



T.C.

Ardahan Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

**ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS BİNALARI İÇİN OPTİMUM
HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Kadir AYDIN

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇOBAN

Yüksek Lisans Tezi

Ardahan, 2024

ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS BİNALARI İÇİN OPTİMUM HİBRİT
YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN BELİRLENMESİ

Kadir AYDIN

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇOBAN

Ardahan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ardahan, 2024

KABUL VE ONAY

Kadir Aydın tarafından hazırlanan “Ardahan Üniversitesi Kampüs Binaları İçin Optimum Hibrit Yenilenebilir Enerji Üretim Sistemlerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, 02.05.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi, Aytaç LEVET (Başkan)

Dr. Öğretim Üyesi, Hasan Hüseyin ÇOBAN (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi, Arif Cem TOPUZ (Üye)

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa ŞENEL
Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Ardahan Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / Ardahan Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

02/05/2024

Kadir AYDIN

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü tezle ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkânı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* **Tez danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, Tez Danışmanının **Dr. Öğretim Üyesi, Hasan Hüseyin ÇOBAN** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Ardahan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Kadir AYDIN

ÖN SÖZ

“Ardahan Üniversitesi Kampüs Binaları İçin Optimum Hibrit Yenilenebilir Enerji Üretim Sistemlerinin Belirlenmesi” çalışması ile Ardahan Üniversitesi’nin elektrik enerjisi ihtiyacının yenilenebilir kaynaklar ile temini için gereken kaynak potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma sürecinde yol gösterici tavırlarıyla çalışmamın şekillenmesine ve akademik anlayışımın ilerlemesine katkı sağlayan, değerli fikirleri ve önerileriyle yeni ufuklar edinmemde emeği olan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇOBAN’a şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

Akademik hayatımda beni manevi olarak destekleyen ve bu destekle güç aldığım kıymetli eşime ve çocuklarıma, beni her türlü zorluklarla yetiştiren kıymetli anneme ve babama teşekkür ederim.

Kadir AYDIN
Ardahan-2024

ÖZET

AYDIN, Kadir. *Ardahan Üniversitesi Kampüs Binaları İçin Optimum Hibrit Yenilenebilir Enerji Üretim Sistemlerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ardahan, 2024.

Nüfus artışı ve sanayileşmenin artması nedeniyle dünya enerji tüketimi artmaktadır. Geleneksel enerji kaynakları, sera gazı emisyonu ve yüksek yaşam döngüsü maliyetleri gibi zorlukları dikkate alarak bu gereksinimleri karşılayamaz durumdadır. Fosil kaynaklı yakıtların hem tükenebilir olması hem de elektrik enerjisi üretim sürecinde ortaya çıkan CO₂'nin küresel anlamda ozon tabakasına zarar vermesi ve buna bağlı iklim değişimlerine sebep olması ciddi sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek daha popüler hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle elektrik sektöründe artan enerji tüketiminin karşılanmasında geleneksel kaynaklara uygun alternatiflerdir. Son yıllarda artan enerji talebinin karşılanması ve küresel ısınmayla mücadele amacıyla yenilenebilir enerji kullanım oranının artırılması ülkelerin önemli hedeflerinden biri haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının depolama dışında geleneksel fosil bazlı kaynaklarla da entegre edilmesi Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerini (HYES) ortaya çıkarmaktadır. Minimum yatırım ve işletme maliyetlerine ulaşmak ve aynı zamanda teknik ve emisyon kısıtlamalarını karşılamak için HYES ekipmanının optimal boyutu belirlenmelidir. Bu tez çalışmasında, Ardahan üniversitesi kampüs içinde yer alan binaların elektrifikasyonu için hibrit yenilenebilir enerji sistemleri tasarlanmış ve en iyi ekonomik ve çevresel sonuçlar elde etmek için çıktıların optimize edilmesi amacıyla Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) programı kullanılmıştır. En ekonomik tasarım birim enerji maliyeti 966.000\$ ile sadece güneş enerjisi kullanan şebeke bağlantılı sistem olurken, en uygun maliyetli tasarım ise yaklaşık 0,005 \$/kWh ile güneş enerjisi ve hidroelektrikten oluşan bağımsız sistem oldu. Çevre açısından ise tam tersine, şebekeli sistemler daha az karbondioksit salınımına neden olurken, şebekeden bağımsız sistemler daha fazla karbondioksit salınımına neden olmaktadır.

Anahtar Sözcükler:

Enerji depolama sistemleri, hibrit enerji sistemleri, yenilenebilir enerji kaynakları, optimizasyon, optimum boyutlandırma, enerji maliyeti.

ABSTRACT

AYDIN, Kadir. *Determination of The Optimum Hybrid Renewable Power Generating Systems for Campus Buildings of Ardahan University*, Master's Thesis, Ardahan, 2024.

World energy consumption is increasing due to population growth and increased industrialization. Conventional energy sources cannot meet requirements such as greenhouse gas emissions and high life cycle costs. It is a serious problem that fossil energy sources are both depletable and that the CO₂ released during the electrical energy generation process damages the global ozone layer and causes climate changes. For this reason, the use of renewable energy sources has become increasingly popular. Renewable energy sources are suitable alternatives to conventional sources to meet the increasing energy consumption, especially in the electricity sector. In recent years, increasing the use of renewable energy in order to meet the increasing energy demand and fight against global warming has become one of the important goals of countries. Integrating renewable energy resources with conventional fossil-based resources, creates Hybrid Renewable Energy Systems (HYES). The optimal size of HYES equipment must be determined to achieve minimum investment and operating costs and meet technical and emission constraints. In this thesis, hybrid renewable energy systems were designed for the electrification of buildings within the Ardahan University campus and the Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) program was used to optimize their outputs to obtain the best economic and environmental results. The most economical design was the grid-connected system using only solar energy with a cost of \$966,000, while the most cost-effective design was the off-grid system consisting of solar energy and hydroelectricity with approximately \$0.005/kWh. In terms of the environment, on the contrary, networked systems cause less CO₂ emissions, while off-grid systems cause more CO₂ emissions.

Keywords:

Energy storage systems, hybrid energy systems, renewable energy sources, optimization, optimum sizing, energy cost.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖN SÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM.....	6
LİTERATÜR TARAMASI	6
2. BÖLÜM.....	10
GENEL METODOLOJİ VE VARSAYIMLAR.....	10
2.1. YÖNTEM.....	10
2.2. SINIRLAMALAR.....	11
2.3. ENERJİ KAYNAKLARI	12
2.3.1. Ardahan İli'nin Enerji Potansiyeli.....	12
2.3.1.1. Kura Nehri ve Enerji Potansiyeli.....	13
2.3.1.2. Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli.....	14
2.3.1.3. Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	15
2.4. YÜK VE PROFİL DEĞERLENDİRİLMESİ.....	16
2.5. HOMERPRO PROGRAMINDA modelleme süreci.....	18
2.5.1. Hidroelektrik Sistemi Modeli.....	18
2.5.2. Güneş Sistemi (PV) Modeli.....	18
2.5.3. DC-AC Konvertör	19
2.5.4. Rüzgâr Türbini Modeli.....	19
2.5.5. Batarya ve Depolama Modeli.....	20
2.5.6. Dizel Jeneratör Modeli	21
2.5.7. Şebeke Modeli	22
2.5.8. Ekonomik Hesaplamalar	22
3. BÖLÜM.....	24

SİMÜLASYON ANALİZLERİ	24
3.1. ŞEBEKEYE BAĞLI SİSTEMLER (ON-GRID).....	24
3.1.1. Güneş PV Senaryosu	24
3.1.2. Güneş PV ve Hidroelektrik Senaryosu.....	27
3.1.3. Hidroelektrik ve Rüzgâr Senaryosu.....	29
3.1.4. Hidroelektrik, Güneş, Rüzgâr ve Batarya Senaryosu.....	32
3.2. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ SİSTEMLER (OFF-GRID)	35
3.2.1. Güneş PV Senaryosu ve Batarya Senaryosu	35
3.2.2. Güneş PV ve Hidroelektrik Senaryosu.....	37
3.2.3. Hidroelektrik ve Rüzgâr Senaryosu.....	40
3.2.4. Hidroelektrik, Güneş, Rüzgâr ve Batarya Senaryosu.....	42
3.3. HASSASİYET ANALİZİ	44
3.4. TARTIŞMA	46
SONUÇ.....	48
KAYNAKÇA	50
EKLER.....	56
EK 1. ORJİNALLİK RAPORU FORMU	56
EK 2. ETİK KURUL MUAFİYET İZNİ.....	57
ÖZ GEÇMİŞ.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CO₂	Carbon Dioxide
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewable
PV	Photovoltaics
HYES	Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi
NREL	National Renewable Energy Laboratory
LCOE	Levelized Cost of Electricity
NBD	Net Bugünkü Değer
IRR	Internal Rate of Return
h	Saat
DSİ	Devlet Su İşleri
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RES	Renewable Energy Systems
USD	United States Dollar
OC	İşletme Maliyeti
IC	Kuruluş Sermayesi

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan farklı sistem bileşenlerinin detayları	22
Tablo 2. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi.....	25
Tablo 3. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları	25
Tablo 4. Şebekeden alınan/satılan enerji.....	26
Tablo 5. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi.....	27
Tablo 6. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları	28
Tablo 7. Şebekeden alınan/satılan enerji miktarı	29
Tablo 8. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi.....	30
Tablo 9. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları	30
Tablo 10. Şebekeden alınan/satılan enerji.....	32
Tablo 11. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi.....	33
Tablo 12. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları	33
Tablo 13. Şebekeden alınan/satılan enerji.....	35
Tablo 14. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi.....	36
Tablo 15. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları	36
Tablo 16. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi.....	38
Tablo 17. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları	39
Tablo 18. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi.....	40
Tablo 19. Yıllık ekonomik ve sera gazı salınım sonuçları.....	41
Tablo 20. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi.....	42
Tablo 21. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları	43
Tablo 22. Önerilen sistemin ekonomik optimizasyon sonuçları.....	44
Tablo 23. Simülasyonda kullanılan bileşen ve kaynak duyarlılığı değişkenlerinin özeti	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kura Nehri'nin 2016-2020 yılları arası ait ortalama debi grafiği	13
Şekil 2. Kura Nehri'nin 2016-2020 yılları arasında aylık ortalama debi grafiği	14
Şekil 3. Ortalama rüzgâr hızının aylık değişimi.....	15
Şekil 4. 2010-2021 yılları arasında Ardahan iline ait aylık olarak güneşlenme süresi ...	15
Şekil 5. Günlük clearless index ve ışıınım grafiği	16
Şekil 6. Ardahan Üniversitesi kampüs binalarının 2016-2021 yılı aylık enerji tüketim grafiği	17
Şekil 7. Ardahan Üniversitesi Yenisey Kampüsü binalarının 2016-2021 yıllarında enerji tüketim grafiği.....	17
Şekil 8. Seçilen türbinin (Enercon E-53) rüzgâr hızı güç eğrisi	20
Şekil 9. Dizel jeneratör yakıt tüketim grafiği.....	21
Şekil 10. Şebekeli PV sistemin şematik diyagramı.....	24
Şekil 11. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi	26
Şekil 12. Maliyet özeti	26
Şekil 13. Şebekeli PV ve hidroelektrik sisteminin şematik diyagramı	27
Şekil 14. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi	28
Şekil 15. Maliyet özeti	28
Şekil 16. Şebekeli hidroelektrik ve rüzgâr sisteminin şematik diyagramı	29
Şekil 17. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi	31
Şekil 18. Maliyet özeti	31
Şekil 19. Şebekeli PV,rüzgâr, hidroelektrik ve batarya sisteminin şematik diyagramı. ...	32
Şekil 20. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi	34
Şekil 21. Maliyet özeti	34
Şekil 22. Şebekesiz PV, jeneratör ve batarya sistemin şematik diyagramı.....	35
Şekil 23. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi	37
Şekil 24. Maliyet özeti	37
Şekil 25. Şebekesiz PV, hidro ve jeneratör sisteminin şematik diyagramı.....	38
Şekil 26. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi	39
Şekil 27. Maliyet özeti	39
Şekil 28. Şebekesiz hidro,rüzgâr ve jeneratör sisteminin şematik diyagramı.....	40
Şekil 29. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi	41
Şekil 30. Maliyet özeti	41

Şekil 31. Şebekesiz PV, hidro, rüzgâr,jeneratör ve batarya sisteminin şematik diyagramı	42
Şekil 32. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi	43
Şekil 33. Maliyet özeti	43
Şekil 34. Beş farklı değişkenin örümcek grafiği.....	46



GİRİŞ

Enerji üretim ve tüketim süreci sürekli değişmekte ve hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Bu artışa bağlı olarak artan enerji ihtiyacının da artışı ile kaynak noktasında ciddi sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Artan enerji ihtiyacına bağlı olarak sınırlı kaynaklarla bu sürecin sürekliliğinin olamayacağı veriler ışığında görülmektedir. Bu nedenle yenilenebilir ve sürekliliği olan kaynakların tercih edilirlilik oranı hızla artmaktadır. Artan enerji ihtiyacının yanı sıra ülkelerin enerji ihtiyacı konusunda dışa bağımlılıklarını azaltma politikaları da göz önüne alındığında yenilenebilir kaynak potansiyeli yüksek olan ülkelerin enerji bağımsızlığı noktasında avantajlı olacağı bilinmektedir. Fosil kaynakların tükenme durumu ve sınırlı alanlarda olması bu kaynakları elde bulunduran ülkelerin ciddi anlamda bunu dış politikalarda kullanabileceği ve fosil kaynaklara sahip olmayan ülkelerin enerji krizi ile baş başa kalacağı öngörülmektedir. Bu sebeplerden dolayı sürekliliği olan ve küresel iklim koşullarının da değişimi göz önünde buldurulduğunda temiz enerji kaynaklarının önemi daha da artmaktadır. Bu çalışmanın amacı Ardahan ilinin yenilenebilir enerji potansiyelinin Ardahan Üniversitesi kampüs binalarının enerji tüketimini ne ölçüde karşılayabileceğinin belirlenmesidir.

Enerji, sosyo-ekonomik kalkınmanın ve insanların yaşam standartlarının yükseltilmesi için temel bir ihtiyaçtır. 20. yüzyılın ortalarından bu yana küresel enerji talebi arttı ve bu eğilimin önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmektedir. Dünyanın gelişmekte olan ülkelerinin birçoğunda hızlı sanayileşme ve hızla artan orta sınıf, çoğunlukla ana nedenler olarak gösterilmektedir.

Enerji ihtiyacının artması ile fosil kaynaklı yakıt kullanımı artmakta ve bu artış neticesinde dünya küresel ölçekte iklim krizi oluşturacak şekilde küresel ısınmaya maruz kalmaktadır (Nema, Nema ve Roy, 2012). Tarımın, endüstriyel süreçlerin ve diğer küçük öğelerin birlikte insanlığın sera gazı emisyonlarının %29,8'ini oluşturduğu, küresel enerji üretiminin ise geri kalan %70,2'sini oluşturduğu tahmin edilmektedir (Aydın, 2023).

Küresel ısınmaya neden olan fosil yakıt kullanımı ciddi etkiler oluşturmaktadır (Akyuz , 2021). Karbon salınımı ile sera gazı emisyon değerlerinin artması ile Dünya'nın sıcaklığı artmakta ve bu artış neticesinde iklim değişimleri olmaktadır. İklim değişimleri

ile canlıların yaşam alanları azalmaktadır (Bartholy *vd.* , 2012). Artan enerji talebi ve küresel ısınma gibi çevre sorunları, çevre dostu yenilenebilir enerjilere olan ilginin artmasına neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı 1990'dan bu yana %300 ila %400 aralığında artmasına rağmen enerjinin büyük bir kısmı hâlen fosil kaynaklı olup, 2022 yılında dünyada tedarik edilen enerjinin %70 ila %80'ni petrol, kömür ve doğal gaz oluşturmuştur (Raza *vd.*, 2022).

Karbon salınımının azaltılması için Kyoto Protokolü (Anon ,1997) ve Paris İklim Anlaşması (Horowitz ,2016) ile ülkeler bu salınımın azaltılması adına çalışmalara katılmak ve kendilerine düşen sorumlulukları yerine getirmek için fosil kaynakların kullanımını azaltma çalışmaları yapmaktadırlar. Küresel iklim değişimlerinin en aza indirgenmesi ve bunun yanında enerji krizlerinin olması nedeniyle yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi konusu daha da önemli olmaktadır. Ülkelerin çoğu enerji de bağımlılığı azaltmak adına yenilenebilir üretim süreçlerini kendi enerji politikalarına entegre çalışmaları yapmaktadırlar (Aslani, Helo ve Naaranoja 2014). Türkiye'deki enerji otoritesi, mevcut ve gelecekteki enerji kullanıcılarına uyarlanmış güvenli bir enerji tedarigi için çalışmaktadır. Güvenli enerji tedarigi, maliyet etkinliği ile çevre, sağlık ve iklim üzerindeki olumsuz etkinin düşük olması arasında dengelenmelidir. Özel sektörde pek çok şirket son yıllarda yenilenebilir enerji üretimine çeşitli şekillerde yatırım yaparak iklim etkilerini azaltmaya yönelik girişimlerde bulunmaktadır (Ağırkaya ,2022). İGA İstanbul Havalimanı, Türkiye'deki ilk güneş enerjisi santralini kullanarak elektrik ihtiyacını karşılamak için bir proje başlattı (Erkalan, 2024). Eskişehir'de kurulacak 199,32 MW gücündeki güneş enerjisi santralinde 439000 PV panel kurulacak ve yıllık 340 milyon kWh enerji üretimi hedefleniyor. Proje, İstanbul Havalimanı'nın tüketilen elektriğin tamamını güneş enerjisinden sağlayan dünyadaki ilk havalimanı olacak. Planlanan yatırım miktarı 212 milyon avro. İGA İstanbul Havalimanı CEO Vekili Selahattin Bilgen, projenin sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağladığını belirtti. Bu projeye 105996 ton karbon salınımının önüne geçilerek iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması hedefleniyor. İGA İstanbul Havalimanı, 2050 Net Sıfır Karbon Emisyonu taahhüdü kapsamında çeşitli stratejilerle karbon emisyonlarını azaltmayı planlıyor.

Ramazan Bayramı'nın kutlandığı 10-11-12 Nisan 2024 tarihlerinde Türkiye'nin elektrik üretiminde yenilenebilir kaynaklar ortalama %76 payla öne çıktı. AA muhabirinin TEİAŞ verilerine dayanarak hazırladığı derleme, Türkiye'de Ramazan

Bayramı süresince elektrik tüketimi ve üretimiyle ilgili çarpıcı bilgiler sunuyor (Temizer 2024). Bayramın üç gününde 1 milyon 692 bin 329 MWh elektrik tüketilirken, üretilen elektrik miktarı 1 milyon 703 bin 521 MWh olarak kaydedildi. Elektrik üretiminde, ilk gün barajlı hidroelektrik santralleri %22,44'lük payla öne çıktı. İkinci gün rüzgar enerjisi %22,79'luk payla liderliği ele alırken, son gün ise barajlı hidroelektrik santralleri %24,52'lik payla en fazla üretimi gerçekleştirdi. Bayram boyunca yenilenebilir kaynaklar toplam elektrik üretiminin %76'sını sağladı. Enerji uzmanı Taner Ercömert, Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeline dikkat çekerek güneş, rüzgâr ve hidroelektrik enerjisinin önemini vurguladı. Ercömert'e göre, bu kaynaklar Türkiye'nin enerji ithalatını azaltabilir ve yerli kaynaklar daha da ön plana çıkabilir. Enerji üretiminde kesintili kaynakların olduğunu belirten Ercömert, bu durumun enerji depolama sistemleriyle dengeleyebileceğini ifade etti. Türkiye'nin enerji ithalatını önlemenin ulusal çıkarlar açısından önemine vurgu yapan Ercömert'e göre, 2024'ün ilk 3,5 ayında yenilenebilir kaynaklar ülkenin enerji ithalatını önlemiş ve yenilenebilir enerji payını artırmıştır.

Son yıllarda güneş pilleri, rüzgâr enerjisi ve pil depolama maliyetleri önemli ölçüde azalmış ve Türkiye'de elektrik enerjisi arzındaki değişime katkıda bulunmuştur (Altun ve Kilic ,2020). Türkiye elektrik sisteminde tarihsel olarak büyük merkezi üretim kaynaklarına dayanan küçük ölçekli dağıtılmış yenilenebilir üretim unsurları artmıştır. Fosil enerji kaynaklarına olan bağımlılığın yenilenebilir enerji kaynakları lehine kademeli olarak ortadan kaldırılması için çalışmak, yalnızca iklimin korunması meselesi değil, aynı zamanda büyük ölçüde gelecekteki enerji arzının ve buna bağlı koruyucu değerlerin güvence altına alınması meselesidir. Ekonomik büyümenin, halkın sağlığının ve güvenliğinin, ani fiyat artışlarından, enerji kesintilerinden ve uzun vadeli yüksek fiyatlardan korunması gerekmektedir.

Araştırmanın Amacı ve Hedefi

Giriş bölümünde açıklanan kapsamda ülkemizin enerji kaynakları bakımından dışa bağlı olduğu durumunu dikkate alarak bu tez çalışmasında Ardahan Üniversitesi'nin kampüs binalarının enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklar tercih edilerek üretilmesi hem dışa bağımlılığın azaltılması hem de küresel ölçekte iklim krizine karşı ülkemizin sorumluluk alanına katkı sağlanması hedeflenmektedir. Öğrenci sayısı ve buna bağlı olarak dersliklerin artması ve elektrikli araçların oranının artması, Ardahan Üniversitesinde elektrik enerjisinin öneminin artmasının nedenleri arasındadır.

Bu çalışmanın amacı, Ardahan üniversitesinin yük profilinin yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanıp karşılanamayacağı operasyonlarının potansiyelini araştırmaktır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının finansal olarak hem birbiri hem de diğer enerji kaynaklarıyla rekabet edip edemeyeceğini ve böylece yenilenebilir kaynakların gelecekte Türkiye enerji sistemi için ne kadar önem arz edeceği görülecektir.

Bu çalışmanın amaçlarından bir diğeri Ardahan üniversitesi enerji tüketimin yenilenebilir enerji için hem enerji açısından hem de ekonomik açıdan olası uygunluğunu gösteren bir rapor sunmaktır. Fazlalığın üretimin %10'u civarında olmasına izin verildiğinde, kampüs alanında ne kadar yenilenebilir enerji üretebileceği konusunda bir sonuca varılabilecektir. Diğer bir amaç ise Ardahan üniversitesine olası bir hibrit yenilenebilir sisteminin kurulumuna ilişkin kararlar için bir temel sağlamaktır. Bu çalışmada ekonominin önemli bir parametre olduğu ve farklı yenilenebilir kaynaklar ile farklı hibrit sistem önerilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın Kapsamı

Ardahan Üniversitesi kampüs binalarının enerji ihtiyacı her geçen yıl büyümeye bağlı olarak artmaktadır. Artan enerji ihtiyacının şebekeden tedarik edilmesi hem enerji maliyetinin artışına hem de üretilen enerjinin fosil kaynaklı üretimine bağlı olarak karbon emisyonunun artışına sebep olmaktadır. Bu çalışmada enerji ihtiyacının fosil kaynaklar yerine yenilenebilir kaynaklardan rüzgâr, hidroelektrik, güneş ile karşılanma durumunun ve bu alternatif durumların hem Ardahan'ın enerji potansiyeline bağlı olarak yeterli olup olmayacağı hem de alternatif enerji üretimlerinin hangi oranda verim ve fayda sağlayacağını analizi sonraki üretim çalışmalarına fayda sağlayacaktır.

Bir diğer deyişle bu tez, Ardahan Üniversitesinin mevcut enerji ihtiyacını araştırmayı ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilecek enerji üretiminin ne kadar olması gerektiğini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Uzun vadeli (5 yıl) geçmiş tüketim bilgilerine dayanarak Ardahan üniversitesinin elektrik enerjisinde kendi kendine yeterli hale gelmesi için bir veya daha fazla yenilenebilir enerji üretim tesisi kurulumunun ne kadar büyük olması (kapasite) gerektiğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Sonuç olarak, Türkiye'deki yenilenebilir üretim tesisi yatırımlarında hangi piyasa koşullarının geçerli olduğunu araştırmak ve bunların Ardahan Üniversitesi için enerji üretim tesisi kurulumlarının boyutlandırılmasını nasıl etkilediğini araştırmak da tezin amacının bir parçasıdır. Ayrıca, elektrik enerjisi açısından üniversitenin kendi kendine yetebilmesine

en iyi şekilde katkıda bulunmak amacıyla, teknik ve piyasa koşullarına dayalı olarak, şirketlerle bağlantılı olarak bir veya birden fazla enerji tesisi kurulumunun nasıl boyutlandırılması gerektiğini belirlemektir.

Araştırma Soruları

Bu tez çalışması için aşağıdaki sorular formüle edilmiştir:

- Ardahan Üniversitesinin mevcut enerji tüketimi aylık bazda nedir?
- Belirli bir gelecekte bu enerji tüketiminin ne kadar artması beklenebilir?
- Kampüs alanının yakınından geçmekte olan Kura nehrinin hidroelektrik santralının enerji üretim potansiyeli nedir?
- Ardahan Üniversitesinin elektrik enerjisinde kendi kendine yetebilmesi için ne kadar güneş enerjisi kurulması gerekiyor?
- Güneş pili yatırımlarına yönelik piyasa koşulları nelerdir ve bunlar Ardahan üniversitesinin güneş pili kurulumlarının boyutlandırılmasını nasıl etkiler?
- Ardahan Üniversitesine bağlı olarak hibrit yenilenebilir tesisinde batarya sistemi, güneş pili ve rüzgâr enerjisi etkisi nasıl boyutlandırılabilir ve kurulabilir?
- Ardahan Üniversitesinin yukarıda bahsedilen yenilenebilir kaynaklı en ekonomik şekilde bir enerji tesisine yatırım yapmasının maliyeti ne olacaktır?

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde sunulan literatür taramasının amacı iki yönlüdür. Birincisi, bu çalışmaya olan ihtiyacı haklı çıkaran boşluğu dair kanıt sağlar; ikincisi, aynı zamanda çalışmada kullanılan metodolojiye destek sağlar ve karşılaştırma için bir bilgi kaynağıdır. Bu amaçlar göz önüne alındığında, esas olarak analitik araç olarak HOMER (Elektrikli Yenilenebilir Enerji için Hibrit Optimizasyon Modeli) programına dayanan çalışmalara odaklanarak mevcut çalışmaların sınırlamalarını göstermek için literatür kullanılmıştır.

Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinde önemli konulardan biri, hedef fonksiyonların en aza indirilmesi veya maksimumlaştırılması ve tüm kısıtlamaların karşılanması için, örneğin güneş panelleri dizileri, rüzgâr türbinlerinin sayısı, bataryalar, dönüştürücülerin ve jeneratörlerin kapasitesi gibi bileşenin optimal planlanmasıdır. Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri literatürüne, optimum sistem boyutunu belirlemek amacıyla optimal tasarım çalışmaları hakimdir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde sistem kapasitesi söz konusu olduğunda maliyet birincil endişe kaynağıdır.

Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerin optimum tasarımı yapılırken bölgedeki yenilenebilir potansiyelden maksimum faydalanma, minimum enerji maliyeti, minimum emisyon gibi hedef veya kısıtları içerir. Literatürde enerji sistemlerinin tasarımları çeşitli optimizasyon teknikleri, araçlar ve bilgisayar simülasyon yazılımları aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu amaçla literatürde birçok optimizasyon ve yazılım yaklaşımı (Connolly *vd.*, 2010; Sinha ve Chandel ,2014) önerilmektedir. Bazı simülasyon programları Hybrid2 (Mills ,2004) RETScreen (Elegeonye *vd.*, 2023; Swarnkar ve Gidwani ,2016) pvSYST (Baqir ve Channi, 2022; Morshed *vd.*, 2015) SolarMAT (Morshed *vd.*, 2015) SolSim (Schaffrin ve Knoblich ,2020) TRNsys (Figaj, Żoładek ve Goryl 2020; Rashad *vd.*, 2022) HOMERPro (Morshed *vd.*, 2015) SAM (Cuesta, Castillo-Calzadilla ve Borges ,2020) EnergyPro (Østergaard, Andersen ve Sorknæs ,2022; Sharma *vd.*, 2019) EnergyPLAN (Coban ,2020) çalışmalarda kullanılmış ve destekledikleri özelliklere göre karşılaştırılmıştır. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin optimal planlama ve operasyon tekniklerini farklı bakış açılarından inceleyen çalışmalar vardır.

Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri bileşeninin farklı optimizasyon yöntemleri ve modellemesi (Anoune *vd.*, 2018; Bhandari *vd.*, 2015; Siddaiah ve Saini, 2016)'de gözden geçirilmiştir. Bağımsız sistemleri simüle etmek ve optimize etmek için literatürde bildirilen tasarım ve kontrol teknikleri (Harish ve Kumar, 2016; Olatomiwa *vd.*, 2016)'da anlatılmıştır. Literatürde hibrit yenilenebilir enerji sistemleri üzerine çok sayıda kapsamlı araştırma makalesi bulunmaktadır, bazı çalışmalar incelenmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

(Kim ve Kim, 2023)'de, Güney Kore'deki bir veri merkezinin elektrik talebini yeşil ve güvenilir bir şekilde sağlamak için, Elektrikli Yenilenebilir Enerji Kaynakları için Hibrit Optimizasyon Modeli (HOMER) kullanılarak rüzgâr türbini, PV ve batarya depolama sistemini içeren şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistem bileşenleri ve şebekenin kararlı durum ve geçici tepkileri DlgSILENT programında analiz edildi.

(Randhawa *vd.*, 2019)'daki yazarlar, HOMERPro'yu kullanarak Pakistan'daki Riphah Üniversitesi Faisalabad Kampüsü için PV, rüzgâr türbini ve dizel jeneratör ile şebekeden bağımsız bir hibrit yenilenebilir enerji sistemi tasarladılar.

(Kassem *vd.*, 2023)'de, Kuzey Kıbrıs'ta 37 lokasyonda çeşitli güneş takip sistemlerine sahip çeşitli ölçekli şebekeden bağımsız PV sistemleri, matematiksel modelleme yöntemleri ve RETScreen yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır.

(Agajie *vd.*, 2023)'teki yazarlar, Etiyopya'da Debre Markos Üniversitesi, enerji talebini karşılamak için PV ve biyogaz jeneratörü ve süper iletken manyetik enerji depolamalı veya batarya depolama sistemi olarak pompalı hidro enerji depolamalı şebekeye bağlı bir HYES tasarladılar. Bu tasarımda, güç ve frekans salınımlarını ve çeşitli değişkenleri en aza indirmek için karışıklık tabanlı balina optimizasyon algoritmasına sahip orantı-AI-integr AI-derivatif (PID) kontrolörler ve bulanık kontrolörler için kesirli dereceli (fractional order) bir hesap önerildi. Önerilen algoritmanın performansını karşılaştırmak için metasezgisel algoritmalar kullanılmıştır.

(Kiyak *vd.*, 2023)'te Türkiye'nin kuzey ve güneyinde bulunan Samsun ve Antalya limanlarının güvenlik sistemlerine kesintisiz güç sağlamak için dizel jeneratör, PV, rüzgâr türbini ve batarya depolama sistemini içeren şebekeli ve şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sistemi tasarımları HOMER kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tekirdağ Çerkezköy'deki bir bina için şebekeye bağlı çatı üstü güneş enerjisi sisteminin ekonomik ve çevresel değerlendirmesi HOMER kullanılarak incelenmiştir (Purlu ve Ozkan ,2023).

Khan ve Iqbal (Khan ve Iqbal, 2005) çalışmalarında Wewfoundland-Kanada'da hibrit sistemin kurulumunun analizini HOMERPro kullanarak yapmışlar ve sistem rüzgâr, güneş, batarya ve yakıt hücresi kullanılarak tasarlanmıştır. Sistem tasarımı yapılırken yenilenebilir kaynakların enerji üretiminin depolanmasının yanısıra performans ve maliyet analizleri de yapılmıştır. Enerji depolama maliyetleri hâlen fosil bazlı sistemlere karşı ekonomik anlamda yüksektir.

Çalışma (Barsoum ve Vacent ,2007)'de iki farklı sistemin analizini HOMERPro programını kullanarak yapmışlardır. Analizi yapılan birinci sistemde PV panel, elektroliz ünitesi, hidrojen tankı, yük hücreleri, dizel jeneratör ve batarya bulunmaktadır. Analizi yapılan ikinci sistemde ise rüzgâr türbini, elektroliz ünitesi, hidrojen tankı, yük hücrelerinin yanı sıra batarya da eklenmiştir.

Planlama kriterleri, optimizasyon teknikleri, enerji yönetimi ve çeşitli konfigürasyonlar dahil olmak üzere hem şebekeye bağlı hem de bağımsız modlarda ilgili farklı çalışmalarda (Khezri ve Mahmoudi, 2020; Twaha ve Ramli, 2018) incelenmiştir.

Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri ekipmanlarının optimum boyutlandırılmasına yönelik en güçlü araçlardan biri, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen Elektrikli Yenilenebilir Enerji Kaynakları için Hibrit Optimizasyon Modeli (HOMER) yazılımıdır (Bahramara, Moghaddam ve Haghifam, 2016; Coban, 2022; Coban, Rehman ve Mohamed, 2022; Srivastava, Giri ve Giri, 2016). Her ne kadar HOMER, RETScreen, pvSYST, TRNsys, EnergyPro, EnergyPLAN yazılımları birçok çalışmada kullanılsa da literatürdeki çalışmalarda (Coban *vd.*, 2022; Olaya, 2020; Sirajitr, 2020; Srivastava *vd.*, 2016) HOMERPro'nun kullanımı daha kolay, veri bilgileri daha kapsamlı olduğu görüldüğünden bu tez çalışmasında HOMERPro programı kullanılması tercih edilmiştir. Bu tez çalışması, HOMER'i kendi bölgelerinde Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri planlamasında kullanmayı düşünen araştırmacılara da faydalı olacaktır.

Literatürden hibrit sistemlerin optimizasyonu için HOMER'in tercih edilen bir seçim olduğunu görebiliriz. Ayrıca, literatür taraması, bataryaların bağımsız şebeke dışı uygulamalar için kapsamlı bir şekilde değerlendirildiğini ancak pompalı hidro depolama

ile çok fazla modelleme yapılmadığını göstermektedir. Bataryalarla karşılaştırıldığında daha düşük yaşam döngüsü maliyeti gibi pompalı hidro depolamanın bazı belirgin avantajları vardır (Guruprasad *vd.*, 2023).

Hibrit sistemlerin çoğunlukla sınırlı sayıda teknolojiyi dikkate aldığı görülmektedir. Üstelik incelenen çoğu çalışma (Bilir ve Yildirim 2018; Rahman *vd.*, 2014; Sagani, Vrettakos ve Dedoussis, 2017), elektriğin yalnızca evsel amaçlarla kullanılması üzerine yoğunlaşmaktadır ve büyük bir yaşam alanının sosyo-ekonomik kalkınması için elektrik talebini hesaba katmamaktadır. Yük profilleri de çoğu durumda ayrıntılı bir şekilde dikkate alınmaz. Bu konular bu tez çalışmasında dikkate alınmakta ve böylece bilgi açığı kapatılmaktadır.

Bu kapsamlı tez çalışmasında, Türkiye'nin kuzeydoğusunda stratejik bir konuma sahip olan Ardahan Üniversitesi'nin kampüs içi binalarına elektrik sağlayacak şebekeli ve şebekeden bağımsız HYES'in tasarımları sunulmaktadır. Bu çalışma, yalnızca karma yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının uygulanabilirliğini vurgulamakla kalmamakta, aynı zamanda HYES çözümlerinin farklı coğrafi ve altyapı koşullarına uyarlanabilirliğini ve ölçeklenebilirliğini de ortaya koymaktadır. Tasarımlar, her biri PV, rüzgâr türbini, dizel jeneratör ve batarya enerji depolama sisteminin farklı kombinasyonlarını içeren şebekeden bağımsız ve şebekeye bağımlı olan sistemi içermektedir. HOMERPro programında yürütülen titiz simülasyonlar sayesinde her bir bileşen için en uygun boyutlandırmayı belirleyerek maksimum verimlilik ve sürdürülebilirliği sağlanmıştır. Ayrıca bu tez çalışması, hibrit sistemin şebekeye entegrasyonu yoluyla yerel enerji taleplerinin karşılanması için önemli bir rehber görevi görmekte ve böylece temiz enerji dağıtımına yönelik küresel çabayı ilerletmektedir.

Ayrıca literatürde Ardahan Üniversitesi bağlamında PV, rüzgâr enerjisi ile depolamaya ilişkin bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu nedenle araştırma boşluklarının belirlenmesi amacıyla bu çalışma için Ardahan'da şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız uygulamalar için hibrit yenilenebilir sistemlerinin bir analizi yapılmıştır. Bu tez çalışmasında, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız operasyonlar için tekno-ekonomik fizibilite açısından farklı seçeneklerin karşılaştırılması amacıyla farklı PV, rüzgâr türbini, batarya ve hidroelektrik kombinasyonlarının seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) ve Net Bugünkü Değer (NBD) HOMERPro kullanılarak belirlenecektir.

2. BÖLÜM

GENEL METODOLOJİ VE VARSAYIMLAR

2.1. YÖNTEM

Bu bölüm, hibrit yenilenebilir sistem optimizasyonu için hidroelektrik, rüzgâr ve güneş enerjisi karşılaştırılması için metodolojiyi açıklamaktadır. Bu tezde kullanılan yöntem 4 ana başlıkta aşağıda özetlenmiştir:

1. Literatür taraması:

Yenilenebilir enerji elektrifikasyonu hakkında deneyim ve modellere ilişkin literatür incelenmektedir. Kırsal elektrifikasyonda güneş enerjili ev sistemlerine yönelik PV çalışmaları daha yoğunudur. İnceleme aynı zamanda çalışma sahasındaki rüzgâr, güneş hidroelektrik enerji kaynağı için hibrit sistemini de içermektedir. PV tabanlı elektrifikasyonun çevre ve sosyo-ekonomik kalkınma üzerindeki faydaları da gözden geçirilmektedir.

2. Ardahan üniversitesi kampüs alanı:

Yenilenebilir sistemlerinin nasıl kurulduğu hakkında bilgi almak, türlerini ve boyutlarını bilmek önemli olduğu için Ardahan ilindeki mevcut güneş enerji santralleri ve hidroelektrik santralleri işletmeleri hakkında bilgi toplandı. Modelleme açısından oldukça önemli olduğundan ildeki önemli ekonomik faaliyetlere ilişkin bilgilere ulaşılmıştır. Ardahan Üniversitesinin enerji talebi ve arzına ilişkin yerinde bilgi, yenilenebilir sistemlerinin sürdürülebilirliğini ve ekonomisini değerlendirmek için de çok önemlidir.

3. HOMER yazılımını kullanarak hibrit yenilenebilir enerji sistemi için modelleme:

Literatür taraması, saha analizi ve enerji tüketim verilerinden elde edilen bilgilere dayanarak, sistemin tekno-ekonomik optimizasyonunda HOMERPro kullanıldı. Modeller gerekli elektrifikasyon türüne göre sınıflandırıldı. Yeni modeller üniversitenin

mevsimsel enerji tüketimi, hizmet türü ve ekonomik faaliyetlere göre geliştirildi. Bu çalışma kapsamında Kura Nehri'nin yıllara bağlı aylık su debisi ortalaması, rüzgâr enerjisi verilerine bağlı potansiyel ve güneş verileri analiz edilerek simülasyon üzerinden çalışma yapılmıştır. Bu çalışma yapılırken gerekli veriler kurumlar (meteoroloji il Müdürlüğü, devlet su işleri il Müdürlüğü, Aras elektrik dağıtım şirketi) aracılığı ile temin edilmiştir.

4. Modellemeden sonuç çıkarma ve analiz yapma:

Ardahan üniversitesinin enerji tüketim talepleri doğrultusunda hibrit yenilenebilir elektrifikasyonu için modeller yapılmış ve bunların arasında karşılaştırma yapılmıştır. Modelleme sonuçlarına bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının etkisi de tartışılmaktadır.

2.2. SINIRLAMALAR

Bu çalışmanın sonuçları birçok faktörden etkilenebilmektedir ve bu nedenle projenin kapsamı şu gösterimlerle sınırlıdır:

- Projede öncelikli olarak araştırılan enerji taşıyıcısı elektrik enerjisi olup, üniversitenin enerji gazı ve ısı enerjisi gibi diğer enerji taşıyıcılarını kullanması dikkate alınmaz.
- Bu çalışma, Ardahan Üniversitesi merkez kampüsü içinde tüketilen enerji dikkate alınmıştır. İlçelerde bulunan Meslek Yüksek Okulları tarafından tüketilen enerji dikkate alınmaz.
- Kendi kendine yeterliliğin hesaplanmasında 1 yıllık süre kullanılır. Bu, Ardahan Üniversitesinin bir yıl içinde kullandığı enerji miktarının aynı yıl içinde kendileri tarafından üretilmesi gerektiği anlamına gelir.
- Kendi kendine yeterlilik, her bir fakültenin/binanın kullandığı enerjiyi kesin olarak üretmesi gerektiği anlamına gelmez. Kendi kendine yeterlilik, yalnızca Ardahan Üniversitesi kampüsü içindeki toplam enerji üretiminin ve tüketiminin bir yıllık süre boyunca aynı olması anlamına gelir.
- Ardahan Üniversitesindeki sistem ayrıntı düzeyinde değil, yalnızca sistem düzeyinde açıklanacaktır. Bu, sistemin fonksiyonlarının simülasyonlarının geliştirilip test edileceği ancak detaylı seviye teknolojisinin dahil edilmeyeceği anlamına gelmektedir. Örneğin bu çalışmada invertörlerin, güneş panellerinin, rüzgâr

türbinlerinin çalışması simüle edilecek ancak sisteme kurulacak ekipmanın tipi belirlenmeyecektir.

- Hibrit yenilenebilir sistem modelleri ve fonksiyonları değerlendirilecek ancak model geliştirilmeyecektir. Bunun yerine, modellerin işlevselliği, modellerin sahip olabileceği benzer kısıtlamalara sahip güç profilleri ile temsil edilecektir. Dolayısıyla bu çalışmadaki modellerin işlevi, yalnızca hazır tahminler üreten ve daha sonra simülasyonlardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir.
- Yenilenebilir enerji karbon sertifikalarından elde edilen gelirler dikkate alınmaz.
- Burada incelenen sistem bilimsel çalışmalara dayandırılmış olmasına rağmen gerçek bir sistemde istenilen sistem fonksiyonunun sağlanıp sağlanamayacağı detaylı olarak değerlendirilememektedir.

2.3. ENERJİ KAYNAKLARI

Bu bölümde, stratejiler, enerji üretimi ve tüketimi ve yenilebilir potansiyeller de dahil olmak üzere Ardahan'daki enerji durumuna ilişkin bir genel bakış sunulmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan farklı sistem bileşenlerinin detayları ve tüm gerekli bilgiler bu bölümde belirtilmiştir. Burada ana odak noktası mevcut enerji kaynakları ve kampüsün talebidir.

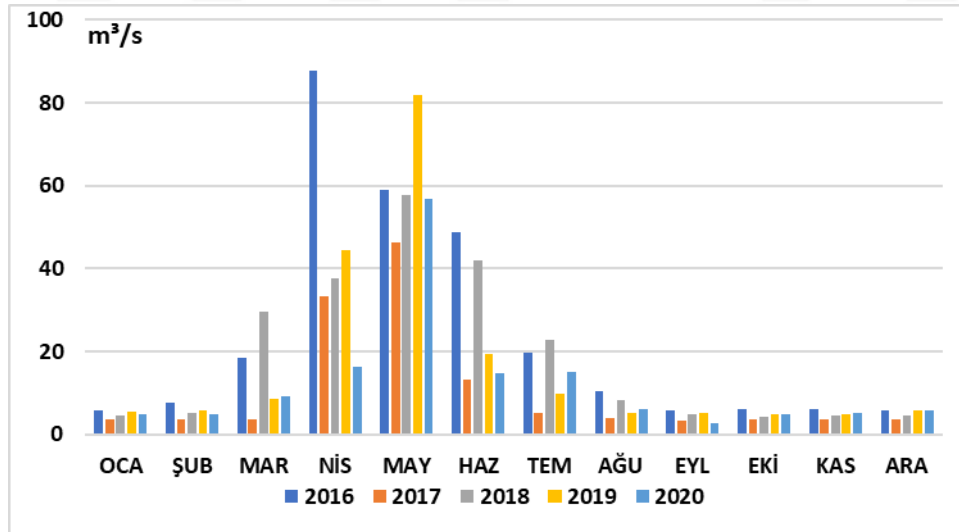
2.3.1. Ardahan İli'nin Enerji Potansiyeli

Ardahan, Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan bir ilimizdir. Enerji potansiyeli genellikle doğal kaynaklar, güneş, rüzgâr, hidroelektrik gibi faktörlere bağlı olarak değerlendirilir. İlin ortalama aylık toplam (global) ışıınım değeri en yüksek temmuz ayında ($6.65 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$), en düşük değeri ise aralık ayındadır ($1.23 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$). İlin ortalama güneşlenme sürelerine bakıldığında en yüksek ve en düşük güneşlenme süreleri sırasıyla 8.94 h (saat) ile ağustos ve 3.42 h ile aralık aylarında gerçekleşmiştir. Rüzgâr enerji potansiyeli bakımından Ardahan ilinin Çıldır ve Posof ilçelerinde dikkate değer bazı bölgeler bulunmaktadır. Özellikle Çıldır gölü çevresinde 7 m/s kadar rüzgâr hızının olduğu tespit edilmiştir. İlin su kaynakları ve potansiyeli yüzeysel sular ve yeraltı suları olmak üzere iki kısımda değerlendirilebilir. Yüzeysel su kaynakları olarak; Kür Çayı, Kayınlık Deresi, Türkmen Deresi, Hanak Çayı ve ülke dışına kadar uzanan sırasıyla $31.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $6.97 \text{ m}^3/\text{s}$ debiye sahip Kura Nehri ve Posof Çayı'dır. Kura Nehri ve Posof Çayı

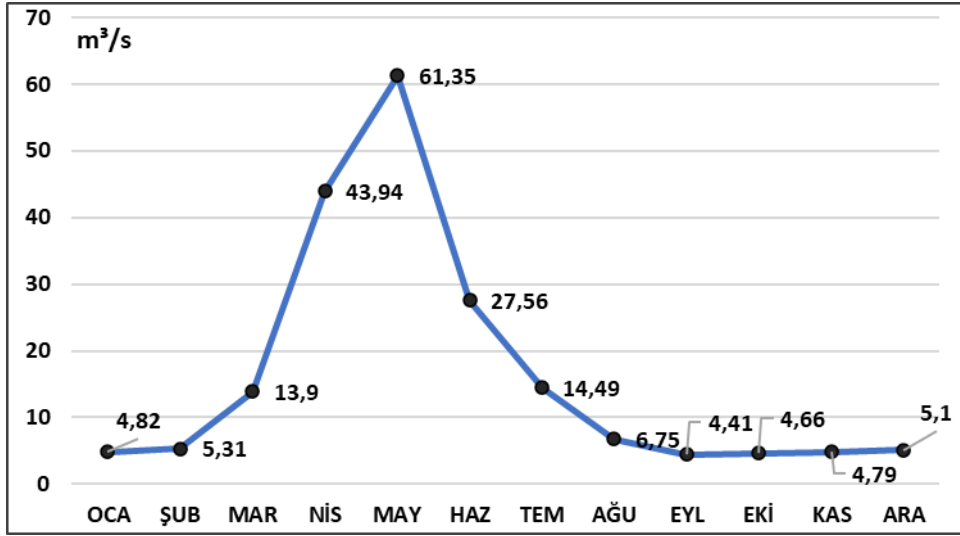
hem sulama hem de enerji ihtiyacı alanında fayda sağlamaktadır. Yeraltı su kaynakları olarak; Binbaşak Fayının Kura Vadisi ile kesiştiği bölgelerde ve Susuz ilçesinin yaklaşık 10 km batısında kaplıca olma potansiyeline sahip jeotermal enerji kaynağı bulunmaktadır. Merkez ilçe sınırlarında Ur Köyü Maden Suyu, Çıldır ilçesi sınırlarında Öncül Köyü ve Deveboynu kaplıcaları, Göle ilçesi sınırlarında ise Göle Kaplıcası, Koruvenk Kaplıcası ve Göle Maden Suyu yer almaktadır. Ardahan ilinin toplam su potansiyelinin 1383.26 hm^3 kadarı yer üstü ve 79.48 hm^3 kadarı ise yer altı su potansiyeli olarak belirlenmiştir (Coban 2023; Kaltakkıran and Bakırcı 2023)

2.3.1.1. Kura Nehri ve Enerji Potansiyeli

Kura Nehri, Ardahan ilinin güneybatısından geçen önemli bir akarsudur. Türkiye'nin Ardahan ilinden geçen Kura Nehri, aynı zamanda Gürcistan ve Azerbaycan gibi ülkelerden de geçmektedir. Kura Nehri, özellikle hidroelektrik potansiyeli ile dikkat çeker. Nehrin suları, hidroelektrik santralleri için enerji üretiminde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, Kura Nehri'nin suyu tarım sulamasında da kullanılmaktadır ve bölgenin su kaynakları açısından önemli bir rol oynamaktadır. Kura nehri aylık ortalama debi verileri Ardahan DSİ il müdürlüğünden alınmış ve Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kura Nehri'nin 2016-2020 yılları arası ait ortalama debi grafiği

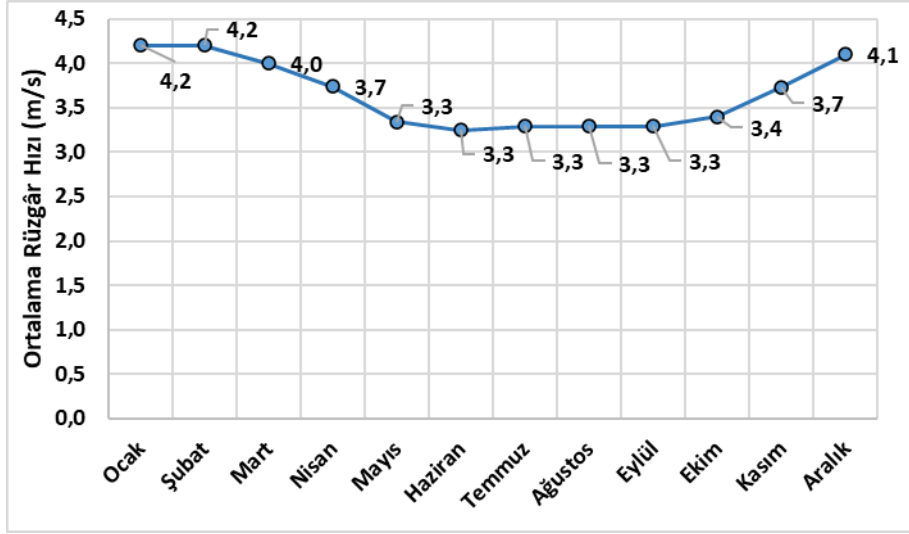


Şekil 2. Kura Nehri'nin 2016-2020 yılları arasında aylık ortalama debi grafiği

Şekil 2'deki grafiğe göre mart-temmuz ayları arasında debi artışı kar erimelerine ve yağmurlara bağlı olarak ciddi oranda artış göstermiştir.

2.3.1.2. Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

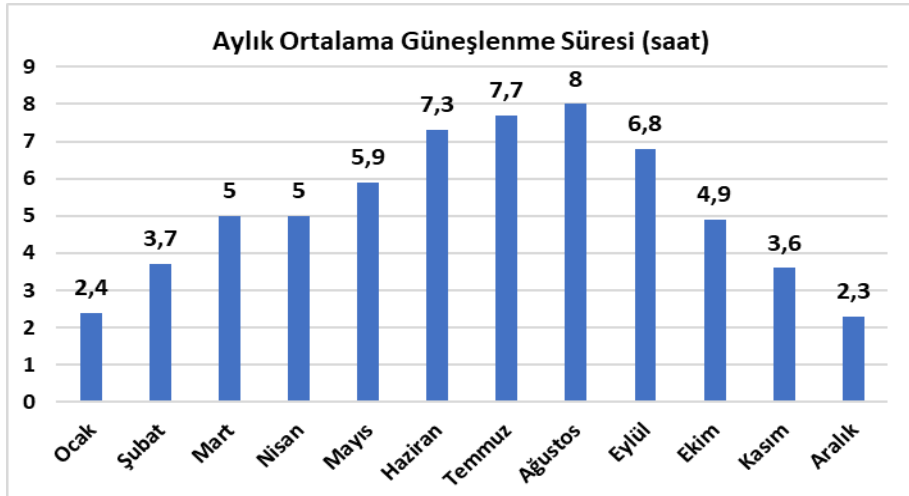
Ardahan, rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından da dikkate değer bir bölgedir. Rüzgâr enerjisi, özellikle düzlüklerde ve yüksek arazilerde etkili olmaktadır. Ardahan şehri için NASA'dan elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı verileri Şekil 3'te gösterilmektedir. Ölçülen maksimum rüzgâr hızının ocak-şubat döneminde olduğu ve yıllık ortalama rüzgâr hızının 3,7 m/s'yi aştığı, en düşük rüzgâr hızının ise nisan ayında olduğu dikkat çekmektedir. Rüzgâr hızı verilerine dayanarak Ardahan'da rüzgâr enerjisinin yılın büyük bölümünde mevcut olduğu ve dizel yakıt kullanımını azaltarak enerji üretmek için kullanılabileceği kanıtlanmıştır. Ardahan'ın coğrafi yapısı ve iklimi, rüzgâr enerjisi projeleri için uygun bir ortam sunabilir.



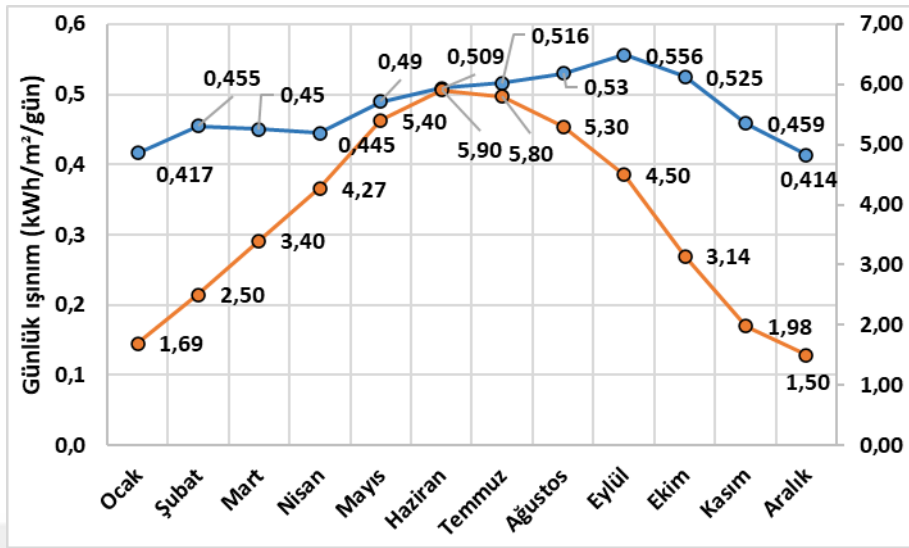
Şekil 3. Ortalama rüzgâr hızının aylık değişimi

2.3.1.3. Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ardahan ili, Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan bir il olduğu için güney illerine göre güneş enerjisi potansiyeli açısından genel olarak daha düşük bir değere sahiptir. Ancak, güneş enerjisi potansiyeli coğrafi koşullara, güneşlenme sürelerine ve iklim şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Güneş enerjisi, Ardahan gibi bölgelerde de kullanılabilir, ancak potansiyelini artırmak için teknolojik gelişmeler ve uygun altyapı yatırımları gerekebilir. Özellikle binaların çatıları, açık alanlar veya uygun araziler güneş panelleri için kullanılabilir. Ayrıca, tarımsal sulama sistemleri veya diğer enerji ihtiyaçları için güneş enerjisi kullanımı da değerlendirilebilir. Ardahan ili için güneşlenme süresi ve güneş ışıınımı miktarı sırasıyla Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 2010-2021 yılları arasında Ardahan iline ait aylık olarak güneşlenme süresi

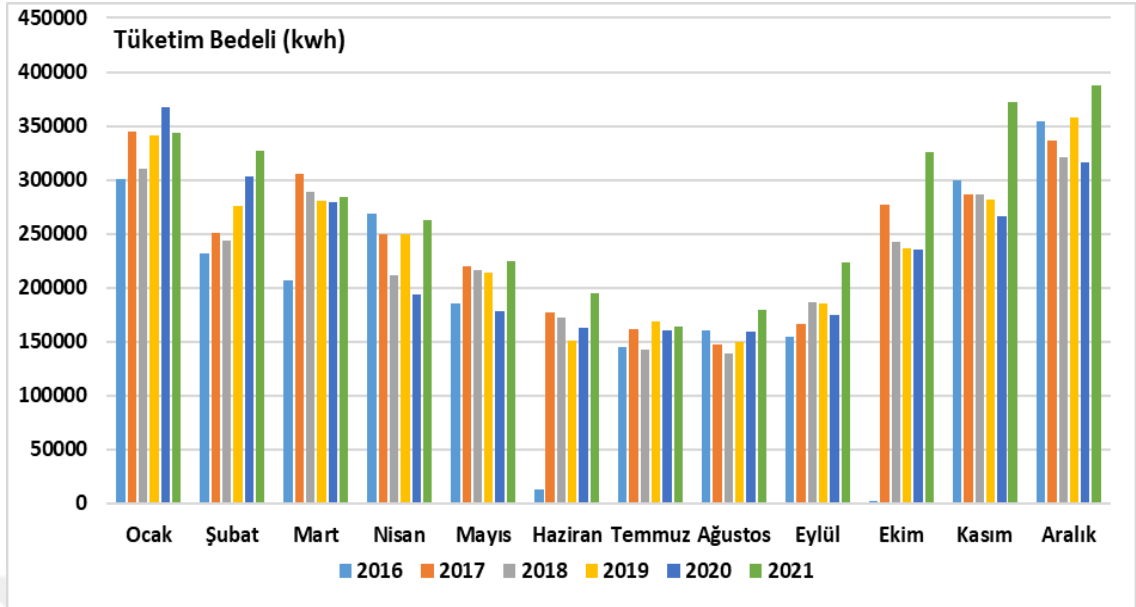


Şekil 5. Günlük clearness index ve ışıınım grafiği

Şekil 4'te verilen Ardahan iline ait güneşlenme süresine bakıldığında kış mevsiminde güneşlenme süresi azalmaktadır. Ardahan da kar örtüsünün uzun süre kalması ise yere düşen güneş ışınlarının kardan yansmasıyla güneş enerjisi üretimi oranında artış olmaktadır.

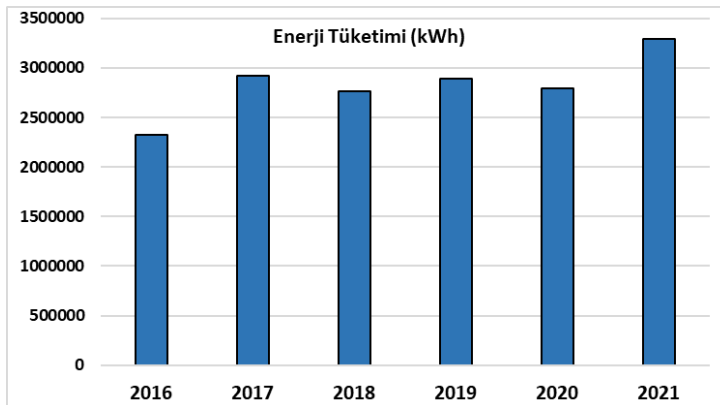
2.4. YÜK VE PROFİL DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışmada HYES modeli Ardahan Üniversitesi kampüs içi binaların elektrik talebini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. RES'ler ve diğer ekipmanlar yük değerine göre boyutlandırılır. Fakülte ve idari binaların 2016-2021 yılları arasında aylık yük eğrisi Aras Elektrik Dağıtım şirketinden elde edilmiş ve Şekil 6'da gösterilmektedir. Güç sisteminin günlük enerji talebi 7858 kWh, puant yük ise 1492,58 kW'tır. Elektrik hizmetleri endüstrisindeki elektrik tedarik stratejisi olarak, enerji tedariğinin talebi aşması gerekmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada elektrik üretiminin talebin üzerinde seviyelerde tutulması amaçlanmaktadır.



Şekil 6. Ardahan Üniversitesi kampüs binalarının 2016-2021 yılı aylık enerji tüketim grafiği

Ardahan Üniversitesi Yenisey Kampüsünde yıllara bağlı olarak enerji tüketim grafiklerine göre mart-eylül ayları arasında enerji tüketimi düşmekte, Ekim-Şubat ayları arasında ise tüketim yaklaşık olarak iki katını geçmektedir. Bu artış ilgili aylarda eğitim-öğretimin aktif devam etmesi ve kış şartlarına bağlı olarak ısınma ihtiyacının artması ile grafikte net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 7. Ardahan Üniversitesi Yenisey Kampüsü binalarının 2016-2021 yıllarında enerji tüketim grafiği

Şekil 7’deki grafikte görüldüğü üzere 2016-2020 yılları arasında enerji tüketim grafiği sürekli dalgalanmıştır, 2020’deki enerji tüketiminin düşüş nedeni COVID-19 salgını nedeni ile uzaktan eğitim yapılmış olmasıdır. 2021 yılında ise daha önceki yıllarda mevcut ortalamanın üzerine çıkmıştır.

2.5. HOMERPRO PROGRAMINDA MODELLEME SÜRECİ

Seçilen enerji üretim tesislerinin güç çıkışını tahmin etmek amacıyla üretilen elektrik enerjisini hesaplamak ve görüntülemek için HOMERPro simülasyon ve optimizasyon programı kullanıldı. Oluşturulan her bir model için rüzgâr hızı, nehir debisi ve güneş ışıınımı değişimi verileri programa girilmiştir. Bu bölümde bu tezde geliştirilen farklı modeller açıklanmaktadır. Her senaryo için sistem emisyonları, gerekli yatırım, geri ödeme süresi, net bugünkü maliyet ve mevcut değer, üç aşamaya ayrılan simülasyonla tahmin edildi:

- i. Girdi verilerinin belirlenmesi,
- ii. Her senaryonun simüle edilmesi,
- iii. Çıktıların analiz edilmesi.

2.5.1. Hidroelektrik Sistemi Modeli

Hidrolik gücü hesaplamak için yüksekliği (metre) ve akışı (litre/saniye) ölçmeniz gerekir.

$$P_{hid} = Q \cdot g \cdot h \cdot \eta_{hid}$$

P_{hid} – üretilen güç (watt),

Q – suyun deşarjı (kg/s) (bu aynı zamanda birim zaman başına kütledir),

g – yer çekimine bağlı ivme (m/s^2),

h – yükseklik (m),

η_{hid} – hidroelektrik sisteminin verimliliği (%).

2.5.2. Güneş Sistemi (PV) Modeli

Bu tez çalışmasında HOMERPro veri tabanından Schneider ConextCoreXC 680kW with Generic PV modülü seçilmiştir. Seçilen PV modülü düz tip, %17,3 verimliliğe sahip, 680,08kW nominal kapasitesi olan çalışma sıcaklığı 45°C olan

piyasada kolay bulunan bir modüldür. Simülasyonda kullanılan alt sistemlere ilişkin teknik veriler ve sermaye maliyetleri Tablo 1'de açıklanmıştır. PV çıkış gücü aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$P_{pv} = P_{pv}^r \cdot nr_{pv} \cdot f_{pv} \frac{g(t)}{g_n} [1 + \alpha_p (T_c(t) - T_{c_n})]$$

burada;

$P_{pv}(t)$ – PV sisteminin anlık çıkış gücünü (kW),

P_{pv}^r – her bir PV modülünün nominal gücünü (kW),

nr_{pv} – PV modüllerinin sayısını,

f_{pv} – PV değer kaybı faktörünü (%),

$g(t)$ – çalışma sıcaklığındaki (kW/m^2) gerçek zamanlı ışınlam,

g_n – standart test koşulundaki ışınlam (1 kW/m^2),

α_p – sıcaklık katsayısı ($\%/^{\circ}\text{C}$),

$T_c(t)$ – gerçek zamanlı hücre sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

T_{c_n} – PV modülünün nominal çalışma (test koşulu) sıcaklığını (25°C) temsil etmektedir.

2.5.3. DC-AC Konvertör

Bu tez çalışmasında iki tür dönüştürücü vardır: DC'den AC'ye dönüştüren invertörler ve AC'den DC'ye dönüştüren doğrultucular. İnvertör güç değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$P_{inv} = \frac{P_l^{max}}{\eta_{inv}}$$

burada;

P_{inv} – invertörün derecelendirme gücünü,

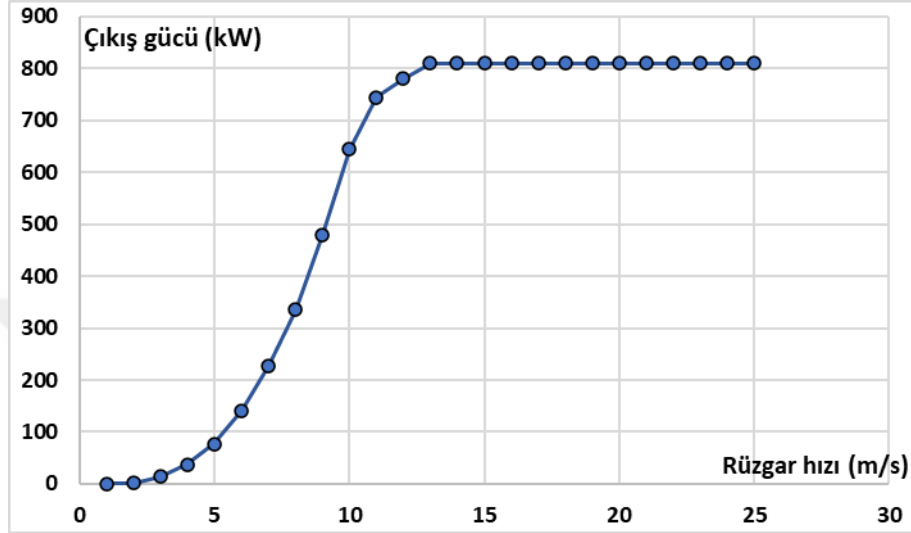
P_l^{max} – pik yük talebini,

η_{inv} – invertörün verimliliğini temsil eder.

2.5.4. Rüzgâr Türbini Modeli

Rüzgâr enerjisi, rüzgâr türbini aracılığıyla mekanik güce dönüştürülür. Mekanik güç daha sonra bir elektrik jeneratörü aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemini modellemek için, çalışılan yer için ortalama rüzgâr hızını,

dağılımını ve rüzgâr gücü dağılımını bilmek hayati önem taşımaktadır. Rüzgâr kaynakları verileri, Ardahan Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınmıştır. Bu çalışmada Enercon E-53 [800kW] modeli seçilmiş ve seçilen türbinin spesifikasyonları Tablo 1'de özetlenmiştir. Şekil 3'te gösterilen veriler, Ardahan için yıllık ortalama rüzgâr hızının 3,7 m/s olduğunu göstermektedir. Seçilen türbinin rüzgâr hızı güç eğrisi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Seçilen türbinin (Enercon E-53) rüzgâr hızı güç eğrisi

Rüzgâr türbininin güç çıkışı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$P_{e.wt}(t) = \eta_{wt} A_{wt} P_{wt}(t) n r_{wt}$$

burada

$P_{e.wt}(t)$ – rüzgâr türbininin etkin elektrik güç çıkışını (kW),

η_{wt} – rüzgâr türbininin verimliliği,

A_{wt} – rüzgâr türbininin süpürdüğü alanı,

$n r_{wt}$ – sistemdeki rüzgâr türbininin sayısıdır.

2.5.5. Batarya ve Depolama Modeli

$$C_{bat} = n r_{bat} \frac{AD \cdot P_l}{\eta_{inv} \eta_{bat} DOD}$$

burada;

C_{bat} – pil kapasitesini (kWh),

$n r_{bat}$ – pil sayısı,

AD – günlük pil özerkliği,

P_l – gerekli yük miktarı (kW),

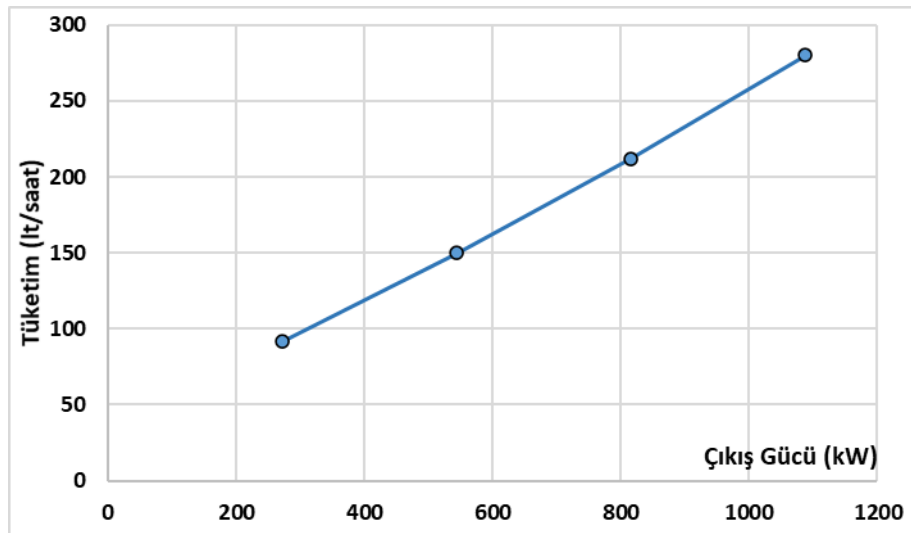
DOD – deşarj derinliği (%),

η_{inv} – invertör cihazının verimliliği (%),

η_{bat} – akü sisteminin verimliliği (%).

2.5.6. Dizel Jeneratör Modeli

Bu çalışmada 1360 kW kapasiteli CAT marka dizel jeneratör modellenmiş olup, maliyeti 100.000 ABD Doları (USD)'dır. Dizel jeneratörlerin fiyatı kapasite arttıkça ters orantılı olarak düşerken, daha büyük kapasiteli jeneratörlerin kW başına maliyeti düşmektedir. CAT marka jeneratörlerin çeşitli teknik raporları, üreticinin veri spesifikasyon sayfasından elde edilmiştir (Anon,2024). Jeneratör çalışma ömrünün 60.000 saatlik olduğu tahmin edilmektedir. Jeneratörün büyük kapasiteli üretimi seçilmiş olmasına rağmen, bu çalışmanın temel amacı dizel jeneratörlere olan bağımlılığı azaltmak için ticari, uygun maliyetli ve teknik açıdan uygun bir alternatif bulmaktır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili doğasından dolayı ekonomik olarak dizel kullanımının yerini alabilecek pillerin optimize edilmiş kullanımı önerildi. HOMER Pro programı 1360 kW'lık bir jeneratörün %50 yükte, %75 yükte ve tam yükte sırasıyla saatte 150 L, 212 L, 280 L yakıt tükettiğini varsaymaktadır. Bu çalışmada motorinin fiyatı 1,5 \$/L olarak alınmıştır. HOMER tarafından sağlanan jeneratör için üretilen yakıt tüketimi eğrisi Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Dizel jeneratör yakıt tüketim grafiği

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan farklı sistem bileşenlerinin detayları

	Dizel Jeneratör	Rüzgâr Türbini	Solar PV	İnvertör	Hidroelekt rik	Batarya
Sermaye Maliyeti (\$)	100.000	500000	800	300	1.000.000	700.000
Kapasite (kW)	1088	800	680	1	1000	1000
Değiştirme Maliyeti (\$)	70.000	300000	500	300	800.000	700.000
İşletme ve Bakım maliyeti (kW/\$/yıl)	0,1	10.000	1	0	150.000	10.000
Model	CAT- 1360kVA- 50Hz	Enercon E-53	Generi c PV	Schneider ConextCo reXC 680kW	1MW Generic	Generic 1MWh Li-Ion
Ömür (yıl) (saat)	90.000	20	25	15	30	15

2.5.7. Şebeke Modeli

Şebekeye bağlı sistemde şebekeye verilen (P_{seb}) veya şebekeden çekilen güç aşağıdaki denklem ile hesaplanır. Hesaplanan değer pozitif ise şebekeden enerji çekilir, negatif ise şebekeye enerji verilir.

$$P_{seb}(t) = P_l(t) - \sum (P_{pv}(t) + P_{hid}(t) + P_{wt}(t) + P_{dg}(t) + P_{bat}(t))$$

2.5.8. Ekonomik Hesaplamalar

Hibrit yenilenebilir sistemde ekonomik amaç fonksiyonunu oluşturmak için birim enerji maliyeti (COE), net bugünkü maliyet (NBD), işletme maliyeti (OC) ve başlangıç maliyeti (IC) hesaplanmalıdır. En önemli endeks olan COE, birim enerji üretim maliyetidir ve şu şekilde hesaplanır:

$$COE \left(\frac{\$}{kWh} \right) = \frac{TYM(\$ / yıl)}{TYET(kWh / yıl)}$$

burada;

TYM – toplam yıllık maliyet,

$TYET$ – yıllık toplam enerji tüketimini temsil edilmektedir.

Net bugünkü değer şu şekilde hesaplanır:

$$NBD \left(\frac{\$}{\text{yıl}} \right) = \frac{TYM(\$/\text{yıl})}{CRF}$$

$$CRF(i, n) = \frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

burada;

CRF – sermaye geri kazanım faktörü,

i – faiz oranı (%),

n – bileşenlerin ömrü (yıl).



3. BÖLÜM

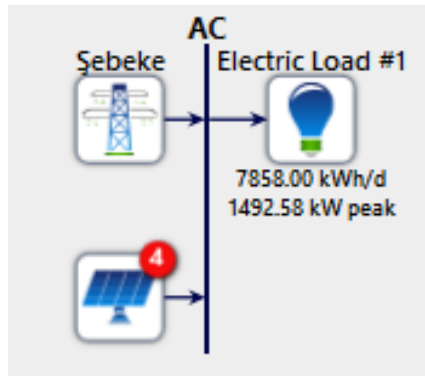
SİMÜLASYON ANALİZLERİ

Simülasyon sürecinde HOMERPro farklı sistem konfigürasyonunu, gerekli bileşen sayısını, boyutları ve dağıtım stratejisini belirler. HOMERPro, PV modülü, rüzgâr türbinleri, hidroelektrik, dizel jeneratör, AC-DC dönüştürücü ve batarya depolama kombinasyonlarından her birini dikkate alarak birçok sistem konfigürasyonunu modelleyebilir. Tasarlanan sistem şebekeye bağlı olabileceği gibi şebekeden bağımsız da olacak ve farklı elektrik yüklerini besleyebilecektir. Simülasyon sürecinde HOMERPro iki önemli konsepti analiz eder, ilk olarak sistem konfigürasyonunun fizibilitesini belirler ve ikinci olarak hem kurulum hem de işletme maliyetinin birleşimi olan modelin yaşam döngüsü maliyetini hesaplar.

3.1. ŞEBEKEYE BAĞLI SİSTEMLER (ON-GRID)

3.1.1. Güneş PV Senaryosu

Bu sistemde 680 kW'a kadar güç çıkışı olan düz tip PV panel ve konvertör seçilmiştir. Şebekeye bağlı enerji üretim sisteminin şematik diyagramı Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. Şebekeli PV sistemin şematik diyagramı

Bu senaryoda seçilen sahanın elektrik yükünün büyük bir kısmı güneş enerjisi tarafından karşılanmaktadır. Tablo 3'teki değerler kullanılarak 25 yıllık proje ömrü için NPC 2.9 milyon USD, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 0,0287 \$/kWh olarak

bulunmuştur. Yıllık üretim ve tüketim sonuçları Tablo 2 ve 3'te, HOMER simülasyon sonuçları ise Şekil 11'de ve maliyet özeti Şekil 12'de verilmektedir.

Güneş enerjisi teknolojisi, toplam elektrik üretiminin en çok tercih edilen elektrik kaynağıdır. Bunun nedeni Ardahan'nın tüm yıl boyunca mükemmel güneş ışınlamıdır. Şekil 11, neredeyse tüm yıl boyunca güneş panellerinden elde edilen yüksek elektrik üretimini göstermektedir. Tam tersine şebekeden satın alınan yıl genelinde tüketimin yaklaşık %14,5'ini karşılamaktadır.

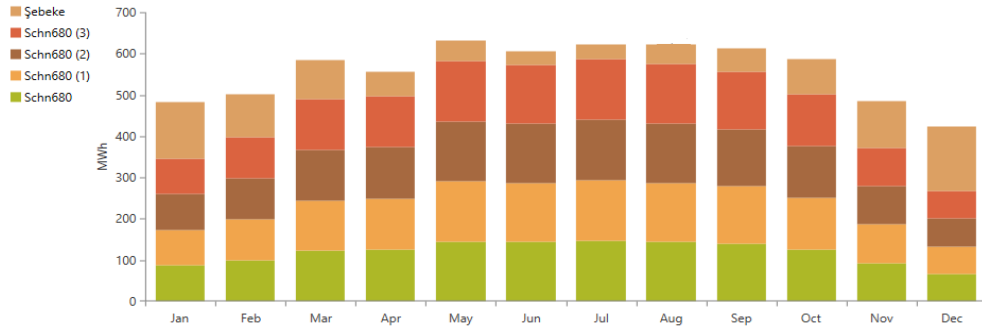
Tablo 2. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi

Üretim	kWh/yıl	%
Schneider ConextCoreXC 680kW PV	1.435.014	21,4
Schneider ConextCoreXC 680kW PV (1)	1.435.014	21,4
Schneider ConextCoreXC 680kW PV (2)	1.435.014	21,4
Schneider ConextCoreXC 680kW PV (3)	1.435.014	21,4
Şebeke Satın Alımı	972.158	14,5
Toplam	6.712.215	100
Tüketim	kWh/yıl	%
AC Birincil Yük	2.868.170	42,7
Şebeke Satışı	3.844.045	57,3
Toplam	6.712.215	100

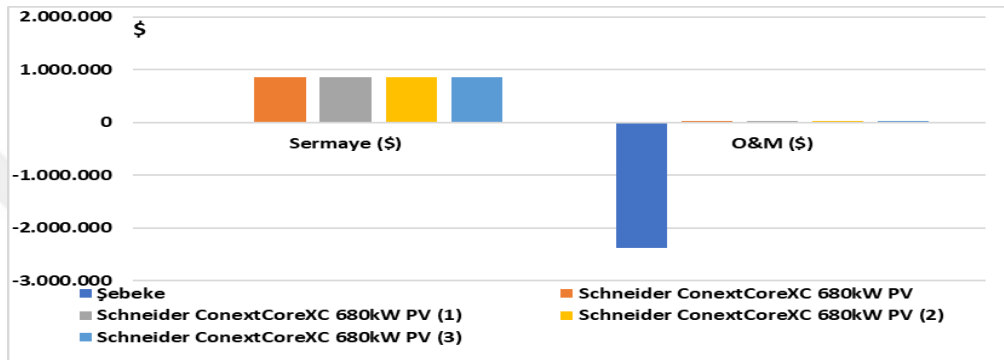
Tablo 3. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları

	Değer	Birim
IRR	2,4	%
Yenilenebilir Oran	85,50	%
Net Bugünkü Maliyet	2.900.000	\$
Seviyelendirilmiş COE	0,0287	\$/kWh
Geri Ödeme Süresi	19	yıl
İşletme Maliyeti	60.304	\$/yıl
Karbon Dioksit	-1.185.032	kg/yıl
Sülfür Dioksit	-7.869	kg/yıl
Azot Oksit	-3.848	kg/yıl

PV panellerinin ürettiği aylık elektrik enerjisi ve sistem maliyeti sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir. Şekilden, PV enerji üretiminin daha yüksek netlik endeksi (clearness index) nedeniyle Mayıs-Ağustos aylarında yüksek, daha düşük netlik endeksi nedeniyle kış aylarında düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 12. Maliyet özeti

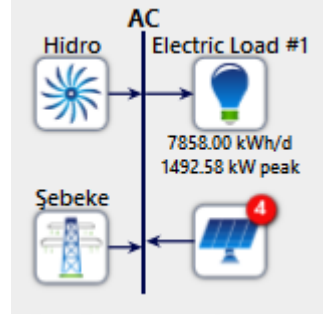
Tablo 2’de şebekeden satın alınan ve geri satılan enerji miktarı verilerine dayanarak Tablo 4’te aylık alım/satım verileri özetlenmiştir.

Tablo 4. Şebekeden alınan/satılan enerji

Aylar	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Satın Net Enerji (kWh)	Alınan Enerji (kW)	Puant Yük (kW)	Enerji Fiyatı (\$)
Ocak	135.661	185.557	-49.896	1.206	131,07	
Şubat	104.799	244.891	-140.093	1.193	-2.945,20	
Mart	96.508	301.338	-20.483	926	-4.986,81	
Nisan	58.671	331.648	-272.977	952	-7.485,27	
Mayıs	48.605	408.639	-360.034	717	-10.217,75	
Haziran	33.742	413.141	-379.399	373	-10.977,08	
Temmuz	36.126	437.399	-401.273	685	-11.604,69	
Ağustos	47.745	405.981	-358.235	565	-10.174,11	
Eylül	55.451	403.946	-348.495	861	-9.789,45	
Ekim	83.702	339.284	-255.581	869	-6.663,01	
Kasım	114.169	225.118	-110.949	894	-1.958,43	
Aralık	156.979	147.103	9.876	115	2.180,04	
Yıllık Toplam	972.158	3.844.045	-2.871.886	1.206	-74.490,69	

3.1.2. Güneş PV ve Hidroelektrik Senaryosu

Bu sistemde 680 kW'a kadar güç çıkışı olan düz tip PV panel ve konvertör ile birlikte 1 MW gücünde hidroelektrik santral seçilmiştir. Şebekeye bağlı enerji üretim sisteminin şematik diyagramı Şekil 13'te gösterilmektedir.



Şekil 13. Şebekeli PV ve hidroelektrik sisteminin şematik diyagramı

Bu senaryoda seçilen sahanın elektrik yükünün yarısından fazlası güneş enerjisi tarafından karşılanmaktadır. Tablo 6'daki değerler kullanılarak 25 yıllık proje ömrü için NPC 560.000 USD, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 0,00468 \$/kWh olarak bulunmuştur. Yıllık üretim ve tüketim sonuçları Tablo 5 ve 6'da, HOMER simülasyon yıllık elektrik üretim sonuçları ise Şekil 14'te ve maliyet özeti Şekil 15'te verilmektedir. Şebekeden satın alınan enerji yıl genelinde tüketimin yaklaşık %3,74'ünü karşılamaktadır.

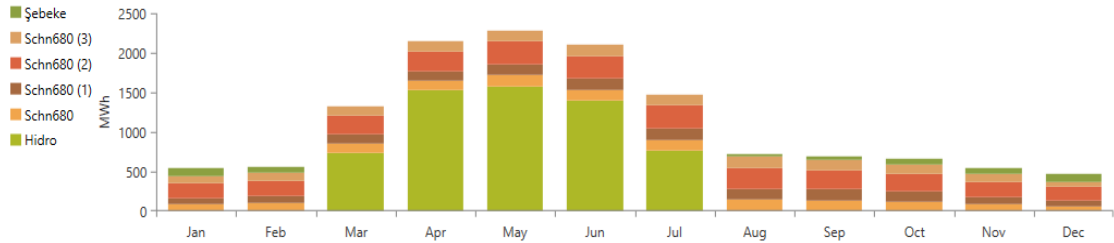
Tablo 5. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi

Üretim	kWh/yıl	%
Schneider ConextCoreXC 680kW PV	1.394.884	10,3
Schneider ConextCoreXC 680kW PV (1)	1.407.131	10,4
Schneider ConextCoreXC 680kW PV (2)	2.826.909	20,9
Schneider ConextCoreXC 680kW PV (3)	1.395.454	10,3
Hidroelektrik	5.986.801	44,3
Şebeke Satın Alımı	505.443	3,74
Toplam	13.516.623	100
Tüketim	kWh/yıl	%
AC Birincil Yük	2.868.170	21,2
Şebeke Satışı	10.648.453	78,8
Toplam	13.516.623	100

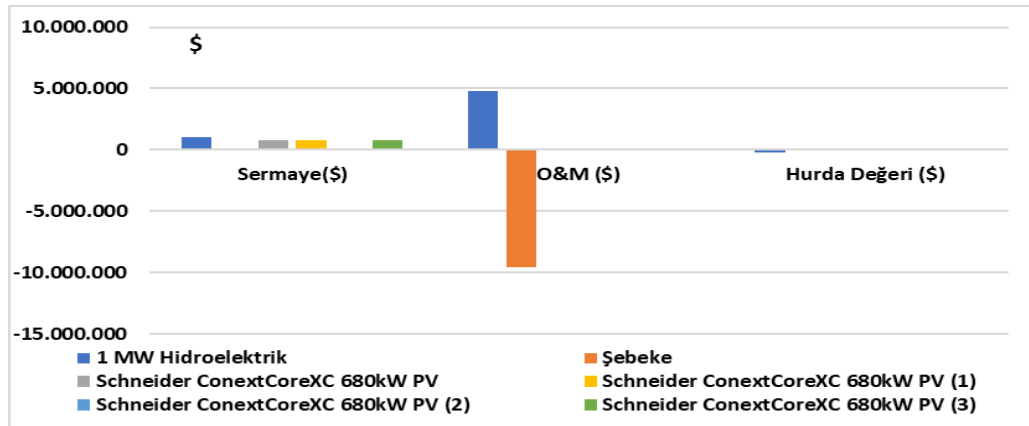
Tablo 6. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları

	Değer	Birim
IRR	1,3	%
Yenilenebilir Oran	85,50	%
Net Bugünkü Maliyet	560.305	\$
Seviyelendirilmiş COE	0,00468	\$/kWh
Geri Ödeme süresi	22	yıl
İşletme Maliyeti	13.051	\$/yıl
Karbon Dioksit	-6.410.382	kg/yıl
Sülfür Dioksit	-27.792	kg/yıl
Azot Oksitler	-13.592	kg/yıl

PV panellerinin ve hidroelektrik santralin ürettiği aylık elektrik enerjisi ve sistem maliyeti sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 15'te verilmiştir. Şekil 14'ten görüldüğü üzere ağustos-şubat dönemlerinde güneş panellerinden elektrik üretimi birincil durumda iken diğer dönemlerde kar erimeleri ve yağışlara bağlı olarak mart-temmuz ayları arasında Kura Nehri'nin debisinin artması ile hidroelektrik kaynaktan üretilen enerji ciddi oranda artarak, birincil üretim durumuna gelmiştir.



Şekil 14. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 15. Maliyet özeti

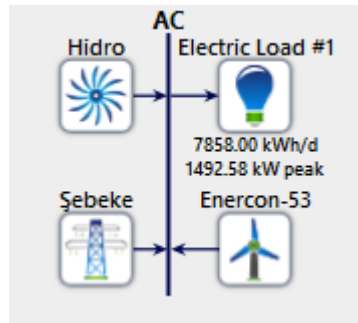
Tablo 5'teki şebekeden satın alınan ve geri satılan enerji miktar verileri ile Tablo 7'de detaylı aylık alım/satım verileri görülmektedir. Tablo 7 verilerine bakıldığında mart-temmuz ayları arasında şebeken satın alım olmamıştır.

Tablo 7. Şebekeden alınan/satılan enerji miktarı

Aylar	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Satın Alınan Net Enerji (kWh)	Puant Yük (kW)	Enerji Fiyatı (\$)
Ocak	100.435	244.730	-144.295	931	-3.123,65
Şubat	73.389	299.595	-226.205	976	-5.905,48
Mart	0	1.034.749	-1.034.749	0	-31.042,47
Nisan	0	1.917.778	-1.917.778	0	-57.533,34
Mayıs	0	2.061.800	-2.061.800	0	-61.854,00
Haziran	0	1.907.613	-1.907.613	0	-57.228,38
Temmuz	0	1.291.463	-1.291.463	0	-38.743,88
Ağustos	33.382	509.032	-47.565	467	-13.868,92
Eylül	43.459	487.293	-443.834	613	-12.793,51
Ekim	65.203	409.547	-344.344	833	-9.547,90
Kasım	80.932	283.693	-202.761	867	-5.111,65
Aralık	108.644	201.161	-92.517	967	-1.471,78
Yıllık Toplam	505.443	10.648.453	-10.143.009	976	-298.224,96

3.1.3. Hidroelektrik ve Rüzgâr Senaryosu

Bu sistemde 1 MW gücünde hidroelektrik santral ve 3 MW gücünde rüzgâr türbini seçilmiştir. Şebekeye bağlı enerji üretim sisteminin şematik diyagramı Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. Şebekeli hidroelektrik ve rüzgâr sisteminin şematik diyagramı

Bu senaryoda seçilen sahanın elektrik yükünün büyük bir kısmı rüzgâr türbini tarafından karşılanmaktadır. Tablo 9'daki değerler kullanılarak 25 yıllık proje ömrü için NPC 3,3 milyon USD, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 0,0133 \$/kWh olarak

bulunmuştur. Yıllık üretim ve tüketim sonuçları Tablo 8 ve 9’da, HOMER simülasyon sonuçları ise Şekil 17’de ve maliyet özeti Şekil 18’de verilmektedir.

Bu sistemde rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi toplam elektrik üretiminin en çok tercih edilen elektrik kaynağıdır. Bunun nedeni Ardahan'nın tüm yıl boyunca mükemmel rüzgâr potansiyelinin olmasıdır. Şekil 17,neredeyse tüm yıl boyunca rüzgâr türbinlerinden elde edilen yüksek elektrik üretimini göstermektedir. Tam tersine şebekeden satın alınan enerji yıl genelinde tüketimin yaklaşık %0,13’ünü karşılamaktadır.

Tablo 8. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi

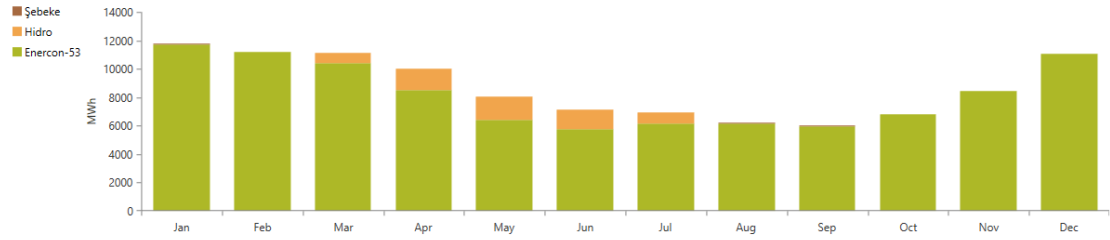
Üretim	kWh/yıl	%
Enercon E-53 [800kW]	98.593.644	94,2
Hidroelektrik	5.986.801	5,72
Şebeke Satın Alımı	135.647	0,13
Toplam	104.716.091	100
Tüketim	kWh/yıl	%
AC Birincil Yük	2.868.170	2,74
Şebeke Satışı	101.847.921	97,3
Toplam	104.716.091	100

Tablo 9. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları

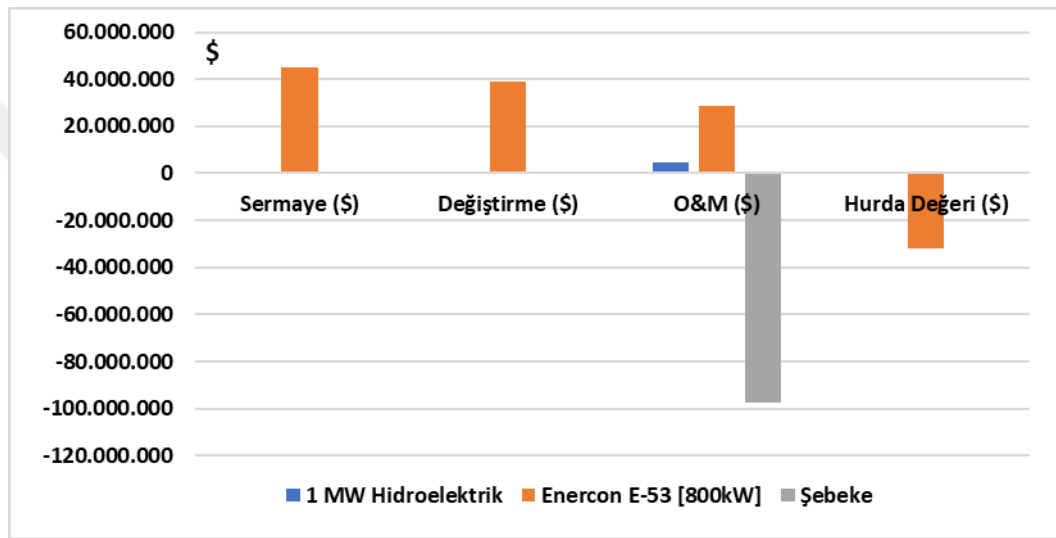
	Değer	Birim
IRR	0,029	%
Yenilenebilir Oran	99,9	%
Net Bugünkü Maliyet	3.300.000	\$
Seviyelendirilmiş COE	0,0133	\$/kWh
Geri Ödeme Süresi	25	yıl
İşletme Maliyeti	71.852	\$/yıl
Karbon Dioksit	-64.282.157	kg/yıl
Sülfür Dioksit	-278.692	kg/yıl
Azot Oksitler	-136.294	kg/yıl

Rüzgâr türbininin ve hidroelektrik santralin ürettiği aylık elektrik enerjisi Şekil 17’de verilmiştir. Şekil 17’ye bakıldığında hidroelektrik santralin mart-temmuz ayları arasında sisteme katkı sağladığı görülmektedir. Rüzgâr hızında bu aylarda düşüş

yaşanması ve kar ve yağmur sularının artması nedeniyle hidroelektrik santral devreye girmiştir.



Şekil 17. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 18. Maliyet özeti

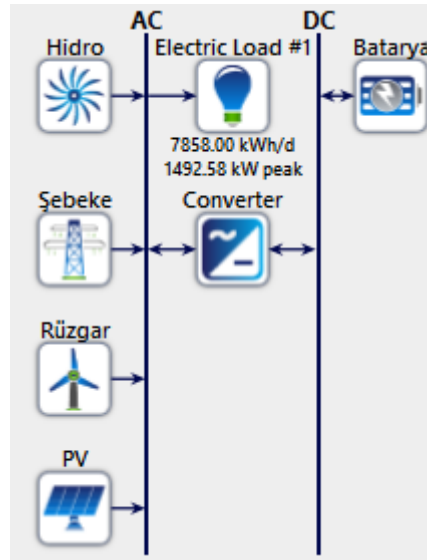
Tablo 8’de şebekeden satın alınan ve geri satılan enerji miktarı özetlenmiştir. Tablo 10’da aylık alım/satım verileri görülmektedir. Tablo 10’a bakıldığında mart-temmuz dönemlerinde şebekeden satın alım olmamıştır. Bunun nedeni rüzgârdan enerji üretiminin yeterli olmadığı durumlarda hidroelektrik santralin sistemi besleyebilmesidir. Ayrıca satılan enerji oranının tüketilen ve satın alınandan ciddi oranda yüksek olduğu Tablo 8’de görülmektedir.

Tablo 10. Şebekeden alınan/satılan enerji

Aylar	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Satın Net Enerji (kWh)	Alınan Enerji (kW)	Puant Yük (kW)	Enerji Fiyatı (\$)
Ocak	19.843	11.455.258	-11.435.415	1.168	-342.824	
Şubat	13.364	10.951.329	-10.937.965	1.129	-327.979	
Mart	0	10.860.242	-10.860.242	0	-325.807	
Nisan	0	9.780.003	-9.780.003	0	-293.400	
Mayıs	0	7.793.694	-7.793.694	0	-233.811	
Haziran	0	6.965.044	-6.965.044	0	-208.951	
Temmuz	0	6.736.589	-6.736.589	0	-202.098	
Ağustos	23.779	5.969.763	-5.945.984	712	-178.094	
Eylül	22.851	5.780.084	-5.757.233	747	-172.443	
Ekim	21.448	6.549.178	-6.527.730	1.049	-195.575	
Kasım	17.469	8.199.870	-8.182.401	1.077	-245.262	
Aralık	16.893	10.806.869	-10.789.976	1.062	-323.497	
Yıllık Toplam	135.647	101.847.921	-101.712.274	1.168	-3.049.740	

3.1.4. Hidroelektrik, Güneş, Rüzgâr ve Batarya Senaryosu

Bu sistemde 1 MW gücünde hidroelektrik kaynak, 800 kW gücünde rüzgâr türbini, 680 kW gücünde düz tip solar panel ve inverter ile enerji depolamak için 1 MW'lık Li-Ion batarya seçilmiştir. Şebekeye bağlı enerji üretim sisteminin şematik diyagramı Şekil 19'da gösterilmektedir.



Şekil 19. Şebekeli PV,rüzgâr,hidroelektrik ve batarya sisteminin şematik diyagramı.

Bu senaryoda seçilen sahanın elektrik yükünün büyük bir kısmı rüzgâr türbini tarafından karşılanmaktadır. Tablo 12’deki değerler kullanılarak 25 yıllık proje ömrü için NPC 2,9 milyon USD civarında, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 0,0287 \$/kWh olarak bulunmuştur. Yıllık üretim ve tüketim sonuçları Tablo 11 ve 1’de, HOMER simülasyon sonuçları ise Şekil 20’de ve maliyet özeti Şekil 21’de verilmektedir.

Bu sistemde enerji üretiminde en çok tercih edilen kaynak rüzgâr olmuştur. Bunun nedeni Ardahan’daki rüzgâr enerji potansiyelinin yıl içerisinde yüksek ve dengeli olmasıdır. Şekil 20, neredeyse tüm yıl boyunca rüzgâr türbinlerinden elde edilen yüksek elektrik üretimini göstermektedir. Mart-Temmuz döneminde rüzgâr enerjisinden enerji, üretimine ek olarak hidroelektrik kaynaktan enerji üretimi olmuştur. Yıl içerisinde şebekeden satın alım oranı %0,0722 olmuştur. Üretilen enerjinin %97,3’ü şebekeye satılmıştır.

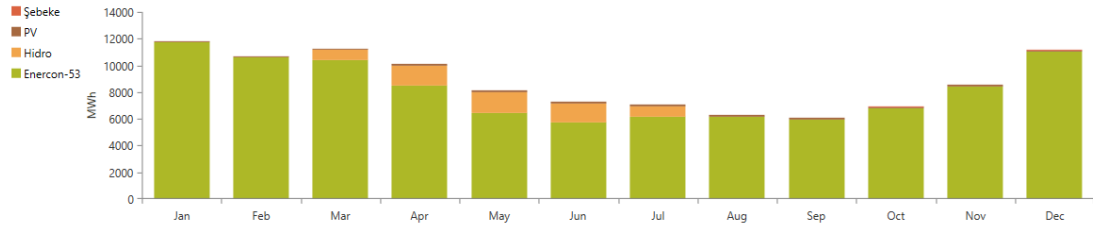
Tablo 11. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi

Üretim	kWh/yıl	%
Schneider ConextCoreXC 680kW PV	1.400.649	1,33
Enercon E-53 [800 KW]	97.948.700	92,9
Hidroelektrik	5.986.801	5,68
Şebeke Satın Alımı	76.065	0,0722
Toplam	105.412.215	100
Tüketim	kWh/yıl	%
AC Birincil Yük	2.868.170	2,72
Şebeke Satışı	102.544.045	97,3
Toplam	105.412.215	100

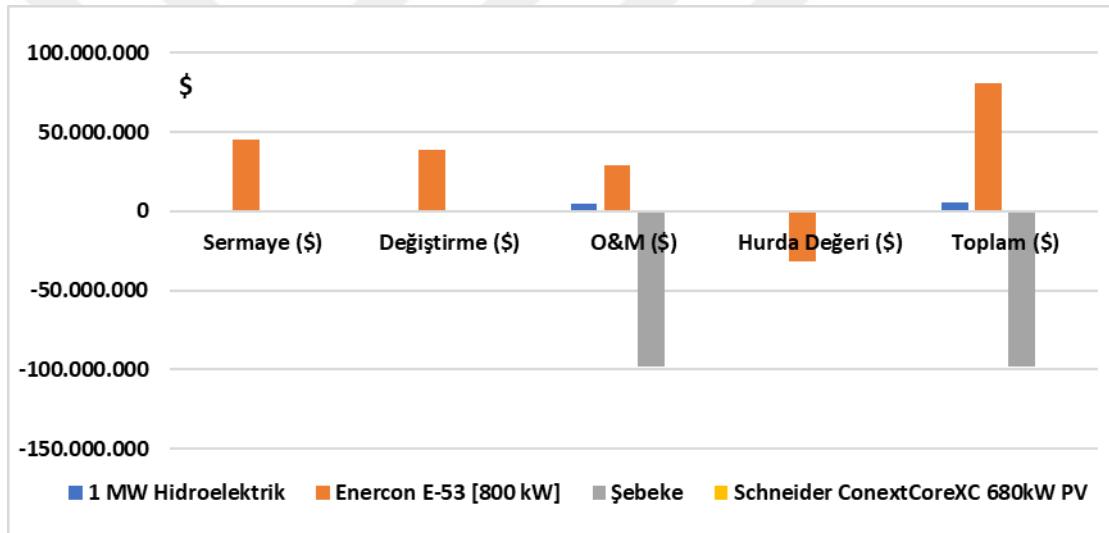
Tablo 12. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları

	Değer	Birim
IRR	1,6	%
Yenilenebilir Oran	99,9	%
Net Bugünkü Maliyet	2.900.000	\$
Seviyelendirilmiş COE	0,0287	\$/kWh
Geri Ödeme Süresi	18	yıl
İşletme Maliyeti	60,304	\$/yıl
Karbon Dioksit	-64.759.763	kg/yıl
Sülfür Dioksit	-280.762	kg/yıl
Azot Oksitler	-137.307	kg/yıl

Rüzgâr, PV panel ve hidroelektrik kaynaktan aylık elektrik enerjisi üretimi Şekil 20’de verilmiştir. Şekilden, Şekil 20’de görüldüğü üzere yıl içerisinde enerji üretiminin tamamına yakını rüzgâr türbinleri sağlamış sadece Mart-Temmuz döneminde hidroelektrik kaynaktan sistem beslenmiştir.



Şekil 20. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 21. Maliyet özeti

Tablo 11’de şebekeden satın alınan ve geri satılan enerji miktarı özetlenmiştir. Tablo 13’te aylık alım/satım verileri görülmektedir.

Tablo 11’deki verilere göre Mart-Temmuz döneminde şebekeden enerji satın alınmamıştır. Enerji üretiminin en yüksek olduğu dönem kış dönemidir. Özellikle kış döneminde sistem ihtiyacı artmasına rağmen şebekeye satış miktarı artmıştır.

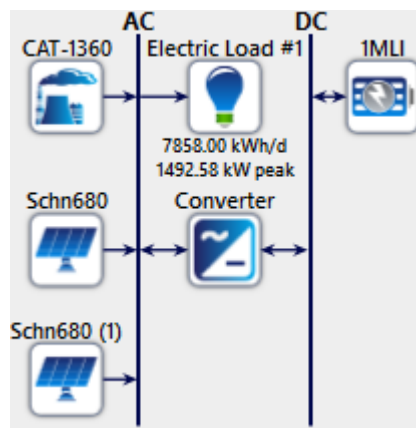
Tablo 13. Şebekeden alınan/satılan enerji

Aylar	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Satın Alınan Net Enerji (kWh)	Puant Yük (kW)	Enerji (\$)	Fiyatı
Ocak	14.851	11.529.540	-11.514.689	1	-345.262	
Şubat	8.908	10.440.432	-10.431.524	844	-312.839	
Mart	0	10.975.155	-10.975.155	0	-329.255	
Nisan	0	9.897.069	-9.897.069	0	-296.912	
Mayıs	0	7.932.136	-7.932.136	0	-237.964	
Haziran	0	7.101.638	-7.101.638	0	-213.049	
Temmuz	0	6.876.422	-6.876.422	0	-206.293	
Ağustos	7.883	6.090.992	-6.083.109	495	-182.399	
Eylül	11.469	5.901.840	-5.890.371	651	-176.574	
Ekim	9.295	6.656.261	-6.646.966	719	-199.297	
Kasım	9.108	8.278.192	-8.269.084	984	-247.963	
Aralık	14.551	10.864.367	-10.849.816	943	-325.320	
Yıllık Toplam	76.065	102.544.045	-102.467.979	1.000	-3.073.127	

3.2. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ SİSTEMLER (OFF-GRID)

3.2.1. Güneş PV Senaryosu ve Batarya Senaryosu

Bu sistemde 680 kW'a kadar güç çıkışı olan düz tip PV panel ve konvertör ile birlikte 1088 kW gücünde dizel jeneratör seçilmiştir. Şebekeye bağlı olmayan enerji üretim sisteminin şematik diyagramı Şekil 22'de gösterilmektedir.



Şekil 22. Şebekesiz PV, jeneratör ve batarya sistemin şematik diyagramı

Bu senaryoda seçilen sahanın elektrik yükünün büyük bir kısmı güneş enerjisi tarafından karşılanmaktadır. Tablo 15'teki değerler kullanılarak 25 yıllık proje ömrü için

NPC 21,3 milyon USD, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 0,232 \$/kWh olarak bulunmuştur. Güneş enerjisinden elektrik üretiminin yeterli olmadığı durumlarda dizel jeneratörden %7,9 üretim gerçekleşmiştir. Sistem şebekeye entegre olmadığı için üretilen enerji sistem içerisinde tüketilmiştir. Yıllık üretim ve tüketim sonuçları Tablo 14 ve 15'te, HOMER simülasyon sonuçları ise Şekil 23'te ve maliyet özeti Şekil 24'te verilmektedir.

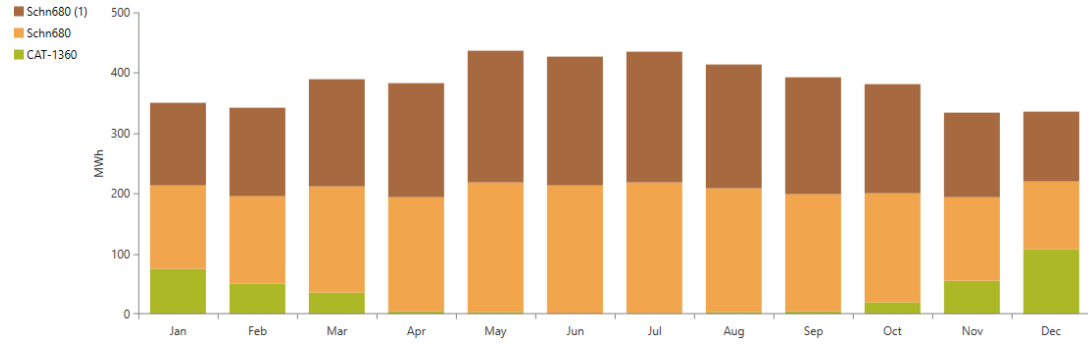
Tablo 14. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi

Üretim	kWh/yıl	%
Schneider ConextCoreXC 680kW PV	2.120.552	45,9
Schneider ConextCoreXC 680kW PV (1)	2.132.718	46,2
CAT-1360kVA	364.668	7,9
Toplam	4.617.938	100
Tüketim	kWh/yıl	%
AC Birincil Yük	2.868.053	100
Toplam	2.868.053	100

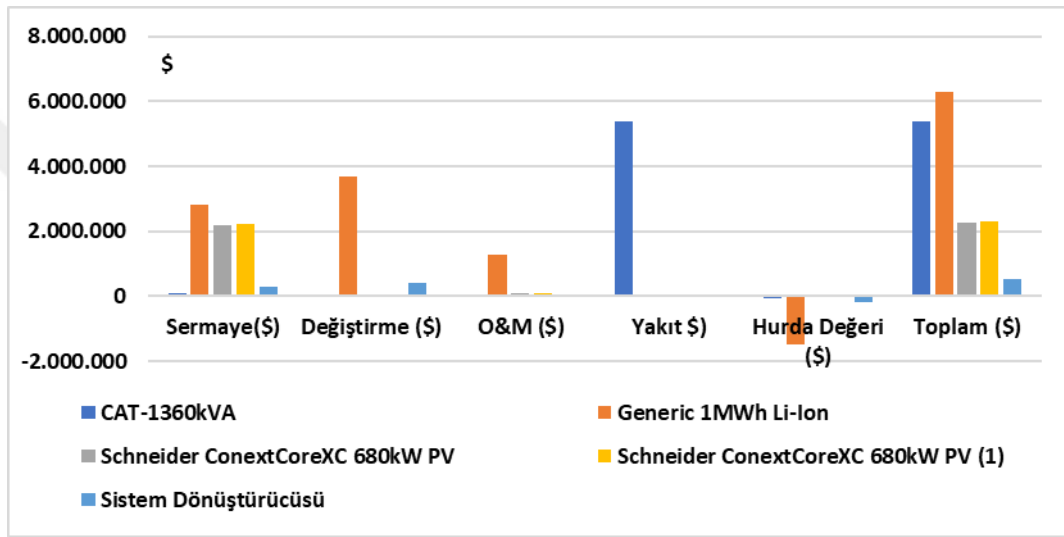
Tablo 15. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları

	Değer	Birim
IRR	11	%
Yenilenebilir Oran	87,3	%
Net Bugünkü Maliyet	21.300.000	\$
Seviyelendirilmiş COE	0,232	\$
Geri Ödeme Süresi	7,7	yıl
İşletme Maliyeti	479.747	\$/yıl
Karbon Dioksit	295.144	kg/yıl
Karbon Monoksit	470	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	51,50	kg/yıl
Partikül Madde	22,40	kg/yıl
Sülfür Dioksit	734	kg/yıl
Azot Oksitler	2.168	kg/yıl

PV panellerin ve dizel jeneratörün ürettiği aylık elektrik enerjisi ve maliyet özeti sırasıyla Şekil 23ve Şekil 24'te verilmiştir. Şekil 23'te görüldüğü üzere mayıs -ağustos döneminde güneş enerjisi ısınım oranı ve güneşlenme süresinin yüksek olmasından dolayı tüketilen enerjinin tamamı güneş panellerinden elde edilmiştir.



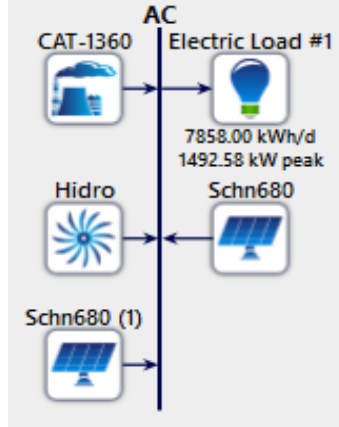
Şekil 23. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 24. Maliyet özeti

3.2.2. Güneş PV ve Hidroelektrik Senaryosu

Bu sistemde 680 kW'a kadar güç çıkışı olan düz tip PV panel ve konvertör, 1 MW gücünde hidroelektrik santral ile birlikte 1088 kW gücünde diesel jeneratör seçilmiştir. Şebekeye bağlı olmayan enerji üretim sisteminin şematik diyagramı Şekil 25'te gösterilmektedir.



Şekil 25. Şebekesiz PV, hidro ve jeneratör sisteminin şematik diyagramı

Bu senaryoda seçilen sahanın elektrik yükünün %40,8'i güneş enerjisi tarafından, %47,8'i hidroelektrik tesisten geriye kalan kısmı ise dizel jeneratör tarafından karşılanmaktadır. Tablo 17'deki değerler kullanılarak 25 yıllık proje ömrü için NPC 47,4 milyon USD, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 0,516 \$/kWh olarak bulunmuştur. Yıllık üretim ve tüketim sonuçları Tablo 16 ve 17'de, HOMER simülasyon sonuçları Şekil 26'da ve maliyet özeti Şekil 27'de verilmektedir.

Sisteme bakıldığında güneş panelleri ve hidroelektrik üretim tesislerinden elde edilen enerji yıl içerisinde aylara göre farklılık göstermektedir. Bunun nedeni ise yıl içerisinde güneş ışınımının ve güneşlenme süresinin değişiminin yanı sıra Kura Nehri'nin debisinin değişimidir.

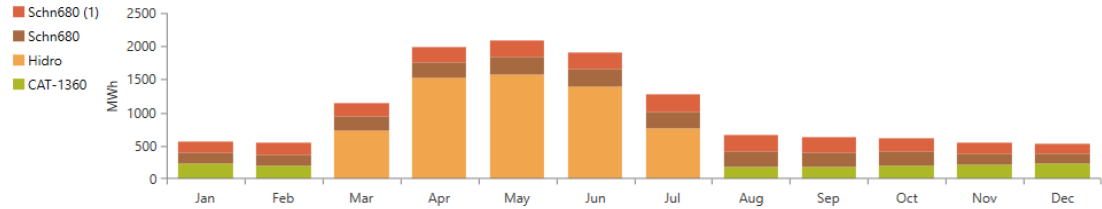
Tablo 16. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi

Üretim	kWh/yıl	%
Schneider ConextCoreXC 680kW PV	2.520.266	20,1
Schneider ConextCoreXC 680kW PV (1)	2.586.815	20,7
CAT-1360kVA	1.424.732	11,4
Hidroelektrik	5.986.803	47,8
Toplam	12.518.616	100
Tüketim	kWh/yıl	%
AC Birincil Yük	2.868.170	100
Toplam	2.868.170	100

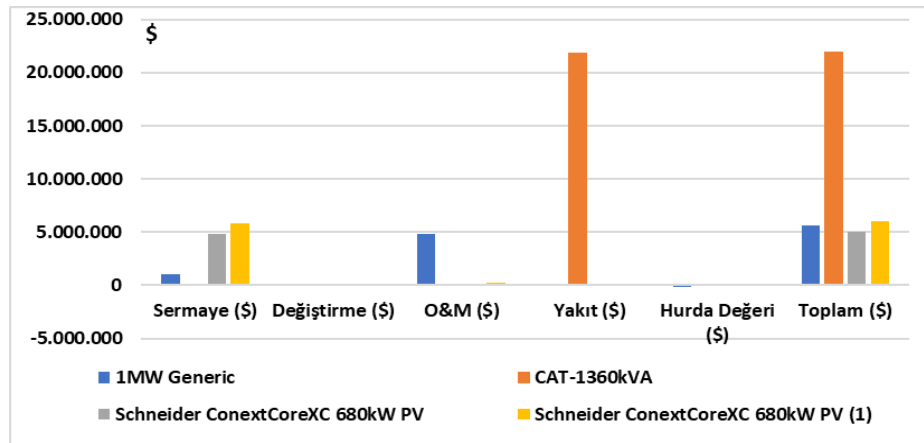
Tablo 17. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları

	Değer	Birim
IRR	61	%
Yenilenebilir Oran	50,3	%
Net Bugünkü Maliyet	47.400.000	\$
Seviyelendirilmiş COE	0,516	\$/kWh
Geri Ödeme Süresi	1,6	yıl
İşletme Maliyeti	1.130.000	\$/yıl
Karbon Dioksit	1.201.057	kg/yıl
Karbon Monoksit	1.912	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	209	kg/yıl
Partikül Madde	91,10	kg/yıl
Sülfür Dioksit	2.985	kg/yıl
Azot Oksitler	8.824	kg/yıl

Aylık elektrik enerjisi üretimi Şekil 26’da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere mart-temmuz döneminde Kura Nehri’nin debisinin yağışlar ve kar erimelerine bağlı olarak artması nedeniyle sistem gereken enerjinin büyük bir kısmını hidroelektrik santralden temin etmektedir. Yıl içerisinde kış döneminde güneşlenme süresi azalsa da yerdeki kar örtüsünden yansıyan güneş ışınlarından kaynaklı PV panellerden enerji üretiminde azalma olmamıştır.



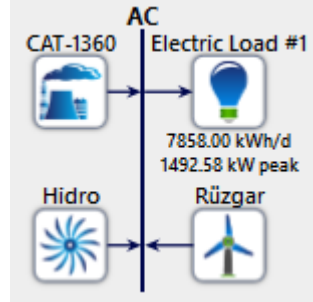
Şekil 26. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 27. Maliyet özeti

3.2.3. Hidroelektrik ve Rüzgâr Senaryosu

Bu sistemde 1 MW gücünde hidroelektrik santral, 800 kW gücünde rüzgâr türbini ve 1088 kW gücünde dizel jeneratör kullanılmıştır. Şebekeye bağlı olmayan enerji üretim sisteminin şematik diyagramı Şekil 28’de gösterilmektedir.



Şekil 28. Şebekesiz hidro, rüzgâr ve jeneratör sisteminin şematik diyagramı

Bu senaryoda seçilen sahanın elektrik yükünün % 69,4’ü rüzgâr enerjisinden elde edilmektedir. Tablo 19’daki değerler kullanılarak 25 yıllık proje ömrü için NPC 31,4 milyon USD, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 0,342 \$/kWh olarak bulunmuştur. Yıllık üretim ve tüketim sonuçları Tablo 18 ve 19’da, HOMER simülasyon sonuçları Şekil 29’da ve maliyet özeti Şekil 30’da verilmektedir. Bu sistemde enerjinin üretimi büyük oranda yenilenebilir kaynaklardan sağlanırken, sadece %3,3’lük kısmı dizel jeneratörden sağlanmıştır.

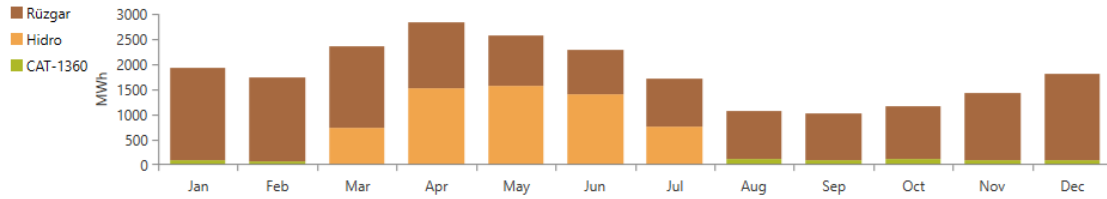
Tablo 18. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi

Üretim	kWh/yıl	%
CAT-1360kVA	723.637	3,3
Enercon E-53 [800 kW]	15.236.464	69,4
Hidroelektrik	5.986.803	27,3
Toplam	21.946.905	100
Tüketim	kWh/yıl	%
AC Birincil Yük	2.867.539	100
Toplam	2.867.539	100

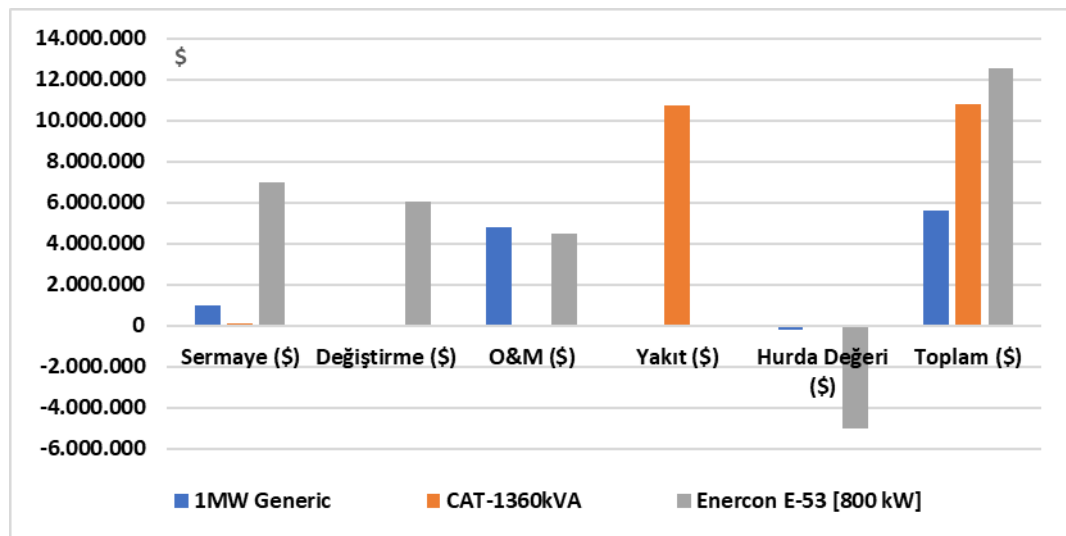
Tablo 19. Yıllık ekonomik ve sera gazı salınım sonuçları

	Değer	Birim
IRR	16	%
Yenilenebilir Oran	74,8	%
Net Bugünkü Maliyet	31.400.000	\$
Seviyelendirilmiş COE	0,342	\$/kWh
Geri Ödeme Süresi	6,1	yıl
İşletme Maliyeti	743.274	\$/ yıl
Karbon Dioksit	588.980	kg/yıl
Karbon Monoksit	938	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	103	kg/yıl
Partikül Madde	44,70	kg/yıl
Sülfür Dioksit	1.464	kg/yıl
Azot Oksitler	4.327	kg/yıl

Şekil 29’da görüldüğü üzere ağustos-şubat döneminde enerji üretimi büyük oranda rüzgâr türbinlerinden elde edilirken diğer dönemlerde hidroelektrik kaynaktan enerji üretimi daha fazla olmaktadır. Ayrıca sistemin maliyet özeti Şekil 30’da gösterilmiştir.



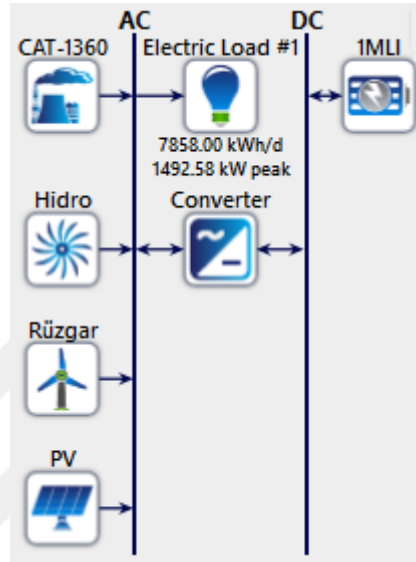
Şekil 29. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 30. Maliyet özeti

3.2.4. Hidroelektrik, Güneş, Rüzgâr ve Batarya Senaryosu

Bu sistemde 1MW gücünde hidroelektrik santral, 800 kW gücünde rüzgâr türbini, 1088 kW gücünde dizel jeneratör, 1 MWh kapasiteli Li-Ion batarya ile 680 kW'a kadar güç çıkışı olan düz tip PV panel ve konvertör seçilmiştir. Şebekeye bağlı olmayan enerji üretim sisteminin şematik diyagramı Şekil 31'de gösterilmektedir.



Şekil 31. Şebekesiz PV, hidro, rüzgâr, jeneratör ve batarya sisteminin şematik diyagramı

Bu senaryoda seçilen sahanın elektrik yükünün yarısından fazlası rüzgâr enerjisinden elde edilmiştir. Tablo 21'deki değerler kullanılarak 25 yıllık proje ömrü için NPC 31,6 milyon USD, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 0,344 \$/kWh olarak bulunmuştur. Yıllık üretim ve tüketim sonuçları Tablo 20 ve 21'de, HOMER simülasyon sonuçları Şekil 32'de ve maliyet özeti Şekil 33'te verilmektedir. Bu sistemde rüzgâr enerjisi sistem için en fazla tercih edilen enerji kaynağıdır. Bunun nedeni ise yıllık rüzgâr hızının ortalama üretim değerlerinin altına düşmeyecek değerde olmasıdır. Bu sistemde üretilen enerjinin sadece %4,6'sı dizel jeneratör tarafından karşılanmıştır.

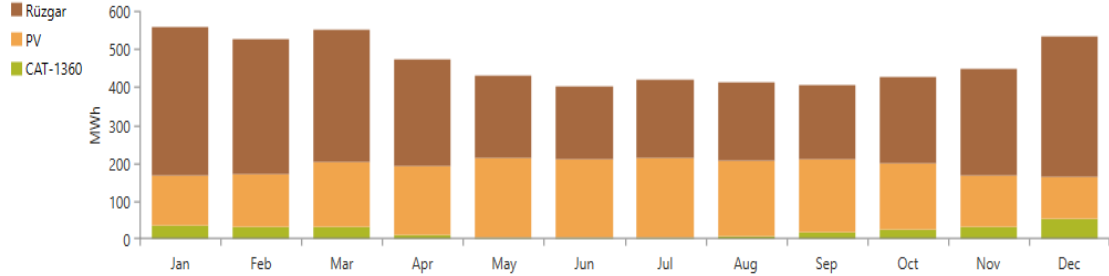
Tablo 20. Yıllık elektrik üretimi-tüketimi

Üretim	kWh/yıl	%
Schneider ConextCoreXC 680 kW PV	2.057.792	36,9
CAT-1360kVA	256.805	4,6
Enercon E-53 [800 kW]	3.264.957	58,5
Toplam	5.579.553	100
Tüketim	kWh/yıl	%
AC Birincil Yük	2.868.170	100
Toplam	2.868.170	100

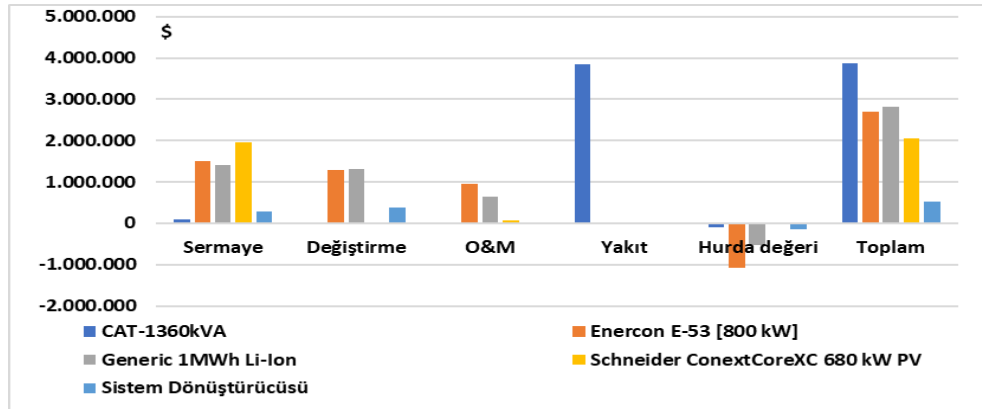
Tablo 21. Yıllık ekonomik sonuçlar ve sera gazı salınım sonuçları

	Değer	Birim
IRR	21	%
Yenilenebilir Oran	91	%
Net Bugünkü Maliyet	31.600.000	\$
Seviyelendirilmiş COE	0,344	\$/kWh
Geri Ödeme Süresi	4,6	yıl
İşletme Maliyeti	928.242	\$/ yıl
Karbon Dioksit	211.819	kg/yıl
Karbon Monoksit	337	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	36,90	kg/yıl
Partikül Madde	16,10	kg/yıl
Sülfür Dioksit	526	kg/yıl
Azot Oksitler	1.556	kg/yıl

Sistemde üretilen aylık elektrik enerji miktarı Şekil 32’de verilmiştir. Şekilden, PV enerji üretiminin daha yüksek netlik endeksi (clearness index) nedeniyle Mayıs-ağustos aylarında yüksek, daha düşük netlik endeksi nedeniyle kış aylarında düşük olduğunu görülmektedir. Ayrıca rüzgârdan enerji üretiminin aralık-mart dönemlerinde daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 32. Bir yıllık dönem için aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 33. Maliyet özeti

Ardahan üniversitesi kampüs binaları enerji ihtiyacını karşılamak için (41.129415, 42.780713) tesis konumuna ilişkin şebekeli ve şebekesiz modellerinin optimizasyon sonuçları Tablo 22’de ortaya koyulmuştur. Simülasyon süreci, en düşük CoE ve en yüksek Net Bugünkü Maliyete göre seçilen sistem konfigürasyonlarının ve kapasitelerinin bir listesini üretir ve hibrit enerji sistemlerinin proje süresi boyunca uygulanabilirliğini belirler. Simülasyon giriş verilerine dayalı olarak farklı konfigürasyonlar oluşturulmuş ve en kârlı durum sistemi altı çizili olarak gösterilmiştir. Bu araştırma, hem şebekeli hem de ada konfigürasyon sistemine en uygun optimum sistem tasarımını seçmektedir.

Tablo 22. Önerilen sistemin ekonomik optimizasyon sonuçları.

Model No	Bölüm	IRR (%)	Net Maliyet (\$)	Bugünkü Seviyelendirilmiş COE (\$/kWh)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
Model-1	4.1.1	2,4	2.900.000	0,0287	19
Model-2	4.1.2	1,3	560.305	0,00468	22
Model-3	4.1.3	0,029	3.300.000	0,0133	25
Model-4	4.1.4	1,6	2.900.000	0,0287	18
Model-5	4.2.1	11	21.300.000	0,232	7,7
Model-6	4.2.2	61	47.400.000	0,516	1,6
Model-7	4.2.3	16	31.400.000	0,342	6,1
Model-8	4.2.4	21	31.600.000	0,344	4,6

3.3. HASSASIYET ANALİZİ

HOMERPro’nun sistem konfigürasyonunu etkileyen belirli varsayımları olacaktır. Bu varsayımlara duyarlılık değişkeni denir. Hassasiyet değişkeni hidroelektrik net düşüşünü, güneş radyasyonunu, dizel fiyatını, enflasyon oranını, vb. içerir. HOMERPro, belirli varsayımlar altında mümkün olan farklı sistem kombinasyonlarını arar. Duyarlılık çalışması, sonuçların girdilerdeki değişimden nasıl etkilendiğini gösterir. HOMER Pro yazılımı, en ekonomik sonucu bulmak için aynı anda birçok hassas değeri analiz edebilir. HOMERPro’ya girebileceğimiz değerler ya karar değişkenleridir ya da duyarlılık değişkenidir. Çalışmada tüm değişkenler Tablo 23’te özetlenerek 17 farklı senaryo simüle edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tablo 23. Simülasyonda kullanılan bileşen ve kaynak duyarlılığı değişkenlerinin özeti

	Hidroelektrik net yükseklik (h)	Hidroelektrik verimlilik	Enflasyon oranı	Rüzgâr enerjisi maliyeti	Dizel yakıt maliyeti
Birim	metre	(%)	(%)	(*)	\$/litre
Değişiklikler	10; 12; 14; 16	80; 82; 84; 86	10; 15; 20	1; 1,25; 1,50 çarpanı	1; 1,25; 1,50

Önerilen hidroelektrik-güneş-rüzgâr-batarya-dizel enerji sistemi için Ardahan'daki durum göz önüne alındığında; öncelikle HOMER modellemesinin tasarım aşamasında enflasyon oranı hassas bir değişken olarak dikkate alınması gereklidir.

Ayrıca hidroelektrik enerji verileri Kura nehrinin 5 senelik verilerine dayandığından hava durumu verilerini doğru bir şekilde ölçebilen bir sisteme sahip olmak son derece önemlidir. Buna göre hidroelektrik enerji net düşüşü 2'şer metre artış ve azalışla değiştirilmiştir.

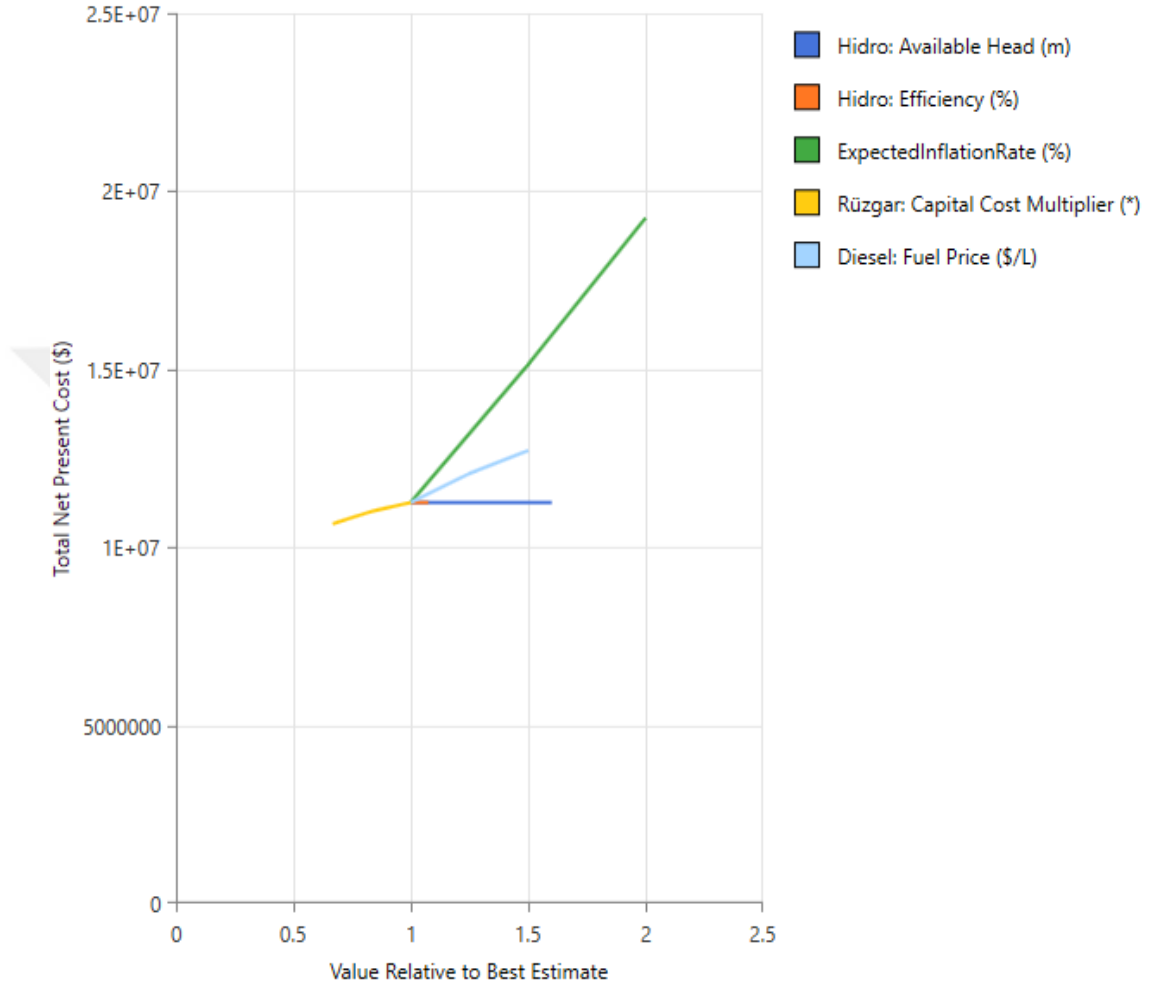
Dikkate alınması gereken üçüncü değişken; kullanılan ekipman verimliliği oranının optimal sistem konfigürasyonları üzerindeki etkisidir. Hidroelektrik verimlilik oranlarının artması yatırım maliyetlerini artırırken yatırımları da olumsuz etkileyebilir. Hidroelektrik verimlilik oranı %2'lik artışlarla %80'den %86'ya çıkarılmıştır.

Göz ardı edilmemesi gereken dördüncü değişken; yenilenebilir santral kurulum maliyeti fiyatındaki değişimdir. Çünkü rüzgâr enerjisi mikro şebeke sistemi bileşenlerinin önemli bir parçasıdır. Buna göre santral kurulum fiyatları %25 artış ve azalışla değiştirilmiştir.

Dikkate alınması gereken beşinci değişken ise; elektrik üretimi boyunca yakıt fiyatındaki değişimdir. Çünkü dizel jeneratör mikro şebeke sistemi bileşenlerinin önemli bir parçasıdır. Motorin fiyatları 0,25 \$/l'lik artışlarla 1 \$/l'den 1,5 \$/l'ye yükseldi.

Enerji maliyeti; HOMERPro programının oluşturduğu Şekil 34'te gösterilen örümcek grafiğinde olduğu gibi enflasyon oranına ve motorin fiyatına en duyarlı olanıdır. NPC'nin maliyet artışı her %5'lik enflasyon değişimi için 5M USD civarındadır. Her rüzgâr türbini kurulum maliyet çarpanı için NPC yaklaşık 50.000 USD artar. Dolayısıyla yatırımcıların en düşük enflasyon oranı ve dizel jeneratör için uygun fiyatla motorine

sahip olmaları gerekmektedir. Öte yandan; hidrolik verimlilik %2’lik bir azalma veya artışın; Şekil 34’te gösterildiği gibi toplam NPC üzerinde neredeyse ihmal edilebilir bir etkisi olmuştur. Dolayısıyla gelecekteki yatırımlarda bu parametrelerin dikkate alınması gereken önemli bir konudur.



Şekil 34. Beş farklı değişkenin örümcek grafiği

3.4. TARTIŞMA

Önceki bölümde; HOMERPro tarafından elde edilen optimizasyon sonuçları; söz konusu mikro şebeke için en uygun sistem tasarımı ve ayrıca yakıt fiyatı ve diğer parametre değişimine ilişkin kapsamlı bir hassasiyet analizini ortaya koyarak sunuldu. HOMERPro; türevsiz optimizasyonu nedeniyle hesaplama etkinliği sergileyerek yukarıda belirtilen 8 farklı simülasyonları gerçekleştirirken hesaplama sürelerinin önemli ölçüde azalmasına yol açar. Spesifik olarak; Intel® Core™ i5-10500T CPU 2.30GHz; 8GB

RAM kullanıldığında, optimum sistem tasarımına yönelik simülasyon 35 saniye sürerken, hassasiyet analizi ise 16 saat sürmüştür.

Ardahan Üniversitesi kampüs binaları enerji ihtiyacını karşılamak için üretilen her senaryo için yatırım analizini değerlendirmek amacıyla çeşitli parametreler kullanılır. Yatırım planı analizi, sistemin geri ödeme süresini, net bugünkü maliyetini, bugünkü değerini ve emisyonlarını içerir. Yenilenebilir enerji kullanımında optimal yatırım stratejisi için geri ödeme süresi mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır ve net bugünkü değer ne kadar büyük olursa; yatırım kararı da o kadar verimli olur. Simülasyon sürecinde, yenilenebilir enerji teknolojisini kullanan güç sisteminin seçilen parametreleri strateji seçimini etkileyebilecek bir dizi faktöre dayalı olarak hesaplanır. Örneğin, motorin fiyatı ile rüzgâr türbininin sermaye maliyeti parametrelerinde $\pm\%5$ 'lik ayarlamalar, sistemden kaynaklanan net mevcut maliyeti ve emisyonları etkileyebilir.

Her ne kadar HOMERPro'nun küçük ölçekli mikro şebeke ağları tasarlarlarken bazı avantajları olsa da programın daha karmaşık sistemler üzerinde derinlemesine bir araştırma yapma yeteneğinin olup olmadığını görmek için test edilmesi gerekmektedir. Sonraki çalışmalarda, diğer sınırlamaları (kararlılık analizi, kayıpların yakalanması ve reaktif güç üretimi vb.) ele almak için tam gelişmiş bir algoritma kullanan gelişmiş bir tasarım aracı önerilecektir.

Ardahan üniversitesi özelinde olduğu gibi ada modu hibrit tesis kurulması için atılması gereken birçok adım var ve yenilenebilir enerji konusunda küresel perspektife uygun hareket edilmesi gerekmektedir. Enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasına yönelik adımlar şu şekildedir:

- Elektrik ağı bağlantılarındaki teknik engellerin kaldırılması;
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının finansal rekabet gücünün artırılması;
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının ulusal şebekeye entegre edilmesine yönelik yönetimle ilgili süreçlerin kolaylaştırılması.

SONUÇ

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayanan Ardahan Üniversitesi kampüs binaları enerji ihtiyacını karşılamak için HomerPro yazılımı kullanılarak hibrit yenilenebilir enerji sisteminin tekno-ekonomik fizibilitesi ortaya konmuştur. Bu modeller, ağırlıklı olarak net bugünkü maliyet, elektrik maliyeti, başlangıç proje maliyeti ve işletme maliyetlerine dayalı simülasyonlar ve optimizasyonlar yapılarak analiz edilmiştir.

Seçilen saha için tüm modeller incelenerek aşağıdaki sonuçlara varıldı:

- Şebekeye bağlı sistem için en uygun model Model-1 (4.1.1)'dir ve seviyelendirilmiş COE 0,0287 \$/kWh'dır. Model-1'in işletme ve bakım maliyeti 60.304 USD/yıl'dır. İkinci ve üçüncü en ekonomik modeller Model-4 ve Model-2 olup NPC sırasıyla 2.9 milyon USD ve 560.305 USD'dir.
- Şebekeye bağlı olmayan sistem için en uygun model Model-6'dır ve seviyelendirilmiş COE 0,516 \$/kWh'tır. Model-6'nın işletme maliyeti 1.13 milyon USD/yıldır. İkinci ve üçüncü en ekonomik modeller sırasıyla Model-8 ve Model-7 olup NPC sırasıyla 31.6 milyon USD ve 31.4 milyon USD'dir.

Üretilen fazla enerjinin boşa gitmemesi ve kayıpları en aza indirmek ve yenilenebilir hibrit sistemi daha uygulanabilir ve ekonomik hale getirmek için fazla miktardaki elektriği şebeke istasyonuna satmak üzere her model şebeke istasyonu ile senkronize edilmiştir.

Yukarıdaki sonuçlardan, planlanan hibrit yenilenebilir enerji sisteminin, elektrik kullanımının artması nedeniyle yakın gelecekte hissedarların geleneksel kaynakları kullanmayı bırakıp yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmalarına yardımcı olacağı sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışmasında ortalama 7858kWh/gün yük ve 1492,58 kW pik yük seçilmiş olup, elde edilen sonuçlar uygulanabilir ve ekonomiktir. Yakın gelecekte, önerilen hibrit modelin, özellikle birbirine bağlantısı olmayan daha uzak bölgelere göre daha ekonomik yenilenebilir enerji üretmesi beklenmektedir. Yerel halkın yaşam standardı da yenilenebilir teknolojilerin kullanımıyla artabilir. Güç çıkışını belirlemek için daha ayrıntılı maliyet analizi, daha hassas simülasyon ve optimizasyonla desteklenebilir. Yakın gelecekte artan elektrik talebi aynı model için daha büyük kapasiteli bileşenler kullanılarak karşılanabilecektir. Ayrıca, güvenilir ve ekonomik bir

hibrit sistem oluşturmak için diğeri yenilenebilir kaynaklar mevcut araştırma kaynaklarıyla birlikte değerlendirilebilir.

Gelecekte, mevcut araştırma, diğeri yenilenebilir enerji kaynakları ve yakıt hücresi vb. bileşenler dikkate alınarak, Ardahan Üniversitesi enerji ihtiyacı için güvenilir ve ekonomik hibrit mikro şebeke sistemine doğru genişletilebilir. Ek olarak, tasarlanan mikro şebeke sisteminin performansının, yenilenebilir enerji kaynaklarının fiili, tahmin edilen ve evrimii olarak mevcut verileriyle karşılaştırılması üzerinde durulabilir. Ayrıca gelecekteki çalışmalarda, daha iyi bir enerji yönetim sistemine sahip çeşitli güç elektroniği devrelerinin kullanılması, besleme ve yük uyumsuzluğunu yönetebilir ve bu da sonuçta sistemin tepki süresini ve genel verimliliğini artırabilir.



KAYNAKÇA

- Agajie, Takele Ferede, Armand Fopah-Lele, Ahmed Ali, Isaac Amoussou, Baseem Khan, Mahmoud Elsis, Om Prakash Mahela, Roberto Marcelo Álvarez, and Emmanuel Tanyi. 2023. "Optimal Sizing and Power System Control of Hybrid Solar PV-Biogas Generator with Energy Storage System Power Plant." *Sustainability* 15(7):5739. doi: 10.3390/su15075739.
- Ağırkaya, Melahat Batu. 2022. "Renewable Energy in Turkish Economic Growth: Current Situation, Future Prospects, Employment and Investment Opportunities." *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD)*. doi: 10.48146/odusobiad.1103005.
- Akyuz, Emrah. 2021. "İstanbul ve Tokyo Büyükşehir Belediyeleri'nin Küresel Isınmaya Karşı Çevre Politikalarının Karşılaştırılması: İçerik Analizi Yöntemi." *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi* 16(1):66–77. doi: 10.48145/gopsbad.902303.
- Altun, Ayse Fidan, and Muhsin Kilic. 2020. "Design and Performance Evaluation Based on Economics and Environmental Impact of a PV-Wind-Diesel and Battery Standalone Power System for Various Climates in Turkey." *Renewable Energy* 157:424–43. doi: 10.1016/j.renene.2020.05.042.
- Anon. 1997. *Kyoto Protocol. UNFCCC*.
- Anon. 2024. "CAT Diesel Generator Set." *PRIME 1360 EkW*. Retrieved (https://emc.cat.com/pubdirect.ashx?media_string_id=LEHE0558-00.pdf).
- Anoune, Kamal, Mohsine Bouya, Abdelali Astito, and Abdellatif Ben Abdellah. 2018. "Sizing Methods and Optimization Techniques for PV-Wind Based Hybrid Renewable Energy System: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93:652–73. doi: 10.1016/j.rser.2018.05.032.
- Aslani, Alireza, Petri Helo, and Marja Naaranoja. 2014. "Role of Renewable Energy Policies in Energy Dependency in Finland: System Dynamics Approach." *Applied Energy* 113:758–65. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.08.015.
- Aydın, Abdüssamet. 2023. "Tarım Sektöründen Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması; Enterik Fermantasyon." *Uluslararası Gıda Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi* 3(1):40–54.

- Bahramara, S., M. Parsa Moghaddam, and M. R. Haghifam. 2016. "Optimal Planning of Hybrid Renewable Energy Systems Using HOMER: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62:609–20. doi: 10.1016/j.rser.2016.05.039.
- Baqir, Mohammad, and Harpreet Kaur Channi. 2022. "Analysis and Design of Solar PV System Using Pvsyst Software." *Materials Today: Proceedings* 48:1332–38. doi: 10.1016/j.matpr.2021.09.029.
- Barsoum, N. N., and P. Vacent. 2007. "Balancing Cost, Operation and Performance in Integrated Hydrogen Hybrid Energy System." Pp. 14–18 in *First Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS'07)*. IEEE.
- Bartholy, J., R. Pongrácz, J. Nagy, I. Pieczka, and L. Hufnagel. 2012. "Regional Climate Change Impacts on Wild Animals' Living Territory in Central Europe." *Applied Ecology and Environmental Research* 10(2):107–20.
- Bhandari, Binayak, Kyung-Tae Lee, Gil-Yong Lee, Young-Man Cho, and Sung-Hoon Ahn. 2015. "Optimization of Hybrid Renewable Energy Power Systems: A Review." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology* 2(1):99–112. doi: 10.1007/s40684-015-0013-z.
- Bilir, Levent, and Nurdan Yildirim. 2018. "Modeling and Performance Analysis of a Hybrid System for a Residential Application." *Energy* 163:555–69. doi: 10.1016/j.energy.2018.08.089.
- Coban, Hasan Huseyin. 2020. "A 100% Renewable Energy System: The Case of Turkey In The Year 2050." *İleri Mühendislik Çalışmaları Ve Teknolojileri Dergisi* 1(2):130–41.
- Coban, Hasan Huseyin. 2022. "Assessment of Hybrid Renewable Energy System in Beledweyne City Somalia, Technical and Economical Analysis." *Journal of Engineering Research* 11(1A):273–84. doi: 10.36909/jer.16481.
- Coban, Hasan Huseyin. 2023. "Experimental Study of Bifacial Solar Photovoltaic Systems in Snowy Environments." Pp. 189–201 in *2nd International Congress on Innovation Technologies & Engineering*.
- Coban, Hasan Huseyin, Aysha Rehman, and Abdullah Mohamed. 2022. "Technical and Economical Investigation of a Centralized and Decentralized Hybrid Renewable Energy System in Cadaado, Somalia." *Processes* 10(4):667. doi: 10.3390/pr10040667.

- Connolly, D., H. Lund, B. V. Mathiesen, and M. Leahy. 2010. "A Review of Computer Tools for Analysing the Integration of Renewable Energy into Various Energy Systems." *Applied Energy* 87(4):1059–82. doi: 10.1016/j.apenergy.2009.09.026.
- Cuesta, M. A., T. Castillo-Calzadilla, and C. E. Borges. 2020. "A Critical Analysis on Hybrid Renewable Energy Modeling Tools: An Emerging Opportunity to Include Social Indicators to Optimise Systems in Small Communities." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 122:109691. doi: 10.1016/j.rser.2019.109691.
- Elegeonye, Hillary Iruka, Abdulhameed Babatunde Owolabi, Olayinka Soledayo Ohunakin, Abdulfatai Olatunji Yakub, Abdullahi Yahaya, Noel Ngando Same, Dongjun Suh, and Jeung-Soo Huh. 2023. "Techno-Economic Optimization of Mini-Grid Systems in Nigeria: A Case Study of a PV–Battery–Diesel Hybrid System." *Energies* 16(12):4645. doi: 10.3390/en16124645.
- Erkalan, Başak. 2024. "İGA İstanbul Havalimanı, Elektriğini Güneşten Karşılamanın İlk Havalimanı Olacak." *Anadolu Ajansı*, April 8.
- Figaj, Rafał, Maciej Żołądek, and Wojciech Goryl. 2020. "Dynamic Simulation and Energy Economic Analysis of a Household Hybrid Ground-Solar-Wind System Using TRNSYS Software." *Energies* 13(14):3523. doi: 10.3390/en13143523.
- Guruprasad, Prajwal, Emanuele Quaranta, Oscar Coronado-Hernández, and Helena Ramos. 2023. "Hydropower Advantages over Batteries in Energy Storage of Off-Grid Systems: A Case Study." *Energies* 16(17):6309. doi: 10.3390/en16176309.
- Harish, V. S. K. V., and Arun Kumar. 2016. "A Review on Modeling and Simulation of Building Energy Systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56:1272–92. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.040.
- Horowitz, Cara A. 2016. "Paris Agreement." *International Legal Materials* 55(4):740–55. doi: 10.1017/S0020782900004253.
- Kaltakkıran, Galip, and Kadir Bakırcı. 2023. "Ardahan İlinde Enerji Uygulamaları İçin Meteoroloji ve İklim Verilerinin Analizi." *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 13(3):2026–41. doi: 10.21597/jist.1223780.
- Kassem, Youssef, Huseyin Gokcekus, Osama Abduljalil Mohammad Hamad, and Faed Mahmod Buojaylah Fayid. 2023. "Economic Viability of a 6.5kW Off-Grid Solar PV with Various Sun-Tracking Systems in Northern Cyprus: A Case Study."

- Engineering, Technology & Applied Science Research* 13(2):10608–21. doi: 10.48084/etasr.5744.
- Khan, M. J., and M. T. Iqbal. 2005. “Pre-Feasibility Study of Stand-Alone Hybrid Energy Systems for Applications in Newfoundland.” *Renewable Energy* 30(6):835–54. doi: 10.1016/j.renene.2004.09.001.
- Khezri, Rahmat, and Amin Mahmoudi. 2020. “Review on the State-of-the-art Multi-objective Optimisation of Hybrid Standalone/Grid-connected Energy Systems.” *IET Generation, Transmission & Distribution* 14(20):4285–4300. doi: 10.1049/iet-gtd.2020.0453.
- Kim, Beopsoo, and Insu Kim. 2023. “A Case Study of Stand-Alone Hybrid Power Systems for a Data Center Using HOMER and DIgSILENT.” *Energy Reports* 9:1136–43. doi: 10.1016/j.egyr.2023.02.044.
- Kiyak, Mahmut Hudayi, Mikail Purlu, Belgin Emre Turkay, and Tahir Cetin Akinci. 2023. “Optimizing Security Systems with an Optimum Design of a Hybrid Renewable Energy System.” *Electric Power Components and Systems* 1–22. doi: 10.1080/15325008.2023.2251477.
- Mills, A. 2004. “Simulation of Hydrogen-Based Hybrid Systems Using Hybrid2.” *International Journal of Hydrogen Energy* 29(10):991–99. doi: 10.1016/j.ijhydene.2004.01.004.
- Morshed, Md. Sifat, Shoaib Mohammad Ankon, Md. Tanzil Hoque Chowdhury, and Md. Anikur Rahman. 2015. “Designing of a 2kW Stand-Alone PV System in Bangladesh Using PVsyst, Homer and SolarMAT.” Pp. 1–6 in *2015 3rd International Conference on Green Energy and Technology (ICGET)*. IEEE.
- Nema, Pragya, Sameer Nema, and Priyanka Roy. 2012. “An Overview of Global Climate Changing in Current Scenario and Mitigation Action.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(4):2329–36. doi: 10.1016/j.rser.2012.01.044.
- Olatomiwa, Lanre, Saad Mekhilef, M. S. Ismail, and M. Moghavvemi. 2016. “Energy Management Strategies in Hybrid Renewable Energy Systems: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62:821–35. doi: 10.1016/j.rser.2016.05.040.
- Olaya, Camilo. 2020. “System Dynamics: Engineering Roots of Model Validation.” Pp. 109–17 in *System Dynamics*. New York, NY: Springer US.

- Østergaard, Poul Alberg, Anders N. Andersen, and Peter Sorknæs. 2022. “The Business-Economic Energy System Modelling Tool EnergyPRO.” *Energy* 257:124792. doi: 10.1016/j.energy.2022.124792.
- Purlu, Mikail, and Umut Ozkan. 2023. “Economic and Environmental Analysis of Grid-Connected Rooftop Photovoltaic System Using HOMER.” *Turkish Journal of Electrical Power and Energy Systems* 3(1):39–46. doi: 10.5152/tepes.2023.23002.
- Rahman, Md. Mizanur, Mohammad Mahmodul Hasan, Jukka V. Paatero, and Risto Lahdelma. 2014. “Hybrid Application of Biogas and Solar Resources to Fulfill Household Energy Needs: A Potentially Viable Option in Rural Areas of Developing Countries.” *Renewable Energy* 68:35–45. doi: 10.1016/j.renene.2014.01.030.
- Randhawa, F. J. S., Sarwar, M. B., Shams, M. H., and A. R. Saeed. 2019. “Economic Analysis of Distributed Generation for Hybrid Renewable Energy System.” *International Journal of Scientific & Engineering Research* 10(3):714–22.
- Rashad, Magdi, Alina Żabnieńska-Góra, Les Norman, and Hussam Jouhara. 2022. “Analysis of Energy Demand in a Residential Building Using TRNSYS.” *Energy* 254:124357. doi: 10.1016/j.energy.2022.124357.
- Raza, Muhammad Amir, Muhammad Mohsin Aman, Altaf Hussain Rajpar, Mohamed Bashir Ali Bashir, and Touqeer Ahmed Jumani. 2022. “Towards Achieving 100% Renewable Energy Supply for Sustainable Climate Change in Pakistan.” *Sustainability* 14(24):16547. doi: 10.3390/su142416547.
- Sagani, Angeliki, George Vrettakos, and Vassilis Dedoussis. 2017. “Viability Assessment of a Combined Hybrid Electricity and Heat System for Remote Household Applications.” *Solar Energy* 151:33–47. doi: 10.1016/j.solener.2017.05.011.
- Schaffrin, C., and I. Knoblich. 2020. “SolSim – A Software Tool for Simulation of Solar Hybrid Systems.” Pp. 2440–44 in *Sixteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference*. Routledge.
- Sharma, Hemant, Élise Monnier, Guillaume Mandil, Peggy Zwolinski, and Stéphane Colasson. 2019. “Comparison of Environmental Assessment Methodology in Hybrid Energy System Simulation Software.” *Procedia CIRP* 80:221–27. doi: 10.1016/j.procir.2019.01.007.
- Siddaiah, Rajanna, and R. P. Saini. 2016. “A Review on Planning, Configurations, Modeling and Optimization Techniques of Hybrid Renewable Energy Systems for

- off Grid Applications.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58:376–96. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.281.
- Sinha, Sunanda, and S. S. Chandel. 2014. “Review of Software Tools for Hybrid Renewable Energy Systems.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32:192–205. doi: 10.1016/j.rser.2014.01.035.
- Sirajitr, Komrit. 2020. “Comparative Analyses of Solar Photovoltaic; Wind; and Hybrid Energy Systems: Case Study of Thailand.” Ph.D. Thesis, California State University.
- Srivastava, Rachit, Vinod Kumar Giri, and Vinod Kumar Giri. 2016. “Optimization of Hybrid Renewable Resources Using HOMER.” *International Journal of Renewable Energy Research* (v6i1). doi: 10.20508/ijrer.v6i1.3275.g6770.
- Swarnkar, Norat Mal, and Lata Gidwani. 2016. “Analysis of Hybrid Energy System for Supply Residential Electrical Load by HOMER and RETScreen: A Case in Rajasthan, India.” Pp. 1–6 in *2016 International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*. IEEE.
- Temizer, Murat. 2024. “Ramazan Bayramı’nın Elektriği ‘Yenilenebilir’ Geldi.” *Anadolu Ajansı*, April 16.
- Twaha, Ssennoga, and Makbul A. M. Ramli. 2018. “A Review of Optimization Approaches for Hybrid Distributed Energy Generation Systems: Off-Grid and Grid-Connected Systems.” *Sustainable Cities and Society* 41:320–31. doi: 10.1016/j.scs.2018.05.027.

EKLER

EK 1. ORJİNALLİK RAPORU FORMU



**ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

**ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞINA**

Tarih: 03/04/2024

Tez Başlığı: Ardahan Üniversitesi Kampüs Binaları İçin Optimum Hibrit Yenilenebilir Enerji Üretim Sistemlerinin Belirlenmesi

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası; b) Giriş c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 49 sayfalık kısmına ilişkin; 23/04/2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre; tezin benzerlik oranı %1 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- ☒ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç
- 2- ☒ Kaynakça hariç
- 3- ☒ Alıntılar hariç/dâhil
- 4- ☒ 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Ardahan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nde belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

03/04/2024

Adı Soyadı:	Kadir AYDIN
Öğrenci No:	21408800001
Ana Bilim Dalı:	Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD
Programı:	Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Statüsü:	☒ Yüksek Lisans ☐ Doktora

DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI

Dr. Öğretim Üyesi Hasan Hüseyin ÇOBAN

Detaylı Bilgi: <https://www.ardahan.edu.tr/birim.aspx?id=1002003>

Telefon: 0-4782117522

Faks: 0-4782117523

E-posta: sbe@ardahan.edu.tr

EK 2. ETİK KURUL MUAFİYET İZİNİ

ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU

ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

Tarih: 02/05/2024

Tez Başlığı: Ardahan Üniversitesi Kampüs Binaları İçin Optimum Hibrit Yenilenebilir Enerji Üretim Sistemlerinin Belirlenmesi

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:

1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır;
2. Biyolojik materyal (kan; idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir.
3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir.
4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket; mülakat; ölçek/skala çalışmaları; dosya taramaları; veri kaynakları taraması; sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir.

Tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kurul/Komisyon'dan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

02/05/2024

Adı Soyadı:	Kadir AYDIN
Öğrenci No:	21408800001
Ana Bilim Dalı:	Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD
Programı:	Elektrik Elektronik Mühendisliği Y.L. Tezli
Statüsü:	☒ Yüksek Lisans ☐ Doktora

DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇOBAN

Detaylı Bilgi: <https://www.ardahan.edu.tr/birim.aspx?id=1002003>

Telefon: 0-4782117522

Faks: 0-4782117523

E-posta: sbe@ardahan.edu.tr

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :Kadir AYDIN

Doğum Yeri ve Tarihi

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi :Kırıkkale Üniversitesi/Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller :İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri :

K. AYDIN and H. H. ÇOBAN, “Ardahan İlinin Elektrik Enerjisi İhtiyacının Karşılanmasında Kura Nehri Üzerine Hidroelektrik Santrali Kurulumunun Enerji ve Fayda Analizi,” presented at the 1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences, Konya, 2022.

K. AYDIN and H. H. ÇOBAN, “Comparison of Monthly Average Electrical Energy Production from Horizontal Type Wind Turbines in Ardahan Province and Cildir District Depending on Average Temperature Wind Speed and Blade Diameter,” presented at the 7th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference, Mardin, 2021.

K. AYDIN and H. H. ÇOBAN, “Wind Energy Potential to Meet the Energy Demand of Electric Cars in the Akcaabat District,” presented at the 3rd Istanbul International Modern Scientific Research Congress, İstanbul, 2022.

K. AYDIN and H. H. ÇOBAN, Ardahan Değerlemeleri-3 Değerler, Potansiyeller ve Yaklaşımlar Bölüm Adı: Ardahan'daki Elektrikli Araçların Enerji Sarfıyatını Çıldır Rüzgâr Enerjisi ile Karşılama Potansiyeli, Yayın Yeri:Nobel Akademik Yayıncılık, Editör: Doç. Dr. İhsan

Kurtbaşı, ISBN:978-625-417-315-8, Bölüm Sayfaları:529 -
545

İş Deneyimi

Stajlar :
Projeler :
Çalıştığı Kurumlar :Ardahan Üniversitesi

İletişim

E-Posta Adresi

Tarih

Jüri Tarihi :02.05.2024