

**T.C.
HAKKARİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ VE
HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİNDE BİRİM MALİYETLERİN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: VAN İLİ UYGULAMASI**

Abdulkadir ASLAN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Şehmus AYDIN**

**HAKKARİ
2025**

T.C.
HAKKARİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
HAKKARİ

İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Abdulkadir ASLAN tarafından hazırlanan “Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Güneş Ve Hidroelektrik Enerji Üretiminde Birim Maliyetlerin Karşılaştırmalı Analizi: Van İli Uygulaması” başlıklı tez, .../.../2025 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince oy birliği ile / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Unvanı, Adı Soyadı	Kurumu	İmzası
Başkan :			
Üye :			
Üye :			

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun sayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezde sunulan tüm bilgi ve sonuçların, bilimsel yöntemlerle yürütülen gerçek deney ve gözlemler çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kuralların gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

25/04/2025

İmza

Abdulkadir ASLAN

ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ VE HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİNDE BİRİM MALİYETLERİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: VAN İLİ UYGULAMASI

Abdulkadir ASLAN

Yüksek Lisans Tezi, İşletme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Şehmus AYDIN

2025, 74 s.

Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş ve hidroelektrik enerji üretiminde birim maliyetlerin karşılaştırmalı analizi: Van ili uygulaması ele almıştır. Çalışmada HES ve GES enerji türünün maliyet analizleri yapılarak en uygun seçimin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, güneş ve hidroelektrik enerji santrallerinin teknik ve finansal açıdan avantaj ve dezavantajlarını analiz edilmesi, devlet ve özel sektör yatırımcıları için rehberlik yapmayı hedeflemektedir. Bu araştırma, Türkiye'nin enerji bağımsızlığına katkı sunabilecek ve iklim değişikliği ile mücadeleye destek olabilecek yenilenebilir enerji yatırımları için bilimsel bir temel oluşturmayı hedeflemektedir. Enerji sektöründeki maliyet verilerini inceleyerek, gelecekteki projelere rehberlik edecek bir karşılaştırma sunulmuştur. Doğu Anadolu Bölgesi'nin Van ili enerji potansiyeli değerlendirildiğinde, güneş enerjisi santralleri düşük kurulum maliyetleriyle yatırım açısından avantaj sağlarken, iklim ve güneşlenme sürelerine bağlı olarak üretimde dönemsel dalgalanmalar gösterebilir. Hidroelektrik santraller ise yüksek kurulum maliyetine rağmen su kaynaklarının sürekliliği sayesinde yıl boyunca kesintisiz enerji üretimi sunarak güvenilir bir seçenek olarak öne çıkmıştır. Yapılan çalışmada, planlanan HES ve GES santrallerinin kurulum maliyetleri, işletme süresindeki bakım giderleri, üretim miktarları, kullanım süreleri vb. konularda karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, birbirlerinden farklı avantajlar olmasına rağmen HES'in GES'e göre daha az avantajlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yenilenebilir Enerji, Van İli, Güneş Enerjisi, Hidroelektrik Enerji.

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS OF UNIT COSTS IN SOLAR AND HYDROELECTRIC ENERGY PRODUCTION AS RENEWABLE ENERGY SOURCES: APPLICATION IN THE CITY OF VAN

Abdulkadir ASLAN

Master's Thesis, Department of Business Administration

Supervisor: Asst. Prof. Şehmus AYDIN

2025, 74 p.

This study presents a comparative analysis of unit costs in solar and hydroelectric energy production as renewable energy sources, with a focus on Van Province. The primary objective is to identify the more feasible option by examining the cost structures of Solar Power Plants (SPPs) and Hydroelectric Power Plants (HPPs). The study analyzes the technical and financial advantages and disadvantages of both systems to provide guidance for public and private sector investors. By evaluating energy sector cost data, the research offers a comparative framework to support future renewable energy projects that can contribute to Turkey's energy independence and climate change mitigation. In the context of Eastern Anatolia's energy potential, SPPs offer lower installation costs and investment advantages, though their output may fluctuate seasonally due to climatic conditions. HPPs, on the other hand, involve higher installation costs but provide steady energy production year-round thanks to reliable water resources. The analysis includes comparisons of installation costs, maintenance expenses, energy production, and operational lifespans. Ultimately, while both options present unique advantages, HPPs were found to be less favorable compared to SPPs in this case.

Keywords: Energy, Renewable Energy, Van Province, Solar Energy, Hydroelectric Energy.

ÖNSÖZ

Doğu Anadolu Bölgesi, coğrafi özellikleri ve doğal kaynakları ile yenilenebilir enerji üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, bölgedeki güneş ve hidroelektrik enerji santrallerinde üretilen enerjinin birim maliyetleri karşılaştırılarak, her iki enerji kaynağının ekonomik verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından avantaj ve dezavantajları ele alınmaktadır. Güneş enerjisinin çevre dostu yapısı ve sürekli gelişen teknoloji ile maliyet avantajı sağlama potansiyeli, hidroelektrik santrallerin ise geniş su kaynaklarına dayalı olarak daha tutarlı ve büyük ölçekli enerji üretimi sunması bölgesel enerji politikalarının gelecekteki yönelimlerini etkilemektedir. Bu araştırma, Doğu Anadolu'da uygun maliyetli ve sürdürülebilir enerji çözümlerine katkı sağlama amacı taşımaktadır.

Çalışma boyunca sürekli yardımlarını gördüğüm saygıdeğer danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Şehmus AYDIN hocama şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmaları sırasında desteğini esirgemeyen Mücahit Daştan hocama ve kıymetli eşime de teşekkür ederim.

Abdulkadir ASLAN

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ABC:	Activity-Based Costing
CVP:	Cost-Volume-Profit
EİE:	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
ETKB:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GEPA:	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına
GES:	Güneş Enerji Sistemi
HES:	Hidroelektrik santraller
IAEA:	International Atomic Energy Agency
IEA:	International Energy Agency
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRENA:	International Renewable Energy Agency
KWh:	Kilowatt-saat
MTA:	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MWh:	Megawatt-hour
OECD:	Organisation for Economic Co-operation and Development
PDHES:	Pompajlı Depolamalı Hidroelektrik Santrali
REN21:	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
SMR:	Small Modular Reactor
TQM:	Total Quality Management
UNFCCC:	United Nations Framework Convention on Climate Change
WNA:	World Nuclear Association
YEK:	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
WEC:	Dalga Enerjisi Dönüştürücüleri
OWC:	Salınlımlı Su Sütunu
GWh:	Gigawatt Saat
DC:	Doğu Akım
AC:	Alternatif Akım
SCADA:	Supervisory Control and Data Acquisition

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ.....	ii
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	iv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	6
2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar	6
2.2. Temel Enerji Kaynakları, Harcama, Maliyet ve Gider Kavramları	9
2.2.1. Temel Enerji Kaynakları	9
2.2.2. Enerji Harcama Kavramı.....	9
2.2.3. Enerji Maliyeti ve Unsurları	10
2.2.4. Enerji Giderleri ve Yönetimi.....	10
2.2.5. Enerji Maliyet ve Giderlerinin Ekonomik Etkisi	11
2.3. Enerji Kavramı	12
2.3.1. Yenilenebilir Enerji.....	13
2.3.2. Hidroelektrik Enerjisi.....	15
2.3.3. Güneş Enerjisi	17
2.3.4. Rüzgâr enerjisi	19
2.3.5. Dalga Enerjisi.....	21
2.3.6. Jeotermal Enerjisi.....	23
2.3.7. Hidrojen Enerjisi	25
2.3.8. Biyokütle Enerjisi	28
2.4. Yenilenemeyen (Tükenebilir) Enerji.....	30
2.4.1. Fosil Yakıtlar.....	31
2.4.2. Nükleer Enerji	33
2.5. Harcama, Maliyet ve Gider Kavramları.....	35

2.5.1. Harcama Kavramı	35
2.5.2. Maliyet Kavramı	36
2.5.3. Gider Kavramı.....	38
2.6. Enerji Kaynakları ve Ekonomi.....	38
2.7. Güneş Enerjisinin Avantajları	39
2.8. Güneş Enerjisinin Dezavantajları.....	40
2.9. Hidroelektrik Sistemlerinin Avantajları	41
2.10. Hidroelektrik Sistemlerinin Dezavantajları.....	41
2.11. Doğu Anadolu Bölgesinde Hidroelektrik ve Güneş Enerjisi Potansiyeli	42
2.11.1. Doğu Anadolu Bölgesinde Su Potansiyeli ve Bulunan Hidroelektrik Enerji Santralleri	42
2.11.2. Doğu Anadolu Bölgesinin Güneş Enerjisi Potansiyeli	44
3. MATERYAL VE YÖNTEM	47
3.1. Araştırma Soruları.....	47
3.2. Araştırmanın Yöntemi.....	47
3.3. Örneklem.....	48
3.4. Veri Toplama Araçları ve Veri Kaynakları.....	48
3.5. Verilerin Geçerliliği	48
3.6. Verilerin Güvenirliği	48
3.7. Veri Analizi İşlemleri.....	49
3.8. Sınırlamalar ve Sınırlılıklar	49
4. BULGU ve ANALİZLER.....	50
4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Güneş Ve Hidroelektrik Enerji Üretiminde Birim Maliyetlerin Karşılaştırmalı Analizi: Van İli Uygulamasına Dair Bulgu Ve Analizler	50
4.1.1. Van İli Uygulaması	50
4.2. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Güneş Ve Hidroelektrik Enerji Üretiminde Birim Maliyetlerin Karşılaştırmalı Analizi: Van İli Uygulamasına Dair Bulgu Ve Analizler	52
4.3. Uygulamaya Ait Veriler, Varsayımlar ve Bulgular	53
4.3.1. Seçilen Örnek Güneş Enerjisi Santraline Ait Veri ve Bulgular	54
4.3.2. Seçilen Örnek Güneş Santraline Ait Veri ve Bulgular	55

4.4. Bulguların Değerlendirilmesi.....	56
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	59
5.1. Öneriler	61
KAYNAKÇA.....	63
ÖZGEÇMİŞ	74



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası	45
--	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Doğu Anadolu Bölgesinde Bulunan Güneş Enerjisi Santralleri.....	50
Çizelge 4.2. Güneş Enerjisi Santraline Ait Veriler	54
Çizelge 4.3. Hidroelektrik Santraline Ait Veriler	56
Çizelge 4.4. Hidroelektrik Santraline Ait Veri ve Bulgular.....	56



1. GİRİŞ

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi özelinde yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş enerjisi ve hidroelektrik enerji üretiminde birim maliyetlerin karşılaştırılması hedeflenmektedir. Enerji, modern ekonomilerin temel dinamiklerinden biri olarak hem üretim süreçlerini hem de sürdürülebilir kalkınmayı doğrudan etkilemektedir. Sanayi Devrimi'nden itibaren enerjiye duyulan ihtiyaç artmış, bu ihtiyaç öncelikle fosil kaynaklarla karşılanmaya çalışılmıştır. Ancak bu kaynakların sınırlı olması, çevresel etkileri ve özellikle küresel ısınma gibi küresel felaketleri tetiklemesi, enerji politikalarının yönünü yenilenebilir kaynaklara çevirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş ve hidroelektrik enerji, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli fırsatlar sunmakta; ancak uygulanabilirlikleri ve maliyet etkinlikleri bölgesel farklılıklar göstermektedir. Bu bağlamda, Doğu Anadolu Bölgesi gibi doğal kaynak potansiyeli yüksek ancak ekonomik yatırımlar açısından sınırlı bölgelerde, hangi yenilenebilir enerji türünün daha verimli ve ekonomik olduğu sorusu önem kazanmaktadır. Planlanan çalışmada, söz konusu iki enerji türünün üretim sürecine dair maliyet kalemleri incelenerek, hangi kaynağın birim enerji üretiminde daha avantajlı olduğu ortaya konacaktır. Böylece yerel yönetimlerin ve yatırımcıların enerji yatırımlarına dair daha bilinçli kararlar alması hedeflenmektedir.

Doğu Anadolu Bölgesi'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritasına göre, güneş enerjisi miktarı 1460 kWh/m², güneşlenme süresi ise yıllık toplamda 2993 saat olarak belirlenmiştir (TEİAŞ, 2022). Bölgenin coğrafi konumu sayesinde en fazla güneş ışığı alan şehir Van'dır. Van, güneş enerjisinden elektrik üretimi yapılabilecek 28 il arasında ikinci sırada yer alırken, aynı zamanda Türkiye'nin rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi açısından da en uygun şehirlerinden biridir. EİE ve Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre, Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2736,89 saat iken, Van'da bu süre 3068,74 saat ile ülke ortalamasının oldukça üzerindedir (Yaman vd., 2019). Elde edilen veriler, Doğu Anadolu Bölgesi'nin coğrafi özelliklerinin güneş enerjisi üretimi bakımından önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgenin yüksek rakımlı dağlık yapısı ve su kaynakları, hidroelektrik enerji üretimi için elverişli

koşullar sunarken; geniş ve açık arazi yapısı ile yıl içerisindeki güneşlenme süresinin uzunluğu, güneş enerjisinden yararlanma potansiyelini artırmaktadır.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir potansiyele sahiptir. Ancak, bu kaynaklardan hangisinin daha avantajlı olduğunun belirlenmesi, yatırımcılar için kritik bir öneme sahiptir. Bu doğrultuda, çalışmada güneş ve hidroelektrik enerjisinin teknik ve finansal açıdan değerlendirilerek, en uygun seçimin yapılmasına katkı sağlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, her iki enerji türünün birim maliyetleri hesaplanmış ve karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik, çevresel ve stratejik önemi gün geçtikçe artarken, bu çalışmada güneş ve hidroelektrik enerji üretimlerinin birim maliyetleri karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve Doğu Anadolu Bölgesi özelinde analiz edilmiştir. Türkiye’de yenilenebilir enerjiye dair yapılan araştırmalar genellikle genel politikalar, teşvik mekanizmaları, çevresel etkiler ve teknolojik gelişmeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak doğrudan güneş ve hidroelektrik kaynaklarının maliyet odaklı karşılaştırılması, özellikle belirli bir coğrafi bölge üzerinden yapılması, bu çalışmayı mevcut literatür içinde özgün kılmaktadır. Rüzgâr ve hidroelektrik enerjisi arasındaki karşılaştırmalara sıkça rastlanmasına karşın, güneş ve hidroelektrik enerjisi arasındaki ekonomik analizlerin sınırlı oluşu, çalışmanın yenilikçi yönünü ortaya koymaktadır. Enerji sektöründe yapılacak yatırımların rasyonel ve veriye dayalı biçimde yönlendirilmesi için, bu tür maliyet analizleri büyük önem arz etmektedir. Güneş ve hidroelektrik santrallerinin ilk yatırım giderleri, işletme ve bakım masrafları, üretim verimliliği gibi değişkenlerin dikkate alınarak değerlendirilmesi hem kamu politikaları açısından hem de özel sektör girişimcileri için stratejik karar destekleri sunma potansiyeli taşımaktadır. Bu çerçevede, çalışmanın ortaya koyduğu bulgular, sadece akademik alanda değil, aynı zamanda enerji yatırımlarının planlanmasında da işlevsel katkılar sunmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın tamamlanmasıyla birlikte, güneş ve hidroelektrik enerji sistemlerinin üretim maliyetlerinin karşılaştırılmasına dayalı bulguların, enerji sektörüne finansal açıdan önemli katkılar sunması beklenmektedir. Özellikle Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikalarında yön belirleyici olacak şekilde,

yatırımcılara ve karar alıcılara maliyet etkinliği konusunda yol gösterici bir nitelik taşıyacaktır. Literatürde güneş ve hidroelektrik enerjinin birim üretim maliyetlerini doğrudan karşılaştıran çalışmaların yok denecek kadar az olması, bu araştırmayı bilimsel anlamda özgün ve önemli kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri de göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışma yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda ekolojik sürdürülebilirliğe yönelik bir vizyon da ortaya koymaktadır. Nüfus artışıyla beraber yükselen enerji talebinin, doğaya zarar vermeden karşılanabilmesi, fosil yakıt bağımlılığının azaltılması ve karbon salınımının düşürülmesi gibi kritik kazanımlar, yenilenebilir enerji yatırımlarının stratejik önemini artırmaktadır. Bununla birlikte, güneş ve hidroelektrik enerji sistemlerinin yüksek teknolojiye bağımlı olmadan kurulabilmesi, uzun ömürlü kullanım imkânı sunması ve bakım maliyetlerinin düşüklüğü, onları ekonomik açıdan da cazip hale getirmektedir. Elde edilen enerji sayesinde bireysel tüketicilerin ve işletmelerin enerji faturalarının düşmesi, hatta üretim fazlasının satılarak ekonomik getiri sağlaması, yerel kalkınmaya da doğrudan katkı sunabilir. Tüm bu yönleriyle çalışma, yenilenebilir enerji alanında hem mikro düzeyde kullanıcılar hem de makro düzeyde politika yapımcılar için somut ve uygulanabilir sonuçlar üretmeyi hedeflemektedir.

Çalışmada, literatür taraması ve yapılandırılmış görüşme yöntemleri kullanılmıştır. Literatür taraması kapsamında, makaleler, kitaplar, tezler ve diğer bilimsel yayınlardan yararlanılarak araştırmanın kuramsal bir temele oturması, konuya dair bilgilerin toplanması ve benzer çalışmaların sonuçlarının incelenmesi sağlanmıştır. Bu sayede bilimsel kaynaklardan elde edilen verilerle çalışmanın nesnelliği desteklenmiştir. Ayrıca, yapılandırılmış görüşme yöntemiyle tesis yetkililerinden doğrudan veri toplanarak araştırma için güncel ve doğrudan bilgi edinilmiştir.

Enerji kaynakları temelde iki kategoride değerlendirilmektedir: Fosil kaynaklı enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları. Çalışmada günümüz dünyasında son dönemlerde giderek önem kazanan yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarıyla alakalıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomi ve çevreye zarar vermemesi bakımından birçok artısı bulunmaktadır. Bu nedenlerle günümüz teknolojisinin gelişmesi ve bilimsel faaliyetlerin artması sebebiyle yenilenebilir

enerji türleri veya eldeki enerjileri sürdürülebilir boyuta ulaştırmak için bazı çalışmalar yapılmıştır.

Yenilenebilir enerji potansiyeli bakımından Doğu Anadolu bölgesi yeryüzü ve akarsu yapısı yönüyle hem hidroelektrik hem de güneş enerjisi konusunda önemli bir potansiyele sahiptir (Kavcıoğlu, 2019). Dolayısıyla çalışmada bu bölge incelenmiştir.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş ve hidroelektrik enerjisinin üretim süreçlerine ilişkin birim maliyetler karşılaştırmalı olarak incelenmiş, uygulama alanı olarak ise Doğu Anadolu Bölgesi'nden Van ili seçilmiştir. Araştırmanın temel amacı, her iki enerji türünün maliyet kalemlerini detaylı biçimde analiz ederek, bölgesel koşullar çerçevesinde hangisinin daha düşük maliyetli ve yatırım açısından daha avantajlı olduğunu belirlemektir. Van ili, güneşlenme süresi bakımından Türkiye ortalamasının üzerinde değerlere sahip olması ve aynı zamanda hidroelektrik potansiyeli açısından da zengin su kaynaklarına sahip olması nedeniyle karşılaştırmalı analiz için uygun bir örneklem sunmaktadır. Bu bağlamda, güneş ve hidroelektrik santrallerine ait ilk yatırım maliyetleri, işletme-gider kalemleri, üretim verimliliği ve bakım onarım masrafları gibi ölçütler değerlendirilerek ekonomik bir analiz yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilecek verilerin, yenilenebilir enerji yatırımlarında bölgesel planlamalara ışık tutması; kamu ve özel sektör aktörlerine karar destek mekanizması sağlaması beklenmektedir. Ayrıca çevresel sürdürülebilirlik ve enerji arz güvenliği açısından hangi enerji türünün uzun vadede daha elverişli olduğu da bu analiz aracılığıyla ortaya konacaktır.

Küresel ısınmanın etkilerini en aza indirmek ve çevre kirliliğini önlemek adına sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi giderek daha fazla öne çıkmaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanımı, insanların, hayvanların ve bitkilerin yaşam sürelerini uzatmaya ve bu sürecin daha sağlıklı ve iyileştirilmiş bir ortamda geçmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Türkiye'nin büyük ölçüde enerji kaynaklarına bağımlı olduğu ve fosil yakıtlar açısından yetersiz kaldığı düşünüldüğünde, yenilenebilir enerjinin önemi daha da belirgin hale gelmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada ülke ekonomisine katkı sunması ve toplumun

yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı daha duyarlı olmasına destek olması hedefler arasındadır.

Bu konuda çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte, güneş enerjisi ve hidroelektrik enerjisinin karşılaştırılması bakımından çalışma özgün bir nitelik taşımaktadır. Araştırmada kaynak taraması yöntemi kullanılacak olup, literatür taraması ile makaleler, kitaplar, tezler ve diğer bilimsel yayınlardan faydalanılacaktır. Enerji kaynakları günümüzde devletler için stratejik bir öneme sahiptir; ekonomik açıdan birçok sektörü doğrudan etkilemeleri, enerji kaynaklarını kritik bir konuma taşımaktadır. Alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının finansal maliyetlerinin karşılaştırılması yoluyla bu alanda yapılacak çalışmalara ışık tutmak, çalışmanın hedefleri arasındadır. Enerji kaynaklarının karşılaştırılması üzerine yapılmış çalışmalar bulunsa da özelde güneş enerjisi ve hidroelektrik enerjisinin karşılaştırılması, bilimsel bir boşluğun doldurulmasına katkı sağlayacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve hidroelektrik enerji üretiminin birim maliyetleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve Doğu Anadolu Bölgesi örneği ele alınmıştır. Ekonominin temel yapı taşlarından biri olan enerji kaynakları, geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Ancak, fosil yakıtların uzun süredir dünya genelinde yoğun bir şekilde kullanılmasına karşın, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve talep giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik olarak bilinir. Çalışmada güneş enerjisi ile hidroelektrik enerjinin elde edilme maliyetleri ve Türkiye uygulaması ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca konuyla alakalı makale, tezler ve diğer bilimsel yayınlardan elde edilecek verilerle sınırlıdır.

Oral ve diğerleri (2017) tarafından yapılan “*Hidroelektrik Santral Rezervuar Verilerinin Enerji Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesi*” adlı çalışmalarında, hidrolik enerji ve hidroelektrik santraller üzerine detaylı bilgiler sunmuşlardır. Araştırma kapsamında, hidroelektrik santrallerin rezervuar verilerinin enerji üretimi amacıyla nasıl değerlendirilebileceği incelenmiştir. Bu bağlamda, örnek bir hidroelektrik santralin rezervuar verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, Mart 2014 tarihi için yaklaşık enerji üretim miktarı 94.928,927 MWh olarak tespit edilmiştir. Çalışma, hidroelektrik enerji üretiminin potansiyelini göstermek adına önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

Süme ve Fırat (2020), “*Hidroelektrik Santraller ve Rize İlinde Bulunan Hidroelektrik Santrallerin Şehir ve Doğu Karadeniz Havzası İçin Önemi*” adlı çalışmalarında, hidroelektrik enerjinin ekonomik ve çevre dostu özellikleri nedeniyle hem Türkiye’de hem de dünyada sıkça tercih edildiğini vurgulanmaktadır. Hidroelektrik santraller, depo tipi, düşüş yüksekliği ve üretim kapasitesi gibi kriterlere göre sınıflandırılabilir. Doğu Karadeniz Havzası, yüksek yağış oranı ve dağlık arazi yapısıyla hidroelektrik enerji üretimi için öne çıkan bir bölgedir. Rize, bu bağlamda hidroelektrik santraller açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Çalışmada, Rize ilindeki mevcut hidroelektrik enerji yapıları değerlendirilmiş ve bölgedeki hidroelektrik enerji sirkülasyonu incelenmiştir.

Ayrıca, Rize ili ve Doğu Karadeniz Havzası'na yönelik yapılan analizlerle, gelecekteki çalışmalara katkı sağlamak amacıyla yeni veriler sunulması hedeflenmiştir.

Çelik ve Özdemir (2021) tarafından gerçekleştirilen “*Örnek Bir Hidroelektrik Santrali İçin Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrali Tasarımı*” adlı çalışmada, pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin (PDHES) enerji sistemlerine katkıları ele alınmıştır. Çalışmanın temel amacı, PDHES ile üretilen enerjinin depolanarak pik talep zamanlarına kaydırılması ve şebekeye entegre edilmesidir. Ayrıca, PDHES'in hızlı devreye alınabilme özelliği sayesinde, şebekenin yan hizmet ihtiyaçlarını karşılayarak gerekli gücün temin edilmesi hedeflenmiştir. Bu tasarım, enerji üretim ve dağıtım süreçlerinin daha verimli hale getirilmesine yönelik önemli bir adım olarak sunulmuştur.

Yolcan ve Köse'nin (2020) “*Türkiye'nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler*” başlıklı çalışmasında, güneş enerjisi santrallerine yönelik yatırımların hem dünya genelinde hem de Türkiye’de hızlı bir şekilde arttığı vurgulanmıştır. Türkiye, yıllık ortalama 2741 saat güneşlenme süresi ve 1527 kWh/m² güneş enerjisi potansiyeli ile bu alanda önemli bir avantaja sahiptir. Çalışma, Türkiye’nin enerji durumu, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve güneş enerjisi potansiyelini kapsamlı bir şekilde değerlendirmektedir. Güneş enerjisi santrali kurulumunda etkili olan faktörler, santral verimliliği, yasal düzenlemeler ve çevresel etkiler olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir. Ayrıca, algoritmalar kullanılarak yapılan yer seçimi analizleri incelenmiş ve bu süreçte dikkate alınması gereken temel kriterler tartışılmıştır. Bu bağlamda çalışma, Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelinin etkin kullanımına yönelik önemli bulgular sunmaktadır.

Bayrakçı ve Gezer’in (2019) güneş enerjisi santrallerinin maliyet analizine odaklanan çalışmasında, dikkat çekici sonuçlar elde edilmiştir. Teorik hesaplamalar ve kullanılan simülasyon programlarının sonuçları, ülkemizde doğru lokasyon seçimi ve uygun ekipman kullanımıyla kurulan santrallerin, tahmin edilen üretim değerlerinden daha yüksek bir verimlilik sunduğunu göstermiştir. Bu bulgu, özellikle yerli ve yabancı yatırımcıların döviz kuru dalgalanmalarına ilişkin kaygılarını azaltmada olumlu bir etki yaratabilir. Aydın’da kurulu bir santral

özelinde yapılan incelemede, bugüne kadar 1.83 GWh'lık elektrik üretildiği belirlenmiştir. Panel verimliliğinin beklentilerin üzerinde gerçekleşmesinde; bölgenin yüksek güneş ışınım değerleri, panel ve inverter uyumunun sağlanması, kaliteli kablo kullanımı ve kayıpların minimize edilmesi gibi unsurların etkili olduğu ifade edilmiştir. Üretimin 7000 MWh seviyelerini aşması, santralin genel verimliliğinin %82'nin üzerinde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, yenilenebilir enerji kaynaklarının günümüz dünyasında kritik bir öneme sahip olduğunu ve bu alandaki teşviklerin artırılması gerektiğini açık bir şekilde vurgulamaktadır. Çalışma, güneş enerjisi yatırımlarının stratejik önemine dikkat çekerek sektördeki gelişim potansiyelini gözler önüne sermektedir.

Idoko (2023) ve diğerleri tarafından kaleme alınan “Maximizing the cost effectiveness of electric power generation through the integration of distributed generators: wind, hydro and solar power” başlıklı çalışmada, elektrik enerjisi üretiminde maliyet etkinliğinin artırılması amacıyla rüzgar, hidro ve güneş enerjisi gibi dağıtık enerji kaynaklarının entegrasyonu ele alınmaktadır. Çalışma, fosil yakıtların çevresel etkileri ve artan enerji talepleri karşısında yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına yönelik stratejiler geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu üç kaynağın birlikte kullanılması durumunda enerji üretiminde hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli kazanımlar elde edilebileceğini vurgulamaktadır. Çalışma, dağıtık jeneratörlerin entegrasyonu sayesinde enerji üretiminde sürdürülebilirliğin ve maliyet etkinliğinin artırılabilirliğini göstermektedir.

Melnyk (2021) ve çalışma arkadaşlarının “Modern Trends in the Production of Renewable Energy: the Cost Benefit Approach” başlıklı çalışması, yenilenebilir enerji üretiminde güncel eğilimleri maliyet-fayda analizi çerçevesinde incelemektedir. Çalışmada, özellikle güneş, rüzgar ve biyokütle gibi kaynakların ekonomik ve çevresel avantajları ele alınmakta; bu kaynakların enerji üretiminde artan rolüne dikkat çekilmektedir. Yenilenebilir enerji yatırımlarının başlangıç maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, uzun vadede sağladığı çevresel faydalar ve işletme maliyetlerindeki düşüş nedeniyle avantajlı olduğunu vurgulamaktadır. Çalışma, enerji politikalarının sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda şekillenmesi

gerektiğini ve karar vericilerin maliyet-fayda yaklaşımını göz önünde bulundurarak stratejik planlamalar yapmasının önemini ortaya koymaktadır.

2.2. Temel Enerji Kaynakları, Harcama, Maliyet ve Gider Kavramları

Enerji, modern dünyada insan yaşamının temel yapı taşlarından biridir. Toplumların sosyal, ekonomik ve endüstriyel gelişiminde enerji kaynaklarının rolü büyüktür. Enerji kaynaklarının harcama, maliyet ve gider boyutları da oldukça karmaşıktır. Bu başlıkta konuyla alakalı temel kavramlar açıklanmıştır.

2.2.1. Temel Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları, doğadaki çeşitli süreçler ve maddelerden elde edilebilen enerji formlarıdır. Genelde yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki ana grupta incelenir.

- **Yenilenebilir Enerji Kaynakları:** Rüzgâr, güneş, jeotermal, hidroelektrik ve biyokütle enerjisi gibi doğada sürekli olarak yenilenen ve çevreye daha az zarar veren enerji kaynaklarıdır (Kazemi & Akhavan, 2021). Gelişen teknolojilerle birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetleri düşmektedir, bu da ülkelerin bu kaynaklara yönelmesine katkıda bulunmaktadır.
- **Yenilenemez Enerji Kaynakları:** Kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerji gibi doğada sınırlı miktarda bulunan kaynaklardır. Bu kaynaklar, kullanım sırasında çevresel etki yaratabilir ve rezervleri tükenme riski altındadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının maliyeti, rezerv durumuna ve arz-talep ilişkisine göre değişkenlik göstermektedir.

2.2.2. Enerji Harcama Kavramı

Enerji harcaması, belirli bir enerji kaynağının kullanılmasıyla ilişkilidir ve ülkelerin ekonomisi üzerinde doğrudan etkisi vardır. Harcama, enerji kaynaklarının üretiminden nihai tüketiciye ulaşıncaya kadar olan tüm süreçleri kapsamaktadır. Bu süreçler içinde üretim, taşıma, depolama ve dağıtım gibi aşamalar yer alır. Örneğin, fosil yakıt kullanımında petrolün çıkarılması, taşınması ve rafine edilmesi gibi birçok aşamada farklı harcama kalemleri bulunur (Erdem, 2005).

Enerji harcaması, bireyler ve endüstriler için farklı düzeylerde gerçekleşebilir. Bireysel harcamalar ev ısıtması, aydınlatma ve elektrik kullanımı

gibi günlük ihtiyaçlar için yapılırken; endüstriyel harcamalar daha geniş ölçekli enerji tüketimini kapsar. Endüstrilerde enerji maliyeti, ürün fiyatlandırmasında etkili olduğu için harcamaların doğru yönetilmesi büyük önem taşır (Ağırkaya ve Akyol, 2021).

2.2.3. Enerji Maliyeti ve Unsurları

Enerji maliyeti, belirli bir enerji kaynağını elde etmek için gereken finansal yükü ifade eder. Maliyetler, enerji kaynağının türüne, erişilebilirliğine ve üretim tekniklerine göre değişiklik gösterir. Enerji maliyetleri, bir ülkenin ekonomik gelişimini ve rekabet gücünü etkileyen önemli bir faktördür (Bloomberg, 2020).

Enerji maliyetinin unsurları şunlardır:

- **Sermaye Maliyeti:** Enerji üretim tesislerinin kurulumu için gereken başlangıç maliyetleridir. Örneğin, hidroelektrik santrallerinin kurulumu büyük sermaye gerektirir.
- **İşletme Maliyetleri:** Enerji tesislerinin çalışması ve bakımında oluşan maliyetlerdir. Yenilenebilir kaynaklar genelde düşük işletme maliyetine sahipken, fosil yakıt bazlı santrallerde bu maliyetler daha yüksektir (Yergin, 2020).
- **Yakıt Maliyeti:** Özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji tesislerinde, yakıt fiyatlarının dalgalanması maliyetlerin artmasına neden olabilir. Örneğin, doğalgaz fiyatlarındaki artış enerji üretim maliyetini de yükseltir.
- **Çevresel Maliyetler:** Enerji üretiminin çevreye etkisiyle ilişkili olan maliyetlerdir. Karbon emisyonları, kirlilik ve atık yönetimi gibi unsurlar, özellikle fosil yakıt bazlı enerji üretiminde çevresel maliyetlerin artmasına yol açar (Bloomberg, 2020).

2.2.4. Enerji Giderleri ve Yönetimi

Enerji giderleri, belirli bir süre içinde enerji kullanımı için harcanan toplam maliyetleri ifade eder. Gider yönetimi, enerji kaynaklarının verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Enerji giderleri, işletmeler ve hane halkları için maliyet azaltıcı stratejilerle yönetilebilir.

Maliyet azaltıcı stratejiler:

- **Enerji Tasarrufu:** Enerji giderlerini azaltmak için enerji tasarrufu stratejileri kullanılır. Enerji verimliliği, enerji tüketimini optimize

ederek aynı miktarda iş yapmak için daha az enerji kullanmayı sağlar. Bu da uzun vadede maliyetlerin düşmesine katkıda bulunur (International Energy Agency, 2019).

- **Talep Yönetimi:** Elektrik şebekelerinde enerji talebinin yönetilmesi, enerji giderlerini azaltmanın etkili bir yoludur. Talep yönetimi, özellikle yüksek talep dönemlerinde enerji arzının daha verimli kullanılmasını sağlar. Örneğin, elektrik şebekelerinde enerji yoğunluğunu azaltmak için akıllı sayaçlar kullanılarak tüketim eğilimleri kontrol edilebilir.
- **Yenilenebilir Enerji Kullanımı:** Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, fosil yakıt kaynaklı enerji giderlerini azaltabilir. Örneğin, güneş enerjisi panellerinin kurulumu, elektrik faturalarında düşüş sağlayabilir. Yenilenebilir kaynaklara yapılan yatırımlar, uzun vadede maliyet tasarrufu sağlamaktadır (REN21, 2020).

2.2.5. Enerji Maliyet ve Giderlerinin Ekonomik Etkisi

Enerji maliyetleri, ekonomik büyüme ve kalkınma üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek enerji maliyetleri üretim maliyetlerini artırabilir. Bu da enflasyona ve nihai ürün fiyatlarının yükselmesine yol açabilir. Ayrıca, enerji fiyatlarındaki dalgalanmalar, ekonomide belirsizliklere ve istikrarsızlıklara neden olabilir. Özellikle ithalata bağımlı ülkeler, enerji fiyatlarındaki dalgalanmalardan daha fazla etkilenebilir. Enerji giderlerinin azaltılması, ekonomik büyümeye katkı sağlayabilir. Düşük enerji maliyetleri, işletmelerin üretim maliyetlerini düşürerek daha rekabetçi fiyatlarla piyasada yer almasına olanak tanır. Böylece, enerji verimliliği sağlanmış ve çevresel etkiler azaltılmış olur (Çetin ve Şeker, 2012).

Enerji kaynaklarının sınırlı olması, enerji harcama, maliyet ve gider kavramlarının önemini artırmaktadır. Enerji maliyetlerinin düşürülmesi, ekonomik gelişim için önemlidir ve enerji giderlerinin verimli yönetilmesi gerekmektedir. Enerji kaynaklarının sürdürülebilir ve verimli bir şekilde kullanımı, gelecek nesillere daha yaşanabilir bir çevre bırakmak için hayati önem taşır (Gültekin, 2015).

2.3. Enerji Kavramı

Enerji, bir nesne ya da sistemin iş yapma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Üçgül ve Elibüyük, 2017). Fosil yakıtlar genellikle kömür ve petrol ürünlerini ifade ederken, yenilenebilir enerji kaynakları hidroelektrik, rüzgâr, güneş, gelgit ve deniz enerjisi olarak sıralanabilir. Alternatif bir sınıflandırmaya göre, eski enerji kaynakları; taşkömürü, petrol, doğal gaz, hidroelektrik ve nükleer enerjiyi kapsarken, yeni enerji kaynakları ise rüzgâr, güneş, gelgit, denizlerin termal enerjisi ve jeotermik enerji gibi kaynaklardan oluşmaktadır (Lokman, 1963).

Endüstriyel çağ öncesinde enerji ihtiyacı, çoğunlukla odun, rüzgâr, su gibi doğal kaynaklarla birlikte insan ve hayvan gücü ile karşılanırken, kömürle çalışan buhar makinelerinin icadı enerji kullanımında köklü bir dönüşüm yaratmıştır (Külekçi, 2013). Enerji kaynakları zamanla çeşitli aşamalardan geçerek günümüzdeki durumuna ulaşmıştır. İnsanlık tarihi boyunca enerji, farklı alanlarda etkin bir şekilde kullanılmıştır. Günümüzde enerji; endüstri, ulaşım, ticaret (hizmet sektörü) ve konut gibi alanlarda yoğun şekilde tüketilmektedir (Ataman, 2007). Dolayısıyla enerji, elektrikten ısıya; kimyasal enerjiden nükleer enerjiye kadar geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir (Yılmaz ve Öztürkmen, 2018).

Enerji, yalnızca insanların temel ihtiyaçlarının karşılanması ve ekonomik faaliyetlerin yürütülmesinde değil, aynı zamanda ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişmişlik düzeyinin artırılmasında da kritik bir rol oynamaktadır (Bayrak ve Esen, 2014). Hangi ekonomik sistem benimsenirse benimsensin, enerji; ekonomilerin gelişmesi için vazgeçilmez bir girdidir. Bu durum, enerji ihtiyacının, dünya ekonomisindeki gelişmelere paralel olarak sürekli arttığını açıkça ortaya koymaktadır (Mason, 1975).

Enerji, günlük hayatımızdaki vazgeçilmez faydalarının yanı sıra; üretim, çevrim, taşınım ve tüketim süreçlerinde önemli ölçüde çevre kirliliğine de neden olmaktadır. Nüfus artışı ve sanayileşmeye paralel olarak inşa edilen büyük ölçekli enerji üretim ve çevrim tesisleri, yalnızca ekolojik dengeyi bozmakla kalmayıp, sınırları aşan çevresel etkiler de yaratmaktadır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2004). Dünya nüfusunun hızla arttığı bu dönemde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, hem insanlık hem de gezegenin geleceği açısından hayati bir önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına

yönelik bilimsel araştırmalar giderek artmıştır. Yenilenebilir enerji, sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir ve günümüzde enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği en önemli değerlendirme kriterlerinden biri haline gelmiştir (Gökhan ve Kılıç, 2013). Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'nde güneş ve hidroelektrik enerji santrallerinde üretilen enerjinin birim maliyetleri karşılaştırılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve hidroelektrik santrallerinin Doğu Anadolu özelinde incelenmesinin, bölgenin ekonomik ve çevresel geleceği için fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

2.3.1. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji, doğanın kendi döngüsü içinde sürekli olarak yenilenebilen ve tükenmez kabul edilen kaynaklardan elde edilen enerji türüdür. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji gibi; çevreye minimum düzeyde emisyon yayan ve sürdürülebilir enerji kaynaklarını kapsar. Bu tür enerji, doğal süreçlerle kendini yenileyebildiği için gelecekte de kullanılabilir durumda kalır ve fosil yakıtlara kıyasla çevre dostu bir alternatiftir (Gökhan ve Kılıç, 2013).

10 Mayıs 2005 tarihli ve 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”un “Tanımlar ve Kısaltmalar” başlıklı üçüncü maddesinin birinci fıkrasının (8) numaralı bendinde yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), “Hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynakları” olarak tanımlanmıştır. Aynı maddenin birinci fıkrasının (11) numaralı bendinde ise bu kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynakları, “*Rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi ya da rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynakları*” olarak ifade edilmiştir (Onbaşıoğlu, 2005).

Enerji kaynaklarının “yenilenebilir” olarak tanımlanabilmesi için gerekli unsurlar şöyledir: “*Kaynak, doğal ortamda sürdürülebilir veya tekrarlanabilir olmalı; kaynakta, birim zamanda üretilen enerji, birim zamanda kaynaktan çekilen enerjiye eşit olmalı; enerjinin kaynağı, Güneş, Dünya’nın dönüşü ve yer çekimi olmalıdır*” (Onbaşıoğlu, 2005). Gün geçtikçe artan enerjiye olan ihtiyacımız ve

katlanmak zorunda olduğumuz maliyetlerden ötürü günümüz çağında yenilenebilir enerjiye ihtiyaç giderek artmıştır.

Fosil yakıtların insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri daha iyi anlaşıldıkça, yenilenebilir enerji sektörü giderek daha önemli ve dikkat çekici bir hâle gelmiştir. Bu önemin nicel olarak ifade edilmesi gerekirse, Uluslararası Enerji Ajansı'nın öngörülerine göre, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların önümüzdeki yıllarda 10,5 trilyon dolara ulaşması beklenmektedir. Bunun yanı sıra, OECD ülkeleri arasında yenilenebilir enerji kullanım oranının %25 seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde yenilenebilir enerji, enerji politikalarının merkezinde yer almakta ve giderek daha kritik bir öneme sahip olmaktadır (Doğu Marmara Kalkınma Ajansı; Yılmaz, 2015).

Yenilenemeyen enerji kaynakları ve bu kaynaklara dayalı santraller, bulundukları bölgelerde ciddi çevresel zararlar ve tahribatlara yol açmaktadır. Özellikle fosil yakıtların kullanımı sırasında atmosfere yayılan karbondioksit (CO₂), kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksitler (NO), çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bunun yanında, karbondioksit ve diğer sera gazlarının salınımı; küresel iklim değişikliğine neden olarak dünya genelinde ekosistemleri ve toplumları tehdit etmektedir. Bu sebeplerle, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı giderek azalmakta; çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş hız kazanmaktadır (Uyar, 2001; Yılmaz, 2015).

Fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi, dış ülkelere bağımlılık nedeniyle artan maliyetlerin yanı sıra ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Ayrıca, dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenme riski, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini daha da artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri, yenilenemeyen enerji kaynaklarına kıyasla çok daha azdır. Bu durum, yenilenebilir enerjiyi sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır. Kullanım şartları ve altyapısı iyileştirildiği takdirde, yenilenebilir enerji kaynaklarının gelecekte en önemli enerji kaynağı haline geleceği genel olarak kabul görmektedir (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2004; Yılmaz, 2015).

Türkiye'nin coğrafi konumu, güneş enerjisi santralleri (GES) ve hidroelektrik enerji santralleri (HES) gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını desteklemeye son derece uygundur. Artan nüfus ve buna bağlı olarak

yükselen enerji talebi, çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden sürdürülebilir bir şekilde karşılanmalıdır. Yenilenebilir enerji üretiminin artırılması, ülkemizin enerji alanında dışa bağımlılığını azaltarak yerli üretimin etkinliğini artıracaktır. Bu kaynaklar, enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra çevresel etkileri en aza indirecektir. Diğer enerji sistemlerine kıyasla yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumu ve işletimi daha az karmaşık teknolojik altyapı gerektirdiğinden, bu sistemler uzun vadede hem çevre dostu hem de ekonomik olarak avantajlıdır. Ayrıca, bu enerji kaynaklarının kullanımının, bireylerin enerji faturalarına olumlu bir yansıma sağlayarak ekonomik anlamda da katkı sağladığı gözlemlenmektedir (İrkıçatal, 2010; Yılmaz, 2015).

2.3.2. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinden faydalanarak elektrik üretmek için kullanılan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Tarihsel olarak oldukça eski bir geçmişe sahip olan bu enerji türü, günümüzde çevresel sürdürülebilirlik ve enerji güvenliği bağlamında giderek daha fazla önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, rüzgâr ve güneş enerjisinden sonra üçüncü sırada yer alan hidroelektrik; fosil yakıtların tükenme tehlikesine karşın sürdürülebilir bir alternatif olarak görülmektedir. İlk olarak suyun enerjisinden faydalanarak değirmenlerin çalıştırılması ile başlayan hidroelektrik enerjinin kullanımı, Endüstri Devrimi'nden sonra hız kazanmıştır. 1882 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Fox Nehri üzerinde kurulan ilk hidroelektrik santral; bu enerjinin elektrik üretiminde kullanıldığı ilk kapsamlı örnektir (Aras, 2018). O günden bugüne hidroelektrik enerji, teknolojik ilerlemeler ve artan enerji talebi doğrultusunda hızla büyümüş ve dünyanın farklı coğrafyalarında kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle Norveç, Kanada ve Brezilya gibi ülkeler, bu enerjiden yoğun bir şekilde faydalanmakta ve hidroelektrik enerji, dünya elektrik üretiminin %15'ini karşılamaktadır (International Energy Agency [IEA], 2022).

Hidroelektrik santraller, suyun akış hızını ve yüksekliğini kullanarak elektrik üretir. Bu sistemler genellikle bir baraj veya nehir üzerine inşa edilmiştir. Barajlarda toplanan su, yüksek bir seviyede tutulur ve suyun ağırlığından kaynaklanan potansiyel enerji biriktirilir. Su kontrollü bir şekilde salındığında

türbinlere ulaşır ve burada kinetik enerjiye dönüştürülerek türbinleri döndürür. Türbinler, jeneratörleri harekete geçirir ve bu sayede elektrik üretilir (Çakır & Yılmaz, 2019). Bu süreç oldukça verimlidir ve elde edilen enerji, yerleşim yerlerine veya sanayi tesislerine aktarılır.

Hidroelektrik enerjinin en önemli avantajlarından biri, yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasıdır. Su sürekli bir döngü içinde olduğu için, bu enerji kaynağı tükenmez. Hidroelektrik santraller, doğrudan suyun gücünü kullandığı için karbon emisyonu açısından oldukça düşük bir ayak izine sahiptir. Bu durum, hidroelektriğin iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynamasını sağlar. Ayrıca hidroelektrik santraller, fosil yakıt temelli enerji santrallerine göre daha az işletme maliyetine sahiptir. Su kaynaklarının düzenli ve bol olduğu bölgelerde sürekli ve güvenilir bir enerji kaynağı sağlar (Yıldırım, 2021). Ek olarak, hidroelektrik santrallerin inşası esnasında suyun kontrollü bir şekilde yönetilmesi; taşkınların önlenmesine ve su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasına katkıda bulunur. Barajlar, aynı zamanda su temini, sulama ve rekreasyon gibi çeşitli amaçlarla da kullanılabilir. Bu çok işlevli yapı, hidroelektrik enerjinin topluma geniş bir yelpazede fayda sunmasını sağlar (Yıldırım, 2021).

Hidroelektrik enerjinin dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle büyük barajlar ve rezervuarlar, çevresel ve ekolojik etkilere yol açabilir. Barajların inşası, nehir ekosistemlerinin bozulmasına ve su altı yaşamının olumsuz etkilenmesine neden olabilir. Su kaynaklarının aşırı kullanımı, yerel toplulukları ve tarım alanlarını olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca hidroelektrik santrallerin inşası, yerleşim yerlerinin taşınmasına ve bölge halkının yer değiştirmesine yol açabilir (Tekin & Arslan, 2020). Bir diğer dezavantaj ise kuraklık gibi iklim olaylarından hidroelektrik enerjinin etkilenebilir olmasıdır. Özellikle su kaynaklarının azalması, enerji üretim kapasitesini düşürebilir. Bu durum, hidroelektrik enerjinin güvenilirliğini tehdit eder ve enerji arzında dalgalanmalara yol açabilir. Ayrıca barajlarda tutulan su, iklim değişikliği nedeniyle daha sık yaşanan kuraklık dönemlerinde azalabilir; bu da enerji üretimini olumsuz yönde etkileyebilir (IEA, 2022).

Hidroelektrik enerji, sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak, birçok ülkede çevresel hedeflerin gerçekleştirilmesine katkı sağlar. Enerji üretiminde fosil

yakıtların yerine geçebilecek bir kaynak olarak görülen hidroelektrik, karbon emisyonlarını azaltarak temiz enerjiye geçişi destekler. Ancak sürdürülebilir hidroelektrik enerji kullanımı, su kaynaklarının dikkatli yönetimini gerektirir. Çevresel ve sosyal etkilerin minimize edilmesi, hidroelektrik enerjinin sürdürülebilirliğini artırır (Yıldırım, 2021). Gelişen teknolojiler, hidroelektrik santrallerin verimliliğini ve çevre dostu olmasını artırmaktadır. Özellikle küçük ölçekli hidroelektrik santraller, yerel su kaynaklarını en aza indirgenmiş bir çevresel etkiyle kullanarak enerji üretir. Bu tür santraller, yerel enerji ihtiyacını karşılamak için özellikle kırsal alanlarda önem kazanır. Küçük ölçekli santraller, geleneksel büyük baraj projelerinin ekolojik ve sosyal etkilerini azaltarak sürdürülebilir bir enerji çözümü sunar (Çakır & Yılmaz, 2019).

Hidroelektrik enerji, dünya genelinde temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak önemini korumaktadır. Çevreye olan etkilerinin minimize edilmesi ve su kaynaklarının dikkatli bir şekilde yönetilmesi, bu enerji kaynağının daha verimli kullanılmasını sağlar. Hidroelektrik enerjinin potansiyelinin tam anlamıyla kullanılması, hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük faydalar sağlayabilir. Gelecekte hidroelektrik enerjinin, daha yenilikçi teknolojilerle entegre edilerek, enerji talebini karşılamada kilit bir rol oynaması beklenmektedir.

2.3.3. Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin avantajları, diğer enerji türlerine kıyasla oldukça fazladır. Açık ve güneşli bir günde, yalnızca 15 dakikalık güneş ışıınımı, tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir (Yaman, 2014; Yaman ve diğerleri, 2019).

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon süreciyle ortaya çıkan ışıma enerjisidir. Atmosfer dışında güneş enerjisi yoğunluğu yaklaşık 1370 W/m² olarak ölçülürken, atmosferin etkisiyle yeryüzüne ulaşan miktar 0-1100 W/m² arasında değişiklik göstermektedir. Güneş enerjisinden faydalanmaya yönelik çalışmalar, özellikle 1970'lerden itibaren hız kazanmış; bu süreçte güneş enerjisi sistemleri hem teknolojik olarak önemli ilerlemeler kaydetmiş hem de maliyet açısından daha erişilebilir hale gelmiştir. Ayrıca çevre dostu bir enerji kaynağı olarak da kabul görmüştür (Ozan ve Köse, 2020).

Türkiye, dikkate değer bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve bu potansiyelin verimli ve etkili bir şekilde kullanılması, ülkenin enerji ihtiyacını önemli ölçüde karşılayabilme kapasitesine katkıda bulunmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları arasında Türkiye'nin en yüksek potansiyele sahip olduğu alan güneş enerjisidir. Bölgesel düzeyde değerlendirildiğinde, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu alanlar olarak öne çıkmaktadır (Kick, 2010; Yılmaz, 2015).

Gezegelimiz ve üzerinde yaşadığımız dünya için sınırsız bir güç kaynağı olarak nitelendirilebilecek Güneş, nükleer enerji dışındaki diğer enerji kaynaklarının temelini oluşturmaktadır. Bu sınırsız enerji kaynağının yalnızca küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmakta olup, bu miktar yaklaşık olarak $1,8 \times 10^{11}$ NW düzeyindedir (Külekçi, 2010; Yılmaz, 2015).

Günümüzde güneş enerjisi, teknolojik gelişmelerle birlikte daha sistematik ve verimli bir hale gelerek önemli bir enerji kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. Önemi artan bu enerji kaynağının avantajını ve dezavantajını sıralayacak olursak; Güneş enerjisinin avantajları:

- Tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Saf ve temiz bir enerji türüdür.
- Ekonomik dalgalanmalardan etkilenmez.
- Maliyet açısından işletmeler için uygun bir seçenektir.
- Çevreye zarar vermez.
- Karmaşık bir teknolojik altyapıya ihtiyaç duymaz (Demirtaş, 2010; Yılmaz, 2015).

Güneş enerjisinin dezavantajları:

- Güneş ışınlarının sürekli ve sabit bir şekilde ulaşmaması nedeniyle enerji depolama ihtiyacı doğabilir ve bunun ilk maliyeti oldukça yüksektir. (Demirtaş, 2010; Yılmaz, 2015)

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça iyi bir durumda olmasına rağmen, bu potansiyelin etkin ve yaygın bir şekilde kullanımı ne yazık ki istenilen seviyede değildir. Bu durumun başlıca nedenleri arasında kurumlar arası koordinasyon eksikliği ve devletin bu alanda yeterli teşvik politikalarını uygulamamış olması yer almaktadır (Atakul, Kalander ve Gezici, 2015). Coğrafi

konumu itibariyle Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından avantajlı bir konumda bulunmakta olup özellikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri, en yüksek güneş enerjisi alan bölgeler olarak öne çıkmaktadır (Erdoğan vd., 2009; Yılmaz, 2015).

2.3.4. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr enerjisi, atmosferdeki hava hareketlerinin kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibine dayanan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dünyanın enerji ihtiyacının sürdürülebilir kaynaklardan karşılanmasının önemi giderek artarken, rüzgâr enerjisi çevre dostu ve tükenmeyen bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisi, birçok yönden avantaj sağlayan bir enerji türüdür. Öncelikle, fosil yakıtlar gibi karbon salınımı yapmadığından, iklim değişikliğine sebep olan sera gazı emisyonlarına neden olmaz (Çalışkan, 2019). Ayrıca, rüzgâr enerjisinin üretim sürecinde doğaya zararlı atıklar oluşmaz ve işletme maliyetleri oldukça düşüktür. Rüzgâr türbinleri kurulum sonrası enerji üretimi için yakıt gerektirmediğinden maliyetler düşük seviyelerde kalır ve yalnızca bakım gerektirir. Diğer bir deyişle, ilk yatırım maliyetleri yüksek olmakla birlikte, uzun vadede ekonomik bir enerji çözümü sunar.

Rüzgâr enerjisi ayrıca birçok ülkenin enerji bağımsızlığına katkıda bulunur. Özellikle enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithalatla karşılayan ülkeler için rüzgâr enerjisi, dışa bağımlılığı azaltıcı bir rol oynar (Akpınar, 2020). Türkiye gibi, enerji kaynakları açısından dışa bağımlı olan ülkelerde rüzgâr enerjisinin önemi daha da artmaktadır. Bununla birlikte, rüzgâr enerjisi yerel ekonomiyi canlandırarak istihdam yaratır; türbinlerin kurulumu, bakımı ve işletmesi gibi alanlarda birçok iş imkânı sunar.

Rüzgâr enerjisi teknolojisi son yıllarda büyük ilerlemeler kaydetmiştir. İlk olarak kara türbinleri ile başlayan rüzgâr enerjisi üretimi, deniz üstü (offshore) rüzgâr türbinlerinin geliştirilmesiyle daha verimli hale gelmiştir. Özellikle deniz üstü rüzgâr santralleri, karaya göre daha sabit ve güçlü rüzgarlardan yararlanarak daha fazla enerji üretebilir (Yılmaz ve Yıldırım, 2021). Bu tür teknolojik ilerlemeler, rüzgâr enerjisi üretimini daha ekonomik ve çevre dostu hale getirmiştir. Teknolojik gelişmeler sadece türbinlerin tasarımında değil, aynı zamanda enerji

depolama ve entegrasyon sistemlerinde de gerçekleşmektedir. Rüzgâr enerjisinin en büyük dezavantajlarından biri olan kesintili enerji üretimi, bu tür yeniliklerle minimize edilmiştir. Rüzgârın olmadığı zamanlarda da enerji sağlamak amacıyla batarya sistemleri veya hidrojen üretimi gibi enerji depolama yöntemleri devreye alınmaktadır (Kara, 2022). Bu sistemler, rüzgâr enerjisinin daha güvenilir ve sürekli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesini sağlar.

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir bir kaynak olması nedeniyle çevreye olumlu etkiler sağlar. Ancak, türbinlerin gürültü ve görsel kirlilik oluşturduğu da bir gerçektir. Bazı durumlarda, türbinlerin inşa edildiği alanlarda yaşayan hayvan popülasyonları olumsuz etkilenebilir. Özellikle kuşlar, rüzgâr türbinlerinin pervaneleriyle çarpışma riski taşır (Doğan, 2019). Ancak bu durum, türbinlerin uygun yerlere kurulması ve gelişmiş radar sistemleri ile en aza indirilebilir. Rüzgâr enerjisinin en önemli avantajlarından biri, sera gazı emisyonlarını azaltmasıdır. Fosil yakıtların kullanımı azaltılarak atmosferdeki karbon salınımı düşürülür ve bu da iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir adım olarak görülür (Güneş, 2020). Rüzgâr enerjisi santralleri, yerel ekosisteme uyum sağlamak için çevresel etki değerlendirmelerine tabi tutulur. Bu sayede, doğal hayatı en az etkileyecek şekilde planlama yapılması amaçlanır.

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek bir ülkedir. Özellikle Ege, Marmara ve Akdeniz bölgeleri, rüzgâr enerjisi üretimi için oldukça elverişli alanlardır. Türkiye, 2000'li yıllardan itibaren rüzgâr enerjisi yatırımlarına hız vermiş ve 2020 yılı itibarıyla dünya genelinde rüzgâr enerjisi kapasitesini en hızlı artıran ülkelerden biri olmuştur (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2021). Türkiye'nin rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2020 yılında 8.000 MW'ı aşmıştır. Bu kapasitenin arttırılması için çeşitli teşvik programları uygulanmakta ve yerli üretim desteklenmektedir. Rüzgâr enerjisi alanında yatırımcılar için devletin sağladığı teşvikler ve düzenlemeler, sektörün büyümesini hızlandıran önemli faktörler arasında yer almaktadır. Öte yandan, Türkiye'deki rüzgâr enerjisi üretimi, toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %10'unu karşılayabilecek düzeye ulaşmıştır (Akpınar, 2020).

Rüzgâr enerjisi, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltan, çevre dostu ve ekonomik bir enerji kaynağıdır. Teknolojik gelişmelerle birlikte rüzgâr türbinlerinin

verimliliği ve çevresel uyumu artırılmakta; rüzgâr enerjisi daha sürdürülebilir hale gelmektedir. Türkiye gibi enerjide dışa bağımlı ülkeler için rüzgâr enerjisi, enerji güvenliğinin sağlanması açısından büyük önem taşır. Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin daha etkin kullanılması ve teşvik edilmesi, ülkenin enerji kaynaklarını çeşitlendirmesine ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli katkı sağlamasına olanak tanıyacaktır (Akpınar, 2020).

2.3.5. Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, denizlerdeki dalgaların kinetik ve potansiyel enerjisini kullanarak elektrik üreten bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Son yıllarda sürdürülebilir enerji kaynaklarının önemi arttıkça dalga enerjisi de birçok ülkenin dikkatini çekmektedir. Dalga enerjisi, fosil yakıt bağımlılığını azaltmak, çevresel sürdürülebilirliği desteklemek ve enerji güvenliğini sağlamak açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Dalga enerjisinin çalışma prensibi, okyanus ve deniz yüzeyindeki dalgalardan gelen enerjinin toplanması ve elektrik enerjisine dönüştürülmesine dayanır. Bu süreçte çeşitli dalga enerjisi dönüştürücüler (WEC – Wave Energy Converter) kullanılır. En yaygın yöntemlerden bazıları salınlı su sütunu (OWC) ve salınlı cisim sistemleridir. Salınlı su sütunu teknolojisinde, dalga hareketiyle hava basıncı yaratılarak bir türbin döndürülür ve bu şekilde enerji üretilir. Salınlı cisim sisteminde ise dalgaların itici kuvveti kullanılarak mekanik enerji elde edilir ve bu enerji bir jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür (Falcão, 2010).

Dalga enerjisi birçok avantaj sunar. İlk olarak, dalga enerjisi sınırsız bir kaynaktır ve dalgaların oluşması için güneş enerjisinin atmosferde yarattığı etkiden başka bir dış kaynağa ihtiyaç yoktur. Bu nedenle, diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi sürdürülebilir bir yapıya sahiptir. İkinci olarak, dalga enerjisinin enerji yoğunluğu, rüzgâr enerjisine göre daha yüksektir. Rüzgâr ve güneş enerjisinin aksine, dalgalar günün her saati enerji üretmeye devam edebilir ve bu nedenle dalga enerjisi diğer yenilenebilir enerji türlerinden daha kararlı bir enerji kaynağı olarak görülmektedir (Cruz, 2008). Üçüncü olarak, dalga enerjisi kıyı topluluklarına yakın bölgelerde kurulabilir. Bu durum, enerji taşımacılığı maliyetini

azaltabilir ve kıyı bölgelerindeki enerji talebini doğrudan karşılayarak enerji güvenliğini artırabilir.

Ancak dalga enerjisinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Öncelikle, dalga enerjisi teknolojileri henüz gelişme aşamasında olduğundan maliyetleri oldukça yüksektir. Kurulum maliyetleri, dalga enerjisi çiftliklerinin denizlerde kurulması gerektiği için oldukça yüksek olabilir ve bakım masrafları da ciddi bir yük oluşturabilir. Ayrıca, deniz ortamında kullanılan sistemler zorlu koşullara dayanıklı olmalıdır. Bu durum, dalga enerjisi projelerinin ömrünü kısaltabilir ve maliyetleri artırabilir (Thorpe, 1999). Dalga enerjisinin bir diğer dezavantajı ise çevresel etkileridir. Dalga enerjisi çiftlikleri deniz yaşamı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Deniz memelileri, balıklar ve diğer deniz canlıları için yaşam alanlarında değişikliklere neden olabilir. Bu durum, deniz ekosistemine zarar verebilir ve biyolojik çeşitliliği olumsuz etkileyebilir (Inger vd., 2009).

Dalga enerjisi teknolojisi, dünya genelinde farklı ülkelerde deneysel ve ticari projelerle denenmektedir. Portekiz, İskoçya ve Avustralya gibi ülkeler bu alanda öncü ülkeler arasında yer almaktadır. Portekiz, dalga enerjisini ticari ölçekte kullanma konusunda öncü bir ülke olarak bilinir. Pelamis adı verilen bir dalga enerjisi sistemi, Portekiz'in kuzey kıyılarında kurulan ilk ticari dalga enerjisi santrali olarak dikkat çekmektedir (Cruz, 2008). İskoçya ise Avrupa'da dalga enerjisi alanında en çok yatırım yapan ülkelerden biridir. İskoçya kıyılarında kurulan dalga enerjisi projeleri, ülkenin enerji ihtiyacını karşılamak için önemli bir potansiyele sahiptir ve aynı zamanda enerji sektöründe istihdam yaratmaktadır (Falcão, 2010).

Dalga enerjisi, dünyadaki yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Gelecekte teknolojik gelişmeler ve maliyetlerin düşmesiyle birlikte dalga enerjisi daha fazla yaygınlaşabilir. Özellikle yenilenebilir enerjiye artan talep, dalga enerjisi projelerine olan ilgiyi artırmaktadır. Örneğin Avrupa Birliği ve ABD gibi bölgelerde, temiz enerji hedefleri doğrultusunda dalga enerjisi projelerine yönelik teşvikler sağlanmaktadır (European Ocean Energy Association, 2010). Bununla birlikte, dalga enerjisinin potansiyelinin tam olarak değerlendirilmesi için bazı teknik ve ekonomik zorlukların aşılması gerekmektedir. Enerji verimliliğinin artırılması, bakım

maliyetlerinin düşürülmesi ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi için araştırmalar devam etmektedir. Eğer bu engeller aşılabılırsa, dalga enerjisi dünya genelinde önemli bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir ve fosil yakıt bağımlılığını azaltmaya katkıda bulunabilir (European Ocean Energy Association, 2010).

Dalga enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında büyük bir potansiyele sahip bir enerji türüdür. Dalga enerjisi projelerinin maliyetlerinin düşürülmesi ve teknolojinin daha geniş ölçekte uygulanabilir hale gelmesi durumunda, dalga enerjisi birçok ülkenin enerji portföyünde önemli bir yer tutabilir. Dalga enerjisi, sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak fosil yakıt bağımlılığını azaltma ve iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir rol oynayabilir. Bununla birlikte, dalga enerjisinin çevresel etkileri ve teknik zorluklar göz önünde bulundurularak dikkatli bir şekilde planlanması gerekmektedir. İlerleyen yıllarda dalga enerjisinin, dünya enerji piyasasında daha geniş bir paya sahip olması beklenmektedir (Inger vd., 2009).

2.3.6. Jeotermal Enerjisi

Jeotermal enerji, dünyanın iç katmanlarından gelen sıcaklık sayesinde elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Yer kabuğunun altında yer alan sıcak su ve buhar, jeotermal enerjinin ana kaynağı olarak kullanılır ve enerji üretiminde doğrudan veya dolaylı olarak farklı şekillerde değerlendirilebilir. Son yıllarda, fosil yakıtların çevresel etkileri göz önünde bulundurularak, sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelim hızla artmıştır. Bu çerçevede jeotermal enerji, çevresel avantajları, sürekli ve güvenilir yapısı ile enerji piyasasında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Jeotermal enerji, yer altındaki kayaçların ve sıvıların ısınması sonucu ortaya çıkan enerjidir. Bu enerji, iki ana biçimde karşımıza çıkar: düşük sıcaklıklı rezervuarlar ve yüksek sıcaklıklı rezervuarlar. Düşük sıcaklıklı rezervuarlar, çoğunlukla konut ısıtmasında ve sera ısıtmasında kullanılırken; yüksek sıcaklıklı rezervuarlar, elektrik üretimi gibi daha yüksek enerji gereksinimlerine yönelik kullanılır. Özellikle Türkiye gibi jeotermal açıdan zengin olan ülkelerde, bu kaynakların etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması büyük önem taşır (Koçak, 2021).

Jeotermal enerji, elektrik üretiminde oldukça verimli bir şekilde kullanılabilir. Bu süreçte, yer altından çıkarılan sıcak su veya buhar, bir türbini döndürerek jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisi üretir. Türkiye’de Aydın, Denizli ve Manisa gibi bölgelerde büyük ölçekli jeotermal santraller bulunmaktadır. Bu santraller, ülkenin enerji ihtiyacının belirli bir kısmını karşılayarak dışa bağımlılığı azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, jeotermal enerji santrallerinin karbon salınımı oldukça düşüktür, bu da fosil yakıtlara kıyasla çevresel etkilerinin çok daha az olduğu anlamına gelmektedir (Demirbaş, 2019).

Jeotermal enerji sadece elektrik üretiminde değil, aynı zamanda ısıtma ve soğutma sistemlerinde de etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Jeotermal ısı pompaları, evlerde, iş yerlerinde ve seralarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, yer altındaki sabit sıcaklık sayesinde yazın soğutma, kışın ise ısıtma sağlama potansiyeline sahiptir. Böylece, fosil yakıt temelli ısıtma sistemlerine göre daha çevre dostu ve ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Türkiye’de Balıkesir, Afyon ve Kütahya gibi şehirlerde jeotermal enerji ile sağlanan merkezi ısıtma sistemleri yaygındır ve bu sistemlerin yaygınlaştırılması enerji verimliliği açısından önem arz etmektedir (Şimşek & Öztürk, 2020).

Jeotermal enerji birçok avantaja sahiptir. Öncelikle, yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğu için çevreye zarar vermez ve sürekli olarak yenilenebilir. Diğer yandan, fosil yakıtlara kıyasla çok daha düşük karbon salınımına sahiptir, bu da iklim değişikliğiyle mücadelede jeotermal enerjiyi daha çekici bir seçenek haline getirir. Jeotermal enerji santralleri, güneş veya rüzgâr enerjisinde olduğu gibi hava koşullarına bağlı olmadığından sürekli bir enerji kaynağı sağlar. Ayrıca, enerji üretim maliyetlerinin düşük olması ve yerel kaynakların kullanılabilmesi, ekonomik anlamda da birçok ülke için cazip hale gelmektedir (Aksoy, 2020).

Jeotermal enerji, her ne kadar birçok avantaja sahip olsa da bazı dezavantajları da mevcuttur. Öncelikle, jeotermal enerji kaynaklarının sadece belirli coğrafi alanlarda bulunması, bu enerji kaynağının evrensel bir çözüm olarak görülmesini engellemektedir. Jeotermal enerji kaynaklarının yoğunlaştığı bölgelerde faaliyet göstermek mümkünken, diğer bölgelerde bu kaynağa ulaşmak maliyetli olabilmektedir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklı jeotermal rezervuarların

kullanımı sırasında açığa çıkan sülfür dioksit gibi gazlar, uygun önlemler alınmazsa çevreye zarar verebilir. Türkiye'de, jeotermal enerji santrallerinin bulunduğu bölgelerde bu tip gazların salınımına bağlı olarak çevre kirliliği endişeleri bulunmaktadır (Tosun, 2018).

Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyada önemli bir konuma sahiptir. MTA'nın (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) verilerine göre, Türkiye'deki jeotermal kaynaklar oldukça geniş bir alana yayılmış olup, bu potansiyel daha etkin kullanılabilirse Türkiye'nin enerji açığının önemli bir kısmı karşılanabilir. Son yıllarda yapılan yatırımlar ve teşvikler, jeotermal enerji sektörünün büyümesine katkı sağlamış; ancak teknolojik ve ekonomik sınırlamalar nedeniyle bu büyüme henüz istenen seviyede değildir. Gelecekte daha fazla yatırım ve yenilikçi teknolojilerle bu kaynağın daha verimli bir şekilde kullanılması planlanmaktadır (Koçak, 2021). Türkiye'nin yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşabilmesi için jeotermal enerjinin önemi büyüktür. Bu nedenle, çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda jeotermal enerji yatırımlarının artırılması gerekmektedir. Ayrıca, toplumun bilinçlendirilmesi ve yerel yönetimlerin desteklenmesi, bu enerji kaynağının daha etkin kullanılmasını sağlayacaktır.

Jeotermal enerji, yenilenebilir enerji kaynakları arasında özel bir yere sahiptir. Hem elektrik üretiminde hem de ısıtma-soğutma sistemlerinde sağladığı avantajlar sayesinde sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Türkiye gibi jeotermal kaynak potansiyeli yüksek olan ülkelerde, bu enerji türüne yapılacak yatırımlar hem ekonomik büyümeyi destekleyecek hem de çevresel sürdürülebilirlik hedefine katkı sağlayacaktır. Jeotermal enerjinin daha geniş bir ölçekte kullanılabilmesi için gerekli altyapı yatırımları ve teknolojik yenilikler, ülkemizin enerji bağımsızlığı yolunda önemli adımlar atmasını sağlayacaktır (Tosun, 2018).

2.3.7. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen enerjisi, dünya genelinde yenilenebilir enerji alanında büyük bir potansiyele sahip olarak görülmekte ve gelecekte enerji arz güvenliğini sağlama yolunda önemli bir çözüm olarak kabul edilmektedir. Atmosferde serbest halde bulunmayan hidrojen, suyun ve diğer bileşiklerin yapısında bulunan bir elementtir

ve çeşitli yöntemlerle saflaştırılarak enerji üretiminde kullanılabilir hale getirilmektedir. Hidrojen, kimyasal sembolü H olan ve atom numarası 1 olan en hafif elementtir. Renksiz, kokusuz ve yanıcı özelliklere sahip olan hidrojen, enerji yoğunluğu oldukça yüksek bir yakıttır. Bir kilogram hidrojenin yanmasıyla elde edilen enerji, benzine göre yaklaşık üç kat daha fazladır. Hidrojen, içten yanmalı motorlarda veya yakıt hücrelerinde doğrudan yakılarak enerji elde edilmesine olanak tanır. Ayrıca, hidrojenin yanma ürünü olarak yalnızca su ortaya çıkması, onu temiz bir enerji kaynağı haline getirmektedir (Dincer & Acar, 2015).

Hidrojenin enerji olarak kullanılabilir hale getirilmesi için çeşitli üretim yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler, genellikle hidrojenin elde edildiği kaynağa ve üretim sürecinin çevresel etkilerine göre sınıflandırılmaktadır. Başlıca hidrojen üretim yöntemleri arasında buhar reformasyonu, elektroliz, biyolojik üretim yöntemleri ve termo-kimyasal süreçler yer almaktadır (Balat & Kırtay, 2010). Buhar reformasyonu, elektroliz, biyolojik üretim ve termo-kimyasal süreçler gibi farklı hidrojen üretim yöntemleri, çevresel etkileri ve verimlilikleri bakımından çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bu yöntemler arasında buhar reformasyonu, günümüzde en yaygın kullanılan hidrojen üretim tekniğidir (Hallenbeck & Benemann, 2002).

- Buhar reformasyonu, günümüzde en yaygın kullanılan hidrojen üretim yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, doğal gaz gibi fosil yakıtlar yüksek sıcaklıkta buhar ile reaksiyona sokularak hidrojen açığa çıkarılır. Ancak, bu yöntem sırasında karbon dioksit (CO₂) emisyonları olduğu için çevresel açıdan sürdürülebilir bir çözüm olarak değerlendirilemez (Balat & Kırtay, 2010).
- Elektroliz, suyun elektrik yardımıyla hidrojen ve oksijen gazlarına ayrılması sürecidir. Bu yöntem, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre edildiğinde karbon ayak izini azaltmaktadır. Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan elektroliz üniteleri, hidrojenin çevreye zarar vermeyen bir şekilde üretilmesini sağlar (Züttel et al., 2010).
- Biyolojik hidrojen üretimi, bazı mikroorganizmaların fotosentez veya fermantasyon süreçleri sırasında hidrojen gazı üretmesi ile

gerçekleştirilir. Bu yöntemde kullanılan mikroorganizmalar, doğada bol miktarda bulunan organik maddeleri veya biyokütleyi ayrıştırarak hidrojen üretir. Ancak, bu yöntem henüz ticari ölçeklerde uygulanabilir hale gelmemiştir (Hallenbeck & Benemann, 2002).

Hidrojen, enerji sektöründe çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. En yaygın kullanım alanları arasında taşımacılık, elektrik üretimi ve ısınma yer almaktadır. Ayrıca, hidrojen sanayi süreçlerinde de önemli bir role sahiptir.

- Taşımacılık sektörü, enerji tüketimi ve karbon emisyonları açısından önemli bir sektör olup, hidrojenin burada kullanımı büyük bir potansiyele taşır. Yakıt hücreli araçlar, hidrojen kullanarak elektrik üretir ve bu elektrik ile motoru çalıştırır. Bu sistemin en büyük avantajı, egzoz emisyonlarının sıfır olmasıdır; yanma sonucu yalnızca su açığa çıkar (Staffell et al., 2019).
- Hidrojen, elektrik üretiminde de önemli bir potansiyele sahiptir. Hidrojen enerjisi, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili doğasının giderilmesi için enerji depolama alanında kullanılmaktadır. Hidrojen, fazla yenilenebilir enerjiyle elektroliz yoluyla üretilerek depolanabilir ve ihtiyaç duyulduğunda tekrar enerjiye dönüştürülebilir (Brouwer, 2010).
- Sanayi sektörü, hidrojenin geleneksel olarak en fazla kullanıldığı alanlardan biridir. Kimya endüstrisinde amonyak üretimi, metal sanayisinde indirgeme süreçleri ve rafinerilerde hidrokraking gibi işlemler için hidrojen kullanımı yaygındır. Gelecekte, bu sektörlerde hidrojenin fosil yakıtlara alternatif olarak daha yaygın kullanılması öngörülmektedir (Pivovarov et al., 2018).

Hidrojen enerjisi, çevresel etkileri bakımından oldukça avantajlı bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında hidrojenin yanması sonucu karbon emisyonları açığa çıkmadığı için iklim değişikliğine olumsuz katkısı yoktur. Ancak, hidrojen üretim yöntemlerinin çevresel etkileri üretim sürecine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, fosil yakıtlardan elde edilen hidrojenin karbon ayak izi oldukça yüksekken, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen hidrojenin çevresel etkileri minimaldir (Schmidt et al., 2017).

Ekonomik açıdan hidrojen enerjisi, maliyet açısından fosil yakıtlarla henüz rekabet edebilir seviyede değildir. Ancak, hidrojen üretim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ve yenilenebilir enerji maliyetlerinin düşmesiyle birlikte hidrojenin ekonomik açıdan cazip hale gelmesi beklenmektedir. Bu noktada, hükümet destekleri, vergi teşvikleri ve enerji politikaları da hidrojenin ekonomik yaygınlaşmasında kritik bir rol oynamaktadır (IEA, 2019).

Hidrojen enerjisi, özellikle enerji arz güvenliği sağlama, karbon emisyonlarını azaltma ve yenilenebilir enerji kullanımını artırma hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Hidrojenin enerji sistemlerine entegrasyonu, sürdürülebilir bir enerji geleceği için vazgeçilmez bir adım olarak değerlendirilmektedir. Birçok ülke, hidrojen teknolojilerine yatırım yaparak bu alanda lider olmayı hedeflemektedir. Japonya, Almanya ve Güney Kore gibi ülkeler hidrojen enerjisine yönelik stratejik planlar geliştirmekte ve altyapı çalışmalarını hızlandırmaktadır (IEA, 2019).

Hidrojen enerjisi, enerji sektöründe sürdürülebilirlik sağlamak ve fosil yakıt bağımlılığını azaltmak için umut vaat eden bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Özellikle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birlikte kullanıldığında, çevresel ve ekonomik faydaları daha da artmaktadır. Ancak, hidrojen enerjisi teknolojilerinin yaygınlaşması için öncelikle maliyetlerin düşürülmesi ve üretim süreçlerinin çevre dostu hale getirilmesi gerekmektedir. Gelecekte, hidrojenin enerji sistemlerindeki rolünün artması, temiz ve sürdürülebilir bir dünya için önemli bir adım olacaktır (IEA, 2019).

2.3.8. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi, organik maddelerden enerji elde edilmesi sürecine verilen addır. Bu organik maddeler; bitkiler, hayvan atıkları, orman ürünleri ve tarımsal atıklar gibi doğal kaynaklardan elde edilmektedir (Demirbaş, 2021). Bitkiler, fotosentez yoluyla güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek biyokütle oluşturur. Bu biyokütle, yakıldığında veya işlenerek biyoyakıt haline getirildiğinde enerji sağlar. Diğer bir deyişle, biyokütle enerjisi doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisinden elde edilen bir enerji formudur.

Biyokütle enerjisi farklı formlarda elde edilebilmektedir. Bu formlar şunlardır:

- Odun, ağaç kabukları, tarımsal bitkiler ve organik atıklar gibi katı maddelerden elde edilir. Özellikle kırsal alanlarda ısınma amacıyla odun kullanımı yaygındır (Kara & Aydın, 2020).
- Bitkisel yağlar, biyodizel ve biyoetanol gibi sıvı formlar biyokütlenin işlenmesi sonucu elde edilir. Sıvı biyoyakıtlar özellikle taşıma sektöründe fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılmaktadır.
- Hayvansal atıklar, bitkisel atıklar ve çamur gibi organik maddelerin fermantasyon yoluyla ayrıştırılması sonucu oluşan gaz karışımıdır. Biyogaz, özellikle elektrik üretimi ve ısınma amaçlı olarak kullanılabilir.

Biyokütle enerjisinin kullanım alanları oldukça geniştir. En yaygın kullanım alanları şunlardır:

- Katı biyokütle kaynakları, doğrudan yakılarak veya biyogaz dönüşümü yoluyla elektrik ve ısı enerjisi sağlamak için kullanılır. Özellikle kırsal alanlarda biyokütle enerjisi geleneksel olarak ısınma amacıyla kullanılmaktadır.
- Sıvı biyoyakıtlar, fosil yakıtlar yerine taşıma sektöründe kullanılabilir. Özellikle biyoetanol ve biyodizel, çevre dostu alternatifler olarak ön plana çıkmaktadır (Akbaş, 2019).
- Tarımsal atıklar, organik gübre olarak kullanılırken aynı zamanda enerji kaynağı olarak da değerlendirilebilir. Ayrıca bazı sanayi tesisleri, biyokütle kaynaklarından elde edilen enerji ile işletmelerini sürdürebilir (Akbaş, 2019).

Biyokütle enerjisi, fosil yakıt kullanımına göre çevreye daha az zarar verir. Fosil yakıtların yanması sonucunda atmosfere salınan karbondioksit, sera gazı etkisine neden olarak iklim değişikliğine katkıda bulunur. Biyokütle enerjisi ise bu açıdan daha çevre dostudur. Çünkü biyokütle kaynakları doğal yaşam döngüsünün bir parçası olup, biyokütle üretimi sırasında emilen karbondioksit ile yanma sırasında salınan karbondioksit dengelenir (Çolak & Erdoğan, 2022).

Ancak biyokütle enerjisi tamamen zararsız değildir.

Biyokütle enerjisinin başlıca avantajları ve dezavantajları şu şekilde özetlenebilir:

Avantajları:

- Biyokütle kaynakları doğada kendiliğinden yenilenebilir özellikte olup, sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır.
- Fosil yakıtlara kıyasla karbon salınımı daha düşüktür, bu da iklim değişikliğiyle mücadelede önemlidir.
- Yerel biyokütle kaynaklarının kullanımı, dışa bağımlılığı azaltır ve bölgesel ekonomilere katkı sağlar (Yıldız, 2020).

Dezavantajları:

- Kontrolsüz biyokütle üretimi orman tahribatına yol açabilir.
- Fosil yakıtlara kıyasla enerji verimliliği daha düşüktür, bu da daha fazla biyokütle kullanımı gerektirir.
- Özellikle biyogaz ve biyoyakıt üretimi için gerekli teknoloji ve altyapı yüksek maliyetlidir (Yıldız, 2020).

Biyokütle enerjisi, fosil yakıtların çevresel etkilerini azaltma potansiyeline sahip bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak önemlidir. Bu enerji türü, enerji arz güvenliğini sağlama ve iklim değişikliğiyle mücadele çabalarında önemli bir yere sahiptir. Ancak, biyokütle enerjisi kullanımında sürdürülebilirlik ilkelerine uygun hareket edilmesi gerekmektedir. Tarım, orman ve su kaynakları üzerindeki baskının azaltılması, biyokütle enerjisi kullanımının çevresel etkilerini minimuma indirmek için gereklidir. Bu bağlamda, biyokütle enerjisi, dikkatli yönetildiğinde hem ekonomik hem de ekolojik açıdan değerli bir enerji kaynağı olma potansiyeline sahiptir (Yıldız, 2020).

2.4. Yenilenemeyen (Tükenebilir) Enerji

Artan enerji talebinin büyük bir bölümü hala fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Ancak, son dönemlerde enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve ihtiyaçların karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji ile nükleer enerjiye yönelim hız kazanmıştır (Arı, 2023).

Petrol, doğal gaz, kömür, uranyum ve toryum gibi enerji kaynakları, sınırlı rezervlere sahip olmaları ve sayısal verilerle ifade edilebilmeleri nedeniyle tükenme riski taşıyan enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtların oluşum süreci, milyonlarca yıl süren karmaşık doğal süreçlerin bir sonucudur (İnan vd., 2018). Yaşamını yitiren

canlılar, belirli fiziksel koşullar altında toprak, çamur veya kum gibi materyallerle örtülür ve hava ile temasları kesilir. Bu kalıntılar, uzun süre boyunca bozulmadan kalarak zamanla yer kabuğunda katılaşır ve fosil hale gelir diğer fosil yakıtlara dönüşür. Bu dönüşüm, milyonlarca yıllık bir zaman dilimi gerektirdiğinden, fosil yakıtların yenilenebilirliği pratikte mümkün değildir. Dolayısıyla, bu enerji kaynaklarının artan kullanımı, tükenme riskini hızlandırmaktadır. Ancak, çok uzun jeolojik zaman dilimleri göz önüne alındığında, teorik olarak bu kaynakların yeniden oluşumu mümkündür. Bu durum, fosil yakıtların sürdürülebilir enerji kaynakları olarak değerlendirilemeyeceğini bir kez daha ortaya koymaktadır (İnan vd., 2018).

2.4.1. Fosil Yakıtlar

Günümüz dünyasında enerji ihtiyacı, sanayileşme, kentleşme ve teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak hızla artmaktadır. Enerji, modern yaşamın sürdürülebilirliği için kritik bir unsurdur. Ancak, bu enerjinin büyük bir kısmı hâlâ fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtlar; kömür, petrol ve doğalgaz gibi milyonlarca yıl önce organik maddelerin yer altında yüksek basınç ve sıcaklık etkisiyle dönüşümü sonucunda oluşan yakıtlardır (Demirbaş, 2010). Ancak, fosil yakıtların kullanımı hem çevresel hem de ekonomik açıdan birçok sorun yaratmaktadır.

Fosil yakıtların keşfi ve kullanımı, Sanayi Devrimi ile birlikte büyük bir hız kazanmıştır. Özellikle kömür, 18. yüzyıldan itibaren buhar makinelerinin çalıştırılmasında ve fabrikaların enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında temel yakıt kaynağı olarak kullanılmıştır. Daha sonra 20. yüzyılda petrol ve doğalgaz, enerji üretiminde ve ulaşım sektöründe ön plana çıkmıştır (Yergin, 2008). Günümüzde fosil yakıtlar, küresel enerji ihtiyacının yaklaşık %80'ini karşılamaktadır (IEA, 2021). Ancak, bu durumun sürdürülebilirliği giderek sorgulanmakta ve fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar daha fazla gündeme gelmektedir.

Fosil yakıtların yanması, büyük miktarlarda karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazlarının atmosfere salınmasına neden olmaktadır. Bu gazlar, atmosferde birikerek küresel ısınmaya yol açmakta ve iklim değişikliğinin başlıca sebeplerinden biri olarak kabul edilmektedir (IPCC, 2014). Fosil yakıt kullanımı

aynı zamanda hava, su ve toprak kirliliğine de neden olur. Örneğin, kömürle çalışan termik santrallerden yayılan kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksitler (NO₂), asit yağmurlarına yol açarak ormanları ve su kaynaklarını olumsuz etkilemektedir (Harrison, 2019). Petrol sızıntıları da deniz ekosistemlerine ciddi zararlar vermektedir. Örneğin, 2010 yılında Meksika Körfezi'nde meydana gelen BP Deepwater Horizon petrol sızıntısı, bölgedeki deniz yaşamını büyük ölçüde olumsuz etkilemiştir (Jernelöv, 2010). Bu tür olaylar, fosil yakıtların sadece atmosferik değil, aynı zamanda ekosistemler üzerinde de ciddi etkileri olduğunu göstermektedir.

Fosil yakıtların üretimi ve tüketimi, ekonomik büyümenin önemli bir unsuru olsa da aynı zamanda büyük maliyetler de getirmektedir. Fosil yakıtların fiyatları genellikle dalgalıdır ve bu durum, enerji piyasalarında istikrarsızlığa yol açabilir. Özellikle petrol ve doğalgazın fiyatlarındaki ani artışlar, enerji ithalatına bağımlı ülkeler için büyük ekonomik krizlere sebep olabilir (Hamilton, 2013). Ayrıca, fosil yakıtların çıkarılması sırasında meydana gelen çevresel tahribat ve halk sağlığına zararlar, toplumsal huzursuzlukları tetikleyebilir. Fosil yakıtların çıkarılması sırasında yerel toplulukların yaşam alanları zarar görebilir ve bu durum toplumsal huzursuzluklara yol açabilir. Örneğin, Nijerya'daki petrol çıkarma faaliyetleri, bölgedeki çevresel tahribat ve yerel halkın ekonomik sorunlar yaşamasına sebep olmuştur (Watts, 2004).

Günümüzde fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve çevresel etkileri en aza indirmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş önem kazanmaktadır. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir bir enerji geleceği için büyük bir potansiyele sahiptir (Ellabban, Abu-Rub & Blaabjerg, 2014). Bu enerji kaynakları, fosil yakıtların aksine sınırsızdır ve çevreye zarar vermeden enerji üretebilirler. Örneğin, güneş enerjisi teknolojileri, son yıllarda maliyetlerin düşmesi ve verimliliklerin artması ile daha erişilebilir hale gelmiştir (IRENA, 2021). Ayrıca, elektrikli araçlar ve enerji depolama teknolojilerindeki gelişmeler, fosil yakıtların kullanımını azaltmak için umut verici çözümler sunmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşması, ulaşım sektöründeki petrol tüketimini azaltarak sera gazı emisyonlarını düşürebilir (IEA, 2021). Ancak, bu geçişin başarılı olabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan

yatırımların artırılması ve fosil yakıt teşviklerinin kademeli olarak azaltılması gerekmektedir.

Fosil yakıtların sınırlı bir kaynak olması ve çevresel etkileri göz önünde bulundurulduğunda, bu enerji kaynaklarının geleceği belirsizdir. Birçok ülke, Paris Anlaşması gibi uluslararası anlaşmalar çerçevesinde fosil yakıt kullanımını azaltmayı taahhüt etmiştir (UNFCCC, 2015). Ancak, fosil yakıtlardan tamamen vazgeçmek, özellikle fosil yakıt rezervlerine bağımlı ekonomiler için büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Enerji geçişinin hızlandırılması, enerji verimliliğinin artırılması ve karbon emisyonlarının azaltılması için yenilikçi politikalar gerekmektedir. Örneğin, Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar karbon nötr olma hedefi, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerjiye geçişi teşvik etmektedir (European Commission, 2019).

Fosil yakıtlar, modern toplumların enerji ihtiyacını karşılamada büyük bir rol oynamış olsa da artık sürdürülebilir bir enerji geleceği için ciddi engeller teşkil etmektedir. Fosil yakıtların çevresel ve toplumsal maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, yenilenebilir enerjiye geçişin hızlandırılması hayati önem taşımaktadır. Enerji politikalarında yapılacak köklü değişiklikler ve yenilikçi teknolojilere yapılacak yatırımlar, fosil yakıtların yerini alabilecek daha temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının önünü açacaktır (European Commission, 2019).

2.4.2. Nükleer Enerji

Nükleer enerji, dünya çapında enerji talebinin artmasıyla birlikte sıkça tartışılan bir konu haline gelmiştir. Günümüzde, iklim değişikliği ve fosil yakıtların tükenme riski gibi faktörler, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu noktada, nükleer enerji, düşük karbon salınımı ve yüksek enerji verimliliği ile öne çıkmaktadır. Ancak, bu enerji türü çevresel, ekonomik ve güvenlik açısından birçok tartışmayı da beraberinde getirmektedir. Nükleer enerjinin tarihi, 20. yüzyılın başlarına kadar uzanır. 1930'larda Alman fizikçi Otto Hahn ve ekibi, uranyum atomunun parçalanması (füzyon) ile büyük miktarda enerji açığa çıkabileceğini keşfetmiştir (World Nuclear Association, 2023). Bu buluş, İkinci Dünya Savaşı sırasında Manhattan Projesi ile birlikte nükleer teknolojinin askeri alanda kullanılmasına yol açmıştır. Savaşın ardından, nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanımı gündeme gelmiş ve ilk ticari nükleer reaktör 1956'da

İngiltere'de devreye alınmıştır (IAEA, 2023). Bugün, dünya genelinde 30'dan fazla ülkede yaklaşık 440 nükleer reaktör faaliyet göstermektedir.

Nükleer enerji, fosil yakıtlara kıyasla oldukça düşük karbon salınımına sahiptir. Bir nükleer santral, aynı miktarda elektrik üretmek için kömür santrali gibi fosil yakıt kaynaklarına kıyasla çok daha az sera gazı salınımı yapar (IEA, 2021). Bu durum, iklim değişikliğiyle mücadelede nükleer enerjinin önemli bir araç olabileceğini göstermektedir. Nükleer santraller, diğer enerji kaynaklarına göre daha yüksek verimlilikle çalışır. Örneğin, 1 kilogram uranyum, yaklaşık 20 ton kömür veya 10.000 varil petrole eşdeğer enerji üretebilir (Ritchie & Roser, 2020). Bu yüksek verimlilik, enerji arzını güvence altına almanın yanı sıra kaynak kullanımını da optimize etmektedir. Nükleer santraller, hava durumu veya gün ışığı gibi dış faktörlerden etkilenmeden sürekli enerji üretebilir. Bu durum, özellikle güneş veya rüzgâr enerjisinin kesintili doğasına karşı önemli bir avantaj sağlamaktadır. Nükleer enerji, baz yük enerjisi olarak adlandırılan sürekli elektrik talebini karşılamak için ideal bir seçenektir (World Nuclear Association, 2023).

Nükleer enerjinin en büyük dezavantajlarından biri, radyoaktif atıkların uzun süreli depolanması ve bertaraf edilmemesidir. Yüksek seviyede radyoaktif atıkların binlerce yıl boyunca tehlikeli kalabileceği göz önünde bulundurulduğunda, bu atıkların güvenli bir şekilde depolanması büyük bir sorundur (Greenpeace, 2023). Günümüzde bu atıkların büyük bir kısmı, yer altındaki derin depolama alanlarında saklanmaktadır. Nükleer santrallerin inşa edilmesi, büyük bir sermaye gerektirir ve inşaat süreleri oldukça uzundur. Örneğin, ortalama bir nükleer santralin inşası 5 ila 10 yıl sürebilir ve milyarlarca dolara mal olabilir (Schneider & Froggatt, 2021). Ayrıca, işletme süresince bakım ve güvenlik maliyetleri de oldukça yüksektir. Nükleer enerji, güvenlik açısından ciddi riskler barındırmaktadır. Çernobil (1986) ve Fukushima (2011) kazaları, nükleer santrallerin potansiyel tehlikelerini gözler önüne sermiştir. Bu tür kazalar hem çevreye hem de insan sağlığına ciddi zararlar verebilir. Ayrıca, nükleer santraller terörist saldırılar için potansiyel hedefler olarak da değerlendirilmektedir (IAEA, 2023).

Nükleer enerji, enerji arz güvenliği açısından birçok ülke için stratejik bir öneme sahiptir. Ancak, ekonomik olarak değerlendirdiğimizde, nükleer santrallerin

yüksek başlangıç maliyetlerine rağmen uzun vadede düşük işletme maliyetlerine sahip olduğu görülmektedir (IEA, 2021). Bu durum, özellikle enerji ithalatına bağımlı olan ülkeler için cazip bir seçenek olabilir. Çevresel açıdan bakıldığında, nükleer enerji fosil yakıtlara kıyasla daha temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilse de radyoaktif atık sorunu, ekosistemler üzerinde uzun vadeli olumsuz etkiler yaratabilir. Ayrıca, santrallerde kullanılan soğutma sistemleri, su kaynaklarının aşırı kullanımına ve termal kirliliğe neden olabilir (Ritchie & Roser, 2020).

Nükleer enerji, gelecekte yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte daha sürdürülebilir bir enerji politikası oluşturmak için önemli bir rol oynayabilir. Özellikle küçük modüler reaktörler (SMR'ler) ve füzyon enerjisi gibi yeni teknolojiler, nükleer enerjinin potansiyelini artırmaktadır. SMR'ler, daha düşük kurulum maliyetleri ve esnek enerji üretim kapasitesi ile dikkat çekmektedir (World Nuclear Association, 2023). Öte yandan, nükleer füzyon, potansiyel olarak sınırsız ve temiz bir enerji kaynağı sunmaktadır. Ancak, bu teknolojinin ticari olarak uygulanabilir hale gelmesi için hala birçok teknik engel bulunmaktadır (Schneider & Froggatt, 2021). Gelecekte, nükleer enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları ile birleştirilerek daha dengeli bir enerji portföyü oluşturulması beklenmektedir.

Nükleer enerji, temiz enerji üretimi açısından büyük potansiyele sahip olmasına rağmen, beraberinde getirdiği riskler ve maliyetler nedeniyle tartışmalı bir konudur. İklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç olabileceği düşünülse de güvenlik, atık yönetimi ve yüksek maliyet gibi sorunların çözülmesi gerekmektedir. Gelecekte, yenilikçi teknolojilerin gelişimi ve güvenlik önlemlerinin artırılması, nükleer enerjinin daha geniş bir kabul görmesini sağlayabilir (World Nuclear Association, 2023).

2.5. Harcama, Maliyet ve Gider Kavramları

2.5.1. Harcama Kavramı

Girişimciler, mal veya hizmet üretimi ya da tedariki sırasında çeşitli harcamalarda bulunurlar. Harcama, sözlük anlamıyla bir varlık edinmek, bir hizmet sağlamak veya bir zararı gidermek amacıyla gerçekleştirilen borçlanma, ödeme ya da varlık transferi işlemidir (Altuğ, 2001). Daha geniş bir ifadeyle, harcama, bir varlık edinmek, hizmet sunmak, zararı önlemek ya da işletmenin faaliyetlerini

sürdürmek için üstlenilen yükümlülüklerin yerine getirilmesi amacıyla yapılan tüm ödemeler ve borçlanmalardır (Akdoğan, 2004). Bu kapsamda, harcamalar, işletmenin mali yapısına ve işlevselliğine doğrudan etki eden temel unsurlar arasında yer alır. Çalışmada enerji üretiminin maliyet hesaplamaları yapıldığından, harcama kavramının da anlaşılması önemlidir. Bu bağlamda, enerji üretiminde hem santral kurulumunda hem de üretim sürecinde çeşitli harcamalar yapılmaktadır. Kâr-zarar hesaplaması yapabilmek için bu harcamaların doğru bir şekilde bilinmesi gerekmektedir (Bapbacı ve Akdemir, 2024).

Santralin üretiminde arsa temini, teçhizat satın alma gibi giderler olduğu gibi zaman içinde çeşitli harcamalar olabilmektedir. İlk kurulum maliyeti ve sürecinde harcanan para ile elde edilen enerji miktarını karşılaştırmak suretiyle bir maliyet hesaplaması yapılmıştır (Bapbacı ve Akdemir, 2024).

2.5.2. Maliyet Kavramı

Maliyet, genel anlamda bir mal veya hizmetin üretimi için gerekli olan kaynakların parasal ifadesidir (Horngren vd., 2015). İşletmeler, belirli bir malı veya hizmeti üretirken çeşitli maliyet kalemleriyle karşılaşır. Bu maliyetler, ham madde maliyetlerinden işçilik maliyetlerine, makine bakımlarından genel giderlere kadar çeşitlilik gösterir. Bu nedenle maliyetlerin doğru bir şekilde sınıflandırılması ve takip edilmesi, işletme yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir. Maliyetler, farklı sınıflandırmalar altında ele alınabilir. Genel olarak maliyet türleri, sabit ve değişken maliyetler, doğrudan ve dolaylı maliyetler şeklinde kategorize edilir (Drury, 2018).

Öte yandan, değişken maliyetler, üretim miktarı ile birlikte artan veya azalan maliyetlerdir. Ham madde giderleri, üretim hacmine bağlı işçilik ücretleri ve üretim sürecinde kullanılan enerji maliyetleri bu tür maliyetler arasında yer alır (Garrison, Noreen & Brewer, 2017). Doğrudan maliyetler, bir ürün veya hizmetin üretimine doğrudan atanabilen maliyetlerdir. Örneğin, belirli bir ürün için kullanılan ham madde maliyetleri, doğrudan maliyetlere örnek olarak verilebilir (Horngren et al., 2015). Dolaylı maliyetler ise belirli bir ürün ya da hizmete doğrudan atanamayan, ancak genel olarak üretim sürecinin bir parçası olan

maliyetlerdir. Örneğin, fabrikada kullanılan elektrik veya fabrika müdürünün maaşı dolaylı maliyetler olarak kabul edilir.

Sabit maliyetler, belirli bir süre için değişmeyen, üretim seviyesine bağlı olmayan maliyetlerdir. Örneğin, bir fabrikanın kira gideri sabit bir maliyettir çünkü üretim arttıkça ya da azaldıkça bu maliyet değişmez (Drury, 2018). Ancak, üretim hacmi belirli bir seviyenin üzerine çıktığında, sabit maliyetlerde de artış görülebilir. Buna yarı sabit maliyetler denir. Maliyetler, işletmelerin stratejik karar alma süreçlerinde kritik bir role sahiptir. İşletmeler, maliyet analizleri sayesinde hangi ürünlerin kârlı olduğunu, hangi ürünlerden zarar ettiğini belirleyebilirler (Hilton & Platt, 2014). Ayrıca, maliyetlerin doğru bir şekilde hesaplanması, fiyatlandırma stratejilerinin oluşturulmasında da önemli bir faktördür. İşletmeler, maliyetleri düşürmek ve kâr marjını artırmak için çeşitli maliyet yönetimi teknikleri kullanır.

İşletmeler, rekabet avantajı elde edebilmek için maliyetlerini minimize etmeye çalışırlar. Bu doğrultuda, yalın üretim, toplam kalite yönetimi (TQM) ve sürekli iyileştirme gibi yönetim yaklaşımları benimsenir (Kaplan & Atkinson, 2015). Ayrıca, maliyetlerin kontrol altına alınması, finansal planlamada ve bütçeleme süreçlerinde büyük bir rol oynar. CVP (Cost-Volume-Profit) analizi, işletmelerin maliyet yapısı ile kârlılık arasındaki ilişkiyi anlamalarına yardımcı olur. Bu analiz, bir ürünün hangi satış seviyesinde kâra geçeceğini belirlemeye yönelik hesaplamaları içerir (Garrison et al., 2017). Sabit maliyetler, değişken maliyetler ve satış fiyatı gibi faktörler dikkate alınarak yapılan CVP analizi, işletmelerin kâr marjlarını artırmaları için stratejik kararlar almalarına yardımcı olur.

Maliyetlerin doğru bir şekilde hesaplanması, işletmelerin finansal performansını artırmak için oldukça önemlidir. Bu amaçla, işletmeler tarafından kullanılan bazı maliyet hesaplama yöntemleri şunlardır:

- Geleneksel maliyetleme sistemi, maliyetlerin üretim hacmine dayalı olarak dağıtılmasını içerir (Drury, 2018). Ancak bu yöntem, dolaylı maliyetlerin doğru bir şekilde tahsis edilmesinde yetersiz kalabilir, çünkü yalnızca üretim hacmi dikkate alınarak maliyetler hesaplanır.
- Faaliyet tabanlı maliyetleme (Activity-Based Costing, ABC) yöntemi, maliyetlerin faaliyetlere dayalı olarak tahsis edilmesini sağlar. ABC

sistemi, özellikle karmaşık üretim süreçlerine sahip olan işletmeler için daha doğru sonuçlar verir (Kaplan & Atkinson, 2015). Bu yöntemde, her bir faaliyet için ayrı maliyet havuzları oluşturularak, maliyetlerin doğru bir şekilde dağıtılması amaçlanır.

2.5.3. Gider Kavramı

Gider, bir işletmenin faaliyetlerini sürdürmesi için bir muhasebe dönemi içinde kullanılan veya tüketilen varlık ve hizmetlerin parayla ölçülen bedelidir (Büyükmirza, 1995). Diğer bir tanıma göre ise gider, "bir iş için harcanan paranın tamamı; masraf" olarak ifade edilebilir (TDK, 2024). Her işletme faaliyetlerinin farklı yönleri ve yapısına bağlı olarak çeşitli birimlerden oluşur. Bunun nedeni, üretim sürecinin uzun bir dönem içinde gerçekleşmesi ve buna bağlı olarak maliyetlendirme işlemlerinin karmaşık bir hal almasıdır. Üretim sürecini düzenli bir şekilde izlemek ve maliyetlendirme çalışmalarını daha kolay ve güvenilir hale getirmek amacıyla işletmeler, giderlerini belirli esaslar doğrultusunda farklı gider kalemlerine ayırırlar (Bilginoglu, 1981; Susmuş, 2008).

2.6. Enerji Kaynakları ve Ekonomi

Sürdürülebilir kalkınma kavramının önemi arttıkça, dünya genelindeki birçok ekonomi, yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır. Modern sürdürülebilir enerji üretim sistemlerinin, çevreyi koruma faydalarının yanı sıra, istihdam fırsatlarının artması, ticaret açığının azalması ve ekonomik büyümenin hızlanması gibi makroekonomik avantajlar da sunduğu belirtilmektedir (İkiz, 2021).

Enerji, tarih boyunca ülkelerin en temel kaynaklarından biri olmuştur. Ekonomik kalkınmanın ilk aşamalarında birçok ekonomide tarımsal faaliyetler ön planda yer alırken, endüstrileşme sürecinin başlamasıyla enerji, sanayinin itici gücü ve lokomotifine haline gelmiştir. Enerjinin yoğun bir şekilde kullanılması, toplam üretimi artırmış ve yaşam standardını yükseltmiştir (Yarman, 2011; Aydın, 2010).

Enerji, klasik iktisatçılardan günümüze kadar pek çok ekonomistin üzerinde durduğu önemli bir konudur. Enerji, bireysel tüketim açısından evlerin ısınmasını ve otomobillerin çalışmasını sağlayan bir araç olmasının yanı sıra, ekonominin üretken sektörleri için temel bir girdi olarak da kritik bir rol oynamaktadır. Bu çift

yönlü işleviyle enerji, hem üretim sürecinde kullanılan bir girdi hem de nihai tüketim malları ve hizmetleri aracılığıyla ortaya çıkan bir çıktı olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla, enerjinin ekonomik sistemlerdeki bu çift yönlü etkisi, onun stratejik önemini daha da artırmaktadır (Akdoğan, 2018). Günümüz ekonomisinde enerji kaynakları, temel bir itici güç olarak kabul edilmektedir. Ulaşım ve sanayi gibi pek çok alanda enerji kaynaklarının yokluğunda faaliyetlerin sürdürülmesi mümkün değildir. Dolayısıyla enerji ihtiyacının düşük maliyetle karşılanması, ekonomik süreçlerin daha kolay işlemesine katkı sağlar. Enerjiye uygun maliyetlerle ulaşmanın en etkili yolu ise yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılmasıdır. Teknolojik gelişmeler ve altyapıların iyileştirilmesiyle daha ekonomik enerji temini mümkün hale gelebilmektedir (Öymen, 2020).

2.7. Güneş Enerjisinin Avantajları

Güneş panellerinden elde edilen enerji maliyeti halen yüksek seviyelerde olsa da, daha etkin panel tasarımları, kitlesel üretim olanakları ve fosil yakıt maliyetlerindeki artış gibi faktörlere bağlı olarak maliyetler giderek düşmekte ve gelecekte daha uygun seviyelere ulaşması beklenmektedir. Araştırmalar, enerji sistemlerinin yenilenebilir kaynaklara dönüşüm maliyetinin, uzun vadede fosil yakıt kullanımının maliyetinden daha düşük olacağını göstermektedir (Christopher Kick, 2020: Aktaran, Yılmaz, 2015).

- Güneş enerjisinin en büyük avantajı, diğer fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla, her alanda kullanılabilir olmasıdır. Bu enerji, en küçük birimden en büyük birime kadar hem ısı hem de elektrik üretimine olanak tanımaktadır (Doğan, 2019).
- Güneş, sürekli bir enerji kaynağı olarak dünyadaki enerji talebini 10.000 kat karşılayabilecek potansiyele sahip ve tükenmez bir kaynaktır. Bu nedenle yakıt tüketim masrafı bulunmamaktadır (Wang, C., Lu, Y., 2016: Aktaran, Doğan, 2019).
- Fotovoltaik sistemlerin tasarım süreçleri tamamlandıktan sonra, kurulumları oldukça kısa ve kolaydır.
- İşletme maliyetleri çok azdır.

- Fotovoltaik panellerin ortalama ömürleri uzun olup, uygun koşullarda 20 yıl kadar hizmet verebilirler.
- Bu sistemler, kurulu oldukları alanlarda gürültü kirliliği yaratmazlar.
- Enerji üretimi sırasında kaynağa bağlı olarak havaya zararlı gazlar, duman ya da emisyonlar yaymazlar; dolayısıyla temiz enerji kaynağıdır.
- Fosil yakıtlar gibi dışa bağımlılık gerektirmediği için ekonomik yatırım kazancı oldukça yüksektir (Doğan, 2019).

2.8. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu olmaları ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıları nedeniyle günümüzde büyük bir önem kazanmıştır. Ancak, bu enerji türlerinin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri yüksek yatırım maliyetleri ve teknik sınırlamalardır. Özellikle güneş enerjisi gibi kaynaklar, enerji üretiminde çevresel koşullara bağlı olarak dalgalanmalar yaşanmasına ve depolama ihtiyacının artmasına yol açmaktadır. Depolama teknolojilerinin maliyetli oluşu ve yerli üretimin yetersizliği, bu sistemlerde dışa bağımlılığı artıran faktörlerdendir. Ayrıca, güneş enerjisi sistemlerinin verimlilik oranları diğer enerji sistemlerine kıyasla daha düşük olup, bu durum yüzey, açı ve sıcaklık gibi değişkenlerden etkilenmektedir (Gençaslan, 2019).

Güneş enerjisi sistemlerinin en önemli dezavantajı, yüksek başlangıç yatırım maliyetleridir. Maliyetler zamanla belirli oranlarda azalsa da, yerli üretimin yetersizliği nedeniyle dışa bağımlılık sorunu devam etmektedir (Öztürk, 2020).

- Enerji üretimi, iklim ve mevsim koşulları ile gece ve gündüz sürelerine bağlı olarak dalgalanma göstermektedir. Sürekli üretim sağlanamaması, elektrik enerjisinin depolanması gerekliliğini doğurmakta, bu durum ise hem depolama maliyetlerini artırmakta hem de yeterli depolama kapasitesinin sağlanmasını zorlaştırmaktadır.
- Güneş enerjisi sistemlerinin verimlilik oranları, diğer enerji sistemlerine kıyasla daha düşüktür. Panel verimi, özellikle yüzey açısı, panelin bulunduğu ortamın sıcaklığı ve diğer çevresel faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir (Doğan, 2019).

2.9. Hidroelektrik Sistemlerinin Avantajları

Hidroelektrik santraller (HES), yenilenebilir enerji kaynakları arasında çevre dostu özellikleriyle öne çıkan önemli bir enerji üretim yöntemidir. Fosil yakıtlara ihtiyaç duymadan enerji üretimi sağlaması, çevreye zararlı emisyonların oluşmasını engelleyerek hava kirliliğiyle mücadelede etkili bir rol oynar. Hızlı devreye alınabilirliği ve acil durumlarda hızla devreden çıkarılabilir olması, HES'leri esnek ve güvenilir bir enerji kaynağı haline getirmektedir (Doğan ve Türkekul, 2016). Dışa bağımlılığın olmaması ve doğal kaynakların etkin kullanımı, bu sistemlerin sürdürülebilirlik açısından değerini artırırken, baraj göllerinin tarım sulaması, içme suyu temini ve taşkın kontrolü gibi çok yönlü faydaları da bulunmaktadır. Bu özellikler, HES'lerin uzun ömürlü ve güvenilir bir enerji kaynağı olmasını sağlamaktadır (Güner, 2020).

- Elektrik enerjisi üretiminde herhangi bir yakıt kullanılmadığı için temiz, çevreye zarar vermeyen, zararlı maddeler içermeyen ve hava kirliliği oluşturmeyen bir enerji türüdür. Enerjiye ihtiyaç duyulduğunda hızlı bir şekilde devreye alınabilir ve acil durumlarda, su akışı kesildiğinde aynı hızla devreden çıkarılabilir.
- Hidroelektrik santraller (HES), dışa bağımlılığı olmayan, doğal kaynaklardan faydalanan enerji sistemleridir. Barajlar ve santraller uzun ömürlü yapılar olduğu için güvenilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilirler.
- HES'lerin kurulu olduğu baraj gölleri, yalnızca enerji üretimiyle sınırlı kalmayıp tarım arazilerinin sulanmasında, aşırı yağışların depolanmasında ve içme suyu temininde de kullanılabilir (Yaman vd., 2019).

2.10. Hidroelektrik Sistemlerinin Dezavantajları

Hidroelektrik santrallerin (HES) kurulumu oldukça maliyetli olup, inşaat süreci de genellikle uzun sürmektedir. Baraj gölleri üzerine inşa edildiklerinden, su seviyesinin azalması veya yağışın yetersiz olması durumunda enerji üretimi olumsuz etkilenebilir ya da tamamen durabilir. Hidroelektrik santrallerin (HES) çevresel etkileri fiziksel, biyolojik ve sosyal olmak üzere üç başlıkta incelenir

(Kelman vd., 2022). Fiziksel etkiler arasında baraj yapımıyla su altında kalan yerleşim alanları, tarım arazileri ve tarihi yapılar yer alır. Biyolojik etkiler, sucul yaşamın bozulması, balık göç yollarının kesilmesi ve ekosistemin dengesinin bozulması gibi sonuçlar doğurur. Sosyal etkiler ise halkın göç etmesi, ekonomik kayıplar yaşaması ve kültürel bağların zedelenmesi şeklinde kendini gösterir. Bu nedenle HES projeleri çevresel ve toplumsal etkiler dikkate alınarak planlanmalıdır (Ansar vd, 2020).

- Geniş alanların su altında kalması sonucu yerleşim yerleri, tarihi yapılar ve tarım arazileri zarar görür, bu durum ekosistemde ciddi bozulmalara yol açabilir.
- Barajlarda biriken su, içindeki organizmalar ve parazitler aracılığıyla sulama yoluyla toprağa geçebilir, bu da su kaynaklı hastalıkların yayılmasına neden olabilir.
- Su altında kalacak bölgelerde yaşayan insanların yerlerinden edilmesi, toplumsal sorunlara ve huzursuzluklara sebep olabilir (Yaman ve ark., 2019).

2.11. Doğu Anadolu Bölgesinde Hidroelektrik ve Güneş Enerjisi Potansiyeli

2.11.1. Doğu Anadolu Bölgesinde Su Potansiyeli ve Bulunan Hidroelektrik Enerji Santralleri

Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin su kaynakları açısından en zengin bölgelerinden biridir. Bölge, Fırat, Dicle, Aras ve Murat gibi büyük nehirlerin doğduğu yer olarak bilinir ve sahip olduğu su potansiyeli, enerji üretimi açısından büyük bir avantaj sunar. Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyelinin önemli bir kısmını barındıran bu bölge, enerji ihtiyacının sürdürülebilir kaynaklardan karşılanmasında kritik bir rol oynar (Öztürk & Kantar, 2022). Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin en yüksek rakıma sahip ve en çok yağış alan bölgelerinden biridir. Bölgenin ortalama rakımı 2.000 metreyi aşmakta olup, bu yüksek rakımlar yağış miktarını artırarak su kaynaklarının zenginleşmesine katkı sağlamaktadır (Demirtaş, 2021). Yıllık ortalama yağış miktarı Türkiye ortalamasının üzerindedir ve bu durum, nehirlerin debisinin yüksek olmasına olanak tanır.

Bölgedeki başlıca akarsular arasında Fırat, Dicle, Aras, Murat ve Karasu nehirleri bulunmaktadır. Özellikle Fırat ve Dicle nehirleri, Türkiye'nin en büyük nehirleri arasında yer almakta olup, Türkiye sınırları dışında Irak ve Suriye'ye de su sağlamaktadır. Bu nehirler, Doğu Anadolu Bölgesi'ni su kaynakları açısından stratejik bir konuma getirmektedir (Koç, 2023). Ayrıca, bölgedeki doğal göller ve baraj gölleri, tarım, içme suyu ve enerji üretimi gibi alanlarda kullanılabilecek geniş su kaynakları sunmaktadır.

Türkiye'nin toplam hidroelektrik potansiyeli, yıllık yaklaşık 433 milyar kilovatsaat (kWh) olarak tahmin edilmektedir. Bu potansiyelin yaklaşık %25-30'u Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup, bölgenin Türkiye'nin hidroelektrik enerji üretimindeki payı oldukça yüksektir (Erdoğan, 2023). Hidroelektrik enerji santralleri (HES), bölgedeki su kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımakta ve enerji ihtiyacının yerli kaynaklardan karşılanmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki hidroelektrik potansiyelin yüksek olmasının başlıca nedenleri arasında bölgenin topografik yapısı ve zengin su kaynakları yer alır. Özellikle yüksek eğimli akarsular, hidroelektrik enerji üretimi için uygun koşullar sunar. Nehirlerin akış hızının yüksek olması, hidroelektrik santrallerin verimliliğini artırmakta ve enerji üretim maliyetlerini düşürmektedir (Yıldırım & Demir, 2022).

Doğu Anadolu Bölgesi'nde birçok büyük hidroelektrik santral bulunmaktadır. Bu santraller, ülkenin enerji ihtiyacını karşılamak ve bölgenin ekonomik kalkınmasına katkıda bulunmak amacıyla kurulmuştur. Bölgedeki en büyük hidroelektrik santrallerden bazıları şunlardır:

- **Keban Barajı ve Hidroelektrik Santrali:** Fırat Nehri üzerinde yer alan Keban Barajı, Türkiye'nin en büyük barajlarından biridir ve 1.330 MW kurulu gücü ile önemli bir enerji kaynağıdır. 1974 yılında işletmeye açılan bu santral, Türkiye'nin hidroelektrik enerji üretim kapasitesinin %20'sine yakınına sahiptir (Ay, 2023).
- **Karakaya Barajı ve Hidroelektrik Santrali:** Yine Fırat Nehri üzerinde yer alan Karakaya Barajı, 1.800 MW kurulu gücü ile Keban Barajı'ndan sonra Türkiye'nin en büyük hidroelektrik santrallerinden

biridir. 1987 yılında tamamlanan bu santral, yıllık yaklaşık 7.500 milyon kWh enerji üretmektedir (Doğan, 2023).

- **Atatürk Barajı ve Hidroelektrik Santrali:** Türkiye'nin en büyük barajı olan Atatürk Barajı, Fırat Nehri üzerinde yer almakta ve 2.400 MW kurulu güce sahiptir. 1992 yılında işletmeye alınan bu santral hem enerji üretimi hem de tarımsal sulama açısından büyük öneme sahiptir (Güneş, 2023).

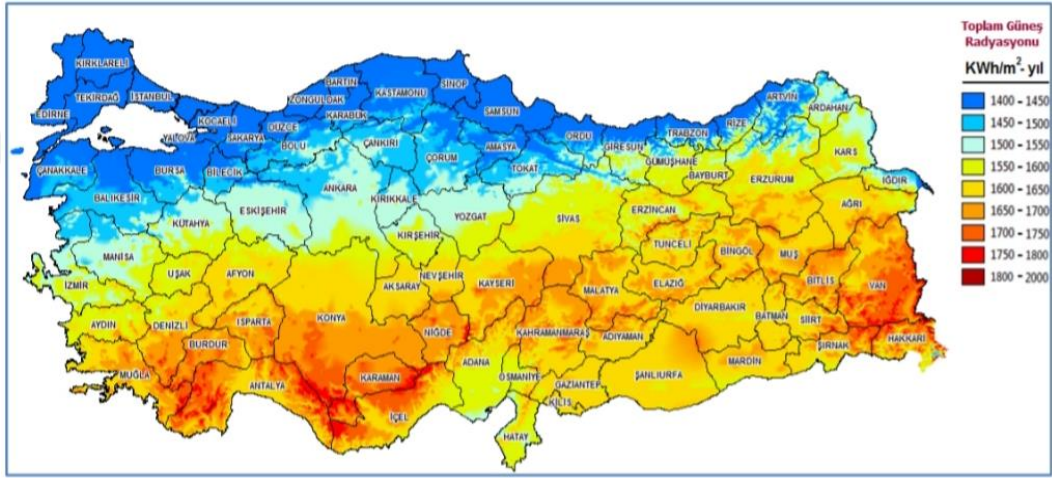
Hidroelektrik enerji, çevre dostu ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Fosil yakıtların aksine, hidroelektrik enerji üretimi sırasında sera gazı salınımı gerçekleştirilmez, bu da çevresel etkileri azaltır (Çetinkaya & Çelik, 2022). Ayrıca, hidroelektrik santrallerin enerji üretim maliyetleri düşük olup, uzun vadede ekonomiye büyük katkı sağlar. Ancak hidroelektrik enerji üretiminin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Baraj yapımı sırasında büyük arazi alanları su altında kalabilir ve bu durum, ekosistemde geri dönüşü olmayan değişikliklere neden olabilir (Bayraktar, 2023). Ayrıca, barajların yapımı sırasında yerinden edilen yerel halk, sosyal ve ekonomik açıdan olumsuz etkilenebilir.

Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli açısından büyük bir öneme sahiptir. Bölgedeki nehirler ve yüksek rakımlı alanlar, hidroelektrik santrallerin verimli bir şekilde çalışmasına olanak tanır. Keban, Karakaya ve Atatürk gibi büyük hidroelektrik santralleri hem enerji ihtiyacının karşılanmasına hem de bölgenin ekonomik kalkınmasına katkıda bulunmaktadır. Ancak hidroelektrik enerji üretimi sırasında ekosistemler üzerinde yaratılan olumsuz etkiler de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi ve enerji üretimi sırasında çevresel etkilerin minimize edilmesi büyük önem taşımaktadır (Yıldırım & Demir, 2022).

2.11.2. Doğu Anadolu Bölgesinin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Doğu Anadolu Bölgesindeki güneş ile hidroelektrik enerji santrallerinde üretilen enerjinin birim maliyetinin karşılaştırmasının ele alındığı çalışmada ilgili enerji potansiyellerinin bilinmesi önem arz etmektedir. İlgili karşılaştırma Doğu Anadolu bölgesi için ele alınmıştır. Dolayısıyla hem güneş enerjisi hem de hidroelektrik enerjisi potansiyellerinin bilinmesi gerekmektedir (Kavcıoğlu, 2019).

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi açısından oldukça verimli bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük ortalama 7,5 saat) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yıllık toplam gelen güneş enerjisi miktarının 1.527 kWh/m² (günlük ortalama 4,2 kWh/m²) olduğu saptanmıştır. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyeli ise 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır (Yolcan ve Köse, 2020).



Şekil 1.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA, 2020).

Marmara ve Ege bölgeleri orta düzeyde güneş ışınlamı alırken, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri daha yüksek ışınlam değerlerine sahiptir. Bu nedenle, bu bölgelerde güneş enerjisi yatırımları daha verimli olup, yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresi diğer bölgelere göre daha kısa olmaktadır (Yolcan ve Köse, 2020). TÜİK verilerine göre özellikle Doğu Anadolu Bölgesi, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça elverişli bir yapıya sahiptir.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli bölgeler bazında incelendiğinde, Doğu Anadolu Bölgesi'nin bu alanda üçüncü sırada yer aldığı görülmektedir (Kavcıoğlu, 2019). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 1966-1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verileri kullanılarak, 2013 yılında Enerji İşleri Enstitüsü (EİE) tarafından bir rapor hazırlanmıştır. Söz konusu rapora göre, Türkiye'de en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip bölge, yıllık 2993 saatlik güneşlenme süresi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi olarak belirlenmiştir. Bu bölgeyi sırasıyla 2956 saat/yıl ile

Akdeniz Bölgesi, 2664 saat/yıl ile Doğu Anadolu Bölgesi ve 2628 saat/yıl ile İç Anadolu Bölgesi takip etmektedir (Kavcıoğlu, 2019). Bu veriler, Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneş enerji sistemlerinin kurulumu için uygun koşullara sahip olduğunu ve bu bölgenin güneş enerjisi üretim potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.



3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Soruları

Çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş enerjisi ve hidroelektrik enerjinin birim maliyetlerini karşılaştırarak hangisinin daha kârlı olduğunu tespit etmek. Ana problem olarak ele alınmıştır.

Ana problemden yola çıkarak şu alt problemlere cevap bulunmaya çalışılmıştır:

- 1- Doğu Anadolu Bölgesi'nde güneş enerjisi potansiyeli ne kadardır?
- 2- Doğu Anadolu Bölgesi'nde Hidroelektrik enerjisi potansiyeli ne kadardır?
- 3- Doğu Anadolu Bölgesi'nde hidroelektrik ve güneş enerjisi santrallerinin karşılaştırılması sonucunda hangisinin daha az maliyetle daha fazla enerji ürettiğini belirlemek.

3.2. Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışma, durum çalışması yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Durum çalışmaları, karmaşık bir durumu ayrıntılı bir şekilde tanımlamaya ve doğal bağlamında bileşenlerini belirleyerek boylamsal bir yaklaşımla incelemeye olanak tanır (Subaşı ve Okumuş, 2017). Araştırmada hem literatür taraması hem de tesis sorumluları ile yapılan görüşmeler yoluyla veri toplanmıştır.

Literatür taramasında, araştırma konusu ile ilgili daha önce yayımlanmış kitaplar, makaleler, tezler, konferans bildirileri, tarihi kayıtlar ve raporlar gibi kaynaklar aranmış, incelenmiş ve bu eserlerden çalışmaya katkı sağlayacak bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca panel veri analizi teknikleri, betimsel ve çıkarımsal istatistik yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Literatür taramasının temel amacı, araştırma için gerekli bilgilerin sistematik bir şekilde elde edilmesidir (Bourner, 1996).

Çalışma, yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ve hidroelektrik enerji üretiminde birim maliyetlerin karşılaştırmalı analizi üzerine yoğunlaşmıştır. Van İli Uygulamasına dayanan yazılı çalışmalar da incelenerek çalışmanın bilimsel değerinin artırılması hedeflenmiştir. Konunun kapsamı ve sınırları doğrultusunda

yapılan maliyet hesaplamaları ve karşılaştırmaları, araştırmanın nesnel bir özellik kazanmasına katkıda bulunacaktır.

3.3. Örneklem

Çalışmanın evreni, Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan hidroelektrik ve güneş enerjisi sistemlerinden oluşmaktadır. Örneklem ise Van'da seçilen birer HES (Hidroelektrik Santral) ve GES (Güneş Enerjisi Santrali) tesislerinden oluşmaktadır.

3.4. Veri Toplama Araçları ve Veri Kaynakları

Çalışmada kullanılan veriler Van ilinde GES ve HES santralleri ile ilgili yapılmış saha çalışmaları sonucu elde edilmiştir.

3.5. Verilerin Geçerliliği

Çalışmada kullanılan verilerin geçerliliği, analiz edilen güneş ve hidroelektrik enerji üretim tesislerinden elde edilen verilerin güncel ve doğru olmasına dayanmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'ne özgü meteorolojik veriler, su debisi ve güneş ışıınımı gibi coğrafi faktörlerin dikkate alınarak, bu kaynaklardan elde edilen enerji üretim miktarları ve maliyetleri hesaplanmıştır. Araştırmada kullanılan veriler, bölgesel enerji üretim tesislerinden, ilgili kamu kuruluşlarının raporlarından ve akademik kaynaklardan elde edilmiştir. Verilerin geçerliliği, saha çalışmaları ve gözlemlerle desteklenerek enerji üretim potansiyellerinin yerel koşullara uygun bir Şekil 2.1'de değerlendirilmesini sağlamaktadır.

3.6. Verilerin Güvenirliği

Verilerin güvenirliliği, analizlerde kullanılan kaynakların doğruluğu ve verilerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığına dayanmaktadır. Çalışmada, resmî kurumlar (örneğin, Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Devlet Su İşleri) ve bilimsel yayınlardan elde edilen güvenilir veriler tercih edilmiştir. Ayrıca, elde edilen veriler çeşitli bağımsız kaynaklardan teyit edilerek ve benzer çalışmalara kıyasla değerlendirilmiş, böylece verilerin güvenirliliği test edilmiştir. Güvenirliliği artırmak amacıyla veri toplama sürecinde tutarlılık ve doğruluk kontrolleri yapılmış; anlamlı çelişki içeren ya da eksik olduğu belirlenen veriler çalışma dışı bırakılmıştır. Bu

uygulamalar sayesinde, elde edilen sonuçların hem bilimsel hem de pratik açıdan güvenilirliği sağlanmıştır.

Çalışmada görüşme verisi kullanılmadığından, nitel veri analizinde görüş birliği ölçümü gerektiren Miles ve Huberman'ın (1994) formülü uygulanmamıştır. Ancak, doküman incelemesi ve içerik analizi sırasında kaynaklar arası tutarlılık, tematik uygunluk ve yeniden kodlanabilirlik ilkeleri dikkate alınarak sistematik bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, veri kaynaklarının çeşitliliği (triangulation) ve içerik kontrolü gibi yöntemsel yaklaşımlar aracılığıyla araştırmanın güvenilirliği desteklenmiştir.

3.7. Veri Analizi İşlemleri

Bu çalışmada, hidroelektrik santraller (HES) ve güneş enerjisi santralleri (GES) ile ilgili toplanan veriler ayrı ayrı analiz edilmiştir. Öncelikle her iki enerji türüne ait üretim kapasitesi, kurulum süresi, işletme verimliliği ve çevresel etkiler gibi temel parametreler ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. HES'lerde su kaynaklarının sürdürülebilirliği, mevsimsel değişkenlik ve altyapı gereksinimleri öne çıkarken; GES sistemlerinde güneşlenme süresi, panel verimi ve bakım gereksinimleri gibi kriterler dikkate alınmıştır. Toplanan veriler ışığında her iki enerji türünün birim maliyetleri hesaplanmış ve karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Bu analizde yatırım maliyeti, enerji üretim kapasitesi başına düşen maliyet, işletme ve bakım giderleri ile uzun vadeli ekonomik verimlilik karşılaştırılmıştır. Ayrıca daha önce yapılmış akademik ve teknik çalışmalar da incelenmiş; elde edilen bulgular literatürdeki verilerle karşılaştırılarak çalışmanın güvenilirliği artırılmıştır. Böylece HES ve GES sistemlerinin ekonomik, çevresel ve teknik açılardan güçlü ve zayıf yönleri net bir şekilde ortaya konmuştur.

3.8. Sınırlamalar ve Sınırlılıklar

Çalışma Doğu Anadolu Bölgesi'nin Van ilinde bulunan birer HES ve GES tesislerinden 15/04/2024-20/04/2024 tarihleri arasında elde edilen verilerle sınırlıdır. Araştırma tesislerden görüşme yoluyla alınan veriler ve ulaşılan kaynakları kapsamaktadır.

4. BULGU ve ANALİZLER

4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Güneş Ve Hidroelektrik Enerji Üretiminde Birim Maliyetlerin Karşılaştırmalı Analizi: Van İli Uygulamasına Dair Bulgu Ve Analizler

Çalışmanın bu kısmında elde edilen verilerin analizi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Bu bağlamda, GES ve HES'lerden toplanan veriler hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

4.1.1. Van İli Uygulaması

Aşağı Kaleköy Barajı Hibrit GES, Bingöl'de 76 MW kurulu güce sahip bir enerji santrali olarak dikkat çekerken, Van'da bulunan Van Arısu GES ise 45 MW güce sahiptir. Her iki santral, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş ve hidroelektrik enerjisi ile elektrik üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında maliyetlerin etkin yönetimi büyük önem taşırken, özellikle Van İli uygulamasına birim maliyetlerin karşılaştırmalı analizi, bölgenin enerji potansiyelinin sürdürülebilir şekilde değerlendirilmesi açısından kritik bir unsurdur. Güneş enerjisi santralleri genellikle başlangıç yatırımı yüksek olsa da işletme maliyetlerinin düşük olmasıyla avantaj sağlarken, hidroelektrik enerji santralleri, uzun ömürlü yapıları ve sürekli enerji üretim kapasitesi ile bölgenin coğrafi özelliklerini verimli kullanmayı mümkün kılmaktadır. Bu iki yenilenebilir enerji türünün bir arada kullanımı, enerji üretiminde çeşitlilik ve maliyet avantajları sağlayarak bölgenin enerji ihtiyacına yenilikçi çözümler sunmaktadır.

Çizelge 4.1. Doğu Anadolu Bölgesinde Bulunan Güneş Enerjisi Santralleri

S.	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç
1)	Aşağı Kaleköy Barajı Hibrit GES	Bingöl	Cengiz Enerji	76 MW
2)	Van Arısu GES	Van	Erciyes Anadolu Holding	45 MW
3)	Alages Adilcevaz Güneş Enerjisi Santrali	Bitlis	Alages Elektrik Üretim	16 MW
4)	Elazığ Kovancılar GES	Elazığ		15 MW
5)	İota Güneş Enerji Santrali	Malatya	Akfen Enerji	9,95 MW
6)	Omicron Engil 208 GES	Van	Akfen Enerji	9,95 MW

Çizelge 4.1. Devamı

7)	Omicron Erciş GES	Van	Akfen Enerji	9,95 MW
8)	PSI Engil 207 GES	Van	Akfen Enerji	9,95 MW
9)	Solentegre GES	Elazığ	Akfen Enerji	8,00 MW
10)	Silopi Güneş Enerjisi Santrali	Şırnak	İdil Elektrik	7,00 MW
11)	Tekno Ray Solar Elazığ Güneş Enerji Santrali	Elazığ	Tekno Ray Solar	7,00 MW
12)	Modern Tuana ve Taykar GES	Batman		6,00 MW
13)	Malatya Büyükşehir Belediyesi Güneş Enerjisi Santrali	Malatya	Malatya Büyükşehir Belediyesi	6,00 MW
14)	Suçatağı Köyü Güneş Enerji Santrali	Ağrı	Fortuna Enerji	5,94 MW
15)	Aşkale Güneş Enerji Santrali	Erzurum		5,00 MW
16)	Halk Enerji Erzurum GES	Erzurum	Halk Enerji	4,90 MW
17)	Fethi ve Feyza GES	Erzincan		2,00 MW
18)	Solentegre ve Karine Lisanssız GES	Elazığ	Akfen Enerji	1,00 MW
19)	Hayran Enerji GES	Elazığ	Yusuf Hayran	1,00 MW
20)	Erkal Elektrik Güneş Enerji Santrali	Erzurum	Erkal Elektrik	0,99 MW
21)	Her-İş İnşaat Güneş Enerji Santrali	Erzurum	Her-İş İnşaat	0,99 MW
22)	Tahir Yüce GES	Elazığ		0,85 MW
23)	Taşlıçay Belediyesi GES	Ağrı	Taşlıçay Belediyesi	0,50 MW
23)	Adilcevaz Belediyesi Güneş Enerjisi Santrali	Bitlis	Adilcevaz Belediyesi	0,44 MW
24)	Tunay Gıda Güneş Enerjisi Santrali	Erzincan		0,41 MW
25)	Sivrice Arıtma Güneş Enerji Santrali	Elazığ	Elazığ İl Özel İdaresi	0,40 MW
26)	Van YYÜ Güneş Enerji Santrali	Van	Yüzüncü Yıl Üniversitesi	0,35 MW
27)	Pado Dondurma Güneş Enerji Santrali	Erzurum	Pado Dondurma	0,30 MW
28)	Mahmutoğulları GES	Bitlis		0,23 MW
29)	Çatak Belediyesi Güneş Enerjisi Santrali	Van	Çatak Belediyesi	0,15 MW
30)	Üzümlü Belediyesi Güneş Enerjisi Santrali	Erzincan	Üzümlü Belediyesi	0,11 MW
31)	Tunceli Güneş Enerji Santrali	Tunceli		0,10 MW
32)	Erzurum'daki diğer lisanssız GES'ler	Erzurum	Çeşitli Firmalar	104 MW
33)	Erzincan'daki diğer lisanssız GES'ler	Erzincan	Çeşitli Firmalar	56 MW
34)	Van'daki diğer lisanssız GES'ler	Van	Çeşitli Firmalar	46 MW
35)	Şırnak'taki diğer lisanssız GES'ler	Şırnak	Çeşitli Firmalar	24 MW
36)	Muş'taki diğer lisanssız GES'ler	Muş	Çeşitli Firmalar	21 MW
37)	Ağrı'daki diğer lisanssız GES'ler	Ağrı	Çeşitli Firmalar	11 MW
38)	Tunceli'deki diğer lisanssız GES'ler	Tunceli	Çeşitli Firmalar	0,75 MW
39)	Hakkari'deki diğer lisanssız GES'ler	Hakkari	Çeşitli Firmalar	0,44 MW

(<https://www.enerjiatlası.com/gunes/> 15/12/2024 alınarak düzenlenmiştir.)

Doğu Anadolu bölgesinde bulunan güneş enerjisi santralleri arasında, en büyük kurulu güce sahip olan Bingöl'deki Aşağı Kaleköy Barajı Hibrit GES, 76 MW kapasite ile Cengiz Enerji tarafından işletilmektedir. Onu, Van'da Erciyes Anadolu Holding tarafından işletilen 45 MW kapasiteli Van Arısu GES ve Bitlis'te Alages Elektrik Üretim tarafından işletilen 16 MW kapasiteli Alages Adilcevaz GES takip etmektedir. Bölgedeki diğer önemli santraller arasında Elazığ Kovancılar GES (15 MW), Malatya'daki İota GES (9,95 MW), Van'daki Omicron Engil 208 ve Omicron Erciş GES (9,95 MW) bulunmaktadır. Daha küçük kapasiteli santraller arasında Batman'daki Modern Tuana ve Taykar GES (6 MW), Ağrı'daki Suçatağı Köyü GES (5,94 MW), Erzurum'daki Aşkale GES (5 MW) ve Erzincan'daki Fethi ve Feyza GES (2 MW) yer alırken, çeşitli illerde lisanssız GES projeleri toplamda yüzlerce MW kapasiteye sahiptir. Diğer projelerden bazıları Erzincan, Van, Erzurum, Şırnak, Muş ve Ağrı'da dağılmıştır. Toplamda bölge genelindeki güneş enerjisi projeleri, enerji üretiminde önemli bir potansiyel oluşturmaktadır.

4.2. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Güneş Ve Hidroelektrik Enerji Üretiminde Birim Maliyetlerin Karşılaştırmalı Analizi: Van İli Uygulamasına Dair Bulgu Ve Analizler

Enerji sektöründe mevcut kaynakların elektrik enerjisine dönüştürülmesi sürecinde dikkate alınması gereken temel faktörler, kurulacak santral türü ve bu santralin inşası için gereken sermaye maliyetleridir. Bu çerçevede ortaya çıkan harcama kalemleri şu şekilde sıralanabilir:

- (a) Enerji kaynağının erişilebilirliğini sağlamak ve kullanıma uygun hale getirmek için yapılan değişken giderler;
- (b) Mevcut tesislerin bakım, onarım ve işletim masrafları;
- (c) Çevreye, enerji sektörüne ve diğer sektörlerle verilen zararlar nedeniyle ortaya çıkan dışsal maliyetler (Yılmaz, 2015).

Yenilenebilir enerji santralleri, özellikle hidroelektrik ve rüzgâr enerjisi gibi kaynaklar söz konusu olduğunda, devlete ödenen katkı payları dışında, bu kaynaklardan enerji üretmenin marjinal maliyetinin sıfıra yakın olduğu belirtilmektedir (Yılmaz, 2015). Bu özellik, yenilenebilir enerji kaynaklarının

ekonomik etkinliğini artırmakta ve uzun vadede enerji üretim maliyetlerinin daha sürdürülebilir bir düzeye çekilmesini sağlamaktadır.

Uygulamanın amacı, yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ve hidroelektrik enerji sistemleri arasında teknik ve finansal açıdan en uygun olanı belirlemeye yardımcı olmaktır. Bu doğrultuda, güneş ve hidroelektrik enerji santrallerinde üretilen enerjinin birim maliyetlerini hesaplamak ve bu iki enerji üretim yöntemi arasındaki karşılaştırmalı analizi yapmak hedeflenmektedir. Bu analiz, hangi enerji kaynağının daha verimli ve ekonomik olduğunu değerlendirmeyi amaçlar.

Uygulamanın kapsamı; Doğu Anadolu bölgesinde bulunan Van'da kurulması planlanan yenilenebilir enerji kaynaklarından Hidroelektrik Santral ile Güneş Enerjisi Santralinin projelerinde üretilecek enerji için birim maliyetlerinin hesaplanması ve karşılaştırma analizinden oluşmaktadır.

Çalışmada odaklanılan nokta birim maliyetinin hesaplanmasıdır. Enerji kaynaklarının çevreyle ilişkili faktörler dışarıda bırakılmıştır.

Çalışmada örnek alınan santrallerin her ikisinin de Doğu Anadolu Bölgesinin Van ilinde kurulması planladığından dolayı iki projenin de enerji nakil hattı ücretlerinin aynı olacağı varsayılmıştır.

4.3. Uygulamaya Ait Veriler, Varsayımlar ve Bulgular

Çalışmaya konu olan Güneş Enerji Sistemi (GES) ile Hidroelektrik Sistemleri (HES) ile ilgili veriler aşağıda sunulmuştur. Uygulamaya konu olan projeler GES için XGES ve HES için YHES olarak adlandırılmıştır. Birim maliyetleri dolar ve sent üzerinden hesaplanmıştır.

4.3.1. Seçilen Örnek Güneş Enerjisi Santraline Ait Veri ve Bulgular

Çizelge 4.2. Güneş Enerjisi Santraline Ait Veriler

Ürün	Adet	Birim fiyat(\$)	Toplam(\$)
Panel	1.000	200	200000
İnverter	10	3800	38000
Çelik	55000	1	55000
dc kablo	18000	0,7844	14119,2
ac kablo+	5000	6	30000
İşçilik	1	40000	40000
ag pano	1	9000	9000
Nakliye	2,5	5000	12500
Vinç	3	700	2100
ALL RİSK+ NAKLİYE SİGORTASI	1	500	500
Beton	1	5000	5000
SARF	9	700	6300
ETİKET	6	200	1200
YANGIN TÜPÜ	15	27	405
KONNEKTÖR	400	2,15	860
TOPRAKLAMA	1	2500	2500
PROJE REVİZE imar harçlar	6	1500	9000
KAZI +BİMS+ BORU	3	2500	7500
RTU SCADA	1	4000	4000
SMARTLOGGER	1	810	810
GÖRÜNMEYEN MALİYETLER			20000
Enerji nakil hattı ve trafo	1	75000	75000
ÇAĞRI MEKTUBU	1	1000	1000
Arazi düzeltme	1	20000	20000
telçit kamera	1	20000	20000
Arazi Bedeli	13	2500	32500
Maliyet Toplamı			607294,2
Müteahhit Karı	10%		60729,42
Toplam			668023,62
Türbin bilgileri: Orta debi: 4,5m ² , Net düşü: 70m, Cebri boyu uzunluğu: 1.5km			
İnşaat Süresi (Ay): 2 Ay			
Santral Ömrü: 30 Yıl			
Kapasite: 1000 kwp			
Yıllık Üretim Miktarı: 2,190 Gwh			
Yıllık Bakım Maliyeti: 10,000 Dolar			
Toplam Maliyet: 668023,62			

(Yılmaz, D. D. 2015, Alınarak düzenlenmiştir)

Bu projede toplam maliyet 668.023,62 \$ olarak hesaplanmıştır. Harcama kalemleri, santral kurulumundan gerekli tüm ekipman ve işçilik masraflarına kadar ayrıntılı şekilde belirlenmiştir. Öncelikle ekipman ve malzeme maliyetlerinden bahsederseniz, en büyük kalemi güneş panelleri oluşturuyor. Toplamda 1.000 panel alımı yapılmış ve her biri 200 \$'den toplam 200.000 \$ harcanmıştır. Panellerden gelen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirmek için 10 inverter kullanılmış

ve bunların her birinin fiyatı 3.800 \$ olarak toplamda 38.000 \$ maliyet yaratmıştır. Montaj için gerekli olan 55.000 kg çelik malzeme için 55.000 \$, enerji iletimini sağlamak amacıyla kullanılan 18.000 metre DC kablo için 14.119,2 \$ ve 5.000 metre AC kablo için 30.000 \$ harcanmıştır. Ayrıca, topraklama, SCADA sistemi ve SmartLogger gibi izleme cihazları için 7.310 \$ ayrılmıştır.

İşçilik ve diğer hizmetler kapsamında, montaj ve elektrik bağlantıları dahil olmak üzere işçilik maliyeti 40.000 \$ olarak belirlenmiştir. Malzemelerin sahaya taşınması için nakliye maliyeti 12.500 \$ iken, ağır ekipmanların yerleştirilmesi için 3 günlük vinç kiralama bedeli 2.100 \$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, altyapı için beton dökümü ve kazı çalışmaları gibi inşaat işlemleri toplamda 12.500 \$ tutmuştur. Sigorta ve güvenlik önlemleri de göz ardı edilmemiştir. Projenin kurulumu sırasında oluşabilecek risklere karşı 500 \$ tutarında All Risk Sigortası yapılmıştır. Olası yangın durumlarına karşı 15 yangın tüpü alımı için 405 \$ harcanmış ve tesisin güvenliği için tel çitler ile güvenlik kameralarına 20.000 \$ ayrılmıştır.

Proje yönetimi kalemlerine bakıldığında, gerekli izinlerin alınması ve proje revizyonları için 9.000 \$, tesisin kurulacağı alanın düzenlenmesi için ise 20.000 \$ harcanmıştır. Ayrıca, arazi satın alımı için 13 birim araziye toplamda 32.500 \$ ödenmiştir. Öngörülemeyen masraflar için de 20.000 \$'lık bir bütçe ayrılmıştır. Bu, kurulum sırasında ortaya çıkabilecek ekstra maliyetler için bir güvence olarak düşünülmüştür. Son olarak, toplam proje maliyetine %10 müteahhit karı eklenmiş ve bu tutar 60.729,42 \$ olarak hesaplanarak nihai maliyete dahil edilmiştir. Bu şekilde, tüm masraflar hesaplanarak projenin toplam maliyeti 668.023,62 \$ olarak belirlenmiştir.

4.3.2. Seçilen Örnek Güneş Santraline Ait Veri ve Bulgular

Aşağıda verileri verilen YHES projesiyle ilgili planlanan santral, 1,000 kWp kapasiteye sahip olup yıllık 2.190 GWh elektrik üretimi beklenmektedir. Sistemin bazı önemli teknik özellikleri şunlardır: Orta debisi 4,5 m³, net düşüşü 70 metre ve cebri boru uzunluğu ise 1,5 kilometredir. Santral ömrü 30 yıl olarak planlanmıştır ve yıllık bakım maliyeti 10.000 \$ olarak öngörülmektedir. Proje inşaatının tamamlanması 2 ay sürmüştür. Santral kurulumunun ardından yaklaşık 30 yıl boyunca işletilmesi ve bu süreçte düzenli bakım yapılması planlanmaktadır. Bu

bakım, tesisin optimum performansını koruyarak uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.

Çizelge 4.3. Hidroelektrik Santraline Ait Veriler

YHES PROJESİ	
Maliyet Kalemi	BEDEL (\$)
İnşaat İşleri	6.500.000
Türbin: Tipi: Francis, Ünite adedi: 2	650
Hidromekanik Ekipman	550.000
Tüm Elektrik ve Otomasyon İşleri	1.300.000
Enerji Nakil Hattı	150.000
Etüd Proje Kontrollük Giderleri	500.000
Toplam Maliyet	11.000.000
İlk Yatırım Maliyeti	10.000.000
Faiz ve Eskalasyon Yüğü Dahil Yatırım Maliyeti	12.000.000
Sabit Yıllık Sermaye Maliyeti	870.000
Yıllık İşletme ve Bakım Maliyeti	250.000
Yıllık Enerji Üretimi	18 GWH
Birim Yatırım Maliyeti	0,66\$cent kWh
Birim İşletme ve bakım maliyeti	0,15\$cent/kWh
Birim Enerji Maliyeti	0,81\$cent/kWh

(Yılmaz, D. D. 2015, Alınarak düzenlenmiştir).

Çizelge 4.4. Hidroelektrik Santraline Ait Veri ve Bulgular

Kapasite (Kurulu Güç) (MW): 36
Net Kapasite Faktörü (%): 30
Santral Ömrü (Yıl): 50
Faiz Oranı (%): 7
Eskalasyon Oranı (%): 6
İşletme ve Bakım Giderlerinin Başlangıç Maliyetine Oranı (%): 2
İnşaat Süresi (Yıl): 2 Yıl
Yıllık net gider: 1.000.000
Yıllık net gelir: 1.250.000
Faiz ve Eskalasyon Yüğü Dâhil Yatırım Maliyeti: 12.000.000

(Yılmaz, D. D. 2015, Alınarak düzenlenmiştir)

4.4. Bulguların Değerlendirilmesi

Bir megawatt (MW) güneş enerjisi santrali, yeterli elektrik üretmek amacıyla bir megawatt gücüne sahip bir fotovoltaik (PV) panel dizisinden oluşur ve maliyeti çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Güneş ışığına maruz kalma süresi, santralin boyutu, ekipman kalitesi, satın alma ve kurulum maliyetleri gibi unsurlar bu maliyeti belirleyen temel etkenler arasındadır. Paneller, bir güneş

enerji santralının en kritik bileşeni olup toplam maliyetin yaklaşık %50-60'ını oluşturur ve fiyatları, üretici, teknoloji ve panel tipi gibi faktörlere göre değişiklik gösterir. İnverterler, güneş panellerinden elde edilen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çeviren cihazlar olup toplam maliyetin %6-8'ini kapsar. Konstrüksiyon malzemeleri, panellerin güvenli şekilde monte edilmesini sağlayarak maliyetin %10-12'sini oluştururken; elektriksel ekipmanlar, kablolama ve diğer bileşenler toplam maliyetin %5-7'sine denk gelir. Mekanik ve elektrik işçiliği de yaklaşık %5-7'lik bir maliyet kalemi olup, profesyonel işçilik gerektirir. Bunların yanı sıra sigorta, inşaat işleri ve izleme sistemleri gibi unsurlar toplam maliyetin %4-5'ini oluşturur. Tüm bu faktörler göz önüne alındığında, bir megawattlık arazi tipi güneş enerjisi santralının maliyeti yaklaşık 430.000\$ - 500.000\$ arasında değişirken, çatı tipi güneş enerji santralleri için trafo, hücre ve tel çit gibi ek unsurların olmaması nedeniyle maliyet 390.000\$- 410.000\$ civarında olmaktadır.

Van'da kurulması planlanan XGES ve YHES ile ilgili toplanan verilerin değerlendirilmesi şu şekildedir:

Yıllık YHES enerji üretimi 18.000 mwh iken yıllık XGES enerji üretimi ise 2.190 mwh'dir. Bu verilere göre YHES XGES'ten yıllık yaklaşık 8 kat fazla enerji üretiyor. YHES'in yıllık maliyeti 12.000.000 \$ iken XGES'in yıllık maliyeti 679.023 \$'dır. YHES'in maliyeti XGES'ten yaklaşık 17 kat daha fazladır.

Kullanım ömürleri dikkate alındığında YHES'in 50 yıllık işletme ve gideri \$50 milyon (1.000.000x50)'dur. İlk kurulum maliyeti \$12 milyondur. Bu hesaplama göre 50 yıllık maliyet eklendiğinde toplam \$62 milyon maliyete ulaşılır. XGES'in ilk kurulum maliyeti 668.023 dolardır. Yıllık işletme ve gider maliyeti \$10.000'dir. XGES'in 30 yıllık işletme maliyeti \$698.023'dir.

Kullanım ömürlerine göre YHES XGES'e göre 13 kat daha fazla enerji üretirken YHES maliyeti XGES maliyetinden 64 kat daha fazladır. Ancak YHES XGES'ten 20 yıl daha uzun ömürlü olduğundan daha avantajlı duruma düşmektedir.

Bu durumda XGES'in maliyet boyutuyla daha avantajlı olduğu değerlendirilmiştir. YHES ve XGES arasında yapılan ekonomik karşılaştırma, bu iki enerji kaynağının maliyet etkinliğini anlamak açısından da önemlidir. Hesaplamalar sonucunda, YHES'in toplam maliyeti 62 milyon dolar olarak

belirlenmiştir. Bu santral, 50 yıl boyunca toplamda 900.000 MWh enerji üretme kapasitesine sahiptir. Bu verilere dayanarak, YHES'in birim enerji üretim maliyeti 1 MWh başına 680 dolar olarak hesaplanmıştır. Öte yandan, XGES'in toplam maliyeti 968.023 dolar olup, bu santral 30 yıl boyunca toplamda 65.700 MWh enerji üretmektedir. Dolayısıyla, XGES'in birim enerji üretim maliyeti yalnızca 14,73 dolar/MWh olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, XGES'in birim enerji başına maliyet avantajı açıkça görülmektedir.

Ancak, yalnızca maliyet verileri üzerinden bir değerlendirme yapmak yeterli olmayabilir. YHES'in kurulum maliyetinin yüksek olması, büyük ölçekli ve uzun vadeli enerji üretimine yönelik olmasıyla açıklanabilir. Bununla birlikte, hidroelektrik santraller genellikle istikrarlı ve sürekli enerji üretimi sağlarken, alternatif enerji kaynakları değişken üretim gösterebilir. XGES'in düşük maliyetle enerji üretmesi avantaj gibi görünse de, santralin enerji arz güvenliği ve kapasite faktörü gibi diğer teknik özellikleri de dikkate alınmalıdır. Bu karşılaştırmada, yatırım geri dönüş süresi (ROI), bakım ve işletme maliyetleri, çevresel etkiler ve sürdürülebilirlik gibi faktörlerin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Örneğin, hidroelektrik santrallerinin su kaynaklarına bağımlılığı nedeniyle kuraklık dönemlerinde üretim düşebilirken, XGES'in hangi tür alternatif enerjiye dayandığına bağlı olarak verimlilik değişebilir.

Her iki enerji santralinin de kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. YHES'in yüksek başlangıç maliyetine rağmen uzun vadede istikrarlı bir enerji kaynağı sunması önemli bir faktördür. Öte yandan, XGES'in düşük maliyetli enerji üretimi sağlaması, özellikle bütçe dostu ve kısa vadeli projeler açısından cazip bir seçenek olabilir. Optimal enerji yatırımı için hem maliyet hem de teknik analizlerin detaylı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu veriler ışığında, XGES'in birim enerji maliyeti açısından çok daha avantajlı olduğu açıkça görülmektedir. YHES, toplamda 900.000 MWh enerji üretimiyle XGES'e kıyasla yaklaşık 13 kat daha fazla enerji üretse de, birim enerji maliyeti bakımından 680 \$/MWh ile XGES'e göre 46 kat daha pahalıdır. XGES'in toplam maliyetinin yalnızca 968.023 dolar olması ve buna karşılık 30 yıl boyunca 65.700 MWh enerji üretebilmesi, onu ekonomik açıdan cazip bir seçenek haline getirmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada Yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş ve hidroelektrik enerji üretiminde birim maliyetlerin karşılaştırmalı analizi: Van İli uygulaması konusu incelenmiştir. Bu başlık altında elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Güneş enerjisi santralleri, özellikle kurulum maliyetleri açısından hidroelektrik santrallere kıyasla daha düşük bütçelerle inşa edilebilir. Bu, ilk yatırım maliyetini karşılamak açısından güneş enerjisini cazip bir seçenek haline getirmektedir. Ancak, Doğu Anadolu Bölgesi gibi yerlerde maliyet hesaplamaları yapılırken bölgenin güneşlenme süresi gibi çevresel faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Büyük ve Çelik'in (2023) çalışmasına göre, Doğu Anadolu Bölgesi'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi Türkiye genel ortalamasına yakındır, bu da güneş enerjisi santrallerinin uzun vadede maliyet etkinliğini artırabilir. Özellikle yaz aylarında daha verimli enerji üretimi sağlanırken, güneşlenme süresindeki değişiklikler, yılın diğer aylarında enerji üretimini sınırlayabilir. Bu sebeple, güneş enerjisi santrallerinin verimliliği ve maliyet etkinliği, bölgesel iklim koşullarıyla yakından ilişkilidir.

Hidroelektrik santraller ise yüksek ilk kurulum maliyetine rağmen uzun ömürlü ve dayanıklı yapılarıyla dikkat çeker. Yılmaz ve Erkan'ın (2021) çalışmasına göre, hidroelektrik santraller yıl boyunca düzenli enerji üretimi sağlayabilmekte, özellikle kış aylarında üretimde kesinti yaşanmamaktadır. Su kaynaklarına sürekli erişimin sağlanabildiği bölgelerde, hidroelektrik santraller yılın her dönemi enerji üretebilir, bu da onları güvenilir bir enerji kaynağı haline getirir. Ancak, bu santrallerin kurulum maliyeti oldukça yüksek olduğundan, yatırım geri dönüş süresi daha uzun olabilir. Doğu Anadolu Bölgesi gibi hidroelektrik kaynaklarının bol olduğu yerlerde bu santrallerin uzun vadeli kullanımı tercih edilebilirken, ilk maliyet ve çevresel etkiler, yatırım kararlarının şekillenmesinde dikkate alınması gereken önemli unsurlardır.

Hidroelektrik santraller, enerji üretiminde doğal akarsuları kullandığı için çevresel sürdürülebilirlik açısından bazı tartışmaları beraberinde getirir. Özellikle akarsu ekosistemlerine yapılan müdahaleler, çevresel maliyet olarak değerlendirilmektedir. Su kaynaklarının yönünün değiştirilmesi, sucul yaşamı ve

çevredeki biyolojik çeşitliliği olumsuz etkileyebilir. Bu durum, yalnızca akarsularda yaşayan türlerin değil, bu ekosistemlerle ilişkili diğer canlıların da zarar görmesine neden olabilir. Kaya'nın (2020) çalışmasında belirtildiği üzere, su kaynaklarının yoğun kullanımı, bölgedeki doğal dengeyi bozabilir ve ekosistem üzerinde uzun vadeli olumsuz sonuçlar yaratabilir. Bu etkiler, hidroelektrik santrallerin çevresel sürdürülebilirlik bağlamında daha dikkatli ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Diğer yandan, güneş enerjisi santralleri, kurulum sırasında belirli bir alanı kapsasa da çevresel etki açısından daha sınırlı bir müdahalede bulunur. Güneş enerjisi sistemleri, doğrudan çevresel kaynakları tüketmediği gibi, su kaynaklarına bağımlı olmamaları nedeniyle ekosistem üzerinde daha az baskı yaratır. Kurulum alanında habitat kaybı yaşansa bile, çevresel etki çoğunlukla bu sınırlı alanla sınırlı kalır. Bu nedenle, Kaya (2020) çalışmasında güneş enerjisi santrallerinin, özellikle doğal ekosistemlere düşük müdahale seviyeleri nedeniyle daha çevre dostu bir alternatif olarak değerlendirildiği belirtilmiştir. Güneş enerjisi santrallerinin, özellikle çevresel sürdürülebilirliğe öncelik veren bölgelerde tercih edilmesi, doğal kaynakların korunması açısından avantaj sağlayabilir.

Bölgenin iklim koşulları, enerji kaynaklarının verimliliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Demir ve Altun'un (2022) araştırmasına göre, Doğu Anadolu Bölgesi'nin soğuk iklimi, hidroelektrik santrallerin verimliliğini olumsuz etkilemezken, güneş enerjisi santrallerinde belirli verim kayıplarına neden olabilmektedir. Soğuk hava koşulları, güneş panellerinin çalışma etkinliğini sınırlayarak üretim miktarını azaltabilir. Bu bağlamda, her iki enerji türünün de uzun vadeli kullanımı için bölgenin iklim özelliklerine uyum sağlaması gerektiği önemlidir. Hidroelektrik santraller, yılın çoğunda soğuk hava koşullarından etkilenmezken, güneş enerjisi santrallerinin verimliliği güneşlenme süresi ve iklim koşullarına bağlı olarak daha değişkenlik göstermektedir.

Doğu Anadolu Bölgesi, enerji maliyetleri açısından Türkiye'nin diğer bölgeleriyle kıyaslandığında avantajlı bir konumda bulunmaktadır. Bölgedeki hidroelektrik potansiyelinin yüksek olması sayesinde enerji maliyetlerinin düşük kaldığını göstermektedir. Özellikle Batı Anadolu Bölgesi'nde güneş enerjisi santralleri daha fazla tercih edilirken, Doğu Anadolu'daki hidroelektrik santrallerin

güçlü bir maliyet avantajı sunduğu görülmektedir. Bu da, bölgesel enerji potansiyellerine göre enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. İklim koşulları ve coğrafi özelliklerin göz önünde bulundurulması, enerji yatırımlarının maliyet etkinliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

Doğu Anadolu Bölgesi'nde güneş enerjisi ve hidroelektrik santrallerinin birim maliyetleri kıyaslandığında, her iki enerji türünün de bölgenin koşullarına göre belirgin avantajları ve dezavantajları olduğu görülmektedir. Güneş enerjisi santralleri, düşük kurulum maliyetleri sayesinde başlangıç aşamasında avantaj sunmakta, bu durum yatırım geri dönüş süresini kısaltmaktadır. Ancak güneş enerjisi, hava koşulları ve gün ışığı süresine bağlı olduğundan sürekli üretim kapasitesine sahip değildir. Bu da yılın belirli dönemlerinde enerji üretiminin düşmesine neden olabilir. Özellikle Doğu Anadolu'nun uzun ve sert kış aylarında güneş enerjisi verimliliğinin azalması, bu santrallerin üretim sürekliliğini sınırlamaktadır.

Hidroelektrik santraller daha yüksek kurulum maliyetlerine sahip olsa da su kaynaklarının sürekliliğine dayandığından, kesintisiz enerji üretimi sağlayabilmektedir. Bu özellik, Doğu Anadolu Bölgesi gibi su kaynaklarının yeterli olduğu bölgelerde hidroelektrik santralleri cazip hale getirir. Yıl boyunca istikrarlı enerji üretimi sunabilmesi, bölgenin enerji ihtiyacını karşılamada hidroelektrik santrallerin güvenilir bir alternatif olarak öne çıkmasını sağlar. Bölgesel enerji planlamasında her iki enerji türünün de mevsimsel ve çevresel koşullara göre uyumlu bir şekilde değerlendirilmesi, enerji arzının sürekliliği ve maliyet etkinliği açısından önem taşımaktadır.

5.1. Öneriler

Her iki enerji santrali türünün inşaa maliyetleri farklıdır ve bu maliyetler uzun vadede enerji birim maliyetlerini etkiler. Örneğin, hidroelektrik santrallerin inşaat maliyetleri yüksek olabilse de bakım maliyetleri nispeten düşük olabilir. Öte yandan, güneş panellerinin ilk kurulum maliyeti daha düşükken, panellerin verimliliğini korumak için düzenli bakıma ihtiyaç duyabilir. Bu yüzden her iki santral tipi için de uzun vadeli maliyet analizleri yapılmalıdır.

Güneş enerjisi, gün ışığı saatleriyle sınırlıdır ve bulutlu günlerde verimlilik düşebilir, bu yüzden enerji depolama sistemleri gerektirebilir. Hidroelektrik ise yıl boyunca daha kesintisiz bir enerji kaynağı olabilir. Enerji üretiminde süreklilik ve verimliliğin etkilerini dikkate alarak, her iki kaynak için günlük hesaplaması ve kapsamlı gözlemlerin yapılması daha sağlıklı olacaktır.

Güneş enerjisi çevreye karbon salınımı açısından minimum etkide bulunurken, hidroelektrik santrallerin çevresel etkileri yerel ekosistemi etkileyebilir. Uzun vadeli maliyet hesaplamalarına çevresel etkiler de dahil edilerek, sürdürülebilirlik boyutunda bir maliyet karşılaştırması yapılabilir.

Enerji projelerinde devlet teşvikleri önemli bir maliyet avantajı sağlayabilir. Doğu Anadolu Bölgesi özelinde hangi enerji kaynaklarına yönelik teşviklerin mevcut olduğu, bu santrallerin birim maliyetlerini etkileyebilir. Bu bağlamda devletin sunduğu teşvikler ve finansal destekler de maliyet hesaplarına dahil edilerek karar süreci desteklenebilir.

Van ili özelinde gerçekleştirilen bu çalışmada, yalnızca birer adet hidroelektrik santral (HES) ve güneş enerjisi santrali (GES) incelenmiştir. Çalışmanın kapsamını genişletmek ve elde edilen sonuçları daha genelleştirilebilir hale getirmek adına, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki diğer HES ve GES'lerin de benzer bir yöntemle analiz edilmesi önerilmektedir. Bu şekilde, bölgesel enerji kaynaklarının verimliliği ve çevresel etkileri karşılaştırılabilir ve daha kapsamlı bir değerlendirme yapılabilir. Özellikle, farklı yerleşim bölgelerindeki iklimsel ve coğrafi koşulların enerji üretim süreçlerine etkisi detaylı bir şekilde incelenebilir. Bu tür bir genişleme, çalışmanın hem bilimsel katkısını artıracak hem de bölgesel enerji politikalarına yönelik somut veriler sunacaktır.

KAYNAKÇA

- Ađırkaya, M. B., & Akyol, H. (2021). *To what extent increasing renewable energy consumption drives economic growth: Example of OECD countries. Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 13(2), 163–172.
- Akbaş, E. (2019). Yenilenebilir enerji kaynakları ve taşıma sektörüne etkisi. *Enerji Dergisi*, 15(2), 135-145.
- Akdoğan, N. (2004). *Tek düzen muhasebe sisteminde maliyet muhasebesi uygulamaları*. Ankara: Gazi Kitapevi Yayınları.
- Akpınar, E. (2020). Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyeli ve yatırımları. *Enerji ve Çevre Dergisi*, 7(2), 98-115.
- Aksoy, N. (2020). Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli ve geleceği. *Enerji Dergisi*, 15(3), 45-52.
- Altuğ, O. (2001). *Maliyet muhasebesi*. İstanbul: Türkmen Kitabevi.
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A., & Lunn, D. (2014). *Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. World Development*, 77, 116–132.
- Aras, S. (2018). *Hidroelektrik enerjinin tarihçesi ve gelişimi*. Enerji ve Çevre Dergisi, 12(3), 152-164.
- Ari, F. & Ferhat. (2023). Başlıca enerji kaynakları ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(26), 697-718.
- Ataman, A. R. (2007). *Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi.
- Ay, M. (2023). Türkiye'de hidroelektrik enerji potansiyeli. *Enerji ve Çevre Dergisi*, 12(2), 45-56.
- Aydin, F. F. (2010). Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*.
- Balat, M. & Kırtay, E. (2010). Hydrogen from biomass - Present scenario and future prospects. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(14), 7416-7426.

- Bapbacı, Ö., & Akdemir, T. (2024). *Harcama gözden geçirmeleri: Teorik bir perspektif. International Journal of Social, Political and Financial Researches*, 4(2), 156–170.
- Bayrakçı, H. C. & Gezer, T. (2019). Bir güneş enerjisi santralının maliyet analizi: Aydın ili örneği. *Teknik Bilimler Dergisi*, 9(2), 46-54. <https://doi.org/10.35354/tbed.574190>.
- Bayraktar, H. (2023). Barajların ekolojik etkileri üzerine bir inceleme. *Çevre Bilimleri Araştırmaları*, 8(3), 102-115.
- Bloomberg. (2020). *Global energy trends and analysis*. New York: Bloomberg Press.
- Bourner, T. (1996). The research process: Four steps to success. In T. Greenfield (Ed.), *Research methods: Guidance for postgraduates* (pp. 7-11). London: Arnold.
- Brouwer, J. (2010). Hydrogen-fueled gas turbine technology. *Proceedings of the Combustion Institute*, 33(2), 2155-2169.
- Büyük, A. & Çelik, M. (2023). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bölgesel analiz. *Enerji Ekonomisi Dergisi*, 25(3), 45-67.
- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş. & Demirel, F. (2013). *Bilimsel araştırma yöntemleri* (14. baskı). Ankara: Pegem Akademi.
- Cruz, J. (2008). *Ocean Wave Energy: Current Status and Future Perspectives*. Springer.
- Çakır, M. & Yılmaz, E. (2019). Hidroelektrik enerji santrallerinin çevresel etkileri. *Çevre ve Enerji Çalışmaları Dergisi*, 7(2), 245-260.
- Çalışkan, Y. (2019). Yenilenebilir enerji kaynakları ve rüzgar enerjisi. *Doğa ve Bilim*, 3(1), 45-60.
- Çetin, M., & Şeker, F. (2012). *Enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi: Türkiye örneği. Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1), 85–106.
- Çetinkaya, A. & Çelik, E. (2022). Yenilenebilir enerji kaynakları ve Türkiye’deki uygulamaları. *Yenilenebilir Enerji Dergisi*, 6(4), 78-90.

- Çiçek, Ö. & Özdemir, M. (2021). Örnek bir hidroelektrik santrali için pompaj depolamalı hidroelektrik santrali tasarımı. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 26-35.
- Çolak, M. & Erdoğan, H. (2022). Biyokütle enerjisinin çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik. *Çevre ve Enerji Araştırmaları Dergisi*, 27(3), 301-312.
- Demir, R. & Altun, S. (2022). İklim koşullarının yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi. *Enerji ve Çevre Dergisi*, 10(1), 34-50.
- Demirbaş, A. (2010). *Energy, green energy and technology: Biofuels*. Springer.
- Demirbaş, A. (2019). Jeotermal enerji ve çevresel etkileri. *Çevre Bilimleri Dergisi*, 8(2), 110-120.
- Demirbaş, A. (2021). Biyokütle enerjisi ve Türkiye potansiyeli. *Enerji ve Çevre Çalışmaları*, 12(1), 45-58.
- Demirtaş, B. (2021). Doğu Anadolu Bölgesi'nin hidrolojik özellikleri. *Türkiye Coğrafya Dergisi*, 14(1), 23-38.
- Dincer, I. & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 110-117.
- Doğan, E., & Türkekul, B. (2016). Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme: Türkiye örneği. *Ege Akademik Bakış*, 16(2), 267-276.
- Doğan, M. (2019). *Güneş enerjisi santrallerinin incelenmesi ve verimlilik analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doğan, M. (2023). Karakaya barajı ve enerji üretimi. *Baraj Teknolojileri Dergisi*, 3(2), 67-79.
- Doğan, S. (2019). Rüzgar türbinlerinin çevresel etkileri. *Çevre Bilimleri ve Teknoloji Dergisi*, 5(3), 203-215.
- Drury, C. (2018). *Management and cost accounting* (9th ed.). Cengage Learning.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H. & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2021). *Türkiye'nin rüzgar enerjisi stratejisi*. ETKB Yayınları.

- Erdem, H. H. (2005). *Gaz türbinlerinin kısmi yüklerdeki birim elektrik üretim maliyetinin analizi* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Erdoğan, Y. (2023). Türkiye’de hidroelektrik enerjinin rolü ve geleceği. *Enerji Politikaları Araştırma Dergisi*, 9(1), 15-30.
- Erselcan, İ. Ö. & Kükner, A. (2014). Dalga enerjisi jeneratörlerinde kullanılan güç dönüşüm sistemlerinin incelenmesi. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 10(1), 32-44.
- Ertuğrul, Ö. F. & Kurt, M. B. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları maliyet analizi ve sürdürülebilir YEK uygulamaları. *Dicle Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Müh. Bölümü*.
- European Commission. (2019). *The European green deal*. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
- European Ocean Energy Association. (2010). *Ocean energy: Roadmap 2010-2050*. European Ocean Energy Association.
- Falcão, A. F. de O. (2010). Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 899-918.
- Garrison, R. H., Noreen, E. W. & Brewer, P. C. (2017). *Managerial accounting* (16th ed.). McGraw-Hill Education.
- Gençaslan, B. (2019). *Yüzeysel jeotermal kaynaklardan güneş enerjisi entegrasyonu ile güç üreten sistemlerin geliştirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi].
- GEPA. (2022). *Enerji Verimliliği ve Yönetimi Genel Müdürlüğü*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://gepa.enerji.gov.tr/>.
- Greenpeace. (2023). *Nuclear waste: A dangerous legacy*. Retrieved from <https://www.greenpeace.org/>.
- Gültekin, H. (2015). *Türkiye’de enerji ithalat giderlerinin ekonomik büyümeye etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Trakya Üniversitesi.
- Güner, M. (2020). *Türkiye’de hidroelektrik santrallerin sürdürülebilirliği üzerine bir değerlendirme* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Güneş, A. (2020). Rüzgar enerjisinin karbon emisyonlarına etkisi. *İklim Değişikliği Araştırmaları*, 2(1), 67-81.

- Güneş, T. (2023). Atatürk Barajı'nın ekonomik ve sosyal etkileri. *GAP Bölgesi Kalkınma Raporu*, 7(5), 134-150.
- Hallenbeck, P. C. & Benemann, J. R. (2002). Biological hydrogen production; fundamentals and limiting processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(11-12), 1185-1193.
- Hamilton, J. D. (2013). Oil prices, exhaustible resources, and economic growth. In R. Fry, C. Jones & C. Kent (Eds.), *Energy & The Economy*. International Energy Agency.
- Harrison, R. M. (2019). *Air Pollution: Sources, Impacts and Controls*. Royal Society of Chemistry.
- Hidroelektrik Enerji (2023). Erişim Tarihi: 21 Aralık 2023. <https://www.piagrid.com/rehber/hidroelektrik>.
- Hilton, R. W. & Platt, D. E. (2014). *Managerial accounting: Creating value in a dynamic business environment* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Horngren, C. T., Datar, S. M. & Rajan, M. V. (2015). *Cost accounting: A managerial emphasis* (15th ed.). Pearson Education.
- Idoko, I. P., Ayodele, T. R., Abolarin, S. M., & Ewim, D. R. E. (2023). Maximizing the cost effectiveness of electric power generation through the integration of distributed generators: wind, hydro and solar power. *Bulletin of the National Research Centre*, 47(1), 166.
- IEA (International Energy Agency). (2021). *Global energy review 2021*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>.
- IEA. (2019). The future of hydrogen: Seizing today's opportunities. *International Energy Agency*.
- Inger, R., Attrill, M. J., Bearhop, S., Broderick, A. C., Grecian, W. J., Hodgson, D. J., ... & Godley, B. J. (2009). Marine renewable energy: Potential benefits to biodiversity? *Biodiversity and Conservation*, 18(3), 765-781.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2023). *The role of nuclear power in climate change mitigation*. Retrieved from <https://www.iaea.org/>.
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Nuclear power in a clean energy system*. Retrieved from <https://www.iea.org/>.

- International Energy Agency [IEA]. (2022). *Hydropower in global energy transitions*. <https://www.iea.org/reports/hydropower>.
- International Energy Agency. (2019). *Energy efficiency 2019 Report*. Paris: IEA Publications.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). *Climate change 2014: mitigation of climate change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.
- IRENA (International Renewable Energy Agency). (2021). *Renewable power generation costs in 2020*. <https://www.irena.org/publications>
- İkiz, A. (2021). The threshold effect of solar energy development from change in energy prices: Evidence from Turkey and OECD. *İzmir Yönetim Dergisi*, 2(1), 9-18.
- İnan, İ., Akbulut, İ. & Aslan, E. (2018). Enerji sorununun çözümünde yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri ve önemi. *Türk Dünyası Araştırmaları*, 120(237), 11-40.
- Jernelöv, A. (2010). The threats from oil spills: Now, then, and in the future. *Ambio*, 39(5), 353-366.
- Kamil Büyükmirza. (1995). *Maliyet ve yönetim muhasebesi*. Ankara: İTİA Yayınları.
- Kaplan, R. S. & Atkinson, A. A. (2015). *Advanced Management Accounting* (3rd ed.). Pearson Education.
- Kara, F. (2023). Ilısu Barajı ve yenilenebilir enerji üretimi. *Dicle Üniversitesi Enerji Çalışmaları Dergisi*, 2(2), 90-103.
- Kara, R. (2022). Rüzgar enerjisinde depolama teknolojileri. *Yenilenebilir Enerji Araştırmaları*, 8(2), 120-134.
- Kara, S. & Aydın, R. (2020). Katı biyokütle kaynaklarının enerji üretimindeki yeri. *Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları*, 18(4), 87-94.
- Karaköse, P. (2019). *Kıydan uzak tip dalga enerjisi dönüştürücüsünün deneysel olarak geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kavcıoğlu, Ş. (2019). Yenilenebilir enerji ve Türkiye. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 11(21), 209-227. <https://doi.org/10.14784/marufacd.623399>.

- Kaya, D. (2020). Güneş enerjisi santrallerinin çevresel etkileri. *Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi*, 5(4), 113-129.
- Kazemi, A. & Akhavan, F. (2021). The role of renewable energy in sustainable economic growth. *Journal of Economic Studies*, 48(3), 245–263.
- Kelman, R., Cunha, T. M., Albuquerque, L. R. S. C., Metello, M. G., & Castro, T. L. C. (2022). *Sustainable hydropower planning in Gabon. Scientific Reports*, 12, 99-102.
- Koç, A. (2023). Doğu Anadolu Bölgesi’nde su kaynaklarının yönetimi. *Su ve Toprak Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 47-61.
- Koçak, H. (2021). Jeotermal enerji santralleri ve Türkiye’deki durumu. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üzerine Araştırmalar*, 7(1), 25-35.
- Koçaslan, 2014, s. 118: Aktaran, Öymen, G. (2020). Yenilenebilir enerjinin sürdürülebilirlik üzerindeki rolü. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(39), 1069-1087. <https://doi.org/10.46928/iticusbe.769022>.
- Lokman, K. (1963). Dünya enerji kaynakları. *Scientific Mining Journal*, 3(10), 709-714.
- Melnyk, L. H., Shaulska, L. V., Matsenko, O. I., Piven, V. S., Konoplov, V. V., & Mazin, Y. O. (2021). Modern Trends in the Production of Renewable Energy: the Cost Benefit Approach.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2nd ed.). Sage Publications.
- Oral, F., Behçet, R. & Aykut, K. (2017). Hidroelektrik santral rezervuar verilerinin enerji üretimi amaçlı değerlendirilmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 29-38. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.308545>.
- Otlu, F. & Karaca, S. (2005). Maliyet yönetimi ve yaşam seyri maliyet analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2), 245-270.
- Öztürk, C. (2020). *Güneş enerji sistemlerinde verim analizi ve enerji kayıplarının tespiti* [Yüksek lisans tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi].
- Öztürk, S. & Kantar, Z. (2022). Türkiye’nin hidroelektrik enerji potansiyeli üzerine bir değerlendirme. *Enerji Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 34-50.

- Pivovar, B., Rustagi, N. & Satyapal, S. (2018). Hydrogen at scale (H2@Scale): Key to a clean, economic, and sustainable energy system. *Electrochemical Society Interface*, 27(1), 47-52.
- REN21. (2020). *Renewables 2020 global status report*. Paris: REN21 Secretariat.
- Ritchie, H. & Roser, M. (2020). *Energy production & changing energy sources*. Our World in Data. Retrieved from <https://ourworldindata.org/>.
- Schmidt, O., Gambhir, A., Staffell, I., Hawkes, A., Nelson, J. & Few, S. (2017). Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(52), 70-92.
- Schneider, M. & Froggatt, A. (2021). *World nuclear industry status report 2021*. Retrieved from <https://www.worldnuclearreport.org/>
- Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P. & Ward, K. R. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, 12(2), 463-491.
- Subaşı, M. & Okumuş, M. (2017). Bir araştırma yöntemi olarak durum çalışması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 419-426.
- Susmuş, T. (2008). Endirekt giderlerin izlenmesindeki maliyet sistemsizliği vergi kaçırılmasına veya fazla vergi ödenmesine yol açar. *Journal of Accounting and Taxation Studies*, 1(1), 59-94.
- Süme, V. & Firat, S. S. (2020). Hidroelektrik santraller ve Rize ilinde bulunan hidroelektrik santrallerin şehir ve Doğu Karadeniz havzası için önemi. *Türk Hidrolik Dergisi*, 4(2), 8-23.
- Süme, V. & Subutay, F. S. (2020). Hidroelektrik santraller ve Trabzon ilinde bulunan hidroelektrik santrallerin şehir ve Doğu Karadeniz havzası için önemi. *Türk Hidrolik Dergisi*, 4(1), 10-24.
- Şimşek, C. & Öztürk, E. (2020). Jeotermal enerjinin ısıtma sistemlerinde kullanımı: Türkiye örneği. *Isıtma ve Soğutma Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 200-210.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2004). *Türkiye çevre atlası*. Ankara.
- TEİAŞ (2022). *Türkiye Elektrik İletim A.Ş. 2022 yılı faaliyet raporu*. Erişim adresi: <https://web.archive.org/web/20221226202959/https://webim.teias.gov.tr/file/3d02c82f-83a2-46dd-bc18-7c89b27c1a13> (Erişim Tarihi: 20 Kasım 2024).

- Tekin, Y. & Arslan, H. (2020). Hidroelektrik enerji projelerinin sosyo-ekonomik etkileri. *Sosyal Bilimler ve Araştırma Dergisi*, 10(1), 88-101.
- Thorpe, T. W. (1999). *A brief review of wave energy*. Harwell Laboratory, Energy Technology Support Unit.
- Tosun, Y. (2018). Jeotermal enerji ve çevreye etkileri üzerine bir inceleme. *Ekolojik Araştırmalar Dergisi*, 12(1), 65-73.
- Türk Dil Kurumu. (2024). *Güncel Türkçe sözlük*. <https://sozluk.gov.tr/>.
- Uğur, M. & Aksoy, F. (2019). Bölgesel enerji maliyetleri ve Türkiye karşılaştırması. *Ulusal Enerji Politikaları Dergisi*, 8(1), 56-79.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2015). *Paris agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>.
- Üçgül, İ. & Elibüyük, U. (2017). Yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji jeopolitiği. *Anka E-Dergi*, 2(1).
- Watts, M. (2004). Resource curse? Governmentality, oil and power in the Niger Delta, Nigeria. *Geopolitics*, 9(1), 50-80.
- Willrich, M. (1975). *Energy and the world politics*. New York: The Free Press.
- World Nuclear Association. (2023). *Nuclear power today*. Retrieved from <https://www.world-nuclear.org/>.
- Yaman, A., Behçet, R. & Yakın, A. (2019). Van ili güneş ve hidroelektrik enerji potansiyelleri ve il ekonomisine katkıları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 243-250.
- Yaman, A., Yakın, A. & Behçet, R. (2019). Van ili güneş ve hidroelektrik enerjilerinin potansiyeli ve ilin ekonomisine katkıları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 243-250. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.456554>.
- Yanlışıyla Doğrusuyla Hidroelektrik Santralleri. (2023, Aralık 28). <https://www.elektrikport.com/universite/yanlisiyla-dogrusuyla-hidroelektrik-santralleri/11695#ad-image-0>.
- Yarman, 2011, s. 14: Aktaran, Aydın, F. F. (2010). Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*.

- Yergin, D. (2008). *The prize: The epic quest for oil, money & power*. Simon & Schuster.
- Yergin, D. (2020). *The new map: Energy, climate, and the clash of nations*. New York: Penguin Press.
- Yıkımlı, M. S. (2020). Nitel araştırmalarda e-görüşme tekniği. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(1), 183-197. <https://doi.org/10.26468/trakyasobed.556296>.
- Yıldırım, F. (2021). Hidroelektrik enerjinin sürdürülebilir enerji sistemlerine katkısı. *Yenilenebilir Enerji Dergisi*, 5(1), 33-47.
- Yıldırım, H. & Demir, S. (2022). Hidroelektrik enerjinin avantajları ve dezavantajları. *Yeşil Enerji Dergisi*, 4(3), 112-125.
- Yıldız, S. S. (2021). Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi. *Geomatik*, 6(3), 198-206. <https://doi.org/10.29128/geomatik.737567>.
- Yıldız, T. (2020). Biyokütle enerjisinin yerel ekonomiye katkıları. *Ekonomi ve Enerji Politikaları Dergisi*, 9(5), 74-81.
- Yılmaz, B. ve Yıldırım, T. (2021). Denizüstü rüzgar enerjisi ve Türkiye. *Enerji Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 54-68.
- Yılmaz, D. D. (2015). *Yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar ve hidroelektrik enerji üretiminde birim maliyetlerin karşılaştırmalı analizi ve Türkiye uygulaması*. Doktora Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yılmaz, G. & Öztürkmen, B. S. (2018). GAP bölgesi'nde yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 52-58.
- Yılmaz, H. & Erkan, T. (2021). Türkiye'de hidroelektrik enerji ve sürdürülebilirlik: Doğu Anadolu örneği. *Yenilenebilir Enerji Araştırmaları Dergisi*, 12(2), 78-91.
- Yılmaz, Ş. (2020). Türkiye hidroelektrik potansiyeli ve gelişme durumu. *Türkiye'nin Enerji Görünümü*. Erişim 30 Kasım 2023. <https://www.google.com>.

Yolcan, O. O. & Köse, R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215. <https://doi.org/10.34186/klujes.793471>.

Züttel, A., Remhof, A., Borgschulte, A. & Friedrichs, O. (2010). Hydrogen: The future energy carrier. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1923), 29-42.

İnternet Kaynakları

<https://www.enerjiatlasi.com/gunes/> (Erişim Tarihi 15/12/2024)



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdulkadir ASLAN
Doğum Yeri ve Tarihi :

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Celal Bayar Üniversitesi 2010 – 2014
Bölüm : İşletme
Yabancı Diller : İngilizce

İLETİŞİM

E-Posta Adresi :
Tarih : 25/05/2025