



**T.C.  
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALPARSLAN-1 HİDROELEKTRİK  
SANTRALİ'NİN HİBRİT ENERJİ ÜRETİM VE  
DEPOLANMASI YÖNÜNDEN  
MODELLENMESİ VE ÖNERİLERİ**

**Canan Öznur BABA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Ocak-2026  
MUŞ  
Her Hakkı Saklıdır**



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALPARSLAN-1 HİDROELEKTRİK  
SANTRALİ'NİN HİBRİT ENERJİ ÜRETİM VE  
DEPOLANMASI YÖNÜNDEN  
MODELLENMESİ VE ÖNERİLERİ**

**Canan Öznur BABA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Salih ÖZER**

**İkinci Danışman: Doç. Dr. Erdinç VURAL**

**Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Erkan KARAKOYUN**

**Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erkan ŞAHİN**

**Ocak-2026**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL ve ONAYI

Canan Öznur BABA tarafından hazırlanan “ALPARSLAN-1 HİDROELEKTRİK SANTRALİ’NİN HİBRİT ENERJİ ÜRETİM VE DEPOLANMASI YÖNÜNDEN MODELLENMESİ VE ÖNERİLERİ” adlı tez çalışması 15/01/2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erkan ŞAHİN  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,  
Teknik Bilimler MYO, Elektrik Bölümü

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Salih ÖZER  
Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık  
Fakültesi, Makine Mühendisliği

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Erkan KARAKOYUN  
Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık  
Fakültesi, Mimarlık Bölümü

.....

Yukarıdaki sonuç;  
Enstitü Yönetim Kurulu ...../...../..... Tarih ve ...../..... nolu kararı ile  
onaylanmıştır.

.....

FBE Müdürü

Bu tez çalışması Muş Alparslan Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından BAP-24-MMF-4902-01 nolu proje ile desteklenmiştir.

\*\* Doç.Dr. Erdiñ VURAL bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Canan Öznur BABA

15.01.2026

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS PROJESİ

#### ALPARSLAN-1 HİDROELEKTRİK SANTRALİ'NİN HİBRİT ENERJİ ÜRETİM VE DEPOLANMASI YÖNÜNDEN MODELLENMESİ VE ÖNERİLERİ

**Canan Öznur BABA**

**Muş Alparslan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Salih ÖZER**

Bu çalışmada, Muş ilinde bulunan Alparslan-1 Hidroelektrik Santrali (HES) için fotovoltaik (PV), rüzgâr enerjisi ve batarya depolama sistemleri ile oluşturulabilecek hibrit enerji sistemleri teknik ve ekonomik açıdan analiz edilmiştir. Mevcut 160 MW kapasiteli HES temel alınarak, şebekeye bağlı yapı için HOMER Pro yazılımı kullanılmış ve beş farklı senaryo modellenmiştir.

Senaryolar; yalnızca HES, HES + PV, HES + PV + batarya, HES + rüzgâr ve HES + rüzgâr + batarya konfigürasyonlarını kapsamaktadır. Her senaryo için net bugünkü maliyet (NPC), seviyeleştirilmiş enerji maliyeti (LCOE), yenilenebilir enerji oranı ve enerji akışları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre tüm senaryolarda NPC ve LCOE değerleri negatif bulunmuş olup, sistemlerin şebekeye enerji satışı sayesinde ekonomik olarak kârlı olduğu belirlenmiştir. Fotovoltaik entegrasyonu içeren senaryolar, en düşük NPC ve LCOE değerleri ile ekonomik açıdan en uygun hibrit yapı olarak öne çıkmıştır. Batarya depolama sistemlerinin ekonomik katkısı sınırlı kalmış, buna karşın sistem esnekliği ve şebeke etkileşimini artırıcı bir rol üstlendiği görülmüştür. Rüzgâr enerjisi entegrasyonunun etkisi ise saha rüzgâr potansiyeline bağlı olarak değişkenlik göstermiştir.

Elde edilen sonuçlar, büyük ölçekli ve şebekeye bağlı hidroelektrik santraller için fotovoltaik destekli hibrit sistemlerin teknik olarak uygulanabilir ve ekonomik açıdan avantajlı bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

**2026, 58 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Batarya depolama, Fotovoltaik enerji, Hibrit enerji sistemi, Hidroelektrik santral, HOMER Pro, Rüzgâr enerjisi, Yenilenebilir enerji entegrasyonu

## **ABSTRACT**

### **MASTER’S PROJECT**

# **MODELING AND RECOMMENDATIONS FOR HYBRID ENERGY GENERATION AND STORAGE OF ALPARSLAN-1 HYDROELECTRIC POWER PLANT**

**Canan Öznur BABA**

**Muş Alparslan University  
Natural and Applied Science  
Department of Nuclear Energy and Energy Systems**

**Advisor: Assoc. Prof. Salih ÖZER**

In this study, hybrid energy systems that can be formed by integrating photovoltaic (PV), wind energy, and battery energy storage systems into the Alparslan-1 Hydroelectric Power Plant (HPP), located in Muş province, were analyzed from technical and economic perspectives. Based on the existing 160 MW installed-capacity HPP, five different scenarios were modeled for a grid-connected configuration using the HOMER Pro software.

The scenarios include the following configurations: HPP only, HPP + PV, HPP + PV + battery, HPP + wind energy, and HPP + wind energy + battery. For each scenario, net present cost (NPC), levelized cost of energy (LCOE), renewable energy fraction, and energy flow characteristics were evaluated comparatively.

According to the simulation results, NPC and LCOE values were found to be negative in all scenarios, indicating that the systems are economically profitable due to revenue obtained from electricity sales to the grid. Scenarios including photovoltaic integration emerged as the most economically favorable hybrid configurations, yielding the lowest NPC and LCOE values. Although the economic contribution of battery energy storage systems was limited, they were found to enhance system flexibility and grid interaction. The impact of wind energy integration was observed to vary depending on the local wind potential.

The obtained results demonstrate that photovoltaic-supported hybrid systems represent a technically feasible and economically advantageous solution for large-scale, grid-connected hydroelectric power plants.

**2026, 58 Pages**

**Keywords:** Battery energy storage, Photovoltaic energy, Hybrid energy system, Hydroelectric power plant, HOMER Pro, Wind energy, Renewable energy integration

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın konusunun seçiminde, yürütülmesinde, oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendirmemi sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Salih Özer'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her zaman desteğini sunan ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan sevgili eşim özel insana tüm kalbimle teşekkür ederim.

Canan Öznur BABA  
MUŞ-2026



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                   |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| ÖZET .....                                                                        | iv       |
| ABSTRACT .....                                                                    | v        |
| TEŞEKKÜR.....                                                                     | vi       |
| SİMGELER ve KISALTMALAR .....                                                     | x        |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                             | xi       |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                           | xii      |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                              | <b>1</b> |
| 1.1 Literatür Araştırmaları .....                                                 | 2        |
| 1.2 Tezin Amacı.....                                                              | 5        |
| <b>2.ENERJİ DURUMU ve YENİLENEBİLİR ENERJİ .....</b>                              | <b>7</b> |
| 2.1 Dünyada Enerji Sektörü ve Yenilebilir Enerji .....                            | 7        |
| 2.2 Türkiye’de Enerji Durumu ve Yenilenebilir Enerji .....                        | 8        |
| 2.2.1 Türkiye’nin enerji profili .....                                            | 9        |
| 2.2.2 Yenilenebilir enerji potansiyeli .....                                      | 9        |
| 2.2.3 Yenilenebilir enerjinin stratejik önemi .....                               | 10       |
| 2.2.4 Mevzuat ve teşvikler .....                                                  | 10       |
| 2.2.5 Karşılaşılan zorluklar ve fırsatlar .....                                   | 10       |
| 2.2.6 Dünya ile karşılaştırmalı Türkiye’nin yenilenebilir enerji stratejisi ..... | 11       |
| 2.2.6.1. Kurulu güç ve yenilenebilir enerji payı karşılaştırması .....            | 11       |
| 2.2.6.2 Politik yaklaşımlar ve teşvik mekanizmaları .....                         | 12       |
| 2.2.6.3 Teknolojik gelişme ve yerli üretim potansiyeli.....                       | 13       |
| 2.2.6.4 Türkiye’nin stratejik avantajları ve zorlukları .....                     | 13       |
| 2.3 Hibrit Enerji Sistemleri.....                                                 | 14       |
| 2.3.1 Hibrit Enerji Üretim Sistemlerinin Genel Özellikleri .....                  | 14       |
| 2.4 Hidroelektrik Santralleri ve Verimlilik .....                                 | 15       |
| 2.4.1 Hidroelektrik enerjinin temel prensibi .....                                | 15       |
| 2.4.2 Türkiye’nin Hidroelektrik potansiyeli ve mevcut durumu .....                | 16       |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.3 Hidroelektrik santrallerde verimlilik kavramı.....         | 17 |
| 2.4.4 Hidroelektrik santrallerin sınıflandırılması.....          | 17 |
| 2.4.4.1 Kurulu güçlerine göre hidroelektrik tesisler .....       | 18 |
| 2.4.4.2 Düşülerine göre hidroelektrik tesisler .....             | 19 |
| 2.4.4.3 Depolama durumlarına göre hidroelektrik tesisler.....    | 19 |
| 2.4.4.3.1 Depolamalı santraller .....                            | 19 |
| 2.4.4.3.1 Depolamasız santraller .....                           | 19 |
| 2.4.4.4 Çalışma durumlarına göre hidroelektrik tesisler .....    | 20 |
| 2.4.5 Hidroelektrik santrallerin avantaj ve dezavantajları ..... | 20 |
| 2.5 Enerji Depolama Teknolojileri.....                           | 21 |
| 2.5.1 Mekanik enerji depolama.....                               | 22 |
| 2.5.1.1 Pompalı hidroelektrik enerji depolama (PHS) .....        | 22 |
| 2.5.1.2 Basınçlı hava enerji depolama (CAES) .....               | 22 |
| 2.5.1.3 Volan enerji depolama .....                              | 22 |
| 2.5.2 Elektriksel enerji depolama.....                           | 22 |
| 2.5.2.1 Süperkapasitörler .....                                  | 22 |
| 2.5.2.2 Süperiletken manyetik enerji depolama (SMES).....        | 23 |
| 2.5.3 Elektrokimyasal enerji depolama.....                       | 23 |
| 2.5.3.1 Batarya .....                                            | 23 |
| 2.5.3.2 Akış bataryaları .....                                   | 23 |
| 2.5.4 Termal enerji depolama .....                               | 24 |
| 2.5.4.1 Duyulur ısı enerji depolama.....                         | 24 |
| 2.5.4.2 Gizli ısı enerji depolama .....                          | 24 |
| 2.5.4.3 Termokimyasal enerji depolama.....                       | 24 |
| 2.5.5 Kimyasal enerji depolama.....                              | 24 |
| 2.5.5.1 Hidrojen enerji depolama.....                            | 24 |
| 2.5.5.2 Sentetik doğalgaz enerji depolama .....                  | 25 |
| 2.5.6 Enerji depolamanın avantaj ve dezavantajları .....         | 25 |

### **3.METERYAL ve YÖNTEM..... 27**

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 3.1 HOMER PRO Yazılımı .....           | 27 |
| 3.1.1 Simülasyon (Benzetim).....       | 27 |
| 3.1.2 Optimizasyon (İyileştirme) ..... | 27 |

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.3 Duyarlılık analizi.....                                               | 28        |
| 3.2 ALPARSLAN-1 Hidroelektrik Santrali hakkında genel bilgiler.....         | 28        |
| 3.2.1 Bölgesel enerji talebi ve tüketim profili (Muş/Varto).....            | 30        |
| 3.2.2 HES'in yıllık üretim kapasitesi ve mevsimsel dalgalanmalar .....      | 30        |
| 3.3 Proje tanımlaması.....                                                  | 31        |
| 3.3.1 Yük (LOAD) tanımı.....                                                | 32        |
| 3.3.2 Hidroelektrik santral bileşeni .....                                  | 34        |
| 3.3.3 Şebeke (Grid) bileşeni.....                                           | 36        |
| 3.3.3.1 Tarifeler ve fiyatlandırma yaklaşımı.....                           | 36        |
| 3.3.3.2 Şebeke kapasitesinin sınırlandırılması .....                        | 36        |
| <b>4.BULGULAR ve TARTIŞMA .....</b>                                         | <b>38</b> |
| 4.1 Senaryo-1 Yalnızca Mevcut HES İşletmesi.....                            | 38        |
| 4.2 Senaryo-2 Alparslan-1 HES + 50 MW GES (PV) Entegrasyonu.....            | 40        |
| 4.3 Senaryo-3 Alparslan-1 HES + 50 MW GES (PV) + Batarya Entegrasyonu ..... | 42        |
| 4.4 Senaryo-4 Alparslan-1 HES + 35 MW RES Entegrasyonu.....                 | 44        |
| 4.5 Senaryo-5 Alparslan-1 HES + 35 MW RES + Batarya Entegrasyonu .....      | 46        |
| <b>5.SONUÇLAR.....</b>                                                      | <b>49</b> |
| <b>6. ÖNERİLER.....</b>                                                     | <b>52</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                       | <b>53</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                        | <b>58</b> |

## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Kısaltmalar

|        |                                                    |
|--------|----------------------------------------------------|
| AA     | : Alternatif Akım                                  |
| AC     | : Alternatif Akım ( <i>Alternating Current</i> )   |
| CAES   | : Basınçlı Hava Depolama Sistemi                   |
| CC     | : Cycle Charging                                   |
| DA     | : Doğru Akım                                       |
| DC     | : Doğru Akım ( <i>Direct Current</i> )             |
| EPDK   | : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu                 |
| EÜAŞ   | : Elektrik Üretim Anonim Şirketi                   |
| EJ     | : Elektro Joule                                    |
| ETS    | : Emisyon Ticaret Sistemi                          |
| GES    | : Güneş Enerjisi Santrali                          |
| GW     | : Gigawatt                                         |
| HES    | : Hidroelektrik Santrali                           |
| HOMER  | : Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources |
| kW/h   | : Kilowatt saat                                    |
| LCOE   | : Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti                |
| LF     | : Load Following                                   |
| MTEP   | : Milyon Ton Eşdeğer Petrol                        |
| MVA    | : Mega Volt Amper                                  |
| MW     | : Megawatt                                         |
| NPC    | : Net Bugünkü Maliyet                              |
| NREL   | : Natiol Renewable Energy Laboratory               |
| PHS    | : Pompalı Hidroelektrik Enerji Depolama Sistemi    |
| PV     | : Fotovoltaik                                      |
| PSO    | : Parçacık Sürü Optimizasyonu                      |
| RES    | : Rüzgâr Enerji Santrali                           |
| SMES   | : Süperiletken Manyetik Enerji Depolama Sistemi    |
| TEP    | : Ton Eşdeğer Petrol                               |
| TWh    | : Terawatt-saat                                    |
| YEKDEM | : Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması      |
| YEKA   | : Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları             |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2. 1 Bir hidroelektrik santral tesisinin Şematik gösterimi (Özbek, 2022) ...                | 16 |
| Şekil 2. 2 Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması (Bilen,2024) .....                        | 18 |
| Şekil 2. 3 Benjamin Franklin'in elektrik yükü depolayan 35 adet Leyden kavanozu<br>düzenegi ..... | 21 |
| Şekil 3. 1 Benzetim, optimizasyon ve duyarlılık analizi arasındaki bağıntı .....                  | 28 |
| Şekil 3. 2 Alparslan-1 HES genel görünüm .....                                                    | 29 |
| Şekil 3. 3 Homer Pro Yazılımı Giriş Ekranı .....                                                  | 32 |
| Şekil 3. 4 Trafo Merkezi-1 Yıllık Çekiş Yükleri program çıktısı .....                             | 33 |
| Şekil 3. 5 Trafo Merkezi-2 Yıllık Çekiş Yükleri program çıktısı .....                             | 33 |
| Şekil 3. 6 Alparslan-1 HES yıllık su debileri.....                                                | 34 |
| Şekil 3. 7 Alparslan-1 HES teknik veri ekranı .....                                               | 35 |
| Şekil 4. 1 Mevcut Kurulu Santral Şematik Gösterim.....                                            | 39 |
| Şekil 4. 2 Mevcut Santral Simülasyon Sonuç Ekranı .....                                           | 39 |
| Şekil 4. 3 Mevcut HES+ 50MW PV Şematik Gösterim .....                                             | 40 |
| Şekil 4. 4 GHI Temelli Aylık Radyasyon Değerleri .....                                            | 41 |
| Şekil 4. 5 Senaryo-3 Cost Summary Simülasyon Sonucu .....                                         | 43 |
| Şekil 4. 6 Aylık Rüzgar Hız Verileri.....                                                         | 44 |
| Şekil 4. 7 Türbin Seçim Ekranı .....                                                              | 45 |
| Şekil 4. 8 Batarya Seçim Ekranı .....                                                             | 47 |
| Şekil 4. 9 Batarya Simülasyon Sonuç Ekranı.....                                                   | 47 |
| Şekil 5. 1 NPC ve LCOE Senaryo Karşılaştırmalı Grafikler .....                                    | 49 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 2. 1</b> Türkiye'nin Temmuz 2025 Yılı itibariyle kurulu güç dağılımı (EPDK, 2025) .....                             | 9  |
| <b>Çizelge 2. 2</b> Türkiye'nin 2024 Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü (EPDK,2024) ..                                           | 9  |
| <b>Çizelge 2. 3</b> Seçilmiş Ülkelerde Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü ve Payı (2023) (IRENA, 2024; TEİAŞ, 2024) .....        | 12 |
| <b>Çizelge 2. 4</b> Ülkeler Teşvik Mekanizmaları (IEA,2024) .....                                                              | 12 |
| <b>Çizelge 2. 5</b> Türkiye'nin Hidroelektrik Üretimi ve Toplam Elektrik Üretimi İçindeki Payı (2020–2024) (TEİAŞ, 2024) ..... | 16 |
| <b>Çizelge 3. 1</b> Alparslan-1 HES'in Temel Teknik Özellikleri (Kaynak: Enerji Atlası, 2024; DSİ, 2023) .....                 | 29 |
| <b>Çizelge 4. 1</b> Rüzgâr Türbini Ekonomik Girdi Parametreleri .....                                                          | 45 |
| <b>Çizelge 4. 2</b> Sistem Ekonomik Sonuçları.....                                                                             | 46 |
| <b>Çizelge 5. 1</b> Hibrit Sistem Senaryolarının Teknik ve Ekonomik Karşılaştırması.                                           | 49 |

## 1. GİRİŞ

Enerji, insanlığın var oluşuyla ortaya çıkmış olup toplumların hayatında refah seviyesini arttırdıkça da vazgeçilmez bir unsur olmaya başlamıştır. İnsanlık var olmaya devam ettiği sürece enerji, ihtiyaç ve gereklilik olmaya devam edecektir. Ülkelerin gelişmekte olan sanayi süreçleri, uluslararası rekabet güçleri arasında doğrudan bir etkiye sahiptir.

Enerji kaynakları, kullanılabilirlik durumlarına göre ve dönüştürülebilirlik durumlarına göre sınıflandırılmaktadır.

Dönüştürülebilirlik durumlarına göre;

- a) Birincil (Primer) enerji kaynakları (kömür, doğalgaz, petrol, nükleer, biokütle, hidrolik, güneş, rüzgâr, dalga, gel-git)
- b) İkincil (sekonder) enerji kaynakları (elektrik, benzin, mazot, motorin, ikincil kömür, hava gazı, LPG, petrokok)

Kullanılabilirlik durumuna göre;

- a) Yenilenemez enerji kaynakları
  - Fosil kaynaklı (kömür, petrol, doğalgaz,)
  - Çekirdek kaynaklı (uranyum, toryum)
- b) Yenilenebilir enerji kaynakları

Güneş, hidrolik, biokütle, rüzgar, jeotermal, dalga, gelgit, hidrojenidir. (Sökmen,2024).

İnsan doğası gereği çoğalmakta ve bununla birlikte nüfusun artmasıyla sanayi ve teknoloji sürekli gelişmektedir. Teknoloji ve sanayideki bu gelişmeler enerjiye olan ihtiyacın artmasına neden olmaktadır. Enerji kaynaklarının kullanılabilirlik durumlarına bakıldığında yenilenemez enerji kaynakları ismi üstünde kullanıldıkça yerine bir yenisi gelemez başka bir deyişle yeniden oluşması uzun seneler alır. Başka bir deyişle, kullanılması muhtemeldir ve bu nedenle ciddi bir gelecek sorunu temsil eder. Ayrıca, fosil yakıtların kullanımında çevre üzerinde olumsuz birçok etki vardır (Sayyadov,2023). Fosil yakıtlarının yoğun kullanılması sonucunda karbon salınımı artarak iklim değişikliklerine sebep olmasıyla birlikte çevresel bozulmayı da beraberinde getirir. Bu

kaynaklar çıkarıldığında, taşındığında ve kullanıldığında bile çevresel kirliliğe neden olabilirler. Birçok ülke fosil yakıtları ithal ederek enerji ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bu durum, enerji arzının güvenliğini tehlikeye atmakta birlikte uluslararası enerji piyasalarındaki belirsizlikler ve jeopolitik gerilimler nedeniyle, enerji krizleri ve ekonomik istikrarsızlıklar gibi olumsuz sonuçlara yol açabilmektedir.

Tüm dünya genelinde yenilenemez enerji kaynaklarının kullanımı devam etmektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarının birçok olumsuz yönlerinin yanında olumlu yönleri de bulunmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarından olan fosil yakıtlar ve nükleer enerji son derece yüksek enerji yoğunluklarına sahiptir ve bu özellikleri sayesinde küçük miktarlarda yakıtla büyük miktarlarda enerji üretirler. Örneğin; 1 kg uranyumdan yaklaşık olarak 620.000 kWh enerji elde edilebilmektedir. (Buşuyev,2016)

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal unsurlardan elde edilen sürekli olarak yenilenen ve insan etkisiyle azalması söz konusu olmayan enerji kaynaklarını tanımlar. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, daha düşük karbon emisyonları ürettiği için çevre üzerinde olumlu bir etki yapar. Bu enerji kaynakları doğada sürekli mevcut oldukları ve yerel kaynaklarımızdan elde edildikleri için dışa bağımlılığı azaltır, böylece enerji arz güvenliğini artırır ve ulusal enerji sistemlerinin daha sağlam hale gelmesine yardımcı olur (Aslan,2023).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının da bazı güçlükleri mevcuttur. Özellikle güneş ve rüzgar enerjisi, doğası itibarıyla hava şartlarına ve iklim değişikliklerine bağlı olarak üretim seviyelerinde dalgalanmalara neden olabilmektedir. Bu tür dalgalanmaların etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi için, enerji arzının sürekliliğini sağlamak hedefiyle enerji depolama sistemlerine olan ihtiyaç artmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu sırasında başlangıçta yapılan yatırımlar, özellikle güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve barajlar için oldukça yüksek maliyetler gerektirir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji sistemleri inşa edilirken geniş alanlara ihtiyaç duyulmakta ve bu durum bazen sosyal ve çevresel sorunlara neden olabilmektedir.

### 1.1 Literatür Araştırmaları

Hibrit sistemlerin temel amacı, enerji kaynaklarının beraber kullanımıyla birlikte hem verimliliğin artması hem de kaynaklardan birinin olmaması veya azalması

durumunda diğer enerji üretim sisteminin kaybını ortadan kaldırmaktır. Hibrit sistem en az iki veya daha fazla enerji üretim sisteminin bir araya gelmesiyle oluşturulabilir. Bunun ile ilgili birçok hibrit enerji uygulamaları mevcuttur. Bu uygulamalarda sistemin daha verimli olması ve kontrolü amacıyla öncesinde tasarım, modelleme, analiz ve optimizasyon çalışmaları ve sonrasında risk ve maliyet analizleri yapılmaktadır. Bu optimizasyon çalışmaları için kullanılan birçok program mevcuttur. Bunlardan birisi olan HOMER PRO, bütün kombinasyonları inceleyerek en uygulanabilir sistemleri bizlere seçenek olarak sunar. Bunun üzerine HOMER PRO ve benzeri optimizasyon yöntemleri kullanılarak birçok bilimsel çalışmalar yapılmıştır.

Yılmaz (2008) çalışmasında, Gökçeada'nın elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nasıl karşılanabileceği, hibrit veya hibrit olmayan sistemin en uygun olanına karar verilebilmesi için HOMER programını kullanmıştır. Program için çeşitli senaryolar oluşturulmuş olup elde edilen sonuçlara göre Gökçeada için en avantajlı olarak rüzgâr enerjisi santralinin kurulması ortaya çıkmıştır.

Genç (2019) yenilenebilir enerjili hibrit santrallerinin modellenmesi ve analizi çalışmasında, HOMER yazılımını kullanmış teknik ve maliyet açısından optimizasyon çalışmaları yapmıştır. Elazığ ili için modellemeler yapılmış olup, off grid- on grid sistemler incelenmiş sonuç olarak da şebeke bağlantılı (on grid) sistemin, şebeke bağlantısız (off grid) sisteme göre sermayesinin yaklaşık üç kat ucuz olduğu ve daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Dinçsoy (2010), şebeke bağlantılı ve dizel jeneratör kullanılarak oluşturulan bir hibrit sistemin sermayesi ve sistemin kendini ödeme süresi üzerine analiz çalışmaları yapmak için HOMER uygulamasını kullanmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda rüzgar ve güneşten oluşan hibrit enerjisinin sermayesinin dizel jeneratör kullanarak daha maliyetli olacağını, geri dönüşüm süresinin daha uzun olacağını tespit etmiştir.

Yaralı (2020) tezinde, Marmara Bölgesi'nin hibrit enerji potansiyelini HOMER programı ile simule ederek programdan elde ettiği veriler ile bölgenin yenilenebilir enerji haritalandırmasını yapmıştır.

Hocaoğlu ve ark. (2007), WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) yazılımını kullanmışlardır. Rüzgâr santrallerinin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olduğunu belirterek önce bölge potansiyellerinin çok iyi incelenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Bu programdan rüzgâr hız ve yön verilerini elde ederek bölge için en uygun rüzgâr türbini yerini tespit etmişlerdir.

Konya’da bir çiftlikte yapılan çalışmada, Akan (2023), güneş paneli, rüzgar türbini, biyogaz jeneratörü ve batarya sistemlerinden oluşan bir hibrit enerji modelini incelemiştir. HOMER Pro aracılığıyla yapılan simülasyon çalışması, özellikle biyogaz sisteminin enerji üretimine önemli derecede fayda sağladığını göstermiştir.

Benzer bir yöntem, Al Hayali (2022) tarafından Ankara'daki kırsal bir alanda 30 hanelik bir yerleşim için gerçekleştirilmiştir. PV paneller, rüzgar türbinleri ve dizel jeneratörlerden oluşan hibrit sistemin en iyi hale getirilmesinde HOMER Pro ile birlikte Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılmıştır. Araştırmanın sonucunda, enerji giderlerinin azaltılabileceği ve sistemin çevresel etkilerinin hafifletilebileceği tespit edilmiştir.

Bursa’da yapılan bir diğer tez çalışmasında Adalı (2022), şebekeye entegre ve şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemlerini incelemiş ve HOMER Pro kullanarak değerlendirmeler yapmıştır. Bu değerlendirmeler neticesinde ekonomik olarak şebekeye bağlı sistemlerin daha karlı olduğu, ancak enerji arz güvenliği bakımından bağımsız sistemlerin de önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir.

Yurt dışından örnek verecek olursak, Teran Rivero (2021), Venezuela’nın Coche Adası’nda fotovoltaik ve rüzgar kaynaklarını içeren bir mikro ağ sistemi tasarlamıştır. HOMER Pro ve ETAP yazılımları karşılaştırılarak, sistem tasarımında bu yazılımların sunduğu avantajlar incelenmiştir.

İncelenen çalışmaların ortak noktası, yenilenebilir enerji kaynaklarının tek başına veya hibrit sistemler içerisinde değerlendirilerek en uygun teknik ve ekonomik yapıların belirlenmesidir. Bu kapsamda HOMER Pro ve benzeri optimizasyon yazılımları; farklı senaryoların karşılaştırılması, maliyet analizi, geri ödeme süresi ve emisyon etkilerinin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Çalışmaların büyük çoğunluğunda, şebekeye bağlı sistemlerin ekonomik açıdan daha avantajlı, şebekeden bağımsız sistemlerin ise enerji arz güvenliği açısından önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Olumlu yönler incelendiğinde, bu yazılımların çok sayıda senaryoyu kısa sürede analiz edebilmesi ve karar vericilere karşılaştırmalı sonuçlar sunması önemli bir avantajdır. Bununla birlikte bazı çalışmalarda, gerçek saha verilerinin sınırlı kullanılması, uzun dönemli belirsizliklerin ve işletme koşullarının yeterince dikkate alınmaması gibi eksiklikler bulunmaktadır. Bu durum, sonuçların uygulamaya aktarılmasında belirli belirsizlikler doğurabilmektedir.

Literatürde ele alınan fotovoltaiik, rüzgâr, biyogaz, dizel destekli ve batarya depolamalı hibrit sistemlerin büyük bölümü ticari olarak hâlihazırda kullanılmaktadır. Özellikle şebekeye bağlı hibrit sistemler günümüzde yaygın biçimde uygulanırken, şebekeden bağımsız sistemler kırsal ve izole bölgelerde önemli bir çözüm sunmaktadır.

Literatür taramalarından da görebileceğimiz gibi bu tez çalışmaları, HOMER Pro yazılım programının enerji sistemleri analizinde ne kadar kapsamlı ve güvenilir sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada da sistem bileşenleri HOMER Pro yazılımı kullanılarak belirlenmiş olup, bu yönde ekonomik ve çevresel analizler gerçekleştirilmiştir.

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının ana hedefi, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile hibrit enerji üretim sistemlerinin modellenmesi ve yerel ölçekte uygulanabilirliğinin incelenmesidir. Yenilenebilir enerjiyle desteklenen hibrit enerji sistemlerinin sürdürülebilir olması ve esnek çözümler sunması, günümüzde enerji üretiminde yaşanan mevsimsel değişimlerin, kaynak bağımlılığı ve çevresel sorunların önüne geçmektedir. Bu bilgiler ışığında yapmış olduğumuz çalışma, yenilenebilir enerji sistemlerinin birlikte çalıştığı hibrit modellerin geliştirilmesi, performanslarının analiz edilmesi ve optimizasyon sürecinin gerçekleştirilmesi ile hem enerji arz güvenliğinin sağlanmasını hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın uygulama yeri olarak, Muş ilinin Varto ilçesinde bulunan Murat Nehri üzerinde kurulan Alparslan-1 Hidroelektrik Santrali tercih edilmiş ve bu bölge için uygun hibrit enerji senaryoları oluşturulmuştur. Alparslan-1 HES'in mevcut enerji üretim kapasitesi ve potansiyeli değerlendirilerek, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji depolama teknolojilerinin entegre edilmesiyle oluşabilecek hibrit sistemlerin fizibilitesi incelenmiştir.

Analizler, HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) yazılımı kullanılarak yapılmış; çeşitli enerji bileşenleri ve depolama stratejileri ile farklı sistem konfigürasyonları test edilmiştir.

Bu süreçte:

- Enerji üretimindeki mevsimsel dalgalanmaların azaltılması,
- Ekonomik açıdan en uygun maliyetli sistemin tespit edilmesi,
- Karbon salınımı düşük, çevresi koruyan bir sistem yapısının oluşturulması,

- Alparslan-1 HES'in performansının hibrit sistemlerle nasıl iyileştirileceğinin gösterilmesi hedeflenmiştir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, yenilenebilir enerji kaynaklarının hidroelektrik üretime entegrasyonu ile enerji üretim istikrarının artırılması ve çevresel etkilerin azaltılması amacı taşımakta olup, literatüre ve uygulayıcı kurumlara teknik ve stratejik katkılar sunmayı hedeflemektedir.



## 2.ENERJİ DURUMU ve YENİLENEBİLİR ENERJİ

### 2.1 Dünyada Enerji Sektörü ve Yenilebilir Enerji

Dünyadaki enerji kaynaklarının kullanımı hızla evrilmektedir. Fosil yakıtlara olan bağımlılık azalırken, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızla artış göstermektedir. Güneş, rüzgar ve hidroelektrik enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların yanı sıra, enerji depolama sistemleri ve elektrikli araçların teknolojisindeki ilerlemeler, daha sürdürülebilir bir enerji geleceği sunmaktadır. Bunun yanı sıra, nükleer enerji ve doğal gaz gibi geçiş kaynaklarının önemi de devam etmektedir. Küresel enerji talebindeki artış ve iklim değişikliğiyle mücadele, dünya enerji politikalarını etkileyen temel unsurlar arasında bulunmaktadır.

2024 yılında küreselde tüm yakıt ve teknolojiye olan talebin de artmasıyla birlikte enerji talebinde %2,2 oranında bir artış olmuş ve yaklaşık olarak 650EJ'ye ulaşmıştır. Elektrik tüketiminde ise yaklaşık 1.100 TWh artış yaşanmış ve bu da son on yıldaki yıllık ortalama artışın iki katından daha fazladır (IEA,2024).

Küreseldeki elektrik tüketiminin bu kadar artmasının sebepleri arasında aşırı sıcaklıklar sebebiyle soğutmaya duyulan ihtiyaç, gelişen sanayi sektörü, ulaşımında elektrik kullanımının fazlalaşması sayılabilir.

Küresel ölçekte elektrik talebi yaklaşık %4 oranında artarak toplam enerji talebindeki büyümenin üzerinde gerçekleşmiş ve bu durum enerji sistemlerinde elektrifikasyon eğiliminin sürdüğünü göstermiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr ve güneş enerjisi, 2024 yılında yaklaşık %16'lık artışla en hızlı büyüyen alanlar olmayı sürdürmüştür. Bu büyümede Çin belirleyici bir rol oynamış; yeni rüzgâr ve güneş enerjisi kapasite ilavelerinin yaklaşık %57'si bu ülke tarafından gerçekleştirilmiştir. Özellikle güneş enerjisi kapasitesinin iki yıl gibi kısa bir sürede neredeyse iki katına çıkması dikkat çekicidir.

Son on yılda Çin, elektrik arzını yaklaşık iki katına çıkarmış ve yalnızca eklenen üretim miktarı Avrupa'nın 2024 yılı toplam elektrik üretiminin yaklaşık 405 TWh üzerine ulaşmıştır. 2024 yılında Çin'in yenilenebilir enerji kapasite artışı, ABD, Avrupa ve Hindistan'ın toplam eklemelerinin yaklaşık iki katı seviyesinde gerçekleşmiştir. Bölgesel açıdan değerlendirildiğinde, Asya-Pasifik bölgesi küresel fosil yakıt tüketiminin yaklaşık %50'sini oluştururken, hidroelektrik hariç küresel yenilenebilir enerji arzındaki artışın %57'si Çin kaynaklı olmuştur (EI,2024).

Toplam enerji arzındaki büyümenin en büyük payını %38 oran ile yenilenebilir enerji kaynakları oluştururken, %28 doğal gaz, %15 kömür, %11 petrol ve %8 ile nükleer oluşturmuştur. (IEA,2025)

## 2.2 Türkiye’de Enerji Durumu ve Yenilenebilir Enerji

Türkiye’de enerji talebindeki güçlü artış ekonomik büyüme ve sosyal gelişimin kritik destekleyicisi olarak devam etmektedir. Türkiye 2000 yılından bu yana birincil enerji arzındaki yaklaşık 2 kat artış ile Avrupa’nın en büyük ve en dinamik enerji piyasaları içerisinde yer almaktadır.

Birincil enerji kaynaklarının %80’i fosil yakıtlar üzerine kuruludur ve bunun yaklaşık üçte-ikisi ithal edilen fosil yakıtlardan oluşmaktadır. Son zamanlarda yerli petrol ve doğal gaz üretimindeki artışlar sayesinde, genel enerji dengesi açısından yerlilik oranının kademeli bir şekilde artması aşırıdır. Gelişen enerji sisteminin net sıfır hedefleriyle uyumlu bir şekilde büyümesi için de adımlar atılmaya devam edilmektedir. Enerji politikalarındaki enerji verimliliğine odaklanma, öncelikle ithal edilen fosil yakıtlardan kaynaklanan mevcut hesap açığını azaltmak ve daha sürdürülebilir bir enerji geleceği elde etmek için çok önemlidir.

Türkiye son dönemlerde enerji verimliliği ve ekonominin enerji yoğunluğunu azaltma alanında kayda değer gelişmeler göstermektedir. 2024 yılının başında duyurulan Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Eylem Planı, 2030’a kadar 20,2 milyar dolarlık bir yatırımla birincil enerji tüketiminde toplamda % 16’lık bir azalma ve birincil enerji yoğunluğunda % 15’lik bir iyileşme hedefini belirlemektedir (ETKB,2024).

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı büyüme ve enerji tüketim sektörlerinde elektrifikasyonun hızlanmasıyla birlikte, yenilenebilir enerji potansiyeli, elektrikli araçlar ve ısı pompaları gibi verimli elektrik teknolojilerinin daha fazla kullanılması da güvenli, verimli ve rekabetçi bir enerji sistemi açısından önemli bir bakış açısı kazandırmaktadır. Enerji arz ve talep alanlarında, bu olumlu politikalar ve yatırımlardaki ilerlemeler, enerji verimliliği ile büyüme yoluyla farklı yararların elde edilmesi için büyük bir potansiyel ve fırsatlar sunmaktadır. (IICEC,2025)

### 2.2.1 Türkiye'nin enerji profili

Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketiminin 2024 yılında bir önceki yıla göre oranla %3,8 artarak 347,9 TWh, elektrik üretiminin ise %5,4 artarak 348,9 TWh olduğu kaydedilmiştir (TEİAŞ,2024).

Ülkemizde 2025 yılı Temmuz ayı sonu itibariyle lisanslı kurulu gücümüz 98.372 MW, lisanssız kurulu gücümüz 21.789 MW seviyelerine ulaşmıştır.

**Çizelge 2. 1** Türkiye'nin Temmuz 2025 Yılı itibariyle kurulu güç dağılımı (EPDK, 2025)

| Enerji Kaynağı  | Pay (%) |
|-----------------|---------|
| Hidrolik Enerji | 26,87   |
| Doğal Gaz       | 20,58   |
| Kömür           | 17,92   |
| Rüzgâr          | 11,40   |
| Güneş           | 19,49   |
| Jeotermal       | 1,44    |
| Diğer Kaynaklar | 2,3     |

### 2.2.2 Yenilenebilir enerji potansiyeli

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla önemli bir yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir. Özellikle güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal kaynaklar açısından oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kurulu gücü lisanslı ve lisanssız santrallerin de dahil edilmesiyle 2024 yılı itibarıyla yaklaşık 69 GW'a ulaşmıştır ve bu, toplam kurulu gücün %59,37'sine karşılık gelmektedir.

**Çizelge 2. 2** Türkiye'nin 2024 Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü (EPDK,2024)

| Kaynak            | Kurulu Güç (MW)  | Toplam İçindeki Payı (%) |
|-------------------|------------------|--------------------------|
| Hidroelektrik     | 32.202,96        | 27,78                    |
| Rüzgar            | 12.862,79        | 11,09                    |
| Güneş             | 19.909,68        | 17,17                    |
| Jeotermal         | 1.733,51         | 1,50                     |
| Biyokütle         | 2.122,94         | 1,83                     |
| <b>Toplam YEK</b> | <b>68.831,87</b> | <b>59,37</b>             |

### 2.2.3 Yenilenebilir enerjinin stratejik önemi

Türkiye, enerji ihtiyacının büyük kısmını ithal ettiği fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Artan nüfus sayısı, gelişen teknoloji günümüz enerji ihtiyacını giderek arttırmaktadır. Bu durumlar dışa olan bağımlılığımızı arttırmakta ve enerji arz güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Ülkemiz için yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımı çevresel bir gereklilik olmakla birlikte, ekonomik ve jeopolitik açıdan bir zorunluluktur.

Türkiye, 2021 yılında Paris İklim Anlaşması'nı imzalayarak, 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefine yönelik adım atmıştır. Bu hedef doğrultusunda, karbon yoğun fosil yakıtların kullanımını azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı sistemler geliştirmek öncelikli hale gelmiştir.

### 2.2.4 Mevzuat ve teşvikler

Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımcılarını teşvik etmek ve desteklemek için çeşitli mekanizmalar geliştirilmiştir:

- YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması): Yenilenebilir enerji üreticilerini desteklemek amacıyla 2011 yılında yürürlüğe girmiştir. Sabit fiyat garantisi ve vergi gümrük teşvikleri ile yerli üretim ekipmanlarına ek destek sağlayarak finansal riskleri azaltır.
- YEKA (Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları): Geniş çaplı güneş ve rüzgar santrallerinin alanları belirlenerek, yatırımcılara yarışma yoluyla tahsis edilir.
- Özel sektörün yatırımları; vergi ve gümrük muafiyetleri, Ar-Ge destekleri ve çeşitli yatırım teşvikleri aracılığıyla desteklenmektedir. (Albayrak,2024).

### 2.2.5 Karşılaşılan zorluklar ve fırsatlar

Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımlarındaki artışlar beraberinde bazı yapısal zorluklar getirmektedir:

- Şebeke altyapısı: Rüzgâr ve güneş enerjisi üretiminin yaygın olduğu alanlarda, elektrik şebekesinin esneklik kapasitesi kısıtlıdır.
- Depolama eksikliği: Ülkemizde enerji depolama sistemleri gelişme aşamasındadır.
- Arz-talep uyumsuzluğu: Güneş ve rüzgâr gibi dalgalı üretim yapan enerji kaynaklarında üretim ile tüketim yoğunluğu farklı zamanlarda gerçekleşmektedir.

Ancak ülkemiz olarak enerji üretim yönünden yüksek bir potansiyele sahip olmamız, teknolojik yenilikler ve uluslararası finansmanlara ulaşım olanakları, bu yapısal zorlukları fırsatlara dönüştürülebilir.

Türkiye'nin enerji stratejileri, yenilenebilir kaynakların daha fazla entegre edilmesi, dışa bağımlılığın azaltılması ve karbon nötr bir enerji sistemine geçişi amaçlamaktadır. Mevcut olanaklar değerlendirildiğinde, Türkiye'nin enerji arz güvenliğini sağlama ve sürdürülebilir gelişimi destekleme konusunda yenilenebilir enerji yatırımlarını öncelikli hale getirmesi zorunludur. Bu süreçte, enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi, şebekeye entegrasyon, teknoloji transferinin gerçekleştirilmesi ve yerli üretimin teşvik edilmesi önem arz etmektedir.

### **2.2.6 Dünya ile karşılaştırmalı Türkiye'nin yenilenebilir enerji stratejisi**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel düzeyde artan önemi, ülkelerin enerji politikalarında köklü değişimlere neden olmaktadır. Enerji güvenliği, iklim değişikliği ile mücadele ve ekonomik sürdürülebilirlik gibi başlıklar, yenilenebilir enerji stratejilerini şekillendiren temel unsurlar arasında yer almaktadır. Türkiye, bu dönüşümün aktif bir parçası olma hedefiyle son yıllarda yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmış olsa da gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerle kıyaslandığında bazı yapısal farklar dikkat çekmektedir (IEA, 2023).

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2023 yılında yayınladığı "Net Sıfır Yol Haritası" adlı rapor, 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşmanın hâlâ mümkün olduğunu, ancak buna erişimin her geçen gün daha zor bir hal aldığını belirtmektedir. Bu rapora göre, küresel ısınmayı 1,5°C seviyesinde tutabilmek için yenilenebilir ve temiz enerji teknolojilerindeki gelişmelerin hızlanması gerekmektedir.

Dünyada birçok ülke, elektrifikasyon, yenilenebilir enerji, nükleer ve termal kaynakların yeni işlevleri, esneklik alternatifleri, kritik mineraller ve CCS gibi enerji dönüşümünün çeşitli bileşenlerini dikkate alarak uzun vadeli karbonsuzlaştırma planları geliştirme aşamasındadır. (ISO,2025)

#### **2.2.6.1. Kurulu güç ve yenilenebilir enerji payı karşılaştırması**

Aşağıdaki tabloda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kurulu gücü ve toplam içindeki payı, dünyadan bazı örnek ülkelerle karşılaştırmalı olarak sunulmuştur:

**Çizelge 2. 3** Seçilmiş Ülkelerde Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü ve Payı (2023) (IRENA, 2024; TEİAŞ, 2024)

| Ülke      | Toplam Kurulu Güç (GW) | YEK Kurulu Güç (GW) | YEK Payı (%) | En Baskın Kaynak |
|-----------|------------------------|---------------------|--------------|------------------|
| Almanya   | 226                    | 146                 | 65           | Rüzgar & Güneş   |
| Çin       | 2.950                  | 1.390               | 47           | Güneş            |
| ABD       | 1.240                  | 410                 | 33           | Rüzgar           |
| Brezilya  | 198                    | 137                 | 69           | Hidroelektrik    |
| Hindistan | 424                    | 126                 | 30           | Güneş            |
| Türkiye   | 120                    | 59                  | 49           | Hidroelektrik    |

Türkiye'nin toplam kurulu gücü bakımından dünya sıralamasında üst sıralarda yer almamasına rağmen, yenilenebilir enerji payı açısından %49 ile ortalamanın üzerindedir. Ancak bu payın büyük bölümü hidroelektrik santrallerden gelmektedir; güneş ve rüzgâr gibi kaynakların toplam içindeki oranı, örneğin Almanya ile kıyaslandığında hala düşüktür.

#### 2.2.6.2 Politik yaklaşımlar ve teşvik mekanizmaları

Türkiye, yenilenebilir enerji alanındaki gelişmekte olan ülkelere göre daha düzenli ve planlı bir biçimde ilerleme kaydetmiştir, ancak Avrupa Birliği ülkeleriyle kıyaslandığında bazı eksikliklerin olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 2. 4** Ülkeler Teşvik Mekanizmaları (IEA,2024)

| Politika / Teşvik unsuru  | AB Ülkeleri                | Türkiye                     | Değerlendirme      |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Karbon Fiyatlandırma      | ETS Sistemi (zorunlu)      | Yok (geliştirme aşamasında) | Geliştirme gerekli |
| YEK Alım Garantisi        | Uzun vadeli, sabit fiyatlı | YEKDEM (güncel, dinamik)    | Orta düzey         |
| Depolama Yatırımı Teşviki | Doğrudan hibeler           | Gündemde                    | Gecikmeli          |
| Ulusal Sera Gazı Hedefi   | 2030-2050 Net Sıfır        | 2053 Net Sıfır              | Uyumlu             |
| YEKA İhaleleri            | Mevcut (örnek: İspanya)    | Mevcut                      | Güçlü yön          |

Dünya Bankası'nın yayımlamış olduğu 2025 Karbon Fiyatlandırma Durum Raporu'na göre 80 ülkede karbon vergisi veya emisyon ticaret sistemi (ETS) uygulanmaktadır. Elde edilen gelirlerin birçoğu da çevresel sürdürülebilirlik, altyapı geliştirme projeleri ve kalkınma projeleri için kullanılmıştır. Türkiye de ETS sistemlerini devreye alma aşamasındadır.

Türkiye'nin AB'ye entegrasyonunu ve dış ticarete rekabet gücünü korumak amacıyla karbon piyasasının kurulması ve finansal teşviklerin daha da güçlendirilmesi gerekmektedir.

#### **2.2.6.3 Teknolojik gelişme ve yerli üretim potansiyeli**

Türkiye'nin enerji stratejisinde son yıllarda yerli üretim ve teknoloji transferi ön plana çıkmaktadır. Özellikle rüzgâr türbin kanatları ve güneş paneli üretiminde kapasite artışı hedeflenmektedir. Çin, Almanya ve ABD gibi ülkeler kendi teknolojilerini geliştirerek dışa bağımlılığı azaltmışken, Türkiye halen lisanslı teknoloji ve dış tedarik ağırlıklı bir yapıya sahiptir (TÜBİTAK, 2023).

#### **2.2.6.4 Türkiye'nin stratejik avantajları ve zorlukları**

##### **Avantajlar**

Türkiye'nin coğrafi konumu ve doğal yapısı, yenilenebilir enerji kaynakları açısından önemli bir çeşitlilik sunmaktadır. Ülkenin farklı iklim kuşaklarına sahip olması, yıllık güneşlenme süresinin yüksekliği ve topoğrafik yapısının rüzgâr ve hidrolik enerji üretimine elverişli olması; yenilenebilir enerji potansiyelini artıran temel unsurlar arasında yer almaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2023).

Türkiye'nin sahip olduğu uzun kıyı şeridi ve denizel alanlar, rüzgâr ve dalga enerjisi açısından değerlendirilebilecek bir potansiyel ortaya koyarken; iç bölgelerdeki akarsu havzaları hidroelektrik üretimi için önemli bir kaynak oluşturmaktadır (DSİ, 2022).

Bununla birlikte Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli bakımından Avrupa'da önde gelen ülkeler arasında yer almakta olup, bu potansiyel hem elektrik üretimi hem de doğrudan kullanım (ısıtma, sera uygulamaları vb.) açısından stratejik bir avantaj sağlamaktadır (MTA, 2022).

##### **Zorluklar**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim yapısının süresiz ve değişken olması, mevcut elektrik iletim ve dağıtım sistemleri üzerinde teknik kısıtlar oluşturmaktadır. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisinin artan payı, şebeke esnekliği, frekans kontrolü ve kapasite yönetimi açısından altyapı yatırımlarını zorunlu kılmaktadır (TEİAŞ, 2023).

Enerji arz güvenliğinin sürdürülebilirliği açısından enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Depolama kapasitesinin yetersiz

olması, yenilenebilir enerji üretiminin sistemde etkin ve verimli kullanılmasını sınırlayan başlıca faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir (EPDK, 2023).

Ayrıca yenilenebilir enerji yatırımlarında kullanılan ekipmanların önemli bir kısmının ithalata dayalı olması, yatırım maliyetlerini artırmakta ve dışa bağımlılığı güçlendirmektedir. Bu durum, yerli teknoloji geliştirme ve sanayi altyapısının güçlendirilmesini enerji politikaları açısından öncelikli hâle getirmektedir (ETKB, 2023).

### **Genel Değerlendirme**

Türkiye, yenilenebilir enerji yatırımlarında kayda değer bir ilerleme sağlamış olmakla birlikte, enerji dönüşüm sürecinde niteliksel gelişim ihtiyacı devam etmektedir. Hidroelektrik dışındaki yenilenebilir kaynakların payının artırılması, enerji depolama teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve yerli üretim kapasitesinin güçlendirilmesi, Türkiye'nin enerji arz güvenliğini ve sistem esnekliğini artıracaktır. Bu süreçte Avrupa Birliği enerji ve iklim politikalarıyla uyum, karbon azaltım hedefleri açısından da stratejik bir önem taşımaktadır (TEİAŞ, 2023; ETKB, 2023).

## **2.3 Hibrit Enerji Sistemleri**

Birden fazla enerji kaynağının bir arada kullanıldığı istemlere hibrit enerjili üretim sistemleri denir. Bu tarz sistemler, genellikle yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, biyokütle gibi) ile diğer enerji kaynaklarını (örneğin fosil yakıtlar veya enerji depolama sistemleri) ya da iki ya da üç farklı yenilenebilir enerji kaynağının bir araya gelmesini kapsar. Enerji üretiminin güvenilirliğini arttırmak, maliyetleri düşürmek ve çevreye olabilecek zararlı etkileri azaltmak hibrit sistemlerin temel amaçları arasındadır.

### **2.3.1 Hibrit Enerji Üretim Sistemlerinin Genel Özellikleri**

Hibrit enerji sistemlerin temel özellikleri aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

**Yük Dengelemesi,** yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi genellikle hava koşullarına bağlıdır (örneğin, rüzgar hızına veya güneş ışınımına). Hibrit sistemler, bu değişkenliği dengelemek amacıyla enerji depolama üniteleri veya fosil yakıtlarla desteklenir. Böylece sürekli bir enerji akışı sağlanır.

**Düşük Karbon Ayak İzi,** yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı fosil yakıtların kullanımını düşürerek çevresel zararları azaltıp karbon salınımı önemli ölçüde azaltır.

**Enerji Güvenliği,** hibrit enerji sistemleri, farklı yenilenebilir enerji kaynaklarını bir araya getirerek enerji arzının güvenliğini artırır.

Ekonomik Verimlilik, hibrit sistemler, özellikle uzak bölgelerde veya şebekeden uzak alanlarda enerji maliyetlerini azaltabilir. Net bugünkü maliyet (NPC) ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) gibi parametreler optimize edilerek en düşük maliyetli sistem belirlenir.

Enerji Depolama ve Yönetimi, hibrit sistemlerde enerji depolama (örneğin, bataryalar) önemli bir rol oynar. Bu depolama üniteleri, yenilenebilir enerjinin anlık fazlalığını depolayarak, ihtiyaca göre kullanılabilir. Enerji yönetim sistemleri, bu süreci optimize eder.

## **2.4 Hidroelektrik Santralleri ve Verimlilik**

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan hidroelektrik santralleri (HES), hem ekonomik açıdan uzun vadede fazlasıyla kazanç sağlayan bir yapı hem de karbon salınımı düşük olan bir seçenektir. Türkiye nehir ve akarsular açısından zengin bir ülkedir. Enerji arzının güvenliği için hidroelektrik potansiyelinin etkin ve verimli kullanımı kritik bir önem taşımaktadır.

2024 yılı itibarıyla dünya elektrik üretiminde hidroelektriğin payı yaklaşık %14,3'tür.

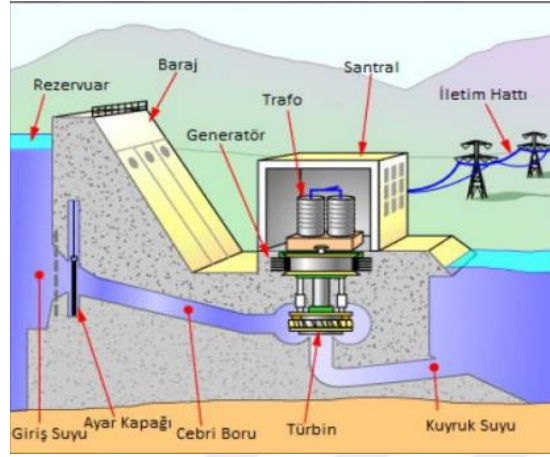
Türkiye de ise 2024 yılında elektrik enerji ihtiyacımızın %21,5'ini HES'lerden karşılar. 2023 yılında bu oran %20 seviyelerindeydi. 2024 yılında hidroelektrik santrallerden elde edilen elektrik enerjisinin, %76,4'ü depolamalı HES'lerde, %23,6'sı ise nehir tipi santrallerde üretildi (Anonim,2024).

Hidroelektrik sistemler, özellikle verimlilik bakımından diğer yenilenebilir ve fosil enerji kaynaklarına göre çok daha üstün bir yapıya sahiptir. Kumar ve ark. (2011) hidroelektrik santrallerde türbin ve jeneratör verimliliğinin %90'a kadar çıkabildiğini ve bu sistemlerin karbon ayak izinin son derece düşük olduğunu belirtmektedir.

### **2.4.1 Hidroelektrik enerjinin temel prensibi**

Hidroelektrik santralleri, akarsuyun önüne inşa edilen betondan yapılar yerleştirilerek suyun yükseltilmesi prensibiyle çalışır. Su yükseklik kazandıkça potansiyel enerjisi artar. Su seviyesi ne kadar yüksek olursa, elde edilen potansiyel enerji de o kadar fazla olur. Yükselen suyun önünde yer alan beton bloklarla donatılmış farklı ekipmanlar sayesinde suyun türbinden geçişi sağlanarak kinetik enerji üretilir. Enerjisi yüksek olan su, türbine yönlendirildiğinde hız kazanarak kayda değer bir kinetik enerji elde eder. Sürtünmeden dolayı bazı enerji kayıpları gerçekleşse de bu potansiyel enerjinin

büyük bir kısmı kinetik enerjiye dönüşür. Türbine bağlı olan jeneratörler döndüğünde de enerji üretimi sağlanır (Dinçer ve ark., 2017).



Şekil 2. 1 Bir hidroelektrik santral tesisinin Şematik gösterimi (Özbek, 2022)

#### 2.4.2 Türkiye'nin Hidroelektrik potansiyeli ve mevcut durumu

Türkiye'deki brüt teorik hidroelektrik kapasite 433 milyar kWh/yıl, teknik olarak değerlendirilmesi mümkün olan hidroelektrik kapasite ise 216 milyar kWh/yıl, ekonomik açıdan yapılabilir kapasite ise 180 milyar kWh/yıldır. Şu anda geliştirilen kapasite 160 milyar kWh/yıl seviyesindedir ve yeni projelerle birlikte ekonomik olarak yapılabilir kapasitemizin tamamını kullanmayı hedefliyoruz. Türkiye'nin teorik olarak değerlendirilebilen hidroelektrik kapasitesi, dünyanın toplam teorik kapasitesinin %2'sini, Avrupa'nın ise %18'ini oluşturmaktadır. Ülkemiz, bu potansiyelle birlikte Avrupa ülkeleri arasında Rusya'nın ardından ikinci en büyük potansiyele sahip ülke durumundadır (Anonim, 2025).

Türkiye'deki lisanslı ve lisanssız hidroelektrik santrallerin toplam kurulu gücü 2024 yılının sonu itibarıyla 32. 202,98 MW olarak belirlenmiştir. Bu toplam gücün, diğer tüm enerji tesisleri içerisinde payı %27,78 düzeyindedir. Bu santrallerden toplamda 74. 881,58 GWh enerji üretilmiştir (Anonim, 2024).

Çizelge 2. 5 Türkiye'nin Hidroelektrik Üretimi ve Toplam Elektrik Üretimi İçindeki Payı (2020–2024) (TEİAŞ, 2024)

| Yıl  | HES Üretimi (GWh) | Toplam Üretim (GWh) | HES Payı (%) |
|------|-------------------|---------------------|--------------|
| 2020 | 78.000            | 305.000             | 25,57        |
| 2021 | 56.000            | 330.000             | 16,97        |
| 2022 | 67.000            | 326.000             | 20,55        |
| 2023 | 63.000            | 322.000             | 19,56        |
| 2024 | 73.000            | 343.000             | 21,28        |

Üretimdeki dalgalanmanın başlıca nedeni yağış miktarlarına ve su rejimine bağlı değişkenliktir.

#### **2.4.3 Hidroelektrik santrallerde verimlilik kavramı**

Verimlilik, santralin teorik üretim kapasitesine oranla ne kadarını fiilen gerçekleştirebildiğini gösterir. HES’lerde verimlilik dört temel faktöre bağlıdır:

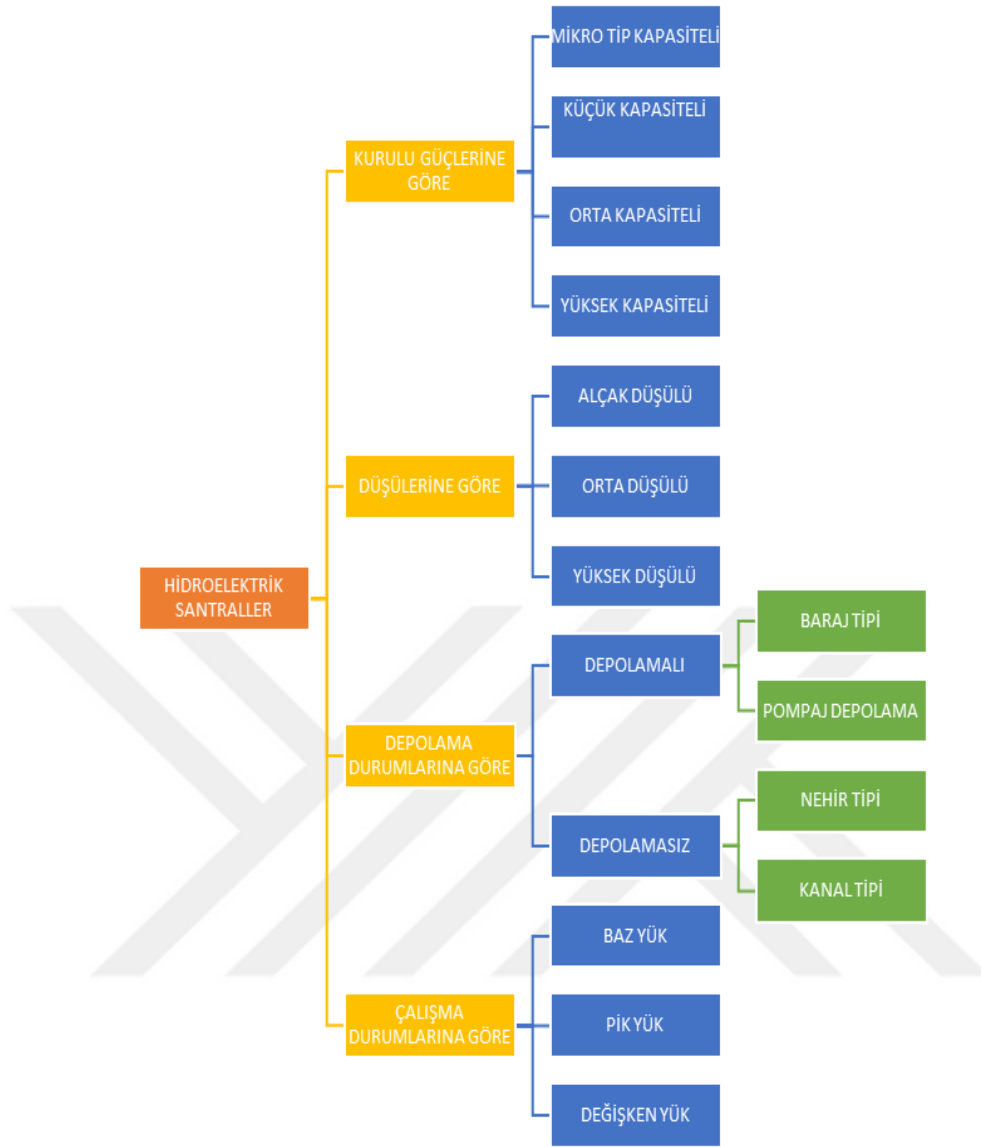
- Hidrolik Potansiyel (yükseklik ve debi),
- Türbin ve jeneratör verimi,
- İletim ve dağıtım kayıpları,
- Su alma yapısındaki kayıplar,

Hidroelektrik santrallarda meydana gelen kayıplar, santralin etkinliğini ve buna bağlı olarak verimliliğini doğrudan etkileyen, ayrıca santralin ömrünü belirleyen önemli bir unsurdur.

Verimlilik açısından bakıldığında hidroelektrik santraller, diğer tüm enerji üretim biçimlerinden daha üstündür. Bu da HES’leri hem ekonomik hem de enerji dönüşümünde stratejik bir kaynak haline getirmektedir.

#### **2.4.4 Hidroelektrik santrallerin sınıflandırılması**

Hidroelektrik Santraller Şekil 2.2’de belirtildiği gibi birçok kriterlere göre sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 2. 2 Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması (Bilen,2024)

#### 2.4.4.1 Kurulu güçlerine göre hidroelektrik tesisler

Mikro tip kapasiteli hidroelektrik tesisleri kurulu güçleri 100kW'tan küçük olan tesislerdir. Bu tesisler şehir merkezlerinden uzak elektriğin henüz ulaştırılamadığı yerlerde kullanılır.

Küçük kapasiteli santraller kurulu güçleri 100kW'tan 1MW'a kadar olan santrallerdir. Bu tesislerin az da olsa ulaşak elektrik şebekesine katkısı olmakla birlikte küçük bölgelerdeki yerleşimlerin elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılırlar.

Orta kapasiteli santraller kurulu güçleri 1MW ile 10 MW arasında olan santraller grubuna girmektedirler. Ülkemizde bu güçte santraller sayıca fazladır.

10 MW ve üzeri kurulu güce sahip olan santraller ise yüksek kapasiteli santraller grubuna girmektedir. Elektrik üretiminde önemli rol oynar. (Kenet,2022)

#### **2.4.4.2 Düşülerine göre hidroelektrik tesisler**

Düşüsü 15 metreden daha düşük olan santraller alçak düşülü santraller olup bunlar genellikle yatak eğimi düşük olan nehirler üzerine kurulu santraller ya da kanal tipi santrallerdir.

Orta düşülü santraller, düşüsü 15-50 metre düşüsü olan santrallere denilmektedir. 50 metreden fazla düşüye sahip tesislere yüksek düşülü santraller denir.

#### **2.4.4.3 Depolama durumlarına göre hidroelektrik tesisler**

##### **2.4.4.3.1 Depolamalı santraller**

Baraj tipi santrallerde nehir yatağının önü bir set ile kesilerek gelen su biriktirilerek daha sonra biriktirilen su kullanılır. Ülkemizde su rejimi mevsimlere göre dalgalanma gösterdiği için suyun olduğu dönemde su biriktirilir ve suyun azaldığı dönemde biriktirilen su kullanılır.

Pompaj depolamalı sistemler elektrik enerjisini depolamak amacıyla tasarlanan tesislerdir. Bu sistem, büyük miktarlarda su kullanarak elektrik üretip, bu elektriği tüketme prensibiyle çalışmaktadır. PDHES yapıları içerisinde iki ayrı rezervuar yer alır. Bu iki rezervuar arasındaki yükseklik farkı kullanılarak elektrik enerjisi elde edilir. Elektrik maliyetlerinin düşük olduğu zamanlarda, su üst rezervuara pompalanarak depolanır ve elektrik tüketimi sağlanır. Elektrik fiyatlarının yükseldiği dönemlerde ise, üst rezervuardan alt rezervuara su akıtılarak, türbinler aracılığıyla elektrik üretilir (Güney,2024).

##### **2.4.4.3.1 Depolamasız santraller**

Nehir üzerinde akan su tutulmadan kullanılan tesislere nehir tipi santraller denir. Genel olarak düşüleri çok az olmakla birlikte, farklı seviyelerde debisi mevcuttur. Nehir üzerine tasarlanan bu tesislerde kullanılan su tekrar nehir yatağına bırakılır.

Kanal tipi tesislerde doğal ya da yapay yol ile oluşturulmuş açık ve kapalı kanallarla suyun cebri borulara taşınır. Suyun kanallara iletilmesi için tutulduğu regülatör ve yükleme havuzları mevcuttur.

#### 2.4.4.4 Çalışma durumlarına göre hidroelektrik tesisler

Baz Yük Santrallerinde suyun biriktirilmesi söz konusu olamadığı için gelen su hemen kullanılması gerekmektedir. Suyun olduğu dönemlerde santralin tam kapasite çalışması beklenir.

Pik Yük Santralleri ise yoğun enerji gereksinimi olduğu dönem ve saatlerde kullanılır. Depolamalı tip santraller pik yük santralleri sınıfına girer. Gerekli enerji baz yük santralleri tarafından karşılanamadığı durumlarda hemen devreye girerler.

Değişken Tip Yük Santralleri ise tüketime göre hem baz yük hem pik yük için kullanılabilir.

#### 2.4.5 Hidroelektrik santrallerin avantaj ve dezavantajları

##### **Avantajları:**

- Yüksek verimlilik ve uzun ömür (50–100 yıl)
- Düşük işletme maliyeti
- Anlık yük takibi (yüksek çeviklik)
- Karbonsuz elektrik üretimi
- Yerli imkanlar kullanılarak inşa edilmeleri
- Erozyon, sel ve taşkın gibi doğal felaketleri önlemede yardımcı olmaları
- İçme suyu ve tarım sulama kaynağı olarak da kullanılmaları,

##### **Dezavantajları:**

- Yüksek ilk yatırım maliyeti
- Ekosistem ve çevre üzerindeki etkiler (habitat bölünmesi, balık göçleri)
- Su rejimi ve iklim değişikliğine duyarlılık

Hidroelektrik santralleri, Türkiye'nin enerji tedarik güvenliğinde ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir yer tutmaktadır. Diğer enerji üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında, yüksek verimlilikleri, çevresel faydaları ve uzun süreli ekonomik ömürleri sayesinde oldukça etkili bir alternatif sunmaktadır. Ancak, iklim değişikliği, kuraklık ve çevresel etkiler dikkate alındığında, daha bütünleşik ve sürdürülebilir su-enerji yönetim yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, pompajlı hidroelektrik santralleri ile enerji depolama kapasitesi artırılarak, hidroelektrik santrallerin yenilenebilir enerji sistemleriyle entegrasyonu güçlendirilebilir.

## 2.5 Enerji Depolama Teknolojileri

Sürekli artan enerji ihtiyacı sebebiyle üretim ve tüketim arasındaki fark artmaktadır. Enerji depolama bu noktada önemli bir sorunu çözmek yani arz ve talebi örtüştürmek için uğraşır. Artan enerji talebini karşılayabilmek ve üretilen enerjiyi verimli bir şekilde kullanabilmek için depolama yapmak faydalı olacaktır.

Enerji depolamanın tarihçesi çok eskilere dayanmaktadır. Antik dönemlerde (MÖ 9500- MÖ 3000) büyük taşlar veya ağırlıklar, insan veya hayvan gücüyle kaldırılarak mekanik enerji depolama yapılmıştır. Antik Roma’da mancınıklar elastik potansiyel enerjiyi depolayıp anlık olarak hareket enerjisine dönüştürüyordu; bazı kalelerin kapıları ise karşı ağırlık mekanizmaları ile potansiyel enerjiyi hareket enerjisine dönüştürmek için tasarlanmıştır. İlk elektriksel enerji depolamanın adımı 1745 yılında Ewald Georg von Kleist tarafından atılmıştır. Kleist tarafından elektrik yükünün cam kap içinde biriktirildiği ve deşarj edilebildiği Leyden şişesi geliştirildi. Bu elektriksel enerjinin kısa süreli olarak depolanmasına olanak sağlayan ilk cihaz olarak kabul edilir. Benjamin Franklin ise 1749 yılında birden çok Leyden şişesini seri olarak bağlayarak bir düzenek oluşturmuş ve buna “battery” adını vermiştir.



**Şekil 2. 3** Benjamin Franklin’in elektrik yükü depolayan 35 adet Leyden kavanozu düzeneği

Alessandro Volta, 1800 yılında ilk sürekli elektrik akımını üretebilen cihazı yani voltaik pili geliştirdi. 1859 yılında ise Fransız fizikçi Gaston Plante farklı elektrotlar ve elektrolit arasındaki kimyasal reaksiyonu geliştirerek ilk şarj edilebilir bataryayı icat etti. İlk büyük ölçekli enerji depolama uygulaması olan pompaj depolamalı HES’ler 1907 yılında İsviçre’de başlamış, daha sonra ABD, Japonya gibi ülkelerde yaygınlaşmıştır.

Günümüzde halen küreselde enerji depolama kapasitesinin çok büyük kısmı pompaj hidro sistemlerinden oluşmaktadır.

## **2.5.1 Mekanik enerji depolama**

### **2.5.1.1 Pompalı hidroelektrik enerji depolama (PHS)**

Pompaj hidroelektrik enerji depolama teknolojisi, suyun daha alçak bir rezervuardan daha yüksek bir rezervuara pompalanarak potansiyel enerji biriktirilmesini içerir. Bu işlem, enerji talebinin düşük olduğu zamanlarda, şebekeden elektrik alınarak su pompalarını çalıştırmak için gerçekleştirilir. Yüksek rezervuara pompalanan su, elektrik enerji talebinin arttığı zamanlarda su türbinine yönlendirilerek mekanik enerji üretilir. Üretilen mekanik enerji, jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik şebekesine iletilir (Kocaman,2021).

### **2.5.1.2 Basınçlı hava enerji depolama (CAES)**

Basınçlı hava enerji depolama sistemi, havayı sıkıştırmak ve onu yer altındaki bir mağara veya yer üstünde borular veya tanklar bulunan bir rezervuarda saklamak amacıyla düşük yoğunluklu elektrikten faydalanır. Bu sıkıştırılmış hava, yüksek yoğunluklu dönemlerde serbest bırakılır, ısıtılır, genişletilir ve elektrik üretimi için bir türbin jeneratörü içerisinde kullanılır (Yurtbay,2025).

### **2.5.1.3 Volan enerji depolama**

Volan; döner bir kütle aracılığıyla kinetik enerjiyi saklayan bir mekanik bir cihazdır. Volan, elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmadığı yoğun olmadığı dönemlerde, hızlı dönen bir motor yardımıyla enerjiyi kinetik enerji biçiminde biriktirir. Daha sonra elektrik enerjisine yoğun talep olduğunda, bu kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılabilir (Açıkgöz,2019).

## **2.5.2 Elektriksel enerji depolama**

### **2.5.2.1 Süperkapasitörler**

Süperkapasitör teknolojisi, piller ile klasik kapasitörler arasında bir forma sahiptir ve enerjiyi elektrostatik alanda depolayan bir sistemdir. Temel olarak yapı ve işlev açısından standart bir kapasitöre çok benzemektedir (Bolat,2021).

Süper kapasitör enerji depolama sistemi, volanlardaki mekanik enerji veya pillerdeki kimyasal enerji gibi diğer enerji biçimlerine dönüşüm yapmak yerine, doğrudan iki elektrot arasında elektrik enerjisi biriktirir. Bu nedenle, şarj ve deşarj süreçleri son derece hızlı ve etkilidir. Çift katmanlı kapasitörler olarak bilinen süper kapasitörler, iletken bir karbon ve bir elektrolit arasındaki yüzeyde meydana gelen çift katman aracılığıyla enerji depolar. Süper kapasitörlerin enerji yoğunluğunu artırmak amacıyla, aktif karbon gibi geniş yüzey alanına sahip materyaller tercih edilir (Kocaman,2021).

### **2.5.2.2 Süperiletken manyetik enerji depolama (SMES)**

Süper iletken enerji depolama sistemleri, -270 °C'ye kadar soğutulmuş süperiletken malzemelerin manyetik alanlarını kullanarak enerji saklama fırsatı sunan sistemlerdir. Bu sistemlerde, enerji saklama, iç direnci neredeyse sıfır olan süper iletken kablolar üzerinden uygulanan doğru akım (DC) ile gerçekleşmektedir (Bozer,2024).

### **2.5.3 Elektrokimyasal enerji depolama**

#### **2.5.3.1 Batarya**

Bataryalar bilinen en eski kimyasal enerji depolama yöntemlerindendir. Elektrokimyasal bir aygıt olan bataryalar, elektrik enerjisini kimyasal reaksiyonlarla depolama ve ihtiyaç duyulduğunda bu enerjiyi sisteme geri kazandırma kapasitesine sahiptir. Bataryaların verimliliği, elektrokimyasal süreçler ve döngü işleyişine bağlı olarak genellikle %60 ila %80 arasında değişkenlik göstermektedir. Günümüzde, batarya sistemleri güç uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sodyum sülfür, sodyum nikel klorür, çinko-hava, kurşun-asit ve lityum iyon gibi çeşitli elektrokimyasal batarya türleri mevcuttur (Bozer,2024).

#### **2.5.3.2 Akış bataryaları**

Tekrar şarj edilebilme özelliğine sahip olan akış bataryaları, enerjiyi elektroaktif olarak depolayabilmektedirler. Bu türler, tanklardaki sıvı elektrolit içinde çözülme ve bu sıvı, elektrokimyasal hücreden pompalanarak kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirmektedir. Geleneksel pillerden farklı olarak elektrolit çözeltilerinde enerji depolamaktadırlar (Eken, 2024).

## **2.5.4 Termal enerji depolama**

### **2.5.4.1 Duyulur ısı enerji depolama**

Duyulur ısı yöntemiyle gerçekleştirilen enerji depolama sistemlerinde enerji; hava, su, yağ, tuğla, taş, kum ve toprak gibi materyallerde biriktirilebilir. Bu sistemlerde biriken enerjinin miktarı; depolama malzemesinin hacmi, sıcaklık farkı ve ısı kapasitesi ile bağlantılıdır. Eğer uygulamanın sıcaklık aralığı oldukça yüksekse, duyulur ısı ile enerji depolamak avantaj sağlamaktadır (Kocaman,2021).

### **2.5.4.2 Gizli ısı enerji depolama**

Gizli ısı depolama, maddelerin faz değişiklikleri sırasında iç enerjilerinin artmasıyla birlikte sabit bir sıcaklıkta dönüşüm geçirmesi yoluyla enerjinin birikimidir. Gizli ısı ile enerji depoladığı bilinen sistemlerde, sabit sıcaklık aralığında eriyen ya da buharlaşan bir faz değişim maddesi kullanılır.

Gizli ısı depolama sırasında, bir malzemenin faz değişikliği meydana gelene kadar ısınma yöntemi uygulanır. Madde, katıdan sıvıya veya sıvıdan gaza geçiş yaparken ısıyı depolar.

### **2.5.4.3 Termokimyasal enerji depolama**

Termokimyasal enerji depolamada, endotermik ve egzotermik tepkimelerden faydalanılır. Endotermik tepkime ile sistem enerji depolandığında, ısı enerjisi gerektiğinde atomlar kimyasal tepkimelere sokulur ve bu sayede egzotermik tepkime ile ısı açığa çıkar. A bileşiği, ısı ile B bileşikleri ve suyu meydana getirir. Bu şekilde ısı depolanmış olur. Isıya ihtiyaç duyulduğunda, B bileşikleri ve su kullanılarak ısı ve A bileşiği üretilir. Böylece ısı elde edilir (Yurtbay,2025).

## **2.5.5 Kimyasal enerji depolama**

### **2.5.5.1 Hidrojen enerji depolama**

Hidrojen, fosil yakıtların işlenmesi yoluyla elde edilebileceği gibi, suyun elektroliz işlemi ile de temin edilebilir. Bu gaz, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıyla dikkat çeker. Yakıt hücrelerinde, hidrojen iyonları katot elektrotuna ulaştığında, hava ile hidrojen iyonları arasında bir elektrokimyasal süreç gerçekleşir ve

bu işlemle elektrik enerjisi üretilir. Bu reaksiyon sonucunda doğru akım (DC) şeklinde elektrik elde edilir (Sert,2018).

#### 2.5.5.2 Sentetik doğalgaz enerji depolama

Sentetik doğal gaz, enerji depolamak için kullanılan modern bir yaklaşımdır. Bu yöntem, artan elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirerek depolama işlemini gerçekleştirmektedir. Sentetik doğal gaz üretimi genellikle "güçten gaza" dönüşüm teknolojisi aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu süreç, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen fazla elektrik enerjisinin suyun elektroliz ile hidrojene dönüştürülmesi ve bu hidrojeni karbondioksit ile birleştirerek metana dönüştürülmesini kapsamaktadır. Elde edilen sentetik doğal gaz, mevcut doğal gaz altyapısı ile depolanabilir ve taşınabilir (Yüksek,2024).

#### 2.5.6 Enerji depolamanın avantaj ve dezavantajları

##### Avantajları:

- Enerji arz ve talebi arasındaki uyumsuzluğu örtüstürür
- Frekans ve gerilim dalgalanmalarını kontrol ederek elektrik şebekesinin stabilitesine katkı sağlar.
- Enerji talebinin yüksek olduğu saatlerde enerji sağlayarak şebekenin aşırı yüklenmesini önler, yük yönetimi ve peak shaving yapar.
- Şebekesel arızalarda veya elektrik kesintilerinde enerji sürekliliği sağlar.

##### Dezavantajları:

- Elektrik şebekesine entegrasi için büyük maliyet gerekir yani ilk kurulum ücreti yüksektir. Mevcut altyapımız bunun için yetersizdir.
- Elektrik enerjisinin depolanabilmesi için öncelikle form değiştirmesi gereklidir (örneğin, alternatif akımdan doğru akıma, elektrikten kimyasal enerjiye dönüştürmek gibi). Bu durum, enerjinin depolama sürecinde verim kaybına yol açar.
- Depolama için kullanılan bazı bataryaların lityum-iyon vb. çevrim ömrü sınırlı olup zamanla verim kaybına ve kritik arızalara yol açabilir.
- Büyük ölçekli enerji depolama sistemleri için kullanılan pompaj hidroelektrik ve basınçlı hava enerji depolama sistemlerinin kullanılması gerekir. Jeolojik ve

coğrafi sınırlamalar nedeniyle her bölgeye uygulanamaz ve yüksek kot farkı gerektirir.



### **3.METERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1 HOMER PRO Yazılımı**

HOMER Pro yazılımı, National Renewable Energy Laboratory (NREL) tarafından geliştirilip daha sonra Homer Energy altında ticari bir ürün haline gelip sektöre sunulan yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı, optimizasyonu ve ekonomik analizinde kullanılan güçlü bir simülasyon ve optimizasyon aracıdır. HOMER Pro yazılımı sayesinde farklı enerji kaynaklarını (güneş, rüzgar, batarya, dizel jeneratör vb.) bir araya getirerek, çevresel ve ekonomik parametreleri, talep eğrilerini değerlendirerek en düşük maliyetli ve teknik olarak da en uygun sistemi belirleyebiliriz. Yatırım süreçlerinde kritik noktalarda yardımcı olan bu yazılım hem şebekeden bağımsız enerji sistemlerinin hem de şebekeye bağlı enerji sistemlerinin tasarımında benzetim (simülasyon), optimizasyon ve duyarlılık analizi gibi işlemleri gerçekleştirerek, farklı sistem bileşenlerinin teknik ve ekonomik performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmeye olanak sağlar.

HOMER Pro yazılımında simülasyon (benzetim), optimizasyon (iyileştirme) ve duyarlılık analizi olmak üzere üç fonksiyonu bulunmaktadır.

##### **3.1.1 Simülasyon (Benzetim)**

Yazılım simülasyon aşamasında, sistemde tanımlanan girdiler altında belli zaman aralıkları için bir yıl boyunca enerji denge hesapları yaparak simüle etmektedir. Bu aşamanın amacı, her bir zaman aralığı için gerekli enerji miktarını ve sağlanabilecek enerji miktarını karşılaştırmak, depolama durumlarını belirlemek, yükün ne kadarının yenilenebilir enerji kaynaklarından ne kadarının fosil yakıtlardan veya şebekeden karşılandığını görmek ve enerji açığı ve fazlası durumlarını tespit etmektir. Bu aşama, farklı bileşenleri teknik olarak test edip optimizasyon süreci için temel veri sağlar.

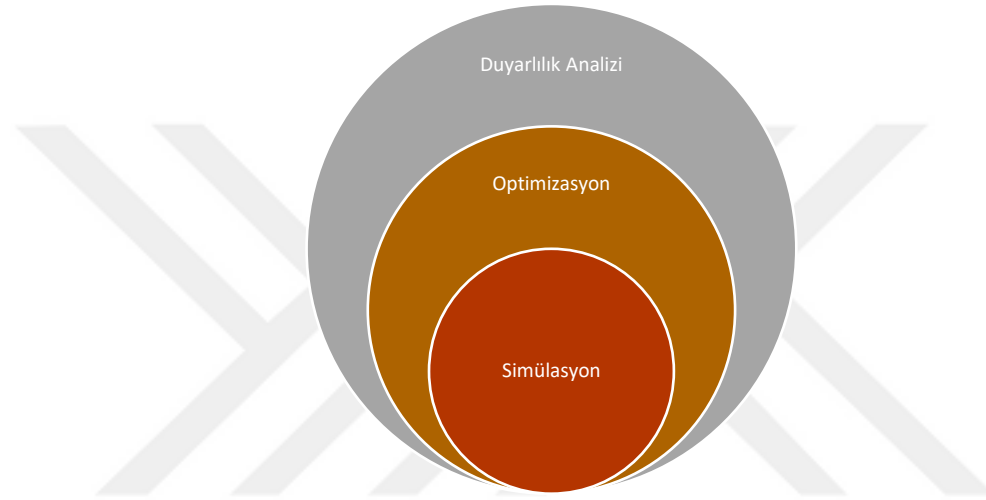
##### **3.1.2 Optimizasyon (İyileştirme)**

Simülasyon sonucunda elde edilen veriler arasından ekonomik, teknik ve çevresel kriterler açısından en uygun çözümün ortaya çıkmasını sağlar. HOMER yazılımı optimizasyon işlemi boyunca birçok farklı sistem konfigürasyonlarını inceleyerek kullanıcı gerekliliklerini karşılamayan konfigürasyonları değerlendirme dışında tutar. Gereklilikleri sağlayabilen sistemler bugünkü maliyete göre en düşükten en yükseğe doğru sıralanarak, kullanıcı tarafından belirlenen kriterlere göre en düşük maliyetli veya

en uygun sistem konfigürasyonu belirlenebilir. Kullanıcı ekipmanlar arasındaki boyutlandırma farklarını görebilmekte, istediği parametreye göre sıralayabilmekte ve yorumlar yapabilmektedir (İster,2020).

### 3.1.3 Duyarlılık analizi

Bu aşamada girdi parametrelerinde değişiklikler yapılarak sistemin performansının değişimlere karşı olan tepkisi incelenir. Yakıt fiyatı, güneş ışınımı, rüzgar hızı, ekipman maliyetleri, yük profilleri vb. kritik parametreler belirli aralıklarda değiştirilerek sistem yeniden simüle ve optimize edilir.



Şekil 3. 1 Benzetim, optimizasyon ve duyarlılık analizi arasındaki bağıntı

HOMER programının temelinde simülasyon göre yer almakta olup, bunun sonrası optimizasyon adımı simülasyon sonuçları incelenerek belirlenen kriterlere göre incelenir ve sıralanır. Duyarlılık analizi tercihe bağlı bir adım olup kullanıcı girdi parametreleri değiştirerek sonuca olan etkisini inceleyebilir (İster,2020).

### 3.2 ALPARSLAN-1 Hidroelektrik Santrali hakkında genel bilgiler

Alparslan-1 Hidroelektrik Santrali (HES), Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Muş ili Varto ilçesi yakınlarında, Murat Nehri üzerinde konumlanmaktadır. 2012 yılında enerji üretimine başlanan Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) tarafından işletilen bu santral, 160 MW kurulu güce sahiptir ve yıllık ortalama 488 GWh elektrik üretimi gerçekleştirmektedir (TEİAŞ, 2024).

**Çizelge 3. 1** Alparslan-1 HES'in Temel Teknik Özellikleri (Kaynak: Enerji Atlası, 2024; DSİ, 2023)

| Özellik                                 | Değer                 |
|-----------------------------------------|-----------------------|
| <b>Kurulu Güç</b>                       | 160 MW (4×40 MW)      |
| <b>Türbin Tipi</b>                      | Düşey eksenli Francis |
| <b>Baraj Tipi</b>                       | Kil çekirdekli dolgu  |
| <b>Baraj Yüksekliği</b>                 | 91 m                  |
| <b>Göl Alanı</b>                        | 114,8 km <sup>2</sup> |
| <b>Yıllık Enerji Üretimi (Ortalama)</b> | 488 GWh               |
| <b>İşletmeye Alınma Yılı</b>            | 2012                  |



**Şekil 3. 2** Alparslan-1 HES genel görünüm

Santralde 45MVA gücünde 4 adet ünite bulunmaktadır. Her bir ünitenin tipi dikey Francis tipi türbindir. Türbinlerin nominal kapasitesi 41,75 MW'dır.

Türbin ve Generatör Tasarım Değerleri;

### **Türbin**

Tipi : Dikey Francis

Nominal Gücü : 41,75 MW

Brüt/Nominal Düşü : 82,5 m

Net Düşü : 80,6 m

Nominal Debi : 59,2 m<sup>3</sup>/s (tam yükte)

Nominal Türbin Debisi : 55,4 m<sup>3</sup>/s

Hız : 250 devir/dakika

Verim : %95,4

### **Generatör**

Türü : Çıkık kutuplu, senkron

Rotor Kutup sayısı : 12

Çıkış Gerilim : 13,8 kV

Verim : %98,3

Nominal Çıkış Gücü : 0,9 PF'de 45 MVA

Alparslan-1 HES, baraj tipi depolama santralleri kategorisindedir. Barajın gövdesi kil, çekirdekli kaya ve kum-çakıl dolgu şeklinde inşa edilmiştir ve toplam dolgu hacmi 3.78 milyon m<sup>3</sup>'tür. Santral, yarı batık ve orta eğimli bir tasarıma sahiptir. Barajın toplam yağış alanı yaklaşık 15. 460 km<sup>2</sup>, gölün hacmi ise yaklaşık 3 milyar m<sup>3</sup>'tür. Santral ait şalt sahası 154 kV gerilime uyumlu çift bara sistemine göre tasarlanmıştır. Şalt alanından çıkan, farklı konumlarda bulunan TEİAŞ trafo merkezlerine bağlantı sağlayan 3 adet 154 kV enerji iletim hattı bulunmaktadır (Özbek,2022).

#### **3.2.1 Bölgesel enerji talebi ve tüketim profili (Muş/Varto)**

Muş ili, Türkiye genelinde kişi başına düşen elektrik tüketiminin nispeten düşük olduğu illerden biridir; ancak kış aylarında ısınma ihtiyacı nedeniyle enerji tüketimi artış göstermektedir (TÜİK, 2023). Varto ilçesi özelinde, konut ve küçük sanayi abone gruplarının yoğun olduğu görülmektedir.

Bölge genelinde elektrik talebi mevsimsel olarak değişmekte olup, hidroelektrik kaynakların bu talebi karşılamada yetersiz kaldığı dönemlerde dış kaynaklardan enerji aktarımı gerekmektedir. Bu nedenle, güneş enerjisi gibi diğer yenilenebilir kaynaklarla desteklenen hibrit sistemlerin uygulanabilirliği önem kazanmaktadır (Karakaya ve Yıldız, 2021).

#### **3.2.2 HES'in yıllık üretim kapasitesi ve mevsimsel dalgalanmalar**

Alparslan-1 HES'in teorik yıllık üretim kapasitesi 488 GWh olarak planlanmış olsa da yıllara ve iklim koşullarına göre bu değer değişiklik göstermektedir. 2023 yılında santral üretimi yaklaşık 279 GWh seviyesinde gerçekleşmiştir (Enerji Atlası, 2024). Bu dalgalanma esas olarak, nehir akış hacminin mevsimsel farklılıkları ve barajlardaki su seviyeleri ile bağlantılıdır. Türkiye'de hidroelektrikten enerji üretiminin en fazla olduğu zaman dilimleri bahar ve yaz mevsimleridir. Yaz ve kış mevsimlerinde ise su seviyesinin

azalması sebebiyle üretim kapasitesi düşmekte ve sistemin temel yük sağlaması güç olmaktadır.

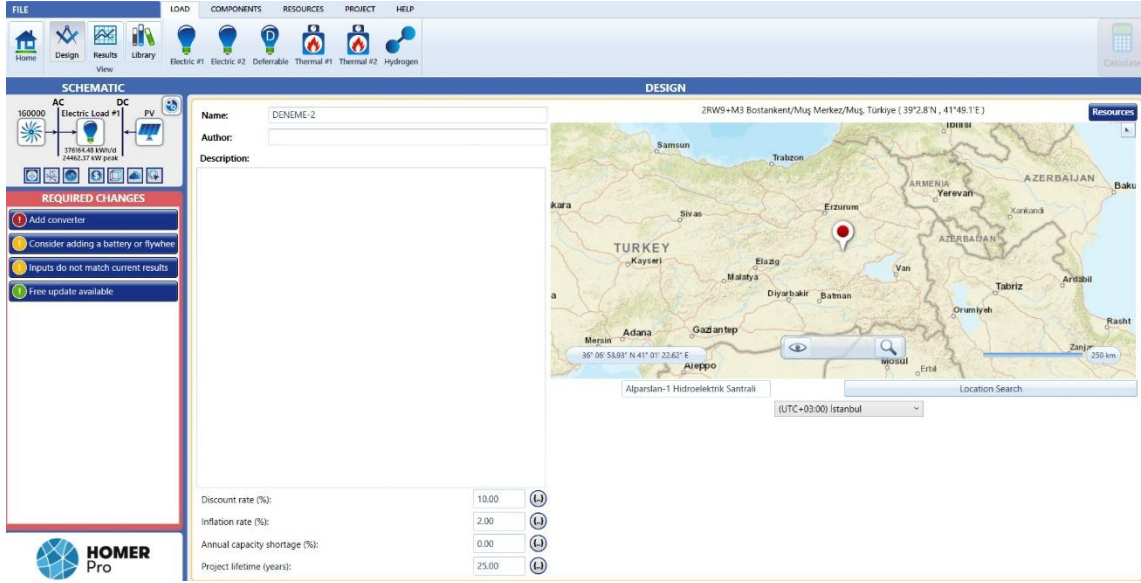
### 3.3 Proje tanımlaması

Alparslan-1 Hidroelektrik Santrali'nin 2023 yılına kadar şebekeye bağlı olarak Hınıs Trafo Merkezi ve Bulanık Trafo Merkezi'ni beslediği, 2025 yılından itibaren ise bu iki merkeze ek olarak Ahlat Trafo Merkezi'ne de enerji iletimi sağladığı bilgisine ulaşılmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere santrale ilişkin üretim ve hidrolojik verilere erişim sağlanması amacıyla, Enstitü aracılığıyla Alparslan-1 HES İşletme Şefliği ile iletişime geçilmiş ve talep edilen bilgiler doğrultusunda santralin 2024 yılı saatlik üretim değerleri ile su akış debileri temin edilmiştir.

Elde edilen verilere göre 2024 yılının Ekim ve Kasım aylarında türbin ünitelerinde gerçekleştirilen bakım-onarım çalışmaları nedeniyle üretim yapılmamıştır. Simülasyon ve optimizasyon sürecinde kullanılan model, bu dönemlerde yaşanan üretim kesintisini dikkate alarak hesaplamalarını gerçekleştirmiştir.

2024 yılı için yapılan sistem analizi kapsamında tüketim tarafındaki yük profillerine de ihtiyaç duyulmuştur. Ancak, santralin beslediği TEİAŞ'a ait Hınıs TM'nin 2024 yılına ilişkin yük çekiş verilerine ulaşılamamıştır. Bu nedenle çalışma, Bulanık TM ve Ahlat TM yük verileri esas alınarak modellenmiş ve hibrit sistem tasarımı bu iki merkezin yük özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Homer Pro yazılımını ilk açıldığında lokasyon belirleme kısmından Alparslan-1 Hidroelektrik Santrali'ni aratarak koordinat belirlenip, Muş İlinin 39°2.8'N, 41°49.1'E koordinatları seçilmiştir.



Şekil 3. 3 Homer Pro Yazılımı Giriş Ekranı

### 3.3.1 Yük (LOAD) tanımı

Homer Pro giriş ekranında bulunan “LOAD” sekmesinden sistemde kullanılacak olan elektrik, termal veya hidrojen yüklerinin girişi yapılabilir.

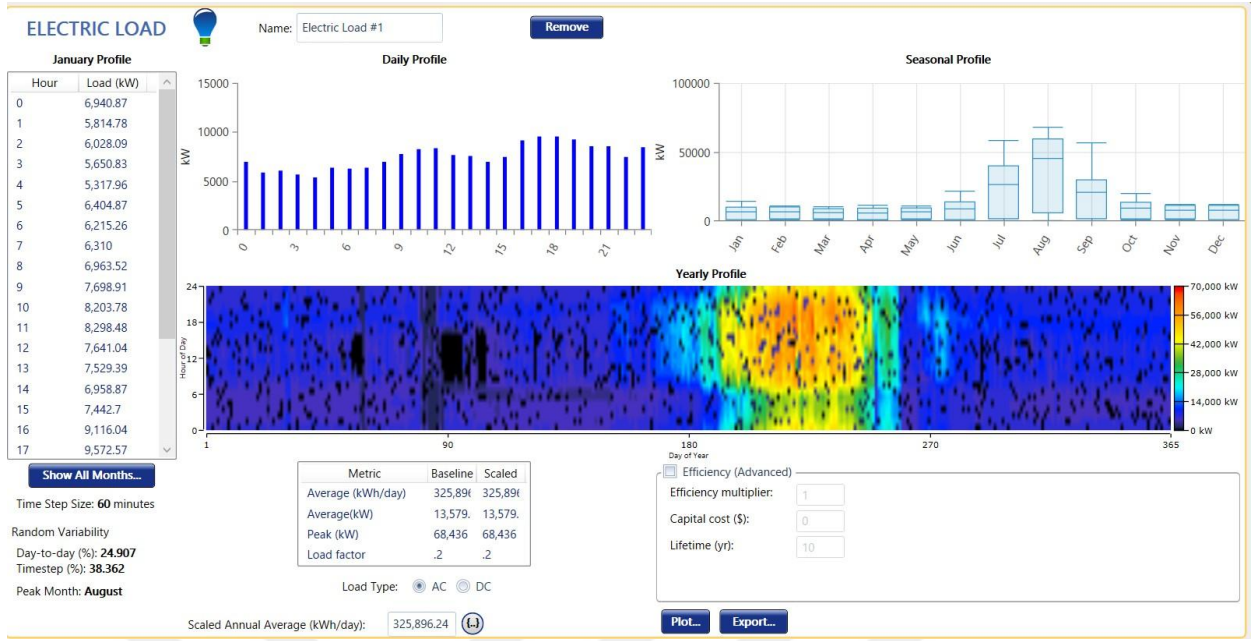
Bu çalışmada, şebekeye bağlı iki farklı trafo merkezi olduğu için,

- **Electric Load #1** → Trafo Merkezi 1
- **Electric Load #2** → Trafo Merkezi 2

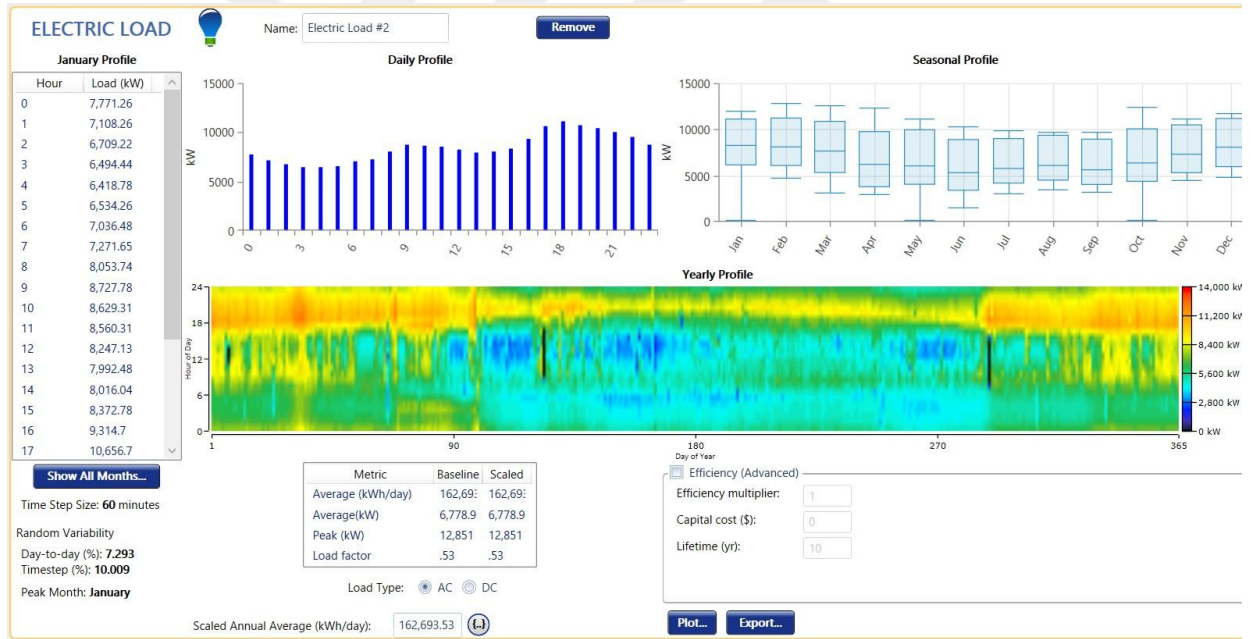
olarak tanımlandı. Her iki yük için de yıllık saatlik çekiş güçlerini programa .csv formatında aktarılıp AC yük profili oluşturularak tanımlanmıştır. Homer bu iki AC yükü toplayarak sistemin toplam AC Primary Load değerini hesapladı.

Şekil 3.4.’te Electric Load#1 için yüklemiş olduğumuz trafo merkezinin çekiş yüklerini analiz ettiğimizde; gündüz ve akşam saatlerinde belirgin yükseliş olduğu saat 10.00-18:00 aralığında tüketiminin belirgin olarak arttığı görülmektedir. En yüksek tüketimin Temmuz- Ağustos döneminde olduğunu ve ayrıca yıllık ısı haritada da yaz dönemi kırmızı/sarı yoğunluğu çok baskın yani pik yüklerin bu sezonda olduğu görülmektedir.

Electric Load #1 mevsimsel olarak yaz döneminde şiddetli artış gösteren, yıl geneli dalgalı bir tüketime sahip, düşük load factor’lü bir yük yapısıdır. Özellikle soğutma kaynaklı pik yüklerin varlığı belirgindir. Hibrit tasarımda özellikle bu yükün piklerini karşılamak için PV entegrasyonu mantıklı ve destekleyici olacaktır.



Şekil 3. 4 Trafo Merkezi-1 Yıllık Çekiş Yükleri program çıktısı



Şekil 3. 5 Trafo Merkezi-2 Yıllık Çekiş Yükleri program çıktısı

Şekil 3.5'te Electric Load #2 ye yüklenmiş olan 2. Trafo merkezinin yıllık çekiş güçlerinin çıktısı görülmektedir. Bu sonucun daha istikrarlı, yıl boyunca kararlı bir yük profiline sahip olduğu tüm tüketimin yıl boyunca düzenli olduğu ve en yoğun dönemin yine yaz ayları ve kış sonu olduğu görülmektedir.

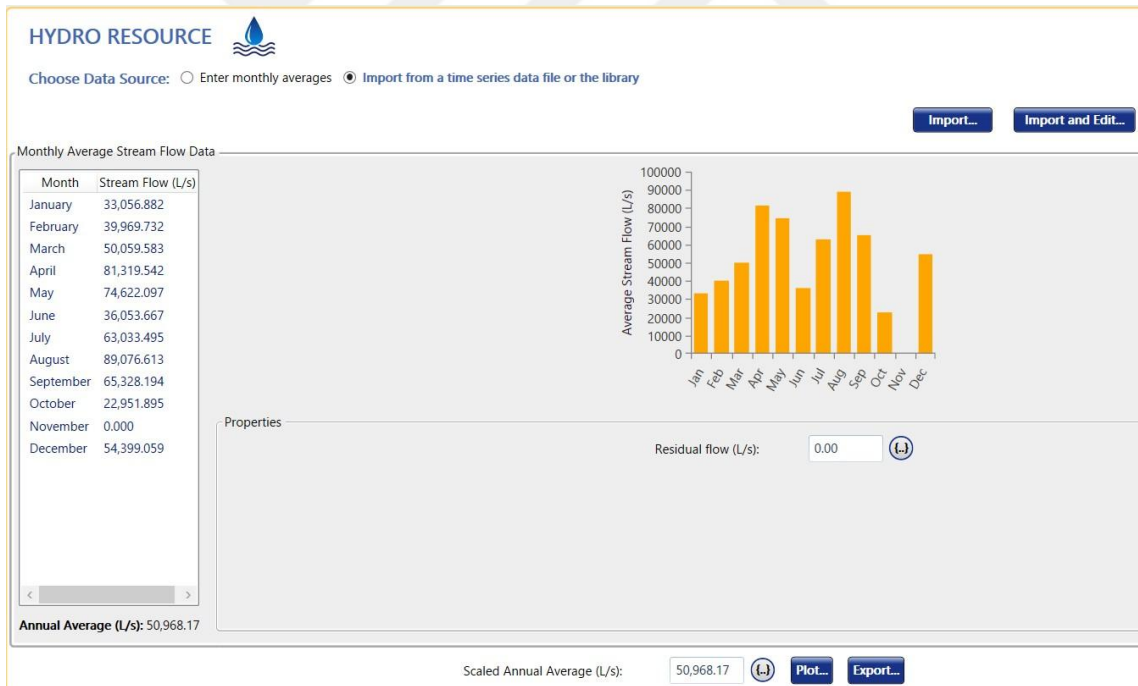
Birinci yük profilinde yaz döneminde belirgin pikler görülmüş olup yük faktörü 0.2 seviyesinde kalmıştır. Bu durum ani güç talebi artışlarının mevcut olduğunu ve pik

saatlerde depolama veya PV katkısının ekonomik avantaj sağlayabileceğini göstermektedir. İkinci yük profili ise yıl boyunca daha dengeli bir güç çekişi sergilemiş ( $LF \approx 0.53$ ) ve sistemle uyumlu, istikrarlı bir tüketim karakteri ortaya koymuştur.

### 3.3.2 Hidroelektrik santral bileşeni

Homer Pro yazılımında “RESOURCES” sekmesinden kullanmak istediğimiz kaynak verilerinin girişleri yapılabilir. Alparslan-1 HES’e ait verilerin girişi ilk olarak bu kısımdan yapılmıştır. Program su kaynağı, debi, düşü yüksekliği, türbin verimi ve maliyet gibi birçok parametrenin girişi yapılarak hidroelektrik santralin teknik ve ekonomik analizini yapmamıza olanak sağlar.

Sistemin modellenmesi için ilk adım olarak Alparslan-1 HES işletme müdürlüğünden temin edilen 2024 yılı için saatlik üretim verileri .csv formatında programa yüklenmiştir. Program, su akışındaki mevsimsel dalgalanmaları değerlendirerek sistemin enerji üretimini optimize etmemize yardımcı olacaktır.



Şekil 3. 6 Alparslan-1 HES yıllık su debileri

Debi verileri incelendiğinde Alparslan-1 HES'in Nisan–Ağustos döneminde yüksek üretim kapasitesine sahip olduğu, özellikle ağustos ayında akımın 89.076 L/s ile maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Buna karşın Ekim ayında debi 22.951 L/s seviyesine inerken, Kasım ayında üretim ünitelerdeki bakım sebebiyle tamamen durmuştur. Bu nedenle hibrit tasarımda depolama sistemi ve şebeke bağlantısı özellikle düşük debili dönemlerde (Ocak, Şubat, Haziran, Ekim ve Kasım) enerji sürekliliğini sağlamakta kritik rol oynayacaktır.

**HYDRO** 

Name: ALPARSLAN-1 HES Abbreviation: 160MW Remove Copy To Library

**Economics**

|                        |             |     |
|------------------------|-------------|-----|
| Capital Cost (\$):     | 0.00        | (-) |
| Replacement Cost (\$): | 0.00        | (-) |
| O&M Cost (\$/yr):      | 3,500,000.0 | (-) |
| Lifetime (years):      | 40.00       | (-) |

**Turbine**

|                         |            |     |
|-------------------------|------------|-----|
| Available head (m):     | 88.00      | (-) |
| Design flow rate (L/s): | 206,000.00 | (-) |
| Minimum flow ratio (%): | 5.00       | (-) |
| Maximum flow ratio (%): | 100.00     | (-) |
| Efficiency (%):         | 90.00      | (-) |

Nominal Capacity: 160,052.112 kW

**Electrical Bus**

☒ AC ☐ DC

**Intake Pipe**

|                     |      |     |
|---------------------|------|-----|
| Pipe head loss (%): | 3.00 | (-) |
|---------------------|------|-----|

**Systems to consider**

☒ Simulate systems with and without the hydro turbine.  
☐ Include the hydro turbine in all simulated systems.

Şekil 3. 7 Alparslan-1 HES teknik veri ekranı

Şekil 3.7.'de programın “COMPONENTS” sekmesinde bulunan Hydro sekmesinde hidroelektrik türbinin ekonomik ve teknik özellikleri girilen ekran görülmektedir.

Türbin gövde yüksekliği 91 m olduğu için su bırakılma yüksekliği 88 m olarak kabul edilmiştir.

Homer Pro programı her zaman denklem 3.1'i kullanarak hidroelektrik türbinin elektrik güç çıkışını hesaplanır.

$$P_{\text{türbin}} = (\eta_{\text{türbin}} \cdot \rho_{\text{su}} \cdot g \cdot h \cdot \dot{Q}_{\text{türbin}}) / 1000 \quad (3.1)$$

Bu denklemde;

$P_{\text{türbin}}$  = Hidroelektrik türbinin çıkış gücünü (kW)

$\eta_{\text{türbin}}$  = türbin verimliliğini (%)

$\rho_{\text{su}}$  = suyun yoğunluğunu (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  yer çekimi ivmesini (9,81 m/s<sup>2</sup>)

h düşüyü (m) ve  $Q$ türbin türbin akış hızını ( $m^3/s$ ) ifade etmektedir.

Bu denkleme göre girilen veriler ile kurulu güç 160,052 kW ( $\approx 160$  MW) değerine ulaşılmıştır. Santral şuan kurulu olduğu için sermaye maliyeti 0\$ olarak, yıllık işletme bakım giderleri de 3,500,000\$ girilmiştir.

### 3.3.3 Şebeke (Grid) bileşeni

Bu çalışmada hibrit enerji sisteminin performansının değerlendirilebilmesi için Alparslan-1 HES'in şebeke bağlantısı Homer Pro ortamında modellenmiştir. Hidroelektrik santral halihazırda ulusal iletim sistemine entegre olduğundan, hibrit yapıda üretim fazlasının şebekeye satılması ve gerekli durumlarda şebekeden alım yapılabilmesi amacıyla iki yönlü enerji akışı (bidirectional power flow) dikkate alınmıştır.

Modelleme sürecinde HOMER'in Advanced Grid modülü kullanılmış olup sistem;

- Şebekeye enerji satabilen,
  - Şebekeden yük ihtiyacına göre enerji satın alabilen,
  - Üretim fazlasını değerlendirebilen,
  - Depolama ile yük dengelemesi yapabilen
- bir yapı olarak kurgulanmıştır.

#### 3.3.3.1 Tarifeler ve fiyatlandırma yaklaşımı

EİAŞ/EPİAŞ piyasa değerleri referans alınarak şebeke enerji fiyatı Grid Power Price alanına, şebekeye satış fiyatı ise Sellback Price alanına işlenmiştir. Böylece model;

$$\text{Maliyet} = P_{buy} \cdot E_{grid-purchase}$$

$$\text{Gelir} = P_{sell} \cdot E_{grid-sales} \quad (3.2)$$

esasına göre ekonomik optimizasyon yapmıştır.

Bu çalışmada enerji satın alma fiyatı 0,065 \$/kWh, şebekeye satış fiyatı ise 0,050 \$/kWh olarak tanımlanmış; ülke piyasasındaki alış-satış makası gerçeğe uygun şekilde modele aktarılmıştır.

#### 3.3.3.2 Şebeke kapasitesinin sınırlandırılması

Santral kurulu gücü 160 MW olduğundan, sistemin şebekeye maksimum iletim kapasitesi aynı büyüklükte 160.000 kW export sınırı olarak modele girilmiştir. Böylece

şebekeye satılabilecek güç, hidro + PV + Rüzgar + batarya üretiminin toplamının teknik sınırını aşmayacak şekilde optimize edilmiştir.



#### 4.BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Alparslan-1 HES’e entegre edilmesi planlanan hibrit enerji sistemleri için oluşturulan modellerin sonuçları incelenmiş ve sistem bileşenlerinin performanslarına ilişkin bulgular detaylı olarak değerlendirilmiştir. Homer Pro yazılımı kullanılarak hidroelektrik, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, batarya depolama ve şebeke iletişi içeren farklı işletme senaryoları oluşturulmuş; her bir senaryo için de teknik performans, maliyet göstergeleri ve enerji arz güvenliği yönünden ayrı ayrı detaylı bir şekilde analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda temel amaç, mevcut HES yapısına eklenen yenilenebilir enerji kaynaklarının ve depolama bileşenlerinin sisteme ne derecede iyileştirme sağladığını tespit etmek ve ekonomik açıdan en verimli konfigürasyonu belirlemektir. Bu doğrultuda, ilk olarak yalnızca hidroelektrik santralin mevcut çalışma koşulları değerlendirilmiş; ardından sisteme güneş enerjisi üretimi, rüzgar enerjisi üretimi ve lityum-iyon batarya depolama ünitesi eklenerek hibrit sistem simüle edilmiştir. Son aşamada ise şebeke ile çift yönlü enerji alış-verişinin sisteme etkisi incelenmiş, maliyet ve yenilenebilir penetrasyonundaki değişim gözlemlenmiştir.

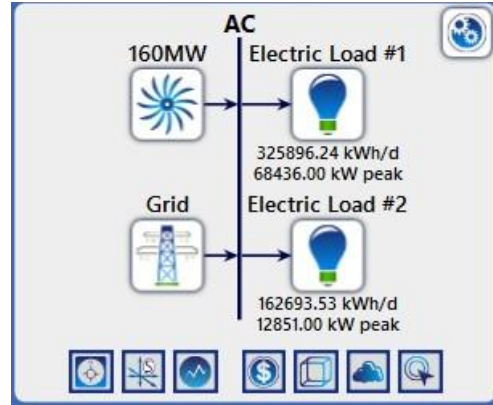
Yapılan tüm simülasyonlar, üretim-tüketim dengesinin yıl içerisindeki mevsimsel değişkenliğini, HES debi akış karakteristiğini, yük profillerinin gün içi ve aylık varyasyonlarını dikkate alacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylece model çıktıları yalnızca teorik değil, gerçek işletme koşullarını temsil edecek düzeyde güvenilirlik sağlamaktadır.

Elde edilen sonuçlar, hibrit sistem entegrasyonunun yenilenebilir enerji oranını artırdığı, arz güvenliğini güçlendirdiği ve enerji maliyetlerini düşürdüğü yönündedir. Ancak tüm senaryolar aynı düzeyde verim oluşturmamış olup, ekonomik optimumun hangi kombinasyonda ortaya çıktığı aşağıdaki alt başlıklarda detaylı şekilde tartışılmıştır.

##### 4.1 Senaryo-1 Yalnızca Mevcut HES İşletmesi

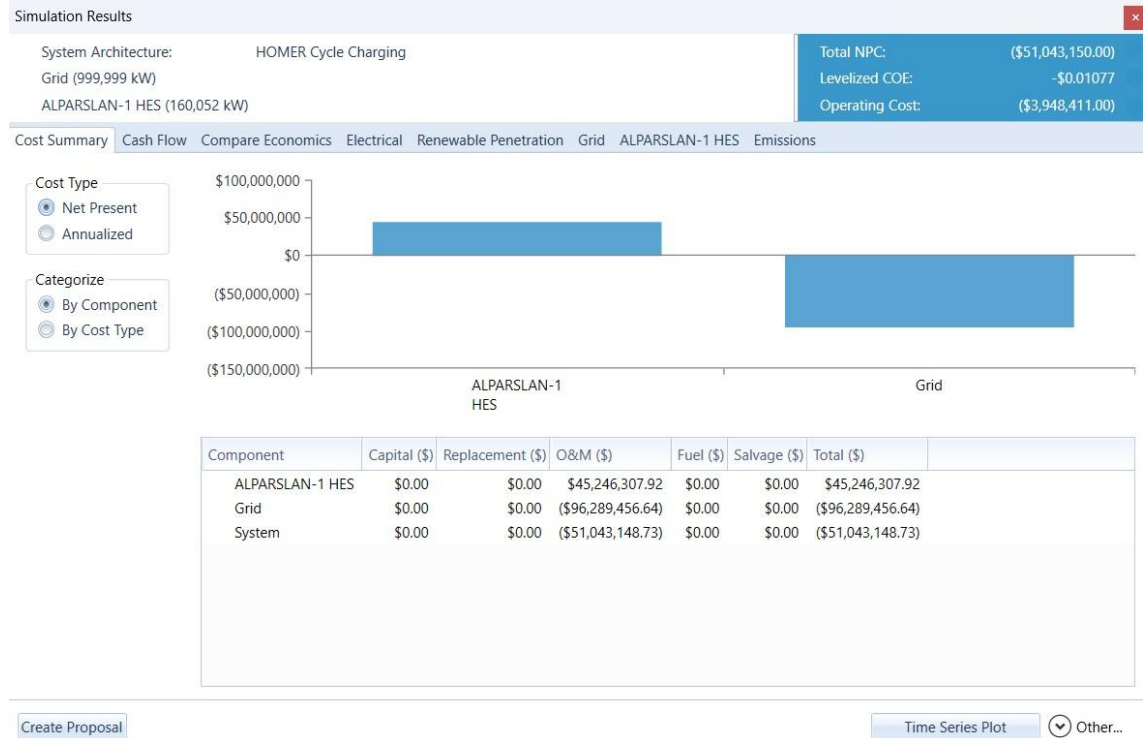
Senaryonun ilk adımında mevcut olan hidroelektrik santralimizin verileri incelenmiş bu veriler ışığında modelleme yapılmış ve şebeke ile etkileşim analiz edilmiştir. Hibrit modelleme yapılmadan önce mevcut kurulu santralin yıllık üretim davranışı, yük karşılama kapasitesi ve işletme giderlerini referans değer olarak belirlemek amacıyla bu senaryo oluşturulmuştur.

Şekil 4.1.'de Alparslan-1 HES'e ait Homer Pro yazılımından alınmış şematik gösterim yer almaktadır.



Şekil 4. 1 Mevcut Kurulu Santral Şematik Gösterim

Modelleme sonucuna bakıldığında, HES'in yıllık ortalama debi değerlerinin özellikle Nisan-Ağustos aylarına ait dönemlerde belirgin şekilde yükseldiğini; Kasım ayında ise üniterin bakıma girmesi sebebiyle akışın minimum seviyeye düşüp üretimin olmadığını göstermektedir. Akarsu akışına dayalı üretim karakteristiği mevsimselliğe duyarlıdır. Bu sebeple, hidroelektriğin tek kaynak olarak kullanılması durumunda yıl boyunca yaşanan mevsimsel dalgalanmalar, bakım çalışmaları dengeli enerji arzında zorluk yaşanabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4. 2 Mevcut Santral Simülasyon Sonuç Ekranı

Mevcut kurulu santrale ait simülasyonda ekonomik sonuçlar incelendiğinde, yalnız HES işletiminde yıllık işletme ve bakım maliyetlerinin (~45 milyon \$/yr) toplam maliyetin tamamını oluşturduğu, sermaye ve yenileme giderlerinin bulunmadığı görülmüştür.

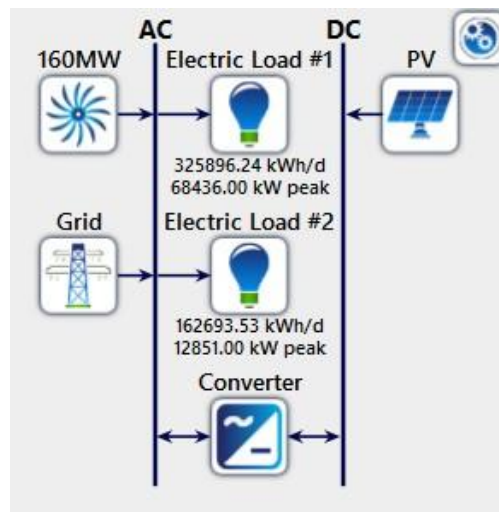
Net Bugünkü Değer (NPC), ekonomik karşılaştırmalarda temel performans göstergesi olarak kullanılır ve sistemin ömür boyu yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini iskonto ederek bugünkü değere indirgenmiş toplamı ifade eder.

Program çıktıları incelendiğinde NPC değeri negatif çıkmıştır. Fakat bu değer negatif olması mevcut sistemin ekonomik açıdan sürdürülebilir olmadığı anlamına gelmemekte olup, gelir tarafı modele eklenmediği için mai yükün yalnızca gider kalemleri üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir. Başka bir deyişle, bu senaryo hibrit modelin maliyet referansı olarak değerlendirilmelidir.

Yenilenebilir enerji penetrasyonu doğal olarak %100 olup sistem emisyon üretmemektedir. Ancak üretim-zaman uyumsuzluğu nedeniyle yük profilinin yüksek olduğu saatlerde enerji açığı oluşmakta, bu eksik güç ilerleyen senaryolarda PV, Rüzgar türbini ve batarya desteği ile azaltılacaktır. Bu senaryo hem teknik hem ekonomik açıdan hibrit enerji tasarımının gerekliliğini ortaya koyan başlangıç baz senaryo niteliğindedir.

#### 4.2 Senaryo-2 Alparslan-1 HES + 50 MW GES (PV) Entegrasyonu

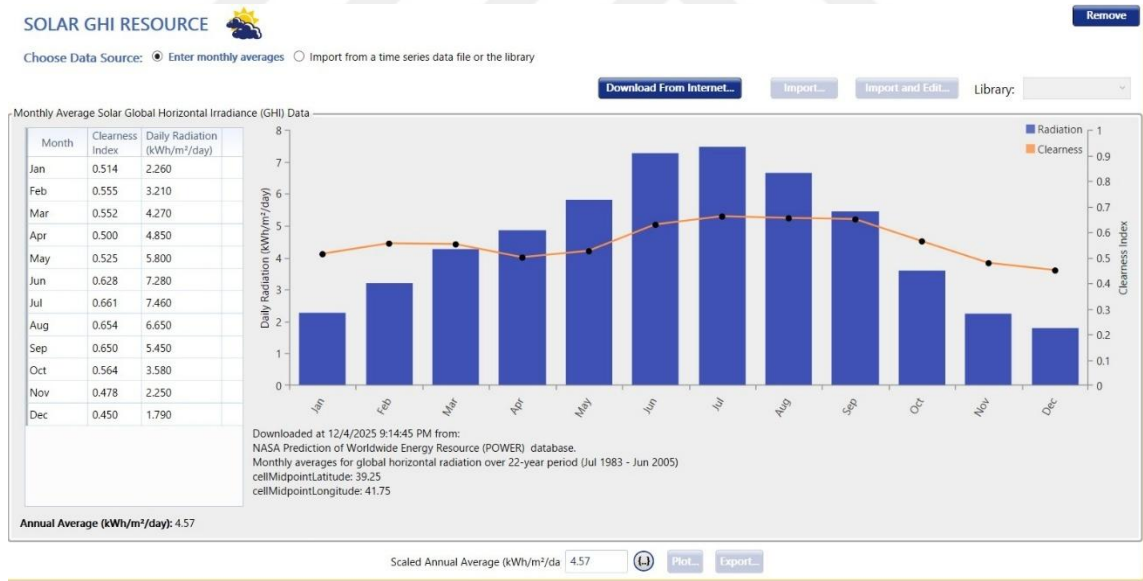
Bu senaryoda mevcut Alparslan-1 HES mevcut yapısı korunarak 50MW kurulu güce sahip fotovoltaik (PV) enerji sistemi modele dahil edilmiştir.



Şekil 4. 3 Mevcut HES+ 50MW PV Şematik Gösterim

PV birimi Homer Pro ortamında Flat-plate PV panel tipi seçilerek yapılandırılmış olup kapasite 50.000 kW olarak tanımlanmıştır. Sistem maliyet girdileri literatür ve piyasa ortalamaları dikkate alınarak modele eklenmiştir. Kurulum maliyeti 700\$/kW, değişim maliyeti 700\$/kW, yıllık işletme maliyeti 15\$/kW-yr olarak tanımlanmıştır. PV ömrü ise 25 yıl, derating faktörü %80 kabul edilmiştir. Bu değerler panel yaşlanması, inverter kayıpları ve ortam sıcaklık etkilerini temsil etmektedir.

Şekil 4.4.'te görüldüğü üzere PV üretiminin yıl boyu davranışını belirlemek amacıyla GHI (Global Horizontal Irradiance) temelli aylık radyasyon değerleri NASA POWER veritabanından alınmış ve HOMER ortamına işlenmiştir. Bölgeye ait yıllık ortalama güneşlenme süresi 4,57 kWh/m<sup>2</sup>-gün olup Haziran–Ağustos döneminde bu değer 7,0–7,5 kWh/m<sup>2</sup>-gün düzeyine ulaşmaktadır. Aylık radyasyon dağılımı, PV üretiminin özellikle yaz aylarında güçlü olduğu; kış döneminde ise üretimin azaldığını göstermektedir. Bu durum hidroelektrik akışın düştüğü dönemlerle üretimin birbirini dengelediğini ortaya koymaktadır.



**Şekil 4. 4** GHI Temelli Aylık Radyasyon Değerleri

Sistemin yenilenebilir enerji kullanım oranı %95,1 olup yenilenebilir penetrasyonu %104 seviyesine ulaşmıştır. Bu durum özellikle yüksek güneşlenme dönemlerinde üretimin yükten fazla olduğu ve fazla enerjinin şebekeye geri satıldığı anlamına gelmektedir. Grid'e yapılan toplam yıllık enerji satışı 251.884.987 kWh olup satın alınan enerjinin çok üzerinde gerçekleşmiştir.

Ekonomik sonuçlar değerlendirildiğinde sistemin toplam net bugünkü maliyeti (NPC) – 55.208.990 \$, seviyeleme edilmiş enerji maliyeti (LCOE) –0,0099 \$/kWh olarak elde edilmiştir. Bu değerler PV katkısının elektrik üretim maliyetini düşürdüğünü ve yüksek geri satış nedeniyle sistemin ekonomik açıdan avantajlı hale geldiğini göstermektedir. HES’in yıllık O&M maliyeti yaklaşık 45,2 M\$, PV sistem O&M gideri 9,6 M\$ olup toplam işletme giderlerinin şebeke satış geliri ile dengelenmesi sonucu sistem pozitif ekonomik performans sergilemiştir.

Saatlik üretim analiz grafikleri incelendiğinde PV üretiminin özellikle Haziran–Eylül ayları arasında yoğunlaştığı, kış dönemlerinde ise hidroelektriğin temel kaynak konumuna yükseldiği görülmüştür. PV çıkış gücü maksimum 51.879 kW, kapasite faktörü %17,3 olarak hesaplanmıştır. Hidroelektrik ünitenin kapasite faktörü %24 seviyesindedir.

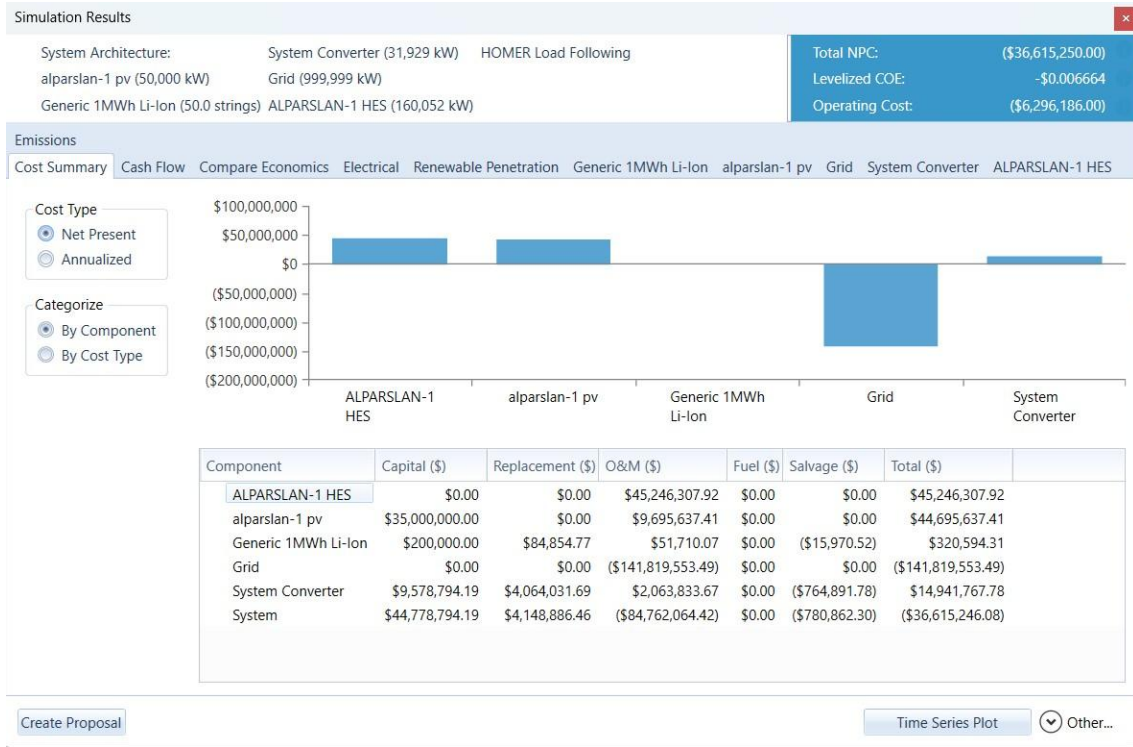
Bu sonuçlar PV entegrasyonunun:

- Yenilenebilir üretim oranını ciddi ölçüde yükselttiğini,
- Şebekeye satış gelirini artırarak ekonomik açıdan avantaj sağladığını,
- Pik saatlerde hidro yükünü azalttığını,
- Fakat depolama olmadığından esneklik sınırlı kaldığını göstermektedir.

#### 4.3 Senaryo-3 Alparslan-1 HES + 50 MW GES (PV) + Batarya Entegrasyonu

Çalışmada depolama ünitesi olarak lityum-iyon batarya teknolojisi tercih edilmiştir. HOMER Pro doğrulama kütüphanesi içerisinde yer alan “Generic 1MWh Li-Ion” modeli temel alınmış ve model 1 MWh’lık birim kapasiteyi ifade edecek şekilde sistem tasarımına eklenmiştir. Başlangıç aralığı olarak 1–100 MWh ölçeğinde batarya kapasite aralığı tanımlanmış, sistemin yıllık üretim profili, yük davranışı ve maliyet parametreleri göz önünde bulundurularak yazılım en uygun kapasiteyi otomatik olarak seçmiştir. Optimize sonucu olarak sistem, maliyet-etkinlik kriterleri doğrultusunda 50 adet modül seçmiş ve toplam yaklaşık 50 MWh depolama kapasitesi oluşturmuştur. Bu seçimin temel nedeni, daha yüksek kapasitenin maliyeti artırması, daha düşük kapasitenin ise pik saatlerde yeterli dengeleme sağlayamaması olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada bataryanın şarj–deşarj kontrolüne yönelik iki farklı işletme mantığı değerlendirilmiştir: Cycle Charging (CC) ve Load Following (LF). CC modunda sistem fazla üretimi bataryaya yönlendirerek depolamayı önceliklendirirken; LF modunda batarya yalnızca yük karşılanamadığında veya şebekeye satış avantajlı olduğunda devreye girmektedir.

Yapılan analizlerde LF stratejisinin daha dengeli bir batarya kullanım profili sunduğu, batarya döngülerini azaltarak ekonomik performansı iyileştirdiği ve yenilenebilir penetrasyonunu artırdığı görülmüştür. Bu nedenle sistem performansı ve ekonomik çıktılar Senaryo-3'te LF modu üzerinden değerlendirilmiştir.



Şekil 4. 5 Senaryo-3 Cost Summary Simülasyon Sonucu

Simülasyon sonuçlarına göre sistemin yıllık toplam elektrik üretimi **433,24 GWh**'dir. Bunun

- 336,39 GWh (%77,6)'sı hidroelektrik,
- 75,84 GWh (%17,5)'i fotovoltaik,
- 21,00 GWh (%4,85)'i ise şebekeden satın alınan enerji olarak gerçekleşmiştir.

AC birincil yük 178,34 GWh olup, üretilen enerjinin 246,71 GWh (%58,0)'si şebekeye satılmıştır. Yıl boyunca oluşan atıl (kullanılmayan) enerji miktarı 4,18 GWh ile toplam üretimin yaklaşık %0,97'si düzeyindedir.

Bu senaryoda yenilenebilir enerji katkı oranı (renewable fraction) %95,1'e ulaşmakta, maksimum yenilenebilir penetrasyon değeri ise %345 olarak hesaplanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, bazı saatlerde yükün üç katından fazla yenilenebilir üretim elde edilmekte ve bu fazlalık bataryaya depolanarak veya şebekeye satılarak değerlendirilmektedir.

Ekonomik açıdan HOMER, sistemin net bugünkü değerini –36,6 milyon \$ ve seviyelendirilmiş enerji maliyetini –0,0067 \$/kWh olarak vermektedir. Bu negatif değerler, EPIAŞ satış fiyatı altında yapılan modellemede, şebekeye net enerji satış gelirlerinin yatırım ve işletme maliyetlerini fazlasıyla karşıladığını, dolayısıyla bu senaryonun ekonomik açıdan da son derece avantajlı olduğunu göstermektedir.

#### 4.4 Senaryo-4 Alparslan-1 HES + 35 MW RES Entegrasyonu

Bu senaryoda, mevcut Alparslan-1 HES (160,052 kW) üretim altyapısına rüzgâr türbini entegre edilerek sistemin yıllık enerji üretimi, şebeke ile enerji alışverişi ve ekonomik performansı (NPC, COE, işletme maliyeti) HOMER Pro yazılımı ile analiz edilmiştir.

rüzgâr enerjisi potansiyelinin modellenmesi amacıyla HOMER Pro yazılımının Wind Resource modülü kullanılmıştır. Rüzgâr hızı verileri, NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) veri tabanından temin edilen uzun dönemli ortalama değerlere dayanmaktadır. Kullanılan veriler, 1984–2013 yılları arasındaki 30 yıllık periyodu kapsamakta olup, rüzgâr hızları yer yüzeyinden 50 m yükseklikte ölçülen aylık ortalama değerler şeklinde sisteme aktarılmıştır. Çalışma alanının coğrafi konumu, yaklaşık 39.25° kuzey enlemi ve 41.75° doğu boylamı olarak belirlenmiş ve bu koordinatlara karşılık gelen rüzgâr verileri kullanılmıştır.



Şekil 4. 6 Aylık Rüzgar Hız Verileri

Aylık ortalama rüzgâr hızlarının yıl boyunca 3.78–4.73 m/s aralığında değiştiği, yıllık ortalama rüzgâr hızının ise 4.32 m/s olduğu görülmektedir. En yüksek ortalama rüzgâr hızları yaz aylarında (özellikle Temmuz ayında), en düşük değerler ise kış aylarında

gözlemlenmiştir. Bu durum, rüzgâr üretiminin mevsimsel olarak değişken bir karakter sergilediğini ve hidroelektrik üretimle tamamlayıcı bir yapı oluşturabileceğini göstermektedir.

Senaryoda rüzgâr kaynağı için HOMER kütüphanesindeki Enercon E-101 E2 (3.5 MW) türbini kullanılmıştır.

Şekil 4. 7 Türbin Seçim Ekranı

Rüzgâr türbini adedi sabitlenmemiş, HOMER’ın optimum ekonomik çözümü bulabilmesi için arama uzayı tanımlanmıştır:

- Search Space (Quantity): 0, 10, 20, 30 (adet)

Bu sayede HOMER, farklı türbin adetleri için sistemi ayrı ayrı simüle etmiş ve net bugünkü maliyeti (NPC) minimize eden çözümü “optimal” olarak listelemiştir.

Çizelge 4. 1 Rüzgâr Türbini Ekonomik Girdi Parametreleri

| Kalem                | Değer                     |
|----------------------|---------------------------|
| Yatırım maliyeti     | 4,725,000 \$ / türbin     |
| Toplam yatırım       | 47,250,000 \$             |
| Yenileme maliyeti    | 3,500,000 \$ / türbin     |
| O&M maliyeti         | 158,000 \$ / yıl / türbin |
| Optimizasyon yöntemi | HOMER Optimizer           |
| Arama aralığı        | 0 – 10 – 20 – 30 adet     |

#### Türbin performans metrikleri (Enercon E-101 için)

- Toplam rüzgâr kurulu gücü: 35,000 kW
- Ortalama güç (Mean output): 7,272 kW
- Kapasite faktörü: %20.8
- Yıllık rüzgâr üretimi: 63,706,547 kWh/yıl
- Çalışma saati: 8,553 saat/yıl
- Wind Penetration: %35.7

- Türbin için levelized cost: 0.0881 \$/kWh

Kapasite faktörü %20,8 olup rüzgâr santralleri için makul bir aralıktadır. 8.553 saat/yıl “üretim görülen saat” bilgisini temsil eder; bu, rüzgâr kaynağının yıl boyunca sık devrede kaldığını gösterir.

Optimum çözümde 10 adet türbin (35 MW) seçilmiş; yıllık toplam üretim 420,5 GWh olarak hesaplanmıştır. Bu üretimin %80’i hidrolik, %15,1’i rüzgârdan sağlanırken şebekeden enerji alımı %4,86 seviyesinde kalmıştır. Yenilenebilir katkı oranı %95,1 olup sistemin şebekeye satış miktarı 242,2 GWh/yıl olarak gerçekleşmiştir.

**Çizelge 4. 2** Sistem Ekonomik Sonuçları

| Gösterge                                        | Değer            |
|-------------------------------------------------|------------------|
| <b>Toplam Net Bugünkü Değer (NPC)</b>           | -21.59 milyon \$ |
| <b>Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (LCOE)</b> | -0.00397 \$/kWh  |
| <b>Yıllık işletme maliyeti</b>                  | 5.32 milyon \$   |
| <b>Yenilenebilir enerji oranı</b>               | %95.1            |

Alparslan-1 HES’e entegre edilen 35 MW kapasiteli rüzgâr enerji santrali, toplam üretimin %15’ini karşılamış ve sistemin yenilenebilir enerji oranını %95’in üzerine taşımıştır. Rüzgâr hızlarının orta seviyede olmasına rağmen HES ile tamamlayıcı çalışması, ekonomik ve operasyonel açıdan olumlu sonuçlar üretmiştir.

#### 4.5 Senaryo-5 Alparslan-1 HES + 35 MW RES + Batarya Entegrasyonu

Bu senaryoda, Alparslan-1 Hidroelektrik Santrali’ne entegre edilen rüzgar türbinlerinin, bir batarya enerji depolama sistemi ile hibrit çalışması incelenmiştir. Amaç; rüzgardan elde etmiş olduğumuz enerjinin zamansal değişkenliğinin batarya ile dengede tutulması, şebeke ile olan enerji alışverişinin optimize edilmesi ve sistemin hem teknik yönden hem de ekonomik yönden performanslarının değerlendirilmesidir. Homer Pro yazılımı sayesinde gerçekleştirilen analizler, bileşenlerin boyutları yazılımın optimizasyonun algoritması tarafından belirlenmiştir.

Batarya sistemi için, Homer Pro yazılımının kütüphanesinde yer alan Generic 1MWh Li-on modeli kullanılmış ve batarya adedi olarak sabit bir değer girilmeyip Homer Optimizer tarafından belirlenmiştir.

Search Space: 0, 25, 50, 75, 100 string olarak girilmiştir.

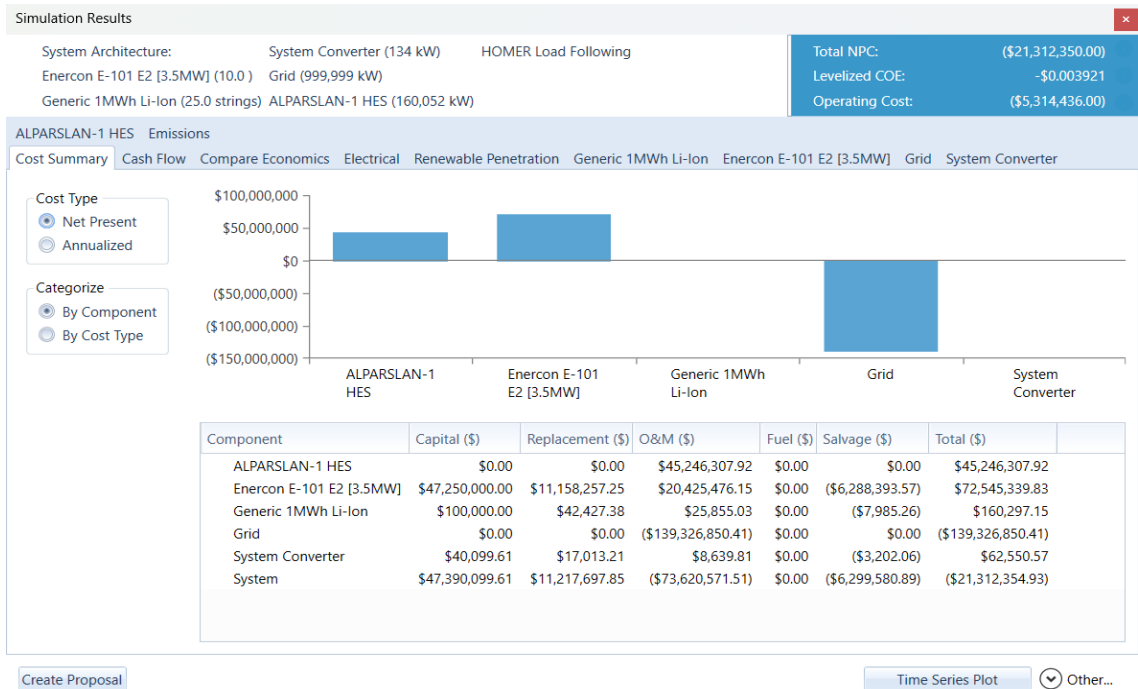
Bu yaklaşım sayesinde:

- Aşırı büyük ve ekonomik olmayan depolama önlenmiş,

- Yetersiz depolama kaynaklı şebeke bağımlılığı azaltılmış,
- Sistem Net Bugünkü Değer (NPC) açısından optimize edilmiştir.

Şekil 4. 8 Batarya Seçim Ekranı

Batarya sisteminin şarj-deşarj işlemleri, %95 verime sahip çift yönlü bir sistem konvertörü aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan batarya modeli %90 çevrim verimine, %20 minimum şarj seviyesine ve 15 yıl ömre sahiptir. Bu senaryoda depolama sistemi, rüzgâr üretimindeki dalgalanmaların dengelenmesini, şebeke ile enerji alışverişinin optimize edilmesini ve yenilenebilir enerji penetrasyonunun artırılmasını hedeflemiştir.



Şekil 4. 9 Batarya Simülasyon Sonuç Ekranı

Yapılan simülasyonlar sonucunda sistemin yıllık toplam elektrik üretimi yaklaşık 420,5 GWh olarak hesaplanmıştır. Bu üretimin %80,0'ı hidroelektrik, %15,1'i rüzgar enerjisi ve %4,86'sı şebekeden satın alınan enerji ile karşılanmıştır. Hidroelektrik santral, sistemin ana üretim kaynağı olmayı sürdürürken, rüzgar enerjisi santrali yıllık 63,7 GWh üretim ile yenilenebilir üretime önemli bir katkı sağlamıştır.

Sistemin yıllık AC ana yükü 178,3 GWh olup, toplam üretilen enerjinin %57,6'sı (242,1 GWh) şebekeye satılmıştır. Simülasyon sonuçlarında karşılanamayan yük (unmet load) ve kapasite yetersizliği oluşmamış, atıl enerji miktarı yalnızca 9,1 MWh (%0,002) seviyesinde kalmıştır. Bu durum, üretim-tüketim dengesinin yüksek verimle sağlandığını göstermektedir.

Yenilenebilir enerji performansı incelendiğinde, sistemin yenilenebilir enerji katkı oranı %95,1 olarak hesaplanmıştır. Maksimum yenilenebilir penetrasyon değeri %103 olup, bazı saatlerde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen üretimin yükü tamamen karşıladığı ve aştığı görülmüştür. Bu sonuç, hibrit sistemin şebeke bağımlılığını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır.

Rüzgar enerjisi santralinin teknik performansı değerlendirildiğinde, %20,8 kapasite faktörü ile yıllık 63,7 GWh üretim gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Bu değerler, seçilen lokasyon için rüzgar kaynağının orta seviyede ancak hidroelektrik üretimi tamamlayıcı nitelikte olduğunu göstermektedir.

Batarya depolama sistemi, 25 MWh nominal kapasite ve yaklaşık 1 saatlik enerji otonomisi sağlamıştır. Yıllık batarya enerji çevrimi (annual throughput) yaklaşık 0,46 GWh olup, depolama ünitesinin ağırlıklı olarak kısa süreli dengeleme ve geçici yük kaydırma amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Bataryanın sınırlı çevrim sayısı, sistemde hidroelektrik ve rüzgar üretiminin yükü büyük ölçüde doğrudan karşılaması ile ilişkilidir.

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, sistemin Toplam Net Bugünkü Değeri (NPC) –21,3 milyon \$ olarak hesaplanmış, birim enerji maliyeti (COE) –0,0039 \$/kWh seviyesine düşmüştür. Negatif NPC ve COE değerleri, şebekeye satılan enerji gelirlerinin yatırım ve işletme maliyetlerini aşmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuç, senaryo-5'in ilgili tarife varsayımları altında net gelir üreten bir hibrit sistem yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

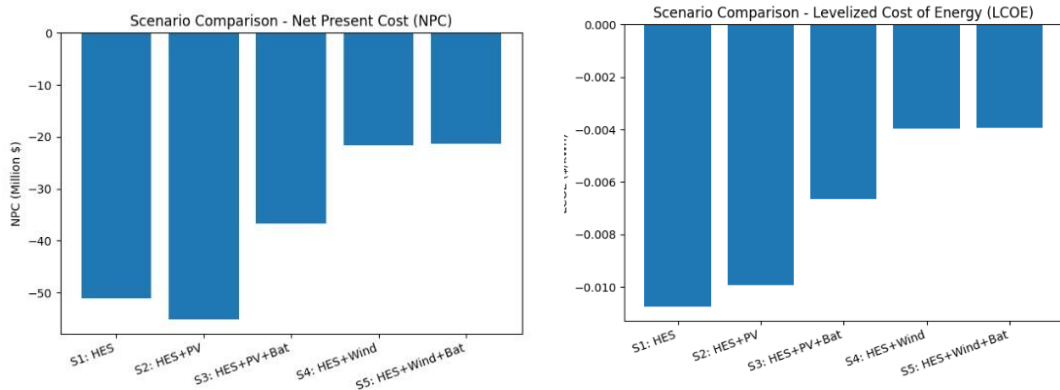
## 5.SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Alparslan-1 Hidroelektrik Santrali (HES) üzerine farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının (fotovoltaik ve rüzgâr) ve enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu incelenmiştir. Bu kapsamda HOMER Pro yazılımı kullanılarak beş farklı senaryo oluşturulmuş; her senaryo teknik performans, enerji dengesi, yenilenebilir katkı oranı ve ekonomik göstergeler (NPC, LCOE) açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

**Çizelge 5. 1** Hibrit Sistem Senaryolarının Teknik ve Ekonomik Karşılaştırması

| Senaryo   | Sistem Konfigürasyonu  | NPC (M\$) | LCOE (\$/kWh) | Yenilenebilir Enerji Oranı (%) | Batarya Kapasitesi (MWh) | Rüzgâr / PV Kapasitesi |
|-----------|------------------------|-----------|---------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Senaryo 1 | HES                    | -51.04    | -0.0108       | ~90-95                         | –                        | –                      |
| Senaryo 2 | HES + PV               | -55.21    | -0.0099       | ~95                            | –                        | 50 MW PV               |
| Senaryo 3 | HES + PV + Batarya     | -36.62    | -0.0066       | ~95                            | 50 MWh                   | 50 MW PV               |
| Senaryo 4 | HES + Rüzgâr           | -21.59    | -0.0040       | ~95                            | –                        | 35 MW Rüzgâr           |
| Senaryo 5 | HES + Rüzgâr + Batarya | -21.31    | -0.0039       | ~95                            | 25 MWh                   | 35 MW Rüzgâr           |

Yapılan analizler sonucunda, yalnız hidroelektrik santral içeren Senaryo 1 için NPC -51,04 M\$ ve LCOE -0,0108 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistemin entegre edildiği Senaryo 2’de NPC değeri -55,21 M\$’a gerileyerek ekonomik performans iyileşmiştir. Batarya ilavesi yapılan Senaryo 3’te NPC -36,62 M\$ seviyesinde gerçekleşmiş olup, sistem maliyetinde artışa rağmen enerji yönetiminde esneklik kazanılmıştır. Rüzgâr enerjisi içeren Senaryo 4 ve Senaryo 5’te ise NPC ve LCOE değerleri PV’li senaryolara kıyasla daha yüksek bulunmuştur.



**Şekil 5. 1** NPC ve LCOE Senaryo Karşılaştırmalı Grafikler

Net bugünkü değer açısından yapılan karşılaştırmada, HES+PV konfigürasyonu en düşük NPC değerine ulaşarak ekonomik açıdan en uygun senaryo olarak öne çıkmıştır. Batarya entegrasyonu, özellikle PV destekli senaryolarda sistem ekonomisini iyileştirirken, rüzgâr enerjisi içeren senaryolarda bu etki daha sınırlı kalmıştır.

Seviyeleştirilmiş enerji maliyeti karşılaştırması, PV destekli senaryoların birim enerji maliyetini düşürmede rüzgâr destekli senaryolara kıyasla daha başarılı olduğunu göstermektedir. Batarya entegrasyonu LCOE üzerinde belirgin bir maliyet artışı yaratmamış, sistemin esnekliğini artırarak dolaylı fayda sağlamıştır.

NPC ve LCOE değerlerinin negatif çıkması, sistemin şebekeye satış gelirlerinin, toplam yatırım ve işletme maliyetlerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, tasarlanan hibrit sistemlerin yalnızca teknik olarak değil, ekonomik açıdan da sürdürülebilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Sadece hidroelektrik santralin işletildiği Senaryo 1, yüksek yenilenebilir paya sahip olmasına rağmen, sistemin üretim esnekliğinin sınırlı olduğu ve mevsimsel su rejimine bağımlı kaldığı bir yapı sunmaktadır. Bu senaryo, referans durum olarak değerlendirilmiştir.

Senaryo 2 (HES + PV), çalışmada ekonomik açıdan en avantajlı yapı olarak öne çıkmıştır. Fotovoltaik sistem entegrasyonu ile birlikte net bugünkü maliyet -55,21 M\$ seviyesine gerilerken, LCOE değeri -0,0099 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisinin özellikle yaz aylarında hidroelektrik üretimi desteklemesi, şebekeye satılan enerji miktarını artırmış ve toplam sistem gelirlerini yükseltmiştir.

Batarya depolama sisteminin eklendiği Senaryo 3 (HES + PV + Batarya)'te, NPC ve LCOE değerlerinde Senaryo 2'ye kıyasla artış gözlemlenmiştir. Bunun temel nedeni batarya sistemlerinin yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleridir. Ancak bu senaryoda sistemin saatlik enerji dengesi iyileşmiş, fazla üretimin daha etkin yönetilmesi sağlanmış ve şebeke ile etkileşim daha kontrollü hale gelmiştir. Bu durum, batarya entegrasyonunun ekonomik getiriden ziyade operasyonel esneklik ve sistem güvenilirliği açısından önemli bir katkı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Senaryo 4 (HES + Rüzgâr) ve Senaryo 5 (HES + Rüzgâr + Batarya) sonuçları incelendiğinde, rüzgâr enerjisinin sisteme eklenmesiyle yenilenebilir enerji oranının yüksek seviyelerde korunmasına rağmen, ekonomik göstergelerin PV içeren senaryolara kıyasla daha sınırlı kaldığı görülmüştür. Bunun temel nedenleri; rüzgâr hızlarının görece düşük olması, kapasite faktörünün sınırlı kalması ve rüzgâr türbinlerine ait yatırım

maliyetlerinin yüksekliğidir. Batarya eklenen Senaryo 5'te ise, depolama ünitesinin kullanım oranının düşük olduğu ve ekonomik etkiyi belirgin şekilde iyileştirmediği tespit edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, fotovoltaik entegrasyonunun Alparslan-1 HES için ekonomik açıdan daha uygun, batarya sistemlerinin ise stratejik ve operasyonel amaçlarla değerlendirilmesi gereken bileşenler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



## 6. ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

- Alparslan-1 HES gibi büyük ölçekli ve şebekeye bağlı hidroelektrik santraller için öncelikli hibritleşme seçeneği fotovoltaiik sistem entegrasyonu olmalıdır. PV sistemler, düşük işletme maliyetleri ve mevsimsel tamamlayıcılığı sayesinde ekonomik performansı belirgin şekilde artırmaktadır.
- Batarya depolama sistemleri, yalnızca ekonomik göstergeler üzerinden değerlendirilmemeli; şebeke esnekliği, pik yük yönetimi, ani üretim dalgalanmalarının dengelenmesi ve enerji kalitesi gibi kriterler göz önünde bulundurularak planlanmalıdır.
- Rüzgâr enerjisi entegrasyonu, yerel rüzgâr potansiyeli yüksek bölgelerde veya daha gelişmiş rüzgâr verisi kullanılarak yeniden değerlendirilmelidir. Bu tür sistemlerde daha yüksek kapasiteli ve verimli türbin seçenekleri incelenebilir.
- Gelecek çalışmalarda, elektrik piyasası fiyatlarının saatlik değişimi, karbon emisyon maliyetleri ve teşvik mekanizmaları modele dâhil edilerek daha kapsamlı ekonomik analizler yapılması önerilmektedir.
- Ayrıca, pompajlı hidroelektrik depolama veya uzun süreli enerji depolama teknolojilerinin Alparslan-1 Barajı özelinde değerlendirilmesi, sistemin mevsimsel enerji yönetimi açısından önemli katkılar sağlayabilir.

Bu tez, Alparslan-1 Hidroelektrik Santrali özelinde yapılan senaryo analizleriyle, mevcut şebekeye bağlı büyük ölçekli bir hidroelektrik santralin; fotovoltaiik, rüzgâr ve batarya depolama sistemleriyle hibritleştirilmesi durumunda hem teknik olarak güvenilir hem de ekonomik olarak kârlı bir yapıya dönüşebileceğini, ancak ekonomik optimumun çoğu durumda fotovoltaiik entegrasyonu ile sağlandığını, batarya sistemlerinin ise daha çok operasyonel esneklik ve şebeke yönetimi amacıyla anlamlı olduğunu kanıtlamıştır.

## KAYNAKLAR

- Açıkgöz, İ. C. (2019). “Volan ve lityum-iyon batarya enerji depolama sistemlerinin kıyaslanması ve hibrit enerji depolama sisteminin farklı yük profilleri üzerinde performans analizi”, Yüksek lisans tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Adalı, S. (2022). “Güneş enerjili elektrik üretim sistemlerinin tasarımı ve karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Akan, A. E., 2023, Konya ili Sarayköy ilçesinde bir çiftlik için hibrit enerji sistemi tasarımı, *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*.
- Albayrak, M., 2024, Yenilenebilir enerji yatırımları ve destekleme mekanizmaları, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji ve Yeni Teknolojiler Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Al Hayali, O. J. M. (2022), “Renewable energy integration using HOMER Pro and PSO for off-grid microgrids in rural areas of Turkey”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Atılım Üniversitesi, Ankara.
- Anonim, 2024, Türkiye’de Hidroelektrik Enerji Üretimi Artıyor, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, <https://dsi.gov.tr/Haber/Detay/14826> [Erişim Tarihi: 24/08/2025].
- Aslan, Y. (2023), “Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji ihtiyacını karşılamadaki payının artırılması kapsamında Türkiye rüzgâr enerjisinden yararlanma analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Bilen, E. N. (2024), “Hidroelektrik santrallerde enerji üretimine etki eden parametreler: Şırnak örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Şırnak Üniversitesi, Şırnak.
- Bolat, M. (2021), “Dağıtık Enerji Üretim Sistemleri İçin Enerji Depolama Sistem Tasarımı, Planlanması ve Uygulaması”, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 259.
- Bozer, E. (2024), “Gizli Isıl Enerji Depolama Yöntemi ile Lityum-İyon Bataryaların Isıl Yönetimi İçin Kompozit Faz Değiştiren Malzemelerin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Yalova Üniversitesi, Yalova, 79.
- Buşuyev, E. O., 2016, Nükleer santralin avantajları ve dezavantajları, Yeni Binyılın Yenilikçi Teknolojileri Uluslararası Bilimsel Konferans Kitabı, 28–30.

- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2024, 2024 Yılı İdare Faaliyet Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Ankara, 46–47.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2022, Türkiye hidroelektrik potansiyeli ve mevcut durum raporu, Ankara.
- Dinçer, F. ve ark. (2017), “Hidroelektrik enerjisinden yararlanmada ülkemiz ve gelişmiş ülkelerin mevcut durumlarının analizi” Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kilis.
- Dinçsoy, M. E. (2010), “Orta Ölçekli Bir Otelin Elektrik Enerjisinin Hibrit Sistemler ile Modellenmesi ve Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ember, 2025, Global Electricity Review, *Ember Climate*, UK, 1–50.
- Energy Institute (EI), Kearney and KPMG, 2024, 74th Statistical Review of World Energy, Energy Institute, London, 1–60.
- Enerji Atlası, 2020, Alparslan-1 HES Bilgileri, <https://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/alpaslan-baraji.html>, [Erişim Tarihi: 30/09/2025].
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2023, Elektrik piyasası gelişim raporu, Ankara.
- EPDK, 2024, Elektrik Piyasası 2024 Sektör Raporu, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Ankara.
- EPDK, 2025, Elektrik Piyasası Temmuz 2025 Sektör Raporu, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Ankara.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2023, Türkiye enerji görünümü raporu, Ankara.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024, Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı. Ankara.
- Genç, H. (2019), “Yenilenebilir Enerjili Hibrit Enerji Santralinin Modellenmesi ve Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 75.
- Güney, G., (2024), “Denizsuyu Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santraller: Hatay Bölgesinde Örnek Çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, , *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilecik.

- Hocaoğlu, F. O., ve ark., 2007, WASP Yazılımı ile Rüzgâr Potansiyeli Analizi ve Uygulama, *EMO-IV Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Gaziantep.
- IEA ,2023, World Energy Outlook 2023, International Energy Agency (IEA), Paris.
- IEA, 2025, Küresel Enerji İncelemesi, International Energy Agency (IEA), Paris.
- IICEC, 2025, Türkiye Enerji Verimliliği Görünümü 2025, Sabancı Üniversitesi – İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC), İstanbul.
- İSO, 2025, Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye’de Görünüm ve Beklentiler Raporu, İstanbul Sanayi Odası, Yayın No: 2025/3, İstanbul, 28.
- IRENA, 2024, Renewable Capacity Statistics 2024, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.
- İster, N. (2020), “Bozcaada’da Rüzgar ve Güneş Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin HOMER ile İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı – *Enerji Yüksek Lisans Programı*, Ege Üniversitesi, İzmir, 79.
- Karakaya, E. ve Yıldız, M., 2021, Türkiye’de Hibrit Enerji Sistemleri Uygulamaları, *Yenilenebilir Enerji Dergisi*, 6(1), 45–56.
- Kenet, S. (2020). “Türkiye’de hidroelektrik santrallerin çevresel ve ekonomik değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Kocaman, B., 2021, Enerji Depolama Teknolojileri, Ankara, Turkey, 110.
- Kumar, A., Schei, T., Ahenkorah, A., et al., 2011, *Hydropower*. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, et al., Eds.), Cambridge University Press, Cambridge-UK.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2022, Türkiye jeotermal enerji potansiyeli envanteri. Ankara.
- Özbek, G. (2022), “Hidroelektrik Santrallerinde Enerji Verimliliğine Türbinin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis.
- Sayyadov, M. (2023), “Günümüzde enerji politikaları ve yenilenebilir enerji kaynakları: Azerbaycan’da yenilenebilir enerji sektörünün gelişimi ve rüzgâr enerji türbini tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul Beykent Üniversitesi, İstanbul.

- Sert, M. (2018). Enerji tasarrufu amacıyla enerji depolama özelliği olan malzemelerin hazırlanması ve ısı enerjisi depolama özelliklerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yalova Üniversitesi, Yalova
- Sökmen, T. E. (2024). “Yeşil enerjiye geçiş döneminde yenilenebilir enerjinin enerji güvenliği üzerine etkileri: Ampirik bir uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), 2023, Elektrik iletim sistemi yatırım ve kapasite raporu, Ankara.
- TEİAŞ, 2024, Elektrik Kurulu Güç Raporu, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Ankara.
- TEİAŞ, 2024, Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri, Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Ankara.
- Teran Rivero, C. E. (2021), “Design and simulation of a hybrid microgrid using HOMER and ETAP software: Case study for Coche Island”, Yüksek Lisans Tezi, Graduate School, Southern Illinois University, Carbondale, Illinois.
- TÜBİTAK, 2023, Enerji ve İklim Değişikliği Ar-Ge Stratejileri Raporu, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Ankara.
- TÜİK, 2023, Türkiye İstatistik Kurumu Elektrik Tüketim Raporu, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Ankara.
- T.Y.Eken (2024), “Organik esaslı akış bataryalarının geliştirilmesi, kimyasal/elektrokimyasal karakterizasyonu ve performanslarının belirlenmesi”, Doktora tezi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa.
- Yaralı, S. (2020), “Marmara Bölgesinde Hibrit Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi ve Haritalandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yalova Üniversitesi, Yalova.
- Yılmaz, U. (2008), “Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yüksek, G. (2024), “Batarya–Süperkapasitör Hibrit Enerji Depolama Sistemleri İçin Batarya Sağlık Durumuna Dayalı Yeni Bir Adaptif Enerji Yönetim Sistemi Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin Üniversitesi, Mersin, 124.

Yurtbay, K. (2025), “Biyogaz Üretim Tesisinde Enerji Depolama Sistemi Tasarımı ve Termodinamik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 67.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Canan Öznur BABA

### EĞİTİM

| Derece        | Adı, İlçe, İl                               | Bitirme Yılı |
|---------------|---------------------------------------------|--------------|
| Lise          | : Mehmet Tuncer Anadolu Lisesi, Çine, AYDIN | 2009         |
| Üniversite    | : Bozok Üniversitesi, YOZGAT                | 2013         |
| Yüksek Lisans | : Muş Alparslan Üniversitesi, MUŞ           | 2026         |
| Doktora       | :                                           |              |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl       | Kurum             | Görevi                   |
|-----------|-------------------|--------------------------|
| 2013-2015 | Emta Mühendislik  | Elektrik Elektronik Müh. |
| 2015-2017 | Başkal Elektrik   | Elektrik Elektronik Müh. |
| 2017-2019 | Emre Ray Enerji   | Proje Dizayn Müh.        |
| 2019-2023 | Zry İnşaat        | Şantiye Şefi             |
| 2023-2024 | Teta Yapı         | Elektrik Kontrol Şefi    |
| 2024-     | Türkerler Holding | Enerji Grubu Uzmanı      |

### UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir Enerji, Hibrit Enerji Sistem Tasarımları

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR