



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Maliye Ana Bilim Dalı

**SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA PERSPEKTİFİNDE
TÜRKİYE’DE NÜKLEER ENERJİNİN ROLÜ VE ÖNEMİ**

Merve VARLIK

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2025

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA PERSPEKTİFİNDE TÜRKİYE’DE NÜKLEER
ENERJİNİN ROLÜ VE ÖNEMİ

Merve VARLIK

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Maliye Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2025

KABUL VE ONAY

Merve VARLIK tarafından hazırlanan “SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA PERSPEKTİFİNDE TÜRKİYE’DE NÜKLEER ENERJİNİN ROLÜ VE ÖNEMİ” başlıklı bu çalışma, 01/09/2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Pelin VAROL İYİDOĞAN (Başkan)

Prof. Dr. Ahmet Burçin YERELİ (Danışman)

Prof. Dr. Eda YEŞİL (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

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

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

01/09/2025

Merve VARLIK

¹ “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

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

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, **Prof. Dr. Ahmet Burın YERELİ** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Merve VARLIK

ÖZET

VARLIK, Merve. *Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifinde Türkiye’de Nükleer Enerjinin Rolü ve Önemi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2025.

Birleşmiş Milletlerin 17 sürdürülebilir kalkınma hedefi (SKA), ekonomik büyüme ile çevresel koruma arasında denge kurmayı amaçlarken, enerji sektörü bu dengenin merkezinde yer almaktadır. Çevreye düşük düzeyde karbon salınımı ve 7/24 kesintisiz üretim kapasitesi sayesinde bir adım önde olan nükleer enerji, iklim değişikliğiyle mücadele ve herkes için erişilebilir temiz enerji sağlanması hedefleri olmak üzere birçok kalkınma hedefine katkı sunabilmektedir. Türkiye’nin ilk nükleer güç santrali olan Akkuyu Nükleer Güç Santrali (Akkuyu NGS) örneği, nükleer enerjinin sürdürülebilir kalkınma bağlamında oynayabileceği stratejik rolü somut zemine oturtmaktadır. Akkuyu NGS projesi, bir yandan ülkemizin enerji arz güvenliğini artırarak ekonomik kalkınmayı desteklemeyi, diğer yandan da fosil yakıtlara bağımlılığı ve sera gazı emisyonlarını azaltarak çevresel hedeflere ulaşma anlamında Türkiye’nin stratejik hedeflerine hizmet etmektedir. Bu çalışma ile enerji arz güvenliğinde nükleer enerjinin rolü ele alınırken, Türkiye’de nükleer enerjinin sürdürülebilir kalkınma perspektifinde etkileri incelenmiş, nükleer enerjinin kullanım alanlarıyla ilgili örnekler verilerek Akkuyu Nükleer Güç Santralinin ülkemize ekonomik, çevresel ve sosyal etki analizi kapsamında etkileriyle ilgili değerlendirmeler sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler

Sürdürülebilir Kalkınma, Nükleer Enerji, Nükleer Santraller

ABSTRACT

VARLIK, Merve. *The Role and Importance of Nuclear Energy in Turkey in the Perspective of Sustainable Development*, Master's Thesis, Ankara, 2025.

The United Nations' 17 Sustainable Development Goals (SDGs) aim to balance economic growth with environmental protection, and the energy sector is at the heart of this balance. Nuclear energy, a step ahead thanks to its low carbon emissions and 24/7 uninterrupted production capacity, can contribute to numerous development goals, including combating climate change and providing accessible, clean energy for all. The example of the Akkuyu Nuclear Power Plant, Turkey's first nuclear power plant, concretely demonstrates the strategic role nuclear energy can play in sustainable development. The Akkuyu Nuclear Power Plant project serves Turkey's strategic goals by supporting economic development by increasing Turkey's energy supply security, while also reducing dependence on fossil fuels and greenhouse gas emissions to achieve environmental goals. This study examines the role of nuclear energy in energy supply security, examines the impact of nuclear energy in Turkey within a sustainable development perspective, provides examples of nuclear energy's potential applications, and presents assessments of the Akkuyu Nuclear Power Plant's impact on Turkey within the context of an economic, environmental, and social impact analysis.

Keywords

Sustainable Development, Nuclear Energy, Nuclear Power Plants.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
TABLolar DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiv
GRAFİKLER DİZİNİ	xv
GİRİŞ	1
1.BÖLÜM ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİ VE NÜKLEER ENERJİ	3
1.1. ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİ KAVRAMI.....	3
1.2. ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİNE YÖN VEREN ETMENLER	4
1.2.1. Ekonomik Unsurlar.....	5
1.2.2. Coğrafik Unsurlar	5
1.2.3. Siyasi Unsurlar.....	6
1.3. TÜRKİYE’NİN ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİ	7
1.3.1. Türkiye’nin Enerji Arz Güvenliğini Artırmasına Yönelik Çözüm Önerileri ve Uygulanan Politikalar	9
1.4. DIŞA BAĞIMLILIĞIN AZALTILMASINDA NÜKLEER ENERJİ VE AVANTAJLARI	12
1.4.1. Nükleer Enerji Kavramı.....	12

1.4.2 Nükleer Enerjinin Avantajları/Dezavantajları ve Kullanım Alanları	13
1.4.3. Türkiye’de Nükleer Enerjinin Zarurietü.....	16
1.4.4 Türkiye’nin Son 10 Yılda Kalkınma Planlarındaki Nükleer Enerji Yol Haritası.....	18
1.4.5. Dünya’da Nükleer Enerji Gelişmeleri	21
1.4.5.1. Amerika Birleşik Devletleri	23
1.4.5.2. Çin Halk Cumhuriyeti.....	24
1.4.5.3. Fransa.....	24
2. BÖLÜM BİRLEŞMİŞ MİLLETLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLARI	26
2.1. BİRLEŞMİŞ MİLLETLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLARI (SKA) KAPSAMINDA NÜKLEER ENERJİ.....	26
2.1.1. SKA-1 Yoksulluğa Son ve SKA-2 Açlığa Son	27
2.1.2. SKA-1 ve SKA-2 Kapsamında Yoksullukla ve Açlıkla Mücadelede Nükleer Enerji.....	29
2.1.3. SKA-3 Sağlık ve Kaliteli Yaşam.....	31
2.1.4. SKA-3 Sağlık ve Kaliteli Yaşamda Nükleer Teknikler.....	33
2.1.5. SKA-4 Nitelikli Eğitim.....	37
2.1.6. SKA-4 Nitelikli Eğitimde Nükleer Enerji	40
2.1.7. SKA-5 Toplumsal Cinsiyet Eşitliği	41
2.1.8. SKA-5 Toplumsal Cinsiyet Eşitliğinde Nükleer Enerji.....	42
2.1.9. SKA-6 Temiz Su ve Sanitasyon	43
2.1.10. SKA-6 Temiz Su ve Sanitasyon İçin Nükleer Enerji ve Nükleer Teknikler.....	44
2.1.11. SKA-7 Erişilebilir ve Temiz Enerji	46
2.1.12. SKA-7 Erişilebilir ve Temiz Enerjide Nükleer Enerji.....	48
2.1.13. SKA-8 İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme.....	49
2.1.14. SKA-8 İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyümede Nükleer Enerji	50
2.1.15. SKA-9 Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı	51
2.1.16. SKA-9 Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapıda Nükleer Enerji.....	54
2.1.17. SKA-10 Eşitsizliklerin Azaltılması	55

2.1.18. SKA-10 Eşitsizliklerin Azaltılmasında Nükleer Enerji.....	56
2.1.19. SKA-11 Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar	57
2.1.20. SKA-11 Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklarda Nükleer Enerji.....	58
2.1.21. SKA-12 Sorumlu Üretim ve Tüketim	60
2.1.22. SKA-12 Sorumlu Üretim ve Tüketimde Nükleer Enerji	61
2.1.23. SKA-13 İklim Eylemi.....	63
2.1.24. SKA-13 İklim Eyleminde Nükleer Enerji	64
2.1.25. SKA-14 Sudaki Yaşam.....	65
2.1.26. SKA-14 Sudaki Yaşamda Nükleer Teknolojinin Rolü.....	65
2.1.27. SKA-15 Karasal Yaşam.....	66
2.1.28. SKA-15 Karasal Yaşamda Nükleer Enerji	67
2.1.29. SKA-16 Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar.....	68
2.1.30. SKA-16 Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar İçin Nükleer Enerji.....	69
2.1.31. SKA-17 Amaçlar İçin Ortaklıklar	70
2.1.32. SKA-17 Amaçlar İçin Ortaklıklarda Nükleer Enerji.....	71
3. BÖLÜM NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ VE AKKUYU NÜKLEER GÜÇ	
SANTRALİNİN ANALİZİ.....	72
3.1. NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ	72
3.2. NÜKLEER SANTRALLERDE KULLANILAN YAKIT KAYNAKLARI	75
3.2.1. Uranyum	75
3.2.2. Toryum	77
3.2.3. Nükleer Santrallerin Ekonomik Boyutu	79
3.3. NÜKLEER SANTRALLERLE İLGİLİ TOPLUMDAKİ ENDİŞELER	80
3.3.1. Santralden Çıkan Atıkların Depolanması	80
3.3.2. Radyasyon Oranı	81
3.3.3. Kurulması ve Sökülmesi Esnasındaki Maliyetler.....	82
3.3.4. Nükleer Kazalar ve Nükleer Enerjinin Güvenliği	83
3.4. TÜRKİYE'YE KOMŞU ESKİ BİR NÜKLEER SANTRAL OLAN	
ERMENİSTAN-METSAMOR NÜKLEER SANTRALİ	85

3.5. TÜRKİYE’DE NÜKLEER SANTRAL GEÇMİŞİ.....	87
3.5.1. Akkuyu Nükleer Güç Santrali (Akkuyu NGS).....	89
3.5.2. Akkuyu Nükleer Güç Santralinin Çalışma Prensibi	94
3.5.3. Akkuyu Nükleer Güç Santralinde Maliyet Unsurları	95
3.5.4. Akkuyu Nükleer Santral Kurulumunun Ülke Ekonomisine ve Sürdürülebilir Kalkınmaya Etkisi	98
3.5.4.1. Akkuyu Nükleer Santralinin Ekonomik Analizi.....	98
3.5.4.2. Akkuyu Nükleer Santralinin Çevresel Etki Analizi.....	103
3.5.4.3. Akkuyu Nükleer Santralinin Sosyal Etki Analizi	106
3.5.4.4. Akkuyu Nükleer Güç Santraline Yönelik Endişeler	108
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	114
KAYNAKÇA	120
EK 1. ORJİNALLİK FORMU	132
EK 2. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU.....	134

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

Sent	: Bir ABD dolarının yüzde biri
Gigaton	: Kütle birimi (10^9 ton)
GW	: Güç birimi (gigawatt) 10^9 watt
GWh	: Enerji birimi (gigawatt saat)
kW	: Güç birimi (kilowatt) 10^3 watt
kWh	: Enerji birimi (kilowatt saat)
mSv	: Radyasyon doz birimi (miliSievert)
MTEP	: Enerji birimi (milyon ton eşdeğer petrol)
MW	: Güç birimi (megawatt) 10^6 watt
MWh	: Enerji birimi (megawatt saat)
TWh	: Enerji birimi (terawatt saat)

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
BOO	: Built-Own-Operate
BM	: Birleşmiş Milletler
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirme
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
LCOE	: Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyeti
NATO	: Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü
NDK	: Nükleer Düzenleme Kurumu
NGS	: Nükleer Güç Santrali
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü

ROSATOM	: Rusya Devleti Nükleer Şirketi
SKA	: Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TENMAK	: Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu
TETAŞ	: Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
VVER	: Vodo-Vodyanoi Energeticheskiy Reaktor
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
WCED	: Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
WNA	: Dünya Nükleer Birliği
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1: Küresel Enerji Planlaması ve Nükleer Güç	18
Tablo 2: Dünya’da Elektrik Üretiminde Nükleer Enerjinin Payı (2023).....	22
Tablo 3: 10 MeV Elektron Hızlandırıcısı ve Eşdeğer Co-60 Kaynağı Yatırım Maliyeti.....	34
Tablo 4: Senver-2024.....	53
Tablo 5: SKA 10 Kapsamında Şirketler ve Kullanım Örnekleri	56
Tablo 6: Nükleer Bir Kurulumda Meydana Gelen Nükleer Olay Durumunda, İşletmecinin Nükleer Sorumluluğu İçin Nükleer Sorumluluk Sözleşmeleri Kapsamında Öngörülen Asgari Tutarlar	59
Tablo 7: SKA 16 Kapsamında Şirketler ve Kullanım Örnekleri	69
Tablo 8: 1000 Mw Enerji Üretecek Santral İçin Gerekli Alan	73
Tablo 9: Radyasyon Oranları Kıyaslaması ve Örnekleri	74
Tablo 10: Dünyada Toryum Yatakları	78
Tablo 11: Türkiye’de İnşaat Halindeki Güç Reaktörleri	89
Tablo 12: Türkiye’de Önerilen Güç Reaktörleri.....	89
Tablo 13: Akkuyu Nükleer Güç Santrali ve Referans Tesis Kıyaslaması	93
Tablo 14 :Enerji Tipine Göre Maliyet Analizi.....	97
Tablo 15: Türkiye 2013-2023 Yılları Arası Brüt Elektrik Enerjisi Talebi ve İhracat/İthalat Gelişimi.....	99
Tablo 16: İşletme Maliyetindeki Yakıtın ve Fiyatın 2 Katına Çıkmasıyla Birim Elektrik Enerji Üretimindeki Maliyette Değişim.....	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA)	26
Şekil 2: TENMAK-Proton Hızlandırıcısında Üretilebilecek Radyoizotoplar ve Kullanım Alanları.....	37
Şekil 3: 1880–2021 Döneminde 20. Yüzyıl Ortalamasına Göre Küresel, Okyanus ve Kara Yüzeyi Sıcaklık Anomalileri.....	63
Şekil 4: Nükleer Santrallerden Enerji Üretimi	72
Şekil 5: Nükleer Santralin Çalışma Prensibi.....	94

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 1: NÜKEN Proton Hızlandırıcı Tesisi	36
Fotoğraf 2: Deniz Suyu Arıtma Tesisi	46
Fotoğraf 3: Metsamor NGS'nin Havadan Görünüşü	86
Fotoğraf 4: ÇNAEM Tr-2 Araştırma Reaktörü.....	88
Fotoğraf 5: Akkuyu Nükleer Güç Santrali	92

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 1: Türkiye'nin Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı (2024)	8
Grafik 2: Kaynaklar Bazında Birincil Enerji Tüketimi.....	17
Grafik 3: Ülkelere Göre İşletmedeki Nükleer Reaktör Sayısı (2025).....	21
Grafik 4 :Afrika'nın Enerji ve Açlık Sorunlarındaki Payı	29
Grafik 5: İskonto Oranının Elektrik Üretim Maliyeti (LCOE) Üzerindeki Etkisi	31
Grafik 6: Eğitim Basamaklarına Göre Öğrenci Başına Yapılan Eğitim Kurumları Harcaması (Dolar).....	39
Grafik 7: Yetişkinlerin (25-64 Yaş Arası) Eğitim Seviyelerine Göre Payları	39
Grafik 8: Elektrik Üretim Kaynaklarının Yaşam Döngüsü Sera Gazı Emisyonları	62
Grafik 9: Dünya Uranyum Üretim Oranları.....	76
Grafik 10: Santrallerin Maliyet Oranları.....	83
Grafik 11: Sektörlere Göre Elektrik Tüketimi	100
Grafik 12: Co2 Emisyonlarının Oranı (2021)	104

GİRİŞ

Enerji arz güvenliği, bir ülkenin ihtiyaç duyduğu enerjiyi kesintisiz, sürdürülebilir, çevreye zarar vermeden ve ekonomik olarak uygun maliyetle temin etmesi olarak tanımlanmaktadır. Enerji arz güvenliğinin sağlanabilmesi ise enerji arz-talep dengesinin sağlanmasına, bununla ilgili yatırımlarının artırılmasına, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesine, Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesine ve şeffaf yönetim mekanizmalarının işletilmesine bağlıdır. Bu anlamda enerji arz güvenliği sürdürülebilir kalkınmanın da vazgeçilmez bir unsurudur.

Sürdürülebilir kalkınma bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetine zarar vermeden karşılamak olarak ifade edilmektedir. 2015 yılında Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ise, 2030'a kadar yoksulluğun ortadan kaldırılması, gezegenin korunması ve refahın herkes için sağlanması doğrultusunda 17 hedefi içeren detaylı bir çerçeve sunmuştur. Bu hedefler içinde enerji politikaları ise önemli bir yere sahiptir; ekonomik kalkınmayı çevresel koruma ile aynı zemine oturtmak, büyük ölçüde temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımına bağlıdır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve fosil yakıt tüketiminin minimuma indirilmesi hem iklim değişikliğiyle mücadele hem de enerji arz güvenliği açısından önem arz etmektedir. Bu anlamda nükleer enerji, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde özel bir konuma sahiptir: Düşük karbon salımı sayesinde iklim hedeflerine katkı sağlarken, yüksek enerji yoğunluğu ve 7/24 kesintisiz enerji üretim imkânıyla kalkınma hedeflerini destekleyebilecek bir enerji seçeneği olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'nin enerji politikaları, büyüyen ekonomi ve her geçen gün artan nüfusun taleplerini karşılamak için tarihsel olarak dışa bağımlı kalmıştır. Petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıt ithalatına ağırlık verilmiş; ancak bu kısa vadeli çözüm, zamanla ekonomik maliyetler oluşturma yanı sıra çevresel sorunları derinleştirmiş ve uzun vadede enerji arz güvenliği risklerini beraberinde getirmiştir. Bu yüksek ithalat bağımlılığı, cari açık üzerinde ciddi baskı oluşturma ötesinde jeopolitik kırılganlıklara da yol açmaktadır. Enerji politikalarında temiz enerji kaynaklarına yönelim, sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin temel bir önceliği haline gelmiştir.

Nükleer enerji, II. Dünya Savaşı sonrasında ortaya çıkan teknolojik bir yenilik olarak, 1950'lerden itibaren elektrik üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak Çernobil gibi bazı nükleer kazalar toplumda endişeleri de beraberinde getirmiş, önemli adımları atmakta geç kalınmasına sebep olmuştur. Bu anlamda Türkiye'de de nükleer santral kurma fikri ilk olarak 1970'li yıllarda gündeme gelse de somut adım kamuoyundaki olumsuz yargılar sebebiyle atılamamıştır.

Son dönemde ise enerji arz güvenliği ve iklim değişikliği endişelerinin artmasıyla, nükleer enerji yeniden stratejik bir seçenek olarak benimsenmiştir. 2010 yılında Rusya ile yapılan hükümetler arası anlaşma sonucunda, Türkiye'nin ilk nükleer santrali olacak Akkuyu Nükleer Güç Santrali (Akkuyu NGS) projesi başlatılmıştır. Yap-sahip ol-işlet (build-own-operate) prensibiyle (Dünya'da bu modelde gerçekleştirilen ilk proje) 4 reaktörden meydana gelen bu projede, Türkiye'ye 15 yıl boyunca elektriğin sabit fiyatla Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.'ye (TETAŞ) satılması ekonomik anlamda bizi avantajlı duruma geçireceği beklenilmektedir.

Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin tam kapasite devreye girmesiyle birlikte, yıllık yaklaşık 7 milyar dolarlık doğal gaz ithalatı yerine; aynı miktarda elektriğin nükleer enerjiyle yaklaşık 700 milyon dolara üretilbilecek olması, doğal gaz kaynaklı üretime kıyasla nükleer enerjinin yaklaşık 10 kat daha ekonomik olduğunu ortaya koymaktadır (ETKB, 2016, s.9). Böylece nükleer enerji, Türkiye'nin hem elektrik arzını çeşitlendirme hem de karbon emisyonlarını azaltma hedeflerine önemli bir katkı sunma potansiyeli taşımaktadır. Güvenlik riskleri, radyoaktif atık yönetimi ve maliyetleri gibi boyutlar, sürdürülebilir kalkınma perspektifinde dikkatle ele alınması gereken hususlardır. Gerek akademik literatürde gerekse de kamuoyu nezdinde nükleer enerjiye yönelik yaklaşımlar ikiye bölünmüş durumdadır. Keza nükleer santrallerin ucuz elektrik üretimi, düşük karbon salımı ve kesintisiz güvenilir enerji arzı gibi temel avantajlarına karşılık radyoaktif atık sorunu ve kaza riski gibi dezavantajlarına yönelik çalışmalar da hız kesmeden sürdürülmelidir. Bu çalışmada Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda nükleer enerjiyi nasıl konumlandırabileceğini ve bu alandaki politikaların gelecekte hangi yönde şekillenmesi gerektiği ortaya konulmuştur.

1.BÖLÜM

ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİ VE NÜKLEER ENERJİ

1.1. ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİ KAVRAMI

Enerji kelimesinin sözlükteki karşılığı maddede var olan ısı, ışık biçiminde oluşan güç olarak karşımıza çıkarken, Yunancada en ve ergon kelimelerinin birleşmesiyle ortaya çıkmıştır (Kocaeren, 2016, s.157). Enerjiyi kinetik enerji, kimyasal enerji gibi değişik şekillere çevirerek hayatımızı kolaylaştırmaya çalışırız ki yakın zamana kadar ülkelerin gelişmişlik düzeyleri enerji tüketimleri ile refah ölçüsü ise kişi başı enerji tüketimleriyle hesap edilirdi (Doğan, 2010, s.2). Bu doğrultuda enerjiyi tanımlarsak, tüm maddelerin yapısında bulunan ve çeşitli biçimde ortaya çıkan fiziksel anlamda ise iş yapabilme yeteneğini ifade eden; ısı, ışık, kimyasal ve nükleer gibi biçimleri bulunan tüm ekonomik faaliyetler için itici güçtür (Erdoğan, 2016, s.80).

Sanayi devrimiyle enerjiye olan talebin artışı tüm dünyada enerji arz güvenliğini de beraberinde getirmiş ve enerjideki güvenlik sorunsalı son 30 yılın belki de en önemli gündem maddelerinden biri olmuştur. Bunun en temel sebebi hızla artan küresel nüfusta enerji kaynaklarının yetersiz kalması ve bu rekabetin enerjide güvenlik problemini beraberinde getirmesidir. Enerji arz güvenliği, ülkeler için ekonomik, sosyal ve kültürel faaliyetlerini hiçbir kesintiye uğratmadan makul fiyatla ve sürekli olarak temin edebilmesi için ihtiyaç duyduğu enerji olarak ifade edilebilir.

AB komisyonu tarafından derlenen ve AB'nin enerjiye yönelik politikalarını sıralayan Enerji Arz Güvenliği İçin Bir Avrupa Stratejisine Doğru başlıklı Yeşil Kitapta enerji arz güvenliği; toplumun tümünün iyiliği ve iyi işleyen bir ekonomi için sürdürülebilir gelişme hedefi çerçevesinde bütün tüketiciler için her fiyatta enerji ürünleri pazarına kesintisiz fiziki erişim sağlamak olarak tanımlanmıştır (European Commission, 2000, s.9). Tanımdan anlaşılacağı üzere enerjiye kesintisiz ve ekonomik olarak karşılanabilir, yani uygun fiyatlı erişim olması önem arz etmektedir.

Enerji arz güvenliğini sadece kısa vadeli değil uzun vadeli tedbirlerle beraber ele almak daha sağlıklı olacaktır. Hughes ve Shupe (2010) tarafından ortaya atılan enerji güvenliğinin belirlemede 4 temel kriter üzerinde durulmuş; bunlardan kullanılabilirlik

ile enerji kaynaklarının mevcut rezervlerden sağlanabilmesine; erişilebilirlik ile kaynaklara kesintisiz ulaşmaya, satın alınabilirlik ile maliyetlerin ekonomik düzeyde olmasına, kabul edilebilirlik ile çevreye ve insana zarar vermeden kaynakların kullanımına dikkat çekilmiştir (Peker, 2015, s.767). Bu 4 kriter belli başlı temel kriterler olarak belirlense de başka parametreler de bu hedeflerle aynı düzlemde kesişmektedir. Enerji arz güvenliğini sağlamak için diğer hedefleri incelediğimizde;

- Enerjiye olan taleple arz arasındaki farkın minimizasyonunu sağlamak,
- Enerji yoğunluğunu azaltıp enerji tasarrufunu artırmak,
- Dengeli enerji portföyü oluşturmak,
- Tedarik sürecindeki enerji kaynaklarını çeşitlendirmek,
- Enerji alt yapısına uygun yatırımları artırmak,
- Alternatif enerji kaynaklarını desteklemek,
- Araştırma geliştirme çalışmaları ile enerji yeniliklerine açık olmak,
- Enerji sektöründe objektif ve şeffaf yönetişimi sağlamak olarak özetlenebilir (Balat, 2010, s.1).

Günümüzde dijitalleşmenin hız kazanması ile modern enerji arz güvenliği de ayrı bir başlık olarak tartışılmaya başlanmıştır. Enerji yatırımlarındaki verilerin dijital ortamlarda saklanması, yapay zekâ alanındaki ilerlemeler siber tehditlere açık hale gelmesini kolaylaştırmıştır. Siber güvenliğin de milli güvenliğimiz için bir bütün olarak görülmesi ve enerji altyapı operasyonlarının 7/24 izlenmesi gibi küçük ama etkili önlemler güçlü altyapı, stratejik rezervler ve siber dayanıklılık anlamında bütünleyici olarak ele alınması gereken unsurlardır.

1.2. ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİNE YÖN VEREN ETMENLER

Enerji arz güvenliğini etkileyen unsurlar bir ülkenin sahip olduğu enerjiye kesintisiz, çevre dostu ve güvenilir şekilde erişim sağlama kapasitesini doğrudan ilgilendirir ancak

tek başına yeterli değildir. Ekonomik, coğrafik ve siyasi faktörlerle ele alınması gereken çok boyutlu strateji haline gelmiştir.

1.2.1. Ekonomik Unsurlar

Enerji arz güvenliği kavramı çoğunlukla ülkelerin ekonomik yapısı, gelir düzeyi, enerjide ithalata bağımlılığı, döviz kurları, depolama maliyetleri ve fiyat istikrarı gibi birçok ekonomik başlıkla şekillenmesinin yanı sıra enerjinin ithalat ve ihracat üzerindeki makroekonomik anlamda etkisi ödemeler dengesini de doğrudan etkilemektedir. Özellikle enerjide dışa bağımlı olan ülkeler uluslararası fiyatlardaki dalgalanmalardan daha çok etkilenmekte ve bunun için ülke içerisindeki ithal enerji kaynakları yerine alternatif kaynaklara yönelim enerji arz güvenliğine katkı sağlamaktadır. Ülkelerin sahip oldukları enerji rezervlerinin talepleri karşılama yüzdesi arttıkça enerji arz güvenliği de buna paralel olarak artmaktadır.

Fosil yakıtların ilelebet var olamayacakları gerçeği enerji fiyatlarının yükseliş trendine geçmesine sebep olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde önlem olarak enerji kaynaklarının depolanması bu açıdan büyük önem arz etmektedir. Türkiye’de bu düzlemde 5,4 milyar m³ kapasitesi olan Tuz Gölü Yer Altı Doğal Gaz Depolama Tesisi projesini hayata geçirmiş olması ani kesintilere karşı tampon işlevi görmektedir (Koca ve Yoldaş, 2023, s.13). Ancak ülkemiz için cari açıkta en önemli kalemi hala enerji oluşturmaktadır. Enerjide ithalata bağımlılık enerji maliyetlerini artırıp ekonomi üzerinde baskıyı artırmakta ve enerji arz güvenliğini azaltmaktadır. Enerjide bir kesinti yaşanması halinde ülke içerisindeki birçok sektöre balta vuracaktır. Bu anlamda yerli ve çevre dostu enerji kaynaklarına yönelim enerji arz güvenliğine katkı sağlayacak ve yüksek ithalat bağımlılığına duyarlı finansal kırılganlığı azaltacaktır.

1.2.2. Coğrafik Unsurlar

Enerji kaynaklarının çıkarıldıkları konum, enerji arzının güvenliğine etki eden unsurlardan biridir. Coğrafyanın etkisini daha çok jeolojik derinlik, rezervin büyüklüğü, iklim değişikliği, lojistik olanaklar, üretici ve tüketiciye olan mesafesi gibi etmenlerde görmekteyiz ki bunlar için ortaya atılan çözüm önerisi daha çok enerjiye ulaşımdaki nakil

hatlarını artırmak veya tüketiciler bazında farklı tedarik zincirlerine ulaşmayı sağlamak olarak gösterilmektedir (Yıldız, 2020, s.81). Enerji kaynakları taşınırken çevresel ve mali açıdan iletim ağı önem arz etmektedir. Taşınma için deniz yolu veya kara yolu kullanılmasının da kendi içinde riskleri mevcuttur. Çevresel risklerine bakıldığında doğalgaz gibi fosil yakıtların boru hatları ile taşınması daha çevreci olmasından dolayı makul bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu boru hatlarının güzergâhları ise özellikle Türkiye gibi jeostratejik konumu önemli olan ülkelerde arz güvenliği açısından onları söz sahibi ülke yaparak katkı sağlamaktadır. Örneklendirmek gerekirse TANAP-Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi ile doğal gazın Türkiye üzerinden Avrupa'ya taşınması hem ülkemizde gaz arzını çeşitlendirmiş hem de bölgesel ekonomik kalkınma için avantaj sağlamıştır.

Günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile coğrafi referanslı verilerin toplanması, depolanması, bilgilerin analizi ve görselleştirilmesini kolaylaştıran bilgisayar tabanlı sistemler kullanılmakta olup yatırım teşvik bölgelerinin belirlenerek yerel veriler ile istatistiksel verilerin entegrasyonu sonucu hem görsel hem nesnel sonuçlar elde etmeye yardımcı olunmaktadır (Taşdemir ve Çam, 2024, s.277-278). Özellikle enerji piyasasında üretim ve iletim ağında büyük yatırımların gerekmesi, bilgiye ulaşmadaki verilerin bu tip farklı yöntemler ile tespit edilmesi anlamında enerji arz güvenliğine olumlu katkı sunmaktadır.

1.2.3. Siyasi Unsurlar

Enerji arz güvenliği sadece ekonomik bir mesele değil aynı zamanda siyasi politikaların da belirleyicisi olma açısından kamuoyu nezdinde özellikle ülkemizde yerli ve milli enerji söylemleri ile karşılık bulan bir konudur. Enerji kaynaklarına sahip olmak ülkeleri siyasi kaosa sürükleyebileceği gibi terör eylemlerine ve çatışmalara da açık hale getirmesi yönüyle geniş çaplı güvenlik önlemlerini zorunlu hale getirmektedir.

Özellikle enerji nakil güzergâhlarında bulunan ülkeler açık tehdide maruz kalmaktadır. Siyasi istikrarsızlık ve ambargo gibi durumlar arz güvenliğini negatif yönde etkilemektedir. Yakın tarihte yaşanan 1973 Petrol Krizinden 1.inci ve 2.nci Körfez Savaşlarına kadar yaşanan tüm gerilimlerin kökeninde ülkelerin petrole olan

bağımlılıkları ile fiyat artışlarının yaşattığı kaos ortamı, enerji arz güvenliğinin siyasi unsurlardan etkilendiğinin göstergesidir.

Enerji politikaları çoğu zaman hükümetler arası ilişkilerle şekillenmektedir. Arz güvenliğini sağlamak stratejik planlardan kalkınma hedeflerine kadar geniş çaplı siyasi kararlılıkla yürütülmesi gereken bir konu olmasının yanı sıra bunu yaparken de uluslararası iş birliklerinden kopulmadan politikaların eş anlı yürütülmesi gerekmektedir. Bu açıdan politik tercihlerin sürdürülebilir ve tutarlı olması büyük önem taşımaktadır.

1.3. TÜRKİYE’NİN ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİ

Enerji arz güvenliği ülkelerin kalkınması ve ulusal güvenliği için yukarıda bahsedildiği üzere kritik bir öneme sahiptir. Enerji arz güvenliğini en kolay ölçmenin yolu bir ülkenin enerji kaynaklarında dışa olan bağımsızlıktır. Devletler enerji arz güvenliğini sağlamak için enerjiye yönelik yatırımlarını artırmak ve arz portföyünü genişletmek durumundadır.

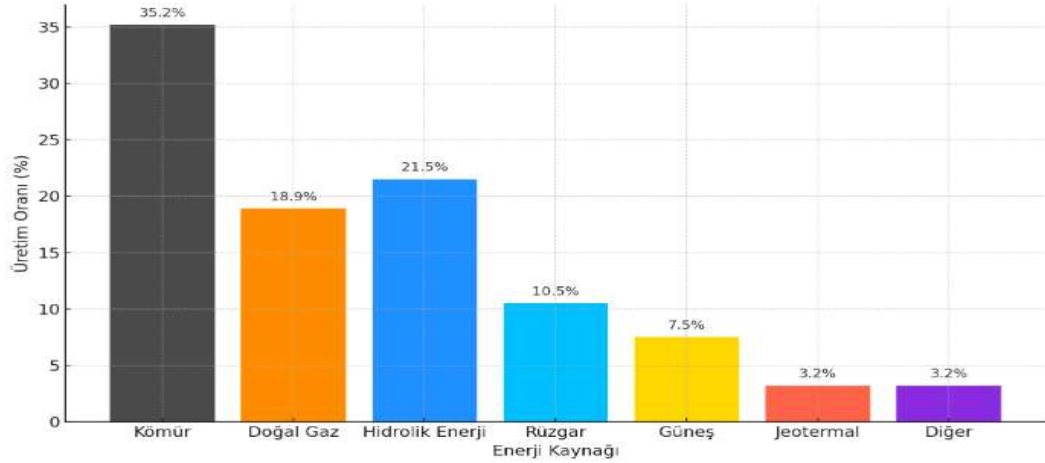
Ülkemiz için enerji arz güvenliğindeki en önemli konu hızla artan enerji talebi karşısında dışa bağımlılığının artmasıdır. Türkiye’nin enerji kalemlerinin büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlara bağımlıdır. Fosil yakıtlarda olan ani yükseliş ve dalgalanmalar enerji arz güvenliğini negatif etkilemektedir. Orta Doğu, Hazar Bölgesi ve Rusya gibi dünya petrol ve doğalgaz rezervlerinin yaklaşık üçte ikisine sahip olan bölgeler, Türkiye’nin yakın çevresinde yer almaktadır.

Türkiye açısından bu enerji zengini coğrafyaya komşu olmak önemli bir avantaj gibi gözükse de Ortadoğu’daki gerilimler ve siyasi istikrarsızlık, Hazar Bölgesi’nde Rusya’nın hakimiyeti ve Rusya’nın enerji kaynaklarını zaman zaman siyasi araç olarak kullanması, Türkiye’nin enerji arz güvenliği açısından çeşitli riskler barındırmaktadır (Erdoğan, 2016, s.93-94).

Dünya genelinde ise en fazla ihtiyaç duyulan enerji biçimi, ikincil enerji kategorisinde yer alan elektrik enerjisidir. Türkiye’nin elektrik üretiminin yarısından fazlası hâlâ fosil yakıtlarla yapılmaktadır. Kaynaklar çoğunlukla ithal edildiği için enerji maliyetleri küresel fiyatlara duyarlıdır.

Grafik 1 incelendiğinde Türkiye'nin elektrikten enerji üretme kapasitesinde 2024 yılı için en yüksek pay kömüre aittir. Doğal gaz ve kömür ithalatı Türkiye'nin enerji faturasında büyük bir yer tutmaya devam etmektedir ki kömürde dahi kendi kaynağımız olan linyitten yararlanmak yerine çoğunlukla ithal kömür ile çalışan kömür santralleri kullanılmaktadır.

Grafik 1: Türkiye'nin Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Dağılımı (2024)



Kaynak: ETKB, 2024a.

Elektrik üretimindeki temel sıkıntı doğal gaz için ithalatta yeterince ülke çeşitliliğine erişilememiş olmasıdır. Bu payın yüksek olmasında alım garantisi içeren sözleşmeler, doğalgaz çevrim santrallerinin ilk kurulum giderlerinin düşük olması, kısa sürede devreye alınabilmesi gibi etmenler gelmektedir. Doğalgazın Türkiye'de tercih sebebi olmasında hem temiz enerji kaynağı gözükmesi hem de dağıtımının daha kolay olması avantajları dolayısıyla ithalatımızda büyük yer edinmesi enerji arz güvenliğimizde bazı riskleri beraberinde getirmektedir. Ülkemizin doğalgaz ve petrol gibi kaynaklar yönünden kıt olması, enerji talep politikaları belirlenirken enerjiye yönelik tüm değişkenlerin birlikte ele alınmasını gerektirmektedir (Çalışkan, 2009, s.305).

Türkiye'nin temel sorunu, sınırlı miktarda fosil yakıtlara sahip olması ve diğer kaynakların da tam olarak değerlendirilememesi sebebiyle enerji tüketiminde ithalata büyük ölçüde bağımlı olmasıdır. Doğalgazdaki bu bağımlılık özellikle Rusya'dan temin edilen kısmı için Rusya-Ukrayna krizi gibi jeopolitik sıkıntıların olduğu dönemlerde Türkiye üzerinde enerji temininde baskı oluşturma risklerini de beraberinde getirmektedir.

Geçmişten günümüze ülkemizde enerji arz güvenliğini artırmaya yönelik çabalar mevcuttur. Bu çabaların başında kaynakları ve güzergahları çeşitlendirme yolundaki adımları sayabiliriz. Geçtiğimiz yıllarda Karadeniz'in Sakarya sahasında keşfedilen 320 milyar metreküplük doğalgaz rezervi devreye alınmış olup yeni rezervlerle birlikte önümüzdeki yıllarda üretim kapasitesinde beklenen artış sonucunda doğalgaz ithalatının önemli ölçüde azalacağı düşünülmektedir (Hale, 2022, s.453). Benzer şekilde Türkiye'nin ilk nükleer güç santrali olan Akkuyu Nükleer Güç Santralinin devreye girmesi ile enerji sepetimize nükleer enerji de eklenmiştir. Bu şekilde kesintisiz kaynak üretmenin yanında iklim değişiklikleri ile mücadelede öngörülen 2053 Yılı Net Sıfır Emisyon hedefine ulaşma yolunda önemli bir adım atılmıştır.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik gibi doğada bitip tükenmeyen kaynakları ile fosil yakıtlara alternatif oluşturacak ve yerli kaynak olmaları sayesinde enerji arz güvenliğine ve dışa bağımlılığın azaltılmasına hizmet edecek zengin yenilenebilir enerji potansiyeline de sahiptir. Almanya gibi ülkelerin bile elverişsiz iklim koşullarına rağmen yenilenebilir enerjiye yönelmiş olması Türkiye'nin sahip olduğu bu potansiyelini bir an önce kullanması gerektiğini gözler önüne sermektedir.

Türkiye'de güneş potansiyelinin yılda 380 TWh olduğu tahmin edilmektedir, ancak şu anda yalnızca 25 TWh üretilmesi keza 48 GW'lık rüzgâr potansiyelinin yalnızca 13 GW'ı kurulduğu, jeotermal kurulu kapasitesinin de 4,5 GW'e olup potansiyelinin yalnızca %38,4'ünü kullanması yenilenebilir enerji bağlamında potansiyelini kullanmadığı ve kapsamlı politikaların alınması gerektiğini göstermektedir (Gulaydin ve Mourshed, 2025, s.1). Bu anlamda kaynak kullanımının optimizasyonunun sağlanması ve entegre çözümleri masaya yatırmak ülkemizin enerji dönüşümünü sağlamada vites yükseltmemiz gerektiğini göstermektedir.

1.3.1. Türkiye'nin Enerji Arz Güvenliğini Artırmasına Yönelik Çözüm Önerileri ve Uygulanan Politikalar

Ülkelerin enerji güvenliğini sağlamaları ile ulusal güvenlikleri arasındaki paralel ilişki o ülkenin sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliği açısından enerji arz güvenliğinin stratejik

önemini göstermektedir. Türkiye gibi her geçen gün artan nüfusu ve büyüyen ekonomisi ile enerjiye olan talebin sürekli arttığı ülkelerde özellikle enerjideki ithalat bağımlılığı ve enerji arz güvenliği kaygıları bu konuyu sürekli gündemde tutmaktadır. Bu minvalde enerji arz güvenliği dış politikanın olduğu kadar ülke içindeki ekonominin de öncelikleri arasında yer almaktadır. Çünkü enerji arz güvenliği sadece teknik bir konu değil aynı zamanda ekonomik açıdan da enerji kesintilerinden yüksek enerji faturalarına, dış ticaret dengesinden fiyat istikrarına kadar birçok parametresi olan kritik bir konudur.

Ülkemiz enerji bağımlılığı yüksek olan ülkeler arasındadır. Bu noktada enerji arz güvenliğini sağlamanın birinci yolu, dışa bağımlılığı azaltmak için enerji kaynaklarını ve mahreç ülkeleri çeşitlendirmekten geçmektedir. Bu doğrultuda ülkemizde Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı, Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı, Güney Kafkasya Doğal Gaz Boru Hattı, Türkiye-Yunanistan Doğal Gaz Enterkonnektörü, TürkAkım ve Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı projeleri ile alternatif enerji kaynaklarına erişim sağlamaktan, Hazar bölgesinden gelen gaz çeşitliliğini artırmaya ve yeni güzergâhlar edinmeye kadar Türkiye’yi sadece transit ülke olmaktan çıkarıp enerji ticaretinin merkezi haline getirmek amaçlanmıştır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, t.y).

Enerji arz güvenliğini sağlamanın ikinci yolu, yerli kaynakların etkin ve verimli kullanılmasının sağlanması ve depolama tesislerinin kapasitesinin artırılmasıdır. Bu kapsamda doğalgaz, petrol ve kömür aramaları hızlandırılmalı, linyitin verimli kullanımı için termik santrallerin modernizasyonu yapılmalı, güneş, rüzgâr, hidrolik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarımıza yatırımlar hız kazandırılmalı ve bu yatırımlar için uluslararası fonların da etkin kullanılması sağlanmalıdır (Çalışkan, 2009, s.308).

Enerji arz güvenliğini sağlamanın üçüncü yolu, *en ucuz enerji tasarruf edilebilen enerjidir* düsturuyla enerji tüketiminde tasarrufu artırarak tasarruf kültürünün yerleşmesine yönelik eylemler öngörülmelidir. Ülkemizde 2024-2030 yıllarını kapsayacak şekilde Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) kapsamında 10 amaç ve 23 hedef ile 2024-2030 yılları arasında 20,2 milyar \$ yatırım ve 37.1 MTEP birincil enerji tasarrufuyla enerji tüketiminde %16 azalma ve 100.000.000 ton CO₂ azaltımı hedeflenerek enerji tasarrufunu karar alma proseslerinin politika bileşeni unsuru yapmak hedeflenmektedir (ETKB, 2024b, s.51-52).

Enerji arz güvenliğini sağlamanın dördüncü yolu nükleer enerji kapasitesi oluşturmaktan geçmektedir. Özellikle nükleer güç santralleri çok küçük oranlarda yakıtle yüksek düzey enerji sağladıkları için yakıt tedariğı konusunda kırılganlık oluşturmazlar ve düşük karbon emisyonları ile iklim değışikliği ile mücadelede avantajlı konumdadırlar. Ayrıca sürekli ve yüksek miktarda baz yük sağlamaları enerji arz güvenliğıne olumlu katkı sağlamasının yanı sıra uzun vadeli yatırımlar olması anlamında fiyat istikrasına katkı sağlayacaktır.

Enerji arz güvenliğini sağlamanın beşinci yolu enerji sektörüne yatırımı özendirmekten geçer. Bu alanda hizmet vermek isteyen kişi veya kuruluşlara teşvik veya muafiyet sağlamanın yolunu açmak, özellikle Avrupa Birliğı ülkelerinde gördüğümüz yenilenebilir enerjiden elde edilen elektrikte alım garantili sözleşmeler yapmak ve belli zaman aralığı için vergi muafiyetleri sağlamak ve fırsatlar sunmak arz güvenliğıne katkı sağlayacaktır (Şengönül, 2022, s.85). Ülkemizde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) ile yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğı piyasada belirlenen fiyatının üstünde sabit fiyatla alım garanti verilmesi ülkemizin enerji kapasitesini artırmasında önemli bir yere sahiptir (Dindar, 2022, s.232-235).

Enerji arz güvenliğini sağlamanın altıncı yolu yalnızca iç politikalarla güvenliğı sağlamak değil uluslararası entegrasyonun da ülke nezdinde sağlanması ile mümkündür. 2009 yılında kurulan Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'nın da kurucu üyelerinden olan Türkiye global çapta temiz enerjiye dönüşümün parçası olmanın yanında enerji ticaretine yönelik çok taraflı anlaşmalarla uluslararası hukuk mekanizmalarına dahil olmuştur. Özellikle boru hatları ve elektrik enterkoneksiyonları konusunda sınır komşularımızla ortak projelere dahil olmak arz güvenliğinin teminatı olarak görölmektedir.

Enerji arz güvenliğinin sağlanması yönünde atılacak her girişim, sadece ülkedeki ekonomik istikrarı pekiştirmekle kalmayacak, benzer şekilde gelecek nesillere daha güçlü, refah içinde ve bağımsız bir ülke bırakma vizyonuna katkı sağlayacaktır.

1.4. DIŞA BAĞIMLILİĞİN AZALTILMASINDA NÜKLEER ENERĐİ VE AVANTAJLARI

Dünyada nüfusun ve enerji ihtiyacının sürekli artması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek maliyeti nükleer enerjiyi stratejik bir çözüm haline getirmiştir. Özellikle enerji arz güvenliği konusunda risk altındaki ölkeler yeni ve yerli kaynak arayışlarında nükleer enerjiyi alternatif kaynak olarak görmeye başlamışlardır. Nükleer enerji hem kaynak çeşitliliği hem ekonomik istikrar hem de sıfır emisyon hedeflerimize ulaşmadaki sloganımız olan karbonsuz kalkınma açısından birçok enerji kaynağına göre cazip tarafları bulunmaktadır.

1.4.1. Nükleer Enerji Kavramı

Yenilenemeyen enerji kaynaklarından sonuncusu olan nükleer enerji kavramı, atom çekirdeklerindeki itme ve çekme kuvvetlerinin etkisiyle istikrarsız çekirdeklerin fisyon ve füzyon reaksiyonlarıyla parçalanması ya da birleşmesi sonucunda ortaya çıkan bir enerji türüdür.

Nükleer fisyon, uranyumun nötron bombardımanıyla yüksek miktarda enerji üretmesini sağlar ve nükleer fisyon enerjisi o kadar kuvvetli bir enerjidir ki on binlerce kilo kömür, petrol veya doğal gazdan elde edilen enerjiye denktir. İlk nükleer fisyonla ilgili çalışma 1934 yılında Enrico Fermi tarafından uranyumu nötronlar aracılığıyla bombalayarak gerçekleştirilmiş 1938 yılına gelindiğinde ise bombalanmış materyallerle ilk deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Palabıyık vd., 2010, s.172). Günümüzde tercih edilen yöntem de fisyondur. Nükleer enerji üretiminde kolay parçalanabilirliği nedeniyle uranyum-235 tercih edilir, ancak doğal uranyumda düşük oranda bulunduğu için zenginleştirme yöntemleriyle yoğunluğu artırılır (Derbazlar, 2023, s.33). 1 kg uranyum-235'in Keban Barajı'nın bir günlük enerjisine eşdeğer enerji üretmesi, nükleer enerjinin olumsuz yanlarına rağmen ilgi görmesini sağlamaktadır (Yarman, 2011, s.20). Kuşkusuz bu çekirdek parçalanması sonucu yarılanma ömürleri çok değişken olan radyoaktif çekirdeklerin ortaya çıkmasına sebep olması nükleer reaktörden çıkan atıkların güvenli saklanması sorununu da beraberinde getirmektedir (Yarman, 2011, s.159).

20. yüzyılda atomun bu denli büyük bir enerjiyle parçalanmasıyla bilim adamları uranyum madenini zenginleştirilerek ortaya çıkan bu enerjiyi fosil yakıtların alternatifi olarak kullanmaya başlamış ve Eisenhower'ın Barış İçin Atom söylemi sonrası Dünya'da ilk nükleer santral 1954 yılında Rusya'da işletilmeye başlanmıştır (Çelik vd., 2015, s.59).

Sonraki yıllarda İngiltere ve ABD'de de nükleer güç santrali açılmıştır. 1950-1970 yılları arasında nükleer enerjinin birkaçı hariç daha çok barışçıl amaçlarla kullanıldığı yıllar diyebiliriz. Bu tarihlerde nükleer enerjinin kullanımına yönelik gelişmelere baktığımızda; 1945 yılında atom bombası atılması, 1951 yılında nükleer reaktörden elektrik enerjisi üretimi, 1952 yılında nükleer güç deniz altısı, 1953 de Birleşik Milletler Genel Kurulunda Barış İçin Atom çağrısı, 1954'de Rusya'da ürettiği enerjiyi enerji nakil hatlarıyla taşıyan ilk nükleer santral, 1957'de Euratom'un imzalanmasıyla Uluslararası Atom Enerjisi Kurumunun kurulması karşımıza çıkmaktadır; ayrıca 2. Dünya Savaşından sonra 2006 yılında bilgilerin dünya çapında ortaklaşa paylaşımı ve kontrolünün küresel düzeyde sağlanması amacıyla Küresel Nükleer Enerji Ortaklığı da inşa edilmiştir (Palabıyık vd., 2010, s.172-173).

1.4.2 Nükleer Enerjinin Avantajları/Dezavantajları ve Kullanım Alanları

Dünyada fosil yakıtlarının doğasına baktığımız zaman kömür olsun petrol olsun pratikte tükenmeye mahkûm kaynaklardır ve ülkelerin taleplerini uzun vadede karşılayamayacakları aşikardır. Yakın döneme kadar fosil yakıtlara bağımlılık dünyada %75 iken ülkemizde maalesef %90'lardaydı (TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 2011, s.21). 2023 yılında Türkiye'nin 1.incil enerji arzının %82'si fosil yakıtlardan ve bunun da %79'u maalesef ithal kaynaklardan sağlanmış, özellikle doğal gazda %98, ham petrolde %87 ve kömürde %61 oranında dışa bağımlı kalmıştır (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, 2023, s.7). Enerjinin aslında en büyük avantajı yıllar boyu süren kesintisiz çok yüksek oranda enerji üretmesi ve bunu yaparken de istikrarlı enerji kaynağı olmasından kaynaklanır. Buna şöyle örnek verebiliriz 4 ton kömürden elde edilecek bir enerji 1 gram uranyum ile kolaylıkla elde edebilmektedir (Harunoğulları, 2019, s.132).

Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) G-8 ülkelerine yönelik yaptığı Enerji Teknoloji Perspektifleri yayınında karbondioksit salınımının 2050 yılına kadar %100'den fazla

artacağını ve bu CO2 emisyonlarını azaltmak için nükleer enerjinin elektrik üretimindeki payının %24'e çıkarılması (şu an olanın 2 katı) gerektiğinin altını çizmektedir (IEA, 2011, s.80).

Yapay yollarla elde edilen plütonyum-239 (doğada bulunan U-238 ve toryum 232 izotopları nükleer tepkimeyle plütonyum 239'a dönüşmektedir) ile 6 milyon kw saat enerji üretilmektedir. Karbon atomunun parçalanmasında da 4 elektron voltluk enerji açığa çıkarken uranyumun parçalanmasından 200 MeV'lik enerji açığa çıkmaktadır. Enerji bazında 50 milyonluk bahsedilen oran; kütle başına 2.500.000'na tekabül etmektedir ve bu enerjiden insanlık fazlasıyla yararlanabilecektir. (TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 2011, s.27).

Nükleer Enerji Enstitüsü verilerine göre dünyada 443 reaktör var ve toplam kapasitesi 393 bin 266 megavat düzeyindedir. Bu kapasitenin 105 bin megavattı Avrupa Birliği ülkelerinde bulunmakta olup nükleer enerjinin %26,7'sini oluşturmaktadır ki bu üye ülkeler arasında en yüksek orana sahip ülke Fransa'dır (Şeker, 2023, s.16).

Dünya'da diğer enerji kaynaklarına göre tercih sebebi olmasında belli başlı faktörleri sıralamak mümkün;

- a) Nükleer santrallerdeki enerji için kullanılan uranyum hammaddesinin taşınması için gerekli masrafların ve enerjisinin çok olmasından kaynaklı taşınması gereken miktarın da az olması,
- b) Diğer enerji kaynaklarından farklı olarak çevre kirliliği bağlamında sera gazlarına neden olmaması,
- c) Kısa vadede elde edilen az hammadde ile sanayileşme hızının doğru oranda artması (Şahin, 2011, s.300-302).

Karşıt görüşte bulunan tarafların nükleer enerjiye yönelttikleri eleştirilere baktığımızda ise; (Aktepe ve Gökkaya, 2023, s.2983)

- a) Nükleer santrallerin doğası gereği karmaşık teknolojisi güç dalgalanmalarına karşı etkin kontrolü zorlaştırırken, Çernobil gibi kazaların bu tesislerin güvenliği konusunda ciddi endişelere yol açtığı,
- b) Devlet sübvansiyonları ve sorumluluk sınırlamaları sayesinde maliyetleri gizlenen nükleer enerjiden üretilen elektriğin gerçek maliyetleri yansıtıldığında tüketiciler için oldukça pahalı olacağı,
- c) Nükleer enerjiye alternatif olan güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyoyakıt gibi daha çevreci teknolojilerin yeterince desteklenmedikleri için şu an daha az enerji ürettiği olsa da daha güvenli ve çevreye daha az zarar verici seçenekler olduğu,
- ç) Kullanılmış nükleer yakıtın binlerce yıl süren radyoaktivitesi nedeniyle, mevcut depolama yöntemlerinin uzun vadeli güvenilirliği belirsiz olup, gelecekteki nesiller için daha etkili çözümler geliştirilmesi gerektiği gibi bazı eleştirilere de maruz kalmaktadır.

Bir diğer yandan nükleer enerjinin kullanım alanlarına baktığımızda ilk akla gelen elektrik üretimi olsa da nükleer teknoloji; endüstri, tarım, sağlık, sanayi, çevre ve su arıtımı gibi birçok alanda kullanılarak verimliliği artırmak, hastalıkları teşhis ve tedavi etmek, su kaynaklarını korumak ve ekosistemleri izlemek gibi hayati roller üstlenmektedir.

Ayrıca hastalıkları tedavi ederken birçok alet kullanılmakta olup bunların hijyeninin sağlanması gerekmektedir. Radyoaktif ışınların maliyetine rağmen, hızlandırıcı reaktörlerle elde edilen elektron demetleri, güvenilirliği ve kullanım kolaylığı sayesinde günümüzde sterilizasyonda öncelikli tercih haline gelmiştir (Murray ve Holbert, 2015, s.222).

Endüstriyel atık sular, doğada kolayca parçalanamayan zararlı moleküller içerir. Bu tür maddeleri ayrıştırmak için arıtma işlemleri uygulanır. Ancak bazı firmalar, bu atıkları denize boşaltarak çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu sorunları önlemek için kentsel ve endüstriyel atık suların arıtılmasında elektron hızlandırıcıların kullanılması gerektiği fikri gündeme gelmiştir. Bu yöntem, zararlı bileşikler daha etkili bir şekilde parçalayarak çevreye verilen zararı en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Usta, 2019, s.15). Ayrıca

metallerdeki üretim aşamasında meydana gelen çatlakların tespitinde veya tahribatsız testlerde de nükleer teknolojiden yararlanılmaktadır.

Nükleer santrallerin doğası gereği açığa çıkan yüksek ısı ile denizden elden edilen tuzun ayrıştırılmasında, seraların ısıtılmasında, hatta hidrojenin elde edilmesinde ve petrol üretimi gibi alanlarda da yararlanılmaktadır (Palabıyık vd., 2010, s.175).

Denizlerdeki yaşamlar, insanlık için büyük bir yiyecek deposudur. Bazı alanlardaki tehlikeli algal patlamalar sonucu toksinlerin kabuklu deniz canlılarında birikmesi neticesinde bu endüstriyi ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Nükleer tekniklerle oluşturulan reseptör bağlanma çalışmalarıyla bu toksisiteyle önceden alarm verilmesi sağlanır ve izleme imkânı elde edilmiş olur (Harunoğulları, 2019, s.133).

1.4.3. Türkiye’de Nükleer Enerjinin Zaruryeti

Türkiye için nükleer enerji artık bir tercih değil, enerji arz güvenliği, ekonomik bağımsızlık ve iklim hedefleri için bir zorunluluktur. Enerjisini kendi üretemeyen bir ülkenin geleceğini inşa etmesi düşünülemez. Ekonomik büyüme ve kalkınma için temel faktörlerin ara malları, enerji ve sermaye olduğunu düşünürsek enerjide ithal enerjiyle, toplam enerji tüketimimizi karşılayamayamız cari açığın temel sebeplerindendir. Enerjiye olan talebin her yıl ortalama %3-5 oranında arttığı bir ortamda bu talebi karşılamak için sadece yenilenebilir ya da fosil yakıt kaynaklar yeterli gelmemektedir.

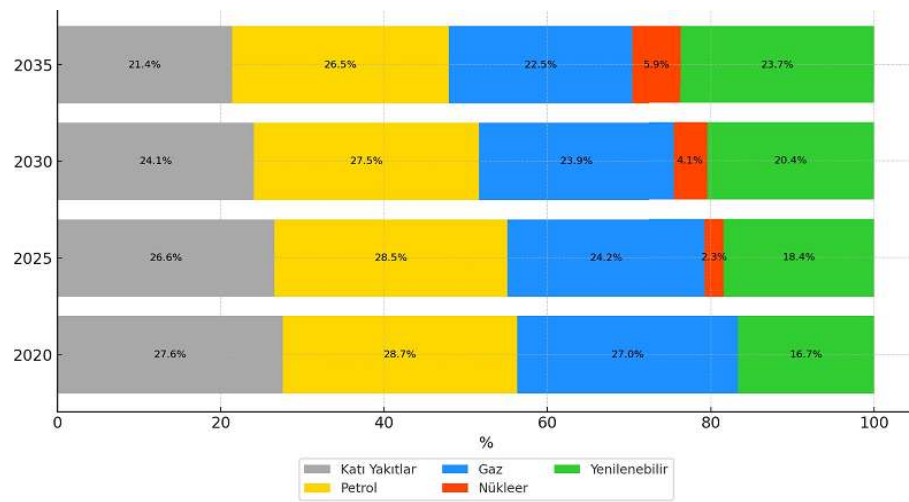
Üstelik yenilenebilir enerji doğası gereği kesintili çalıştıklarından ancak yaklaşık %40 verimle işletilebilmekte olup elektrik şebekesinin sürekli ve kararlı çalışmasını sağlamak için tam gün çalışabilen santraller gereklidir. Fosil yakıt santrallerinin ithal bağımlılığı ve çevresel etkileri dikkate alındığında, nükleer santraller yakıt giderleri düşük (%20) ve yüksek kapasite faktörlü (%80) en ideal seçenek olarak görülmelidir (Kütükçüoğlu, 2020, s.142). Kaldı ki Türkiye, Paris İklim Anlaşması kapsamında karbon emisyonlarını azaltmayı taahhüt etmiştir.

Nükleer enerjinin karbon salınımı yapmayan bir enerji kaynağı olması çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemlidir. Nükleer santrallerle beraber yıllık 2,3 milyar ton CO₂ (sera gazı etkisini azaltması) ve 42 milyon ton SO₂ (asit yağmurlarının önlenmesi)

gibi zararlı salınımların atmosfere karışması engellenmektedir (Ergün ve Polat, 2012, s.39).

Bu kapsamda 2023-2035 dönemini kapsayan Türkiye Ulusal Enerji Planı ile nükleer enerjinin ülkenin enerji çeşitlendirme stratejisinde önemli bir rol oynayacağı vurgulanmaktadır. Buna yönelik olarak 2035 tarihine kadar ülkemizdeki toplam nükleer kurulu gücü 7.2 gigavata çıkararak birincil enerji tüketiminde payını %5,9'a, 2053'e kadar ise nükleer enerjinin payını %29,3'e çıkarmak hedeflenmektedir (ETKB, 2022, s.19-29).

Grafik 2: Kaynaklar Bazında Birincil Enerji Tüketimi



Kaynak :ETKB, 2022, s.20.

Nükleer enerjiyle en basit anlatımla rüzgâr enerjisini bile kıyas ettiğimiz zaman; sadece Akkuyu Nükleer Güç Santralinin 64.000 rüzgâr tribününe eş değer nitelikte olduğunu düşünürsek maliyet anlamında bile rüzgârdan elektrik elde etmek için 4,6 sent/kWh harcadığımız yerde nükleer enerjide bu 2,5 sent/kWh gibi çok daha düşük maliyetlerle yüksek verim alınmaktadır (Yılmaz, 2015, s.236).

Nükleer reaktörlerin kapasitesinin %90'ını kullanırken, yenilenebilir enerji kaynaklarında bu oran yalnızca %30-40 dolaylarında kalmakta buna sebep olan da aslında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin hepsi değil, yalnızca bir kısmı baz yük sağlayamamasından kaynaklı olarak şebekeye aktarılabilir (ETKB, 2016, s.5).

Tablo 1: Küresel Enerji Planlaması ve Nükleer Güç

Yıl	Toplam Elektrik Üretimi (tw-saat)	Nükleer Elektrik Üretimi (tw-saat)	Nükleer Enerjinin Payı (%)	Nükleer Kapasite (tw)
2025	21250	4760	23	720
2050	32400	9350	30	1445
2075	41200	15520	38	2350
2100	47300	21950	46	3325

Kaynak: Ergün ve Polat, 2012, s.46.

Tablo 1, 2025'ten 2100 yılına kadar küresel elektrik üretiminde nükleer enerjinin artan rolünü gösteren önemli projeksiyonlar sunmaktadır. Dünya'da nükleer elektrik üretiminin 2025'de %23, 2050'de %30, 2075'de %38, 2100 yılına geldiğimizde ise %46 olacağı öngörülmektedir. Bu trend, nükleer enerjinin temel yük kaynağı olarak benimsenmesinin ve fosil yakıtlardan uzaklaşmanın bir göstergesi olup Türkiye bu trendin gerisinde kalmamalıdır.

1.4.4 Türkiye'nin Son 10 Yılda Kalkınma Planlarındaki Nükleer Enerji Yol Haritası

Türkiye'nin nükleer enerji yol haritası, enerji arz güvenliğini sağlamak, enerji çeşitliliğini artırmak ve düşük karbonlu enerji kaynaklarına geçiş hedefleri doğrultusunda önemli bir süreçten geçmektedir. Tabi bu süreçte bazı gecikmeler, teknik zorluklar ve politik-ekonomik faktörler nedeniyle planlardan sapmalar yaşandığı zamanlar da olmuştur. Ancak Türkiye'nin nükleer enerji stratejisi, sürdürülebilir kalkınma ve enerji bağımsızlığı hedefleri doğrultusunda kapsamlı bir şekilde ilerlemektedir. Mersin-Akkuyu, Sinop-İnceburun ve Kırklareli-İğneada, 1970'li yılların başında yapılan nükleer santral yer seçim çalışmalarında öne çıkan en uygun sahalar olarak belirlenmiştir.

Hükümet programlarında nükleer enerji, genellikle enerji üretim çeşitliliğini artırma, enerji güvenliğini sağlama ve çevre dostu enerji kaynaklarına yönelme amacıyla ele alınan önemli bir konudur. Enerji arz güvenliği, sürdürülebilir kalkınma ve ekonomik büyüme için stratejik bir öneme sahip olarak öne çıkmaktadır. Hükümet programlarındaki nükleer enerjiyle ilgili konuları ilk X. İnönü Hükümeti (25.12.1963-20.02.1965)

döneminde görsek de (nükleer elektronik ve radyoizotopla ilgili laboratuvarlar inşa etmek, sağlık fiziki vs.) nükleer enerjiyi açıkça dillendiren hükümet 1. Demirel Hükümetidir (27.10.1965-03.11.1969) (Palabıyık vd., 2010, s.76).

2012 yılında Resmî Gazetede yayımlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi (2012-2023), enerji verimliliği için yapılan çalışmalarda rehber niteliğindedir. Bu belgeyle enerji kaynaklarının her aşamasında verimli kullanılması ile ilgili tedbirler almayı özellikle sanayi ve hizmet sektörlerinde enerji optimizasyonu sağlayarak kayıpları minimize etmek, yeşil bina uygulamalarını artırarak enerji talebini ve sera gazı emisyonlarını azaltmak, kurumsal altyapıyı ve iş birliği mekanizmalarını geliştirerek, teknoloji adaptasyonunu hızlandırmak, farkındalık çalışmalarını yaygınlaştırmak ve alternatif finansman kaynakları oluşturmak hedeflenmektedir. Bu kapsamda hükümet politikaları ve kalkınma planları ise bu stratejinin temel taşlarını oluşturmaktadır.

Son 10 yıla baktığımız zaman 63. ve 64.üncü hükümet döneminde, (2018-2023 / 2023-2028) Akkuyu Nükleer Güç Santrali (NGS) projesinde somut ilerlemeler kaydedilmiş, Akkuyu NGS'den sonra yeni nükleer santrallerin kurulması da gündeme gelmiş, Sinop ve İğneada bölgelerinde yeni nükleer santrallerin inşa edilmesi için hazırlıklar yapılmış ve bu projelerin planlama aşamaları hızlandırılmış, yerli teknoloji geliştirme çabaları daha da hızlandırılmıştır, nükleer mühendislik eğitimi veren üniversiteler ile işbirliklerinin artırılması ve bu alanda yetişmiş insan kaynağının desteklenmesi amaçlanmış, nükleer santrallerin çevre üzerindeki olumlu etkilerine yönelik tanıtım faaliyetleri ve bilimsel çalışmalar yapılmıştır.

Onuncu Kalkınma Planına baktığımız zaman (2014-2018), nükleer enerjide ilk büyük adımlara bu dönemde rastlıyoruz. Nükleer enerjinin elektrik üretiminde payının artırılmasına yönelik hukuki altyapıyı güçlendirme çalışmalarının oluşturulacağına, bağımsız nükleer düzenleme ve denetim sistemi kurulacağına değinilmiş ve bu kapsamda 4.800 MWe güce sahip Akkuyu Nükleer Güç Santralini inşası için Rusya ile 4.480 MWe güce sahip 2.nci nükleer santral için de Sinop'ta Japonya ile anlaşmalar imzalanmıştır (Kalkınma Bakanlığı, 2014-2018, s.103). Bunlardan Akkuyu NGS inşaatı 2018'de başlamış ancak Sinop projesi Japon-Fransız konsorsiyumunun çekilmesiyle şu an için askıya alınmış durumdadır. Sinop Nükleer Güç Santrali için 4 üniteden oluşan (her bir ünite 1150 MWe gücünde) 20 yıl boyunca KDV hariç 10.80/10.83 dolar sent/kWh'den

alım garantili elektrik fiyatı ile yıllık 35,3 milyar kWh üretim yapılacağı düşünülüyordu (Tiniş, 2019, s.38).

On Birinci Kalkınma Planına baktığımız zaman (2019-2023), enerji arz güvenliği, teknolojik gelişme ve düşük karbonlu enerji dönüşümü kapsamında stratejik bir hedef olarak yer almıştır. Türkiye'nin üçüncü nükleer santrali olarak planlanan 4 reaktörlü (ilk 2'si 1250 mwe, kalanı 1400 MWe gücünde) Kırklareli/İğneada nükleer santral projesinde 2015 yılında bu kalkınma planıyla gündeme geldiğini ve Çin Devlet Kuruluşu, Amerikan firması Westinghouse ve EÜAŞ arasındaki iş birliği ile anlaşma imzalanmış, görüşmeler başlamıştır (Tiniş, 2019, s.40-43). Bu projeyle Türkiye nükleer enerji kapasitesini 20 GW üzerine çıkarmayı hedefliyordu ve 2023 sonuna kadar anlaşma sürecinin tamamlanması öngörüldü. Ancak finansman konusundaki anlaşmazlıklar, hukuki engeller ve çevresel kaygılar nedeniyle şu an için ilerleme kaydedilememiştir.

2019'da da Sinop Nükleer Santral Projesinden Japon tarafı maliyet ve güvenlik endişeleri sebebiyle projeden çekilmiş, yeni uluslararası ortak arayışına girilmiş ancak henüz sonuç alınamamıştır. 2023 yılında Türkiye Nükleer Enerji A.Ş.'ye (TÜNAŞ) Sinop NGS için kurucu statüsü verilmiş, Nükleer Düzenleme Kurumu tarafından ayrıca saha onayı verilmiş, mevcut ilerlemeler takip edilmektedir.

Bu kalkınma planında nükleer enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için nükleer enerjiye yönelik olarak nükleer güç reaktörleri inşasında yüksek derecelere dayanıklı materyallerde yerli üretimlere destek olunacağı, nükleer hammaddelerin üretim kapasitesini güçlendirmek üzere endüstriyel altyapı tesisleri kurulacağından, Nükleer Düzenleme Kurumunun gereksinim duyduğu teknik danışmanlık ve uzmanlık hizmetleri için Nükleer Teknik Destek Anonim Şirketinin devreye alınacağı vurgulanmıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019, s.80-112).

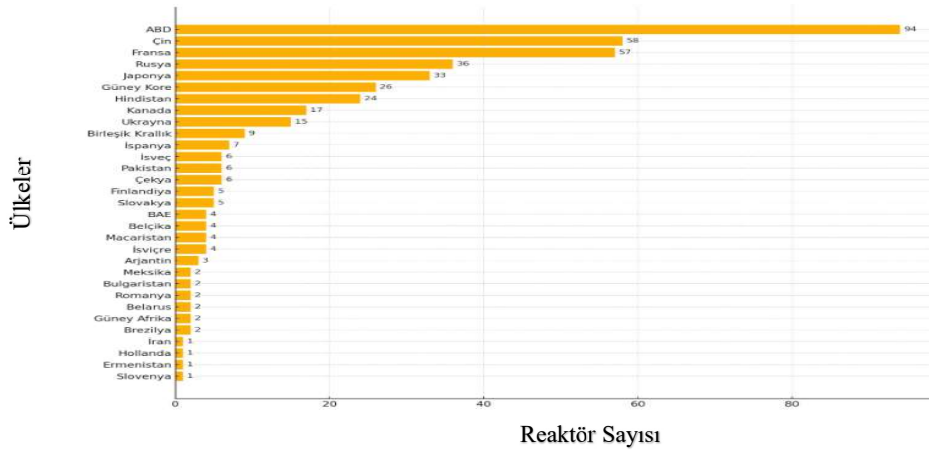
On İkinci Kalkınma Planına baktığımız zaman (2024-2028), Akkuyu Nükleer Güç Projesinin 4 ünitesinin de 2028 yılında faaliyete geçmesi planlanmakta olup yerli nükleer reaktör tasarımı için Ar-Ge çalışmalarının başlatılması gündeme gelmiştir. Yenilenebilir enerji, yeşil hidrojen ve enerji depolama yatırımları 2053 yılı net sıfır emisyon hedefi için kritik rol oynayacağını, yerli küçük modüler reaktörler (SMR)'le yeni nesil teknolojiler önceliklendirilerek elektrik üretimi artırılıp nükleer enerjinin ülkemizde kullanımı

yaygınlaşacağı, nükleer atıklar için tesis planlamalarının devam edeceği, Akkuyu NGS için tüm ünitelerin faal olarak elektrik üreteceği öngörülmüştür (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023, s.59-117).

1.4.5. Dünya’da Nükleer Enerji Gelişmeleri

Türkiye’de halihazırda Mersin Akkuyu Nükleer Santral projesi devam ederken kara/deniz komşusu olduğumuz birçok ülkede (Bulgaristan, Ermenistan, Rusya, Romanya, İran gibi...) nükleer santraller yıllardır kullanılmaktadır. Dünya çapında nükleer enerji reaktörünün inşaat süresi ortalama 10 yıl sürmektedir. Mayıs 2024 itibariyle 32 ülkede 440 nükleer güç reaktörü bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, ülkeler arası sıralamada dünyadaki toplam nükleer reaktörlerin %20’sini bulundurarak 94 nükleer santralle ilk sırada yer almaktadır (Bkz. Grafik: 3).

Grafik 3: Ülkelere Göre İşletmedeki Nükleer Reaktör Sayısı (2025)



Kaynak: WNA, 2025a.

2024 yılı itibariyle dünyada işletmede nükleer santral bulunduran ülkelerin, nükleerden elektrik üretim verilerini incelediğimizde; dünya sıralamasında ilk 3’ü Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Fransa oluşturmaktadır.

Tablo 2’de Amerika Birleşik Devletleri 779 TWh ile dünyadaki nükleerden elektrik üretiminin (2602 TWh) nerdeyse %30’unu tek başına karşıladığını, Fransa’nın 324 TWh ile elektrik üretiminin %60’dan fazlasını nükleerden karşıladığını, Çin’in 406 TWh ve Rusya’nın 204 TWh ile nükleerde payının hızla arttığını söyleyebiliriz (IAEA, 2024, s.2).

Tabloda şaşırtıcı olan Almanya, 15 Nisan 2023'te son üç nükleer santralini de kapatarak nükleer enerjiden tamamen çıkmıştır. 2023 yılında, nükleer enerji Almanya'nın elektrik üretiminin 6,72 terawatt-saat (TWh) ile yalnızca %1,5'ini oluşturmuştur. Dünyadaki nükleer gücün nerdeyse 1/3'üne Avrupa Birliği ülkeleri sahiptir.

Tablo 2: Dünya'da Elektrik Üretiminde Nükleer Enerjinin Payı (2023)

Sıra	Ülke	Elektrik Üretimi (TWh)	Toplam Elektrikte Nükleer Payı
1	ABD	779,2	%18,6
2	Çin	406,5	%4,9
3	Fransa	323,8	%64,8
4	Rusya	204	%18,4
5	Güney Kore	171,6	%31,5
6	Kanada	83,5	%13,7
7	Ukrayna	50,0	%50,0
8	Almanya	6,72	%1,4
9	Birleşik Krallık	37,3	%12
10	İsveç	46,6	%28,6

Kaynak: WNA, 2025b.

Dünyada artık nerdeyse birçok ülkede nükleer enerji teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Sadece hanelerin elektrik talebini karşılamak için değil birçok gemi/denizaltı nükleer enerji ile çalışmakta, askeri veya ticari amaçlı nükleer enerjiden faydalanılmaktadır (Yıldırım ve Örnek, 2007, s.33).

Dünyada zirveyi çeken 3 ülkenin nükleer enerjide geldikleri nokta aşağıda ele alınmaktadır.

1.4.5.1. Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri (ABD), nükleer enerji alanında teknolojik olarak dünyanın en önde gelen ülkelerinden biridir. Nükleer enerji son 60 yıldır Amerika'ya temiz enerji sağlamaktadır. Enerji güvenliği ve ekonomik kalkınma açısından nükleer enerjinin ülkeye katkısı oldukça yüksektir. Enerji arz çeşitliliğini artırarak dışa bağımlılığı azaltmanın yanı sıra, devlet destekli araştırmalar, üniversiteler ve özel sektör arasındaki iş birlikleriyle nükleer inovasyonun merkezlerinden biri hâline gelmiştir. Karbon salımını azaltma hedeflerine ulaşmak için nükleer temiz enerji kaynağı olarak görülmektedir, 2050'ye kadar net sıfır emisyon hedefi kapsamında nükleerin payının artırılması planlanmaktadır.

ABD'deki nükleer santraller %93'den fazla tam kapasite ile çalışarak 2023 yılında 775 milyar kilovatsaat elektrik üretmiş ve 72 milyondan fazla yerleşime elektrik sağlamıştır. ABD Enerji Bakanlığı reaktör lisanslama faaliyetlerine destek için 13 milyon dolar, nükleer yakıt geri dönüşüm teknolojileri için ise 10 milyon dolarlık kaynak ayırmıştır. 60 yıldır üretimde kullanılan nükleer yakıtların toplamı 10 metreden çok daha küçük bir futbol sahası büyüklüğündedir (CRES Forum, 2025, s.1-2). Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri güncel gelişmeler ışığında nükleer enerjiye olan talebin artmasıyla Argonne Ulusal Bir Laboratuvarı tarafından geliştirilen *PRO-AID* ile nükleer reaktörlerde yapay zeka ile gerçek zamanlı izleme ve sorunları teşhis ederek sıkıntı olduğu zaman ilgili personele bunu raporlayan sistem ile nükleer santrallerde verimliliği ileri ki yıllarda artırmayı hedeflemektedir (Argonne National Laboratory, t.y)

Amerika'da 1980'li yıllarda tüm ülke elektriğinin %11'i nükleer enerjiden karşılanıyorken (nükleer santrallerden 251 TWh elektrik üretmiştir), 2023 yılında üretim 779 TWh'ye ulaşarak elektrik ihtiyacının yaklaşık %19'unu karşılamış olup maliyet anlamında da 2012'de ortalama nükleer üretimin maliyeti 52,83 dolar/MWh iken 2023 yılında 31,76 dolar/MWh'a kadar düşmüştür ki bu düşüş işletme verimliliğinin artırılması, bakım süreçlerinin iyileştirilmesi ve yakıt kullanımının optimize edilmesi gibi faktörlerle ilişkilendirilmektedir (WNA, 2024a).

Hali hazırda ülke sınırları içerisindeki 94 adet nükleer reaktörle 779,2 TWh'lık nükleer enerji üretimi yapılarak dünya genelindeki %30'luk üretim kapasitesi hakimiyeti

korunmaktadır. 2050’li yıllara gelindiğinde ise nükleer reaktör sayılarının bunun 3 katına çıkarılması hedeflenmektedir (Külebi, 2007, s.144).

1.4.5.2. Çin Halk Cumhuriyeti

Çin, son yıllarda nükleer enerji alanında önemli gelişmeler kaydetmiştir. Bu gelişmelerin çoğu, enerji ihtiyacını karşılamak, küresel enerji güvenliği ile iklim değişikliği mücadelelerine katkıda bulunmak amacıyla gerçekleştirilen büyük yatırımlar ve stratejik planlamalardan kaynaklanmaktadır. Özellikle Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ile yakın ilişkiler sürdürülmektedir.

Çin’in 2023 yılı verilerinde nükleer enerjinin payı, toplam elektrik üretiminin yaklaşık %5 ini oluşturmaktadır. Nükleer enerjinin, özellikle kömür yataklarından uzak ve ekonominin hızla geliştiği kıyı bölgelerinde önemli bir rolü vardır. Gelecek projeksiyonlarında 2030 yılına kadar 200 GWe’ye ve 2050 yılına kadar 400-500 GW’ye kadar kapasitenin artırılması hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik olarak ilk yerli nükleer reaktörleri olan basınçlı su reaktörü *Hualong One*’ ın ticari işletmeye alınmasıyla nükleer enerjiden elektrik üretiminde ciddi düzeyde faydalanılacağı hatta değişik proje modelleriyle (inşa et, sahip ol, işlet gibi) yurtdışına ihracat için de çalışmalara odaklanılmış 2030 yılına kadar kişi başına düşen yıllık elektrik tüketiminin 5500 kWh olacağını ve elektriğin %10’unun nükleer enerjiden karşılanabileceği, ayrıca Güney Çin denizinde hakimiyet kurmayı planladığı yüzen nükleer santral projesi *ACPR50S* ve *ACPI00S* için de çalışmaların sürdürüleceği belirtilmiştir (WNA, 2025c).

1.4.5.3. Fransa

Fransa, nükleer enerji alanında dünyanın en önde gelen ülkelerinden biridir. Hem sivil hem de askeri nükleer teknolojilerde uzun bir geçmişe ve güçlü bir altyapıya sahiptir. Fransa, nükleer enerjiye dayalı bir enerji politikası ile karbonsuz elektrik üretimine ciddi yatırımlar yapmaktadır. Fransa nükleer enerjiyle ilgili faaliyetlerini kamu ve özel şirketler aracılığıyla yürütmektedir.

Fransa 57 nükleer güç reaktörü ile yıllık 63.000 mWe elektrik elde etmekte ve ürettiği elektriğin neredeyse %70'ini nükleer enerjiden sağlamaktadır (bu ülkeyi jeopolitik risklere karşı avantajlı hale getiriyor) ve elektrik diğer kaynaklara göre hesaplı olduğundan, elektrikli ısıtma çok daha yaygındır ve ihracat anlamında da üretim maliyetlerinin düşük olması Avrupa'nın en büyük elektrik ihracatçısı yapmış ve 3.000.000.000 avronun üzerinde gelir elde etmiştir (WNA, 2025ç).

Fransa'da bu kadar çok nükleer santral olması istihdamı da doğrudan etkilemiştir ve yaklaşık 200.000 kişi bu alanda çalışmakta ve çarpan etkisiyle yeni iş dallarını da beraberinde getirmiştir (inşaat, fizik, sanayi vb.). Bu alandaki ilerlemeler ülkeyi nükleer reaktör ve teknoloji ihraç eden bir konuma getirmiş, uluslararası prestij kazanmasını sağlamış ve nükleer yatırımları kalkınma aracına evrilmiştir.

“2023 yılı için Fransız hanesinin ortalama enerji harcaması 3,678 avrodur. Bu rakamın tüketim bütçesindeki toplam payı %9,4'tür ve bu zorunlu bir gider kalemidir. Fransa bu kadar nükleer santrale sahip olmasaydı, bu hane halkı harcamasının muhtemelen %9,4 değil, %12-15 gibi daha yüksek seviyelerde gerçekleşeceği düşünülmektedir. Almanya'da elektrik fiyatı 2022'de rekor kırarken, Fransa'da devlet destekleri ve nükleer üretimle fiyatlar daha az artmış ve enflasyon daha kolay kontrol altına alınmıştır” (Service des données et études statistiques, 2025).

2. BÖLÜM

BİRLEŞMİŞ MİLLETLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLARI

2.1. BİRLEŞMİŞ MİLLETLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLARI (SKA) KAPSAMINDA NÜKLEER ENERJİ

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Sustainable Development Goals), 2015 yılında kabul edilen ve 2030 yılına kadar Sürdürülebilir Kalkınma İçin 2030 Gündemi başlığıyla global çapta yoksulluğu bitirmek, evreni korumak ve tüm insanların barış ve refah içinde yaşamasını sağlamak için belirlenen 17 evrensel hedeften oluşan küresel bir eylem çağrısıdır (UNDP, 2025) .

Sürdürülebilir kalkınmayı sosyoekonomik tüm boyutlarıyla bütüncül yaklaşımla incelemeliyiz. Bu hedefler enerji politikalarını merkeze alarak ekonomik ilerlemeyi çevresel korumayla uzlaştırmayı amaçlar. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve fosil yakıtlardan uzaklaşılması hem iklim hedefleri hem de enerji bağımsızlığı açısından kritik öneme sahiptir. Bu dönüşüm, küresel iş birliği ve yenilikçi politikalar ile mümkündür. Bu bölümde sürdürülebilir kalkınma amaçları kapsamında nükleer enerjinin rolü ve önemi üzerinde durulacaktır.

Şekil 1: Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA)



Kaynak : UN, 2025a.

2.1.1. SKA-1 Yoksulluğa Son ve SKA-2 Açlığa Son

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ışığında SKA-1: Yoksulluğa Son ve SKA-2: Açlığa Son olarak adlandırılmıştır. Çalışmamızda bu iki amaç birbirine yakın eylemler içerdiği için bir başlık altında değerlendirme konusu yapılmıştır.

Yoksulluk ve açlıkla mücadelede; aşırı yoksulluğu (günde 2.15 doların altında yaşayanlar) ortadan kaldırmak ve tüm insanların temel haklara (barınma, eğitim, sağlık, iş, enerjiye erişim) sahip olmasını sağlamayı, yoksullukla mücadelenin temel hedefi olarak görmüştür. Burada yoksulluk tanımının yalnızca gelir eksikliğine odaklanmaktan ziyade, çok boyutlu göstergelerle ve insani yönleriyle ele alındığını görmekteyiz. Hatta şöyle ki yoksulluk yalnızca parasal değil, aynı zamanda kültürel, sosyal ve öznel boyutları da içeren bir olgudur ve okuryazarlık, yaşam süresi, çocuk ölümleri gibi parasal olmayan göstergelerle de ölçülmektedir. Yoksulluktaki artış yalnızca adaletsiz olmakla ve milyonlarca insanın bütünlüğüne yönelik bir tehdit oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda eşitsizliği de artırır, bu da toplumsal adaptasyonu zayıflatır ve ekonomik büyümeyi ciddi şekilde engeller. Enerji yoksulluğu dediğimiz kavram ise işin özünde düşük gelirli birey ve toplulukların ısıtma, aydınlatma, pişirme, su arıtımı, eğitim ve sağlık hizmetlerine erişim gibi yaşamsal hizmetleri yeterli ve güvenli biçimde kullanamaması olarak anlamak gerekmektedir. BM Sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasında yer alan yoksulluğa ve açlığa son olan SKA 1 ve SKA 2 hedeflerini özetlediğimizde; (Sabancı Üniversitesi, t.y.)

- 1 günlük kazancı 1,25 ABD dolarının altında olan nüfusun tamamen ortadan kaldırılması,
- Ulusal düzeyde sosyal güvenlik ağlarının kapsamının artırılması,
- Yoksul ve kırılgan grupların toprak, mülk, miras, finansal hizmetler, teknoloji ve temel hizmetlere erişiminin garanti altına alınması,
- Yoksul toplulukların doğal afetler ve çevresel/sosyal krizlere karşı dayanıklılığının güçlendirilmesi,
- Yoksulluğun sona erdirilmesi amacıyla kalkınma iş birliği ve finansman mekanizmalarının güçlendirilmesi,
- Özellikle kırılgan gruplar (yoksullar, çocuklar vb.) için tüm yıl boyunca yeterli ve sağlıklı besine erişimin sağlanması,

- Kadınlar, yerli halklar, çiftçiler vb. küçük üreticilerin verimliliklerinin artırılması ve gelirlerinin iki katına çıkarılması,
- İklim değişikliğine uyumlu, üretken, çevre dostu tarım sistemleri ile toprak kalitesinin artırılması,
- Tarımsal ticaret engellerinin kaldırılması ve uluslararası tarım ticaretinin düzenlenmesi,
- Tohum, kültür bitkileri ve hayvan türlerinin genetik mirasının korunması ve sürdürülebilir yönetimini sağlamaktır.

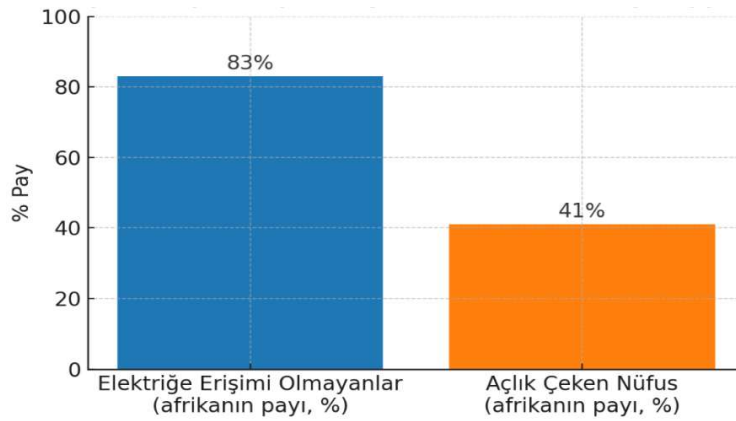
Dünya geneline bakıldığında hala yaklaşık 775 milyon insanın elektriğe erişimi, 2,2 milyar kişinin ise temiz pişirme yakıtlarına erişimi yoktur ki bu durum yoksulluğun hem nedeni hem de sonucu olarak sayılabilir (IEA, 2023, s.64). Özellikle daha açıklayıcı olması için 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından çevreyle ilgili devletlerin çalışmaların yol göstermesi amacıyla yoksulluğun sosyal ve ekonomik unsurlarla etkileşimi neticesinde Ortak Geleceğimiz isimli Brundtland Raporu hazırlanmıştır. Raporda, bugünün ihtiyaçlarını karşılarken, gelecek nesillerin ihtiyaçlarına zarar vermeyen bir perspektifle hareket edilmesi gerektiği ve doğal kaynakların tüketilmesinin gelecekteki yaşam standartlarını ortadan kaldıracığına vurgu yapılmıştır (WCED, 1987, s.43). Geleneksel BM raporlarından farklı olarak Brundtland Raporu, çevresel krizleri ekonomik, sosyal ve politik sistemlerle ilişkilendirerek bütüncül bir perspektif sunmuş; bu kapsamda 112 kritik tavsiyede bulunmuştur (Önder 2020, s.14).

Raporda Hindistan'da Ganj Nehri üzerinde her biri 50.000 veya daha fazla nüfusa sahip olan 114 şehrin, her gün arıtılmamış kanalizasyonları nehre boşalttığı ve civardaki nüfusun %altmışının zatürre, bronşit ve hava kirliliğine bağlı diğer solunum yolu hastalıklarından muzdarip olduğuna değinilmiş bunun da doğal olarak yoksulluğu daha derinleştirdiği ifade edilmiştir (UN Our Common Future, 1987, s.166). Raporda istenilen kalkınma modeli, kaynakları sonuna kadar tüketmeden çevreye duyarlı şekilde ekonomik büyümeyi gerçekleştirme amacı taşımaktadır.

Keza Afrika kıtasında yine yoksulluk ve açlık oranlarına baktığımızda BM'nin Dünyada Gıda Güvenliği ve Beslenme Raporuna göre 2023 yılında dünya genelinde yaklaşık 757

milyon kişinin (küresel nüfusun %8,9-%9,4'ü) yetersiz beslenme sorunuyla karşı karşıya olduğu, bunun da 384 milyon kadarının Afrika'da yaşadığı ve bu bölgelere acil müdahale gerektirdiğini görmekteyiz (FAO vd., 2024, s.20). Özellikle elektrik enerjisine erişim, yoksulluğun ve açlığın sonlandırılması üzerinde çarpan etkisi oluşturmaktadır. Küresel ölçekte incelendiğinde dünyadaki elektriksiz nüfusun %83'ü Afrika'da iken, yine küresel aç nüfusun da dünyada yaklaşık %41'inin Afrika'da olması enerji erişimi ve açlık sorunlarındaki bağı gözler önüne sermektedir (Worldbank, 2025).

Grafik 4 :Afrika'nın Enerji ve Açlık Sorunlarındaki Payı



Kaynak : Worldbank, 2025.

2.1.2. SKA-1 ve SKA-2 Kapsamında Yoksullukla ve Açlıkla Mücadelede Nükleer Enerji

Nükleer enerji, doğrudan yoksulluğu ve açlığı ortadan kaldıramaz ama güvenli ve operasyonel şekilde kullanıldığında yoksulluğun ve açlığın birçok yapısal nedenini ortadan kaldırabilir. Özellikle gelişmekte olan ekonomiler için enerji erişimi sorunu yoksulluğu çözmeye önemli bir engel olmaya devam etmektedir. Sadece Avrupa kıtasında 125 milyondan fazla insanın enerji kıtlığıyla karşı karşıya olduğunu düşünürsek, çevresel sürdürülebilirlikte temiz enerjinin rolünün ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır (Bashir vd., 2023, s.20). Yoksulluk, enerjiye erişimdeki adaletsizliği derinleştirerek bir “enerji yoksulluğu paradoksu” yaratır. Kaynaklar üzerindeki eşitsiz

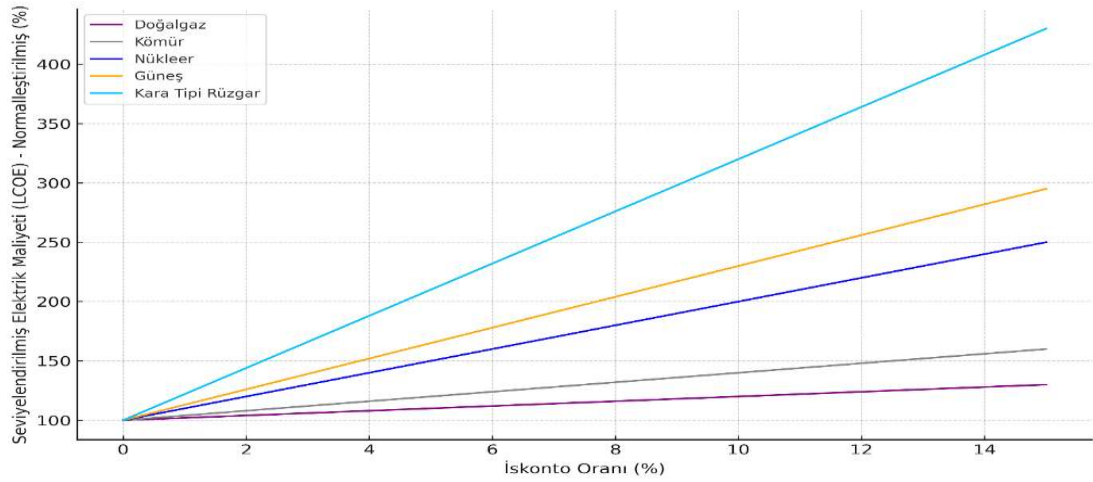
baskı, fosil yakıtlara (petrol gibi) bağımlılık, Orta Doğu gibi bölgelerde jeopolitik gerilimleri tetiklemektedir.

Nükleer enerjinin yoksullukla ve açlıkla mücadeledeki rolünü anlamak için uzun vadeli maliyet analizi olan Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyeti (LCOE) kavramından bahsetmemiz gerekir. Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyeti bir enerji santralının tüm işletim süresi boyunca elektrik üretim birim maliyetinin net bugünkü değeri olup özünde işletmenin elektrik satışından ne kar ne de zarar edilmesi için belirlenmesi gereken ortalama minimum fiyat şeklinde düşünülebilir. Bunu formalize edersek LCOE; bir santralin işletim süreci boyunca olan maliyetlerinin (sermaye harcaması, yakıt, işletme-bakım, finansman maliyetleri vb.) toplam üretilen enerji miktarına bölünmesiyle elde edilir (Yıldırım, 2018, s.15). Aslında bir enerji santralının yaşam süresi boyunca 1 kWh elektrik üretmesinin maliyeti burada görülmektedir. LCOE, literatürde enerji teknolojilerinin ekonomik karşılaştırmasında temel kriterlerden biri olarak kabul görür. Aylık gelirlerinin %10'undan fazlasını (literatürde eşik değeri çoğunlukla %10 ile %15 arasında kullanılmış olsa da en yaygın kullanılan ölçüt %10'dur) enerjiye harcayan haneler *enerji yoksulu* olarak tanımlanmaktadır (Henry vd., 2021, s.7). Özellikle enerji yoksulu haneleri Afrika kıtasında görmekteyiz.

Nükleer santrallerin yüksek başlangıç maliyetleri vardır, ancak uzun ömürleri (60 yıl ve üzeri) ve düşük yakıt maliyetleri sayesinde, zamanla LCOE'leri %50'den fazla düşürür ve uzun vadede elektriğin daha uygun fiyatlı olmasını sağlayarak özellikle Afrika gibi ülkelerde yoksulluğu ve açlığı azaltmaya katkıda bulunabilir (IEA, 2023, s.301-330). Yüksek başlangıç maliyetlerine rağmen nükleer enerji; yoksul toplumlarda LCOE avantajı sayesinde uzun vadede toplumsal refah artışına ve ekonomik dengeye doğrudan katkı sunabilir. Çünkü nükleer enerjinin sağladığı düşük LCOE ile düşük gelirli kesimlerin elektrik faturasını düşürür, sanayi ve tarımda enerji maliyetini azaltarak istihdam yaratır.

Uzun yıllar alan inşaat süresi ve yüksek yatırım/sermaye gerektiren nükleer enerji projelerinde düşük faizli finansman (düşük iskonto oranı) sağlanabilirse, üretilen elektriğin birim maliyeti oldukça rekabet edilebilir seviyelere inebilir. Buna karşılık iskonto oranı arttıkça (örneğin %10-15), nükleerin maliyeti de o oranda çok daha hızlı artabilir.

Grafik 5: İskonto Oranının Elektrik Üretim Maliyeti (LCOE) Üzerindeki Etkisi



Kaynak: WNA, 2025(d).

Grafik 5’de kömür, nükleer enerji, güneş (fotovoltaik), doğalgaz kombine çevrim santrali ile uzun vadeli LCOE’ nin etkisini görmekteyiz. Nükleer enerjinin eğrisi- iskonto oranı arttıkça dik bir şekilde yukarı çıkarken, fosil yakıtlar daha yatay, rüzgâr ve güneş ise orta derecede artış göstermektedir.

Afrika gibi düşük faizli (%3-5) kalkınma finansmanı kullanan ülkeler için, nükleer enerji seçeneği uzun vadede minimum maliyetli seçeneklerden biri olabilir ve yoksulluk ve açlıkla mücadelede çözüm bulabilir. Bu kapsamda Koeberg Nükleer Santrali Afrika kıtasında Cape Town bölgesinde 1984’ten bu yana yüksek kapasiteyle çalışan (1.800 Mw) ve bölgeye istikrarlı elektrik sağlayan tek nükleer santrali olup düşük LCOE (Levelized Cost of Electricity) ile Güney Afrika nükleer enerjiyle, fosil yakıtlardan daha ucuza elektrik üretiyor aynı zamanda Batı Cape bölgesindeki tarım kasabalarına da enerji sağlayarak sulama olsun gıda olsun işleme tesislerini desteklemesi çeşitli istihdam alanları oluşturarak yoksulluğun ve açlığın azalmasına katkı sağlamaktadır. Bu, enerji güvenliğinin gıda güvenliğiyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (Escom, 2025).

2.1.3. SKA-3 Sağlık ve Kaliteli Yaşam

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından SKA-3: Sağlık ve Kaliteli Yaşam hedefinin ana temelinde, 2030 yılına kadar tüm dünyada ki herkes için her yaşta

sağlıklı bir yaşamın temini ve sosyal refahın teşviki vardır. Bu amacın alt hedeflerini incelediğimizde ise; (UN, 2025b)

- 5 yaşının altında olan çocukların ishal, zatürre gibi özünde aşıyla önlenabilir hastalıklardan hayatını kaybetmesinin önüne geçmek,
- Bulaşıcı nitelikte olmayan kanser, diyabet gibi kronik hastalıklarda erken teşhis ve tedaviyle 1/3 oranında azaltmak, mental sağlığı destekleyici tedavi yöntemlerini geliştirmek,
- Alkol, uyuşturucu gibi bağımlılıklara yönelik politikalarla toplumsal bilinçlendirme çalışmaları yapmak,
- Trafik ölümlerinin; hız sınırları, altyapı düzenlemeleri ve yaya güvenliği önlemleriyle önüne geçmek,
- Tüm insanların mali zorluk yaşamadan temel sağlık hizmetlerine erişiminin sağlanması,
- Tütün kullanımını azaltmak için *DSÖ Tütün Kontrol Çerçeve Sözleşmesi*'nin uygulanmasını güçlendirmek,
- Aşı ve ilaçlara erişimde kolaylık sağlanması ve Ar-Ge çalışmalarıyla geliştirmek,
- Salgın hastalıklar (Ebola, COVID-19), iklim kaynaklı sağlık riskleri (sıcak hava dalgaları) ve biyolojik tehditlere karşı küresel izleme ağlarının kurulması vb. olarak sıralayabiliriz.

Enerji olmadan SKA-3 hedefleri maalesef tam anlamıyla gerçekleştirilemez çünkü enerji yoksulluğu dolaylı yoldan sağlık yoksulluğunu da doğurur. Sağlık hizmetlerinin kalitesi ve erişilebilirliği güvenilir enerjiye bağlıdır örneğin hastanelerin ısıtılması, tıbbi cihazların güvenli çalıştırılması, aşıların soğuk zincirde saklanması gibi temel gereksinimler sürekli elektrik arzını her daim zorunlu kılar. Gana'da sağlık hizmetlerinin talebinde elektriğin rolüyle yapılan bir çalışmada, sağlık tesislerinde 2 veya daha fazla saat elektrik kesintisi yaşandığı günlerde ölüm riskinin %43 arttığını keza yine Pakistan'da elektriğe erişimdeki artışın aşılama oranlarını ve doğumdan önceki bakım hizmetlerine olan talebi artırdığını ortaya koymaktadır (Koroglu vd., 2019, s.1-2). Tabi sadece elektriğe erişimin oranı değil, elektriğin kesintisizliği de SKA-3 açısından belirleyici olmaktadır.

Sağlık hizmeti elektrifikasyonunun finansman güçlükleri de üzerinde durulması gereken önemli konulardan biridir. Küresel sağlık tesislerinin yaklaşık 2/3'ü yeterli güç kaynağından yoksundur ve buna yapılacak toplam yatırım yaklaşık 4,9 milyar ABD doları olduğu düşünülmektedir (WHO vd., 2024, s.23). Bu bağlamda kalkınma hedeflerinin başarıya ulaşması açısından izlenecek politikaların bütüncül bir bakış açısıyla yürütülmesi şarttır. SKA-7 (Enerjiye Erişim) alanında ilerleme kaydetmeden SKA-3'te kalıcı başarı elde etmek çok zordur.

Özellikle gelişmekte olan ülkelerden Hindistan'da geniş kapsamlı bir elektrifikasyon programı sayesinde hanelerin neredeyse tamamı elektriğe erişim kazanmış ve son on yılda iletim ve dağıtım altyapılarına 200 milyar dolardan fazla yatırım yapılmıştır (IEA, 2021, s.115). Afrika'da da bu hızı yakalamak için uluslararası iş birliği ve fonlamaya ağırlık verilmelidir.

Bir sağlık merkezine elektrik ulaştırmak, binlerce dolarlık harcama gerektirse de bunun sonucunda elde edilen sağlık iyileşmeleri ve kurtarılan insan hayatları son derece değerlidir. Aynı şekilde, kırsal bölgelerdeki okulların elektrifikasyonu, geleceğe yapılan stratejik bir yatırımdır. Bu nedenle uluslararası camia, en yoksul ülkelerdeki enerji eksikliklerini gidermek amacıyla daha fazla mali kaynak ayırmalı ve teknik çözümler geliştirmelidir. Böylece hiç kimseyi geride bırakmama ilkesi, enerjiye erişim bağlamında da somut şekilde yaşama geçirilebilir.

2.1.4. SKA-3 Sağlık ve Kaliteli Yaşamda Nükleer Teknikler

Nükleer enerjinin SKA-3'e katkısı, sağladığı kesintisiz ve güvenilir enerji arzından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda nükleer teknolojilerin barışçıl amaçlı kullanımı, gıda güvenliğini ve halk sağlığını koruyarak kaliteli yaşamda SKA 3'ün gerçekleştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır.

“Örneğin gıda ışınlaması, gıdaların iyonlaştırıcı radyasyona maruz bırakılarak (özellikle gama fotonları, elektron ışınları vs.) zararlı mikroorganizmaların yok edilmesini yani mikrobiyal kontaminasyonu azaltır böylece bozulmaya neden olan bakterilerin büyümesini engelleyerek gıda maddelerinin raf ömrünü uzatır ve gıda güvenliğinin artırılmasını sağlayan bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Ayrıca nükleer tekniklerden

böcek popülasyonunu kontrol etmek için de yararlanılmaktadır şöyle ki laboratuvarlarda üretilen erkek böcekler gama ışınlarıyla kısırlaştırılır ve doğaya salınır, verilen radyasyonla erkeklerin sperm üretimi engellenerek etkisiz hale getirilir ve üremenin durması sağlanır” (Usta, 2019, s.15).

Yine nükleer teknoloji özellikle kanser hastalığının tedavisinde kanserli hücreye radyasyon vermek suretiyle yayılımını engeller ve hatta halihazırdaki kanserde kullanılan ışınlama cihazlarının tamamında, röntgen çekimlerinde, doktorların organları net görmek amaçlı tarayıcılarında teknesyum-99, tiroit hastalığının ön teşhisinde kullanılan iyot-131, kan akışlarını ölçmede ksenon-133 ile halk sağlığında özellikle hastalık teşhisinde önemli yer teşkil eder (Harunoğulları, 2019 s.133).

Ülkemizde Türkiye Enerji Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) tarafından gıda ışınlama teknolojilerinde ciddi çalışmalar yürütülmektedir. Gıda ışınlama uygulamasıyla (Co-60 radyoizotopundan gelen gama ışınlarıyla) depolama ve paketlenme sürecinde istenmeyen filizlenme, çimlenme gibi durumların önüne geçilmesinin yanı sıra patojenik mikroorganizmaları azaltmak ve parazitenmeyi önlemek gibi modern bir koruma yöntemi sağlanmakta, aynı zamanda tıbbi malzemelerin sterilizasyonu ile kapalı olan ambalajlara kimyasal kalıntı nüfuz etmeden sterilizasyon sağlanarak sağlıklı ve kaliteli yaşam için güvenilir yöntemler uygulanmaktadır (TENMAK, 2022-2026, s.24).

Tablo 3 : 10 MeV Elektron Hızlandırıcısı ve Eşdeğer Co-60 Kaynağı Yatırım Maliyeti

Kaynağın Gücü (Kw)	Co-60 Radyoizotop Kaynağının Aktivitesi (MCi)	Co-60 Gama Kaynağının Maliyeti* (ABD \$)	Elektron Hızlandırıcısının Maliyeti (ABD \$)	Elde edilen X-ışının Gücü (kW)/ Maliyeti** (ABD \$)
15	1	2.000.000	3.315.000	3/3.365.000
25	1,69	3.030.000	3.550.000	5/3.600.000
50	3,37	5.560.000	3.800.000	10/3.850.000
75	5,06	8.090.000	4.050.000	15/4.550.000
100	6,75	10.620.000	4.300.000	20/4.350.000
125	8,43	13.150.000	4.550.000	25/4.600.000
150	10,12	15.680.000	4.800.000	30/4.800.000

*Maliyet, 1,50 \$/Ci ile hesaplanmış ve gama kaynağı tesisinin tasarımı ve lisanslanması elektron hızlandırıcı tesisinden farklı olduğundan sabit gider olarak 500.000 \$ ilâve edilmiştir (Cleland 1996).

** Elektron/X-ışını dönüşüm hedefi düzeneği için hızlandırıcı maliyetine 50.000 \$ ilâve edilmiştir ve X-ışını gücünün hesabında dönüşüm faktörü 0,2 alınmıştır.

Kaynak : Turhan vd., 2016, s.7

Tablo 3 ile farklı güç seviyelerindeki Co-60 (kobalt-60) ve 10 MeV elektron hızlandırıcılarının yatırım maliyetlerini göstermektedir. Bu şekilde yapılan gıda ışınlamaları ile zararlı mikroorganizmalar yok edilerek gıda kaynaklı hastalıkları azaltılabilir. Böylece sağlık sistemine olan yük azaldığı gibi kaliteli yaşamın da önü açılır.

TUİK verilerine göre 2023 yılı için sağlık harcamaları 1.244.237.000.000 TL'ye ulaşmıştır (TUİK, 2024a). Bu ise 2023 yılı için doları ortalama 27.5'dan hesap edersek yaklaşık olarak 45.2 milyar USD'ye eşittir. WHO verilerine göre, dünya genelinde her yıl yaklaşık 600 milyon insan gıda kaynaklı hastalıklara maruz kalmakta ve 420.000 kişi yani nerdeyse her on kişiden biri bu nedenle hayatını kaybetmektedir (WHO, 2024). WHO'ya göre bu hastalıkların sağlık sistemi üzerindeki yükü ülkelerin sağlık bütçesinin %10'una kadar çıkabildiği yönündedir. Türkiye'de bu oran bu mantıkla yaklaşık 4,52 milyar USD anlamına gelir.

Örneğin tek bir 100 kW'lık hızlandırıcı yatırımı yaklaşık 4,3 milyon \$ olup, 20 kW X-ışını üretimi sağlar. Türkiye'de birkaç büyük bölgesel ışınlama merkezi kurulsa (örneğin 5 merkez x 5 milyon \$ = 25 milyon \$), sağlık sisteminde milyarlarca dolarlık önleyici tasarruf sağlanabilir. Yani aslında Türkiye'nin sağlık bütçesi maliyetiyle kıyaslandığında, ışınlama altyapısına ayrılacak basit bir pay, yüksek halk sağlığı getirisi sağlayacaktır.

Yine benzer şekilde ülkemizde radyoizotop veya radyofarmasötiklerin tedariğine erişimdeki sıkıntıların hastaları etkilemesi özellikle kısa yarı ömürlü izotoplar için zaman hassasiyeti taşıyan vakalarda sağlık risklerine yol açabilmesi, ithal ürünlerin yüksek maliyetli oluşu ve fiyat dalgalanmalarına çözüm olmak amacıyla TENMAK bünyesinde **Proton Hızlandırıcı Tesisi (PHT)** kurulmuştur. Bu tesisle nükleer tıpta kullanılan radyoizotoplar ve radyofarmasötiklerin üretimi, kalite kontrolü ve hastalara ulaştırılmasıyla birlikte, hızlandırıcı teknolojisine dayalı araştırma-geliştirme faaliyetlerine öncülük edilmektedir. Türkiye'de bu alandaki ilk entegre altyapıya sahip tesis olan PHT, 30 MeV enerjili ülkemizin ilk ve aynı zamanda tek proton hızlandırıcısını barındırmaktadır. Tesis; nükleer fizik, malzeme bilimi, nötron aktivasyon analizi, endüstriyel ışınlama hizmetleri ve yeni radyofarmasötiklerin geliştirilmesi gibi birçok bilimsel ve teknolojik alanda faaliyet göstermektedir (TENMAK, 2025a).

Fotoğraf 1: NÜKEN Proton Hızlandırıcı Tesisi



Kaynak : TENMAK-NÜKEN, 2025, s.2.

Kullanım alanlarına baktığımızda *Sodyum İyodür* ile beyin ve organ düzeyinde kan akışı analizlerinde, kalp kası işlevlerinin, tiroitin ve böbreğin görüntülenmesinde, alzheimer gibi sağlık sorunlarının tanısında; *Talyum Klorürde* ise paratiroid hastalıklarının tanısının konmasında, tümörlü bölgelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır (TENMAK-NÜKEN, 2025, s.6-7). Böylelikle erken tanı ve tedaviyle sağlık bütçesi üzerindeki baskı azaltılmış olmaktadır. Özellikle Radyofarmasötiklerin (örneğin F-18, Tc-99m) hepsinin dövizle yurtdışından temin maliyeti bütçeye ciddi bir yük oluşturuyordu. TENMAK 2025 yılı Hizmet ve İşlem Bedelleri Listesine göre f-18'in (Flor -18) 2025 yılı ücreti 115/MCİ olarak belirlenmiştir (TENMAK Hizmet ve İşlem Bedelleri Listesi, 2025b, s.26). Sadece F-18 üretiminin yerli üretim olarak yapılması yıllık 10 milyon TL'ye yakın bir tasarruf sağlamaktadır.

Şekil 2: TENMAK-Proton Hızlandırıcısında Üretilebilecek Radyoizotoplar ve Kullanım Alanları

KULLANIM ALANLARI	İZO TOP	AÇIKLAMA
PET GÖRÜNTÜLEME Positron Emission Tomography	¹⁸ F	Beyin üzerine sürdürülen çeşitli çalışmalarda radyoizleyici ve PET görüntüleme
	¹²⁴ I	Uzun yarı ömüre sahip olduğu için (101 saat) değişik araştırma ve uygulama çalışmalarında tercih edilmektedir. Yavaş fizyolojik proseslerde yararlıdır. Son dönemlerde gen terapisi ve kemoterapide kullanılmaktadır.
	¹¹ C	Bazı özel beyin fonksiyonlarının izlenmesi için kullanılmaktadır. Bu izotop kısa yarı ömürlüdür (20 dakika), bu nedenle üretildiği siklotron tesisi hastane yada kliniklere çok yakın olmalıdır.
	¹⁵ O	PET görüntüleme sistemlerinde kullanılmaktadır ve çok kısa bir yarı ömüre (122 saniye) sahiptir.
SPECT ve GAMA GÖRÜNTÜLEME 	¹²³ I	Beyin, tiroid, böbrek ve miyokardial görüntüleme, beyindeki kan akışının görüntülenmesi ve nörolojik hastalıkların teşhisi (Alzheimer vb.)
	¹¹¹ In	Organ nakillerinde organın vücut tarafından kabul edilip edilmediğinin anlaşılması, abdominal enfeksiyonların tespiti, antikor etiketleme ile vücudun bağışıklık sistemi faaliyetlerinin izlenmesi, ⁶⁷ Ga ile birlikte kullanıldığında da yumuşak doku enfeksiyonlarının tespiti, kemik iliği iltihaplarının (osteomyelitis) tespiti, karaciğerde, böbreklerdeki organ konsantrasyonlarının takibi, beyaz kan hücrelerinin izlenmesi, hücre dozimetrisi, miyokardial taramalar, lösemi tehditinin tespiti, tümörlerin görüntülenmesi
	⁶⁷ Ga	Abdominal enfeksiyonların tespiti, Hodgkins/non-Hodgkins lenf kanserinin (lenfoma) tespiti, ¹¹¹ In ile birlikte kullanıldığında yumuşak doku enfeksiyonu ile tehditinin tespiti, akciğerlerdeki partikül etkili hastalıkların tespiti
	²⁰¹ Tl	Klinik kardioloji, kalp görüntüleme, düzensel ve SPECT görüntülemeye Tc-99m'den daha düşük (arzu edilen) nükleer özellik gösterme, miyokardial perfüzyon ve hücrel dozimetri
	¹⁰³ Pd	Prostat kanseri tedavisi (brakiterapi yöntemi). 1,2 mA'lık ekstraksiyon akımının iletilebildiği R&D vault'unda, yapılacak düzenlemeler ile seri üretimin mümkün olabilecektir.
	⁵⁷ Co	Doz kalibratörleri, gama kamera ve ölçüm sistemlerinde kaynak olarak ve endüstride makine parçalarının aşınma ve korozyon hesaplamasında yararlanılmaktadır. Ayrıca bir organın büyüklüğü ile yerinin tespitinde faydalanılmaktadır.

Kaynak: Yüksel, 2009, s.3

2.1.5. SKA-4 Nitelikli Eğitim

Birleşmiş Milletlerin Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları arasında yer alan SKA-4: Nitelikli Eğitim, 2030 yılına kadar herkes için kapsayıcı, eşitlikçi ve kaliteli eğitimi sağlamak ve hayat boyu öğrenme fırsatlarını teşvik etmeyi amaçlar. SKA-4 hedefi eğitimde erişim, eşitlik ve kaliteyi bir bütün olarak ele aldığı için sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin de temelini oluşturur. Bu kapsamda SKA-4 nitelikli eğitimin alt hedeflerini incelediğimiz zaman:

- 2030'a kadar tüm çocukların ilk ve ortaöğretimi tamamlaması,
- Çocukların ilkokula hazır hale gelmesi ile erişimlerinin güvenceye alınması,
- Tüm eğitimlerde engel tanımadan fırsat eşitliğinin sağlanması,
- Dijital ve teknik anlamda becerilerin kuvvetlendirilmesi,

- Yetişkin okuryazarlığının yaygınlaştırılması,
- Sürdürülebilir kalkınma kapsamında müfredata insan hakları, cinsiyet eşitliği, çevre gibi bilincin eklenmesi,
- Bilgi ve iletişim teknolojileri programlarının küresel düzeyde artırılması

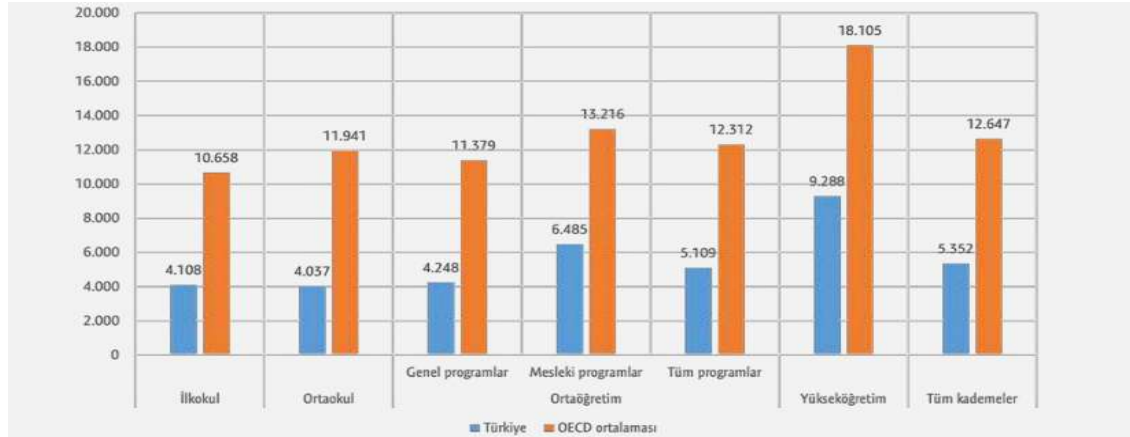
olarak karşımıza çıkmaktadır (UN, 2025c). Yani temel hedef kimseyi arkada bırakmadan, kaliteli eğitime küresel düzeyde herkesin erişimini sağlamaktadır.

Ekonomik kalkınmanın sağlanabilmesi, yalnızca fiziki sermaye ile değil, aynı zamanda beşerî sermayenin de rolü ile mümkündür. Beşerî sermayenin gelişimi ise doğrudan eğitim seviyesiyle ilişkilidir (Hanushek ve Wöbmann, 2010, s.245).

Savunma harcamalarını bir kenara bırakırsak en büyük kalemin nitelikli eğitime yapıldığı ülkeler arasında gelişmiş ülke konumuna gelmektedir. Nitelikli eğitim ekonomik kalkınmada itici bir rol üstlenmektedir. Türkiye özelinde nitelikli eğitim hedeflerini gerçekleştirmek için proje bazlı yaklaşımlar kullanılmakta ancak, OECD ülkelerine kıyasla kaynak dağılımı, eşitsizliklerin giderilmesi ve öğretmen kapasitesinin artırılması gibi birçok alanlarda daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

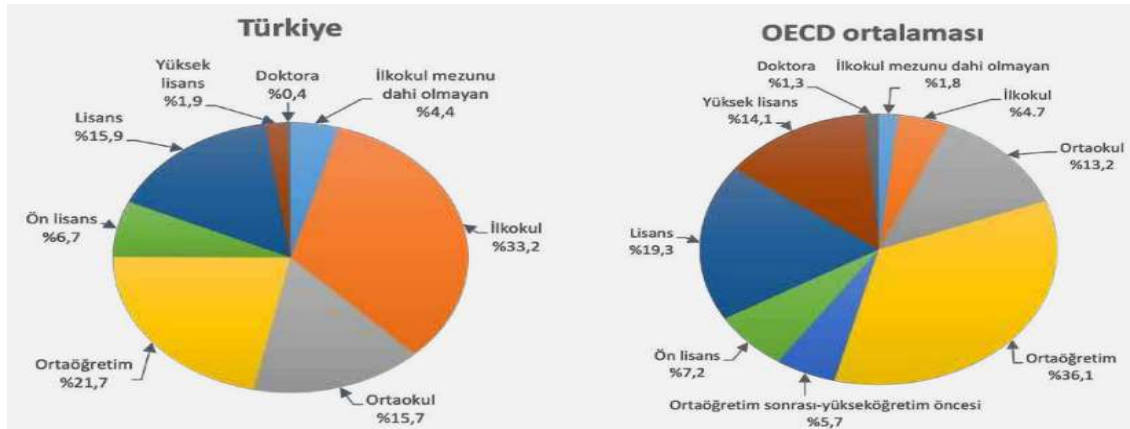
Grafik 6’da görüldüğü üzere Türkiye, temel eğitimden yükseköğretime kadar eğitimin tüm basamaklarında öğrenci başına 5,352 USD harcarken bu oran OECD ortalamasında 12,647 USD olarak gerçekleşmiştir. Türkiye, OECD ortalamasının yarısından bile az harcama yaparak OECD ülkeleri içinde Meksika ile Kolombiya’dan sonra öğrenci başına en az eğitim harcaması yapan ülke konumundadır. 2020 yılı için Türkiye’de gayrisafi yurtiçi hasılanın ancak %4,7’si eğitim kurumlarına harcanırken bu oran OECD ülkelerinde %5,1 olarak gerçekleşmiştir (TEDMEM, 2023, s.23).

Grafik 6: Eğitim Basamaklarına Göre Öğrenci Başına Yapılan Eğitim Kurumları Harcaması (Dolar)



Kaynak : TEDMEM, 2023, s.5

Grafik 7 : Yetişkinlerin (25-64 Yaş Arası) Eğitim Seviyelerine Göre Payları



Kaynak: TEDMEM, 2023, s.

Ortaöğretim mezunu olmayan yetişkin oranına baktığımızda Türkiye, Meksika ve Kosta Rika'dan sonra bu oranın en fazla olduğu üçüncü OECD ülkesidir. Türkiye'de 25-64 yaş skalasındaki her 3 yetiştikenden 1'i yalnızca ilkokul mezunudur; ortaöğretim mezunu oranı ise %21,7 ile OECD ülkeleri arasında en düşük oranlardan biridir.

2.1.6. SKA-4 Nitelikli Eğitimde Nükleer Enerji

Nitelikli eğitim (SKA-4) ile nükleer enerji arasında karşılıklı bir ilişki vardır: Nükleer enerji konularının eğitime entegre edilmesi toplumda enerji okuryazarlığını ve bilimsel farkındalığı geliştirip SKA-4'ün hedeflediği kaliteli eğitim kalitesine katkı sunar. Diğer taraftan kaliteli eğitimle yetişmiş insan kaynağı, nükleer teknolojilerin daha güvenli ve etkin kullanımını mümkün kılarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı kolaylaştırır. Nükleer mühendislik, radyasyon koruması gibi alanlar uzmanlaşmış bilgi gerektirdiği için eğitilmiş insan gücü yetiştirmek, ülkelerin nükleer teknolojileri güvenli ve bağımsız kullanabilmesinin ön koşuludur.

Türkiye, son yıllarda nükleer enerjiyle ilgili eğitim ve insan kaynağı geliştirme faaliyetlerini hızlandırmıştır. Hem Millî Eğitim Bakanlığı hem üniversiteler hem de bazı kamu kurumları, nükleer enerjinin eğitime entegrasyonu için çeşitli politikalar uygulamaktadırlar. Bu kapsamda ülkemizde Millî Eğitim Bakanlığı, nükleer enerji alanında insan kaynağını yetiştirmek üzere ciddi girişimlerde bulunmuştur. Mersin'de bazı mesleki ve teknik Anadolu liselerinde Nükleer Enerjiye Giriş isimli seçmeli ders okutulmaya başlanmış, dersi verecek öğretmenlerin bu konuda bilgi ve beceresinin geliştirmek için Akkuyu NGS sahasındaki eğitim merkezinde bir haftalık yoğun tempolu kurslar düzenlenmiş ve 2021-2022 eğitim-öğretim yılından itibaren Akkuyu NGS ve MEB iş birliğiyle kapsamlı bir ders kitabı bölgedeki öğrencilere dağıtılmıştır (Rosatom, 2021).

Yine MEB Yurt dışı burs programı olan Yurt dışına lisansüstü öğrenim görmek üzere gönderilecek öğrencileri seçme ve yerleştirme (YLSY) ile 2019 yılında MEB ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı koordinasyonunda başlatılan bu programla özellikle nükleer enerji önceliklendirilerek kritik branşlarda ABD, Fransa, Rusya, Japonya gibi ülkelerde lisansüstü eğitim için gençlere burs sağlanmış ve mezun oldukları zaman Enerji Bakanlığı, Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK), TENMAK gibi kurumlarda uzman kadrolara atanarak nükleer uzmanlar yetiştirmek hedeflenmiştir (Yükseköğretim Genel Müdürlüğü, 2024, s.4). Böylelikle Türkiye'nin nükleer enerjiye geçiş sürecinde yerli uzman ihtiyacı dışa bağımlı olmadan karşılanmaya çalışılmaktadır.

Benzer şekilde Türkiye Nükleer Enerji A.Ş. (TÜNAŞ), nükleer enerji alanında yetişmiş insan kaynağını geliştirmek amacıyla yurt dışı yüksek lisans programları düzenlemektedir. Bu programlar kapsamında, öğrenciler Çin'deki anlaşma sağlanan üniversitelerde nükleer enerji eğitimi almakta ve mezuniyet sonrası TÜNAŞ bünyesinde istihdam edilmeleri sağlanmaktadır (TÜNAŞ, 2025). Benzer şekilde Akkuyu Nükleer A.Ş. ve Rosatom tarafından tüm eğitim masrafları karşılandığı projeye Türkiye'nin ilk nükleer santrali olan Akkuyu NGS'de Türk mühendislerin yetiştirilmesi için öğrenciler Rusya'da nükleer mühendislik eğitimi almıştır.

Yine Türkiye'nin parçacık fiziği ve nükleer bilimlerde uluslararası Ar-Ge gücünü artırmak için TENMAK Cern Projeleri Destekleme Yönergesi kapsamında Türk araştırmacıların Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)'de yürütülen projeleri hem teşvik edilmekte (deneylerde aktif rol almaları sağlanmakta) hem de her yıl projeler için mali destek sağlanmaktadır. Yine benzer şekilde TENMAK Araştırma Geliştirme Projeleri Destek Programıyla (TAGEP) iyonlaştırıcı radyasyon, nükleer teknoloji gibi alanlarda yenilikçi yaklaşımlar ortaya koymak amacıyla her türlü Ar-Ge faaliyetleri desteklenmektedir (TENMAK, 2025c). TENMAK Teknoloji ve Ürün Geliştirme Projeleri Destek Programıyla (TUGEP) parçacık hızlandırıcıları, nadir toprak elementleri, iyonlaştırıcı radyasyon ile ilgili Ar-Ge sonuçlarının faydası olacak üretim tekniğine evrilmesi için ürün geliştirme projelerini destekleme amacı güdülmektedir (TENMAK, 2025ç).

2.1.7. SKA-5 Toplumsal Cinsiyet Eşitliği

Birleşmiş Milletler (BM), SKA-5: Toplumsal Cinsiyet Eşitliğini evrensel bir insan hakkı olarak tanımlar. Bu hedef toplumsal cinsiyet eşitliğini sağlarken tüm kadın ve çocukların da güçlenmesini desteklemek amacına hizmet etmektedir. Bu hedefleri özetlemek gerekirse; (UN, 2025ç)

- Kadın ve kız çocuğunu hedef alan tüm ayrımcı politikaların sona erdirilmesi,
- Kadına yönelik şiddet, çocuk yaşta evlilik, zorla evlendirme cinsel istismar ve insan ticareti gibi tüm şiddet biçimlerinin ortadan kalkması,
- Karşılıksız bakım ve ev işlerinin desteklenmesi ve adil paylaşımının sağlanması,

- Kadınların karar alma mekanizmalarına eşit katılımının ve liderlik rollerinin güvenceye alınması,
- Kadınların güçlenmesi için bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımının artırılıp ekonomik kaynaklardan, mülkiyet haklarına erişime kadar eşitliğin sağlanması,
- Cinsiyet eşitliğini destekleyen yasaların ve politikaların uygulanması ve güçlendirilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

SKA-5 in tam anlamıyla hedefe ulaşmasında SKA-7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji)'nin önemli bir yeri bulunmaktadır. Hastanelerde özellikle kadın doğum ve acil servislerinde kesintisiz enerjinin olması kadın sağlığı açısından önemlidir. Bunun haricinde evde veya çok daha küçük işletmelerde istihdam sağlayan kadınlarda enerji kesintileri gelir elde etme potansiyelini doğrudan etkiler. Kadınların enerji sektöründeki temsili, enerjiye erişim anlamında toplumsal boyutu genişletir, ihtiyaçlarını daha görünür hale getirir ve kadın bakış açısının eklenmesi sosyal dışsallıkları analizde çok daha farklı bir yaklaşım sağlar.

2.1.8. SKA-5 Toplumsal Cinsiyet Eşitliğinde Nükleer Enerji

Nükleer enerji (mühendislik, fizik, radyasyon güvenliği, işletme, yönetim gibi) yoğun bilim, teknoloji ve mühendislik gibi alanlarını içerir. Kadınlar, nükleer enerji sektöründe özellikle yönetici gibi üst düzey pozisyonlarda yeterince yer almamaktadır. Oysa nükleer endüstrinin geleceği, sadece verimlilik açısından değil; benzer şekilde toplum sağlığını korumak, güvenliğini artırmak ve çevreyi sürdürülebilir biçimde yönetmek için de güçlü ve çeşitliliğe sahip bir iş gücüne ihtiyaç duymaktadır.

Uluslararası Atom Enerji Ajansı'nın nükleer alanda daha fazla kadın istihdam etmeyi amaçlayan IAEA Marie Skłodowska-Curie Burs Programı, nükleer alanda eğitime ve kariyere katılımı teşvik etmeyi amaçlayan, bu konuya ilgi duyan kadınların yüksek lisans eğitimine finansal destek sağlayan, nükleer güvenlik, nükleer emniyet ve nükleer hukuk gibi alanlarda eğitim görmelerine hizmet eden küresel bir burs programıdır (IAEA, 2024). 2024 Temmuz ayı itibarıyla 2271 başvuru alınmış, 560 bursiyer seçilmiş, 218 kişinin yüksek lisans programı tamamlanmış ve 120 staj yerleştirilmesi yapılmıştır (IAEA, 2024).

Benzer şekilde 1992 yılından bu yana yaklaşık 35.000 üyesi ile *Women in Nuclear Global* (WIN Global); nükleer bilim, radyasyon uygulamaları, çevre bilimi, fizik gibi alanlarda çalışan kadınları destekleyen, mentorluk sağlayan, uluslararası ölçekte faaliyet gösteren ve kadına yönelik pozitif ayrımcılık sunan, kadınların bilim ve teknolojiye güçlenip nükleer teknoloji alanında eğitimi ve pozitif farkındalık oluşturulması gibi kadınların rollerine ilişkin dengeli ve nesnel bilgi yayılımı sağlayan kâr amacı gütmeyen bu kuruluştur (Women in Nuclear Global, 2024). Akkuyu Nükleer Güç Santrali projesinde WIN ile iş birliği çalışmaları yürütülmektedir.

2.1.9. SKA-6 Temiz Su ve Sanitasyon

Birleşmiş Milletlerin Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları arasında yer alan SKA-6: Temiz Su ve Sanitasyon hedefi 2030 yılına kadar herkesin güvenle ulaşabildiği, makul fiyatlı içme suyu ve sanitasyon hizmetlerine erişimi sağlayarak su kaynaklarını sürdürülebilir şekilde yönetmek idealini taşır. Bu hedef özünde dünya genelinde su kıtlığı, kirlilik ve hijyen eksikliği gibi kritik sorunlara çözüm üretmek için önerilerde bulunur. Alt hedef ve amaçlarına baktığımızda;

- Herkesin eşit, güvenli ve uygun fiyata içme suyuna erişiminin sağlanması,
- Kadınlara, kız çocuklarına ve savunmasız gruplara özel önem verilerek, herkes için yeterli ve eşit sanitasyon ve hijyen hizmetlerinin sağlanması,
- Küresel kirliliğin azaltılması, tehlikeli kimyasalların ve atıkların boşaltımının durdurulması, arıtılmamış atık su oranının azaltılması,
- Tüm sektörlerde su kullanım verimliliğinin artırılması ve su kıtlığı ile mücadele,
- Tüm ülkelerde entegre su kaynakları yönetiminin uygulanması ve su iş birliklerinin güçlendirilerek bütünleşik su yönetiminin hayata geçirilmesi,
- Su ve sanitasyonla ilgili hizmetlerin yönetimine yerel halkın katılımının desteklenmesi

olarak karşımıza çıkmaktadır (UN, 2025d).

2023 yılında dünya genelinde yaklaşık 2 milyar insan savaş, doğal afet, siyasi istikrarsızlık ve aşırı yoksulluk gibi nedenlerle “kırılgan” olarak tanımlanan zorlu yaşam koşulları altında hayatını sürdürmektedir. Bu koşullar, temel sağlık hizmetlerine erişimi

büyük ölçüde kısıtlamakta ve su, sanitasyon, hijyen gibi yaşamsal hizmetlerin yetersizliğine yol açmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Birleşmiş Milletler Uluslararası Çocuklara Acil Yardım Fon (UNICEF)'in hazırladığı JMP (Ortak İzleme Programı) 2023 Raporuna göre; dünyada 742 milyon insan (bu küresel nüfusun %9'una tekabül ediyor), sağlık tesislerinde su hizmetine erişememekte, 660 milyon insan (%8), sağlık tesislerinde sanitasyon hizmetinden (tuvalet olmaması ya da yalnızca sağlıklı tuvaletlerin bulunması), 722 milyon insan ise (%9), sağlık tesislerinde hijyen hizmetinden yoksun (bakım noktalarında ya da tuvaletlerde işlevsel el hijyeni olanaklarının bulunmaması) olarak hayatlarını devam ettirmektedir (WHO ve UNICEF, 2024, s.8).

Türkiye, temel içme suyu hizmetlerine ve sanitasyon tesislerine erişim konusunda iyi bir durumda olsa da su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminde ilerleme kaydetmesi gerekmektedir. Kocaeli gibi sanayi yoğun bölgelerde, evsel ve endüstriyel atık suların kaçak olarak derelere veya kanalizasyona dökülmesi ciddi çevresel tahribata yol açmıştır. Bu sorunu çözmek için Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2019'da Kocaeli Atık Su Transfer İzleme Sistemini (KATİS) hayata geçirmiştir. KATİS ile vidanjörlerin taşıdığı atık su miktarı gibi veriler online takip edilmekte, kaçak dökümler engellenmekte ve atıkların uygun şekilde arıtılması sağlanmakta olup bu uygulamayla atık transferinin anlık denetimi, farklı atıkların karıştırılmasının önlenmesi ve çevreye kontrolsüz deşarjın engellenmesi gibi avantajlar sunarak diğer şehirlere de örnek teşkil etmektedir (İSU, 2025).

2.1.10. SKA-6 Temiz Su ve Sanitasyon İçin Nükleer Enerji ve Nükleer Teknikler

Birleşmiş Milletler tarafından oluşturulan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi SKA-6; 2030 yılına kadar güvenli içme suyuna evrensel erişimin sağlanmasına ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine odaklanarak bu hedefi dünya çapında sağlık, eşitlik ve sürdürülebilir kalkınmanın merkezine yerleştirme hedefi gütmektedir. Bu bağlamda nükleer enerji, küresel su krizini ele almak ve SKA-6'ya ulaşma yolunda ilerleme kaydetmek için umut verici bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Temiz enerjiyle çalışan desalinasyon hem çevresel hem de ekonomik açıdan geleceğin su temini yöntemi olmaya aday olduğunu söyleyebiliriz.

Nükleer enerji, elektrik üretimiyle ön plana çıksa da temiz su ve sanitasyon hedeflerine ulaşmada çok yönlü bir enstrüman olarak ele alınabilir. Desalinasyon Tesisleri deniz suyunu tuzdan arındırarak içme ya da endüstriyel kullanım için uygun hale getiren tesislerdir ve nükleer destekli deniz suyu arıtma teknolojileri ile özellikle su kıtlığı çeken kıyı ve çöl bölgelerinde güvenilir bir tatlı su kaynağı oluşturma potansiyeli, kesintisiz su sağlanması ve su kaynaklı hastalıkların önlenmesinde hijyen koşullarının iyileştirilmesinde kilit faktör olmaktadır.

Nükleer teknolojiler atık suyun arıtılması ve sanitasyonu için yenilikçi çözümler sunar. İyonlaştırıcı radyasyon (gama ışınları ve elektron ışınları) işleminin, çok farklı cinslerden bakterileri öldürmede, birçok farklı türdeki virüsü etkisiz hale getirmede son derece etkili olduğu görülmüş olup yüksek enerjili bu radyasyon teknolojileri sayesinde sudaki kirleticiler parçalanarak zararsız hale getirilebilmektedir (IAEA-TECDOC, 2008, s.2).

Yine deniz suyu arıtmasında nükleer enerji yoğun enerji olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle kıyı bölgelerinde bulunan bölgelerde deniz suyunun buharlaştırılarak tuzdan arındırma işlemi nükleer reaktörlerle karşılanabilmektedir. Bu süreçte nükleer santralden elde edilen buhar, çok kademeli distilasyon (çok aşamalı flaş damıtma olan MSF, çok etkili damıtma olan MED gibi termal yöntemler) veya elektrik, ters ozmoz (RO) gibi membranlı sistemleri çalıştırmak için kullanılarak ortaya çıkan su buharı yoğunlaştırılıp temiz su elde edilir, tuzlu konsantre ise çevre şartlarına uygun biçimde tekrar denize geri bırakılır. Hindistan'da Kalpakkam'daki Nükleer Desalinasyon Demonstrasyon Projesi (NDDP), bir PHWR reaktörüne entegre edilen hibrit sistemle (günlük 1.800 m³ RO + 4.500 m³ MSF) günde toplam 6.300 m³ içme suyu üretmiş ve bunu reaktörün yaklaşık 4 MWe eşdeğerinde elektrik üretim kapasitesini su arıtımına yönlendirilerek sağlamış ve böylece düşük basınçlı buharın, su arıtımına başarıyla tahsis edilebileceğini, keza benzer şekilde Kazakistan'daki BN-350 hızlı reaktörü 27 yıl boyunca hem elektrik (135 MWe) hem su (günde 80.000 m³) üretmiş, toplam gücünün %60'ını ısı ve desalinasyon için kullanarak bu çift amaçlı konseptin güvenilirliğini kanıtlamıştır. Yine Çin'de Liaoning Eyaleti'nde Hongyanhe NGS'ye bağlı 10.080 m³/gün kapasiteli bir MED tesisiyle nükleer reaktörün atık ısını kullanarak soğutma suyu sağlamaktadır (WNA, 2024b).

Keza ülkemizde de nükleer enerjide bu temiz su ve sanitasyon hedefi doğrultusunda ilerleme kaydedilmektedir. Akkuyu NGS projesinde, santralin kendi su ihtiyacını

denizden karşılamak üzere 28 Mart 2025 tarihinde işletmeye alınan Deniz Suyunu Tuzdan Arındırma Kompleksi ile her biri 1.000 m³/gün kapasiteli iki ters ozmoz modülü ile Akkuyu NGS'nin yangın güvenlik sistemleri ve genel kullanım ihtiyaçları için sürekli su temin edilecektir ayrıca litre başına 25 g tuz içeren deniz suyunu litre başına 10 mg tuzlulukta damıtılmış suya dönüştürür; bu da nükleer reaktörlerin birincil soğutma çevrimi için uygun yüksek saflıkta sıvı sağlar (RIS, 2025).

Fotoğraf 2: Deniz Suyu Arıtma Tesisi



Kaynak : Hsc, 2025.

2.1.11. SKA-7 Erişilebilir ve Temiz Enerji

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma amaçlarında yer alan SKA-7: Erişilebilir ve Temiz Enerji herkes için uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimin sağlanmasını hedefler. SKA 7 altında tanımlanan alt hedefler şunlardır:

- Herkes için fiyatı makul olan güvenilir enerji hizmetlerine evrensel erişimin sağlanması,

- Yenilenebilir ve temiz enerji (düşük karbonlu enerji) oranının kayda değer ölçüde artırılması,
- Küresel enerji verimliliğindeki ilerlemenin ikiye katlanması,
- Temiz enerji çözümlerinin yaygınlaştırılması kapsamında yenilenebilir kaynakların, enerji tasarruf sistemlerinin ve ileri fosil yakıt teknolojilerinin geliştirilmesi için küresel ortaklıkların güçlendirilip söz konusu alanlara yatırımlar artırılması,
- Özellikle en dezavantajlı bölgelerdeki ülkelerin modern ve temiz enerjiye kavuşabilmesi için gerekli teknik altyapının iyileştirilmesi ve yenilikçi çözümlerin hayata geçirilmesi hedeflenmektedir (UN, 2025e).

Dünyada 1 milyardan fazla insan halen elektrikten yoksundur; öte yandan enerjiye sahip ülkeler de artan talep ve iklim değişikliği baskısı altında olduğundan bir yandan evrensel enerji erişimi sağlamak, diğer yandan çevresel sürdürülebilirliği gözetmek için erişilebilir temiz enerjiyi sürdürülebilir kalkınmanın merkezine yerleştirmek temel hedeflerdendir.

Yenilenebilir enerji payının yükseltilmesi amaçlanırken, temiz enerji kavramı bağlamında dünyada düşük karbonlu kaynakların toplam enerji içindeki payının artırılması hedeflenmektedir. Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon hedefi doğrultusunda yaptığı enerji yatırımları bu alandaki dönüşüm çabalarının bir parçasıdır. BloombergNEF'in raporuna göre 2024 yılında düşük karbonlu enerji dönüşümüne yapılan küresel yatırım ilk kez 2 trilyon doları aşmıştır (BloombergNEF, 2025). Bu yatırımların büyük bir kısmı yenilenebilir enerji, hidrojen teknolojileri, elektrikli ulaşım ve enerji depolama gibi alanlara yönelmiştir. Bu bağlamda nükleer santraller, santral inşaatı ve yakıt çevrimi dışındaki operasyon aşamasında neredeyse sıfır sera gazı emisyonu üretmesinden kaynaklı olarak iklim değişikliği ile mücadelede kritik rol oynamaktadır.

Keza nükleer enerji sektörü en başından itibaren uluslararası iş birliklerinin yoğun olduğu ve yatırım iş birliklerinin artırılması hedeflerinin ön planda tutulduğu bir alandır. Örneğin Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA/IAEA), üye ülkelere nükleer enerji planlaması, güvenlik, teknoloji adaptasyonu gibi konularda sürekli teknik destek ve uzmanlık sağlamaktadır. IAEA'nın Entegre Nükleer Altyapı İncelemeleri (INIR) gibi

programları, nükleer enerjiye yeni başlayan ülkelerde gerekli düzenleyici ve beşerî altyapının oluşturulmasına katkı vermekte; Güney Afrika'dan Endonezya'ya, Bangladeş'ten Türkiye'ye birçok ülkede bu değerlendirmeler yapılarak yol haritaları önerilmektedir. Bu tür iş birlikleri, gelişmekte olan ülkelerin nükleer teknolojiye güvenli ve emniyetli biçimde erişimini kolaylaştırarak SKA-7'ye doğrudan katkı sunmaktadır.

2.1.12. SKA-7 Erişilebilir ve Temiz Enerjide Nükleer Enerji

Nükleer enerji, yüksek üretim kapasitesi ve kesintisiz güç sağlama yeteneğiyle geniş ölçekli elektrik arzı sunarak enerjiye güvenli erişim hedefini destekler, tek başına milyonlarca haneyi besleyecek elektrik üretebilir ve şebekeye 7/24 güvenilir baz yük sağlayarak elektrik arzında istikrar yaratması ve enerji kesintilerinin azaltması, herkese sürekli elektrik sağlanması açısından önem arz etmektedir.

Yüksek enerji yoğunluğuna sahip bir kaynak olarak birim yakıt başına muazzam miktarda enerji üretmesi SKA-7 alt hedefinde yer alan birincil kaynakların verimli kullanımı perspektifinde de önemlidir. 1 gram U-235 ile 25.000.000 kWh elektrik üretilbildiğinden, az miktarda uranyumla yüksek enerji sağlanması nükleer santralleri ekonomik ve taşıma açısından avantajlı kılar (Engin, 2013, s.578).

Diğer yandan, nükleer santraller sürekli ve yüksek kapasite faktörüyle (genellikle %85-90) çalıştığından elektrik sisteminin genel verimliliğine katkıda bulunur. Santralin kurulup âtıl kalması yerine yılın büyük bölümünde tam güçte üretim yapması, yapılan yatırımın enerji çıktısı açısından verimli kullanıldığını gösterir. Kömürle çalışan termik santrallerde verim ise genellikle %35–40 bandındadır; bu da kullanılan enerjinin yaklaşık %60'ının maalesef atık ısı olarak kaybedildiği anlamına gelir. Almanya'da bu atık ısı yılda 52 milyon ton taş kömürü eşdeğeri enerjiye karşılık gelmesi kaybın ne denli büyük olduğunu göstermektedir (Şahin, 2011, s.296).

Nükleer enerji düşük karbon salımı sayesinde fosil yakıtları ikame eden önemli bir temiz enerji seçeneği olması da SKA-7'nin temiz enerji hedefine uygundur. Neredeyse sıfır sera gazı emisyonu üreten nükleer santraller, iklim değişikliği ile mücadelede kritik rol oynar.

1000 MWe gücünde termik santral yerine aynı güce sahip nükleer santral kurulursa, 1 yılda,

- 6.500.000 ton CO₂.
- 4.500 ton NO_x gazı,
- 9.000 ton SO₂ ,
- 1.500 ton külün

yayılması önlenmiş olmaktadır (Şahin, 2011, s.301). Son 50 yılda küresel ölçekte 70 gigaton CO₂ emisyonunu önlemiştir; günümüzde de her yıl 1 gigaton CO₂ salınımının atmosfere karışmasını engellemektedir. Hala dünya genelinde düşük karbonlu elektrik üretiminin yaklaşık dörtte biri nükleer enerjiden gelmektedir (IAEA, 2022, s.2). Ülkemizde de Akkuyu NGS'nin işletmeye alınmasıyla dört reaktörü her yıl yaklaşık 17 milyon ton karbondioksit (CO₂) emisyonunun atmosfere salınmasını önleyecektir (TMMOB, 2019, s.103-104).

Doğru planlama, şeffaflık, güvenlik kültürü ve toplumsal katılımı uygulandığında, nükleer enerji uygun maliyetli, güvenilir ve temiz bir enerji arzı sağlayacağı ortadadır. Bu da yoksulluğun azaltılmasından iklim eylemine, sanayinin dönüşümünden sağlıklı yaşama kadar birçok sürdürülebilir kalkınma hedefine faydalar sunar. Ancak nükleer enerjinin sorumlu kullanımı esastır; güvenlik ve çevre konularında en yüksek standartların korunması, radyoaktif atıkların geleceğe bırakılmayacak şekilde yönetimi ve olası kazaların önlenmesi birincil öncelik olmalıdır. Bu koşullar sağlandığında, nükleer enerji 21. yüzyılın temiz enerji oluşumunda güvenli, sürdürülebilir ve erişilebilir bir seçenek olarak insanlığa hizmet etmeye devam edecektir.

2.1.13. SKA-8 İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından SKA-8: İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme olarak tanımlanır. SKA-8'in temel hedefi, sürdürülebilir, kapsayıcı ve sürekli ekonomik büyüme sağlamak; tam ve üretken istihdamı ve herkes için insana yakışır işi teşvik etmektir. Ekonomik büyümenin herkesi kapsayıcı ve sürdürülebilir olması vurgulanırken aynı zamanda insan onuruna yakışır işler yoluyla refahın tabana yayılmasını amaçlar. Bu perspektifle, enerji sektörü dahil pek çok alanda yatırımların ve

politikaların istihdam dostu, sürdürülebilir büyümeyi destekleyici şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu kapsamda SKA-8 İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyümenin alt hedeflerinden bazılarını incelediğimiz zaman; (UN, 2025f)

- Kişi başına düşen milli gelirin artırılması; özellikle en az gelişmiş ülkelerde, yılda en az %7 oranında GSYH büyümesinin sağlanması,
- Verimliliğin artırılması için yüksek katma değer üreten, emek yoğun sektörlerle öncelik verilerek teknolojik yenilikler ve çeşitlendirme sağlanması,
- İnsana yakışır işler, girişimcilik ve yenilik odaklı üretim teşvik edilerek, küçük ve orta ölçekli işletmelerin (KOBİ'ler) finansmana erişimin kolaylaştırılması,
- Doğal kaynakların verimli kullanımı yoluyla çevresel bozulma olmadan büyüme sağlamak için tüketim-üretim dengesinin gözetilmesi,
- Genç istihdamı için küresel stratejiler geliştirilmesi,
- Sürdürülebilir turizmin desteklenerek istihdam sağlayan ve yerel değerleri koruyan yaklaşımların ön plana çıkarılması gibi hedefler belirlenmiştir.

Ekonomik büyümeyi yalnızca sayısal (GSYH) artışla sınırlamayan, kapsayıcı (herkesi içine alan), sürdürülebilir (doğaya ve gelecek nesillere zarar vermeyen) ve insan onuruna uygun istihdam biçimleriyle birlikte düşünen bir kalkınma yaklaşımı sunarak sadece ekonomik verilerin değil, sosyal adaletin, iş güvencesinin ve toplumsal refahın da merkeze alınması hedeflenmektedir.

2.1.14. SKA-8 İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyümede Nükleer Enerji

Nükleer enerji, sürdürülebilir kalkınma perspektifinde sadece bir elektrik üretim teknolojisi değil, ekonomik büyüme, istihdam, teknoloji ve sanayi gelişimi, enerji arz güvenliği gibi çok boyutlu parametrelere sahiptir. Nükleer enerji yatırımları, yüksek istihdam çarpanı, teknoloji yoğun yapısı ve uzun vadeli enerji arz güvenliği sayesinde bu hedeflerle büyük ölçüde uyumludur. Özellikle Türkiye gibi enerji ithalatçısı bir ülkede nükleer enerji, dışa bağımlılığı azaltarak ekonomik kırılganlığı düşürür ve yerli sanayiye iş imkânı sunarak kalkınmayı tabana yayar.

Nükleer santral projeleri, inşaat ve kurulum aşamasından başlayarak binlerce doğrudan ve dolaylı istihdam yaratmaktadır. Örneğin Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA)

verilerine göre, tipik bir nükleer santral projesi uzun vadeli ve yüksek vasıflı iş olanakları oluşturur; şöyle ki Fransa’da nükleer endüstri, yaklaşık 125.000 doğrudan, toplamda 410.000 kişilik istihdam oluşturarak ekonomiye ciddi bir katkı vermektedir (IAEA, 2016, s.80). Bu veriler, nükleer enerjinin yalnızca enerji güvenliği değil istihdam dostu bir büyüme aracı olabileceğini göstermektedir. Dünya Nükleer Birliği’nin (WNA) Kıdemli Danışmanı Philippe Costes bir seminerinde, nükleer teknolojilerin, diğer tüm enerji teknolojilerinden yaklaşık %25-30 daha yüksek maaşlarla işler sunduğunu, nükleer enerjinin Fransa ve ABD’de birim başına elektrikte rüzgar enerjisinden yaklaşık %25 daha fazla istihdam sağladığını ve bu işlerin iyi ücretli, uzun vadeli olduğunu vurgulamaktadır. Bu durum, SKA-8’in “insana yakışır iş” vurgusuyla uyumlu olduğunu göstermektedir. Nükleer santraller yüksek güvenlik standartları nedeniyle yoğun eğitilmiş personel istihdam eder ve bu personelin ortalama ücretleri enerji sektöründeki diğer alanların üzerindedir; dolayısıyla nükleer enerji sektörü, temiz enerji sektörünün en iyi ücretli işlerini sağlamaktadır.

SKA-8, sürdürülebilir ekonomik büyüme için enerjiye güvenilir ve uygun fiyatlı erişimin kritik olduğunu vurgulamaktadır. Nükleer enerji, bu açıdan değerlendirildiğinde, baz yük (24 saat kesintisiz) üretim yapabilen ve yüksek kapasite faktörüne sahip bir kaynak olarak ekonomik istikrara katkıda bulunur. Bu anlamda nükleer enerji yakıt maliyeti ve fiyat oynaklığı düşük bir üretim şeklidir. Örneğin yakıt fiyatı iki kat artsa bile nükleer santralde üretilen elektriğin maliyeti sadece %9 oranında artarken, aynı durumda doğalgaz santralinde maliyet %66, kömür santralinde %31 artmaktadır. Bu, nükleerin fiyat istikrarı sağlama potansiyelini ortaya koymaktadır. Ayrıca Akkuyu NGS’nin üretime başlamasıyla, yıllık yaklaşık 35 milyar kWh’lık elektrik üretimi sayesinde Türkiye’nin doğalgaz ithalatının önemli ölçüde azalacağı, yılda 8 milyar m³ daha az doğalgaz ithalatı ile yıllık yaklaşık 3,6 \$ milyar tutarında gaz ithalat faturasını ortadan kaldırarak ekonomik büyümeye katkı sağlamaktadır (ETKB, 2016 s.4).

2.1.15. SKA-9 Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları arasında SKA-9: Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı hedefi, kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşmeyi teşvik etmeyi, inovasyonu (yenilikçiliği) artırmayı ve dayanıklı altyapılar kurmayı hedefler.

Sürdürülebilir kalkınmanın temel taşlarından biri olan sanayi, altyapı ve yenilikçilik; ekonomik büyümeyi, istihdamı, teknoloji transferini ve çevresel sürdürülebilirliği doğrudan etkileyen alanlardır. SKA-9, bu üç unsuru bir arada geliştirerek toplumların refahını artırmayı hedefler. Alt hedeflerini incelediğimiz zaman;

- Herkesin eşit şekilde erişebileceği, kaliteli, dayanıklı, sürdürülebilir ve uygun maliyetli altyapı sistemlerinin kurulması,
- Ülkelerin koşullarına uygun biçimde, sanayi sektörünün milli gelir ve istihdamdaki payı artırılmalı; en az gelişmiş ülkelerde ise bu oranın en az 2 katına çıkarılması,
- Gelişmekte olan ülkelerdeki küçük sanayi işletmelerinin finansman kaynaklarına, özellikle de uygun kredilere ve ulusal/uluslararası pazarlara erişimi artırılmalı,
- Ülkeler, kendi kapasiteleri ölçüsünde harekete geçerek, kaynakları daha verimli kullanılmalı ve çevre dostu teknolojilere yönelmeli,
- Bilimsel araştırmalar ve teknoloji geliştirme faaliyetleri desteklenmeli; her 1 milyon kişiye düşen Ar-Ge personeli sayısı ve bu alandaki kamu/özel sektör harcamaları özellikle gelişmekte olan ülkelerde artırılmalı,
- Gelişmekte olan ülkelerde, sanayi ürünlerinin çeşitlendirilmesi ve katma değerli üretimin artırılması için, araştırma, yenilikçilik ve yerli teknoloji geliştirmeyi destekleyecek uygun politikalar teşvik edilmeli gibi temel hedefler belirlenmiştir (UN, 2025g).

2022 yılı itibarıyla, küresel imalatın gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) içindeki payı yaklaşık %15 civarında iken az gelişmiş ülkeler de imalatın GSYİH içindeki payı maalesef %7'nin altındadır (UNIDO, 2024, s.7). Sanayi sektörünün gelişmesi, diğer sektörleri de sürükleyerek toplam ekonomik büyümeyi destekleyeceği için öncelikli hedefler arasında yer alması gerekmektedir. Keza temiz üretim teknolojileri ve verimli kaynak kullanımı yaygınlaştırılmalı; sanayi süreçleri çevre dostu hale getirilmelidir.

Ülkemizde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1999'dan beri düzenlenen *Sanayide Enerji Verimliliği (SENER) Proje Yarışması* ile, endüstriyel işletmelerin enerji verimli ve çevre dostu uygulamalarını teşvik etmeyi, sanayide enerji verimliliğini

yaygınlaştırmayı, başarılı projeleri kamuoyuna tanıtmayı amaçlamış olup aşağıdaki tabloda 2024 yılında bu ödülü kazanan projeler listelenmiştir.

Tablo 4: Senver-2024

GRUP	ÖDÜL	PROJE / ENDÜSTRİYEL İŞLETME
KATEGORİ 1 (500 TEP-1000 TEP)	BİRİNCİLİK	Basıncılı Hava Kaçağını Algılama İçin Otomatik Test Sistemi BSH EV ALETLERİ SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
	İKİNCİLİK	Tümosan Döküm Fabrikası Enerji Dönüşüm Projesi TÜMOŞAN DÖKÜM A.Ş.
	ÜÇÜNCÜLÜK	Basıncılı Hava Sistemlerinde Anlık Ölçümlerle Set Değerlerinin Minimize Edilmesi YORGLASS CAM SANAYİ TİCARET A.Ş. BEYAZ EŞYA ÇERKEZKÖY İŞLETMESİ
KATEGORİ 2 (1001 TEP-50.000 TEP)	BİRİNCİLİK	EPS Modeli ile Isı Pompası Entegrasyonu BRİSA BRIDGESTONE SABANCI LASTİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş. AKSARAY FABRİKASI
	İKİNCİLİK	Biomethanizasyon Üretimi ile Doğalgaz Kazanının By-Pass Edilmesi PEPSICO FRITO-LAY MANİSA ÇİPS FABRİKASI
	ÜÇÜNCÜLÜK	PID Kontrol ile Boyahane Proses Optimizasyonu FORD OTOMOTİV SANAYİ A.Ş.
	JÜRİ ÖZEL	Atık Isıların Isı Pompası Entegrasyonu ile Proseste Enerji Verimliliği ORGANİK KİMYA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
KATEGORİ 3 (50.001 TEP ve üzeri)	BİRİNCİLİK	Hidrojen Üretim Ünitesinde Makine Öğrenmesi ile Buhar/Karbon Oranı Optimizasyonu STAR RAFİNERİ A.Ş.
	İKİNCİLİK	Porselen Karo Yarımamül Üretiminde Yapay Zeka Destekli Akıllı Modellerle Enerji Verimliliği ECZACIBAŞI VİTRA KARO SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
	ÜÇÜNCÜLÜK	Yaş Arıtma Çamurunun Farin Değirmenine Besleme Sistemi Entegrasyonu Sayesinde Fanlarda Enerji Verimliliği Projesi ÇİMKO ÇİMENTO VE BETON SANAYİ TİCARET A.Ş.
	JÜRİ ÖZEL	Ağır Nafta Ünitesinde Kapasite Artışı ve U-200 Reformer Ünitesinin Durdurulması ile Yıllık 250 Milyon TL Tasarruf Sağlanması Projesi TÜPRAŞ TÜRKİYE PETROL RAFİNERİLERİ A.Ş. İZMİR RAFİNERİSİ

Kaynak: ETKB, 2024c.

2030'a kadar bilimsel araştırmalar, Ar-Ge yatırımları ve çalışan sayısı artırma hedefi kapsamında Türkiye'de Gayrisafi yurt içi araştırma geliştirme harcamaları yaklaşık 26 trilyon TL ile (en fazla harcamanın olduğu il %29.7 ile Ankara) GSYH içindeki oranı %1,42'ye yükselmiştir ancak yeterli düzeyde değildir (TÜİK, 2024b). Keza sanayide çeşitliliğin ve yerli katma değer artması için teknoloji geliştirme ve yenilikçiliğe dayalı politikalar kapsamında TÜBİTAK Teknoloji Transfer Ofisleri, TÜBİTAK 1515 projeleri ve TEKNOFEST'lerle bu amaç ülkemizde yıllardır pekiştirilmeye çalışılmaktadır.

2.1.16. SKA-9 Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapıda Nükleer Enerji

Sanayileşme, güvenilir ve yeterli enerji arzına ihtiyaç duyar. Nükleer enerji santralleri, büyük ölçekli ve kesintisiz elektrik üretimi sağlayarak sanayi sektörünün enerji talebini karşılayabilir. Özellikle enerji-yoğun endüstriler için nükleer santrallerin sağladığı yüksek güçlü ve sürekli elektrik arzı, üretim kapasitesinin sürdürülebilir şekilde artmasına olanak tanır. Örneğin, 1000 MWe kapasiteli bir nükleer santral her yıl milyarlarca kilovat-saat elektrik üretebilmektedir ve bu sayede fabrikalar, imalat tesisleri ve diğer sanayi kuruluşları için kritik bir enerji altyapısı işlevi görmektedir. Nükleer reaktörlerin yüksek enerji yoğunluğu, sanayideki talebi karşılamak için gerekli büyük ölçekli üretimi mümkün kılar; bu da kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşme amacına katkıda bulunur.

1000 MWe’lik bir nükleer santral inşası yaklaşık 200.000 yıllık istihdam yaratmakta, işletme aşamasında da yüzlerce kalifiye iş gücüne sürekli istihdam sağlamaktadır ki bu istihdam etkisi, sanayi ekosistemine vasıflı işgücü kazandırmakta ve dolaylı olarak yan sektörlerde (tedarik zinciri, bakım, mühendislik hizmetleri vb.) ilave iş imkânları oluşturarak ekonomik büyümeyi tetiklemektedir (WNA, 2021, s.11).

Nükleer enerji yatırımları büyük sermaye gerektiren altyapı projeleridir ve bu yönüyle kısa vadede inşaat sektörünü ve bağlantılı imalat sektörlerini canlandırarak ekonomik büyümeyi hızlandırmaktadır. Örneğin nükleer santral inşasında kullanılan ekipman sayısı ve çeşitliliğine bakınca tek bir nükleer santral projesi için bile yaklaşık 550 bin ayrı ekipman gerekmekte olup bu ekipmanların ve hizmetlerin mümkün olduğunca yerli tedarikçilerden sağlanması, yerli imalat sanayine iş imkânı ve teknoloji kazanımı demektir (ETKB, 2016, s.4).

Akkuyu NGS projesinde %56 civarında yerli katkı oranına ulaşıldığı ve projenin şu ana dek Türk ekonomisine 7,5 milyar dolar katkı sağladığı belirtilmiştir (Kraev, 2025). Bu, projenin inşaat malzemeleri, taşeronluk hizmetleri, lojistik, montaj gibi alanlarda Türk firmalarının ciddi pay aldığını göstermektedir. Yerli sanayinin nükleer projelere entegrasyonu, uzun vadede ülkeye nükleer teknolojiler alanında üretim yeteneği kazandıracağı ve nükleer enerji yatırımlarının ülkenin sanayileşme sürecini hızlandırıcı bir rol oynayarak nükleer enerjiyi ülkeler için ekonomik bir kaldıraç haline getirilebileceği aşıkardır.

2.1.17. SKA-10 Eşitsizliklerin Azaltılması

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından SKA-10: Eşitsizliklerin Azaltılmasında; ülkeler içinde ve ülkeler arasında ekonomik, sosyal ve politik tüm eşitsizliklerin azaltılması amacı hedeflenmektedir. Çünkü eşitsizlikler yoksullukları derinleştirip sosyal uyumu zedeler ve sürdürülebilir kalkınmayı engeller. Kısacası SKA-10 hedefi gelir ve fırsat eşitsizlerini azaltıp ayrımcılıkla mücadele ederken hem ülke içindeki (dikey eşitsizlikler) hem ülkeler arasındaki (yatay eşitsizlikler) eşitsizlikleri azaltma amacını hedeflemektedir. Alt hedefleri özetlediğimiz zaman, (UN, 2025ğ)

- Toplumun en düşük gelirli %40'lık kesiminin gelir artış hızının ulusal ortalamanın üzerinde seyretmesi sağlanmalı,
- Ayrımcılık üzerine olan yasa ve politikaları bırakıp kapsayıcı mevzuatlar ve eşitlikçi politikalar teşvik edilmeli,
- Küresel finansal kurumlar daha şeffaf, denetlenebilir ve kapsayıcı hale getirilmeli; gelişmekte olan ülkelerin bu yapılarıdaki temsili güçlendirilmeli,
- Dünya Ticaret Örgütü çerçevesinde, gelişmekte olan ve özellikle en az gelişmiş ülkelerin özel muamele görmeleri sağlanmalı; bu ülkelere yönelik doğrudan yabancı sermaye girişleri ve resmi mali akışlar güçlendirilmeli

şeklinde ifade edebiliriz. Tablo 5 ile gelişmekte olan teknolojileri kullanan ve SKA-10 kapsamında değer yaratan 21 şirketin iş modellerini ve kullanım örneklerini görmekteyiz:

Tablo 5: SKA-10 Kapsamında Şirketler ve Kullanım Örnekleri

ŞİRKET BİLGİSİ	DEĞER ÖNERİSİ	DEĞER YARATIMI	DEĞERİN YAKALANMASI
Ava ● ABD 📶 SKA: 10 🔧 Teknoloji: Yapay Zeka	Konuşmaları yazıya dönüştüren yapay zekâ temelli bir konuşma tanıma teknolojisidir.	Ava uygulaması, sunumlarda ekran alt yazısı veya konuşmaların yazılı hali gibi erişilebilir çözümler sunar. İşitme engelli kullanıcılar için ekran bağlantılı ortamda konuşulanı anında yazıya döker.	Uygulama, işitme engelli bireylerin daha anlaşılır bir hayat sürmesine yardımcı olur. Böylece bu bireyler, herhangi bir kısıtlama olmadan topluma entegre olabilir.
Ceretai ● İsveç 📶 SKA: 10 🔧 Teknoloji: Yapay Zeka	Film ve müzik gibi popüler kültür içeriklerindeki önyargıları tespit edip ortadan kaldırmayı amaçlayan bir otomatik analiz yazılımıdır.	Geliştirilen araçlar, yapay zekâ ile içerikleri tarar, verileri analiz eder ve temsil eşitliğini denetler. "Çeşitlilik Paneli" (Diversity Dashboard) gibi görselleştirme araçları, medyada içerik takibi yapar.	Toplumsal eşitlik artırılır, ayrımcı kalıpların önüne geçilir. Eğlence sektöründeki ayrımcılık davranışları engellenebilir.
Dot ● Güney Kore 📶 SKA: 10 🔧 Teknoloji: Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim, Giyilebilir Elektronik	Görme engelli bireyler için teknolojik giyilebilir cihazlar geliştiren bir şirkettir.	Dot Watch ve Dot Mini, görme engellilerin Kindle benzeri bir cihazla "okuyabilmelerini" sağlar. Yapay zeka, IoT ve bulut teknolojisi kullanılır.	Dezavantajlı bireyler için eşit bir ortam sağlanır. Cihazlar uygun fiyatlı hale getirilerek yoksul ülkelerdeki bireylerin eğitime katılımı artırılır.
Knockri ● Kanada 📶 SKA: 5, 10 🔧 Yapay Zeka, Doğal Dil İşleme (NLP)	İnsan kaynaklarında önyargısız işe alım süreçleri sağlamak için yapay zeka ve NLP temelli yazılımlar geliştirir.	deo mülakatları, sesli ve yazılı değerlendirmeleri analiz eder. Adayların becerilerini değerlendirirken ırk, cinsiyet, etnik köken, fiziksel görünüm veya cinsel yönelim gibi önyargılı unsurlardan bağımsızdır.	İrksal ve cinsiyete dayalı önyargıların ortadan kaldırılması sayesinde etik ve sosyal fayda yaratılır. Bu sayede işe alım verimliliği ve şirketin vizyonu da güçlendirilir.
Marinus Analytics ● ABD 📶 SKA: 10 🔧 Yapay Zeka, Bulut Bilişim, Siber Güvenlik	İnsan kaçakçılığı gibi bazı suçlar reklamlar aracılığıyla gizlenir. Bu sistem, yapay zekâ ile bu suçların tespit edilmesini ve bulut üzerinden korunmasını sağlar.	Yapay zekâ, yasa dışı amaçlarla kullanılan reklamları analiz eder, verileri buluta kaydeder ve benzer taktikler kullananları tespit edebilmek için otoriteleri uyarır.	İnsan ticareti ve cinsel istismar gibi ayrımcı davranışları ortadan kaldırarak toplumsal fayda sağlar. Toplum daha bilinçli hale gelir.

Kaynak: Smith & Lee, 2022.

2.1.18. SKA-10 Eşitsizliklerin Azaltılmasında Nükleer Enerji

Nükleer enerji sektörünün eşitsizlerin azaltılmasında da ekonomik ve sosyal eşitsizlikleri etkileyen önemini de görmezden gelemeyiz. Nükleer enerjinin bilinen faydalarından olan istikrarlı ve makul düzeyde enerji fiyatı sağlaması hane halkı bütçelerinde enerjiye ayrılan

payın öngörülebilir olmasını sağlar. Dolayısıyla, iyileştirilmiş bir enerji arzı kalitesi, insan kapasite işlevleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olacak ve eşitsizliklerin azalmasını sağlayacaktır. Gelirin büyük bir bölümünü enerjiye ayıran yoksul kesim için fiyat istikrarı ve baz yük üretimi piyasa fiyatı dalgalanmalarının önüne geçerek özellikle dar gelirli tüketicileri koruma altına almaktadır. Dolayısıyla gelir adaletinin desteklenmesinde pozitif araç olarak katkı sağlayabilmektedir. Nükleer enerjinin eşitsizlik azaltıcı etkilerinden faydalanmak için tabi tüm modellemelerin özenle yapılması ve yükün adil ve şeffaf şekilde dağıtılması önem arz etmektedir.

Nükleer enerjinin baz yük sağlaması, kentsel ve kırsal kesim demeden geniş kitlelere enerji arzı sunarak toplumsal refahı yukarı yönlü çekmeye yardımcı olabilmektedir. Örneğin, Fransa’da 1970’lerden beri ülke geneline sunulan düşük ücretli elektrik erişimi elektriğin kamu hizmeti olarak her vatandaşa ulaşmasını sağlamakla kalmamış enerji kaynaklı bölgesel ve sınıfsal farklılıkları da azaltmıştır.

2.1.19. SKA-11 Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından SKA-11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar hedefi şehirlerin ve insan yerleşimlerinin daha güvenli, kapsayıcı, dayanıklı ve sürdürülebilir hale getirilmesini hedeflemektedir. Alt hedeflerini özetlediğimiz zaman; (UN, 2025h)

- Herkes için güvenli ve makul fiyatlı konut sağlamak ve gecekondu bölgelerini iyileştirmek,
- Ulaşım sistemlerini özel ihtiyaç sahiplerinin karşılaştıkları zorluklara göre geliştirmek, toplu taşımayı yaygınlaştırmak ve trafik kazalarını azaltmak,
- Kapsayıcı ve sürdürülebilir kentleşmeyi teşvik etmek, katılımcı planlama süreçlerini desteklemek ve kültürel mirası korumak,
- Hava kalitesini ve atık yönetimini iyileştirerek çevre kirliliğini azaltmak,
- Yeşil alan sayısını artırarak yaşam kalitesini yükseltmek,

şeklinde ifade edebiliriz.

Sürdürülebilir kalkınma açısından şehirler de kritik önem taşımaktadır. Hızlı kentleşme, nüfus artışı ve çevresel sorunlar, şehirlerin etkin ve dengeli bir şekilde yönetilmesini

zorunlu kılmanın yanı sıra şehirler, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmaz, aynı zamanda sosyal adaleti sağlamak ve ekonomik büyümeyi desteklemek açısından da önemli bir rol oynar. Dünya nüfusunun çoğunluğunun şehirlerde yaşaması nedeniyle, bu alanlar sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada temel aktörler olup; sürdürülebilir şehirler, çevresel etkileri en aza indirirken yaşam kalitesini artırarak, enerji verimliliği, su yönetimi, atık yönetimi, ulaşım ve yeşil alanlar gibi birçok alanlarda yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler uygular ve böylece sosyal eşitliği teşvik ederek toplum katılımını artırır (Kasap, 2024, s.14).

2.1.20. SKA-11 Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklarda Nükleer Enerji

Nükleer santrallerin sağladığı sürekli ve yüksek kapasitedeki elektrik üretimi, özellikle büyük metropollerin talebini karşılamada enerji kaynaklarının dalgalı üretimine karşı bir nevi sigorta işlevi görmektedir. Bunun yanı sıra sürdürülebilir şehirler, iklim değişikliğiyle mücadelede uyumlu bir enerji stratejisi gerektirir ve çevre kirliliğiyle mücadele etmek bir zorunluluk olup hükümetler daha az emisyonla daha fazla enerji üretmenin çözümlerini bulmalıdır. Nükleer enerjini fosil yakıtlara kıyasla son derece düşük sera gazı emisyonu ile neredeyse sıfır karbon ayak iziyle büyük miktarda elektrik sağlayabilmektedir.

Örneğin, nükleer enerji üretiminin fosil yakıtlara alternatif olarak 1971-2018 yılları arasında kullanımı ile 74 gigaton CO₂' nin azaltılmasına yardımcı olunmuştur; ki son 10 yılda nükleer enerji ile yılda yaklaşık 2 gigaton CO₂ emisyonunun önlenmesine katkı sağlanarak kentlerin iklim hedeflerine ulaşmasına destek olunmuştur (Mahmood, 2022, s.2).

Ancak nükleer enerji, nükleer kazalar ve toksik atıklar gibi çevresel riskleri de taşıdığı için tartışmaların da merkezinde yer alıyor bu nedenle riskleri azaltmak için hükümetler güvenlik sistemleri ve yeni atık bertaraf yöntemleri için yatırımlar yapmaya devam etmektedir (Lee vd., 2016, s.4). 1986'daki Çernobil kazası ve 2011'deki Fukuşima kazalarında radyasyon sızıntısı nedeniyle maalesef geniş bölgelerde yerleşimler boşaltılmış, çevre ve toplum üzerinde ciddi sonuçlar doğmuştur. Dolayısıyla, şehirlerin

yakınında veya etkileşim alanında nükleer tesisler bulunuyorsa, risk yönetimi ve acil durum planlamasının şehir sürdürülebilirliği bağlamında stratejik önemi vardır.

Radyolojik olaylar, sağlık, mülk, çevre ve ekonomiler üzerinde olumsuz etkilerin yanı sıra sınır ötesi hasara da yol açma potansiyeline sahip olup hükümetler, nükleer kazalardan etkilenenlere adil tazminat sağlarken, aynı zamanda nükleer enerji yatırımlarını ve tedarikçilerini aşırı sorumluluk riskinden korumak için özel sorumluluk rejimi getirerek (Tablo 6 ile nükleer kurulumlarda meydana gelebilecek kazalardaki asgari sorumluluk tutarları belirlenmiş) nükleer enerjinin sürdürülebilir gelişimini desteklemeyi amaçlar.

Bu kapsamda daha önce geçerli olan Paris Sözleşmesi, mevcut Paris Sözleşmesi, Viyana Sözleşmeleri ve Nükleer Güvenlik Sözleşmesi (CSC), sözleşme taraflarının ulusal mevzuatlarında işletmecinin nükleer sorumluluğunu belirlerken göz ardı edemeyecekleri asgari sorumluluk tutarları öngörmektedir. Viyana Sözleşmesi hariç tüm nükleer sorumluluk sözleşmeleri, nükleer tesisler ve düşük riskli nükleer tesisler için farklı sorumluluk tutarları öngörmektedir (Nuclear Energy Agency, 2023, s.17).

Tablo 6: Nükleer Bir Kurulumda Meydana Gelen Nükleer Olay Durumunda, İşletmecinin Nükleer Sorumluluğu İçin Nükleer Sorumluluk Sözleşmeleri Kapsamında Öngörülen Asgari Tutarlar

Nükleer Sorumluluk Sözleşmesi	Nükleer Kurulum İçin Asgari Sorumluluk Tutarı	Düşük Riskli Nükleer Kurulum İçin
Önceden Geçerli olan Paris Sözleşmesi	SDR* 150 milyon	5 milyon ABD doları
Paris Sözleşmesi	700 milyon Euro	70 milyon Euro **
Viyana Sözleşmesi	5 milyon ABD doları (29.04.1963 tarihli 35 \$/ons altın değeri üzerinden)	-

Revize edilmiş Viyana Sözleşmesi	SDR 300 milyon	SDR 5 milyon **
CSC (Sivil Sorumluluk Sözleşmesi)	SDR 300 milyon	SDR 5 milyon **

Kaynak: (Nuclear Energy Agency, 2023,s.19).

SDR (ÖÇH): “Özel Çekme Hakkı”, IMF tarafından 1969 yılında üye ülkelerin resmi rezervlerini desteklemek üzere oluşturulmuş uluslararası rezerv para birimidir. Bu para biriminin döviz kuru için: www.imf.org/external/np/fin/data/rms_sdrv.aspx

** : Kurulum devleti, nükleer kuruluşlar için öngörülen asgari tutarların kamu fonlarıyla sağlanmasını garanti etmelidir.

2.1.21. SKA-12 Sorumlu Üretim ve Tüketim

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından SKA-12: Sorumlu Üretim ve Tüketim hedefi, kaynakların verimli kullanımını sağlayarak sürdürülebilir üretim ve tüketim modellerini teşvik ederek çevresel bozulmayı azaltmayı, atıkları minimize etmeyi ve herkes için daha adil bir ekonomik sistem oluşturmayı hedeflemektedir. Doğal kaynakları korurken atığı azaltan, adil ve sürdürülebilir bir üretim-tüketim döngüsü yaratmak amacı üzerine kurgulanan sistemle ancak gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakılabilir. Alt hedeflerini incelediğimiz zaman;

- Doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ve verimli kullanımı sağlanması,
- Kişi başı gıda atığı yarıya düşürülerek üretim ve tedarik zincirindeki kayıpların minimize edilmesi,
- Kimyasallar ve atıklar, insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyecek şekilde yönetilerek hava, su ve toprak kirliliğinin azaltılması,
- Geri dönüşüm, yeniden kullanım ve atık önleme yöntemleriyle katı atık miktarının büyük ölçüde azaltılması,
- Herkesin sürdürülebilir yaşam konusunda bilinçlenmesi ve doğayla uyumlu bir yaşam sürmesinin sağlanması,
- Yerel ekonomiyi ve kültürü destekleyen, çevre dostu turizm politikalarının geliştirilmesi,

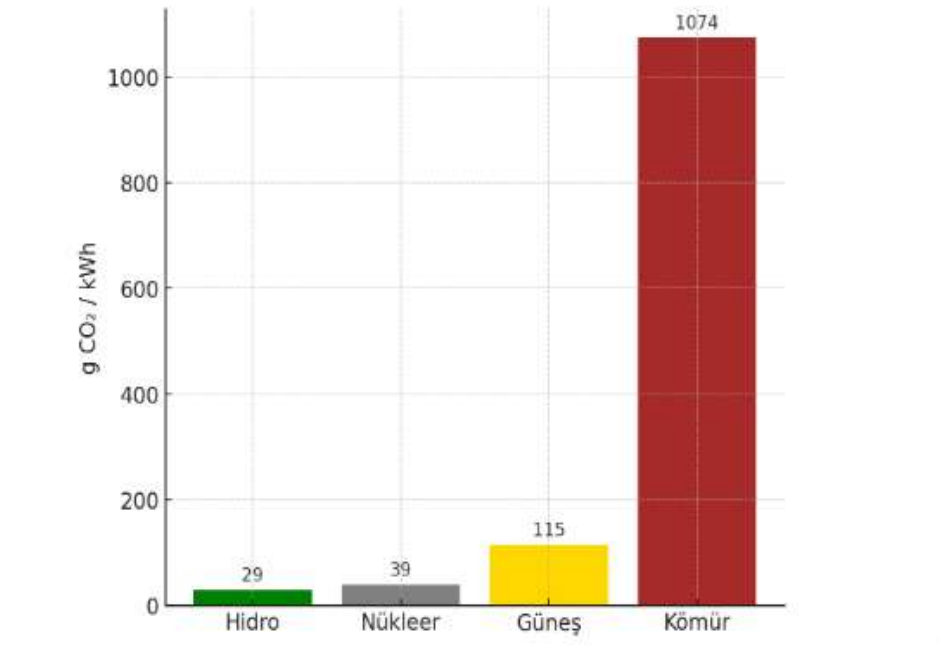
- Çevreye zararlı ve israfa yol açan fosil yakıt sübvansiyonlarının kademeli olarak kaldırılarak vergi sistemlerinin doğa dostu politikalarla uyumlu hale getirilmesi hedeflenmektedir (UN, 2025).

Sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı sağlamak için, insanlık üretim ve tüketim alışkanlıklarını değiştirerek karbon ayak izi azaltılmalıdır. SKA-12’de vurgulandığı gibi, doğal kaynakları verimli bir şekilde kullanmak ve çevreyi toksik atık kirleticilerinden korumak, endüstrileri, işletmeleri ve tüketicileri geri dönüşüm yapmaya ve atıkları azaltmaya teşvik etmek önemlidir (Küfeoğlu, 2022, s.410). Ülkemizde Sıfır Atık Projesi (2017), ulusal ölçekte atık oluşumunun önlenmesi ve geri dönüşümün artırılmasını hedefleyen bir çatı girişimdir. Bu kapsamda 2019’da yayımlanan yönetmelikle belediyelerin atık yönetimi sorumlulukları tanımlanmış, eğitim ve farkındalık çalışmaları başlatılmıştır. Özellikle ambalaj atıklarının geri kazanımında ilerleme kaydedilmiştir: Kâğıt/karton ambalajda %93, metalde %68, plastikte %63 gibi yüksek geri kazanım oranlarına ulaşılmış; geri dönüşüm tesislerinin sayısı artmıştır (EEA, 2025, s.2).

2.1.22. SKA-12 Sorumlu Üretim ve Tüketimde Nükleer Enerji

SKA-12, enerji sektörü de dahil olmak üzere tüm üretim-tüketim süreçlerinin sürdürülebilir olmasını öngörür. Enerji üretimi, sanayiden konuta tüm tüketim kalıplarının temelini oluşturduğundan, enerji üretiminin sorumlu bir şekilde yapılması bağlamında nükleer enerji, düşük karbon salınımlı, yüksek yoğunluklu bir enerji kaynağı olarak sürdürülebilir kalkınma tartışmalarında önemli bir yere sahiptir. Nükleer enerji, ekonomik büyümeyi fosil yakıtlardan ayırıştırarak temiz üretim sağlayabilirken, beraberinde atık yönetimi, güvenlik ve toplumsal kabul gibi ciddi sorumluluklar getirir (Amir ve Zeler, 2024, s.1-2). Nükleer enerji, elektrik üretiminde sera gazı emisyonları en düşük seçeneklerden biridir. Yaşam döngüsü analizlerine göre nükleer santrallerin birim elektrik başına karbon salınımı, rüzgâr ve hidroelektrik seviyelerinde olup fosil yakıtlardan katbekat düşüktür. Örneğin, 1 kWh enerji üretmek için salınan karbon miktarının, karşılaştırmalı olarak, hidroelektrik santraller için 29 g, nükleer santraller için 39 g, güneş santralleri için 115 g ve elektrik santralleri için 1074 g olduğu gösterilmiştir (Kok ve Benli, 2017, s.876).

Grafik 8 : Elektrik Üretim Kaynaklarının Yaşam Döngüsü Sera Gazı Emisyonları



Kaynak: Kok ve Benli 2017, s.875.

Bununla birlikte, nükleer enerjinin çevresel boyutu sadece operasyonel emisyonlarla sınırlı değildir. Nükleer atık yönetimi, SKA-12 açısından kritik bir konudur. Nükleer reaktörlerin kullanılmış yakıtları ve diğer yüksek seviyeli radyoaktif atıkları, çok uzun süreler boyunca radyoaktif kalabilmekte ve uygun şekilde yönetilmezse çevre ve insan sağlığı için ciddi tehlike oluşturabilmektedir. Dolayısıyla nükleer enerjinin “sorumlu üretim”e katkı sunması, büyük ölçüde nükleer atıkların güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine bağlıdır. Türkiye’de 07.11.2023 tarihli ve 32362 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan Radyoaktif Atık ve Kullanılmış Yakıt Yönetimi Yönetmeliği ile radyoaktif atıkların güvenli olarak yönetilmesi, bertaraf edilmesi, gerekli önlemlerin alınması, radyo aktif atıkların taşınması gibi maddelerle yol haritası oluşturulmuştur.

Türkiye’de de nükleer enerjiye ilişkin toplumsal algı konusunda kafa karışıklığı vardır. Akkuyu projesi açıklandığı ilk günden beri çevre örgütleri ve bazı yerel gruplarca endişeyle karşılanmıştır. Nükleer enerji programının toplumsal meşruiyet kazanması için geniş katılımlı bir iletişim ve güven inşası süreci şarttır. SKA-12’nin içerdiği “sorumlu tüketim” boyutu, bireylerin ve toplumun bilinçlendirilmesini de kapsar. Nükleer enerji

konusunda topluma doğru bilgilendirme yapılması, risklerin ve faydaların açıkça paylaşılması, karar alma süreçlerine yerel paydaşların dahil edilmesi kritik önem taşır.

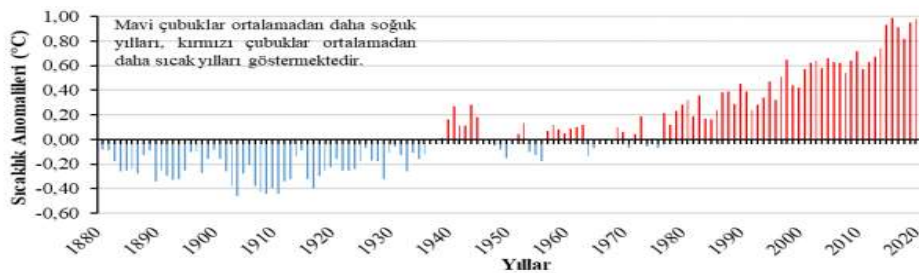
2.1.23. SKA-13 İklim Eylemi

Sürdürülebilir Kalkınma amaçlarından biri olan SKA-13: İklim Eylemi' ni ifade etmektedir. Bu amaç, iklim değişikliği ve etkileriyle mücadele etmek için iklim kaynaklı afetlere karşı dayanıklılığı ve uyum kapasitesini güçlendirerek global çapta acil eylem ve önlemler almayı hedeflemektedir. İklim değişikliği karşısında insanlığın karşı karşıya kaldığı tehditler ve eğer acil önlemler alınmaz ise tüm dünya için yıkıcı sonuçlar doğurabileceğine vurgu yapmaktadır. Alt hedeflerine özetlediğimiz zaman, (UN, 2025i)

- Kırılgan ülkelerde iklimle ilgili afetlere karşı hazırlığı güçlendirip uyumu artırmak,
- Ülkelerin iklim stratejilerini politikalarla entegre etmek ve gelişmiş ülkelerin geliştirmekte olan ülkelere finansman transferinin gerçekleşmesini sağlamak,
- İklim değişikliği ile ilgili farkındalık oluşturup yenilenebilir enerjiyle ve enerji verimliliğiyle ilgili uygulamaları desteklemek ve yaygınlaştırmak.

Nitekim de şekil 3 de görüldüğü üzere 1880'li yıllardan bu yana her 10 yıl içinde ortalama 0.08 °C sıcaklık artmış ve 1981 sonrası bu eğilim hız kazanmış, artış oranı iki katından fazla artarak küresel ısınmanın etkilerini daha görünür kılmıştır (Günay ve Hacıyakupoğlu, 2023, s.366).

Şekil 3 : 1880–2021 Döneminde 20. Yüzyıl Ortalamasına Göre Küresel, Okyanus ve Kara Yüzeyi Sıcaklık Anomalileri



Kaynak: Günay ve Hacıyakupoğlu, 2023, s.367.

İklim değışikliğı kara ve deniz tüm ekosistemi tehdit etmesinin yanında buzulların erimesinden okyanusların asitlenmesine kadar çok geniş yelpazede olumsuz etkileri olmaktadır. İklim değışikliğinin Tehlike Altındaki Türlerin Kırmızı Listesindeki en az 10.967 türü etkilediğini ve bu türlerin yok olma olasılığını artırdığını, son 150 yılda ise okyanus sıcaklıklarının yükselmesi nedeniyle mercan resiflerinin yaklaşık %50'si kaybolduğı, dahası, değışen iklimin (kuraklık, çölleşme ve aşırı hava olayları) da arazi bozulmasını daha da kötüleştirip dünya arazilerinin %40'ının bozulduğı raporlanmıştır (Arora ve Mishra, 2023, s.297-299).

Son dönemlerde sera gazı salınımlarını minimuma indirmek için ortaya konulan iklim dostu projelerde “yeşil tahvil” denilen borçlanma araçları ile düşük faizli borçlanma imkanı sağlanmaktadır. Climate Bond Initiative tarafından yayımlanan yıllık raporlarda, 2018 yılında dünya genelinde yeşil tahvil ihraçlarının 167,3 milyar \$ seviyelerine eriştiğini; Amerika, Fransa, Çin gibi ülkelerin ise bu ihraçlarda başı çektikleri görülmektedir (Menteşe, 2021, s.104).

2.1.24. SKA-13 İklim Eyleminde Nükleer Enerji

İklim değışikliğı ile mücadelede nükleer enerji fosil yakıtlara alternatif olması ile gündeme gelmektedir. Bunun en temel sebebi de nükleer enerji ile elektrik üretmenin sera gazı emisyonlarında çok düşük düzey kalmasından kaynaklıdır. Günümüzde küresel enerji ihtiyacının yaklaşık %80'i fosil yakıtlardan karşılandığı düşünülürse nükleer enerji, düşük karbon salınımı özelliğıyle çevre dostu bir alternatif olarak öne çıkarak hava kirliliğinin azaltılmasına ve küresel ısınmanın kontrol altına alınmasına önemli katkı sunabilmektedir (Akyüz, 2021, s.6).

İklim değışikliğı ile mücadelede bir diğer avantaj ise kesintisiz baz yük sağlaması ve enerji üretimidir. Nükleer santraller yıl boyunca sabit verim ile maksimum fayda sağlayarak iklim şartlarından etkilenmemekte ve enerji arz güvenliğini destekleyen çözüm sunmaktadır (Akyüz, 2021, s.7).

2.1.25. SKA-14 Sudaki Yaşam

Sürdürülebilir kalkınma amaçlarından biri olan SKA-14: Sudaki Yaşam'ın sürdürülebilir kalkınma ile ilişkisinden bahsetmektedir. Denizdeki ekosistemlerin bozulmasını önlemeye, biyolojik çeşitliliği global çapta korumaya ve denizlerin ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarda sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik küresel bir taahhüttür. Alt hedeflerini özetlediğimiz zaman, (UN, 2025j)

- Deniz ve kıyı ekosistemini korumak için bilimsel iş birliğine dayalı stratejiler belirlemek,
- Yasa dışı balıkçılık faaliyetlerine engel olacak çalışmalarda bulunmak,
- Okyanus sağlığının iyileştirilmesine yönelik bilgi transferleri ve deniz teknolojilerini geliştirmek,
- Uluslararası deniz hukuku çerçevesinde devletlerin yükümlülüklerinin yerine getirilmesi beklenmektedir.

Dünya'nın en büyük karbon yutağı olan okyanuslar aynı zamanda iklim değişikliğinin etkilerine karşı hayati bir tampon görevi görerek, yıllık insan kaynaklı CO₂ emisyonlarının %25'inden fazlasını emer ve ortaya çıkan ısının da %93'ünü depolayarak hayati bir işlev görmektedirler (Lothian ve Haas, 2024, s.2). Sudaki yaşam hedeflerine ulaşmak kendi içinde büyük zorluklara da sahiptir. Özellikle kıyılarda artan kirlilik, okyanusların ısınması gibi durumlar biyolojik çeşitliliği de azaltmaktadır ki plastik kirlilikleri deniz canlıları için solunum sistemlerine zarar vererek ölümlere sebep olmaktadır. Üstelik aşırı ve yasa dışı yapılan balıkçılık faaliyetleri de ekosistem dengesini bozmaktadır.

2.1.26. SKA-14 Sudaki Yaşamda Nükleer Teknolojinin Rolü

Nükleer teknolojiler, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya ve bunlara uyum sağlamaya yardımcı olan temel araçlardır. Nükleer izotopik teknikler, okyanus asitlenmesinin ve diğer faktörlerinin etkilerini izlemek ve sudaki kirlilik kaynaklarının belirlenmesine yardımcı olmak için günümüzde kullanılmaktadır.

Bunun örneğini kıyı bölgeleri için bir tehdit oluşturan zararlı alg patlamalarını gösterebiliriz. Reseptör Bağlama Testi olarak bilinen nükleer tabanlı bir teknik ile alglerin sebep olduğu biyo toksinleri erken tespit edip izlemelerine olanak tanıyan son derece hassas ve kesin bu yöntemle başarılı sonuçlar elde edilmiş; Şili, El Salvador, Kolombiya ve Küba’da raporlanmıştır (IAEA, 2023).

Nükleer enerji politikalarının etkin araç olarak kullanılmasındaki en önemli engel nükleer kazalar olarak görülmektedir. Japonya’nın doğu kıyısındaki Fukuşima Daiichi nükleer santralindeki kazada, sezyum-134 ve sezyum-137 radyonüklidlerini santralin yakınındaki okyanusa salarak deniz canlılarını radyoaktif maddelere maruz bırakmış ve yakalanan balıklarda maalesef yapay radyoizotoplar tespit edilmiştir (NOAA, 2025). Bu anlamda radyoaktif atıklar için güvenli yönetimi sağlamak önem arz etmektedir.

2.1.27. SKA-15 Karasal Yaşam

Sürdürülebilir kalkınma amaçlarından biri olan SKA-15: Karasal Yaşam ile karasal ekosistem ve ormanların yönetiminden çölleşmeyle mücadeleye kadar biyolojik çeşitliliğin kaybının önüne geçilerek bunun tersine çevrilmesi hedeflenmektedir. Alt hedeflerini incelediğimiz zaman (UN,2025k);

- Ormanların ve doğal habitat alanlarının korunması,
- Arazi tahribatlarının ve çölleşmenin önüne geçilmesi,
- Nesli tükenmekte olan canlıların türlerinin korunmasının sağlanması,
- Yasadışı avcılığın kontrolü sağlanarak yerli türlere hayat sahası sağlamak,
- Ekosistem için yapılan çalışmaların ulusal kalkınma süreçlerine dahil edilmesi sağlanmalıdır.

Ormanlar özellikle karasal ekosistemin çok büyük bölümüne ev sahipliği yapmaktadır. Dünya yüzeyinin yaklaşık %30’unu kaplayan ve tüm kara hayvanlarının, bitkilerinin ve böcek türlerinin yaklaşık %80’ine ev sahipliği yapan ormanlar, atmosferdeki CO₂’yi uzaklaştırarak; atmosferdeki oksijen, karbondioksit ve nem dengesini destekler ve dünyanın tatlı suyunun %75’ini sağlayan su havzalarını koruyup iklim değişikliğinin önlenmesine yardımcı olur; sel, kuraklık, heyelan ve diğer bir çok ciddi doğal afetleri de azaltmaya yardımcı olmaktadır (Küfeoğlu, 2022, s.470).

Toprak erozyonu olsun çorak araziler olsun hepsi tarımsal verimliliği düşürmekte ekosisteme ciddi zararlar vermektedir. Özellikle Afrika bölgesinde tarım arazileri ağır darbe almıştır. Küresel olarak dünya yüzeyinin %41'ini kurak alanlar oluşturmakta olup bu alanlar en kırılgan ekosistemlerdir. Ortalama küresel yeşillenmeye rağmen, insan kaynaklı iklim değişikliği kurak alanların %12,6'sını (5,43 milyon km²) bozarak çölleşmeye neden olmuş ve %93'ü gelişmekte olan ekonomilerde yaşayan 213 milyon insanı etkilemiştir (Burrell vd., 2020, s.1)

Bütün bu sorunlara bütüncül yaklaşımla hareket ederek gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Ülkemizde 2019-2030 yılları arasında kapsayan Çölleşme ile Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı ile sürdürülebilir arazi yönetimi, kuraklıkla ve çölleşmeyle mücadele yöntemleri belirlenmiş, kuraklığın olası etkilerini azaltan uygulamaların hayata geçirilmesi amaçlanmış, bu konuda toplumdaki farkındalığın artırılmasına yönelik eylemler öngörülerek güçlü politika geliştirme hedefine ulusal düzeyde hizmet edilmesi sağlanmaktadır (T.C.Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, 2019, s.68-71).

2.1.28. SKA-15 Karasal Yaşamda Nükleer Enerji

SKA-15 hedefi doğrudan enerji konusuna değinmemekle beraber diğer birçok sürdürülebilir kalkınma hedefi ile iç içedir. Özellikle iklim değişikliği ile mücadelede artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri ve orman yangınları gibi doğa olayları biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir. Bu anlamda fosil yakıtlardan uzaklaşarak düşük karbonlu seçeneklere geçmek sera gazı salınımını azaltmakta nükleer enerjiyi ön plana çıkarmaktadır. Nükleer santraller hava kirletici emisyonları özellikle partikül, azot oksit gibi kimyasallar ve çevresel sorunların azaltılmasına katkı sağlar. Bu yönüyle temiz ve güvenli enerji arzı sağlamaktadır.

2.1.29. SKA-16 Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar

Sürdürülebilir kalkınma amaçlarından biri olan SKA-16: Barış, Adalet ve Güçlü Toplumlar hedefi hukukun üstünlüğü, çatışmaların azaltılması, insan hakları gibi barışçıl ve kapsayıcı hedeflere odaklanarak 2030 gündeminde küresel iş birliğinin güçlendirilmesini amaçlamaktadır. Alt hedeflerini incelediğimiz zaman, (UN, 2025l)

- Şiddetin her türlü haline karşı olmak,
- Hukukun üstünlüğünün garanti altına alınmasını sağlamak,
- Yolsuzluk gibi usulsüz tüm vakaların azaltılması sağlamak,
- Karar alma sistemlerinde kapsayıcılığı ve katılımcılığın artırılmasını sağlamak olarak hedeflenmektedir.

Uluslararası denetim mekanizmalarının işlerliğinin artırılması şeffaflık ve diyalog kanallarının açık tutulması bu hedefe ulaşmada temel kriterlerdir. Irk ve dinden bağımsız olarak, dünyanın her yerindeki insanlar şiddet korkusundan uzak olmayı ve günlük yaşamlarını güvende hissetmeyi hak ederler bu anlamda herkes için adalet ve kapsayıcılığa erişimin sağlanmadığı sürece yoksulluğun azaltılması ve sosyoekonomik kalkınmadaki eşitsizlikler artacak ve hükümetlerin *kimseyi geride bırakmama* sözleri yerine getirilemeyecektir (Küfeoğlu, 2022, s.489-491)

Tablo 7 geliştirmekte olan teknolojileri kullanan ve SKA-16 kapsamında değer yaratan şirketlerin iş modellerini ve kullanım örneklerini sunmaktadır:

Tablo 7: SKA 16 Kapsamında Şirketler ve Kullanım Örnekleri

Şirket bilgisi	Değer önerisi	Değer yaratımı	Değerin yakalanması
Blackbird.AI ABD 16 Yapay Zekâ	Misinformasyonla mücadele eden, içerik güvenliğini artıran ve dijital platformlarda tehditleri ortaya çıkaran bir tehdit ve algı istihbaratı platformudur.	Yapay zekâ teknolojileri kullanılarak yanlış bilgilerin filtrelenmesi, ortaya çıkan anlatıların anlaşılması ve misinformasyon tehditlerinin tespit edilmesi sağlanır.	Değer, hangi seslerin önemli olup hangilerinin olmadığı belirlenmesi, tehditlerin sistematik biçimde ele alınması, tekrarlarının önlenmesi ve misinformasyonun erken tespit edilmesi ile yakalanır.
ID2020 ABD ska-1, ska- 9, ska-10, ska-16 Blockchain	Kriptografi ve blockchain teknolojisi kullanarak dijital kimlik sağlar; özellikle kimliği resmi otoritelerce tanınmayan kişiler ve mülteciler için.	Dijital kimlik, blockchain tabanlı bir dizi algoritma ile oluşturulan bir dijital parmak izine dönüştürülür. Bireyin verileri bu hash'lerde saklanır ve birçok düğüm tarafından doğrulanır.	Milyonlarca mülteci ve kimliği tanınmayan bireyin resmi otoritelerce tanınmasını ve temel ihtiyaçlara erişimini sağlar. Onlara vatandaşlık, oy kullanma, sosyal hizmetlere erişim ve modern dünyaya entegrasyon imkânı verir.
Kleros Fransa Ska-9, ska-16 Blockchain	Tüketicilerin farklı yargı bölgelerinde anlaşmazlıkları çözmek için otoriteleri çözümlemelerine olanak tanıyan çevrim içi bir çözüm ve ticari anlaşmazlık çözüm platformudur. Crowdsourcing ve blockchain teknolojisi kullanır.	Blockchain tabanlı yapı sayesinde kanıtlar şeffaf şekilde saklanır. Tarafsız jüri seçilerek akıllı sözleşmeler aracılığıyla bağımsız şekilde davalar çözülür.	Mahkemelerin yetişemediği birçok dava ve ticari anlaşmazlıkta hızlı ve tarafsız çözüm sunarak adaletin sağlanmasına katkıda bulunur. Geleneksel adli çözüm yollarına göre daha verimli ve bağımsız bir mekanizma sağlar.

Kaynakça : Küfeoğlu, 2025, s.494.

2.1.30. SKA-16 Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar İçin Nükleer Enerji

Nükleer silahların kullanımının ve yayılmasının engellenmesi barışçıl toplum inşa etmenin vazgeçilmez parçasıdır. 1968 tarihli Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Anlaşması (NPT) tarihsel olarak nükleer enerji ve güvenliğin yönetimi için bir çerçeve sağlamıştır. Nükleer silahların yayılmasının önlenmesi, güvenlik ve kamu güveni de dahil olmak üzere sistemik risklerin ele alınması kritik öneme sahip olup uluslararası iş birliğiyle desteklenen, izleme ve değerlendirme için sağlam metodolojiler geliştirmek, bu risklerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Qudrat-Ullah, 2025, s.13).

1957’de kurulan Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (UAEA) ise hem nükleerin barışçıl kullanımını teşvik etmek hem de nükleer faaliyetlerin askeri amaç taşımadığını denetlemek üzere tüm dünyada merkezi bir kurum olarak yapılandırılmıştır. SKA-16’nın küresel anlamda etkili, hesap verebilir, şeffaf kurumlar anlayışıyla da bağdaşmaktadır. Keza nükleer tesislerin güvenli yönetimi için bağlayıcı hükümler getiren uluslararası sözleşmelerde de hem halk sağlığını koruma bağlamında hem etkin kurumlarla hesap verilebilirliği artırma kapsamında işlevsellikleri güçlü anlaşmalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tüm bu global çaptaki düzenlemelerde çok taraflılık ve iş birliği ana esastır. Nükleer alandaki riskler (silahların yayılması, nükleer kazalar, terörizm) hiçbir sınır tanımadığı için, ancak uluslararası iş birlikleriyle etkili ve kolay çözebilir.

2.1.31. SKA-17 Amaçlar İçin Ortaklıklar

Sürdürülebilir kalkınma amaçlarından biri olan SKA- 17: Amaçlar İçin Ortaklıklar hedefi küresel işbirliğinden teknoloji transferine kadar güçlü ortaklıklar için dünya çapında yapılması gerekenlere değinmiştir. Alt hedeflerini incelediğimizde;

- Yurtiçinde gelir hasılatının yükseltilmesi için seferberlik yapmak,
- Gelişmekte olan tüm ülkeler için mali kaynakların seferber edilmesi,
- En az gelişmiş olan bölgelere yatırımları yönlendirmek,
- Bilim ve teknoloji alanında bilgi paylaşımında işbirliğine gitmek,
- Sürdürülebilir kalkınma için global düzeyde ortaklıkları geliştirmek

hedefleri yer almaktadır (UN, 2025m).

Özellikle SKA-17 hedefi ile gelişmekte olan ülkelere mali kaynak mobilizasyonu sağlamak sürdürülebilir kalkınma bağlamında işbirliklerini güçlendiren bir mekanizmadır. Finans, bilim ve teknoloji, kapasite geliştirme, ticaret, mali politikalar ve kurumsal uyum gibi 5 geniş kategoride küresel ortaklıkların canlandırılması, SKA-17 hedefleri için en yaygın sınıflandırma olup AB ve üye devletleri, vergisel nedenlerle bilgi paylaşımını, yolsuzlukla mücadeleyi, vergi kaçakçılığı ve yasadışı akışların önlenmesini teşvik etmektedir (Küfeoğlu, 2022, s.501-502).

2.1.32. SKA-17 Amaçlar İçin Ortaklıklarda Nükleer Enerji

Günümüzde birçok ülke, nükleer bilimlerde ilerleme kaydetmek için başka ülkelerin teknolojisine, nükleer mühendislik bilgisine veya yakıt tedarikine ihtiyaç duyar. Bu bağlamda, dünya genelinde çok taraflı nükleer iş birliği anlaşmaları mevcuttur. Özellikle Rusya ve ABD'nin tüm dünyada uluslararası teknolojik nükleer iş birliğine hâkim olduğunu, ABD'nin hâkimiyetinin özellikle güvenlik ve emniyette, Rusya'nın ise nükleer santral inşası, reaktör ve yakıt tedariki, hizmet dışı bırakma ve atık alanlarında belirgin olduğunu, bu teknolojiler söz konusu olduğunda, Rusya tüm anlaşmaların yaklaşık yarısında tedarikçi konumunda olduğu; Fransa, ABD, Çin, Kore ve Japonya'nın ise birlikte %40'lık bir paya sahip olduğu ve nükleer enerjinin küresel geleceğinin ulusal motivasyonlar ve kapasiteler kadar uluslararası iş birliğine de bağlı olduğunu dolayısıyla nükleer enerjinin güvenli kullanımını destekleyen etkin politikalar, nükleer enerjinin ulusal olduğu kadar uluslararası yönlerini de yönetmeye yönelik olması gerektiği aşıkardır (Jewell vd., 2019, s.838).

Teknoloji transferi konusunda özellikle Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (UAEA)'nın Teknik İş birliği Programı, üye ülkelere nükleer bilim ve teknolojinin tıp, tarım, sanayi ve enerji alanlarında barışçıl kullanımını yaygınlaştırmak için destek sağlamanın yanı sıra diğer ajanslarla ortaklıklar kurarak nükleer teknolojilerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine entegre edilmesini kolaylaştırmaktadır.

2023 yılında gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İklim Konferansı'nda (COP28) kararlaştırılan ilk Küresel Durum Değerlendirmesine nükleer enerjinin dahil edilmesi yaklaşık 30 yıl süren COP'ların ardından, nükleer enerji ilk kez müzakere edilen bir sonuç bildirgesinde açıkça yer almış olup çok taraflı kalkınma bankalarının nükleer enerjiye desteği ile, nükleer enerji programı inşa etmek için dışarıdan yardım arayan, henüz yeni finansal piyasalara sahip gelişmekte olan ülkelere daha geniş seçenekler sunacağı beklenilmektedir (World Economic Forum, 2024).

3. BÖLÜM

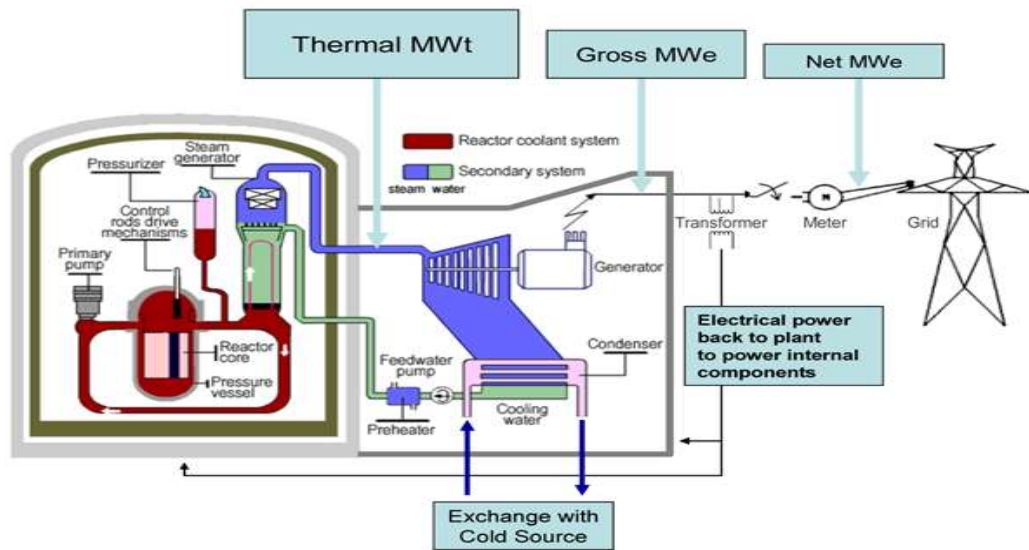
NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ VE AKKUYU NÜKLEER GÜÇ SANTRALİNİN ANALİZİ

3.1. NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ

Nükleer reaktörler, belirli elementlerin atomlarının parçalanmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisini kullanarak elektrik üretirler. Araştırma reaktörlerinde ana amaç, çekirdekte üretilen nötronları kullanmaktır. Çoğu reaktörde elektrik üretimi aynı prensiple çalışır: Şekil 4’de görüldüğü üzere yakıt atomlarının sürekli bölünmesiyle açığa çıkan enerji, gaz veya suyu ısıtarak buhar üretir. Buhar, türbinleri çalıştırarak elektrik üretir.

Nükleer güç elde edilirken kullanılan ana kaynak ise uranyumdur. Bunun sebebi uranyumun birçok yakıta göre ucuz kalmasıdır. Nükleer reaktördeki uranyum-235 veya plütonyum-239 parçalanarak zincirleme reaksiyonla enerji üretir. Kontrol çubukları ise fazla nötronları emerek reaksiyon hızını ve ısının çok artmadan istenen seviyede kalmasını düzenler. Zaten aşırı ısınan nükleer yakıt erise de bomba gibi patlamaz, ancak Çernobil kazasında olduğu gibi kimyasal patlamalar olabilir.

Şekil 4: Nükleer Santrallerden Enerji Üretimi



Kaynak: WNA, 2025e.

Nükleer santrallerin en büyük artısı yenilenebilir enerji kaynakları gibi hava koşullarından etkilenmeden 24 saat boyunca aralıksız çalışma kapasitelerine sahip olmasıdır. Bu yüzden nükleer santrallerde kapasite %90'larda, işletme ömrü ise 60 yılı bulmaktadır (ETKB, 2016, s.5).

Dahası nükleer santraller elektrik üretiminde kullanıldığında çevreyi kirletmez, asit yağmurlarına yol açmaz, enerji bağımsızlığı sağlar, kalifiye personel yetişmesini ve yetiştirilmesini sağlamanın yanı sıra birim fiyatı termik santrallere göre düşük olmasından kaynaklı olarak dışa bağımlılığı azaltıp ekonomik üretim sunar (Özemre vd., 2000, s.6). Matematik hesabı yapıldığında; 1 kg uranyumdan açığa çıkan enerjinin ancak 3 milyon kg kömür veya 2,7 milyon litre petrol ile karşılanması aradaki farkı çok açık ortaya koymaktadır ki nükleer santrallerde elektrik üretimi sırasında oluşan atıkların az ve kompakt olması (fosil yakıtlara göre 67 bin kat daha az atık) güvenli depolama imkânı da sağlamaktadır (ETKB, 2016, s.6).

Nükleer santrallerden enerji üretiminde gelişmiş ülkelerdeki kişi başı tüketimin 8 bin KWh olduğunu düşünürsek bu miktarın karşılanmasında nükleer enerji ve termik santral kıyaslanırsa, 3 ton kömür veya 9 ton linyitle elde edilen enerji sadece 30 kilogram zenginleştirilmiş uranyumla elde edilebilir (Palabıyık vd., s.177). Ya da başka bir deyişle 1 kg kömürden 3 kilowatt/saat enerji üretilirken, 1 kg uranyumdan 50.000 kilowatt/saat, 1 kg plütonyumdan 6.000.000 kilowatt/saat enerji temin edilebilmektedir (Özalp, 2017, s.184).

Üstelik nükleer reaktörler birçok enerji yakıtına göre alan olarak çok az yer kaplamaktadırlar. Eğer Mersin'de inşaatı devam eden Akkuyu Nükleer Santrali kurulmaktan vazgeçilip HES projesi ile elektrik üretimi elde edilmek istense Düzce ilinin yüzölçümü olarak tamamına; rüzgâr santrali inşa edilmek istense Yalova ilinin yüzölçümünün % 70'ine rüzgâr gülleri inşa edilmesi gerekirdi (ETKB, 2016, s.3).

Tablo 8: 1000 Mw Enerji Üretecek Santral İçin Gerekli Alan

Güneş Enerjisi	50 km ²
Rüzgâr enerjisi	150 km ²

Biyokütle enerjisi	6000 km ²
Hidroelektrik barajı	1000 km ²
Nükleer Güç Reaktörü	4 km ²

Kaynak: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2001, s. 239.

Nükleer santrallerle ilgili halk sağlığı açısından en çok korkulan nokta ise çevreye yaydığı radyasyon dozunun ne oranda olacağıdır. Modern nükleer santrallerin büyük çaplı kazalar yaşama olasılığı son derece düşüktür. Normal işletme koşullarında, santral çevresinde yaşayan bireylerin maruz kaldığı radyasyon seviyesi, doğal radyasyon dozunun büyük oranda altında kalmaktadır.

Örneklendirmek gerekirse bir yıl içinde alınan doğal radyasyon dozunun 2,4 mSv olduğu düşünülürse en fazla nükleer santralin olduğu Amerika’da bile nükleer santrale yakın olan bireylerin aldığı ek radyasyon dozu 0.001 mSv/yıl iken, 1000 MW kapasiteli bir kömürlü termik santralin atmosfere yaydığı radyasyon miktarı bunun 4 katı seviyesindedir (ETKB, 2016, s.7).

Tablo 9: Radyasyon Oranları Kıyaslaması ve Örnekleri

Radyasyon Kaynağı	Miktarı	Süre	Karşılaştırma
Bilgisayarlı Tomografi	11 miliSv	Tek seferde	1100 katı
Ankara-Washington arası uçakla yolculuk	0.01 miliSv	8 saat uçuş	2.7 katı
Günde 1 paket sigara içme	0,2 miliSv	Bir yılda	20 katı
Göğüs veya diş Röntgeni	0,1 miliSv	Tek seferde	10 katı
Nükleer Santral Çevresi	<0,01 miliSv	Bir yılda	-

Kaynak : ETKB,2016, s.7.

3.2. NÜKLEER SANTRALLERDE KULLANILAN YAKIT KAYNAKLARI

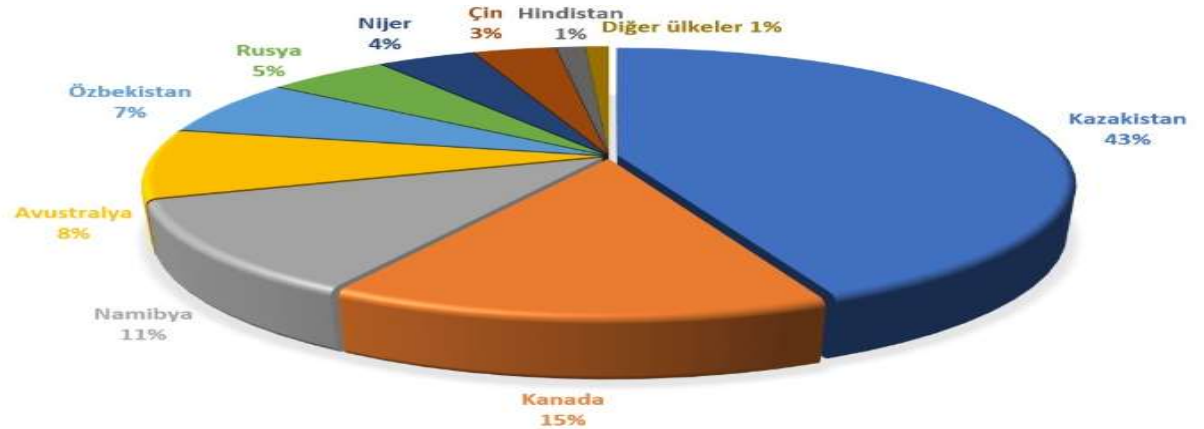
Nükleer santrallerin ana enerji kaynakları uranyum ve toryumdur. Nükleer santrallerin enerji üretiminde rol oynayan bu hammadde kaynakları, sadece teknik açıdan değil, aynı zamanda ekonomik ve jeopolitik boyutlarıyla da küresel enerji stratejilerinin merkezinde konumlandırılmaktadır. Bu hammaddelerin rezervleri, dünya genelinde sınırlı ve bölgesel olarak dengeli bir dağılıma sahip olmadığından uluslararası ilişkileri doğrudan etkileyen stratejik aktör haline gelmektedir.

3.2.1. Uranyum

Uranyum, 1789'da keşfedildiğinde önce bilimsel çalışmalar ve radyum üretiminde kullanılmış ancak son 60 yıldır enerji üretiminde değerlendirilmektedir (Çelik vd., 2015, s.59). Radyoaktif element olmasından kaynaklı yüksek yoğunluğa sahip ve doğada mevcut olan en ağır metaldir. Rezervleri hem yer kabuğunda (kayaç içlerinde) hem okyanusta dağınık ve fazla bulunsa da yer kabuğunda rezervlere ulaşmak daha ucuz maliyete sebep olacağı için okyanuslar tercih edilmemektedir. Ancak deniz suyunda yaklaşık 4.000.000.000 ton uranyum olması yer kabuğundaki rezerv bittiğinde okyanusları da cazip hale getirecektir.

Uranyum doğada serbest halde bulunmadığı için nükleer reaktörde kullanım aşamasına gelene kadar birçok basamaktan geçmektedir. Uranyum nükleer reaktörler için ana yakıttır ve reaktöre yüklenmeden önce rafine edilir ve zenginleştirilir. Buradaki zenginleştirmenin amacı nükleer fisyon esnasında gerekli olan U-235 atomlarının sayısını çoğaltmaktır ki nükleer yakıt için bu oran %2-5 bandına çıkması gerekir (Eroğlu ve Şahiner, 2017, s.38). Nükleer reaktörlerde kullanılan uranyum aynı zamanda geri dönüştürülebilir yani yeniden kullanılabilir olması avantajlarından bir tanesidir. Dünya genelinde üretilen elektriğin yaklaşık %10'u, nükleer reaktörlerde uranyumun gücünden yararlanılarak elde edilmektedir.

Grafik 9: Dünya Uranyum Üretim Oranları



Kaynak : ETKB, 2024ç.

Grafik 9’u incelediğimizde dünyada uranyumun en çok üretildiği yerin Kazakistan olduğunu görmekteyiz. 2022’de dünya uranyum arzının %43’ünü Kazakistan üretirken, Kanada %15 ve Namibya ise %11 ile onu izlemiştir.

Türkiye’ye baktığımızda ETKB Bilgi Merkezi verilerine göre, Türkiye’de 5 yataкта totalde 9.129 ton görünür uranyum rezervi bulunmaktadır. Ülkemizde Uranyum rezervlerinin olduğu bölgeler Salihli-Köprübaşı, Uşak-Fakılı, Yozgat-Sorgun, Aydın-Demirtepe ve Küçükçavdar, Giresun-Şebinkarahisar, Çanakkale-Ayvacık-Küçükkuyu bölgesidir. Türkiye’nin yer altı kaynaklarında henüz keşfedilmemiş yaklaşık 120 bin ton uranyum rezervi bulunduğu düşünülmektedir (Konca, 2018, s.86).

Uranyumda dışa bağımlılığın ömür boyu sürmeyeceği aşıkardır. IAEA’nın 2007 yılında yayımladığı rapora göre uranyum rezervlerinin neredeyse yarısı OECD ülkelerinde bulunur ki nükleer enerjiye olan talep dolayısıyla rezerv çalışmalarındaki artış sayesinde %15’lik genişleme gerçekleşmiş, ayrıca Türkiye’de yaklaşık 7.400 tU oranında uranyum bulunduğu raporlanmıştır (İşeri ve Özen, 2012, s.177). Aynı zamanda nükleer santrallerde, yakıt (uranyum) maliyetinin toplam maliyet içindeki payı da düşüktür (%5–%15).

Bu nedenle yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalardan daha az etkilenir ve çok daha öngörülebilir üretim maliyetine sahiptir. Örnek olarak yakıt fiyatları yarı yarıya artsa bile, nükleer santralde üretim maliyeti sadece %3 artarken, kömür santrallerinde %20, doğal

gaz santrallerinde ise yaklaşık %40'lık yükselmeye neden olur (Tüzer, 2008, s.131). Enerji fiyatlarının nükleer enerjide bu denli istikrarlı olması, enflasyonist baskıları azaltır. Düşük ve öngörülebilir enflasyon ise yatırımı ve üretimi teşvik eder.

Hükümetlerin sıfır karbon hedefi için nükleer enerjiye olan talebi arttıkça uranyum üretimine olan talep de artmaktadır. Talebin 2040 yılı için 130.000 tona gelmesi beklenmektedir. İstatistiklere bakıldığında dünya genelinde uranyumdan elde edilen elektrik miktarı yaklaşık %10 gibi azımsanmayacak orandadır (2500 teravatsaat).

Uranyum konsantresi konusunda dışa bağımlılığı önlemek adına, ülkemizde öncelikle doğru bir cevher arama stratejisi belirlenmelidir. Bu stratejinin temel hedefi, yüksek tenörlü ve geniş rezervlere sahip yatakları keşfederek ekonomik üretim yapabilmektir (Tuncer ve Eskibalcı, 2003, s.88). Çünkü Akkuyu Nükleer Santralinin devreye alınmasıyla birlikte uranyumun yurtiçinde üretilip zenginleştirme faaliyetleri zorunluluk haline gelecektir.

3.2.2. Toryum

Toryumun radyoaktif element olarak tanımlanması, uranyuma göre çok daha eskidir. Doğada serbest şekilde bulunmayan toryum, 50 civarında minarelin içinde bulunarak nükleer yakıtların en temiz yakıtı (daha az plütonyum) olarak kabul edilmektedir.

Toryum yapısı gereği kendi kendine bölünemediğinden tek başına nükleer hammadde olarak kullanılamaz. Bunun için Th-232'nin az kararlı yapıdaki U-233 izotopuna dönüştürülerek kullanılması gerekmekte olup uranyuma göre artısı doğada yaklaşık birkaç 100 kat daha çok bulunmasıdır (Eroğlu ve Şahiner, 2017, s.24).

Tablo 10: Dünyada Toryum Yatakları

Ülkeler	Ton
Hindistan	846.000
Brezilya	632.000
Avustralya	595.000
ABD	595.000
Mısır	380.000
Türkiye	374.000
Venezuela	300.000
Kanada	172.000
Rusya	155.000
Güney Afrika	148.000
Çin	100.000
Norveç	87.000
Grönland	86.000
Finlandiya	60.000
İsveç	50.000
Kazakistan	50.000
Diğer Ülkeler	1.725.000
Toplam	6.355.000

Kaynak:WNA, 2024c.

2016 yılı verilerine göre dünyada yaklaşık 6,35 milyon ton toryum rezervi olduğu ve rezervlerde Hindistan'ın 846.000 ton ile başı çektiği listede Türkiye 6.sırada yer almaktadır. Türkiye'de toryum rezervi için yapılan çalışmalarda Eskişehir/Sivrihisar, Malatya/Hekimhan, Burdur/Çanaklı, Diyarbakır gibi sahalarda toryum tespit edilmiştir (Eroğlu ve Şahiner, 2017, s.25).

3.2.3. Nükleer Santrallerin Ekonomik Boyutu

Enerji ithalatının azaltılması tüm dünya ülkeleri için dış ticaret açığını kapatmakta önemli rol oynamaktadır. Türkiye'nin nükleer enerji hedefi, dışa bağımlılığı azaltıp yerli üretimi artırmaktır. Kömür, doğalgaz gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının maliyetinin oldukça yüksek oluşu nükleer santrallerde kullanılan nükleer yakıtın ise çok cüz'î maliyetlerinin olması nükleer santrallerden üretilecek enerjiye talebi artırmaktadır. Nükleer enerji santralleri orta-uzun vadede kullandığı hammaddelerden kaynaklı olarak düşük maliyet, enerji arz güvenliği, fiyat dalgalanmalarının önlenmesi, ileri teknoloji ihracatı gibi birçok ekonomik avantajlar sunar. Bunlar küresel anlamda ülkelerin rekabet gücünü artırırken nükleer santrallerin kullanım süresi boyunca gerekli olan sarf malzemeleri, bakımı ve onarımı gibi ihtiyaçlara olan talep de ekonomiyi destekleyen faaliyetler arasında sayılabilir.

Nükleer enerji projelerinde ekonomik maliyetlerin belirleyicilerine baktığımızda; bu işi yapacak olan firmaların kredi notu, ilgili ülkedeki enflasyon oranı, nükleere olan bakış açısı ve siyasi riskler gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Finansal piyasaların etkin çalışması ve finansal serbestleşme, büyük projelerin daha hızlı fonlanmasını sağlar. Nükleer santrallerin inşaatının ortalama 10 yıl sürdüğünü varsayarsak kullanılan özel malzemeler ve güvenlik önlemleri nedeniyle maliyetleri fosil yakıtlı santrallere kıyasla daha yüksektir. Bu, toplam maliyeti artırsa da uluslararası deneyimlerin değerlendirilmesi ve firmaların kazanacağı tecrübeler, inşaat maliyetlerini zamanla düşürebilir. Nükleer santrallerden üretilen enerjinin maliyetinin, petrol ve kömür gibi enerji kaynaklarına göre ucuz bir yakıt olması nükleere olan talebi artırmaktadır.

Nükleer santrallerde sadece yakıt maliyetinden ziyade yakıtın zenginleştirilerek kullanılması, keza nükleer santrallerin ömrü bittiğinde sönmüleme diye ifade edilen santralin işlevini yitirmesi sırasında buna gereken sermaye maliyetinin yüksekliği vardır ki bu maliyet, nükleer santralin başlangıçtaki sermaye maliyetinin yaklaşık %9 ile %15 arasında bir orana tekabül etmektedir (WNA, 2008, s.2). Aynı zamanda nükleer santrallerin güvenliğini sağlamak ve santralden çıkan atıkların bertarafı için tesisler kurmak da önemli maliyet kalemleri arasındadır.

Ekonomik maliyetlerine rağmen sürdürülebilirlik açısından uzun vadede getirisine bakıldığında özellikle elektrik fiyatlarındaki dalgalanmaların istikrarlı olması cari açığı kapatmada büyük rol alacağı ve sanayide üretim maliyetleri düştüğü için ekonomik büyümeyi teşvik edeceği aşıkardır. Asıl sorun nükleer enerjinin kullanılmaması durumunda elektrik maliyetlerini artırarak ülkelerin rekabet gücünü zayıflatır, bu da gayri safi yurt içi hasılda düşüş ve istihdam kaybı gibi negatif sonuçlar doğurur.

Dünya nüfusunun %2 artması durumunda doğal kaynakların 2200 yılı; %3 artması durumunda da 2090 yılında tükeneceği varsayımına istinaden (kişi başı doğal yakıt gereksiniminin de 1 yılda 1 ton hatta gelişmiş bölgelerde 4 ton olduğunu düşünürsek) alternatif enerji kaynakları bulmak gönüllülük değil artık bir zorunluluktur (Brown 1964, s.116). Özetle nükleer santrallerin, ömrü boyunca öngörülen gerçek maliyetleri dikkate alınarak, elektrik üretiminde uzun vadede ekonomik açıdan en faydalı strateji olmaya devam etmesi muhtemel görünmektedir.

3.3. NÜKLEER SANTRALLERLE İLGİLİ TOPLUMDAKİ ENDİŞELER

Nükleer enerjiyi çevreye ve insanlığa tehdit olarak görenler, bunu enerji güvenliği bağlamında tartışma konusu yapmaktadırlar. Özellikle nükleer enerji konusunda toplumda yıllardır süregelen sosyal kabul problemi ve nükleer santrallerin potansiyel risk olarak görülmeleri halkın bilgilendirilmesini, karşılıklı paneller ve konferanslarla bu algının demokratik ve şeffaf bir yönetim anlayışıyla desteklenmesini ortaya koymaktadır.

3.3.1. Santralden Çıkan Atıkların Depolanması

Radyoaktif atıkların sınıflandırılması, radyoaktivite, ortaya çıkan ısı seviyeleri ve yarı ömürlerine göre yapılsa da ulusal düzeydeki sınıflandırmalar genellikle Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının kıstasları ile benzerlik gösterirken (nükleer santrallerden düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 tip radyoaktif atık çıkacağı), bazı ülkeler düşük ve orta seviyeli atıkları tek bir sınıf olarak ele alır (Kılıç ve Variyenli, 2023, s.1184).

Bu atıkların halkın yerleşim alanlarının dışında depolanmasının ve özellikle de plütonyum elementinin binlerce yıl ışınlmasının devam ettiği (yarı ömrünün uzun olmasından kaynaklı) göz önüne alınırsa çevreye tahribatı konusunda kaygıların

artmasına sebep olmaktadır. Bu anlamda atıkların güvenli yönetimi ve doğaya zararlı etkilerinin önlenmesi büyük önem arz etmektedir. Radyoaktif atık yönetiminin etkinliği için doğru maliyetlendirme ve finansman planlaması önemlidir. Çünkü radyoaktif atıkların bertarafında artan miktardaki aktivite düzeyleri ve yarılanma ömürleri dikkate alınarak en uygun optimizasyonun sağlanması için 3 değişik derinlik seviyesi uygulanmakta, yer kabuğunda yüzeyden 30 metreye kadar olanlar yakın yüzey bertaraf tesisleri iken, yüzeyden 30-100 metre altındakiler orta derinlik, 500 metreyi aşanlar ise derin jeolojik tesis olarak karşımıza çıkmaktadır (Kılıç ve Variyenli, 2023, s.1184).

Endişe yaratan olgu, örneğin 1000 MW gücünde tipik bir hafif düzeyde su reaktörünün üretime devam etmesi için yakıt olarak 50 ton zenginleştirilmiş uranyumdan yararlandığı düşünülürse reaktörde oluşan atıkların ne denli önemle saklanması gözler önüne sermekte olup burada 2 seçenek sunulmaktadır: ya nükleer yakıt olan uranyumun ve plütonyumun tekrardan geri kazandırılarak kullanımı (nükleer yakıtın yaklaşık %96,4 tekrar işleme alınabilir) ya da yüksek düzey olarak bahsedilen radyoaktif atığın bahsettiğimiz derin jeolojik tesislerde dikkatle saklanmasıdır (Gökmen ve Gökmen, 2000, s.71) .

Uzun süreli derin jeolojik tesislerde saklanacak olan radyoaktif maddeler (ki bunlar atığın yaklaşık %97'sinin oluşturur) önce cam haline getirilip depolanır ve camlaştırılan radyoaktif madde zamana yayılı koruma amaçlı korozyona dayanıklı (kurşun ve beton) kaplarda yer yüzeyinin yaklaşık bin metre altında betondan zırhlı yerlerde saklanması, düşük düzey atıkların ise (ki bu yaklaşık %3 ünü oluşturur) tekrar işlenerek kullanılması öngörülmektedir (Palabıyık vd., s.191). Zaten 1, 2 ve 3. nesil reaktörlere kıyasla 4.üncü nesil nükleer reaktörlerde çok daha az tehlikeli nitelikte olabilecek atık çıkmaktadır. Kaldı ki nükleer santraller işletim süresi boyunca 1000 ton civarı radyoaktivitesi olan atık (hacim olarak ise 200 metreküp) üretirken, kömür santralleri yılda milyonlarca ton zararlı emisyon ve atık yaymaktadır. Standart depolama ile nükleer atıklar sorun yaratmaz.

3.3.2. Radyasyon Oranı

Nükleer santrallerde belki de en dikkat çekici nokta bir kaza durumunda yayılan radyasyonun etkilerinin ya da kaza olmasa bile santralden yayılan radyasyon oranlarının

nasıl minimize edileceğinin eylem planları ve uluslararası standartlara uygun planlamasıdır. Aslında Batı tipi nükleer santrallerin yapımı aşamasında kullanılan çelik ve beton kubbeler olası bir aksilik durumunda radyasyonun çevreye yayılmaması ve etkilerinin santral içinde kalması için (maalesef Çernobil’de bu donanım yoktu) inşa edilmektedir (Ülgen, 2011, s.69).

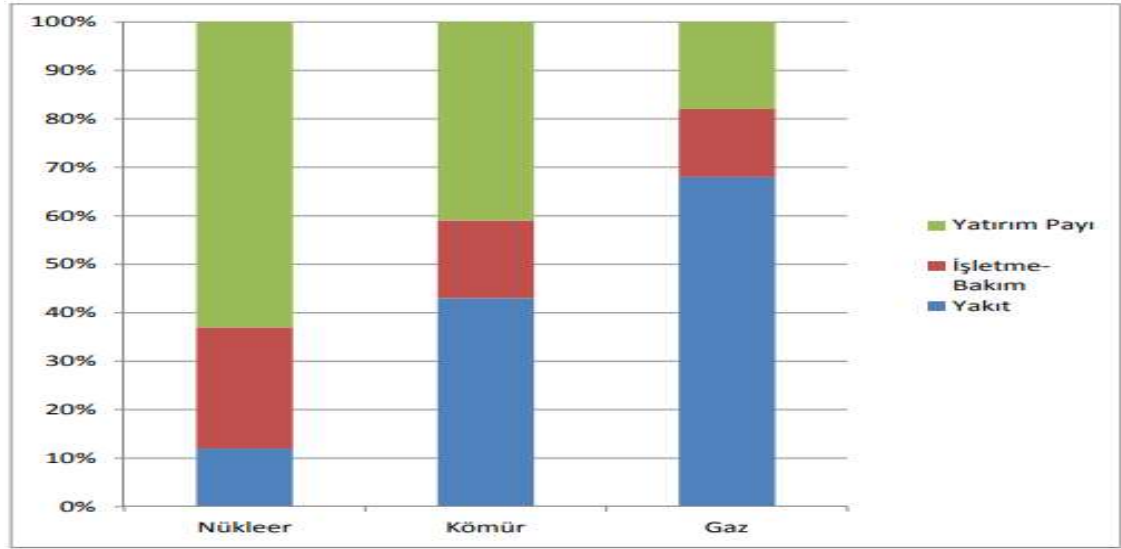
Alfa, beta ve gama olmak üzere 3 çeşit radyasyon vardır. Radyasyonun biyolojik etkilerini değiştiren faktörler; kaynağına ve enerjisine bağlıdır, bu etkileri değerlendiren birim ise Sievert’tir. Normal bir insan ortalama yıllık 2.4 mSv radyasyona maruz kalmaktadır ki yılda maksimum 5 mSV’e kadar izin verilmektedir. Nükleer santrallerin doğaya yaydıkları radyasyon dozu kişi başına tabii radyasyonun 1/1000 gibi çok düşük oranına sahiptir.

1000 MW’lık elektrik üreten bir kömür santrali, yapılan çalışmalarda 490 rem/yıl radyasyon yayarken, nükleer santral için bu oran 4,8 rem/yıl yani neredeyse termik santraller yüz kat daha fazla çevreye radyasyon yaymaktadır ki örneklendirmek gerekirse Elbistan’da termik santralden sonra kanser vakalarında beş kat yükseliş gözlemlenmiştir (Gençer, 2003, s.646).

Görüldüğü üzere nükleer santraller korkulacak bir radyasyon oranı ihtiva etmemektedir.

3.3.3. Kurulması ve Sökülmesi Esnasındaki Maliyetler

Nükleer enerjiyle santralden elektrik üretim süreçleri ortalama 7 yıl sürmektedir. Nükleer santrallerin yüksek yatırım masraflarını; nükleer güvenlik giderleri, inşaat süresi, yatırım maliyeti gibi faktörler oluşturmaktadır. 1000 MW gücünde bir nükleer santralin kurulum aşamasındaki maliyeti ortalama 2 milyar Amerikan dolarıdır.

Grafik 10: Santrallerin Maliyet Oranları

Kaynak : İskender, 2007, s.170.

Grafikte görüldüğü üzere nükleer enerjinin düşük yakıt maliyeti ve yüksek sabit giderleri, elektrik fiyatlarını dengeleyerek ekonomik istikrara katkı sağlar ve enerji çeşitliliğiyle yakıt talep baskısını azaltır. Yani nükleer enerji ilk kurulduğu aşamada maliyetleri pahalı da olsa işletilmeye başladıktan sonra yakıt ve işletme masrafları oldukça az olacağı için elektrik enerjisinde tasarruf sağlayacaktır. Nükleer santral sahaları da oldukça küçük alanda inşa edilebilir.

3.3.4.Nükleer Kazalar ve Nükleer Enerjinin Güvenliği

Nükleer enerji, fisyon süreciyle elde edilir ve zincirleme reaksiyonla kontrol altında tutulur. Reaksiyonun veya radyoaktif atıkların kontrol dışına çıkması ise nükleer kazaya yol açar. Bu nükleer kazaların boyutu ise 7 basamaklı (1-3 arası küçük nükleer vakaları, 4-7 arası ise nükleer kazaları) Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği Sistemi (INES) ile kategorize edilir ve nükleer tesislerde beklenmedik durumlar meydana geldiğinde güvenlik tedbirleri ve müdahale stratejileri uygulanmalı, kaza anında reaktör acilen kapatılıp soğutulmalı, acil haberleşme sistemleri aktif hale getirilmelidir (Ekşi, 2017, s.53). Nükleer kazalarda en büyük endişe olası kaza durumunda çevredeki insanların yüksek doz radyasyona maruz kalmasıdır. Bu kazalara insanlar sebep

olabileceği gibi doğal afetler de sebep olabilir. INES ölçeklendirme sistemine göre 1957 Windscale, 1979 Three Mile Island, 1986 Çernobil, 2011 Fukuşima nükleer santral kazaları büyük ölçekli olarak tanımlanmaktadır. Bu nükleer santrallerden dünyada yankı uyandıran Çernobil ve Fukuşima nükleer kazalarının özetine baktığımızda; (Başar ve Türkan, 2023, s.126)

- Çernobil nükleer santralindeki kazada reaktörde ani güç dalgalanması, santraldeki basınç kabını hasara uğratmış, bin tonluk zırh patlamış ve yangınlar gerçekleşmiştir,
- Fukuşima’da şiddetli deprem ve ardından gelen tsunami sonrasında elektrik sistemi hasar görünce ivedi durum dizel jeneratörler hızla gelen suyun altında kalmış ve bu soğutma sistemini etkilemiş susuz kalan reaktör ısınıp soğutucunun sıcaklığı arttığında reaktördeki çekirdeğin erimesine ve hidrojen gazının patlamasına sebep olmuştur.

Çernobil kazası insan kusuru ve reaktörün tasarımsal hatalarından kaynaklanan sebeplerle ortaya çıkmıştır. Santralin dördüncü ünitesinin bakıma alınacağı zaman yapılan bir deney sırasında (elektrik kesintisi yaşanırsa tribünlerin ne kadar döneceğinin tespiti) kontrol çubuklarının yukarı çekilmesiyle reaktörün aşırı ısınmasına (şu an batı tipi reaktörlerde kontrol çubuklarını aşırı yükseltmek, içten kilitli olması nedeniyle mümkün değil) emniyet kabının da olmaması radyasyonun çevreye yayılmasına neden olmuştur. Günümüzde yapılan reaktörlerde olduğu gibi güvenlik kılıfı olsaydı çevre ve insanlar bu denli zarar görmeyecekti. Amerika’daki nükleer düzenleme komisyonun güvenlik prensiplerine göre; işletilen nükleer santrallerin Çernobil olayında olduğu gibi direk kalplerinden hasar gerçekleşme ihtimali 10 bin çalışma yılında birden azdır, keza güncel yapılan santraller bir milyon çalışma yılında birden azı hedeflemektedir (Akoğlu, 2011, s.34). Fukuşima felaketinde acil durum dizel jeneratörleri zemin katlarda değil üst katlarda inşa edilmiş olsaydı reaktör su pompalarıyla kolayca çalıştırılır ve soğutulurdu.

Nükleer enerjinin güvenliğindeki temel prensipler; güvenlik yönetimi, derinlemesine savunması ve teknik ilkeleridir. Nükleer tesislerde her türlü emniyet tedbirleri (çalışan personelin güvenlik soruşturmasından, tesislerde sabotaja, siber saldırılara kadar vb.) alınmalıdır. Santralin kurulacağı sahadan inşaatta kullanılan malzemelerin testlerinin kalitesine kadar gerekli tüm özen gösterilmelidir. Sonrasında herhangi bir arıza

durumunda gerekli önlemlerle ilgili ülkelerin yol haritası olmalıdır ve gerektiğinde güvenlik iyileştirmeleri her daim yapılmalı gerekli eğitim programları oluşturulmalıdır. Bütün bu süreç yönetimi lisanslama mercileri tarafından nükleer alanla ilgili uluslararası standartları belirleyen Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının güvelik standartlarına uygun olarak izlenip denetlenmelidir.

3.4. TÜRKİYE'YE KOMŞU ESKİ BİR NÜKLEER SANTRAL OLAN ERMENİSTAN-METSAMOR NÜKLEER SANTRALİ

Metsamor Nükleer Santrali 1976 yılında Ermenistan'ın Metsamor kentinde, başkent Erivan'a 40 km mesafede bulunan VVER-440 V230 tipi 2 reaktörden oluşan, birinci reaktör 1979'da, ikinci ise 1980'de faaliyete geçmiş bir tesistir. O dönemlerde Metsamor Nükleer Santrali, Sovyetler Birliği'nin 1960'lı yıllarda Ermenistan'da geliştirdiği bakır ve alüminyum sanayisinin artan enerji gereksinimini karşılamak üzere inşa edilmiş olup bu süreçte, pek çok Sovyet bilim insanı bölgenin seçilmesinin ciddi tehlikeler barındırdığını vurgulamasına ve özellikle su kaynaklarına radyoaktif sızıntı riski konusunda uyarılarda bulunmasına rağmen itirazlar dikkate alınmadan hayata geçirilmiştir (Özdaşlı, 2016, s.49-50).

Ancak 1988 yılında yaşanan deprem sonrası santral 1989'da sismik güvenlik açığı gerekçesiyle kapatılmış, buna karşın ülkedeki enerji yetersizliği nedeniyle ikinci reaktör 1995 yılında yeniden işletmeye alınmıştır. Bu santral, güvenlik açısından dünyada oldukça riskli kabul edilmekte olup, dünyada aktif olarak çalışan ancak basınç kabı bulunmayan az sayıdaki reaktörlerden biridir.

Santral konumu itibarıyla, Türkiye'ye 16 km yakınlıktadır; uluslararası hukuka göre, bir nükleer santralin yerleşim yerlerine en az 90 kilometre mesafede bulunma şartını yerine getirmemektedir. Uydu görüntüleri ve haritalar, Metsamor'un etrafındaki 37 km ve 59 km yarıçaplı bölgelerde Türkiye sınırları içindeki Iğdır gibi yerleşim alanlarında tarım arazilerinin doğrudan etki alanında olduğunu göstermektedir (Gökeri vd., 2012, s.2-3).

Bu kapsamda TENMAK tarafından olası nükleer tehditlere karşı önlem amacıyla, hava ortamındaki gama radyasyonundaki yükselmeleri tespit edebilen ve Türkiye'yi etkileyebilecek seviyede radyasyon sızıntısı durumunda anında uyarı sağlayan

Radyasyon Erken Uyarı Sistemi (RESA), TENMAK uzmanları tarafından tasarlanmış ve ülke çapında hayata geçirilmiştir (TAEK, 2013, s.8). Metsamor Santrali'nden doğrudan radyasyon sızıntısı tespit edilmemiş olsa da sınır bölgesinde artan kanser vakaları ve Aras Nehri'ne karıştığı iddia edilen atık su, Türkiye, Azerbaycan ve İran için çevresel ve sağlık açısından ciddi riskler oluşturmaktadır (Özdaşlı, 2016, s.58).

Yine TENMAK tarafından 2013 yılında başlatılan Türkiye'nin Çevresindeki Nükleer Santrallerin Radyolojik Etkilerinin İzlenmesi programı çerçevesinde, Iğdır bölgesinde çevresel radyolojik izleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında; hava, yüzey suyu, toprak, içme suyu ve bölgede yetiştirilen ürünlerden numuneler alınarak laboratuvar ölçümleri yapılmış, içme suyunda ölçülen H-3 aktivitesi (0,82 Bq/m³) ve Sr-90 ile Cs-137 kaynaklı yıllık toplam doz (87,89 nSv/yıl), 0,1 mSv/yıl gösterge doz sınırının ve H-3 için belirlenen 100 Bq/L limitinin oldukça altında kaldığı için tehlike arz etmediği görülmüştür (Gülay vd. 2018, s.51).

Fotoğraf 3 : Metsamor NGS'nin Havadan Görünüşü



Kaynak: TENMAK, 2012, s.3

3.5. TÜRKİYE'DE NÜKLEER SANTRAL GEÇMİŞİ

Türkiye’de nükleer alandaki girişimler, nükleer teknolojiye daha geçmemiş birçok Avrupa ülkesiyle paralel şekilde, 1955’te düzenlenen ve atom enerjisinin barışçıl amaçlarla kullanımı temalı 1. Cenevre Konferansı’ndan sonra hızla başlamıştır. 1956 yılında Atom Enerjisi Komisyonunun kurulmasıyla nükleerle ilgili yürütülen tüm çalışmalar bu komisyona devredilmiş ve Türkiye 1957 yılında bağımsız bir organizasyon olarak faaliyetlerini yürüten Uluslararası Atom Enerjisi Ajansına (IAEA) üye olan ilk grup ülke arasında yer almıştır.

Asıl nükleer enerji serüveni ise 1959 yılında ÇNAEM’de (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) Türkiye’nin ilk nükleer tesisi olan 1 MW gücündeki araştırma reaktörünün temellerinin atılmasıyla somut adım atılmış ve 6 Ocak 1962’de bu küçük ölçekli TR-1 araştırma reaktörü saat 19.14’te kritik edilmiş ve aynı yılın Mayıs ayında merkezin kuruluşu gerçekleşmiş ve 1977’ye kadar ara vermeden işletilmiştir. Nükleer alanla ilgili faaliyetlerin çoğalması ve hızla ivme kazanan radyoizotop üretimi ve ışınlamalar için TR1’le aynı havuzun içinde yüksek güçte uranyum yakıt kullanan TR-2 reaktörü ise 5 MW güçle 1984’de işletmeye alınmış ancak 2009 yılında güvenlikle ilgili iyileştirmeler gerekçe gösterilerek kullanımına ara verilmiştir (TENMAK, 2025d).

Ayrıca 1979’da İstanbul Teknik Üniversitesince geliştirilen hafif düzey su soğutuculu TRIGA MARK 2 reaktörü sürekli çalışırken 250 kw güç; darbeleri çalışırken ise 1200 mw güç üretebilen kendiliğinden güvenli olan araştırma ve eğitim amaçlı reaktörler hala kullanılmaktadır.

Fotoğraf 4 : ÇNAEM Tr-2 Araştırma Reaktörü



Kaynak: TENMAK, 2025d.

1970’li yıllara gelindiği zaman nükleer enerji için fizibilite çalışmaları çoktan başlamıştır. Mersin/Akkuyu, Kırklareli-İğneada, Sinop-İnceburun nükleer santraller için en elverişli lokasyonlar olarak belirlenmiştir. 1976 yılında Mersin-Akkuyu bölgesi (deprem riskinin az olması, nüfusun az olması, denize yakınlık, arazinin santral için uygunluğu, vb.) için saha lisansı verilmiştir (Harunoğulları, 2019, s.131). Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğünün yaptığı çalışmalar neticesinde Akkuyu Nükleer Santralının yapılacağı sahada aktif fay hattının yer almadığı deklare edilmiştir. 1983 yılında Özal Hükümeti döneminde 600 MW’lık yap-işlet-devret ile Akkuyu Nükleer Santral işletilmesi planlansa da Çernobil vakasından dolayı girişimde bulunulamamış, 1998 yılında Ecevit döneminde ise nükleer enerjinin pahalıya mal olacağı gerekçesiyle geri adım atılmış, 2004 tarihinde ilgili bakanlık tarafından santral kurulacağı deklare edilince 2007’nin Kasım ayında 5710 sayılı Nükleer Güç Santrallerinin Kurulması ve İşletilmesiyle Enerji Satışına İlişkin Kanun yayımlanmıştır (İşeri ve Özen, 2012, s.172). Söz konusu Kanun, nükleer santral yapım sürecinde ihale modelini temel almış; ihale prosedürleri ve düzenlemeler ise 2008’de yayımlanmış ve buna göre ihale sürecini başarıyla tamamlayan şirketin TETAŞ ile enerji alım garantisi sağlayan bir sözleşme yapması öngörülmüştür (Ülgen, 2011, s.126).

Tablo 11: Türkiye’de İnşaat Halindeki Güç Reaktörleri

Alan	Destekçi	Tip	MWe brüt	İnşaata başlama tarihi	Planlanan başlangıç tarihi
Akkuyu 1	Rosatom	VVER-1200/V-509	1200	Nisan 2018	2025
Akkuyu 2	Rosatom	VVER-1200/V-509	1200	Nisan 2020	2026
Akkuyu 3	Rosatom	VVER-1200/V-509	1200	Mart 2021	2027
Akkuyu 4	Rosatom	VVER-1200/V-509	1200	Temmuz 2022	2028

Kaynak: WNA, 2024ç.

Tablo 12 : Türkiye’de Önerilen Güç Reaktörleri

Alan	Tip	MWe brüt	Yerellik	Destekçi	İnşaat başlangıç tarihi
Sinop 1-4	APR-1400 VVER-1200	Yaklaşık 5200	Sinop ili		
İğneada 1-4	HPR1000 x 4	4x1100	Kırklareli İli		

Kaynak: WNA, 2024ç.

3.5.1. Akkuyu Nükleer Güç Santrali (Akkuyu NGS)

Türkiye ve Rusya arasında yıllar süren ortak çabalar neticesinde Türkiye’nin enerjiye olan ihtiyacının %10’unu karşılayacak olan Akkuyu Nükleer Güç projesi; 12 Mayıs 2010 tarihinde iki ülke arasında Ankara’da imzalanan *Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyeti’nde Akkuyu Sahası’nda Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma* ile hukuki

bir yapıya kavuşturulmuştur. Onaylanma süreci 27.08.2010 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile gerçekleşmiştir. Bu anlaşmanın hükümlerini kısaca özetlediğimizde; (Yardım, 2022, s.46-47)

- Tarafların projeyi yürütürken Türkiye'ye mali bir yük getirmeyeceğini,
- Rus yetkili makamlarının projedeki toplam payının %51'den az olamayacağını,
- Proje şirketinin risklerin sigortalanması ve santralin sökülümünden sorumlu olduğunu,
- Proje şirketi, Elektrik Satış Sözleşmesi gereği uranyumu ülkesinden veya farklı bir ülkeden ithal edileceği; bir ve ikinci üniteden üretilen elektriğin %70'i, 3 ve 4'üncü üniteden üretilen elektriğin %30'u on beş yıl süreyle sabit fiyatla (12.35 ABD sent/kWh) Türkiye Elektrik Ticaret A.Ş. tarafından satın alınacağı,
- Elektrik Satış Sözleşmesinin süresi bitse dahi ünitelerin işletilmeye başlamasından itibaren on beş yıldan erken davranmamak kaydıyla 4 ünite için Türk tarafına yıllık net karının %20'sini vermeyi taahhüt edeceğini,
- Şirket tüm bu faaliyetlerin finansmanı kapsamında oluşturdukları ilgili fona 0.15 ABD sent/kWh ödeme yapacağını taahhüt etmektedir.

Santralin inşaat ruhsatının onayı TAEK tarafından 2018 yılının Nisan ayında verilmiş ve 1'inci ünitenin yapım çalışmalarına başlanmıştır (Polatoğlu, 2024, s.396). Akkuyu NGS projesini incelediğimizde; 2010 tarihinde yap-sahip ol-işlet (build-own-operate) prensibiyle (Dünya'da bu modelde gerçekleştirilen ilk proje) 11 km²'lik alana kurulan, 4 reaktörden meydana gelen, (3+ nesil SSSYER-1200 tipi yani basınçlandırılmış su reaktörü, ünitelerin toplamı 4800 MW gücünde) dış kaynak sermayeli (%100 Rus sermayesi) ancak Türkiye Cumhuriyeti Kanunlarına tabi Akkuyu Nükleer A.Ş. ile yatırım için olan maliyeti yaklaşık 20 milyar dolar olan ve 60 yıllık süre biçilen ancak 20 yıl daha uzatılabilecek santral için çalışmalar başlamıştır (Tiryaki ve Çamdalı, 2024, s.103). Projenin toplam maliyet hesabına baktığımızda 15 yıl içinde yaklaşık 415 milyar kW elektrik için 50 milyar dolar ödeme yapılacaktır. Elektrik fiyatlarındaki dalgalanmalar ve maddi risklerin ilgili Rus şirket tarafından sahiplenilmiş olması (maliyet aşımından da sorumlu değiliz) ve üretim maliyetleri düşünüldüğünde Rus şirketin bize 12.35 sent olarak satış yapması bizim lehimize bir durum olarak görülebilir.

Projenin yürütücüsü Akkuyu Nükleer A.Ş., projenin geliştiricisi Rusatom Energy International A.Ş.'dir. İki taraf arasında yapılan anlaşma gereği hisselerin %51'ine Rus şirketleri sahip olmakla birlikte kalanı dış yatırımcılara (tek bir yatırımcı ya da paylar halinde birkaç şirket) satış sağlanabilecektir. Yap-sahip ol-işlet sisteminin prensibinde yükleniciler bedel ödemediğinde arsa tahsisi ile santrali Türkiye'de kendi sermayeleri ile inşa edecek ve santral ömrünü tamamladığında mevzuattaki standartlara göre sökümleri yapılarak kendi ülkelerine taşıyabileceklerdir (Telli, 2016, s.58).

Akkuyu NGS, olası dokuz büyüklüğündeki depremden, yükseklik olarak on metre büyüklüğündeki tsunamiye, bir günde oluşabilecek 314 mm'lik yağışlara, reaktörde yakıtın erimesi durumunda yakıtı tutacak çanağa, yüksek hızla seyreden yirmi tonluk bir uçak çarpmasına kadar birçok dış faktöre karşı dayanıklı olarak inşa edilmektedir. Akkuyu NGS'de reaktör tasarımcılarının bir nükleer felaketin etkilerini önlemek ve azaltmak için getirdiği önemli yenilikler içinde çekirdek tutucular yer almaktadır, bunlar tutma ve soğutma işlevleri sayesinde buhar patlamaları riskini azaltır, erimiş yakıtın sıcaklığını düşürür ve hidrojen birikimini azaltmaktadırlar (Grigoriadis ve Gheorghe, 2022, s.7-8).

Akkuyu NGS'de her bir ünite için 8,75 milyar kWh toplamda 35 milyar KWh elektrik üretilerek olması ülkemizin artan enerji talebini karşılamada büyük önem arz etmektedir (Alagöz ve Yokuş, 2018, s.882). Keza Türkiye elektrik enerjisi talep artışında Avrupa'da 1.inci sırada yer alarak son 20 yılda yıllık yaklaşık %10 artış gerçekleştirmiştir (Telli, 2016, s.59).

Fotoğraf 5: Akkuyu Nükleer Güç Santrali



Kaynak: Wikipedia. (t.y.).

Akkuyu Nükleer Güç Santrali için Tablo 13’de referans tesis olarak anılan ve Rusya’da bulunan Novovoronezh NPP-2 seçilmiş ve kıyaslamalar yapılmıştır. Akkuyu NGS için çift koruma kap sistemi dışında ağır kaza durumlarının yönetimi için çekirdek eriyik yakalayıcının yanı sıra iki kanallı güvenlik kurulumu gibi önemli detaylarla donatılmış üst düzey güvenlik sistemlerini içinde barındırmaktadır (NDK, 2017, s.16-17).

Tablo:13 Akkuyu Nükleer Güç Santrali ve Referans Tesis Kıyaslaması

№	Parametre	Değer	
		Referans tesis	Akkuyu Nükleer Güç Santrali
1	Reaktör termik enerjisi (nominal koşullarda), MW	3200	3300
2	Aktif elektrik enerjisi, bu değerden daha büyük MW	1200	1200
3	Reaktör soğutucu sirkülasyon devrelerinin sayısı	4	4
4	Birincil ve ikincil devrelerin parametreleri:		
	- Çekirdek çıkışında soğutma suyu basıncı, MPa (abs.)	16.2	16.2
	- reaktör girişindeki / çıkışındaki soğutma suyu sıcaklığı, °C	298.2 / 328.9	297.2 / 328.8
	- reaktör soğutma sıvısı akışı, m ³ /s	86000	87460
	- buhar jeneratörlerindeki buhar basıncı, MPa (abs.)	7.0	7.0
	- her bir buhar jeneratöründen buhar akışı, t/s	1602	1652
	- besleme suyu sıcaklığı, °C	225	225
5	U-235 için maksimum yeni yakıt zenginleştirilmesi, %	4.95	4.95
6	Harcanan yakıtın nükleer yanması (yüklenmemiş yakıt tertibatlarında ortalama/ maksimum), MW×d/kgU	55.8 / 59.7	49.4 / 54.3
7	Yakıt ikmali aralığı, ay	12	18
8	Reaktör çekirdeğinde yakıtın işletme süresi (sabit durum yakıt çevriminde), yıl	4	3 – 4.5
9	Reaktör çekirdeğindeki yakıt tertibatlarının sayısı	163	163

Kaynak: NDK, 2017, s.18.

Özellikle reaktörün termik enerjinin 3200 MW'dan 3300 MW'a çıkartılmış olması elektrik anlamında çok daha fazlasının elde edileceğini göstermektedir.

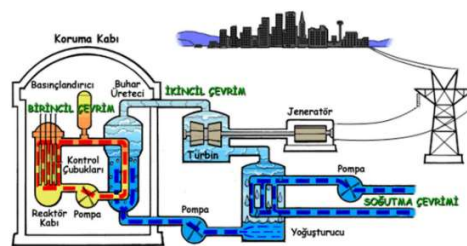
3.5.2. Akkuyu Nükleer Güç Santralinin Çalışma Prensibi

Akkuyu NGS temel prensip olarak, Rusya'da yer alan Novovoronej NGS-2 AES 2006 projesinden esinlenerek (bu modelde Finlandiya'daki üçüncü nesil reaktörün teknik yapısından faydalanılmış) hayata geçirilmiştir (Aktepe ve Gökkaya, 2023, s.2986). Halihazırda Akkuyu NGS' de kullanılan VVER1200 modelini derinlemesine analiz ettiğimizde yeni nesil güvenlik önlemlerini kapsamlı şekilde içermektedir.

Akkuyu NGS, yakıt olarak dünyadaki birçok nükleer santraldeki gibi uranyum kullanmaktadır. Bu yakıtı kullanırken 9-12 cm yüksekliğinde, 8 mm ye yakın çapta uranyum peletlerini, radyoaktif elementlerin dışarıya sızmasını engellemek için zirkonyumdan yapılan çubuğa entegre ederek altıgen formunda yakıt demetleri oluşturmaktadır ki bu yakıt demetlerindeki 1 gram uranyum 10.000 kWh elektrik üretebilecek kapasitedir.

Sonrasında reaktör koruna bu oluşan yakıt demetleri yüklenir, (tek bir yüklemede bile bir buçuk yıl çalışabilir) oluşan nükleer reaksiyon ile enerji açığa çıkar, enerji o kadar büyüktür ki soğutma suyunu bile yaklaşık 330 °C dereceye çıkarır, reaktörden gönderilen sıcak su ile buhar üretilir, buhar türbinleri çalıştırır, buhar türbini şaftının dönmesi ile dönerek elektriğin olduğu elektrik jeneratörün şebekeye aktarımı ile nükleer enerji>termal enerji>mekanik enerji>elektrik enerjisine dönüşmüş olur (Akkuyu Nükleer A.Ş., 2025).

Şekil 5 :Nükleer Santralin Çalışma Prensibi



Kaynak: Tiryaki ve Çamdalı, 2024, s.101.

3.5.3. Akkuyu Nükleer Güç Santralinde Maliyet Unsurları

Nükleer santrallerin maliyetlerini incelediğimizde ilk yapım aşamasındaki yatırım kalemleri oldukça yüksek, sonraki aşamalardaki yakıt ve işletim masrafları ise termik ve hidrolik santrallerle kıyaslandığında oldukça düşük kalmaktadır.

Nükleer santrallerin sermaye, işletme/bakım ve yakıt olmak üzere 3 önemli maliyet unsuru vardır. Nükleer santrallerde özellikle uranyumun saf olarak kullanılamayıp zenginleştirme işleminin gerçekleştirilmesinin yüksek maliyetli olması maliyeti etkileyen temel faktörlerden biridir. Akkuyu Nükleer Santral projesinin toplam maliyeti yaklaşık 20 milyar doları bulmaktadır. Bu meblağın finansmanı ise ilgili Rus firmasına bırakılmış, banka kredisinin 15 yıllık, faiz ödemesinin ise ayda %6 ve işletmenin ömrünün de 60 yıl sürmesinin planlandığı belirtilmiştir (Tiryaki ve Çamdalı, 2024, s.106).

TETAŞ'ın Rus şirketten elektrik satın alma sözleşmesini aşağıdaki görselde özetleyebiliriz;

Ünite No	Satın Alınacak Enerji Oranı	Anlaşma Süresi	Fiyat (KDV Hariç)
1. ve 2. Üniteler	%70	15 Yıl	12,35 ABD senti/kWh
3. ve 4. Üniteler	%30	15 Yıl	12,35 ABD senti/kWh

Akkuyu Nükleer Santral projesinde 3,45 ABD sent/kWh maliyetiyle üretilen elektrik Ruslar tarafından bize 12,35 ABD sent/kWh dan satışı gerçekleşecektir. Santralden 15 yıl için ülkemizin almakla yükümlü olduğu elektriğin Rus şirketten alımı ile maliyeti bize yaklaşık 31 milyar dolar olacaktır. 15 Yıllık anlaşmanın sona ermesini müteakip Şirket net karının %20'sini santral devam ettiği sürece Türkiye tarafına ödeme yapacak olması ve elektrik fiyatlarının da normal koşullar altında hep artmasından ama Türkiye'nin sabit fiyatla alacak olmasından dolayı teklif edilen fiyatın ve karın verilmesi ülkemizi avantajlı taraf yapmaktadır. Rus şirket ayrıca 0.15 ABD sent/kWh'ı ilgili fona (Ulusal Radyoaktif Atık Hesabı ve İşletmeden Çıkarma Hesabı) atık yönetimi ve santralinde söküm organizasyonu için aktaracaktır. Bu işlemler gerçekleştirilirken fonda para yetmez ise giderlerin fonda biriken paranın %25'ine kadar olan kısmı Hazine tarafından, bu miktarı

aşan kısımları ise şirket finanse edilecektir (Ülgen, 2011, s.126). Bunun yanı sıra Rusya için cazip olan kısım, santral inşaatı için yapılan harcamalarda katma değer vergisi (%18-20 civarı) muafiyeti ve ithal ekipmanlarda gümrük vergisi muafiyeti (yaklaşık %20) tanınmış olup bu sayede Rus şirketine 3,5-4 milyar dolar vergi avantajı sağlanmıştır (Duru, 2025, s.8)

Maliyet kalemlerinden ilki olan sermaye masraflarına bir santralin işletim süresi boyunca meydana gelebilecek tüm maliyet unsurları dahildir. İşletme ve bakım masrafları ise genel maliyetin oldukça düşük bir kısmını oluşturmaktadır. Nükleer santralde kullanılan reaktör tipine göre ki bunlar basınçlı su (PWR), kaynar sulu (BWR), ağır su reaktörleri (CANDU) olmak üzere 3'e ayrılır ve maliyetleri de değişkenlik göstermektedir. Hafif sulu reaktör tipinde olan basınçlı su reaktörleri (PWR) içindeki hafif suyun maliyetinin ucuz olmasından dolayı tercih sebebi olabilmektedir. Yakıt maliyetinde ise uranyumun kendisinden ziyade zenginleştirme işlemi masraflıdır. Türkiye bu zenginleştirme işlemlerinin Almanya, Japonya, Fransa gibi ülkelerde olduğu üzere tesis kurarak kendisinin yapma olasılığını hiçbir zaman ekarte etmemelidir sadece bu tesisin kendi maliyetini hızlıca amorti etmesi için yaklaşık 10 kurulu reaktör kabiliyetine sahip olması gerekmektedir.

Zenginleştirme işlemi için dünyada genelde biraz daha ekonomik olan (ilk yatırım maliyet ve üretim maliyeti aşağıda kaldığı için) santrifüj sistemi (Uranyum çıkartılıp işlendikten sonra Uranyum hekzaflorür kısaltması UF₆ gazına dönüştürülür, santrifüjlerde merkezkaç kuvvetiyle izotoplarına ayrılır; izotoplar arası küçük ağırlık farkı nedeniyle çok sayıda kademe gerektirmesine rağmen ekonomik olduğu için tercih sebebidir) kullanılmaktadır. Aslında işin özünde üretilen elektrik yüksek yatırım ama çok düşük maliyet olarak tanımlanabilir.

Akkuyu NGS tam anlamıyla işletmeye alındığından yılda yaklaşık 7 milyar dolar doğal gazı yurtdışından alımın artık söz konusu olmayacağı ve aynı elektriği doğal gaz yerine nükleerden elde ettiğimizde yaklaşık 700 milyon dolara mal etmemizin, nükleer enerjinin 10 misli daha ucuz olduğunu göstermektedir (ETKB, 2016, s.9). Keza fosil yakıtlarla üretim yapıldığında yakıt maliyeti iki misli arttığında üretim maliyeti de yaklaşık iki katı yükselirken, nükleer enerjide üretimin maliyeti sadece %10 dalgalanma yaşanmaktadır.

Tablo 14 :Enerji Tipine Göre Maliyet Analizi

Santral Tipi	Enerji Maliyeti (ABD \$/MWh)			Ana Sermaye Maliyeti (1000x ABD \$/kW)			Sabit İşletme Maliyeti (ABD \$/kW)			Değişken İşletme Maliyeti (ABD \$/MWh)			Kapasite Kullanım Faktörü (%)		
	Mak	Med	Min	Mak.	Med	Min	Mak	Med	Min	Mak	Med	Min	Mak	Med	Min
Rüzgâr	120	60	20	2,6	1,57	1,13	60	10,95	10,9	23	6,45	5,02	50,4	38	18,4
PV	590	280	150	9,5	5,1	2,5	110	32,03	6,44	0	0	0	28	21	15,5
Jeotermal	140	60	40	5,94	2,82	1,63	229	155,4	68,3	0	0	0	95	85	75
Hidroelek	120	20	20	4	1,32	0,5	75	13,14	12,7	5,94	3,2	2,42	93,2	93,2	35
Doğalgaz	70	50	10	1,68	0,88	0,51	45,6	13,71	5,5	8,09	2,86	1,29	93	84,6	40
Kömür	120	50	10	8,4	1,92	0,56	33,5	27,5	13,1	5,9	3,7	1,62	93	84,6	80
Nükleer	120	60	40	8,2	3,1	2,28	127	85,66	12,8	6	0,49	0,42	90,2	90	85

Kaynak : Tiryaki ve Çamdalı, 2024, s.107

Tabloda görüldüğü üzere başlangıçta ana sermaye ve sabit işletme maliyetleri nükleer de yüksek kalsa da kapasite kullanımında yüksek değer yine nükleer enerjiden alınmaktadır. Akkuyu nükleer santral özelinde de tam kapasite elektrikten faydalanmak için elektrik dağıtım ağının iyileştirilmesi şarttır. Çünkü halihazırdaki dağıtım ağı reaktörünün gücünü karşılayamazsa az üretime ve rekabeti kaybetmemize sebep olacaktır.

Genel perspektifte nükleer santrallerde maliyeti düşürmenin bir ikinci yolu da vardır. Üretim aşamasında birim maliyeti düşürmenin yolları olarak; basit tasarımlı reaktörlerden yararlanıp standartlaşarak operasyonların da kolaylaştırılmasını sağlamak (serileşme maliyette ortalama yaklaşık %20’lik düşüş sağlar), inşaat için ayrılan zaman diliminin uzaması ek maliyetlere yol açacağı için gelişmiş mühendislik tekniklerinden faydalanarak insan gücü eğitimleri ve verimli proje yönetimiyle inşaat sürecini kısaltmak, santralin kendi içine 1’den çok reaktör koyarak çoklu üniteler oluşturmak sermaye maliyetini %15 oranında azalmasının sağlaması (Özellikle Fransa’da bunu örneklerini görmekteyiz), yakıt maliyetleri nükleer elektrik üretim maliyetlerinin yaklaşık %15’ini oluşturur, bu yüzden genel maliyetlere etkisi düşük ancak, yakıtın daha fazla yakıt değişimi için duruşları azaltarak santralin verimliliğini artırmak seçenekler arasındadır (OECD Nuclear Energy Agency, 2008, s.175-178).

3.5.4. Akkuyu Nükleer Santral Kurulumunun Ülke Ekonomisine ve Sürdürülebilir Kalkınmaya Etkisi

Ülkeler açısından sürdürülebilir kalkınma ancak sorunların ekonomik, çevresel ve sosyal tüm boyutlarıyla bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmasından geçer. Alternatif enerji kaynaklarının kamu polititikaları ile desteklenmesi enerji dönüşüm sürecinin bir parçası olmalıdır. Bu kapsamda Akkuyu NGS'nin Türkiye açısından oluşturduğu katma değer detaylandırılacaktır.

3.5.4.1. Akkuyu Nükleer Santralinin Ekonomik Analizi

Akkuyu nükleer güç santral projesinin yaklaşık 20 milyar dolara mal olduğundan yukarıda bahsedilmiştir. Bu santralden bir yıl içerisinde 40 milyar kWh elektrik üretimi için faydalanılacaktır. Bu ülkemizin dışa bağımlı olma durumunu önemli ölçüde azaltacak, enerji arz çeşitliliği bağlamında güvenli bir enerji arzı oluşturacaktır (Furuncu, 2016, s.204).

Nükleer enerji Türkiye'de cari açığın kapatılmasında artık gönüllük değil zorunluluk halini almıştır. Somutlaştırmak gerekirse, Fransa'nın elektrik üretiminde nükleer enerjinin yüksek paya sahip olması, ithal enerjiye olan yüksek bağımlılığına rağmen enerji açığını sınırlı tutmasını sağlamaktadır ki (elektrikte nükleer enerjinin payının %70 olması sayesinde) bu oran Türkiye'deki açığın neredeyse 2/3'ü kadardır. Ülkemizin kronik sorunu cari açıkta en önemli kalemi enerji oluşturmaktadır. Akkuyu NGS'nin faaliyete geçmesi, Türkiye ekonomisine bir dizi uzun vadeli fayda sağlayacaktır. En önemlilerinden biri, dış ticaret dengesi ve enerji ithalatı üzerindeki etkisidir.

Türkiye'de 1980'den sonrası için artan sanayileşme ile enerji tüketim hızı bir hayli artmıştır. Üretim girdilerinin en büyük kalemini enerji oluşturmaktadır. Türkiye özelinde enerji ihtiyacımızı çoğunlukla ithalat yoluyla karşıladığımız için cari açık rakamlarımız artarak devam etmektedir. 2014-2023 döneminde, Türkiye'nin cari açığı 274,5 milyar dolar iken, aynı dönemde enerji ithalatı 295,6 milyar dolara ulaşmış başka bir ifadeyle cari denge, enerji ithalatı olmasaydı fazla vereceği görülmektedir. Bu nedenle enerji

ithalatını azaltmak stratejik bir hedef olarak görülmektedir (Duru, 2025, s.6). Ülkelerin kalkınmasının yolu cari açığı azaltmakla mümkün kılabiliriz.

Tablo 15: Türkiye 2013-2023 Yılları Arası Brüt Elektrik Enerjisi Talebi ve İhracat/İthalat Gelişimi

Yıllar	Üretim	İthalat	İhracat	Birim : GWh
				Brüt Talep
2013	240.154,0	7.429,4	1.226,7	246.356,6
2014	251.962,8	7.953,3	2.696,0	257.220,1
2015	261.783,3	7.135,5	3.194,5	265.724,4
2016	274.407,7	6.330,3	1.451,7	279.286,4
2017	297.277,5	2.728,3	3.303,7	296.702,1
2018	304.801,9	2.476,9	3.111,9	304.166,9
2019	303.897,6	2.211,5	2.788,7	303.320,4
2020	306.703,1	1.889,5	2.483,6	306.109,0
2021	334.723,1	2.334,5	4.186,4	332.871,2
2022	328.379,3	6.438,8	3.713,0	331.105,2
2023	331.148,9	6.094,4	2.075,8	335.167,5

Kaynak : TEİAŞ, 2024.

Yukarıdaki tabloda 2013-2023 yılları arasında elektrik üretimi, ithalatı, ihracatı ve brüt elektrik talebi üzerine genel bir değerlendirme yapabiliriz. Son on yıl içinde Türkiye'nin elektrik üretiminde hem sanayileşme hem de nüfus artışına bağlı olarak istikrarlı bir artış yaşanmıştır. Brüt talep tarafında da benzer bir artış söz konusudur. Talepteki bu artış, büyüyen ekonomimizin ve artan yaşam standardının doğal bir yansımasıdır. 2022 ve 2023 yıllarında ithalatın yeniden yükselişe geçtiğini görüyoruz. Bu artış, bölgesel arz kısıtları ve piyasa fiyatlarındaki dalgalanmalarla alakalı olduğu aşıkardır. Türkiye enerji üretiminde büyüyen bir kapasiteye sahip olmasının yanında, enerjide dışa bağımlılığı azaltmaya yönelik stratejilerle önemli bir mesafe kat etmiş ancak enerji arz güvenliği, ithalat bağımlılığı ve sürdürülebilir üretim politikaları bağlamında atılacak yeni adımlar, önümüzdeki dönemde büyük önem taşıyacaktır.

Özellikle birincil enerji kaynaklarından petrole olan yüksek oranda bağımlılık cari açığa ana faktör olmaktadır. Bunlardan petrol başı çekmekle beraber doğal gaz ve kömürde azımsanmayacak seviyedir. Ödemeler dengesindeki ki bu kırılgan yapı ithal enerji fiyatlarındaki yükseliş, yatırımların azalmasına, işsizlikte artışa ve sosyo-ekonomik sorunların hissedilir hale gelmesine sebep olmaktadır. Bunun yolu da alternatif enerji kaynaklarına özellikle de uzun vadede çok daha karlı olan nükleer enerji ile mümkündür. 12.ulusal kalkınma planımız (2024-2028) doğrultusunda 2028 yılındaki hedeflerimizde

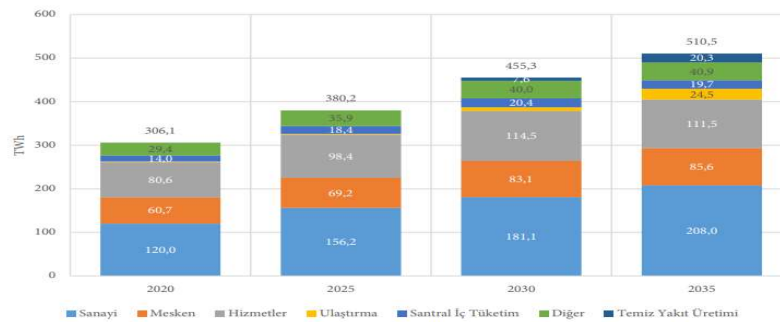
yenilenebilir enerji kaynaklarını üretimdeki payımızı %50'ye çekme hedefimiz bulunmaktadır.

Enerji Bakanlığı projeksiyonlarına göre Akkuyu NGS'nin devreye girmesiyle elektrik üretiminde doğal gazın payının %40'tan %35'e çekerek yaklaşık 5 puan azalacağı tahmin edilmiştir. Yani Akkuyu NGS'nin tam kapasite çalışmasıyla yılda tahminen 7-8 milyar metreküp doğal gaz ithalatının önüne geçilmesindeki maliyet-fayda analizine göre, santralin üreteceği elektriğin doğal az çevrim santrallerini ikame etmesi sayesinde 30 yıllık dönemde biriktirilecek doğal gaz ithalat tasarrufunun net bugünkü değeri yaklaşık 50 milyar ABD doları düzeyinde hesaplanmıştır (Toprak ve Dal, 2017, s.89).

Bu, cari açık ve döviz rezervleri üzerinde son derece olumlu bir etki demektir ki nükleer yakıtın kendisi de ithal edilse bile hacim ve maliyet olarak doğal gazdan katbekat küçüktür; yakıtının küçük hacimli ve yüksek enerji yoğunluklu olması sayesinde tedarik zinciri daha az kırılındır.

1000 mWe kapasiteli bir nükleer reaktör yılda yalnızca yaklaşık 20 ton uranyum yakıtına ihtiyaç duymaktadır (aynı kapasitedeki bir kömür santrali ise milyonlarca ton kömür tüketmektedir. Bir reaktörün çalışması için gereken nükleer yakıtın nispeten küçük hacmi, stratejik stokların oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır. Nükleer yakıt ve uranyum, bu tür stratejik yedek yakıt stoklamayı önemli gören ülkeler ve enerji şirketleri için düşük maliyetli bir seçenek sunmaktadır. Bu ise tedarik zinciri aksasa bile reaktörlerin kesintisiz çalışmasını sağlayarak, yüksek enerji yoğunluklu yakıtların sağladığı doğal tedarik güvenliğini gözler önüne sermektedir.

Grafik 11: Sektörlere Göre Elektrik Tüketimi



Kaynak: ETKB, 2022.

Grafik 11'i incelediğimizde elektrik tüketiminde sanayinin payı en büyük kalemdir. Enerjide dışa bağımlılık, sanayide yüksek enerji maliyetlerine yol açarak üretimi azaltmak ve rekabet gücünü kaybetmek anlamına gelir. Artan enerji fiyatları ise yatırımları ve istihdamı düşürmektedir. Fiyatların ucuzlaması yerine gün geçtikçe artması hızla artan nüfusta halkın omuzlarına yük olacağı anlamına gelir. Nükleer santraller, sanayicilere daha ucuz elektrik sağlayarak yüksek katma değerli üretime geçişi kolaylaştıracaktır. Türkiye'de 2020 yılında nihai enerji tüketiminde %21,8 olan elektrik enerjisi payının, 2035 yılında %24,9'a yükselmesi öngörülmektedir. Keza yenilenebilir enerji kaynaklarında 2053 yılına kadar 2020'de %16,7'lik olan payı, %50'ye çıkarma hedefinde nükleer enerjinin oranını %30'a çıkarılması planlanmaktadır (ETKB, 2022, s.22-29).

Keza sanayiye ucuz elektrik verebilmek sanayi üretim maliyetlerini düşürür rekabet gücünü artırır ve kalkınmaya giden yolda temel taşlardan biri haline gelir ve sanayi yapan için itici güç olarak karşımıza çıkar. Keza elektriğe olan talebimiz, ülkemizin ekonomik büyüme hızından çok daha hızlı artış göstermektedir. Özellikle enerji ihtiyacımızı yaklaşık %70 oranında dışardan ithal etmemiz her yıl için 60 milyar \$'ın ülkemiz dışına aktarımına sebep olmaktadır. Şöyle örnek vermek gerekirse biz 2000'li yılların başında nükleerle ilgili ihaleyi hayata geçirmiş olsaydık 2023 yılına kadar 41 milyar \$ civarında doğalgazı çok daha az ithal etmemiz cari açık üzerindeki enerji ithalatı baskısını hafifletmiş olacak, dış ticaret dengesini olumlu etkileyecek, santralleri tek başına Rus şirket dahi girmeden yapmamıza yetecek düzeydeydi (Nükleer Santral Bilgilendirme Kitapçığı, s.51). Yüzdelik oranda baktığımızda ise elektrik tüketimine olan talebimizin %17'si karşılanmış olacaktı. Üstelik nükleer santral yüksek katma değerli iş gücü sağlamanın yanı sıra enerji fiyatlarındaki dalgalanmalarından etkilenmemesi makroekonomik istikrarı güçlendirir, enerji ithalat faturasının düşmesi döviz talebinin azalmasına ve TL'de istikrara katkı sağlar, üstelik on binlerce kişinin istihdam edilmesi yeni iş olanaklarının yaratılmasına olanak sağlar.

Nükleer santrallerin marjinal işletme maliyetleri de düşüktür (yakıt maliyeti birim enerji başına çok düşük olduğundan), bu da toptan elektrik piyasasında düşük maliyetli bir arz kaynağı olarak faaliyet göstereceği anlamına gelir. Bir modelleme çalışmasında, Akkuyu'nun devreye girmesiyle 2025 yılında Türkiye elektrik borsası ortalama

fiyatlarının yenilenebilir veya mevcut senaryoya kıyasla en düşük düzeyde gerçekleşeceği öngörülmüştür. Örneğin, 2025 yılı için gün öncesi piyasa fiyatı “mevcut durum” senaryosunda ortalama 52.9 \$/MWh öngörülürken, Akkuyu’nun tam devrede olduğu nükleer senaryoda ortalama fiyatın 46.4 \$/MWh olacağı hesaplanmıştır (Korkmaz ve Önöz, 2022, s.19). Dolayısıyla Akkuyu NGS, elektrik fiyatlarında istikrar sağlayıcı ve baskılayıcı bir unsur olabilir; zira yakıt fiyatları uzun vadeli kontratla sabitlenmiştir.

Tablo 16 da nükleer santrallerin işletme bakım maliyetleri kömür ve doğal gaz santrallerine göre çok daha yüksek olduğunu görmekteyiz. Ancak toplam maliyetin içindeki yakıt maliyetinin payı %30 civarında olup diğer santrallere göre daha düşüktür, bu nedenle yakıt fiyatlarındaki değişimden en az etkilenen nükleer santraller olacağı aşıkardır. Nükleer enerjiden elektrik üretiminde düşük yakıt maliyeti fosil yakıtlardaki fiyat dalgalanmalarına karşı sübvansiyon görevi görecektir.

Tablo 16: İşletme Maliyetindeki Yakıtın ve Fiyatın 2 Katına Çıkmasıyla Birim Elektrik Enerji Üretimindeki Maliyette Değişim

Yakıt Tipi	İşletme ve Bakım	İşletme Maliyetlerinde Yakıt Oranı	Yakıtın fiyatı iki katına çıkarsa elektrik üretim maliyetindeki değişim
Kömür	%23	%77	%31
Doğalgaz	%10	%90	%66
Nükleer	%70	%30	%9

Kaynak: Ateş vd., 2013.

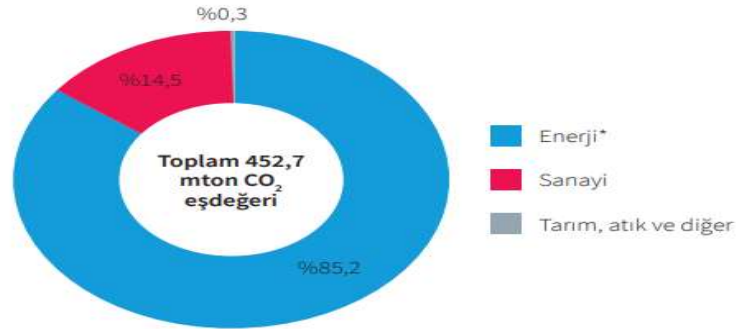
Amerika’daki 2009 yılında yapılan bir çalışmada tüm yakıtlardaki toplam üretim maliyetini diğer enerji kaynaklarıyla kıyasladığımızda kilowaat-saat bazında nükleer enerji, hidroelektrik enerjinin ardından gelen en hesaplı enerji (hidroelektrik=1 sent/kWh, nükleer=2 sent/kWh, kömür/rüzgar=3 sent/kWh, doğalgaz=5 sent/kWh) olarak karşımıza çıkmaktadır (Özalp, 2017, s.183). Keza biz Akkuyu Nükleer Santral 1 yılda 35 milyar kWh civarında elektrik sağlayacağız. Bunu oranladığımız zaman ülke nüfusunun 1/7’sine yetecek kadar üretim kapasitesine hâkim olacaktır. Yani İstanbul nüfusunun tamamına yetecek düzeyde elektrik üretebilecek diyebiliriz.

Akkuyu NGS projesi için yapılan bağımsız akademik maliyet-fayda analizleri, projenin ekonomik açıdan rasyonel olduğunu göstermektedir. Örneğin son on yıl içerisinde yapılan bir çalışmada, Akkuyu'nun 30 yıllık bir perspektifte topluma net fayda sağlayacağı hesaplanmıştır. Bu analize göre, projenin toplam maliyetlerinin (inşaat, işletme, yakıt, bakım, sonunda söküm maliyeti dahil) net bugünkü değeri yaklaşık 20,3 milyar dolar seviyesindedir. Buna karşılık sağlayacağı ekonomik faydaların net bugünkü değeri 60,6 milyar dolar olarak hesaplanmıştır. Böylece net bugünkü değer (NBD) yaklaşık +40,3 milyar dolara ulaşmakta ve fayda-maliyet oranı yaklaşık 2,98 olarak bulunmuştur. Başka bir deyişle, faydalar maliyetlerin neredeyse üç katıdır. Bu dikkate değer pozitif NBD, ağırlıklı olarak yukarıda bahsedilen doğal gaz ithalatından tasarruf kaleminden kaynaklanmaktadır (50 milyar \$ civarı). Ek olarak, santralin üreteceği elektriğin doğal gaza kıyasla daha düşük maliyetli olması sayesinde ülkede elektrik enerjisi üretim maliyetlerinde sağlanacak düşüş de önemli bir fayda olarak hesaplanmıştır (Toprak ve Dal, 2017, s.90).

3.5.4.2. Akkuyu Nükleer Santralinin Çevresel Etki Analizi

Akkuyu NGS' nin en önemli çevresel avantajı, karbon emisyonu olmaksızın elektrik üretmesidir. Nükleer santraller işletme esnasında fosil yakıt yakmadıkları için CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarını neredeyse sıfıra indirirler. Bu özellik, Türkiye'nin uluslararası iklim taahhütleri doğrultusunda önem kazanmaktadır. Türkiye, 2016 Paris Anlaşması'nı onaylayarak sera gazı emisyonlarını azaltma ve temiz enerji üretimini artırma yönünde hedefler benimsemiştir.

Türkiye için bu konuyla ilgili en güncel veriler 2021 yılına ait olup Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonları, 1990'da 219 Mt CO₂ iken 2021'de yaklaşık 2,5 kat artarak 564,4 Mt CO₂'ye yükselmiştir ve 2021 yılı için Türkiye'nin sera gazı emisyonlarının %71,3'ü enerji kaynaklıdır ve salınan CO₂'nin %85,2'i bu kaynaktan gelmektedir (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, 2023, s.14).

Grafik 12 : Co2 Emisyonlarının Oranı (2021)

Kaynak: SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, 2023, s.14.

Bu anlamda 1000 MW gücünde bir nükleer santralin çalışmasıyla her yıl yaklaşık 2,5 milyon ton CO₂ emisyonunun önlenebileceğini belirtmektedir. Bu da karbon eşdeğeri olarak yılda 700.000 ton karbona denk gelir. Akkuyu NGS için bu hesap ölçeklendirildiğinde (4.800 MW ve %90 kapasite faktörü ile), yıllık 10-12 milyon ton CO₂ salımının önüne geçilebileceği tahmin edilmektedir (Toprak, Dal 2017 s.88). Bu kazanç, enerji sektöründe karbonsuzlaşma hedefi açısından son derece değerlidir. Türkiye'nin karbon ayak izini ciddi biçimde düşürmeden önemli miktarda enerji sağlamasını mümkün kılacaktır. Bunun yanı sıra, karbon salımlarının parasal değeri de göz önüne alınmalıdır: Global karbon fiyatlandırması veya vergisi uygulamalarının yaygınlaştığı bir gelecekte, Akkuyu sayesinde Türkiye'nin karbon kredisi kazanımı veya vergi yükünden muafiyet gibi dolaylı ekonomik faydalar elde edeceği aşikardır.

Nükleer enerji üretiminin karbon emisyonu düşük olsa da kendine özgü çevresel risklerini de kabul etmek gerekir. En kritik risk, düşük ihtimalli ancak yüksek etkili nükleer kaza olasılığıdır. Akkuyu NGS gibi büyük ölçekli reaktörlerde ciddi bir kaza (örneğin Çernobil veya Fukuşima benzeri bir çekirdek erimesi) meydana gelmesi durumunda, radyoaktif maddelerin çevreye salınması söz konusu olabilir. 2023 yılında yapılan bir modelleme çalışması, Akkuyu'da meydana gelebilecek büyük bir kaza sonrasında açığa çıkacak başlıca radyoaktif maddelerin Akdeniz'de nasıl dağılacakını ve deniz canlılarına verebileceği dozu simüle etmiştir. Bu çalışmada Fukuşima kazasının salım envanteri örnek alınarak, radyoaktif sezyum-137 gibi fisyon ürünlerinin hem atmosfere hem denize salındığı bir senaryo değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kaza sonrası 48 saat içinde radyoaktif kirleticilerin deniz suyu ve dip sedimanlarında önemli ölçüde birikebileceğini

göstermektedir. Özellikle deniz ekosisteminde *polychaete* olarak bilinen deniz solucanları, simülasyonda hesaplanan en yüksek radyasyon dozuna maruz kalan organizmalar olmuştur (Abbasi vd., 2023, s.1). Bu anlamda denetim mekanizmalarının kesintisiz devam etmesi ve önlemlerin alınması kritik konudur.

Ayrıca, kaza dışı normal işletme koşullarında da nükleer santrallerin soğutma suyu deşarjları çevresel etkiye sahiptir. Akkuyu NGS, reaktörlerin soğutulması için deniz suyunu kullanacak ve daha sonra bu suyu denize geri verecektir. Bu süreçte denize verilen su, çekildiği ana göre daha yüksek sıcaklığa sahip olacaktır. Termal kirlilik olarak adlandırılan bu etki, santral çevresindeki deniz suyu sıcaklığını yükselterek yerel deniz ekosistemini etkileyebilir. Özellikle yaz aylarında deniz suyu sıcaklığının zaten yüksek olduğu dönemlerde, birkaç derece ilave artış bazı hassas türlerin (örneğin mercanlar, deniz çayırları veya balık larvaları) yaşam koşullarını zorlaştırabilir. Bu konuyla ilgili ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) raporlarında *“Soğutma suyu sistemleri ekipmanında (su alma yapıları ve su ikmal hatları) ve soğutma suyu sistemine ihtiyaç duyan ekipmanlarda (türbin yoğunlaştırucuları, eşanjörleri) balçık oluşumu ve sucul organizmaların gelişmesinin (biyolojik kirlilik/ biyolojik büyüme) sorun yaratacağından dolayı; ekipmanın ve su ikmal hatlarının biyolojik kirlenmesini önlemek için, alınan deniz suyu, sodyum hipoklorit sisteminde sodyum hipoklorit ile arıtılacağı, ayrıca soğutma suyu tüm deniz ikmal hatlarından ve ekipmanından geçtikten sonra, soğutma suyunun içinde bulunan sodyum hipoklorit, denize geri bırakılma sırasında özelliklerini kaybetmiş olacaktır. Sonuç olarak, deniz suyu kimyası üzerinde herhangi bir olumsuz etki olmayacağı”* belirtilse de uzun vadede ciddi izlemeler yapılması kritik olacaktır.

Nükleer enerjinin çevresel boyutunda bir diğer önemli konu radyoaktif atık yönetimidir. Uluslararası standartlara göre, yüksek radyoaktivite içeren kullanılmış yakıtın güvenli bir şekilde depolanması ve bertarafı büyük önem taşır. Akkuyu projesi kapsamında bu konuda da Türkiye ile Rusya arasında özel düzenlemeler mevcuttur. Türkiye, yakıtı Rus tedarikçiden lease (kiralama) yöntemiyle alacak ve kullandıktan sonra oluşan kullanılmış yakıt çubukları Rusya'ya geri yollanacaktır. Bu sayede Türkiye topraklarında uzun süreli yüksek seviyeli atık depolama ihtiyacı kısa vadede doğmayacaktır. Ancak bu çözüm nihai değil, geçicidir. Rusya, kendi mevzuatı gereği yabancı nükleer atığı kalıcı olarak ülkesine kabul etmemektedir; sadece yakıtın yeniden işlenmesi (reprocessing) amacıyla geçici

olarak alabileceği, Rusya’da yeniden işlem görüp çıkan yüksek seviyeli nihai radyoaktif atık (plütonyum ve uranyum geri kazanıldıktan sonra kalan artıklar) tekrar Türkiye’ye iade edilmesi uzun vadede Türkiye’nin bir nihai atık bertaraf stratejisine ihtiyaç duyduğu anlamına gelir. Yüksek seviyeli radyoaktif atıkların binlerce yıl çevreden yalıtılması gerektiği düşünüldüğünde, Türkiye’nin jeolojik derin depolama gibi kalıcı bir çözümü planlaması şarttır. Türkiye’de 07.11.2023 tarihli ve 32362 sayılı Resmi Gazete ’de yayımlanan *Radyoaktif Atık Ve Kullanılmış Yakıt Yönetimi Yönetmeliği* ile radyoaktif atıkların güvenli olarak yönetilmesi, bertaraf edilmesi, gerekli önlemlerin alınması, radyoaktif atıkların taşınması maddelerle yol haritası çizilmiştir.

3.5.4.3. Akkuyu Nükleer Santralinin Sosyal Etki Analizi

Akkuyu NGS projesinin sosyo-ekonomik açıdan en somut etkilerinden biri istihdam olanaklarının artması ve nükleer alanda eğitilmiş insan kaynağı yetişmesidir. Proje kapsamında inşaat döneminde çok sayıda işçi ve mühendis istihdam edilmiştir. İnşaatın en yoğun döneminde 34.000’den fazla kişinin çalıştığı proje, bu yönüyle dünyanın en büyük nükleer inşaat sahası konumundadır. Tüm çalışanlara Record Mobile International platformu üzerinden 3.000’den fazla kursla ücretsiz uzaktan eğitim olanağı sağlanmaktadır. Ayrıca her yıl, Türkiye’den öğrenciler Rusya’daki önde gelen teknik üniversitelerde nükleer mühendislik eğitimi almak üzere kabul edilmekte; 2030 yılına kadar 600’den fazla Türk uzmanın bu kapsamda yetiştirilmesi hedeflenmektedir (Akkuyu Nükleer A.Ş., t.y.).

Keza nükleer mühendislik alanında lisans eğitimi için Rus üniversitelerine gönderilen 246 Türk öğrenci mezun oldu ve proje üzerinde çalışmaya başladı. Ayrıca, proje şirketi Rosatom A.Ş. 112 Türk öğrenciyi de lisansüstü eğitim için Rusya’ya gönderdi (Duru, 2025, s.8). Bu sayede, Akkuyu projesi Türkiye’de daha önce olmayan bir uzman havuzunun oluşmasına katkı yapmıştır. Yetişen bu nükleer mühendisler ve teknisyenler, sadece Akkuyu’da değil, ileride planlanacak diğer nükleer santral projelerinde veya nükleer teknolojinin farklı uygulama alanlarında (sağlık, sanayi, araştırma reaktörleri vb.) görev alabilecek önemli bir beşerî sermaye kaynağıdır.

Akkuyu NGS projesi, başlangıcından bu yana kamuoyunda tartışmalara yol açmış ve toplumsal kabul konusundaki zorlukları halkın nükleer enerjiye bakışının homojen olmadığını, coğrafi konum, eğitim düzeyi, politik görüş ve risk algısı gibi faktörlere göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ancak çevresel kararlara katılım, Rio Deklarasyonu ve Aarhus Sözleşmesi gibi çeşitli uluslararası mevzuatlar tarafından çevresel bir insan hakkı olarak kabul edilir. Örneğin, Rio Deklarasyonu'nun 10. İlkesi şunu belirtir: *Çevresel sorunlar, ilgili tüm vatandaşların katılımıyla en iyi şekilde ele alınır* ilkesi nükleer yönetimle ilgili karar alma sürecine halkın katılımı, nükleer enerjiyle ilgili çarpık bir kamu risk algısını azaltmanın ve kamu desteğini artırmanın anahtarı olduğu gibi ortaya çıkan kararların da daha fazla kamu tarafından kabul görmesiyle meşruiyeti artırabilir (Akyüz, 2017, s.9). Toplumsal kabullenme açısından en kritik hususlardan biri güven meselesidir. Halkın, santralin güvenli bir şekilde inşa edildiğine ve işletileceğine, olası bir kazada şeffaf bilgilendirme yapıp gerekli önlemlerin alınacağına inanması gerekir.

Örneğin Aarhus Sözleşmesi, çevresel konularda bilgiye erişim, halkın karar alma süreçlerine katılımı ve çevreyle ilgili yargıya başvuru hakkını güvence altına alan, çevre demokrasisini güçlendirmeyi amaçlayan uluslararası bir sözleşmedir (Güneş, 2012, s.28). Bu yönüyle çevre hukukunda yeni bir katılımcı ve şeffaflık odaklı anlayışı temsil eder. Akkuyu NGS' nin Çevresel Etki Değerlendirmesi sürecinde halka açık toplantılar yapılmışsa da, proje ölçeğinin büyüklüğü ve teknik detayların karmaşıklığı ve Türkiye'nin henüz Aarhus Sözleşmesi'ne de taraf olmaması, çevresel bilgilere erişim ve karar süreçlerine halk katılımı bağlamında kurumsal bir eksiklik olarak eleştirilmiştir.

Bir diğer konu ise Akkuyu NGS projesi, bölge halkının sosyoekonomik yaşamında değişimlere yol açmıştır. İnşaatla birlikte bölgede demografik bir hareketlilik yaşanmış, binlerce işçi ve mühendisin gelmesiyle yerel nüfus artmış bu da kira fiyatlarına yansımıştır. Bölge halkının bir kısmı, özellikle tarım ve balıkçılıkla geçinen kesimler, nükleer santralin itibar riski yaratmasından endişe duymakta örneğin, balıkların veya tarım ürünlerinin pazarlanmasında tüketici tereddüdüyle karşılaşma riski somut bir sorun olmasa da ekonomik değeri etkileyebilir mi düşüncesiyle, santral yönetiminin halkla sürekli iletişim halinde olması, onları düzenli bilgilendirmesi projenin şeffaflığı ve sürdürülebilir olması açısından önem arz etmektedir.

3.5.4.4. Akkuyu Nükleer Güç Santraline Yönelik Endişeler

Akkuyu Nükleer Güç Santraline yönelik en önemli eleştiri yerel halkın santralde meydana gelebilecek olası bir kaza durumunda çevreye etkisinin neler olabileceğiyle ilgili endişelerden gelmektedir. Özellikle santralden çıkacak radyoaktif atıkların yönetimiyle ilgili hala bazı hususların sözleşmede net olmaması çevresel güvenlik açısından bazı riskleri de beraberinde getirmektedir. Çünkü nükleer santrallerdeki radyoizotopların binlerce yıl süregelen biyolojik etkileri olması negatif etkileri arasında gösterilmektedir.

2010 yılında Türkiye ve Rusya arasında imzalanan “Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyeti’nde Akkuyu Sahası’nda Bir Nükleer Güç Santraline Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma”nın 12’nci maddesinde “Taraflarca mutabık kalınabilecek ayrı bir anlaşma ile Rus menşeli kullanılmış nükleer yakıt, Rusya Federasyonu’nda yeniden işlenebilir.” hükmünde Türkiye’de kullanılmış olan radyoaktif maddenin Rusya’ya hangi yollarla ve nasıl gideceği ya da hangi süre ile santral sahasında tutulacağının veya nasıl orada depolanacağına dair netlik kazanan herhangi bir husus bulunmamaktadır. Kaldıkı Rus düzenlemeleri, nükleer atıkların diğer ülkelerden Rusya’ya transferini yasaklamakta ve bu da atık yönetimiyle ilgili belirsizliği artırmaktadır (Kahraman, 2025, s.966). Atık kavramı şu yönüyle dikkat edilmesi gereken bir konudur: çıkartılan atıklar minimum on bin yıl ve daha fazla çevreye zarar vermeden muhafaza edilmesi gerekir ki reaktör yakıtları kullanıldıktan sonra atık haline gelince radyoaktivitesi artar ve bunun Rusya’ya geri işlenmek üzere gönderilmesi hasıl olur ve Çanakkale ve İstanbul Boğazlarından geçişi de düşünüldüğünde büyük riskleri barındırması (Akkuyu NGS ömrü boyunca yani ortalama 60 yıl boyunca 5400 tona tekabül eden 10.080 tane yakıt demeti ile kullanılmış uranyum oraya çıkacaktır) Akkuyu NGS için atıkları 60 yıl boyunca muhafaza edecek nihai derin jeolojik tesisin şuan için hali hazırda mevcut olmaması maalesef böylesine insan sağlığı için önemli bir konuda açık olarak karşımıza çıkmaktadır (TMMOB, 2019, s.96-97).

7381 sayılı Nükleer Düzenleme Kanunu madde 13 “İşletenin Sorumluluğunun Sınırları” başlığında “...her bir nükleer hadise için işletenin sorumluluk miktarları;

a) Termal gücü on megavatın üzerinde olan nükleer reaktörler ile Kurum tarafından nükleer tesis işletmek için verilecek lisans öncesi yapılacak değerlendirme ile belirlenecek diğer nükleer tesisler için yedi yüz milyon avro,

b) (a) bendi kapsamına girmeyen nükleer tesisler için yetmiş milyon avro,

c) Nükleer maddelerin taşınması için seksen milyon avro,

ç) Nükleer maddelerin Türkiye Cumhuriyeti sınırları dâhilinde yapılacak transit geçişleri için yedi yüz milyon avro ile sınırlıdır.” hükmüne amirdir. Bu kapsamda düşünüldüğünde olası bir kaza durumunda işletme sorumluluğu yalnızca bu rakamlarla sınırlı kalacak ve bu rakamların üzerinde gerçekleşebilecek kaza durumlarında herhangi bir sorumluluk yüklenmeyecek olması Türkiye’ye getireceği maliyetler anlamında ciddi yük olacaktır.

Sözleşmedeki 5 inci maddeye göre; her bir güç ünitesi için ESA’nın sona ermesini müteakip, ancak her bir güç ünitesinin ticari işletmeye giriş tarihinden sonra 15 (on beş) yıldan daha erken olmamak kaydıyla, Proje Şirketi, NGS ömrü boyunca, NGS Ünite 1, Ünite 2, Ünite 3 ve Ünite 4 için, Türk Tarafı’ na yıllık bazda Proje Şirketi’nin net kârının % 20’sini verecektir hükmü yazılmakla beraber karı hesaplama usulünün nasıl olacağı veya Türkiye’nin hangi tarihten itibaren bu karı almaya başlayacağı ile ilgili net ibareler olmaması sözleşmedeki açık olarak karşımıza çıkmaktadır. Keza 15 yılın sonunda da Türkiye’nin tedarik edeceği elektrik fiyatında da artışa gidilmeyeceğinin bir garantisi bulunmamaktadır. Rusya ile yapılan anlaşmalarda yatırım kısmında Türkiye’ye sorumluluk yüklenmezken elektrik alım kısmında ki taahhütlerin döviz cinsinden olması ve 15 yıldan az olmaması da döviz artışları karşısında elimizi zayıflatabileceği ve uzun dönemde Türkiye’yi Rusya’ya bağımlı yapması çok muhtemel gözükmektedir.

Akkuyu NGS, build-own-operate (yap-sahip ol- işlet) modeliyle işletilecektir. Bu model ile Rus devlet şirketi Rosatom, santralin tamamını finanse edip bakım onarımından söküm işlemlerini gerçekleştirene kadar geniş sorumluluklar üstlenmiş olup Türkiye tarafı ise yalnızca saha tahsisi, şebeke bağlantısı ve altyapı hazırlığı gibi konulardan sorumludur (Kahraman, 2025, s.965). BOO modelinde santralin işletmesi santralin mülkiyeti ve yakıt tedarikinin Rosatom’a ait olması Türkiye’nin enerji güvenliği açısından da riskli görünmektedir. Nükleer santraller, ömürleri boyunca ve sonrasında çeşitli stratejik riskler

barındırması, Akkuyu NGS için öngörülen işletme ömrü 60 yıl olup bu uzun süre zarfında jeopolitik dengelerin, teknolojik standartların ve ekonomik koşulların nasıl değişeceği öngörülememesi ve BOO modeli kapsamında santral mülkiyetinin yabancı bir şirkette kalması Türkiye'nin elini zayıflatacak bir husus olarak stratejik riskleri barındırabilecektir.

Nükleer enerji gibi ileri teknoloji gerektiren bir alanda, ev sahibi ülkenin en büyük kazanımlarından biri teknoloji transferi ve insan kaynağı yetiştirilmesi olması gerekir. BOO modelinde know-how ve teknoloji transferi garanti edilmemiş olup Türk mühendislerin bir kısmı Rusya'da eğitim alıyor olsada, reaktör tasarımı, bakım ve nükleer yakıt teknolojisinde, Türkiye'nin patent ve lisans sebebiyle doğrudan sahiplenebileceği bilgi düzeyine maalesef ulaşamaması ve stratejik altyapı kontrolünün yabancı bir aktörde kalmasına sebep olmaktadır. Nükleer teknolojilerde tedarikçi ülkeler , nükleer teknoloji satışını alıcı ülkeler üzerinde güç ve nüfuz kazanmanın bir yolu olarak görmektedir. Bu anlamda nükleer santralin inşası ve teknoloji transferi için ayrı anlaşmalar yapılması daha faydalı olacaktır (Duru, 2025, s.10) Bir başka deyişle, Akkuyu projesi tamamlandığında Türkiye, nükleer enerjiye evet sahip olacak ancak bunun arkasındaki nükleer teknolojiye ve bilgi birikimine büyük ölçüde yabancı kalacaktır. Türkiye'deki firmalar daha çok inşaat, montaj, lojistik gibi alanlarda rol alması ülke sanayisine sınırlı bir teknolojik öğrenme imkânı verecek oysa ki, nükleer teknoloji transferinin gerçekleşebilmesi için yerli mühendislik şirketlerinin ya da üniversitelerin reaktör tasarımından güvenlik sistemlerine kadar sürece dahil edilmesiyle ancak nükleer teknoloji kazanımı söz konusu olabileceği gerçeğini gözden kaçırmamak gerekmektedir.

Nükleer enerji projelerinde proje gecikmeleriyle ilgili cezalar ve sorumluluklar yapılacak anlaşmalarla açıkça belirtilmelidir. Bu tip projelerin sözleşme hükümleri, genellikle projenin zamanında tamamlanmasını teşvik eden cezalar içerir. Ancak Akkuyu NGS projesi bu açıdan dikkate değer bir belirsizlik arz etmektedir. *Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyeti'nde Akkuyu Sahası'nda Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma*”nın 6'ncı maddesi “Proje Şirketi, Rus Tarafı'nın tam desteği ile NGS inşasının başlaması için gerekli tüm belgeler, izinler, lisanslar, rızalar ve onayların verilmesinden itibaren yedi yıl içinde Ünite 1'i ticari işletmeye alır. Proje Şirketi, Rus Tarafı'nın tam

desteği ile, Ünite 1'in ticari işletmeye başlanmasından itibaren, Ünite 2, Ünite 3 ve Ünite 4'ü ard arda bir yıl aralıklarla ticari işletmeye alır. NGS ünitelerinin ticari işletmeye erken veya geç girişi durumunda, Taraflar'ın sorumlulukları ESA'ya göre belirlenir." hükmü gereği Ünite 1'in inşaat lisansının 2018 yılında verildiği göz önüne alınırsa 7 yılın sonunda yani 2025 yılında ünite 1 eğer faaliyete geçemezse "Enerji Satış Anlaşması'nda" yaptırımlar ve cezaların netleştirilmesi önem arz etmektedir.

Bütün bunların dışında sözleşmenin bir de siyasi amacı olabileceği uzun vadede atlanılmayacak bir husustur. Bir NATO üyesi devlet olarak, Türkiye'nin tüm toprakları NATO'nun nükleer şemsiyesi altında korunmakta ve bu da diğer devletlerden gelebilecek olası nükleer saldırıları caydırmakta olup bu durum, Türkiye'nin nükleer geleceğinin, bir yandan güvenlik endişelerini gidermek, diğer yandan da uluslararası nükleer silahların yayılmasının önlenmesi rejimine olan taahhütlerini yerine getirmeye sıkı sıkıya bağlı kalacağını göstermektedir (Alkış, 2023, s.7-8). Ancak Rusya'nın Akdeniz kıyılarına inme hedefi içi Akkuyu Nükleer Güç Santralin koz olarak kullanılma fikri ve santralin güvenliğini sağlama hedefine yönelik olarak özellikle tesisin NATO'nun İncirlik Hava Üssüne ve Kürecikte bulunan balistik füze savunma radarına yakın olması nedeniyle Rusya'nın asker bulundurma taleplerini uzun vadeli projekte gelmesi Rusya'nın nükleer enerjiyi jeopolitik bir silah olarak görmesi çok muhtemel olarak Türkiye'nin NATO ile olan bağıni zorlamamasının yanında Rusya ile ilişkilerin bozulması durumunda da hukuken sıkıntılı süreçlere gebe olduğu senaryolar tartışılmaktadır. Keza Rusya Akkuyu NGS ile Akdeniz'de jeopolitik avantaj sağlamaktadır. Türkiye'nin enerji arz güvenliğini artırma hedefiyle yola çıkılan bu projede Türkiye'yi doğalgazda Rusya'ya bağımlılıktan kısmen kurtarıırken diğer yandan nükleer yakıt ve işletme açısından yine Rusya'ya bağımlı hale gelinmesi ve yakıtının tamamının Rusya'dan gelecek zenginleştirilmiş uranyumdan sağlanması aslında bir nevi kaynak bağımlılığının rol değiştirmesi olarak da düşünülmektedir.

Maalesef nükleer santraller güvenlik riskleri sebebiyle de Ortadoğu gibi politik kargaşanın hâkim olduğu bir coğrafyada santralin terörist grupların hedefi olma ihtimali oldukça yüksektir. Bu yüzden güvenlik anlamında en küçük bir açık verilmeden ilerlemeli hem Rusya hem Türk tarafı bu konu için özel bir çalışma ile stratejiler belirlenmelidir.

Çevreyle ilgili sıkıntılara baktığımızda bir nükleer santralin yakıtının olduğu bölgede bin Hiroşima bombasına eş değer nitelikte radyoaktivite olduğu ve nükleer santralden çıkacak atık ısı ile ksenon, trityum gibi radyoizotopların denize karışmasıyla beraber deniz suyu sıcaklığındaki artışın fitoplanktonların biyolojik ömrünü etkileyeceği ve su sıcaklığının 34°C çıkması durumunda planktonların popülasyonunun %19 azalacağı bilinmekle beraber ÇED raporlarında sudaki oksijen miktarının azalacağından bahsedilmiş ancak deniz canlılarına olan etkisi yeterince açıklanmamıştır (TMMOB, 2019, s.94-95) Halihazırda yazın zaten 29-30 dereceye kadar çıkabilen Akdeniz suyundaki en ufak artış yerli deniz canlıları için ölümcül olabilecektir. Özellikle Akkuyu sahiline çok yakın mesafede bulunan *Posidonia oceanica* (dip çayır) ki balıklar bu çayırın arasında çoğaldığı için burada korunup gelişirler ve balıklar için devamlı oksijen sağlarlar ama denize verilecek bu sıcak su ile Akdeniz'i istila etmesi muhtemel Lessepsian türlerin artmasına sebep olunması ve balıkçılık geçimini ve ekolojik sistemini olumsuz etkilemesi çok muhtemel gözükmektedir (Kantarci, 2019, s.15-16). Ayrıca Akkuyu Projesi Büyükeceli Orman Kadastro bölgesinde yer alması sebebiyle 20.214 ağaç maalesef kesilmiş yaban hayatını olumsuz etkilemiş, habitat kaybına sebep olmuş, yerine dikilecek ağaçların genç fidan olması sebebiyle ekolojik işlevi düşük kalacağı için iklim değişikliği ile müdahalede negatif etki yapmıştır (TBMMOB, 2019, s.92-93).

Hukuksal açıdan da bakıldığında Türkiye Cumhuriyeti ve Rusya Devleti arasında imzalanan bu anlaşma uluslararası anlaşma statüsüne sahip olup Anayasamızın 90'ıncı maddesi "*Usulüne göre yürürlüğe konulmuş milletlerarası antlaşmalar kanun hükmündedir. Bunlar hakkında Anayasa'ya aykırılık iddiası ile Anayasa Mahkemesi'ne başvurulamaz. Usulüne göre yürürlüğe konulmuş temel hak ve özgürlüklere ilişkin milletlerarası antlaşmalarla kanunların aynı konuda farklı hükümler içermesi nedeniyle çıkabilecek uyuşmazlıklarda milletlerarası antlaşma hükümleri esas alınır.*" hükmü gereği uluslararası anlaşmaların bölge halkının yasama yetkisiyle ilgili sınırlar getirmesi eleştirileri de beraberinde getirmiştir. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) sürecinde çok fazla aleyhe dava açılmış lakin davalar sonuçlanmadan proje ilerlemeye devam etmesi şeffaflık ve denetim anlamında soru işaretlerini beraberinde getirmiştir.

Bölge halkıyla el ele veren bir projeden ziyade halkın karar alma süreçlerinde yeterince bilgilendirilmediği ve katılımının olmadığı da gelen eleştiriler arasındadır. Mersin

bölgesinde ilgili mercilerden tatmin edici ve endişeleri giderici aksiyon alınmadığı, anlaşma metninin herkese açık kaynaklardan sınırlı düzeyde öğrenildiği olumsuz bir algı söz konusudur. Kamuoyunu bu sürecin dışında tutmak hem sosyal rıza sorunsalını barındırır hem de nükleer güvenlik kültürünün yeterince oluşmamasına sebep olacaktır. Özellikle yerel halkın olası bir tahliye veya sığınma durumunda bilinçlendirilip aydınlatılması ve sağlık altyapısının hazır edilmesi gerekmektedir. Şu ana dek bölgedeki yerleşim yerlerine iyot tabletlerinin dağıtımı veya siren sistemleri kurulumu gibi önlemlere ilişkin kamuoyu duyurusuna rastlanmaması acil durum hazırlıklarının yeterliliği konusunda soru işaretleri yaratmaktadır.

Sonuç olarak Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin hukuki, mali, siyasi ve toplumsal tüm yönleriyle ele alınması gereken ve ülkenin geleceğini etkileyen stratejik bir meseledir. Türkiye'yi uzun vadeli mali yükümlülükler ve alım garantileriyle dışa bağımlı hale getirmesi egemenlik ve enerji arz güvenliği bakımında enerjiyi çeşitlendirmekten ziyade tek bir ülkeye stratejik bağımlılık oluşturmaya ciddi tartışmaları beraberinde getirmektedir. BOO Modeli Türkiye'nin kısa vadede finansman sorununu çöze bile uzun vadede teknoloji kazanımında ve yerli katkıdaki payı sınırlı kalacaktır (Duru, 2025, s.11). Tüm bunların yanında halk katılımının da zayıf kaldığı bu proje için projenin gidişatı ve olası sonuçlarının büyük bir hassasiyetle takip edilmesi hukuk devleti, bağımsızlık ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri kapsamında ödünler vermeden ülke menfaatine uygun yönetilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji arz güvenliği; hane halkı, sanayi ve kamu hizmetlerinin gereksinim duyduğu enerjiyi kesintisiz, uygun maliyetle ve sürdürülebilir nitelikte temin edebilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Bu kapasitenin, iletim-dağıtım altyapısının dayanıklılığından, piyasada yatırımlarının artışına; finansal kırılganlıkların yönetiminden, çevresel/sosyal kabul ve jeopolitik risklerin bertarafına kadar iç içe geçmiş boyutların eşgüdümü ile yönetilmesi gerekmektedir. Nükleer enerjinin stratejik bir seçenek olarak öne çıkmasının temelinde, enerji arz güvenliği açısından kırılgan bir yapıya sahip olan ve fosil yakıtlarda yüksek dışa bağımlılık gösteren ülkeler için kaynak çeşitliliğini artırma gerekliliği yatmaktadır. Bu sayede enerji maliyetlerinin uzun vadede öngörülebilir seviyede olması sağlanmış olacaktır.

Birleşmiş Milletler tarafından 2015 yılında kabul edilen 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı (SKA), küresel ölçekte yoksulluğun ve açlığın ortadan kaldırılmasını, eşitsizliklerin azaltılmasını, ekonomik büyümenin desteklenmesini ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasını hedefleyen bütüncül bir kalkınma çerçevesi sunmaktadır. Nükleer enerji ise BM'nin bu 17 hedefinin önemli bir kısmına doğrudan ya da dolaylı katkı sağlayan stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Bu kapsamda nükleer enerji “temiz ve güvenilir” bir seçenek olmasıyla söz konusu hedeflere doğrudan katkı sağlamaktadır. Nükleer enerjinin fosil yakıt kullanımını azaltarak özellikle sera gazı emisyonlarını düşürmesi iklim dostu enerji kaynağı olarak görülmesini sağlamıştır. Son 50 yılda küresel ölçekte 70 gigaton CO₂ emisyonunu önlemesi bunun ispatı niteliğindedir.

Nükleer teknolojilerden sağlık alanında da yüksek oranda faydalanılmaktadır. Hastalıkların teşhis ve tanısından gıda ışınlama uygulamalarına kadar birçok alanda toplum sağlığına hizmet etmektedir. TENMAK bünyesinde kurulan Proton Hızlandırıcı Tesisi ile proton odaklı araştırma-geliştirme faaliyetleri üniversitelerle kurulan iş birliği çerçevesinde disiplinler arası bir yaklaşımla sürdürülmektedir. Bununla birlikte, radyoizotop ve radyofarmasötiklerin dışa bağımlı kalmadan yerli imkânlarla üretilmesi, sağlık alanındaki bütçe yükünün azaltılmasına destek sağlamaktadır. Keza atık suyun arıtılması ve sanitasyonu için çözümler üreterek su kaynaklı hastalıkların önlenmesinde

katkı sağlamaktadır. Nükleer enerjinin, kesintisiz ve sürekli elektrik üretme kapasitesi onu diğer enerji kaynaklarından ayıran en önemli avantajlarından biridir. Bu sayede sanayi altyapısının ihtiyaç duyduğu güvenilir enerjiyi temin ederek olası enerji kesintilerini önlemektedir. Bu durum sadece sanayinin istikrarlı bir şekilde faaliyet göstermesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda yeni yatırımların önünü açarak uzun vadede ekonomik büyümeyi teşvik edici bir rol üstlenmektedir. Nükleer teknolojiler aynı zamanda eğitim ve istihdam açısından da pozitif dışsallık sağlarlar. Alanında yetişmiş insan kaynağı oluşturup yeni iş sahaları açmaları kalifiye eleman anlamında ülke menfaatine hizmet etmektedir.

Yakın gelecekte tam kapasite çalışmaya başlaması öngörülen Akkuyu Nükleer Güç Santrali, Türkiye'nin enerji alanındaki dışa bağımlılığını azaltma sürecinde dönüm noktası olarak değerlendirilmektedir. Projenin tamamlanmasıyla birlikte Türkiye'nin, elektrik üretim kapasitesini çeşitlendirerek enerji arzını kontrol edeceği düşünülmektedir. Akkuyu NGS'nin devreye girmesiyle yılda yaklaşık 35 milyar kWh elektrik üreteceği ve Türkiye'nin yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık %10'unu karşılayacağı öngörülmektedir. Özellikle kış aylarında elektrik talebini karşılamak için Rusya ve İran'dan ithal edilen doğalgaza olan mecburiyeti bir nebze azaltacak, bu da Türkiye'nin pazarlık gücünü artıracaktır. Burada sıkıntı olarak görülen kısım Rusya ile ortak yürütülen bir proje olduğu için farklı bir bağımlılık ilişkisi doğuracağı endişesidir. Özellikle siyasi gerilimler veya tedarik zinciri ile ilgili sorunlar yaşanması durumunda santralin işletimine devam etmesi için elzem olan yakıt ikmalinde aksamalar olma riski eleştirileri beraberinde getirmektedir. Akkuyu NGS kısa vadede doğalgaza olan bağımlılığı bir miktar azaltsa da, nükleer enerji alanında tek bir ülkeye bağımlılığı artırdığı ve yakıt tedarikinde çeşitlilik veya farklı aşamalarda birden fazla ülke teknolojilerinin entegrasyonunun hayata geçirilmemiş olması stratejik bir eksiklik olarak düşünülmektedir. Ancak tüm bunlara rağmen sürecin doğal gazla kıyaslandığında çok daha yönetilebilir düzeyde olduğu varsayılmaktadır. Bu anlamda Akkuyu NGS'nin başarısı Türkiye'nin Sinop ve ileride planladığı üçüncü nükleer santral (İğneada) projelerine de yön verecektir. Eğer Akkuyu NGS güvenli ve verimli bir şekilde işletmeye girerse, nükleer enerji Türkiye'nin uzun vadeli enerji planlarında kalıcı bir yer edinecek ve belki de 2050'lere doğru daha fazla reaktör inşası gündeme gelecektir. Projenin gösterdiği performans ve elde ettiği toplumsal kabul, geleceğin nükleer adımlarını şekillendirecektir.

Nükleer santraller, sürekli ve kesintisiz güç sağlayarak (baz yük üretim) enerji arzında açık oluşmasını engelleyecektir. Bu yönüyle nükleer ve yenilenebilir enerjinin birbirini tamamlayan unsurlar olabileceği vurgulanmaktadır. Türkiye'nin enerji politikasında hedefi hem karbon emisyonlarını azaltmak hem de enerji talebini ekonomik büyümeyi destekleyecek şekilde karşılamaktır. Keza gelir dağılımı üzerindeki etkilerini de özellikle enerji fiyatları üzerinden değerlendirmek gerekir. Nükleer enerjinin sürekli güç sağlaması ile uzun vadede istikrarlı bir üretim maliyeti sunması ve fosil yakıtlardaki fiyat dalgalanmalarına karşı iç piyasayı koruması, elektrik fiyatlarında öngörülebilirlik sağlayarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerini dolaylı olarak etkileyerek enerji yoksulluğunu azaltıcı bir rol oynayabileceği düşünülmektedir.

Akkuyu NGS, ekonomik ve mali açıdan da hem kazanımları hem de riskleri içinde barındıracağı düşünülmektedir. Kamu maliyesi perspektifinden değerlendirildiğinde, Türkiye'nin izlemiş olduğu BOO (Build–Own–Operate) modeli sayesinde proje doğrudan kamu yatırım harcaması gerektirmemiş, bu da borçlanma veya bütçe açığı yaratmadan önemli bir tesis kazanılmasını sağlamıştır. Türkiye ile Rusya arasındaki hükümetler arası anlaşmaya göre, Akkuyu NGS'yi işletecek olan şirket, Elektrik Satış Anlaşmasının sona ermesine müteakip ve işletmeye girişinin üzerinden 15 yıl geçtikten sonra her yıl elde ettiği net kârın %20'sini Türkiye Cumhuriyeti Hazinesi'ne aktaracak olması kamu gelirlerine doğrudan katkı sağlayacak ve devletin uzun vadede nükleer yatırımdan pay almasını güvence altına almış olacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, sağlanacak olan karın etkin bir şekilde tahsis edilmesinin ve takibinin güçlü bir denetim mekanizmasından geçtiği unutulmamalıdır. Akkuyu NGS projesinde devlet, 15 yıllık alım garantisi ile dolaylı bir mali yük altına girmiştir. Bu tür koşullu yükümlülüklerin şeffaf bir biçimde bütçe süreçlerine dahil edilmesi önem arz etmektedir. Elektrik alım garantisi nedeniyle oluşacak fark maliyetlerinin (piyasa fiyatı– garanti fiyat arasındaki fark) finansmanı için şimdiden planlama yapılmalıdır. Çünkü enerji alım sözleşmelerinde elektriğin sabit fiyattan satın alınması, ileriki yıllarda bu fiyatın piyasa fiyatının altında kalması durumunda devletin lehine bir durum gibi gözükse de, bu fiyatın piyasa fiyatını üzerine de çıkabileceği unutulmamalıdır. Bu sebeple fiyatların enflasyon, döviz kuru dalgalanmaları ve alternatif enerji maliyetleri dikkate alınarak esnek bir şekilde belirlenmesi daha yerinde olacaktır. Hatta bu tip uzun vadeli yükümlülüklerde işletmeden aldığımız karın belli bir oranı fon benzeri bir mekanizmaya aktarılırsa mali

disiplin içinde yönetilmesi daha kolay olacaktır. Yalnız Akkuyu NGS projesinin stratejik bir yatırım olarak görülmesi de bazı tavizleri beraberinde getirmiştir. İthal edilen nükleer ekipmanlarda sağlanan gümrük vergisi muafiyetleri ve yatırım harcamalarındaki KDV muafiyetleri gibi birçok konuda sağlanan kolaylıklar toplamda 3,5-4 milyar dolar tutarında kamu gelirinden feragat olarak değerlendirilmiş ve eleştiri konusu olmuştur.

Nükleer enerji projeleri ilk yatırım giderlerinin yüksek olmasından kaynaklı olarak yüksek borçlanma ihtiyacını doğurmaktadır. Ancak Türkiye, Akkuyu NGS projesinde proje finansmanının yabancı sermaye girişiyle sağlanmış olmasından dolayı doğrudan bir borç yükü üstlenmemiştir. Böylelikle Türkiye'nin kamu borç stoğu artmadığı gibi devlete ek maliyet getirmemesi enerji arz güvenliğini de artıran bir unsur olarak görülmektedir. Nükleer enerji projelerinin finansmanında ülkelerin kamu borçlanmasını sınırlı tutacak modeller tercih etmesi kendi menfaatlerine olacaktır. Yatırım maliyetleri özel sektör tarafından üstlenilirse, devlet borç stokundaki hızlı artışlar engellenebilecektir. Bunu sağlarken eğer nükleer enerji düşük karbonlu teknoloji olarak sınıflandırılabilirse çevreye duyarlı projeler için geliştirilmiş “yeşil tahvil” gibi yenilikçi finansal araçlar kullanmak mali riskleri azaltmak anlamında değerlendirmeye alınabilir.

BOO modeli, finansal yükü azalttığı için tercih edilmiş olsa da teknoloji transferi konusunda zayıf kalmaktadır. Türkiye'nin nükleer teknolojide söz sahibi bir ülke olabilmesi için bilgi transferini daha etkin kılacak yöntemlere ihtiyacı vardır. Mevcut Akkuyu NSG projesinde dahi, sözleşmeye konulan ve henüz tam uygulanamayan teknoloji transferi maddelerinin işlerlik kazanması için diplomatik ve kurumsal çaba gösterilmelidir. Türk mühendislerinin tasarım ve imalat süreçlerine daha fazla dahil olması teşvik edilmeli, Rus tarafıyla ortak çalışma komisyonları kurulmalıdır. BOO modeline alternatif olarak ileride kurulması planlanan santraller için farklı ortaklık modellerin benimsenmesinin, örneğin yap-işlet-devret gibi, belli bir süre işletim sonucu mülkiyetin Türkiye'ye geçmesi sonucunu doğuracağı için nükleer teknolojinin öğrenmesini kolaylaştırması beklenebilir.

Akkuyu NGS'nin güvenli ve verimli işletmesi, Türkiye'nin nükleer alandaki itibarını belirleyecektir. Bu nedenle Nükleer Düzenleme Kurumu başta olmak üzere tüm denetleyici kurumların kararlarında şeffaflık sağlanmalı ve personellerin teknik yeterliliği için destek verilmelidir. Ayrıca Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu gibi nükleer alanda

yetkin kuruluşların tavsiyelerine tam uyum göstermek önem arz etmektedir. Kamu maliyesi açısından bakıldığında, düzenleyici kurumların personel eğitimi, ekipman ve sistem ihtiyaçları için yeterli bütçe tahsis edilmelidir. Ayrıca acil durum hazırlıkları için sivil savunma ve sağlık altyapısına yapılacak harcamalar, nükleer enerji programının ayrılmaz bir parçası olarak düşünülmelidir. Her yıl düzenli olarak ulusal düzeyde nükleer acil durum tatbikatları yapılmalı; bu tatbikatların finansmanı ve organizasyonu önceden planlanmalıdır.

Maliye politikalarında sosyal kabul de ekonomik rasyonaliteyi dolaylı olarak etkiler. Akkuyu NGS ve genel olarak nükleer program konusunda kamuoyunun doğru bilgilendirilmesi, katılımcılığın artırılması ve şeffaflığın tesisi için iletişim faaliyetlerine kaynak ayrılmalıdır. Örneğin, bağımsız çevre gözlemcileriyle iş birliği, santral verilerinin çevrimiçi paylaşılması, bölgede halkın sorularını yanıtlayacak sürekli ofislerin kurulması gibi adımlar desteklenmelidir. Bu tür harcamalar, projenin sosyal risklerini azaltarak dolaylı ekonomik fayda sağlayacaktır.

Sonuç olarak, Akkuyu Nükleer Güç Santrali projesi, Türkiye'nin enerji ekonomisi, çevresel taahhütleri ve toplumsal dinamikleri açısından çok boyutlu etkilere sahiptir. Ekonomik analizler, projenin doğru yönetilirse uzun vadede ülkeye net fayda sağlayacağını öngörmektedir (ithalatın azalması, büyümeye katkı, istihdam yaratma vb.). Çevresel açıdan nükleer enerji, fosil yakıtların yerini alarak iklim hedeflerine hizmet ederken, beraberinde nükleer güvenlik ve atık sorumluluğunu getirmektedir ki bu alanda en yüksek standartlara uyulması hayati önemdedir. Nükleer enerji aynı zamanda fosil yakıtlar gibi sera gazı salımı yapmayıp asit yağmurlarına sebep olmaması Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadele hedeflerine (Paris Anlaşması vb.) katkı sağlar bu ise karbon sıfır hedefi için temiz enerjiye geçiş ile uluslararası yeşil mutabakat hedeflerine yaklaştırır. Türkiye'de 2053 net sıfır karbon hedefi koyması Akkuyu Nükleer Güç Santralinden elektrik üretmenin sadece bir enerji yatırımı değil, stratejik bir kalkınmanın projesi olduğunun göstergesidir.

Projenin başarı ölçütü, sadece reaktörlerin elektrik üretmesi değil, bunu güvenli, sürdürülebilir ve toplum tarafından benimsenmiş bir şekilde yapabilmesinden geçmektedir. Türkiye, Akkuyu NGS deneyiminden çıkaracağı derslerle enerji politikalarını ve kurumsal yapılarını geliştirme fırsatına sahiptir. Enerji arz güvenliği ile

Çevreyi koruma dengesini gzetek, kamunun çıkarlarını ve yükümlülüklerini uzun vadeli planlayan bir yaklaşım sayesinde, nükleer enerji Türkiye'nin kalkınma yolunda güçlü bir araç haline gelebilir. İlerleyen yıllarda Türkiye'nin enerji sepetinde nükleerin payı ve rolü, büyük ölçüde bu ilk deneyimin başarısına ve yönetilme biçimine bağlı olacaktır. Projenin bazı endişeleri içinde barındırması, uzun vadeli finansal yükümlülükler ve alım garantileriyle dışa bağımlı hale getirmesi veya atık yönetimi gibi konuların dikkatle yönetilmesi gerektiği de unutulmamalıdır. Türkiye'nin nükleer enerji programını BM sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu, şeffaf, yenilikçi ve maliye disiplininin gereklerini aksatmadan etkin bir şekilde yönetmek, Akkuyu NGS'nin Türkiye ekonomisine beklenen katkıları en st düzeye çıkarmanın anahtarı olacaktır.

KAYNAKÇA

- Abbasi, A., Zakaly, H. M. H., & Almousa, N. (2023). Radiotoxic fission products and radiological effects in the Mediterranean Sea biota from a hypothetical accident in Akkuyu Nuclear Power Plant. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115166.
- Akkuyu Nükleer A.Ş. (2025). NGS nasıl çalışır? <https://akkuyu.com/tr/how-it-works> adresinden 5 Mayıs 2025 tarihinde alınmıştır.
- Akkuyu Nükleer A.Ş. (t.y.). Sosyal. <https://akkuyu.com/tr/growth/social> adresinden 5 Mayıs 2025 tarihinde alınmıştır.
- Akoğlu, A. (2011). Nükleer Santraller ve Güvenlik. *Bilim ve Teknik*, 521, 32-36.
- Aktepe, C. ve Gökkaya, A. (2023). Türkiye'nin dış ticaret açığı ve nükleer enerji seçeneği. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 15(4), 2978–2995.
- Akyüz, E. (2021). Advantages and disadvantages of nuclear energy in Turkey: Public perception. *Eurasian Journal of Environmental Research*, 1(1), 1–11.
- Alagöz, M., & Yokuş, T. (2018). Kamu özel işbirliği yatırımları ve dış borç ödeme projeksiyonu. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 73(3), 867–889.
- Alkış, M.A. (2023). Türkiye in the New World Order: The Nuclear Debate.
- Amir, R. M., & Zeler, I. (2024). Discourses on the sustainability of nuclear energy: a semi-systematic literature review of scientific production. *Discover Sustainability*, 5(1)503.
- Argonne National Laboratory. (t.y.). PRO-AID. <https://www.anl.gov/nse/ai-ml/proaid>
- Arora, N. K., & Mishra, I. (2023). Sustainable development goal 13: Recent progress and challenges to climate action. *Environmental Sustainability*, 6(3), 297-301.
- Ateş, M. C., Çalışkan, H., Sınmaz, A., & Halis, M. (2013). Rüzgar ve nükleer santrallerin yatırım fizibilitesi yönünden karşılaştırılması. *ElektrikPort Teknik Kütüphane*. <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/ruzgar-ve-nukleer-santrallerin-yatirim-fisibilitesi-yonunden-karsilastirilmesi/6845> adresinden 20 Mayıs 2025 tarihinde alınmıştır.
- Balat, M. (2010). Security of energy supply in Turkey: Challenges and solutions. *Energy Conversion and Management*, 51(10), 1998–2011.
- Bashir, M. F., Ma, B., Sharif, A., Ao, T., & Koca, K. (2023). Nuclear energy consumption, energy access and energy poverty: Policy implications for the COP27 and environmental sustainability. *Technology in Society*, 75, 102385.
- Başar, Z., & Türkan, N. (2023). Çernobil ve Fukuşima Nükleer Güç Santrali Kazalarının İş Sağlığı Güvenliği Perspektifinden Karşılaştırmalı Bir İncelenmesi. *OHS Academy*, 6(2), 116–130.
- BloombergNEF. (2025). *Global investment in the energy transition exceeded \$2 trillion for the first time in 2024, according to BloombergNEF report*. <https://about.bnef.com/insights/finance/global-investment-in-the-energy-transition-exceeded-2-trillion-for-the-first-time-in-2024-according-to-bloombergnef-report/> adresinden 5 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

- BROWN, B (1964). Nükleer Güç Ekonomisi. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 62(62), 116-120.
- Burrell, A. L., Evans, J. P., & De Kauwe, M. G. (2020). Anthropogenic climate change has driven over 5 million km² of drylands towards desertification. *Nature Communications*, 11(1), 3853.
- CRES Forum. (2025). *The issue brief: Key federal policies fueling nuclear innovation and reinvestment* (PDF). https://cresforum.org/wp-content/uploads/2024/04/01_27_2025_Issue-Brief_Key-Federal-Policies-Fueling-Nuclear-Innovation-and-Reinvestment_Final-1.pdf
- Çalışkan, Ş. (2009). Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 25, 297–310.
- Çelik, İ., Çeker, A., Belge, R.(2015). Nükleer enerji: Türkiye ve dünya ölçeğinde bir değerlendirme. *Yeni Fikir Dergisi*, 7(15), 55-68.
- Derbazlar, R. (2023). *Nükleer enerji politikaları: Türkiye ve Güney Kore karşılaştırması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İstanbul.
- Dindar, S. (2022). A comprehensive analysis of strategies, challenges and policies on Turkish sustainable energy development. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 7(3), 231–250.
- Doğan, H. M. (2010). *Ülkemizin enerji üretim öncelikleri: Alternatif enerji kaynakları potansiyeli* (1. baskı). TDV Yayınları.
- Duru, A. A. (2025). The implementation of Türkiye's nuclear energy policy. *Energy Strategy Reviews*, 59, 101737.
- Ekşi, A. (2017). Nükleer kazalarda olay yeri yönetimi. *Hastane Öncesi Dergisi*, 2(1), 51–62.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (t.y.). Nükleer Enerji. <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/NUPGM/tr/Belgeler/5161-nukleer3.pdf>
- Engin, N. (2013). Nükleer enerji gelecekteki enerji ihtiyacına çözüm olabilir mi? *Marmara Coğrafya Dergisi*, (27), 575–591.
- Erdoğan, S. (2016). Enerji Arz Güvenliği Bağlamında Türkiye'de Nükleer Enerji. *Liberal Düşünce Dergisi*, (82), 79-98.
- Ergün, S., & Polat, M. A. (2012). Nükleer enerji ve Türkiye'ye yansımaları. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(2), 35–58.
- Eroğlu, G., & Şahiner, M. (2017). Dünyada ve Türkiye'de uranyum ve toryum. *Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 24, 37–45.
- Eskom. (2024). *Eskom synchronises Koeberg Nuclear Power Station Unit 2 with national grid following extensive upgrades*. <https://www.eskom.co.za/eskom-synchronises-koeberg-nuclear-power-station-unit-2-with-national-grid-following-extensive-upgrades/> adresinden 9 Mayıs 2025 tarihinde alınmıştır.
- European Commission. (2000). Green Paper: Towards a European strategy for the security of energy supply. http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy-supply/index_en.html adresinden 25 temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

- European Environment Agency (EEA). (2025). *Türkiye: Atık Yönetimi Ülke Profili – Belediye ve Ambalaj Atıklarına Odaklanma*. Kopenhag: EEA.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. (2024). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 –Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1254>
- Furuncu, Y. (2016). Türkiye'nin enerji bağımlılığı ve Akkuyu Nükleer Enerji Santrali. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 37, 198–207.
- Gençer, Ç. (2003). Termik santral çevresinde otomatik olarak çalışabilen radyasyon kontrol sisteminin modellenmesi. *Politeknik Dergisi*, 6(4), 645–649.
- Gökeri, G., Gülay, Y., & Demirel, H. (2012). Ermenistan'daki Metsamor nükleer santralinde meydana gelebilecek kaza sonrası doz seviyeleri için acil koruyucu önlemlerin belirlenmesi.
- Gökmen, İ., & Gökmen, A. (2005). Nükleer santraller: Sorunlar ve öneriler. *Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni*, (4), 67–75.
- Grigoriadis, I. N., & Gheorghe, E. R. (2022). The Akkuyu NPP and Russian-Turkish Nuclear Cooperation. *Policy*.
- Gulaydin, O., & Mourshed, M. (2025). Net-zero Turkey: Renewable energy potential and implementation challenges. *Energy for Sustainable Development*, 87.
- Gülay, Y., Dikmen, H., Yıldız, Ç., Bıyık, R., & Aybers, M. T. (2018). IĞDIR REGION ENVIRONMENTAL RADIOLOGICAL MONITORING PROGRAMME 2013-2016 EVALUATION RESULTS. *Turkish Journal of Nuclear Sciences*, 30(2), 50–62.
- Günay, N., & Hacıyakupoğlu, S. (2023). İklim değişikliğinin kronolojik analizi ve nükleer enerjiye bir bakış. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2), 365–384.
- Güneş, A. M. (2012). Aarhus Sözleşmesi ve Çevresel Bilgiye Erişim Hakkı. *Dicle Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 17(26–27–28–29), 25–40.
- Hale, W. (2022). Turkey's energy dilemmas: Changes and challenges. *Middle Eastern Studies*, 58(3), 452–466.
- Hanushek, E. A. ve Wößmann, L. (2010). Education and economic growth. *Economics of education*, 60(67), 1.
- Harunoğulları, M. (2019). Nükleer enerji ve geleceği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 17(1), 110–145.
- Henry, C. L., Baker, J. S., Shaw, B. K., Kondash, A. J., Leiva, B., Castellanos, E., Wade, C. M., Lord, B., Van Houtven, G., & Redmon, J. H. (2021). How will renewable energy development goals affect energy poverty in Guatemala?. *Energy Economics*, 104, 105665.
- HSC Arıtım. (2025) *Deniz Suyu Arıtma Sistemleri*. <https://www.hsc.com.tr/tr/post/73/Deniz-Suyu-Aritma-Sistemleri> adresinden 15 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2008). *Radiation treatment of polluted water and wastewater* (IAEA-TECDOC-1598). Vienna: IAEA.

- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2022). *Climate Change and Nuclear Power 2022: Securing Clean Energy for Climate Resilience*. Viyana: IAEA, <https://www.iaea.org/sites/default/files/iaea-ccnp2022-body-web.pdf>.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2020). *Conserving life below water: Nuclear techniques to help Latin America and the Caribbean towards reaching Sustainable Development Goal 14*. <https://www.iaea.org/newscenter/news/conserving-life-below-water-nuclear-techniques-to-help-latin-america-and-the-caribbean-towards-reaching-sustainable-development-goal-14> adresinden 15 Ağustos 2025 tarihinde alınmıştır.
- International Atomic Energy Agency.(2024). *Call for applications: 2024 IAEA Marie Skłodowska-Curie Fellowship Programme*. <https://www.iaea.org/newscenter/news/call-for-applications-2024-iaea-marie-skłodowska-curie-fellowship-programme> adresinden 15 Ağustos 2025 tarihinde alınmıştır.
- International Energy Agency (IEA). (2011). *Energy technology perspectives 2010: Scenarios & strategies to 2050*. Paris: IEA. <http://www.iea.org/techno/etp/etp10/English.pdf>
- International Energy Agency (IEA). (2021). *India Energy Outlook 2021*. Paris: IEA. https://iea.blob.core.windows.net/assets/1de6d91e-e23f-4e02-b1fb-51fdd6283b22/India_Energy_Outlook_2021.pdf
- International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook 2023*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf>
- İskender, S.(2007). *Asrın Çözümeyen Problemi Enerji. Tütev Yayınları, Ankara*.
- İşeri, E. & Özen, C. (2012). TÜRKİYE’DE SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ POLİTİKALARI KAPSAMINDA NÜKLEER ENERJİNİN KONUMU. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, (47).
- Jewell, J., Vetier, M., & Garcia-Cabrera, D. (2019). The international technological nuclear cooperation landscape: A new dataset and network analysis. *Energy Policy*, 128, 838–852.
- Kahraman, M. C. (2025). Evaluating the build-own-operate model for nuclear power plant projects: A case study of Türkiye’s first nuclear power plant agreement with Russia. *International Journal of Energy Studies*, 10(1), 957–970.
- Kantarıcı, M. D. (2019). *Akkuyu’da kurulmasına girilen nükleer santral ile İskenderun ve Mersin Körfezleri’nde kurulmuş ve kurulması planlanan termik santrallerin özellikle deniz dibi çayırlarına ve dolayısı ile deniz ekosistemine yapacakları toplam (kümülatif) etkiler üzerine ekolojik bir değerlendirme*.
- Kasap, A. (2024). Evaluation of Sustainable City Performances from the Perspective of Sustainable Development: A Comparison Between the EU and Turkey. *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Turhal Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 13-30.

- Kılıç, S. S., & Variyenli, H. İ. (2023). Yakın Yüzey Bertaraf Tesislerinin Maliyetlendirilmesi, Türkiye için Senaryo Analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11(4), 1183-1194.
- Koca, D., & Yoldaş, Y. (2023). 2000-2020 yılları arasında Türkiye’de uygulanan kamusal enerji arz güvenliği politikaları. *Dumlupınar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (10), 1–15.
- Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İSU). *İSU’dan Çevreye Katkı: KATİS ile vidanjörler takip ve kontrol altında*. <https://www.isu.gov.tr/haberler/detay.aspx?Id=7888> adresinden 20 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.
- Kocaeren, A. A. (2016). *Çevre ve enerji* (1. baskı). Nobel Yayıncılık.
- Konca, H. (2018). *Enerjide dışa bağımlılık çerçevesinde Türkiye’de nükleer enerjinin analizi*. Yüksek lisans tezi, Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Korkmaz, O., & Önöz, B. (2022). Modelling the potential impacts of nuclear energy and renewables in the Turkish energy system. *Energies*, 15(4), 1392.
- Koroglu, M., Irwin, B. R. ve Grépin, K. A. (2019). Effect of power outages on the use of maternal health services: Evidence from Maharashtra, India. *BMJ global health*, 4(3).
- Kök, B., & Benli, H. (2017). Energy diversity and nuclear energy for sustainable development in Turkey. *Renewable Energy*, 111, 870–877.
- Kraev, K. (2025). Turkey Reaches 56% ‘Local Content Rates’ At Akkuyu Nuclear Station, Says Official. NucNet. <https://www.nucnet.org/news/turkey-reaches-56-local-content-rates-at-akkuyu-nuclear-station-says-official-1-4-2025> adresinden 1 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Küfeoğlu, S. (2022). *Emerging Technologies: Value Creation for Sustainable Development* (p. 512). Springer Nature.
- Külebi, A. (2007). *Türkiye’nin enerji sorunları ve nükleer gereklilik*. Bilgi Yayınevi.
- Küresel Amaçlar. (t.y.). *Açılığa Son*. Küresel Amaçlar, <https://www.kureselamaclar.org/amaclar/acliga-son/> adresinden 7 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.
- Kütükçüoğlu, A. (2020). Düünden bugüne Türkiye’de Nükleer Enerji. *Tekses Ofset Matbaacılık, Ankara*.
- Lee, S., Yoon, B., & Shin, J. (2016). Effects of nuclear energy on sustainable development and energy security: sodium-cooled fast reactor case. *Sustainability*, 8(10), 979.
- Lothian, S., & Haas, B. (2024). The Outliers: Stories of Success in Implementing Sustainable Development Goal 14. *Ocean and Society*, 1.
- Mahmood, H. (2022). Nuclear energy transition and CO₂ emissions nexus in 28 nuclear electricity-producing countries with different income levels. *PeerJ*, 10, e13780.
- Menteşe, B. (2021). YEŞİL TAHVİLİN GELİŞİMİ VE TÜRKİYE’DEKİ UYGULAMALARI. *Uluslararası Muhasebe ve Finans Araştırmaları Dergisi*. 3(1), 94-117.

- Murray, R. L., ve Holbert, K. E. (2015). *Nuclear Energy*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2025). *Fukushima radiation in U.S. West Coast Tuna*. <https://www.fisheries.noaa.gov/west-coast/science-data/fukushima-radiation-us-west-coast-tuna> adresinden 7 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.
- Nuclear Energy Agency. (2023). *Deep geological repositories and nuclear liability* (NEA No. 7596). Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2023-09/7596-deep-geological-repositories.pdf>
- Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK). (2017). *Akkuyu Nükleer Güç Santrali: Saha parametreleri raporu*. <https://webim.ndk.gov.tr/file/bf8aec82-4609-45d6-85cc-b3822a1509a9>
- OECD Nuclear Energy Agency. (2008). *Nuclear energy outlook 2008*. OECD Publishing.
- Önder, H. (2020). Bir sürdürülebilir kalkınma hedefi olarak sağlık. *Academia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 6(1), 10–24.
- Özalp, M. (2017). TÜRKİYE’DE NÜKLEER ENERJİ KURULUMUNUN ENERJİDE DIŞA BAĞIMLILIK VE ARZ GÜVENLİĞİNE ETKİSİ. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18(2), 175-188.
- Özdaşlı, E. (2016). Kafkasya’nın Çernobil’i: Metsamor Nükleer Santrali. *Karadeniz Araştırmaları*, (50), 45–64.
- Özemre, A. Y., Bayülken, A., & Gençay, Ş. (2000). 50 Soruda Türkiye’nin “Nükleer Enerji Sorunu”. *İstanbul: Kaknüs Yayınları*.
- Palabıyık, H., Yavaş, H., Aydın M. (2010). *Nükleer enerji ve sosyal kabul*. Usak Yayınları.
- Peker, H. S. (2015). Türkiye’nin enerji arz güvenliği ve ölçülmesi: Türkiye’nin enerji arz güvenliği endeksine yönelik bir uygulama. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 763–783.
- Qudrat-Ullah, H. (2025). The Q-NPT: Redefining nuclear energy governance for sustainability. *Energies*, 18(11), 2784.
- Rosatom Infrastructure Solutions.(RIS) (2025). Tatlı ve Saf Su. Rosatom Newsletter. <https://rosatomnewsletter.com/tr/2025/05/26/such-fresh-and-pure-water/> adresinden 17 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.
- Rosatom. (2021). *Bilgi ve beceri oluşturma*. Rosatom Newsletter. <https://rosatomnewsletter.com/tr/2021/09/27/building-knowledge-and-skills/> adresinden 5 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Sabancı Üniversitesi. (t.y.). *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları*. Sabancı Üniversitesi. <https://cip.sabanciuniv.edu/tr/surdurulebilir-kalkinma-amaclari> adresinden 5 Mayıs 2025 tarihinde alınmıştır.
- Sağlamyürek Taşdemir, S., & Çam, A. V. (2024). TÜRKİYE’DE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI YATIRIM TEŞVİK POLİTİKALARININ OLUŞTURULMASI. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 26(46), 276-301.

- Service des données et études statistiques (SDES). (2025). Énergie | Données et études statistiques. République Française – Ministère de la Transition Écologique <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/energie> adresinden 5 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. (2023). *Türkiye enerji dönüşümü görünümü 2022*. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2023/06/SHURA-2023-04-Rapor-Outlook2022.pdf>
- Smith, J., & Lee, R. (2022). Artificial intelligence applications for social good: Case studies aligned with SDG 10. In K. Thompson & L. Alvarez (Eds.), *AI for inclusive development: Global innovations and use cases* (pp. 210–230). Springer.
- Şahin, A. (2011). Enerji Üretiminde Nükleer Enerji Alternatifi. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası*, 47(1-4).
- Şeker, B. Ş. (2023). The role of nuclear power on energy security. *Akademik Hassasiyetler*, 10(22), 109–134.
- Şengönül, E. (2022). *Enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu çerçevesinde alternatif enerji kaynaklarının önemi: Türkiye örneği*. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- T.C.Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*.
- T.C.Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028)*.
- T.C.Dışişleri Bakanlığı. (t.y.). *Türkiye'nin uluslararası enerji stratejisi*. https://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa adresinden 30 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.
- T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2016). *Türkiye'nin Nükleer Santral Projeleri:Soru-Cevap*. <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/NUPGM/tr/Belgeler/49020-nukleer1.pdf>
- T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2022). *Türkiye Ulusal Enerji Planı*. https://enerjiverimliliği.enerji.gov.tr/template/dist/pdf/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf
- T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2024a). *Elektrik*. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> adresinden 2 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.
- T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2024b). *II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024–2030)*. <https://enerji.gov.tr/evced-enerji-verimliliği-uevep> adresinden 2 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.
- T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2024c). *SENER-24 Ödülleri Sahiplerini Buldu*. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21418> adresinden 2 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.
- T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2024ç). *Uranyum*. <https://enerji.gov.tr/tabii-kaynaklar-uranyum> adresinden 12 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.

- Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü. (2019). *Çölleşmeyle mücadele ulusal stratejisi ve eylem planı (2019-2030)*. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/collesme-ile-mucadele-ulusal-stratejisi-ve-eylem-planı_k-20211111075541.pdf
- Telli, A. (2016). Türkiye'nin nükleer enerji açılımının içerik analizi: Çeşitlendirme mi, teslimiyet mi? *Bilge Strateji*, 8(14), 47–75.
- Tiniş, F. (2019, Ocak 19). *Türkiye'de yapımı süren ve planlanan nükleer santraller* [Sunum]. ODTÜ Mezunları Derneği, Enerji Komisyonu.
- Tiryaki, G., & Çamdalı, Ü. (2024). Bir nükleer güç santralının karşılaştırılmalı maliyet analizi: Akkuyu özelinde. *Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi*, 3(2), 99–111.
- TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası. (2011). *Nükleer Enerji Paneli: 19. Uluslararası Jeofizik Kongresi Bildirileri (23-26 Kasım)*. Ankara: TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayınları.
- TMMOB Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği. (2019). *Akkuyu Nükleer Güç Santrali Güncel Durum Raporu*. Ankara: TMMOB. <https://www.tmmob.org.tr/sites/default/files/akkuyur.pdf>
- Toprak, S., & Dal, S. (2017). Akkuyu Nükleer Güç Santrali maliyet ve fayda analizi. *Energy Policy Turkey*, (4), 85–91.
- Turhan, Ş., Karabacak, H., Erel, Y., Ocak, S., Ünal, S. ve Zengin, T. (2016). Elektron hızlandırıcılarının gıda ışınlaması için değerlendirilmesi.
- Türk Eğitim Derneği (TEDMEM). (2023). *Bir Bakışta Eğitim 2023: Türkiye Üzerine Değerlendirme ve Öneriler*. <https://tedmem.org/storage/writes/November2023/kCGG0xg8T0MwPf7kdfbK.pdf>
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. (2001). *I. Avrasya Nükleer Bilimler ve Uygulamaları Konferansı: 23-27 Ekim 2000, İzmir, Türkiye* (Bildiriler kitabı). Ankara: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2024). *Türkiye elektrik üretim-iletim istatistikleri*. <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> adresinden 6 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.
- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK). (2021). *2022–2026 Stratejik Plan*.
- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu – Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü (TENMAK-NÜKEN). (2025). *Proton Hızlandırıcı Tesisi tanıtım dosyası*. Ankara: TENMAK Yayınları.
- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK). (2025a) *Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü – Gıda Işınlama Uygulamaları*. https://nuken.tenmak.gov.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=1858&Itemid=544&lang=tr adresinden 5 Mayıs 2025 tarihinde alınmıştır.

- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK). (2025b). *2025 yılı hizmet ve işlem bedelleri listesi*. https://www.tenmak.gov.tr/Belgeler/TENMAK_Hizmet_ve_islem_Bedelleri_Listesi.pdf
- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK). (2025c). *TAGEP Destek Programı*. <https://www.tenmak.gov.tr/tagep.html> adresinden 17 Mayıs 2025 tarihinde alınmıştır.
- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK). (2025ç). *TUGEPE Destek Programı*. <https://www.tenmak.gov.tr/destekler.html> adresinden 17 Mayıs 2025 tarihinde alınmıştır.
- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK). (2025d). *TR-2 Araştırma Reaktörü Tesisi*. Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu. <https://nuken.tenmak.gov.tr/tr/tesisler/arastirma-reaktoru.html> adresinden 15 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (TÜİK). (2024a). *Sağlık harcamaları istatistikleri, 2023*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Saglik-Harcamalari-Istatistikleri-2023-53561> adresinden 19 Ağustos 2025 tarihinde alınmıştır.
- Türkiye İstatistik Kurumu.(TÜİK).(2024b). *Araştırma-Geliştirme Faaliyetleri Araştırması, 2023*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Arastirma-Gelistirme-Faaliyetleri-Arastirmasi-2023-> adresinden 25 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Türkiye Nükleer Enerji A.Ş. (TÜNAŞ). (2025). *Eğitim Programları*. <https://www.tunas.gov.tr/tr/kariyer/egitim-programlari> adresinden 5 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025a). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs> adresinden 5 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025b). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/3> adresinden 12 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025c). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/4> adresinden 28 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025ç). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/5> adresinden 28 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025d). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/6> adresinden 28 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025e). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/7> adresinden 28 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025f). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/8> adresinden 30 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025g). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/9> adresinden 30 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025ğ). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/10> adresinden 30 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.

- UN(2025h). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/11> adresinden 30 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025i). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/12> adresinden 30 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN(2025j). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/13> adresinden 30 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN (2025k). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/14> adresinden 30 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN (2025l). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/15> adresinden 1 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN (2025m). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/16> adresinden 1 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.
- UN (2025n). *Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları*, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/17> adresinden 15 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.
- UNDP(2025). Sustainable Development Goals, <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> adresinden 30 Mart 2025 tarihinde alınmıştır
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2024). UNIDO Country Classification: Edition 2024 – Methodological Document. <https://stat.unido.org/portal/storage/file/publications/country-classif-report-2024.pdf>
- United Nations.(1987). *Report of the World Commissions on environment and development:Our common Future*. United Nations. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Usta, C. (2019). *Nükleer enerji tüketimi ve ekonomik performans arasındaki ilişki: Panel veri analizi*. Yüksek lisans tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi.
- Ülgen, S. (Ed.). (2011). *Nükleer enerjiye geçişte Türkiye modeli*. İstanbul: EDAM Yayınları.
- Wikipedia (t.y.). Akkuyu Nükleer Güç Santrali. https://tr.wikipedia.org/wiki/Akkuyu_N%C3%BCkleer_G%C3%BC%C3%A7_Santrali#/media/Dosya:Akkuyu_Nuclear_Power_Plant.jpg adresinden 30 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.
- Women in Nuclear Global (2024). *WiN Global statutes*. <https://win-global.org/wp-content/uploads/2024/05/WiN-Global-Statutes-English.pdf>
- World Bank. (2024). *Five ways the World Bank will achieve Mission 300*. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2024/09/19/five-ways-the-world-bank-will-achieve-mission-300> adresinden 19 Ağustos 2025 tarihinde alınmıştır
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.
- World Economic Forum (2024). *Meeting global climate goals requires a step-change in nuclear investment*. World Economic Forum.

<https://www.weforum.org/stories/2024/11/meeting-global-climate-goals-requires-a-step-change-in-nuclear-investment/> adresinden 30 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

World Health Organization (WHO) ve United Nations Children's Fund (UNICEF). (2024). *Water, sanitation, hygiene, environmental cleaning and waste management in health care facilities: 2023 data update and special focus on primary health care*. Geneva: WHO and UNICEF.

World Health Organization (WHO), World Bank, Sustainable Energy for All (SEforALL) & International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). *Energizing health: Accelerating electricity access in health-care facilities*. Geneva: World Health Organization. https://www.seforall.org/system/files/2023-01/energizing_health.pdf

World Nuclear Association (WNA). (2021). *Nuclear's Contribution to Achieving the UN Sustainable Development Goals*. Londra: WNA.

World Nuclear Association.(WNA).(2024a). Nuclear Power in the USA. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/usa-nuclear-power> adresinden 19 Ağustos 2025 tarihinde alınmıştır.

World Nuclear Association (WNA).(2024b). Nuclear desalination. <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/industry/nuclear-desalination> adresinden 19 Ağustos 2025 tarihinde alınmıştır.

World Nuclear Association(WNA).(2024c). Thorium. <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/thorium> adresinden 12 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.

World Nuclear Association (WNA). (2024ç). Nuclear power in Turkey. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/turkey> adresinden 15 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.

World Nuclear Association (WNA). (2025a). World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements. <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme> adresinden 20 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.

World Nuclear Association (WNA). (2025b) World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements. <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/nuclear-generation-by-country> adresinden 30 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.

World Nuclear Association (WNA). (2025c). Nuclear Power in China. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power> adresinden 30 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.

World Nuclear Association (WNA). (2025ç). Nuclear Power in France. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france> adresinden 30 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.

World Nuclear Association (WNA). (2025d). Financing nuclear energy. <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/financing-nuclear-energy> adresinden 17 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.

- World Nuclear Association (WNA). (2025e). Nuclear Power Reactors. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors> adresinden 30 Nisan 2025 tarihinde alınmıştır.
- Yardım, B. (2022). “Nükleer güç santrali projelerine ilişkin uyuşmazlıkların çözümünde tahkim.” *Ankara Barosu Dergisi*, 80(2), 39–99.
- Yarman, T. (2011). *Geçmişte ve bugün nükleer enerji tartışması*. Okan Üniversitesi Yayınları.
- Yıldırım, B. (2018). Yenilenebilir Enerjiye Dayalı Elektrik Üretim Santrallerinin Maliyeti. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 14(3), 10-19.
- Yıldırım, M., & Örnek, İ. (2007). Enerjide son seçim: Nükleer enerji. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(1), 32–44.
- Yıldız, B. (2020). *Avrupa Birliği’nin enerji politikası ve enerji arz güvenliği ekseninde Türkiye’nin rolü* (doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Avrupa Birliği Anabilim Dalı.
- Yılmaz, M. (2015). GÜVENLİK VE EKONOMİK BOYUTUYLA NÜKLEER ENERJİ TARTIŞMALARI: AKKUYU NÜKLEER SANTRALİ ÖRNEĞİ. *Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 39(1), 227–245.
- Yükseköğretim Genel Müdürlüğü. (2024). 2024 YLSY Tercih Tablosu. Millî Eğitim Bakanlığı.
- Yüksel, A. N. (2009). TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi: Kapsamı ve hedefleri. Ankara: Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu. https://indico.cern.ch/event/67826/attachments/1022380/1455420/CERNTR_Sunum_Alper.pdf

EK 1. ORJİNALLIK RAPORU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-15
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.12.2023
	FRM-YL-15 Yüksek Lisans Tezi Orijinallik Raporu <i>Master's Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MALİYE ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA
Tarih: 19/09/2025
Tez Başlığı (Türkçe): Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifinde Türkiye’de Nükleer Enerjinin Rolü ve Önemi Yukarıda başlığı verilen tezin a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 132 sayfalık kısmına ilişkin, 17/09/2025 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 7’dir. Uygulanan filtrelemeler*: 1. ☒ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç 2. ☒ Kaynakça hariç 3. ☒ Alıntılar hariç 4. ☐ Alıntılar dâhil 5. ☒ 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları’nı inceledim ve bu Uygulama Esasları’nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tezin herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim. Gereğini saygılarımla arz ederim. Merve VARLIK

Öğrenci Bilgileri	Ad-Soyad	Merve VARLIK
	Öğrenci No	N22135198
	Enstitü Anabilim Dalı	Maliye
	Programı	Maliye Yüksek Lisans

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.
Prof. Dr. Ahmet Burçin YERELİ

* Tez **Almanca** veya **Fransızca** yazılıyor ise bu kısımda tez başlığı **Tez Yazım Dilinde** yazılmalıdır.

**Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları İkinci bölüm madde (4)/3’te de belirtildiği üzere: Kaynakça hariç, Alıntılar hariç/dâhil, 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 5 words) filtreleme yapılmalıdır.

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-15
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.12.2023
	FRM-YL-15 Yüksek Lisans Tezi Orijinallik Raporu <i>Master's Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

TO HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
DEPARTMENT OF PUBLIC FINANCE

Date: 19/09/2025

Thesis Title (In English): The Role and Importance of Nuclear Energy in Turkey in the Perspective of Sustainable Development

According to the originality report obtained by my thesis advisor by using the Turnitin plagiarism detection software and by applying the filtering options checked below on 17/09/2025 for the total of 132 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, and d) Conclusion sections of my thesis entitled above, the similarity index of my thesis is 7%.

Filtering options applied**:

- ☒ Approval and Declaration sections excluded
- ☒ References cited excluded
- ☒ Quotes excluded
- ☐ Quotes included
- ☒ Match size up to 5 words excluded

I hereby declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Social Sciences Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

Kindly submitted for the necessary actions.

Merve VARLIK

Student Information	Name-Surname	Merve VARLIK
	Student Number	N22135198
	Department	Public Finance
	Programme	Master's in Public Finance

SUPERVISOR'S APPROVAL

APPROVED
Prof. Dr. Ahmet Burçin YERELİ

**As mentioned in the second part [article (4)/3] of the Thesis Dissertation Originality Report's Codes of Practice of Hacettepe University Graduate School of Social Sciences, filtering should be done as following: excluding reference, quotation excluded/included, Match size up to 5 words excluded.

EK 2. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu <i>Form No.</i>	FRM-YL-09
		Yayın Tarihi <i>Date of Pub.</i>	22.11.2023
	FRM-YL-09 Yüksek Lisans Tezi Etik Kurul Muafiyeti Formu <i>Ethics Board Form for Master's Thesis</i>	Revizyon No <i>Rev. No.</i>	02
		Revizyon Tarihi <i>Rev. Date</i>	25.01.2024

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MALİYE ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA
Tarih: 19/09/2025
Tez Başlığı (Türkçe): Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifinde Türkiye'de Nükleer Enerjinin Rolü ve Önemi Yukarıda başlığı verilen tez çalışmam: 1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır. 2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir. 3. Beden bütünlüğüne veya ruh sağlığına müdahale içermemektedir. 4. Anket, ölçek (test), mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme gibi teknikler kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen araştırma niteliğinde değildir. 5. Diğer kişi ve kurumlardan temin edilen veri kullanımını (kitap, belge vs.) gerektirmektedir. Ancak bu kullanım, diğer kişi ve kurumların izin verdiği ölçüde Kişisel Bilgilerin Korunması Kanuna riayet edilerek gerçekleştirilecektir. Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kuruldan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim. Gereğini saygılarımla arz ederim. Merve VARLIK

Öğrenci Bilgileri	Ad-Soyad	Merve VARLIK
	Öğrenci No	N22135198
	Enstitü Anabilim Dalı	Maliye
	Programı	Maliye Yüksek Lisans

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.
Prof. Dr. Ahmet Burçin YERELİ

* Tez **Almanca** veya **Fransızca** yazılıyor ise bu kısımda tez başlığı **Tez Yazım Dilinde** yazılmalıdır.

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu <i>Form No.</i>	FRM-YL-09
		Yayın Tarihi <i>Date of Pub.</i>	22.11.2023
	FRM-YL-09 Yüksek Lisans Tezi Etik Kurul Muafiyeti Formu <i>Ethics Board Form for Master's Thesis</i>	Revizyon No <i>Rev. No.</i>	02
		Revizyon Tarihi <i>Rev.Date</i>	25.01.2024

HACETTEPE UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES DEPARTMENT OF PUBLIC FINANCE
Date: 19/09/2025
ThesisTitle (In English): The Role and Importance of Nuclear Energy in Turkey in the Perspective of Sustainable Development My thesis work with the title given above: 1. Does not perform experimentation on people or animals. 2. Does not necessitate the use of biological material (blood, urine, biological fluids and samples, etc.). 3. Does not involve any interference of the body's integrity. 4. Is not a research conducted with qualitative or quantitative approaches that require data collection from the participants by using techniques such as survey, scale (test), interview, focus group work, observation, experiment, interview. 5. Requires the use of data (books, documents, etc.) obtained from other people and institutions. However, this use will be carried out in accordance with the Personal Information Protection Law to the extent permitted by other persons and institutions. I hereby declare that I reviewed the Directives of Ethics Boards of Hacettepe University and in regard to these directives it is not necessary to obtain permission from any Ethics Board in order to carry out my thesis study; I accept all legal responsibilities that may arise in any infringement of the directives and that the information I have given above is correct. I respectfully submit this for approval. Merve VARLIK

Student Information	Name-Surname	Merve VARLIK
	Student Number	N22135198
	Department	Public Finance
	Programme	Master's in Public Finance

SUPERVISOR'S APPROVAL

APPROVED

Prof. Dr. Ahmet Burçin YERELİ