T.C.
İSTANBUL KENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞLETME YÖNETİMİ BİLİM DALI

AZERBAYCAN İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI SEÇİMİNDE BULANIK SWARA VE BULANIK OCRA YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Novruzali VAHABZADA

İSTANBUL – 2025

T.C.
İSTANBUL KENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞLETME YÖNETİMİ BİLİM DALI

AZERBAYCAN İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI SEÇİMİNDE BULANIK SWARA VE BULANIK OCRA YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Novruzali VAHABZADA

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Karahan KARA

İSTANBUL – 2025

KABUL VE ONAY

Novruzali VAHABZADA tarafından hazırlanan "Azerbaycan İçin Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçiminde Bulanık Swara ve Bulanık Ocra Yöntemlerinin Uygulanması" adlı tez çalışmasının savunma tarihi 11/02/2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile İstanbul Kent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı İşletme Yönetimi Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Danışman	
Doç. Dr. Karahan KARA	.....
Üye	
Doç. Dr. Bülent DEMİR	.....
Üye	
Dr. Öğr. Üyesi Pınar GÜROL	.....

İstanbul Kent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …….. tarih ve …….. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Doç. Dr. Bülent DEMİR
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

BEYAN

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygu olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Novruzali VAHABZADA

11.02.2025

ÖN SÖZ

Bu tezin yazım ve hazırlanması sürecinde değerli yardım ve katkılarıyla bana destek olan kıymetli hocam Doç. Dr. Karahan KARA'ya tüm emekleri için sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum. Tez yolculuğum boyunca paha biçilmez yardımlarda bulunan ve sürekli olarak desteklerini esirgemeyen enstitüdeki çalışanlara şükranlarımı sunmak istiyorum. Ayrıca, üniversitedeki ilk yılımdan bu yana tüm akademik zorluklarımı ele almamdaki yardımları, sabırlı dinlemeleri ve çeşitli konulardaki rehberlikleri için onlara minnettarım. Son olarak her zaman desteklerini hissettiğim, özellikle bu süreç boyunca zaman zaman düştüğüm karamsarlığı varlıklarıyla unutturan ve her koşulda yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

Novruzali VAHABZADA

11.02.2025

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR ..... **i**
TABLO LİSTESİ ..... **iii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **v**
ÖZET ..... **vi**
ABSTRACT ..... **vii**
GİRİŞ **1**
BÖLÜM 1: YENİLENEBİLİR ENERJİ TANIMI, AZERBAYCAN YENİLENEBİLİR ENERJİ GÖRÜNÜMÜ **5**
1.1. Yenilenebilir Enerjiye Genel Bakış 5
1.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yöneliş Nedenleri 11
1.1.1.1. Enerji Arzının Güvenliliği ve Sürekliliği 14
1.1.1.2. Sosyal ve Ekonomik Nedenler 16
1.1.1.3. Çevresel Nedenler 20
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları ve Dezavantajları 23
1.3. Azerbaycan'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumu 36
1.3.1. Azerbaycan'da Rüzgar Enerjisi 42
1.3.2. Azerbaycan'da Güneş Enerjisi 50
1.3.3. Azerbaycan'da Hidrolik Enerjisi 60
1.3.4. Azerbaycan'da Jeotermal Enerji 72
1.3.5. Azerbaycan'da Biokütle Enerjisi 79
BÖLÜM 2: LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **88**
2.1. Yenilenebilir Enerji Alanında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanmasına İlişkin Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi 88
2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçim Kriterleri 102
BÖLÜM 3: YÖNTEM **107**
3.1. Sezgisel Bulanık Kümeler için Temel Bilgiler 107
3.2. Sezgisel Bulanık Küme IF-SWARA-OCRA Yöntemi 108
BÖLÜM 4: UYGULAMA **113**
SONUÇ **122**
KAYNAKÇA **127**
ÖZ GEÇMİŞ **146**

KISALTMALAR

AAS : Analitik Değerlendirme Sistemi

AB : Avrupa Birliği

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

AHP : Analitik Hiyerarşi Süreci

AHS : Analitik Hiyerarşi Süreci

ARDL : Otoregresif Dağıtılmış Gecikme Modeli

AZN : Azerbaycan Manatı

BAHP : Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci

BDT : Bağımsız Devletler Topluluğu

COPRAS : Karmaşık Oransal Değerlendirme Yöntemi

CSP : Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi

CUSUM : Kümülatif Toplam Kontrol Grafiği

ÇKKV : Çok Kriterli Karar Verme

DEMATEL : Karar Verme ve Değerlendirme Yöntemi

DIF : Yatay Yayılmış Işınım

DNI : Doğrudan Normal Işınım

ELE : Deniz Seviyesine Göre Yükseklik

ESG : Çevresel, Sosyal ve Yönetişim

GES : Güneş Enerji Santrali

GHCS : Jeotermal Isıtma ve Soğutma Sistemleri

GHG : Sera Gazı Emisyonları

GHI : Küresel Yatay Işınım

GHP : Yerden Isı Pompası

GSYİH : Gayri Safi Yurtiçi Hasıla

GTI : Küresel Eğik Işınım

HES : Hidroelektrik Santral

IEA : Uluslararası Enerji Ajansı

IRENA : Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı

ISCC : Uluslararası Sürdürülebilirlik ve Karbon Sertifikasyonu

İSO : Uluslararası Standartlar Örgütü

KDV : Katma Değer Vergisi

KEG : Küçük Enerji Girişimi

KSES : Küçük Su Elektrik Santrali

KWH : Kilovat-saat

MCDM : Çok Amaçlı Karar Verme

MOSES : Çok Amaçlı Simülasyon Ortamı Sistemi

MW : Megavat

NET : Net Enerji Transferi

OCRA: Operasyonel Rekabet Derecelendirme Analizi

OECD : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü

OPEC : Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü

OPTA : Optimizasyon Performansı ve İzleme Analizi

PV : Fotovoltaik

PVOUT : Fotovoltaik Üretim Kapasitesi

PVSYST : Fotovoltaik Sistem Simülasyon Yazılımı

RES : Rüzgar Enerji Santrali

SAARE : Azerbaycan Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Devlet Ajansı

SOCAR : Azerbaycan Devlet Petrol Şirketi

SPSS : Sosyal Bilimler için İstatistik Paketi

SSCB : Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği

STK : Sivil Toplum Kuruluşu

SWARA : Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi

TANAP : Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı

TAP : Trans Adriyatik Boru Hattı

TODIM : Etkileşimli Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi

TOPSİS : İdeal Çözüme Benzerlik Açısından Tercih Sırası Tekniği

TWH : Teravat-saat

UNDP : Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

USD : Amerikan Doları

VIKOR : Uzlaşma ve Optimizasyon Yöntemi

WASPAS : Ağırlıklı Toplam Çarpım Değerlendirme Yöntemi

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: 2010-2023 Yılları Arasında Dünya Çapında Kümülatif Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (Gigavat Cinsinden) 6

Tablo 2: 2023 Yılında Dünya Çapında Kurulu Yenilenebilir Enerji Kapasitesinde Lider Ülkeler (Gigavat Cinsinden) 7

Tablo 3: 2021'de Dünya Çapında Yenilenebilir Enerji Pazarı Büyüklüğü, 2022-2030 Tahmini (milyar ABD doları cinsinden) 8

Tablo 4: 2012-2023 Yılları Arasında Dünya Çapında Ham Petrol Talebi, 2024 Yılı Tahmini (günde milyon varil) 13

Tablo 5: Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Sosyal ve Ekonomik Göstergeler 18

Tablo 6: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları 25

Tablo 7: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dezavantajları 30

Tablo 8: Azerbaycan Cumhuriyyeti'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli 40

Tablo 9: Azerbaycan'da RES İnşası Planlanan Arazilerin Potansiyeli ve Rüzgar Hızları . 44

Tablo 10: Azerbaycan'da Rüzgar Enerjisi Üreten Santraller 45

Tablo 11: Azerbaycan'da Yıllık Rüzgar Enerjisi Üretimi 49

Tablo 12: Azerbaycan'da Güneş Enerjisi Üreten Santraller 58

Tablo 13: Azerbaycan'da Büyük ve Küçük HES'ler, Kapasiteleri 61

Tablo 14: Azerbaycan'ın Jeotermal Enerji Kaynaklarının Ana Göstergeleri 73

Tablo 15: Uzmanlık Seviyeleri Değerlendirmek İçin Kullanılan Dilsel Betimleyiciler .. 109

Tablo 16: Kriter Önemini Değerlendirmek İçin Kullanılan Dilsel Betimleyiciler 110

Tablo 17: Uzmanların Uzmanlık Düzeyleri 114

Tablo 18: Kriter Değerlendirme Matrisi (Dilsel ifadeler) 114

Tablo 19: Kriter Değerlendirme Matrisi (IF Sayılar) 115

Tablo 20: Birleştirilmiş Kriter Değerlendirme Matrisi 115

Tablo 21: Skor Fonksiyon Değerleri 115

Tablo 22: Kriterlerin Skor Fonksiyon Değerlerine Göre Sıralaması 115

Tablo 23: Karşılaştırmalı Katsayı ve Ağırlıklı Karşılaştırmalı Katsayı Matrisi 116

Tablo 24: Kriter Ağrılık Matrisi 116

Tablo 25: Yenlenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirme Matrisi (Dilsel ifadeler) ... 117

Tablo 26: Yenlenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirme Matrisi (IF sayılar) 118

Tablo 27: Birleştirilmiş Değerlendirme Matrisi (IF sayılar) 119

Tablo 28: Ağırlıklandırılmış Değerlendirme Matrisi (IF sayılar) 119

Tablo 29: Fayda ve Maliyet Kriterler İçin Birleştirilmiş Değerlendirme Matrisi (IF sayılar) 120

Tablo 30: Fayda ve Maliyet Kriterler İçin Doğrusal Performanslar ve Alternatif Sıralama Değeri (IF sayılar) 120
Tablo 31: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Nihai Sıralaması 121

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: 2021 Yılında Azerbaycan'ın Toplam Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü, MW..... 39

ÖZET

İstanbul Kent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Azerbaycan İçin Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçiminde Bulanık Swara ve Bulanık Ocra Yöntemlerinin Uygulanması

Novruzali VAHABZADA

Yüksek Lisans Tezi

İşletme Anabilim Dalı/ İşletme Yönetimi Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Karahan KARA

Ocak, 2025 – 146

Bu çalışma, Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimini analiz etmek için Bulanık SWARA ve Bulanık OCRA yöntemlerinin kullanımını incelemektedir. Fosil yakıt zenginliğiyle bilinen Azerbaycan, sürdürülebilir enerji geçişini hızlandırmayı ve enerji portföyünü çeşitlendirmeyi hedeflemektedir. Çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini, ekonomik katkılarını ve sürdürülebilir enerji stratejilerinin uygulanmasını değerlendirmektedir. Ayrıca, enerji güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının faydaları ve zorlukları ele alınmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik kalkınmaya etkisi ve enerji bağımsızlığının artırılması konuları da araştırmanın odak noktalarıdır. Araştırmada, yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomik, sosyal ve çevresel yönleri değerlendirilerek Azerbaycan'ın enerji sektöründe sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına yönelik stratejik öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Bulanık SWARA, Bulanık OCRA, enerji güvenliği, sürdürülebilir kalkınma, Azerbaycan, ekonomik çeşitlendirme, enerji politikası.

ABSTRACT

Istanbul Kent University Graduate School of Education

Application of Fuzzy Swara and Fuzzy Ocra Methods in Renewable Energy Source Selection for Azerbaijan

Novruzali VAHABZADA

Master Thesis

Department of Buisness / Buisness Administration Unit

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Karahan KARA

January, 2025- 146

This study examines the use of Fuzzy SWARA and Fuzzy OCRA methods to analyze the selection of renewable energy sources in Azerbaijan. Azerbaijan, known for its fossil fuel wealth, aims to accelerate the sustainable energy transition and diversify its energy portfolio. The study evaluates the potential of renewable energy sources, their economic contributions, and the implementation of sustainable energy strategies. In addition, the benefits and challenges of renewable energy sources in terms of energy security and environmental sustainability are discussed. The impact of renewable energy sources on economic development and increasing energy independence are also the focal points of the study. The study evaluates the economic, social, and environmental aspects of renewable energy investments and presents strategic recommendations for Azerbaijan to achieve sustainable development goals in the energy sector.

Keywords: Renewable energy, Fuzzy SWARA, Fuzzy OCRA, energy security, sustainable development, Azerbaijan, economic diversification, energy policy

GİRİŞ

Günümüzde artan enerji talebi, çevre dostu enerji kaynaklarına olan ilgiyi her geçen gün artırmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan çevresel sorunlar ve bu kaynakların sınırlı olması, ülkeleri sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilmesi ve çevreye verdiği minimum zarar ile ön plana çıkmaktadır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir enerji üretimi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Özellikle enerji arz güvenliği açısından kendi enerji kaynaklarını çeşitlendirmek ve dışa bağımlılığı azaltmak isteyen ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapma gerekliliğini hissetmektedirler. Bu bağlamda, enerji politikalarında yenilenebilir kaynakların belirlenmesi ve doğru yatırım stratejilerinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

Azerbaycan, zengin petrol ve doğal gaz rezervlerine sahip olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi konusunda da stratejik bir adım atmaktadır. Özellikle ülkenin sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması ve çevreye olan olumsuz etkilerin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, Azerbaycan'da hangi yenilenebilir enerji kaynaklarının en uygun seçenekler olduğunu belirlemek ve bu kaynaklara yatırım yapılmasını sağlamak, ülkenin enerji politikası açısından stratejik bir önem taşımaktadır.

Azerbaycan'da yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırmanın problemlerini ele almak, bu kaynakların sürdürülebilir gelişimini engelleyen temel zorlukları tanımlamak açısından önemlidir. Öncelikle Azerbaycan'da yenilenebilir enerji alanında kullanılan fotovoltaik panel, türbin, invertör, jeneratör, depolama sistemi ve akü gibi enerji üretimi ekiplanlarının yurt dışından ithal edilmesi hem projelerin maliyetini artırmakta hem de bakım ve işletim süreçlerinde dışa bağımlılık yaratmaktadır. Bunun yanı sıra yenilenebilir enerji alanında nitelikli personelin yetersizliği, Azerbaycan'da büyük bir sınırlılıktır. Özellikle ileri teknoloji ve mühendislik gerektiren alanlarda uzman sayısının az olması, projelerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini doğrudan etkilemektedir. Ülkede bulunan mevcut enerji tesislerinin çoğunluğu petrol ve doğalgaz kaynaklarına dayanmakta ve yenilenebilir enerji üretimi ise oldukça sınırlı kalmaktadır. Yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumu ve işletilmesindeki yavaşlık, ülkenin enerji arzında önemli bir yer edinmelerini engellemektedir. Azerbaycan'da yenilenebilir enerji sektörünü düzenleyen yasal altyapının

yetersiz olması, yatırımcıları ve projeleri olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji sektöründe kapsamlı ve öngörülebilir düzenlemelere ihtiyaç vardır.

Problemin Tanımı

Fosil yakıtların kullanımı, sera gazı emisyonlarının artmasına ve küresel ısınmaya yol açmaktadır. Azerbaycan gibi enerji üretiminde fosil yakıtlara bağımlı ülkelerde, bu çevresel sorunlar daha ciddi bir şekilde hissedilmektedir. Artan enerji talebi, bu kaynakların daha hızlı tükenmesine neden olurken, fiyat dalgalanmaları ve arz sorunları, enerji güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini daha da artırmaktadır. Küresel enerji talebi, nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte hızla artmaktadır. Azerbaycan gibi enerji potansiyeli yüksek ülkelerde bile, bu talep artışı sürdürülebilir enerji çözümlerine geçişi kaçınılmaz kılmaktadır. Enerji güvenliğinin sağlanması gereğince Azerbaycan, enerji kaynakları açısından zengin olmasına rağmen, bu çeşitliliği yenilenebilir enerjiyle destekleme ihtiyacı duymaktadır. Azerbaycan için yenilenebilir enerjiye geçişin gerçekleştirilmesi, ülke için yerel istihdam yaratılması, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve enerji arzında sürdürülebilirliğin sağlanması gibi ekonomik ve sosyal faydalar sunmaktadır. Bu geçiş, özellikle Azerbaycan gibi ülkeler için ekonomik büyümeyi destekleyen bir fırsat olabilir.

Araştırmanın Önemi

Azerbaycan'ın enerji politikasında sürdürülebilirlik ve çevre dostu enerji çözümlerine yönelmesi, uzun vadede ekonomik büyümeyi destekleyecek ve çevresel etkileri azaltacaktır. Bu çalışma, Azerbaycan'da enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması yolunda yol gösterici bir rehber niteliğindedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru bir şekilde seçilmesi, ülkenin enerji güvenliğini artırmakla kalmayacak, aynı zamanda enerji üretim maliyetlerini düşürerek ekonomik kalkınmaya da katkı sağlayacaktır. Ayrıca, Bulanık SWARA ve Bulanık OCRA yöntemlerinin Azerbaycan bağlamında uygulanması, karar verme süreçlerinde bulanık mantık kullanılarak daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyacaktır. Bu yöntemlerin sağladığı objektif bakış açısı, yenilenebilir enerji yatırımlarında karar vericilere önemli bir referans sunmaktadır.

Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, Azerbaycan'da yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi sürecinde etkili ve bilimsel bir yöntem sunmaktır. Bulanık SWARA

yöntemi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde önemli olan kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve Bulanık OCRA yöntemi ile bu kaynakların performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, çalışma Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji politikalarına yönelik stratejik bir bakış açısı sunmayı hedeflemektedir. Araştırmanın çıktıları, Azerbaycan'ın enerji planlamasında karar vericilere kılavuzluk ederek, sürdürülebilir enerji yatırımlarında doğru seçimler yapmalarını sağlayacaktır. Bu sayede, ülkenin enerji bağımsızlığını artıracak, çevreye duyarlı enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştıracak ve uzun vadeli kalkınma hedeflerine ulaşmasına katkı sağlayacaktır.

Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışmada Azerbaycan için en uygun yenilenebilir enerji kaynağını belirlemek amacıyla Bulanık SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) ve Bulanık OCRA (Operational Competitiveness Rating Analysis) yöntemlerini kullanarak çok kriterli karar verme süreci gerçekleştirilmektedir. Bulanık SWARA yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenirken, Bulanık OCRA yöntemi ile alternatiflerin performansları değerlendirilmiş olacaktır. Bulanık mantık yaklaşımı, belirsizlik ve karmaşıklık içeren karar verme süreçlerinde uzmanların subjektif değerlendirmelerini objektif hale getirerek daha güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanır. Bu yöntemler, farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının Azerbaycan özelindeki uygunluk düzeylerini analiz etmek ve en uygun enerji yatırımını belirlemek için etkili bir araç sunmaktadır.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Azerbaycan’da yenilenebilir enerji sektörüyle ilgili kaynakların sınırlılığı, araştırmanın kapsamını ve doğruluğunu doğrudan etkileyebilir. Bu tür eksiklikler, literatürdeki boşlukları ortaya koyar ve aşağıdaki şekilde detaylandırılabilir.

- Sınırlı Akademik ve Bilimsel Kaynaklar: Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili Azerbaycan odaklı akademik çalışmaların azlığı, araştırmacıların yeterli literatür taraması yapmasını zorlaştırmaktadır. Mevcut çalışmalarda ise genellikle yenilenebilir enerji potansiyeline dair genel bilgiler bulunmakta, ayrıntılı analizler ve vaka çalışmaları eksik kalmaktadır. Bu durum, yenilenebilir enerji projelerinin etkinliği, uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği hakkında derinlemesine bilgi edinmeyi sınırlandırmaktadır.
- Güvenilir ve Güncel Verilere Erişim Zorluğu: Resmi kurumlar ve kuruluşlar tarafından yayımlanan Azerbaycan’ın yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili

verilerin sınırlı olması, araştırmanın nesnel bir temele oturtulmasını zorlaştırır. Örneğin, yenilenebilir enerji üretim kapasiteleri, bölgesel potansiyeller ve kullanılan teknolojilere dair güvenilir ve güncel verilere erişim zorluğu, analizlerin doğruluğunu etkileyebilir. Ayrıca, farklı kaynaklardaki çelişkili bilgiler, bu verilerin doğrulama sürecini uzatır.

- Uluslararası Kaynaklarla Uyumlu Bilgi Eksikliği: Azerbaycan üzerine yapılan araştırmaların büyük bir kısmı, ulusal ölçekte sınırlı kalmakta ve uluslararası standartlarla karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Örneğin, küresel yenilenebilir enerji potansiyeli ve uygulamaları ile kıyaslama yapabilmek için Azerbaycan özelinde daha detaylı verilerin ve raporların hazırlanması gerekmektedir.
- Araştırma Fonları ve Destek Eksikliği: Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji alanında araştırma yapılmasını destekleyen yeterli fonların bulunmaması, sektörde derinlemesine analizlerin azlığını açıklayabilir. Yeterli finansman ve teşvik olmadan, yerel akademisyenler ve uzmanlar bu konular üzerinde yoğunlaşamayabilir. Bu durum, hem akademik hem de uygulamalı çalışmaların sınırlı kalmasına neden olur.
- Dil ve Çeviri Sorunları: Bazı araştırma kaynaklarının sadece Azerbaycan Türkçesinde ya da diğer yerel dillerde bulunması, uluslararası akademik topluluğa erişimi sınırlandırır. Aynı şekilde, uluslararası kaynaklara dayalı verilerin yerel akademisyenler tarafından yeterince kullanılamaması, mevcut bilgi birikiminin genişletilmesini engelleyebilir.

Yukarıda belirtilen eksiklikler Azerbaycan'da yenilenebilir enerji alanında daha kapsamlı ve sistematik veri toplama süreçlerine engel yaratan sınırlılıklar olarak nitelendirilebilir. Bu sınırlılıkların belirtilmesi, araştırmayı şekillendirirken hem mevcut verilerin dikkatli bir şekilde analiz edilmesini hem de eksik kalan noktaların gelecekteki çalışmalara öneri olarak sunulmasını sağlar.

BÖLÜM 1: YENİLENEBİLİR ENERJİ TANIMI, AZERBAYCAN YENİLENEBİLİR ENERJİ GÖRÜNÜMÜ

1.1. Yenilenebilir Enerjiye Genel Bakış

Yenilenebilir enerji kaynakları, tükenmeyen, kendini yenileyen ve çevresel etki açısından daha az zarar veren enerji seçenekleri sunarak, geleneksel enerji sistemlerinin karşılaştığı çeşitli zorluklara çözüm önerisi getirmektedir. Her ne kadar yenilenebilir enerji teknolojilerinin ilk kurulum maliyetleri, fosil yakıtlara dayalı sistemlerden daha yüksek olsa da, bu sistemler daha uzun bir hizmet ömrüne ve daha düşük işletme ile bakım maliyetlerine sahip olup, uzun vadede ekonomik açıdan avantaj sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji, sürekli olarak doğal çevre tarafından yenilenen kaynaklardan elde edilmektedir; bunlar arasında güneş ışığı, rüzgar, biyokütle, su gücü ve jeotermal enerji yer almaktadır. Twidell (2021:3) yenilenebilir enerjiyi, "doğal çevreden sürekli veya tekrarlayan enerji akımlarından elde edilen enerji" olarak tanımlamaktadır. Sorenson (2007:3) ise yenilenebilir enerji kaynaklarının, sürdürülebilir bir biçimde enerji akışını uygun bir oranla sağladığını ve bu nedenle zamanla sürdürülebilir hale geldiğini vurgulamaktadır.

İbidapo ve Ajibola (2011:896) yenilenebilir enerji terimini, "yenileme" veya "bir şeye yeni güç verme" kavramlarından türediğini belirterek, bu enerjinin sürekli olarak yenilenebilir bir kaynak olarak tanımlandığını ifade etmektedirler. Elektrik talebinin artışı, fosil yakıtların sınırlı arzı ve bu kaynakların giderek daha pahalı hale gelmesi, sürdürülebilir enerji alternatiflerinin araştırılmasını teşvik etmiştir. Yenilenebilir enerji sistemleri, doğrudan elektrik gibi kullanıma uygun enerji biçimlerine dönüştürülebilen güneş enerjisi ve bunun türevleri (örneğin rüzgar ve akarsu akışları) gibi çevre dostu kaynaklardan faydalanmaktadır. Bu süreç, genellikle çevreye zarar veren yanma işlemleri olmaksızın, temiz enerji üretimi sağlar.

Tablo 1

2010-2023 Yılları Arasında Dünya Çapında Kümülatif Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (Gigavat Cinsinden)

Yıllar	*Gigawatt cinsinden kapasite*
2023	3,869.7
2022	3,396.3
2021	3,088.8
2020	2,822.9
2019	2,550.3
2018	2,362.5
2017	2,187.1
2016	2,016.6
2015	1,854.1
2014	1,700.1
2013	1,566.5
2012	1,444
2011	1,331.1
2010	1,223.5

Kaynak: Statista, (2023). Cumulative renewable energy capacity worldwide from 2010 to 2023 https://www.statista.com/statistics/1094331/global-renewable-capacity-cumulative/: Erişim tarihi: 14.05.2024

2023 yılı itibarıyla, küresel kurulu yenilenebilir enerji kapasitesi yaklaşık 3,9 teravata ulaşmış ve bir önceki yıla kıyasla neredeyse %14 oranında bir artış göstermiştir. Yenilenebilir enerji piyasası, son on yılda, yenilenebilir teknolojilerin maliyetlerinin düşmesi ve geleneksel enerji kaynaklarının çevresel etkilerine ilişkin artan endişeler nedeniyle büyük bir büyüme yaşamıştır. Bu gelişmeler, yenilenebilir enerjiye olan talebin artmasına ve sektördeki yatırımların hızla çoğalmasına yol açmıştır.

Tablo 2

2023 Yılında Dünya Çapında Kurulu Yenilenebilir Enerji Kapasitesinde Lider Ülkeler (Gigavat Cinsinden)

Ülkeler	*Gigawatt cinsinden kapasite*
Çin	1,453
ABD	388
Brezilya	194
Hindistan	176
Almanya	167
Japonya	127
Kanada	109
İspanya	80
Fransa	69
İtalya	65

Kaynak: Statista, (2023). Leading countries in installed renewable energy capacity worldwide in 2023 https://www.statista.com/statistics/267233/renewable-energy-capacity-worldwide-by-country/: Erişim tarihi: 14.05.2024

2023 yılı itibarıyla, kurulu yenilenebilir enerji kapasitesinde lider ülkeler Çin, ABD ve Brezilya oldu. Çin, yaklaşık 1.453 gigavatlık kapasitesiyle yenilenebilir enerji kurulumlarında birinci sırada yer alırken, ikinci sıradaki ABD'nin kapasitesi ise yaklaşık 388 gigavat olarak belirlendi. Yenilenebilir enerji, iklim değişikliği ile mücadelede ve bu sorunun etkilerini hafifletmede kritik bir adım olarak kabul edilmektedir. Bu alandaki artan yatırımlar, fosil yakıt kullanımını azaltarak karbon salınımını düşürmeyi ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı hedeflemektedir.

Tablo 3

2021'de Dünya Çapında Yenilenebilir Enerji Pazarı Büyüklüğü, 2022-2030 Tahmini (milyar ABD doları cinsinden)

Yıllar	*Pazar büyüklüğü milyar ABD doları cinsinden*
2030	2,025.94
2029	1,889.87
2028	1,753.31
2027	1,617.07
2026	1,482
2025	1,349
2024	1,219
2023	1,092.91
2022	971.65
2021	856.08

Kaynak: Statista, (2023). Renewable energy market size worldwide in 2021, with a forecast for 2022 to 2030 https://www.statista.com/statistics/1094309/renewable-energy-market-size-global/: Erişim tarihi: 14.05.2024

Küresel yenilenebilir enerji pazarının önümüzdeki yıllarda istikrarlı bir şekilde büyümeye devam etmesi beklenmektedir. Group Next Move Strategy Consulting'e göre, pazarın 2030 yılına kadar iki trilyon ABD dolarını aşması öngörülmektedir. Bu büyüme, fosil yakıtların çevresel etkileri, hızlı kentleşme ve gelişmekte olan bölgelerdeki ekonomik büyümeyle ilgili artan endişeler gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji, bu dinamiklerle uyumlu olarak çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak giderek daha fazla tercih edilmekte, böylece pazarın büyümesine katkıda bulunan önemli bir itici güç olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, dünyada tükenmeden doğal olarak kendilerini yenileyen biyoenerji, hidroelektrik, jeotermal enerji, güneş enerjisi ve rüzgar enerji kaynaklarını içermektedir (Owusu ve Asumadu-Sarkodie, 2016:4).

• Biyokütle, doğası gereği biyolojik olan, 100 yıldan kısa sürede yenilenebilen ve fosil olmayan organik maddeleri ifade eder. Biyokütleden alınan enerji kaynağı, temel bileşeni karbonhidratlar olan bitki ve hayvanlardan elde edilen organik maddelerden oluşur. Bu kaynaklardan alınan enerjiye biyokütle enerjisi denir. Biyokütleden elektrik, ısı, sıvı ve gaz yakıtlar üretilebilir (Kızılırmak, 2021:17). Biyokütle, uygun maliyetli bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. 1 ton biyokütle enerjisi, 1,2 varil petrole eşittir. Biyokütle enerjisi, geleneksel ve çağdaş olmak üzere iki ayrı kategoride analiz edilir. Geleneksel biyokütle, odun, bitki maddesi ve hayvansal yan ürünlerden oluşur. Çağdaş biyokütle, ormancılık sektörünü, ağaç işleme endüstrisini, karma tarım-hayvancılığı, tarım sektörünü, kentsel atıkları, enerji mahsullerini ve enerji ormancılığını kapsar. Bitkiler, fotosentez yoluyla güneş ışığından elde ettikleri enerjiyi depolayarak oksijen üretirler. Biyoenerji üretimi amacıyla kullanılan organik madde ve atıkların yakılmasıyla yayılan karbondioksit, fotosentez için ilk girdi görevi görür ve böylece döngüyü tamamlar. Bu nedenle, biyokütle enerjisi yenilenebilirdir ve temiz bir enerji kaynağı olarak sınıflandırılır (Kantarmacı, 2019:48). Biyokütle enerjisi kullanımının farklı biçimleri vardır. İlki, herkesin bildiği ve yaygın olarak kullanılan biyodizel ve biyogazdır. İkincisi, fazla bilinmeyen ve daha az sıklıkla kullanılan biyoetanol, biyodimetileter ve biyomentanoldür. Biyodizel olarak da adlandırılan biyomotirin, çevre dostu olmasıyla tanınan bir biyokütle kaynağıdır. Biyodizel genellikle motorlarda kullanılır ve akaryakıt istasyonlarında bulunur (Öztürk, 2021:27).

• Hidroelektrik enerjisi, yüksek alanlardan aşağıya doğru akan suyun yarattığı enerjinin hidroelektrik santrallerinde kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle üretilir. Enerji üretim sürecinde diğer kaynaklara kıyasla çevreye daha az zarar vermesi, hidrolik enerjinin önemini daha da artırmaktadır. Ayrıca hidroelektrik santralleri, düşük işletme maliyetleri, uzun işletme ömürleri, daha yüksek verimlilik ve temizlikleri nedeniyle enerji üretiminde önemli faydalar sunar. Güneş ışınları hidroelektrik enerji üretimini kısmen etkilemektedir. Güneş ışığıyla ısıtılan su, başlangıçta su buharına çevrilir. Artan su buharı atmosferde yoğunlaşarak su damlacıklarına dönüşür ve ardından yağış olarak yere yüzüne düşer. Su döngüsü olarak da bilinen olgu nedeniyle su, sürekli olarak kendini yenileyen bir yenilenebilir enerji kaynağına dönüşür. Hidroelektrik santralleri, yenilenebilir enerji sektöründe büyük önem taşıyan elektrik enerjisi üretmek için kullanılan tesislerdir. Bu santraller doğal veya yapay olarak oluşturulan kurgular aracılığıyla suyun akışı boyunca yerleştirilen türbinleri, türbin şaftlarını ve jeneratörleri kullanarak elektrik üreten yapılardır (Satik, 2023:68). Küresel elektrik arzının %20'sinden fazlasını karşılayarak yenilenebilir

kaynaklardan elde edilen elektriğin yaklaşık %88'ini oluşturmaya katkıda bulunan hidroelektrik sektörü uzun yıllardır varlığını sürdürmesinin yanı sıra, yaratıcı olmaya devam ederken verimliliğini korumaktadır. Ayrıca bu tesisler dünyanın çeşitli bölgelerine popülerlik kazanmaya devam ediyor (Ziyadlı, 2021:21).

• Jeotermal enerji, yer altının çeşitli katmanlarında toplanan ısı enerjisi sonucu elde edilen kimyasallardan, sıcak sudan ve buhardan, doğrudan veya başka yollarla üretilen enerjiye denir. Uygulama özelliklerine bağlı olarak jeotermal enerji, temiz elektrik üretmek veya ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılabilmektedir. Yeraltı termal sularının yüksek ısı-enerji kapasitesi, alternatif enerji kaynakları arasında özel bir öneme sahip olduğunu göstermektedir (Nasirov, 2024:117). Küresel enerji talebinin %8,3'ünü karşılayabilen jeotermal kaynaklar ayrıca yılın her günü 24 saat enerji üretme şansı sunar. Elektrik üretimi için kabul edilebilir teknik ve ekonomik göstergelere ulaşmak için, jeotermal kaynak sıcaklığının genellikle en az 150 °C olması gerekirken, daha düşük sıcaklıklara (30–100 °C) sahip tortular doğrudan ısıtma uygulamaları için etkili bir şekilde kullanılabilir. Belirli koşullar altında, 20 ila 30 °C arasındaki sığ termal sular, ısı pompası ısıtma sistemlerinde düşük dereceli bir ısı kaynağı olarak kullanılabilir (Mammadov, 2021:15).

• Güneş, gezegenimizin birincil enerji kaynağıdır. Güneş yaklaşık beş milyar yıl önce meydana gelen ve atmosferin fiziksel yapısını etkileyen sınırsız bir enerji kaynağıdır. Her türlü enerji kaynağı doğrudan ya da dolaylı olarak madde ve enerji dolaşımını sağlayan güneş enerjisine dayanır. Bunun yanı sıra güneş enerjisi, fosil yakıtların oluşumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Fosil yakıtlar, biyokütle özelliklerine sahip malzemelerde depolanan güneş enerjisinden oluşmaktadır. Bu temel enerji kaynağı aynı zamanda günlük yaşamın hayati bir unsurudur. Güneş enerjisi çoğunlukla ısıtma, ısınma ve elektrik üretiminde kullanılır (Çetintaş, 2021:6). Güneş enerjisi, güneş ısıtması, fotovoltaik, güneş termal enerjisi, güneş mimarisi, erimiş tuz santralleri ve yapay fotosentez gibi sürekli gelişen, çeşitli teknolojileri kullanan ve güneşin çekirdeğinde bulunan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi (füzyon) sürecinin sonunda yayılan ışık ve ısıdan oluşur. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerjinin önemli bir kaynağı olarak hizmet eder ve bu enerjiyi kullanmak için kullanılan yöntemler, güneş enerjisinin teknolojik uygulamasına göre pasif güneş veya aktif güneş yöntemleri olarak kategorize edilir. Aktif güneş yöntemleri, enerjiyi yakalamak için fotovoltaik sistemlerin, yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin ve güneş su ısıtma sistemlerinin kullanılmasını gerektirir. Pasif güneş yöntemleri, bir yapıyı Güneş'e bakacak şekilde konumlandırmayı, uygun termal kütleye veya ışık yansıtma özelliklerine sahip malzemelerin

seçilmesini ve doğal hava hareketini kolaylaştıran alanlar oluşturmayı içerir (Mehdiyev, 2021:33). Küresel yıllık güneş enerjisi potansiyelinin 23.000 TWh olduğu tahmin ediliyor. Buna karşılık, fosil enerji kaynaklarının toplam rezervlerinin ise 1.355 TWh olduğu bildirilmektedir. Bu değer, güneş enerjisinin henüz değerlendirilmemiş önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisinin etkili bir şekilde kullanılması yalnızca dünyaya enerji sağlamakla kalmayıp aynı zamanda fosil enerji kaynaklarınım üzerindeki baskıyı da hafifletebilir ve böylece rezervlerinin daha uzun süre korunmasına yardımcı olabilir (Akusta, 2019:34).

• Rüzgar enerjisi, atmosferdeki hava kütlelerinin kinetik enerjisinden elde edilen bir alternatif enerji kaynağıdır. Başka bir deyişle dünyada gözlemlenen sıcaklık, basınç ve nemdeki farklılıklar havanın dolaşımına sebep olarak rüzgar enerjisini oluşturur. Frekans dönüştürücü rüzgar jeneratörü (elektrik enerjisi üretmek için), rüzgar türbinleri (mekanik enerji üretmek için) başta olmak üzere birçok cihazların aracılığıyla rüzgar enerjisi üretimi gerçekleşir. Rüzgar enerjisi, güneşin faaliyetinin bir sonucu olduğundan, yenilenebilir enerjinin en yaygın alternatiflerinden biri olarak sınıflandırılır (Seferov ve Seferov, 2024:11). Rüzgar enerjisinden faydalanmak insanlar tarafından yüzyıllardır kullanılan bir yöntemdir. Başlangıçta buğday, arpa ve mısır gibi ekinleri öğütmek ve hayvanlar için kuyularından su çekmek için kullanılan bu kaynak, tarihi araştırmalar sonucu ilk defa MÖ 3000 yıllarında yelkenli gemilerde kullanıldığı belirtilmiştir. Taşımacılık ve ticaret için yelkenli gemilerin ortaya çıkmasından sonra, en eski yel değirmeni MÖ 200'de İran'da inşa edilmiş ve Orta Doğu'da gelişmiştir (Ağaçbiçer, 2010:38). Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi rüzgar türbinleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu prosedür, rüzgar pervanelerini döndüren rüzgarın kuvvetiyle üretilen kinetik enerjinin jeneratörler aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilmesiyle sonuçlanır. Rüzgar türbinleri kanatlardan, miktarı değişebilen pervanelerden, bir şafttan ve bir jeneratörden oluşmaktadır. Rüzgar türbinlerinin ömrü genellikle 20 ila 40 yıl arasında değişir ve en etkili olan türbinler 3 kanatlı modellerdir (Akusta, 2019:39).

1.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yöneliş Nedenleri

Dünyanın artan enerji ihtiyacı, artan nüfusla birlikte, fosil yakıt bazlı enerji kaynaklarının (Kömür, Petrol ve Gaz) sürekli kullanımına yol açmış ve bu da fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi, sera gazı emisyonları ve diğer çevresel endişeler, jeopolitik ve askeri çatışmalar ve sürekli yakıt fiyatı dalgalanmaları gibi çeşitli zorluklar yaratarak sorunlu hale gelmiştir. Bu sorunlar, sonunda insan toplumları için potansiyel olarak geri

döndürülemez bir tehdit oluşturacak sürdürülemez durumlar yaratmaktadır. Bu yüzden, yenilenebilir enerji kaynakları en seçkin alternatif olarak büyüyen zorluklara yönelik tek çözümdür. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlarla değiştirildiğinde sera gazı emisyonunu önemli ölçüde azaltır. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevremizdeki devam eden enerji akışlarından doğal olarak elde edildiğinden, sürdürülebilir olmalıdır. Yenilenebilir enerjinin sürdürülebilir olması için, sınırsız olmalı ve çevresel mal ve hizmetlerin zararsız bir şekilde iletilmesini sağlamalıdır. Örneğin, sürdürülebilir bir biyoyakıt net CO2 emisyonlarını artırmamalı, gıda güvenliğini olumsuz etkilememeli veya biyolojik çeşitliliği tehdit etmemelidir (Owusu ve Asumadu-Sarkodie, 2016:4).

Sanayi ve teknoloji ilerledikçe, artan enerji talebi ve maliyetleri yenilenebilir enerji teknolojilerine doğru bir yönelimi teşvik etmektedir. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar bu sektörün ilerlemesi üzerinde faydalı etkiler sağlayacaktır. Fosil enerji kaynaklarının tükenme riski, arz güvenliği konusunda endişelere sebep olmaktadır. Ek olarak, fosil yakıtlardan kaynaklanan çevresel sorunların çoğalması, bir çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi neredeyse zorunlu hale getiriyor (Başol, 2021:36). Fosil kaynakların enerji üretimi için kullanılmasının artık sürdürülebilir olmadığı yadsınamaz bir gerçektir. Ek olarak, endüstrinin ilerlemesiyle daha da yaygınlaşan ve büyüme ve sanayileşme üzerindeki zararlı etkileri bir zamanlar göz ardı edilen fosil enerji kaynaklarının, çevremizden gelen ve aynı zamanda doğal ürünler olan yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirilmesi anlayışı her geçen gün daha da netleşmektedir. Bu yüzden günümüzde, sürdürülebilirliği garanti altına almak ve doğal dengeyi korumak için yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmanın ve değerlendirmenin önemi artmaktadır (Torunoğlu Gedik, 2015:97-98).

Enerji geçişi, enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini artırmak için kaçınılmazdır. Ancak, enerji geçişinin kendisi yenilenen bir enerji tüketim sürecidir ve birincil amacı enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini iyileştirmektir (Li vd., 2024:4). Enerji üretiminde alternatiflerin çeşitliliği de büyük öneme sahiptir. Alternatiflerin çeşitliliği, enerjinin sürekli üretimini ve güvenilirliğini garanti eder. Enerji çeşitli kaynaklardan üretildiğinde, bir kaynak belirli mevsimlerde daha az enerji veriyorsa, başka bir enerji kaynağı bunu telafi eder ve boşluğu doldurur. Bu senaryo ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin faydalarını da vurgulamaktadır (Akkurt, 2016:66). Petrol, sınırlı bir kaynak olup, nihayetinde tükenmesi beklenen bir enerji kaynağıdır. Mevcut kanıtlanmış petrol rezervlerinin, mevcut tüketim hızlarıyla yaklaşık 47 yıl daha yeteceği öngörülmektedir (WorldoMeter, 2016). Ayrıca,

üretimin yoğunlaşması ve bazı petrol üreten ülkelerde artan tüketim, bu sınırlı rezervlerin daha hızlı tükenmesine yol açacaktır. Bu durum, enerji politikaları ve sürdürülebilirlik stratejilerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerektiğini bir kez daha gözler önüne sermektedir.

Tablo 4

2012-2023 Yılları Arasında Dünya Çapında Ham Petrol Talebi, 2024 Yılı Tahmini (günde milyon varil)

Yıllar	*Günlük milyon varil cinsinden talep*
2024	104.46
2023	102.21
2022	99.57
2021	97.08
2020	91.19
2019	100.27
2018	99.07
2017	97.67
2016	95.7
2015	94.2
2014	92
2013	91.1
2012	89.1

Kaynak: Statista, (2023). Demand for crude oil worldwide from 2005 to 2023, with a forecast for 2024 https://www.statista.com/statistics/271823/global-crude-oil-demand/: Erişim tarihi: 14.05.2024

2023 yılı itibarıyla, ham petrole (biyoyakıtlar dahil) yönelik küresel talep günde 102,21 milyon varile ulaşmış olup, yıl sonuna kadar bu talebin artması ve günde 104 milyon varilin üzerine çıkması beklenmektedir. Petrol, küresel enerji talebini karşılamada giderek daha önemli bir rol oynamış; 20. yüzyılın başlarında (1900-1920) talebin %9'unu karşılarken, 1920-1940 yılları arasında bu oran %17'ye, 1940-1980 arasında %29'a 2019 yılında ise %34'e ulaşmıştır (Fattouh vd., 2019:47). Ancak, petrol fiyatları büyük bir dalgalanma göstermektedir ve bu dalgalanmalar, küresel ekonomik koşullar, arz-talep dinamikleri, jeopolitik sorunlar, spekülasyon, hava durumu ve teknolojik gelişmeler gibi bir dizi faktörden etkilenmektedir. Petrol fiyatlarındaki değişkenlik, hükümet bütçelerini ve ekonomik dengeyi zorlayarak istikrarsızlıklara yol açabilir.

Petrol fiyatları, büyük ölçüde küresel pazardaki arz ve talep güçleri tarafından belirlenir. Arz, OPEC ve OPEC dışı ülkelerin üretim kapasiteleri ile mevcut envanterlere bağlı iken, talep ise küresel tüketimle şekillenir. Artan talep, genellikle fiyatları yükseltirken, talebin düşmesi fiyatların gerilemesine neden olabilir. Bu tür fiyat oynaklıklarını tahmin etmek oldukça zordur ve genellikle ekonomik istikrarsızlığa yol açmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar, petrol fiyatlarındaki dalgalanmalardan kaynaklanan olumsuz etkileri azaltmak ve hükümet bütçelerinin istikrarını sağlamak adına önemli bir çözüm sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar, hanehalkı harcamalarını, şirket karlarını ve genel ekonomik dengeyi olumlu yönde etkileyerek, petrole olan bağımlılığın azalmasını ve ekonomik dayanıklılığın artmasını sağlar (Lin ve Bai, 2021:65).

1.1.1.1. Enerji Arzının Güvenliliği ve Sürekliliği

Enerji güvenliğini tanımlarken, bazı bilim insanları enerji bulunabilirliği ve fiyatlandırması gibi arz tarafının güvenliğine odaklanırken, diğer bilim insanları ise ekonomik ve sosyal refah üzerindeki etkileri hesaba katan farklı bir tanımı benimsiyor. Enerji güvenliği durağan olmamasının yanı sıra zaman ilerledikçe değişim ve gelişim göstermektedir. Örneğin, enerji teknolojilerindeki gelişmeler meydana geldikçe ve iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik konusunda farkındalık arttıkça, enerji güvenliğinin unsurları da dönüşüme uğramaktadır. Bununla birlikte, genel olarak, enerji arz güvenliğini artırmak için dört temel strateji vurgulanmaktadır:

- Tedarik ve arz çeşitliliğini genişletmek,
- Yedek kapasiteyi kullanarak ve acil durum rezervlerini muhafaza ederek esnekliği artırmak,
- Karşılıklı bağımlılığı kabul etmek,
- Bilginin hızlı bir şekilde iletilmesini garantilemek.

(Türköz, 2020:44)

Fosil enerji kaynaklarının mevcudiyetindeki istikrarsızlık ve kısıtlı rezervlere sahip olmaları enerji arz güvenliği sorunu oluşturmaktadır. Enerjinin yaşam için elzem olduğu göz önüne alındığında, tedarikteki herhangi bir kesinti veya arz güvenliğine yönelik tehditler doğal yaşamda bozulmalara yol açacaktır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kritik rolü bir kez daha netleşmektedir. Gerçekte, jeopolitik, jeolojik, teknik, ekonomik ve

çevresel riskler dahil olmak üzere çeşitli problemler yenilenebilir enerji kaynakları için önemli sorunlar oluşturmamaktadır (Tanış, 2019:24).

Enerji arzının güvenliği, geleneksel tanımıyla, enerji kaynaklarının çeşitliliğini ve bu kaynaklara erişilebilirliği ifade eder. Bununla birlikte, enerji üretimi ile çevre arasındaki ilişkiden kaynaklanan olumsuz etkilerden kaçınma ihtiyacı, enerjinin temiz ve güvenli enerji fikrini kapsayacak şekilde yeniden tanımlanmasını ve bütünleştirilmesini teşvik etmiştir. Enerji kaynaklarının çeşitliliğinin arttırılması, enerji için dış kaynaklara bağımlılığı önlemeye ve herhangi bir kaynağın neden olduğu azalmalar, tükenmeler veya kesintiler gibi meydana gelen aksaklıklara karşı korumaya yardımcı olabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla:

- İthal edilen akaryakıtlara bağımlılık azalacak,
- Yerli kaynaklar önceliklendirilecek,
- Yerel üretim nedeniyle iş fırsatları artacak,
- Kalıcı ekonomik genişleme ve ilerleme için uygun koşullar sağlanacak,
- Enerji arzının güvenliği temin edilecek,
- Enerji talebini karşılama güvencesi, enerjiye bağımlı sektörlere fayda sağlayacak ve onları yatırım yapmaya motive edecek,
- Üretim ve tüketimde güven ortamı sağlanması sonucunda istikrar artacak,
- Refah ve istikrar, sosyal ve ekonomik koşulları daha da iyileştirecektir.

(Torunoğlu Gedik, 2015:99-100)

Küresel enerji dönüşümü, dalgalanan yakıt fiyatlarına olan bağımlılığı azaltmaya ve kamu hizmetleri maliyetlerini düşürmeye yönelik fırsatlar sunarak daha dayanıklı ve uzun vadeli bir enerji altyapısı inşa edilmesini mümkün kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevrenin korunmasında hayati bir rol oynar ve bu kaynakların kullanımını teşvik etmek, Avrupa Birliği (AB) gibi bölgesel güçlerin stratejik hedefleri arasında yer almaktadır. AB, 2010 yılı itibarıyla yenilenebilir enerjilerin toplam enerji tüketimindeki payını %15'e çıkarmayı hedeflemiş ve üye devletler arasında iş birliğini artırarak yenilenebilir enerji politikalarını güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, “Altener” ve “Joule-Thermie” gibi programlar, bu enerji türlerinin gelişimini desteklemek için önemli adımlar atmaktadır (Dikmen, 2005:581).

20. yüzyıl boyunca, enerji güvenliğinin temel sorunu, petrol rezervlerine ve diğer enerji kaynaklarına erişim ile bu kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını mümkün kılan teknolojik gelişmelerdi. Enerji güvenliği, kısaca enerjinin zamanında, kesintisiz, verimli, kaliteli, çevreye duyarlı ve ekonomik bir biçimde tüketiciye ulaştırılması olarak tanımlanır. Bu kavram, enerji ithal eden ülkeler için enerji arz güvenliği, enerji ihraç eden ülkeler içinse enerji talep güvenliğini kapsar. Zamanla, enerji güvenliği kavramı genellikle enerji arz güvenliği ile eş anlamlı hale gelmiştir (Erdoğan, 2016:93).

Petrol, iklim değişikliği ve karbondioksit emisyonlarına yönelik artan baskılara rağmen, küresel enerji pazarında hala ayrıcalıklı bir konuma sahiptir. Petrolün geleceği, tükenme tehdidi nedeniyle zaman zaman sorgulansa da büyük ölçüde uzun vadeli kalkınma ve ulaşım sektöründeki sürdürülebilir alternatiflerin entegrasyonu sayesinde petrolün önemli rolünü koruyacağı öngörülmektedir. Tedarik zincirine etki eden risklerin çoğu, enerji emtialarının (petrol, gaz, kömür veya elektrik) mevcudiyetini veya fiyatını değiştirerek, enerji arzının sürekliliğini etkiler. Bu da son tüketici cihazlarının enerji hizmetlerine olan erişimini etkileyebilir (Winzer, 2012:10).

Günümüzde ulaştırma endüstrisi, rafine petrolün yaklaşık %60'ını tüketirken, küresel ulaştırma hizmetlerinin %95'i ana enerji kaynağı olarak petrole bağımlıdır. Bu durum, emisyon cezalarına yönelik sıkı hükümet politikaları getirilmedikçe veya yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük bir geçiş sağlanmadıkça, petrolün ulaştırmadaki kritik rolünü sürdürmeye devam edeceğini göstermektedir. 2040 yılında küresel taşımacılığın %88'inin hala petrole dayalı olacağı öngörülmektedir (Pastori, 2008:2).

1.1.1.2. Sosyal ve Ekonomik Nedenler

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasındaki en önemli faktörlerden biri sosyal ve ekonomik hususlardır. Genel olarak bütün enerji santrallerinde enerji üretimi maksadıyla tüm ayrıntıları göz önünde bulundurmak ve tüm masrafları hesaplamak esastır. Bu ayrıntılar arasında atıkların uzaklaştırılmasının yanı sıra üretim ve işletme de yer almak ön plana çıkıyor. Tüm bu değerler kapsamlı bir şekilde incelendiğinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik avantajlar sağlayacağı ortaya çıkmaktadır. Enerji üretimi küçük ölçekli veya ulaşılması zor alanlar da dahil olmak üzere dağıtım ve iletim hatlarının uygulanabilir olduğu ve enerji talepleri nedeniyle hat inşa etmenin zor olduğu yerlerde verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir (Tanış, 2019:26).

Ekonomik açıdan sürdürülebilir bir sistem için devletler dış borçların yönetimine öncelik vermeli, tarımsal ve endüstriyel üretimi etkileyen sektörel dengesizlikleri önlemelidir. Sosyal açıdan sürdürülebilir bir sistem kurmak için ise sağlık, eğitim, toplumsal cinsiyet eşitliği, siyasi hesap verebilirlik ve katılımı içeren uygun bir sosyal hizmetler çerçevesi benimsenmelidir (Türköz, 2020:23).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesiyle üretimi teşvik edilen ekonomik faaliyetlerdeki büyüme, uzak tarım sektörünün genişlediği alanlarda biyokütle ve atıklardan enerji üretimi ve güneş veya rüzgar potansiyeli açısından zengin bölgelerde bu enerji kaynaklarına bağlı olarak artan ilerleme düzeyi eskiden az gelişmiş olan bölgelerin daha fazla rağbet görmesine ve ilerlemesine yol açabilir. Sonuç olarak, yenilenebilir enerji kaynakları bölgeler arasındaki gelişmişlik farkının kapanmasında ve ekonomik eşitsizliklerin azaltılmasında etkili olabilir. Vurgulanması gereken daha bir önemli konu ise, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın olarak benimsenmesi için toplumsal desteğin gerekliliğidir. Öncelikle, bireyler bu kaynaklardan üretilen enerjinin özelliklerini anlamalı, avantajlarına inanmalı ve nihayetinde yenilenebilir kaynaklara yönelik toplumsal farkındalık ve sosyal duyarlılık yaratmalıdır (Torunoğlu Gedik, 2015:101).

Yenilenebilir enerji tesislerine yönelik ekonomik modeller, büyük ölçüde pazarın türüne ve enerji sisteminin yapısına bağlı olarak şekillenir. Özellikle sabit enerji kaynaklarına erişimin sınırlı olduğu izole bölgelerde, yenilenebilir enerjinin gelişmesine olanak tanıyacak teşviklerin uygulanması, bu kaynakların daha geniş ölçekte kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Elektrik enerjisi sistemlerinin güvenilirliği, üç farklı seviyede yapılan analizlerle belirlenir. Üretim bölgesindeki analiz, üretilen enerjinin toplam sistem yükünü karşılayıp karşılamadığını değerlendirirken, elektrik dağıtım sistemlerinin güvenilirliğini artırmak, özellikle elektrik kesintilerinin hem enerji sağlayıcıları hem de son kullanıcılar üzerindeki etkisini azaltmak açısından giderek daha büyük önem taşımaktadır. Kapalı-halka çalışma modu, arızaların süresini ve sıklığını azaltarak sistem güvenilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Temiz ve Tür, 2024:187). Ayrıca, bu tür projelerin belirli programlara dahil edilmesi, yenilenebilir enerji projelerinin entegrasyonu, finansmanı ve sürdürülebilir gelişimi açısından büyük kolaylık sağlamaktadır.

Perakende pazarlarında, ağ şirketlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarından enerjiyi düzenlenmiş tarifelerle satın alması zorunluluğu, ek destek sağlamaktadır ve bu, ağlara bağlantı ile ilgili kayıpların telafi edilmesine yardımcı olmaktadır. Avrupa Birliği (AB) enerji müktesebatının kabul edilmesi adına yürürlüğe konulacak bir program büyük önem

taşımaktadır. Bu program, enerji sektöründeki yasal ve düzenleyici çerçevenin AB standartlarına uygun hale getirilmesini sağlayacaktır (Dikmen, 2005:583).

Tablo 5

Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Sosyal ve Ekonomik Göstergeler

Başlık	*Açıklama*
Sosyal ve Ekonomik Nedenler	Sürdürülebilir kalkınma için enerji bağımsızlığı ve çevresel iyileştirmeye yönelik yenilenebilir enerji kullanımı stratejik öncelik taşımaktadır.
Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Ekonomik Model	Pazar türü ve enerji sistemi özelliklerine bağlı olarak yenilenebilir enerji teşvik ediliyor; uzun vadeli tarifler yatırımcı güveni sağlamaktadır.
Perakende Pazarlarında Destek	Ağ şirketleri yenilenebilir enerjiyi düzenlenmiş tarifelerle satın almak zorunda; bağlantı maliyetlerinde federal tazminat bulunmaktadır.
Toptan Elektrik ve Kapasite Piyasasında Destek	Yenilenebilir enerji destek mekanizması üretim geliştirme yatırımlarına odaklanıyor; uzun vadeli gelir akışı sağlanmaktadır.
Yeşil Tahviller ve Özel Sektör Katılımı	Yeşil tahviller, yenilenebilir enerji projelerini finanse etmek için yenilikçi bir yol olarak öne çıkmaktadır, uzun vadeli finans sağlamaktadır.
Emeklilik Fonları ve Kurumsal Yatırımlar	Emeklilik fonları, gelişmekte olan ülkelerdeki yenilenebilir enerjiye yatırım yapma fırsatlarına ilgi göstermektedir.
Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinde İnovasyon	Fotovoltaik hücrelerde malzeme araştırmaları ve dijital teknolojilerin güç sistemlerine yayılması için inovasyon fırsatları bulunmaktadır.
Araç ve Elektrik Şebekesi Entegrasyonu	Araç ve şebeke entegrasyonu, enerji depolama ve yoğun dönemlerde şebekeye enerji sağlama imkanı sunmaktadır.
Kamu Finansmanının Rolü	Yenilenebilir enerji projelerine kamu finansmanı, ilk aşamalarda özel yatırımcılar için riskleri azaltıyor.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Toptan elektrik ve kapasite piyasasında, yenilenebilir enerji destek mekanizmaları, üretimin artırılmasına yönelik uzun vadeli yatırımlara odaklanmaktadır. Alım satım anlaşmaları, nitelikli yenilenebilir enerji tesislerinin ürettikleri elektriği piyasa koşullarında satmalarına olanak tanır, böylece üretimden gelir elde edilmesi sağlanır. Kapasite Tedarik Anlaşması, üretim şirketlerine yeni kapasite inşa etme ve devreye alma yükümlülüğü getirir ve bu sayede kurulu üretim kapasitesinin gelecekte kullanılabilir olmasını temin eder.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı, yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel enerji dengesindeki payının artmasının, gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) ve refah üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu belirtmektedir. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının sadece ekonomik değil, aynı zamanda sosyal ve çevresel faydalarını da yansıtmaktadır (Pastori, 2008:22). Özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde, enerji ithalatındaki tasarrufların yerel altyapılar ve sosyal alanların geliştirilmesine yönlendirilmesi mümkün olmaktadır.

Yenilenebilir enerji sektörü, özellikle Asya bölgesinde istihdam artışı sağlamaktadır. Bu durum, beşeri sermayenin gelişimine katkı sağlamakta ve ekonomiler arasındaki bağlantıları güçlendirmektedir. Ancak OECD ülkeleri ile gelişmekte olan ülkeler arasındaki farklılıklar, ekonomik büyüme sağlanırken farklı gelir seviyeleri, teknik hazırlık ve hükümet desteği faktörlerinin göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir.

Dünya genelinde yaklaşık 1,1 milyar insan, elektriğe erişimden mahrumken, bu insanların %85'i Afrika kıtasındaki kırsal alanlarda yaşamaktadır. Ayrıca, 2,8 milyar insanın yemek pişirmek için temiz enerjiye erişimi yoktur. Geleneksel biokütle kullanımı (odun, odun kömürü ve tarımsal yan ürünler), yalnızca sağlık sorunlarına yol açmakla kalmaz, aynı zamanda sosyal ve çevresel sorunlara da neden olmaktadır. Temiz enerjiye erişimin artırılması, 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri doğrultusunda önemli bir adım olacaktır. Ana hedeflerden biri, 2030 yılına kadar uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerji kaynaklarına evrensel erişimi sağlamaktır (Abdullah vd., 2014:1015).

Enerjiye evrensel erişimin arttırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif geliştirilmesi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin diğer yönleri üzerinde de olumlu etkiler yaratacaktır. Bu çerçevede, yoksulluğun azaltılması hedefi, yenilenebilir enerjinin üretken kapasiteyi ve gelir getirici fırsatları teşvik etme rolünü vurgulamaktadır. Yenilenebilir enerji, özellikle gelişmekte olan ülkelerde fosil yakıtların yerine kullanılacak modern enerji kaynakları sayesinde sağlık ve refahı artırmakla birlikte, cinsiyet eşitliğine de katkı sağlamaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarının yerine yenilenebilir enerji kullanımı, kadınların yemek pişirme ve ısınma gibi günlük iş yükünü hafifletirken, aynı zamanda kadınların ev işleri sırasında zamanlarını nasıl harcayacakları konusunda esneklik sunmaktadır.

Yenilenebilir enerji sektörü, sanayileşme, yenilikçilik, altyapı ve iklim eylemi ile de sinerji yaratmaktadır. Birçok ulusal politika ve uluslararası girişim, yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesine odaklanmakta ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik önlemler, yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırmayı hedeflemektedir. Güneş,

hidroelektrik ve rüzgr enerjisi gibi mevcut enerji kaynakları iyice yerleşmişken, jeotermal ve biyoenerji gibi alternatif enerji kaynakları, teknolojik ilerlemelerle maliyet verimliliği sağlamak adına hala geliştirme aşamasındadır. Örneğin, Güney Afrika'da yapılan bir gösteri projesi, alg (enerji açısından zengin bir hammadde) yetiştirmenin enerji dönüşümü için ticari açıdan uygulanabilirliğini araştırmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin iyileştirilmesi ve maliyetlerin azaltılması yönünde büyük bir yenilik potansiyeli bulunmaktadır (Correlje ve Van der Linde, 2006:533).

1.1.1.3. Çevresel Nedenler

Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yaygın kullanımı, başlangıçta fosil enerji hammadde fiyatlarındaki yüksek dalgalanmalardan ve bu kaynakların temin edilmesi için ulusal bütçelere sağladığı önemli tasarruf olanaklarından kaynaklanmıştır. Fosil yakıtların kullanımının ve bunların iklim değişikliğine katkısının azaltılabilmesi amacıyla üç temel strateji öne çıkmaktadır: (a) atık ısı geri kazanımı yoluyla geleneksel enerji dönüşüm sistemlerinin verimliliğini artırmak, (b) çevre dostu enerji dönüşüm teknolojilerinin, örneğin yakıt hücrelerinin geliştirilmesi ve (c) doğadan elde edilen ve çevreye minimum olumsuz etkisi bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sağlamak. Bu stratejiler, özellikle fosil yakıtlara olan bağımlılığı önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahip olduklarından, yenilenebilir enerji kullanımı en cazip seçenek olarak öne çıkmaktadır (Sayed vd., 2023:1).

Enerji üretimiyle bağlantılı asit yağmurlarının neden olduğu ormanların tahribi, aşırı CO2 emisyonunun neden olduğu sera etkisi, canlı organizmaları koruyan ozon tabakasının aşınması veya incelmesi, ormansızlaşma, otlak alanlarının kaybı, seller, yeraltı su kaynaklarının azalması, iklim değişikliğine bağlı kuraklıklar ve su baskınları, bitki ve hayvan türlerinde meydana gelen kalıtsal değişim, ürün verimindeki düşüşler, hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkileri, iş kazaları ve meslek hastalıkları gibi problemler başlıca çevreye dolayısıyla topluma atfedilmektedir. Bu durumda çevre ile enerji arasındaki bağlantının doğru bir şekilde sürdürülmesi büyük önem taşıyor. Her insan eylemi doğal çevreyi etkiler. Bu faaliyetlerin en etkili olanı enerji sektörüyle ilgilidir. Doğrudan insan eylemlerinden etkilenen bir olguya dönüşmüş iklim değişikliği, artık özellikle enerji üretiminde olmak üzere çeşitli insan faaliyetleriyle karakterize edilmektedir. Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan olumsuz etkiler gerek insan sağlığını gerekse bitki ve hayvan türlerini tehlikeye atmaktadır (Torunoğlu Gedik, 2015:101-102).

İklim değişikliğinin yaşam koşulları üzerindeki artan olumsuz etkileri, ülkeleri çevresel farkındalık konusunda iş birliği yapmaya teşvik etmiştir. Bu nedenle OECD

(Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı) ve Avrupa Birliği ülkeleri 1992 Rio Dünya Zirvesi'nde bir araya gelerek 'Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni oluşturdu. Sözleşmenin temel amacı, atmosferde tehlikeli miktarlara ulaşan antropojenik sera gazlarının iklim sistemi üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak ve bunları belirli bir aralıkta tutmaktır. Bu hedefe ulaşmak için gelişmiş ülkeler sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine düşürmeli ve gelişmekte olan ülkelere mali yardım sağlamalıdır (Başol, 2021:38).

Endüstriyel büyüme, kentsel genişleme, hızlı teknolojik ilerleme ve motorlu taşıtlardaki artış gibi faktörler atmosferdeki sera gazlarının miktarında artışa sebep olmaktadır. Atmosferdeki sera gazlarının bolluğu, dünyaya yönlendirilen kızılötesi radyasyon miktarında bir artışa yol açar ve bunun sonucunda dünyanın ve alt atmosferin gerekenden fazla ısınmasına neden olur. Bu olguya sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınma denmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği, dünyanın odağını çeken önemli bir ekolojik sorundur. Sera gazı etkisi küresel ısınmaya en büyük katkıyı sağlamaktadır. Bu nedenle, Kyoto Protokolü, enerji sektörümde gelişmiş ülkelerin taahhütlerinin daha bağlayıcı olmasını ve enerji yaptırımlarının uygulanabilmesini sağlamak için 1997'de oluşturularak 16 Şubat 2005'te yürürlüğe girmiştir. Kyoto Protokolü'nün temel amacı, insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını en az maliyetle düşük seviyelere indirmektir (Gezen, 2015:9-11).

Çevresel olarak sürdürülebilir bir sistem yaratmak için, yenilenebilir kaynakları veya çevresel yatırım yükümlülüklerini aşırı kullanmaktan kaçınmalı ve yalnızca yatırımlarla değiştirilebilen yenilenemeyen kaynakları kullanarak kaynak tüketiminde istikrar sağlanmalıdır (Türköz, 2020:24).

Yenilenebilir enerji kapasitesinin hızlı bir şekilde artışı, bu pazarın yüksek yenilikçilik potansiyeli ve yatırım cazibesi sayesinde mümkün olmuştur. Dünya genelindeki hükümetler, özellikle CO2 emisyonlarını azaltarak enerjiye dayalı çevresel sorunları çözmek adına yenilenebilir enerjiye büyük bir güven duymaktadır. Çoğu OECD ülkesi, bu alanda iddialı planlar ve hedefler belirlemiş olup, Avrupa'da AB Yenilenebilir Enerji Direktifi ve bazı devlet politikalarıyla bu hedeflere güçlü destek sağlanmaktadır. Benzer şekilde, ABD'deki yenilenebilir enerjiye yönelik politikalar dikkat çekici düzeyde destek bulurken, Çin, Hindistan ve Brezilya gibi gelişmekte olan ülkelerde de yenilenebilir enerjiye yönelik çeşitli politikalar mevcuttur (Gross vd., 2003).

AB'nin 2019 yılında onayladığı Yeşil Anlaşma, 2030 yılı itibarıyla CO2 emisyonlarını 1999 seviyelerine göre %55 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Bu hedef, önceki planlardan %15'lik bir artışa işaret etmektedir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel enerji dengesi içindeki payının üçte ikiye ulaşması beklenmektedir. Bu, çevresel bozulma, asit yağmurları, hava kirliliği, su kirliliği, metan gazı salınımı ve orman kaybı gibi sorunların çözülmesinde ve nötr ekonomiye geçişte önemli bir adım olacaktır (Östergaard vd., 2022:1045).

Çevresel, sosyal ve kurumsal yönetim (ESG) ilkeleri, bir şirketin sürdürülebilir kalkınmaya katkısını değerlendiren temel kriterlerden biri haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımının artışının, küresel enerji tasarrufu sağlama ve emisyonları azaltmada hızlandırıcı bir rol oynayabileceği geniş çapta kabul görmüşken, bunun küresel enerji yoksulluğunu hafifletme üzerindeki potansiyel etkisi de araştırılmaya değer bir konu olmuştur. Enerji yoksulluğu, dünya enerji sisteminin karşı karşıya olduğu önemli zorluklardan biri olarak, uluslararası toplum ve akademik çevreler tarafından geniş bir şekilde ele alınmaktadır (Zhao vd., 2022:299).

Modern toplumun medeniyet temeli, enerji kaynaklarının tüketilmesiyle elde edilen kitlesel üretime dayanır. Kitlesel üretimin evrimi, sanayileşme ile mümkün olmuş, bu süreçte endüstriyel yöntemlerin mekanizasyonu, fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının verimli kullanımını gerektirmiştir. Bu bağlamda, enerji kaynakları, ekonomik büyümenin ve kalkınmanın temel taşlarını oluşturmuştur. Ancak, ekonomik büyümenin büyük ölçüde enerji tüketimine bağlı olduğu ve bunun sonucunda CO2 emisyonlarının arttığı göz önüne alındığında, bu durumun sera gazı (GHG) emisyonlarına neden olduğu yadsınamaz bir gerçektir. CO2, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklanan bir yan üründür. Yapılan araştırmalar, fosil yakıtların küresel CO2 emisyonlarının yaklaşık %67'sini oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bunun sonucunda, CO2 kaynaklı çevresel bozulmaların, dünya genelinde sel, toprak kaymaları, kuraklık gibi iklim değişikliği sorunlarını tetiklediği ve bu durumun ekonomik koşulları olumsuz etkilediği gözlemlenmektedir (İslam vd., 2022:1130).

Çevresel uyum maliyetleri açısından bakıldığında, çevre politikalarının sıkılığı, yenilenebilir enerji teknolojilerinde yeşil inovasyon üzerinde caydırıcı bir etki yaratabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, genellikle geleneksel fosil yakıtlara kıyasla daha yüksek maliyetlere sahiptir ve bu maliyet farkı, yenilenebilir enerjiye yönelik talebin gelişimini kısıtlayabilir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin yüksek maliyetinin temel

nedeni, bu teknolojilerin henüz tam anlamıyla olgunlaşmamış olmasıdır. Ayrıca, çevre düzenlemeleri, firmaları kirliliği azaltma faaliyetlerine yönelik yeniden yönlendirerek, üretken kaynakların yeniden tahsisini gerektirir. Sıkı çevre politikalarına uyum sağlamak, firmalar için yüksek uyum maliyetleri anlamına gelir ve bu durum, yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik yenilik yapma teşviklerini zayıflatabilir. Ayrıca, katı çevre politikaları, firmaların yatırım kararlarını değiştirebilir ve eski fabrikalarını çevre düzenlemelerinden kaçmak amacıyla yurtdışına taşıma kararına yol açabilir. Katı çevre politikaları çevresel hedeflere katkı sağlasa da yenilenebilir enerji teknolojilerindeki yeşil inovasyon faaliyetlerine zarar verebilir (Zhang vd., 2022:1114). Uluslararası Enerji Ajansı'nın sınıflandırmasında yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal enerji, gelit enerjisi, biyokütle ve biyogazlar yer almaktadır. Bazı AB ülkeleri, bu tanımın daha fazla enerji kaynağını kapsayacak şekilde genişletilmesi için baskı yapmaya devam etmektedir.

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları ve Dezavantajları

Yenilenebilir enerji kullanan tesislerin yaşam döngüsünü incelediğimizde, sera gazı emisyonlarının son derece düşük seviyelerde kaldığı veya ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Özellikle rüzgar ve hidroelektrik santrallerinin tüm yaşam döngüsü boyunca minimum sera gazı emisyonu gösterdiği ve bu durumun çevresel faydalarını pekiştirdiği ortaya çıkmaktadır. CO2 emisyonlarının azaltılması, özellikle kömür kullanımına bağlı olarak yerel hava kirliliği ve iklim değişikliği ile mücadele açısından büyük önem taşımaktadır. Avrupa Birliği (AB), karbondioksit (CO2) emisyonlarını azaltmak amacıyla enerji verimliliğini artırmayı ve kömür yerine daha temiz yakıtlara geçiş yapmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda, AB çeşitli yönergeler yayımlayarak yeni enerji santralleri için emisyon sınırlarını belirlemiş ve daha sürdürülebilir enerji üretim yöntemlerini teşvik etmiştir (Dikmen, 2005:581). Bu değişim hem elektrik üretimini hem de enerji bağımsızlığını artırarak fosil yakıt ithalatına olan bağımlılığı azaltmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji sektöründeki ekonomik büyümeyi de teşvik etmektedir. Yenilenebilir enerji, inovasyon odaklı enerji teknolojisi ve ekipman üretme kapasitesine sahip olup, ihracatı artırarak ve endüstri ilerlemelerini destekleyerek ekonomiler üzerinde önemli bir çarpan etkisi yaratmaktadır. Birleşik Krallık, enerji reformlarını başlatan ve elektrik sektörünü dönüştüren ilk AB ülkesi olarak örnek teşkil etmektedir. Günümüzde, neredeyse tüm Avrupa ülkeleri, elektrik piyasalarının tamamen açılmasını sağlayacak adımlar atmıştır (Granik, 2010: 1).

Yenilenebilir enerji kullanımındaki yenilik, bu alandaki teknolojik ilerlemeleri yönlendiren temel faktörlerden biridir. İklim değişikliğiyle mücadele için küresel sera gazı emisyonlarının 21. yüzyılın ortasına kadar en az %50 oranında azaltılması gerektiği konusunda geniş bir fikir birliği bulunmaktadır. Bu hedef, özellikle gelişmiş ülkeler için daha büyük bir sorumluluk taşımaktadır. Söz konusu düzenlemeler, ekonomilerde köklü değişiklikler gerektirecek; bu değişiklikler, enerji üretim yöntemlerinden tüketim alışkanlıklarına, kullanılan teknolojilerden işletme konumlarına kadar geniş bir yelpazeye yayılacaktır (Fankhauser vd., 2008:422).

Enerji verimliliğini artıran ve kaynak çeşitliliğini teşvik eden, bölgesel refah yaratmayı amaçlayan enerji tabanlı ekonomik kalkınma, sürdürülebilir büyüme için kritik bir rol oynamaktadır. 2009 yılında yürürlüğe giren Amerikan İyileşme ve Yeniden Yatırım Yasası, enerji teknolojisi inovasyonu, yeşil işler ve düşük gelirli enerji verimliliği yardım programları için 50 milyar dolardan fazla kaynak tahsis etmiştir (Carley vd., 2011:283). Bu çabalar, ekonomik kalkınma ve enerji politikalarının birleştiği bir alan olan "enerji tabanlı ekonomik kalkınma"nın gelişmesine yol açmıştır.

Sürdürülebilir kalkınma, "mevcut neslin ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan karşılamak" olarak tanımlanabilir. Bu ilke, dünya çapında çeşitli paydaşlar tarafından kabul edilmekte ve uygulanmaktadır (Twidell ve Weir, 2015:5). Yenilenebilir enerji politikaları, bu hedeflere ulaşmayı amaçlayan bir strateji olarak önemli bir yere sahiptir.

Almanya, yenilenebilir enerji teknolojisi ihracatında lider bir ülke olarak bu dönüşümde örnek oluşturmakta ve bu değişim, önemli fırsatlar yaratırken aynı zamanda bazı riskleri de beraberinde getirmektedir. Küresel ekonominin düşük karbonlu bir yapıya doğru dönüşmesiyle, kazananlar ve kaybedenler ortaya çıkacaktır. Bu noktada, iklim değişikliği politikalarının istihdam üzerindeki etkisi önemli bir tartışma konusudur (Fankhauser vd., 2008:422).

Yenilenebilir enerjinin çevresel ve ekonomik avantajlarının ötesinde, özellikle kırsal ve gelişmemiş bölgelerdeki ekonomik kalkınmada büyük rol oynadığı da unutulmamalıdır. Elektrik şebekesi bağlantısının mevcut olmadığı ya da sınırlı olduğu köyler ve adalar gibi yerlerde yenilenebilir enerji yatırımları, temel elektrik ihtiyacını karşılamada önemli katkı sağlamaktadır. Hindistan'ın Ulusal Elektrik Politikası, her haneye elektrik erişimi sağlamak amacıyla yerel dağıtım ağlarıyla birlikte merkezi olmayan dağıtık üretim tesislerinin kurulacağını belirtmektedir. Ayrıca, elektrik şebekesi bağlantısının mevcut olduğu yerlerde,

maliyet açısından uygun olduğu takdirde yenilenebilir enerji kullanımı teşvik edilmektedir (Sreeraj vd., 2010:1124).

Kırsal elektrifikasyonu sağlamak, yüksek dağıtım maliyetleri nedeniyle ekonomik olarak her zaman uygulanabilir olmayabilir. Bu tür durumlarda, hibrit kurulumlar şeklindeki yenilenebilir enerji sistemleri, enerji yoksulluğunu azaltarak önemli toplumsal faydalar yaratmaktadır. Enerji yoksulluğu ve kırsal bölgelerdeki elektrik eksikliği, gelişmekte olan ülkelerde yoksulluğun daha da derinleşmesine neden olmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma teknolojileri, uygun bir politika çerçevesinde uygulandığında, enerji yoksulluğunu azaltmak için etkili araçlar olarak kullanılabilir (Borhanazad vd., 2013: 210).

Tablo 6

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları

Başlık	*Açıklama*
Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları	Yenilenebilir enerji kaynakları, çevresel koruma, enerji bağımsızlığı ve elektrik üretiminde tamamlayıcı kaynaklar olarak önem kazanmıştır.
Yenilenebilir Enerji ve Çevresel Etkiler	Yenilenebilir enerji kaynakları neredeyse sıfır sera gazı emisyonu ve minimum hava kirliliği ile çevresel faydalar sunmaktadır.
Fosil Yakıt Kullanımını Azaltma	Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıt kullanımını azaltarak ithalat bağımlılığını düşürür.
Ekonomik Kalkınmayı Teşvik	Yenilenebilir enerji, enerji sektöründe ekonomik büyümeyi teşvik eder ve endüstriyel ilerlemelere katkı sağlamaktadır.
Yenilik ve Teknolojik Gelişmeler	Yenilenebilir enerji teknolojilerindeki yenilikler iş süreçlerini iyileştirir ve vasıflı iş gücü talebini artırmaktadır.
Enerji Tabanlı Ekonomik Kalkınma	Enerji tabanlı ekonomik kalkınma, enerji verimliliğini artırarak, kaynakları çeşitlendirerek istihdam yaratmayı amaçlar.
Kırsal Bölgelere Elektrik Sağlama	Yenilenebilir enerji sistemleri, özellikle elektrik şebekesine erişimi olmayan kırsal bölgelerde elektrifikasyonu sağlayarak toplumsal faydalar sunmaktadır.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Değişen ihtiyaçlar nedeniyle ön plana çıkan yenilenebilir kaynakların belirli özelliklere ve avantajlara sahip olması gerekmektedir. En önemli avantaj ise, bu kaynakların doğadan bol miktarlarda temin edilebilmesidir. Ek olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının

çevreye olan zararlı etkilerinin düşük seviyelerde olması beklenmektedir (Ağaçbiçer, 2010:47).

Hidroelektrik santralleri analiz edildiğinde hem belirli avantajlar hem de dezavantajlar sunarlar. Hidroelektrik santrallerinin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Hidroelektrik santralleri yakıt masrafı yapmaz;
- Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve su olduğu sürece etkinliği devam eder;
- Birim enerji masrafı nispeten düşüktür ve bakım masrafları da asgari düzeydedir;
- Hidroelektrik santralleri yük dalgalanmalarına hızla uyum sağlar;
- Hidroelektrik santralleri doğası gereği basit ve sağlamdır ve enerji iletim yöntemleri karmaşık değildir. Ayrıca enerji, su olarak rezervuarlarda tutulabilir;
- Hidroelektrik barajları su yolları, su sporları, su kalitesinin kontrolü, sulama, balık çiftçiliği, avcılık, iş yaratma ve rekreasyon alanları gibi avantajlar sunar;
- Hidroelektrik santrallerinin bir diğer faydalı özelliği de çevresel etkileşimlerinde sera gazlarının yanı sıra SO2 veya partikül emisyonları üretmemeleridir.

(Kanbur, 2021:91)

İnsanlık tarafından bilindiğinden bu yana güneş enerjisinin önemi fark edilerek yeni teknikler geliştirmeden uzun yıllar kullanılmıştır. Bu enerjinin özellikleri göz önüne alındığında, diğer enerji türlerine göre avantajları aşağıdakilerdir:

- Duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi çevreyi kirleten zararlı etkilerden uzak, doğal ve temiz enerji kaynağıdır;
- Dış kaynaklara bağlı olmadığı için ekonomik durgunluklardan etkilenmez;
- Güneş, doğal çevrede bol miktarda bulunan sınırsız bir enerji kaynağıdır;
- Bölgesel kullanımlar için uygundur. Enerjiye ihtiyaç duyulan birçok yerde güneş enerjisi avantajlı olabilir;
- Güneş enerjisi her yerde mevcut olduğundan, enerjiye ihtiyaç duyulan çoğu yerde kurulabilir. Bu nedenle ulaşımla ilgili bir sorun bulundurmamaktadır;
- Güneş enerji sistemleri son derece sağlam malzemeleri sayesinde sert hava koşullarına dayanabilir;

- Bu enerji tesisinin bakımı diğer enerji santrallerine göre daha basittir. Ayrıca bakım ve işlevle ilgili masrafları asgari düzeydedir;
- Fotovoltaik güneş panelleri sayesinde elde edilen elektrik enerjisi ve onun kullanımı çevreye hiçbir zarar vermez. Bu nedenle, güneş panelleri elektrik üretmek için kullanılabilir;
- Güneş enerjisiyle elektrik üreten tesislerin amortisman süreleri genellikle beş ila altı yıl civarındadır. Bu avantaj, diğer enerji üretim yöntemlerini aşma şansı sağlar;
- Güneş enerjisinden elektrik üretimi oldukça basit olduğundan, çoğu kişi uzmanlığa sahip olmadan güneş enerjisinden ihtiyaç duyduğu elektriğe erişebilir;
- Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında öngörülebilir bir özellik sunar. Örneğin, şafak gün doğumu ve akşam gün batımı garantilidir;
- Güneş enerjisiyle ilişkili tesislerin kurulumu kısa sürede gerçekleşir. Bir güneş enerjisi tesisi, bir ila dokuz aylık bir zaman dilimi içinde hızla kurulabilir.

(Tanrıöver, 2020:29)

Rüzgar enerjisi, küresel olarak çeşitli bölgelerde önemli bir potansiyele sahip ve gelecek için umut vadeden yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak öne çıkıyor. Rüzgar enerjisinin faydaları şunlardır:

- Rüzgar enerjisi, yakıt veya hammadde için hiçbir maliyet gerektirmeyen birincil yenilenebilir enerji kaynağı olarak, doğada bol miktarda bulunur. Genellikle rüzgar enerjisi için herhangi bir ödeme gerekmemektedir;
- Rüzgar enerjisi, küresel olarak çeşitli bölgelerde enerji üretimi için büyük potansiyele sahip olan ve gelecek için umut vadeden yenilenebilir enerji kaynağıdır;
- Rüzgar enerjisi, fosil yakıtların yakılmasıyla oluşan zararlı gazları üretmez. Rüzgar enerjisi elektrik üretimi sırasında çevreye sera gazı veya diğer zararlı kirleticiler yaymayan çevre dostu bir enerji kaynağıdır;
- Kırsal bölgelerde türbinlerin yerleştirildiği arazilerin satın alınması veya kiralanması için ödenen ücretler, santral çevresinde yaşayan sakinlere önemli ekonomik faydalar sağlar;

- 20 türbine sahip standart bir rüzgar santrali 1 km2'lik bir alanı kaplar ve bunun yaklaşık %1'i türbin kurulumu için ayrılırken, arazinin geri kalanı tarım, hayvancılık için kullanılır veya doğal alan olarak kalır;
- Rüzgar türbinlerine yatırım, özellikle inşaatın başlatılması ve üretime geçiş, dört ila beş aylık kısa bir zaman dilimini gerektirir. Bununla birlikte, bu zaman dilimi nükleer enerji tesisleri için yaklaşık 7 yılı, hidroelektrik için 2-10 yılı ve doğal gaz enerjisi üretimi için 1-1,5 yılı kapsar;
- Rüzgar enerjisi üretimi için gereken arazi, güneş enerjisi üretimi için gereken arazi kadar geniş değildir. Örneğin, 1 MW enerji üreten bir güneş enerjisi tesisi 20.000 metrekare araziye gerek duyarken, tek bir rüzgar türbini 1 MW enerji üretebilir;
- Rüzgar türbinlerinin ömrü genellikle 20 ila 30 yıl arasında değişmektedir. Sonuç olarak, rüzgar türbinlerinin kullanım süresini daha uzun bir zaman dilimine yaymak, bu türbinlerin kurulum, işletme ve bakım masraflarını daha uzun bir süreye dağıtarak faydalar sağlar;
- Havanın açık veya bulutlu olması rüzgar türbinleri için önemli değildir. Hem gündüz hem de gece elverişli rüzgar koşullarında elektrik üretmeye devam ederler.

(Karalı, 2017:34-35)

Biyokütle enerjisi, insanlık tarafından bilinen en eski enerji kaynaklarından biridir. Biyokütlenin yakılmasıyla açığa çıkan enerji, doğal aşamalardan oluşmaktadır. Bu nedenle, biyokütleden elde edilen enerji, yenilenebilir bir enerji alternatifini temsil edebilir. Biyokütle enerjisinin temel avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Biyokütlenin elde edilmesinde esas olan organik maddeler sınırsızdır. Bunun asıl sebebi insanların çöp, odun ve gübre gibi atıkları sürekli olarak üretmesidir;
- Fosil yakıt üretimi; petrol sondajı, gaz boru hatları ve yakıt toplama gibi büyük yatırımları gerektirse de biyokütle kurguları önemli ölçüde daha az maliyetlidir. Üreticiler, daha az harcama ile daha fazla kar elde edebilirler;
- Katı atıkların yakılması, çöplüklere gönderilen çöp hacmini %60 ila %90 oranında azaltarak, daha düşük çöplük bertaraf harcamalarına ve daha az çöplük alanı ihtiyacına yol açar;

- Biyokütle yakıtı, atmosferik karbon seviyeleri üzerinde nötr bir etkiye sahiptir. Fotosentezin doğal süreci yoluyla karbondioksiti emme görevini zaten tamamladığından, ekstra karbon yaymaz.

(Tabak, 2022:16-17)

Jeotermal enerji tesislerinde, su, su buharı ve buhar benzeri jeotermal sıvıların bir kombinasyonu kullanılır. Bu tesislerin en yüksek elektrik üretim kapasitesi, jeotermal santralin sıvı kapasitesiyle ilişkilidir. Jeotermal enerjinin faydaları aşağıdaki özellikleri kapsamaktadır:

- Jeotermal enerji, verimlilik söz konusu olduğunda diğer enerji alternatiflerine kıyasla daha başarılıdır;
- Enerjinin direkt olarak jeotermal kaynaklardan üretilmesi nedeniyle ekonomik enerji seçeneklerinden biri olarak kabul edilir;
- Sürdürülebilir ve çevreye duyarlı bir enerji kaynağı olduğu için, genellikle konutlarda enerji üretimi ve sera ısıtması amacıyla kullanılmaktadır;
- Teknolojideki ilerlemeler artık daha düşük sıcaklıktaki jeotermal sıvılardan etkili bir şekilde elektrik üretilmesine olanak sağlıyor;
- Jeotermal enerji tesislerinin kurulumu için geniş bir araziye ihtiyaç duyulmamaktadır;
- Jeotermal kaynaklar, bulundukları bölgelerde geliştirilir ve genellikle kent merkezlerinden uzakta yerleşmektedirler. Bu nedenle, gürültü ve görüntü bozukluğu gibi sorunlar oluşturmazlar;
- Jeotermal enerji hava koşullarından etkilenmez, kesintisiz ve dolayısıyla güvenilir enerji sağlar.

(Gezen, 2015:24)

Yenilenebilir enerji kaynakları, pek çok avantaj sunmasına rağmen, günlük kullanımda bazı dezavantajlar ve sınırlamalarla birlikte gelir. Bu kaynaklar, doğal özellikleri nedeniyle coğrafi konum ve hava koşullarına bağlıdır, bu da onları elektrik üretiminde oynaklık ve öngörülemezlik konusunda hassas hale getirir. Örneğin, rüzgar enerjisi sadece rüzgarın yeterli olduğu durumlarda kullanılabilirken, güneş enerjisi de gün ışığının mevcut olduğu saatlerle sınırlıdır. Bu sınırlama, dikkatli yer seçimi, kapsamlı ölçümler ve çevresel

çalışmalarla hafifletilebilir. Yani, uygun bölgelerde yapılan yatırımlar ve doğru çevresel analizlerle yenilenebilir enerji üretimi daha verimli hale getirilebilir.

Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcutlukları zaman zaman değişkenlik gösterdiği için, bu dalgalanmalara karşı koyabilecek esnek bir elektrik sistemine ihtiyaç vardır. Elektrik üretimi sırasında ani değişiklikler meydana geldiğinde, enerji talebini karşılamak için hızlı bir şekilde yedek enerji kaynaklarına başvurulması gerekebilir. Bu, özellikle rüzgarın durması ya da bulutlu havalar gibi durumlarda daha belirgin hale gelir.

Bir diğer dezavantaj ise, yenilenebilir enerji kaynaklarının geçici olarak kullanılamadığı zamanlarda, bu boşlukları doldurmak için yedek kapasite gerekliliğidir. Bu durum, özellikle enerji depolama çözümleri ya da başka enerji kaynakları (örneğin fosil yakıtlı yedek santraller) kullanılarak dengelenebilir. Ancak bu da maliyetleri artırabilir ve sistemin genel verimliliğini etkileyebilir.

Tablo 7

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dezavantajları

Başlık	*Açıklama*
Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dezavantajları	Yenilenebilir enerji kaynakları özellikle coğrafi ve iklim koşullarına bağlı olarak oynaklık gösterir.
Doğal Özelliklere Bağlılık	Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal özellikleri nedeniyle konum ve hava koşullarına bağlı olup, elektrik üretiminde oynaklığa ve öngörülemezliğe yol açmaktadır.
Kapasite ve Üretim Sınırlamaları	Yenilenebilir santraller genellikle fosil yakıtlı santrallerden daha düşük kapasiteye sahiptir ve aynı enerji çıktısını sağlamak için daha büyük altyapı gerektirmektedir.
Enerji Depolama Gereksinimi	Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili olduğundan sürekli enerji sağlamak için büyük ölçekli batarya sistemleri veya diğer depolama teknolojilerine ihtiyaç duyar.
Elektrik Üretim Maliyeti	Yenilenebilir enerji santralleri, özellikle deniz ve güneş sistemleri, teknoloji maliyeti ve kurulum karmaşıklığı nedeniyle daha yüksek maliyetlere sahiptir.
Alan Gereksinimi	Yenilenebilir enerji santralleri genellikle büyük alanlara ihtiyaç duyar.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Yenilenebilir enerji kaynaklarının olağanüstü avantajlarına rağmen, bazı eksiklikleri dikkate alınmalıdır. Örneğin çoğu yenilenebilir enerji kaynağı iklime bağlı olduğundan mevsimsel değişiklikler nedeniyle üretimin kesintiye uğraması ve bu nedenle kullanımı karmaşık tasarım, planlama ve kontrol optimizasyon yöntemleri gerektirir. Neyse ki, bilgisayar donanım ve yazılımlarındaki sürekli teknolojik gelişmeler, bilimsel araştırmacıların yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji alanına uygulanabilir hesaplamalı kaynakları kullanarak bu optimizasyon zorluklarını ele almalarına olanak sağlıyor (Owusu ve Asumadu-Sarkodie, 2016:4).

Hidroelektrik santralleri, diğer enerji üretim tesisleriyle karşılaştırıldığında en düşük işletme giderlerine, en uzun ömre ve en yüksek verimliliğe sahiptir. Ancak, hidroelektrik santrallerinin de bazı dezavantajları vardır. Bu santrallerin dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bir hidroelektrik santrali inşa edilirken, hareket eden su durdurulur ve bir rezervuar oluşturulur. Bu zaman suyun kirlenmesi gibi bir problem ortaya çıkar;
- Hidroelektrik santrallerinin inşası en az 5 yıl gibi uzun dönem boyunca sürebilir;
- Baraja yakın alanların ve temel bölgelerin taşkın ve dökülmeler nedeniyle sular altında kalma ihtimali;
- Hidroelektrik santrallerinin inşası önemli mali yatırımlara ihtiyaç duyar;
- Bazı alanlarda inşa edilen hidroelektrik santrallerin görüntü kirliliği oluşturarak turizmin büyümesi üzerinde zararlı etkiler meydana getirmesi;
- Toprak kalitesindeki azalmalar nedeniyle şartlı olarak verimsiz ve üretken olmayan alanların meydana gelmesi.

(Mammadov, 2021:19)

Güneş enerjisinin kullanımı zamanı bazı olumsuz yönler meydana gelmektedir. Güneş enerjisinin olumsuz yönleri aşağıdakilerdir:

- Mevcut güneş paneli teknolojileri güneş radyasyonunun yalnızca %12 ila %20'sini elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Bu nedenle, güneş ışığının kullanımı yetersiz ve verimsiz kalmaktadır;
- Güneş enerjisi tesisleri için gereken yüksek yatırım miktarı nedeniyle bu enerjinin elektrik üretimi amacıyla kullanılması önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır;

- Güneş enerjisi tesislerinin kurulması zamanı geniş ve büyük alanlar gereklidir. Örneğin, tek bir rüzgar türbini 1 MW güç üretebilirken, aynı miktarda güç üretebilen bir güneş enerjisi tesisi yaklaşık 20.000 m3 alan gerektirir;
- Küçük güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan pillerin sınırlı ömre sahip olması ve dayanıklı olmaması, bu sistemlerin hızla bozulmasına yol açabilmektedir;
- Güneş kuleleri olarak bilinen elektrik üretim santralleri, göçmen kuşlar için tehlike yaratabilir. Güneş aynaları güneş ışığını güneş kulesine yoğunlaştırarak yüksek ısı üretir. Sonuç olarak, bu durum göçmen kuşların ve diğer canlıların ölümüne yol açabilir;
- Fotovoltaik güneş panellerinin küresel üretimi hızla ilerliyor. Ancak, eski panellerin yeni teknolojilerle değiştirilmesiyle meydana gelen çevre kirliliği belirgin bir zorluk oluşturmaktadır.

(Tanrıöver, 2020:29-30)

Rüzgar enerjisi, dış yerel koşullara bağlı olmayan, asit yağmurlarına veya küresel ısınmaya neden olmayan, yapay olmayan, insan veya bitki sağlığı üzerinde olumsuz etkisi olmayan, fosil yakıtları koruyan, radyoaktif etkilerden uzak, teknolojik olarak hızla ilerleyen ve gelir üreten yenilenebilir ve sınırsız bir kaynaktır. Ancak rüzgar enerjisinin de bazı olumsuz yönleri vardır ki onlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Enerji üretimi rüzgara dayandığından, rüzgarın olmaması veya azalması enerji kaybı anlamına gelir. Bu yüzden güçlü rüzgarların olduğu yerleri seçmek ve rüzgar türbinlerini bu alanlarda kurmak önemlidir;
- Rüzgar türbinlerinin pahalı ve maliyetli olması bu enerji kaynağının dezavantajlarından biridir. Ancak teknolojik gelişmeler sayesinde bu giderlerde azalma yaşanabilir;
- Rüzgar türbinleri bazı durumlarda kuşların sağlına tehlike yaratabilir;
- Rüzgar türbinlerinin kurulacağı alanların yeri ve özellikleri detaylı olarak incelenmelidir. Örneğin, arazinin engebeli olması veya yerleşim alanlarına yakın olması birer sorun teşkil etmektedir;
- Rüzgar türbinlerinin ürettiği yüksek ses gürültü kirliliği oluşturur. Türbinden uzaklaştıkça gürültü seviyesi azalır;
- Rüzgar türbinlerinin kanatlarının arızalanması çevre açısından risk oluşturmaktadır;

- Rüzgar türbinleri elektromanyetik dalgaları yayma veya onların yörüngelerini değiştirme gibi problemler meydana getirirler.

(Afşar, 2019:18-19)

Biyokütle enerjisinin kullanımı zamanı bazı dezavantajlar da meydana gelmektedir. Biyokütle enerjisinin dezavantajları aşağıdaki özellikleri kapsamaktadır:

- Biyokütle, diğer fosil yakıt kaynaklarına kıyasla daha düşük bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu nedenle biyokütlenin, kullanılabilir enerjiye dönüştürülmesi için önemli miktarda sermaye yatırımı gerekmektedir;
- Evsel çöpler de dahil olmak üzere çöplerin yakılmasıyla üretilen atıklar çevre için önemli riskler oluşturur. Ayrıca, atık malzemelerin depolanması sırasında yayılan gazlar patlamalara sebep olabilir;
- Arpa, patates ve mısır gibi temel ürünlerin endüstriyel amaçlarla, özellikle de makinelerde kullanımı önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu eğilim, çiftçilerin insan beslenmesi için gerekli olan temel gıda ürünleri yerine biyodizel hammaddesi yetiştirmeyi tercih etmesinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, bu değişim gıda fiyatlarının artmasına katkıda bulunmaktadır;
- Biyokütle üretimi, sadece çeşitli sektörlerdeki yem ve gıda kaynaklarıyla değil, aynı zamanda imalat endüstrisindeki sunta ve kağıt malzemelerle de rekabete maruz kalmaktadır;
- Biyokütle enerjisi üretimi için gerekli olan enerji bitkileri yetiştiriciliğinin yaygınlaşması, diğer tahıl çeşitlerinin üretiminde azalmaya yol açarken, aynı zamanda bazı gıda ürünlerinin fiyatlarının artmasına da katkıda bulunmaktadır;
- Geleneksel biyokütle kaynaklarının kırsal alanlarda kullanımı, bu bölgelerde çevresel bozulmaya yol açarak yerel nüfusun yaşam kalitesini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, biyokütle kaynaklarının dağınık yapısı, taşıma ve depolamaya olanak tanısa bile, diğer enerji alternatiflerine kıyasla daha yüksek lojistik maliyetlere neden olmaktadır.

(Kanbur, 2021:94)

Jeotermal enerji santralleri temiz, basit, güvenilir ve çevre dostu enerji üretmektedir. Ancak hala bu santraller yaygın olarak kullanılmıyor ve bazı dezavantajlara sahiptirler. Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yaygın olarak kullanılmaması nedeniyle, jeotermal enerji santralleri için gerekli ekipmanlar çok nadir bulunuyor. Ayrıca yetersiz kalifiye personel, zor kurulum süreci, uygun inşa yerlerinin sınırlı olması jeotermal enerji üretimine sıkıntı yaratan problemlerdir;
- Yerin derinliklerinden buhar elde etmek için bir jeotermal enerji santrali büyük yatırımlar gerektirir. Bunun yanı sıra, uzun kurulum süreci için santrale taşınması gereken çok sayıda nitelikli işçiler ek maliyetler yaratır. Ayrıca, bu enerjiyi tüketicilere aktarmak için aynı anda elektrik kuleleri ve istasyonları inşa edilmesi gerekmektedir;
- Aşırı enerji hasadı ile, zamanla sıcak kayayı soğutacak olan soğuk suyun yere enjekte edilmesi nedeniyle sıcaklık düşebilir. Sonuç olarak, bir jeotermal santralde buharın bitme olasılığı vardır;
- Uzun vadede buhar üretebilen yerin altındaki sıcak kayalar, jeotermal santral inşa etmek için uygun bölgelerdir. Bu alanlar tepelerin yakınında veya dağın yukarısında olabilir. Bu nedenle, bir jeotermal santral kurmadan önce büyük bir araştırma ve yatırımlar gerekmektedir;
- Bir jeotermal santralde delme işlemi sırasında, toprağa zehirli gazlar salınabilir. Bu nedenle, jeotermal santraller bazı zararlı ve zehirli gazları içermektedirler;
- Enerjinin taşınması, jeotermal enerji üretiminde başka bir sorun olarak karşıya çıkmaktadır. Diğer fosil yakıtlar uzun mesafeli yerleşim alanlarına taşınabilse de sıkışmış jeotermal enerji çıkarıldıktan sonra yalnızca yerel alanlarda kullanılabilir.

(Hasan, 2014:18-19)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlı enerji santralleriyle karşılaştırılması, bazı belirgin farklılıkları ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji santralleri, genellikle daha düşük kapasiteye sahiptir ve geleneksel fosil yakıtlı santrallerin çıktısına ulaşamamaktadır. Örneğin, güneş termal-elektrik santralleri, güneş ışığını yoğunlaştırarak bir sıvıyı yüksek sıcaklıklara ısıtarak enerji üretir. Güneş termal sistemleri, genellikle su veya hava ısıtma amacıyla kullanılır ve binaların ısınması gibi alanlarda etkili bir enerji tasarrufu sağlar.

Fotovoltaik (PV) sistemler ise, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürerek, farklı kapasitelere sahip modüllerle yapılandırılabilir. PV uygulamaları, küçük güneş hücrelerinden büyük kurulumlara kadar geniş bir yelpazeye sahiptir (Agboola, 2014:77).

Bununla birlikte, yenilenebilir enerji santralleri, fosil yakıtlı santrallere kıyasla genellikle daha fazla arazi gereksinimi duyar. Bu durum, yenilenebilir enerji tesislerinin benzer miktarda elektrik üretmek için daha büyük alanlar kaplamasına yol açar. Ayrıca, yenilenebilir enerji sistemleri çoğunlukla hidroelektrik ve rüzgar enerjisi dışında, fosil yakıt santrallerine göre daha düşük enerji verimliliğine sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları, işletme sırasında sera gazı emisyonları üretmez, ancak bu tür santrallerin verimi, enerji girdisinin sürekli olmaması ve yoğunluğunun düşük olması nedeniyle genellikle daha düşüktür. Dolayısıyla, üretilen elektrik başına santral inşaatı için harcanan enerji ve malzeme miktarı daha yüksektir (Honorio, 2003:15).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sunduğu avantajlar arasında, tükenmemeleri, çevreye daha az zarar vermeleri, güvenli olmaları ve yerel olarak bulunmaları yer alır. Bu özellikler, yenilenebilir enerjiyi sürdürülebilir bir seçenek haline getirmektedir. Ancak, yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlar gibi ticari olarak piyasada kolayca bulunabilen kaynaklar değildir. Örneğin, güneş panellerinin görsel kirliliğe yol açması, rüzgar türbinlerinin ses kirliliği oluşturması ve hidroelektrik barajlarının biyolojik kirliliğe neden olması gibi bazı çevresel dezavantajlar da vardır (Erdoğan, 2016:81).

Yenilenebilir enerji üretiminin bir diğer önemli sınırlaması ise, nispeten yüksek maliyetleridir. Yenilenebilir enerji santralleri, özellikle deniz ve güneş enerjisi teknolojilerini kullananlar, genellikle yüksek teknoloji maliyetleri ve kurulum karmaşıklığı nedeniyle fosil yakıtlı santrallere kıyasla daha yüksek inşaat maliyetlerine sahiptir. Maliyet analizleri bu farkları netleştirmektedir. Örneğin, Finlandiya'da yapılan bir çalışma, nükleer, gaz, kömür, biyokütle (turba ve odun) ve rüzgar gibi santrallerin elektrik üretim maliyetlerini karşılaştırmış ve bu santrallerin ekonomik rekabet güçlerini değerlendirmiştir. Bu çalışmada, 30 MW kapasiteli bir odun enerji santralinin yatırım maliyeti 81 milyon euro (2700 €/kW) olarak hesaplanmış ve verimliliği %33 olarak belirlenmiştir (Tarjanne ve Kivistö, 2008:4).

Fosil yakıtlı tesislere kıyasla, yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim maliyetleri genellikle daha yüksektir (€/MWh olarak ifade edilen). Örneğin, biokütle tesisleri, yakıt olarak turba kullandıklarında, belirgin bir şekilde daha düşük maliyetlere sahip olabilirken, diğer yenilenebilir enerji santralleri, fosil yakıtlı tesislerle kıyaslandığında daha yüksek

üretim maliyetleri ile karşı karşıyadır. Bu durum, sermaye, yakıt, yönetim ve bakım gibi maliyet faktörlerinin birleşiminden kaynaklanmaktadır (Winzer, 2012:15).

1.3. Azerbaycan'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumu

Azerbaycan, hızla gelişen ekonomisini büyük ölçüde petrol ve gaz sektörünün büyümesine dayandırmıştır. 1990 yılında kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) 1.237 ABD doları iken, 2017'de bu rakam 4.132 ABD dolarına yükselmiştir. Ancak son yıllarda petrol fiyatlarının keskin bir şekilde düşmesi, GSYİH büyümesini yavaşlatmış, ulusal para biriminin değer kaybına neden olmuş ve GSYİH 2014'te 75 milyar dolardan 2017'de 41 milyar dolara gerilemiştir. Bu dönemde, petrol sektörü GSYİH'nın yaklaşık üçte birini oluşturmaya devam etmiştir (Azerbaycan İstatistik Kurumu, 2024).

Azerbaycan'da yenilenebilir enerji üretimi, 1880'li yılların başına kadar uzanır. 1883 yılında, Gedebey ilçesine bağlı Galakend köyünde, bölge sakinlerine ve sanayiye elektrik sağlamak amacıyla ilk hidroelektrik santrali kurulmuştur. Ülkedeki yenilenebilir enerji üretiminin bir sonraki aşaması ise 1950'li yıllarda, Varvara ve Mingeçevir hidroelektrik santrallerinin inşa edilmesiyle gerçekleşmiştir. 2000'li yılların başına kadar su, Azerbaycan'da tek yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılırken, 2009 yılında rüzgar elektriği üretimi için ilk yel değirmeni kurulmuştur (Mustafayev, 2021:38).

Dünyanın önde gelen ülkelerinin alternatif enerji kaynaklarının kullanımındaki deneyimleri, bu alanda devlet yatırımlarının ve uygun düzenlemelerin önemini vurgulamaktadır. Azerbaycan'da da alternatif enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek amacıyla özel sektör yatırımlarının çekilmesi için gerekli adımlar atılmaktadır (Azerbaycan Ulusal Bilimler Akademisi, 2004:43).

Azerbaycan, net bir enerji ihracatçısı olarak enerji bağımsızlığını kazanmış olup, ülkenin temel enerji politikası, uzun vadeli enerji bağımsızlığını sağlamak üzerine kuruludur. 2000'li yılların başlarında, yenilenemeyen enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak, enerji üretimini çeşitlendirmek ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla bir dizi girişim başlatılmıştır. Bu girişimler arasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırmak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve hidrokarbon kaynaklarından verimli şekilde yararlanmak yer almaktadır. Bu doğrultuda, Azerbaycan Cumhurbaşkanı İlham Aliyev'in 21 Ekim 2004 tarihli 403 no'lu kararı ile onaylanan "Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımına İlişkin Devlet Programı" hazırlanmıştır.

Programın hedefleri aşağıdaki gibidir:

- “Elektrik enerjisi üretiminde alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi;
- Yenilenebilir enerji kaynaklarını devreye alarak ülkede enerji kaynaklarından yararlanma etkinligini artırmak;
- Yeni enerji üretim alanlarının oluşturulması nedeniyle ek iş yerlerinin açılmasını sağlamak;
- Azerbaycan Cumhuriyet’indeki geleneksel enerji kaynaklarının mevcut toplam gücü dikkate alınarak, enerji gücünün yenilenebilir kaynakların kullanımıyla artırılması ve böylece ülkenin enerji güvenliğinin iyileştirilmesinin sağlanması”

(Huseynova, 2015:9)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji dengesinde daha yüksek bir paya sahip olması, Azerbaycan gibi petrol ve gazın hakim olduğu bir ülkede ekonomik çeşitliliğin yanı sıra bir dizi ek fayda sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik fırsatları sunarak Azerbaycan'ın GSYİH büyümesine katkıda bulunan yeni sektörlerin gelişimini desteklemekte ve bu süreç, aynı zamanda istihdam fırsatları yaratmak için bir katalizör görevi görmektedir. Yenilenebilir enerjiye yönelik politikalar, üretim ve finansman alanlarında gelişmekte olan ülkelerde ve geçiş ekonomilerinde genişlemeye devam etmektedir. Bu süreçte, yatırım modelleri de geleneksel hükümet ve yabancı bağışçı fonlarından, genellikle yerel girişimler ve bankalar gibi özel sektöre kaymaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanması, kamu kurumları, sanayi, sivil toplum kuruluşları (STK'lar) ve iş dünyası arasında artan bir işbirliği ile gerçekleşmektedir (Mukhtarov, 2020:2). Bu gelişmeler, enerji verimliliğini artırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırmak suretiyle, ülkede petrol ve gaz tüketiminin azalmasına da katkıda bulunmaktadır.

Azerbaycan'da yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi açısından en önemli adımlardan biri, Cumhurbaşkanı İlham Aliyev'in 29 Aralık 2011'de verdiği talimatla başlamıştır. Bu talimatla, 2012-2020 yılları için alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik ulusal bir strateji geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu strateji doğrultusunda devlet, belirli eylemleri hayata geçirmeyi hedeflemiştir.

- “2012-2020 yıllarında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik ve ısı üretimi için önemli alanların kategorize edilmesi;
- Alternatif ve yenilenebilir enerji sektörü için yasal çerçeve oluşturulması;
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teşvik edici düzenlemelerin yapılması;
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının bilimsel ve teknik potansiyelinin dikkate alınması yöntemiyle yurt içi ve yurt dışı kaynaklara dayalı olarak tüm ekonomik alanlarda kullanımının sağlanması.

(Guliyev, 2024:7)

Azerbaycan, yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimini teşvik etmek amacıyla 25 Nisan 2014 tarihinde 112 no’lu Bakanlar Kurulu kararını kabul etmiştir. Bu karar, özel izin alarak alternatif enerji kaynaklarıyla ilgili faaliyet gösteren kişi ve şirketlerin, enerji verimliliği ekipmanları ve teknolojik ürünlerin ithalatında KDV ve vergi muafiyetinden yararlanmalarını sağlamıştır. Karar kısa bir süre içinde yürürlüğe girmiş ve 10 yıl boyunca geçerli olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu desteklerin temel amacı, enerji sektörüne yatırım yapmayı teşvik etmek, yenilenebilir enerji kullanımına özel şirketlerin ilgisini artırmak ve onları enerji üretimine teşvik etmektir. Ancak, tüm bu girişimlere rağmen Azerbaycan’ın yenilenebilir enerji kapasitesi, konvansiyonel enerjiye göre hala çok daha düşüktür (Hamidova vd., 2022:442).

Azerbaycan, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda uluslararası çevre sözleşmelerine taraf olmuş ve bu bağlamda çeşitli eylemler gerçekleştirmiştir. Ülkede çevre ve iklim değişikliği politikalarını daha iyi koordine etmek için 1997 yılında İklim Değişikliği Devlet Komisyonu kurulmuştur. 2000 yılında Azerbaycan, Birleşmiş Milletler’in "İklim Değişikliği" Çevre Sözleşmesi’nin Kyoto Protokolü’nü kabul etmiştir. Kyoto Protokolü’nün yürürlüğe girmesiyle birlikte, Azerbaycan’da temiz kalkınma mekanizmalarına olan ilgi artmış ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik adımlar atılmıştır. Bu süreçte, Azerbaycan’ın çeşitli sektörlerinde zararlı gazların atmosfere salınımının engellenmesi, düşük karbon ekonomisi uygulamalarının hayata geçirilmesi, orman alanlarının genişletilmesi ve koruma altına alınması gibi önlemler alınmıştır.

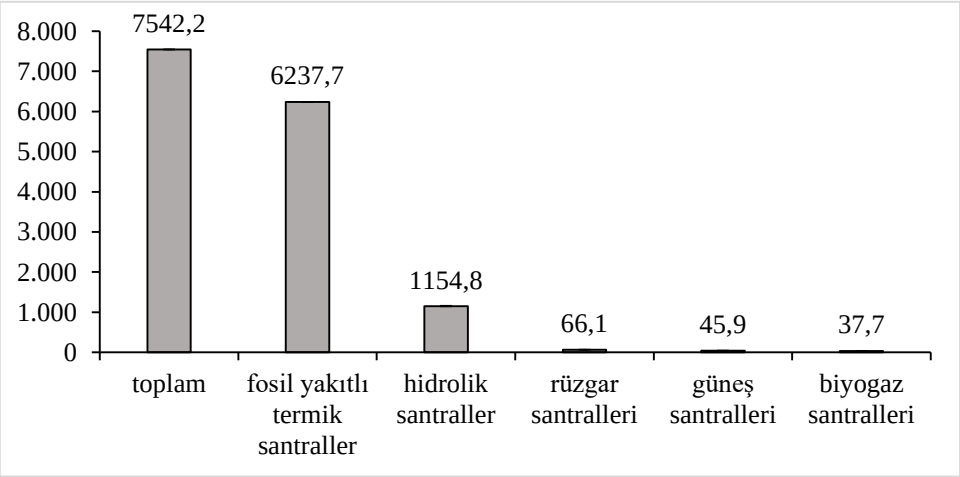
Ayrıca, 2003 yılında Azerbaycan "Ulusal Eylem Planı" kabul etmiş ve bu plan kapsamında yenilenebilir enerji teknolojilerinin ülkeye getirilmesi, iklim değişikliği ile

mücadele önlemlerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Azerbaycan, 2016 yılında Paris Anlaşması'nı imzalayarak, küresel ısınmanın 1,5°C ile sınırlanmasını ve 2050 yılına kadar karbondioksit emisyonlarının net sıfır seviyesine indirilmesini taahhüt etmiştir. Bu anlaşma çerçevesinde Azerbaycan, 2030 yılına kadar karbondioksit emisyonlarını 1990 seviyelerine göre %35 oranında azaltmayı hedeflemektedir (Qasımlı vd., 2022:150-206).

Küresel ölçekte ulaşım, ısıtma ve soğutma gibi alanlarda elektrik talebinin artışı, Azerbaycan'ı enerji verimliliğini sağlama ve devletin mali yükünü azaltma hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji kullanımını artırmaya yönlendirmiştir. Azerbaycan, elektrik üretimi kurulu gücünde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını 2026 yılına kadar %24'e çıkarmayı, 2030 yılına kadar ise %30'a ulaştırmayı planlamaktadır. 2021 yılında Azerbaycan'da toplam elektrik üretimi 27,8 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin %5,8'lik kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. 2021 yılı itibarıyla Azerbaycan'ın elektrik enerjisi kurulu gücü 7542,2 MW'a ulaşmış, yenilenebilir enerji santrallerinin kurulu gücü ise 1304,5 MW olarak kaydedilmiştir, bu da toplam kapasitenin %17,3'ünü oluşturmuştur. Yenilenebilir enerji santralleri arasında büyük hidroelektrik santralleri, rüzgar, güneş ve biyogaz santralleri yer almaktadır. Bu gelişmeler, Azerbaycan'ın yenilenebilir enerjiye yönelik atılacak adımlarla enerji güvenliğini artırma ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma yolunda önemli bir aşama kaydetmesini sağlamaktadır (Rzayeva ve Aliyeva, 2022:66).

Şekil 1

2021 Yılında Azerbaycan'ın Toplam Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü, MW



Kaynak: Guliev, R., Ibadova, F., ve Gasimzade, N. (2023). Sustainable development and renewable energy sources in Azerbaijan. *Scientific Collection «InterConf»*, (148), 46-54.

Mevcut verilere göre Azerbaycan elverişli coğrafi konumu ve iklim koşulları nedeniyle güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal ve hidroenerji gibi çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengindir. Ülkedeki yenilenebilir kaynaklar elektrik ve ısı enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Küçük dağ nehrlerinin mevcudiyeti ülkenin çeşitli bölgelerinde gelecek vaat eden hidroelektrik santrallerinin geliştirilmesinin önünü açmaktadır. Rüzgar enerjisi yüksek potansiyelinin olması nedeniyle Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli yere sahiptir. Ülkede rüzgarlı günlerin sayısı yıllık 250 günden fazladır. Ayrıca Hazar denizinin kıyı kesiminde ve özellikle Abşeron yarımadasında yüksek ortalama yıllık rüzgar hızı verimli enerji üretimi için uygun fırsatlar sağlamaktadır.

Avantajlı coğrafi koşulları nedeniyle Azerbaycan'da güneş enerjisinden yararlanma gücü yüksektir. Bunun yanı sıra yılda 2.400-3.200 saat güneş ışığı alan ülkede güneş enerjisi potansiyeli oldukca fazladır. Çeşitli tarım ve sanayi faaliyetlerinden dolayı her yıl Azerbaycan'da toplanan 2 milyon tondan fazla katı atık ve üretim atığı yakma ve gazlaştırma yolu ile biyokütle enerji üretimi için fırsatlar yaratıyor. Azerbaycan'ın belirli bölgeleri jeotermal enerji kaynakları açısından zengindir. Ülkedeki termal sular potansiyel olarak değerlendirilmesi halinde hem enerji hem de çevresindeki nüfusun ısınma ihtiyaçlarını karşılayabilir (Vidadili vd., 2017:1158).

Her türden yenilenebilir enerji rezervlerine sahip olan Azerbaycan genel olarak her şeyi özel ellere bırakarak riskli bir politika izlemek istemediği için zengin enerji potansiyelini devlet aracılığıyla maksimum düzeyde gerçekleştirmeyi amaçlıyor.

Tablo 8

Azerbaycan Cumhuriyyeti'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli

Potansiyelin türü	*Gücü (MVt)*
Güneş	23,000
Rüzgar	3000
Küçük Hidro	520
Biyokütle	380
Jeotermal	800
Toplam	27,700

Kaynak: (Salayev, 2022), *Azərbaycanda bərpa olunan enerjinin potensialı.* Sputnik Azərbaycan. https://sputnik.az/20221214/azerbaycanda-berpa-olunan-enerjinin-potensiali-449572898.html: Erişim tarihi: 23.07.2024

Azerbaycan'ın elektrik üretiminde yenilenebilir kaynaklarının rolü büyük önem taşımaktadır. 2023 yılında ülkenin elektrik enerjisi üretimi 29,3 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Bu gösterge, 29 milyar kWh elektrik üretildiği 2022 yılına göre 278,3 milyon kWh (%0,9) artışa işaret ediyor. Bu dönemde Azervaycan'ın hidroelektrik santrallerden elektrik üretimi 1.763,2 milyon kWh'ye ulaşmıştır. 2023 yılında, ülkenin enerji sistemindeki kurulu güç 8320,8 MW olup, geçen yıla göre 373,6 MW (%4,7) artış göstermiştir. Artışın 140,6 MW'ı hidroelektrik santrallerinden kaynaklanmaktadır. Azerbaycan'da elektrik sistemi toplam kapasitesi 1301,8 MW olan 46 hidroelektrik santral faaliyet gösteriyor. Yenilenebilir enerji santrallerinin, hidroelektrik santralleri de dahil olmak üzere kapasitesi 1687,8 MW olup, toplam üretim kapasitesinin yaklaşık %20,3'üne denk gelmektedir (Tiflis vd., 2024:22-23).

2021 yılında Tarife Konseyi tarafından Azerbaycan'ın elektrik piyasası sıkı bir şekilde düzenlenmiştir. Azerbaycan'da yenilenebilir enerji ekipmanları için satın alma tarifeleri de dahil olmak üzere tüm elektrik tarifeleri, Tarife Konseyinin 16 Ekim 2021 tarihli 14 sayılı kararıyla belirlenmiştir. Küçük hidroelektrik santraller için tarife kWh başına 0,05 AZN'dir (0,029 ABD doları). Diğer yenilenebilir enerji kaynakları için elektrik tarifleri ise kWh başına 0,057 AZN (0,034 ABD doları) olarak belirlenmiştir. Büyük hidroelektrik santraller herhangi bir satın alma tarifesine uygun değildir. Azerbaycan'daki toptan elektrik tarifesi 2021'den beri kWh başına 0,066 AZN'dir (Gurbanov ve Mammadli, 2024:29-32).

Azerbaycan'da elektrik enerjisi üretimi ve iletiminden sorumlu olan Azerenerji ASC'nin mali yönetiminin eksiklikleri, ülkenin elektrik sektörünün en önemli sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle büyük termik ve hidroelektrik santrallerini kontrol yöneten bu kurumun detaylı mali raporlarına erişim sağlanamamaktadır. Azerenerji ASC'nin 2017 yılında yayınlanan son konsolide edilmiş mali raporuna göre 31 Ocak 2017 tarihi itibarıyla kurumun toplam zararı 2,123 milyon AZN (1,248 milyon ABD Doları) olarak belirtilmiştir. Aynı yıl için net zarar 602.873 bin AZN, toplam uzun vadeli borç ise 1594 milyon AZN (937 milyon ABD Doları) civarında olmuştur. Bu değerler Azerenerji ASC'nin gelirlerinin artmasına rağmen yıl sonunda net zararının 2016 yılına kıyasla neredeyse altı kat arttığına işaret ediyor. Bu olay, Azerenerji ASC'nin istikrarsız mali yapısı ve yönetim sorunlarının Azerbaycan'ın elektrik enerjisi sektörüne olumsuz etkisini ortaya koymaktadır (Rzali ve Dikkaya, 2019:10).

Genel olarak alternatif enerji üreten ülkeler, bu projeleri sadece ekonomik değil, aynı zamanda çevresel projeler olarak da kabul etmektedir. Azerbaycan, zengin mineral kaynaklarına sahip olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına da büyük önem vermektedir. Bu durum, Azerbaycan'da yeşil enerjiye yönelik çeşitli önlemlerle kendini göstermektedir: 2004'te alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin Devlet Programı'nın kabul edilmesi; 2009'da Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'na (IRENA) katılım; 2020'de Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Devlet Ajansı'nın kurulması gibi eylemler ülkede yenilenebilir enerji sektörünün gelişimi açısından önemli olarak kabul edilmektedir (Hamidova vd., 2022:442).

1.3.1. Azerbaycan'da Rüzgar Enerjisi

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) raporuna göre rüzgar enerjisi açısından Azerbaycanda uygun potansiyel olduğuna işaret eden faktorlerden biri de ülkeye Hazar denizi'nden gelen yüksek hava akını yönlendiğinde Abşeron yarımadasında deniz seviyesinden 80 metre yükseklikde rüzgarın 7-8,5 m/san hıza ulaşmasıdır (Rzali ve Dikkaya, 2019:11).

Azerbaycan'daki Büyük Kafkas Dağları, kuzey ve kuzeydoğudan gelen soğuk hava kütlelerinin ülkeye girişini engelleyerek bariyer görevi görür. Bu hava kütleleri dağları aşarak Abşeron Yarımadası'ndan ülkeye girmektedir. Bu nedenle, Azerbaycan'daki yıllık ortalama rüzgar hızı Zagatala'da 1,2 m/s, Abşeron Yarımadası'nda ise 8,6 m/s'ye kadar çıkmaktadır. Ancak, hem denizde hem de karada rüzgar enerjisinin kullanımı, hız ve yön değişikliklerinin düzensiz olmasından kaynaklanan bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Rüzgar hızı, çevredeki unsurlardan büyük ölçüde etkilenir; tepeler, ağaçlar, binalar, dağlar ve kayalıklar gibi faktörler, yerel rüzgar hızını önemli ölçüde değiştirebilir.

Bu nedenle, meteorolojik gözlemler yapılırken, hava rüzgar gülü veya anemometre ile rüzgar türbinlerinin (WM) gölgelenme koşulları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu koşullar, Prof. Greenwich'in sınıflandırmasına göre birkaç farklı kategoriye ayrılmaktadır (Salamov ve Mammadov, 2010:133). Bu sınıflandırma, rüzgar enerjisinin daha verimli kullanılabilmesi için önemlidir, çünkü rüzgar hızındaki değişimlerin doğru bir şekilde analiz edilmesi, enerji üretim kapasitesinin artırılmasına katkı sağlar.

Azerbaycan'ın arazisi, özellikle Abşeron Yarımadası ve Hazar Denizi kıyıları, rüzgar enerjisi kaynakları açısından oldukça zengindir. Bu zenginliğin başlıca nedeni, Büyük Kafkas Dağları'nın kuzey ve kuzeydoğudan gelen soğuk hava kütlelerinin ülkeye girişini

engelleyen bir bariyer rolü oynamasıdır. Bu dağlar, soğuk hava kütlelerinin geçişini engelleyerek bu hava kütlelerinin Abşeron Yarımadası ve Hazar Denizi kıyılarına yönelmesine neden olur. Sonuç olarak, bu bölgelerde rüzgar hızı ve etkisi artar.

Azerbaycan'ın Büyük ve Küçük Kafkas Dağları arasında yer alması, doğusunda Hazar Denizi'nin varlığı, atmosfer dolaşımını etkileyerek Hazri ve Gilavar gibi yerel rüzgarların oluşmasına yol açar. Bu yerel rüzgarlar, Azerbaycan'ın diğer bölgelerinde de rüzgar enerjisinden faydalanma fırsatları sağlar. Azerbaycan'ın birçok bölgesi için rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en uygun olanıdır.

Örnek olarak, Hazar havzasının kuzeybatısındaki adalar, Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti'nin Şerur-Culfa bölgeleri, Gence-Daşkesen bölgesi, Lerik-Kalavaz bölgesi ve Büyük Kafkasya'nın güney yamaçlarında yer alan Gobustan, Şamahı, Altıağaç, Hızı, Haltan-Gyriz gibi bölgeler, yüksek ortalama rüzgar hızı ve potansiyeline sahip olmakla birlikte, aynı zamanda rüzgar enerjisi üretimi için uygun alanlar olarak kabul edilmektedir (Aliyev, 2015:93-94). Bu tür bölgeler, Azerbaycan'ın rüzgar enerjisi üretim kapasitesini artırma açısından stratejik öneme sahiptir.

Azerbaycan Enerji Bakanlığı'na göre, ülke rüzgar enerjisi açısından teknik olarak yaklaşık 3.000 MW kullanılabilir enerji potansiyeline sahiptir. Ekonomik olarak ise, bu potansiyelin yaklaşık 800 MW'lık kısmı uygulanabilir niteliktedir. Bu ekonomik potansiyelden tam anlamıyla faydalanılması durumunda, yılda yaklaşık 2,4 TWh elektrik üretimi sağlanabilir. Bu seviyede bir elektrik üretimi, yıllık olarak yaklaşık 500 milyon metreküp doğal gaz tasarrufu sağlar ve aynı zamanda atmosferdeki ozon tabakasına zarar veren 1 milyon ton karbondioksit (CO_2) emisyonunun önlenmesine yardımcı olur. Rüzgarların en yüksek hıza ulaştığı dönemler ise genellikle Ocak-Nisan ve Eylül-Aralık ayları arasında gerçekleşmektedir (Bekkari, 2023a:37). Bu veriler, Azerbaycan'ın rüzgar enerjisi potansiyelinin çevresel ve ekonomik faydalarını vurgulamakta ve ülkenin enerji stratejisinde bu kaynağın önemini göstermektedir.

Tablo 9

Azerbaycan'da RES İnşası Planlanan Arazilerin Potansiyeli ve Rüzgar Hızları

RES'nin yerleştirileceği araziler	Rüzgarın ortalama yıllık hızı, *m/san*	Muhtemel olan güç *MWt*	Elektrik üretimi, *mln. KVt/s*
Abşeron arazisi.			
Şubanı.	8,0	6,0	16,0
Guzdak.	7,5	5,6	14,6
Pirallahi adası.	6,6	5,0	13,0
Samur-Deveçi bolgesi.	4,5	3,4	8,8
Hazar kıyı bölgesi.	4,2	3,2	8,3
Kazak-Gence bölgesi.	4,0	3,0	7,8
Acınohur-Ceyrançöl bölgesi.	3,8	2,8	7,3
Şirvan ovası.	3,8	2,8	7,3
Kura-Aras ovası.	3,7	2,7	7,0

Kaynak: Zeynalova, M. Ə. (2017). Azərbaycanda alternativ enerji mənbələrindən istifadə edilməsinin ekocoğrafi istiqamətləri, Uluslararası bilimsel dergi Internauka, (14), 24-31.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) verilerine göre, Azerbaycan'da rüzgar enerjisi kurulu gücü yaklaşık 66 megavat (MW) civarındadır. Ülkede şu an aktif olarak faaliyet gösteren 5 rüzgar elektrik santrali bulunmaktadır. Bu santraller arasında, her biri 2.5 MW gücünde olan 20 türbine sahip Yeni Yaşma rüzgar elektrik santrali, her biri 2 MW gücünde olan 4 türbinden oluşan Hokmalı rüzgar santrali, toplam 3.6 MW güce sahip Yaşma Bağları rüzgar santrali, toplam 1.7 MW gücünde olan Şuraabad rüzgar santrali ve her biri 0.03 MW gücünde olan 10 türbinden oluşan Culfa rüzgar santrali yer almaktadır. Bu aktif santrallerin toplam kurulu gücü 63.6 MW olarak kaydedilmektedir.

Bunun yanı sıra, Gobustan Hibrit Enerji Santrali'nde toplamda 3 rüzgar türbini bulunmakta ve bu türbinlerin rüzgar üretim gücü 2.7 MW'dır. Bakü şehri Qaqla semtinde bulunan Ekoloji Park bölgesindeki rüzgar türbinlerinin toplam gücü ise 0.04 MW'dır. Ayrıca, uzmanlar tarafından yapılan ön analizlere göre, Hazar Denizi'nin Azerbaycan'a ait kısmında rüzgar enerjisi için teknik potansiyelin 157 GW civarında olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, işgalden kurtarılan Azerbaycan topraklarında bu potansiyel yaklaşık 2.000 MW olarak öngörülmektedir (Renewables.Az, 2022). Bu veriler, Azerbaycan'ın rüzgar enerjisi potansiyelinin önemli bir kaynak olduğunu ve gelecekte daha fazla kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 10

Azerbaycan'da Rüzgar Enerjisi Üreten Santraller

Santral adı	*Yerleştiği arazi*	*Güç*
Yeni Yaşma RES	Khızı rayonu	50 MW
Yaşma bağları RES	Khızı rayonu	3,6 MW
Şuraabad RES	Khızı rayonu	1,7 MW
Hokmalı RES	Abşeron rayonu	8 MW
Culfa RES	Culfa rayonu	0,3 MW
Gobustan HES	Gobustan rayonu	2,7 MW
Ekoloji Park	Gobu köyü	0,04 MW
Toplam		66 MW

Kaynak: Küləkdən əldə olunan enerji ilə bərpa olunan enerjinin payını otuz faizə çatdırmaq olar, https://renewables.az/news/kulekden-elde-olunan-enerji-ile-berpa-olunan-enerjinin-payini-otuz-faize-catdirmaq-olar-2022-11-28-104258: Erişim tarihi: 25.07.2024

2020 yılı sonu itibarıyla Azerbaycan'da rüzgar enerjisinin toplam kapasitesi 512,5 MW'a ulaşmış olup, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının %28'ini (1830 MW) oluşturmuştur. 2018 yılında Azerbaycan'da üretilen elektriğin %10'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi şaşırtıcı değildir ve önümüzdeki on yıl içinde bu oranın yaklaşık %35'e ulaşması beklenmektedir (Nuriyev vd., 2021:11).

Örneğin 500 kW gücündeki bir rüzgar santrali, kömürle çalışan bir elektrik santraline göre 750-1250 ton karbondioksit ve 3-6 ton diğer zararlı maddelerin salınımını engellemektedir. Enerji geçişinin gereken hız ve ölçekte uygulanabilmesi için, 2050 yılına kadar elektrik sektörünün neredeyse tamamen karbondan arındırılması gerekmektedir. REmap Senaryosu, 2050 yılına kadar enerji üretiminde %86 yenilenebilir enerji payına ulaşmayı hedefleyen bir yol haritası sunmaktadır (Huseynli, 2023:31).

9 Ocak 2020 tarihinde, Azerbaycan Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı ile Suudi Arabistan Krallığı'na ait ACWA Power şirketi arasında bir İcra Anlaşması imzalanmıştır. Bu anlaşma çerçevesinde, ACWA Power tarafından 240 MW kapasitesine sahip bir rüzgar enerjisi santralinin inşasına yönelik pilot projenin hayata geçirilmesi kararlaştırılmıştır. Ardından, 30 Aralık 2020 tarihinde, Azerbaycan Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı, Azerenergy ve ACWA Power arasında Yatırım Anlaşması, Enerji Satın Alma Anlaşması ve İletim Şebekesi Bağlantı Anlaşması imzalanmıştır. Toplamda 240 MW kurulu güce sahip olacak bu proje, Hızı ilçesinin Sitalchay köyü ve Abşeron bölgesinin Pirakeshkul köyünde inşa

edilecektir. Yapılan ön tahminlere göre, santral yılda 1 milyar kWh elektrik üretecek, 220 milyon metreküp doğalgaz tasarrufu sağlayacak, 400 bin tondan fazla karbon emisyonunu engelleyecek ve 300 bin hane halkına elektrik temin edecektir. Projenin toplam maliyeti yaklaşık 300 milyon ABD doları olup, bu yatırım tamamen yabancı sermaye ile finanse edilecektir. 13 Ocak 2022 tarihinde, ACWA Power'ın Azerbaycan'daki rüzgar enerjisi santralinin temel atma töreni gerçekleştirilmiştir (Mammadova vd., 2024:16).

Azerbaycan Devlet Petrol Şirketi (SOCAR) tarafından yapılan araştırmalara göre, Abşeron yarımadası ve kıyı bölgelerinde rüzgarlı günlerin sayısı yıllık ortalama 245-280 gün arasında değişmektedir. Bu bölgelerdeki rüzgarın enerji verimliliği ise Avrupa ortalamalarına kıyasla oldukça yüksektir. Ülkenin diğer bölgelerinde yıllık rüzgarlı gün sayısı ise 20-70 gün arasında değişmektedir. 1999 yılında, Japon Tomen şirketi tarafından Azerbaycan Bilimsel Proje Araştırma Üniversitesi ile işbirliği içinde Abşeron'da her biri 40 metre yüksekliğinde iki kule inşa edilmiştir. Bu kulelerin her birine 30 ve 40 metre yüksekliğinde flügerler montelenmiş ve flügerlerin verileri her 10 dakikada bir otomatik olarak hesaplama makinesine aktarılmıştır. Elde edilen verilere göre, 30 metre yüksekliğindeki flügerin rüzgar hızı ortalaması 7,9 m/san, 40 metre yükseklikteki flügerin ise 8,1 m/san olarak belirlenmiştir. Bu araştırmalar sonucunda, Tomen şirketi, Gobustan bölgesinde toplam 30 MW gücünde bir rüzgar enerjisi santralinin kurulumu için fizibilite raporu hazırlamıştır. Uzmanlar, Abşeron yarımadasında rüzgar türbinlerinin yaygın şekilde kullanılması durumunda, bu alanda ülke ekonomisine önemli katkılar sağlanabileceğini ve enerji dengesinin %20'sinin rüzgar enerjisinden elde edilebileceğini belirtmektedir (Zeynalova, 2017:30).

Azerbaycan, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek amacıyla 15 Ekim 2005 tarihinde Bakanlar Kurulu'nun aldığı 187 sayılı karar gereği, devlet rüzgar enerjisi ekipmanlarının ithalatını gümrük vergileri ve harçlarından muaf tutmuştur. Bu karar, rüzgar türbinlerinin kurulumu ve rüzgar enerjisinin potansiyelinin etkin kullanımı adına önemli bir adım olmuştur. Diğer bir önemli gelişme ise 6 Ocak 2007 tarihinde Azerbaycan Cumhuriyeti Tarife Kurulu tarafından alınan ve "Respublika arazisinde elektrik enerjisi tarifelerinin düzenlenmesi" hakkında yayınlanan 3 numaralı karardır. Bu karara göre, rüzgar enerjisi santrallerinin üretim tarifesi 1 kWh için 0,045 AZN (KDV dahil) olarak belirlenmiştir (Gurbanova, 2018:38).

Son yıllarda, artan enerji talebi, ekonomik dalgalanmalar ve mevcut fosil yakıtların tükenebilir olması gibi faktörler, Azerbaycan'da rüzgar enerjisi yatırımlarını oldukça önemli

bir hale getirmiştir. 2018-2020 yılları arasında Azerbaycan'da kurulan rüzgar enerjisi santralleri için toplamda yaklaşık 944,1 milyon AZN yatırım yapılmıştır. Bu santraller arasında Khızı-1 RES (Shurabad), Khızı-2, Khızı-3, Abşeron hidroelektrik santrali (rüzgar bileşeni içeren), Gobustan hidroelektrik santrali (rüzgar bileşeni içeren) ve Lökbatan RES yer almıştır. Hükümet, 2020 yılının sonuna kadar toplamda 350 MW kurulu güce ulaşmayı hedeflemiştir. Bu hedef doğrultusunda, 2018 yılında yapılan yatırımın %36'sı (345 milyon AZN), 2019 yılında %44,5'i (419,9 milyon AZN) ve 2020 yılında %19'u (179,2 milyon AZN) gerçekleştirilmesi planlanmıştır (Yusifov, 2018:15). Ancak mevcut verilere göre, yatırım, kurulu güç ve santral inşaatı hedeflerine ulaşılmasında tam anlamıyla başarı sağlanamamıştır.

Azerbaycan'daki rüzgar kaynakları ve enerji potansiyelinin ilk değerlendirmesi 2002 yılında yapılmış olup, 0-30 metre yükseklikte yıllık 800 MW'lık bir rezerv tespit edilmiştir. Bu veriler, Azerbaycan Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Devlet Ajansı (SAARE) tarafından yapılan ikinci değerlendirmeyle genişletilmiş ve 2009 yılında 0-50 metre arasındaki yükseklikler dikkate alınarak yıllık kapasite 4,500 MW olarak öngörülmüştür. En son değerlendirme ise Azerbaycan Enerji Bakanlığı ve Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) işbirliğiyle gerçekleştirilmiş olup, yıllık 3,000 MW'lık rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Buna rağmen, SAARE raporu, Azerbaycan'ın 2030 yılına kadar yıllık 402 MW rüzgar enerjisi üretmeyi hedeflediğini belirtmiştir (Mustafayev, 2021:47).

2002 yılında yapılan yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde Abşeron Yarımadası'nın rüzgar enerjisi açısından büyük bir potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir. Abşeron Yarımadası ve Hazar Denizi kıyı bölgeleri, yılda 270 günden fazla kuvvetli rüzgarlara maruz kalmaktadır. Rüzgar, Azerbaycan topraklarına Hazar Denizi kıyısındaki dar bir şeritten ve Büyük ve Küçük Kafkas Dağları arasındaki vadiden girdiği için çevre bölgelerde rüzgar yoğunlaşması sık görülen bir fenomen haline gelmiştir. 2017 yılında SAARE tarafından gerçekleştirilen araştırmalara göre, 80 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızı 7,0–8,5 m/s arasında değişmekte olup, bu değer, IRENA'nın enerji potansiyel sınıflandırmasında oldukça elverişli bir düzeyde değerlendirilmektedir (Aydın, 2019:9).

Mevcut ölçüm noktalarından elde edilen verilerin karşılaştırmalı analizi, Azerbaycan için bir rüzgar hızı haritası oluşturulmasında Global Wind Atlas, Gmos-5 ve Merra-2 uyduları gibi kaynakları kullanmıştır. Cumhuriyetin topraklarında yıllık ortalama minimum

rüzgar hızı 1,95 m/s, maksimum rüzgar hızı ise 5,6 m/s olarak belirlenmiştir. Ortalama rüzgar hızı 3,5 m/s'nin üzerinde olan alanlar ise çoğunlukla Abşeron Yarımadası'nda yer almaktadır. Yapılan veri analizi, uydular tarafından ölçülen rüzgar hızının mevcut gözlem noktalarından 0,81 m/s daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, rüzgar enerjisi potansiyeli, Global Wind Atlas'ın temel verilerine dayalı olarak yeniden incelenmiştir (İmamverdiyev, 2023:26).

Rüzgar enerjisi kaynaklarının tam kullanımı durumunda, Azerbaycan'ın yıllık elektrik talebinin %9,6'sının rüzgar enerjisinden karşılanabileceği hesaplanmaktadır. Rüzgar enerjisi, pratikte tükenmeyen bir kaynaktır ve yıllık enerji üretim kapasitesi $1{,}58 \cdot 10^{16}$ kWh olarak hesaplanmaktadır. Diğer geleneksel enerji kaynakları, özellikle sıvı ve katı yakıtlarla karşılaştırıldığında, rüzgar enerjisinin üretimi ve taşınması için herhangi bir maliyet bulunmamaktadır. Kura Ovası'nda kurulan hava istasyonları, düşük hızlı rüzgar türbinlerinin (10 kW'a kadar) ve enerji depolama sistemlerinin kullanımı için uygundur. Bu istasyonlar, rüzgar enerjisinin pratik kullanımında yüksek verimlilik sağlamaktadır. Yüksek hızlı rüzgar türbinlerinin kullanımı için ise, her bölge için yerden optimal türbin yüksekliğinin seçilmesi gerekmektedir (Salamov ve Mammadov, 2010:133).

Hazar kıyı bölgelerinde, 40-50 metre yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızı 5,5-6 m/s iken, Abşeron Yarımadası'nda bu hız 20-30 metre yükseklikte ölçülmektedir. Ayrıca, Abşeron Yarımadası'nda kuvvetli rüzgarlar (21 m/s'ye kadar) sıklıkla görülmektedir. Shuvalan'da 127 gün, Sumgait'te 95 gün, Maştağa'da 40 gün, Pirallahi'de 37 gün ve Bakü'de 35 gün boyunca kuvvetli rüzgarlar esmektedir. Abşeron Yarımadası dışında, Azerbaycan'da rüzgar enerjisi üretimi için uygun koşullara sahip üç başka bölge daha bulunmaktadır: Kuzeydeki Sumgait ve Khizi ilçelerinin ova alanları, Kalbajar-Lachin ilçeleri ve Ganja-Qazakh ekonomik bölgesi. Bu bölgelerde rüzgar hızı ve güç yoğunluğu Abşeron Yarımadası'na oldukça yakın olup, 100 metre yükseklikte ortalama rüzgar hızı 9 m/s'ye kadar çıkmaktadır. Bu bölgelerde rüzgar enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olup, uygun altyapı ile verimli şekilde kullanılabilir (Mustafayev, 2021:137).

Tablo 11

Azerbaycan'da Yıllık Rüzgar Enerjisi Üretimi

İl	*Rüzgâr Enerjisi İstehsalı (MW)*	*Toplam Güç (MW)*	*Rüzgâr Enerjisi Yatırımı (mln AZN)*
2013	0.8	-	159.5
2014	2.3	-	34.9
2016	150.0	150.0	-
2018	150.0	300.0	-
2020	212.5	512.5	-

Kaynak: Azerbaycan Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı, (2019). Külək enerjisi potensialının ölçülməsi. https://minenergy.gov.az/az/maariflendirici-melumat/kulek-enerjisinin-potensialinin-olculmesi: Erişim tarihi: 17.07.2024

Nahçıvan'ın Sharur, Culfa ve Ordubad ilçeleri de rüzgar enerjisi potansiyeli taşıyan bölgeler arasındadır. Ancak, bu bölgelerde rüzgar hızı, Abşeron Yarımadası'na kıyasla daha düşüktür ve yıllık ortalama hız 3-3,5 m/s civarındadır. Bu düşük hız, bölgenin coğrafi özelliklerinden kaynaklanmaktadır; kuzeyden gelen soğuk hava akımları ve güneyden gelen sıcak hava kütlelerinin etkileşimi nedeniyle rüzgarlar, Culfa ve Ordubad'da orta şiddetli olarak meydana gelmektedir. Gence-Daşkesen bölgesinde ise yıllık ortalama rüzgar hızı 3-3,5 m/s olup, yılda 95 rüzgarlı gün kaydedilmektedir (İmamverdiyev, 2023:24).

Azerbaycan 2014 yılından beri aktif RES'inden rüzgar enerjisi üretmektedir. Yenilenebilir enerji sektörüne 2013-2014 yıllarında toplam 732,9 milyon AZN yatırım yapılmış olup, bu yatırımdan 159,5 milyon AZN (%22) rüzgar enerjisine ayrılmış ve RES'nin elektrik elektrik üretiminde toplam kurulu gücü 66,1 MW olarak tayin edilmiştir. Alternatif enerji kaynaklarına 2014 yılında toplam 63,6 milyon manat yatırım yapılmış olup, bu miktardan 34,9 milyon AZN (%54,8) rüzgar enerjisinin payına düşmüştür. Dünya genelinde rüzgar enerjisi üretiminin ortalama maliyeti kWh başına 2,149 dolar, Azerbaycan'daki tahmini finansal maliyeti ise kWh başına yaklaşık 2,354 dolardır. Rüzgar enerjisinin kullanımına yönelik büyük beklentilere rağmen, bu sektörün geliştirilmesi için gerekli olan Kinetik Enerji Üretim Sistemleri (KEG) ithal edilmektedir.

Ülkede KEG'lerin olmaması durumunda Azerbaycan sürdürülebilir bir alternatif enerji üreticisi olsa bile, bu alanda dışa bağımlılığını sürdürmenin yanı sıra teknolojik geri kalmışlık her zaman kaçınılmaz olacaktır. Örneğin, Gobustan ve Yeni Yaşma'daki rüzgar

türbinleri okyanus bölgesi için tasarlanmıştır. Daha bir örnek ise Abşeron ekonomik bölgesinde iki tür rüzgar (Hazri ve Gilavar) esmesine rağmen bu bölgede kurulan santraller yalnızca Hazri için hesaplandığından tek taraflı olarak çalışmaktadır. Ülkede alternatif enerjinin kullanımını genişletmek için, devletin mali desteğinin yanı sıra, bireysel kullanıcılar için teşvik edici önlemler alınmalıdır. Bunun nedeni, devlet bütçesinden bu alana ayrılan fonlarla santrallerin ya elverişsiz bir alana inşa edilmesi ya da biraz çalıştıktan sonra teknik sorunlarla karşılaşılması ve sonunda çok fazla paranın boşa gitmesidir (İsayev, 2022:16-18).

Enerji üretimi sürecinde rüzgar enerji istasyonlarının özellikle değerlendirme üzerine kurulumu ve tasarlanması onların faaliyetlerini önemli ölçüde etkilerken, çevresel ve sosyal kabul edilebilir olmaları için koşullar sağlamaktadır. Rüzgar jeneratörlerinin üretimi ve montajı sadece teknolojik kadro ile değil, aynı zamanda farklı alanlardaki uzmanlarla ortaklaşa yürütülmelidir. Örneğin konaklama ve yerleşim bölgelerine yakın yerlerde kurulan rüzgar jenerötörlerinin yaydığı gürültünün, infrasound'un ve titreşimin izin verilen sınırları aşmamasını sağlamak için sosyologların ve standardizasyon uzmanlarının bu sürece katılımı övgüye değer olurdu. Öte yandan dağ geçitleri ve yamaçlara kurulan rüzgar türbinlerinin bu bölgelere mevsimsel olarak göç eden kuşların manyetik akışlarından ayrılarak doğal ritüellerini bozmaması ve elverişsiz bölgelere göç etmelerine neden olmaması için önceden ekolojistlere danışılması gerekiyor.

Ayrıca rüzgar enerjisi tesislerinin bulunduğu alanlarda ulaşılabilirliğin ve operasyonel ilerlemenin sağlanması için yerel yürütme ve özyönetim organlarıyla birlikte oluşabilecek bir kaza sırasında esnek davranışlar sergileyerek, karşılıklı ve ortak çalışma yapmak, periodik teknik çalışmaların yapılması ve yürütülmesi için gereklidir. Bunun yanı sıra toplumsal kabul edilebilirlik açısından rüzgar türbinlerinin kurulumu gibi faaliyetler önceden bölge halkına danışılmalı ve halkın projeyi desteklemesi yapılan işlerin daha şeffaf ve katılımcı bir süreçle gerçekleştirilmesini sağlar (Babuşov, 2020:216-218).

1.3.2. Azerbaycan'da Güneş Enerjisi

Doğu Avrupa ve Batı Asya'nın birleştiği Kafkasya bölgesinin güneydoğusunda bulunan Azerbaycan, coğrafi konumu ve iklim koşulları nedeniyle güneş enerjisi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Azerbaycan toprakları 39°24' ve 41°54' kuzey enlemleri ile 44°46' ve 50°45' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Azerbaycan'ın bulunduğu kordinatlar nedeniyle yüksek düzeyde güneş ışığı alan enlemlerde yer aldığı görülmektedir. Bu yönüyle Azerbaycan'ın güneş radyasyonu açısından konumu avantajlı ve iklimi çeşitli

olarak, ılıman iklimden subtropikal iklime geçiş karakterindedir. Ülke iklimi, çok sayıda güneşli gün (özellikle yaz aylarında), yüksek hava sıcaklığı ve yıl boyunca az yağış ile karakterize edilir. Bölgenin çoğu kısmında radyasyon dengesi yılın 9 ayı, Hazar Denizi'nin kıyı kesimlerinde ise yılın 10 ayı pozitiftir (Nicat vd., 2023:19).

Yapılan hesaplamalara göre 50. enlem güneyinde yer alan bölgelerde güneş enerjisi cihazlarının kullanımı oldukça avantajlıdır. Ayrıca Azerbaycan topraklarına düşen güneş radyasyonlarının yoğunluğu göz önüne alındığında, bu bölgede güneş enerjisinin gelişiminin daha umut verici olduğu söylenebilir. Güneş enerjisinin geliştirilmesi Azerbaycan'ın birçok şehrinde enerji sorununu büyük ölçüde çözebilir. Yapılan araştırmalar sonucunda Azerbaycan'ın çoğu şehrinde güneşlenme miktarının Avrupa'nın ilgili bölgelerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak dünyanın farklı şehirleri 1 m2 için alan başına düşen güneşlenme miktarı: Budapeşte'de 1,38 MW, Moskova'da 1,01 MW, St. Petersburg'da 0,93 MW, San-Francisco'da 1,39 MW gibi göstergelere sahip olsa da, Bakü'de 1,40 MW olarak gözlemlenmiştir (Zeynalova, 2017:29).

Azerbaycan'ın iklim koşulları, güneş enerjisi kullanarak elektrik ve ısı üretimini artırmak için birçok fırsat sunmaktadır. Örneğin, Azerbaycan'da yıllık kullanılabilir güneş ışığı enerjisi miktarının 1300 kWh/m2 olduğu düşünülmektedir. Güneş enerjisinin geliştirilmesi, ülkenin uzak bölgelerindeki elektrik kıtlığına ilişkin sorunları kısmen çözebilir. Tüm ülke genelinde güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olmasına rağmen, büyük ölçekli bir güneş enerjisi tesisi henüz bulunmamaktadır (Sertkaya ve Baş, 2020:357).

Azerbaycan'da yıllık güneşli saatlerin 2400-3200 civarında olması, güneş enerjisinden ısı ve elektrik enerjisi üretimi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Azerbaycan'ın bozkır ve etek bölgeleri güneş ışığı bakımından zengindir. Örneğin, Kura-Aras ovalarında ve Abşeron yarımadasında güneşli saatlerin yıllık sayısı 2200-2400 aralığında ve Nahçıvan'da bu sayı ortalama 2600 ila 2800 saat arasında değişmektedir. Ayrıca ülke genelinde güneşli günlerin sayı oldukça yüksektir. Kura-Aras ovaları, Abşeron yarımadası, Gobustan ve Nahçıvan bölgeleri yılda yaklaşık 250-300 gün güneş ışığı almaktadır. Güneş radyasyonu ülkede eşitsiz bir şekilde dağılmıştır. Azerbaycan'da 1cm2 başına düşen yıllık radyasyon miktarı Kura-Aras ovasında 128-132 kcal ve en yüksek güneş radyasyonu Nahçıvan Özerk Cumhuriyetinde 148-160 kcal'dir. Bunun yanı sıra Lenkeran ovası gibi etek bölgelerinde 1sm2 başına düşen yıllık güneş radyasyonları 40-60 kcal aralığında gözlemlenirken, bazı yüksek dağlık alanlarda bulutluluk ve sislerin yoğun olması nedeniyle güneş radyasyonu 15-25 kcal'a kadar düşüyor (Huseynova, 2015:19).

Azerbaycan Kafkasya'da güneş radyasyonunun en büyük alıcısı olduğundan, "Güneşli Azerbaycan" olarak adlandırılmaktadır. En yüksek güneşli saat oranları, özellikle Nahçıvan'da (yılda ortalama 2900 saat), Kura-Aras ovalarında, Ceyrançöl'de ve Abşeron yarımadasında (yılda ortalama 2200-2400 saat), Büyük ve Küçük Kafkasya'nın orta ve yüksek dağlarında (yılda ortalama 2100-2400 saat) olarak gözlemlenmektedir. Ayrıca ülkenin merkezi, nehir vadileri, kuzey ve kuzeybatı bölgeleri de güneş enerjisi açısından zengin olarak kabul edilirler. Azerbaycan'da güneş enerjisi zengin olmasına rağmen, hala yetersiz şekilde kullanılmaktadır. Gelecekte bu tükenmez yenilenebilir enerji kaynağı verimli bir şekilde kullanılırsa, çok sayıda tükenme tehlikesi olan hammaddelerin kurtarılması ve çevrenin ekolojik dengesinin korunması için elverişli koşullar yaratılacaktır (Azizov ve Mammadova, 2022:53).

Azerbaycan her yıl önemli miktarda elektrik üretmeye yetecek kadar güneş ışığı almaktadır. IRENA'nın Azerbaycan'ın güneş potansiyeline ilişkin değerlendirmesi ülke arazisinde 23.000 MW teknik olarak kullanılabilir güneş enerjisi potansiyelini keşfetti. Hükümet kaynaklarına göre, Azerbaycan'da yıllık metrekare başına düşen güneş enerjisi miktarı yaklaşık 1,5-2 MWh (1500-2000 kWh) olarak belirlenmiştir. SAARE raporlarına göre Azerbaycan'da güneş enerjisi radyasyon seviyesi 170 ila 260 W/m2 açıklanmıştır. En yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olan alanların Azerbaycan'ın ekonomik merkezlerinden ve büyük şehirlerinden (Bakü gibi) uzakta yer alması bu enerjinin merkeze iletilmesinde zorluk yaratacağı belirtilmelidir. Enerji Bakanlığı ve çeşitli yabancı açık kaynaklara göre Azerbaycan'da günlük güneşli saatler ortalama 7-8 saat arasında değişmektedir. Bu göstericiler, % 20 verimlilik oranına sahip olan 1,6 m2 monokristal fotovoltaik enerji sistemleri (en sık kullanılan ve erişilebilir paneller) düşünüldüğünde, kurulan tek bir monokristal panelden 0,375 kWh/gün veya 11,25 kWh/ay değerinde enerji elde edilebilir. Genel olarak bakıldığında, eğim derecesi hava sıcaklığı, gölge, sis, yogun bulutluluk ve yağmur gibi bir takım iklimsel nedenler fotovoltaik panellerin verimlilik oranı ile ilgili yapılan hesaplamaların sonuçlarını değiştirebilir (Mustafayev, 2021:55).

Dünya Bankası'nın Küresel Güneş Atlası, Azerbaycan için belirli PVOUT (Photovoltaic Output) fotovoltaik üretim kapasitesi (enerji üretim panellerinin belirli bir bölgede ortalama elektrik üretim kapasitesini ifde eder) göstergesinin 3,21-4,48 kWh/kWp arasında değiştiğini doğrulamaktadır. Ülkede günlük doğrudan normal ışınlanma DNI (Direct Normal Irradiance) ve kuresel yatay ışınlanma GHI (Global Horizental Irradiance) göstergeleri sırasıyla 2,71-4,84 kWh arasında değişmektedir. Bunun yanı sıra Azerbaycan

arazisinde günlük eğik yüzeylerdeki toplam ışınlanma GTI (Global Tilted Irradiance) ve kapalı günlerde gözlemlenen atmosferdeki parçacıklar tarafından yayılmış ışınım DIF (Diffuse Irradiance) değerleri sırasıyla 3,82-5,56 kWh ve 1,55-1,93 kWh olarak belirtilmiştir. Ayrıca ülkedeki güneş panellerinin enerji üretimi zamanı maksimum verimlilik elde etmesi için optimum eğim açısı OPTA (Optimum Tilt Angle) göstergesi 29-37° ve Ülkenin rakımı (yükseklik) ELE (Elevation) deniz seviyesine göre en düşük ve en yüksek bölgeleri -28 ila 4466 metre göstergelerine sahiptir (Global Solar Atlas, b.t.).

Güneş fotovoltaik güç tesisleri için en uygun yerler, enerji potansiyeli alanlarının meteorolojik, ekonomik ve çevresel kriterlerinin kapsamlı şekilde değerlendirmesiyle belirlenir. Uzmanlar tarafından yapılan araştırmalar zamanı Azerbaycan topraklarının %1,17'sinin (1016,8 km2) güneş elektrik istasyonları kurulumu için uygun sahalar olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu alanlar esas olarak Hızı, Gobustan, Hacıgabul, Beylagan, Şarur, Babek ve Ceyrançol bölgelerini içerir. Ülke genelinde GES kurulumu açısından elverişli olan araziler uygunluk seviyelerine göre 3 kategoriye ayrılmış olup 40 sahayı içerirler. GES kurulumu açısından yüksek uygunluklu sekiz sahanın hepsi Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti'nde olup, toplam potansiyel alanının %11'ini (109,2 km2) içermektedir. Orta ve düşük enerji üretim potansiyeline sahip alanlara karşılık gelen kalan 32 saha sırasıyla GES kurulumu açısından elverişli bölgelerin %28'ini (284,6 km2) ve %61'ini (623 km2) kapsamaktadır. Bu alanlar tamamen güneş enerjisi üreten panellerle kaplandığında ülkenin enerji ihtiyacının tamamını güneş enerjisiyle karşılamak mümkün olacak. Büyük ölçekli fotovoltaik güneş santrallerinin kurulması için temel kriter çok yüksek güneş ışınım değerleridir. GES kurulumu açısından uygunluk oranı orta ve yüksek olan alanlar yıllık 1400 kWh/m2'nin üzerindeki yerleri içerir. Yüksek enerji potansiyeline sahip tüm bölgelerde güneş panellerinin en verimli enerji üretimi için hava sıcaklığı 25 °C olduğundan, yıllık ortalama sıcaklığı 10-18 °C olan alanlarda tesis kurulumu için uygun alanları seçerken dikkate alınması gereken birincil faktörlerden biridir (İmamverdiyev, 2021a:76-79).

Tahminler 2030-2050 yıllarına kadar Azerbaycan'daki ham petrol tüketiminin %50-55 ve gaz talebinin %20-25 olacağını göstermektedir ki, bu da ülkenin ihracatlarına bağlı olarak hidrokarbon stokunun önemli ölçüde azalmasına yol açabilir. Bu açıdan, güneş enerjisinin uygulanması için Azerbaycan'daki güneş enerjisi potansiyeline ilişkin nesnel kanıtlar önemlidir. Azerbaycan'ın güneş kadastrosunun geliştirilmesi, Cumhuriyet'in farklı bölgelerinde güneş enerjisi tesislerinin inşası sırasında teknik ve ekonomik olarak faydalı

güneş enerjisi potansiyellerinin varyantlarını tahmin etmeyi sağlar. Nahçıvan'da, fotovoltaik kurgusunun yıllık spesifik elektrik üretimi potansiyeli ve cihaz kapasitesi 246 kWt-saat, Kura-Aras ovasında ve Abşeron yarımadasında 230 kWt-saat miktarındadır. Azerbaycan'da güzel havalarda, yatay yüzeye düşen doğrudan güneş radyasyonunun yıllık ortalama endeksi, deniz seviyesinden başlayarak kuzeyden güneye doğru artar. Ülkenin dağlık bölgelerinde güneş radyasyonu miktarı genellikle diğer yerlerden daha yüksektir. Ülke arazisinde dağlık bölgelere düşen dağınık güneş radyasyonu ise, doğrudan güneş radyasyonuna kıyasla bulutlu ve kapalı hava koşullarında dağılan radyasyon parçacıkları nedeniyle düşük seviyelerdedir (Sadigov, 2018a:6).

Nahçıvan Özerk Cumhuriyyeti güneşli günlerin ve yıllık radyasyon miktarına göre ülkenin diğer bölgelerine kıyasla ilk sıradadır. Yıllık en fazla güneşlenme saati Nahçivan'ın, Arazboyu ovasında görülür (ortalama 2900-3200 saat). Ayrıca Nahçıvan'da yıllık güneş radyasyonu miktarı da diğer bölgelere göre daha yüksektir. Burada ovalardan dağlara kadar olan toplam güneş ışınımının yıllık miktarı metrekare başına 192 W veya cm2 başına 165 kcal'a kadar yükselir. Bu nedenle bölgede güneş enerjisi santrallerinin yapımı uygundur. 2015 yılında Babek ilçesinin Khal-Khal köyü yakınında inşa edilen Nahçıvan (Babek) GES 20 MW gücünde ilk kez işletmeye alındı.

Daha sonra 2017 yılında istasyonun proje kapasitesi daha 2MW artırılarak 22 megavata çıkarıldı. 2020 yılında ise Kangarlı ilçesinin Kabilli köyünde 5 hektarlık bir alanı kaplayan 3MW kapasiteli yeni bir GES kullanıma sunuldu. Haziran 2021'de Nahçıvan'ın Culfa ilçesinde Yeni Rüzgar-Güneş hibrit enerji santrali devreye alındı. Bunun yanı sıra 2021'de Şarur ilçesinde 5 MW toplam kapasiteli güneş elektrik santrallerinin kurulması bu bölgede enerji sektörünün gelişmesinde önemli rol oynadı. Nahçıvan'da GES'ler toplam 39 MW kapasiteyle çalışmaktadır. Şu anda Nahçıvan'ın enerji üretiminin yaklaşık %60-65'i Alternatif enerji kaynaklarından oluşmaktadır ki, bunun yaklaşık %15'i GES'de üretilmektedir (Kazımov ve Novruzova, 2021:227).

Azerbaycan'ın büyük bölgelerindeki kurak ve subtropikal iklimler ülkede güneş enerjisini oldukça uygun hale getirir. Abşeron Yarımadası ve Azerbaycan'ın merkezi bölgeleri Nahçıvan'dan sonra ikinci en güneşli bölge olarak kabul edilir. Abşeron yarımadasında ilkbahar sonu, yaz ve sonbahar başındaki hava genellikle bulutsuz ve güneşli olarak nitelendirilir. İklim nedeniyle, Bakü ve Abşeron-Hızı ekonomik bölgelerine düşen yıllık güneş enerjisi radyasyon miktarı cm2 başına 130 ila 135 kcal arasındadır. Bu miktar Azerbaycan için ortalamanın biraz altında kabul edilir ve bu bölgeler %28,57 ila %42,85

aralığında güneş enerjisi verimliliğine sahip olarak sınıflandırılır. Ortalama bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bölgede sadece Mayıs 2014'de inşaatı tamamlanmış Surakhani yerleşiminde bulunan ve kapasitesi sadece 1,4 MW olan bir GES vardır. İstasyonun toplam alanı 7 hektardır. Alat, Hacı, Zeynalabdin ve diğer yerleşim yerlerinde de bazı küçük fotovoltaik enerji istasyonları bulunmaktadır, ancak bunların enerji çıktıları ya düşüktür ya da çalışmamaktadır.

Bu bölgelerde GES'lerin daha fazla uygulanması için fotovoltaik enerji ana ilgi alanıdır, ortalamanın altında bir güneş enerjisi endeksi yoğunlaştırılmış güneş enerjisi istasyonlarını (CSP) yalnızca sıcak mevsimlerde faydalı hale getirir. Ancak özellikle yarımadanın Khizi ile Yashma bölgeleri arasındaki sahipsiz araziler her türlü GES için bir yer olarak kullanılabilir. Sınırlı biyolojik çeşitlilik ve iklim, bu bölgelerde hem CSP hem de fotovoltaik santral inşa edilmesini mümkün kılar (Hajizade, 2024:5719).

2020 yılında Azerbaycan'ın Dağlık Karabağ bölgesindeki toprakların Ermeni işgalinden kurtarılması, bu arazilerin yeşil enerji alanlarına dönüştürülmesi ve bölgede güneş elektrik santrallerinin geliştirmesine imkanlar sağlayacak. Küçük Kafkasya dağlarının güneydoğusunda bulunan bu bölge, Hocavend, Hankendi, Ağdam, Fuzuli, Şuşa, Hocalı, Terter, Cebrayıl gibi şehirleri kapsamaktadır. Bölgede yıllık güneşli saatlerin miktarı 2000-2400 civarındadır. Karabağ topraklarının büyük bir kısmı dağlık alanlardan oluşsa da, bölgenin temiz ve şeffaf havası güneş enerjisi tesislerinin kurulumu için avantaj sağlamaktadır. Burada yatay yüzeye düşen doğrudan güneş radyasyonunun ortalama yıllık göstergeleri 1600-1700 kWh arasında değişmektedir. Fuzuli, Zengilan, Cebrayıl ve Gubadlı şehirleri güneş enerjisi açısından Karabag'ın en potansiyelli bölgeleridir. Bu alanlara kurulacak güneş enerjisi cihazları evlerin ve tarım alanlarının elektrik ve sıcak su talebini karşılayabilir. Karabağ'ın ekonomik olarak 4000 MW, teknik olaral ise 7200 MW güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır (Alizada, 2022:10).

Ülkedeki korunan alanlar, tarım arazileri, milli parklar, sanayi kentleri ve tarihi yerler güneş enerjisi santrali kurulum alanlarından kısıtlama alanları olarak hariç tutulmuştur. Ayrıca, yerleşim alanları, sanayi alanları, ormanlıklar ve verimli topraklar, saha yararlılığı değerlendirmelerinde, bölge için güneş enerjisi üreten tesislerin kurulumu zamanı sınırlayıcı faktörler olarak kabul edilmektedir. Azerbaycan'ın Şeki-Zagatala, Guba-Haçmaz, Lenkeran ve Kelbecer-Laçin gibi bölgeleri düşük yoğunluklu güneş radyasyonu, yıllık bulutluluk oranı, yetersiz rahatlama, altyapı eksikliği ve yüksek kurulum maliyetleri nedeniyle GES kurulumu açısından düşük uygunluk bölgelerine dahil edilmiştir. Model uygunluk

değerlerine göre, Hızı, Hacıgabul ve Gobustan bölgeleri yüksek elektrik tüketim alanları, geniş kullanılmayan alanlar ve yatay yüzeyde orta düzeyde doğrudan güneş ışınımı nedeniyle GES kurulumu için orta düzeyde uygun alanlar olarak belirlenmiştir. Ekonomik, çevresel ve meteorolojik kriterler dikkate alındığında güneş santrallerinin kurulumu için en uygun bölgeler sırasıyla Nahçıvan, Abşeron, Gence-Kazak ve Aran'dır (İmamverdiyev, 2021a:81-87).

Azerbaycan topraklarında güneş enerjisi üretimi açısından değerli olan özellikle "monokristal silisyum" gibi hammadde ve elementlerin büyük miktarda rezervlerinin bulunduğu dikkate alındıkta, bu durum yakın gelecekte güneş enerjisi ekipman ve cihazlarının üretiminin yapılması için uygun koşullar sağlamaktadır (Zeynalova, 2017:29).

2009'da faaliyete başlayan Sumgayıt Teknolojiler Parkın'da güneş kollektörleri üretim tesisi kurulmuştur. Devlet Ajansı'nın desteği ile 24 Nisan 2012 yılında Sumgayıt Teknoloji Parkın'da yıllık 25 MW üretim kapasiteli güneş panelleri, led lambaları ve ısı pompaları üreten "Azguntex" tesisinin ilk hattı faaliyete başlamıştır. Tesis 2012 yılında uluslararası standartlar ve yüksek kalite uyumluluğu bakımından TÜV Rheinland fotovoltaik modül yeterlilik sertifikası ile ödüllendirilmiştir. Daha sonra tesisin ikinci hattı kurularak yıllık üretim kapasitesi iki katına yükselerek 50 MW olmuştur. Fabrikada üretilen güneş panelleri sadece Azerbaycan'da satılıyor. Ancak asıl amaçlardan biri de, bu cihazların gelecekte yurt dışına ihraç edilmesidir (Sadigov, 2018b:59).

Azguntex şirketi, Azerbaycan Cumhuriyeti'nde "Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımına İlişkin Devlet Programı" ve "Bakü ve Yerleşimlerinin Sosyo-Ekonomik Kalkınmasına İlişkin Devlet Programı" çerçevesinde 2011-2013 yıllarında okullara, anaokullarına ve sağlık sektörüne güneş panelleri, fotovoltaik sistemler ve ısı pompalarının kurulumunu gerçekleştirmiştir. Bu projeler, çevre kirliliğine ilişkin farkındalığı artırmayı ve sakinlere yeşil elektrik ve ısıtma sağlayarak çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla hayata geçirilmiştir.

Şirket tarafından amaçlara uygun olarak okullara çevre dostu güneş elektrik ve ısıtma cihazları sağlamak ve enerji sürdürülebilirliğine ilişkin bilinçlendirmeyi oluşturmak için, Bakü'nün farklı bölgelerindeki 10 okula güneş panelleri ve ısı pompaları kuruldu. Ayrıca şirket, Beylagan bölgesinin Hocavend yerleşimindeki spor komplekslerine ve Masallı'daki kapalı oyun alanlarına enerji üretimi maksadıyla 50 kWh ve 76 kWh güç üretim kapasitesine sahip güneş panelleri ve ısı pompaları kurdu. Aguntex şirketi bunun yanı sıra Hovsan yerleşimindeki bir çocuk sağlık merkezine 35 kWh kapasiteli bir güneş enerjisi

istasyonu ve 60 kWh kapasiteli bir ısıtma sistemi kurmuştur. Azerbaycan'daki güneş enerjisi potansiyelinin muazzamlığı göz önüne alındığında, ülkede GES'lerin inşası devam etmektedir (Vidadili vd., 2017:1160).

Azerbaycan'da güneş enerjisi aracılığıyla yenilenebilir enerji üretimi ana hedeflerden biri olarak kabul edilir. Ülke genelinde iş yerleri ve çeşitli kamu binalarının çatıları da dahil olmak üzere birçok fotovoltaik güneş enerjisi tesisleri kurulmuştur.

- Surakhani Güneş Enerjisi Santrali, Devlet Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Ajansı'na bağlı olarak yönetilmekte ve işletilmektedir. Santralin inşası Mart 2014'de başlamış kısa süre sonra 22 Mayıs 2014'de inşaatı tamamlanmış ve aynı yılın 16 Temmuz'unda hizmete girmişdir. İstasyonun toplam alanı 7 hektardır. İstasyon, Bakü şehrinin, Surakhani bölgesindeki Haydar Aliyev Uluslararası Havalimanı'nın 3 km güneyinde yer almaktadır. İstasyonun proje kapasitesi 2,8 MW'tır. 2014 yılında istasyonun inşaatının ilk etabında 1,38 MW güç kapasitesiyle kullanıma sunulmuştur.
- Pirallahi Güneş Enerjisi Santrali'nin inşaatı 15 Ekim 2014'de tamamlanmıştır. İstasyonun proje kapasitesi 2,8 MW olarak belirlense de, ilk başta bu öngörülen kapasitenin 1 MW'si kurulup elektrik şebekesine bağlandı. İstasyonun toplam alanı 2 hektardır. Bu istasyon, Bakü şehrinin Pirallahi ilçesindeki idari merkezinin 3 km kuzeyinde yer almaktadır. Şu anda santralin gücü 2,8 MW'a kadar bir kapasiteye ulaşmaya devam ediyor.
- Samukh Güneş Enerjisi Santrali'nin inşaatı 11 Mayıs 2015'de tamamlanmıştır. İstasyonun toplam alanı 115,5 hektardır. Bu İstasyon Samuh ilçesine bağlı Sarıgamış köyü yakınlarında bulunmaktadır. İstasyonun proje kapasitesi 2,8 MW değerindedir. 2015 yılında istasyonun inşaatının ilk etabında 1,5 MW elektrik enerjisi üretim kapasitesi devreye alınmıştır.
- Karadağ-Sahil Güneş Enerjisi Santrali'nin 2014 yılında Karadağ bölgesinde 3 MW üretim kapasiteli bir güneş enerjisi santrali inşa etme çalışmaları başlamıştır. 28 Ağustos 2018 tarihinde Sahil Güneş Enerji Santrali'nin inşaatı tamamlandı. İstasyon, Karadağ ilçesinin Sahil yerleşiminde, geçiş köprüsünün sağ ve sol kısmındaki genel alanda yer alıyor. İstasyonun proje kapasitesi 2,8 MW'dir. 2018 yılında istasyonun inşaatının ilk etabında 1,44 MW güneş enerjisi elektrik üretimi devreye alınmıştır. Bu santralin kurulmasının temel nedeni, komşu bölgenin yol ve ulaşım sistemlerini güçlendirmektir. Ayrıca bu santral

bölgedeki 30 km'lik yolların güneş enerjisi vasıtasıyla alternatif aydınlatmasını sağlayacaktır.

- Sumgayıt Güneş Enerjisi Santrali'nin inşaatı 15 Ekim 2014 yılında tamamlandı. Bu istasyonun toplam alanı 5 hektardır. İstasyon Bakü-Guba karayolunun 45. kilometresinde yer almaktadır. İstasyonun güneş enerjisi üretim kapasitesi 2,8 MW'dir. 2015 yılında istasyonun inşaatının ilk etabında 1,7 MW güneş enerjisi elektrik üretimi devreye alınmıştır.

(Sadigov, 2018b:58-60)

2023 yılının ikinci yarısına kadar olan verilere göre, Azerbaycan'da güneş enerjisi santrallerinin toplam enerji üretim kapasitesi 51,9 MW olup, 3'ü hibrit tesis olmak üzere 12 istasyon tarafından üretilmektedir. Gobustan, Culfa ve Bakü'nün Qala semtinde yer alan Ekolojik Park adlı üç hibrit santralin kurulu güneş enerjisi üretim kapasitesi 3,8 MW'dır. Ayrıca, Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti'nde güneş enerjisi santralleri toplam 39 MW kapasiteyle çalışmaktadır (Zalov vd., 2023:3).

Tablo 12

Azerbaycan'da Güneş Enerjisi Üreten Santraller

Santral adı	*Yerleştiği arazi*	*Güç*
Babek GES	Babek rayonu	24 MW
Kangarli GES	Kabıllı köyü	5 MW
Şerur GES	Şerur rayonu	5 MW
Samuh GES	Samuh rayonu	2.8 MW
Sumgayıt GES	Sumgayıt şehri	2.8 MW
Sahil GES	Karadağ rayonu	2.8 MW
Surahanı GES	Surahanı rayonu	2.8 MW
Pirallahı GES	Pirallahı rayonu	2.8 MW
Culfa HES	Culfa rayonu	1 MW
Gobustan HES	Gobustan rayonu	2.9 MW
Karadağ GES	Karadağ rayonu	230 MW
Toplam		282 MW

Kaynak: Hasanov, (2024) Hasanov, R. (2024). *Solar Energy Production in Azerbaijan: Forecast Analysis Using ARIMA Model.* Journal of Sustainable Development Issues, 2(1), 11-20.

9 Ocak 2020 tarihinde Azerbaycan Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı ile Birleşik Arap Emirlikleri'nin "Masdar" şirketi ile yenilenebilir enerji alanında birsıra pilot projelerin uygulanmasına yönelik anlaşmalar imzalandı. Sözleşme uyarınca "Masdar" firması tarafından 230 MW'lık güneş enerjisi santralinin inşasına ilişkin pilot projenin uygulanması

planlanlandı. 15 Mart 2022 tarihinde "Masdar" firmasının Azerbaycan'da inşa edeceği 230 MW'lık "Karadağ" Güneş Enerjisi Santrali'nin temel atma töreni Azerbaycan Cumhuriyeti Cumhurbaşkanı Sayın İlham Aliyev'in huzurunda gerçekleştirildi. 26 Ekim 2023 tarihinde 230 MW'lık Karadağ Güneş Enerjisi Santrali'nin resmi açılış töreni gerçekleştirildi. Karadag Güneş Enerjisi Santrali, Hazar Bölgesi ve BDT'nin (Bağımsız Devletler Topluluğu) en büyük güneş enerjisi santralidir. İstasyon, 262 milyon ABD doları tutarında yabancı yatırım pahasına inşa edildi. Azerbaycan'da yabancı yatırım çekilerek gerçekleştirilen ilk endüstriyel ölçekli güneş enerjisi santralidir. İstasyonda yıllık 500 milyon kilovatsaat elektrik üretilerek 110 milyon metreküp doğalgaz tasarrufu sağlanacak. Aynı zamanda karbon emisyonları da 200.000 ton azaltılacak. 550 hektar alanı kaplayan santrale 570.000 adet güneş paneli yerleştirildi. Bu istasyonun şebekeye bağlanması için 330 kilovoltluk bir trafo merkezi inşa edildi (Mammadova vd., 2024:16).

Azerbaycan Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı ile Asya Kalkınma Bankası arasındaki işbirliği çerçevesinde, Asya Kalkınma Bankası'nın finansmanıyla "Yüzen güneş panelleri sisteminin geliştirilmesi için bilgi alışverişi ve teknik yardım desteği" pilot projesi kapsamında Büyükşor Gölü'ne 100 kW'lık fotovoltaik sistem kurulumunun yanı sıra özel sektörün tarıma katılımını teşvik etmek amacıyla iş modelleri oluşturulması planlanlamıştır. Bu fotovoltaik güneş panelleri suya maruz kalmaları nedeniyle kara tabanlı panellerden daha katı standartlar gerektirse de, kara tabanlı güneş panellerine göre avantajları, hızlı kurulabilmeleri ve arazi kullanımının sorun olmamasıdır. Ayrıca suyun soğutma etkisi nedeniyle daha yüksek enerji verimlerine izin verirler. Projenin uygulanması sırasında uluslararası bir danışmanlık şirketi tarafından Azerbaycan topraklarında yüzer güneş panellerinin geliştirilmesi için fizibilite çalışması hazırlanmış ve coğrafi bilgilere dayalı metodoloji uygulanarak su kütlelerinin güneş enerjisi potansiyeli değerlendirilmiştir. Proje, aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

- Yüzen güneş enerjisi santrali
- Yere monteli referans fotovoltaik santrali
- Hava durumu zemin ölçüm istasyonu
- Veri toplama, depolama ve iletimi departmanı.
- Kapasite oluşturma için projeyi tanımlayan dış mekan ve çevre dostu güneş panelleri.

(Abidov, 2021:35)

Kısaca özetlemek gerekirse, Azerbaycan'da GES için yeterli potansiyel var. Güneş panellerini yıkamak için kullanılan su kaynakları açısından Aran, Abşeron ve Gobustan bölgesinde su sıkıntısı yaşanabilir. Aynı zamanda GES alanında kullanılmış suyun uzaklaştırılması sırasında hassas bölgelerde daha dikkatli olmak gerekecektir. Öte yandan güneş panelleri yıkanırken kimyasal deterjanların kullanılması toprak kirliliğine yol açabiliyor. Kuru temizleme yönteminin kullanılması veya zararlı kimyasal deterjanların kullanımından kaçınılması, atık su yönetiminin sağlanması gibi önlemler azaltıcı tedbirler olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca güneş enerjisi üretimine yönelik ekipmanların kurulumu ve inşaat işleri sırasında yüzeydeki bitki örtüsünün temizlenmesi ve üstteki verimli tabakanın kaldırılması gibi sorunlarla karşılaşmamak için, bu santrallerin verimsiz arazilerde, örneğin terk edilmiş, madencilik alanları, kullanımda olan mevcut hizmet dışı alanlar, toprağın bitki örtüsünden yoksun olduğu bölgelerde oluşturulması önerilmektedir.

1.3.3. Azerbaycan'da Hidrolik Enerjisi

Ülkenin toplam enerji ihtiyacına en büyük katkıyı sağlayan olmasına rağmen, Azerbaycan'ın hidroelektrik potansiyeli optimum düzeyde geliştirilmemiştir. Hidroelektrik santrallerin inşası taşkın suların düzenlemesi, temiz enerji üretimi ve yeni sulama sistemlerin oluşturulmasına olanak sağlar. Fizibilite çalışmalarına göre Azerbaycan'da uzunluğu 5 km'den fazla olan 1100 kadar nehir yılda 40 Twh elektrik enerjisi üretebilir. Ancak verilere daha yakından bakıldığında bu değerin %40'ı, yani 16 Twh'si teknik olarak uygulanabilir ve ekonomik olarak kullanılabilir niteliktedir ki, bunun da 5 Twh'si (yaklaşık 520 MW) küçük hidroelektrik santrallerinden elde edilebilir. Bahsedilen potansiyel göz önüne alındığında, kontrolsüz akışa sahip nehirler ve su tesisleri üzerinde yılda 3,2 milyar kWh'ye kadar elektrik enerjisi üretebilen çok sayıda küçük hidroelektrik santrali inşa edilebilir (Vidadili vd., 2017:1158).

Temiz ve sürdürülebilir enerjiye yönelik küresel talep artmaya devam ederken, Azerbaycan yerel enerji ihtiyaçlarını karşılamak, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmak için hidroenerji potansiyelinden yararlanmaya hazırdır. Hidroelektrik santralleri, büyük ölçekli rezervuar barajlarından küçük ölçekli nehir akışlı tesislere kadar çeşitli ölçeklerde inşa edilebilir ve bu da enerji talebini karşılamada esneklik sağlar ve enerji güvenliğini artırır. Azerbaycan'daki dağlık araziler ve yüksek yağış seviyeleri, hidroelektrik projeleri için uygun su kaynaklarının mevcudiyetine katkıda bulunmaktadır (Karimov, 2024:200).

Azerbaycan'ın dağ ve etek bölgelerinde (özellikle Kafkas dağları ve Talış dağlarında) bulunan akarsular üzerinde köylere, ilçelere, küçük tarım tesislerine ve üretim alanlarına elektrik enerjisi sağlamak için düşük güçlü mikro HES'lerin inşası önemlidir. Bu tür enerji kaynakları ülkenin kuzey (Guba, Haçmaz, Gusar) ve kuzeybatı (Zagatala, Şeki, Gah, Balaken, Gabala) bölgelerinde HES'lerden enerji üretimi için uygun potansiyel sunmaktadır (Ahmedova vd., 2020:36).

Tablo 13

Azerbaycan'da Büyük ve Küçük HES'ler, Kapasiteleri

Büyük HES'ler	*Güç (MW)*	*Küçük HES'ler*	*Güç (MW)*
Mingeçevir HES	402	Göyçay KSES	3,1
Şemkir HES	380	İsmayıllı-1 KSES	1,6
Yenikend HES	150	İsmayıllı-2 KHES	1,6
Füzuli HES	25	Gusar KSES	1
Tahtaköprü HES	25	Astara-1 KSES	1,7
Şemkirçay HES	25	Vayhır KSES	5
Varvara HES	18	Gulabird KSES	7,5
Araz HES	44	Oğuz-1 KSES	3,6
Bilev HES	22	Oğuz-2 KSES	3,6
Arpaçay-1, Arpaçay-2 HES	21,9	Oğuz-3 KSES	3,6
Ordubad HES	36	Balaken-1 KSES	1,5

Kaynak: Zalov, N., Tural, A., ve Guliyev, I. (2023, October). *Integration of Renewable Energy Sources to Power Grid in Azerbaijan: A Review.* https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10313196/

Ayrıca, yapımı devam eden Balaken-2, Oğuz-1, Oğuz-2 ve Oğuz-3 hidroelektrik santrallerinin de yakında faaliyete geçmesi beklenmektedir. Bu yeni tesislerin hizmete girmesiyle Azerbaycan'ın hidroelektrik kapasitesinde önemli bir artış sağlanacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, hidroelektrik geleneksel olarak Azerbaycan'ın enerji üretiminde umut vadeden bir konuma sahip olmanın yanı sıra ülkenin enerji dengesinde güçlü bir pozisyona sahiptir. Kaynaklar Kura nehri ve kolları, Hazar Denizi ve Aras nehri boyunca yer almaktadır (Bayramov, 2021:3).

Azerbaycan'ının başlıca hidroelektrik kaynakları Kura nehri ve ona bağlanan Aras nehridir. Kura nehri havzasının yüzölçümü 188.000 km² olup, bunun %36'sı yani yaklaşık 68,3 bin km²'si Azerbaycan sınırları içerisinde yer almaktadır. Kura Nehri'nin ülke içindeki potansiyel enerji kapasitesi 1.893.000 kWh olup, bu miktar 16.583 milyon kWh elektrik

enerjisi üretimi için uygundur. Ülkedeki Kura nehir havzasına ait nehirlerin toplam enerji kapasiteleri ve üretim potansiyelleri şu şekildedir:

- Şeki bölgesi (Büyük Kafkas Dağları'na ait) nehirlerinin toplam gücü 913 bin kWh ve üretim kapasitesi 8 milyar kWh;
- Gence bölgesi nehirlerinin potansiyel gücü 292,4 bin kWh ve üretim kapasitesi 2.189 milyon kWh;
- Karabağ bölgesindeki nehirlerin toplam enerji potansiyeli 174.000 kWh ve üretim kapasitesi 1.524 milyon kWh;
- Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti'ndeki nehirlerin toplam enerji potansiyeli 178.600 kWh ve üretim kapasitesi 1.565 milyon kWh;
- Arasboyu bölgesindeki nehirlerin toplam enerji potansiyeli 449.900 kWh'dir ve bu kaynaklar yıllık 3.942 milyon kWh elektrik üretimi için uygundur.

(Salamov, 2004:135)

Azerbaycan'da hidroelektrik potansiyeli olan nehirler için hidrolojik veriler kullanılarak yapılan analizin ardından, minimum 3 m/s'den fazla su akış hızına sahip nehirler üzerinde küçük hidroelektrik santrallerin kurulmasının mümkün olduğu 27 olası konum belirlenmiştir. Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti, nehrin kinetik enerjisini kullanarak elektrik üretmek için bir model alan olarak seçilmiştir. Ülkedeki bir diğer potansiyel alan ise Tartar, Bazarçay (Barguşadçay) ve Hakari gibi büyük ve küçük nehirleri yüksek enerji potansiyeline sahip olan Karabağ bölgesidir. Ayrıca Karabağ'da Köndelençay, Okçuçay, Haçınçay, Gargarçay, İldırımsu, Zabuhçay ve İnceçay gibi hidroelektrik potansiyeli olan nehirler de bulunmaktadır. Öte yandan ülkenin diğer bölgelerindeki Balakençay, Talaçay, Kümrükçay, Eğriçay, Gudyalçay, Alazan (Kanıhçay), Şemkirçay ve Demiraparançay da hidroelektrik rezervleri ve bunlardan elektrik üretimi açısından potansiyel nehir havzaları olarak değerlendirilmektedir (İmamverdiyev, 2024:21-22).

Azerbaycan'ın başta su kaynakları olmak üzere enerji kaynakları, jeopolitik durumu ve iklim kuşağı açısından avantajlara sahip olduğu açıktır. Başka bir deyişle, Azerbaycan bu avantajları kendi lehine kullanabilecek ve uzun vadede ortaya çıkan enerji sorunlarını çözebilecek bir konumda görünmektedir. Çevresel açıdan bakıldığında, su dünyanın en temiz yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Bu kaynaktan elektrik üretimi Azerbaycan'da 1990'dan beri artmaktadır. Ülke ayrıca kullanılmayan hidroelektrik kaynaklarını geliştirmek için bolca fırsata sahiptir. Ülkedeki nehirler küçük hidroelektrik

santralleri için uygundur. Bunun yanı sıra Azerbaycan'da kalıcı olarak elektrik sağlanmayan ve devlet enerji sisteminden uzakta bulunan alanlara elektrik sağlanmasında küçük HES'leri kullanmak için geniş fırsatlar vardır. Elektrik üretiminde bu tür küçük HES'lerin kullanılması bazı enerji ve sosyal sorunlarının çözümünde etkilidir. Küçük HES'lerin tesisat ve inşaatı yerel kuruluşlar hesabına gerçekleştirilebilir (Karimli ve Aghayev, 2020:75).

Azerbaycan Cumhuriyeti Mevzuatında Küçük HES dedikte, sabit bir su akışı içerisinde yer alan ve kullanılan suyun derhal rotasına geri dönmesini sağlayan, 50 KW ile 10.000 KW arası kapasiteye sahip HES'leri kastediliyor. Küçük hidroelektrik santrallerin kurulması ile dağlık arzazilere elektrik sağlanması, uzak mesafelere iletilen elektrikteki kayıpların azaltılması, zararlı gaz emisyonlarının önlenmesi ve yeni iş yerleri yaratmak mümkün. Azerbaycan'ın küçük dağ nehirlerinde hidroelektrik santral inşaatı yerel enerji güvenliğinin sağlanmasında önemlidir. 2010 yılında üretilen hidroelektrik enerjinin gücü, cumhuriyetin enerji sisteminin toplam gücünün yüzde 17,8'iydi. Azerbaycan'da henüz kullanılmayan hidroelektrik kaynakların geliştirilmesi için geniş fırsatlar vardır. Gelecekte bu türden daha fazla istasyonun oluşturulması planlanıyor. Ülkede küçük HES'lerin kullanımı kırsal ve iç kesimlerde elektrik sağlanmasında ve sürdürülebilirliğin desteklenmesinde etkilidir (Seferov ve Seferov, 2024:14).

Azerbaycan'da akışı düzenlenmiş nehirlerde, su barajlarının yakınında ve sulama kanalları üzerine yılda 3,2 milyar kWh elektrik üretebilecek onlarca küçük hidroelektrik santrali inşa edilebilir. Yakın gelecekte 61 adet küçük HES'in inşası düşünülüyor. Bu nedenle Avrupa Kalkınma Bankası, Azerbaycan'da küçük hidroelektrik santrallerin uygulama projesine yaklaşık 40 milyon dolar ayırmayı planlıyor. Ülkenin birleşik enerji sisteminin elektrik hatlarına ve trafo istasyonlarına uzak olan tesislere elektrik enerjisi sağlamak için küçük HES'lerin kullanılması, elektrik arzı sorunlarının yanı sıra diğer sosyal sorunların da çözülmesine olanak sağlayabilir (Akbarov, 2023:15). Azerbaycan'da küçük dağ nehirlerinin potansiyelinden yararlanmak hidroelektrik santrallerin toplam denge içindeki payını, enerji kaybını ve kaza riskini azaltabilir. Çünkü büyük santrallerde meydana gelen kazalardan on binlerce elektrik abonesi etkileniyor, ancak daha küçük santrallerde yaşanabilecek benzer kazalar büyük hasara neden olamaz.

Yüz yıldan fazla bir süredir hidroelektrik Azerbaycan'da yenilenebilir enerjinin ana kaynağı olmuştur. 1883 yılı Rusya Çarlığı döneminde, Gedebey bölgesindeki Galakend köyünde yerel halka ve ayrıca toplumun endüstriyel altyapılarına elektrik enerjisi sağlamayı hedefleyen ilk hidroelektrik santrali inşa edildi (Guliev vd., 2023:50). Bir süre sonra,

Azerbaycan'da Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliğinin (SSCB) 15 Haziran 1920'de kurulmasının ardından elektrik santralleri kamulaştırılmıştır. Bu dönemde Gence, Zagatala, Şeki, Lenkeran ve Hankendi bölgelerinde toplam kapasitesi 635 kWh olan hidroelektrik santralleri bulunmaktaydı. Eski elektrik santralleri 1927 ve 1928 yılları arasında yenilenirken, 625 kWh kapasiteli Şeki'de, Gence'de kapasitesi 2.760 kWh olan Aşağı Zurnabad'da, 280 kWh kapasiteli Hankendi'de ve 190 kWh kapasiteli Zagatala'da yeni hidroelektrik santralleri inşa edildi (Salamov, 2004:144).

Azerbaycan'da su enerji kaynaklarının amaçlı kullanımına yönelik bir sisteme geçiş Mingeçevir su kavşağının inşasıyla ilgilidir. Kura nehri üzerinde 1941 yılında Mingeçevir rezervuarı ve ona bağlı HES'nin inşasına başlanmasına karar verilmiştir. Ancak İkinci Dünya Savaşı'nın başlaması bu projeyi geciktirdi. Savaşın sona ermesinin ardından Mingaçevir ve Varvara HES'lerin inşasına yeniden başlandı. Bu projelerden Mingeçevir HES 1954 yılında işletmeye alınmıştır. Üç yıl sonra su bağlantı tesisleri kompleksinin bir parçası olan 16.500 kWh gücündeki Varvara HES enerji üretimine başladı. Kura nehrinin 14 km mansabında bulunan bu istasyon, Mingeçevir HES'te su tüketiminin düzenleyicisi olarak görev yapıyordu. Bu projelerin devamı olarak 1982 yılında Kura nehri üzerinde Şemkir rezervuar kompleksinde yer alan 380 MW kapasiteli Şemkir HES devreye alındı. Nisan 2017'de Azerbaycan Cumhuriyeti Cumhurbaşkanı İlham Aliyev'in katılımıyla Varvara HES yeniden inşa edilerek kullanıma sunuldu (Selimov, 2021:260).

20. yüzyılda hidroelektrik santrallerin geliştirilmesinin bir sonraki aşaması SSCB ve İran İslam Hükümeti tarafından yapılan anlaşmayla, Aras nehri üzerinde 22.000 kWh kapasiteli Nahçıvan'ın ilk hidroelektrik santrali olan Aras HES'in kullanıma sunulması olmuştur. Bu faaliyetlerin yanı sıra 1976 yılında Terter nehri üzerinde Serseng rezervuarına bağlı 50.000 kWh kapasiteli Karabağ'ın ilk hidroelektrik santrali olan Terter (Sugovuşan) hidroelektrik santrali üretime geçmiştir. Temeli 1984 yılında atılan ve Yenikent su barajına bağlı olan 150 MW kapasiteli Yenikent HES, 2000 yılında devreye alımıştır. 2006 yılında Nahçıvan'daki Vayhır su barajı üzerinde 5 MW enerji üretim kapasiteli HES kurulmuştur. 2010 yılında ise, Nahçıvan'ın Ordubad şehrinde bulunan Gilançay nehri üzerinde 22 MW elektrik üretim kapasitesine sahip başka bir HES inşa edilmiştir (Gurbanova, 2018:36).

Azerbaycan'da son on yılda ektrik üretim sisteminin kapasitesi 7149 MW'a ulaşan modern teknolojilerle çalışan yeni enerji santralleri faaliyete geçti. Azerenerji ASC tarafından Azerbaycan'ın İsmayilli'de iki ve Astara'da bir olmak üzere üç küçük hidroelektrik santralinin kullanıma sunulduğu duyuruldu. Bu tür küçük HES'lerin inşası, sel kontrolü,

temiz elektrik üretimi ve yeni sulama sistemlerinin inşası gibi ülke çapında öneme sahip sorunları çözebilir. Azerbaycan, 2003-2004 yıllarında eski tip santraller ve elektrik hatları nedeniyle nüfusa enerji tedarik etme sorunuyla karşı karşıya kalsa da, mevcut altyapının onarılması ve modernize edilmiş santrallerin inşa edilmesiyle ülke sadece iç talebi karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda elektrik ihraç etmeye de başladı (Vidadili vd., 2017:1159).

Kura nehri üzerinde yer alan Mingeçevir Hidroelektrik Santrali Azerbaycan'ın bugüne kadarki en büyük yenilenebilir enerji üretim tesislerinden biri olmaya devam ediyor. Aynı zamanda bu santral Güney Kafkasya'daki en büyük hidroelektrik santrali olarak kabul edilmektedir. Mingeçevir HES Kura nehri üzerinde ve Mingeçevir şehrinin yakınında yer almaktadır. Toplam 6 hidroelektrik ünitesine sahip olan Mingeçevir HES'in kurulu gücü 2018 yılında 420 MW'a çıkarılmıştır. Santralin ortalama yıllık elektrik üretimi 1,4 milyar kWh'dir. Aynı zamanda Mingeçevir HES dünyada çakıl ve kumdan yapılan tek su barajıdır. Mingaçevir HES enerji üretiminin yanı sıra çevresel ve ekonomik katkılarıyla da dikkat çekiyor. Ayrıca Mingeçevir barajı ülkede 970 bin hektarlık bir alanın sulanmasını mümkün kılarken, 200 bin hektarlık bir alanın da taşkın ve sel riskine karşı güvenliğini garanti altına almıştır. Bu durum tarım arazilerinin verimliliğini artırarak yakın bölgelere çevresel olanaklar sağlamıştır. Tesisin yeniden yapılandırma sürecinde, tüm hidrojen jeneratörleri ve hidrolik türbinler yenilenerek daha verimli enerji üretimi için uygun koşullar yaratıldı (Aghazada, 2024:89).

Mingeçevir rezervuarının normal dolum seviyesinde, toplam su kapasitesi 15.730 milyon M3 olup faydalı hacim miktarı 8210 milyon M3'e beraberdir. Mingeçevir barajının uzunluğu Kura nehri boyunca 70 km, genişliği 3 km (baraj) ile 18 km (Alazan nehrinin birleştiği yerde) arasında değişmektedir. Santralin maksimum derinliği 75, ortalama derinliği ise 26 metre olup, kıyı şeridinin uzunluğu 247 km ve toplam su havzasının alanı 605 km2'dir. Avrupa'nın en yüksek barajlarından biri olan Mingeçevir barajının uzunluğu 1500, genişliği 16 ve yüksekliği 80 metre olarak açıklanmıştır. Mingeçevir HES yıkama yöntemiyle oluşturulan toprak barajı, elektrik santralinin su alıcısı, su buharı boşaltıcıları, elektroteknik cihazlar ve ana tesis binasını içermektedir. Kura Nehri'nden ayrı olarak, sırasıyla 172 ve 123 km uzunluğunda olan Yukarı Karabağ ve Yukarı Şirvan kanalları su taleplerini Mingeçevir HES vasıtasıyla temin etmektedirler. Bu kanallar ayrıca Mil, Mugan ve Şirvan ovalarında yaklaşık bin hektarlık alanı sulamak için kullanılır. Mingeçevir su barajı işletmeye alındıktan sonra, ancak 1959, 1963, 1968, 1973, 1975, 1976, 1978 ve

1988'de tamamen dolduruldu. Rezervuarı beslemek için Alazan, Genceçay, Iori ve Kura nehrinden gelen sular kullanılıyor. Barajın toprakları Mingeçevir, Yevlah, Samuh ve Gence şehirlerinin bir kısmını kapsıyor. 2018 yılında Mingeçevir HES'in kapasitesi 424,6 MW'a çıkarılmıştır (Alizade, 2022:16).

Azerbaycan bağımsızlığını kazandığından beri ekonominin yaygın bir şekilde özelleştirilmesine rağmen, ülkedeki enerji sektörü ağırlıklı olarak devlet mülkiyetinde kalmaya devam ediyor. Sadece birkaç küçük hidroelektrik santrali özel mülkiyette ve bunlar elektrik üretiminin %1'inden azını oluşturuyor. Azerbaycan hükümeti, yeşil enerji sektörüne yatırımcıları çekmek, bölgelerde enerji arzını iyileştirmek ve ülkenin su kaynaklarının elektrik üretimi için etkin kullanılması amacıyla 2001 yılında Şeki, Guba, Gusar, Çiçekli (Zurnabad), Mugan, Zeykhur, Nugedi ve Çınarlı küçük HES'lerini özelleştirmeye açık ilan etmiştir. 2017 yılında bu listeye eklenen 1,5 MW'lık Balaken HES küçük hidroelektrik endüstrisindeki üretimi artırmaya yönelik başka bir girişimdir. 2020 yılında "SNC-Lavalin's Atkins" şirketi Azerbaycan'da küçük HES'lerin işletiminin iyileştirilmesi ve nehirlerin hidroelektrik potansiyelinin etkin kullanılmasına istinaden nihai rapor hazırlamıştır. Buna dayanarak, artan enerji talebinin karşılanması, su kıtlığı ve potansiyeli dikkate alınarak ülkedeki küçük HES'lerin kalkınma stratejileri hazırlanmıştır (Amirov, 2021:51; Mammadli ve Bayramov, 2024:22).

Bu işlerin devamı olarak Şeki'de Kiş nehri üzerindeki küçük HES yeniden inşa edilmiş ve bunun sonucunda santralin yıllık gücü 720 kWh'den 1,2 MW'a çıkarılmıştır. Ayrıca, Azerbaycan'daki UNDP (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı) ofisi, Şeki'deki 580 kWh kapasiteli küçük bir HES'in yeniden inşasını ve rehabilitasyonunu desteklemiştir. Bunun yanı sıra 3,1 MW kurulu güce sahip Göyçay tesisindeki küçük HES'in 2016'nın ilk çeyreğinde 746.000 kWh'den fazla elektrik ürettiği belirtilmiştir (Huseynova, 2015:24). Nehirler üzerinde kurulan ve uzun süredir faaliyette olan özelleştirilmiş küçük HES'ler aşırı aşınma ve yıpranmaya maruz kaldıkları için yeniden yapılanmaya ihtiyaç duyuyorlar. Yeni bir kuçuk SES'in inşaatı zamanı bu istasyonların özelleştirilerek restore edilmesi ekonomik açıdan avantajlıdır.

Azerbaycan'da inşası öngörülen küçük HES'lerin sulama kanalları ve su depoları üzerinde kurulması planlanıyor. Şu anda ülkede 40'tan fazla sulama rezervuarı olsa da, bunların çoğunun su tutumu azaldığından ve siltlenmeye maruz kaldığından sadece sulama amaçlı olup, elektrik üretimine uygun değildirler. Bu amaçla, Deveçi şehri yakınındaki Samur-Abşeron su kanalında 36 MW'lık baraj tipli Tahtakörpü HES kullanıma açılmıştır.

Bunun yanı sıra 4,8 MW'lık Gudyalçay, 1,8 MW'lık Vileşçay, 17,4 MW'lık Şamhorçay, 10 MW'lık Türyançay, 16 MW'lık Hekeriçay ve diğer sulama kanalları üzerinde, yıllık 4600 saat kullanım hesabıyla toplam kapasitesi 75 MW ve yıllık elektrik üretimi 350 milyon kWh olan 11 adet HES inşa etmek mümkündür. Ayrıca 25 MW'lık Mil, 20 MW'lık Yukarı Şirvan ve 20 MW'lık Yukarı Karabağ rezervuarı üzreinde toplam gücü 135 MW ve yıllık elektrik üretimi 600 milyon kWh olan 11 adet küçük HES kurulması planlanıyor (Sultanova vd., 2019:111-112).

Azerbaycan'daki hidroelektrik üretimini 1995-2021 dönemi boyunca değişiklikler göstermiştir. Ülkede hidroelektrik üretimi 1995 ve 2001 yılları arasında azalmış, ancak üretim hacmi 2002 ve 2005 yılları arasında artmıştır. Üretim hacmi 2005 yılında en yüksek seviyesine ulaşmış ve 3 milyar 9 milyon kWh olarak kaydedilmiştir. Devamında, üretim hacmi 2006 yılından itibaren azalmış ve 2010 yılında tekrar artarak 3.446 milyon kWh'ye ulaşmıştır. Ancak üretim hacmi 2011 yılından itibaren düşmeye devam etmiş ve 2021 yılı sonunda 1 milyar 69,5 milyon kWh'ye gerilemiştir. Hidro enerji tüketimi Azerbaycan'da 1995 ve 2000 yılları arasında küçük değişiklikler göstermiştir. 1995 yılında tüketim hacmi yaklaşık 4.601 teravattsaat iken, 2000 yılında bu rakam yaklaşık 4.536 teravatsaate düşmüştür. Tüketimde 2001 yılında bir azalma yaşanmış, ancak 2002-2010 döneminde hidroelektrik tüketimi artmış ve 2010 yılında 9.565 teravat saate ulaşarak son 15 yılın en yüksek tüketim seviyesine ulaşmıştır. Bu dönemden sonra hidroelektrik tüketimi 2011 ile 2021 yılları arasında düşerek 2021 yılında 3.342 teravatsaate gerilemiştir (Bekkari, 2023b:33).

Hidroelektrik santraller doğrudan nehirler ve su havzaları üzerine kurulduğundan elektrik enerji üretiminin artması veya azalması nehirlerdeki suyun hızına ve üretim amaçlı su hacmine bağlıdır. Mevsimel koşullar Azerbaycan'ın hidroelektrik üretiminde dalgalanmalara neden oluyor. Örneğin 2010 yılıyla karşılaştırıldığında 2020 yılı sonu itibarıyla ülkede bulunan hidroelektrik santrallerin kapasitesi %15,5 artarken, elektrik üretimi %69 düşüş göstermiştir (Karimov, 2021:16).

Azerbaycan'ın yerel su kaynaklarının %25'inin Karabağ'dan geldiği dikkate alındığında, bu bölgede yerel nehirlerin hidroelektrik santral yapımında kullanılması için uygun koşullar bulunmaktadır. Enerji Bakanlığı'na göre, Dağlık Karabağ ve çevresinde yıllık 2,56 milyar m3'ten fazla su oluşmaktadır. Karabağ bölgesinin büyük nehirleri olan Terter, Pazarçay (Bergüşadçay), Hekeri gibi nehirler mükemmel su ve enerji potansiyeline sahiptir. Ayrıca bu bölgede üç büyük HES bulunmaktadır ki, bunlardan biri 1976'da Tartar bölgesinde

inşa edilen Terter HES ve Terterçay nehri üzerindeki Serseng rezervuarıydı. Bu santral 1993'den 2020 yılına kadar işgal altında kalmıştır. İstasyon, her biri 25 MW kapasiteli iki hidrolik ünite içermektedir. Serseng, baraj yüksekliği (125 metre) açısından ülkenin en yüksek barajlarından birine sahip bir rezervuardır. Serseng rezervuarı, 6 ilçenin yaklaşık 125 bin hektarına (Terter, Ağdam, Berde, Goranboy, Yevlah ve Ağcabedi) sulama suyu sağlamaktadır (Gojaeva vd., 2024:2223).

Dağlık Karabağ bölgesindeki diğer iki büyük HES ise Hüdaferin ve Kız Kulesi'dir. Cebrayıl şehrine bağlı Hudaferin köyünün 1 km kuzeybatısında bulunan Hudaferin HES, 1992 yılında Cebrayıl'ın işgali nedeniyle Ermenistan'ın kontrolüne geçmiştir. Ermenistan bu projeyi İran ile ortaklaşa devam ettirmiştir. Aras nehri üzerindeki Kız Kulesi HES ise iki bölümden oluşarak, inşaatı İran tarafından sürdürülmüştür. 2016 yılında Ermenistan ve İran arasında imzalanan bir anlaşma kapsamında bu iki santralin inşası ve işletimi gerçekleştiriliyordu. Ekim 2020'de Cebrayıl'ın işgalden kurtarılmasıyla, Azerbaycan bu santralleri kontrol etmeye başlamıştır. Genel olarak, Hudaferin ve Kız Kulesi HES'lerinin mevcudiyeti, bölgenin elektrik arzı ve sulama ihtiyaçları açısından önemlidir. İran ile ortak bir şekilde yürütülen 200 MW'lık Hudaferin ve 80 MW'lık Kız Kulesi HES'lerinin inşası 2025'de tamamlanacak.

Bunların yanı sıra Karabağ'ın yeşil enerji bölgesi haline "Yeşil Enerji Bölgesi" isimli bir konsept geliştirildi. Bu konseptde su rezervuarlarındaki kaynakların verimli kullanılması ve küçük akarsularda HES'lerin inşası gibi konular gündeme getirildi. 15 Şubat 2021 tarihinde Azerbaycan Cumhurbaşkanı'nın emriyle Hekeri nehri üzerindeki 8 MW'lık Gülebird hidroelektrik santrali hizmete açıldı. Santral, yaklaşık 7.000 nüfusa, Gubadlı ilçesindeki Kınalık köyüne, Laçin ilçesinin güney kısmına ve bölgedeki diğer altyapı projelerine elektrik sağlanmasında önemli bir rol oynayacak (Ağazada, 2024:67-69).

2022 yılında "Yeşil Enerji Bölgesi" konseptine uygun olarak Kelbecer bölgesinde toplam 27 MW kapasiteli 5 küçük hidroelektrik santralinin ("Çırak-1", "Çırak-2", "Kamışlı", "Meydan" ve "Soğukbulak") inşaatına başlandığını da belirtmek gerekir. Azerenerji ASC'nin hesaplamaları, Kelbecer'de yeni kurulacak santrallerin yıl içinde toplam 100 milyon kWh ekolojik temiz enerji üreteceğini gösteriyor. Bu da 50 milyon m3 doğalgaz tasarrufu anlamına geliyor. 2021 yılında işgalden kurtarılan Laçin, Kelbecer ve Sugovuşan'da toplam 20 MW kapasiteli 4 küçük HES restore edilerek faaliyete geçirilmiştir. Bunlar 8 MW kapasiteli Gülebird, toplam 7,8 MW kapasiteli Suguvushan-1 ve Suguvushan-2 ve Kelbecer'in Lev nehri üzerinde 4,4 MW kapasiteli Kelbecer-1 Küçük HES'dir. İşgalden

kurtarılan bölgelerde toplam kapasitesi 320 MW'ın üzerinde olan 50'den fazla küçük HES'in restorasyonu için araştırmalar sürüyor. 2026 yılına kadar, özel yatırımlar pahasına bölgedeki hidroelektrik potansiyelinin maksimum düzeyde kullanılması amacıyla kullanılamaz hale gelen 23 küçük HES'in restore edilmesi ve 37 yeni küçük HES'in inşa edilmesi planlanıyor (Babayev, 2022:136; Qasımlı vd., 2022:182).

Nahçıvan ÖC'nin ülkenin enerji sisteminin dışında olması ve Ermenistan tarafından abluka altına alınması nedeniyle orada orta ve küçük HES'lerin inşasına daha fazla önem verilmelidir. Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti'nin alternatif enerji rezervleri arasında su kaynaklarının potansiyeli de büyük önem taşıyor. Burada irili ufaklı 400 kadar nehir bulunmaktadır. Başlıca nehirleri Arpaçay, Nahçıvançay, Gilançay, Alinceçay ve Ordubadçay'dır. Nehirlerin neredeyse tamamı dağlık alanlardan aktığı için bu nehirlerin enerji potansiyeli de oldukça değerlidir. Bu amaçla 2014 yılında, Şerur ilçesinin Arpaçay nehri üzerinde 20,5 MW'lık "Arpaçay-1" ve 1,4 MW'lık "Arpaçay-2" HES'leri, 2006 yılında Babek bölgesindeki Haydar Aliyev su barajı üzerinde 5 MW'lık Vayhır HES, 2010 yılında Ordubad bölgesinde 22 MW kapasiteli Bilev HES kullanıma sunulmuştur. Nahçıvan ÖC'de HES'lerden üretilen enerji, Azerbaycan'da bu santrallerden üretilen enerjinin %29,75'ini oluşturmaktadır. Azerbaycan'da bölgelerin sosyo-ekonomik kalkınması kapsamında belirlenen hedefle uygun olarak Nahçıvan ÖC'de 36 MW'lık Ordubad, 15,6 MW'lık Tivi ve 3 MW'lık Şerur hidroelektrik santrallerinin inşaatı devam ediyor. İnşaatına 2020 yılında başlanan ve 15,6 MW kapasiteli Tivi HES'in inşaat çalışmalarının hızla yürütüldüğü bildiriliyor. Projesi gerçekleştirilen Bilev ve Ordubad HES'leri ile birlikte Nahçıvan'da 3'üncü derivasyon tipi HES inşa edilecek. Burada yılda 47 milyon kWh elektrik üretilecektir ki, bu da Nahçıvan'daki talebin %10'una denk geliyor (İbrahimova, 2023:37).

2022 yılında Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik %86,2 payla (1164,7 MW) en büyük elektirik enerjisi üretim kapasitesine sahip olmuştur. Azerbaycan'ın su kaynaklarının 1990 yılına göre %21,3 oranında azalması nedeniyle 2020 yılında hidroelektrik üretimi %4,36 oranında azalmıştır. Azerbaycan'da 2024 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi amacıyla hidrokaynakların coğrafi konumları belirlenerek toplam alanları hesaplandı. Böylece ülkede hidroenerji potansiyelli arazilerin toplam alanı 15,9 bin km2, güneş-hidro hibrit potansiyelli arazilerin toplam alanı ise 8,2 bin km2 olarak belirtilmiştir. Ayrıca ön araştırmalara göre Karabağ bölgesinde toplam 241,3 MW kapasiteli 41 adet kullanılmayan küçük hidroelektrik santral

bulunmaktadır ve bunların büyük bir kısmı restore edilerek işletmeye açılabilir (İmamverdiyev, 2024:13-24).

Elektrik üretiminde %5'lik paya sahip olan hidroelektrik, kurulu güç açısından Azerbaycan'ın alternatif enerji kaynakları arasında ilk sırada yer almaktadır. Ancak Azerbaycan son yıllarda su kıtlığı riskiyle karşı karşıya olduğundan, ülkede HES'lere uzun vadeli bağımlılık sürdürülemez olarak değerlendiriliyor. Bu nedenle Azerbaycan'da yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi gereklidir (Gurbanov ve Mammadli, 2024:25). Azerbaycan'ın hidroelektrik sektöründeki küçük ve temel sorunlardan biri, küçük hidroelektrik santrallerin planlanan işletme süresinin ötesinde işletilmesi ve bu tesislerin eski teknolojiler nedeniyle modern standartlara göre çalışmamasıdır. Ülkenin hidroelektrik santrallerinin yaklaşık %35'i 30 yılı aşkın süredir faaliyet göstermektedir (Safarov, 2015:4).

Azerbaycan su potansiyeli açışından çok zengin olamamasına rağmen, ülkede fazla sayıda nehrin bulunması hidroenerji kaynaklarının geliştirilmesi için elverişlidir. Ülke arazisinde 8188'i 25 km'ye kadar, 107'si 26-50 km arasında ve 40'ı 51-100 km arasında olmak üzere 8359 nehir bulunmaktadır. Uzunluğu 101-500 km arasında olan nehirlerin sayısı 22, uzunluğu 500 km'den fazla olan nehirlerin sayısı ise 2'dir. Bu nehirlerin 3964'ü Kura nehrine, 1177'si ise Aras nehrine bağlıdır. Hazar Denizi'ne doğrudan dökülen nehir sayısı 3218'dir (Müseyibov, 1998:159).

Azerbaycan'daki nehirlerin toplam uzunluğu 33.665 km'dir ve nehir ağının ortalama yoğunluğu 0,32 km/km2'dir. Bu yoğunluk Karabağ volkanik kütlesinde (1.800 ila 3.000 metre arasında) 0,3 ila 0,4 km/km2, Karabağ ve Şahdağ dağ sisteminde ise 0,8 ila 1 km/km2'dir. Büyük Kafkas dağlarının kuzeydoğu yamaçlarında yoğunluk 0,3 ile 0,4 km/km2 arasında değişirken, orta dağlık bölgelerde 1,8 ile 2,1 km/km2, yüksek dağlık bölgelerde ise 0,6 ile 0,8 km/km2 değerindedir. Zengezur dağları ve Dereleyez silsilesinde 1200 metreye kadar 0.10-0.40 km/km2, Küçük Kafkas dağlarının güney yamaçlarında bu değer 0,2 ile 0,4 km/km2 arasında, orta dağlık bölgelerde ise 1 ile 1,5 km/km2 arasındadır. Lenkeran bölgesi 1,6-2,2 km/km2 ile en yüksek yoğunluğa sahipken, Kura-Aras, Gobustan-Absheron, Ceyrançöl ve Nahçıvan ovalarında bu yoğunluk 0,05-0,1 km/km2'yi geçmiyor. Azerbaycan nehirlerinin ortalama yıllık akışı 119 mm veya km2 başına saniyede 3,8 litre olarak hesaplanmıştır. Azerbaycan topraklarına düşen yıllık ortalama yağış miktarı 427 mm olup, bunun 309 mm'si buharlaşmaya, 119 mm'si ise nehir akışına katkıda bulunmaktadır. Azerbaycan'da çeşitli büyüklükte 140'tan fazla yapay göl ve su barajı mevcuttur. Toplam

87.000 hektarlık bir alanı kaplayan bu göller 18,5 km3 su hacmine sahiptir. Ülkenin kişi başına düşen ortalama yıllık su kullanım potansiyeli 1661 m3'tür (Salamov, 2004:134).

Azerbaycan Su Yönetimi ve Islah ASC'ye göre ülkenin yerüstü su kaynakları yıllık 32,2 milyar m3 olup kurak yıllarda bu rakam 22,6 milyar m3'e kadar düşmektedir. Azerbaycan'ın yerüstü su kaynaklarının %70'i ülke sınırları dışında bulunan transit sular, geri kalanı ise yerel sulardır. Ülkedeki yeraltı su rezervleri açık suların yaklaşık %25'ine eşittir. Uluslararası kuruluşların raporlarında iklim değişikliği nedeniyle önümüzdeki yıllarda Azerbaycan'da su sıkıntısı yaşanacağı vurgulanmaktadır. Dünya Kaynak Enstitüsü'ne göre, 2040 yılında Azerbaycan su sıkıntısı çekecek ülkeler listesinde 18'ci sıradadır (Qasımlı vd., 2022:152). Ancak Azerbaycan'da nehirlerin su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde HES'lerden olumlu verim elde etmek mümkündür. Hesaplamalara göre 32 milyar m3 sudan en az 45 milyar kilovatsaat elektrik enerjisi alınabilir. Bu Azerbaycan'da üretilen elektriğin neredeyse iki katına denk gelmektedir. Güneş enerjisi santralleriyle karşılaştırıldığında güneş pillerinin 10-15 yıl kullanıldıktan sonra değiştirilmesi gerekmektedir. Ancak hidroelektrik santraller 150-200 yıl kullanılabilir (Sultanova vd., 2019:112).

Topraklarının %60'ının kurak araziler olması nedeniyle, su kaynakları açısından zengin olmayan Azerbaycan'da yağış miktarı azalma eğilimindedir. İklimin ısınması sürecinde kurak bölgelerde yağış miktarı bir miktar azalırken, nemli bölgelerde ise tam tersine yağış miktarı artıyor. Azerbaycan'daki hesaplamalara göre gelecekte sıcaklıkların artacağı ve yağışların azalacağı tahmin ediliyor (İbişova vd., 2016:200). Azerbaycan, su kaynakları açısından BDT cumhuriyetleri arasında arka sıralarda yer almaktadır. Azerbaycan topraklarındaki küçük nehirler genellikle yaz aylarında kurumaktadır. Bu nedenle ülkedeki tüm su kaynaklarının ayrıntılı olarak incelenmesi, bu kaynakların hukuka uygun olarak korunması ve bunlardan etkin bir şekilde yararlanılması önemli ekonomik ve sosyal yükümlülüklerdendir.

Küresel ısınmanın Azerbaycan'a ekonomik etkileri değerlendirildiğinde öncelikle su kaynakları sorunu öne çıkıyor. Çünkü su kaynaklarının ekonomik hayat üzerinde önemli bir etkisi var. Küresel ısınmanın Azerbaycan'ın enerji sektörüne etkileri sonucunda su kaynaklarının azalması zamanı hidroelektrik üretiminde duraklamalar yaşanmaktadır. Örneğin 2019 yılında Kura Nehri'ndeki su seviyesinin keskin bir şekilde düşmesi sonucunda, ülkenin hidroelektrik üretiminde ciddi sorunlar ortaya çıktı. Mingeçevir Hidroelektrik Santrali, su seviyesindeki düşüş nedeniyle üretim kapasitesini düşürmek zorunda kaldı. Bu

olay elektrik tedariğinde geçici duraklamalara ve elektrik kesintilerine neden oldu. Bu nedenle su kaynaklarının etkin yönetimi ve su kaynaklarının korunmasına yönelik tedbirler arttırıldı. Hidroelektrik santrallerin verimliliğini artırmaya ve suyun yeniden kullanımına yönelik teknolojiler uygulandı. Hidroelektrik kaynakları başta olmak üzere alternatif enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artırıldı (Ağayeva vd., 2024:35).

Son 20 yılda Hazar denizi'ndeki su seviyesinin 2 metre kadar aşağı düşmesi "Şimal" elektrik santralinin işleyişinde ciddi zorluklara neden oldu. Çünkü zamanla su seviyesinin düşmesi, istasyona soğutma suyu sağlanmasında ciddi sorun yarattı. Bu tehlikeyi ortadan kaldırmak amacıyla Hazar Denizine 8 metre derinlikten soğuk su alınmasını sağlayan 540 metre uzunluğunda iskele ve 2 su pompa istasyonu inşa edildi. Aynı zamanda "Şimal" elektrik santralinin işletimi için kullanılan elektrikten tasarruf etmek amacıyla küçük hidroelektrik santrali kuruldu. Azerbaycan Cumhurbaşkanı İlham Aliyev'in katılımıyla 26 Temmuz 2023'te "Şimal" santralinin yeni iskelesi, su pompalama istasyonları ve "Şimal" küçük hidroelektrik santrali işletmeye alınmıştır (Tiflis vd., 2024:23).

1.3.4. Azerbaycan'da Jeotermal Enerji

Kafkasya bölgesinin doğusunda yer alan Azerbaycan, sadece petrol ve doğal gaz rezervleri açısından değil, aynı zamanda eşsiz termal ve mineral su yatakları açısından da zengindir. Ülkede toplam verimi 100 milyon litre/gün'ün üzerinde olan 1000'den fazla çıkış noktasına sahip 200 kadar jeotermal enerji ve mineral su kaynakları grubu bulunmaktadır. Bu kaynakların %90'ı dağlık alanlarda, %10'u ise ovalarda bulunuyor. Azerbaycan'daki jeotermal kaynakların %50'sinin sıcaklığının 42°C'nin üzerinde olması, bu kaynakların daha derinlerde önemli sıcaklıklara sahip olduklarını ve termal suların üst ufuklarda soğuk sularla karıştığını göstermektedir (Gadjiev vd., 2021:2-13).

Azerbaycan Cumhuriyeti topraklarında alternatif enerji kaynağı olan termal ve termomineral sular genellikle yerel alanlarda farklı yaş ve litolojik bileşime sahip kayalar içerisinde bulunmuştur. Mevcut termal kaynaklar çoğunlukla Büyük ve Küçük Kafkasya, Abşeron Yarımadası, Talış Dağları, Kura-Aras ovası, Nahçıvan ve Hazar Denizi'nin kuzeybatı kesimlerindedir. Bu suların sıcaklığı bölgeler arasında büyük farklılıklar gösterdiğinden alternatif ısı kaynağı olarak kullanımları her yerde aynı derecede etkili olmamaktadır. Ancak belirtilen alanlardaki termal suların kullanımı, yakınlardaki nüfusun ısıtma taleplerini kısmen karşılayacağı gibi, tarım ve turizm sektörlerine de katkıda bulunacaktır. Azerbaycan'da doğal olarak yüzeye çıkan termal suların çoğunun sıcaklığı

60°C'ye ulaşıyor. Sondaj yöntemiyle kazılan ve yerin derin katmanlarından çıkan termal suların sıcaklığı ise 95°C'ye ulaşmaktadır (Tarlanov vd., 2024:6-7).

Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Devlet Ajansı, Azerbaycan'ın jeotermal enerji potansiyelinin 800 MW'a kadar olduğunu belirtmiştir. Bazı araştırmalar Azerbaycan'da yüksek potansiyelli 11 jeotermal bölgenin mevcut olduğunu göstermektedir. Bu bölgelerde bulunan termal kuyulardaki suyun sıcaklığı yaklaşık 30-100°C arasında değişiyor. Azerbaycan hükümetinin rolü, bu potansiyelin gerçekleştirilmesinde ve özel sektörün yenilenebilir enerji hedeflerine etkin bir şekilde katılımını sağlamada kritik olacaktır (Rahimli, 2024:145).

Tablo 14

Azerbaycan'ın Jeotermal Enerji Kaynaklarının Ana Göstergeleri

Enerji Kaynaklarının İsimleri	***Suyun Minerallığı (Qram/Litre)***	***Kaynakta Sıcaklık (°C)***	***PH***	***Debiti (Litre/Gün)***
Güney-batı yamacı				
- İlis	1.4	38.3	8.4	1200000
- Oğlanbulaq	1.3	39.4	8.4	700000
- Qızılbulaq	1.3	38.5	8.4	800000
- Bum	1.7	39	7.4	75000
- Qamervan	1.9	38	7.5	12000
- Çağan	0.9	36.3	7.5	170000
Kuzey-doğu yamacı				
- Cimi	1.2	42	7.2	125000
- Haşı	1.3	41	6.8	120000
- Haçmaz	46	35	6.8	300000
- Hudat	59.8	60	6.9	300000
- Gilazi	3.9	45	7.3	35000
- Keş (Corat)	10	40	7.7	20000
Abşeron yarımadası				
- Şihov	16	68	8.2	500000
- Çilov (Jiloy) adası	13	40	7.8	60000
Nahçıvan ÖC				
- Darıdağ-1	21.1	40	6.6	922000
- Darıdağ-2	19.5	42	6.4	2800000
- Darıdağ-3	19.5	52	6.5	835000

İstisu-Kelbecer eyaleti				
- Bağırsaq-1	4.6-9	11.5-55	6.6	25000
- Bağırsaq-2	2.5-5.8	28-64	6.5	200000
- Yukarı İstisu-1	4.1-7.5	12.5-54	6.7	200000
- Yukarı İstisu-2	4.4-7.6	25-71	6.7	300000
- Aşağı İstisu-1	4.6-6.9	16.2-39.5	6.8	800000
Aşağı İstisu - 2	3.2-7.4	33-67	7.1	20000
Kelbecer	3.6-4.4	13.7-42	6.7	800000
Salahlı	5.9	50	8.1	21000
Talış Bölgesi ve Lenkeran ovalığı				
- Alaşa-1	22	46.2	7.4	1000000
- Alaşa-2	23	50	6.7	1000000
- Meşessu	3.5-11.9	34.2-43	6.8-7.7	1000000
- İbadisu	3.6-3.7	43.2-47.3	6.7	1000000
- Havzavua	3.9-6	40-41	6.2	150000
Diğer Kaynaklar				
- Havthoni	4.6-5.2	35-38	7.1	50000
- Sapnokeran	37.4	39	7.1	30000
- Şaqlakudca	8.6	37	7.3	300000
- Arkivan	16.7	41.5-50	6.2	1000000
- Donuzetan	17	63-64	7.9	1500000
- Qotursu	14	66.1	8.2	4000000
- Mişarçay	10.8	41-44	7.3	20000
- Qarama	17	52	7.5	450000
- Novoqolovka	69.5	50	5.5	1000000
- Neftçala	90	42-60	-	1100000
- Ağcabedi	38.7	43	6.9	1200000
- Babazanan	32	40.5	7.3	300000
- Terter	13.6	50	7.2	600000
- Qedakboz	7.7	54	7.6	80000
- Çaarlı	17.2	94	7.7	1000000

Kaynak: Zöhrabov, F. (2024). *Azərbaycanın geotermal enerji mənbələri hansı perspektivlər vəd edir?* Trend.az. https://az.trend.az/business/green-economy/3941446.html: Erişim tarihi: 25.07.2024

Bu tablo, Azerbaycan'ın çeşitli bölgelerinde bulunan jeotermal su kaynaklarının enerji üretim potansiyelini anlamaya yönelik faydalı bilgiler sağlamaktadır. Mineralizasyon, sıcaklık, pH ve debi gibi faktörler, her bir kaynağın ne kadar enerji üretebileceği ve hangi alanlarda kullanılabileceği konusunda yol gösterici olabilir. Jeotermal enerji, özellikle fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını artırmak açısından değerlidir. Azerbaycan, bu zengin jeotermal kaynaklarıyla enerji çeşitlendirmesine katkıda bulunmaktadır.

Jeotermal kaynaklardan elde edilen suyun ısıl enerjide kullanılabilmesi için bu kaynakların debisi, çıkış sıcaklığı, basıncı ve kimyasal bileşiminin incelenmesi gerekmektedir. Bu, termik santrallerin tasarımında önemli bir faktördür. Devlet İstatistik Komitesi'nin 2012 yılı verilerine göre Azerbaycan'da jeotermal potansiyelin öngörülen rezerv miktarı 249.000 m3/gün olarak belirtilmiştir. Ülkenin farklı bölgelerindeki yeraltı termal sularının rezerv miktarı genel olarak aşağıdaki şekilde tahmin edilmektedir:

- Abşeron Yarımadası - 20.000 m3/gün (ısı-40-90°C);
- Büyük Kafkasya'nın güney yamacı - 2000 m3/gün (ısı-30-50°C);
- Guba-Haçmaz bölgesi - 21.000 m3/gün (ısı-40-85°C);
- Kura-Aras ovası - 170.000 m3/gün (ısı-30-71°C);
- Küçük Kafkasya'nın dağlık kesimi - 4000-5000 m3/gün (ısı-30-74°C);
- Lenkeran Ovası - 7000-8000 m3/gün (ısı-44-64°C);
- Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti - 3000 m3/gün (ısı-40-50°C);
- Talış dağlık bölgesi - 15.000 m3/gün (ısı-31-43°C);
- Cumhuriyet genelinde - 249.000 m3/gün (ısı-4-97 °C).

(Nasirov, 2024:119)

Azerbaycan'ın jeotermal sularının bakır, lityum, silisyum, çinko, arsenik, iyot, fosfor, demir, magnezyum ve nikel gibi metal ve elementlerle zengin olması, bu kaynaklardan enerji üretiminin yanı sıra kimya endüstrisine ürün temin etmektedir. Ayrıca ülkedeki jeotermal ve yeraltı suların bileşiminde kimyasal açıdan değerli metan, azot, kükürt ve karbon gibi gazların olması, bu kaynakların tıbbi ve balneolojik amaçlar için kullanımını mümkün kılar. Azerbaycan'daki yüksek sıcaklığa sahip termal suların yüzeydeki sıcaklığı Küredemir bölgesinde bulunan Çarlı kaynağında 92°C, Masallı bölgesinde bulunan Gotursu ve Donuzüten kaynaklarında 64°C ve Kelbecer bölgesinde bulunan İstisu kaynağında ise 62°C'ye ulaşıyor (Aliyev, 2015:112-113). Azerbaycan Cumhuriyeti sınırları içerisinde bulunan termal sular sıcaklıklarına göre aşağıdaki kategorilere ayrılmaktadır:

- Subtermal kaynaklar - 20-37°C;
- Termal kaynaklar - 37-42°C;
- Hipotermal kaynaklar - 42-100°C.

(Azerbaycan Ulusal Bilimler Akademisi, 2004:31)

Uzmanlara göre Abşeron yarımadası ve Güney Hazar havzasındaki adaların potansiyel enerji kaynaklarından biri sınırlı jeotermal enerjidir. Bu bölgelerde yıl boyunca aktif çamur volkanlarının olması göz önüne alındığında, ülkede enerji üretimi maksadıyla yeni teknolojilerin uygulanması ve yerel koşullara uyarlanması gerçekçi görünmektedir. Hazar Havzası'nın hem kıyılarında hem de açıklarında 300'den fazla çamur diyapiri ve çamur volkanı vardır. Bu kaynaklar düşük ısı akışı, anormal derecede yüksek oluşum basıncı ve yüksek derecede çıkıklık gibi özelliklere sahiptir. Jeotermal çalışmalar ve kaynakların termal iletkenliğinin deneysel olarak belirlenmesi sonucunda, Abşeron Yarımadası'ndaki Lokbatan çamur volkanı sahasında yapı boyunca eşit şekilde düzenlenmiş 23 alanda termal akışlar belirlenmiştir. Bu bölgedeki çamur volkanlarının yüzeydeki ısı miktarı 30-40°C arasında olup, yakındaki yerleşim yerlerine sıcak suyun temin edilmesi için kullanılabilirler. Ancak, bunların verimliliği, sıcaklığı 80 santigrat dereceden yüksek olan geleneksel buhar tabanlı jeotermal enerji santrallerinden daha düşük olacaktır (Mukhtarov vd., 2015:56).

Azerbaycan'ın jeotermal ve yeraltı suları, genel olarak enerji üretiminde ve endüstriyel gelişimde yer almamaktadır. Bu kaynaklar çoğunlukla tıbbi, balneal ve turizm amaçları için kullanılmaktadır. Ancak, XX. yüzyılın sonunda Talış bölgesinde termal suların ısı enerjisi olarak kullanıldığı 10 seranın inşa edilmesi gibi olumlu deneyimler de vardır. Geçtiğimiz yüzyılın 60'lı yıllarının sonunda Astara-Lenkeran-Masalli şehirlerinde her biri 40-55 mm çapında metal borulu seralara sahip 2 pilot çiftlik kuruldu. Bu seralarda sıcak su dolaştırılıyor ve hava ile toprak ısıtılıyordu. Ek borular arasındaki aralık yaklaşık 100 sm olmuştur. Ayrıca Masallı şehrinde oplam alanı 700m2 olan 5 sera inşa edildi. Bu seralar için 44-60°C sıcaklığa ve 5-6 litre/sn toplam üretim oranına sahip sondajlı kuyulardan sıcak su temin edildi. Burada salatalık ve domates fideleri Aralık 1967'de ekildi ve ürün Mart 1968'de elde edildi. Daha sonra Astara şehrinin Alaşa köyünde termal kaynakların bulunduğu toplam 1000 m2'lik bir alana 4 sera inşa edildi. Burada su sıcaklığı 45-58°C ve toplam üretim oranı 15-18 1itre/sn olarak belirlenmiştir. Alaşa'da domates ve salatalık fideleri 1968 yılının başında ekilmiş ürünler ise Mayıs ayında elde edilmiştir. Sonuç olarak seraların ısıtılması için jeotermal suların kullanımına ilişkin deneyimler, bu yöntemin büyük olasılıklarını ve

ayrıca minimum maliyetle yılda 2-3 ürün elde etme yeteneğini göstermiştir (Gadjiev vd., 2021:13).

Jeotermal enerji, bireysel orta ve büyük ölçekli tesislerin ve işletme binalarının ısıtılmasında aktif olarak kullanılabilir. Bu uygulama Azerbaycan'da ilk kez ADA Üniversitesi binasının inşaatı sırasında hayata geçirilmiş olup, eğitim kompleksinin havalandırma sisteminin enerji verimliliğini artırmak amacıyla kullanılmıştır. Üniversitenin arazisinde enerji talebinin yaklaşık üçte ikisini karşılamak için "GeoExchange" olarak da isimlendirilen Jeotermal Isı Pompaları (GHP) veya Jeotermal Isıtma ve Soğutma Sistemleri (GHCS) kurulmuştur. Yıllık 1390 kWh kapasiteli bu istasyonda enerji, Dada Gorgud Parkı'ndaki bir jeotermal sahadan üretiliyor. Bu sistem yıllık 702.000 litre yakıt tasarrufu sağlamanın yanı sıra 1.500 ton karbon gazının atmosfere salınımını engelliyor. Başka bir ölçüte göre, burada kurulan jeotermal ısıtma-soğutma sistemi yılda 130 hektar ormanlık alandan tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca jeotermal ısı pompaları üniversiteyi sıcak ve soğuk ile temin ediyor. Ek olarak, bu istasyon jeotermal enerji üretimi açısından klima motorlarından daha verimli olan fan coil ünitelerini kullanıyor (Huseynova, 2015:27-28).

Azerbaycan'da jeotermal enerji kullanımı ile ilgili yapılan bölgesel çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Termal suların dağıtıldığı alanlarda özerk ve merkezi olarak bu sulardan ısı kaynakları olarak Hudat, Haçmaz, Deveçi, Siyazan, Gence, Goranboy, Yevlah, Berde, Ağcabadi, Zerdab, Beylagan, Masallı, Lenkeran, Astara şehirlerinde yararlanmak mümkündür.
- Büyük Kafkasya'nın dağlık bölgelerinde ve Altıağaç-Hızı bölgesinde bulunan termal suların özerk olarak kullanımı mümkündür. Abşeron Yarımadası'ndaki sanatoryumlarda bu termal sular kullanılmaktadır.
- Termal sularda bulunan iyot, brom, bor oksit ve diğer değerli minerallerin uygun teknoloji kullanılarak işlenmesi gerekmektedir.
- Mineralizasyonu ve agresifliği yüksek termal suların kullanımı amacıyla özellikle Samur-Deveçi bölgesinde uygun teknolojinin geliştirilmesi gerekmektedir.

(Azerbaycan Ulusal Bilimler Akademisi, 2004:33)

Avrupalı bilim insanları, her yerde kullanılabilecek jeotermal enerjiden yararlanma yöntemini başarıyla test ediyorlar. Bu alanda Alman bilim adamı Burkhard Sanner'in ismi özel olarak anılmayı hak ediyor. Azerbaycan'da çok sayıda kullanılmayan petrol kuyusu bulunduğu göz önüne alındığında, Sanner yönteminin yakın gelecekte Azerbaycan için jeotermal enerji sektöründe en uygun yöntem olabileceğini söylemek mümkündür (Shafagatov, 2014:10). Bu tıkalı ve terk edilmiş arama kuyuları restore edilip jeotermal enerji üretimi için kullanılabilir. Şimdiki temel amaç, daha yüksek jeotermal potansiyele sahip kuyuların delinmesi için en uygun yeri belirlemek ve bu enerjinin kullanımının sorunlarını çözmektir. Azerbaycan'da her yıl milyonlarca ton petrolün yeryüzünün derin katmanlarından çıkarıldığını ve bu petrolün ısıyı derinlikten yüzeye aktardığını hesaba katarsak, termal sulardan enerji üretimi amacıyla petrol kuyularının kullanılması verimli olabilir. Bu nedenle, üretilen petrolün taşıdığı ilişkili jeotermal enerjinin değerlendirilmesi ve bu enerjinin kullanım olasılıklarının incelenmesi tavsiye edilmektedir (Mukhtarov vd., 2015:59).

Dünya yüzeyine yükselen volkanlar, gayzerler, çamur volkanları ve termal sular gibi çeşitli ısı biçimleri, jeotermal enerji için potansiyel kaynaklar olarak kabul edilmektedir. Azerbaycan'da aktif volkan ve gayzer olmasa da, 100 °C ve üzeri termal su sıcaklıklarına sahip yeterli araştırma kuyusu vardır. Uzun yıllardır Azerbaycan'da alternatif enerjiye ihtiyaç duyulmamıştır. Bunun nedeni, ülkenin bir petrol ülkesi olmasıdır. Bu nedenle, termal su kaynakları hariç jeotermal enerjinin olanakları ayrı olarak incelenmemiştir (İslamzade ve Mukhtarov, 2024:131).

Jermal ve mineralli su yataklarının kullanımı konusu Azerbaycan'ın her bölgesi için ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Örneğin Masallı, Lenkeran, Astara bölgelerinde termal sular bina ve seraların ısıtılmasında kullanılabiliyor. Gence bölgesinde ise daha önce açılmış petrol kuyularından çıkan sular da bu amaçla kullanılabilir. Orta Kura Havzası ve Abşeron Yarımadası'ndaki yeraltı sular termal enerji olarak kullanılmasının yanı sıra iyot ve brom gibi elementlerin elde edilmesinde, Büyük Kafkasya'nın güneydoğu ve kuzeydoğusunda bu kaynaklar sağlık merkezlerinde tedavi amaçlı, Kelbecer-İstisu'da yeni kuyuların açılması ve arıtma ağının genişletilmesi amacıyla, Kurdemir'in Çarlı sahasında ise bu kaynaklar elektrik enerjisi elde etmek için kullanılabilir (Aliyev, 2015:115).

Azerbaycan'ın en yüksek sıcaklığa sahip termal kaynağı 92°C yüzey sıcaklığı ile Çarlı 3'tür. Kuyunun debisi 20.000 m3/gün civarındadır. Jeotermal potansiyelinin değerlendirilmesi zamanı sıcaklık 20°C'ye düşürüldüğünde kuyunun enerji potansiyelin 70

MW olacağı belirtilmiştir. Bu potansiyelin ancak %5'ini kullanarak 2-3 MW'lık bir jeotermal elektrik santrali kurmak mümkün. Jeotermal santrallerin yapımına ilişkin kriterlere göre, Azerbaycan sınırları içerisinde bulunan termal suların sadece ısı kaynağı olarak kullanılmaya uygun olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ülkedeki kuyuların %80'inin su sıcaklı 40°C civarında olup, toplam termal su rezerv hacmi ise 249,000 m3/gün olmasıdır. Azerbaycan'ın jeotermal kaynaklar açısından potansiyelli bölgeleri olan Guba-Haçmaz, Nahçıvan ve Lenkeran bölgelerindeki termal suların yoğunluğu 300°C sıcaklıkta 1,19 km2 olup, bu da 43 MW elektrik enerjisine eşdeğerdir. Bu miktar ülkenin toplam üretim kapasitesinin %0,5'ini oluşturan zayıf bir göstergedir (İmamverdiyev, 2024:22-26).

1.3.5. Azerbaycan'da Biokütle Enerjisi

Enerji kaynaklarının sınırlı olduğu koşullarda evsel atıklar, faydalı olabileceği ölçüde insanlar için önemlidir. Atıkların yakılması aynı zamanda pratik öneme sahip olan yüksek enerji salınımını da beraberinde getirir. Yapılan araştırmalar ekonominin tüm sektörlerinde üretim atıklarının büyük bir kısmının biyokütle maddelerinden oluştuğunu göstermektedir. Azerbaycan'da son yıllarda sanayinin, tarımın ve sosyal hizmetlerin hızla gelişmesi, biyokütle kullanılarak enerji üretimi için yeni fırsatlar açmaktadır. Burada biyoenerji kaynakları olarak ev ve kamu hizmetleri sektöründen kaynaklanan atıklar, yanıcı endüstriyel atıklar, petrol endüstrisinin kendisinden veya onun hammaddelerinden kaynaklanan atıklar yer almaktadır. Bunun yanı sıra Azerbaycan'da hayvancılık ve tarımdan kaynaklanan atıkların biyoenerji kaynağı olarak kullanılmasına yönelik büyük fırsatlar bulunmaktadır. Bu atıklar çeşitli şekillerde işlendikten sonra kalıntıları tarımda değerli gübre olarak kullanılabilir. Bu biyokütle maddelerinden elektrik üretiminde kullanılan biyogaz, biyosıvı ve katı biyokütlenin alımı bu mümkündür (Calilov, 2009:90).

Bilimsel araştırma enstitülerinin araştırmalarına göre, Azerbaycan'da enerji ürünü olarak kullanılabilecek biyokütle miktarı 200 bin tondur. Bu değerin %60'ı orman ve tarım ürünleri, %20'si ev ve %20'si sanayi atıklardır. Enerji kaynağı gibi tarımsal atıklardan özellikle hayvan gübresi giderek daha fazla kullanılmaktadır. Her yıl Azerbaycan'da 120 bin ton büyükbaş hayvan, 7,6 bin ton koyun ve keçi, 32,5 bin ton domuz ve 7,5 bin ton kuş gübresi toplanıyor. Organik atıklar arasında lastikler, plastik malzemeler ve sentetik lifler çoğunluktadır. Endüstriyel atıkların ülkedeki yıllık hacmi yaklaşık 100 bin tondur. Bu atıklardan malzeme üretimi ekonomik açıdan karlı olsa da enerji üretimi özellikle kirlenmiş organik maddeler (plastik, kağıt, karton ve ahşap atıklar) için daha verimlidir (Sultanova, vd., 2019:113).

Azerbaycan'da her yıl 2,0 milyon tondan fazla katı evsel ve üretim atığı atık arıtma tesislerine atılmaktadır. Katı ve endüstriyel atıkların geri dönüşümü, Bakü ve ülkenin diğer büyük sanayi şehirlerindeki kamu binalarının ısıtılmasıyla ilgili zorlukların kısmen ortadan kaldırılmasını sağlar. Bu nedenle, birçok Avrupa ülkesi evsel atıkların bulunduğu yoğun nüfuslu bölgelerde atık yakma tesisleri inşa etmektedir. Bu tür öneme sahip fabrikaların inşası Azerbaycan için de çok gereklidir. Azerbaycan'da ise biyogaz üretimi yılda 57 milyon metreküpten fazladır. Ülkede sanayi ve tarımın gelişmesiyle birlikte biyolojik kaynaklardan ısı ve elektrik enerjisi üretimi için yeni fırsatlar açılmaktadır. Azerbaycan'da sanayi, tarım ve sosyal hizmetlerin hızla büyümesi, aşağıdaki biyo maddelerden toplanan biyokütleden elektrik üretimi için yeni fırsatlar yaratıyor:

- Yanıcı endüstriyel atıklar;
- Ormancılık ve ağaç işçiliği atıkları;
- Tarımsal ve organik atıklar;
- Evsel, belediye ve toplumsal atıklar;
- Petrol ve petrol ürünleriyle kirlenmiş tarlalardan geri dönüştürülen atıklar.

(Babayeva ve Shikhkarimov, 2022:16-17)

Azerbaycan'da biyokütlenin aksine biyogaz enerji üretimi açısından çok önemli bir seçenek olarak görülmemektedir. Ülkede doğal gazın bol miktarda mevcut olması nedeniyle böyle bir ihtiyaca yol açan enerji kıtlığı olmadığı düşünülmektedir. Ancak, çevresel nedenlerden dolayı, durumun dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gerekiyor. Günümüzde birçok ülke, her türlü evsel atığı yakmak için sıkışık bir yerleşim yerine inşa edilen atık yakma fırınlarını kullanıyor. Bu vesileyle, yakındaki yerleşim yerlerine atık enerji yanmasından elde edilen elektrik ve ısı sağlanıyor. Ayrıca atık enerji tesisleri, çöplük alanlarının toplum tarafından yönetilmesini sağlayabilir. Pişmiş atıkların kalıntıları, toprak verimliliğini artırmak amacıyla yaygın olarak gübre olarak kullanılıyor. Bu nedenle, bu tür tesislerin oluşturulması Azerbaycan için anlamlı olacaktır.

Mevcut durumda Azerbaycan'da toplam alanı 900 hektar olan yaklaşık 200 adet depolama sahası bulunmaktadır. Azerenerji ASC Enerji Araştırma ve Tasarım Enstitüsü'ne göre, belediye katı atıklarının miktarı (m3 cinsinden) şu şekilde tahmin edilmektedir:

- Bakü - 30.400 ton (42,8 milyon m3);
- Gence - 5.100 ton (7,2 milyon m3);
- Sumgayit - 4.900 ton (6,9 milyon m3);

- Mingeçevir - 1.600 ton (2,3 milyon m3);
- Nahçıvan - 1.200 ton (1,7 milyon m3);
- Şirvan - 1.200 ton (1,7 milyon m3).

(Hüseynova, 2015:22)

Azerbaycan'ın gıda ve tütün endüstrisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji maliyetlerini düşürmek ve üretim süreçlerini ekolojik olarak çevre dostu hale getirmek amacıyla faydalanılabilir. Özellikle biyogaz ve biyokütle enerjisi, organik atıklardan enerji üreterek bu sektöre önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca Azerbaycan'ın tarım ve hayvancılık sektörlerinde toplanan organik çöplerin enerjiye dönüştürülmesi sonucunda atık yönetimi düzenlenebilir ve enerji talebi karşılanabilir. Azerbaycan'ın kağıt ve selüloz üretim endüstrilerinde biyokütle enerjisi, enerji verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için kullanılabilir. Aynı zamanda, ağaç işleme ve ahşap ürünleri biyokütle enerjisi üretim süreçlerinin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için bir çözüm olarak kullanılabilir. Bu durum, enerji giderlerini azaltırken aynı zamanda sektörün sürdürülebilirliğini artırır. Ülkede orman ürünlerinin ve tarımsal atıkların enerji üretiminde kullanılması hem yerel ekonomiye hem de çevreye fayda sağlayabilir (Aghazada, 2024:90-91).

Hayvancılık çiftlikleri ve komplekslerinden çıkan atıkların biyokütle olarak kullanılması Azerbaycan için oldukça ümit vericidir. Bunlardan biyogaz üretimi yılda yaklaşık 890 milyon m3 olabilmektedir. Ülkede biyogaz tesislerinin gelişimini sınırlayan faktörler genellikle uzun kışlar, bitkiler tarafından yüksek metal tüketimi ve organik gübrelerin eksik dezenfeksiyonudur. Biyokütle potansiyelinin tam olarak hayata geçirilmesi için önemli koşullarından biri uygun altyapının oluşturulmasıdır (Veliyev, 2024:14).

Azerbaycan'da yaklaşık 2,7 milyon büyük boynuzlu hayvan, 10 milyon küçük boynuzlu hayvan ve 25,5 milyon kümes hayvanı bulunmaktadır ki bunların toplam yıllık deşarjlarının miktarı yaklaşık 25 milyon tona eşittir. Ülkenin büyük şehirlerden çıkan katı evsel ve üretim atıklarının yıllık hacmi 2,4 milyon tonu kapsamaktadır. Ek olarak, her yıl Azerbaycan'da en yaygın olarak bulunan biyomaddelerden oldukça önemli miktarda odun kıymığı ve marangozluk atıkları, tarımsal organik kalıntılar, petrol bazlı atıklar, toplumsal atıklar ve hayvan deşarjları birikmektedir. Bunların hepsinin yenilenebilir biyoenerji kaynakları olarak muazzam bir potansiyeli vardır. Çeşitli endüstriyel sektörlerdeki gelişmelerin yanı sıra tarım ve sosyal hizmetler Azerbaycan'da biyoenerji üretimi için fırsatları artırmaktadır (Sadigov, 2018a:7).

Azerbaycan'da biyokütle, çöp ve atıkların enerjiye dönüştürme teknik potansiyeli tahmini olarak 380 MW'tır. Ülkede biyoenerji çoğunlukla geleneksel biyokütle formunda, özellikle uzak bölgelerde ısıtma ve pişirme için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra Azerbaycan'da, evsel biyolojik olarak parçalanabilir atıklardan enerji üretme konusunda önemli bir potansiyel vardır (Mammadli, 2023:71).

Azerbaycan'ın, yeni atık arıtma tesislerinin inşası ve mevcut atık arıtma tesislerinin işletilmesi de dahil olmak üzere atık yönetimi altyapısını iyileştirmek için kamu-özel ortaklığı bulunmaktadır. Burada asıl amaç, atık arıtma tesislerinin finansmanını, tasarımını, inşaatını ve işletmesini sağlayan özel sektör şirketlerinin kamu-özel ortaklığı projelerine katılımı için uygun olanaklar sağlamaktır. Yabancı yatırımlar ve yenilenebilir endüstriye ilişkin pratik bilgiler özellikle bu kaynakları uygun şekilde ele almak için yeni yöntemlerin geliştirilmesi, altyapının inşası ve bakımı ülkenin hem ekonomik hem de ekolojik beklentilere ulaşmasında son derece önemlidir (Hüsüzade ve Memmedveliyeva, 2023:57).

Uzmanlar endüstriyel, tarımsal ve belediye atıklarından biyokütle üretimi konusunda fizibilite çalışmaları yürüterek, Dağlık Şirvan, Guba-Haçmaz, Lenkeran, Gence-Kazak ve Şeki-Zagatala ekonomik bölgelerinde biyokütle kaynaklarının enerji potansiyelini araştırıyorlar. Özellikle, Siyazan Tavuk Çiftliği, hem ısıtma hem de biyokütle atıklarından elektrik üretme kapasitesine sahiptir. Burada üretilen enerjinin ya şebekeye bağlanması ya da doğrudan elektrik jeneratörüne iletilmesi düşünülüyor. Araştırmalara göre, atık yakma tesisleri üretilen enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla yerleşim yerlerinin yakınında konumlandırılmalıdır (Rahimli, 2024:143).

Azerbaycan biyolojik olarak parçalanabilen evsel atıklardan enerji üretimi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyeli gerçekleştirmek amacıyla Bakü Katı Evsel Atık Yakma Tesisi, Azerbaycan Cumhurbaşkanının 28 Eylül tarihli Kararnamesi ile onaylanan "Azerbaycan Cumhuriyeti'nde Çevre Durumunun İyileştirilmesine İlişkin 2006-2010 Kapsamlı Eylem Planı" çerçevesinde inşa edilmiştir. Yapım ihalesini kazanan Fransız CNİM firması, tasarım ve anahtar teslim ilkelerine dayalı olarak tesisinin inşasına öncülük etmiştir. Azerbaycan Cumhurbaşkanı İlham Aliyev, tesisin temelini 3 Kasım 2009'da atmış ve 19 Aralık 2012'de açılışını gerçekleştirmiştir. Tesisin yatırım hacmi 365 milyon euro olmuştur. Bu maliyetin bir kısmı İslam Kalkınma Bankası tarafından kredi olarak verilmiş, geriye kalan kısmı ise Azerbaycan'ın devlet bütçesinden oluşturulmuştur. Ayrıca 20 yıl süreyle tesisin yönetimi CNİM şirketine emanet edilmiştir (President.az, 2012).

Bakü'nün Balahanı semtinde 20 hektar alan üzerine inşa edilen Katı Evsel Atık Yakma Tesisi yıllık 500 bin ton toplumsal atık ve 10 bin ton tıbbi atık işleme kapasitesine sahiptir. Tesis iki hattan ve elektrik enerjisi üreten 37 MW'lık bir santralden oluşuyor. İşletme sırasında atıkların hacmi 10 kat, kütlesi ise 3 kattan fazla azalıyor. Atıkların yakılması sonucu yılda yaklaşık 231,5 milyon kWh elektrik enerjisi üretim kapasitesine sahip olan tesis 100.000'den fazla evin enerji talebini karşılamanın yanı sıra yıllık 60 milyon metreküpün üzerinde doğalgaz tasarrufu sağlamaktadır. Dördüncü nesil (4G) teknolojilerin uygulanmasıyla inşa edilen tesis, üretim kapasitesi açısından Doğu Avrupa ve BDT'de bu türden en büyük tesis olarak değerlendirilmesinin yanı sıra, Avrupa Birliği'nin en katı çevre koruma standartlarını ve İSO 14001 çevre yönetimi standartlarını tam olarak karşılıyor. İşleminin bir parçası olarak, tesisin dumanı özel filtrelerle yakalanıyor ve nötrleştiriliyor. Daha sonra, yakılan atığın zararsız külleri yol yapımında kullanılırken, bu işlemde kullanılan su arıtılarak atık su sistemine bırakılıyor. Atık limitleri günlük olarak takip edilen tesis, yılda yaklaşık 100 bin ton CO2 gazının atmosfere salınımı engelliyor. Azerenerji ASC bu tesis hariç ülkedeki tüm büyük enerji santrallerini işletmektedir. Bu bağımsız santral, ülkenin elektriğinin yaklaşık %1'ini üretiyor (Gurbanov ve Mammadli, 2024:23; Huseynova, 2015:27).

2012 yılında kullanıma sunulan Balahanı Katı Evsel Atık Ayrıştırma Tesisi, Azerbaycan'da biyokütle ve atıklardan enerji alınmasına ilişkin daha bir önemli adım olarak kabul edilmektedir. Temiz Şehir ASC'nin yönetdiği bu tesis ülkede geri dönüşüm sektörünün geliştirilmesi amacıyla kurulmuştur. Yılda 200 bin tona kadar katı evsel atığı ayrıştırabilen tesis, ileri Alman teknolojileri temel alınarak inşa edilmiştir. Atıkların ayıklanması sonucunda kağıt, cam, plastik, demir ve geri dönüşüme uygun diğer hammaddeler ayrıştırılarak toplam atık hacmi azalır, ucuz hammadde pazarı oluşturulur, enerji tasarrufu sağlanır ve en önemlisi atıkların çevreye olumsuz etkisi azaltılır. Ayrıca bu atıkların %40'ından ikinci el hammadde elde edilmektedir. Burada atıkların işlenmesi ayrıştırma, geri dönüşüme hazırlama ve özel çöp sahasına gömme gibi aşamalardan oluşuyor. Öte yandan bu tesiste geri dönüştürülemeyen katı atık malzemeler yakılmaları için Bakü Katı Evsel Atık Yakma Tesisine teslim edilmektedir (Zeynalova, 2014).

Balahani Endüstri Parkı, Azerbaycan ekonomisinde sürdürülebilir kalkınma ve çevrenin korunması ilkelerine dayanan modern bir sanayi alanıdır. 2011 yılında oluşturulan ve 15 hektarlık bir alanı kapsayan bu park, geri dönüşüm ve yeşil üretim süreçlerini desteklemektedir. Bu tesis, verimli atık yönetimi ve yeniden kullanımına ilişkin

faaliyetleriyle biyoenerji alanı başta olmak üzere ülkenin yenilenebilir enerji sektöründe önemli bir rol oynuyor. Endüstri Parkı'nda atıkların hammadde olarak kullanılması biyoenerji üretimi için önemli bir mekanizmadır. Bu işlem atıkların bir enerji kaynağına veya diğer faydalı ürünlere dönüştürülmesini sağlar. Örneğin organik atıklar biyokütle formunda enerji üretimi için kullanılabilir. Girişimcilere sunulan vergi ve gümrük teşvikleri biyoenerji sektörüne olan ilgiyi artırmakta ve atıkların enerji üretiminde kullanımını yaygınlaştırmaktadır. İthal edilen teknolojik ekipmanların 7 yıl boyunca KDV ve ithalat vergisinden muaf tutulması, bu alanda faaliyet gösteren işletmelere ekonomik destek sağlamaktadır. Endüstri bölgesindeki atıkların hammadde olarak kullanılması sonucuda üretilen ürünler birçok ülkeye ihraç edilmektedir (Rzayeva ve Aliyeva:70).

2017 yılında kullanıma sunulan Samuh Agroenerji Konut Kompleksi Azerbaycan'da yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini ve tarıma entegre edilmesini amaçlayan yenilikçi bir projedir. Projenin ana hedefi Samuh ilçesinin enerji talebinin alternatif kaynaklardan karşılanmasıdır. Bu hedef doğrultusunda burada tarım ve evsel atıklardan biyoenerji üretimi için uygun koşullar sağlanmıştır. 31 MW'lık elektrik ve 48 MW'lık hibrit santrallerin yanı sıra tarım, bahçecilik ve hayvancılık çiftliklerini kapsayan projenin 10-12 yıl boyunca etaplar halinde hayata geçirilmesi planlanıyor. Projenin tam olarak uygulanması sonucunda 120 milyon kWh elektrik üretimi, 90 bin ton karbon emisyonunun azaltılması ve 60 milyon m3 doğal gaz tasarrufu sağlanacaktır. Buna ek olarak, tarım kompleksinin faaliyeti on binlerce ton meyve ve sebze, süt ve et ürünleri üretimi ve 2.000'den fazla istihdam için uygun koşullar yaratacak. Samuh Agroenerji Konut Kompleksi'nde projenin ilk aşaması tamamlanmış olup, masrafları devlete ait olmak üzere 3,8 MW'lık bir güneş-biyoenerji santrali, 1,1 MW'lık bir ısıtma tesisi ve 10/0,4 kWh'lik bir trafo merkezi kurulmuştur. Bu tesis güneş, biyoenerji ve diğer kaynaklardan elde edilen enerji üretimini tarımla birleştirerek gıda ürünlerinin üretimine, işlenmesine ve ihracatına katkıda bulunuyor (Apa.az, 2017).

Biyoenerji için Samuh Agroenerji Konut Kompleksi'nde 3000 büyükbaş hayvanın bulunduğu bir hayvancılık çiftliği, balıkçılık, tahılcılık, meyvecilik ve bitki seraları kurulacak. Ayrıca arı çiftliğini beslemek için 5000 hektar arazi tahsis edilecek. Tesis arazisinde tarım ürünlerinin işlenmesine yönelik altyapı ve biyokütle santrallerinin yanı sıra burada çalışan işçiler için 1000 evden oluşan bir konut kompleksi inşa edilecek. Projenin üç aşamada hayata geçirilmesi düşünülüyor. Burada bulunan hibrit enerji santrali, süt ve et

üretim tesisleri, yem fabrikası ve sera çiftlikleri biyoenerji potansiyelinin tam olarak uygulanmasını sağlıyor (Sadigov, 2018b:60).

Hovsan Havalandırma İstasyonunda kanalizasyon arıtması sonucu toplanan atıklardan enerji elde etmek amacıyla Devlet Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ajansı tarafından biyoenerji tesisinin inşa edilmesi planlanıyor. 50 MW gücünde olacak bu santral aracılığıyla Türkan ve Hovsan yerleşim yerlerine ısı ve elektrik enerjisi sağlanacaktır. Projenin uygulama amacının kanalizasyonların arıtılması, atıkların ayrıştırılması, zehirli gazların bertarafı ve enerji temini olduğu belirtilmiştir. İstasyonun faaliyete geçmesiyle yıllık 93,8 milyon m3 doğalgaz tasarrufu da sağlanacaktır (Budaqov, 2015).

Azerbaycan'daki Bioropean LLC, çoğunlukla restoranlardan, catering hizmetlerinden, mutfaklardan ve küçük ve büyük fast food zincirlerinden kullanılmış evsel atıkların toplanmasına odaklanan yerel bir şirkettir. Görünüşe göre, bu tesislerden toplanan ham maddeler tam olarak biyodizel üretimi için harika bir kaynaktır. Şirketin bu pazarda henüz yeni bir kuruluş olmasına rağmen, düzgün yönetilen işletim sistemi fabrikanın ISCC (Uluslararası Sürdürülebilirlik ve Karbon Sertifikasyonu) standartlarının önemli kriterlerini karşılayacak şekilde çalışmasını sağlarmıştır. Ayrıca, bu işletme kullanılmış yemeklik yağı dış pazara ihraç etmeyi başardı ki bu da Azerbaycan'ın ulusal ekonomisine katkıda bulunmak ve enerji sektörüne yeni sürdürülebilir uygulamalarla fayda sağlamak için oldukça olumlu bir adımdır (Rahimli, 2024:144).

Azerbaycan'ın coğrafi koşulları her türlü tarımsal ürünün yetiştirilmesi için elverişli bir ortam yaratmaktadır. Öte yandan, ülke 2000'li yıllardan bu yana yenilenebilir enerji sektörünün gelişimine önemli yatırımlar yapmıştır. Azerbaycan'da buğday, yulaf, şeker pancarı, pirinç, arpa, mısır, patates, kavun, pamuk ve soğan olmak üzere 10 üründen elde edilen toplam tarımsal kalıntı miktarı yaklaşık 1.099.346 ton olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç doğrultusunda araştırılan bitki atıklarından biyokütle enerjisi üretiminin Azerbaycan'da genişletilmediği görülmektedir. Azerbaycan'ın tüm bölgelerindeki söz konusu ürünler için tarımsal atıkların toplam ısıl değeri ise yaklaşık 19610.4566 GJ'dir. Bu nedenle ülkenin tarımsal atıkları sürdürülebilir bir biyokütle kaynağı üretme potansiyeline sahiptir (Naeimi vd., 2023:285).

2022 yılında Azerbaycan'da oluşan üretim ve tüketim atığı miktarı 3985,1 bin ton olup, bunun %20'si (802 bin ton) kullanılmış veya nötralize edilmiştir. Ayrıca ülkede biyokütle olarak kullanılabilen 20,1 bin ton şeker işleme atıkları, 113,5 bin ton meyve, sebze, tahıllar, bitkisel yağlar, çay ve tütünün atıkları ve 83,5 bin ton pamuk çırçır sanayisi atıkları

bulunmaktadır. 2021 yılında çoğunluğu madencilik ve işleme sektörü olmak üzere 3778 bin ton atık üretildi. Aynı yıl tarımsal atık miktarı 29,8 bin, katı evsel atık miktarı ise 2581,2 bin ton olmuştur. Biyokütle potansiyel alanları Azerbaycan topraklarının 14,4 bin km2'sini kapsıyor. Aran bölgesinde hasat sonrası oluşan pamuk sapları kullanarak biyokütle üretimi için uygun koşullar sağlamaktadır. 2021 yılında pamuk ekim alanı 100,6 bin, buğday 571,2 bin, arpa ise 369,5 bin hektar olmuştur ki, bu da pamuk için 2,1, buğday için 0,8 ve arpa için 0,5 milyon ton anız anlamına gelir. Böylece 2021 yılında 100,6 bin hektar araziden 336,8 bin ton pamuk, 989,1 bin hektar araziden ise 3257,1 bin ton tahıl temin edilmiştir. Bu kaynaklar sayesinde 300 MW'lık yeni biyoenerji üretim kapasitesi yaratmak mümkündür (İmamverdiyev, 2024:12-24).

Azerbaycan'da biyokütle bazlı enerji üretiminin gelişimi 2013-2021 yılları arasında farklılık göstererek dalgalı bir seyir izlemiştir. Bu dönemin başları olan 2013-2015 yılları arasında üretimde artış olduğu, 2015 yılında ise üretim hacminin 181,8 milyon kWh'ye ulaştığı belirtilmiştir. Ancak, 2016-2018 yılları boyunca üretimde bir düşüş yaşanmış ve 2018 yılı itibarıyla üretim hacimi 162,2 milyon kWh seviyesine gerilemiştir. Ardından, 2019-2021 yılları arasında tekrar bir artış yaşanmış ve biyokütle üretim hacmi 2021 yılında 193,2 milyon kWh'ye ulaşmıştır. Genel olarak, biyokütle üretim hacimi açısından 2013 ve 2021 yılları karşılaştırıldığında, 59,1 milyon kWh'lik bir artış gözlemlenmişdir (Bekkari, 2023b:39).

Azerbaycan Cumhuriyeti İstatistik Kurumu'ndan elde edilen veriler, 2007 ve 2022 yılları arasında enerji tüketiminin gelişimini anlamak için önemli bilgiler sağlamaktadır. Örneğin, Azerbaycan'ın toplam enerji tüketimi 2007 yılında 13.104 milyon NET (Net Enerji Transferi) seviyesindeyken, 2022 yılına gelindiğinde bu miktar 18.655,4 milyon NET'e yükselmiştir. Bu artış, ülkenin ekonomik büyümesi ve sanayileşme süreçleriyle yakından bağlantılıdır. Bununla birlikte, başta biyokütle olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimindeki rolü dikkat çekicidir. Bu artış, biyokütle enerjisinin sürdürülebilir enerji hedeflerinin bir parçası olarak etkin kullanıldığını göstermektedir. Toplam enerji tüketimindeki artışa rağmen biyokütlenin payının sınırlı kalması, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji politikalarındaki yerine ilişkin daha kapsamlı değerlendirmelere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (Aghazada, 2024:82).

Bağımsız enerji analistleri tarafından yapılan fizibilite çalışmalarına göre, Azerbaycan ülkenin kırsal alanlarında biyokütle enerjisi üretmek için elverişli fırsatlara sahiptir. Özellikle biyogaz üretiminde kullanılabilecek bitkilerin yetiştirilmesi enerji

kaynakları açısından önemli bir fırsat yaratmaktadır. Ancak bu işlem yakıt kullanımını gerektirmekte ve Azerbaycan'daki yüksek benzin ve dizel fiyatları ek maliyet yaratmaktadır. Buna ek olarak, biyokütle ürünlerinin müşterilere satışının yaygın olmaması, çiftçilerin yeşil mısır gibi biyokütle yetiştirmeye olan ilgisini azaltmaktadır. Azerbaycan Cumhuriyeti İstatistik Komitesi'ne göre, büyükbaş hayvanların beslendiği ve hammaddelerin bol olduğu kırsal alanlarda orta ölçekli bir yerli biyogaz tesisi kurmak yaklaşık 2.000 manat (1.700 €) tutmaktadır. Ancak ülkede biyokütle enerjisi kullanma potansiyeli yüksek olasına rağmen bu alanda yalnızca birkaç küçük pilot proje hayata geçirilmiştir. Bu sınırlamalar biyokütle enerjisinin Azerbaycan geneline yayılmasını yavaşlatan temel nedenler arasındadır (Safarov, 2015:4).

Azerbaycan'daki biyokütle rezervlerinin analizi sonucunda önemli potansiyele sahip toplam 200 bin ton atığın yalnızca %3,4'ünün biyoenerji kaynağı olarak kullanıldığı belirlenmiştir. Özellikle yıllık 2581,2 bin ton evsel atığın biyokütle olarak kullanılması hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemlidir. Ülkedeki tarım (pamuk, buğday ve arpa üretimi) ve hayvancılık kompleksinin biyoenerji potansiyelinin toplam 1408 MW olduğu tahmin edilmektedir. 2021 yılında hayvancılık kompleksindeki büyükbaş hayvan sayısı 2648,8 bin, koyun ve keçi sayısı ise 7899,7 bin olmuştur. Azerbaycan'da biyokütlenin en yoğun olduğu bölge Aran ekonomik bölgesi olup, burada atıklardan enerji üretimi için biyoenerji ve biyoyakıt üretim santrallerinin kurulması ekonomik ve sosyal faydalar sağlayabilir. Bunun yanı sıra Aran bölgesinde bulunan 7 farklı sahada toplam 20 MW kapasiteli biyoenerji tesislerinin inşası için uygun koşullar mevcuttur (İmamverdiyev, 2024:24-27).

Azerbaycan'ın toplam alanının %50'sini tarım arazilerinin kaplaması ve ülkedeki yüksek ürün çeşitliliği göz önüne alındığında, biyokütleden enerji üretimi önemli konulardan biri olarak kabul ediliyor. Yenilenebilir enerji sektörünün ülkede nispeten yeni ve alışılmamış bir sektör olduğu düşünüldüğünde, yine de önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Önümüzdeki yıllarda Azerbaycan'da biyokütleden enerji üretiminin payının artacağı tahmin edilmektedir (Naeimi vd., 2023:283).

BÖLÜM 2: LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Yenilenebilir Enerji Alanında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanmasına İlişkin Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi

Gezen (2015) "Aralık Katsayılı Çok Amaçlı Tamsayılı Programlama ile Türkiye'deki En Uygun Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Belirlenmesi" adlı çalışmasında, Türkiye'nin enerji talebine uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi ele alınmıştır. Çalışmanın kapsamı, Türkiye'nin mevcut ve gelecekteki enerji ihtiyacını karşılayabilecek en uygun yenilenebilir enerji kaynağını belirlemektir. Araştırma, çok amaçlı karar verme tekniklerinden "Aralık Katsayılı Çok Amaçlı Tamsayılı Programlama" yöntemini kullanarak yapılmıştır. Modeldeki parametreler aralık değerler olarak ele alınmıştır. Bulgular, hidroelektrik ve jeotermal enerji kaynaklarının Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji seçenekleri olduğunu göstermektedir.

Büyükikiz (2019) "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmasında, Türkiye'nin enerji üretiminde kullanılacak yenilenebilir enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle, güneş ve rüzgar enerjisini analiz etmektedir. Araştırma sonucunda hidroelektrik enerjisi en uygun alternatif olarak bulunmuştur, ardından jeotermal, biyokütle, güneş ve rüzgar enerjisi sıralanmıştır.

Dündar (2019) "Evsel Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Analizi" adlı çalışmasında, evlerde kullanılacak en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimi analiz edilmiştir. Çalışmada, "Aralık Tip-2 Bulanık AHP" ve "Tereddütlü Bulanık TOPSIS" yöntemleri kullanılarak çeşitli enerji alternatifleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, Orta Anadolu bölgesinde kullanılacak en uygun evsel yenilenebilir enerji kaynağını belirlemektir. Sonuçlar, güneş ve mikro hidroelektrik enerji sistemlerinin en uygun seçenekler olduğunu göstermektedir.

Yıldıran (2019) "Bulanık AHP Kullanılarak Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi" başlıklı çalışmasında, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi yapılmıştır. Çalışmada, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle ve hidro enerji kaynakları değerlendirilmiştir. Bulgular, Türkiye için en

uygun yenilenebilir enerji kaynağının güneş enerjisi olduğunu ortaya koymuş, bunu rüzgar, jeotermal ve biyokütle enerjisi takip etmiştir.

Çayır Ervural'ın Yenilenebilir enerji planlaması için bütünleşik çok amaçlı bir karar modeli önerisi başlıklı çalışmasında, Türkiye'de yenilenebilir enerji planlaması ele alınmıştır. Çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarını değerlendiren entegre bir model önerisinde bulunmayı amaçlamaktadır. Araştırmada çok amaçlı karar verme yöntemlerinden yararlanılarak, Türkiye enerji piyasası üzerine uygulamalı analizler yapılmıştır. Örneklem olarak Türkiye enerji piyasası verileri kullanılmıştır. Bulgular, yenilenebilir enerji kaynaklarının optimizasyonu ile Türkiye'de sürdürülebilir enerji planlamasının sağlanabileceğini göstermektedir (Çayır Ervural, 2018).

Karadağ Albayrak'ın Yenilenebilir enerji kaynaklarının çok faktörlü karar verme tekniklerinden bulanık entropi temelli COPRAS ve MULTIMOORA teknikleri ile bölgesel bazda değerlendirilmesi adlı çalışmasında, Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel düzeyde uygunluk analizine odaklanılmıştır. Çalışmanın amacı, enerji kaynaklarının bölgesel bazda analiz edilmesi ve en uygun yenilenebilir enerji kaynağının belirlenmesidir. Yöntem olarak Bulanık Entropi, COPRAS ve MULTIMOORA teknikleri kullanılmış, Türkiye İstatistik Kurumu'nun Düzey-2 bölge verileri örneklem alınmıştır. Bulgular, güneş ve rüzgar enerjisinin farklı bölgeler için yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Karadağ Albayrak, 2019).

Tabak'ın Bulanık analitik ağ süreci metodu ile yenilenebilir enerji kaynaklarının önem sırasına göre seçilmesi adlı çalışmasında, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının önceliklendirilmesi konusu ele alınmıştır. Araştırmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının hangi kriterlere göre önceliklendirileceğini belirlemektir. Çalışmada Bulanık Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemi kullanılmış, Türkiye'deki enerji sektörü temsilcileri ve uzman görüşlerinden örneklem olarak faydalanılmıştır. Çalışmanın bulguları, hidroelektrik ve rüzgar enerjisinin Türkiye için önde gelen seçenekler olduğunu göstermiştir (Tabak, 2022).

Konyalı'nın Türkiye için mevcut enerji üretimine alternatif yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının seçimi başlıklı çalışmasında, Türkiye'nin enerji talebini karşılayacak en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi konusu incelenmiştir. Çalışmanın amacı, enerji kaynaklarının uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlayacak bir model geliştirmektir. Yöntem olarak çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak çeşitli senaryolar uygulanmış ve Türkiye'nin farklı bölgelerinden enerji verileri örneklem olarak

alınmıştır. Çalışmanın sonuçları, güneş enerjisinin Türkiye için en uygun kaynak olduğunu ortaya koymaktadır (Konyalı, 2019).

Ulutaş Hasırcıoğlu'nun Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının çok kriterli karar verme teknikleri ile belirlenmesi adlı çalışmasında, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal açılardan analiz edilmiştir. Araştırmanın amacı, Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağını belirlemektir. Yöntem olarak PROMETHEE, Multi-MOORA ve PSI gibi çok kriterli karar verme teknikleri kullanılmış, veriler Türkiye genelindeki enerji kaynaklarından örneklenmiştir. Çalışmada hidrolik enerji en uygun seçenek olarak belirlenmiştir, ardından biyokütle ve güneş enerjisi gelmektedir (Ulutaş Hasırcıoğlu, 2021).

Eroğlu'nun "Üs Bölgesi Enerji İhtiyacının Karşılanması Kapsamında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Seçiminde Çok Kriterli Karar Destek Sistemi" adlı çalışmasında, askeri üs bölgelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, üs bölgelerinin enerji ihtiyacını karşılayacak en uygun yenilenebilir enerji kaynağını belirlemektir. Araştırmada DEMATEL, SWARA ve SMAA-2 gibi çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Örneklem olarak beş farklı bölgeden veri toplanmış ve BORDA yöntemi ile sonuçlar birleştirilmiştir. Sonuçlar, rüzgar ve güneş enerjisinin üs bölgelerinde en uygun enerji kaynakları olduğunu göstermektedir (Eroğlu, 2021).

Satik'in "Türkiye'de Çok Kriterli Karar Verme Süreçlerine Göre En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağı Alternatifinin Belirlenmesi" adlı çalışmasında, Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının belirlenmesi incelenmiştir. Çalışmanın amacı, Türkiye'nin enerji bağımlılığını azaltmak için en uygun yenilenebilir enerji kaynağını bulmaktır. Yöntem olarak AHP, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılmış, veriler uzmanlardan anket yoluyla toplanmıştır. Analizler sonucunda, güneş, rüzgar ve hidroelektrik enerjilerinin Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynakları olduğu belirlenmiştir (Satik, 2023).

Aydın'ın "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği" adlı çalışmasında, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağını belirlemektir. Araştırmada AHS, COPRAS ve MULTIMOORA yöntemleri kullanılmış, veri toplamak için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan uzmanların görüşleri alınmıştır. Analizler sonucunda hidroelektrik, güneş,

rüzgar, jeotermal ve biyokütle sıralamasının Türkiye için en uygun alternatifler olduğu görülmüştür (Aydın, 2020).

Tepret'in "Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının AHP ile Değerlendirilmesi ve SPSS ile Anket Çalışmasının Yapılması" başlıklı çalışmasında, Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynakları ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, Türkiye için uygun enerji kaynaklarının belirlenmesidir. Yöntem olarak AHP kullanılmış, veriler ise SPSS ile analiz edilmiştir. Çalışmanın bulguları, güneş, rüzgar ve hidroelektrik enerjilerinin Türkiye için öncelikli kaynaklar olduğunu ortaya koymaktadır (Tepret, 2022).

Şanlı'nın "Demir-Çelik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yaygın Kullanılamama Sebeplerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) Yöntemi ile Analizi" başlıklı çalışmasında, Karabük ili örneği üzerinden demir-çelik sektöründe yenilenebilir enerji kullanımındaki engeller incelenmiştir. Çalışmanın amacı, bu sektörde yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanılmamasının sebeplerini analiz etmektir. Araştırmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) kullanılarak ekonomik, teknik, çevresel ve sosyal sebepler dört ana kriter olarak ele alınmıştır. Anket yöntemiyle 13 işletmeden veri toplanmış ve bulgular ekonomik faktörlerin en büyük engel olduğunu göstermiştir (Şanlı, 2020).

Çoruk'un "AREL Üniversitesi Ön Enerji Etüdü ve Bulanık AHP Yöntemiyle Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Analizi" adlı çalışmasında, İstanbul Arel Üniversitesi'nin enerji ihtiyacını rüzgar enerjisi ile karşılayabilme olanakları değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanırlığını belirleyerek rüzgar türbini seçiminde uygun alternatiflerin belirlenmesidir. Bu kapsamda, Bulanık AHP yöntemi ile değerlendirme yapılmış ve enerji sektörü uzmanlarının görüşleri alınarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Sonuçlar, üniversite için rüzgar enerjisinin uygun bir seçenek olduğunu ortaya koymuştur (Çoruk, 2018).

Çakmak'ın "Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Ağırlıklı Bulanık Öbekleme Tabanlı Bir Yer Seçimi Yöntemi" başlıklı çalışmasında, Türkiye'de biyogaz tesisleri için uygun yerlerin belirlenmesi amacıyla çok kriterli bir yer seçimi analizi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, biyogaz tesis yer seçimi için optimal alanların belirlenmesidir. Yöntem olarak ağırlıklı bulanık öbekleme tabanlı yer seçimi modeli geliştirilmiş ve veri seti Türkiye'deki biyogaz tesislerinden elde edilmiştir. Bulgular, Konya ilinde belirli bölgelerin biyogaz tesisleri için uygun olduğunu göstermiştir (Çakmak, 2024).

Çolak'ın "Bütünleşik Bir Bulanık Karar Modeli ile Türkiye İçin Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Değerlendirilmesi" adlı çalışmasında, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları arasından en uygun seçeneklerin belirlenmesi incelenmiştir. Çalışmanın amacı, Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarını belirlemektir. Araştırmada Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve TOPSIS yöntemleri kullanılmış ve uzman görüşleriyle yapılan değerlendirmeler sonucunda güneş ve rüzgâr enerjisi en uygun alternatifler olarak belirlenmiştir (Çolak, 2015).

Turgut'un "Sürdürülebilir ve Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Bulanık VIKOR ve Bulanık TODIM Teknikleriyle Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmasında, sürdürülebilir enerji santralleri ekonomik, teknik ve çevresel boyutlarda değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, Türkiye'nin enerji üretiminde kullanılacak en uygun yenilenebilir enerji santralini belirlemektir. Bu amaçla, Bulanık VIKOR ve TODIM yöntemleri kullanılarak dört enerji kaynağı (güneş, rüzgar, hidroelektrik, bioqaz) değerlendirilmiştir. Bulgular, TODIM sonuçlarına göre bioqazın en iyi alternatif olduğunu göstermektedir (Turgut, 2017).

Darende'nin "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Bölgesel Yatırımlarının Sezgisel Bulanık Mantık Yöntemi ile İncelenmesi" başlıklı çalışmasında, Türkiye'deki yedi bölge için yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, her bölgeye uygun enerji türlerini belirlemektir. Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak güneş, jeotermal, rüzgar, biyokütle ve hidroelektrik enerji kaynakları analiz edilmiştir. Bulgular, her bölge için en uygun yenilenebilir enerji kaynağını öncelik sırasına göre sunmaktadır (Darende, 2019).

İlbahar'ın "Bulanık Belirsizlik Altında Yenilenebilir Enerji Yatırım Kararları" adlı çalışmasında, yenilenebilir enerji yatırımlarının belirsizlik altında değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada, İç Anadolu Bölgesi için enerji kaynakları, Pisagor Bulanık WASPAS yöntemi ile analiz edilmiştir. Ayrıca biyokütle dönüşüm teknolojileri için Pisagor Bulanık Aksiyomatik Tasarım yöntemi uygulanmıştır. Analiz sonuçları, biyokütlenin en uygun enerji kaynağı olduğunu ve bu kaynak için yakma teknolojisinin önde geldiğini göstermektedir (İlbahar, 2022).

Erçiftçi'nin "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Bulanık AHP Metodu ile Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi" çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik açısından analiz edilmesi ele alınmıştır. Çalışmada, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak ekonomik, sosyal ve çevresel faktörler değerlendirilmiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğe etkisi

incelenmiştir. Bulgular, hidroelektrik enerjisinin sürdürülebilirlik açısından en etkili enerji türü olduğunu göstermektedir (Erçiftçi, 2022).

Najafaliyev'in "Bağımsızlık Sonrası Azerbaycan'ın Enerji Politikası ve Türkiye Etkisi" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'ın Sovyetler Birliği'nin dağılmasından sonra enerji politikasının gelişimi ve bu süreçte Türkiye'nin etkisi incelenmiştir. Çalışmanın amacı, Azerbaycan'ın petrol ve doğal gaz politikalarını analiz etmek ve Türkiye'nin bu politikadaki rolünü değerlendirmektir. Araştırmada, Azerbaycan Devlet Petrol Şirketi'nin faaliyetleri ve TANAP ve TAP projeleri ele alınmıştır. Bulgular, Azerbaycan'ın enerji kaynaklarının Türkiye üzerinden uluslararası piyasalara açılmasının enerji güvenliğine katkı sağladığını göstermektedir (Najafaliyev, 2021).

Huseynli'nin "Enerji İhracatı ve Ekonomik Büyüme İlişkisi (Azerbaycan Özelinde Bir Analiz)" adlı çalışmasında, Azerbaycan'ın enerji ihracatı ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, petrol ve doğal gaz ihracatının Azerbaycan'ın GSYH'sine olan etkisini belirlemektir. Pearson korelasyon analizi, Granger nedensellik testi ve CUSUM gibi ekonometrik testler kullanılmıştır. Sonuçlar, petrol ve doğal gaz ihracatının ekonomik büyüme üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu, ancak elektrik ihracatının aynı etkiye sahip olmadığını ortaya koymaktadır (Huseynli, 2019).

Babayev'in "Azerbaycan'ın Stratejik Önemi ve Enerji Güvenliği" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'ın jeopolitik konumu ve enerji güvenliği ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, Azerbaycan'ın sahip olduğu enerji kaynaklarının stratejik önemini ve bu kaynakların güvenliğini değerlendirmektir. Azerbaycan'ın enerji politikaları, yabancı şirketlerle yapılan anlaşmalar ve Hazar Denizi'nin hukuki statü sorunu gibi konular incelenmiştir. Bulgular, Azerbaycan'ın enerji kaynaklarının Batı ve Doğu arasında stratejik bir köprü görevi üstlendiğini göstermektedir (Babayev, 2017).

Abdurahmanov'un "Building a Sustainable Future with Wind Energy: Azerbaijan's Ambitious Plans for Karabakh" adlı çalışmasında, Azerbaycan'ın Karabağ bölgesinde rüzgar enerjisi potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, Karabağ bölgesinde rüzgar enerjisi kullanımını artırmak için en uygun senaryoyu belirlemektir. Araştırmada PROMETHEE II yöntemi kullanılarak dört farklı senaryo analiz edilmiştir. Bulgular, yatırım ve kurulu kapasiteyi artıran senaryonun en uygun seçenek olduğunu ortaya koymaktadır (Abdurahmanov, 2023).

İsmayilov'un "Enerji Güvenliği Bağlamında Türkiye ve Azerbaycan'ın Enerji Politikası" başlıklı çalışmasında, Türkiye ve Azerbaycan'ın enerji güvenliği stratejileri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, bu ülkelerin enerji politikalarını değerlendirmek ve enerji güvenliğini sağlama yollarını ortaya koymaktır. Araştırma kapsamında Türkiye ve Azerbaycan'ın enerji kaynakları, Hazar Denizi'ndeki enerji projeleri ve Batı ülkelerinin etkileri ele alınmıştır. Bulgular, enerji güvenliği açısından çok yönlü stratejilerin Türkiye ve Azerbaycan için önemli olduğunu göstermektedir (İsmayilov, 2018).

Isayev'in "Azerbaycan'ın Hazar Denizi Açıklarında Potansiyel Rüzgar Çiftliği Tasarımı" başlıklı çalışmasında, Hazar Denizi'nin Azerbaycan sahilinde rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, uygun rüzgar çiftliği tasarımı ile enerji üretimini artırmaktır. Çeşitli bölgelerdeki rüzgar hızı analiz edilmiş ve uygun türbin seçimi yapılmıştır. Bulgular, Azerbaycan kıyılarında rüzgar enerjisinin ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır (İsayev, 2022).

Türkmen'in "Hazar Enerji Kaynaklarının Bölge Ülkelerinin Sosyal ve Ekonomik Gelişimine Katkısı: Azerbaycan Örneği" başlıklı çalışmasında, Hazar enerji kaynaklarının Azerbaycan ekonomisi ve bölge ülkeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, enerji kaynaklarının bölgesel kalkınmaya etkisini analiz etmektir. Araştırmada, "kaynak laneti" ve "Hollanda hastalığı" gibi teorik çerçeveler kullanılarak Azerbaycan özelinde analiz yapılmıştır. Sonuçlar, enerji kaynaklarının Azerbaycan ekonomisinde hem fırsatlar hem de riskler yarattığını göstermektedir (Türkmen, 2015).

Nasibli'nin "Enerji Kaynaklarının Azerbaycan Bütçe Dengesi Üzerindeki Etkisi" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'daki enerji kaynaklarının ülkenin bütçe dengesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, petrol ve doğal gaz gelirlerinin Azerbaycan ekonomisi üzerindeki finansal etkilerini incelemektir. Çeşitli mali analizler yapılarak bütçe politikalarının enerji sektöründeki dalgalanmalardan nasıl etkilendiği analiz edilmiştir. Bulgular, enerji kaynaklarının bütçeye önemli gelir sağladığını ancak piyasa dalgalanmalarının risk oluşturduğunu göstermektedir (Nasibli, 2018).

Ahmadov'un "Hazar Denizi'nin Farklı Bölgelerinde Potansiyel Rüzgar Çiftliklerinin Maliyet Hesabı Analizleri" başlıklı çalışmasında, Hazar Denizi'nde kurulması planlanan rüzgar çiftliklerinin maliyet analizleri yapılmıştır. Çalışmanın amacı, rüzgar enerjisi projelerinin maliyet etkinliğini değerlendirmektir. Araştırmada, bölgede farklı rüzgar çiftlikleri tasarlanarak yatırım maliyetleri ve beklenen getiri analiz edilmiştir. Bulgular, bazı bölgelerde rüzgar enerjisi çiftliklerinin karlı olabileceğini göstermektedir (Ahmadov, 2020).

.

Gurbanova (2018) "Türk Cumhuriyetlerinde Alternatif Enerjinin Geleceği" başlıklı çalışmasında, Türkiye, Azerbaycan, Kazakistan, Türkmenistan, Özbekistan ve Kırgızistan'daki alternatif enerji kaynaklarının potansiyeli ve gelişimi değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak bu ülkelerde sürdürülebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesini sağlamaktır. Araştırmada literatür taraması yapılmış ve enerji güvenliği bağlamında çeşitli değerlendirmeler sunulmuştur. Bulgular, rüzgar ve güneş enerjisinin Türk Cumhuriyetlerinde önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Salamov (2004) "Azerbaycan'ın Enerji Kaynakları" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'da enerji kaynaklarının çeşitliliği ve kullanım alanları analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, petrol, doğal gaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının Azerbaycan ekonomisine katkılarını değerlendirmektir. Çalışmada enerji üretimi, rezervler ve boru hattı projeleri gibi konular ele alınmış ve enerji sektörünün tarihsel gelişimi incelenmiştir. Bulgular, Azerbaycan'ın petrol ve doğal gaz sektöründe büyük bir potansiyele sahip olduğunu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının giderek önem kazandığını göstermektedir.

Bekkari'nin "Azerbaycan'ın Doğal Kaynak Donanımının Küresel Enerji Arz Güvenliği Çerçevesinde Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'ın enerji kaynakları ve bu kaynakların küresel enerji arz güvenliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın amacı, Azerbaycan'ın doğal kaynaklarının Avrupa Birliği'nin enerji güvenliğindeki rolünü analiz etmektir. Araştırma, enerji güvenliği ve Avrupa Birliği-Azerbaycan ilişkileri çerçevesinde ele alınmıştır. Bulgular, Azerbaycan'ın enerji kaynaklarının Avrupa Birliği için önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir (Bekkari, 2023b).

İsmayilov'un "Hazar Denizi'nin Azerbaycan Kısmındaki Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması ve Simule Edilmesi" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'ın Hazar Denizi kıyılarında rüzgar enerjisi potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, rüzgar enerjisinin potansiyelini ölçerek enerji üretim kapasitesini belirlemektir. WindPRO yazılımı kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre, bölgedeki rüzgar hızının ve güç yoğunluğunun yatırım için uygun olduğu ortaya konulmuştur (İsmayilov, 2023).

Mahmudzade'nin "Azerbaycan/Bakü Şartlarında Mega Ölçekli Şebeke Bağlantılı Bir Güneş Enerji Santralinin PVSYST Programı Kullanılarak Performans Analizi" başlıklı çalışmasında, Bakü'de büyük ölçekli bir güneş enerji santralinin performansı analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, bölgenin güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek ve farklı kurulum türlerinin performansını karşılaştırmaktır. PVsyst simülasyon yazılımı kullanılarak

yapılan analizlerde, en yüksek enerji üretimi ve karbon azaltımı çift eksenli güneş takip sistemlerinde elde edilmiştir (Mahmudzade, 2024).

Aghayeva'nın "Azerbaycan'da Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi" başlıklı çalışmasında, yenilenebilir enerji tüketiminin Azerbaycan ekonomisine katkısı değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketiminin ekonomik büyümeye olan etkisini analiz etmektir. Yeni Nesil Genişletilmiş ARDL sınır testi kullanılarak yapılan analizlerde, yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın ekonomik büyümeyi pozitif yönde etkilediği bulunmuştur (Aghayeva, 2024).

Hamidov'un "Azerbaycan'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kapasite ve Kullanılabilirlik Analizi" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'daki yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut kapasitesi ve gelecekteki kullanım potansiyeli analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, Azerbaycan'ın güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan faydalanma düzeyini incelemektir. Çalışmada elde edilen bulgular, güneş enerjisinin ülkenin enerji altyapısına entegre edilmesiyle çevresel ve ekonomik faydalar sağlanabileceğini göstermektedir (Hamidov, 2024).

Zeynalova'nın "Azerbaycanda Alternativ Enerji Menbelerinden İstifade Edilmesinin Ekocoğrafi İstiqametleri" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'da alternatif enerji kaynaklarının kullanım potansiyeli ve çevresel etkileri analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının Azerbaycan'daki ekocoğrafi koşullara uygunluğunu değerlendirmektir. Çalışmada, mevcut elektrik üretim tesislerinin performansı ele alınmış ve rüzgâr, güneş enerjisi gibi temiz enerji kaynaklarının çevresel katkılmaktadırı incelenmiştir. Bulgular, alternatif enerji kullanımının ülkenin enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir çözüm olduğunu göstermektedir (Zeynalova, 2017).

Rzali ve Dikkaya'nın "Azerbaycan Enerji Sektöründe Yapısal Sorunlar: Ekonomi Politik Bir Analiz" adlı çalışmasında, Azerbaycan enerji sektöründeki yapısal sorunlar ekonomik-politik bir perspektifle ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, enerji arz güvenliğini etkileyen yapısal sorunları belirlemek ve çözüm önerileri sunmaktır. Araştırma, enerji sektöründe altyapı eksiklikleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersiz gelişimi ve elektrik sektöründeki tekelci yapılar gibi konuları kapsamaktadır. Bulgular, enerji arz güvenliğinin artırılması için sektörde yapısal reformların gerekliliğini vurgulamaktadır (Rzali ve Dikkaya, 2019).

Aydın'ın "Energy Insecurity and Renewable Energy Sources: Prospects and Challenges for Azerbaijan" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'da enerji güvenliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışmanın amacı, ülkenin enerji güvenliğini artırmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek ve karşılaşılan zorlukları analiz etmektir. Çalışmada, enerji sektöründeki yasal altyapı ve çevresel politikalar değerlendirilmiş, özellikle 2018'deki enerji kesintisi olayları analiz edilmiştir. Sonuçlar, enerji güvenliğinin sürdürülebilir enerji çözümleri ile sağlanabileceğini göstermektedir (Aydın, 2019).

Bulut, Süleymanov, Mahmudlu ve Vidadili'nin "Transition to Renewable Energy and Sustainable Energy Development in Azerbaijan" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'da yenilenebilir enerjiye geçiş ve sürdürülebilir enerji gelişimi analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Araştırmada, ülkenin fosil yakıtlara bağımlılığı ve yeşil enerjiye geçişte karşılaşılan zorluklar ele alınmıştır. Bulgular, yenilenebilir enerji kullanımının uzun vadede sürdürülebilir kalkınma sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Vidadili vd., 2017).

Akkurt'un "Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Çevresel Etkileri ve Kayseri Örneği" başlıklı çalışmasında, Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri, Kayseri ili özelinde incelenmiştir. Çalışmanın amacı, çevre dostu enerji kaynaklarının önemini vurgulamak ve Kayseri'de uygulanabilir enerji seçeneklerini analiz etmektir. Araştırmada, güneş ve rüzgar enerjisinin çevresel faydaları ele alınmış, Kayseri'de bu kaynaklardan yararlanma potansiyeli değerlendirilmiştir. Bulgular, yenilenebilir enerji kullanımının hava kalitesini iyileştirdiğini ve çevresel dengeyi koruduğunu göstermektedir (Akkurt, 2016).

Ahmadova ve Alizade'nin "Azerbaycan'da Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımına Yönelik Planlama Faaliyetleri ve Stratejisi" adlı çalışmasında, Azerbaycan'da yenilenebilir enerji kaynaklarının yönetimi ve sürdürülebilir enerji stratejisi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, 2015-2020 stratejisi kapsamında alternatif enerji kullanımının yaygınlaştırılmasına dair mevcut durumun ve gelecekteki planlamaların değerlendirilmesidir. Bulgular, yenilenebilir enerji projelerinin enerji güvenliğini artırmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Ahmadova ve Alizade, 2021).

Shafagatov'un "Azerbaycanda Alternativ Ve Berpaolunan Enerji Menbelerinin Menimsenilmesi Perspektivleri" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'da alternatif ve

yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, ülkenin coğrafi ve ekonomik koşulları ışığında alternatif enerji kullanımını teşvik etmektir. Bulgular, özellikle rüzgar ve güneş enerjisinin Azerbaycan için sürdürülebilir enerji sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Shafagatov, 2014).

Safarov'un "Renewable Energy Perspectives of Oil Exporter Azerbaijan" adlı çalışmasında, Azerbaycan'ın yeşil enerji sektörüne geçiş potansiyeli incelenmiştir. Çalışmanın amacı, Azerbaycan'ın petrol bağımlılığını azaltarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini sağlamaktır. Bulgular, güneş ve rüzgar enerjisinin özellikle verimli olduğu ve bu kaynaklara yatırım yapılmasının enerji güvenliğini artıracağı yönündedir (Safarov, 2015).

Salamov ve Allahverdiyev'in "Prospects for the Use of Renewable Energy Sources in Azerbaijan" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'daki yenilenebilir enerji kaynaklarının gelecekteki kullanım potansiyeli analiz edilmiştir. Çalışmada, güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal enerji kaynaklarının avantajları değerlendirilmiştir. Bulgular, Azerbaycan'ın doğal koşullarının güneş ve rüzgar enerjisi için oldukça uygun olduğunu göstermektedir (Salamov ve Allahverdiyev, 2022).

Hajiyev (2020) "Overview of Renewable Energy Sources and the Case of Azerbaijan" başlıklı çalışmasında, Azerbaycan'da yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut durumu ve gelişim fırsatları analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik ederek enerji güvenliğini sağlamaktır. Bulgular, rüzgar ve güneş enerjisinin gelişimi için bölgesel potansiyelin yüksek olduğunu ve ülkenin enerji stratejisinin bu alanlarda iyileştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Mustafayev, Kulawczuk ve Orobello'nun "Renewable Energy Status in Azerbaijan: Solar and Wind Potentials for Future Development" adlı çalışmasında, Azerbaycan'ın güneş ve rüzgar enerjisi potansiyelleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut durumu ile birlikte potansiyelini ve yasal düzenlemelerin yetersizliğini değerlendirmektir. Sistematik bir literatür incelemesi yapılmış ve enerji politikalarının iyileştirilmesi için öneriler sunulmuştur. Bulgular, Azerbaycan'ın güneş ve rüzgar enerjisinde büyük bir potansiyele sahip olduğunu ancak eksiklikler nedeniyle bu potansiyelin yeterince kullanılamadığını göstermektedir (Mustafayev vd., 2022).

Mustafayev'in "The Potential Role of Renewable Energy in Providing Energy Security of Azerbaijan" başlıklı doktora tezinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının

Azerbaycan'ın enerji güvenliğine katkısı araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, hidrokarbon bağımlılığını azaltarak yeşil enerjiye geçişin enerji güvenliğini artırma potansiyelini değerlendirmektir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın MOSES modeli kullanılarak enerji güvenliği değerlendirilmiş ve yenilenebilir enerji projelerinin ekonomik katkısı incelenmiştir. Bulgular, yeşil enerjiye geçişin enerji güvenliğini olumlu etkilediğini göstermektedir (Mustafayev, 2021).

Mukhtarov ve diğerlerinin "The Financial Development-Renewable Energy Consumption Nexus in the Case of Azerbaijan" adlı makalesinde, Azerbaycan'da finansal gelişim, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, ekonomik büyüme ve finansal gelişim ile enerji tüketimi arasındaki etkileşimleri analiz etmektir. Çalışma ARDL (Otogresif Dağıtılmış Gecikme Sınırlama Testi) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bulgular yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeye pozitif katkı sağladığını ve finansal araçların enerji yatırımlarını desteklediğini ortaya koymuştur (Mukhtarov vd., 2020).

Nuriyev'in "A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Application for Renewable Energy Selection in Azerbaijan" adlı çalışmasında, Azerbaycan için en iyi yenilenebilir enerji kaynağını seçmek için Bulanık Analitik Hiyerarşi Sürecini (FAHP) kullanmaktadır. Çalışma, güneş, rüzgar ve hidro enerjisini ekonomik, çevresel, sosyal ve teknik kriterlere göre değerlendirmektedir. Karar alma sürecindeki belirsizlikleri ele alarak, FAHP modeli, kullanılabilirliği ve maliyet etkinliği nedeniyle güneş enerjisini en uygun seçenek olarak belirlerken, hidro enerjisi coğrafi ve çevresel sınırlamalar nedeniyle en düşük sırada yer almaktadır (Nuriyev, 2023).

İmamverdiyev'in "Optımal Sıte Selectıon for The Installatıon of Solar PV Plants: A Case Study in Nakhcıvan AR, Azerbaıjan" isimli çalışmasında, Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti'nde güneş enerji potansiyelinin etkin kullanımı ve fotovoltaik güneş enerji santrallerinin kurulumu için en uygun yerlerin belirlenmesini hedeflemiştir. Çalışmada güneş enerjisi potansiyeli, topografya (rölyef, eğim, yön), iklim, elektrik bağlantısı ve ulaşım kriterleri kullanılmıştır. Çalışma, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi kapsamında Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Hesaplama sonucunda 510 km2'lik bir alanda toplam 2,55 GW kapasiteli fotovoltaik santrallerin kurulması mümkün görülmüştür. Araştırmalar zamanı elde edilen verilerin analizi neticesinde, Nahçıvan'ın güneydeki Culfa, Ordubad ve Babek ilçelerinin

güneş elektrik santralleri kurmak için en uygun bölgeler olduğu sonucuna varılmıştır (İmamverdiyev, 2021b).

Abbaszade'nin "Azerbaycanda Alternatif Enerji Santrallerinin Kurulumu İçin Yer Seçimi" adlı çalışması Azerbaycan genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı ve alternatif enerji santrallerinin kurulumu için en uygun yerlerin seçimini ele alır. Çalışmada Güneş, Rüzgar, Jeotermal, Biokütle ve Hidroenerji kaynakları alternatifler olarak kullanılmıştır. Araştırma, enerji arz güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınmayı desteklemeyi hedefler. Araştırmada kullanılan verimlilik, inşaat süresi, coğrafi uygunluk, yatırım maliyeti, ekonomik ömür, çevre zararı, sosyal kabul, istihdam ve risk kriterleri bulanik ÇKKV tekniklerinden bulanık TODİM (İteratif Çok Kriterli Karar Verme) yöntemi uygulanarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. En önemli kriter olarak 0.94 değeri ile coğrafi uygunluk kriteri seçilmiştir. Bulanik TODIM hesaplamalari sonucu Azerbaycan'da kurulumu mümkün alternatif enerji santralleri için yerler tespit edilmistir. Güneş enerji santrali için en uygun yer Nahçıvan, Rüzgar enerji santrali için Abşeron, hidroenerji santrali için Lenkeran (Hanbulancay), biokütle enerji santrali için Abşeron, jeotermal enerji santrali için en uygun yer Salyan olarak belirlenmiştir (Abbaszade, 2021).

Nuriyev ve arkadaşlarının "Renewable Energy Transition Task Solution for the Oil Countries Using Scenario-Driven Fuzzy Multiple-Criteria Decision-Making Models: The Case of Azerbaijan" isimli çalışmalarında petrol bağımlı ülkelerde, özellikle Azerbaycan'da, yenilenebilir enerjiye geçiş stratejilerinin belirlenmesini hedeflemiştir. Fosil yakıt bağımlılığını azaltarak sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmek için karar destek modellerinin gerekliliği ele alınmıştır. Araştırmada güneş, rüzgar, hidroenerji ve doğal gaz kaynakları alternatif olarak belirlenmiştir. Literatür analizi ve uzmanlarla yapılan tartışmaların ardından hükümet politikası ve düzenlemesi, sosyal kabul, işgücü etkisi, maliyet verimliliği, taşma etkileri, teknoloji verimliliği ve güvenilirliği, kaynak bulunabilirliği ve çevresel etki gibi karar alma kriterleri seçildi. Problem çözümü için dört farklı Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) yöntemi kullanıldı: bulanık basit eklemeli ağırlıklandırma (F-SAW) yöntemi, mesafe tabanlı bulanık TOPSIS yöntemi (İdeal Çözüme Benzer Sıra Tercihi Tekniği), oran analizi tabanlı bulanık MOORA yöntemi (Oran Analizine Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli) ve bulanık çok kriterli optimizasyon ve uzlaşma çözümü yöntemi VIKOR (Sırpça: VIekriterijumsko Kompromisno Rangiranje). Ülke için önerilen çözüm, doğal gazı orta düzeyde artırmayı, hidroyu korumayı ve güneşi ve rüzgarı orta düzeyde artırmayı içerir (Nuriyev vd., 2023).

Nuriyev'in "Selection of Renewables for Economic Regions with Diverse Conditions: The Case of Azerbaijan" isimli araştırmasında Azerbaycan'ın farklı şartlara sahip ekonomik bölgelerindeki farklı coğrafi ve kaynak koşullarına uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada güneş, rüzgar ve hidroenerji alternatifleri kullanılmıştır. Alternatifler altı kritere göre (hükümet politikası ve düzenlemesi, sosyal kabul, işgücü etkisi, maliyet verimliliği, çevresel etki, ve kaynak bulunabilirliği) değerlendirilmiştir. Araştırmalar Z-sayılarına dayalı TOPSİS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu araştırmada Karabağ ve Guba-Haçmaz ekonomik bölgeleri için elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Karabağ bölgesinin (dağlık ve etek) ve (ova) alanlarına yönelik hesaplamalar yapılmıştır. Karabağ'ın dağlık ve etek alanları için en iyi alternatif hidroenerji, ardından güneş ve ardından rüzgar enerjisi olarak belirlenmiştir. Karabağ bölgesinin ova kısmı için en iyi alternatif ise güneş, ardından hidro ve ardından rüzgar enerjisi olarak belirtilmiştir. Guba-Haçmaz ekonomik bölgesinin ilk önce (deniz kıyısı) ve ikinci (dağ eteği) kısımları için yenilenebilir enerjini alternatiflerinin uygunluk hesaplamaları yapılmıştır. Guba-Haçmaz bölgesinin deniz kıyısı alanları için en iyi alternatif rüzgar, ardından güneş ve ardından hidroenerji olarak sıralandırılmıştır. Guba-Haçmaz bölgesinin dağ eteği kısımları için en uygun alternatif güneş, ardından hidro ve ardından rüzgar enerjisi olarak belirlenmiştir (Nuriyev vd., 2022).

İmamverdiyev'in "Site selection for solar photovoltaic system installation using analytical hierarchy process model in Azerbaijan" isimli çalışmasında Azerbaycan'da güneş fotovoltaik sistemleri için uygun yerlerin belirlenmesi kapsamında araştırmalar yapılmıştır. Çalışma alanı, Güney Kafkasya'da 86,6 bin km2'lik bir alanla neredeyse tüm Azerbaycan'ı kaplamıştır. Çalışmada, AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi ile güneş enerjisi üreten fotovoltaik santraller için potansiyel alanlar analiz edilerek en uygun yerler belirlenmiştir. Bu alanlar, tarım, sanayi ve korunan alanlar hariç olmak üzere, çoğunlukla güneş enerjisinin uygulanabileceği büyük ölçekli alanları kapsamaktadır. Çalışmada kullanılan kriterler, meteorolojik (güneş ışınımı seviyesi ve hava sıcaklığı), ekonomik (bir yerleşim alanına uzaklık, yollara ve trafolara uzaklık) ve topografik (eğim, arazi görünümü, rahatlama) olmak üzere üç grupta sistematize edilmiştir. Güneş ışınımı seviyesi önem düzeyine göre en uygun kriter olarak ağırlıklandırılmıştır. Araştırmanın sonucunda, ekonomik, çevresel ve meteorolojik kriterlerin AHP ağırlık değerlerine göre belirlenen, daha yüksek güneş ışınımı, yoğun güneşlenme süresi ve yüksek gökyüzü açıklık endeksi nedeniyle güneş enerjisi

santrallerinin kurulumu için en uygun alternatif bölgelerin Nahçıvan, Abşeron, Gence-Kazak ve Aran bölgeleri olduğu sonucuna varılmıştır (İmamverdiyev, 2021a).

Nuriyev (2021) tarafından yapılan "An Integrated Approach for Renewable Energy Resource and Plant Location Selection" adlı çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları ve santral lokasyonlarının seçimi için birleşik bir yaklaşımın uygulanmasına odaklanmaktadır. Bulanık mantık ve Z bilgisi de dahil olmak üzere araştırma, çok kriterli karar verme (MCDM) tekniklerinden TOPSIS ve AHP yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, kaynak seçimi ve santral lokasyonunu geleneksel iki aşamalı yönteme kıyasla entegre eden tek adımlı bir karar verme sürecinin avantajları vurgulanmaktadır. Çeşitli öznel ve nesnel ağırlıklandırma yaklaşımlarını göz önünde bulundurarak, çalışma yenilenebilir enerji alternatiflerinin kapsamlı bir değerlendirmesini sunmakta ve entegre yöntemin enerji sektöründeki karar vericiler için güvenilir çözümler ve ek içgörüler sunduğu sonucuna varmaktadır.

Stein'in "A comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies" başlıklı çalışmasında, yenilenebilir ve yenilenemez elektrik üretim teknolojilerini çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirmek ve önem derecesine göre sıralamak amaçlanmıştır. Çalışma yatırımcıların teknoloji teşvikleriyle ilgili bilinçli kararlar almasına yardımcı olmayı amaçlamıştır. Çalışmada finansal, teknik, çevresel ve sosyo-ekonomik ana kriterleri kullanılmıştır. Çalışma (AHP) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak yenilenebilir enerji kaynakları özellekle hidroelektrik ve güneş enerjisi kriterlerin çoğunda diğer alternatiflere kıyasla üstünlük sağlamıştır (Stein, 2013).

Kassen ve Kairova (2021) Kazakistan'ın Pavlodar Bölgesi'ndeki kırsal kalkınmanın ekonomik ve coğrafi yönlerini analiz etmektedir. Çalışma, kırsal bölgeleri ekonomik göstergelere göre değerlendirmek için bir metodoloji geliştirerek bu alanların farklı ekonomik kalkınma türlerine sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Her ilçedeki güçlü ve zayıf yönleri belirlemeye yardımcı olan bir derecelendirme sistemi oluşturmak için çeşitli sektörlerden istatistiksel veriler kullanılmaktadır. Araştırma ayrıca, etkili politikalar uygulamak için bölgesel kalkınma farklılıklarını anlamanın önemini vurgulayarak ekonomik koşulları iyileştirmeye yönelik öneriler de sunmaktadır.

2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçim Kriterleri

Karar verme sürecinde kullanılacak kriterler belirlenirken, bu kriterlerin sistemin temel özelliklerini ve performansını yansıtması, hedeflerle uyumlu olması, alternatiflerin

farklı açılardan performansını değerlendirmesi, mümkünse nicel olarak ölçülebilir ya da niteliksel olarak ifade edilebilir olması ve karşılaştırılabilir değerler sunması gerekmektedir (Karadağ Albayrak, 2019). Enerjiyle ilgili karar problemleri genellikle belirsizlik altında gerçekleştirilir, çünkü kriterlere ilişkin kesin ve güvenilir verilere ulaşmak çoğu zaman zordur (Gezen, 2015).

Bu tez çalışmasında, Azerbaycan özelinde yenilenebilir enerji kaynakları detaylı bir şekilde ele alınmış ve bu kaynaklar bulanık çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirilmiştir. Araştırma, hem teorik/kavramsal hem de ampirik çalışmalardan yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma ayrıca, Azerbaycan'da en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimi için SWARA ve OCRA yöntemlerini kullanarak kriterlerin değerlendirilmesini ele almaktadır. Literatür incelendiğinde on temel kriter olduğu tespit edilmiştir. Bu kriterler şu şekildedir:

Kriter 1- *Enerji Üretim Kapasitesi*: Kapasite faktörü, bir zaman periyodunda üretilen elektrik enerjisinin, aynı periyotta sürekli tam güç çalışmasıyla üretilebilecek enerjiye oranıdır. Ayrıca bir kaynaktan ne kadar kullanılabilir enerji elde edilebileceğini gösterir. Daha yüksek kapasite faktörüne sahip alternatif daha iyi kabul edilir (Amer ve Daim, 2011). Bir enerji depolama sisteminin elektriksel olarak depolayabileceği güç miktarı kapasite olarak tanımlanır. Depolama sistemi, kapasitesinin üzerinde bir yük taşıyamaz veya depolayamaz. Bu nedenle, gerekli talebi karşılayabilmek için kapasite kritik bir faktördür (Konyalı, 2019).

Kriter 2- *Enerji Verimliliği*: Verimlilik kavramı, yabancı literatürde "Efficiency" olarak adlandırılmaktadır. Bu kriterle ilgili yapılan literatür taramalarında, kavramın genellikle "Enerji Verimliliği" veya "Enerji Etkinliği" şeklinde kullanıldığı görülmüştür. Enerji etkinliği, giriş enerjisine kıyasla çıkış enerjisinin oranı olarak tanımlanmakta ve bir kaynaktan ne kadar yararlı enerji elde edildiğini göstermektedir. Başka bir bakış açısıyla, enerji verimliliği, birim enerji kaynağından üretim sırasında elde edilen verim miktarını ifade etmektedir (Karadağ Albayrak, 2019).

Verimlilik bir enerji kaynağından ne kadar faydalı enerji çıkarılabileceğini ifade eder ve genellikle verimlilik oranı kullanılarak ölçülür. Verimlilik oranı, üretilen enerjinin girdi enerjisine bölünmesiyle hesaplanır. Enerji verimliliği, sürdürülebilir enerji politikasının "ikiz sütunlarından" biri olarak kabul edilir. Etkili enerji kullanımı, enerji ihtiyacının büyümesiyle başa çıkmak için çok önemlidir. Rasyonel verimlilik, ekserji verimliliği ve ikinci yasa verimliliği olarak da bilinir. Termodinamiğin ikinci yasasına göre yenilenebilir

enerji teknolojisinin verimliliğini araştırır. Bir süreçte, enerji bir formdan başka bir forma dönüşür. Aksine, ekserji, entropideki artış nedeniyle bir sürecin geri döndürülemezliği için kabul edilir. Bir süreç sıcaklık değişiminden etkilendiğinde enerji her zaman yok olur. Ekserji analizi, enerjinin daha üretken bir şekilde değerlendirilmesi için endüstriyel ekoloji alanında yapılır ve bu alan ilk olarak 1956 yılında Rant tarafından kurulmuştur (Yildiran, 2019).

Verimlilik, bir sistemden elde edilen faydayı, depodan çıkan enerjinin sisteme giren enerjiye oranı ile gösteren bir ölçüttür. Ayrıca, sisteme yeterli elektrik sağlanabilmesi için kaybedilen enerjinin belirlenmesinde ve bu kayıpları karşılamak amacıyla depolanması gereken ek enerjinin hesaplanmasında da önemli bir rol oynar (Konyalı, 2019).

Kriter 3- ***Teknik Gelişmişlik Düzeyi:*** Literatürde teknolojik olgunluk seviyesi ya da teknik olgunluk olarak adlandırılan bu kriter, kullanılan teknolojinin güvenilirliğini ve bölgede ne kadar yaygın olduğunu değerlendirmede önemli bir rol oynar. Aynı zamanda, enerji kaynağının ne derece yaygın kullanıldığını gösterir. Bu kriter, enerji üretim sistemlerinde kullanılan teknolojilerin mevcut durumunu yansıtarak hem ulusal hem de Avrupa düzeyinde ne kadar benimsendiğini ifade eder (Karadağ Albayrak, 2019). Bu kriter, yenilenebilir enerji alternatifinin potansiyeline ulaşıp ulaşmadığını veya hala iyileştirme ve gelişme gösterip gösteremeyeceğini yansıtır (Aranas, 2024). Belirli bir bölgede kurulan yenilenebilir enerji santrali, beklenen enerji üretimini sürdüremediğinde ve talebi karşılayamadığında, şebeke güvenilirliği olumsuz etkilenebilir. Genel olarak bu problemler altyapı sorunları ve teknik yetersizlikler ile ilişkilidir (Cao vd., 2020). Teknik gelişmişlik düzeyi, bir teknolojinin ne kadar olgunlaştığını gösteren bir ölçüttür. Yeni teknolojiler, genellikle henüz tam anlamıyla güvenilir olmayabilir. Bir teknolojinin olgunluk düzeyi, gelecekteki potansiyeli hakkında da önemli bilgiler sunar. Olgunlaşmamış teknolojiler, gelişime açık olmalarına rağmen, henüz yeterince oturmadıkları için daha fazla sorun çıkarma olasılığı taşır. Ancak, teknolojiler olgunlaştıkça maliyetler genellikle düşüş göstermektedir (Konyalı, 2019).

Kriter 4- ***Yatırım Maliyeti:*** Enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan ekonomik kriterlerden biridir. Enerji, üretime olan katkısı nedeniyle maliyet üzerinde doğrudan etkili bir faktördür. Ülkelerin düşük maliyetle üretim yaparak rekabet avantajı elde edebilmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde optimal kararlar alması gerekmektedir (Karaaslan ve Aydın, 2020). Bu maliyetler girişimcilerin mekanik ekipman harcamaları, teknolojik kurulum, yollar ve ulusal şebekeye bağlantılar inşa etme,

mühendislik desteği ve tesadüfi inşaat operasyonları gibi toplam maliyetleri içerir. Ekipman bakım maliyetleri ve çalışan maliyetleri yatırım maliyetine dahil değildir. Literatürde, yatırım maliyeti çok ünlü bir kriterdir ve birçok çalışmada kullanılmıştır (Yildiran, 2019).

Kriter 5- *İşletme ve Bakım Maliyetleri:* Enerji üretim tesislerinde hem planlı hem de plansız bakım süreçlerinde ortaya çıkan enerji harcamalarını kapsayan önemli bir gider kriterdir. Bu maliyet, tesisin verimli ve kesintisiz çalışmasını sağlamak için düzenli olarak yapılan bakım ve onarım işlemlerinden kaynaklanır (Tepret, 2022). İşletme ve bakım maliyeti alt kriterleri iki bölüme ayrılır. Bunlardan biri, işgücü maliyetiyle ilgili işletme maliyeti ve tesis işletmesi için enerji, ürün ve hizmet harcamalarıdır. Diğeri ise enerji üretim tesisi ömrünü uzatmak ve tesisin işletmesinde gecikmeye neden olabilecek olası arızaları önlemek için yapılan tüm harcamalar olan bakım maliyetidir (Yildiran, 2019). İşletme ve bakım giderleri ilk kurulum sonrasında yapılacak harcamalar, santralin işletilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde faaliyet göstermesi için gereken maliyetleri kapsar. Bu giderler, düzenli bakım ve onarım işlemleri ile tesisin işletilmesi için istihdam edilecek personelin maaş ve diğer masraflarını da içerir (Eroğlu, 2021).

Kriter 6- *Yatırım Geri Donüş Süresi:* Bir enerji kaynağının geri ödeme süresi, başlangıçta yapılan toplam yatırım maliyetinin tamamen geri kazanılması için gereken zamanı ele almaktadır (Çolak, 2015). Bu kriter sezgisel olarak bir şeyin kendini ödemesinin ne kadar sürdüğünü ölçer. Daha kısa geri ödeme süreleri, yatırımcı için daha uzun geri ödeme sürelerine göre açıkça daha iyidir. Öncelikle finansal bir terim olmasına rağmen, geri ödeme süresi kavramı zaman zaman enerji geri ödeme periodu (bir projenin enerji tasarruflarının, projenin başlangıcından bu yana harcanan enerji miktarına eşit olduğu zaman dilimi) olarak isimlendirilir (Wang vd., 2009).

Kriter 7- *Yararlı Ömür:* Bir yenilenebilir enerji kaynağının işletme ömrü, kaynak hizmet verebildiği ve kabul edilebilir performans gösterdiği süreyi ifade eden kullanım süresidir (Karaaslan ve Aydın, 2020). Ekonomik ömür, enerji santrallerinin hizmetten çıkarılmadan önce aktif olarak çalışabileceği sürenin göstergesi olarak, genellikle yıllarla ölçülür. Yenilenebilir enerji santrallerinde kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olması, ekonomik ömrün karlılık üzerinde doğrudan etkili olmasına neden olmaktadır (Karadağ Albayrak, 2019). Bu kriter, kurulacak tesisin sürdürülebilirliğini sağlamak ve alternatifler arasında karşılaştırma yapmak açısından büyük önem taşımaktadır (Felek, 2020).

Kriter 8- *Atık Yönetimi:* Enerji sektöründe, üretilmek istenen enerji türüne bağlı olarak çeşitli atıklar oluşabilir. Bu atıkların çevreye zarar vermemesi için uygun yöntemlerle

bertaraf edilmesi büyük önem taşımaktadır (Büyükikiz, 2019). Atıkların arıtımı süreci önleme, azaltma, yeniden kullanma, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve bertaraf şeklinde sıralanmaktadır. Azerbaycan'da da atıkların önlenmesi, azaltılması ve geri dönüştürülmesi oranı düşüktür, buna karşılık bertaraf oranı yüksektir. Enerji geri kazanımı için gerekli altyapı maliyetlerinin yüksek olması, bu yöntemin özel şirketler tarafından tercih edilmemesine neden olmaktadır. Ancak atık yönetimi, kamusal bir ihtiyaç olduğu için özel sektör yerine devlet desteği ile yürütülmelidir. Atık yönetim politikalarının temel hedefi, atık miktarını en aza indirmektir. Bununla birlikte, atıkların geri kazanımı da hem atık hacmini azaltmak hem de hammaddenin yeniden kullanılması açısından büyük önem taşımaktadır (Karaaslan ve Aydın, 2020).

Kriter 9- *İstihdam yaratma:* Bir enerji tedarik sistemi, inşaattan işletmeye kadar yaşam döngüsü boyunca birçok kişiyi istihdam edebilir. Bu nedenle, yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi, yaşam kalitesinin iyileştirilmesini ve iş yaratmayı değerlendirerek yerel sakinleri sosyal açıdan hesaba katmaktadır (Lee ve Chang, 2018). Enerji tedarik sistemleri, inşa ve işletmeden devre dışı bırakmaya kadar yaşam döngüleri boyunca birçok kişiyi istihdam eder. Enerji sistemlerinin kurulduğu yerel toplumlar, kalkınmalarını ve refahlarını onlarca yıldır bunlara dayandırdılar. İnsanlar için daha fazla iş yaratan sürdürülebilir enerji sistemi, yerel halkın yaşam kalitesini iyileştirmek için faydalıdır (Wang vd., 2009).

Kriter 10- *Sosyal Etkiler:* Santralin kurulacağı bölgedeki halkın, yaşadıkları alanda bir enerji santralinin varlığını kabul edip etmediklerini değerlendiren bir kriterdir (Ulutaş Hasırcıoğlu, 2021). Sosyal kabul edilebilirlik, kamuoyunun yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik onayını ve olumlu görüşlerini ifade eder. Bir enerji santralinin inşası ve işletilmesi sırasında, sosyal kabul önemli bir niteliksel kriterdir. Bu kriterin değeri ne kadar yüksekse, santralin değerlendirilmesi de o kadar olumlu olur. Bölgedeki nüfusun büyük çoğunluğunun veya etkili grupların görüşleri, projenin tamamlanma süresini önemli ölçüde etkileyebileceğinden, sosyal kabul büyük önem taşımaktadır. (Karadağ Albayrak, 2019). Genel olarak bu kriter enerji teknolojilerinin uygulanmasında yerel halkın anlayış derecesini yansıtarak, bölgede kurulacak elektrik santralinin sosyal güvenliğinin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır (Darende, 2019).

BÖLÜM 3: YÖNTEM

3.1. Sezgisel Bulanık Kümeler için Temel Bilgiler

Tanım 1. Tartışma bağlamında tanımlanan ve $\mathcal{R}$ ile temsil edilen bir bağlamda, $\tilde{Q}$ gösterimi, $\tilde{Q} = \{\langle r, \partial_{\tilde{Q}}(r), \eth_{\tilde{Q}}(r) \mid r \in \mathcal{R}\rangle\}$ olarak ifade edilen, $\tilde{Q}$ kümesi içinde çalışan sezgisel bulanık kümelerin (IF kümelerinin) yapılandırılmış bir bütününü belirtir Atanassov (2016).

Burada, $\{\partial_{\tilde{Q}}(r): \tilde{Q} \to [0,1], \eth_{\tilde{Q}}(r): \tilde{Q} \to [0,1]\}$ fonksiyonları sırasıyla üyelik ve üyelik-dışılık seviyelerini tanımlar. Bu fonksiyonların kesin tanımlaması, her rrr elemanı için $0 \leq \partial_{\tilde{Q}}(r) + \eth_{\tilde{Q}}(r) \leq 1$ eşitsizliğinin sağlanması koşuluyla gerçekleştirilir. Burada r, $\mathcal{R}$ kümesine ait bir elemandır.

Tanım 2. Sezgisel Bulanık Kümeler bağlamında bir dizi işlem yaklaşımı kullanılmaktadır. Atanassov (2016) tarafından ortaya konulan bu yöntemler şu şekilde açıklanmıştır:

İki sezgisel bulanık küme varlığını düşünelim, $\tilde{Q}_1$ ve $\tilde{Q}_2$ olarak adlandırılan bu kümeler, evrensel küme $\mathcal{R}$ üzerinde tanımlanmış olup, bireysel bileşenleri şu şekilde ifade edilir: $\tilde{Q}_1 = \left(\partial_{\tilde{Q}_1}(r), \eth_{\tilde{Q}_1}(r)\right)$ ve $\tilde{Q}_2 = \left(\partial_{\tilde{Q}_2}(r), \eth_{\tilde{Q}_2}(r)\right)$.

Bu iki sezgisel bulanık küme arasındaki ilişkileri yöneten ilkelerin açıklaması aşağıdaki gibidir (burada $\varpi > 0$):

(i) $\tilde{Q}_1 \oplus \tilde{Q}_2 = \left\{\langle r, \left(\partial_{\tilde{Q}_1}(r) + \partial_{\tilde{Q}_2}(r) - \left(\partial_{\tilde{Q}_1}(r) * \partial_{\tilde{Q}_2}(r)\right)\right), \left(\eth_{\tilde{Q}_1}(r) * \eth_{\tilde{Q}_2}(r)\right) \mid r \in \mathcal{R}\rangle\right\}$,

(ii) $\tilde{Q}_1 \otimes \tilde{Q}_2 = \left\{\langle r, \left(\partial_{\tilde{Q}_1}(r) * \partial_{\tilde{Q}_2}(r)\right), \left(\eth_{\tilde{Q}_1}(r) + \eth_{\tilde{Q}_2}(r) - \left(\eth_{\tilde{Q}_1}(r) * \eth_{\tilde{Q}_2}(r)\right)\right) \mid r \in \mathcal{R}\rangle\right\}$,

(iii) $\varpi\tilde{Q}_1 = \left\{\langle r, \left(1 - \left(1 - \partial_{\tilde{Q}_1}(r)\right)^{\varpi}\right), \left(\eth_{\tilde{Q}_1}(r)\right)^{\varpi} \mid r \in \mathcal{R}\rangle\right\}$ for $\varpi > 0$,

(iv) $\left(\tilde{Q}_1\right)^{\varpi} = \left\{\langle r, \left(\partial_{\tilde{Q}_1}(r)\right)^{\varpi}, \left(1 - \left(1 - \eth_{\tilde{Q}_1}(r)\right)^{\varpi}\right) \mid r \in \mathcal{R}\rangle\right\}$ for $\varpi > 0$.

Belirlenen ilkelere göre, Tanım 2'nin aşağıdaki kriterlere uygun olması beklenmektedir:

(i) $\tilde{Q}_1 \oplus \tilde{Q}_2 = \tilde{Q}_2 \oplus \tilde{Q}_1$,

(ii) $\tilde{Q}_1 \otimes \tilde{Q}_2 = \tilde{Q}_2 \otimes \tilde{Q}_1$,

(iii) $\varpi\left(\tilde{Q}_1 \oplus \tilde{Q}_2\right) = \varpi\tilde{Q}_1 \oplus \varpi\tilde{Q}_2$ for $\varpi > 0$,

(iv) $\left(\tilde{Q}_1 \otimes \tilde{Q}_2\right)^{\varpi} = \tilde{Q}_1{}^{\varpi} \otimes \tilde{Q}_2{}^{\varpi}$ for $\varpi > 0$,

(v) $\varpi_1\tilde{Q}_1 \oplus \varpi_2\tilde{Q}_1 = (\varpi_1 + \varpi_2)\tilde{Q}_1$ for $\varpi_1, \varpi_2 > 0$,

(vi) $\tilde{Q}_1{}^{\varpi_1} \otimes \tilde{Q}_1{}^{\varpi_2} = \tilde{Q}_1{}^{(\varpi_1+\varpi_2)}$ for $\varpi_1, \varpi_2 > 0$.

Tanım 3. Evrensel küme $\mathcal{R}$ üzerinde tanımlanmış bir sezgisel bulanık küme varlığı düşünelim; bu küme özel olarak $\tilde{Q}$ olarak adlandırılmıştır ve bileşenleri şu şekilde ifade edilir: $\tilde{Q} = \left(\partial_{\tilde{Q}}(r), \eth_{\tilde{Q}}(r)\right)$. Skor fonksiyonunun $\mathcal{sf}\left(\tilde{Q}\right)$ değerlendirilmesi, Denklem (1) kullanılarak gerçekleştirilir.

$$\mathcal{sf}\left(\tilde{Q}\right) = 2\partial_{\tilde{Q}}(r) + \eth_{\tilde{Q}}(r) - 1;\ \mathcal{sf}(Q) \in [0,1]. \tag{1}$$

Tanım 4. Sezgisel bulanık küme varlığını $\tilde{Q}_\upsilon$ olarak ele alalım. Bu küme, $\tilde{Q}_\upsilon = \left(\partial_{\tilde{Q}_\upsilon}(r), \eth_{\tilde{Q}_\upsilon}(r), \lambda_{\tilde{Q}_\upsilon}(r)\right)$ şeklinde ifade edilir ve sezgisel bulanık kümelerden oluşan bir topluluğu temsil eder ($\left(\tilde{Q}_\upsilon = \left(\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2, \dots, \tilde{Q}_\Upsilon\right)\right)$.

Aynı zamanda, her bir $\tilde{Q}_\upsilon$ için $\varpi_\upsilon = (\varpi_1, \varpi_2, \dots, \varpi_\Upsilon)$ şeklinde tanımlanan ve $\varpi_\upsilon \in [0,1]$ olan bir ağırlık vektörü dahil edilir. Bu ağırlık vektörü, $\sum_{\upsilon=1}^{\Upsilon} \varpi_\upsilon = 1$ koşulunu sağlar.

Bu bağlamda, Xu (2007) tarafından önerilen Denklem (2), Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (IFWA) toplama operatörünü tanımlamaktadır.

$$IFWA\left(\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2, \dots, \tilde{Q}_\Upsilon\right) = \oplus_{\upsilon=1}^{\Upsilon} \varpi_\upsilon \tilde{Q}_\upsilon =$$
$$\left\{ \begin{pmatrix} \left(1 - \prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(1 - \partial_{\tilde{Q}_\upsilon}(r)\right)^{\varpi_\upsilon}\right), \left(\prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(\eth_{\tilde{Q}_\upsilon}(r)\right)^{\omega_\hbar}\right), \\ \left(\prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(1 - \partial_{\tilde{Q}_\upsilon}(r)\right)^{\varpi_\upsilon} - \prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(1 - \eth_{\tilde{Q}_\upsilon}(r)\right)^{\varpi_\upsilon}\right) \end{pmatrix} \mid r \in \mathcal{R} \right\}. \tag{2}$$

3.2. Sezgisel Bulanık Küme IF-SWARA-OCRA Yöntemi

IF-SWARA-OCRA hibrit yaklaşımının geliştirilmesi, karar verme karmaşıklıklarını ele almak için tasarlanmıştır. Bu bağlamda:

$(\Lambda_{\mathbb{z}}) = \{\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_{\mathbb{Z}}\}$ $(\mathbb{z} = 1,2, \dots, \mathbb{Z})$ Alternatifler kümesini,

$\left(\Xi_{\mathbb{y}}\right) = \{\Xi_1, \Xi_2, \dots, \Xi_{\mathbb{Y}}\}$ $(\mathbb{y} = 1,2, \dots, \mathbb{Y})$ Kriterler kümesini,

$(\Theta_{\mathbb{x}}) = \{\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_{\mathbb{X}}\}$ $(\mathbb{x} = 1,2, \dots, \mathbb{X})$ Karar verme sürecine katılan uzmanları temsil eder.

IF-SWARA-OCRA hibrit yöntemi üç temel aşamadan ve alt adımlardan oluşur. Bu aşamalar şu şekildedir:

Aşama 1 – Sezgisel Bulanık Küme (IF kümesi) tabanlı bir metodoloji kullanılarak bireysel uzmanlara ağırlıkların tahsis edilmesi.

Adım 1-1: Uzman ağırlıklarını belirleme sürecinde, her bir uzmanın önemi ilk olarak Tablo 1'de tanımlanan dilsel değişkenler (LV'ler) kullanılarak değerlendirilir. Bu LV'ler daha sonra sezgisel bulanık kümelere (IF kümeleri) dönüştürülerek, uzmanların göreli önemini ölçmek amacıyla bir karar matrisi oluşturulmasına olanak tanır.

Tablo 15

Uzmanlık Seviyeleri Değerlendirmek İçin Kullanılan Dilsel Betimleyiciler

Dilsel Değişkenler	***Sezgisel Bulanık Küme***
Olağanüstü (O)	(1.00, 0.00)
Beklentilerin üzerinde (EE)	(0.90, 0.05)
Beklentileri karşılar (ME)	(0.70, 0.20)
Orta (M)	(0.60, 0.30)
İyileştirmeye ihtiyaç duyuyor (NI)	(0.30, 0.60)
Kabul edilemez (U)	(0.10, 0.80)

Adım 1-2: Sezgisel bulanık kümeler Denklem 3'teki skor fonksiyonu kullanılarak dönüştürülür.

$$\mathcal{s}\mathcal{f}\left(\tilde{\mathcal{Q}}\right) = 2\partial_{\tilde{\mathcal{Q}}}(\mathcal{r}) + \eth_{\tilde{\mathcal{Q}}}(\mathcal{r}) - 1;\ \mathcal{s}\mathcal{f}(\mathcal{Q}) \in [0,1]. \quad (3)$$

Adım 1-3: Denklem 4'teki doğrusal normalizayon kullanılarak uzman ağırlıkları tespit edilir.

$$\mathcal{w}_{\mathbb{x}} = \frac{\mathcal{s}\mathcal{f}(\tilde{\mathcal{Q}})}{\sum \mathcal{s}\mathcal{f}(\tilde{\mathcal{Q}})}. \quad (4)$$

Aşama 2 – IF-SWARA yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklarının belirlenmesi (Mishra vd., 2020).

Adım 2-1: Her bir kriter $\left(\Xi_{\mathbb{y}}\right)$, her bir uzman $(\Theta_{\mathbb{x}})$ tarafından, Tablo 16'de verilen dilsel değişkenler (LV'ler) kullanılarak değerlendirilir. Ardından, bu LV'ler sezgisel bulanık kümelere (IF kümeleri) dönüştürülür. Sonrasında, her bir uzman tarafından sağlanan değerlendirmelere dayalı olarak bir kriter değerlendirme matrisi $\left(\tilde{\mathcal{P}} = \left[\tilde{\mathcal{P}}_{\mathbb{xy}}\right]_{\mathbb{XY}}\right)$ oluşturulur. Burada $\tilde{\mathcal{P}}_{\mathbb{xy}} = \langle\left(\partial_{\tilde{\mathcal{P}}_{\mathbb{xy}}}(\mathcal{r}), \eth_{\tilde{\mathcal{P}}_{\mathbb{xy}}}(\mathcal{r})\right)\rangle\ (\mathbb{x} = 1,2,\dots,\mathbb{X};\ \mathbb{y} = 1,2,\dots,\mathbb{Y})$ şeklinde ifade edilir.

Tablo 16

Kriter Önemini Değerlendirmek İçin Kullanılan Dilsel Betimleyiciler

Dilsel Değişkenler	*Sezgisel Bulanık Küme*
Çok önemli (VI)	(0.88, 0.08, 0.04)
Önemli (I)	(0.75, 0.20, 0.05)
Orta Önemli (M)	(0.50, 0.45, 0.05)
Önemsiz (UI)	(0.35, 0.60, 0.05)
Çok Önemsiz (VU)	(0.08, 0.88, 0.04)

Adım 2-2: IFWA operatörü kullanılarak uzman değerlendirmeleri Denklem 5'te gösterildiği gibi birleştirilir.

$$IFWA\left(\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2, \dots, \tilde{Q}_\Upsilon\right) = \oplus_{\upsilon=1}^{\Upsilon} \varpi_\upsilon \tilde{Q}_\upsilon =$$
$$\left\{ \begin{pmatrix} \left(1 - \prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(1 - \partial_{\tilde{Q}_\upsilon}(\mathcal{r})\right)^{\varpi_\upsilon}\right), \left(\prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(\eth_{\tilde{Q}_\upsilon}(\mathcal{r})\right)^{\omega_\hbar}\right), \\ \left(\prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(1 - \partial_{\tilde{Q}_\upsilon}(\mathcal{r})\right)^{\varpi_\upsilon} - \prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(1 - \eth_{\tilde{Q}_\upsilon}(\mathcal{r})\right)^{\varpi_\upsilon}\right) \end{pmatrix} \mid \mathcal{r} \in \mathcal{R} \right\}. \quad (5)$$

Adım 2-3: Skor fonksiyonu $\left(\mathcal{sf}\left(\tilde{\mathcal{P}}_{\mathbb{xy}}\right)\right)$ kullanılarak, kesin kriter değerlendirme matrisi $\left(\mathcal{P} = \left[\mathcal{P}_{\mathbb{xy}}\right]_{\mathbb{XY}}\right)$ hesaplanır. Bu işlem, Denklem (6)'te açıklandığı şekilde gerçekleştirilir.

$$\mathcal{sf}\left(\tilde{\mathcal{P}}_{\mathbb{xy}}\right) = 2\partial_{\tilde{\mathcal{P}}_{\mathbb{xy}}}(\mathcal{r}) + \eth_{\tilde{\mathcal{P}}_{\mathbb{xy}}}(\mathcal{r}) - 1;\ (\mathbb{x} = 1,2, \dots, \mathbb{X};\ \mathbb{y} = 1,2, \dots, \mathbb{Y}), \quad (6)$$

Adım 2-4: Bu adımda, kriterler öncelikle skor fonksiyonu değerlerine $\mathcal{sf}\left(\tilde{\mathcal{P}}_{\mathbb{xy}}\right)$ göre azalan sırayla sıralanır. Ardından, her bir kriter bir öncekinden çıkarılır (Denklem (7)), ve skor değerleri hesaplanarak skor değeri matrisi $\left(\mathfrak{N}_{\mathfrak{q}} = \left[\mathfrak{N}_{\mathfrak{q}}\right]_{\mathfrak{Q}}\right)$ oluşturulur.

$$\mathfrak{N}_{\mathfrak{q}} = \left(\mathfrak{O}_{\mathfrak{q}-1} - \mathfrak{O}_{\mathfrak{q}}\right);. \quad (7)$$

Adım 2-5: Denklem (8) kullanılarak karşılaştırmalı katsayı matrisi $\left(\mathfrak{M}_{\mathfrak{q}} = \left[\mathfrak{M}_{\mathfrak{q}}\right]_{\mathfrak{Q}}\right)$ hesaplanır.

$$\mathfrak{M}_{\mathfrak{q}} = \begin{cases} 1; for\ \mathfrak{q} = 1 \\ \left(\mathfrak{N}_{\mathfrak{q}} + 1\right); for\ \mathfrak{q} > 1 \end{cases}; (\mathfrak{q} = 1,2, \dots, \mathfrak{Q}). \quad (8)$$

Adım 2-6: Denklem (9) kullanılarak ağırlıklı karşılaştırmalı katsayı matrisi $\left(\mathfrak{L}_{\mathfrak{q}} = \left[\mathfrak{L}_{\mathfrak{q}}\right]_{\mathfrak{Q}}\right)$ hesaplanır.

$$\mathfrak{L}_{\mathfrak{q}} = \begin{cases} 1; for\ \mathfrak{q} = 1 \\ \left(\frac{\mathfrak{M}_{\mathfrak{q}-1}}{\mathfrak{M}_{\mathfrak{q}}}\right); for\ \mathfrak{q} > 1 \end{cases}; (\mathfrak{q} = 1,2, \dots, \mathfrak{Q}). \quad (9)$$

Adım 2-7: Denklem (10) kullanılarak kriter ağırlık matrisi $\left(\varpi_{\mathfrak{q}} = \left[\varpi_{\mathfrak{q}}\right]_{\mathfrak{Q}}\right)$ hesaplanır.

$$\varpi_{\mathfrak{q}} = \frac{\mathfrak{Q}_{\mathfrak{q}}}{\sum_{\mathfrak{q}=1}^{\mathfrak{Q}} \mathfrak{Q}_{\mathfrak{q}}};\ (\mathfrak{q} = 1,2,\dots,\mathfrak{Q}). \tag{10}$$

Aşama 3: IF-OCRA yöntemi kullanılarak alternatiflerin sıralama matrisi hesaplanır (Mishra vd., 2023).

Adım 3-1: Her bir alternatif her bir kriter, her bir uzman tarafından, Tablo 16'de verilen dilsel değişkenler (LV'ler) kullanılarak değerlendirilir. Ardından, bu LV'ler sezgisel bulanık kümelere (IF kümeleri) dönüştürülür. Sonrasında, her bir uzman tarafından sağlanan değerlendirmelere dayalı olarak bir kriter değerlendirme matrisi oluşturulur.

Adım 3-2: IFWA operatörü kullanılarak uzman değerlendirmeleri Denklem 11'te gösterildiği gibi birleştirilir.

$$IFWA\left(\tilde{\mathcal{Q}}_1, \tilde{\mathcal{Q}}_2, \dots, \tilde{\mathcal{Q}}_{\Upsilon}\right) = \oplus_{\upsilon=1}^{\Upsilon} \varpi_{\upsilon}\tilde{\mathcal{Q}}_{\upsilon} =$$
$$\left\{ \begin{pmatrix} \left(1 - \prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(1 - \partial_{\tilde{\mathcal{Q}}_{\upsilon}}(\mathcal{r})\right)^{\varpi_{\upsilon}}\right), \left(\prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(\eth_{\tilde{\mathcal{Q}}_{\upsilon}}(\mathcal{r})\right)^{\omega_{\hbar}}\right), \\ \left(\prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(1 - \partial_{\tilde{\mathcal{Q}}_{\upsilon}}(\mathcal{r})\right)^{\varpi_{\upsilon}} - \prod_{\upsilon=1}^{\Upsilon}\left(1 - \eth_{\tilde{\mathcal{Q}}_{\upsilon}}(\mathcal{r})\right)^{\varpi_{\upsilon}}\right) \end{pmatrix} \mid \mathcal{r} \in \mathcal{R} \right\}. \tag{11}$$

Adım 3-3: Birleştirilmiş matris kriter ağırlıklarıyl de gösterildiği gibi çarpılırarak ağırlıklandırılmış matris Denkelem (12) de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\otimes F = \begin{bmatrix} \otimes f_{11} & \cdots & \otimes f_{1j} & \cdots & \otimes f_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \otimes f_{i1} & \cdots & \otimes f_{ij} & \dots & \otimes f_{in} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \otimes f_{m1} & \cdots & \otimes f_{mj} & \dots & \otimes f_{mn} \end{bmatrix}. \tag{12}$$

Adım 3-4: Maliyet kriterler için değerlendirmeler, Denklem 13 kullanılarak birleştirilir.

$$\otimes I_i = \sum_{j\in\Omega_{min}} \left[\underline{w}''_j, \overline{w}''_j\right] \frac{\left[\max_j \underline{f}_{ij} - \bar{f}_{ij}, \max_j \bar{f}_{ij} - \underline{f}_{ij}\right]}{\left[\max_j \underline{f}_{ij} - \min_j \bar{f}_{ij}, \max_j \bar{f}_{ij} - \min_j \underline{f}_{ij}\right]}. \tag{13}$$

Adım 3-5: Maliyet kriterlerin doğrusal performans puanları, Denklem 14 kullanılarak hesaplanır.

$$\otimes S_i = \left[\underline{I}_i - \min_i \bar{I}_i, \bar{I}_i - \min_i \underline{I}_i\right]. \tag{14}$$

Adım 3-6: Fayda kriterler için değerlendirmeler, Denklem 15 kullanılarak birleştirilir.

$$\otimes O_i = \sum_{j\in\Omega_{min}} \left[\underline{w}''_j, \overline{w}''_j\right] \frac{\left[\max_j \underline{f}_{ij} - \bar{f}_{ij}, \max_j \bar{f}_{ij} - \underline{f}_{ij}\right]}{\left[\max_j \underline{f}_{ij} - \min_j \bar{f}_{ij}, \max_j \bar{f}_{ij} - \min_j \underline{f}_{ij}\right]}. \quad (15)$$

Adım 3-7: Fayda kriterlerin doğrusal performans puanları, Denklem 16 kullanılarak hesaplanır.

$$\otimes R_i = \left[\underline{O}_i - \min_i \bar{O}_i, \bar{O}_i - \min_i \underline{O}_i\right]. \quad (16)$$

Adım 3-8: Alternatiflerin sıralama değerleri, Denklem 17 yardımıyla hesaplanır.

$$\otimes P_i = \left[\underline{S}_i + \underline{R}_i - \min_i(\bar{S}_i + \bar{R}_i), \bar{S}_i + \bar{R}_i - \min_i\left(\underline{S}_i + \underline{R}_i\right)\right]. \quad (17)$$

Adım 3-9: Alternatif değerleri, Denklem 18 ile hesaplanır. Böylece, en yüksek derecedeki alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.

$$P_i = \frac{\underline{P}_i + \bar{P}_i}{2}. \quad (18)$$

En yüksek P değerine sahip alternatif en iyi alternatiftir.

BÖLÜM 4: UYGULAMA

Bu araştırmada Azerbaycan için yenilenebilir enerji kaynak seçimi IF-SWARA-OCRA yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynağı seçimi için karar modeli oluşturulmuştur. Karar modelinde uzmanlar, kriterler ve alternatifler (yenilenebilir enerji kaynakları) bulunmaktadır.

Karar modelinde Azerbaycan Enerji Bakanlığına bağlı çalışan enerji mühendiseleri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Devlet Ajansına bağlı çalışan enerji uzmanları, Azerenerji ASC'ye bağlı çalışan enerji mühendisleri, Azerbaycan Eenerji Düzenleme Kurumuna bağlı çalışan enerji uzmanları ve Temiz Şehir ASC'ye bağlı çalışan enerji mühendisleri olmak üzere 10 uzman bulunmaktadır. Bu kişiler Azerbaycan enerji alanında uzmanlaşmış enerji mühendisleri ve akademisyenlerden tespit edilmiştir. Karar modelinde 10 kriter (*Enerji Üretim Kapasitesi* (Ξ_1)*, Enerji Verimliliği* (Ξ_2)*, Teknik Gelişmişlik Düzeyi* (Ξ_3)*, Yatırım Maliyeti* (Ξ_4)*, İşletme ve Bakım Maliyetleri* (Ξ_5)*, Yatırım Geri Donüş Süresi* (Ξ_6)*, Yararlı Ömür* (Ξ_7) *, Atık Yönetimi* (Ξ_8) *, İstihdam yaratma* (Ξ_9) *, Sosyal Etkiler* (Ξ_{10})) bulunmaktadır. Bu kriterler literatür incelemesi bölümünde açıklanmıştır. Karar modelinde 5 farklı yenilenebilir enerji kaynağı (*Güneş Enerjisi* (Θ_1)*, Jeotermal Enerji* (Θ_2)*, Hidrolik Enerjisi* (Θ_3)*, Rüzgar Enerjisi* (Θ_4)*, Biokütle Enerjisi* (Θ_5)) alternatif olarak belirlenmiştir.

Karar modeli unsurları belirlendikten sonra IF-SWARA-OCRA yöntemi adımları şu şekilde sırayla uygulanmıştır:

Aşama 1 – Sezgisel Bulanık Küme (IF kümesi) tabanlı bir metodoloji kullanılarak bireysel uzmanlara ağırlıkların tahsis edilmesi.

Uygulama Adım 1-1: Tablo 15 kullanılarak uzmanların uzmanlık düzeyleri dilsel ifadelerle belirlenmiştir. Uzmanlı düzeyleri Tablo 17'de gösterilmiştir. Daha sonra dilsel ifadeler sexgisel bulanık kümlere dönüştürülmüştür. Tablo 17'de gösterilmiştir.

Uygulama Adım 1-2: Denklem 3'teki kullanılarak skor fonksiyonlar hesaplanmış ve Tablo 17'de sunulmuştur.

Uygulama Adım 1-3: Denklem 4 kullanılarak uzman ağırlıkları hesaplanmış ve Tablo 17'de sunulmuştur.

Tablo 17

Uzmanların Uzmanlık Düzeyleri

Uzmanlar	*Dilsel İfadeler*	*Sezgisel Bulanık Sayılar*		*Skor Fonksiyon*	*Uzman ağırlıkları*
Uzman-1	ME	0.70	0.20	0.60	0.0800
Uzman-2	ME	0.70	0.20	0.60	0.0800
Uzman-3	O	1.00	0.00	1.00	0.1333
Uzman-4	ME	0.70	0.20	0.60	0.0800
Uzman-5	O	1.00	0.00	1.00	0.1333
Uzman-6	M	0.60	0.30	0.50	0.0667
Uzman-7	EE	0.90	0.05	0.85	0.1133
Uzman-8	EE	0.90	0.05	0.85	0.1133
Uzman-9	O	1.00	0.00	1.00	0.1333
Uzman-10	M	0.60	0.30	0.50	0.0667

Aşama 2 – IF-SWARA yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklarının belirlenmesi.

Uygulama Adım 2-1: Uzmanlar kriterleri Tablo 16 kulalnarak önem düzeylerini dilsel ifadelerle belirlemişlerdir. Tablo 18'de gösterilmiştir. Daha sonra dilsel ifadeler IF bulanık kümlere dönüştürülerek başlangıç kriter değerlendirme matrisi elde edilmiştir. Tablo 19'da gösterilmiştir.

Tablo 18

Kriter Değerlendirme Matrisi (Dilsel ifadeler)

Uzmanlar	Ξ_1	Ξ_2	Ξ_3	Ξ_4	Ξ_5	Ξ_6	Ξ_7	Ξ_8	Ξ_9	Ξ_{10}
Uzman-1	VI	I	I	VI	I	I	VI	I	UI	M
Uzman-2	VI	VI	M	VI	VI	M	I	VI	M	M
Uzman-3	I	M	M	I	VI	VI	VI	I	M	I
Uzman-4	M	I	VI	I	M	I	M	VI	I	M
Uzman-5	M	VI	VI	M	VI	VI	VI	I	M	I
Uzman-6	VI	I	I	M	I	M	I	I	M	M
Uzman-7	VI	I	I	M	VI	VI	I	M	I	M
Uzman-8	VI	VI	M	VI	VI	M	UI	M	M	I
Uzman-9	I	M	M	VI	I	M	UI	M	UI	I
Uzman-10	M	M	UI	I	I	M	I	I	I	UI

Tablo 19

Kriter Değerlendirme Matrisi (IF Sayılar)

Uzmanlar	Ξ_1		Ξ_2		Ξ_3		Ξ_4		Ξ_5		Ξ_6		Ξ_7		Ξ_8		Ξ_9		Ξ_{10}	
Uzman-1	0.88	0.08	0.75	0.2	0.75	0.2	0.88	0.08	0.75	0.2	0.75	0.2	0.88	0.08	0.75	0.2	0.35	0.6	0.5	0.45
Uzman-2	0.88	0.08	0.88	0.08	0.5	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.5	0.45	0.75	0.2	0.88	0.08	0.5	0.45	0.5	0.45
Uzman-3	0.75	0.2	0.5	0.45	0.5	0.45	0.75	0.2	0.88	0.08	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.2	0.5	0.45	0.75	0.2
Uzman-4	0.5	0.45	0.75	0.2	0.88	0.08	0.75	0.2	0.5	0.45	0.75	0.2	0.5	0.45	0.88	0.08	0.75	0.2	0.5	0.45
Uzman-5	0.5	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.5	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.2	0.5	0.45	0.75	0.2
Uzman-6	0.88	0.08	0.75	0.2	0.75	0.2	0.5	0.45	0.75	0.2	0.5	0.45	0.75	0.2	0.75	0.2	0.5	0.45	0.5	0.45
Uzman-7	0.88	0.08	0.75	0.2	0.75	0.2	0.5	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.2	0.5	0.45	0.75	0.2	0.5	0.45
Uzman-8	0.88	0.08	0.88	0.08	0.5	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.5	0.45	0.35	0.6	0.5	0.45	0.5	0.45	0.75	0.2
Uzman-9	0.75	0.2	0.5	0.45	0.5	0.45	0.88	0.08	0.75	0.2	0.5	0.45	0.35	0.6	0.5	0.45	0.35	0.6	0.75	0.2
Uzman-10	0.5	0.45	0.5	0.45	0.35	0.6	0.75	0.2	0.75	0.2	0.5	0.45	0.75	0.2	0.75	0.2	0.75	0.2	0.35	0.6

Uygulama Adım 2-2: IFWA operatörü Denklem 5 kullanılarak uzman değerlendirmeleri birleştirilşmiş ve Tablo 20'de gösterilmiştir.

Tablo 20

Birleştirilmiş Kriter Değerlendirme Matrisi

Ξ_1		Ξ_2		Ξ_3		Ξ_4		Ξ_5		Ξ_6		Ξ_7		Ξ_8		Ξ_9		Ξ_{10}	
0.78	0.17	0.75	0.19	0.69	0.26	0.77	0.18	0.83	0.13	0.74	0.21	0.74	0.20	0.71	0.23	0.56	0.39	0.64	0.30

Uygulama Adım 2-3: Denklem (6) kullanılarak skor fonksiyonları hesaplanmış ve Tablo 21'de gösterilmiştir.

Tablo 21

Skor Fonksiyon Değerleri

Skor Fonksiyonu	Ξ_1	Ξ_2	Ξ_3	Ξ_4	Ξ_5	Ξ_6	Ξ_7	Ξ_8	Ξ_9	Ξ_{10}
$\mathcal{sf}(\tilde{Q})$	0.73	0.70	0.63	0.72	0.78	0.68	0.68	0.66	0.50	0.59

Uygulama Adım 2-4: Denklem (7) kullanılarak kriterler skor fonksiyon değerlerine göre sıralanır. Tablo 22'de gösterilmiştir.

Tablo 22

Kriterlerin Skor Fonksiyon Değerlerine Göre Sıralaması

Kriterler	*Skor Fonksiyonu*
Ξ_5	0.779224
Ξ_1	0.730403
Ξ_4	0.716683
Ξ_2	0.698619
Ξ_7	0.684985
Ξ_6	0.684656
Ξ_8	0.660674
Ξ_3	0.630241
Ξ_{10}	0.589557
Ξ_9	0.504363

Uygulama Adım 2-5: Denklem (8) kullanılarak karşılaştırmalı katsayı matrisi hesaplanmıştır. Tablo 23'te gösterilmiştir.

Uygulama Adım 2-6: Denklem (9) kullanılarak ağırlıklı karşılaştırmalı katsayı hesaplanmıştır. Tablo 23'te gösterilmiştir.

Tablo 23

Karşılaştırmalı Katsayı ve Ağırlıklı Karşılaştırmalı Katsayı Matrisi

Kriterler	*Karşılaştırmalı katsayı*	*Ağırlıklı karşılaştırmalı katsayı*
Ξ_5	1	1
Ξ_1	1.048820	0.953452
Ξ_4	1.013720	0.940548
Ξ_2	1.018064	0.923859
Ξ_7	1.013634	0.911433
Ξ_6	1.000329	0.911133
Ξ_8	1.023982	0.889794
Ξ_3	1.030433	0.863514
Ξ_{10}	1.040684	0.829756
Ξ_9	1.085194	0.764616

Uygulama Adım 2-8: Denklem (10) kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Tablo 24'te gösterilmiştir.

Tablo 24

Kriter Ağrılık Matrisi

	Kriterler	*Karşılaştırmalı katsayı*	*Kriter Önem Sırası*
Ξ_1	*Enerji Üretim Kapasitesi*	0.10608	2
Ξ_2	*Enerji Verimliliği*	0.10279	4
Ξ_3	*Teknik Gelişmişlik Düzeyi*	0.09607	8
Ξ_4	*Yatırım Maliyeti*	0.10464	3
Ξ_5	*İşletme ve Bakım Maliyetleri*	0.11126	1
Ξ_6	*Yatırım Geri Donüş Süresi*	0.10137	6
Ξ_7	*Yararlı Ömür*	0.10140	5
Ξ_8	*Atık Yönetimi*	0.09900	7
Ξ_9	*İstihdam yaratma*	0.08507	10
Ξ_{10}	*Sosyal Etkiler*	0.09232	9

Aşama 3: IF-OCRA yöntemi kullanılarak alternatiflerin sıralama matrisi hesaplanır.

Uygulama Adım 3-1: Tüm uzmanlar Tablo 16 kullanarak her bir yenilenebilir enerji kaynağını her bir kritere göre dilsel ifadelerle değerlendirilmiştir. Tablo 25'te gösterilmiştir. Daha sonra dilsel ifadeler IF sayılara dönüştürülmüştür. Tablo 26'da gösterilmiştir.

Tablo 25

Yenlenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirme Matrisi (Dilsel ifadeler)

	Güneş Enerjisi $(\boldsymbol{\Theta_1})$									
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$	$\boldsymbol{\Xi_2}$	$\boldsymbol{\Xi_3}$	$\boldsymbol{\Xi_4}$	$\boldsymbol{\Xi_5}$	$\boldsymbol{\Xi_6}$	$\boldsymbol{\Xi_7}$	$\boldsymbol{\Xi_8}$	$\boldsymbol{\Xi_9}$	$\boldsymbol{\Xi_{10}}$
Uzman-1	I	I	I	M	M	I	VI	I	UI	VI
Uzman-2	M	I	M	M	I	VI	I	M	M	I
Uzman-3	I	M	M	VI	VI	I	VI	I	VI	I
Uzman-4	M	M	M	I	M	I	M	VI	I	M
Uzman-5	M	VI	VI	I	I	VI	M	M	I	UI
Uzman-6	VI	I	I	M	I	VI	VI	VI	I	M
Uzman-7	I	I	I	I	VI	I	M	I	M	I
Uzman-8	VI	VI	I	VI	I	M	VI	I	VI	VI
Uzman-9	I	I	M	VI	M	UI	I	I	UI	I
Uzman-10	M	M	UI	I	I	M	VI	M	I	UI
	Jeotermal Enerji $(\boldsymbol{\Theta_2})$									
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$	$\boldsymbol{\Xi_2}$	$\boldsymbol{\Xi_3}$	$\boldsymbol{\Xi_4}$	$\boldsymbol{\Xi_5}$	$\boldsymbol{\Xi_6}$	$\boldsymbol{\Xi_7}$	$\boldsymbol{\Xi_8}$	$\boldsymbol{\Xi_9}$	$\boldsymbol{\Xi_{10}}$
Uzman-1	I	VI	UI	I	I	UI	I	I	M	M
Uzman-2	I	I	M	M	VI	M	I	I	I	I
Uzman-3	M	VI	M	I	I	M	I	VI	I	M
Uzman-4	VI	I	I	M	VI	I	M	VI	M	M
Uzman-5	I	VI	VI	UI	I	M	VI	I	M	I
Uzman-6	VI	VI	I	M	VI	I	I	I	I	VI
Uzman-7	I	I	I	UI	I	UI	I	M	UI	I
Uzman-8	VI	VI	M	M	VI	M	I	I	UI	M
Uzman-9	I	I	UI	I	VI	I	M	M	UI	I
Uzman-10	M	M	UI	I	I	M	I	I	I	UI
	Hidrolik Enerjisi $(\boldsymbol{\Theta_3})$									
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$	$\boldsymbol{\Xi_2}$	$\boldsymbol{\Xi_3}$	$\boldsymbol{\Xi_4}$	$\boldsymbol{\Xi_5}$	$\boldsymbol{\Xi_6}$	$\boldsymbol{\Xi_7}$	$\boldsymbol{\Xi_8}$	$\boldsymbol{\Xi_9}$	$\boldsymbol{\Xi_{10}}$
Uzman-1	I	I	I	I	VI	I	VI	M	UI	M
Uzman-2	I	M	I	VI	I	M	VI	VI	UI	VI
Uzman-3	VI	M	M	I	M	I	I	M	M	I
Uzman-4	I	I	VI	M	I	I	M	I	VI	VI
Uzman-5	M	I	I	M	M	I	VI	VI	I	M
Uzman-6	VI	VI	I	I	VI	VI	M	I	M	VI
Uzman-7	M	VI	I	M	I	VI	I	I	I	I
Uzman-8	VI	I	UI	VI	M	I	M	I	M	VI
Uzman-9	I	M	I	I	VI	M	M	M	VI	VI
Uzman-10	M	M	UI	I	I	M	I	I	I	UI
	Rüzgâr Enerjisi $(\boldsymbol{\Theta_4})$									
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$	$\boldsymbol{\Xi_2}$	$\boldsymbol{\Xi_3}$	$\boldsymbol{\Xi_4}$	$\boldsymbol{\Xi_5}$	$\boldsymbol{\Xi_6}$	$\boldsymbol{\Xi_7}$	$\boldsymbol{\Xi_8}$	$\boldsymbol{\Xi_9}$	$\boldsymbol{\Xi_{10}}$
Uzman-1	I	I	I	VI	I	M	I	I	UI	UI
Uzman-2	VI	VI	UI	VI	VI	M	VI	VI	I	VI
Uzman-3	UI	I	VI	I	M	I	I	I	I	VI
Uzman-4	VI	I	VI	M	VI	VI	VI	M	M	I
Uzman-5	VI	VI	I	I	I	I	M	I	M	UI
Uzman-6	UI	M	I	M	VI	M	VI	VI	M	M
Uzman-7	M	I	M	VI	I	M	I	M	VI	I
Uzman-8	VI	I	M	I	VI	M	I	I	VI	VI
Uzman-9	UI	I	I	VI	I	I	M	M	UI	I
Uzman-10	M	M	UI	I	I	I	I	I	I	UI

	Biokütle Enerjisi $(\boldsymbol{\Theta_5})$									
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$	$\boldsymbol{\Xi_2}$	$\boldsymbol{\Xi_3}$	$\boldsymbol{\Xi_4}$	$\boldsymbol{\Xi_5}$	$\boldsymbol{\Xi_6}$	$\boldsymbol{\Xi_7}$	$\boldsymbol{\Xi_8}$	$\boldsymbol{\Xi_9}$	$\boldsymbol{\Xi_{10}}$
Uzman-1	VI	VI	VI	I	I	I	I	I	UI	UI
Uzman-2	I	I	M	VI	I	M	VI	I	VI	I
Uzman-3	M	VI	I	VI	VI	VI	I	M	I	I
Uzman-4	M	I	VI	I	VI	I	M	VI	I	M
Uzman-5	M	VI	I	M	I	I	M	I	UI	VI
Uzman-6	VI	VI	I	M	M	I	M	VI	I	UI
Uzman-7	UI	I	M	M	I	I	VI	VI	M	M
Uzman-8	VI	VI	I	VI	VI	M	I	M	VI	I
Uzman-9	I	I	M	I	VI	UI	M	M	UI	I
Uzman-10	M	M	UI	I	I	M	I	I	I	UI

Tablo 26

Yenlenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirme Matrisi (IF sayılar)

	Güneş Enerjisi $(\boldsymbol{\Theta_1})$																			
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$		$\boldsymbol{\Xi_2}$		$\boldsymbol{\Xi_3}$		$\boldsymbol{\Xi_4}$		$\boldsymbol{\Xi_5}$		$\boldsymbol{\Xi_6}$		$\boldsymbol{\Xi_7}$		$\boldsymbol{\Xi_8}$		$\boldsymbol{\Xi_9}$		$\boldsymbol{\Xi_{10}}$	
Uzman-1	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.35	0.60	0.88	0.08
Uzman-2	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20
Uzman-3	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20
Uzman-4	0.50	0.45	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45
Uzman-5	0.50	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20	0.35	0.60
Uzman-6	0.88	0.08	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45
Uzman-7	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20
Uzman-8	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08
Uzman-9	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60	0.75	0.20
Uzman-10	0.50	0.45	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.50	0.45	0.75	0.20	0.35	0.60
	Jeotermal Enerji $(\boldsymbol{\Theta_2})$																			
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$		$\boldsymbol{\Xi_2}$		$\boldsymbol{\Xi_3}$		$\boldsymbol{\Xi_4}$		$\boldsymbol{\Xi_5}$		$\boldsymbol{\Xi_6}$		$\boldsymbol{\Xi_7}$		$\boldsymbol{\Xi_8}$		$\boldsymbol{\Xi_9}$		$\boldsymbol{\Xi_{10}}$	
Uzman-1	0.75	0.20	0.88	0.08	0.35	0.60	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45
Uzman-2	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.88	0.08	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20
Uzman-3	0.50	0.45	0.88	0.08	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45
Uzman-4	0.88	0.08	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.50	0.45	0.50	0.45
Uzman-5	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08	0.35	0.60	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20
Uzman-6	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08
Uzman-7	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60	0.75	0.20	0.35	0.60	0.75	0.20	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20
Uzman-8	0.88	0.08	0.88	0.08	0.50	0.45	0.50	0.45	0.88	0.08	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60	0.50	0.45
Uzman-9	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20
Uzman-10	0.50	0.45	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60
	Hidrolik Enerjisi $(\boldsymbol{\Theta_3})$																			
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$		$\boldsymbol{\Xi_2}$		$\boldsymbol{\Xi_3}$		$\boldsymbol{\Xi_4}$		$\boldsymbol{\Xi_5}$		$\boldsymbol{\Xi_6}$		$\boldsymbol{\Xi_7}$		$\boldsymbol{\Xi_8}$		$\boldsymbol{\Xi_9}$		$\boldsymbol{\Xi_{10}}$	
Uzman-1	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.50	0.45	0.35	0.60	0.50	0.45
Uzman-2	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.35	0.60	0.88	0.08
Uzman-3	0.88	0.08	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20
Uzman-4	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08
Uzman-5	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45
Uzman-6	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08
Uzman-7	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20
Uzman-8	0.88	0.08	0.75	0.20	0.35	0.60	0.88	0.08	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08
Uzman-9	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.50	0.45	0.50	0.45	0.50	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08
Uzman-10	0.50	0.45	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60

Rüzgâr Enerjisi $(\boldsymbol{\Theta_4})$																				
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$		$\boldsymbol{\Xi_2}$		$\boldsymbol{\Xi_3}$		$\boldsymbol{\Xi_4}$		$\boldsymbol{\Xi_5}$		$\boldsymbol{\Xi_6}$		$\boldsymbol{\Xi_7}$		$\boldsymbol{\Xi_8}$		$\boldsymbol{\Xi_9}$		$\boldsymbol{\Xi_{10}}$	
Uzman-1	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60	0.35	0.60
Uzman-2	0.88	0.08	0.88	0.08	0.35	0.60	0.88	0.08	0.88	0.08	0.50	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08
Uzman-3	0.35	0.60	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08
Uzman-4	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.50	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.88	0.08	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20
Uzman-5	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.35	0.60
Uzman-6	0.35	0.60	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.50	0.45	0.88	0.08	0.88	0.08	0.50	0.45	0.50	0.45
Uzman-7	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20
Uzman-8	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08
Uzman-9	0.35	0.60	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20
Uzman-10	0.50	0.45	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60
Biokütle Enerjisi $(\boldsymbol{\Theta_5})$																				
Uzmanlar	$\boldsymbol{\Xi_1}$		$\boldsymbol{\Xi_2}$		$\boldsymbol{\Xi_3}$		$\boldsymbol{\Xi_4}$		$\boldsymbol{\Xi_5}$		$\boldsymbol{\Xi_6}$		$\boldsymbol{\Xi_7}$		$\boldsymbol{\Xi_8}$		$\boldsymbol{\Xi_9}$		$\boldsymbol{\Xi_{10}}$	
Uzman-1	0.88	0.08	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60	0.35	0.60
Uzman-2	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20
Uzman-3	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20
Uzman-4	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45
Uzman-5	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.35	0.60	0.88	0.08
Uzman-6	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20	0.35	0.60
Uzman-7	0.35	0.60	0.75	0.20	0.50	0.45	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08	0.50	0.45	0.50	0.45
Uzman-8	0.88	0.08	0.88	0.08	0.75	0.20	0.88	0.08	0.88	0.08	0.50	0.45	0.75	0.20	0.50	0.45	0.88	0.08	0.75	0.20
Uzman-9	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.88	0.08	0.35	0.60	0.50	0.45	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20
Uzman-10	0.50	0.45	0.50	0.45	0.35	0.60	0.75	0.20	0.75	0.20	0.50	0.45	0.75	0.20	0.75	0.20	0.75	0.20	0.35	0.60

Adım 3-2: IFWA operatörü Denklem (11) kullanılarak birleştirilmiş alternatif değerlendirme matrisi elde edilir. Tablo 27'de gösterilmiştir.

Tablo 27

Birleştirilmiş Değerlendirme Matrisi (IF sayılar)

Alternatifler	$\boldsymbol{\Xi_1}$		$\boldsymbol{\Xi_2}$		$\boldsymbol{\Xi_3}$		$\boldsymbol{\Xi_4}$		$\boldsymbol{\Xi_5}$		$\boldsymbol{\Xi_6}$		$\boldsymbol{\Xi_7}$		$\boldsymbol{\Xi_8}$		$\boldsymbol{\Xi_9}$		$\boldsymbol{\Xi_{10}}$	
$(\boldsymbol{\Theta_1})$	0.72	0.23	0.75	0.20	0.68	0.27	0.78	0.17	0.74	0.20	0.74	0.21	0.78	0.17	0.73	0.22	0.71	0.24	0.71	0.24
$(\boldsymbol{\Theta_2})$	0.76	0.19	0.82	0.13	0.63	0.31	0.60	0.35	0.82	0.13	0.57	0.38	0.74	0.21	0.75	0.20	0.57	0.38	0.66	0.28
$(\boldsymbol{\Theta_3})$	0.75	0.19	0.71	0.24	0.69	0.25	0.73	0.22	0.74	0.21	0.73	0.21	0.74	0.21	0.73	0.22	0.69	0.25	0.78	0.17
$(\boldsymbol{\Theta_4})$	0.71	0.23	0.77	0.18	0.71	0.23	0.79	0.16	0.79	0.16	0.68	0.27	0.75	0.20	0.72	0.23	0.68	0.26	0.73	0.21
$(\boldsymbol{\Theta_5})$	0.69	0.25	0.82	0.13	0.70	0.24	0.76	0.19	0.81	0.14	0.69	0.25	0.71	0.23	0.73	0.21	0.67	0.27	0.68	0.26

Adım 3-3: Denkelem (12) ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir. Tablo 28'de gösterilmiştir.

Tablo 28

Ağırlıklandırılmış Değerlendirme Matrisi (IF sayılar)

Alternatifler	$\boldsymbol{\Xi_1}$		$\boldsymbol{\Xi_2}$		$\boldsymbol{\Xi_3}$		$\boldsymbol{\Xi_4}$		$\boldsymbol{\Xi_5}$		$\boldsymbol{\Xi_6}$		$\boldsymbol{\Xi_7}$		$\boldsymbol{\Xi_8}$		$\boldsymbol{\Xi_9}$		$\boldsymbol{\Xi_{10}}$	
$(\boldsymbol{\Theta_1})$	0.08	0.02	0.08	0.02	0.06	0.03	0.08	0.02	0.08	0.02	0.07	0.02	0.08	0.02	0.07	0.02	0.06	0.02	0.07	0.02
$(\boldsymbol{\Theta_2})$	0.08	0.02	0.08	0.01	0.06	0.03	0.06	0.04	0.09	0.01	0.06	0.04	0.07	0.02	0.07	0.02	0.05	0.03	0.06	0.03
$(\boldsymbol{\Theta_3})$	0.08	0.02	0.07	0.02	0.07	0.02	0.08	0.02	0.08	0.02	0.07	0.02	0.07	0.02	0.07	0.02	0.06	0.02	0.07	0.02
$(\boldsymbol{\Theta_4})$	0.08	0.02	0.08	0.02	0.07	0.02	0.08	0.02	0.09	0.02	0.07	0.03	0.08	0.02	0.07	0.02	0.06	0.02	0.07	0.02
$(\boldsymbol{\Theta_5})$	0.07	0.03	0.08	0.01	0.07	0.02	0.08	0.02	0.09	0.02	0.07	0.03	0.07	0.02	0.07	0.02	0.06	0.02	0.06	0.02

Adım 3-4: Denklem 13 kullanılarak Maliyet kriterler için değerlendirmeler birleştirilir. Tablo 29'de gösterilmiştir.

Adım 3-5: Denklem 14 kullanılarak Maliyet kriterlerin doğrusal performans puanları hesaplanmıştır. Tablo 30'de gösterilmiştir.

Adım 3-6: Denklem 15 kullanılarak Fayda kriterler için değerlendirmeler birleştirilir. Tablo 29'de gösterilmiştir.

Adım 3-7: Denklem 16 kullanılarak Fayda kriterlerin doğrusal performans puanları hesaplanmıştır. Tablo 30'de gösterilmiştir.

Adım 3-8: Denklem 17 yardımıyla Alternatiflerin sıralama değerleri hesaplanmıştır. Tablo 30'de gösterilmiştir.

Tablo 29

Fayda Ve Maliyet Kriterler İçin Birleştirilmiş Değerlendirme Matrisi (IF Sayılar)

Alternatifler	Ξ_1		Ξ_2		Ξ_3		Ξ_4		Ξ_5		Ξ_6		Ξ_7		Ξ_8		Ξ_9		Ξ_{10}	
(Θ_1)	0.92	1.05	0.89	1.08	0.92	1.14	-0.02	1.00	-0.10	0.13	0.00	1.24	1.00	1.13	0.97	1.02	1.00	1.74	0.88	1.12
(Θ_2)	1.00	1.14	1.00	1.23	0.83	1.00	-0.30	0.30	0.00	0.29	-0.32	0.32	0.94	1.05	1.00	1.05	0.70	1.00	0.81	1.00
(Θ_3)	0.98	1.13	0.84	1.00	0.96	1.20	-0.10	0.80	-0.12	0.12	-0.01	1.21	0.93	1.05	0.97	1.02	0.96	1.65	1.00	1.30
(Θ_4)	0.91	1.04	0.92	1.11	1.00	1.26	0.00	1.07	-0.05	0.21	-0.12	0.91	0.95	1.07	0.95	1.00	0.95	1.62	0.92	1.18
(Θ_5)	0.88	1.00	1.00	1.23	0.98	1.23	-0.06	0.91	-0.01	0.27	-0.09	0.99	0.89	1.00	0.97	1.03	0.93	1.57	0.84	1.05

Tablo 30

Fayda Ve Maliyet Kriterler İçin Doğrusal Performanslar Ve Alternatif Sıralama Değeri (IF Sayılar)

Alternatifler	*Si*		Ri		Si+Ri		Pi	
(Θ_1)	-0.128	2.374	-0.891	2.007	-1.018	4.381	-3.128	6.205
(Θ_2)	-0.621	0.906	-1.203	1.203	-1.825	2.110	-3.934	3.934
(Θ_3)	-0.226	2.135	-0.835	2.071	-1.061	4.206	-3.171	6.031
(Θ_4)	-0.164	2.193	-0.881	2.015	-1.044	4.208	-3.154	6.033
(Θ_5)	-0.155	2.167	-0.986	1.826	-1.141	3.993	-3.251	5.817

Adım 3-9: Denklem 18 ile nihai yenilenebilir enerji sıralaması elde edilir. Tablo 31'de gösterilmiştir.

Tablo 31

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Nihai Sıralaması

	Yenilebilir Enerji Kaynakları	*Sıralama Değeri*	*Sıralama*
$(\boldsymbol{\theta_1})$	Güneş Enerjisi	1.5387	**1.**
$(\boldsymbol{\theta_2})$	Jeotermal Enerji	0.0000	**5.**
$(\boldsymbol{\theta_3})$	Hidrolik Enerjisi	1.4299	**3.**
$(\boldsymbol{\theta_4})$	Rüzgâr Enerjisi	1.4395	**2.**
$(\boldsymbol{\theta_5})$	Biokütle Enerjisi	1.2833	**4.**

Elde edilen sonuçlar kapsamında en iyi yenilenebilir enerji kaynağı olarak Güneş enerjisi tespit edilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji kaynağı seçimi sürecinde karar verme desteği sağlamak amacıyla Bulanık SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) ve Bulanık OCRA (Operational Competitiveness Rating Analysis) yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler, enerji kaynaklarının çevresel, ekonomik ve teknik boyutları dikkate alınarak belirlenmiş ve uzman görüşleri doğrultusunda bulanık sayılarla değerlendirilmiştir.

Bulanık SWARA yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve kriterler arasındaki önem dereceleri hesaplanmıştır. Elde edilen ağırlık değerleri, karar verme sürecinde daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Ardından, Bulanık OCRA yöntemi ile farklı yenilenebilir enerji alternatifleri performans açısından değerlendirilmiş ve en uygun enerji kaynağı belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, güneş enerjisi, yüksek verimlilik, düşük çevresel etki ve uzun vadeli ekonomik avantajlar açısından en uygun yenilenebilir enerji kaynağı olarak belirlenmiştir. Rüzgar enerjisi, ikinci sırada yer alarak sürdürülebilirlik ve maliyet etkinliği açısından önemli bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Biyoenerji ve hidroelektrik enerji kaynakları ise belirlenen kriterler çerçevesinde daha düşük performans göstermiştir.

Azerbaycan bağlamında yapılan araştırmalar, ülkenin zengin fosil yakıt rezervlerine sahip olmasına rağmen, yenilenebilir enerjiye olan ilginin giderek arttığını göstermektedir. Özellikle rüzgar ve güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu belirlenmiş ve bu kaynakların kullanımına yönelik çeşitli stratejik planlar geliştirilmiştir. Literatürde, Azerbaycan'ın enerji sektöründeki sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmesi için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Ancak, mevcut altyapı eksiklikleri ve yasal düzenlemelerin yetersizliği, bu geçişin önündeki temel engeller olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan literatür taraması sonucunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi konusunda çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Özellikle, belirsizlik içeren karar süreçlerinde bulanık mantık tabanlı yaklaşımların önemli bir avantaj sunduğu tespit edilmiştir. Literatürde, Bulanık SWARA ve Bulanık OCRA yöntemlerinin enerji yatırımlarında etkin bir şekilde uygulandığı ve bu yöntemlerin enerji kaynaklarının ekonomik, çevresel ve teknik kriterler doğrultusunda

değerlendirilmesinde başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Çalışmalar, bu yöntemlerin karar vericilere daha sistematik ve analitik bir bakış açısı sunduğunu göstermektedir.

Literatür incelemesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde en sık kullanılan kriterlerin ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel etkiler ve enerji güvenliği olduğunu ortaya koymuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uzun vadede fosil yakıtlara kıyasla daha ekonomik ve çevre dostu olduğu vurgulanmaktadır. Bununla birlikte, yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve teknolojik gereksinimlerin gelişmiş seviyede olması, ülkelerin bu enerji kaynaklarına geçiş sürecini zorlaştıran önemli unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar, finansal teşviklerin ve devlet desteklerinin yenilenebilir enerji projelerinin başarılı bir şekilde uygulanmasında kilit rol oynadığını göstermektedir.

Bu çalışma, Azerbaycan'da yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimine yönelik karar verme süreçlerinde Bulanık SWARA ve Bulanık OCRA yöntemlerinin uygulanmasını incelemiştir. Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesi ve Azerbaycan'ın fosil yakıtlara bağımlılığını azaltma hedeflerine katkı sağlama potansiyeline sahiptir.

Bulanık SWARA ve Bulanık OCRA yöntemleriyle gerçekleştirilen çalışmalarda, yenilenebilir enerji projelerinin başarıyla değerlendirilmesi ve sıralanması sağlanmıştır. Literatürde bu yöntemlerin, uzman görüşlerine dayalı subjektif değerlendirmeleri sistematik hale getirerek daha güvenilir sonuçlar sunduğu ortaya konmuştur. Özellikle kriterlerin ağırlıklandırılması sürecinde, Bulanık SWARA yönteminin esnek ve etkili bir yapı sunduğu, Bulanık OCRA yönteminin ise alternatiflerin performansını doğru bir şekilde değerlendirdiği tespit edilmiştir.

Literatür taraması kapsamında elde edilen bulgular, yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi konusunda çok kriterli karar verme yöntemlerinin etkinliğini ortaya koymuş ve Azerbaycan'ın enerji sektörü için bu yöntemlerin uygulanmasının stratejik bir avantaj sağlayabileceğini göstermiştir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji yatırımlarında karar vericilerin bilimsel ve sistematik yöntemler kullanarak sürdürülebilir ve ekonomik olarak verimli enerji politikaları geliştirmesi gerektiği önerilmektedir.

Ynilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi sürecinde yer alan uzmanların uzmanlık seviyeleri analizden elde edilen sonuçlar, karar verme sürecinde yer alan uzmanların enerji sektöründeki deneyimlerinin, teknik bilgilerin değerlendirilmesinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Uzmanlık seviyeleri, kriterlerin belirlenmesinde ve

değerlendirilmesinde etkili olmuş, farklı disiplinlerden gelen uzmanların sürece dâhil edilmesiyle daha kapsamlı ve nesnel bir analiz yapılabilmiştir. Çalışmada, enerji sektörü, finans, çevre bilimi ve mühendislik gibi alanlarda uzmanlaşmış kişilerin görüşlerinin alınmasının karar süreçlerinde doğruluk ve güvenilirliği artırdığı belirlenmiştir. Bu durum, enerji yatırımlarında çok disiplinli bir yaklaşımın benimsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kriter ağırlık matrisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde belirlenen kriterlerin önem düzeylerini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, ekonomik kriterlerin (maliyet, yatırım getirisi) en yüksek ağırlığa sahip olduğunu göstermektedir. Bunu çevresel faktörler (sera gazı emisyonlarının azaltılması, çevresel sürdürülebilirlik) ve teknik faktörler (verimlilik, altyapı gereklilikleri) takip etmektedir. Sosyal faktörlerin ağırlığının diğer kriterlere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir, ancak yine de yerel istihdam ve toplumsal kabul gibi unsurların karar sürecinde dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Kriter ağırlıklandırma sürecinde uzmanların yaptığı değerlendirmelere dayanarak, ekonomik sürdürülebilirlik ve çevresel etkilerin enerji yatırımlarında en kritik faktörler olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, yenilenebilir enerji yatırımlarının başarılı olabilmesi için öncelikli kriterlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Bulanık SWARA ve Bulanık OCRA yöntemleri kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının nihai sıralaması sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, Azerbaycan için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının güneş enerjisi olduğu belirlenmiştir. Güneş enerjisinin yüksek potansiyeli, düşük işletme maliyetleri ve geniş uygulanabilirlik alanı, bu sonucu destekleyen faktörler olarak öne çıkmıştır. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin hemen ardından gelmiş ve özellikle kıyı bölgelerinde yüksek potansiyel sunduğu belirlenmiştir. Hidroelektrik enerjisi ise üçüncü sırada yer almakta olup, mevcut su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle potansiyelinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Jeotermal ve biyokütle enerjileri ise daha düşük sıralarda yer almakta, ancak belirli bölgelerde spesifik kullanım alanları sunabileceği ifade edilmektedir. Bu sıralama, Azerbaycan'ın enerji politikalarında güneş ve rüzgar enerjisine öncelik vermesi gerektiğini ve bu alanlara daha fazla yatırım yapılmasının uygun olduğunu göstermektedir.

Uzmanların görüşleri doğrultusunda belirlenen kriterlerin enerji kaynaklarının seçiminde etkili olduğu görülmektedir. Ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik faktörlerinin kritik önem taşıdığı, teknik yeterliliklerin ise yatırım kararlarında belirleyici olduğu ortaya

konmuştur. Nihai sıralamalar, Azerbaycan'ın mevcut enerji stratejileriyle uyumlu bir şekilde güneş ve rüzgar enerjisine odaklanmasının, ülkenin enerji bağımsızlığına katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Çalışmanın bulgularına göre, yenilenebilir enerji kaynakları Azerbaycan'ın enerji portföyünü çeşitlendirme ve enerji arz güvenliğini sağlama konusunda önemli avantajlar sunmaktadır. Araştırmada kullanılan Bulanık SWARA yöntemi, kriterlerin ağırlıklandırılmasını sağlamış ve yatırım yapılması gereken alanların belirlenmesine yardımcı olmuştur. Elde edilen sonuçlar, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörlerin enerji yatırımlarında kritik rol oynadığını göstermektedir. Bununla birlikte, Bulanık OCRA yöntemi ile yapılan değerlendirmeler sonucunda rüzgâr ve güneş enerjisinin Azerbaycan'ın enerji politikalarında önceliklendirilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Azerbaycan'ın yenilenebilir enerjiye geçiş sürecinde bazı zorluklarla karşılaşabileceği de tespit edilmiştir. Bu zorluklar arasında altyapı eksiklikleri, finansman ihtiyaçları, teknik bilgi eksikliği ve mevzuat düzenlemelerinin yetersizliği öne çıkmaktadır. Ancak, araştırmada önerilen stratejik adımlar, bu zorlukların aşılması için yol gösterici niteliktedir.

Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji alanında sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşabilmesi için öncelikli olarak enerji politikalarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Mevcut yasal ve düzenleyici çerçevenin uluslararası standartlara uygun hale getirilmesi, yatırımcı güvenini artırarak sektördeki gelişimi hızlandıracaktır. Yenilenebilir enerji yatırımlarının önündeki bürokratik engellerin azaltılması ve teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi, yerli ve yabancı yatırımcıların bu alana olan ilgisini artıracaktır. Enerji politikalarının, uzun vadeli stratejik planlarla desteklenmesi, sektörün sürdürülebilir bir şekilde büyümesine katkı sağlayacaktır.

Finansman kaynaklarının çeşitlendirilmesi, yenilenebilir enerji projelerinin yaygınlaşmasını sağlayan en önemli faktörlerden biridir. Özellikle kamu-özel sektör işbirliği (PPP) modellerinin teşvik edilmesi, büyük ölçekli enerji projelerinin hayata geçirilmesini kolaylaştıracaktır. Uluslararası finans kuruluşları ve kalkınma bankaları ile işbirliklerinin artırılması, yenilenebilir enerji yatırımları için daha uygun finansal koşulların oluşturulmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, düşük faizli krediler, vergi indirimleri ve yatırım teşvikleri gibi finansal destek mekanizmalarının devreye alınması, yenilenebilir enerjiye geçiş sürecini hızlandıracaktır.

Teknolojik kapasitenin artırılması, Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji sektöründe rekabet gücünü artırabilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji teknolojileri konusunda yerel uzmanlık seviyesinin geliştirilmesi için üniversiteler, araştırma enstitüleri ve özel sektör arasındaki işbirliklerinin artırılması gerekmektedir. Ar-Ge çalışmalarına daha fazla yatırım yapılması, yerel üretim kapasitesinin artırılmasını ve ithalata olan bağımlılığın azaltılmasını sağlayacaktır. Ayrıca, yenilenebilir enerji teknolojilerinin yerlileştirilmesi, enerji sektöründe istihdam yaratılmasına ve ekonomik büyümeye katkı sağlayacaktır.

Çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik açısından, yenilenebilir enerji projelerinin çevresel etkilerinin minimize edilmesi ve toplumun projelere yönelik farkındalığının artırılması gerekmektedir. Halkın projelere olan desteğini sağlamak amacıyla bilinçlendirme kampanyaları düzenlenmeli ve yerel halkın projelere aktif katılımı teşvik edilmelidir. Çevresel etki değerlendirmesi süreçlerinin titizlikle yürütülmesi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca, çevresel sürdürülebilirlik açısından enerji verimliliği projelerine de önem verilerek enerji tüketiminin azaltılması sağlanmalıdır.

Son olarak, yenilenebilir enerji altyapısının geliştirilmesi ve şebeke entegrasyonunun sağlanması büyük önem taşımaktadır. Mevcut enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre edilmesi, enerji arz güvenliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Akıllı şebeke sistemlerinin yaygınlaştırılması ve enerji depolama çözümlerinin geliştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliğini ve verimliliğini artıracaktır. Bu sayede, Azerbaycan yenilenebilir enerji sektöründe rekabetçi bir konum elde edebilir ve enerji bağımsızlığını güçlendirebilir.

KAYNAKÇA

Abbaszade, A. (2021). Azerbaycan'da Alternatif Enerji Santrallerinin Kurulumu İçin Yer Seçimi. [Yüksek Lisans Tezi]. Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.

Abdullah, M. A., Agalgaonkar, A. P., ve Muttaqi, K. M. (2014). Assessment of energy supply and continuity of service in distribution network with renewable distributed generation. *Applied Energy,* 113, 1015-1026.

Abdurahmanov, F. (2023). Building a sustainable future with wind energy: Azerbaijan's ambitious plans for Karabakh. https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1777938

Abidov, F. (2021). Future integration of photovoltaic power plants to the grid: A case study Azerbaijan. https://dspace.cvut.cz/handle/10467/92774

Afşar, L. (2019). Türkiye Ekonomisindeki Enerji Politikalarının Önemi Ve Yenilebilir Enerji Kaynaklarındaki Yeri. [Yüksek Lisans Tezi]. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim DALI. https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/270077

Agboola, A. (2014), Public sensitization on the adoption of renewable energy in Nigeria: Communicating the way forward. *IOSR Journal of Humanities and Social Science,* 19(5), 74-81.

Aghayeva, I. (2024). Azerbaycanda Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: Yeni Nesil Genişletilmiş ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. [Yüksek Lisans Tezi]. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya, Türkiye.

Aghazada, A. (2024). Azerbaycan Ekonomisinin Geleceğinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Rolü. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Ana Bilim Dalı. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Ağaçbiçer, G. (2010). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ekonomisine Katkısı ve Yapılan Swot Analizler. [Yüksek Lisans Tezi]. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]. http://acikerisim.lib.comu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12428/659

Ağayeva, G., Cahangirov, M., Əmrahova, M., ve Zeynalov, R. (2024). Enerji Sektorunun Qlobal İstiləşmə İlə Əlaqəsi. Sosial Məsuliyyətə və Yeni Paradiqmalara Yönəldilmiş Təhlil. http://62.212.226.103/xmlui/handle/123456789/492

Ağazadə, Ü. (2024). Qarabağ İqtisadi Zonasında Tətbiq Olunan Alternativ Enerji Qurğularının Dinamik Parametrlərinin Analizi. http://openaccess.aztu.edu.az/xmlui/handle/123456789/384

Ahmadov, M. (2020). Hazar Denizi'nin Farklı Bölgelerinde Potansiyel Rüzgar Çiftliklerinin Maliyet Hesabı Analizleri. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Ahmadova, A., ve Alizade, N. (2021). Azerbaycan'da alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik planlama faaliyetleri ve stratejisi. *Euroasia Journal of Social Sciences ve Humanities,* 8(1), 33-38.

Akbarov, İ. (2023). Azerbaycan'da Elektrik Enerjisi Tüketiminin Yapay Zeka Yöntemleri ile Analizi ve Tahmini. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Akkurt, Ş. (2016). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Çevresel Etkileri ve Kayseri Örneği. [Yüksek Lisans Tezi]. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Akusta, E. (2019). Yenilenebilir Enerji, Ekonomik Büyüme ve Çevre İlişkisi: Türkiye Örneği. [Yüksek Lisans Tezi]. Kırklareli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı. https://dergipark.org.tr/tr/doi/10.14783/maruoneri.771658

Alizada, N. (2022). Yeşil Enerji Bağlamında Karabağ'ın Enerji Potansiyeli. *Avrasya İncelemeleri Dergisi,* 11(1), 1–15.

Alizade, C. B. (2022). About Slope Slides Expected in the Upper Level of Reservoirs. RA Namazov, RG Abaszade, Ecoenergetics, № 1, 16–18. https://www.researchgate.net/publication/366139839

Amer, M., ve Daim, T. U. (2011). Selection of renewable energy technologies for a developing county: A case of Pakistan. *Energy for Sustainable Development,* 15(4), 420–435.

Amirov, İ. (2021). Qlobal Enerji Bazarında İnkişaf Təmayülləri. Energetika İxtisasları Üzrə Kadr Hazırlığının Aktual Məsələləri, 48–52. https://elibrary.ru/item.asp?id=48486183

Apa.az. (2017). Prezident İlham Əliyev Samux Aqroenerji Yaşayış Kompleksi ilə tanış olub. https://apa.az/aqrar-senaye-kompleksi/xeber_prezident_ilham_eliyev_samux_aqroenerji__-482685: Erişim tarihi: 14.09.2024

Aranas, M. M. (2024). The Assessment of Renewable Energy Sources with Fuzzy MCDM: The Case of BARMM Region, Philippines. [Yüksek Lisans Tezi]. Ömer Halisdemir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Atanassov, K. (2016). Intuitionistic fuzzy sets. *International journal bioautomation, 20,* 1.

Aydın, S. (2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirilmesi: Türkiye örneği. [Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi Sosyal, Bilimler Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.

Aydın, U. (2019). Energy insecurity and renewable energy sources: Prospects and challenges for Azerbaijan. ADBI Working Paper Series No. 992. Asian Development Bank Institute, Tokyo.

Azerbaycan Devlet İstatistik Komitesi, (2024). Alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin resmi açıklama. https://stat.gov.az/source/trade/: Erişim tarihi: 16.06.2024.

Azərbaycan Energetika Nazirliyi, (2024). Külək enerjisi potensialının ölçülməsi. https://minenergy.gov.az/az/maariflendirici-melumat/kulek-enerjisinin-potensialinin-olculmesi: Erişim tarihi: 17.07.2024

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası. (2004). Azərbaycan Respublıkasında Alternatıv Enerjı Mənbələrındən Istıfadənın Inkışafı Perspektıvlərı. Energetikanın Problemləri.

Azizov, S. G., ve Mammadova, G. S. (2022). The importance of using alternative energy sources in the protection of the atmosphere in Azerbaijan. *Herson Devlet Üniversitesi Bilimsel Bülteni, Coğrafya bilimleri,* 17, 50-54.

Babayev, C. B. (2022). Enerji Səmərəli Və Yaşıl Texnologiyaların Tətbiqi Qarabağın Davamlı İnkişafının Əsasıdır. Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Bakı, Azərbaycan.

Babayev, K. (2017). Azerbaycan'ın stratejik önemi ve enerji güvenliği. [Yüksek Lisans Tezi]. Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne, Türkiye.

Babayeva, S., ve Shikhkarimov, N. (2022). Bıomass Prospects Of Azerbaıjan. *International Journal of Advance Engineering and Research Development,* 9(3). https://asoiu.edu.az/upload/sustainability/research/BIOMASS_PROSPECTS_OF_AZERBAIJAN.pdf

Babuşov, E. H. (2020). Alternativ Enerji Mənbələrinin Ekoloji Problemləri. *Ekoloji ve Yaşamın Korunması: Başarılar ve Sorunlar,* 216–220. https://elibrary.ru/item.asp?id=44821895

Başol, F. (2021). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantaj, Risk ve Tehlikeleri. [Yüksek Lisans Tezi]. Çankaya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği. http://earsiv.cankaya.edu.tr:8080/handle/20.500.12416/6311

Bayramov, A. (2021). Azerbaijan's Renewable Energy Policy: Opportunities, Drivers and Challenges. *Caucasus Analytical Digest,* 120, 2–7. https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/87107

Bekkari, A. (2023a). Azerbaycan Enerji Güvenliği ve Avrupa Birliği İlişkileri. https://dergipark.org.tr/tr/pub/ead/issue/79635/1317310

Bekkari, A. (2023b). Azerbaycan'ın Doğal Kaynak Donanımının Küresel Enerji Arz Güvenliği Çerçevesinde Değerlendirilmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Borhanazad, H., Mekhilef, S., Saidur, R., Boroumandjazi, G. (2013), Potential application of renewable energy for rural electrification in Malaysia. *Renewable Energy,* 59, 210-219

Budaqov, N. (2015). Hövsan Aerasiya Stansiyasında bioenerji stansiyası quraşdırılacaq. https://azertag.az/xeber/hovsan_aerasiya_stansiyasinda_bioenerji_stansiyasi_qurasdirilacaq-912643: Erişim tarihi: 16.09.2024

Büyükikiz, Ş. (2019). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.

Cao, Y., Wei, W., Chen, L., Wu, Q., ve Mei, S. (2020). Supply inadequacy risk evaluation of stand-alone renewable powered heat-electricity energy systems: A data-driven robust approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(3), 1937–1947.

Carley, S., Lawrence, S., Brown, A., Nourafshan, A., Benami, E. (2011), Energy-based economic development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 15(1), 282-295.

Cəlilov, M. F. (2009). *Alternativ regenerativ enerji sistemləri.* NPM «Təhsil». http://anl. az/el/c/cm_ares. pdf

Correlje, A., ve Van der Linde, C. (2006). Energy supply security and geopolitics: A European perspective. *Energy policy*, 34(5), 532-543.

Çakmak, G. K. (2024). Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Ağırlıklı Bulanık Öbekleme Tabanlı Bir Yer Seçimi Yöntemi. [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Çayır Ervural, B. (2018). Yenilenebilir Enerji Planlaması İçin Bütünleşik Çok Amaçlı Bir Karar Modeli Önerisi. [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Çetintaş, Y. (2021). Yenilenebilir Enerji Bağlamında Çevre ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: OECD Ülkeleri Örneği. [Yüksek Lisans Tezi]. Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Ana Bilim Dalı. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Çolak, M. (2015). Bütünleşik Bir Bulanık Karar Modeli ile Türkiye İçin Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Çoruk, S. (2018). AREL Üniversitesi Ön Enerji Etüdü ve Bulanık AHP Yöntemiyle Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Analizi. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye. İstanbul Arel Üniversitesi Tez Merkezi.

Darende, P. (2019). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Bölgesel Yatırımlarının Sezgisel Bulanık Mantık Yöntemi ile İncelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Dikmen, A. Ç. (2005). AB'de Enerji ve Çevre. *TMMOB Türkiye V. Enerji Sempozyumu Bildirileri Kitabı. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayını: Ankara.*

Dündar, H. (2019). Evsel Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Analizi. [Yüksek Lisans Tezi]. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye.

Əhmədova, R. R., Aşurova, N. D., ve Babayeva, T. M. (2020). Azərbaycanda Alternativ Və Bərpa Olunan Enerji Mənbələrindən İstifadə Perspektivləri. Tətbiqi Fizika Və Energetikanın Aktual Məsələləri, 35–39. https://elibrary.ru/item.asp?id=45723455

Erçiftçi, E. (2022). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Bulanık AHP Metodu ile Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, Türkiye.

Erdoğan, S. (2016). Enerji arz güvenliği bağlamında Türkiye'de nükleer enerji. *Liberal Düşünce Dergisi,* (82), 79-98.

Eroğlu, Ö. (2021). Üs Bölgesi Enerji İhtiyacının Karşılanması Kapsamında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Seçiminde Çok Kriterli Karar Destek Sistemi. [Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Fankhauser, S., Sehlleier, F., Stern, N. (2008), Climate Change, İnnovation and Jobs. *Climate Policy*, 8(4), 421-429.

Fattouh, B., Poudineh, R., ve West, R. (2019). The Rise of Renewables and Energy Transition: What Adaptation Strategy Exists for Oil Companies and Oil-Exporting Countries?. *Energy transitions,* 3(1), 45-58.

Felek, S. (2020). Yenilenebilir Enerji Türlerinin Bölgesel Potansiyellerinin ÇKKV Yöntemi ile Belirlenmesi: Antalya İl Bütünü Örneği. [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi. https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/269066

Gadjiev, T., Babaev, N., Rustamov, Y., ve Karimov, V. (2021). Thermal Waters of Azerbaijan – Sources of Renewable Alternative Energy. *In Review*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-169020/v1

Gezen, M. (2015). Aralık Katsayılı Çok Amaçlı Tamsayılı Programlama ile Türkiye'deki En Uygun Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Belirlenmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.

Global Solar Atlas. (b.t.). [World Bank Group]. Direct Normal Irradiation for Azerbaijan. Retrieved August 18, 2024, from https://globalsolaratlas.info/map?c=39.956912,47.04895,7 r=AZE: Erişim tarihi: 23.07.2024

Gojaeva, E., Gutium, T., ve Mamedova, S. (2024). Economic Potential for the Development of Renewable Energy Sources in Azerbaijan. 2200–2228. https://irek.ase.md/xmlui/handle/123456789/3633

Granić, G. (2010), Kako Promišljati Energetsku Budućnost? [How to Rethink Energy Future?]. *Zagreb, Croatia: Poslovna biblioteka, Energy Institute Hrvoje Pozar*.

Gross, R., Leach, M., ve Bauen, A. (2003). Progress in renewable energy. *Environment international*, 29(1), 105-122.

Guliev, R., Ibadova, F., ve Gasimzade, N. (2023). Sustainable development and renewable energy sources in Azerbaijan. *Scientific Collection «InterConf»,* 148, 46–54.

Guliyev, F. (2024). Renewable Energy Targets and Policies in Traditional Oil-Producing Countries: A Comparison of Azerbaijan and Kazakhstan. *Journal of Eurasian Studies*, 15(1), 110–124. https://doi.org/10.1177/18793665231177720

Gurbanov, S., ve Mammadli, L. (2024). Smart Grid and Electricity Security: Case of Azerbaijan as a Resource-Rich Country. *Journal of Sustainable Development Issues*, 2(1), 21–41. https://journalsdi.com/index.php/jsdi/article/view/22

Gurbanova, F. (2018). Türk Cumhuriyetlerinde Alternatif Enerjinin Geleceği. [Lisans Tezi]. Azerbaycan Devlet İktisat Üniversitesi, Türk Dünyası İşletme Fakültesi, Bakü, Azerbaycan.

Gyimah, J., Yao, X., Tachega, M. A., Hayford, I. S., ve Opoku-Mensah, E. (2022). Renewable energy consumption and economic growth: New evidence from Ghana. *Energy*, 248, 123559.

Hajiyev, S. (2020). Overview of renewable energy sources and the case of Azerbaijan. Air Center, Baku.

Hajizade, O. (2024). Green Economic Potential of Baku and Absheron-Khizi Economic Regions of Azerbaijan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(5). https://www.pjoes.com/pdf-183794-112254?filename=Green%20Economic%20Potential.pdf

Hamidov, S. (2024). Azerbaycan'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kapasite ve Kullanılmaktadırlik Analizi. [Yüksek Lisans Tezi]. Üsküdar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Hamidova, L., Huseynov, A., ve Samedova, E. (2022). Challenges in Implementing Renewable Energy Sources in Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(6), 441–446. https://doi.org/10.32479/ijeep.13636

Hasan, F. (2014). Possibilities of Geothermal Energy and its Competitiveness with Other Energy Sources. https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:712042

Hasanov, R. (2024). Solar Energy Production in Azerbaijan: Forecast Analysis Using ARIMA Model. *Journal of Sustainable Development Issues*, 2(1), 11–20.

Honorio, L. (2003). Efficiency in electricity generation. Eurelectric: Union of the Electric Industry. *VGB Powertech, Brussels, Belgium.*

Huseynli, B. (2023). Renewable solar energy resources potential and strategy in Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(1), 31-38.

Huseynli, S. (2019). Enerji İhracatı ve Ekonomik Büyüme İlişkisi (Azerbaycan Özelinde Bir Analiz). [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.

Huseynova, H. (2015). Alternative and Renewable Energy Outlook for Azerbaijan 2014.

Hüsüzadə, A., ve Məmmədvəliyeva, G. (2023). İdxalın Əvəz Olunması və İstehsalın Lokallaşdırılması Məqsədi ilə Yerli İstehsal Potensialının Gücləndirilməsi Məqsədi ilə Prioritet Məhsulların Seçilməsi. http://openaccess.aztu.edu.az/xmlui/handle/123456789/101

İbidapo-Obe, O., ve Ajibola, O. O. E. (2011). Towards a renewable energy development for rural power sufficiency. *In Proceedings of International Conference on Innovations in Engineering and Technology* (pp. 894-905). University of Lagos Akoka–Yaba, Lagos, Nigeria.

İbişova, M., Əliyev, Əlövsət, ve Əkbərova, L. (2016). Təbii Ehtiyatlardan Səmərəli İstifadə Edilməsi Proseslərinin Böyük Verilənlər Əsasında Təhlili Məsələləri. 198–201. https://ict.az/uploads/konfrans/biq_data/3-15_lovst_liyev_-_Tbii_ehtiyatlardan_smrli_itifad_edilmsi_proseslrinin_boyuk_verilnlr_sasnda_thlili_msllri.pdf

İbrahimova, A. (2023). Naxçıvan Muxtar Respublikasının Alternativ Enerji Potensialından İstifadənin Müasir Vəziyyəti. 35–38.

İlbahar, E. (2022). Renewable Energy İnvestment Decisions Under Fuzzy Uncertainty. [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

İmamverdiyev, N. S. (2021a). Site selection for solar photovoltaic system installation using analytical hierarchy process model in Azerbaijan. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.*, 1, 75–92.

İmamverdiyev, N. S. (2021b). Optimal Site Selection For The Installation Of Solar Pv Plants: A Case Study In Nakhchivan Ar, Azerbaijan. *Journal of Geography ve Environmental Management,* 62(3).

İmamverdiyev, N. S. (2023). Geospatial analysis of wind indicators and terrain impacts in determining optimal wind farm sites in Azerbaijan. *Journal of Geography and Environmental Management,* 71(4).

İmamverdiyev, N. (2024). Azərbaycanın Bərpa Olunan Enerji Resurslarının Coğrafi Tədqiqi Və İnformasiya Bazasının Yaradılması. https://aak.gov.az/upload/dissertasion/co_rafiya/Avtoreferat_(AZ).pdf

İsayev, T. (2022). Potential Wind Farm Design of the Caspian Sea Shores of Azerbaijan. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

İslam, M. M., Irfan, M., Shahbaz, M., ve Vo, X. V. (2022). Renewable and non-renewable energy consumption in Bangladesh: The relative influencing profiles of economic factors, urbanization, physical infrastructure and institutional quality. *Renewable Energy,* 184, 1130-1149.

İslamzade, A. V., ve Mukhtarov, A. S. (2024). Geological conditions for the development of geothermal energy in Azerbaijan. *Geofizicheskiy Zhurnal,* 46(3). https://journals.uran.ua/geofizicheskiy/article/view/306353

İsmayilov, N. (2023). Hazar Denizi'nin Azerbaycan Kısmındaki Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması ve Simule Edilmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Arel Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

İsmayilov, S. (2018). Enerji Güvenliği Bağlamında Türkiye ve Azerbaycan'ın Enerji Politikası. [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Kanbur, G. B. (2021). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Üzerine Bir İnceleme. [Yüksek Lisans Tezi]. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı. Https://Tez.Yok.Gov.Tr/Ulusaltezmerkezi/Tezsorgusonucyeni.Jsp

Kantarmacı, S. (2019). Yenilenebilir Enerji Birincil Üretimin Ekonomik Büyüme ve İşgücü İlişkisi: AB-28 Panel Veri Analizi. [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir. https://search.proquest.com/openview/7cdec2459c042ebd77fac6f41848a937/1?pq-origsite=gscholarcbl=2026366diss=y

Karaaslan, A., ve Aydın, S. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. https://dergipark.org.tr/en/pub/atauniiibd/article/749466

Karadağ A, Ö. (2019). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çok Faktörlü Karar Verme Tekniklerinden Bulanık Entropi Temelli COPRAS ve MULTIMOORA Teknikleri ile Bölgesel Bazda Değerlendirilmesi. [Doktora Tezi]. Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.

Karalı, Ş. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye ve Dünya Ekonomisine Katkısı. [Yüksek Lisans Tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mba Programı. Https://Tez.Yok.Gov.Tr/Ulusaltezmerkezi/Tezsorgusonucyeni.Jsp

Karimli, A., ve Aghayev, A. (2020). The economic opportunities of renewable energy resources in Azerbaijan: Major challenges and scenarios. *Business and IT., X*, 71. https://www.academia.edu/download/81525446/full_02-20_06.pdf

Karimov, I. (2024). Impact of Alternative Energy Investments on Employment in Azerbaijan. *AGORA Int'l J. Jurid. Sci.*, 18, 191–203.

Kassen, Ü. N., ve Kairova, Sh. G. (2021). Economic and geographical aspects of development of rural areas in Pavlodar region. *Journal of Geography and Environmental Management,* (3), 4-11.

Kazımov, Ş., ve Novruzova, S. Y. (2021). Günəş Enerjısının Alınmasının Əyanı Vasıtələrlə Tədrısı. Energetika İxtisasları Üzrə Kadr Hazırlığının Aktual Məsələləri, 227–229. https://elibrary.ru/item.asp?id=48486161

Kərimov, Əbülfəz. (2021). Azərbaycanda Energetikanın İnkişafı- Statistik İcmal. "Statistika xəbərləri" elmi-praktik jurnalının redaksiya heyəti, 10–19. https://doi.org/10.338.70/2413-6557-2021-7-4-12-19

Kızılırmak, E. E. (2021). Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Dinamik Panel Veri Analizi. [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü]. http://dspace.kocaeli.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11493/12584/667397.pdf?sequence=1

Konyalı, İ. (2019). Türkiye İçin Mevcut Enerji Üretimine Alternatif Yenilenebilir Ve Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının Seçimi. [Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Lee, H.-C., ve Chang, C.-T. (2018). Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 92, 883–896.

Li, K., Xiao, L., Qi, K., ve Song, Y. (2024). Clean energy transition and energy security in metropolises: A case study of Beijing under the "coal-to-gas" movement. *Elementa: Science of the Anthropocene,* 12(1). https://online.ucpress.edu/elementa/article/12/1/00074/202548

Lin, B. and Bai, R. 2021. Oil prices and economic policy uncertainty: Evidence from global, oil importers, and exporters' perspective. *Res. Int. Bus. Fin.*, 56: 65-70.

Mahmudzade, S. (2024). Azerbaycan/Bakü Şartlarında Mega Ölçekli Şebeke Bağlantılı Bir Güneş Enerji Santralinin PVSYST Programı Kullanılarak Performans Analizi. [Yüksek Lisans Tezi]. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bolu, Türkiye.

Mammadli, S. (2023). Cooperation of EU and Azerbaijan in Green Energy. *ASERC Journal of Socio-Economic Studies*, 64–74.

Mammadli, S., ve Bayramov, T. (2024). Current Status-quo of Azerbaijan Renewable Energy and Possible Cooperation with EU. *Regional and Business Studies,* 16(1), 15–25. https://doi.org/10.33568/rbs.5592

Mammadov, A. (2021). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: BRICS-T Ülkeleri Üzerinde Bir Uygulama. [Yüksek Lisans Tezi]. Ataürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Ana Bilim Dalı. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Mehdiyev, N. (2021). Balkan Ülkelerinin Enerji Güvenliğinde Azerbaycan'ın Enerji Kaynaklarının Rolü. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Teknoloji ve Sanayi İktisadı Ana Bilim Dalı. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Məmmədova, Q., Namazov, V., Əliyev, X., Fərzəliyev, Ş., ve Şərifov, X. (2024). İri həcmli bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sistemə inteqrasiya problemləri. http://62.212.226.103/xmlui/handle/123456789/448

Mishra, A. R., Rani, P., Pandey, K., Mardani, A., Streimikis, J., Streimikiene, D., ve Alrasheedi, M. (2020). Novel multi-criteria intuitionistic fuzzy SWARA–COPRAS approach for sustainability evaluation of the bioenergy production process. *Sustainability*, *12*(10), 4155. https://doi.org/10.3390/su12104155.

Mishra, A. R., Rani, P., Cavallaro, F., Hezam, I. M., ve Lakshmi, J. (2023). An integrated intuitionistic fuzzy closeness coefficient-based OCRA method for sustainable urban transportation options selection. *Axioms*, *12*(2), 144. https://doi.org/10.3390/axioms12020144.

Mukhtarov, A. S., Nadirov, R. S., Mammadov, V. A., ve Mammadova, A. V. (2015). Geological conditions and business opportunities for geothermal energy development in Azerbaijan. https://journalesgia.com/wp-content/files/2015/03/2015_03_GG_Mukhtarov_Nadirov_Mammadova_Asadova_Mammadov_eng.pdf

Mukhtarov, S., Humbatova, S., Hajiyev, N. G.-O., ve Aliyev, S. (2020). The financial development-renewable energy consumption nexus in the case of Azerbaijan. *Energies,* 13(6265). https://doi.org/10.3390/en13236265

Mustafayev, F. (2021). The Potential Role of Renewable Energy in Providing Energy Security of Azerbaijan. Unpublished. Ph. D. Thesis, University of Gdansk, Sopot, Poland.

Mustafayev, F., Kulawczuk, P., ve Orobello, C. (2022). Renewable energy status in Azerbaijan: Solar and wind potentials for future development. *Energies*, 15(401). https://doi.org/10.3390/en15020401

Müseyibov, M. A. (1998). *Azerbaycan'ın fiziki Coğrafyası.* Maarif Neşriyatı, Bakı.

Naeimi, E. F., Gürdil, G. A., ve Demirel, B. (2023). Assessment of Energy Production Potential from Agricultural Residues in Azerbaijan. *Black Sea Journal of Engineering and Science,* 6(3), 283–286.

Najafaliyev, T. (2021). Bağımsızlık Sonrası Azerbaycan'ın Enerji Politikası ve Türkiye Etkisi. [Yüksek Lisans Tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, Türkiye.

Nasibli, E. (2018). Enerji Kaynaklarının Azerbaycan Bütçe Dengesi Üzerindeki Etkisi. [Yüksek Lisans Tezi]. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın, Türkiye.

Nəsirov, Ş. (2024). Azərbaycanda Geotermal Suların İstilik Energetikasinda İstifadə Perspektivləri. *ResearchGate.* https://doi.org/10.36962/PAHTEI3601012024-113

Nuriyev, M. (2021). An integrated approach for renewable energy resource and plant location selection. *International Journal of Energy Economics and Policy,* 11(3), 64-72. https://doi.org/10.32479/ijeep.10880

Nuriyev, M. (2023). A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Application for Renewable Energy Selection in Azerbaijan.

Nuriyev, M., Mammadov, J., Nuriyev, A., ve Mammadov, J. (2022). Selection of Renewables for Economic Regions with Diverse Conditions: The Case of Azerbaijan. *Sustainability,* 14(19), 12548.

Nuriyev, M., Nuriyev, A., ve Mammadov, J. (2023). Renewable Energy Transition Task Solution for the Oil Countries Using Scenario-Driven Fuzzy Multiple-Criteria Decision-Making Models: The Case of Azerbaijan. *Energies*,16(24), 8068.

Østergaard, P. A., Duic, N., Noorollahi, Y., ve Kalogirou, S. (2022). Renewable energy for sustainable development. *Renewable energy*, 199, 1145-1152.

Owusu, P. A., ve Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990. https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990

Öztürk, B. (2021). Enerji, Büyüme ve Çevre İlişkisi: En Kirletici 10 Ülke Örneği. [Yüksek Lisans Tezi]. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]. http://adudspace.adu.edu.tr:8080/jspui/handle/11607/4579

Pastori, G. (2008). Between continuity and change: the Italian approach to energy security. *In Energy Security: Visions from Asia and Europe* (pp. 84-100). London: Palgrave Macmillan UK.

President.az. (2012). İlham Əliyev Bakı bərk məişət tullantılarının yandırılması zavodunun açılışında iştirak etmişdir. https://president.az/az/articles/view/6875: Erişim tarihi 08.09.2024.

Qasımlı, V., Hüseyn, R., Hüseynov, R., Hesenov, R., Ceferov, C., ve Bayramova, A. (2022). *Yaşıl İqtisadiyyat*. Azprint. https://www.google.com/search?q=yasil+iqtisadiyyat+pdf

Rasim Aliyev. (2015). *Alternativ Enerji Və Ekologiya.* Täknur.

Rəhimli, C. (2024). Alternativ Enerji Qurğularının Keyfiyyət Göstəricilərinin Yüksəldilməsi Və Praktiki Tövsiyələrin Hazırlanması. http://openaccess.aztu.edu.az/xmlui/handle/123456789/384

Renewables.Az. (2022). Küləkdən əldə olunan enerji ilə bərpa olunan enerjinin payını otuz faizə çatdırmaq olar. https://renewables.az/news/kulekden-elde-olunan-enerji-ile-berpa-olunan-enerjinin-payini-otuz-faize-catdirmaq-olar-2022-11-28-104258: Erişim tarihi: 25.07.2024

Rzali, S., ve Dikkaya, M. (2019). Azerbaycan Enerji Sektöründe Yapısal Sorunlar: Ekonomi Politik Bir Analiz.

Rzayeva, Ş., ve Əliyeva, L. (2022). Azərbaycan İqtisadiyyatında Alternativ Enerji Mənbələrindən İstifadənin Müasir Vəziyyəti. Turan, 14(Iscemr Özel Sayısı). https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1057663

Sadigov, R. (2018b). Scıentıfıc And Technıcal Cooperatıon Of The Renewable Energy In Azerbaıjan. Scientific Works/Elmi Eserler, 2. https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=trueprofile=ehostscope=siteauthtype=crawlerjrnl=22225013AN=133464741h=1lGwWPpNeffmFTEsUuVyH3nPwMrau7U9BWa3uMcAwFKiUb4vINc7mzLNaw4f5GaW%2BtKf9NuC6P8hmnqrIq8Rrg%3D%3Dcrl=c

Sadigov, R. A. (2018a). UOT 631.4 Renewable Energy Potentıal And Advantages Of Its Implıcatıon In Azerbaıjan.

Safarov, V. (2015). Renewable energy perspectives of oil exporter Azerbaijan. European Energy Review.

Salamov, O. M., Mammadov, F. F., ve Samadova, U. F. (2010). Prospects of wind energy application in Azerbaijan. *Alternatif enerji ve ekoloji*, (1), 132-144.

Salamov, O., ve Allahverdiyev, S. (2022). Prospects for the use of renewable energy sources in Azerbaijan. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, No 77, 44-53.

Salamov, R. (2004). Azerbaycan'ın Enerji Kaynakları. [Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Salayev, E. (2022). Azərbaycanda bərpa olunan enerjinin potensialı. Sputnik Azərbaycan. https://sputnik.az/20221214/azerbaycanda-berpa-olunan-enerjinin-potensiali-449572898.html

Satik, E. (2023). Türkiye'de Çok Kriterli Karar Verme Süreçlerine Göre En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağı Alternatifinin Belirlenmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.

Sayed, E. T., Olabi, A. G., Alami, A. H., Radwan, A., Mdallal, A., Rezk, A., ve Abdelkareem, M. A. (2023). Renewable energy and energy storage systems. *Energies*, 16(3), 1415.

Seferov, Ş., ve Seferov, R. (2024). Günəş-hidrogen hibrid enerji texnologiyalarının təkmilləşdirilməsi. http://62.212.226.103/xmlui/handle/123456789/500

Səlimov, Ş. (2021). Azərbaycanda Elektroenergetikanın Yaranması Və İnkişaf Tarixi. Energetika İxtisasları Üzrə Kadr Hazırlığının Aktual Məsələləri, 259–263. https://elibrary.ru/item.asp?id=48486171

Sertkaya, B., ve Baş, S. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi: Türkiye ve Azerbaycan'ın Dış Ticaret Yapısına Yönelik Karşılaştırmalı Bir Analiz. *In EUROASIA SUMMIT Congress on Scientific Researches and Recent Trends-7 December* (pp. 6-9).

Shafagatov, R. (2014). *Prospects of alternative and renewable energy sources mastering in Azerbaijan.* MPRA Paper No. 98755, Munich Personal RePEc Archive.

Sorensen, B. (2007). Renewable energy conversion, transmission, and storage. *Elsevier.*

Sreeraj, E.S., Chatterjee, K., Bandyopadhyay, S. (2010), Design of isolated renewable hybrid power systems. Solar Energy, 84(7), 1124-1136.

Statista. (2023). Cumulative renewable energy capacity worldwide from 2010 to 2023 https://www.statista.com/statistics/1094331/global-renewable-capacity-cumulative/: Erişim tarihi: 14.05.2024

Statista. (2023). Demand for crude oil worldwide from 2005 to 2023, with a forecast for 2024 https://www.statista.com/statistics/1094331/global-renewable-capacity-cumulative/: Erişim tarihi: 14.05.2024

Statista. (2023). Leading countries in installed renewable energy capacity worldwide in 2023 https://www.statista.com/statistics/267233/renewable-energy-capacity-worldwide-by-country/: Erişim tarihi: 14.05.2024

Statista. (2023). Renewable energy market size worldwide in 2021, with a forecast for 2022 to 2030 https://www.statista.com/statistics/1094309/renewable-energy-market-size-global/: Erişim tarihi: 14.05.2024

Stein, E. W. (2013). A Comprehensive Multi-Criteria Model to Rank Electric Energy Production Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 640–654.

Sultanova, R., Ramazanov, V., Abdalova, M., Piriyev, K., Əhmədov, N., ve Əyyubov, M. (2019). Azərbaycanda Bərpa Olunan Enerji Mənbələrindən İstifadənin İqtisadi, Ekoloji və Sosial Məqsədəuyğunluğunun Müəyyən Edilməsi. AMEA İqtisadiyyat

İnstitutu, 2019 (sentyabr-oktyabr), 108–117. http://www.anl.az/down/meqale/amea_xeb_iqt/2019/05/795951(meqale).pdf

Şanlı, S. (2020). Demir-Çelik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yaygın Kullanılamama Sebeplerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) Yöntemi ile Analizi. [Yüksek Lisans Tezi]. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye.

Tabak, A. (2022). Bulanık Analitik Ağ Süreci Metodu ile Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önem Sırasına Göre Seçilmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Tanış, T. (2019). Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçerisinde Güneş Enerjisi: Karapınar İlçesi Swot Analizi. [Yüksek Lisans Tezi]. Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı. https://acikerisim.selcuk.edu.tr/items/656caca5-c57e-45b7-aeee-4d61f15a3317

Tanrıöver, M. (2020). Yenilenebilir Enerjinin Türkiye Ekonomisine Yansımaları. [Yüksek Lisans Tezi]. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Ana Bilim Dalı. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Tarjanne, R., Kivistö, A. (2008), Comparison of Electricity Generation Costs. *Lappeenranta University of Technology, Faculty of Technology, Department of Energy and Environmental Technology, Research Report* EN A-56.

Temiz, R., ve Tür, M. R. (2024). Investment technique for ensuring energy supply continuity in ring grids. *Turkish Journal of Engineering*, 8(2), 186-195.

Tepret, K. (2022). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının AHP ile Değerlendirilmesi Ve SPSS İle Anket Çalışmasının Yapılması. [Yüksek Lisans Tezi]. Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Tərlanov, F., Məmmədova, V., ve Bayramov, E. (2024). Yeraltı Sudan Enerji İstehsalı İmkanlarının Qiymətləndirilməsi (Nabran İstirahət Zonası Timsalında).

Tiflis, A. S., Elshad, M. S., Sarvar, S. Z., Elshan, A. A., Ayatollah, D. A., ve Ahmed, G. F. (2024). Dırectıons Of Energy Sector Dıversıfıcatıon And Green Energy Infrastructure Expansıon In Azerbaıjan. *Bbc*, 21–27.

Torunoğlu Gedik, Ö. (2015). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. https://polen.itu.edu.tr:8443/server/api/core/bitstreams/8a6b8ec3-d143-4ed3-89ff-22ab8e867dea/content

Turgut, Z. K. (2017). Sürdürülebilir ve Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Bulanık VIKOR ve Bulanık TODIM Teknikleriyle Değerlendirilmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Galatasaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Türkmen, M. (2015). Hazar Enerji Kaynaklarının Bölge Ülkelerinin Sosyal ve Ekonomik Gelişimine Katkısı: Azerbaycan Örneği. [Yüksek Lisans Tezi]. Turgut Özal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Türköz, K. (2020). Yenilenebilir Enerji Arzının Modellenmesi: Türkiye İçin Sektörel Bir Analiz. [Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı. https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/550919

Twidell, J. (2021). *Renewable energy resources* (4th ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429452161#8203;:contentReference[oaicite:1]{index=1}.

Twidell, J., ve Weir, T. (2015). *Renewable energy resources* (3rd ed.). Routledge. https://www.routledge.com/books/details/9780415584388#8203;:contentReference[oaicite:0]{index=0}.

Ulutaş Hasırcıoğlu, B. (2021). Türkiye İçin En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağının Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Belirlenmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.

Vəliyev, T. (2024). Bərpa Olunan Enerji Qurğularının Dinamik Analizi və Möhkəmlik Hesabatları. http://openaccess.aztu.edu.az/xmlui/handle/123456789/384

Vidadili, N., Suleymanov, E., Bulut, C., ve Mahmudlu, C. (2017). Transition to renewable energy and sustainable energy development in Azerbaijan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1153–1161. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.168

Wang, J.-J., Jing, Y.-Y., Zhang, C.-F., ve Zhao, J.-H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263–2278.

Winzer, C. (2012). Conceptualizing energy security. *Energy policy*, 46, 36-48.

WorldoMeter 2016. World Oil Reserves. https://www.worldometers. info/oil/: Erişim tarihi: 07.05.2024.

Xu, Z. (2007). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *IEEE Transactions on fuzzy systems, 15*(6), 1179-1187.

Yıldıran, O. V. (2019). Selection Of Renewable Energy Sources Using Fuzzy AHP. [Yüksek Lisans Tezi]. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.

Yusifov, J. (2018). Overview of the renewable energy developments in Azerbaijan.

Zalov, N., Tural, A., ve Guliyev, I. (2023). Integration of Renewable Energy Sources to Power Grid in Azerbaijan: A Review. *2023 IEEE 17th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, 1–6. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10313196/

Zeynalova, G. (2014). Bakının məişət tullantılarının aqibəti – REPORTAJ. Oxu.Az. https://oxu.az/iqtisadiyyat/bakinin-meiset-tullantilarinin-aqibeti-reportaj: Erişim tarihi: 10.09.2024

Zeynalova, M. (2017). Azərbaycanda alternativ enerji mənbələrindən istifadə edilməsinin ekocoğrafi istiqamətləri. *Uluslararası Bilimsel Dergi Internauka,* 14, 24–31.

Zhang, D., Zheng, M., Feng, G. F., ve Chang, C. P. (2022). Does an environmental policy bring to green innovation in renewable energy?. *Renewable Energy*, 195, 1113-1124.

Zhao, J., Dong, K., Dong, X., ve Shahbaz, M. (2022). How renewable energy alleviate energy poverty? A global analysis. *Renewable Energy*, 186, 299-311.

Ziyadlı, A. (2021). Yenilenebilir Enerji Üretiminin Ekonomik Büyümeye Etkisi: Türkiye Örneği. [Yüksek Lisans Tezi]. Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Zöhrabov, F. (2024). Azərbaycanın geotermal enerji mənbələri hansı perspektivlər vəd edir? Trend.az. https://az.trend.az/business/green-economy/3941446.html: Erişim tarihi: 25.07.2024

ÖZ GEÇMİŞ

Novruzali VAHABZADA, 2005 yılında Astara şehrinde F. Aliyarov adına 6 numaralı orta okula başladı. 2016 yılında orta okuldan mezun oldu. 2016 yılında Lenkeran şehrinde bulunan Lenkeran Devlet Üniversitesinin Ekonomi ve Yönetim fakültesinin Ekonomi bölümünü kazandı. 2020 yılında bu bölümü bitirip lisans eğitimini tamamladı. Lisans eğitimini tamamlayana kadar yarı zamanlı olarak Satış, Muhasebe, Pazarlama, Turizm vb. birçok pozisyonda tecrübe kazandı. Lisans aldığı dönemde Bölgesel Ekonomik Kalkınma Derneği, Azerbaycan Gençlik fonu, Tarımsal Kalkınma Gönüllüleri Derneği ve Turizm Gönüllüleri Kamu Derneği'nin çeşitli sertifika programlarına katıldı. Şu an aktif olarak İstanbul Kent Üniversitesinin Sosyal Bilimler fakültesinin İşletme Yönetimi bölümünde Yüksek Lisans eğitimi almaktadır. Aynı zamanda dört yıldızlı otelde resepsiyonist olarak çalışıyor. Hobileri arasında kitap okumak, kamp yapmak, film izlemek, yüzmek ve satranç oynamak bulunmaktadır. Orta seviyede İngilizce ve Rusça konuşabilmektedir.