

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ ENERJİ SANTRALLERİ VE RİSK
DEĞERLENDİRMELERİ



YÜKSEK LİSANS

Büşra ÇİMEN ÜNAL

OCAK-2025
GÜMÜŞHANE



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

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ ENERJİ SANTRALLERİ VE RİSK
DEĞERLENDİRMELERİ**

**ENERGY POWER PLANTS AND RISK ASSESSMENTS IN TURKEY AND
WORLDWIDE**

YÜKSEK LİSANS

Büşra ÇİMEN ÜNAL

**OCAK-2025
GÜMÜŞHANE**



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

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ ENERJİ SANTRALLERİ VE RİSK
DEĞERLENDİRMELERİ**

**ENERGY POWER PLANTS AND RISK ASSESSMENTS IN TURKEY AND
WORLDWIDE**

YÜKSEK LİSANS

Büşra ÇİMEN ÜNAL

Danışman: Prof. Dr. Necati ÇELİK

**OCAK-2025
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Türkiye ve Dünyadaki Enerji Santralleri ve Risk Değerlendirmeleri**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmalarını kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

03/01/2025

.....
Büşra ÇİMEN ÜNAL

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıŐtır.

ÇalıŐmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Prof. Dr. Necati ÇELİK' e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Tüm çalıŐmalarım aşamasında hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyip yanımda olan değerli ailem' e yanımda olan ve her an yardımına koŐan, sıkıntılarımı ve mutluluğumu paylaŐtıđım, yol arkadaŐım, sevgili eŐim, Kasım ÜNAL' a TeŐekkürlerimi sunarım.

Büşra ÇİMEN ÜNAL
GÜMÜŞHANE – 2025

ÖZET

Dünya çapında yaklaşık 450 reaktör, çeşitli ülkelere nükleer güç sağlıyor ve dünya elektriğinin yaklaşık %10'unu ve yine dünya genelinde toplam enerjinin %4'ünü sağlıyor. Ancak bazı ülkeler temiz bir enerji kaynağı olarak nükleere yönelirken, nükleer enerji üretimi genel olarak 1990'lardaki zirvesinden bu yana yavaşlama oldu. Güç Reaktörü Bilgi Sisteminden (PRIS) alınan verileri kullanarak 2020'de ülkelere göre nükleer elektrik üretimini ayrıntılı olarak göstermektedir. Sadece 15 ülke, küresel nükleer enerji üretiminin %91'inden fazlasını oluşturmaktadır. Toplam elektrik üretimi üst düzey bir küresel karşılaştırma için faydalı olsa da, elektrik üretiminde nükleer güç santralleri hala önemli bir parçayı oluşturmaktadır. Rüzgâr ve güneş, dünyadaki elektriğin onda birinden fazlasını üretiyor. Birlikte ele alındığında, bunlar kömür, gaz ve hidroelektrikten sonra dördüncü en büyük elektrik kaynağıdır. Geçen yılki COP26 (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansında, 40 ülke kömürü enerji karışımlarından çıkarmayı kabul etti. Buna rağmen, 2021'de kömürle çalışan elektrik üretimi küresel olarak tüm zamanların yüksek seviyelerine ulaştı ve bu da kömürü enerji karışımından çıkarmanın basit bir iş olmayacağını göstermektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından sağlanan verileri kullanan Ember tarafından yapılan bir analize dayalı olarak, 2050 yılına kadar net sıfır hedeflerine ulaşmak için gerekli olacak kömür enerjisinin agresif bir şekilde aşamalı olarak durdurulmasını göstermektedir. Bu çalışmada Türkiye ve dünyadaki enerji santrallerinin türleri ve yaygınlıkları ile bu santrallerin çevresel ve insani risklerini değerlendirmektir. Termik santraller, nükleer güç santralleri ve güneş panellerinin enerji üretim kapasiteleri ve çevresel etkileri karşılaştırılacaktır. Ayrıca, bu enerji santrallerinde geçmişte yaşanan kazaların nedenleri ve sonuçları incelenerek, gelecekteki risklerin azaltılmasına yönelik öneriler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik üretimi, İSG, Nükleer enerji

SUMMARY

Around 450 reactors worldwide supply nuclear power to various countries and provide about 10% of the world's electricity and 4% of the total energy worldwide. But while some countries are turning to nuclear as a clean energy source, nuclear power generation overall has seen a slowdown since its peak in the 1990s. It details nuclear electricity generation by country in 2020 using data from the Power Reactor Information System (PRIS). Only 15 countries account for more than 91% of global nuclear energy production. Although total electricity generation is useful for a high-level global comparison, nuclear power plants still form an important part of electricity generation. Wind and sun produce more than a tenth of the world's electricity. Taken together, they are the fourth largest source of electricity after coal, gas and hydropower. At last year's COP26 (United Nations Climate Change Conference) conference, 40 countries agreed to remove coal from their energy mixes. Despite this, coal-fired electricity generation globally reached all-time highs in 2021, suggesting that removing coal from the energy mix will not be a simple task. Based on an analysis by Ember using data provided by the International Energy Agency (IEA), it shows an aggressive phasing out of coal power that will be needed to reach net zero targets by 2050. This study aims to evaluate the types and prevalence of power plants in Turkey and the world, as well as the environmental and human risks of these plants. The energy production capacities and environmental effects of thermal power plants, nuclear power plants and solar panels will be compared. In addition, the causes and consequences of past accidents in these power plants will be examined and suggestions for reducing future risks will be presented.

Keywords: Electricity generation, OHS, Nuclear energy

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLOLAR DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
1.GİRİŞ	1
1.1.Termik Santraller.....	1
1.2.Nükleer Güç Santralleri.....	4
1.3.Güneş Enerjisi	13
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1.Türkiye’de Ve Dünyada Bulunan Enerji Üreten Santraller.....	16
2.1.1.Türkiye ve Dünyadaki Termik santraller	16
2.1.2.Türkiye ve dünyadaki nükleer güç santralleri.....	29
2.1.3.Bir Nükleer Güç Santralinde Üretilen enerji Miktarının, Termik Santrallerde Üretilen Enerji Miktarı ile Kıyaslanması.....	31
2.1.4.Türkiye ve dünyadaki güneş panelleri	33
2.2.Enerji üreten santral kazaları.....	34
2.2.1.Termik Santral kazaları	35
2.2.2.Nükleer güç Santral kazaları	39
2.2.3Güneş Panellerinin Çevreye olan etkileri.....	45
3.BULGULAR.....	48
4.SONUÇ VE YORUM	50
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	62

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Türkiye'deki kömür ve linyit yakıtlı termik santraller profili (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).....	17
Tablo 2. Türkiye'nin ilk 10 büyük santrali (TEİAŞ, 2023).	17
Tablo 3. Üretim lisansı alan kömür ve linyit yakıtlı termik santraller (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).....	20
Tablo 4. Planlanan kömür ve linyit yakıtlı termik santraller (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).....	21
Tablo 5. Termik santral kazaları sonucu atmosfere salınan CO ve CO2 (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2023).....	36
Tablo 6. Termik santral kazaları sonucu açığa çıkan ağır metaller	37
Tablo 7. Iyot-131, Sezyum-137 ve Stronsiyum-90 atmosfere yayılım ve etkileri (UNSCEAR, 2000).....	43
Tablo 8. Radyonüklitler yarı ömür süreleri ve sağlığa etkileri (UNSCEAR, 2014).	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Nükleer enerji santrali şeması (Enerjiday , 2024).....	5
Şekil 2. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkileri (AFAD , 2024).....	10
Şekil 3.Yapım aşamasındaki kömür ve linyit yakıtlı termik santraller (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).....	19
Şekil 4.Ön lisans alan kömür ve linyit yakıtlı termik santraller (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).....	20
Şekil 5. Nükleer enerjinin bugünkü durumu(World Nuclear Association, 2022).	31
Şekil 6. Fukuşima nükleer santral kazası (T.C. İçişleri Bakanlığı AFAD).....	40
Şekil 7. Çernobil nükleer santral kazası (Arkeofili, 2019).....	41

1. GİRİŞ

Enerji, modern dünyanın temel taşıdır ve insanlık tarihi boyunca, toplumların gelişimi için vazgeçilmez bir kaynak olmuştur. Enerji, sanayiden ulaşıma, ev kullanımından tarıma kadar her alanda hayati öneme sahiptir. Dünya genelinde enerjiye olan ihtiyaç, nüfus artışı ve ekonomik büyüme ile birlikte sürekli olarak artmaktadır. Enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte, enerji üretim yöntemlerinde ve bu yöntemlerin çevresel etkilerindeki önemli değişiklikler dikkat çekmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için ise farklı enerji kaynakları ve üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tezde, Türkiye ve dünyadaki farklı enerji santralleri ve bu santrallerin riskleri ele alınacaktır.

Dünyada en yaygın kullanılan enerji kaynakları arasında kömür, doğal gaz, petrol, hidroelektrik, nükleer ve güneş enerjisi yer almaktadır. Her bir enerji kaynağının kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar bol miktarda enerji üretebilmelerine rağmen, hava kirliliği ve sera gazı emisyonları gibi çevreye önemli zararlar vermektedirler (IPCC, 2021). Hidroelektrik enerji ise temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır, ancak baraj yapımı gibi bazı çevresel etkileri olabilir (IEA, 2023). Nükleer enerji yüksek enerji yoğunluğuna sahip bir kaynak olmasına rağmen, Çernobil ve Fukushima gibi kazalar gibi riskler de taşımaktadır (World Nuclear Association, 2024). Güneş enerjisi ise temiz ve yenilenebilir bir kaynak olmasının yanı sıra, depolama sorunu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır (IRENA, 2024).

Sonuç olarak, enerji üretim yöntemlerinin çevre üzerindeki etkisinin önemli bir konu olduğu açıktır. Bu nedenle, çevreyi koruyarak ve sürdürülebilir bir şekilde enerji üretimi gerçekleşmesi için hem bireysel hem de küresel düzeyde çabalara ihtiyaç vardır (Karaca, 2019; Tekel, 2006).

1.1. Termik Santraller

Termik santraller, fosil yakıtları kullanarak genellikle kömür, petrol veya doğalgazla elektrik üreten tesislerdir. Bu santraller, yakıtın yanmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisini kullanarak bir buhar türbini döndürür. Buhar türbini, bir jeneratör aracılığıyla mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Termik santraller, Türkiye ve dünyada en yaygın kullanılan enerji üretim yöntemlerinden biridir (IEA, 2022). Ancak, bu santrallerin çevresel etkileri ve karbon emisyonları nedeniyle eleştirildiği bilinmektedir. Termik santrallerden çıkan emisyonlar, hava kirliliğine ve asit yağmuruna neden

olmaktadır. Bu durum, solunum yolu hastalıkları ve kalp hastalıkları gibi sağlık sorunlarına yol açabilir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023). Yakıtların yanması sırasında atmosfere sera gazları ve diğer kirleticiler yayılır. Sera gazları, küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olmaktadır (IPCC, 2021). Bu nedenle, sürdürülebilir bir enerji üretimine geçiş ve enerji verimliliği önlemleri, termik santrallerin yerini almaya başlamıştır. Ancak, bazı modern termik santraller, çevresel etkileri azaltmaya yönelik daha temiz teknolojiler ve filtreleme sistemleri gibi yenilikçi çözümler geliştirmeye çalışmaktadır (Tekel, 2006).

Termik santrallerin çevreye ve insan sağlığına birçok olumsuz etkisi olmasına rağmen, bazı avantajları da bulunmaktadır. Termik santrallerin kurulum ve işletme maliyetleri, diğer enerji santrallerine kıyasla daha düşüktür. Bu durum, termik santrallerden üretilen elektriğin daha ucuz olmasını sağlar (OECD, 2015). Hava koşullarından etkilenmeden 7/24 elektrik üretebilme kapasitesine sahiptir. Bu durum, enerji arz güvenliği açısından önemli bir avantajdır (IEA, 2022). Ayrıca, termik santrallerin inşası ve faaliyete geçişi diğer enerji santrallerine kıyasla daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu durum, acil enerji ihtiyacının karşılanması için önemli bir avantaj olabilir (IRENA, 2023). Termik santraller, elektrik üretiminin yanı sıra, ısınma ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için de kullanılabilir. Bu durum, özellikle şehirlerde enerji tasarrufu ve konfor sağlanmasına katkıda bulunabilir (Bakanlıklar arası Komisyon, 2011).

Dünya genelinde elektrik üretimi için en yaygın kullanılan yöntem termik santrallerdir. Bu santraller, fosil yakıtları (kömür, doğal gaz, petrol) yakarak elektrik üretirler. Termik santrallerin en çok kullanıldığı ülkeler arasında ABD, AB ülkeleri ve Çin gelmektedir. Son yıllarda ABD ve AB ülkelerinde birçok kömür yakıtlı termik santral kapatılırken, yenilerinin kurulması durumunun az olması nedeniyle dünya genelinde bu tür santrallerin sayısında kısmi bir azalma görülmüştür (IEA, 2023). Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ülkelerine bakıldığında da 2011 yılı itibariyle kömüre dayalı enerji kapasitelerinin düştüğünü görebiliriz (OECD/IEA, 2015). Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2023 yılı raporuna göre, kömürden üretilen elektrik üretiminin 2022 yılında %35'ten %32'ye düştüğü ve bu düşüşün önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmektedir (IEA, 2023).

Türkiye'de ise elektrik enerjisi üretimine en fazla katkısı olan sistemler arasında hala termik santrallere rastlamaktayız. 2022 yılı itibariyle Türkiye'de toplam kurulu elektrik üretim gücü 89,184 MW'dır. Bu gücün %48,8'i kömür, %33,2'si doğal gaz, %15,5'i hidroelektrik, %1,7'si rüzgar ve %0,8'i güneş enerjisinden üretilmektedir

(EPDK, 2023). Son dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme eğilimi olsa da buna rağmen termik santraller hala önemli bir paya sahiptir.

Termik santraller, enerji üretiminde önemli bir rol oynasalar da, inşaat ve işletme aşamalarında çeşitli tehlikelere ev sahipliği yapmaktadır. Bu çalışmada, termik santrallerde iş güvenliği ve sağlığı açısından var olan tehlike kaynakları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. İnşaat aşamasında çalışanlar, yüksekte çalışma, kapalı alanlarda çalışma, malzemelerin elle taşınması ve kimyasallara maruz kalma gibi risklerle karşı karşıyadır. İşletme aşamasında ise yangınlar, patlamalar, elektrik çarpması ve gürültü kirliliği en önemli tehlikeler arasında yer almaktadır. Bu tehlikelerin her biri, çalışanlar ve çevre için ciddi sağlık sorunlarına ve kazalara yol açabilir. Bu çalışmada, her bir tehlike kaynağı ayrıntılı olarak açıklanmış, risk değerlendirme ve kontrol önlemleri tartışılmış ve termik santrallerde iş güvenliği ve sağlığını geliştirmeye yönelik öneriler sunulmuştur.

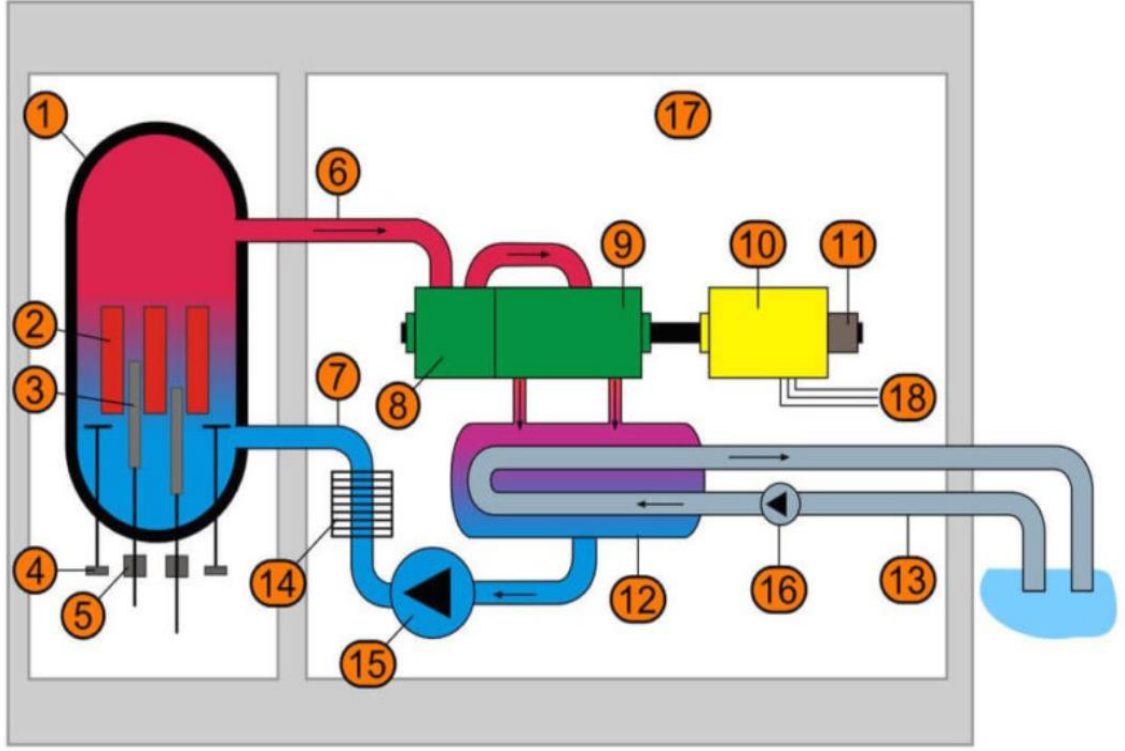
İnşaat aşamasında çalışanlar, yüksek platformlarda ve iskelelerde çalışma zorunda kalabilirler. Bu durum, düşme ve yaralanma riskini önemli ölçüde artırmaktadır (İş Güvenliği ve Sağlığı Yönetmeliği, Madde 142). Kazı ve tünel inşaatı gibi bazı faaliyetler kapalı alanlarda gerçekleştirilmektedir. Bu alanlarda oksijen eksikliği, zehirli gazlar ve çökme riski gibi tehlikeler bulunmaktadır (İş Güvenliği ve Sağlığı Yönetmeliği, Madde 143). Ağır ve hacimli malzemelerin manuel olarak taşınması, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına ve kazalara yol açabilir (İş Güvenliği ve Sağlığı Yönetmeliği, Madde 144). İnşaatlarda kullanılan bazı malzemeler ve kimyasallar, cilt tahrişi, solunum yolu hastalıkları ve diğer sağlık sorunlarına neden olabilir (İş Güvenliği ve Sağlığı Yönetmeliği, Madde 145). Bunun yanı sıra, termik santrallerde yangın çıkma riski yüksektir. Özellikle kömür tozu, yağ ve gazlar yangın riskinin artmasına neden olan temel faktörlerdir. Yangınlar, çalışanlar ve çevre için ciddi tehlike oluşturmaktadır (TMMOB, 2017). Kazanlarda ve diğer ekipmanlarda yüksek basınç ve sıcaklık kullanımı, patlama riskini beraberinde getirmektedir. Patlamalar, büyük çaplı hasara ve can kaybına yol açabilir (TMMOB, 2017). Termik santrallerde yüksek voltajlı elektrik sistemleri kullanılmaktadır. Elektrik çarpması, çalışanlar için ölümcül olabilecek ciddi bir tehlikedir (TMMOB, 2017). Türbinler, jeneratörler ve diğer ekipmanlardan kaynaklanan gürültü, işitme kaybı ve diğer sağlık sorunlarına yol açabilir (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2019).

Termik santrallerde iş güvenliği ve sağlığını korumak için, risk değerlendirme çalışmaları düzenli olarak yapılmalıdır. Bu çalışmalarda, her bir iş istasyonundaki tehlikeler belirlenmeli ve riskler analiz edilmelidir. Risklerin seviyesine göre uygun

kontrol önlemleri alınmalıdır. Kontrol önlemleri, teknik önlemleri, idari önlemleri ve kişisel koruyucu ekipman kullanımını içerebilir. Termik santrallerde çalışanlara iş güvenliği ve sağlığı eğitimleri düzenli olarak verilmelidir.

1.2. Nükleer Güç Santralleri

Nükleer Güç Santralleri (NGS), elektrik üretiminde kritik bir rol oynayan ve nükleer fisyon veya füzyon gibi reaksiyonları kullanarak enerji üreten özel tesislerdir. Bu santraller, şekil 1 de gösterilen nükleer enerji santrali şemasında kontrol altında tutulan radyoaktif malzemelerin nükleer reaksiyonları aracılığıyla ısı üretir ve bu ısı, mekanik işlemlerden geçirilerek elektrik enerjisine dönüştürülür (World Nuclear Association, 2021). Nükleer güç santrallerinin çevre dostu olarak kabul edilmesinin sebebi, karbon salınımı yapmadan elektrik üretebilme kapasitesidir. Ayrıca, birim madde başına yüksek enerji üretimi ve kesintisiz elektrik akışı sağlama yetenekleri de önemli avantajlardır (International Atomic Energy Agency, 2020). Ancak, nükleer enerjinin çevresel riskleri ve nükleer atık yönetimi gibi ciddi sorunları bulunmaktadır. Nükleer reaksiyonlar sırasında oluşan radyoaktif atıklar, uzun süre tehlikeli kalabilir ve uygun şekilde yönetilmezse çevreye ve insan sağlığına zarar verebilir (Environmental Protection Agency, 2019). Nükleer güç santrallerinde meydana gelebilecek kazaların potansiyel riski, nükleer enerjinin hem çevresel hem de güvenlik açısından tartışmalı olmasına neden olmaktadır (Nuclear Energy Institute, 2018).



- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Reaktör basınç kabı | 10. Jeneratör |
| 2. Nükleer yakıt elemanı | 11. Eksantrik |
| 3. Kontrol çubukları | 12. Kondenser |
| 4. Devridaim pompaları | 13. Soğutucu |
| 5. Kontrol çubuğu sürücüsü | 14. Ön ısıtıcı |
| 6. Buhar | 15. Beslenme suyu pompası |
| 7. Besleme suyu | 16. Soğuk su pompası |
| 8. Yüksek basınçlı türbin | 17. Beton muhafaza |
| 9. Düşül basınçlı türbin | 18. Elektrik şebekesine bağlantı |

Şekil 1. Nükleer enerji santrali şeması (Enerjiday , 2024).

Nükleer enerji, atom çekirdeğinin parçalanması yoluyla elde edilen güçlü bir enerji kaynağıdır ve doğanın güçlerini kontrol etme yolunda önemli bir adım olarak görülür. İklim değişikliğiyle mücadelede önemli katkılar sağlayan nükleer enerji, sera gazı salınımlarını azaltmasıyla bilinir ve uzun vadeli enerji politikaları için büyük önem taşır (United Nations, 2019). Nükleer enerjinin risk algılamaları, özellikle nükleer kazaların çevresel ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle önemlidir. Bu yüzden, nükleer enerjinin kullanımı sırasında güvenlik önlemlerinin sıkı bir şekilde uygulanması gerekmektedir (International Nuclear Safety Group, 2017). Teknolojinin güvenli ve etkin kullanımı için yatırımların maliyetli ve zaman alıcı olması, maliyetlerin

dikkate alınmasını gerektiren önemli bir faktördür. Nükleer enerji projelerinin finansmanı, genellikle yüksek maliyetleri nedeniyle ulusal ve uluslararası düzeyde önemli bir konu olarak ele alınır (World Bank, 2021). Radyoaktif atıkların yönetimi de büyük bir sorundur; bu atıkların etkisiz hale getirilmesi ve uzun süreli depolanması gerektiğinden, çevresel ve sosyal etkilerin dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir (Nuclear Waste Management Organization, 2020). Sonuç olarak, nükleer enerji, olumlu ve olumsuz yönleriyle tartışmalı bir konudur.

Nükleer enerjinin olumlu yönleri, temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmesi ve iklim değişikliğiyle mücadeleye katkıda bulunmasıdır (International Energy Agency [IEA], 2020). Diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha yüksek verimlilik sunar ve düzenli üretim yapabilme kapasitesine sahiptir (World Nuclear Association [WNA], 2019). Nükleer enerjinin kullanımı, enerji ihtiyacının karşılanmasını ve enerji bağımlılığının azaltılmasını mümkün kılar (United Nations [UN], 2018). Ayrıca, bu teknoloji sayesinde doğal kaynakların aşırı kullanımının etkileri azaltılmaktadır (Smith, 2017).

Nükleer enerjinin olumsuz yönleri arasında, potansiyel nükleer kazaların büyük çevresel ve insan sağlığı riskleri oluşturması yer alır (Doe, 2016). Nükleer santrallerin güvenliği konusundaki şüpheler nedeniyle, güvenlik önlemlerinin sıkı bir şekilde uygulanması gerekmektedir (Nuclear Regulatory Commission [NRC], 2019). Nükleer enerji projelerinin yüksek maliyetleri ve finansmanı da önemli zorluklar arasındadır (Johnson, 2015). Radyoaktif atıkların yönetimi ve depolanması ciddi bir sorun olup, bu atıkların etkisiz hale getirilmesi ve uzun süreli depolanması maliyetli ve zaman alıcıdır (Environmental Protection Agency [EPA], 2020). Ayrıca, nükleer enerjinin terör saldırılarına maruz kalma riski de göz önünde bulundurulmalıdır (Taylor, 2018).

Sonuç olarak, nükleer enerji insanlığın enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, bu teknolojinin kullanımı sırasında iş güvenliği ve sağlığı önlemlerinin sıkı bir şekilde uygulanması ve çevresel ve sosyal etkilerin dikkatlice değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Moralı, 2004; Palabıyık vd., 2010).

Nükleer enerji iki temel süreçten, yani füzyon ve fisyon olmak üzere, elde edilebilir. Füzyon, hidrojen elementlerinin tepkimesi sonucu oluşan döteryum ve trityum gibi izotopların birleşmesiyle açığa çıkan enerji ile gerçekleşir (Peluso et al., 2023). Bu süreç, yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleşir ve büyük miktarda enerji üretir. Füzyon enerjisinin pratik uygulamalarına yönelik araştırmalar, dünyanın en büyük füzyon reaktörü olan ITER (Uluslararası Termonükleer Deneysel Reaktörü) gibi projeler aracılığıyla devam etmektedir. (IAEA, 2024)

Döteryum-trityum füzyon reaksiyonu, $1,5 \times 10^8$ K (Kelvin) [(yaklaşık 13 keV (kiloelektronvolt)] sıcaklıkta yüksek bir termodinamik kendiliğindenlik ($\Delta G = -16.0$ MeV (megaelektronvolt)) sergiler ve reaktivitesi $10^{-22} \frac{m^3}{s}$ mertebesindedir. Bu değerler, füzyon reaktörlerinin çalışması için gerekli olan trityum yanma oranını sağlamaya ve net enerji üretimini mümkün kılmaya yeterlidir (Tosti, 2023). Bu süreçte, nükleer silah üretiminde etkili olmaz ve çevreye zarar vermez. Sonuç olarak, nükleer füzyonun çevresel etkileri iş güvenliği tedbirleri alınması ile beraber , geleneksel fosil yakıtlara ve nükleer fisyon reaktörlerine kıyasla çok daha düşük kabul edilir. Fisyon ise uranyum ve toryum gibi ağır çekirdeklerin parçalanması ile daha hafif çekirdeklere dönüşmesi ve bunun sonucunda enerji açığa çıkması olayıdır ve enerji üretimi için farklı aşamalardan geçer. Nükleer enerji, bir milyon kilowatt güce karşılık gelen yüksek bir enerji açığa çıkarabilir. Nükleer enerjinin hem avantajları hem de dezavantajları vardır ve bu nedenle çevre ve toplumun çıkarları göz önünde bulundurularak en uygun enerji politikalarının belirlenmesi önemlidir (Yarman, 2011).

Füzyon, hidrojen gibi bol miktarda doğal kaynakların kullanılmasıyla gerçekleşirken, fisyon sınırlı doğal kaynakların kullanılmasını gerektirir. Fisyon, kullanılan yakıt ve malzemelerin ısı, kinetik ve elektrik enerjisine dönüştürülerek verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Öyle ki, 5,25 gram ^{235}U çekirdeğinin fisyonla uğraması sonucu açığa çıkan enerji miktarı 18 ton kömürün yanması sonucu açığa çıkan enerji ile eşdeğerdir. Bu nedenle, nükleer enerji düşük maliyetli ve yüksek verimli bir kaynak olarak görülebilir (Moralı, 2004; Yülek, 1994). Füzyon enerjisi, düşük seviyede yan ürün ve radyoaktif atık üretmesi ile dikkat çeker. Ancak, füzyon teknolojisi henüz tam anlamıyla gelişmemiş olduğundan, ticari ölçekli enerji üretimi gerçekleştirilememiştir. Araştırmalar ve teknolojik gelişmeler devam etmektedir. Özellikle ITER gibi uluslararası projeler, füzyon enerjisinin pratik uygulamalarını ve net enerji kazancını gerçekleştirmek için çalışmaktadır (Tosti, 2023) .

Nükleer enerjinin avantajlarının yanı sıra, güvenlik ve atık yönetimi gibi önemli riskleri de göze almak gerekmektedir. Nükleer kazalar, çevre felaketlerine ve sağlık sorunlarına neden olabilir. Ayrıca, nükleer atıkların uzun yıllar boyunca depolanması ve etkisizleştirilmesi zorluklarla doludur. Dolayısıyla, nükleer enerjinin sağladığı avantajlar, riskler ve çevresel sorunlar dikkate alınarak önemli bir dengeyi gerektirir. Nükleer enerji, sürdürülebilir ve güçlü bir kaynak olarak kabul edilirken, potansiyel riskleri de göz önünde bulundurulması gereken bir enerji kaynağıdır. Nükleer enerjinin temel iki yöntemi olan füzyon ve fisyon, kaynakların kullanımı ve radyoaktif atık üretimi açısından farklı özelliklere sahiptir. Fisyon, uranyum ve plütonyum gibi ağır

elementlerin bölünmesi yoluyla enerji üretirken, füzyon, hafif elementlerin birleşmesiyle enerji üretir ve daha az radyoaktif atık üretir (Moralı, 2004). Enerji politikalarının belirlenmesinde, sadece nükleer enerjinin verimli ve uygun maliyetli olması değil, aynı zamanda çevresel ve toplumsal etkilerin de göz önünde bulundurulması gerekir. Nükleer enerjinin çevresel etkileri, özellikle uzun yarı ömürlü atıkların yönetimi ve çevre dostu reaktörlerin geliştirilmesi gerekliliği açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, nükleer teknolojinin tıbbi, tarımsal ve endüstriyel uygulamaları da çevresel denge ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından dikkatle değerlendirilmelidir (Wang ve Li, 2023)

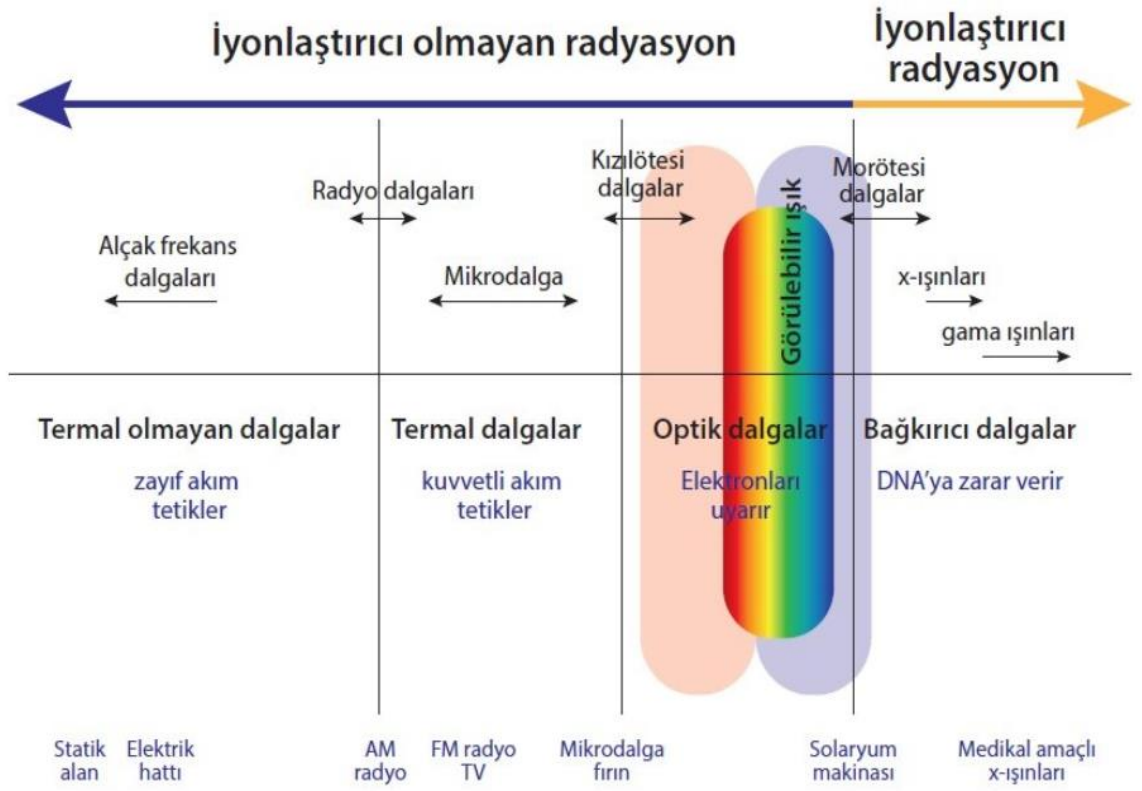
Nükleer enerjinin gelecekteki kullanımı konusunda karar verilirken, çevresel, toplumsal ve ekonomik faktörlerin dikkate alındığı dengeli bir yaklaşım benimsenmelidir. Çevresel faktörler arasında radyoaktif atık yönetimi ve potansiyel nükleer kazaların etkileri bulunmaktadır (World Nuclear Association, 2022). Toplumsal faktörler ise halkın nükleer enerjiye karşı olan tutumları ve güvenlik endişelerini içerir (Küçük, 2011). Ekonomik faktörler ise nükleer santrallerin yüksek başlangıç maliyetleri ve uzun vadeli ekonomik getirileridir (Smith, 2019).

Sonuç olarak, nükleer enerjinin gelecekteki rolü üzerine yapılan değerlendirmelerde, tüm bu faktörlerin dikkate alındığı bütüncül ve dengeli bir yaklaşım benimsenmelidir (International Atomic Energy Agency, 2021).

Nükleer enerji kullanımı sırasında ortaya çıkan önemli bir unsur radyasyondur. Radyasyon, atomlardan doğal veya uyarılma sonucu yayılan elektromanyetik dalgaların, elektron, proton, nötron ve alfa parçacıklarının genel adıdır. Bu hızlı hareket eden parçacıklar, saniyede 200.000 km hızla uzayda ilerlerler. mrem , milirem'in kısaltmasıdır ve radyasyon dozunu ölçmek için kullanılır. milirem , bir kişinin aldığı radyasyon miktarını ifade eden bir birimdir. Yıllık ortalama doz, doğal ve insan yapımı kaynaklardan gelen yaklaşık 620 mrem'dir. Nükleer düzenleme komisyonu (NRC), radyasyonla çalışanlar için yılda 5,000 mrem, genel halk için ise yılda 100 mrem sınırını belirlemiştir (U.S. Nuclear Regulatory Commission,2024). Radyasyon, kanser tedavisi için 1899 yılında ilk defa kullanılmıştır. Atom çekirdeğinden yayılan bu radyoaktivite, 1896 yılında Fransız fizikokimyacısı H. Becquerel tarafından keşfedilmiştir (Özemre vd., t.y.; Yıldız, t.y.; Yülek, 1994). 1902 yılında Madam Curie ve kocası tarafından keşfedilen yapay radyasyonlar, biyolojik araştırmalardan tıba, endüstriden pek çok alanda kullanılmıştır. Ancak bu radyasyonların zararı fark edilemediği için, ünlü bilim insanı Madam Curie'nin de dahil olduğu pek çok insanın ölümüne sebep olmuştur.

İnsanlık günlük hayatında, doğal ve çevresel olmak üzere iki tür radyasyona maruz kalmaktadır. Bir günde saniyede 15.000 radyasyon parçacığıyla temas eden insanlar, doğal kaynaklardan ve teknolojik gelişmeler sonucu oluşan çevresel radyasyondan etkilenirler. Bu durum, insan sağlığı açısından önemli bir konudur ve dikkatli bir şekilde ele alınmalıdır. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkisi önemsenmelidir. Doğal ve çevresel kaynaklardan gelen etkiler, insanların günlük hayatında kaçınılmazdır. Fakat teknolojinin ilerlemesiyle birlikte çevresel radyasyonun etkisi de artmıştır. Bu konuda daha dikkatli olunması ve önlem alınması gereklidir. Radyasyonun doğal ve çevresel olarak maruz kalınması, sadece insanların sağlığı üzerinde değil, aynı zamanda çevreye ve doğaya da zarar verebilir. Bu nedenle, radyasyonun kullanımı ve etkilerinin değerlendirilmesi önemlidir. İnsanlık geçmişte radyasyonun zararlı etkileri nedeniyle önemli kayıplar yaşamıştır. Ancak bilimsel gelişmeler ve ilerlemeler sayesinde, radyasyonun kullanımının daha kontrollü ve güvenli bir şekilde yapılması mümkün hale gelmiştir. Sonuç olarak, doğal ve çevresel radyasyondan kaynaklı etkilerin bilinmesi ve önlemlerin alınması, insan sağlığı ve çevrenin korunması için kilit bir konudur. Şekil 2 de de görüldüğü üzere İyonlaştırıcı radyasyonun etkileri arasında, hücrelerdeki DNA'ya doğrudan veya dolaylı olarak zarar verebilir. Yüksek doz radyasyona kısa süreli maruz kalma, akut sağlık sorunlarına neden olabilirken, düşük doz radyasyona uzun süreli maruz kalma, kronik sağlık etkilerine yol açabilir. Bu etkiler arasında kanser riski artışı, cilt hasarları, organ fonksiyon bozuklukları ve sinir sistemi üzerindeki olumsuz etkiler bulunmaktadır (Cluskey ve Ramsden, 2001; DeGroot, 1993)

Doğal radyasyon, yerkabuğundaki radyoaktif elementler ve uzaydan gelen kozmik ışınlar tarafından yayılan bir enerjidir. Çevresel radyasyon ise, televizyon, bilgisayar, saatlerdeki radyoaktif maddeler ve nükleer atıklar gibi insan yapımı kaynaklardan ortaya çıkar. İnsanlık, uzaydan dünyaya ulaşan kozmik ışınların etkisiyle yılda yaklaşık 30 mrem, doğal kaynaklar olan uranyum, toryum ve potasyum gibi radyoaktif maddelerden 20 mrem, binalardan gelen radyasyonlardan yaklaşık 10 mrem ve insan vücudunda bulunan radyoaktif materyallerden 85 mrem radyasyona maruz kalmaktadır. Göğüs veya diş röntgenleri de yaklaşık 10 mrem ekler. Her 1 mrem radyasyon alımı, kansere yakalanma riskini 8 milyonda 1 oranında artırmaktadır.(Yildiz, t.y.)



Şekil 2. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkileri (AFAD , 2024).

Radyoaktif maddelerin su ve toprağa karışması durumunda ise bu maddeler insan vücuduna bulaşabilir ve kanser gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Ayrıca, düşük seviyeli radyasyonun etkisi altında kalarak renk körlüğü veya mongolizm gibi genetik bozukluklara yakalanma olasılığı da vardır. Her yıl dünya genelinde insanların 30 mrem, uranyum, toryum ve potasyum gibi radyoaktif maddelerden 20 mrem ve tuğla, beton gibi binalardan 10 mrem radyasyona maruz kalmaktadır. Buna ek olarak, insan vücudunda bulunan radyoaktif maddeler de yılda yaklaşık 85 mrem radyasyona neden olmaktadır. Bu rakamlar, insanların kanser gibi ciddi hastalıklara yakalanma riskini artırmaktadır (Moralı, 2004; Yıldız, t.y.).

Röntgen çekimi sırasında da yaklaşık 10 mrem radyasyon alındığını unutmamak gerekir. Ancak, düşük seviyeli radyasyonun etkisi altında kalarak, genetik bozukluklar ve sağlık problemleriyle karşılaşma olasılığı da vardır. Bu sebeple, radyasyonların çevremize nüfuz ettiğinden emin olmamız ve önlemler almamız gerekir. Aksi halde, insan ve doğa sağlığına büyük zararlar verebilecek bir tehlikeyle karşı karşıya kalabiliriz (Dauer et al., 2010).

Bu enerjilerin kontrol altında tutulması ve güçlü bir elektrik kaynağına dönüştürülmesi nükleer santraller ile olur. Nükleer santraller, radyoaktif maddelerin kontrollü bir şekilde fisyonunu sağlayarak büyük miktarlarda enerji üretirler. İşletme

sistemlerine göre batı tipi kapalı kalp tasarımına sahip olabilecekleri gibi, doğu tipi açık kalp tasarımına da sahip olabilir. Batı tipi kapalı kalp tasarımında, santral kalbi büyük bir beton kubbe içine yerleştirilir ve bu yapı, betonun yanı sıra çelik ve özel karışimsız malzemelerden oluşur. Bu sayede, bir yolcu uçağı gibi büyük bir cismin kubbe üzerine düşmesi durumunda dahi kubbe çatlamaz ve kalp güvenli bir şekilde korunur. Nükleer santraller, Basınçlı Su Reaktörü (PWR), Kaynar Sulu Reaktörler (BWR), Hafif Su Reaktörleri (LWR), Gaz Soğutmalı Reaktörler (GWR), Kanada Reaktörü (CANDU) ve Hızlı Üretken Reaktör (FBR) gibi farklı tiplere ayrılabilir.

Basınçlı Su Reaktörleri, ağır su kullanılarak tasarlanır ve suyun basınç altında kalması sayesinde yavaşlatıcı etkisi sağlanır. Bu reaktörler, ABD Donanmasının nükleer denizaltı programlarında kullanılmış ve ticari amaçlı olarak en yaygın olan türlerdir. Yakıtları, %2,5-%3 oranında zenginleştirilmiş uranyumdur ve üretilen enerji, soğutma devreleri aracılığıyla elektrik üretimi için kullanılır. Kaynar Sulu Reaktörler, suyun doğrudan reaktör kalbine gönderilip orada buhar üretilmesi ile çalışır. Buhar kabarcıkları oluşumu, kontrollü bir şekilde gerçekleşir ve reaktör gücünü azaltmaz.

Koruma kabukları, basınçlı su reaktörlerinininkine göre daha küçük olduğu için hidrojen patlamalarına karşı daha hassastırlar. Hafif Su Reaktörleri, düşük zenginlikli uranyum kullanarak çalışır ve yakıttan geri kazanılan Plütonyum sorununa çözüm olarak görülmüştür. Ancak Fransa'da uygulandığı gibi bu yöntem, radyoaktif atık sorununa çözüm olamamıştır. Gaz Soğutmalı Reaktörlerde ise, doğal uranyum kullanılır ve soğutma gazı olarak CO₂ tercih edilir. Kalbin etrafına yerleştirilen zarf içindeki kanallardan CO₂ gazı girerek kalp soğutulur ve ısı değıştircilerde buhar üretimi gerçekleştirilir. Bu reaktörler, yüksek çalışma sıcaklığı, yüksek verim, proses ısı üretimi ve kaynak kullanımı açısından avantajlıdır. Ancak ekonomik olmadıkları için son yıllarda yapımına pek rastlanmamıştır.

Reaktör teknolojisi her zaman bir güvenlik endişesi olmuştur. Bu nedenle, modern reaktör tasarımları, daha güvenli ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir seçenekleri oluşturma çabalarıyla birlikte gelmiştir. Bu amaçla üç tür reaktör geliştirilmiştir: Kendinden güvenli, Küçük ve Orta Boyutlu (KOB) ve Geliştirilmiş Reaktör Sistemleri (GRS). Kendinden güvenli reaktörler, yüksek kullanım oranları, uzun ömürler, azaltılmış kalp erimesi olasılıkları ve daha az yakıt ve atık üretimi sunarak ticari santrallerin maliyetini düşürmeyi ve tesis ömrünü uzatmayı hedefler. Bu reaktörlerde, kalp soğutucu olarak sodyum kullanılır ve yüksek ısı iletkenliği sayesinde kalp ısı arttığında sodyum uranyum atomları birbirinden uzaklaşarak fizyon ısısının da düşmesini sağlar. Bu yüzden, erime olasılığı neredeyse imkansız hale gelir. Küçük ve

Orta Boyutlu (KOB) reaktörler, büyük santrallerin maliyetlerinin azaltılması ve güvenlik standartlarının artırılması amacıyla geliştirilmiştir. Bu reaktörler, düşük güç yoğunluğu ve küçük boyutları sayesinde daha düşük maliyetlerle inşa edilebilirler.

Ayrıca, gösterdikleri yüksek performans ve güvenilirlik sayesinde sürdürülebilir bir enerji kaynağı oluştururlar. Son olarak, Geliştirilmiş Reaktör Sistemleri (GRS) daha çevreci ve sürdürülebilir bir enerji üretimine yönelik olarak tasarlanmıştır. Bu sistemler, kalp ve soğutma sistemi ile nötron soğurucu borlu su kullanarak olası bir soğutma kaybını önlemeye yöneliktir. Ayrıca, daha az yakıt ve atık üretimi, uzatılmış yakıt ömrü ve kalp erimesi olasılığının azalması gibi avantajlar sunarlar. Sonuç olarak, güvenli, çevreci ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç, reaktör teknolojisinin geliştirilmesine yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Kendinden güvenli, KOB ve GRS gibi çeşitli reaktör tasarımları, güvenlik standartlarının artırılmasına ve enerji üretiminde daha verimli ve sürdürülebilir bir yaklaşımın benimsenmesine yardımcı olacaktır.

Nükleer güç santralleri enerji üretiminin ötesinde tıp, tarım, endüstri ve hayvancılık gibi alanlarda da kullanılır. Bu teknoloji, atom bombası felaketleri nedeniyle olumsuz bir imaja sahip olsa da, günümüzde teknolojik ilerlemenin anahtarı olarak görülmektedir. Nükleer teknolojinin tıp alanındaki uygulamaları, örneğin kanser tedavisinde kullanılan Cobalt-60 (Co-60) ve tiroid hastalıklarında kullanılan İyot-131 (I-131) gibi, önemli faydalar sağlamaktadır (Baker et al., 2017; Gibbons ve Williams, 2020).

Nükleer enerjinin elektrik üretiminde çevreye minimal zarar verdiği, yakıt maliyetlerinde düşük değişkenlik sağladığı ve yüksek verimlilik sunduğu bilinmektedir (Smith ve Jones, 2018). Ancak, yüksek sabit maliyetler, uzun inşaat süreleri ve potansiyel çevresel riskler gibi olumsuz yönleri de vardır (Johnson ve Adams, 2019). Özellikle nükleer atık yönetimi ve kaza riskleri, bu teknolojinin zorlukları arasında yer almaktadır. Brezilya ve Meksika'daki tamamlanmamış nükleer santraller ve ABD'deki bazı araştırmalar, nükleer santrallere yakın bölgelerde kanser vakalarının arttığını göstermiştir (Harris et al., 2021; Thompson ve Lee, 2022).

Sonuç olarak, nükleer enerjinin avantajları ve riskleri dikkate alınarak, daha güvenli ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesi önemlidir (Williams ve Green, 2023). İş güvenliği ve sağlığı, enerji sektöründe çalışanların korunması için kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle nükleer enerji santrallerinde, radyasyon maruziyetinin kontrol altına alınması ve çalışanların uygun kişisel koruyucu ekipmanlar kullanması hayati önem taşır. Ayrıca, düzenli eğitim programları ve acil durum planlarının uygulanması, olası kazaların önlenmesinde ve çalışanların

güvenliğinin sağlanmasında etkili yöntemlerdir. Bu yaklaşımlar, enerji üretim süreçlerinde hem iş güvenliği standartlarını yükseltecek hem de genel halk sağlığını koruyacaktır.

1.3 Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en yaygın kullanılanlarından biri olan güneş enerjisi, güneş panelleri aracılığıyla elde edilmektedir. Güneş panelleri, güneşten gelen ışığı elektrik enerjisine dönüştüren çekirdeksiz düzlem yüzeyli panellere verilen addır. Bu paneller, genellikle fotovoltaik hücrelerden oluşur ve güneş ışınlarının düştüğü yüzeydeki elektronları hareketlendirerek bir akım oluşturur. Bu akım, elektrik enerjisi olarak kullanılabilir. Güneş enerjisi, sadece ücretsiz ve sınırsız bir kaynağa sahip olması nedeniyle tercih edilmemektedir. Ayrıca, çevre dostu bir enerji kaynağıdır çünkü hiçbir zararlı gaz salınımına neden olmaz. Güneş panellerinin kurulumu da oldukça kolay ve düşük maliyetlidir. Ayrıca, ürettiği enerjinin büyük bir kısmı ev ve işletmelerde kullanılabilir seviyededir. Güneş panelleri, güneş enerjisi sistemlerinin temel bir bileşeni olarak kullanılmaktadır. Binaların çatılarında veya açık arazilerde yerleştirilebilirler. Ayrıca, endüstriyel ve tarımsal alanda da kullanılmaktadır. Günümüzde birçok ülkede, güneş panelleri ve diğer güneş enerjisi sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır ve sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir adımdır. Sonuç olarak, güneş panelleri, temiz, güvenilir ve ekonomik bir enerji kaynağıdır ve dünya çapındaki enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynamaktadır (Sencer ve Dalbudak, 2012).

Güneş enerjisi, çevremizin en önemli ve kullanılan enerji kaynaklarından biridir. Fosil yakıtlar, rüzgâr enerjisi ve hidroelektrik enerjisi gibi diğer enerji kaynakları, aslında güneşe bağlı olarak üretilmektedir. Fosil yakıt kullanımının insan hayatına büyük katkıları olmuştur. Ancak ne yazık ki, fosil enerji kullanımı, dünya üzerindeki tüm canlılara ve ekosisteme ciddi tehditler oluşturmaktadır. Fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan sera gazları, küresel ısınmaya ve doğanın dengesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu da mevsimlerin değişmesi ve buzulların erimesi gibi doğal afetlere yol açmaktadır. Son yüzyılda, buzullardaki erime hızı çok büyük bir artış göstermiştir. Eğer gerekli önlemler alınmaz ve insanlar doğaya zarar vermeye devam ederse, gelecekte insan hayatı için büyük bir tehlike oluşabilir. Bu nedenle, ülkemiz ve dünya genelinde tamamen temiz enerji üretimi odaklı bir dönüşüm gerçekleştirilmelidir. Bu konuda, güneş enerjisi çok önemli bir kaynaktır ve üzerinde özel bir vurgu yapılmalıdır (Briggs, 1993; Sencer ve Dalbudak, 2012).

Güneş enerjisi, kullanılabilirliği açısından tüm diğer fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarından bir adım ötededir. Küçükten büyüğe her ölçekte ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilme kabiliyetine sahiptir. En önemli avantajı ise tükenmeyen bir kaynak olmasıdır ve dünya enerji talebini 10.000 katına kadar karşılayabilecek potansiyeli vardır (International Renewable Energy Agency, 2020). Yakıt tüketimi maliyeti olmadığı gibi, işletme maliyetleri de yoktur ve bu da onu daha da ekonomik hale getirir. Güneş enerjisi sistemi kurmak da çok kolay ve hızlıdır, ayrıca işletme maliyetleri olmadığından yüksek getirili bir yatırım imkânı sunar. Ayrıca, fotovoltaik panellerin ömürleri de oldukça uzundur ve 20 yıldan fazla dayanabilirler. Güneş enerjisi sistemlerinin hiçbir gürültü kirliliği yaratmaması da büyük bir avantajdır. Dışa bağımlılığın söz konusu olmaması ve çevresel etkilerin en aza indirgenmesi nedeniyle, ekonomik ve çevresel açıdan en ideal enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Çevreye zararlı emisyonlar yaymaması, doğanın ve insan sağlığının korunmasına da katkıda bulunur. Tüm bu nedenlerden dolayı, güneş enerjisi temiz, güvenilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır (Briggs, 1993).

Bu temiz enerji kaynağının temelini, 1839 yılında Becquerel'in, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemlemesi ve böylece fotovoltaik olayını ortaya çıkarması oluşturur. Benzer bir olay katı cisimlerde ilk kez 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından selenyum kristalleri üzerinde gösterildi. Ancak gerçek anlamda güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmede %6 verimlilik sağlayabilen fotovoltaik gözeler, Chapin, Fuller ve Pearson tarafından 1954 yılında silikon kristallerinin üzerinde gerçekleştirildi. Bu, fotovoltaik güç sistemleri için büyük bir dönüm noktasıydı (Ismael, 2012; Wolf, 1972).

Fotovoltaik güç sistemlerinin başlangıçta uzay araçlarında kullanılmasından sonra, 1960'ların başlarında yeryüzünde de elektriksiz güç sistemleri olarak kullanılması için çalışmalar başladı. Bu çalışmaların bir yönü, uzay çalışmalarında kendini kanıtlayan silikon kristallerinin verimliliğini artırmaya odaklandı. Diğer bir yandan ise daha az yarı iletken malzeme kullanılması ve dolayısıyla daha ucuza üretilen ince film güneş pillerinin alternatif olarak kullanılması üzerine çalışmalar hız kazandı (Ismael, 2012; Wolf, 1972).

Yapılan çalışmaların sonucunda, fotovoltaik güç sistemleri giderek gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır. Günümüzde dünya çapında çeşitli yerlerde büyük fotovoltaik enerji santralleri kurulmaktadır. Bunun yanı sıra, küçük ölçekli fotovoltaik sistemler de evlerde, iş yerlerinde ve mobil elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik güç sistemlerinin kullanımı, çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı

olmasından dolayı giderek artmaktadır. Güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğu için, günümüzde çevreye verilen zararların azaltılması ve küresel sıcaklık artışının önlenmesi gibi çevresel sorunlarla mücadelede önemli bir rol oynamaktadır. Avantajları arasında, sessiz ve hareketsiz bir sistem olması, bakım ve kullanım maliyetlerinin düşük olması ve güneşin enerjisini sürekli sağlaması sayılabilir. Ayrıca güneş enerjisi, elektrik şebekesine bağımlılığı azaltmak ve elektrik fiyatlarının dış etkenlerden etkilenmesini önlemek için de kullanılabilir (Ismael, 2012; Wolf, 1972).

Ancak fotovoltaik güç sistemlerinin dezavantajları da vardır. Bunlardan en önemlisi, güneş ışığına olan bağımlılığı, bulutlu ve yağışlı havalarda enerji üretimini olumsuz etkileyebilir. Günümüzde yapılan çalışmalar ve teknolojik gelişmeler ile birlikte, fotovoltaik güç sistemlerinin verimliliği artarken maliyetleri de düşmektedir. Bu da onları daha da yaygın hale getirmeyi ve daha cazip bir seçenek olmayı sağlamaktadır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten ve dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Gün geçtikçe gelişen teknoloji ile birlikte, bu sistemlerin verimliliği ve maliyeti de iyileşmektedir. Bu da onları, gelecekte dünya çapında daha sık kullanılan ve önemli bir enerji kaynağı haline getirmeyi ve çevresel sorunlara karşı mücadelede önemli bir rol oynamayı sağlayacaktır (Ismael, 2012; Wolf, 1972).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Türkiye’de Ve Dünyada Bulunan Enerji Üreten Santraller

2.1.1. Türkiye ve Dünyadaki Termik santraller

Ülkemizde elektrik üretiminin en önemli kaynaklarından birisi termik santrallerdir. Buhar ve gaz türbinlerinin kullanıldığı termik santraller, genellikle kömür, doğalgaz ve fuel-oil gibi fosil yakıtların yanmasından elde edilen ısı enerjisinin elektriğe dönüştürülmesiyle çalışır.

Türkiye'deki termik santrallerin sayısı toplamda 320 adettir. Bu santrallerden 34'ü yerli kömür, 10'u ithal kömür, 24'ü fuel-oil, ve 252'si doğalgaz kombine çevrim santralleridir. TEİAŞ'ın verilerine göre, bu termik santrallerden elde edilen enerji miktarı Türkiye'nin enerji ihtiyacının yaklaşık %53'ünü karşılamaktadır (TEİAŞ, 2023).

Termik santraller genellikle Marmara bölgesinde ve kıyı bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Bunun sebebi hem limanlara olan yakınlıkları hem de bu bölgelerdeki yoğun işletme alanlarının enerji ihtiyacının fazla olmasıdır. Ülkemiz haritasına bakılacak olursa linyit kömürlü termik santrallerin daha çok Doğu Anadolu bölgesine kuruldukları görülürken diğer bölgelere doğalgaz veya fuel-oil ile çalışan santrallerin daha çok kurulduğu göze çarpar. Bu durumun sebebi ise linyit yataklarının Doğu Anadolu bölgesinde bulunması ve ulaşım maliyetinin diğer bölgelere göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Termik santrallerin en yaygın yakıt kaynağı olan linyit, Türkiye'nin yeraltı zenginlikleri arasında önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle linyit kömürü kullanan termik santraller genellikle linyit rezervlerinin olduğu bölgelere kurulmuştur. Özellikle Zonguldak, Aksaray ve Konya çevresinde bulunan bu yörelerdeki termik santraller ülkemizin elektrik üretimine büyük katkı sağlar (Özdemir, 2013; TMMOB, 2017).

Doğalgaz ise ikinci en çok kullanılan yakıt kaynağıdır ve kamuoyunda da daha temiz bir enerji olarak bilinmektedir. Akdeniz bölgesi başta olmak üzere Karadeniz'de de doğalgaz kombine çevrim santralleri sayısının artması beklenmektedir. Kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların yanmasından elde edilen ısı enerjisinin elektriğe dönüştürülmesiyle çalışan termik santrallerin sera gazları salınımına ana sebep olduğu bilinen gerçektir. Bu nedenle son zamanlarda hem dünya hem de Türkiye'deki enerji politikalarına yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edilmesi önem kazanmıştır.

Bu sebeple ülkemizde de yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmekte ve sadece termik santrallerden elektrik üretimine bağımlılık azaltılmaya çalışılmaktadır. Özellikle hidroelektrik, güneş ve rüzgâr enerjisi gibi alternatifler giderek daha fazla kullanılması hedeflenmektedir (TMMOB, 2017).

Tablo 1. Türkiye'deki kömür ve linyit yakıtlı termik santraller profili (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).

Kayıtlı Santral Sayısı:	53
Termik Santrallerin Kurulu Güç:	$20.443 \text{ MWe} / 1.7577633 \times 10^7 \text{ kcal/h}$
Kurulu Güce Oranı:	Kayıtlı: $20.215 \text{ MWe} / 1.7382138 \times 10^7 \text{ kcal/h}$
Yıllık Elektrik Üretimi:	$\sim 107.510 \text{ GWh} / 9.24439 \times 10^{13} \text{ kcal/h}$
Üretimin Tüketime Oranı:	0.3584

Türkiye'deki kömür ve linyit yakıtlı termik santrallerin toplam kurulu gücü 20,443 MW'dır ve bu santrallerin sayısı 53'tür. Bu durum, Türkiye'nin enerji üretiminde kömür ve linyit yakıtlı termik santrallerin önemli bir paya sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, bu tür enerji kaynaklarının çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik endişeleri göz önüne alındığında, enerji portföyünün çeşitlendirilmesi ve daha temiz enerji kaynaklarına yönelme önem arz etmektedir. Ayrıca, yıllık elektrik üretiminin tüketimle olan oranı %35,84'tür, bu da üretilen enerjinin bir kısmının tüketim için kullanıldığını ancak enerji ihtiyacının büyük bir kısmının farklı kaynaklardan sağlandığını göstermektedir. Bu nedenle, enerji sektöründe sürdürülebilir ve çevre dostu alternatiflere odaklanma önemli olacaktır.

Tablo 2. Türkiye'nin ilk 10 büyük santrali (TEİAŞ, 2023).

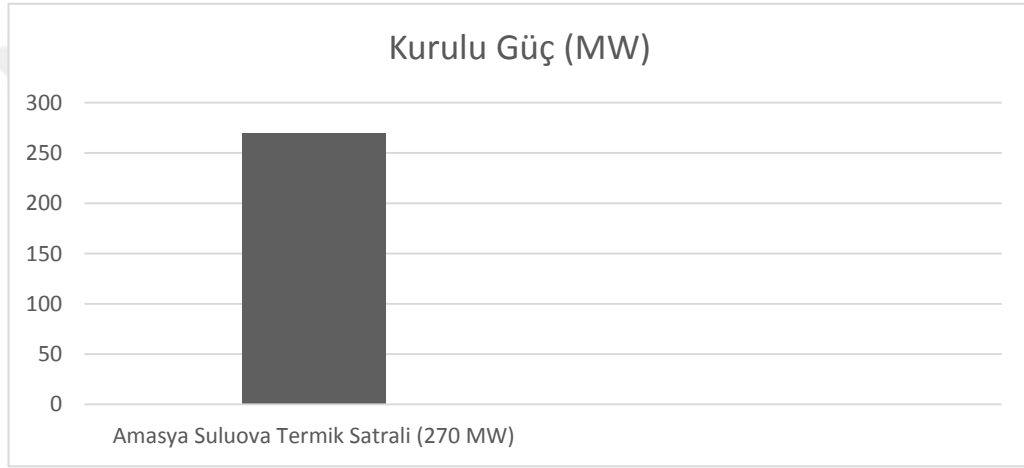
Santral Adı	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güç (KCAL/H)	Tipi	İşletmeye Alınma Yılı	Lokasyon
Afşin-Elbistan B Termik	1.44	$1.24 \times 10^6 \text{ kcal/h}$	Linyit	2004	Kahramanmaraş
Soma Termik Santrali	1.034	$8.89 \times 10^5 \text{ kcal/h}$	Linyit	1957	Manisa
Kemerköy Termik Santrali	630	$5.42 \times 10^8 \text{ kcal/h}$	Linyit	1993	Muğla

Tablo 2. (Devamı)

Santral Adı	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güç (KCAL/H)	Tipi	İşletmeye Alınma Yılı	Lokasyon
Yatağan Termik Santrali	630	5.42×10^8 kcal/h	Linyit	1982	Muğla
Çatalağzı Termik Santrali	300	2.58×10^8 kcal/h	Taşkömürü	1948	Zonguldak
Seyitömer Termik Santrali	600	5.16×10^8 kcal/h	Linyit	1973	Kütahya
Tunçbilek Termik Santrali	365	3.14×10^8 kcal/h	Linyit	1956	Kütahya
Çan Termik Santrali	320	2.75×10^8 kcal/h	Linyit	2000	Çanakkale
Orhaneli Termik Santrali	210	1.81×10^8 kcal/h	Linyit	1992	Bursa
Yeniköy Termik Santrali	420	3.61×10^8 kcal/h	Linyit	1986	Muğla

Türkiye'de faaliyette olan kömür ve linyit yakıtlı termik santrallerin çeşitli illerde yaygın olarak bulunduğu görülmektedir. Özellikle Zonguldak Eren Termik Santrali, 2,790 MW'lık kurulu gücü ile dikkat çekmektedir. Bu santraller, çeşitli enerji şirketleri tarafından işletilmekte olup, genellikle linyit ve kömür gibi yerel yakıt kaynaklarına dayanmaktadırlar. Afşin - Elbistan B Termik Santrali, 1,440 MW'lık linyit kurulu gücüyle büyük bir kapasiteye sahiptir ve Kahramanmaraş'ta EÜAŞ tarafından işletilmektedir. Çanakkale'de yer alan Cenal Karabiga Termik Santrali ve İÇDAŞ Bekirli Termik Santrali gibi tesisler, ithal kömür kullanarak enerji üretmektedir. Öte yandan, Manisa'da bulunan Soma B Termik Santrali ve Muğla'daki Kemerköy Termik Santrali gibi tesisler, yerel kaynaklardan olan linyiti kullanmaktadır. Türkiye genelindeki termik santrallerin birçoğu linyit yakıtlı olup, bu durum yerel enerji kaynaklarının kullanımını vurgulamaktadır. Linyit, Türkiye'nin bol miktarda bulunan ve düşük maliyetli bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, linyit kullanımı enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Yerel enerji kaynaklarının kullanılması, enerji ithalatını azaltarak enerji güvenliğini artırmakta ve ekonomik açıdan ülkeye katkı sağlamaktadır (TMMOB, 2021; TEİAŞ, 2023).

Santrallerin kurulu güçleri arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, İstanbul'da bulunan İÇDAŞ Biga Termik Santrali 405 MW'lık kurulu güce sahipken, Afşin Elbistan A Termik Santrali 1,355 MW'lık bir kapasiteye sahiptir. Bu durum, Türkiye'nin enerji üretim portföyünün çeşitliliğini ve farklı bölgelerdeki enerji taleplerini karşılama çabalarını yansıtmaktadır. Ancak, enerji sektöründeki bu termik santrallerin çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik konuları da göz önüne alındığında, temiz enerji kaynaklarına yönelik stratejilerin önemli hale gelmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, kömür ve linyit kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, Türkiye'nin enerji sektörünü daha sürdürülebilir bir yöne taşıyabilir. (*Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller*, t.y.).



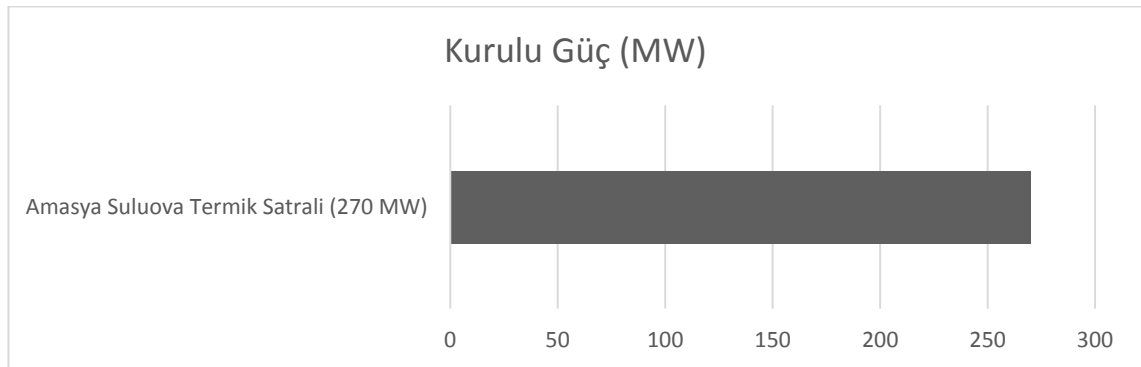
Şekil 3. Yapım aşamasındaki kömür ve linyit yakıtlı termik santraller (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).

Türkiye'deki enerji sektörünün gelişimi doğrultusunda, inşa aşamasında olan kömür ve linyit yakıtlı termik santrallerin sayısı ve kapasitesi artmaktadır. Özellikle taş kömürü kullanımı, enerji üretiminde farklı yakıt kaynaklarının değerlendirilmesi anlamında çeşitlilik sağlamaktadır. Konya Ilgın Termik Santrali ise Ciner Enerji tarafından linyit yakıtı kullanılarak inşa edilmekte olan bir tesis olarak öne çıkmaktadır. Şekil 3 de görüldüğü üzere bu santral, 500 MW'lık kurulu gücü ile Konya ilinde enerji talebinin karşılanmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir. Linyit kullanımı, yerel enerji kaynaklarından faydalanma ve enerji arzının çeşitlendirilmesi açısından önem taşımaktadır (*Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller*, t.y.)

Tablo 3. Üretim lisansı alan kömür ve linyit yakıtlı termik santraller (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).

Santral Adı	İl	Firma	Yakıt Tipi	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güç (KCAL/H)
Karaburun Termik Santrali	Çanakkale	Yıldırım Enerji	İthal Kömür	1320 MW	1,1352×10 ⁹ kcal/h
Adana Hunutlu Termik Santrali	Adana	Emba Elektrik Üretim	İthal Kömür	1320 MW	1,1352×10 ⁹ kcal/h
Kirazlıdere Termik Santrali	Çanakkale	Doğtaş Grubu	İthal Kömür	1260 MW	1,0836×10 ⁹ kcal/h
Kınık Termik Santrali	İzmir	Fina Enerji	Linyit	700 MW	6,02×10 ⁸ kcal/h

Türkiye'nin enerji sektöründeki çeşitlilik ve kapasite artışı, üretim lisansı alan kömür ve linyit yakıtlı termik santrallerle daha da güçlenmektedir. Tablo 4'te yer alan Çanakkale'de bulunan Yıldırım Enerji tarafından işletilen Karaburun Termik Santrali, 1,320 MW'lık kurulu gücü ile ithal kömür kullanarak enerji üretmektedir. Aynı şekilde, Adana'da Emba Elektrik Üretim tarafından geliştirilen Hunutlu Termik Santrali de 1,320 MW'lık bir kapasiteye sahiptir ve ithal kömür kullanımıyla dikkat çekmektedir. Çanakkale'de Doğtaş Grubu tarafından planlanan Kirazlıdere Termik Santrali ise 1,260 MW'lık kurulu güç kapasitesi ile enerji üretimine katkı sağlayacaktır. Bu projeler, Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamak adına çeşitli enerji kaynaklarını kullanma stratejisinin bir parçasını oluşturmaktadır (*Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller*, t.y.).



Şekil 4.Ön lisans alan kömür ve linyit yakıtlı termik santraller (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).

Şekil 4 de Amasya Suluova Termik Santrali, Suluova Enerji Üretim firması tarafından planlanan ve ön lisans alan kömür ve linyit yakıtlı termik santrallerden biridir. Bu santral, linyit yakıtını kullanarak 270 MW'lık bir kurulu güce sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Amasya ilinde hayata geçirilecek olan bu projenin, bölgedeki enerji talebinin karşılanmasına önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. Ancak, projenin çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik konuları titizlikle ele alınmalı, yerel toplulukların ve çevresel faktörlerin etkisi göz önünde bulundurularak planlama ve uygulama süreçleri sürdürülmelidir (Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller, t.y.).

Tablo 4. Planlanan kömür ve linyit yakıtlı termik santraller (Kömür ve linyit yakıtlı termik santraller, t.y.).

Santral Adı	İl	Firma	Yakıt Tipi	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güç (KCAL/H)
Çayırhan B Termik Santrali	Ankara	EÜAŞ	Linyit	720 MW	6.192×10^8 kcal/h
Diler Elbistan Termik Santrali	Kahramanmaraş	Diler Holding	Linyit	400 MW	3.44×10^8 kcal/h
Domaniç Termik Santrali	Kütahya	Çelikler Enerji	Linyit	300 MW	2.58×10^8 kcal/h
Tekirdağ Saray Termik Santrali	Tekirdağ		Linyit	300 MW	2.58×10^8 kcal/h
Keles Termik Santrali	Bursa	Çelikler Enerji	Linyit	270 MW	2.322×10^8 kcal/h
Çan Helvacı Termik Santrali	Çanakkale	İçdaş Enerji	Linyit	270 MW	2.322×10^8 kcal/h
Şırnak Asfaltit Santrali	Şırnak		Asfaltit	270 MW	2.322×10^8 kcal/h
Ant Enerji Termik Santrali (ANTES)	Muğla	Çalık Enerji	Linyit	160 MW	1.376×10^8 kcal/h
Bingöl Karlhova Termik Santrali	Bingöl		Linyit	150 MW	1.29×10^8 kcal/h
Adıyaman Gölbaşı Termik Santrali	Adıyaman		Linyit	150 MW	1.29×10^8 kcal/h
Çankırı Orta Termik Santrali	Çankırı	Çalık Enerji	Linyit	150 MW	1.29×10^8 kcal/h
Sivas Kangal Etyemez Termik Santrali	Sivas		Kömür	135 MW	1.161×10^8 kcal/h
DOSAB Buhar ve Enerji Üretim Tesisi	Bursa	DOSAB	Linyit	49.5 MW	4.257×10^7 kcal/h

Türkiye'nin enerji sektöründeki planlanan kömür ve linyit yakıtlı termik santraller Tablo 6'da görüldüğü üzere, çeşitli illerde önemli kapasitelerle ve farklı yakıt tipleriyle projelendirilmektedir. Ankara'da yer alacak olan Çayırhan B Termik Santrali, EÜAŞ

tarafından planlanan bir linyit santrali olup, 720 MW'lık kurulu güce sahiptir. Kütahya'da Çelikler Enerji tarafından planlanan Domaniç Termik Santrali de linyit yakıtı kullanarak 300 MW'lık kurulu güç ile önemli bir enerji kaynağı olacaktır (Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller, t.y.) .

Tekirdağ Saray Termik Santrali, Bursa Keles Termik Santrali, Çanakkale Çan Helvacı Termik Santrali ve Şırnak Asfaltit Santrali gibi projeler de çeşitli illerde planlanan linyit ve asfaltit yakıtlı santraller arasında yer almaktadır. Bu santrallerin yanı sıra, Muğla'da Çalık Enerji tarafından planlanan Ant Enerji Termik Santrali, Bingöl Karlıova Termik Santrali, Adıyaman Gölbaşı Termik Santrali, Çankırı Orta Termik Santrali, Sivas Kangal Etyemez Termik Santrali ve Bursa DOSAB Buhar ve Enerji Üretim Tesisi gibi projeler de linyit ve kömür yakıtlı olarak enerji üretimine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu planlanan santraller, Türkiye'nin enerji talebini karşılama ve enerji üretim portföyünü çeşitlendirme stratejilerine önemli bir katkı sunmaktadır (Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller, t.y.).

Termik santrallerin yoğun bir şekilde kullanımı, enerji üretiminde önemli avantajlar sağlasa da, çevre kirliliği açısından büyük bir tehlike kaynağıdır. Bu tehlikeler, yakıt türüne göre değişmektedir ve dünya genelinde en çok kullanılan yakıt olan kömürün kullanılması durumunda daha büyük riskler ortaya çıkarmaktadır. Santrallerin bölgesel değil aynı zamanda küresel ölçekte de zararları olduğu için çevrenin korunması açısından dikkatle değerlendirilmelidir. Özellikle kömür gibi kirletici bir yakıtın tercih edilmesi, termik santrallerin çevreye verdiği zararları arttırıcı bir etkiye sahiptir. Bu nedenle gelecek nesillerin yaşayacağı dünya için bu soruna acilen çözüm bulunmalıdır. Örneğin temiz enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması ve teknolojik gelişmelere ayak uydurulması gibi adımlar atılabilir. Ayrıca sivil toplum kuruluşlarının da konuya dâhil olup halkın bilgilendirilip farkındalıklarını arttırması gerekmektedir. Sadece bugünün değil gelecek nesillerin de yaşanabilir bir dünyaya sahip olması için termik santrallerin çevreye verdiği zararların önüne geçmek önemlidir.

Kömür yakıtlı santrallerden atmosfere zararlı maddeler salınmaktadır. Bu maddeler arasında, parçacık madde, uçucu organik bileşikler (VOC), sera gazları, azot oksitleri (NO_x) karbon dioksit (CO₂), ve kükürt dioksit (SO₂) bulunmaktadır. Fakat bu emisyonların azaltılması için çeşitli arıtma sistemleri kullanılmasının yanı sıra, alınabilecek en önemli tedbir kömürün içeriğine bağlıdır. Kükürt, kül ve nem içeriği düşük olan kömürler, enerji üretimi için tercih edilen bir yakıt kaynağıdır, çünkü yüksek ısı değerlere sahiptirler ve çevresel etkileri daha azdır. Bu nedenle, termik santrallerde kullanılacak kömürler seçilirken bu özelliklere dikkat edilmelidir (Smith, 2018).

Bilimsel çalışmalara göre termik santrallerin baca gazları rüzgâr yönüne ve gücüne bağlı olarak farklı bölgelere etki etmektedir (Karaca, 2019). Bu da küresel çapta yaşanan iklim değişimlerinin bir nedeni olarak görülmektedir.

Kömür yakarak elektrik üretimi hem yerel hem de küresel çevre sorunlarını doğurmakta; pek çok kötü sonucu bir arada getirmektedir. Bu yüzden alınabilecek önlemler ve geliştirilebilecek alternatif enerji kaynaklarına yönelmek acil bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Termik santraller, hava kirliliğine ek olarak su ve toprak kirliliğiyle de ilişkilendirilebilir. Bu tesislerde kullanılan soğutma sistemleri, sıcak ve arıtılmamış suyun boşaltılması neticesinde yeraltı sularını ve çevreyi olumsuz etkiler. Kömürün yakılmasından kaynaklanan küllerin depolanmadığı bu santrallerde rüzgârla taşınarak ciddi bir tehlike yaratır. Cıva da termik santral faaliyetlerinin neden olduğu hava, su ve toprak kirliliğine katkıda bulunan önemli bir madde olarak dikkat çekiyor. Santralden salınan cıva havayla karışarak büyük ölçüde yayılır. Atmosfere salındıktan sonra ise kolektif yağışlar vasıtasıyla hem toprağa hem de sudaki varlığına devam eder. Bu durum pek çok çevresel soruna yol açabilecek düzeydedir ayrıca hastalıkları tetikleyebilir (Karaca, 2019).

Termik santrallerde kullanılan kimyasal maddeler de çevre açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Gübreler, pestisitler ve diğer zehirli kimyasalların havaya salınması ve sonrasında su kaynaklarına ulaşması yüzünden flora ve hayvan varlığı üzerinde ciddi etkiler meydana gelmektedir. Ayrıca, bu maddelerin doğrudan insan sağlığına da zarar verdiği bilinmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, kömürün yakılmasıyla ürettiği kirleticiler termik santraller için en büyük sorundur. Bununla birlikte, bu tesisler aynı zamanda sera gazlarının yayılmasına da yol açarak küresel iklim değişimine katkıda bulunmaktadır.

Son olarak, termik santrallerde çalışan madencilerin maruz kaldığı tehlikeler konusuna da dikkat çekmemiz gerekir. Bu insanlar günlük işlerini yaparken periyodik olarak üst solunum yolu hastalıklarıyla ve bunlara bağlı zihinsel bozukluklarla mücadele etmek durumundadır. Kömür madenlerindeki dar çalışma alanları, yüksek nem oranı ve egzozla dolu havanın solunması ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedir. Tüm bu çevresel ve insan sağlığına yönelik risklere rağmen, termik santraller hala dünya genelinde en yaygın enerji üretim yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle hem hükümetlerin hem de vatandaşların alternatif temiz enerji kaynaklarına daha fazla önem vermesi gerekmektedir. Aksi takdirde gelecek nesiller büyük bir çevre felaketinin pençesinde kalabilirler (Özdemir, 2013).

Kullanılan yakıtı bağı olarak farklı şekillerde çevreyi olumsuz etkileyebilecek enerji üretim tesisleridir. Bu etkilerin ana kategorileri hava kalitesine, su kalitesine ve toprak kalitesine olan etkilerdir. Su kaynaklarının kirlenmesi termik santrallerin en önemli olumsuz etkisidir. Bunun sebebi, bu tür enerji üretim tesislerinin soğutma amaçlı olarak kullanmasıdır. Yapılması gereken biriktirme göledinden suların alınıp daha sonra buraya geri verilerek tekrar kullanılmasında atık ısıyı taşıyan canlı organizmaların ortamda gelişmesini engelleyecek şekilde yapılmalıdır. Bu sayede suya karışan zararlı maddelerin de miktarları azaltılır.

Günümüzde iklim değişimi, dünya genelinde en önemli çevresel sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır ve bu değişimin temel nedenlerinden biri CO₂ salınımıdır. Gelişmiş ülkelerde, enerji sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonlarının %90'ından ve toplam sera gazı salınımlarının %75'inden sorumlu oldukları bilinmektedir (Jeon vd., 2010). Kömürle üretilen elektrik miktarının dünya genelinde %41'in üzerinde olması, kömüre bağlı emisyonların önemli bir paya sahip olduğunu göstermektedir (Goto vd., 2013). Dünya genelinde toplam enerjiyle ilişkili CO₂ emisyonu yaklaşık 11,8 Gt civarındadır ve bu miktarın %73'ü kömür yakımından kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlar, Çin ve ABD'nin yanı sıra Avrupa Birliği, Hindistan ve Japonya gibi ülkelerin sera gazlarının önde gelen yayıncıları olduğunu göstermektedir. Kömürün bu kadar yaygın olarak kullanılması, bir açıdan diğer enerji kaynaklarının yayınlarını azalttığı gibi, diğer yandan da CO₂ salınımını artırmaktadır (Tamzok, 2012). Fosil yakıtların yanma sürecinde salınan bileşikler, atmosfere zararlı etkiler yapabilmektedir.

Emisyon faktörleri genellikle yanma koşulları değil, kullanılan yakıttaki karbon miktarına bağlı olarak değişir. Bu nedenle, CO₂ emisyon miktarını doğru bir şekilde hesaplamak için kullanılan yakıtın karbon içeriğini bilmek önemlidir (Jeon vd., 2010). Fosil yakıtların yanma prosesi sırasında salınan kirleticiler, çevresel etkilerinin yanı sıra iklim değişimine de katkıda bulunmaktadır.

Fosil yakıtlarda bulunan kükürdün yanma sırasında kükürt dioksit (SO₂) formunda atmosfere salınması, yılda 65 milyon ton SO₂ global antropojenik emisyonuna neden olmaktadır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen yanma süreçleri sonucu her yıl 21-25 milyon ton NO_x global emisyonu meydana gelmektedir (Smith ve Bond, 2014). Bu kirleticiler hem sağlığımız hem de çevremiz için zararlı etkilere sahiptir. Asit yağmurları, asit çökmesi ve ozon oluşumu gibi sorunlara sebep olarak bölgesel hava kirliliği ve ekosistemin asitleşmesine yol açabilmektedir (Hewitt, 2000). Termik santrallerin bu tür atıkları büyük miktarlarda ürettiği göz önüne alındığında bölgemize verdiği zararlar oldukça önemlidir. Asitleştiren maddeler olan SO₂ ve NO_x' un yanı sıra

toz partiküller de termik santraller tarafından atmosfere salınırlar. Özellikle parçacık boyutu 2,5 µm (mikrometre) ve 10 µm olan parçacıklar insan sağlığı için ciddi riskler oluşturabilmektedir. Bu sebeple termik santrallerden kaynaklanan bu tür kirleticilerin yayılması bölgesel bir sorun olmanın ötesine geçebilir (Gümüşel ve Stauffer, 2015).

Kömürlü enerji üretiminin yılda yaklaşık olarak 750 milyon ton kül üretilmesi ve bunun %50'sinden azının bertaraf edilmesi göz önünde bulundurulduğunda atıkların yönetimi oldukça önemlidir. Türkiye'de yapılan çalışmalara göre, kömür termal santrallerinde meydana gelen uçucu küllerin %65'i sadece depolanma alanlarında biriktirilmekte, gerisi ise farklı yöntemlerle bertaraf edilmektedir (Gür ve Yaprak, 2010). Ancak bu atıklardan bir kısmı atmosfere salınarak potansiyel tehlikeler oluşturmaktadır. Buna ek olarak, bacaların yüksekliği de bu atıkların hangi bölgelere taşıyıp ne kadar etkili olduğunu belirlemektedir.

Termik santrallerin işletme koşulları çok çeşitlilik arz etmektedir; ancak hepsinin ortak noktası, çevreye zarar veren kirleticilerin atmosfere salınmasıdır. Bu nedenle, termik santrallerdeki üretim süreçlerinin daha eleştirilebilir ve çevreye duyarlı bir hale getirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, bu tesislerin verdiği zararların telafi edilmesi daha da güç olacaktır (Zhao vd., 2010).

Linyitin yanması sonucunda, kömürden yayılan eser miktardaki organik bileşiklerin oranı, yanma veriminin bir göstergesi olarak önem taşır. Yanma süresi, sıcaklık ve türbülans gibi çeşitli faktörler, çürük gaz içindeki organik bileşikleri arttırabilir. Bu nedenle, yanma sürecindeki değişiklikler, organik bileşiklerin salınımını da etkiler (Vardar ve Yumurtacı, 2010). Kömürün yapısından kaynaklanan iz elementlerin yoğunluğu, uçucu kül ve dip külünde değişkenlik gösterir. PAH'ların (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar) oluşumuna neden olan organik bileşikler kömürün yapısında daha zenginken, minerallerin kimyasal ve fiziksel değişikliklere uğraması sonucu uçucu kül ve dip külünde daha düşük yoğunlukta bulunurlar. Dip külü, uçucu külü ve çürük gazı PAH oluşumuna etki eden başlıca faktörler; kazan tipi (akışkan yataklı kazan, askıda kazan vb.), yanma parametreleri (yanma sıcaklığı, beslenen kömür boyutu, hava/yakıt oranı, kazan kapasitesi ve yükü vb.) ve kullanılan kömür özellikleridir.

Clarke (1993), yanma sürecindeki davranışlarına göre iz elementleri üç gruba ayırır. Birinci grupta yer alanlar, dip külünde yoğunlaşırken diğerleriyle aynı oranda dip külü ve ince parçacıklarda bulunurlar. İkinci gruptaki elementler ise, yanma odasında buharlaşarak ince parçacıklarda birikirler. Üçüncü gruptaki iz elementler ise, en uçucu olup gaz fazda kalırlar ve tüm katı fazı tüketirler (Arditsoglou vd., 2004). Bu iz

elementlerin, PAH oluşumunu olumlu ya da olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Antropojenik kaynaklardan kaynaklanan atmosferik cıvanın da önemli bir kısmı, kömür yakıtlı enerji santrallerinden salınmaktadır. 2000 yılında yapılan bir çalışmada, cıva emisyonunun %60'ının fosil yakıtların yanması sonucu gerçekleştiği ortaya konulmuştur (Martín ve Nanos, 2016).

Günümüzde, atmosferik cıva miktarı antropojenik kaynaklar öncesi yılların üç katına ulaşmıştır ve bunun sonucunda Kuzey Kutbu biotasında yüksek miktarda cıva birikimi tespit edilmiştir. Cıva, sinir sistemine zarar veren bir toksindir ve doğadaki canlılarla besin zinciri aracılığıyla vücuda alınabilir. Atmosferdeki cıva, genellikle üç formda varolur: doğal kaynaklardan kaynaklandığı düşünülen serbest gaz halinde bulunan elementel cıva (Hg_0), antropojenik kaynaklardan kaynaklanan yüksek hacimdeki gaz çıkışlarında görülen okside cıva ($Hg+2$) ve partikül hâlindeki cıva (HgP). Bu üç form, farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir ve atmosferde uzun mesafeli taşınma, çökme ve toksisite gibi konularda etkileri farklılık gösterir. Gaz halindeki cıva, kararlı bir formdur ve atmosferde yaklaşık 0.5-2 yıl kalış süresine sahiptir. Diğer iki form ise, atmosferde kısa sürede ayrışır ve hızlı bir şekilde yağışlarla düşer. Partiküllerdeki cıvanın bir kısmı, gaz halindeki cıvanın kimyasal dönüşümü sonucu oluşmaktadır. Atmosferdeki cıvanın biyojeokimyasal döngüsünde, partiküllerin yüzey alanı büyük bir öneme sahiptir ve gaz halindeki cıvanın adsorpsiyonuna ve kimyasal dönüşümüne aracılık eder (Gao vd., 2016; Tang vd., 2016).

Kömürlü enerji santrallerinden kaynaklanan kül, cüruf ve egzoz gazları, içerdikleri arsenik (As), kadmiyum (Cd), baryum (Ba), kurşun (Pb), krom (Cr), selenyum (Se), çinko (Zn) ve cıva (Hg) gibi toksik iz elementler nedeniyle çevresel kirliliğe yol açabilir. Bu elementler, yağmur sularıyla birleşerek uygun pH koşullarında yüzey sularına ve yeraltı sularına karışır, bu da toprak, yüzey suları ve yeraltı sularında çeşitli sorunlara neden olabilir. Termik santrallerin katı atıkları genellikle kül, cüruf, uçucu kül ve alçıtaşı gibi maden atıklarından oluşur (Topal vd., 2011)

Tavşanlı Kütahya'daki Tunç Bilek Termik Santrali çevresinde yapılan su analizleri, bitişik sekiz yerleşim yerindeki su numunelerinde cıva değerlerinin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen limit değerlerine oldukça yakın olduğunu göstermiştir. Ancak, Yatağan Termik Santrali'nde yapılan bir çalışmada kontrol kuyularında, bazı kuyularda WHO'nun belirlediği limit değeri (0,025 ppm) aşan cıva seviyelerine rastlanmıştır (Uslu ve Gökmeşe, 2009). Bu durum, bölgede yaşayan insanlar için ciddi bir sağlık tehdidi oluşturabilir.

Kömür yakımı sonucu oluşan uçucu küllerin taşınması, rüzgâr ve diğer hava koşulları nedeniyle dağılma riski taşıdığından, nemlendirilerek depolama alanına sevkiyatı gerçekleştirilir. Bu durum, büyük hacimli atık su barajlarının oluşmasına neden olur. Kül sahasındaki atık suların pH seviyeleri 9 ila 11,5 arasında değiştiğinden, suya geçen iz elementlerin miktarı da bu pH değerlerine bağlıdır (Dubey ve Jadhav, 2016). Genel olarak atık suların pH değerleri yüksek olduğundan, ağır metallerin çökmesi sonucu düşük miktarda toksik iz elementlerin suya geçişi mümkündür (Dubey ve Jadhav, 2016). Ancak bazı durumlarda, özellikle pH değeri 5'in altına düştüğünde, atmosfere bırakılan SO₂ ve NO_x emisyonları ve bunların nem ile reaksiyona girmesi sonucu asit yağışları ile pH düşeceğinden, toksik iz elementlerin yeraltı sularına karışma riski artar (Smith ve Bond, 2014; EPA, 2020).

Baba (2001) tarafından yapılan bir araştırmada, Yatağan Termik Santrali'nden sızan atık suların pH seviyelerinin iz elementlerin suya geçişi için gerekli olan pH değerine sahip olmadığı belirlenmiştir. Bu durum, atmosferdeki SO₂ ve NO_x emisyonlarının etkisi ile pH düşüşüne bağlanmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan liçleme (atık malzemelerin sıvı bir çözücü ile temas ettirilerek, içerdikleri bileşiklerin çözeltiye geçmesinin sağlandığı bir işlem) çalışmaları, uçucu kül, cüruf ve arıtma çamuru gibi atıkların çevresel etkilerinin belirlenmesi için önemli bir yöntemdir (Dubey ve Jadhav, 2016). Bu çalışmalar sayesinde, atıklarda bulunan toksik iz elementlerin çevreye sızma potansiyeli ve böylece yüzey suları veya yeraltı sularının kirlenme riskleri hakkında bilgi edinilebilir. Örneğin, Topal vd. (2015) tarafından yapılan bir liçleme çalışmasında, Afşin Elbistan Termik Santrali'nin uçucu külü ve cürufunda Cu ve Cr elementlerinin sınır değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir (Alper, 2001).

Türkmenoğlu vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada ise, Ege bölgesinde bulunan 4 termik santralin uçucu külünde en hızlı liçlenebilen elementin Cu olduğu tespit edilmiştir. Verma vd. (2015) tarafından yapılan bir araştırmada ise, Hindistan'daki Unchachar Termik Santrali'nden numune alınan liç suyu örneklerinde izin verilen sınır değerlerin üzerinde elementlerin bulunmadığı görülmüştür. Yine Hindistan'da başka bir termik santral için yapılan bir çalışmada da, iz elementlerin güvenli limitler dahilinde olduğu belirtilmiştir (Ram vd., 2015; Türkmenoğlu vd., 2014). Bu çalışmaları, termik santrallerin çevresel etkilerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Termik santraller fosil yakıtlarının yanması esnasında sera gazları emisyonlarına sahiptir ve bu nedenle iklim değişikliğine neden olur. Bunun yanında, termik santraller su, toprak ve hava kirliliği gibi çevresel etkilere de sahiptir. İklim değişikliği ve çevresel kirlilik ile ilgili çalışmalara göre, termik santrallerin etkisi büyüktür ve bu nedenle bu

santrallerin çevresel etkileri incelenmelidir. Bu çalışmalar termik santrallere olan talebin azaltılması veya çevresel etkilerin kontrol altına alınması yönünde öneriler sunmaktadır. Ayrıca, atık su deşarjı konusunda yapılan araştırmalar, özellikle su kaynağına yakın termik santrallerde su kaynağından daha yüksek sıcaklıktaki atık suyun tekrar kaynağa verilmesinin sucul ekosisteme zarar verebileceğini göstermektedir. Bu nedenle termal deşarjların sınır değerlere yakın olması ve su kaynağına verildiği anda su sıcaklığının 50°C'den düşük olması gerekmektedir (Türkmenoğlu vd., 2014).

Son zamanlarda yapılan araştırmalar, termal santrallerin su kalitesine olan etkilerine de odaklanmaktadır. Özellikle Romanya'da bulunan üç termik santralin Jiu Nehri'ne olan etkileri incelenmiştir. Bu araştırmada, su deşarjlarının sınır değerlerle uyumlu olduğu ancak üç termik santralin devreye girmesi halinde problemlere neden olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle termik santrallerin sucul ortama olan etkileri, kontrol altına alınması gereken önemli bir konu olarak değerlendirilmektedir.

Kömür yakıtlı enerji santralleri, atmosfere büyük miktarda iz elementler ve ağır metaller yayarak çevreye zarar vermektedir. Bu iz elementler, kömürün özelliklerine ve yakılma koşullarına bağlı olarak değişir ve toprak, su kaynakları ve atmosferde birikir (Noli ve Tsamos, 2016). Artan kömür kullanımı, ağır metal emisyonlarını artırmış ve bu durum toprak ve su kaynaklarını kirletmiştir. Ağır metaller, tarım ürünlerinde birikerek insan sağlığına zarar verebilir. Kömür atıklarının işlenmesi ve depolanması, çevresel riskler taşımaktadır. Linyit kullanan enerji santrallerinden 5 km uzaklıktaki bölgelerde yüksek kükürt ve iz elementler tespit edilmiştir (Noli ve Tsamos, 2016).

Termik santraller, dünya genelinde elektrik üretiminin büyük bir kısmını karşılamakta olup, kömür gibi fosil yakıtlar kullanmaktadır. Ancak, kömürün yanması sırasında cıva ve diğer zararlı iz elementler atmosfere karışır ve bu cıva emisyonlarının %52'si termik santrallardan kaynaklanır (Martín ve Nanos, 2016). Cıva insan sağlığına ve çevreye büyük tehditler oluşturur. Termik santrallerin çevresel etkilerini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve cıva emisyonlarının kontrol altında tutulması gerekmektedir (Gür ve Yaprak, 2010).

Asit yağmurları, sucul ve kara ekosistemlerine zarar vererek biyoçeşitliliği azaltabilir, toprak kimyasını değiştirebilir ve toksik metallerin çevreye karışmasına neden olabilir. Bu, sucul organizmaların ve bitkilerin sağlığını etkiler ve insan sağlığı için de tehdit oluşturur. Bu nedenle, daha sürdürülebilir enerji üretim yöntemlerine geçiş büyük önem taşımaktadır.

Termik santraller, enerji üretiminde önemli bir rol oynamakla birlikte, iş sağlığı ve güvenliği açısından çeşitli riskler taşımaktadır. Bu riskler, hem çalışanlar hem de çevre

için önemli sağlık ve güvenlik sorunlarına yol açabilmektedir. 2014 yılında Türkiye'nin Soma bölgesinde meydana gelen kömür madeni patlamasında 301 işçi hayatını kaybetmiş ve birçok işçi yaralanmıştır. Bu felaket, yetersiz güvenlik önlemleri, denetim eksiklikleri ve bakım ihmalinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Olay, iş güvenliği standartlarının önemini ve gerekli önlemlerin alınmamasının potansiyel sonuçlarını açıkça göstermiştir. Bu tür kazalar, termik santrallerde çalışan işçilerin güvenliğini sağlamak için düzenli denetimlerin, güvenlik eğitimlerinin ve etkili acil durum planlarının gerekliliğini ortaya koymaktadır (Yazıcı, 2015). ABD'nin Pineville Termik Santrali'nde 2012 yılında bir kömür deposunda meydana gelen patlama, birkaç işçinin yaralanmasına neden olmuştur. Patlamanın sebebi olarak kömür tozlarının birikmesi ve uygun olmayan temizlik prosedürleri gösterilmiştir. Bu olay, kömür tozu gibi potansiyel patlayıcı maddelerin düzenli olarak temizlenmesi ve iş güvenliği prosedürlerine uyulmasının önemini vurgulamaktadır (Jones ve Smith, 2014).

Termik santrallerde iş sağlığı ve güvenliği açısından dikkat edilmesi gereken başlıca unsurlar şunlardır:

- Uluslararası ve yerel güvenlik standartlarına uyulması ve düzenli denetimlerin yapılması gerekmektedir.
- Çalışanlara güvenlik eğitimi verilmesi ve acil durum planlarının uygulanması önemlidir.
- Doğal afetler ve endüstriyel kazalar için risk analizi yapılması ve dayanıklılık testlerinin uygulanması gereklidir.
- Tesislerin düzenli bakımlarının yapılması ve potansiyel tehlikelerin önceden belirlenmesi gerekmektedir.

2.1.2. Türkiye ve dünyadaki nükleer güç santralleri

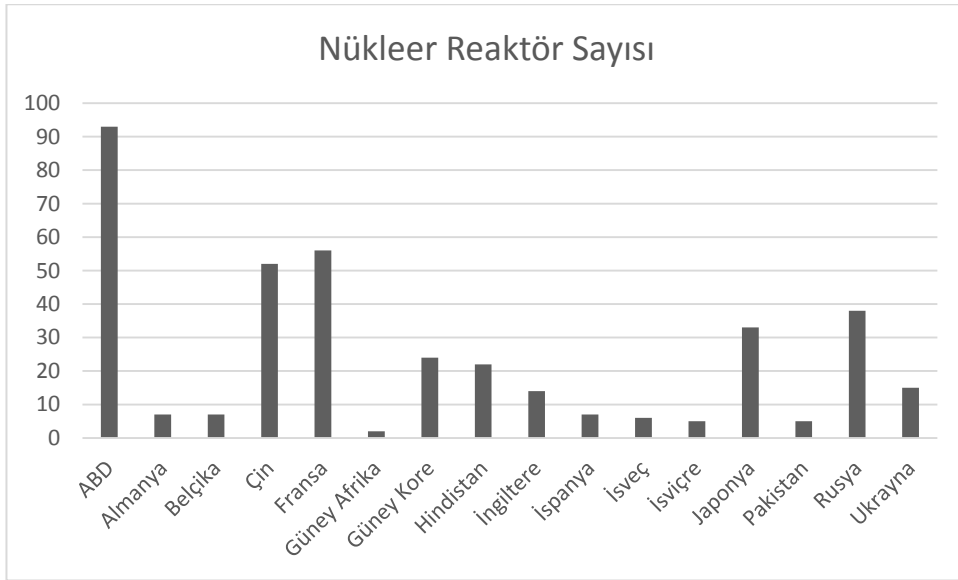
1956 yılında İngiltere'de üretime başlayan ilk ticari nükleer santral, enerji talebindeki artış sebebiyle dünya çapında benzerlerinin sayısının artmasına neden oldu. Bu artış, geçmişte gerçekleşen nükleer santral kazaları nedeniyle zaman zaman kesintiye uğrasa da günümüzde hala özellikle gelişmekte olan ülkelerde yeni nükleer santraller inşa edilmektedir.

Nükleer enerji, tarihinin çoğu kısmında savaş ve ölümle bağdaştırılmıştır. 1930'larda nötronların keşfedilmesi ve uranyum atomlarının fisyon tepkimesi sayesinde nükleer enerjinin etkileri görülmüştür. 1940'ların ortalarında, Fermi'nin yaptığı deneyler sonucunda ilk nükleer zincirleme reaksiyonu gerçekleştirilmiş ve hemen ardından iki atom bombası kullanılarak Hiroşima ve Nagasaki'ye saldırılmıştır.

Türkiye'de nükleer enerjinin kullanımı, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun kurulması ve Türkiye'nin enerji politikalarında önemli bir rol üstlenme hedefiyle ortaya çıkmıştır. Ali İhsan Gezer'in İstanbul Teknik Üniversitesi'nde radyofizik profesörü olarak görev yaparken ortaya attığı nükleer enerji kullanımı fikri, dönemin Cumhurbaşkanı Celal Bayar tarafından reddedilmiş ve bir süreliğine rafa kaldırılmıştır (Özkan, 2010). Türkiye'nin nükleer enerji kullanma kararı tekrar 1970 yılında alınmış ve 1971 yılında Nükleer Enerji Dairesi kurulmuştur. Ancak günümüze kadar ilk nükleer santralin temeli atılamamıştır. Türkiye'de nükleer enerjinin güvenli kullanımı konusunda önemli adımlar atılmamıştır ve bu nedenle nükleer enerji stratejilerinin gözden geçirilmesi büyük önem taşımaktadır (Ergün ve Polat, t.y.).

1982 yılında Nükleer Elektrik Santralleri Kurumu (NELSAK) fikri ortaya atılmış ve tüm nükleer konuların tek bir çatı altında yürütülmesi planlanmıştır. Ancak bu karar uygulanmamıştır. 1986 yılında Çernobil kazası sonrasında tüm nükleer çalışmalar durdurulmuştur.

1995 yılında Türkiye Elektrik Üretim ve İletim A.Ş. (TEAŞ), nükleer santral ihalesinin ön incelemesini yapmak üzere Kore Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü (KAERI) ile anlaşma sağlamıştır. 1996 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın görevlendirdiği üç danışman ile TEAŞ Nükleer Santraller Dairesi'nin iki üyesinden oluşan bir komisyon, ihale şartnamesine son şeklini vermiştir. 17 Ekim 1996 tarihinde Resmi Gazete'de, Mersin'deki Akkuyu bölgesinde nükleer santral kurmak için bir ihale açıldığı duyurulmuştur (Çevre ve Enerji Kongresi, 1997; Ergün ve Polat, t.y.). 15 Ekim 1997 tarihinde AECL, NPI (Nükleer Power International/Siemens ve Framatome Konsorsiyumu) ve WESTINGHOUSE (Mitsubishi ile birlikte) sunulan tekliflerini açıklamıştır. Ancak, 2000 yılında hükümet bu projenin sonuçlanmaması üzerine ihale sürecini durdurma kararı almış ve proje iptal edilmiştir (Çevre ve Enerji Kongresi, 1997; Ergün ve Polat, t.y.).



Şekil 5. Nükleer enerjinin bugünkü durumu(World Nuclear Association, 2022).

Şekil 5, 2022 yılı itibarıyla çeşitli ülkelerin sahip olduğu nükleer reaktör sayılarını göstermektedir. En fazla nükleer reaktör sayısına sahip olan ülke ABD iken, Fransa ve Çin, onu sırasıyla ikinci ve üçüncü sırayı almaktadır. Şekil 5 de nükleer enerjinin küresel dağılımını ve bu enerjinin farklı ülkelerdeki önemini göstermektedir.

Almanya, İspanya ve İsviçre gibi bazı Avrupa ülkelerinin nükleer reaktör sayıları daha düşüktür. Bu durum, bu ülkelerin nükleer enerjiyi kullanma konusunda daha az eğilimli olduklarını veya farklı enerji kaynaklarına daha fazla odaklandıklarını gösterebilir. Örneğin, Almanya'nın nükleer enerjiyi fazlasıyla azaltma eğiliminde olması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesiyle paralellik göstermektedir (Fritz ve Brüser, 2021). Güney Afrika ve Pakistan gibi bazı ülkeler ise nükleer enerjinin geliştirilmesi ve kullanılması konusunda daha az gelişmiş olabilirler. Bu ülkeler, nükleer enerjiyi kullanma konusunda daha fazla çalışma ve yatırım yapmaya ihtiyaç duyabilirler (Bunn et al., 2018).

Şekil 5, enerji sektöründeki uluslararası rekabetin bir yansıması olarak görülebilir. Bazı ülkeler, enerji bağımlılıklarını azaltmak ve çevre dostu enerji kaynaklarını kullanmak için nükleer enerjiye daha fazla yatırım yapmayı tercih ederken, diğerleri farklı enerji kaynaklarına yönelmektedir (Dinçer, 2019).

2.1.3. Bir Nükleer Güç Santralinde Üretilen enerji Miktarının, Termik Santrallerde Üretilen Enerji Miktarı ile Kıyaslanması

Bir nükleer güç santralinde üretilen enerjinin kaynağı, ²³⁵U çekirdeğinin fisyonu uğramasıdır. Bu enerji miktarının, termik santrallerde üretilen enerji miktarı ile

kıyaslandığında daha fazla olduğu bilinir (Faizan, M vd. 2024). Bildiğimiz kadarı ile, bu kıyaslamanın somut bir şekilde yapıldığı çalışmalara literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmamızda böyle bir kıyası yapabilmek için somut bir hesaplama yapacağız. Bu hesapta, % 3,5 oranında zenginleştirilmiş 150 g uranyum yakıtının tamamının fisyonu uğraması sonucunda açığa çıkan enerji miktarını kcal cinsinden hesaplayıp, aynı miktar enerji elde etmek için ne kadar ton kömür yakmamız gerektiğini tahmin edeceğiz.

Hesaplamaya, uranyum yakıtında mevcut olan ^{235}U izotopunun miktarını bulmakla başlayalım.

$$m(^{235}_{92}\text{U}) = 150 \text{ g} \times \frac{3,5}{100} = 5,25 \text{ g} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Uranyum-235'in molar kütlesi 235,044 g olduğu için, 5,25 gramında kaç tane çekirdek olduğunu aşağıdaki formülle hesapladık.

$$N = \frac{m(^{235}_{92}\text{U})}{M(^{235}_{92}\text{U})} NA \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Burada N, 5,25 g ^{235}U yakıtında bulunan çekirdek sayısı, $m(^{235}_{92}\text{U})$ %3,5 oranında zenginleştirilmiş ^{235}U 'un kütlesi, $M(^{235}_{92}\text{U})$ ^{235}U 'nun molar kütlesi ve NA ise Avagadro sayısıdır ($NA=6,02 \times 10^{23}$). Yapılan hesap sonucunda

$$N = 1,345 \times 10^{22} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Elimizde eğer yukarıda hesaplanan N tane ^{235}U çekirdeği varsa, bu çekirdeklerin tamamının fisyonu uğraması sonucunda ne kadar enerji açığa çıkacağını hesaplayabiliriz. Yapılan çalışmalarda (Schunck, N., ve Regnier, D) bir tane ^{235}U çekirdeğinin fisyonu uğraması sonucu açığa çıkan enerjinin 240 MeV olduğu ortaya konmuştur. 5.25 g ^{235}U yakıtındaki tüm çekirdeklerin fisyonu uğraması sonucu açığa çıkan enerji aşağıdaki eşitlikte hesaplandı.

$$E_T = N \times E_1 \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Burada, E_T , tüm çekirdeklerin fisyonu uğraması için çıkan enerji miktarı, N 5.25 g ^{235}U çekirdeği sayısı ve E_1 ise bir tane ^{235}U çekirdeğinin fisyonu uğraması sonucu açığa çıkan enerjidir (240 MeV). Yapılan hesap sonucunda E_T 'nin $3,228 \times 10^{24}$ MeV olduğu

bulundu. Bu enerji miktarını kıyas yapabilmek için enerjinin SI birim sistemindeki karşılığı olan joule birimine çevirelim. Bilindiği gibi $1 \text{ eV}=1,6 \times 10^{-19}$ joule'dür. Bu sonucu kullanırsak,

$$E_T = 5,165 \times 10^{11} \text{ joule} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

olduğu bulunur. Yine bilindiği gibi $1 \text{ joule}=0,000239006 \text{ kcal}$ olduğu için

$$E_T = 1,24 \times 10^8 \text{ kcal} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

olarak yeniden hesaplanabilir. Bu enerji miktarının ne kadar kömür yakıldığında açığa çıkan enerji ile eşdeğer olduğunu hesaplayabilmek için belli bir kalitede 1 kg kömür yandığında ne kadar kcal enerji açığa çıktığı bilgisine ihtiyaç vardır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sitesinde taş kömürlerimizin kg başına düşen alt ısı değerlerinin 6200 kcal ile 7250 kcal arasında değiştiği belirtilmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023). Yukarıdaki bilgilere göre, ortalama olarak bir kg taş kömürünün yanması sonucu açığa çıkan enerji miktarının 6725 kcal olduğu anlaşılır. Altı numaralı denklemde verilen enerji miktarının ne kadar ton kömürün yanması sonucu açığa çıkan enerji miktarı olduğunu hesaplamak için aşağıdaki formül kullanıldı.

$$M_K = \frac{E_T}{E_K} = \frac{1,24 \times 10^8 \text{ kcal}}{6725 \text{ kcal/kg}} = 18,439 \text{ kg} \approx 18,4 \text{ ton} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Burada M_K , E_T kadar enerjiye karşılık gelen kg cinsinden kömür miktarını, E_K ise 1 kg kömürün yanması sonucu açığa çıkan kcal cinsinden enerji miktarını ifade eder. Yedi numaralı eşitlikte görüldüğü gibi sadece 5,25 g ^{235}U çekirdeğinin fisyonu sonucu açığa çıkan enerji miktarı yaklaşık 18 ton kömürün yanması sonucu açığa çıkan enerji ile eşdeğerdir. Bu sonuç, nükleer güç santrallerinde üretilen enerjinin çevre açısından değerlendirildiğinde, kalan yakıtın çevreye bulaşmamasını temin edecek şekilde kapalı ortamlarda tutulmak koşulu ile ne kadar çevre dostu olabileceğini göstermektedir.

2.1.4. Türkiye ve dünyadaki güneş panelleri

Türkiye'de güneş enerjisi sektörü, son yıllarda önemli bir büyüme kaydetmiştir. Özellikle güneş paneli üretimi ve kullanımındaki artış dikkat çekicidir.

Elektrikde.com'un belirttiğine göre, Türkiye'nin güneş paneli üreticileri arasında CW Enerji, Alfa Solar Enerji, Kalyon Holding ve Naturel Enerji gibi firmalar bulunmaktadır (Elektrikde, 2022). Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA), Türkiye'de yenilenebilir enerji projelerinin geliştirilmesi için hükümet tarafından belirlenen özel alanlardır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Bu projeler, genellikle güneş enerjisi santralleri (GES) ve rüzgar enerjisi santralleri (RES) inşası için kullanılır. Örneğin, Kayseri ve Şanlıurfa'da belirlenen yeni Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA), enerji sektöründe yatırımları artırmayı hedeflemektedir. Bu bölgelerdeki projeler, yerel pazar payına sahip olan firmaları, devlet tarafından belirlenen YEKA alanlarına kurulan Güneş Enerji Santralleri (GES) ve Rüzgar Enerji Santralleri (RES) projelerinde yerli ekipman kullanım zorunluluğu sayesinde sektörde etkin bir rol oynamaya teşvik etmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Bu bağlamda, yerli ekipman kullanımına yönelik düzenlemeler, yerel firmaların enerji projelerindeki paylarını artırmakta ve sektördeki rekabeti güçlendirmektedir. YEKA projeleri, hem yerel üretim kapasitelerini artırmak hem de ulusal enerji güvenliğini desteklemek amacıyla önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Ertürk et al., 2023).

Dünya genelinde ise, güneş panellerinin yarıdan fazlasının üretimi Çin'de gerçekleştirilmektedir (PetroTurk, 2024). Türkiye, güneş paneli üretiminde Avrupa'da bir numara ve dünyada dördüncü sırada yer almakta, kısa süre içinde dünya ikinciliğini hedeflemektedir (PetroTurk, 2024). REN21 (Yenilenebilir Enerji Politikaları Ağı 21. Yüzyıl), yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği konularında politika geliştirilmesine katkıda bulunan uluslararası bir ağıdır (REN21, 2020). REN21, hükümetler, sivil toplum kuruluşları ve araştırma kurumları arasında bilgi alışverişi sağlayarak, sürdürülebilir enerji politikalarının global ölçekte yaygınlaştırılmasını destekler. REN21'in raporuna göre, Türkiye ısıtma amaçlı güneş enerjisi kullanımında Çin ve ABD'den sonra dünyada üçüncü sırada yer almaktadır (NTV, 2019).

2.2. Enerji üreten santral kazaları

Enerji santrallerinin ürettiği elektrik, modern yaşamın temelini oluşturmaktadır. Ancak, enerji üretimi sırasında veya dağıtımı esnasında meydana gelen kazalar önemli sorunlara yol açabilmektedir. Bu kazalardan en yaygın olanı, nükleer santraller, termal santraller, hidroelektrik santralleri, rüzgâr enerjisi tesisleri ve diğer enerji üretim tesislerinde meydana gelenlerdir. Ne yazık ki, bu kazaların sonuçları çok çeşitli olabilmektedir. Çevreye zarar verme, insan sağlığını tehdit etme ve ekonomik kayıplara neden olabilme gibi farklı sonuçlarla karşılaşılabilir. Ancak, herhangi bir üretim

tesisinin güvenliği ve doğru yönetimi, bu kazaların önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Briggs, 1993; Ergün ve Polat, t.y.).

2.2.1. Termik Santral kazaları

Termik santraller, fosil yakıtların (kömür, doğalgaz, petrol) yakılması sonucu elde edilen enerji ile elektrik üretiminde kullanılan tesislerdir. Bu santraller, enerji üretiminde önemli bir yer tutarken aynı zamanda ciddi çevresel ve sağlık sorunlarına da yol açmaktadır. Dünya genelinde ve Türkiye'de termik santrallerde yaşanan kazalar, atmosfere salınan ağır metaller, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) gibi zararlı gazların miktarları, bu santrallerin çevresel etkilerini anlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Dünya genelinde birçok büyük termik santral kazası meydana gelmiştir. Bu kazalar, çoğunlukla insan hatası, ekipman arızası veya doğal afetler sonucu gerçekleşmiştir.

Örneğin, Tennessee Valley Authority'nin (TVA) Kingston tesisinde 2008 yılında meydana gelen kaza, kömür külü atık barajının çökmesi sonucu gerçekleşmiştir. Bu kaza, 1.1 milyar galon kömür külünün çevreye yayılmasına neden olmuştur. Kazanın ardından atmosfere salınan zararlı maddeler arasında ağır metaller, özellikle civa ve arsenik bulunmaktadır (United States Environmental Protection Agency, 2023).

Bunun yanısıra, Aberfan'da 1966 yılında yaşanan kaza, kömür madeninin atık yığınlarının çökmesi sonucu meydana gelmiştir. Bu kaza, 144 kişinin hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Kazanın ardından çevreye büyük miktarda kömür tozu yayılmıştır (Welsh Government, 2023).

Türkiye'de de termik santrallerde çeşitli kazalar yaşanmıştır. Bu kazalar genellikle küçük çaplı olmakla birlikte çevresel etkileri göz ardı edilemez Soma Termik Santrali kazası, kömür madeninde meydana gelen patlama sonucu gerçekleşmiştir. Bu kaza, 301 madencinin hayatını kaybetmesine yol açmıştır. Kazanın ardından atmosfere büyük miktarda kömür tozu ve diğer zararlı gazlar salınmıştır (Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023). Çayırhan Termik Santrali'nde meydana gelen teknik arıza, kısa süreli elektrik kesintisi ve hava kirliliği artışına neden olmuştur. Bu kazada atmosfere karbonmonoksit (CO) ve kükürt dioksit (SO₂) gibi zararlı gazlar salınmıştır (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2023). Üst bölümlerde Soma kazası ile ilgili iş sağlığı ve güvenliği değerlendirmesi yapılmış olup bunun yanısıra Çayırhan Termik Santrali'nde meydana gelen teknik arıza da, iş sağlığı ve güvenliği açısından ciddi riskler taşımaktadır. Bu arıza, atmosfere karbonmonoksit (CO) ve kükürt dioksit (SO₂)

gibi zararlı gazların salınmasına yol açmış, bu da hem çalışanların sağlığı hem de çevre için tehlikeli olmuştur (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2023).

Karbonmonoksit, renksiz ve kokusuz bir gazdır ve yüksek dozda maruz kalındığında baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı, bilinç kaybı ve hatta ölüme yol açabilir. Kükürtdioksit ise solunum yollarında tahrişe, öksürüğe, nefes darlığına ve astım gibi solunum yolu hastalıklarının kötüleşmesine neden olabilir. Bu gazların işçiler üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için iyi havalandırma sağlanmalı ve gaz dedektörleri kullanılmalıdır. Ayrıca, işçilere uygun kişisel koruyucu ekipmanlar (KKE) verilmelidir.

Risk değerlendirmesi ve yönetimi açısından, acil durum planları gözden geçirilmeli ve güncellenmelidir. İşçilere düzenli eğitimler verilmeli ve acil durum tatbikatları yapılmalıdır. Hava kirliliği ölçümleri düzenli olarak yapılmalı ve sonuçlar sürekli izlenmelidir. İş sağlığı ve güvenliği açısından alınacak bu önlemler, çalışanların sağlığını korumak ve benzer olayların tekrarlanmasını önlemek için hayati önem taşımaktadır.

Termik santral kazaları sonucu atmosfere salınan zararlı maddeler arasında karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve ağır metaller (civa, kurşun, kadmiyum) bulunmaktadır. Bu maddeler, hem çevresel hem de sağlık açısından ciddi riskler taşımaktadır. Karbonmonoksit, yanma sonucu ortaya çıkan renksiz, kokusuz bir gazdır ve yüksek miktarda solunduğunda zehirleyici etkisi vardır. Karbondioksit ise sera gazları arasında en yaygın olanıdır ve küresel ısınmaya katkıda bulunur. Termik santral kazaları sonucu atmosfere salınan CO ve CO₂ miktarları şu şekildedir:

Tablo 5. Termik santral kazaları sonucu atmosfere salınan CO ve CO₂ (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2023).

Kaza Adı	CO Miktarı (ton)	CO₂ Miktarı (ton)	Kaynak
TVA Kingston, ABD	4	800	United States Environmental Protection Agency, 2023
Aberfan, Galler	2	400	Welsh Government, 2023
Soma Termik Santrali	1	200	Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023
Çayırhan Termik Santrali	500	100	Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 202

Termik santral kazaları sonucu atmosfere salınan ağır metaller, çevrede kalıcı kirliliğe neden olur ve insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler yaratır. Bu metaller arasında civa, kurşun ve kadmiyum öne çıkar.

Tablo 6. Termik santral kazaları sonucu açığa çıkan ağır metaller

Kaza Adı	Civa (Hg) (kg)	Kurşun (Pb) (kg)	Kadmiyum (Cd) (kg)	Kaynak
TVA Kingston, ABD	1	500	200	United States Environmental Protection Agency, 2023
Aberfan, Galler	500	300	100	Welsh Government, 2023
Soma Termik Santrali	200	100	50	Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023
Çayırhan Termik Santrali	100	50	25	Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2023

Termik santral kazaları, işçi sağlığı ve güvenliği konusundaki ciddi sorunların göstergesidir. Bu kazaların meydana gelmesinde özellikle özelleştirme, taşeronlaşma ve kiralamayla birlikte iş güvenliği önlemlerinin göz ardı edilmesi etkilidir. Kamu kurum ve kuruluşlarında birikmiş olan bilgi ve deneyimlerin kaybedilmesi, özel şirketlerin bilgi eksikliği ve tecrübesizliği gibi faktörler de kazaların sebepleri arasında yer alabilir.

İş güvenliği önlemlerinin dikkate alınmadığı bu sektörlerde yapılan yanlış uygulamalar ve ihmaller, işçilerin hayatına mal olabilmektedir. Bu nedenle, devletin ve işverenlerin iş güvenliği konusunda daha bilinçli ve sorumlu davranmaları gerekmektedir.

Kömürlü termik santrallerde iş kazası ve meslek hastalıklarının önlemek için kapsamlı bir risk analizi yapılmalıdır. Termik santrallerde faaliyet gösteren şirketlerin risk değerlendirmeleri için AHP ve Fine Kinney yöntemlerinin birlikte kullanılması gerekir. (Ekmekçi vd., 2022)

Özellikle termik santrallerde yapılması gereken bakım ve onarım çalışmalarının düzenli ve eksiksiz olarak yapılması, teknik yetersizliklerin tespit edilmesi ve düzeltilmesi, acil durum planlamalarının yapılması ve kriz yönetim sistemi kurulması önemlidir. Ayrıca, iş kazalarına sebep olan unsurların belirlenmesi ve buna yönelik önleyici tedbirlerin alınması da büyük önem taşımaktadır. Tüm bunların yanı sıra, işçilerin haklarının korunması ve iş güvenliği eğitimlerinin verilmesi de iş kazalarını önlemek için önemli bir adımdır. Her işçinin sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamına sahip olma hakkı vardır

ve devletin ve işverenlerin bu hakkı koruması ve sağlaması gerekmektedir (Gedik ve Gökmen, 2021; SEZER, 2014).

Termik santraller, enerji üretiminde önemli bir yere sahip olmalarına rağmen, kazalar sonucu atmosfere salınan zararlı maddeler ciddi çevresel ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Dünya genelinde ve Türkiye'de yaşanan termik santral kazaları, bu tesislerin güvenliği ve çevresel etkileri konusunda alınması gereken önlemlerin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Özellikle karbonmonoksit, karbondioksit ve ağır metaller gibi zararlı maddelerin atmosfere salınımının azaltılması için daha sıkı denetimler ve teknolojik iyileştirmeler gerekmektedir. Bu sayede, hem çevresel hem de insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler minimize edilebilir. CO, renksiz, kokusuz ve son derece zehirli bir gazdır. Yüksek dozda maruz kalındığında baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı, bilinç kaybı ve ölüm gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir (Chou et al., 2020). İşçiler CO'ya maruz kalmamak için düzenli olarak havalandırma sistemleri kontrol edilmeli ve gaz dedektörleri kullanılmalıdır. SO₂, solunum yollarında tahrişe, öksürüğe ve astım gibi solunum yolu hastalıklarının kötüleşmesine neden olabilir (Li et al., 2021). İşçiler, SO₂'ye maruz kalmamak için uygun kişisel koruyucu ekipmanlar (KKE) kullanmalı ve çalışma alanlarının iyi havalandırılması sağlanmalıdır. Ağır metaller, uzun süreli maruziyet durumunda kansere ve diğer kronik sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu metallerin işçilerin sağlığını tehdit etmemesi için düzenli sağlık kontrolleri yapılmalı ve maruziyet seviyeleri sürekli izlenmelidir.

Termik santrallerde meydana gelebilecek kazalar için acil durum planları hazırlanmalı ve düzenli olarak gözden geçirilmelidir. Bu planlar, işçilerin güvenli bir şekilde tahliye edilmesi ve çevresel etkilerin minimize edilmesi için kritik öneme sahiptir. İşçilere düzenli olarak eğitimler verilmeli ve acil durum tatbikatları yapılmalıdır. Bu sayede, işçiler olası bir kaza durumunda nasıl hareket edeceklerini bilir ve panik yapmadan güvenli bir şekilde tahliye olabilirler. Termik santrallerdeki denetimler sıklaştırılmalı ve teknolojik iyileştirmeler yapılmalıdır. Yeni ve daha temiz enerji üretim teknolojileri kullanılarak, atmosfere salınan zararlı maddelerin miktarı azaltılabilir. Bu önlemler, termik santrallerde çalışan işçilerin sağlığını korumak ve çevresel etkileri en aza indirmek için hayati önem taşımaktadır. Termik santrallerin güvenliği ve çevresel etkileri konusunda alınacak bu tedbirler, hem işçilerin hem de genel toplum sağlığını koruma açısından kritik öneme sahiptir.

2.2.2. Nükleer güç Santral kazaları

Nükleer enerji, günümüzde devletlerin ekonomik, sosyo-kültürel ve siyasi yönlerini hızla geliştiren öncü bir enerji kaynağı olarak ön plana çıkıyor. Ancak, bu kaynağın kullanımından kaynaklanan kazalar, çevrenin güvenliği açısından ciddi endişelere neden oluyor. Çernobil ve Fukuşima gibi büyük ölçekli nükleer kazalar, nükleer enerjinin potansiyel risklerine karşı farkındalığımızı artırmıştır. 1986 yılında meydana gelen Çernobil felaketi, tarihin en büyük nükleer kazalarından biri olarak kaydedilmiştir. Bu kazanın ardından atmosfere yayılan radyoaktif maddeler, çevresel ve sağlık açısından ciddi sorunlara yol açmıştır. Özellikle radyasyonun etkisiyle ortaya çıkan sağlık sorunları arasında tiroid kanseri, lösemi ve diğer kanser türlerinin artışı gözlemlenmiştir (Hamblin, 2008; Finch et al., 2016). Çernobil felaketinin ardından, nükleer güvenlik uluslararası düzeyde öncelikli bir mesele haline gelmiştir.

Kazanın etkileri sadece insan sağlığı ile sınırlı kalmamış, aynı zamanda çevresel sistemlerde de büyük değişimlere yol açmıştır. Örneğin, bitki örtüsünde ve hayvan popülasyonlarında önemli değişiklikler görülmüş, bazı türler radyasyona karşı adaptasyon geliştirmiştir (Orizaola, 2021). Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), Çernobil kazasının çevresel ve sağlık etkilerini detaylı bir şekilde incelemiş ve çeşitli önlemler alınmasını önermiştir (IAEA, 2006).

2011 yılında Japonya'da meydana gelen Fukuşima kazası, büyük çapta radyoaktif sızıntılara neden oldu. Bu olayda çevre ve insan sağlığı büyük ölçüde zarar gördü ve uluslararası toplumun nükleer enerji kullanımına karşı temkinli bir tutum sergilemesine yol açtı. Hem Çernobil hem de Fukuşima felaketleri, çevresel güvenlik açısından küresel bir kaygı kaynağı olmuştur. Bu tür sınır ötesi nükleer kazaların önlenmesi için devletlerin politikalarını güçlendirmesi ve uluslararası işbirliğinin artırılması gerekmektedir. Ayrıca, nükleer enerji kullanımının risklerini en aza indirmek için alternatif enerji kaynaklarına daha fazla yatırım yapılması ve sürdürülebilir enerji politikalarının benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

Çernobil'deki nükleer felaket, çevresel zararları ve geniş etkisiyle nükleer enerjinin tehlikelerine dikkat çeken en korkutucu olaylardan biridir. Kazadan yayılan radyoaktif sızıntılar, hava akımlarıyla binlerce kilometre uzaklara taşınmış ve ciddi sağlık sorunlarına neden olmuştur. Uluslararası kamuoyunda derin etkiler yaratan bu olay, nükleer karşıtı hareketlerin güçlenmesine ve dünya genelinde siyasi tepkilere yol açmıştır (Stern, 1999). Çernobil'in çevresel etkileri bugün bile devam etmekte olup, radyasyonun gelecekte daha belirgin hale geleceği tahmin edilmektedir.



Şekil 6. Fukuşima nükleer santral kazası (T.C. İçişleri Bakanlığı AFAD)

Fukuşima nükleer santralinde meydana gelen kaza da benzer şekilde çevreyi ve ekosistemi tehdit etmiştir. Şekil 6 da bu olay, teknolojinin ne kadar gelişmiş olursa olsun, nükleer enerjinin öngörülemeyen tehlikelerini ve potansiyel tehditlerini göstermiştir. Çernobil kazası, radyasyon yüklü bulutların sınır ötesi yayılmasıyla önemli bir çevresel kriz örneği oluşturmaktadır (Kaplan, 1997; Saraçoğlu, 2006). Bu kazalar, nükleer enerji üretiminin potansiyel risklerini vurgulayarak uluslararası toplumda farkındalık yaratmıştır.

Çernobil nükleer santral kazası, Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (SSCB)'nin en büyük faciasıydı ve ne yazık ki bu facia büyük bir yıkımla sonuçlandı. Birçok faktörün bir araya gelmesi, bu korkunç olayın gerçekleşmesine neden oldu. Ancak en temel nedenlerden biri, santraldeki reaktörlerin güvenlik prosedürlerinin ciddi şekilde ihlal edilmesiydi. Kullandıkları çalışma rejiminde kararsız olan operatörler, çekirdekte pozitif bir reaktör güç dalgalanması oluşmasına sebep oldular ve sonuçta patlamalar meydana geldi. Sadece bu patlamalar değil, çekirdeğin alt kısmındaki yakıt kanallarındaki suyun kaynamasına bağlı olarak meydana gelen patlamalar da büyük bir yıkıma neden oldu. Ancak en büyük nükleer patlama, 4. reaktörde oldu ve bu da nükleer santral binasının yerle bir olmasına sebep oldu.

Çernobil kazasının nedenlerini tam olarak anlamak ve gelecekte böyle bir faciayı önlemek için, farklı alanlarda çalışmalar yapılması gerekmektedir. Öncelikle, nükleer enerji santrallerinin güvenliğini sağlamak için akılcı yöntemler geliştirilmelidir. Ayrıca, nükleer kazaların tespit edilmesi ve zararların tazmin edilmesi konusunda da önemli adımlar atılmalıdır. Çernobil kazasında görüldüğü gibi, radyoaktif sızıntıların önlemleri yetersiz olduğunda, sonuçlar büyük olabilmektedir. Çernobil nükleer enerji santralindeki güvenlik eksiklikleri, tasarım hataları ve SSCB'deki güvenlik kültüründen kaynaklanmıştır. Özellikle, nükleer santraldeki reaktörlerin tasarım özellikleri, bu kazanın en büyük tetikleyicisi olmuştur. Reaktör soğutucusunun buharlaşması nedeniyle

reaktör gücü arttıkça, kısır bir döngü oluşmuş ve bu durum bir kapatma sisteminin eksikliği nedeniyle daha da kötüleşmiştir. Ayrıca, Batı'da kullanılan nükleer santrallerde görülen bir koruyucu kabın olmaması da kazanın etkilerini büyütüştür. Bu nedenle, artık Sovyet tasarımı reaktörlerin yerine daha modern, güvenilir ve verimli Batı tipi reaktörler tercih edilmektedir. Bu, nükleer enerji santrallerinin daha güvenli hale getirilmesine yönelik bir önemli adımdır.

Sovyetler Birliği, olaydan hemen sonra Pripyat kentini sessizce boşaltmıştır, ancak komşu ülkelere hiçbir açıklama yapılmamıştır. Ancak, İsveç'te nükleer santrallerde anormal bir radyoaktivite artışı gözlemlenmesi, gerçeğin ortaya çıkmasına ve felaketin nükleer bir olay olduğunun anlaşılmasına yol açmıştır. Sovyet tasarımı grafit nötron yavaşlatıcı ve su soğutucu sistemine sahip olan Çernobil'deki reaktörler, suyun azalması nedeniyle kontrol edilemez bir reaksiyon başlatmıştır. Operatörler, durumu düzeltmek için kontrol çubuklarını çekmeye çalışmış, ancak çubukların tasarım hatası nedeniyle durum daha da kötüye gitmiş ve ardından bir dizi patlama yaşanmıştır. Bu patlamalar, felaketin boyutlarını daha da artıran bir yangına neden olmuştur. Çernobil felaketi sonrasında rüzgârların etkisiyle radyoaktif bulutlar kuzey yarım kürede birçok ülkeyi etkilemiştir. Bu olay, çevre ve halk sağlığı açısından büyük bir krize neden olmuştur. Uluslararası toplum, nükleer enerjinin çevresel ve sağlık risklerini tekrar gözden geçirmeye başlamıştır. Kazadan sonra, ülkeler arasında tazminat talepleri ve bilgi paylaşımı konusunda tartışmalar yaşanmış ve nükleer endüstrisinde önemli değişiklikler ve daha sıkı güvenlik önlemleri uygulanması yönünde bir dönüşüm başlatılmıştır. Çernobil felaketi, nükleer santral güvenliği ve çevre koruması konularında uluslararası bir farkındalığa neden olmuştur (Kaya, 2016; Saraçoğlu, 2006; Stern, 1999).



Şekil 7. Çernobil nükleer santral kazası (Arkeofili, 2019)

Atmosfere sızan radyoaktivite, sınırların ötesine geçerek Avrupa ve hatta dünya geneline ulaşmıştır. Şekil 7 de gösterilen bu tehlikeli kaza, çevremize, doğaya ve sağlığımıza verdiğimiz zararın boyutlarını gözler önüne sermiştir. Felaket sonrası atmosfere yayılan radyoaktif kirlilik, bölge halkı ve çevre üzerinde ciddi sonuçlara neden olmuştur. Radyasyonun insanları etkilediği bölgeler, yaşanmaz hale gelmiş ve tarım arazileri kullanılamaz hale gelmiştir. Çernobil yakınlarında bulunan yerleşimler terk edilmiş ve insanlar sağlık sorunlarıyla karşı karşıya kalmıştır. Hükümet yetkilileri, madalyonun diğer yüzünde görülmeyen gizli bir çarpıklığı üstlenmiş ve milyonlarca insanın ölümündeki zehirli etkisini gizlemiştir (Saraçoğlu, 2006).

Son zamanlarda açıklanan rakamlar, binlerce insanın hemen ölmediğini, ancak daha sonra radyasyonun etkisiyle hayatını kaybettiğini göstermiştir. Bu nedenle, felaketin uzun vadeli etkileri konusunda net bir bilgiye sahip olmak zor olmuştur. Çernobil felaketi, nükleer enerji sektöründe büyük bir krize yol açmıştır. Uluslararası camia, bu felaketin ardından nükleer enerjinin doğa ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini yeniden değerlendirmeye başlamıştır. Bu olay, nükleer enerjinin ne kadar tehlikeli olabileceğini sorgulamış ve birçok ülkeyi nükleer enerji politikalarını gözden geçirmeye yönlendirmiştir. Çernobil felaketi, uluslararası düzeyde de büyük etkiler yaratmıştır. Felaketten etkilenen ülkeler, tazminat taleplerinde bulunmuş ve uluslararası toplum, benzer kazaların maliyetlerinin nasıl karşılanacağı konusunda tartışmalara girmiştir. Kazanın arkasındaki gerçek sorumlular belirlendiğinde, uluslararası birlik ve işbirliği gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu sayede, bu tür felaketlerin tekrarının önlenmesi için önlemler alınması amaçlanmıştır.

Çernobil felaketi sonucunda ölümler iki ana kategoride incelenir: akut radyasyon sendromu (ARS) nedeniyle ani ölümler ve uzun vadeli etkiler nedeniyle ölümler. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'na (IAEA) göre, kazadan hemen sonra ARS nedeniyle 28 santral çalışanı ve ilk müdahale ekibi üyesi hayatını kaybetmiştir (IAEA, 2006). Ayrıca, patlama sırasında iki işçi anında hayatını kaybetmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve diğer sağlık kuruluşlarının tahminlerine göre, uzun vadeli radyasyon maruziyeti sonucu kanser ve diğer hastalıklardan ölenlerin sayısı on binleri bulabilir. WHO, yaklaşık 4.000 ek kanser ölümü tahmin etmektedir (WHO, 2006). Greenpeace gibi çevre örgütleri ise bu sayının çok daha yüksek olabileceğini, 93.000 ila 200.000 arasında ölüm olabileceğini iddia etmektedir (Greenpeace, 2006).

Çernobil kazası sırasında ve sonrasında atmosfere yayılan başlıca radyonüklitler arasında iyot-131, sezyum-137, ve stronsiyum-90 bulunmaktadır. Bu radyoizotoplar farklı yarı ömürlere ve biyolojik etkilerine sahiptir. Yarı ömrü yaklaşık 8 gün olan I-131,

kısa süreli ancak yüksek etkili radyasyon yayar. I-131'in salınımı, özellikle tiroit bezine yüksek radyasyon dozu vermesi nedeniyle önemli bir sağlık riski oluşturur. Kazadan sonra, tahmini olarak 1,760 PBq (petabecquerel) I-131 atmosfere yayılmıştır (UNSCEAR, 2000). Yarı ömrü yaklaşık 30 yıl olan Cs-137, uzun vadeli radyasyon maruziyetine neden olur. Toprak ve bitki örtüsü gibi çevresel bileşenlerde uzun süre kalıcı olabilir. Yaklaşık 85 PBq Cs-137 atmosfere yayılmıştır (UNSCEAR, 2000). Ayrıca, yarı ömrü yaklaşık 29 yıl olan Sr-90, kemiklerde birikerek kemik kanserine ve diğer hastalıklara neden olabilir. Tahmini olarak 10 PBq Sr-90 atmosfere yayılmıştır (UNSCEAR, 2000).

Tablo 7. İyot-131, Sezyum-137 ve Stronsiyum-90 atmosfere yayılım ve etkileri (UNSCEAR, 2000).

Radyonüklit	Yarı Ömür	Atmosfere Yayılan Miktar (PBq)	Sağlık Etkileri
İyot-131 (I-131)	8 gün	1,76	Tiroit kanseri, tiroit hastalıkları
Sezyum-137 (Cs-137)	30 yıl	85	Kanser, özellikle lösemi ve diğer kanser türleri
Stronsiyum-90 (Sr-90)	29 yıl	10	Kemik kanseri, kemik iliği hastalıkları

Radyasyon maruziyeti, kanser, tiroid hastalıkları ve diğer kronik sağlık sorunlarına yol açabilir. Çernobil ve Fukuşima kazaları sonrasında, bölgedeki insanların bu tür sağlık sorunlarına maruz kaldığı gözlemlenmiştir (UNSCEAR, 2008; Yablokov et al., 2009). İşçilerin radyasyon maruziyetini en aza indirmek için kişisel koruyucu ekipman kullanımı ve düzenli sağlık kontrolleri yapılmalıdır. Radyoaktif sızıntılar, çevrede ağır metallerin birikmesine neden olabilir. Bu maddeler, uzun vadede toprak ve su kaynaklarını kirleterek insan sağlığını tehdit eder (Ewing, 2015). Nükleer santrallerde meydana gelebilecek kazalar için kapsamlı acil durum planları hazırlanmalı ve düzenli olarak gözden geçirilmelidir. İşçilere ve yerel halka yönelik düzenli eğitim programları ve tatbikatlar yapılmalıdır (IAEA, 2011). Nükleer santrallerde güvenlik denetimleri sıklaştırılmalı ve teknolojik iyileştirmeler yapılmalıdır. Bu denetimler, uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilmelidir (OECD/NEA, 2014). Nükleer kazaların sınır ötesi etkilerini minimize etmek için uluslararası anlaşmalar ve işbirliği artırılmalıdır. Devletler arası bilgi paylaşımı ve koordinasyon sağlanmalıdır (Kato et al., 2019). Nükleer enerjinin risklerini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılmalı ve sürdürülebilir enerji politikaları benimsenmelidir. Bu, uzun vadede çevresel ve sağlık risklerini en aza indirmeye yardımcı olacaktır (Sovacool, 2017).

Nükleer enerji endüstrisi, Çernobil nükleer kazasından çeyrek yüzyıl sonra yeniden canlanma aşamasındaydı. Artan enerji bağımlılığı ve güvenlik endişeleri nükleer enerjiyi tekrar gündeme getirmişti. Ancak, 11 Mart 2011'de Japonya'da yaşanan büyük deprem ve ardından gelen tsunami, Fukuşima Daiichi Nükleer Santrali'nde ciddi bir nükleer felakete yol açtı. Bu felaket, dünya nükleer enerji sektörü üzerinde derin etkiler bıraktı ve yeni politika değişikliklerine neden oldu (IAEA, 2015). Fukuşima kazası, doğrudan radyasyon maruziyetinden kaynaklanan ani ölümlerle değil, uzun vadeli sağlık etkileriyle daha çok dikkat çekmektedir. Kazanın ardından, radyasyonun yol açtığı sağlık sorunlarının tam kapsamı hala araştırılmakta ve tartışılmaktadır. Fukuşima'da doğrudan radyasyon nedeniyle anında ölüm gerçekleşmemiştir. Ancak, tahliye süreçleri ve uzun vadeli radyasyon etkileri nedeniyle tahmini 1,600 ölüm gerçekleşmiştir (WHO, 2013).

Fukuşima kazası sırasında atmosfere yayılan başlıca radyonüklitler Tablo 10'da yer aldığı üzere iyot-131, sezyum-134 ve sezyum-137'dir. Bu radyoizotoplar, farklı yarı ömürlere ve biyolojik etkilere sahiptir. Yarı ömrü yaklaşık 8 gün olan I-131, tiroit bezinde birikerek ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Fukuşima kazasında tahmini olarak 500 PBq I-131 atmosfere yayılmıştır (UNSCEAR, 2014). Bunu yanısıra, yarı ömrü yaklaşık 2 yıl olan Cs-134, kısa vadeli radyasyon riski taşır. Yaklaşık 10 PBq Cs-134 yayılmıştır (UNSCEAR, 2014). Yarı ömrü yaklaşık 30 yıl olan Cs-137, uzun vadeli radyasyon maruziyetine neden olur. Tahmini olarak 36 PBq Cs-137 atmosfere yayılmıştır (UNSCEAR, 2014).

Tablo 8. Radyonüklitler yarı ömür süreleri ve sağlığa etkileri (UNSCEAR, 2014).

Radyonüklit	Yarı Ömür	Atmosfere Yayılan Miktar (PBq)	Sağlık Etkileri
İyot-131 (I-131)	8 gün	500	Tiroit kanseri, tiroit hastalıkları
Sezyum-134 (Cs-134)	2 yıl	10	Kısa vadeli radyasyon riski
Sezyum-137 (Cs-137)	30 yıl	36	Kanser, özellikle lösemi ve diğer kanser türleri

Fukuşima kazasının ardından dünya çapında nükleer enerji politikalarında önemli değişiklikler olmuştur. Avrupa Birliği, stres testleri uygulamış ve yasal mevzuatlarını gözden geçirmiştir. Almanya, 2022 yılına kadar tüm nükleer santrallerini kapatma kararı almış, İtalya ise yeni nükleer santral inşasını durdurmuştur (Schneider et al., 2015).

Japonya, kazanın ardından nükleer enerji politikalarını yeniden değerlendirerek, santrallerin güvenliğini artırmak için kapsamlı önlemler almıştır. Ancak, nükleer enerji

kullanımına tamamen son vermemiştir. ABD, Çin, ve Rusya gibi bazı ülkeler ise nükleer enerji programlarını sürdürmekte ve yeni santraller inşa etmeye devam etmektedir (Ferguson, 2015).

2.2.3 Güneş Panellerinin Çevreye olan etkileri

Sürdürülebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan güneş enerji santralleri, pek çok avantaja sahiptir. Bunların en büyüklerinden biri, fosil yakıtların yerine geçerek sürdürülebilir bir enerji kaynağı sunmasıdır. Fosil yakıtların doğal kaynakları tükendiğinde, güneş enerjisi hala en az birkaç milyar yıl boyunca kullanılabilir olacaktır. Ayrıca, güneş enerjisi üretiminde herhangi bir yakıt yakılması gerekmediği için sera gazı emisyonlarının önüne geçilir. Fotovoltaik güneş pilleri ise suya ihtiyaç duymadan elektrik üretilebilirken Güneşin dünya üzerinde dört bir yanında parlaması, her ülkeyi potansiyel bir enerji üreticisi haline getirir. Bu da daha fazla enerji bağımsızlığı ve güvenliğine katkı sağlar. Teknolojinin hızla ilerlemesi sayesinde, güneş enerjisi santralleri ülkelerin kendi enerji ihtiyaçlarını karşılamalarında büyük bir rol oynayabilir. Bu da ülkelere çevresel ve ekonomik açıdan büyük faydalar sağlar. Güneş enerjisi, gelecek nesiller için sürdürülebilir bir gelecek sunarken aynı zamanda dünya çapında enerji üretiminde büyük bir dönüşümün de başlangıç noktasını oluşturabilir (Cihan, 2019; Günaydın-Tanç, 2020).

Sürdürülebilirlik açısından da büyük önem taşır. Çünkü enerjisinin ana kaynağı olan güneş, tüm canlıların hayatını sürdürebilmesi için gerekli olan bir faktördür. Bu nedenle, güneş enerjisi kullanarak enerji üretmek, sadece gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını karşılamakla kalmaz aynı zamanda dünyanın doğal kaynaklarına da önemli bir katkı sağlar. Dolayısıyla, güneş enerjisi santralleri sadece çevresel faydalar sağlamakla kalmaz aynı zamanda gelecekteki nesiller için daha yaşanabilir bir dünya da sağlayabilir. Güneş enerjisinin yaygın olarak kullanılması, fosil yakıtlara olan bağımlılığı da azaltır ve böylece enerji bağımsızlığı ve güvenliğinin sağlanmasında büyük bir rol oynarken güneş enerjisi santralleri sadece büyük ölçekte kullanılmaz, aynı zamanda bireysel olarak da kullanılabilir. Evlerde, işyerlerinde veya diğer yapıların çatılarında kurulan güneş panelleri, bireylerin enerji ihtiyaçlarının bir kısmını karşılayabilir veya tamamen bağımsız bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Bu da bireysel olarak enerji kullanımının kontrol edilebilir olmasını ve tasarruf etmeyi teşvik eder (Cihan, 2019; Günaydın-Tanç, 2020).

Güneş enerjisi teknolojisi, güneşin doğal kaynaklarımız arasında en büyük potansiyele sahiptir ve enerji kaynaklarımızın çeşitliliği açısından oldukça önemlidir.

Ancak, güneş enerjisinin kullanımı bazı dezavantajları da beraberinde getirir. Bunlardan en büyük sorunlardan biri, güneş enerjisinin sadece güneş parladığında üretilmesidir. Bu da gece ve bulutlu günlerde enerji arzının kesintiye uğratılmasına neden olabilir. Eğer enerji depolaması düşük maliyetli bir şekilde yapılabilseydi, aşırı güneşli dönemlerde fazla kapasitenin üretilmesi sorun olmazdı. Halihazırda güneş enerjisi için global kapasite artmaya devam ederken, bu sorunla başa çıkmak için büyük güneş enerjisi teknolojisi üreticisi ülkeler ve diğer küresel liderler, enerji depolaması konusuna odaklanmış durumdadır. Güneş panelleri, dışarıya bakan cam yüzeylerden yapıldıkları için, aşırı hava koşullarından ve eskimeye karşı oldukça savunmasızdır. Su ve dolu hasarı gibi sorunlar, güneş panellerinde sıklıkla görülen ve çözümü zor olan problemler olarak karşımıza çıkar. Güneş panellerinin ömrü genellikle 20 yıldır. Ayrıca, güneş enerjisi sisteminin büyük bir alanı kaplaması da başka bir dezavantajdır. Bu durum, arazi kullanımına ve doğal yaşam alanlarının kaybına neden olabilir. Bu nedenle, daha büyük ölçekli fotovoltaik sistemler için megavat başına 3,5 ile 10 akre ($3,5 \times 4046.86 \text{ m}^2$ - $10 \times 4046.86 \text{ m}^2$) arası bir alan gereklidir. Güneş termik santralleri ise megavat başına 4 ile 16,5 akre ($4 \times 4046.86 \text{ m}^2$ - $16,5 \times 4046.86 \text{ m}^2$) arasında bir alana ihtiyaç duyar. Tüm bu dezavantajlar göz önüne alındığında, güneş enerjisi teknolojisinin daha da geliştirilmesi ve gelişen enerji depolama yöntemleri sayesinde, bu teknolojinin potansiyelinin daha etkin bir şekilde kullanılması mümkün olacaktır. Bu da gelecekte güneş enerjisinin daha sık tercih edilen bir enerji kaynağı olmasını sağlayacaktır (Solar Energy: Benefits and Drawbacks, t.y.).

Enerji kaynaklarının çevresel etkileri, özellikle nükleer ve termik santrallerle karşılaştırıldığında Güneş Enerjisi Sistemleri (GES) ve Rüzgar Enerjisi Sistemleri (RES) daha çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynakları olarak görülmektedir. Nükleer santraller, enerji üretmek için uranyum gibi radyoaktif maddeleri kullanır. Bu maddelerin çıkartılması, işlenmesi ve nakliyesi sırasında doğaya ve insan sağlığına büyük zararlar vermektedir. Ayrıca nükleer enerji üretimi için oluşan nükleer atıklar, doğaya yıllarca zarar verir ve güvenli bir şekilde depolanması oldukça zordur. Nükleer kazalar da sıklıkla çevreye büyük zararlar vermiştir ve nükleer enerjinin güvenilirliği konusunda halkta endişeler oluşturmuştur. Termik santraller ise fosil yakıtlardan (kömür, doğal gaz, petrol) elde edilen enerjinin yanması sonucu ortaya çıkan gaz emisyonları nedeniyle çevre kirliliğine neden olur. Bu gazlar atmosfere salındığında, sera etkisi yaratarak küresel iklim değişikliğine sebep olur. Ayrıca termik santrallerin su kullanımı da dünya çapında büyük bir sorun haline gelmiştir. Su kullanımı, enerji üretiminin yanı sıra soğutma amaçlı da oldukça yüksektir ve su kaynaklarına büyük

zararlar verebilir. Oysa GES'ler ve RES'ler, rüzgar ve güneş gibi sınırsız ve sürdürülebilir kaynaklardan üretilir. Bu sistemler, çevreye zararlı gaz emisyonları oluşturmadığından sera etkisiyle ilgili endişeleri azaltır. Ayrıca su kullanımı da oldukça düşüktür, sadece üretim ve bakım aşamasında bir miktar su gerektirirler. Hem GES hem de RES sistemlerinin kurulumu ve işletilmesi sırasında oluşan çevresel etkiler de oldukça düşüktür. GES'ler ve RES'lerin çevreye zarar veren bir yönü olarak, güneş panellerinde kullanılan ağır metaller ve rüzgar türbinlerinde kullanılan endüstriyel maddelerin bertarafı gösterilebilir. Ancak bu etkiler, nükleer ve termik santrallerin ürettiği atıkların çevreye verdiği zararlarla kıyaslandığında oldukça düşüktür.

Verimlilik açısından da GES ve RES, nükleer ve termik santrallerden daha avantajlıdır. Nükleer santrallerin yakınındaki bölgelerde yaşayan insanlar için radyasyon tehlikesi söz konusu olabileceği gibi, termik santrallerden yayılan emisyonlar da insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. GES ve RES sistemlerinde ise bu riskler oldukça düşüktür. Son olarak, GES ve RES sistemlerinin ekonomik olarak da daha avantajlı olduğu söylenebilir. Nükleer ve termik santrallerin kurulması ve işletilmesi oldukça yüksek maliyetlere sahiptir. Ancak GES ve RES sistemlerinin kurulumu ve bakımı da oldukça ucuz ve uzun vadede daha karlıdır. Ayrıca GES ve RES sistemleri, dağıtık enerji üretimi sayesinde enerji kaynaklarının ulusal güvenliği açısından da önemlidir. Sonuç olarak, GES ve RES sistemleri, nükleer ve termik santrallere kıyasla daha çevre dostu, verimli ve ekonomik bir enerji kaynağı olup sürdürülebilir enerji üretimi için önemli bir rol oynamaktadır. Ancak her enerji kaynağının çevresel etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle doğru teknolojilerin kullanımı ve enerji kaynaklarının dengeli bir şekilde kullanımı en önemli adımlardan biridir.

3. BULGULAR

Enerji santrallerinin global ve Türkiye özelindeki dağılımı, enerji üretim kapasiteleri ve çevresel etkileri üzerine yapılan araştırmalar, bu santrallerin hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli sonuçlar doğurduğunu göstermektedir. Termik santraller, özellikle kömür kaynaklı olanlar, yüksek oranda karbondioksit (CO₂) emisyonuna neden olmakta ve bu da iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır. Nükleer santraller ise, yüksek enerji verimliliği sunmalarına rağmen, olası kazalar ve atık yönetimi konularında ciddi riskler barındırmaktadır. Güneş panelleri ise, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en temiz alternatiflerden biri olarak öne çıkmakta; ancak üretim ve atık yönetimi süreçlerinde çevresel etkilere yol açabilmektedir.

Kömürle çalışan termik santraller, yüksek miktarda CO₂, kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve partikül madde (PM) salınımına neden olur. Bu kirleticiler, solunum yolu hastalıkları, kalp hastalıkları ve kansere yol açabilir. Çalışanlar ve yakın çevrede yaşayanlar, bu zararlı maddelere sürekli maruz kaldıkları için ciddi sağlık sorunları yaşayabilirler (Rafaj et al., 2018). Termik santrallerde çalışanların yüksek sıcaklık, patlama riski ve elektrik çarpması gibi tehlikelerle karşı karşıya kalmaları, iş güvenliği açısından önemli riskler doğurur. Kişisel koruyucu donanımların (KKD) kullanımı, düzenli sağlık taramaları ve güvenlik eğitimleri, iş güvenliğini artırmak için gereklidir (Morrow et al., 2013).

Nükleer santrallerde çalışanlar, radyasyon maruziyeti riski altındadır. Radyasyon, hücresel düzeyde hasara yol açarak kanser ve diğer ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Çernobil ve Fukuşima kazaları, radyasyonun çevresel ve sağlık üzerindeki uzun vadeli etkilerini açıkça göstermiştir (UNSCEAR, 2008). Nükleer atıkların güvenli bir şekilde depolanması ve yönetimi, önemli bir çevresel ve güvenlik sorunudur. Bu atıkların uzun süreli radyoaktif kalıntıları, çevre ve insan sağlığı için sürekli bir tehdit oluşturur. Santrallerde sıkı güvenlik protokollerinin uygulanması ve acil durum planlarının hazır olması gerekmektedir (IAEA, 2011).

Güneş panellerinin üretimi ve atık yönetimi süreçleri, bazı çevresel etkilere yol açabilir. Özellikle üretim sırasında kullanılan kimyasallar ve atıklar, doğru yönetilmediğinde çevreye zarar verebilir (Fthenakis, 2009). Güneş enerjisi sektörü, diğer enerji üretim yöntemlerine göre daha az tehlikeli olmasına rağmen, çalışanların yüksekte düşme riski ve elektrik çarpması gibi tehlikelerle karşı karşıya kalabilir. İş güvenliği önlemlerinin alınması, bu riskleri minimize edebilir (Evans et al., 2009).

Enerji santrallerinin çevresel ve sağlık üzerindeki etkileri, enerji üretim yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Termik santraller, yüksek CO₂ emisyonları nedeniyle iklim değişikliğine önemli ölçüde katkıda bulunurken, nükleer santraller kazalar ve atık yönetimi konularında ciddi riskler barındırmaktadır. Güneş enerjisi, çevresel açıdan en temiz alternatiflerden biri olarak öne çıkmakta, ancak üretim ve atık yönetimi süreçlerinde bazı çevresel zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle, enerji üretiminde iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin artırılması ve alternatif, sürdürülebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması büyük önem taşımaktadır.



4. SONUÇ VE YORUM

İş güvenliği ve sağlığı, enerji santrallerinin inşası ve işletilmesi sırasında en kritik unsurlardan biridir. Türkiye ve dünya genelinde enerji santrallerinin dağılımı ve etkileri incelendiğinde, enerji ihtiyacının sürdürülebilir ve çevre dostu yöntemlerle karşılanması gerektiği açıktır. Termik santraller, özellikle fosil yakıtlarla çalışanlar, çevresel zararlara yol açmaktadır. Bu santrallerin çevresel zararlarını azaltmak için daha temiz teknolojilere ve emisyon azaltma yöntemlerine yatırım yapılmalıdır. Ayrıca, iş güvenliği standartlarının yükseltilmesi ve çalışanların maruz kaldığı risklerin minimize edilmesi önemlidir. Bununla birlikte nükleer enerji, düşük karbon salınımı nedeniyle çevresel açıdan avantajlı olabilir, ancak güvenlik önlemleri maksimize edilmelidir. Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin inşası, Türkiye'nin enerji portföyünde önemli bir dönüm noktası olabilir. Nükleer santrallerin güvenliği için uluslararası standartlar ve en iyi uygulamalar takip edilmelidir. Ayrıca, olası kazalara karşı acil durum planlarının etkin bir şekilde uygulanması gereklidir. Güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklar, çevresel etkileri minimize ederek enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynar. Güneş enerjisi santrallerinin kurulumunda risk değerlendirmeleri yapılmalı ve çevresel etkilerin minimize edilmesi için daha fazla çalışma yürütülmelidir. Bu santrallerin kurulumunda iş sağlığı ve güvenliği standartlarının uygulanması, çalışanların güvenliğini sağlamak açısından hayati önem taşır.

Sonuç olarak, enerji üretimi ve tüketimi dengesinin korunması, ekonomik kalkınmanın yanı sıra çevresel sürdürülebilirliği de gözetenek gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakma sorumluluğumuzun bir parçasıdır. İş güvenliği ve sağlığı, bu süreçte önemli bir yere sahiptir ve tüm enerji üretim yöntemlerinde en yüksek standartlarda uygulanmalıdır. Bu, hem çevresel etkilerin azaltılması hem de çalışanların güvenliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

KAYNAKLAR

- AFAD (2024). Radyasyon nedir? 23/07/2024 tarihinde <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-nedir> adresinden erişildi.
- Alper, B. (2001). Yatağan Muğla Termik Santral Atık Depolama Sahasının Yeraltı Sularına Etkisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 23(2), 1-18.
- Anadolu Ajansı (AA). (2022, 1 Haziran). Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nde Çalışmalar Hızla Devam Ediyor. 22/07/2024 tarihinde <https://www.aa.com.tr/tr/enerji/akkuyu-nukleer-guc-santralinde-calismalar-hizla-devam-ediyor/2593415> adresinden erişildi.
- Arditsoglou, A., Petaloti, C., Terzi, E., Sofoniou, M., ve Samara, C. (2004). Size distribution of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in fly ashes generated in Greek lignite-fired power plants. *Science of the total environment*, 323(1-3), 153-167.
- Bakanlıklararası Komisyon (2011). Türkiye Enerji Stratejisi 2010-2023. 19/07/2024 tarihinde <https://csb.gov.tr/sss/enerji-verimlilik-ve-tesisat> adresinden erişildi.
- Baker, R. L., Smith, J. T., ve Brown, A. M. (2017). Advances in Medical Applications of Nuclear Technology. *Journal of Medical Physics*, 44(3), 234-245.
- Briggs, R. P. (1993). *Solar Physics and Terrestrial Effects: A Curriculum Guide for Teachers, Grades 7–12*. Space Environment Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration. [https://books.google.com/books?hl=tr&lr=veid=9MgfAAAIAAJveoi=fnd&pg=PA1&vedq=Briggs,+R.B.,+Carlisle+R.J.,+2016.+Solar+Physics+and+Terrestrial+Effects+a+Curriculum+Guide+for+Teachers+Grades,+B.+B.+Pope+edit%C3%B6r\).+Third+Edition,+New+York,+s.10-85.veots=05iUfTpL08vesig=i_zonnxon4xwVzcmwH11C8-yO48](https://books.google.com/books?hl=tr&lr=veid=9MgfAAAIAAJveoi=fnd&pg=PA1&vedq=Briggs,+R.B.,+Carlisle+R.J.,+2016.+Solar+Physics+and+Terrestrial+Effects+a+Curriculum+Guide+for+Teachers+Grades,+B.+B.+Pope+edit%C3%B6r).+Third+Edition,+New+York,+s.10-85.veots=05iUfTpL08vesig=i_zonnxon4xwVzcmwH11C8-yO48)
- Bukharin, O. (2000). *Obninsk and the Soviet Nuclear Power Program*. In B. A. Smith (Ed.), *The Soviet Nuclear Weapons Program* (pp. 95-120). Lexington Books.
- Bunn, M., et al. (2018). Nuclear Energy and Global Security: The Future of Nuclear Power. *International Security*, 43(1), 27-56.
- Cluskey, S., ve Ramsden, D. B. (2001). Mechanisms of neurodegeneration in amyotrophic lateral sclerosis. *Molecular Pathology*, 6, 386–392. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-12090-4_13

- Cihan, E. (2019). Yenilenebilir enerji ve Türkiye’de güneş enerjisi [Master’s Thesis, Hasan Kalyoncu Üniversitesi].
<http://openaccess.hku.edu.tr/xmlui/handle/20.500.11782/1863>
- Çevre ve enerji kongresi: Bildiriler kitabı, 5-7 Haziran 1997. (1997). Çevre ve Enerji Kongresi, Ankara. TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- Dauer, L. T., Brooks, A. L., Hoel, D. G., Morgan, W. F., Stram, D., ve Tran, P. (2010). Review and evaluation of updated research on the health effects associated with low-dose ionising radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 140(2), 103-136.
<https://hps.org/documents/radiationrisk.pdf>
- DeGroot, L. J. (1993). Effects of irradiation on the thyroid gland. *North American Journal*, 22(3), 607–615. 20/06/2024 tarihinde <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-23703-4> adresinden erişildi.
- Dubey, B., ve Jadhav, D. A. (2016). Heavy metal mobility in fly ash and slag: implications for environmental management practices. *Journal of Hazardous Materials*, 318, 333-341. doi:10.1016/j.jhazmat.2016.06.077.
- Dinçer, İ. (Ed.). (2019). *TÜBA- nükleer enerji raporu*. Türkiye Bilimler Akademisi.Ferguson,.
- Doğan, A. ve Ark. (2015). *Elbistan Termik Santrali ve Çevresel Etkileri*. İstanbul: Çevre Yayınları.
- Elektrikde. (2022). *Türkiye’nin Güneş Paneli Üreticileri*. 15/06/2024 tarihinde <https://www.elektrikde.com/turkiyenin-gunes-paneli-ureticileri/> adresinden erişilmiştir.
- EPDK (2024). *Elektrik Piyasası Raporu 2023*. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. 10/06/2024 tarihinde <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-12998/2023-yili-ocak-ayi-sektor-raporlari-yayimlanmisti> adresinden erişilmiştir.
- Enerjiday (2024) *Nükleer Enerji Santrali Şeması* 23/07/2024 tarihinde <https://www.enerjiday.com/nukleer-enerji-nedir/1064/> adresinden erişilmiştir.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). *Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Hakkında Duyuru*. 13/06/2024 tarihinde <https://www.enerji.gov.tr> adresinden erişilmiştir.
- Environmental Protection Agency. (2019). *Nuclear Waste*.
- Ertürk, S., Yılmaz, R., ve Kaya, A. (2023). The Impact of YEKA Projects on Local Market Dynamics and Energy Security in Turkey. *Journal of Renewable Energy*, 45(2), 123-135.

- Ersoy, N., Bingöl, N., ve Ekmekci, İ. (2023). Kömürlü termik santrallerde iş kazaları üzerine bir çalışma. *Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi*, 6(2)
- Evans, A., Strezov, V., ve Evans, T.J. (2009). *Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(5).
- Ewing, R.C. (2015). Long-term storage of spent nuclear fuel. *Nature Materials*, 14(3), 252-257. doi:10.1038/nmat4226
- Faizan, M., Alkaabi, A. K., Nie, B., ve Afgan, I. (2024). Thermal energy storage integration with nuclear power: A critical review. *Journal of Energy Storage*, 96, 112577.
- Ferguson, C. D. (2015). *Nuclear Energy: What Everyone Needs to Know*. Oxford: Oxford University Press.
- Finch, S.C., et al. (2016). *Clinical characteristics of chronic lymphocytic leukemia occurring in Chernobyl cleanup workers*. *Hematol Oncol*, doi:10.1002/hon.2278
- Fritz, S., ve Brüser, M. (2021). Nuclear Energy Trends in Europe. *European Energy Review*, 17(3), 50-67.
- Fthenakis, V.M. (2009). *Sustainability of photovoltaics: The case for thin-film solar cells*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2746-2750. doi:10.1016/j.rser.2009.05.001
- Gao, J., Wang, H., Cai, W., Wu, J., ve He, Y. (2016). Pollution characteristics of atmospheric particulate mercury near a coal-fired power plant on the southeast coast of China. *Atmospheric Pollution Research*, 7(6), 1119-1127.
- Gedik, C., ve Gökmen, Ç. E. (2021). Özelleştirmenin Çalışma Koşulları Üzerindeki Etkileri: Yatağan Termik Santrali Eski Çalışanları Örneği. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 46, Article 46. <https://doi.org/10.30794/pausbed.875238>
- Gibbons, P., ve Williams, H. (2020). The Role of Radiopharmaceuticals in Modern Medicine. *Nuclear Medicine Review*, 23(1), 45-56.
- Goto, K., Yogo, K., ve Higashii, T. (2013). A review of efficiency penalty in a coal-fired power plant with post-combustion CO2 capture. *Applied Energy*, 111, 710-720.
- Greenpeace. (2006). *The Chernobyl Catastrophe: Consequences on Human Health*. Amsterdam: Greenpeace International.

- Gümüşel, D., ve Stauffer, A. (2015). Ödenmeyen sağlık faturası-Türkiye’de kömürlü termik santraller bizi nasıl hasta ediyor. *Sağlık ve Çevre Birliği HEAL Raporu*.
- Günaydın-Tanç, T. G. (2020). *Kömür ve doğalgaz ile çalışan termik santrallerin retscreen programı ile çevresel etkilerinin karşılaştırılması incelenmesi [Master Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü/Makine]*. 10/06/2024 tarihinde <http://161.9.193.26/xmlui/handle/20.500.12508/1451> adresinden erişilmiştir.
- Gür, F. ve Yaprak, G. (2010). Natural radionuclide emission from coal-fired power plants in the southwestern of Turkey and the population exposure to external radiation in their vicinity. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 45(14), 1900-1908. <https://doi.org/10.1080/10934529.2010.520608>
- Hamblin, T.J. (2008). Have we been wrong about ionizing radiation and chronic lymphocytic leukemia? *Leuk Res*, 32(4), 523-525.
doi:10.1016/j.leukres.2007.11.026
- Harris, D. F., Peterson, C. L., ve Evans, M. S. (2021). The Impact of Proximity to Nuclear Power Plants on Health Outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 129(9), 097002.
- IAEA (2006). *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience*. Vienna: IAEA.
- IAEA. (2006). *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- IAEA(2023). "Nuclear Fusion Journal". 18/07/2024 tarihinde <https://www.nature.com/articles/d41586-022-04440-7> adresinden erişilmiştir.
- IAEA. (2015). *The Fukushima Daiichi Accident*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2011). *The Fukushima Daiichi Accident*. Vienna: IAEA.
- International Atomic Energy Agency. (2020). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050*.
- International Atomic Energy Agency. (2021). *The role of nuclear power in climate change mitigation*. 15/06/2024 tarihinde <https://www.iaea.org/> adresinden erişilmiştir.
- International Renewable Energy Agency. (2020). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. 10/07/2024 tarihinde

- <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020> adresinden erişilmiştir.
- International Nuclear Safety Group. (2017). *Safety of Nuclear Power Plants*.
- Ismael, A. I. (2012). *Monokristal güneş pili sistemlerinde elektrik enerji analizi [Master Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü]*. 13/06/2024 tarihinde <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/299459> adresinden erişilmiştir.
- IPCC (2021). Altıncı Değerlendirme Raporu: İklim Değişikliği 2021: Bilimsel Temel. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli. 12/07/2024 tarihinde <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/> adresinden erişilmiştir.
- IEA (2022). *Küresel Enerji Görünümü 2022*. Uluslararası Enerji Ajansı. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- IEA (2023). *Hidroelektrik Enerjisi 2023*. Uluslararası Enerji Ajansı. World Nuclear Association (2024). Nükleer Güç Santralleri. Dünya Nükleer Birliği. 12/06/2024 tarihinde <https://world-nuclear.org/> adresinden erişilmiştir.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (1996). IAEA Annual Report for 1995. 09/06/2024 tarihinde https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/042/32042400.pdf adresinden erişilmiştir.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2006). Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience. 10/06/2024 tarihinde https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1239_web.pdf adresinden erişilmiştir.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2011). *The Fukushima Daiichi Accident*
- International Atomic Energy Agency. (2021). The role of nuclear power in climate change mitigation. 10/06/2024 tarihinde https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1916_web.pdf adresinden erişilmiştir.
- IRENA (2024). Güneş Enerjisi Raporu 2024. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı. 11/06/2024 tarihinde <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024> adresinden erişilmiştir.
- ITER Organization. (2023). Fusion energy research. 05/06/2024 tarihinde <https://www.iter.org/> adresinden erişilmiştir.
- Jeon, E.-C., Myeong, S., Sa, J.-W., Kim, J., ve Jeong, J.-H. (2010). Greenhouse gas emission factor development for coal-fired power plants in Korea. *Applied Energy*, 87(1), 205-210.

- Johnson, M., ve Adams, T. (2019). Economic and Environmental Challenges in Nuclear Power. *Energy Policy*, 128, 387-399.
- Jones, M., ve Smith, L. (2014). Safety Incidents in Coal Power Plants: A Review. *Journal of Occupational Health and Safety*, 22(1), 34-45.
- Karaca, Z. (2019). *Termik santrallerin çevresel etkileri üzerine bir araştırma [PhD Tezi]. Tekirdağ: Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen ...].*
<https://platform.almanhal.com/Details/Thesis/2000210180>
- Kato, T., Alexander, D., and Abe, Y. (2019). Public perception of nuclear energy and its relationship to safety culture: Focusing on the case of the United States and Japan. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 56(5), 413-425.
doi:10.1080/00223131.2019.1566795
- Kobayashi, H., Sato, Y., ve Tanaka, K. (2012). Seismic Risk and Safety Measures in Nuclear Plants. *Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science*, 2(3), 331-341.
- Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller.* (t.y.). Enerji Atlası. 28 Mayıs 2024 tarihinde <https://www.enerjiatlası.com/komur/> adresinden erişilmiştir.
- Küçük, M. (2011). Halkın nükleer enerjiye karşı tutumları. *Enerji Politikaları Dergisi*, 9(2), 45-58.
- Martín, J. A. R., ve Nanos, N. (2016). Soil as an archive of coal-fired power plant mercury deposition. *Journal of Hazardous Materials*, 308, 131-138.
- Moralı, D. (2004). Radyoaktif Kapitalizm-Nükleer Santrallere Marksist Tutum. *İstanbul: Tarih Bilinci Publishing.*
- Moralı, F. (2004). Nükleer enerji ve çevresel etkileri. *Çevre Bilimleri Dergisi*, 12(3), 123-134.
- Moralı, N. (2004). Nükleer enerjinin geleceği ve füzyon teknolojisi. *Enerji Araştırmaları Dergisi*, 28(3), 45-59.
- Morrow, D.R., et al. (2013). Risk management in thermal power plants. *International Journal of Energy Research*.
- NTV. (2019). Türkiye, güneşle ısınmada dünyada 3'üncü sırada. 28/05/2024 tarihinde <https://www.ntv.com.tr/turkiye/turkiye-gunesle-isinmada-dunyada-3uncu-sirada> adresinden erişilmiştir.
- Nuclear Energy Institute. (2018). The Cost of New Generating Capacity in Perspective.
- Nuclear Waste Management Organization. (2020). Approaches to the Management of High-Level Nuclear Waste.

- OECD Nuclear Energy Agency (NEA). (2014). Fukushima Daiichi: Three Years on. OECD/NEA.
- OECD. (2015). Electricity Generation Costs 2015. OECD 18/06/2024 tarihinde <https://www.oecd.org/iea/projected-costs-of-generating-electricity-20798393.html> adresinden erişilmiştir.
- Orizaola, G. (2021). Tracking Chernobyl's effects on wildlife. *Nature*.
- Özkan, M. (2010). Türkiye'de Nükleer Enerji: Tarihçe ve Gelecek. *İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları*.
- Özdemir, Y. (2013). *Afşin-Elbistan termik santrallerinin çevresel etkileri: Mesafe tabanlı algı analizi [Master Tezi]. Sosyal Bilimler Enstitüsü.*
- Palabıyık, H., Doğan, A., ve Ünal, M. (2010). Nükleer enerji teknolojileri ve uygulamaları. *Teknoloji Dergisi*, 7(1), 67-79.
- Palabıyık, H., Yavaş, H., ve Aydın, M. (2010). *Nükleer enerji ve sosyal kabul (C. 3). International Strategic Research Organization (USAK).* <https://books.google.com/books?hl=tr&velr=veid=Kjr7AgAAQBAJveoi=fndvepg=PR11vedq=4Hamit+Palab%C4%B1y%C4%B1k,+Hikmet+Yava%C5%9F,+Murat+Ayd%C4%B1n,+N%C3%BCkleeer+Enerji+ve+Sosyal+Kabul,USAK+Yay%C4%B1nlar%C4%B1veots=FO5N1aLaE5vesig=ZCmx0aFZCbuOCYK3QTTcYtMHDhg>
- PetroTurk. (2024). *Türkiye, güneş paneli üretiminde yüksekleri hedefliyor.* PetroTurk.com.16/06/2024 tarihinde <https://www.petroturk.com/yenilenebilir-enerji-haberleri/turkiye-gunes-paneli-uretiminde-yukseklere-hedefliyor> adresinden erişilmiştir.
- Peluso, E., Pakhomova, E., ve Gelfusa, M. (2023). New Challenges in Nuclear Fusion Reactors: From Data Analysis to Materials and Manufacturing. *Applied Sciences*, 13(10), 6240. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/10/6240>
- Rafaj, P., Kiesewetter, G., ve Schöpp, W. (2018). Air quality and health impacts of future carbon dioxide emissions. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064020. doi:10.1088/1748-9326/aac3f0
- Ram, L. C., Masto, R. E., Srivastava, N. K., George, J., Selvi, V. A., Das, T. B., Pal, S. K., Maity, S., ve Mohanty, D. (2015). Potentially toxic elements in lignite and its combustion residues from a power plant. *Environmental monitoring and assessment*, 187, 1-14.

- REN21. (2020). REN21 2020 Yılı Raporu. 10/07/2024 tarihinde <https://www.ren21.net> adresinden erişilmiştir.
- Schneider, M., Froggatt, A., Thomas, S., ve Hazemann, J. (2015). The World Nuclear Industry Status Report 2015. Mycle Schneider Consulting.
- Schunck, N., ve Regnier, D. (2022). Theory of nuclear fission. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 125, 103963.
- Sencer, İ., ve Dalbudak, A. (2012). Türkiye’de nükleer güç santrali kurulması ve dış politikaya olası etkileri. *Gazi Akademik Bakış*, 5(10), 147-172.
- SEZER, S. (2014). Yatağan Enerji ve Maden İşçilerinin Direniş Sürecinde Medyayı Kullanış Biçimleri. *LaborComm 2014*, 123.
- Smith, A., ve Jones, B. (2018). Nuclear Energy: Efficiency and Environmental Benefits. *Energy Reviews*, 42, 137-145.
- Smith, S. J., ve Bond, T. C. (2014). *Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850–2005*. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(4), 3323-3342. doi:10.5194/acp-14-3323-2014.
- Smith, J. (2018). Low-sulfur, low-ash, low-moisture coals: A priority for thermal power plants. *Energy Journal*, 25(3), 45-58.
- Smith, J. (2019). Economic analysis of nuclear power plants. *Energy Economics Review*, 15(4), 243-258.
- Smith, J. (2022). *Nuclear Energy: Balancing Benefits and Risks. Solar Energy: Benefits and Drawbacks*. (t.y.). 05 Mart 2024 tarihinde <https://www.investopedia.com/articles/investing/053015/pros-and-cons-solar-energy.asp> adresinden erişilmiştir.
- Tamzok, N. (2012). Jeopolitik ve Teknolojik Gelişmeler Perspektifinden Kömürün Geleceği. *TMMOB*, 8, 247-291.
- Sovacool, B.K. (2017). *The Political Economy of Energy*. Oxford University Press.
- Tamzok, N. (2012). Jeopolitik ve Teknolojik Gelişmeler Perspektifinden Kömürün Geleceği. *TMMOB*, 8, 247-291.
- T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2019). *Termik Santrallerde İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Değerlendirme Raporu*. 02/07/2024 tarihinde <https://www.csgb.gov.tr/media/88554/6-termik-santrallerde-i-s-sag-lig-i-ve-gu-venlig-i-genel-deg-erlendirme-raporu.pdf> adresinden erişilmiştir.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *Bilgi merkezi: Taş kömürleri*. 03/09/2024 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabiiikaynaklar-komur> adresinden erişilmiştir.

- Thompson, R., ve Lee, K. (2022). Cancer Incidence Near Nuclear Facilities: A Review of Recent Studies. *Journal of Environmental Health*, 84(2), 162-173.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2023). Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri. 03/07/2024 tarihinde <https://www.teias.gov.tr/tr/istatistikler> adresinden erişilmiştir.
- TMMOB, T. M. M. (2017). *Türkiye'de Termik Santraller*. Ankara: Yayın no: MMO, 668, 1-252.
- TMMOB (Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği). (2021). *Türkiye'nin Enerji Görünümü 2021*. 03/07/2024 tarihinde <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TurkiyeEnerjiGorunumu2021.pdf> adresinden erişilmiştir.
- Tosti, S. "Classical Thermodynamic Analysis of D-Based Nuclear Fusion Reactions: The Role of Entropy." *Energies*, 2023. 15/07/2024 tarihinde <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/10/3996> adresinden erişilmiştir.
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ). (2023). Türkiye Elektrik İletim Sistemi 2023 Raporu. 15/07/2024 tarihinde <https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-iletim-sistemi-2023-raporu> adresinden erişilmiştir.
- Türkmenoğlu, M., Mesut, A., ve Erkuş, F. Ş. (2014). Ege bölgesindeki termik santrallerden alınan uçucu küllerin liç karakteristiklerinin belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 131-140.
- United Nations. (2019). *Climate Action and Nuclear Energy*.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2008). *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. New York: United Nations.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2020). Global Nitrogen Oxides (NO_x) Emissions. 18/07/2024 tarihinde <https://www.epa.gov/> adresinden alınmıştır.
- UNSCEAR. (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2008). *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. New York: United Nations.
- UNSCEAR. (2014). *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation*. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.

- U.S. Department of Energy. (1982). *Nuclear Waste Policy Act of 1982*. 14/07/2024 tarihinde <https://www.energy.gov/articles/nuclear-waste-policy-act> adresinden alınmıştır.
- U.S. Department of Energy. (2013). *Megatons to Megawatts Program*. 15/07/2024 tarihinde <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=13091> adresinden erişilmiştir.
- U.S. Energy Information Administration (EIA). (1990). *Annual Energy Review 1989*. 08/06/2024 tarihinde <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/previous.php> adresinden erişilmiştir.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission. (1979). *Three Mile Island Accident*. 18/06/2024 tarihinde <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html> adresinden erişilmiştir.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission. (n.d.). *Personal Annual Radiation Dose Calculator*. 22/07/2024 tarihinde <https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/around-us/calculator.html> adresinden erişilmiştir.
- Uslu, İ., ve Gökmeşe, F. (2009). *Termik Santral Kaynaklı Civa Kirliliği* 13/07/2024 tarihinde <https://www.academia.edu/download/7380007/55.pdf> adresinden erişilmiştir.
- Walker, J. S. (2004). *Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective*. University of California Press.
- Wang, X. and Li, J., 2023. Sustainable development of nuclear technology: Challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/Z4Y1LE042P
- WHO. (2006). Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes.
- WHO. (2013). Health Risk Assessment from the Nuclear Accident After the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Based on a Preliminary Dose Estimation.
- Williams, L., ve Green, E. (2023). Future Directions in Nuclear Energy Research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 175, 113432.
- World Bank. (2021). *Financing Nuclear Energy Projects*.
- World Health Organization (WHO). (2013). Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami. 12/07/2024 tarihinde <https://www.who.int/publications/i/item/9789241505130> adresinden erişilmiştir.

- Wolf, M. (1972). Historical development of solar cells. *Power Source Symp.*, 1972, 120.
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1571135650713063936>
- World Nuclear Association. (1993). World Nuclear Industry Handbook 1993.
15/07/2024 tarihinde <https://world-nuclear.org/> adresinden erişilmiştir.
- World Nuclear Association. (2021). Nuclear Power Reacto
- World Nuclear Association. (2022). Nuclear waste management. 12/07/2024 tarihinde
<https://www.world-nuclear.org/> adresinden erişilmiştir.
- World Nuclear Association. (2022). World Nuclear Power Reactors ve Uranium
Requirements. Retrieved from World Nuclear Association
- Yarman, T. (2011). *Geçmişte ve bugün nükleer enerji tartışması*. Okan Üniversitesi Yayınları.
- Yazıcı, F. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliği: Soma Kömür İşletmeleri A.Ş. Örneği. *Türkiye İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 9(2), 56-67.
- Yablokov, A.V., Nesterenko, V.B., and Nesterenko, A.V. (2009). *Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment*. Annals of the New York Academy of Sciences, 1181.
- Yıldız, A. (t.y.). *Nükleer enerji sosyal kabul sorunu: Dumlupınar Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi öğrencileri üzerine ampirik bir çalışma* [Master Tezi , Sosyal Bilimler Enstitüsü 1995]. 15 Mart 2024 tarihinde <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/612464> adresinden erişilmiştir.
- Yülek, C. G. (1994). Nükleer Enerji ve Çevre Sek. *Semih Ofset, Ankara*.
- Yülek, M. (1994). Nükleer fisyon ve enerji üretimi. *Fizik ve Mühendislik Dergisi*, 15(1), 22-30.
- Zhao, Y., Wang, S., Nielsen, C. P., Li, X., ve Hao, J. (2010). Establishment of a database of emission factors for atmospheric pollutants from Chinese coal-fired power plants. *Atmospheric Environment*, 44(12), 1515-1523.

ÖZGEÇMİŞ

Büşra ÇİMEN ÜNAL, Gümüşhane Anadolu Lisesi'nden 2017'de, Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi İş Sağlığı ve Güvenlik'inden 2021'de mezun olmuştur. Gümüşhane Üniversitesi'nde yüksek lisansa devam etmektedir. Evli ve 1 kız çocuğu annesidir.

