grafiği Şekil 4.43’de görülmektedir. Şebekeye aktarılan enerjinin en yüksek değeri Ekim ayında 1.187,92 kW olurken Aralık ayında aktarılan enerjinin en düşük değeri 673,08 kW olarak saptanmıştır.



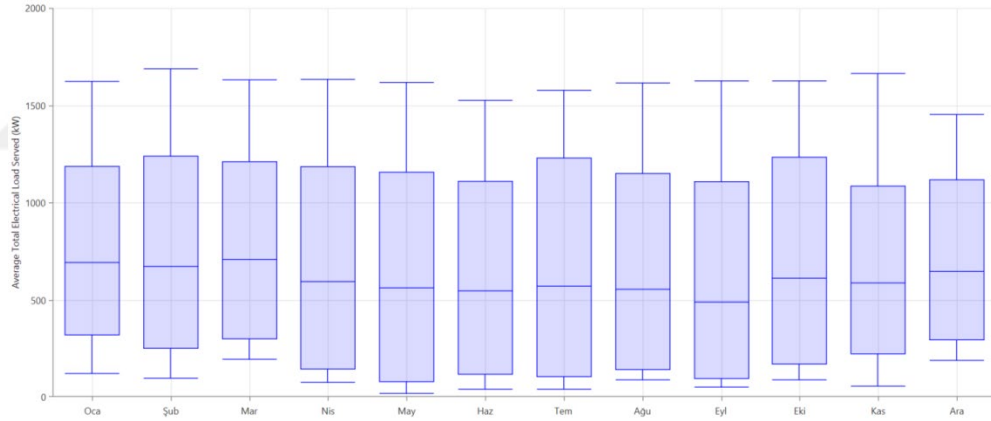
Şekil 4.43. Aylık ortalama şebekeye enerji aktarımları

Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü senaryolarda şebekeye aktarılan enerjinin en yüksek değerleri sırasıyla 778,43 kW, 459,49 kW, 1.548,01 kW ve 1.187,92 kW olarak bulunmuştur. Üçüncü ve dördüncü senaryoda şebekeye daha fazla enerji aktarıldığı anlaşılmıştır. Şekil 4.44’te şebekeye aktarılan enerjinin günlük profiline ait grafiksel gösterimlerine yer verilmiştir. Aralık, Ocak ve Kasım aylarında enerji üretimi düşmüştür.



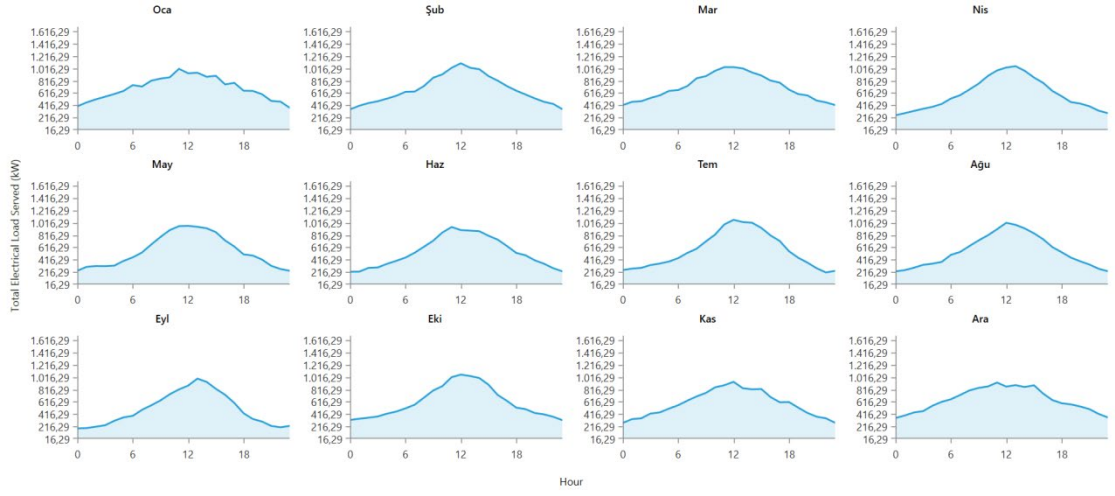
Şekil 4.44. Günlük ortalama şebekeye enerji aktarımları

Sistemdeki aylık ortalama elektrik yüküne ait grafik Şekil 4.45'te gösterilmiştir. Sistemde toplam elektrik yükünün en yüksek değeri Ocak ayında 1.688,80 kW iken en düşük değeri Aralık ayında 1.452,55 kW olmaktadır.



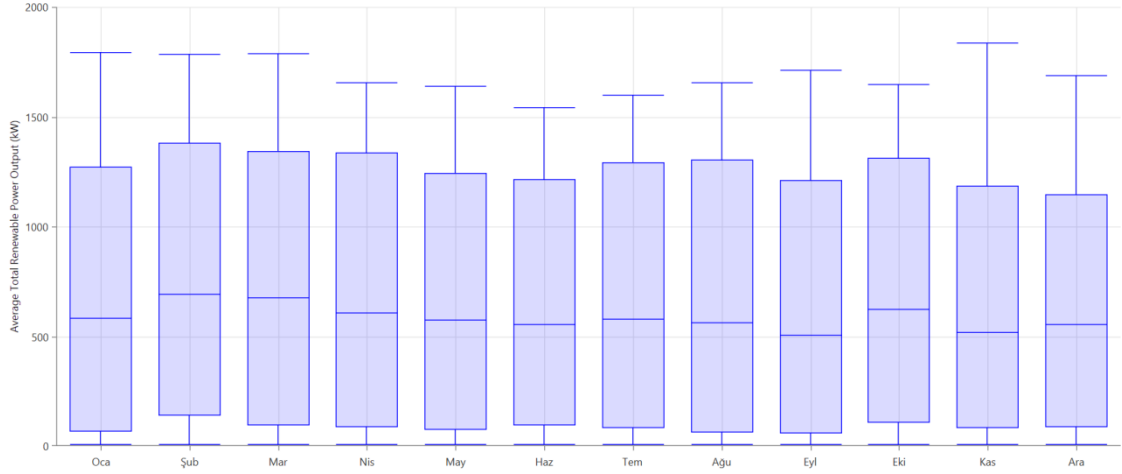
Şekil 4.45. Aylık ortalama toplam elektrik yükü

Şekil 4.46'da toplam elektrik yükünün grafik olarak gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak saat 06:00-18:00 arasında enerji yükünün arttığı görülmektedir.



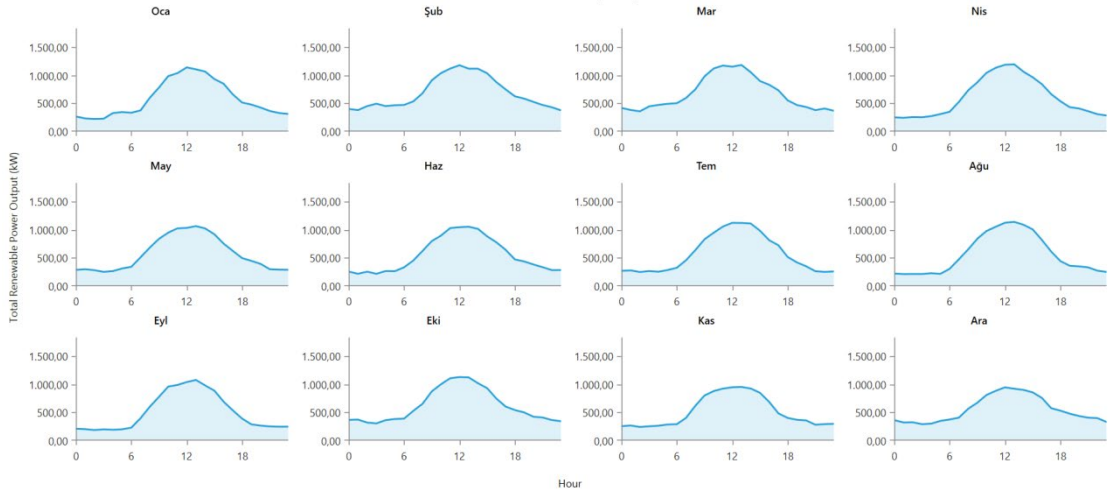
Şekil 4.46. Günlük ortalama toplam elektrik yükü

Sistemdeki toplam yenilenebilir enerjinin aylık ortalama elektrik üretimine ait güç çıkış grafiği Şekil 4.47’de gösterilmiştir. Gücün en yüksek değeri Kasım ayında 1.838,25 kW bulunurken en düşük enerji değeri Haziran ayında 1.541,60 kW olmaktadır.



Şekil 4.47. Aylık ortalama yenilenebilir enerji üretimi

Şekil 4.48’de toplam yenilenebilir enerji üretiminin grafik olarak gösterimlerine yer verilmiştir. Genel olarak saat 06:00-18:00 arasında güç üretiminin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.48. Günlük ortalama yenilenebilir enerji üretimi

Sistemin ekonomik analizine ait maliyet değerlendirmeleri Tablo 4.9’da verilmiştir. İlk üç senaryonun birim enerji maliyetleri sırasıyla 0,472 ₺, 0,593 ₺, 0,770 ₺–0,549 ₺, 0,446 ₺ olarak bulunmuştur. Son senaryonun birim enerji maliyeti 0,446 ₺ olarak belirlenirken dört senaryo içerisinde en düşük birim enerji maliyeti olmuştur. Yenilenebilir enerji oranı % 94,4 olan bu senaryonun diğer senaryolara göre oldukça yüksek bir orana sahip olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4.9. Senaryo 4’ün Maliyet Analizi Sonuçları

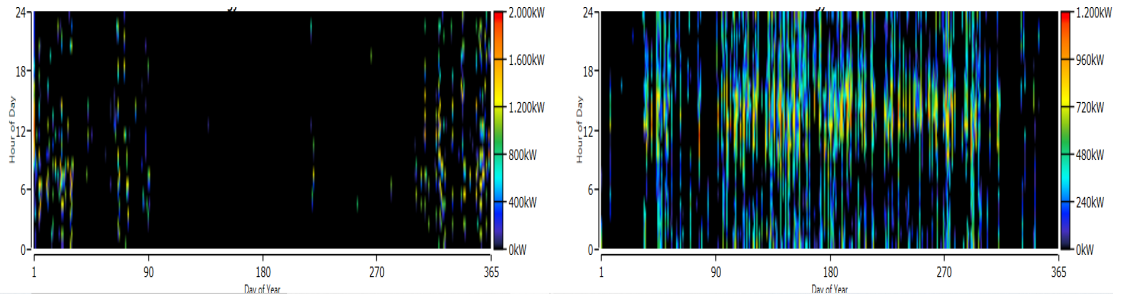
Birim Enerji Maliyeti (₺)	Net Enerji Maliyeti (₺)	Şimdiki İşletme Maliyeti (₺/yıl)	Bakım İlk Yatırım Maliyeti (₺)	Yenilenebilir Enerji Oranı (%)
0,446	30,4M	557,97	23,2M	94,4

Oluşturulan dördüncü sistem ile şebekeye aktarılan ve şebekeden alınan enerji değerlerinin aylara göre dağılımı Tablo 4.10’da gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında enerji ihtiyacı karşılanırken fazla enerjinin şebekeye aktarıldığı görülmektedir. Diğer aylarda ise yeterli olmayan enerji üretiminden dolayı şebekeden elektrik enerjisi satın alınarak talep edilen güç ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Sonuç olarak toplamda talep edilen yıllık enerji ihtiyacı karşılanırken fazla enerji şebekeye entegre edilmiştir.

Tablo 4.10. Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerjinin aylara göre durumu

Aylar	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Satın Alınan Net Enerji (kWh)
Ocak	93,70	5,93	87,77
Şubat	5,08	98,63	-93,54
Mart	35,56	30,48	5,08
Nisan	6,01	117,02	-111,01
Mayıs	143,00	158,30	-158,16
Haziran	1,00	129,01	-129,01
Temmuz	22,00	153,32	-153,30
Ağustos	5,14	82,79	-77,65
Eylül	2,10	82,63	-80,53
Ekim	1,23	135,77	-134,53
Kasım	60,48	20,52	39,96
Aralık	86,00	13,08	72,91
Yıllık	295,51	1.027,55	-732,04

Yapılan analizlerin neticesinde şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri Şekil 4.49’da görülmektedir. Zaman aralıkları incelendiğinde 1-90 ve 270-365 günleri arasında şebekeden sisteme daha fazla enerji aktarılırken yılın yaklaşık 365 günü 06:00-18:00 saatleri arasında şebekeye güç akışı sağlanmıştır. Şekil 4.49’da şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.49. Şebekeden alınan ve şebekeye aktarılan enerji değerleri

Gerçekleştirilen analizlerin sonucunda birinci senaryoda şebekeden çekilen net enerji değeri 306,98 kWh, ikinci senaryoda 2.392,47 kWh, üçüncü senaryoda -1.122,81 kWh, üçüncü senaryoda yakıt hücresi yokken -1.574,87 kWh ve dördüncü senaryoda -732,04 kWh olarak belirlenmiştir. Dört senaryonun şebekeye aktarılan enerji değerleri karşılaştırıldığında en uygun sistem üçüncü senaryo olmaktadır. Ancak değerlendirme

aşamasında maliyet analizleri dikkate alındığında 4. Senaryonun daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Dört senaryonun maliyet analizleri Tablo 4.11’de görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tek başına kullanılmasının yerine beraber kullanılması ile daha fazla enerji üretilerek çevreye verilen zararın en aza indirilmesi hedefleri doğrultusunda tasarlanan hibrit sistem ile hem istenen yük karşılanmış hem de şebekeye katkı sağlanarak ekonomik avantaj elde edilmiştir.

Tablo 4.11. Maliyet analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Birim Enerji Maliyeti (₺)	Net Şimdiki Maliyeti (₺)	İşletme Maliyeti (₺)	Bakım Maliyeti (₺)	İlk Yatırım Maliyeti (₺)	Yenilenebilir Enerji Oranı (%)
0,472	29,5 M	521,95		22,8 M	73,9
0,593	30,6 M	795,61		20,3 M	37,3
0,770	74,3 M	2,82 M		37,9 M	37,4
0,549	60,3 M	2,32 M		30,4 M	38,0
0,446	30,4 M	557,97		23,2 M	94,4

5.BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada şebekeye bağlı yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanılması durumunda oluşturulan mikro şebekenin talep edilen enerji ihtiyacına cevap verebilmesi için en uygun sistem tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla alternatif sistemler tasarlanarak farklı senaryolar ile analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada teknik ve ekonomik açıdan en uygulanabilir tasarım ile fosil yakıtlı kaynakların kullanımında ortaya çıkan zararlı sonuçların giderilmesi, temiz enerji elde edilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması hedeflenmektedir.

Tez çalışmasında 4 farklı senaryo incelenmiştir. Bu senaryolar yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanılarak oluşturulduğu hibrit sistemlerin analizinde kullanılan HOMER programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. HOMER programı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitli kombinasyonları ile üretilen güç değerleri karşılaştırılmıştır. Bütün senaryolar şebekeye entegre olarak düşünülmüştür. Sistem tasarımı temel olarak güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve hidrojen enerjisinden yararlanılmıştır. İlk senaryoda 800 kW'lık rüzgar türbini kullanılarak birim enerji maliyeti 0,472 ₺ olarak belirlenmiştir. Sistemin yıllık net 306,98 kWh enerjisi şebekeden elde edilirken yenilenebilir enerji kaynaklarının katılım oranı % 73,9 olmuştur. İkinci senaryoda 1000 kW'lık güneş panelleri kullanılarak oluşturulan mikro şebekede birim enerji maliyeti 0,593 ₺ olarak belirlenmiştir. Sistemin yıllık net 2.392,46 kWh enerjisi şebekeden elde edilirken yenilenebilir enerji katılım oranı % 37,3 olmuştur. Üçüncü senaryoda 800 kW'lık rüzgar türbini, 1000 kW'lık güneş panelleri ve 10 kW'lık yakıt hücresi kullanılarak oluşturulan mikro şebekede birim enerji maliyeti 0,739 ₺ olarak belirlenmiştir. Sistemin yıllık üretimi yüklerin talebini karşılarken tüketim değerinin üstünde kalan net -1.119,75 kW miktarındaki enerjide şebekeye aktarılmıştır. Bu sistemde yenilenebilir enerji oranı kaynaklarının katılım oranı % 37,3 olmuştur. Üçüncü senaryoda sistem tasarımından yakıt hücresi çıkarılarak 800 kW'lık rüzgar türbini ve 1000 kW'lık güneş panellerini içeren modellemenin birim enerji maliyeti 0,549 ₺ olarak

belirlenmiştir. Sistemin yıllık net -1.574,86 kWh enerjisi şebekeden elde edilirken yenilenebilir enerji oranı %38 olmuştur. Dördüncü senaryoda 800 kW'lık rüzgar türbini, 1000 kW'lık güneş panelleri ve 100 kWh'lik lityum iyon batarya kullanılarak birim enerji maliyeti 0,446 ₺ olarak belirlenmiştir. Sistemin yıllık net -732,04 kWh enerjisi şebekeden elde edilirken yenilenebilir enerji oranı % 94,4 olmuştur. Üçüncü senaryoda şebekeye aktarılan enerji dördüncü senaryodan daha fazla olmaktadır. Ancak dördüncü senaryonun birim enerji maliyeti, kurulum maliyeti daha düşük ve amortisman süresinin daha kısa olmasından dolayı dördüncü senaryo en uygun tasarım olarak belirlenmiştir. Üçüncü senaryonun yatırım maliyeti 30,4 M olurken dördüncü senaryonun yatırım maliyeti 23,2 M olmaktadır. Dört senaryonun birim enerji maliyetleri karşılaştırıldığında son senaryonun 0,446 ₺ ile en düşük değerde olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji oranı da % 94,4 ile diğer seçeneklere göre oldukça yüksek bir değerdir. Sistemde yıllık 295,51 kWh enerji şebekeden alınırken 1.027,55 kWh enerji şebekeye aktarılmıştır. Güç ihtiyacı güneş ve rüzgar enerjisinden karşılanarak fazla enerji üretim sistemine entegre edilmiştir. Analizler incelendiğinde Şekil 4.1'de rüzgar türbininin çıkış gücü verilirken kapasite faktörü % 51 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.13'te ise güneş panellerinin çıkış gücü verilirken kapasite faktörü % 17,62 olarak saptanmıştır. Bu iki çıkış değeri kıyaslandığında bölgenin rüzgar enerjisine daha yatkın olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer yandan üçüncü senaryoda yakıt hücresinin tasarımdan çıkarılmasıyla birim enerji maliyetinin 0,739 ₺'dan 0,549 ₺'ya düştüğü tespit edilmiştir. Üçüncü senaryodan sadece yakıt hücresi çıkarılarak analiz yapılmak istenmiş ancak program hidrojen tankı ve elektrolizör olmadan çalışmasına imkan tanımamıştır. Senaryodan elektrolizör ve hidrojen tankının çıkarılması gerekmiştir. Gelecekte yapılan termal yüklerin hidrojen tankı ile beslenmesi için ek araştırmalar yapılacaktır. Kurulması planlanan sistem tasarımlarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Maliyet analizleri karşılaştırılması ile en makul seçenek belirlenerek gelecekteki sorunların öngörülmesi amaçlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren sistemlerin analizlerinde farklı programlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada HOMER programının tercih edilmesinin nedeni güç analizi yapan diğer programlardan farklı olarak teknik ve ekonomik analizler gerçekleştirilebilmesi olarak ifade edilebilir.

Sonuç olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanılmasının yararlarını araştıran bu tez çalışması ile gelecekte yapılacak olan çalışmalar için bir örnek olduğu ifade edilebilir.



KAYNAKLAR

1. Abdolmaleki, L., Berardi, U., “Hybrid solar energy systems with hydrogen and electrical energy storage for a single house and a midrise apartment in North America” *International Journal of Hydrogen Energy*, 52, 1381-1394, 2024.
2. Abdin, Z., Al Khafaf, N., McGrath, B., “Feasibility of hydrogen hybrid energy systems for sustainable on-and off-grid integration: An Australian REZs case study” *International Journal of Hydrogen Energy*, 57, 1197-1207, 2024.
3. Gökçek, M., Paltrinieri, N., Liu, Y., Badia, E., Dokuz, A. Ş., Erdoğan, A., Yoldaş, Ö., “Optimum sizing of hybrid renewable power systems for on-site hydrogen refuelling stations: Case studies from Türkiye and Spain” *International Journal of Hydrogen Energy*, 59, 715-729, 2024.
4. Wang, D., Grimmelt, M. “Climate influence on the optimal stand-alone microgrid system with hybrid storage—A comparative study” *Renewable Energy*, 208, 657-664, 2023.
5. Suresh, V., Muralidhar, M., Kiranmayi, R., “Modelling and optimization of an off-grid hybrid renewable energy system for electrification in a rural areas” *Energy Reports*, 6, 594-604, 2020.
6. Chamazkoti, S. S., Hajinezhad, A., Moosavian, S. F., “Feasibility study of a flexible hybrid energy model with power-hydrogen production in wastewater treatment plant” *Energy Reports*, 11, 3189-3201, 2024.

7.Dekkiche, M., Tahri, T., Denai, M., “Techno-economic comparative study of grid-connected PV/reformer/FC hybrid systems with distinct solar tracking systems” *Energy Conversion and Management: X*, 18, 100360, 2023.

8.Ates, E., Karaarslan, N., “Investigation of Hybrid Renewable Energy Green House for Reducing Residential Carbon Emissions” *International Journal of Thermofluids*, 21, 100558, 2024.

9.Adedoja, O. S., Saleh, U. A., Alesinloye, A. R., Timiyo, T. E. J., Onuigbo, I. F., Adejuwon, O. O., Josiah, E., “An energy balance and multicriterial approach for the sizing of a hybrid renewable energy system with hydrogen storage” *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 4, 100146, 2023.

10.Kumar, P. H., Gopi, R. R., Rajarajan, R., Vaishali, N. B., Vasavi, K., Kumar, S., “Prefeasibility techno-economic analysis of hybrid renewable energy system” *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 7, 100443, 2024.

11.Alruwaili, M., Cipcigan, L., “Optimal grid-connected hybrid renewable energy system for a civilian airport” In *2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*, s. 1-6, IEEE, 2022.

12.Zhao, W., Zheng, Y., Chen, A., Zhao, Y., “Study on the Economic Analysis of Campus-Level Integrated Energy System Based on HOMER Pro Software: China Agricultural University East Campus Example” In *2023 6th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering (CEEPE)*, s. 1289-1294, IEEE, 2023.

13. Al Badi, A., Al Wahaibi, A., “Techno-Economic Analysis and Optimization of Solar Energy System for Power Generation and Hydrogen Production in Al Mazyouna Area” In *2022 3rd International Conference on Clean and Green Energy Engineering (CGEE)*, s. 26-31, IEEE, 2022.

14. Tiong, T., Wong, K. I., Wong, W. K., Chew, M. “Technoeconomic Analysis for Microgrid Renewable Energy with Battery and Hydrogen Storage” In *2022 IEEE 12th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* s. 0829-0835, IEEE, 2022.

15. Khan, A. A. M., Farooq, Z., Durrani, A. M., “Techno-Economic Evaluation of On-Grid Battery Energy Storage System at Peshawar using Homer Pro” In *2022 International Conference on Emerging Technologies in Electronics, Computing and Communication (ICETECC)*, s. 1-4, IEEE, 2022.

16. Chisale, S. W., Eliya, S., Taulo, J., “Optimization and design of hybrid power system using HOMER pro and integrated CRITIC-PROMETHEE II approaches” *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100005, 2023.

17. Cretu, M., Mureşan, N. A., Farkas, T., Czumbil, L., Darabant, L., Micu, D. D. “Analysis and simulation of a hybrid energy system using HOMER Pro for TUCN blocks of buildings* Note: Sub-titles are not captured in Xplore and should not be used. In *2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, s. 1-6, IEEE, 2023.

18.Kotian, S., Maliat, A., Azeez, A., Iqbal, T. “Design and simulation of a hybrid energy system for Ramea Island, Newfoundland” In2022 *IEEE 13th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, s. 0589-0595, IEEE, 2022.

19.Van Tri, B., Quang, N. K., “Economic and Technical Analysis of Hybrid Photovoltaic-Wind Energy Connected to Grid Systems” In *2023 8th International Scientific Conference on Applying New Technology in Green Buildings (ATiGB)*, s. 181-185, IEEE, 2023.

20.Gospodinova, D., Dineff, P., Milanov, K., “Greenhouse Gas Emissions Assessment After Renewable Energy Sources Implementation In Bulgarian Grid-Connected Single-Family Houses By HOMER Pro Software” In2020 *12th Electrical Engineering Faculty Conference (Bulef)*, s.1-6, IEEE, 2020.

21.Mannai, H., Oueslati, H., Mabrouk, S. B.,“Homer based optimization of pv-wind-grid connected hybrid system in administrative building” In2020 *6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon)*, s. 830-835, IEEE, 2020.

22.Katauea, N., Chand, S. S., Prasad, R., Ram, K. R., Mohammadi, A., Cirrincione, M.,“Feasibility Study of Hybrid Microgrids with Green Hydrogen Production Capability for Kiribati” In2023 *IEEE International Conference on Energy Technologies for Future Grids (ETFEG)*, s. 1-6, IEEE, 2023.

23.Sedeeqi, M. M., Vaisakh, K.,Sahoo, N. C., “Homer pro based techno-economic analysis for remote area electrification of Awbeh Village in Afghanistan” In2022 *IEEE 2nd International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SeFeT)*,s. 1-6, IEEE, 2022.

24.Ayan, O.,Turkay, B. E.,“Techno-Economic Comparative Analysis of Grid-connected and Islanded Hybrid Renewable Energy Systems in 7 Climate Regions, Turkey” , *IEEE Access*, 2023.

25.Medam, R. R., Kavitha, K., Chandrashekar, T., “Techno-economic analysis of hybrid renewable energy based community microgrid” In *2021 IEEE Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)*, s. 1-6, IEEE, 2021.

26.Adetoro, S. A., Nwohu, M. N., Olatomiwa, L.,“Techno-economic analysis of hybrid energy system connected to an unreliable grid: a case study of a rural community in Nigeria” In *2022 IEEE Nigeria 4th International Conference on Disruptive Technologies for Sustainable Development (NIGERCON)*, s. 1-5, IEEE, 2022.

27.Mbasso, W. F., Naoussi, S. R. D., Molu, R. J. J., Saatong, K. T., Kamel, S., “Technical assessment of a stand-alone hybrid renewable system for energy and oxygen optimal production for fishes farming in a residential building using HOMER pro” *Cleaner Engineering and Technology*,17, 100688, 2023.

28.Ennemiri, N., Berrada, A., Emrani, A., Abdelmajid, J., El Mrabet, R.,“Optimization of an off-grid PV/biogas/battery hybrid energy system for electrification: A case study in a commercial platform in Morocco” *Energy Conversion and Management: X*,21, 100508, 2024.

29.Yan, C., Zou, Y., Wu, Z., Maleki, A.,“Effect of various design configurations and operating conditions for optimization of a wind/solar/hydrogen/fuel cell hybrid microgrid system by a bio-inspired algorithm” *International Journal of Hydrogen Energy*,60, 378-391, 2024.

30.Sunny, M. R., Ali, T., Aghaloo, K., Wang, K.,“Techno-economic feasibility of stand-alone hybrid energy system with battery storage in educational buildings: A case study of Uttara University” *Energy and Buildings*,304, 113852, 2024.

31.İnternet: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı “Yenilenebilir kapasite istatistikleri 2024 (irena.org)” IRENA_RE_Capacity_Statistics_2024.pdf.

32.İnternet: Yük Tevzi Bilgi Sistemi“İstatistikler (teias.gov.tr) ” İstatistikler (teias.gov.tr).

33.Aydın, H., “Dağıtık üretim tesislerinin şebekeye entegrasyonu”, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Konya, 2023.

34.Yıldırım, O., Okay, M., Akpolat, A. N., & Dursun, E., “Internet of Things for the Distributed Generation” In *2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)* (pp. 1-4). IEEE, 2019.

35.Rani, P., Parkash, V., & Sharma, N. K., “Technological aspects, utilization and impact on power system for distributed generation: A comprehensive survey” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 192, 114257, 2024.

36.Koç, E., Kaya, K., “Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu” *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47, 2015.

37.Yılmaz, M., “Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi” *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54, 2012.

38.Wang, G., Zhang, Z., & Lin, J., “Multi-energy complementary power systems based on solar energy” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114464, 2024.

39.Stritih, U., Osterman, E., Evliya, H., Butala, V., & Paksoy, H., “Exploiting solar energy potential through thermal energy storage in Slovenia and Turkey” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 442-461, 2013.

40.Sayın, S.,& Koç, İ., “Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yaralanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri” *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 89-106, 2011.

41.Kılıç, F. Ç., “Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri” *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28-40, 2015.

42.Rüstemli, S., Dinçer, F., Çelik, M., & Cengiz, M. S., “Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 141-147, 2013.

43.Elibüyük, U.,& Üçgül, İ.,“Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri” *Yekarum*, 2(3), 2014.

44.Badger, J., Hahmann, A., Larsén, X. G., Badger, M., Kelly, M., Olsen, B. T., & Mortensen, N. G., “The global wind atlas: an eudp project carried out by dtu wind energy”, 2015.

45.Dursun, B.,& Gokcol, C., “Impacts of the renewable energy law on the developments of wind energy in Turkey” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 318-325, 2014.

46.Nurbay, N.,& Çınar, A., “Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması ” *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21, 2005.

47.Chen, Q., Huo, C., Dong, X., Zhang, Y., & Rong, X.,“Application of Hydrogen Energy Storage Technology and its Impact on Short-circuit Current” In *2023 5th International Conference on Electrical Engineering and Control Technologies (CEECT)* (pp. 113-117). IEEE, 2023.

48.Geliş, K.,“Şeffaf bir PEM Yakıt Hücresinin Performansının Değerlendirilmesi” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(3), 1852-1863, 2020.

49.Yılmaz, A., Ünvar, S., Ekmen, M., Aydın, S., “Yakıt Pili Teknolojisi” *Technological Applied Sciences*, 12(4), 185-192, 2017.

50.İlkkılıç, C. İ. C. Ö. Z.,& Hazar, A. H. D. H., “Yakıt Pillerinin Yapısı, Çalışma Prensipleri ve Çeşitleri”, 2017.

51.Bai, H., Chen, H., & Shi, W., ‘‘Hydrogen Production by Renewable Energy and Future Trend in China’’ In *2022 IEEE 6th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)* (pp. 676-680). IEEE, 2022.

52.Dincer, K., ‘‘Pem Yakıt Hücresinin Katod Tarafı Performansının Geliştirilmesi’’ *Selçuk-Teknik Dergisi*, 13(2), 38-49,2014.

53.Taşın, A., ‘‘Mikro şebeke uygulamalarının güç dağıtım sistemi güvenilirliğine etkisinin incelenmesi’’, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2021.

54.Kocaman, B., ‘‘Mikro şebekeler için örnek bir enerji yönetimi uygulaması’’ *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 35-52, 2014.

55.Yolcan, O. O.,& Köse, R., ‘‘Türkiye’nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler’’ *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215, 2020.