

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTLERDE ISINMA KAYNAKLI KARBON AYAK
İZİ AZALTIMINDA TERMİK SANTRALLERİN
ATIK ISISININ KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve ŞENEREN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞLU
YİĞİT**

Eylül 2022

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTLERDE ISINMA KAYNAKLI KARBON AYAK
İZİ AZALTIMINDA TERMİK SANTRALLERİN
ATIK ISISININ KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve ŞENEREN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 30.09.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr.
Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞLU
YİĞİT
Jüri Başkanı**

**Doç.Dr.
Ömer Hulusi DEDE
Üye**

**Prof.Dr.
Hülya KARABAŞ
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Merve ŞENEREN

10.05.2022

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını ve desteğini esirgemeyen saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞLU YİĞİT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım her evresinde olduğu gibi tezim süresince olumlu fikirlerini benimle paylaşan, her zaman sevgisi ve desteği ile arkamda duran babam Şevket ŞENEREN'e ve annem Şaziye ŞENEREN'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. Karbon Ayak İzi	8
2.1.1. Sera gazları ve sera gazı etkisi.....	10
2.1.2. Fosil yakıtlar	12
2.1.2.1. Kömür	13
2.1.3. Karbon ayak izi hesaplama metotları	17
2.1.4. Karbon ayak izi azaltım yöntemleri.....	19
2.1.5. Karbon piyasası ve emisyon ticareti.....	20
2.1.6. Dünya’da karbon ayak izi.....	25
2.1.7. Türkiye’de karbon ayak izi.....	27
2.2. Termik Santraller	30
2.2.1. Termik santrallerin çalışma prensibi	32
2.2.2. Kömürle çalışan termik santraller.....	33
2.2.3. Doğalgaz çevrim santralleri.....	35
2.2.4. Termik santrallerde sera gazı emisyonları	36

2.2.5. Termik santrallerde karbon ayak izi	37
2.2.6. Termik santrallerin çevreye etkisi	40
2.2.7. Dünya’da termik santrallerin durumu.....	42
İÇİNDEKİLER 2.2.8. Türkiye’de termik santrallerin durumu.....	44
2.2.9. Sakarya ilinde enerji santrallerinin durumu.....	46
2.3. Atık Isı	48
2.3.1. Atık ısı geri kazanım sistemleri	49
2.3.2. Atık ısı ile bölgesel ısıtma	51
2.3.3. Termik santrallerde atık ısı ile bölgesel ısıtma	54
2.3.4. Türkiye’de atık ısı ile bölgesel ısıtma potansiyeli ve uygulama örnekleri	56
2.3.5. Dünya’da atık ısı ve örnekleri.....	59
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE METOD	62
3.1. Sakarya İlinde Atık Isı ile Bölgesel Isıtma Potansiyeli	63
3.2. Senaryo 1	64
3.3. Senaryo 2	64
3.4. Veriler	65
3.5. Bölgesel Isıtma Sistem Kurulumu	65
 BÖLÜM 4.	
BULGULAR	67
4.1. Hesaplamalar	67
4.1.1. Senaryo 1’de hesaplanan CO ₂ emisyon miktarı	69
4.1.2. Senaryo 2’de hesaplanan CO ₂ emisyon miktarı	70
4.2. Maliyet.....	72
 BÖLÜM 5.	
DEĞERLENDİRME.....	76
5.1. Senaryo 1 ve Senaryo 2’nin karşılaştırılması	77

BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	88



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AGDAŞ	: Adapazarı Gaz Dağıtım Anonim Şirketi
As	: Arsenik
BİS	: Bölgesel Isıtma Sistemi
BSİ	: İngiliz Standart Kurumu
CAA	: Temiz Hava Yasası
CCR	: Kömür Yakma Kalıntıları
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
FGD	: Baca Gazı Kükürt Giderme Yöntemi
GHG	: Sera Gazı Emisyonu
HES	: Hidroelektrik Santral
Hg	: Civa
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISO	: Uluslararası Standartlar Kurumu
LCA	: Yaşam Döngü Analizi
LEA	: Düşük Fazla Hava
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
NO ₂	: Azot
NO _x	: Azot oksit
OFA	: Aşırı Ateş Havası Uygulaması
PAS	: Kamuya Açık Spesifikasyon
Pb	: Kurşun
PM 2,5	: Çapı 2,5 mikron veya küçük olan parçacıklar
PM	: Partikül Madde
PM10	: Çapı 10 mikrometreden küçük olan toz taneleri

Se	: Selenyum
SO ₂	: Kükürt
SO _x	: Kükürt dioksit
TSAD	: Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
VZA	: Veri Zarflama Analizi
WHR	: Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri
WWF	: Dünya Doğayı Koruma Vakfı
YİD	: Yap, İşlet, Devret



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kömür Üretim Yüzdeleri	15
Şekil 2.2. Katı Yakıtların Satılabilir Üretim ve Teslimat Miktarları, Mart 2022 (TÜİK, 2022).....	15
Şekil 2.3. Ülkelerin 2020 CO2 Emisyonları (Milyon ton)	27
Şekil 2.4. Türkiye'nin Ayak İzi Raporu (Report, 2007)	28
Şekil 2.5 Toplam ve Kişi Başı Sera Gazı Emisyonları 1990-2020 (TÜİK, 2022).....	29
Şekil 2.6. Termik Santral Elektrik Üretim Şeması (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).....	33
Şekil 2.7. Tipik Bir Kömürlü Termik Santralin Bileşenleri (Santral, 2022).....	34
Şekil 2.8. Tipik Bir Kömürlü Termik Santral Bileşenleri	34
Şekil 2.9. Termik Santral Su, Atık su ve Atık Göstergeleri 2016,2018 (TÜİK, 2022).....	42
Şekil 2.10. 2019 yılı Dünya'da Bulunan Kömürlü Termik Santraller (Carbon Brief, 2022).....	43
Şekil 2.11. 2000-2018 yılları arasında Dünya'daki kömürlü termik santrallerin durumu (Carbon Brief, 2022).....	43
Şekil 2.12. Türkiye Kömüre Dayalı Termik Santraller Haritası (Coğrafya Harita, 2022).....	46
Şekil 2.13. Endüstriyel Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri	50
Şekil 2.14. Isı üretim merkezinde kullanılan yakıtlar	51
Şekil 2.15. Bölgesel Isıtma Sistemi Hesap Akış Şeması.....	52
Şekil 2.16. BIS Uygulaması Temel Yapılar	53
Şekil 2.18. Tipik Bölgesel Isıtma Sistemi (TSAD, 2006)	55
Şekil 2.19. Bölgesel Isıtma İletim ve Dağıtım Hatları (TSAD, 2006)	56
Şekil 2.19. EÜAŞ'a bağlı termik santrallerin bölge ısıtma talebini potansiyeli karşılaştırma verileri (Enstitüsü, 2007)	57

Şekil 5.1. Sakarya İli Isınmadan Kaynaklanan Yıllık Emisyon Yüzdeleri	78
Şekil 5.2. Senaryo 1 ve Senaryo 2 İçin Toplam Yıllık Emisyon Değerleri	78



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Üretim Kaynaklarına Göre Küresel Santraller.....	44
Tablo 2.2. Türkiye'de Kömürle Çalışan Termik Santrallerin Yıllık CO2 Emisyon Değerleri (Carbon Brief, 2022)	45
Tablo 2.3. Sakarya İli Enerji Santralleri (Atlası, 2021)	47
Tablo 2.4. EÜAŞ'a Bağlı Termik Santrallerin Teknik Bilgileri (TSAD, 2006)	58
Tablo 2.5. Soma İli 2006-2020 Yılları Karşılaştırma Verileri	58
Tablo 2.6. Konutlarda Oluşan Emisyon Değerleri, SOMA (Tubitak, 2016)	59
Tablo 2.7. Soma B Termik Santrali BİS Uygulaması ile Emisyon Değişimi (Tubitak, 2016).....	59
Tablo 2.8. Bazı Ülkelerde Bölgesel Isıtma Sistemlerinin Durumu (TSAD, 2006).	60
Tablo 3.1. Senaryo 1'de kullanılan veriler	64
Tablo 3.2. Senaryo 2'de kullanılan veriler	65
Tablo 4.1. CO2 (kg CO2e/kg) Cinsinden Sera Gazı Emisyon Kaynakları (IPCC, 2021)	67
Tablo 4.2. Kullanılan Emisyon Kaynakları ve Faktörleri (EPA, 2021)	68
Tablo 4.3. Santralin Elektrik Tüketimine Bağlı Emisyon Miktarı	69
Tablo 4.4. Senaryo 1 Emisyon Sonuçları.....	70
Tablo 4.5. Senaryo 2 Konut Kömür Kullanımı Emisyon Sonuçları	71
Tablo 4.6. Senaryo 2 Santral Linyit Kullanımı Emisyon Sonuçları.....	72
Tablo 4.7. Hesaplamalarda Kullanılan Döviz Kurları.....	73
Tablo 4.8. Santral İşletme Gelir ve Gider Tablosu (TL)	73
Tablo 4.9. BIS Kullanıcısına Ait Harcamalar	73
Tablo 5.1. Hesaplanan Emisyon Miktarları	77

ÖZET

Anahtar kelimeler: Termik santral, atık ısı, karbonayak izi, sera gazı

Dünyada elektrik enerjisinin büyük çoğunluğu termik santralardan kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılması ile sağlanmaktadır. Ancak elektrik üretilmesi için fosil yakıtların yakılması ile küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarından en önemlisi olan CO₂ emisyonu açığa çıkmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıt kullanımını azaltmak için enerji verimliliği, kojenerasyon, yenilenebilir enerji yatırımları gibi çözümlerle fosil yakıt kullanımının azaltılması karbon emisyonunu azaltmak adına önemli bir adım olacaktır. Bunun yanında Termik santrallerin türbin çıkışındaki su buharının yoğunlaştırılması amacı ile kullanılan soğutma kulelerinden atmosfere bırakılan ısınn “bölgesel ısıtma” da kullanılarak geri kazanılması ile ilgili uygulama alanlarının geliştirilmesi de termik santrallerin yarattığı emisyonların azaltılması için başka önemli adım olacaktır.

Bu çalışmada, termik santrallerin atık ısının bölgesel ısıtma sistemi ile konutların ısınma ihtiyacının karşılanması ile konutlarda ısınma için kullanılan doğalgaz ve kömür tüketimin ortadan kalkacağı varsayılarak iki farklı senaryo oluşturularak ısınmadan kaynaklanan karbon emisyonunu azaltmak amaçlanmıştır. Ayrıca, bölgesel ısıtma sistemi ile santralde oluşacak olan su buharının atmosfere salınması engellenerek, kentsel ısı adası oluşumu azaltılmış olacaktır. Dolayısıyla, bölgesel ısıtma sistemi ile ısıtılan konutlarda yakıt tüketiminin ortadan kalması ile karbon salınımının hangi ölçüde azaltılacağı, bölgesel ısıtma sisteminin kurulum maliyeti ve bir termik santralin atık ısını kullanarak yapılacak bölgesel ısıtma sisteminin proses süreci araştırılmıştır.

USE OF WASTE HEAT OF THERMAL PLANTS IN CARBON FOOTPRINT REDUCTION BY HEATING IN CITIES

SUMMARY

Keywords: Thermal power plant, waste heat, carbon footprint, greenhouse gas

Most of the electrical energy in the world is provided by burning fossil fuels such as coal, oil and natural gas from thermal power plants. However, with the burning of fossil fuels to generate electricity, CO₂ emission, which is the most important of the greenhouse gas emissions that cause global warming, is released. For this reason, increasing incentives to reduce fossil fuel use with solutions such as energy efficiency, cogeneration and renewable energy investments will be an important step in reducing carbon emissions. Investigation of the recovery potential of the heat released to the atmosphere from the cooling towers to the atmosphere with the aim of condensing the water vapor at the turbine exit of the thermal power plants through “regional heating” and developing the application areas play an important role.

In this study, it is aimed to reduce the carbon emission arising from the heating by assuming that natural gas and coal consumption used for heating in the residences will disappear as a result of meeting the heating needs of the residences with the district heating system of the waste heat of the thermal power plants. Urban heat island formation will be reduced. Therefore, the extent to which carbon emissions will be reduced by eliminating fuel consumption in the houses heated by the district heating system, the installation cost of the district heating system and the process of the district heating system to be built using the waste heat of a thermal power plant are discussed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tüm dünyada karbon salınımına olumsuz yönde etki eden enerji üretim sektöründe en önemli etkenlerden biri termik santrallerdir. Günümüzde termik santraller çevreye verdikleri olumsuz etkileri ile ciddi ölçüde ön plana çıkmaktadır. Ülkemizde de termik santraller çevre için önemli bir sorun olarak yer almaktadır. Termik santrallerin olumsuz etkileri göz önüne alındığı zaman, bu etkilerin minimuma indirilmesini sağlamak için çözümler üretmek, atılan en önemli adımlardan biri olacaktır. Mevcut durumda, kısa vadede termik santrallerin işlevini durdurmak veya kullanımını önlemek mümkün olmayacaktır. Dolayısıyla var olan termik santrallerin olumsuz etkilerini en aza indirmek için önlemler almak etkili bir çözüm olacaktır. Alınacak önlemler hem karbon salınımını hem de termik santrallerin çevreye olan zararlı etkilerini büyük ölçüde önlemiş olacaktır. Termik santrallerde oluşan atık ısı doğru yöntemlerle kullanıldığı zaman önemli bir ısınma kaynağı olarak kullanılabilir. Ülkemizde Soma Termik Santralinde, termik santrallerden oluşan atık ısının kullanıldığı bölgesel ısıtma sistemi pilot uygulama şeklinde kullanılmaktadır.

Çalışmada, Sakarya ilinde mevcut olan Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin atık ısısının kullanarak bölgesel ısıtma yapıldığı zaman konutlarda doğalgaz tüketiminin ortadan kalkacağı ve Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin üretim kapasitesine eş değer bir kömürlü termik santral var olduğu bunun atık ısısının konutlarda kullanılmasıyla evsel ısınma için kömür kullanımının ortadan kalkacağı kabul edilerek, iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolardan elde edilen hesaplamalar sonucunda karbon salınımının hangi oranda azalacağı ve bunun sonuçları araştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, termik santrallerin atık ısısından faydalanarak yapılacak bölgesel ısıtma sistemleri, termik santrallerden kaynaklanan karbon salınımını azaltmak için olumlu bir adım olacaktır. Dolayısıyla enerji ihtiyacını yeni arzlara yönelik taleplere dönüştürmek

yerine, var olan santrallerin karbon salınımını azaltmak adına adımlar atılması daha kalıcı ve faydalı bir çözüm olacaktır.



BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür araştırmamızda, çalışmamızla doğrudan veya dolaylı olarak ilgili olan çalışmalar; doktora tezleri ve makaleler başta olmak üzere birçok çeşitli kaynaklar incelenmiştir. İncelenen çalışmaların içeriği kısaca aşağıda belirtilmiştir.

M. Wackernagel ve arkadaşları tarafından yapılan “Our Ecological Footprint: reducing human impact on the Earth” başlıklı çalışmada ekolojik ayak izi analizi ele alınarak, kişisel ayak izimizi azaltmanın dünyaya etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında ABD’de %80 oranında bir ekolojik açık olduğu belirtilmiştir.

“Turkey’s Ecological Footprint” raporunda Türkiye’nin ekolojik ayak izi incelenmiştir. Küresel Ayak İzi Ağı raporlarına göre, mevcut durumdaki üretim ve tüketim anlayışımızı değiştirmede 2050 yılına geldiğimizde üç dünyaya eşdeğer bir dünyaya ihtiyacımız olacağı ortaya çıkmıştır.

C. Güngör ve arkadaşlarının yaptığı, “Termik Santrallerin Atık Isılarının Değerlendirilmesi” başlıklı çalışmada termik santrallerin atık ısılarının dünya genelinde nasıl değerlendirildiği araştırılmıştır. Bu değerlendirme yöntemlerinin bölgesel ısıtma alanında, sera ısıtmasında, balık çiftliklerinde, hafif sanayide ve benzeri birçok alanda kullanıldığı görülmektedir. Termik santrallerde atık ısının kullanılması ile toplam verimin %80-90’a kadar ulaşacağı ortaya çıkmıştır.

H.İ. Topal ve arkadaşlarının yaptığı “Çatalağzı Termik Santrali ile Bölgesel Isıtma Yapılabilirliğinin Enerji Analizi” başlıklı çalışmada 4 farklı model belirlenerek kojenerasyon bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistemlerin enerji analizleri yapılarak elde edilen sonuçlarda ara buhar aralığı göz önüne alınarak, santral için uygun bir model belirlenmiştir.

E. Işık ve M. İnallı'nın yaptığı “Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler” adlı çalışmada, bölgesel ısıtma ve kojenerasyon sistemlerinin günümüzdeki gelişmeleri incelenerek ve bölgesel ısıtma için kullanılan santrallerin türleri belirlenerek, avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

Hirofumi ve arkadaşları tarafından yapılan, “Taşınabilir Fourier Dönüşüm Spektrometreleri ile CO₂ Sütun Ölçümlerine Dayalı Olarak Bir Termik Santralden Kaynaklanan CO₂ Emisyonlarının Ölçülmesi” adlı çalışmada, Japonya'daki bir termik santralde Fourier dönüşüm spektrometreleri ile 27 adet CO₂ sütun ölçümlerini analiz ederek, aylık CO₂ emisyonlarının %95 güven ve %6,9'luk bir hassasiyetle ölçülebileceği ortaya konulmuştur.

H. Jouhara ve arkadaşları tarafından yapılan, “Atık Isı Geri Kazanım Teknolojileri ve Uygulamaları adlı çalışmada”, endüstriyel prosesler için kullanılan atık ısı geri kazanım metodolojileri ve en son teknolojiler kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

C. Forman ve arkadaşları tarafından yapılan, “Küresel Atık Isı Potansiyelinin Tahmin Edilmesi” adlı çalışmada, ele alınan atık ısı akışlarının %63'ünün elektrik üretimin en büyük paya sahip olduğu 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda olduğu ortaya konulmuştur.

N. Peker Say'ın yaptığı, “Türkiye’de Linyit Yakıtlı Termik Santraller ve SO₂ Kirliliği” adlı çalışmada, linyit yakıtlı termik santrallerin enerji politikasındaki rolü ve SO₂ kirliliğine katkısı araştırılarak Türkiye’deki linyit yakıtlı termik santrallerin tamamında kükürt giderim sistemi bulunmadığı ortaya konmuştur.

B. El- Khozondar ve arkadaşları tarafından VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu'nda yayınlanan “Elektrik Üretiminde Su Tüketimi ve CO₂ Salımı İlişkisi” adlı bildiride, 2016 yılında işletmede olan bütün santrallerin verileri toplanmış ve su tüketimi faktörleri kullanılarak yakıt türü ve üretilen elektrik başına ve toplam su tüketimi hesaplanmıştır. Analizler sonucunda, santrallerde en fazla su tüketen soğutma sisteminin ıslak soğutma sistemi olduğu belirlenmiştir.

K. Kühne ve arkadaşları tarafından yapılan “Karbon Bombaları- Önemli fosil yakıt projelerinin haritalandırılması” adlı çalışmada, küresel olarak en büyük 425 adet fosil çıkarma projesi belirlenmiştir. Belirlenen projelerin hangi ülkelerde olduğu ve karbon bütçeleri hesaplandıktan sonra toplamda küresel 1,5 °C karbon bütçesini aşan iki katı bir bütçe ortaya çıkmıştır.

K.V. Sterkhov ve arkadaşları tarafından yapılan “Sıfır karbon emisyonlu bir CCGT enerji santrali ve mevcut bir buhar elektrik santrali modernizasyon şeması” adlı çalışmada, doğal gaz oksijen-yakıt yakmalı ve basınçlı ısı geri kazanımlı buhar jeneratörlü kombine çevrim gaz türbini (CCGT) santrali incelenerek verimi değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda santralin verimi oksijen üretimi ve karbon sıkıştırma maliyeti göz önüne alınarak %43,5 olarak belirlenmiştir.

H. El Hage ve arkadaşları tarafından yapılan “Evsel uygulamalardan atık ısı geri kazanım teknikleri hakkında kısa bir inceleme” adlı çalışmada, temel olarak bacaların egzoz gazından ısı geri kazanımı, ocaktan ısı geri kazanımı, elektrik jeneratörlerinden ısı geri kazanımı ve tahliye suyundan ısı geri kazanımı ele alınarak incelenmiştir.

A. Sözen ve arkadaşları tarafından yapılan “Türkiye'deki termik santrallerin operasyonel ve çevresel performanslarının veri zarflama analizi kullanılarak değerlendirilmesi” adlı çalışmada, elektrik üretimi için kullanılan 11 linyit, bir taşkömürü ve 3 doğal gazla çalışan devlete ait termik santralin veri zarflama analizi (VZA) ile verimlilik analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda santraller hem elektrik üretim maliyeti hem de çevresel etkiler açısından değerlendirilmiştir.

X. Yang ve arkadaşları tarafından yapılan “Endeks değerlendirmesine dayalı Çin düşük karbon şehirlerinin gelişim yolu” adlı çalışmada Çin'deki farklı türdeki 36 şehrin düşük karbonlu yol haritası ve orta-uzun vadeli emisyon eğilimi rotaları için öneriler sunulmaktadır.

A. Kalair ve arkadaşları tarafından yapılan “Fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişte enerji depolama sistemlerinin rolü “adlı çalışmada, ısı ve elektrik depolama sistemlerindeki gelişmeleri ayrıntılı şekilde ele alınmıştır.

M.K. Tiwari ve arkadaşları tarafından yapılan “Termik Santrallerde Çevresel Konular” adlı çalışmada, Chhattisgarh'daki kömüre dayalı termik santrallerin olumsuz etkileri ve önleyici tedbirler ele alınmıştır.

C.Forman ve arkadaşları tarafından yapılan “Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri” adlı çalışmada, en yaygın sektörlerin (ulaşım, endüstriyel, ticari ve konut) atık ısı potansiyelinin tahmini için yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

R. Kongboon ve arkadaşları tarafından yapılan “Düşük karbonlu şehirler için sera gazı emisyon envanteri veri toplama ve analitiği” adlı çalışmada, Tayland'daki belediyeler için sera gazı envanteri veri toplama ve analitiği üzerine sekiz belediyenin eksiksiz ve şeffaf bir sera gazı envanteri geliştirilmiştir.

S. Brückner ve arkadaşları tarafından yapılan “Endüstriyel atık ısı geri kazanım teknolojileri: Isı dönüşüm teknolojilerinin ekonomik analizi” adlı çalışmada, endüstriyel atık ısının ısıtma ve soğutma uygulamaları için potansiyeli araştırılmıştır.

S. Werner tarafından yapılan “Bölgesel ısıtma ve soğutmanın uluslararası incelemesi” adlı çalışmada, bölgesel ısıtma ve soğutma inceleme yapısı, piyasa, teknik, tedarik, çevresel, kurumsal ve gelecekteki bağlamlar dikkate alınarak incelenmiştir.

G.C. Akkaya ve arkadaşları tarafından yapılan “Karbona dayalı finansal gelecek sözleşmeleri ve fiyat gelişimi üzerine bir inceleme” adlı çalışmada, karbon piyasasında yaygın olarak kullanılan Sertifikalı Emisyon Azaltma (CER) ile ilgili fiyatsözleşmeleri ayrıntılı şekilde ele alınmıştır.

M.İnallı ve arkadaşları tarafından yapılan “Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler” adlı çalışmada, bölgesel ısıtma ve kojenerasyon

sistemlerindeki gelişmeler, bölgesel ısıtmada kullanılan santral türleri ile bölgesel ısıtmanın avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

N. Abbas ve arkadaşları tarafından yapılan “Fosil yakıtların ve gelecekteki enerji teknolojilerinin gözden geçirilmesi” adlı çalışmada, hidrokarbon düşüş senaryoları ve gelecekteki enerji teknolojileri incelenmiştir.

J. Tan ve arkadaşları tarafından yapılan “Isı esnekliği kullanan enerji ve rezerv piyasalarında yer alan bölgesel ısıtma sistemleri için stratejik yatırım” adlı çalışmada hem elektrik enerjisi hem de rezerv piyasalarına katılan bir bölgesel ısıtma sistemi için, birleşik ısı ve güç üniteleri, ısı pompaları ve termal enerji depolaması için gelişmiş stratejik bir yatırım planı önerilmektedir.

Ö. Yetik ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Yaklaşımı kullanılarak Türkiye’deki termik santrallerin etkinlikleri değerlendirilmiştir.

S. Avcı tarafından yapılan “Türkiye’de termik santraller ve çevresel etkileri” adlı çalışmada, fosil yakıtların kullanımını ve termik santrallerin neden olduğu olumsuz çevresel etkileri azaltmak için Türkiye’deki enerji kaynaklarının doğru yönetimine dair öneriler sunulmuştur.

T. Dordi ve arkadaşları tarafından yapılan “On finansal aktör, fosil yakıtlardan uzaklaşmayı hızlandırabilir” adlı çalışmada, fosil yakıt çıkarma endüstrisinin finansal sistemler ve sürdürülebilirlik geçişleri üzerine etkisi ele alınmıştır.

H. Dulkadiroğlu tarafından yapılan “Türkiye’de elektrik üretiminin sera gazı emisyonları açısından incelenmesi” adlı çalışmada, sera gazı emisyonları üzerindeki etkinin değerlendirilmesi için Türkiye’de 2000-2014 yıllarını kapsayan dönemlere ait emisyon faktörleri hesaplanmıştır.

F. Can tarafından yapılan “Türkiye’de Uygulanan ve Gönüllü Karbon Piyasalarında Faaliyette Bulunan Projelerin Paydaş Katılımı Açısından Değerlendirilmesi” adlı çalışmada, Türkiye’de gönüllü karbon piyasalarında uygulanan projelere ilişkin önerilerin geliştirilmesi ele alınarak değerlendirilmiştir.

T.A. Gadhi tarafından yapılan “Tekstil İşlemlerinde Atık Isı ve Atık Su Geri Kazanımı Endüstri: Benimsenen Uygulamalara İlişkin Bir Örnek Olay İncelemesi” adlı çalışmada, çeşitli atık enerji ve su tasarrufu yöntemleri ile su ve enerji tasarrufunun önemini vurgulamak için bir tekstil işleme endüstrisinde uygulanan yöntemlerin ayrıntılı bir değerlendirmesi yapılmıştır.

T. Zhang tarafından yapılan “Termik Santrallerin Verimliliğini Artırma Yöntemleri” adlı çalışmada, termik enerji üretiminin verimliliğini artırmak için öneriler ile enerji üretiminin her aşamasında enerji geçişinin verimliliği incelenmiştir.

Yapılan çalışmalardan yola çıkarak, tez kapsamında termik santrallerin atık ısıları bölgesel ısıtma sisteminde kullanıldığı zaman elde edilecek sonuçlarla kentsel ısınmadan kaynaklanan karbon salınımından ne kadar tasarruf edileceği ve sonuçları kapsamlı şekilde ele alınmıştır.

2.1. Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izinin kökeni, Wackernagel ve Rees (Bazan, 1997) tarafından önerilen “ekolojik ayak izinin” bir alt kümesi olarak izlenmektedir. Ekolojik ayak izi, küresel hektar olarak ifade edilen, belirli bir insan nüfusu için gereken biyolojik olarak verimli kara ve deniz alanını ifade etmektedir. Zaman içerisinde küresel ısınma konusunun dünya çevre gündeminde ön plana çıkması ile birlikte karbon ayak izi kullanımı, değiştirilmiş bir biçimde de olsa bağımsız olarak yaygınlaşmıştır (Brown ve ark., 2008).

Karbon ayak izi, belirli bir insan faaliyeti sonucunda atmosfere salınan sera gazlarının (öncelikle karbondioksitin) miktarıdır (Dr. Uzma Nadeem, 2019, böl. 7). Karbon ayak

izi aynı zamanda bireylerin veya şirketlerin küresel ısınmaya olan payının ölçüsüdür. Küresel ısınmaya etki eden en önemli faktör olan CO₂ salınımına, ısınma, ulaşım, elektrik tüketimi vb. faaliyetler büyük ölçüde neden olmaktadır. Diğer bir tanım olarak; insan faaliyetlerinin, birim karbondioksit cinsinden ölçülen, üretilen sera gazı miktarı açısından çevreye verilen zararın ölçüsü olarak da tanımlanabilmektedir.

Atmosferdeki artan sera gazı konsantrasyonu, çevreyi yoğun bir şekilde etkileyerek küresel ısınmaya neden olmaktadır. Sadece “ölçülebilir olan yönetilir” kuralına uyarak takip edildiğinde, ölçülebilir farklı ürünlerin yapımı ve süreçleri dünya çapında artarak devam etmektedir (Pandey ve ark., 2011).

Karbon ayak izini hesaplamak için, ürünün yaşam döngüsünde yayılan/kaldırılan veya somutlaşan sera gazlarının miktarı tahmin edilmeli ve eklenmelidir. Yaşam döngüsü, bir ürünün imalatından, hammaddenin nihai ambalajlanmasına, dağıtımına, tüketimine/kullanımına ve nihai bertaraf aşamalarına kadar olan tüm aşamaları içermektedir. Bu nedenle yaşam döngüsü analizine “beşikten mezara analizler” de denmektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), hava kirleticilerinin üretimi, su kullanımı ve atık su üretimi, enerji tüketimi, yayılan sera gazları veya diğer benzer ilgi ve maliyet-fayda inisiyatifleriyle ilgili girdi ve çıktıların eksiksiz bir resmini üretir. Bu değerlendirme genellikle çevresel LCA olarak adlandırılmaktadır. Karbon ayak izi amacıyla, LCA ürünün yaşam döngüsünün tanımlanan her adımında yayılan/içeren sera gazlarını tahmin eder ve teknik olarak sera gazı muhasebesi olarak bilinmektedir. Sera gazı muhasebesi için standartlar ve rehberlik mevcuttur (Schmitz, 2004).Ortak standartlar şunlardır:

Dünya Kaynak Enstitüsü'nün GHG protokolü;

Sürdürülebilir Kalkınma Dünya İş Konseyi (WBCSD)'nin iki, (1) Ürün Yaşam Döngüsü Muhasebe ve Raporlama Standardı ve (2) Kurumsal Muhasebe ve Raporlama Standardı olmak üzere iki standardı vardır.

- Muhasebe ve Raporlama: Sektöre özel ve genel hesaplama araçları sağlar ve sera gazı azaltımlarının nicelleştirilmesiyle ilgilenmektedir. Proje protokolünde azaltma yöntemlerinin benimsenmesi nedeniyle ortaya çıkan ISO14064 (bölüm 1 ve 2) dahil olmak üzere çoğu GHG muhasebe yönergesi için temel oluşturmaktadır (Schmitz, 2004).
- ISO 14064 (bölüm 1 ve 2): Sınırların belirlenmesi, GHG emisyonlarının miktarının belirlenmesi ve uzaklaştırılması için uluslararası bir standarttır. Ayrıca, sera gazı azaltım projelerinin tasarımı için standart sağlamaktadır (ISO 14064-1, 2006, kıs. 1; ISO 14064-2, 2016, kıs. 2).
- Kamuya Açık Spesifikasyonlar-2050 (PAS) İngiliz Standart Kurumunun (BSI 2050): Mal ve hizmetlerin yaşam döngüsü GHG emisyonlarının değerlendirilmesi için gereklilikleri belirtir (Specification, 2008).
- Ulusal Sera Gazı Envanterleri İçin 2006 IPCC Yönergeleri 2006 yönergeleri, daha önceki 1996 yönergelerinin güncellenmiş bir versiyonu olarak bulunmaktadır.
- ISO 14025 LCA'ı yürütmek için bir standarttır.
- ISO 14067 Ürünlerin karbon ayak izine ilişkin geliştirilme aşamasında olan bir standarttır (Schmitz, 2004).

2.1.1. Sera gazları ve sera gazı etkisi

İklim değişikliği, sera gazı (GHG) emisyon yönetimi konusunda farkındalığın artmasına neden olan küresel bir kritik sorundur. İklim değişikliği, fosil yakıt yakma (elektrik üretimi, ulaşım, ev ısıtma), ormancılık- tarım (hayvancılık, sulak alanlar, gübreler, kereste üretimi) ve atık (bertaraf, çöplükler ve yakma) gibi insan faaliyetlerinin bir sonucudur. İklim eylem planlaması, Yeni Kentsel Gündem ve Paris Antlaşması'nda şehirlerin sera gazı emisyonlarını azaltmak ve iklim direncini güçlendirmek için en önemli önceliklerden biri olarak belirtilmektedir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamındaki Paris Antlaşması, iklim değişikliğinin risklerini ve etkilerini önemli derecede azaltacak olan sanayi öncesi seviyelere kıyasla küresel ısınmayı 2°C'nin altında, 1,5°C ile sınırlamayı amaçlamaktadır (Yang, ve ark., 2018).

Şehirler, iklim eylemi ve sera gazı kontrol hedeflerini gerçekleştirmede küresel ölçekte kilit bir rol oynamaktadır. Zenginlik ve nüfus yoğunluğu yüksek kaynak merkezi olmalarına bağlı olarak, toplam birincil enerji tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının yüksek olduğu yerlerdir. Sera gazı emisyonlarının en büyük kaynağı, dünyadaki emisyonların %70'ini oluşturan kentsel alanlardaki insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle şehirler, küresel iklim değişikliğinin etkisini azaltmak için sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Bu amaçla, enerji tüketimi, katı atık yönetimi ve atık su arıtma gibi emisyon kaynakları tarafından üretilen CO₂ miktarını ölçmek için her şehrin bir CO₂ emisyon envanteri oluşturması en önemli ilk adımlardan biri olacaktır (Kongboon ve ark.,2022).

Küresel ısınmaya katkıda bulunan ve toplam küresel sera etkisinin %80'ini oluşturan en önemli üç sera gazı, karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksittir (N₂O). Bunlara ek olarak radyasyon ısınma etkisini sırasıyla karbondioksit %56, metan %15, azot oksit %7'sini oluşturmaktadır. Küresel atmosferde yaklaşık %5-20 CO₂ , %15-30 CH₄ ve %80-90 N₂O topraktan türetilmektedir. Sıcaklık, karasal ekosistemlerin biyokimyasal süreçlerinde fotosentezi, toprak karbon ve nitrojen mineralizasyonunu, toprak solunumunu, nitrifikasyon ve denitrifikasyonu, metan üretimini ve oksidasyon süreçlerini etkileyen, dolayısıyla CO₂ , CH₄ , N₂O emisyonlarını ve emilimini etkileyen kilit faktör olarak kabul edilmektedir (Wang ve ark., 2022).

Sera gazları, karbondioksit, metan, su buharı, hidroflorokarbonlar (HFC), perflorlu bileşikler (PFC) ve diğer gazları içermektedir. Su buharı, atmosferde en çok bulunan sera gazıdır. Atmosferdeki sera gazlarının artmasıyla birlikte, uzun dalgalı kızılötesi (IR) ısı radyasyonu yeniden yayılarak dünya atmosferi içerisinde hapsolmaktadır. Dolayısıyla dünya yüzeyinin ısınmasına neden olmaktadır. Dünyanın stratosferi, normalde güneşten gelen zararlı, kısa dalga ultraviyole radyasyonun (UVB) çoğunu emen ve dünyadaki canlı organizmaları koruyan bir ozon gazı (O₃) içermektedir. Yapılan araştırmalar sonucu kloroflorokarbonlar, halonlar, karbon tetraklorür ve metil kloroform kullanımı dahil olmak üzere birçok maddenin insan faaliyetleri sonucunda ozon tabakasını incelttiğini belirtmektedirler. Bu araştırma ile birlikte sera gazı emisyonlarına bağlı iklim değişikliği, küresel sahnede öne çıkan bir konu haline

gelmiştir. Geçen yüzyılda, atmosferik CO₂ konsantrasyonu, son on yılda hızlı bir artışla 280 ppm'den 370 ppm'ye yükselmiştir. Su buharı sera gazı etkisinin 2/3'üne ve diğer gazlar ise 1/3'üne etki etmektedir. Bu etki, “gelişmiş sera etkisi” veya “antropojenik sera etkisi” olarak adlandırılmaktadır. CO₂ artan sera etkisinin yaklaşık 3/4'üne katkı sağlamaktadır. CO₂ emisyonunun ana kaynağı hidrokarbon fosil yakıtın yanmasıdır. Doğal gazla çalışan kombine çevrim santrallerinden çıkan baca gazlarındaki CO₂ konsantrasyonları hacimce yaklaşık %4'tür, ancak kömürle çalışan kazanlarda bu oran %9-14'e yükselmektedir. Tipik bir 1.000 MW'lık kömür yakıtlı elektrik santrali, yılda yaklaşık yüz bin ton partikül madde, kükürt dioksit ve ayrıca karşılaştırılabilir miktarlarda nitrojen oksit, karbon monoksit, uçucu bileşikler ve eser metaller üretebilmektedir (Z. Tan, 2014, s. 223).

Su buharı bir diğer önemli sera gazıdır. Isıyı tutma özelliği nedeniyle iklim geri bildirimlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Sıcak hava, soğuk havadan daha fazla nem tutar. Bu nedenle, sera gazı konsantrasyonları arttıkça ve küresel sıcaklıklar yükseldikçe, atmosferdeki toplam su buharı miktarı da artmakta ve ısınma etkisini daha da artırmaktadır. Dünya ısındıkça buharlaşma hızı ve havadaki su buharı miktarı artmaya devam ediyor. Günümüzde su buharı, bu kapsamda daha fazla ısınmaya yol açmaya devam etmektedir (EPA, 2022).

2.1.2. Fosil yakıtlar

Fosil yakıtların yakılması, küresel sera gazının en büyük kaynağıdır. Dünya çapında petrol, gaz ve kömür rezervleri sırasıyla günde 1.688 milyar varil, 6.558 trilyon fit küp ve 891 milyar ton günde 0,092 milyar varil, 0,329 trilyon fit küp ve 7,89 milyar ton oranlarında tüketilmektedir. Petrol, gaz ve kömür rezervleri yılda 600 milyar varil, 400 milyar fit küp ve 19,2 milyar ton petrol eşdeğeri oranında artmaya devam etmektedir. Yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları, yüksek bir ilk yatırımla, enerji ve iklim değişikliğinin çözümünün anahtarıdır. Fosil yakıtın sürekli kullanımı, atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun 2015'te 400,26 ppm'e kadar istikrarlı bir şekilde artmasına neden olmuştur (Abas ve ark., 2015).

Fosil yakıtların zararları, rezervlerin sınırlı doğası, hava kirliliği, artan maliyetler ve sağlık sorunlarıdır. Çevresel bozulma, yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı fosil yakıtlardan daha ağır basmaktadır. Fosil yakıt tüketimi, lüks yaşam tarzları, geniş nüfus ve kazançlı ekonomik gelişmeler, dünya gezegenindeki iklim değişikliği ve aşırı hava koşullarının etkili itici güçleridir. Fosil yakıtlar 13,7 milyar ton eşdeğer petrol enerji talebimizin %80'ini karşılamaktadır. Fosil yakıtlara ek olarak, dünya yaklaşık 45 terawatt jeotermal enerji yaymaktadır. CO₂ emisyon ve absorpsiyon bileşenleri biyosfer, hidrosfer, atmosfer, litosfer ve fosil yakıtları içermektedir. Yıllık CO₂ emisyonları fosil yakıtlardan ve çimentodan (35,92 milyar ton) gelirken arazi kullanımı değişikliğinden (3,3 milyar ton) kaynaklanmaktadır. Yıllık CO₂ emisyonlarının yarısı atmosfere, %26'sı karaya ve %24'ü okyanuslara absorbe edilmektedir (Kalair ve ark., 2021).

UNFCCC, son otuz yıldır iklim değişikliğinin azaltılmasını talep yönlü bir zorluk olarak çerçeveledi ve fosil yakıt çıkarımına açık bir şekilde odaklanmaktan kaçındı. IPCC, 1,5°C hedefiyle ilgili özel raporunda, fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonların hızlı bir şekilde azaltılmasının gerekli olduğu ve olağan emisyonların yirmi yıldan daha kısa bir sürede sınırı aşacağı konusunda uyardı. Bu uyarı ile birlikte kamuya ait işletmeler dahil olmak üzere enerji şirketleri tarafından ek fosil yakıt çıkarma projeleri planlanmaya başlanmıştır ve bunlar “yanmaz karbon” çıktısına katkıda bulunmaktadır. Ancak şimdiye kadar, küresel sera gazı emisyonları yol haritası ile ilgili belirli fosil yakıt çıkarma projelerinin kapsamlı ve ayrıntılı bir haritası bulunmamaktadır (Kühne ve ark., 2022).

Dünya üzerinde sadece 200 şirket şu anda petrol, gaz veya kömür şeklindeki küresel fosil rezervlerinin %98'ine sahiptir. Bu rezervlerin yakılması halinde 674 milyar ton karbon emisyonu üreteceği tahmin edilmektedir (Dordi, Gehricke ve ark., 2022).

2.1.2.1. Kömür

Kömür, sanayi devriminin başlamasında büyük bir rol oynamıştır. Kömürle çalışan buhar motorları, daha önceki rayları sistemleri geliştirerek sanayi devrimini

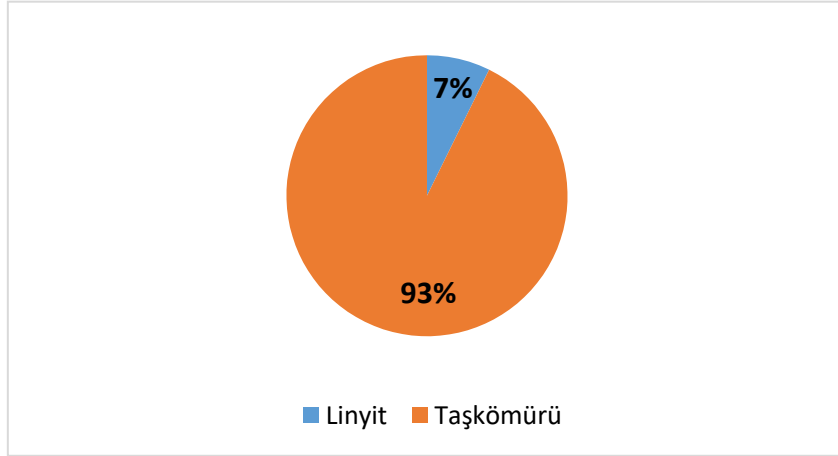
başlatmıştır ve buhar makinasının icadından sonra düzenli yakıt olarak kabul edilmiştir. Dünyanın çeşitli yerlerinde büyük kömür rezervleri bulunmaktadır. Çin ve Amerika en büyük kömür üreticisi ve tüketicisidir. Kömürle çalışan elektrik santralleri, her yıl küresel CO₂ emisyonunun %49-50'si olan 14-15 milyar ton CO₂ üretmektedir. Antrasit, bitümlü, alt bitümlü ve linyit kömürü rezervlerinin küresel toplamı 891,531 trilyon tondur (Abas ve ark., 2015).

Kömür, petrol ve doğal gaz her zaman elektrik üretmek için ana enerji kaynağıdır. Kömür, küresel elektrik üretiminin %40'ını oluşturmaktadır. Bu oran kömürü dünyadaki en önemli üretim yakıtı ve karbondioksit emisyon kaynağı yapmaktadır (Hafner ve Luciani, 2022, s. 113).

Kömür, kömürleşme süreci sonucunda meydana gelmektedir. Bu süreç sırası ile şu şekildedir (TKİ, 2022) :

- Organik Madde
- Turba
- Linyit
- Alt Bitümlü Kömür
- Taşkömürü
- Antrasit
- Grafit (Saf C)

Ülkemiz, dünyada kömür kaynağı ve üretim miktarları olarak linyitte orta düzeyde, taşkömüründe ise alt düzeyde değerlendirilmektedir. Değerlendirme yüzdeleri Şekil 2.1.'de gösterilmektedir (TKİ, 2022).



Şekil 2.1. Kömür Üretim Yüzdeleri

TÜİK 2022 istatistiklerine göre, mart ayında 7 milyon 363 bin 815 ton linyit ve 135 bin 233 ton taşkömürü üretimi gerçekleşmiştir. Ayrıca mart ayında taşkömürü teslimatının %63,2'si termik santrallere, linyit teslimatının ise %84,8'i termik santrallere yapılmıştır (TÜİK, 2022). Linyit ve taşkömürünün üretim ve teslimat miktarları bilgisi ayrıntılı olarak Şekil 2.2.'de verilmektedir.

		Şubat	Mart		Bir önceki aya göre değişim (%)	Bir önceki yılın aynı ayına göre değişim (%)
		2022	2021	2022		
Taşkömürü	Satılabilir üretim	111 239	120 882	135 233	21,6	11,9
	İthalat	2 362 936	2 977 070	2 487 225	5,3	-16,5
	İhracat	13 229	26 809	6 696	-49,4	-75,0
	Teslimatlar	2 914 985	3 172 135	2 295 756	-21,2	-27,6
	Stok değişimi	461 408	99 901	- 325 802		
Linyit ⁽¹⁾	Satılabilir üretim	6 220 202	5 513 743	7 363 815	18,4	33,6
	İthalat	0	0	0		
	İhracat	5 181	96	550	- 89,4	472,9
	Teslimatlar	6 531 205	5 501 439	7 479 538	14,5	36,0
	Stok değişimi	311 003	- 12 303	115 724		

Şekil 2.2. Katı Yakıtların Satılabilir Üretim ve Teslimat Miktarları, Mart 2022 (TÜİK, 2022)

Birleşik Krallık COP26 Başkanlığı ve COP25 ve COP26 Üst Düzey İklim Şampiyonları adına yayınlanan basın açıklamasında dünyanın en çok kömür kullanan ilk 20 ülkesinden beşi de dahil olmak üzere, bugün en az 23 ülke kömür enerjisini aşamalı olarak kullanımdan kaldırmak için yeni taahhütlerde bulundu.

Büyük uluslararası bankalar, 2021'in sonuna kadar yeni kesilmemiş kömür enerjisinin tüm uluslararası kamu finansmanını etkin bir şekilde sona erdirmeyi taahhüt ediyor. En az 25 ülke ve kamu maliyesi kurumu, 2022'nin sonuna kadar azalmayan fosil yakıt enerjisi sektörüne yönelik uluslararası kamu desteğini sona erdirme taahhüdünde bulundu. Temiz enerjiye adil bir geçiş ve kömürden hızlı bir şekilde çıkış, Paris Anlaşması uyarınca sıcaklık artışlarını en aza indirme çabalarının bir parçası olarak COP26 Başkanlığının merkezinde yer aldı. Bugün Glasgow'daki Enerji Günündeki taahhütlerin genişliği, dünyanın yenilenebilir bir geleceğe doğru ilerlediğinin sinyalini veriyor. Endonezya, Vietnam, Polonya, Güney Kore, Mısır, İspanya, Nepal, Singapur, Şili ve Ukrayna da dahil olmak üzere en az 23 ülke kömür enerjisini aşamalı olarak devre dışı bırakmak için yeni taahhütlerde bulundu. Yeni bir Küresel Kömürden Temiz Enerjiye Geçiş Bildirisi'nde, ülkeler ayrıca temiz enerjiyi artırma ve kömürden adil bir geçişi sağlama taahhüdünde bulundular. Paris Anlaşması'nın kabul edilmesinden bu yana son altı yılda küresel olarak planlanan yeni kömür santrallerinin sayısında %76'lık bir düşüş oldu. Bu, 1000 milyar wat'tan fazla yeni kömür santralinin iptal edilmesi anlamına gelmektedir (UNFCCC, 2021).

Paris İklim Anlaşması'nın Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından Ekim 2021'de onaylanması Türkiye için bir dönüm noktası olmuştur. Açıklanan 2053 net sıfır emisyon hedefi, Türkiye'nin emisyon azaltım politikaları açısından yeni ve iddialı bir sürece girdiğini de göstermektedir. Açıklanan iklim hedefine ulaşmak için ülkenin enerji politikasında köklü değişiklikler yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, Türkiye için güncel enerji hedeflerinin belirlenmesi, kapsamlı ve gerçekçi bir stratejinin oluşturulması önemlidir. Kömür enerjisine yönelik mevcut teşviklerin sona erdirilmesi, yenilenebilir enerji kaynakları ve esnek bir enerji sisteminin önünü açacak politikaların geliştirilmesi, tüm dünyada gelişen enerji dönüşümüne ayak uydurabilmek için piyasa düzenlemelerinde gerekli değişikliklerin yapılması ve tedbirlerin geliştirilmesi ve bu geçişin kimseyi geride bırakmayacak şekilde gerçekleşmesini sağlayacak politikalar bu planın temellerini oluşturacaktır. Elektrik üretiminde kömürden çıkış, aynı zamanda 2053 net sıfır emisyon hedefine yönelik ilk adım olacak ve daha esnek ve verimli bir enerji sisteminin kurulmasını

kolaylaştıracaktır. Politika değişikliklerinin uygulanmasıyla birlikte, 2030 yılına kadar elektrik üretiminde kömür enerjisinden çıkmak, Türkiye için gerçekçi ve uygulanabilir bir hedeftir. Bu rapor, Türkiye'nin 2030 yılına kadar enerji sektöründe kömürden tamamen vazgeçmesi için bir yol haritasının oluşturulmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla, 2021-2035 dönemini kapsayan, “Kömürden Çıkış Senaryosu” ve “Nükleersiz Kömürden Çıkış Senaryosu” gibi senaryolar oluşturulmuştur. Bu modelleme çalışması ışığında, Türkiye'nin 2030 yılında kömürden çıkışının olasılığı ve olası sonuçları incelenmiştir. Modellenen sonuçlar, genel sistem maliyetleri, toplam yatırım gereksinimleri, kaynağa dayalı kurulu güçle üretim geliştirme ve karbon emisyon miktarları gibi çıktıları içermektedir (Aplus Enerji, 2021).

2.1.3. Karbon ayak izi hesaplama metotları

Karbon emisyonları, ISO 14040:2006 numaralı standart ve Sera Gazı Protokolüne belirtilen üç kapsam altında değerlendirilir ve karbon salınımının doğrudan veya dolaylı olmasına göre ayrılır. Kapsamlar kurumsal hesaplamalar için kullanılmaktadır. Bir kuruluşun karbon ayak izi, bir GHG envanteri geliştirmek amacıyla üç bileşene sahiptir (EPA, 2021):

- Kapsam 1 (Doğrudan emisyonlar): yerinde yanma ve mobil kaynaklardan
- Kapsam 2 (Dolaylı emisyonlar): satın alınan elektrik ve buhardan
- Kapsam 3 (Diğer Dolaylı emisyonlar): Örnekler arasında atık su, su kullanımı, ürün taşımacılığı, çalışanların iş seyahatleri ve çalışanların işe gidip gelmeleri sayılabilir.

Kapsam 1 emisyonları, bir kuruluş tarafından kontrol edilen veya sahip olunan kaynaklardan (örneğin, kazanlarda, ocaklarda, araçlarda yakıt yanması ile ilişkili emisyonlar) meydana gelen doğrudan sera gazı (GHG) emisyonlarıdır.

Kapsam 2 emisyonları, elektrik, buhar, ısı veya soğutma alımıyla ilişkili dolaylı sera gazı emisyonlarıdır.

Kapsam 3 emisyonları, bir kuruluşun kapsam 1 ve 2 sınırları içinde olmayan tüm kaynakları içerir. Değer zinciri emisyonları olarak da adlandırılan Kapsam 3 emisyonları, genellikle bir kuruluşun toplam GHG emisyonlarının çoğunluğunu temsil etmektedir (EPA, 2021).

Genel olarak emisyon hesaplamalarında kullanılan metodolojiler şunlardır:

- 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories
- World Resources Institute/World Business Council for Sustainable Development (WRI/WBCSD) Cement Sustainability Initiative
- EPA Climate Leaders
- California's Global Warming Solutions Act under Assembly Bill No.32
- California Climate Action Registry
- DOE/EIA's Voluntary Reporting of Greenhouse Gases Program under Section 1605(b) of the Energy Policy Act of 1992
- European Union Emission Trading System (EU ETS)
- New Mexico's Mandatory Reporting Program ve The Climate Registry

Bu metodolojilerin çoğu, değişikliklerle birlikte genel olarak IPCC Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yöntemini kullanmaktadır (Rende, 2013).

- Tier 1, küresel olarak mevcut verilere dayanan uzamsal olarak kaba varsayılan verileri kullanan basit bir birinci dereceden yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. (Küresel varsayılan).
- Tier 2, ülkeye veya bölgeye özgü değerlerin ve nispeten daha küçük belirsizliklerle karakterize edilen daha fazla ayrıştırılmış faaliyet verisinin yerini alan daha doğru bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. (Yerel Varsayılan)
- Tier 3, önceki iki yöntemden daha düşük belirsizliklerle tahminler sağlayan, daha yüksek çözünürlükte verilerle yönlendirilen ayrıntılı modelleme veya envanter ölçüm sistemlerini içeren daha yüksek dereceli yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (UNFCCC, 2019).

2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories, kaynaklara göre antropojenik emisyonların ulusal envanterlerini ve sera gazlarının yutakları tarafından giderimlerini tahmin etmek için metodolojiler sağlamaktadır. 2006 IPCC Yönergeleri beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler şunlardır:

- Bölüm 1, Temel Kılavuz ve Raporlama
- Bölüm 2, Enerji
- Bölüm 3, Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı
- Bölüm 4, Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı
- Bölüm 5, Atık

Bölüm 1, envanter geliştirmedeki temel adımlarını açıklayarak sera gazı emisyonları ve uzaklaştırma tahminlerinde genel rehberlik sunmaktadır. Bölüm 2 ile Bölüm 5 ise, ekonominin farklı sektörlerindeki tahminler için rehberlik sunmaktadır (IPCC, 2006).

2.1.4. Karbon ayak izi azaltım yöntemleri

Doğal sistemi de kapsayacak şekilde genişletildiği zaman, kaçınılmaz emisyonlarla başa çıkmak önemli hale gelmektedir. Karbon ayak izi ticarileştirildiği için kuruluşlar karbonlarını hesaplamak ve emisyonlarını azaltmak için önlemler almaktadır. Karbon ayak izi, işletmeler, etkinlikler ve sivil toplumlar arasında GHG emisyonlarının azaltılmasını teşvik etmek için güçlü bir araç olarak kullanılmalı ve sürdürülebilir kalkınma göstergesi olarak dahil edilmelidir (Pandey ve ark., 2011).

Bireysel olarak karbon ayak izini azaltmak için alabileceğimiz bazı önlemler,

- Teknolojik aletlerin fişini çekmek,
- Araç kullanımı azaltmak,
- Yerel ve organik besinler tüketmek,
- Enerji tasarrufu sağlayan aydınlanma tercih etmek,
- Geri dönüşebilen ürünler tercih etmek,
- Ağaçlandırma yapmak,

- Evsel atık suları geri dönüştürmek,

Kurumsal olarak karbon ayak izini azaltmak için alabileceğimiz bazı önemler,

- Atık ısı geri kazanım sistemleri kullanmak,
- Geri dönüşebilen malzeme seçmek,
- Enerji verimliliği yüksek ekipmanlar kullanmak,
- Atık suları geri dönüştürmek,
- Karbon offset kavramına uymak,
- Fosil yakıt kullanımı en aza indirmek,

En etkili yöntemlerden biri olan yenilebilir enerji kaynaklarına yönelerek kişisel ve kurumsal karbon ayak izini azaltmak mümkün olacaktır. Enerji verimliliği ve karbon emisyonlarını esas alarak hazırlanan mevzuatlardan oluşturulan politikaları benimseyerek, sera gazı azaltımına yönelik çalışmaların yapılması ve teşvik edilmesi gerekmektedir.

2.1.5. Karbon piyasası ve emisyon ticareti

Emisyon ticareti, insan sağlığını ve çevreyi korumak için başarıyla kullanılmış olan kirliliği azaltmaya yönelik bir yaklaşımdır. Emisyon ticareti programlarının iki temel bileşeni vardır. Bunlar, kirlilikle ilgili bir limit (veya üst sınır) ve tahsisat sahiplerine belirli bir miktarda (örneğin bir ton) kirletici salma yetkisi veren limite eşit ticarete konu tahsisatlardır. Bu sınır, çevresel hedefin karşılanmasını sağlar ve ticarete konu olan tahsisatlar, bireysel emisyon kaynaklarının kendi uyum yollarını belirlemeleri için esneklik sağlamaktadır. Tahsisler bir tahsisat piyasasında alınıp satılabildiğinden, bu programlara genellikle “piyasa bazlı” denir.

Etkili bir şekilde tasarlanmış emisyon ticareti programları şunları sağlar:

- Genel kirlilik limiti tarafından belirlenen çevresel kesinlik.

- Bireysel emisyon kaynakları için uyumluluk yollarını ihtiyaçlarına göre uyarlama esnekliği.
- Uygulama maliyetlerini düşüren verimlilik ve yenilik için teşvikler.
- Fazla ödeneklerin bankaya yatırılabilmesinin bir sonucu olarak kirliliğin erken azaltılması için teşvik.
- Düşük idari maliyetler.
- Emisyonları azaltma, izleme ve raporlama sorumluluğu.
- Emisyon ticareti programları en iyi şu durumlarda uygulanır:
- Çevre ve/veya halk sağlığı sorunları nispeten geniş bir coğrafi alanda ortaya çıkmaktadır.
- Kirlilik sorunundan önemli sayıda kaynak sorumludur.
- Emisyonlar tutarlı ve doğru bir şekilde ölçülebilir.

1990'da Amerika Birleşik Devletleri, kapsamlı bir ulusal kükürt dioksit (SO₂) programını uygulamak için “sınırlandırma ve ticaret” adı verilen bir emisyon ticareti biçimini kullanan bir yasa çıkardı. Bugün, emisyon ticareti mekanizmaları, asit yağmuru, yer seviyesindeki ozon ve iklim değişikliği dahil olmak üzere ulusal, bölgesel ve küresel çevre sorunlarının maliyet etkin yönetimi için dünya çapında giderek daha fazla düşünülmekte ve kullanılmaktadır. Emisyon üst sınırı ve ticaret, çevrenin korunması için piyasaya dayalı bir politika aracıdır. Bir emisyon üst sınırı ve ticaret programı, programa dahil olan kaynaklardan izin verilen maksimum emisyon miktarını belirten bir toplam emisyon üst sınırı oluşturur. Bir üst sınırın ve ticaret programının düzenleyici otoritesi, belirli bir miktarda (örneğin, 1 ton) kirletici yaymak için bireysel yetkiler (“ödenekler”) oluşturur. Toplam ödenek sayısı, üst sınırın düzeyine eşittir. Uyumlu olmak için, her bir emisyon kaynağı, gerçek emisyonlarına eşit tahsisatları teslim etmelidir. Bunları diğer emisyon kaynakları veya piyasa katılımcıları ile alabilir veya satabilir (ticareti) yapabilir. Her emisyon kaynağı, uyum maliyetini en aza indirmek için kendi uyum stratejisi emisyon azaltımlarını ve ödenek alımlarını veya satışlarını tasarlayabilir. Ayrıca, teknolojiye veya piyasa koşullarındaki değişikliklere yanıt olarak uyum stratejisini, hükümetin incelemesi ve onayı gerekmeden ayarlayabilir (Epa, 2003).

Karbon piyasası, zorunlu ve gönüllü olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Bunlar (Carbon Offset Guide, 2022):

a. Zorunlu Karbon Piyasaları

Uyumluluk olarak da adlandırılan zorunlu sistemler, ulusal, bölgesel veya il kanunları tarafından düzenlenir ve GHG emisyon azaltma gerekliliklerine uyumu sağlamak için emisyon kaynaklarını zorunlu kılmaktadır. Düzenlenmiş emisyon kaynakları için, denkleştirmeler, emisyon kaynaklarının emisyon üst sınırını karşılamak için kullanabileceği emisyon azaltımlarını veya tahsisatları (bir miktar emisyonla izin veren ticarete konu olan izinler) yönlendirmek için alternatif bir uyum mekanizması olarak hizmet edebilir. Uyum programı denkleştirme kredileri, düzenleyici uyum için oluşturulduğu ve alınıp satıldığı için, tipik olarak, belirli bir programdaki tüm denkleştirme kredilerinin proje türü ve diğer özelliklerden bağımsız olarak arz ve talep dinamiklerine dayalı olarak benzer şekilde fiyatlandırıldığı bir fiyatlandırma yaşarlar. Çoğu durumda, uyum programları, Bölgesel Sera Gazı Girişimi (RGGI) veya Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Planı (EU ETS) gibi bölgesel veya ulusal emisyon üst sınırı ticaret planları olarak mevcuttur. Dünya Bankası Karbon Fiyatlandırma Panosu, hangi ülkelerin uyum denkleştirme programlarını ve diğer karbon fiyatlandırma araçlarını uyguladığını takip eder. Kyoto Protokolünde tanımlanan esneklik mekanizmaları bu piyasa için kullanılmaktadır. Bunlar:

- Salım Ticareti (Emission Trading -ET),
- Ortak Uygulama (Joint Implementation-JI),
- Temiz Kalkınma Mekanizmasıdır (Clean Development Mechanism-CDM).
- Salım Ticareti (ET)
- Ortak Uygulama (JI) mekanizmaları,
- Temiz Kalkınma Mekanizması ise Ek-I ve Ek-I dışı ülkeler arasında yapılabilir.

b. Gönüllü Karbon Piyasaları

Gönüllü piyasalar, piyasaların dışında işlev görür ve şirketlerin ve bireylerin, uyum amaçları için herhangi bir amaçlanan kullanım olmaksızın gönüllü olarak karbon denkleştirmeleri satın almalarını sağlamaktadır. Gönüllü karbon piyasaları, işletmelerin, hükümetlerin, kâr amacı gütmeyen kuruluşların, üniversitelerin, belediyelerin ve bireylerin emisyonlarını düzenleyici bir rejim dışında dengelemesine olanak tanır. Bu kuruluşlar, gönüllü veya uyum piyasaları aracılığıyla oluşturulan denkleştirmeleri satın alabilir. Gönüllü piyasada alım satım ve talep yalnızca gönüllü alıcılar (şirketler, kurumlar ve bireyler) tarafından yaratılırken, uyum piyasasında talep düzenleyici bir görevle yaratılır.

Gönüllü denkleştirme kredileri uyum piyasalarında kullanılmadığı için daha ucuz olma eğilimindedir. Gönüllü denkleştirmeler genellikle bir şirketi veya kuruluşu bir iklim aktörü olarak sunmak için halkla ilişkiler çabalarıyla koordineli olarak satın alındığından, bu imajı en iyi şekilde sunmak için bir alıcının bir projeye olan ilgisini birçok faktör etkileyebilir. Gönüllü denkleştirme piyasalarındaki fiyatlandırma, alıcıların karbon denkleştirme kredileri satın alırken farklı hedefleri olduğu bu gerçeği yansıtmaktadır. Gönüllü piyasa kredileri, proje karizmasına ve pazarlama potansiyeline, proje türüne, konumuna ve alıcıların tercihleriyle eşleşen iklim etkisinin ötesinde ortak faydalara dayalı olarak fiyat bakımından farklılık gösterir.

Gönüllü denkleştirme piyasası, çok çeşitli programlar, kuruluşlar, standartlar ve protokoller içerir. Gönüllü piyasalar aracılığıyla oluşturulan denkleştirmeler, deneme ve yenilik için bir fırsat olarak tanıtılmıştır. Zorunlu uyum programlarında kullanılmak üzere oluşturulan denkleştirmelerden daha düşük işlem maliyetleri gibi genel bir avantaja sahiptirler. Gönüllü piyasalar, uyum denkleştirme programlarının idari yükünü garanti edemeyecek kadar küçük olan mikro ölçekli projeler veya şu anda uyum planları kapsamında olmayan projeler için de bir niş görevi görür. Ancak, gönüllü piyasanın ilk

aşamalarında standartlaştırılmış kalite kriterlerinin olmaması, daha geniş denkleştirme piyasasında endişe yarattı.

Buna karşılık, karbon piyasası aktörleri, gönüllü denkleştirmelerin kalitesini ve güvenilirliğini artırmak için standartlar ve protokoller oluşturmak için çeşitli çabalar başlattı. Bu standartlar ve protokoller, amaçları ve sağlanan hizmetler açısından önemli ölçüde farklılık gösterir. Bir uçta, denkleştirme projeleri ve kredilerinin muhasebeleştirilmesi, ölçülmesi, izlenmesi, raporlanması, doğrulanması, onaylanması ve kaydedilmesi için kurallar, gereksinimler ve idari sistemler dahil olmak üzere standartlar geliştiren eksiksiz denkleştirme programları bulunmaktadır. Bu tam teşekküllü programlar tarafından geliştirilen standartlar, uyum piyasalarından, özellikle de CDM'den gelen mevcut kural ve prosedürler üzerine inşa etme eğilimindedir. Bu programlar, denkleştirme kredisi satıcılarına kalite güvence sertifikası vermek ve denkleştirme tüketicilerini, onaylı denkleştirmelerin güvenilirliği ve bütünlüğü konusunda daha fazla şeffaflık ve güven ile donatmak için tasarlanmıştır (Carbon Offset Guide, 2022).

2020'den sonra karbon dengeleri Paris Antlaşması ile değişikliklere uğramıştır. Karbon dengeleme uygulaması, iklim değişikliğini ele almak için çok az şeyin yapıldığı bir dünyada ortaya çıktı. Küresel düzeyde, nispeten az sayıda kuruluş GHG emisyonlarını azaltmak için anlamlı adımlar attı. Sonuç olarak, harekete geçmeyi taahhüt eden şirketler için düşük maliyetli karbon denkleştirmeleri bulmak zor olmadı. Sera gazı azaltımlarının potansiyel arzı çok büyüktür, çünkü azaltmak için hiçbir yasal veya ekonomik teşvikle karşılaşmayan çok sayıda sera gazı emisyonu kaynağı vardır. 2015 Paris Anlaşması bunu değiştirebilir. İlk kez, dünyadaki hemen hemen her ülke, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve iklim değişikliğine uyum sağlamak için yapmayı kabul ettikleri açık eylemleri ("katkılar") belirledi. Bu yaklaşım, yalnızca sanayileşmiş ülkelerin emisyonları azaltmayı taahhüt ettiği Kyoto Protokolü'nden önemli bir değişikliktir. Kyoto altında, denkleştirme açık ve belirgin bir stratejiydi: sanayileşmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkelerdeki denkleştirme projelerini finanse edebilir, onlara gerekli yatırımı sağlayabilir ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik

edebilir. Karşılığında, sanayileşmiş ülkeler bu projelerle sağlanan indirimleri talep ederek yükümlülüklerini daha ucuza karşılayabilirler. Gelişmekte olan ülkeler böyle bir değişimden yararlandı çünkü kendileri hiçbir yükümlülükle karşılaşmadılar ve bu nedenle emisyon azaltımlarının “aktarılmasına” izin vermekten vazgeçmediler. Her ülkenin emisyonları azaltmayı kabul etmiş olması, ek azaltımlar için daha az fırsat olacağı anlamına gelmektedir. Bu, karbon dengelemenin sonu anlamına gelmez. Aslında, Paris Anlaşması'nın 6. Maddesi, emisyon azaltımlarının transferi yoluyla uluslararası iş birliği olasılığını açıkça kabul etmektedir. Paris Anlaşması, ülkeler arasında bu tür “çifte sayımı” açıkça yasaklayan bir dile sahiptir (Paris Agreement, 2015).

Türkiye, uyum karbon piyasaları esnek mekanizması yerine, uyum piyasaları gibi ancak ondan bağımsız çalışan gönüllü karbon piyasalarından yararlanmıştır. Katılım, sorumluluk ve şeffaflık güçlü çevre politikalarının temelinde yer alır ve çevre politikalarının önemli sorununun “katılım eksikliği” olduğuna dikkat çekilmektedir. Türkiye, 2005- 2014 yılları arasında, toplamda 308 proje ile salım azaltım faaliyeti gerçekleştirmiştir. En sık yapılan faaliyetler arasından birinci olarak yenilenebilir enerji projeleri yer almaktadır. Diğer projeler ise, atıktan enerji elde eden projeler ve enerji verimliliği projeleri olarak bilinmektedir. Bu projeler genellikle, Kyoto Protokolü kapsamında var olan “Temiz Kalkınma Mekanizması” ile uyumlu olarak hazırlanmıştır. Türkiye’de en yaygın kullanılan sertifika sistemleri ise “Gold Standart” ve “Voluntary Carbon Standard” uygulanmaktadır (Can, 2018).

2.1.6. Dünya’da karbon ayak izi

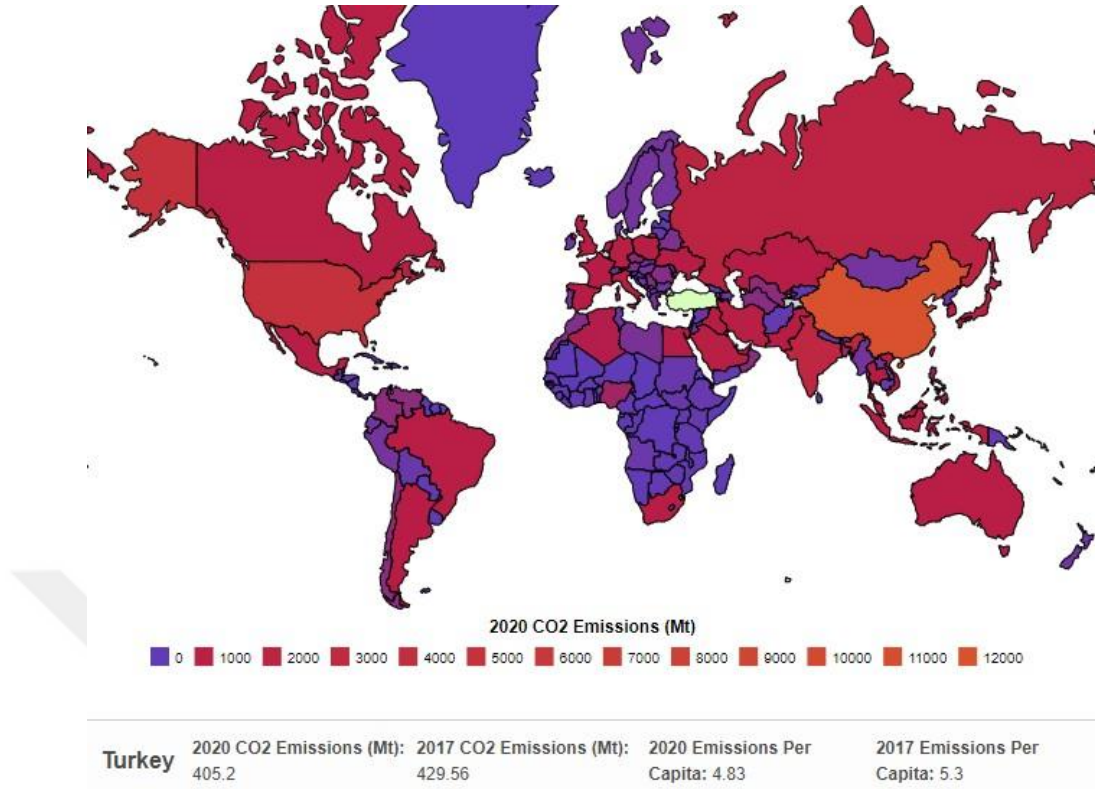
Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi'ne göre, toplam küresel CO₂ emisyonları 2010'da 34,1 GT'den 2019'da tüm zamanların en yüksek seviyesi olan 37,9 GT'ye yükseldi. COVID-19 salgını ve bununla ilgili seyahat ve ulaşım kısıtlamaları, 2020'de 35.962 GT'ye bir düşüşü tetikledi, ancak 2021 toplamaları kullanılabilir hale geldiğinde emisyonların artmaya devam etmesi bekleniyor. Çin, 2020'de 11680 Mt (11.680 milyar ton) karbondioksit emisyonu ile dünyanın en büyük CO₂ yayıcısıdır. Bu, dünyanın toplam 2020 emisyonunun %32'sinden biraz fazladır. Amerika Birleşik

Devletleri, 4.535 milyar ton ile ikinci en yüksek karbon emisyonu miktarını veya toplam küresel emisyonların kabaca %12,6'sını serbest bırakmıştır. Dünya'da toplam CO₂ milyon ton cinsinden en çok CO₂ yayan 10 ülke aşağıda sıralanmaktadır (World Population Review, 2020).

- Çin — 11.680,42
- Amerika Birleşik Devletleri — 4.535,30
- Hindistan — 2.411,73
- Rusya — 1.674,23
- Japonya — 1.061,77
- İran — 690,24
- Almanya — 636,88
- Güney Kore — 621,47
- Suudi Arabistan — 588,81
- Endonezya — 568,27

Uluslar karbon ayak izlerini birçok şekilde azaltabilirler. Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş, rüzgâr, hidroelektrik) elektrik üretilmesi, enerji verimliliğinin artırılması, ulaşımda biyoyakıtların teşvik edilmesi, araçlardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılması, çöplüklerden ve bacalardan metan gibi sera gazlarının geri kazanılması sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Birçok ülke, karbon nötr olmak için bu ve diğer adımları kullanmayı taahhüt etti.

Ülkelere göre 2020 yılına ait karbon ayak izi değerleri Şekil 2.3.'de gösterilmektedir. Örnek gösterim olarak Türkiye'ye ait bilgiler alt kısımda yer almaktadır. Bu bilgilere göre Türkiye 2020 yılında 405,2 CO₂ milyon ton cinsinden karbon açığa çıkarmıştır.



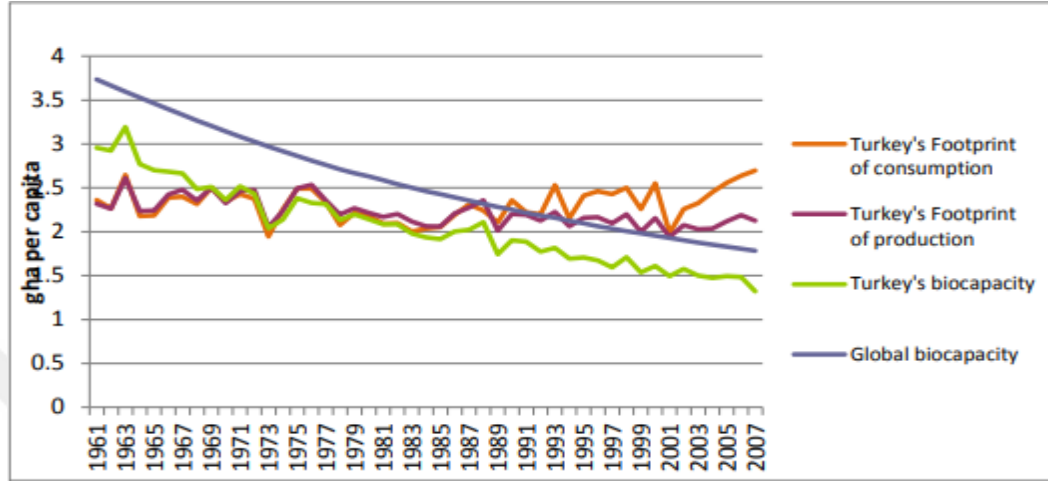
Şekil 2.3. Ülkelerin 2020 CO2 Emisyonları (Milyon ton)

2.1.7. Türkiye’de karbon ayak izi

Sürdürülebilir kalkınma için en önemli göstergelerden biri ekolojik ayak izidir. Türkiye’de ekolojik ayak izini %46 oranında en önemli pay ile karbon ayak izi oluşturmaktadır (Özsoy, 2015). Karbon ayak izi aynı zamanda yurt dışından ithal edilen ürünlerin üretim aşamasında ortaya çıkan karbonu ve fosil yakıt kullanımı dışında ortaya çıkan karbon salınımını da içermektedir (WWF International, 2012).

Ülkelerin karbon ayak izi, Küresel Ayak İzi Ağı tarafından yıllık olacak şekilde hesaplanmaktadır. Türkiye’de tüketimin Ekolojik Ayak İzi, kişi başına düşen küresel biyokapasiteden %50 daha fazladır. Bu değer, Türkiye’de küresel olarak sürdürülemez bir yaşam biçiminin göstergesidir. Türkiye’nin 1961 ile 2007 yılları arasındaki ayak izi raporu Şekil 2.4.’de gösterilmektedir. Türkiye’de 2007’den 2050’ye kadar tüketimin Ekolojik Ayak İzinin %63, üretimin Ekolojik Ayak İzinin ise %51 artması beklenmektedir. Aynı dönemde kişi başına biyolojik kapasite %64 oranında

azalmaktadır. Olağan durumun devam etmesi, biyolojik kapasitenin Türkiye'nin doğal kaynak tabanı ve ekonomisi için büyük bir risk haline geleceğini göstermektedir (Report, 2007, s. 3).



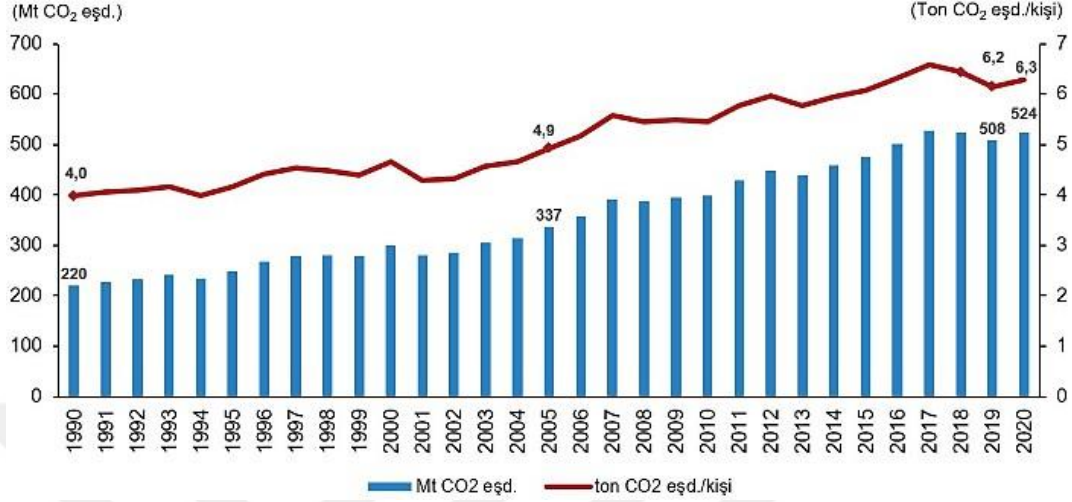
Şekil 2.4. Türkiye'nin Ayak İzi Raporu (Report, 2007)

En iyi senaryoda, Ekolojik Ayakizi'nin azaltılması ile biyolojik kapasitenin yenilenmesi arasında dengeli bir tablo çizilmektedir. Sonuç olarak, 2020'lerde biyokapasite ile Ayak İzi arasındaki fark önemli ölçüde azalmıştır ve Türkiye biyokapasite borcunu ödemeye başlamaktadır. Ancak, teknolojilerin verimliliğindeki artışın zamanla azalacağı beklentisine bağlı olarak biyokapasite açığının yeniden artması beklenmektedir (Report, 2007).

Küresel Ayak İzi Ağı raporlarına göre, mevcut durumdaki üretim ve tüketim anlayışımızı değiştirmedığımız takdirde 2050 yılına geldiğimizde üç dünyaya eşdeğer bir dünyaya ihtiyacımız olacaktır (Report, 2007).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 1990 ve 2020 yılları arasında sektörlere göre sera gazı emisyonları için oluşturduğu 2020 yılında en büyük payı %70,2 ile enerji kaynaklı emisyonlar oluşturmuştur. Sırasıyla %14 ile tarım, %12,7 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %3,1 ile atık sektörü takip etmiştir. Enerji sektöründen kaynaklanan emisyonlar 1990 yılına oranla %163,3 artmıştır. Bir önceki yıla oranla ise %0,06

oranında artmıştır (TÜİK, 2022). 1990 ve 2020 yılına ait kişi başı sera gazı emisyonları grafiği Şekil 2.5.'de verilmektedir.



Şekil 2.5 Toplam ve Kişi Başı Sera Gazı Emisyonları 1990-2020 (TÜİK, 2022)

Doğal kaynak kullanımının eşitsiz dağılımı göz önüne alındığında kaynak verimli teknolojilere yatırım ve 2050 yılına kadar biyolojik kapasitenin restorasyonu için farklı varsayımlar altında doğal kaynak kullanımına ilişkin baskıyı azaltabilecek etkili ve uygulanabilir çözümler için bilimsel bir temel oluşturulması gerekmektedir. Bunların yanı sıra ülkemizde karbon ayak izini hesaplayarak, karbon ayak izini azaltan kurumlar bulunmaktadır.

Bu kurumlardan bazıları;

- Zorlu Enerji Grubu karbon ayak izini hesabını yaptıran ilk şirkettir.
- Türk Telekom karbon salınımını ölçerek “Karbon Saydamlık Projesi” adı altında raporlayarak Türkiye Karbon Saydamlık Liderliği ödülünü almıştır.
- Türkiye Sınai Kalkınma Bankası 670 ton olarak hesapladığı karbon ayak izini, aldığı gönüllü karbon kredisi Gold Standart ile silerek iki yılda karbon ayak izlerini %68 oranında azaltmayı başarmış bulunmaktadır.
- Eczacıbaşı, 2007 yılında oluşturduğu 70 kişilik çalışma gurubu ile Çevre, Ürün Sorumluluğu ve Bina Verimliliği alanlarında çalışmalar yaparak 2009-2010 yılında karbon emisyonunda %8,2 düşüş sağlanmayı başarmıştır. Ayrıca bu

başarısıyla Vitra-A Avrupa Birliği Eko etiketi almaya hak kazanan ilk firma olmuştur.

- DHL, karbon salınımını 2015 yılına kadar %30 azaltmayı hedeflemektedir. Atatürk Havalimanında bulunan yeni hizmet binasını tamamen organik ürünlerden olan yeşil duvarlarla kaplamıştır (Report, 2007).

Ülkemizin Kyoto Protokolü kapsamında EK-B dışı EK-1 ülkesi olduğu için herhangi bir karbon salınımı kısıtlama ve azaltma yükümlülüğü yoktur. Fakat karbon piyasası için çalışmalara başlayarak ve hedefler oluşturarak bu süreci hızlandırarak yer edinmemiz mümkündür. Ülkemizin bu kapsamda, Gönüllü Karbon Piyasası, Karbon ve Enerji vergileri ve Karbon Emisyon Ticareti alanlarında çalışmalar yaparak mevzuatlar oluşturması önemli bir adım olacaktır (Report, 2007).

Ülkemizde yenilenebilir enerji potansiyelinin yüksek olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla sürdürülebilir bir çevre ve daha az karbon salınımı için en etkili yolu seçmemiz gerekmektedir. Bu seçim sadece ülkemiz için değil aynı zamanda yaşadığımız dünya hayati bir önem taşımaktadır.

2.2. Termik Santraller

Termal güç, 1990'lardan beri dünyanın elektrik üretiminin %60'ın üzerinde büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Dünyanın ilk termik santrali Paris'teki Gare Du Nord istasyonun inşa edilmiştir ve yakınlardaki aydınlatmayı 1875'ten bu yana sürdürmektedir. Şu anda kurulu kapasiteye göre dünyanın en büyük kömürlü termik santrali Çin'deki Toketo elektrik santrali, en büyük gazla çalışan elektrik santrali Rusya'nın Surgut santrali ve en büyük petrolle beslenen elektrik santrali ise Suudi Arabistan'ın Shoaiba elektrik santralidir. Küresel karbon emisyonlarının büyümesi ve dünya çapında sera etkilerinin yoğunlaşması nedeniyle, birçok ülke aktif olarak önlemler almaktadır. Bunlar kömürün yerini almak için sıklıkla doğal gaz kullanmaktadır. Doğal gaz ile ilişkili karbondioksit emisyonları, kömürle beslenen tesislerden kaynaklanan emisyonların ortalama %54'ü kadardır. Gazla çalışan bir elektrik santralinde hava bir kompresörden geçer, yanma odasında doğal gazla

karıştırılır ve yakılır. Sıcak yanma gazları genişterek gaz türbinlerini çalıştırır ve jeneratörleri elektrik üretmek üzere döndürür. Atık gazlar baca yoluyla atmosfere salınır, ancak aynı zamanda bir buhar türbinini paralel olarak çalıştırmak için bir buhar üretim ünitesinde geri dönüştürülebilir. Buna kombine çevrim gaz türbini tesisi veya CCGT denmektedir. Çevre koruma açısından, doğal gaz ve biyokütle, CO2 emisyonu açısından kömürden daha temizdir. Bununla birlikte, üretilen elektriğin toplam maliyeti açısından bakıldığında, bir kömür santrali en ucuzudur ve bir doğal gaz çevrim santrali hemen ardından gelmektedir. Çünkü gaz, en verimli olmasına rağmen, diğer enerji santralleri türlerine göre üretilmesi, taşınması ve depolanması daha pahalıdır (Hafner ve Luciani, 2022, s. 115).

Günümüzde santraller beş ana başlıkta toplanmaktadır. Bunlar:

- Klasik Isı Santralleri
- Bileşik Isı-Elektrik Santralleri
- Jeotermal Enerji ile Bölgesel Isıtma
- Katı Atık Yakma Santralleri
- Nükleer Enerji Santralleri (Işık E., 2005)

Termik santrallerin sınıflandırılması aşağıda verilmektedir.

Kuruluş şekline göre

- Çapraz beslemeli santraller
- Blok santraller

Çalışma şekline göre

- Baz yük santralleri
- Orta yük santralleri
- Pik yük santralleri

Üretim şekline göre

- Kuvvet ve ısınin akuple olduğu santraller
- Kuvvet ve ısınin akuple olmadığı santraller

Buharın türbin içerisinde genişlemesine göre

- Karşı basınçlı santraller
- Ara buharlı, karşı basınçlı santraller
- Ara buharlı kondensasyon santralleri
- Kondensasyon santralleri

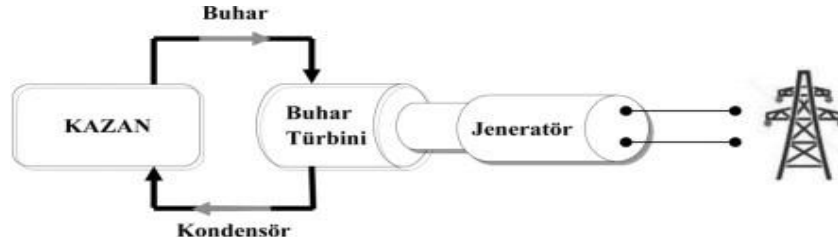
Kullanılan yakıta göre

- Katı yakıtlı santraller
- Sıvı yakıtlı santraller
- Gaz yakıtlı santraller

Bir termik santral, elektrik güç kaynağı ve dağıtım sistemi olarak kullanılmasının yanında katı (kömür, kül), sıvı (su, yağ, asit, alkali) ve gazlı (buhar, hava, baca gazı, doğalgaz, hidrojen) içeren çeşitli sistemlerden oluşmaktadır (Sarkar, 2015, böl. 1).

2.2.1. Termik santrallerin çalışma prensibi

Bir termik santralin tasarımı, termodinamik bilimine dayanmaktadır. Kapalı ve açık sistem olmak üzere iki tür termodinamik sistem bulunmaktadır. Açık sistemde kütle, türbin içinden buhar akışı” durumunda olduğu gibi sistem sınırından girer veya çıkar. Kapalı sistemde ise kütle, termodinamik inceleme ve gözlem periyodu boyunca tamamen sistem sınırları içinde kalmaktadır. Dolayısıyla sistem ve çevre arasında madde alışverişi oluşmamaktadır. Şekil 2.6.’da bir termik santralin elektrik üretim süreçleri gösterilmiştir.

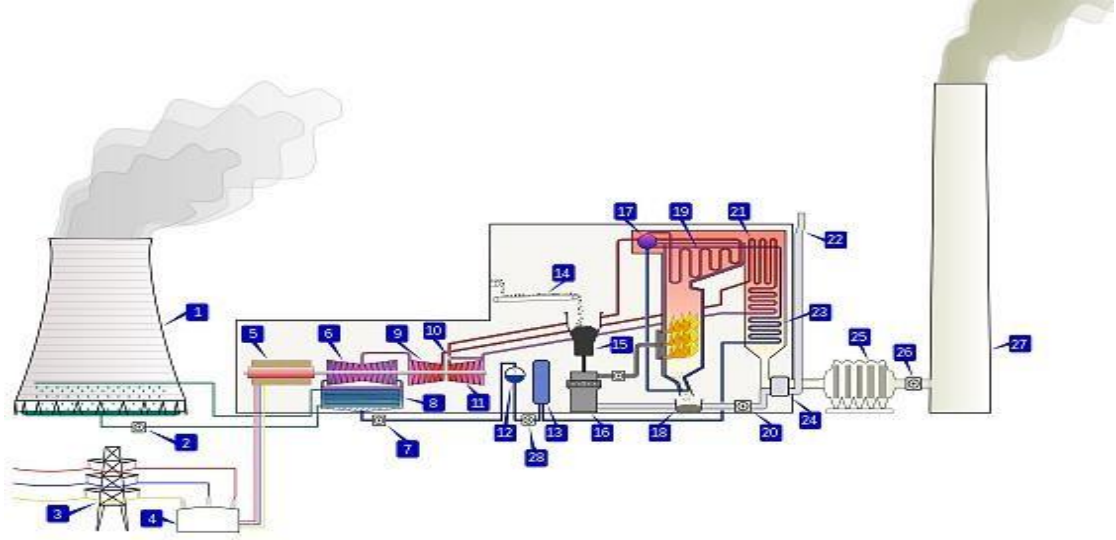


Şekil 2.6. Termik Santral Elektrik Üretim Şeması (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016)

Termik santral türbini yüksek basınç, orta basınç ve düşük basınç olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Yüksek basınçlı türbinden çıkan egzoz buharı kazanda yeniden ısıtılır ve ara basınç türbinine beslenir. Bu ara basınç türbinine beslenen ısı, buharın sıcaklığını artırmakta ve türbinin sonraki aşamalarında güç çıkışını artırmaktadır. Türbinin farklı aşamalarından çıkan buhar, kazan besleme suyu ısıtması için çıkarılır ve kullanılır. Bu rejenerasyon olarak bilinen rejeneratif besleme suyu ısıtmasıdır (Rasul, 2013, s. 12). Tüm bu tanımlar ve süreçler ele alındığında, termik santraller yanma ile ortaya çıkan ısı enerjisinden elektrik üreten merkezler olarak kullanılmaktadır.

2.2.2. Kömürle çalışan termik santraller

Geleneksel bir kömür santralinde kazan, turbo jeneratör ve baca gazı temizliği olmak üzere üç ana fonksiyonel blok bulunmaktadır. Kazan buhar üretmek için kömür yakmaktadır. Kazanda üretilen buhar türbinde kullanılmaktadır. Jeneratör türbinle bağlantılı olup, burada türbinin mekanik mil dönüşü elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu dönüştürülen elektrik enerjisi bir transformatör vasıtasıyla güç dağıtım şebekesine verilmektedir. Transformatörün amacı, üretilen gücün voltajını uzun mesafeli iletim için uygun bir seviyeye yükseltmektir. Türbinden çıkan buhar, düşük sıcaklıktaki ısıyı ortama boşaltan soğutma suyu kullanılarak kondenserde yoğunlaştırılmaktadır. Burada kondens, besleme suyu ısıtıcıları vasıtasıyla ısıtıldıktan sonra tekrar kazana pompalanmaktadır. Besleme suyu ısıtıcıları, türbinden çıkarılan rejeneratif buharı kullanmaktadır (Rasul, 2013, s. 13).



Şekil 2.7. Tipik Bir Kömürlü Termik Santralin Bileşenleri (Santral, 2022)

Şekil 2.7.'de gösterilen kömürlü termik santralin bileşenleri sırasıyla Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.

1. Soğutma kulesi	10. Buhar kontrol valfi	19. Süperfırın
2. Soğutma suyu pompası	11. Yüksek basınçlı buhar türbini	20. Enerji akım fanı
3. Üç fazlı enerji nakil hattı	12. Gaz arındırıcı	21. Tekrar ısıtıcı
4. Yükseltici trafo	13. Besleme suyu ısıtıcı	22. Yanma hava girişi
5. Elektrik üretici	14. Kömür taşıyıcı	23. Ekonomizör
6. Düşük basınç	15. Kömür besleme hunisi	24. Hava ön ısıtıcı
7. Yoğuşma	16. Kömür öğütücü	25. Elektrostatik filtre
8. Yüzey yoğunlaştırıcı	17. Buhar fiçisi	26. Endüklenmiş akım fanı
9. Orta basınç buhar türbini	18. Kül hunisi	27. Baca

Şekil 2.8. Tipik Bir Kömürlü Termik Santral Bileşenleri

Kömürle çalışan bir elektrik santrali, elektrik üretmek için kömür yakmaktadır. Tipik bir kömür yakıtlı tesiste, kazanın yanma odasında yakmak üzere kömürü ince bir toz haline getiren öğütücüler bulunmaktadır. Kömürün yanmasından elde edilen ısı,

yüksek sıcaklıkta ve basınçta buhar üretmektedir. Kazandan çıkan yüksek basınçlı buhar, türbindeki bir dizi kanat takımına çarpılmaktadır. Bu Faraday'ın elektromanyetik indüksiyon ilkesine dayalı olarak alternatörde elektrik üretimiyle sonuçlanan mekanik şaft dönüşü üretmektedir. Türbinden çıkan egzoz buharı daha sonra yoğunlaştırılır ve çevrimi tekrarlamak için tekrar kazana pompalanmaktadır (Rasul, 2013, s. 12).

Eksik yanma ve egzoz ısısı nedeniyle yakıttaki enerji tamamen buhara aktarılamaz ve bu da enerji kaybına neden olur. Modern kazanlar %90-94 civarında bir verim elde edebilirler. Yüksek ve düşük sıcaklık arasında çalışan bir ısı motoru, termik santral görevini yerine getirebilmek için büyük miktarda ısıyı soğuk ortama vermek zorunda ve bu da büyük enerji kaybına neden olmaktadır. Modern bir termik santralin gerçek termik verimliliği genellikle %35 ile %49 arasında değişmektedir. Modern jeneratörler genellikle yaklaşık %96-99 arasında bir verime ulaşmaktadır. Bir termik santralin verimliliği, sistem içinde enerji tasarrufu veya ilk buhar parametreleri ile nihai buhar parametreleri arasındaki farkların genişletilmesi ile geliştirilebilir (Zhang, 2020).

2.2.3. Doğalgaz çevrim santralleri

Doğalgaz çevrim santralleri, küresel enerji pazarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Gaz türbinlerine dayalı elektrik santralleri inşa edilmesi en ucuz türlerden biri olarak görülmektedir. Fakat elektriklerinin maliyeti büyük ölçüde yakıtlarının maliyetine bağlıdır. Enerji üretimi için iki tip gaz türbini kullanılır: aero-türev gaz türbinleri ve ağır hizmet tipi gaz türbinleri. İlki, talebin yoğun olduğu zamanlarda şebekeye güç sağlamak için kullanılır. İkincisi en sık kombine çevrim elektrik santrallerinde bulunur. Bunlar, %60'ın üzerinde verimliliğe sahiptir. Gaz türbinlerinden kaynaklanan başlıca atmosferik emisyonlar karbondioksit ve azot oksitlerdir (Breeze, 2019, böl. 4).

Kombine çevrimler, kullanılan gaz türbinlerinin boyutuna ve sayısına bağlı olarak çeşitli boyutlardan oluşur ve tek bir gaz türbini kullanıldığında 10 miliwatt- 500 miliwatt arasında değişebilmektedir. Kombine çevrimler, yüksek termal verimliliğe, kolay çalıştırma- kapatma ve düşük soğutma suyu gereksinimlerine sahip olmasının

yanı sıra, kazan bazlı enerji santrallerine kıyasla önemli ölçüde daha düşük personel, sermaye maliyeti ve inşaat süresi gereksinimlerine sahiptir. Öte yandan, bir kombine çevrimin gerektirdiği temiz yakıtlar, bir kazanda doğrudan yakılabilen kömür ve biyokütle gibi yakıtlara kıyasla önemli ölçüde daha pahalıdır. Bir doğalgaz çevrim santrali aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır (Rao, 2010, böl. 2).

- Gaz Türbini
- Buhar Türbini
- Atık Isı Kazanı
- Atık Buhar Soğutma / Yoğunlaştırma Ünitesi
- Demineralize Su Tesisi
- Yüksek Gerilim Salt Tesisi

2.2.4. Termik santrallerde sera gazı emisyonları

Küresel iklim değişikliğinin başlıca nedenlerinden biri olan sera etkisine büyük ölçüde karbon dioksit (CO_2) neden olmaktadır. Karbon salınımının en önemli kaynağı ise fosil yakıtların kullanılmasıdır. Elektrik üretimi, fosil yakıtların kullanımında en büyük paya sahiptir. Dolayısıyla elektrik üretimi için kömürün yakılması, karbon emisyonunda büyük ölçüde artışa neden olmaktadır. Bu yüzden özellikle kömürle çalışan elektrik santrallerinde karbon emisyonunun azaltılmasına yönelik uygulamalar önemli bir adım olacaktır (Dulkadiroğlu, 2018).

Termik santrallerden kaynaklanan emisyonlar arasında kükürt oksitler (SO_x), nitrojen oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), partikül madde (PM), organik bileşikler ve kurşun, arsenik ve kadmiyum gibi toksik metaller bulunmaktadır (Ejaz Memon, 2021). Termik santrallerden atmosfere salınan SO_x ve NO_x emisyonlarını azaltmak için çeşitli metotlar bulunmaktadır. 1990'da ABD "Temiz Hava Yasası Değişiklikleri (CAA)" yönergesini ortaya koymuştur. Bu yönergede SO_x emisyonunu kontrol etmek için düşük kükürtlü akışa geçişi ve baca gazı kükürt giderme sisteminin (FGD) kurulmasını önermektedir. Aynı yönerge NO_x emisyonlarını kontrol etmek için yanma işleminde fazla havanın sınırlandırılması (LEA), aşırı ateş havası uygulaması

(OFA),aleve buhar veya su enjekte etmek veya devridaim yapan baca gazları uygulamalarını önermektedir (Sarkar, 2015, böl. 14).

Baca gazı temizleme bloğu, baca gazının iyileştirilmesi için tüm ekipmanları içermektedir. Baca gazından önemli bir miktarda ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Ortaya çıkan ısı enerjisinin bir kısmı hava ön ısıtıcı kullanılarak geri kazandırılmaktadır. Bu geri kazanım, işlemin termal performansını iyileştirmektedir (Rasul, 2013, s. 14).

Partikül maddeler, fosil yakıtların yakıldığı elektrik santrallerinde büyük miktarda ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda fosil yakıtların yanması sonucu oluşan CO₂ (karbondioksit), küresel ısınmaya neden olan en önemli sera gazlarından biridir. SO_x ve NO_x gazları ise aynı şekilde fosil yakıtların yanması ile oluşmaktadır ve ozon tabakası için olumsuz etkiye sahiptir (Sarkar, 2015, böl. 14).

Kömür dünyanın birçok ülkesinde bol miktarda bulunan bir fosil yakıt kaynağı olarak kullanılmaktadır. Kömürle çalışan bir istasyondan 1kWh başına oluşacak CO₂ emisyonu, doğalgaza dayalı bir kombine çevrim santralinden yayılacak CO₂ miktarının iki katı olmasına rağmen doğalgazın maliyetinin kömür maliyetinden daha fazla olduğu gerekçesi ile kömür yakıt olarak kullanılmaya devam edilmektedir. Bu sebeple kömür ile çalışan elektrik santrallerinde daha düşük CO₂ emisyonları elde etmek için daha büyük ünite boyları ve daha yüksek buhar parametreleri seçilmelidir (Sarkar, 2015, böl. 14).

2.2.5. Termik santrallerde karbon ayak izi

Enerji tüketimi, ülkelerin gelişmişlik düzeyini ve toplumların yaşam standartlarını gösteren en önemli göstergelerden biridir. Nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve teknolojik gelişme, doğrudan artan enerji tüketimi ile sonuçlanmaktadır. Bu hızlı büyüme trendi, kirlilik ve sera etkisi gibi önemli çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Dünya atmosferindeki artan karbondioksit seviyesi ve sürekli değişen iklim, dünyada sürdürülebilirlik için önemli bir zorluk oluşturmaktadır (Kaushik ve ark., 2011).Enerji sistemlerinin verimliliğini artırmak, gelecekteki enerjinin güvenliği

ve CO₂ emisyonlarının azaltılması için önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrik üretim santrallerinin enerji verimliliğinin iyileştirilmesi elektrik maliyetinin düşmesini sağlamaktadır. Bu nedenle enerji verimliliğini korumak cazip hale gelmektedir (Rasul, 2013, böl. 1).

Dünyadaki elektriğin yaklaşık %80'i fosil yakıtlarla (kömür, petrol, doğal gaz) yakıtlı termik santrallerden üretilirken, elektriğin %20'si hidrolik, nükleer, rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyogazdan üretilmektedir (Kaushik ve ark., 2011). Küresel olarak elektrik santralleri fosil yakıtlar, nükleer, hidroelektrik, güneş, rüzgâr ve dalga gibi çeşitli enerji kaynaklarını kullanmaktadır. Bir termik santral, fosil yakıtların “yanma ısısını” kullanmaktadır (Sarkar, 2017).

Termik santrallerden yayılan karbondioksit dünyadaki enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarının yaklaşık olarak %40'ını oluşturmaktadır. Termik santrallerden kaynaklanan CO₂ emisyonları için “yakıt tüketimi verilerinden tahmin edilen CO₂ emisyon verileri” ve “bireysel enerji santrali egzoz bacalarındaki gaz konsantrasyonlarının ve akış hızlarının doğrudan ölçümlerinden elde edilen CO₂ emisyon verileri” olmak üzere iki veri seti bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu veri kümelerinin zamansal çözünürlükleri, bir dakikadan bir yıla kadar değişen zaman ölçeği ile ülkeler ve elektrik şirketleri arasında farklılık göstermektedir (Ohyama ve ark., 2021).

Kömürlü termik santrallerden atmosfere salınan karbondioksit emisyonlarından kaynaklanan kirliliği kontrol etmek kolaylıkla önlenebilecek bir durum değildir (Kumari ve Bera, 2022). Sanayi döneminin başlangıcında, CO₂ konsantrasyonu bin yıl boyunca 280 ppm olarak kalmıştır. Fakat 1999'da bu oranın 367 ppm'ye ulaştığı bildirildi. Bu artış 2019 yılına kadar devam etmiş ve 2019 yılında CO₂ konsantrasyonu 409,8 ppm'ye ulaşmıştır. CO₂ emisyonu yaklaşık 7500 kaynaktan kaynaklanmaktadır. Bu kaynaklar %60'ı sanayi ve enerji sektöründen meydana gelmektedir (Kumari ve Bera, 2022). Dünyanın Karbondioksit için referans olarak gösterilen, atmosferik izleme istasyonu olan Mauna Loa gözlemindeki aylık ortalama karbondioksit konsantrasyonu 419,13 ppm ile en yüksek değerine ulaşmıştır. Karbondioksit değeri

Mayıs 2020’de 417,31 ppm’iken, Mayıs 2021’de 419,13 ppm’e ulaşmıştır (MMO, 2021).

Kömürlü termik santrallerde emisyon azaltma modeli için geleneksel bir formülasyon olan doğrusal olmayan bir optimizasyon modeli kullanılmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda Karbon yakalama sistemleri doğrusal olmayan optimizasyon modelini kullanıldığında Batı Bengal ve Jharkhand enerji santrallerinde %27,17 ve %26,29 oranında emisyonu azalttığı görülmektedir (Kumari ve Bera, 2022).

Termik santrallerden kaynaklanan CO₂ emisyonunu azaltmak için bahsedilen yöntemler dışında, oluşturulan ve kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır.CO₂ emisyonlarının azaltılması gelecekte oluşacak en büyük zorluklardan biridir. Yenilebilir enerji kaynaklarının artan enerji talebini karşılamak için yetersiz olduğu ön görülmektedir. Bu nedenle bugünkü teknoloji ile fosil yakıtlardan tamamen vazgeçmek imkânsız olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple sıfır karbon emisyonlu bir yakıt santrali oluşturmak ve emisyonu en minimumda tutmak çok daha önemli bir görev haline gelmektedir (Sterkhov ve ark., 2021).

Etkileri giderek artmaya devam eden küresel iklim değişikliği ve çevre kirliliği sebebiyle Türkiye’nin bu doğrultudaki sorumlulukları göz önüne alındığında, Türkiye’nin kömür enerjisinden vazgeçmesi için bir plan ve strateji geliştirmesi önemli bir hal almaktadır. Bu kapsamda kömür enerjisine yönelik uygulanan mevcut teşvik politikalarına son verilmesi, kirleten öder politikası üzerine yönelmek, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine yardımcı olacak politikalar oluşturmak, ülkemizin kömür enerjisinden vazgeçmesi için en uygun adımlardan biri olacaktır. Türkiye’nin kömürden çıkış senaryolarına bakıldığında bir karbon vergisi uygulaması getirilerek 2030 yılına kadar kömürden çıkışın sağlanabileceği ön görülmektedir. Kömürden çıkış senaryosu kapsamında Akkuyu Nükleer Enerji Santrali devreye alınmayarak, nükleer enerjisinin senaryoların dışında tutulduğu bir durumda kömürden çıkış seçenekleri incelenmektedir. Ayrıca uluslararası iklim değişikliği rejimi, Yeşil Mutabakat programı, diğer ülkelerin kömürden çıkış planları ve Türkiye’nin iklim değişikliği ve emisyon azaltımı konusundaki uluslararası

sorumlulukları göz önüne alınarak senaryoların kapsamına dahil edilmiştir. Bunların yanı sıra, deniz üstü rüzgâr ve batarya kurulumu uygulamalarının da senaryo kapsamına dahil edileceği varsayılmış bulunmaktadır (Aplus Enerji, 2021).

Termik santrallerin günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanması ve artan enerji talebi göz önüne alındığında, termik santrallerden kaynaklanan CO₂ emisyonun azaltılması ve önlenmesine yönelik yöntem ve çözümlerin oluşturulması, uygulanması ve teşvik edilmesi hayati bir önem taşımaktadır.

2.2.6. Termik santrallerin çevreye etkisi

Havanın doğal olmayan bileşimi dışında, havada görülen veya görülmeyen gazların varlığına hava kirliliği denmektedir. Günümüzde hava kirliliğinin olumsuz etkileri giderek artmaya devam etmektedir. Dünyada çeşitli düzenleyici kurumların endüstriyel emisyonları kısıtlama, belirli kimyasalların kullanımını yasaklama ve daha sıkı hava kalitesi standartları oluşturma çabasına rağmen hava kirliliği sağlığımız ve çevremiz için hala en büyük sorunlardan biri olarak etkisini göstermeye devam etmektedir. Dolayısıyla artan hava kirliliği, küresel ısınma, iklim değişikliği ve diğer çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Termik santrallerden kaynaklanan birincil kirlenici emisyonların bazıları insan sağlığı, çevre etkisi ve atmosfere olan etkisinden dolayı tehlike oluşturmaktadır (Ejaz Memon, 2021).

Hava kirliliğinde ve insan sağlığı üzerinde bir diğer zararlı etken ise kömürün yakılmasından ortaya çıkmaktadır. Kömür ülkelerin neredeyse tümünün elektrik üretim ihtiyacının ana kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kömür külü toksinleri, yeraltı ve yer üstü suları üzerinde de olumsuz etkiye sahiptir (Tiwari, Bajpai ve Dewangan, 2019). Kömür bazlı termik santrallerden kaynaklanan uçucu kül emisyonlarının etkileri bitki örtüsüne yansımaktadır. Hava kalitesindeki değişimlerin bitki fizyolojisi üzerindeki doğrudan etkisi ve değişen mevsimsel kirlenici yüküne toleransı mevcuttur. Bitkilerin yaprak yüzeylerinde uçucu kül birikmesi nedeniyle bitkilerde fizyolojik değişimler ve olumsuz sağlık etkileri görülmektedir (Hariram ve ark., 2022).

Kömür yakıldıktan sonra kalan kömür yakma kalıntılarının (CCR) etkisi uzun vadeli ve kömürle çalışan elektrik santralleriyle ilişkili sudaki kirletici birikimini ve sudaki yaşamı etkilemektedir. Çevre koruma kurumuna (EPA) göre kömür yakma kalıntıları Arsenik (As), Cıva (Hg), Kurşun (Pb), Selenyum (Se) gibi çeşitli metaller içermektedir ve konsantrasyonları düşüktür. Fakat uygun şekilde yönetilmezlerse çevre ve insan sağlığı için tehlike oluşturmaktadırlar. Ayrıca partikül maddelere maruz kalmak (PM10 ve PM2.5) kanser, akciğer hastalıkları ve alt solunum enfeksiyonu gibi çeşitli hastalıklara yol açmaktadır (Tiwari ve ark., 2019, s. 8).

Türkiye’de 1980’li yıllarda doğalgaz ile çalışan termik santraller gündeme gelmiş ve doğal gaz ile çalışan termik santrallerde yanma sırasında yüksek ısıların ortaya çıkmasından dolayı meydana gelen azot oksitlerin, baca gazı olarak atmosfere atıldığı belirlenmiştir. Termik santrallerin bacalarına yerleştirilen Baca Gazı Desülfürizasyon Sistemi bacalardan atmosfere yayılan kükürt ve küçük kül parçacıklarını %99’a kadar tutabilmektedir (Avcı, 2012).

Greenpeace’in 2016 tarihli raporunda 500 MW’lık, alt kritik seviyede kapalı devre bir kömürlü termik santralin yılda 10 milyon m³ civarında su çektiği ve 8,4 milyon m³ su kullandığı belirtilmiştir (Greenpeace, 2016). Bununla birlikte termik santrallerin bir kısmı fazla su tüketimi yaşanan bölgelerde yapılmasının planlanması ise mevcut su tüketimini büyük ölçüde zarar vermiş olacaktır. Termik santrallerden çekilen suyun ise yaklaşık %93’ü soğutma suyu olarak kullanılmıştır (TÜİK, 2022). Termik santrallerin su, atık su ve atık göstergeleri Şekil 2.9.’da gösterilmektedir. Dolayısıyla su buharının küresel ısınmaya karbon kadar etki etmesi nedeniyle, termik santrallerinkullandığı su miktarının göz ardı edilmemesi veya önlemler alınması düşünülmelidir.

	2016	2018
Termik santral sayısı	61	55
Toplam çekilen su miktarı (Bin m ³)	8 611 221	7 872 230
Kullanılan soğutma suyu miktarı (Bin m ³)	8 467 951	7 352 042
Toplam deşarj edilen atıksu miktarı (Bin m ³)	8 476 219	7 528 602
Deşarj edilen soğutma suyu miktarı (Bin m ³)	8 380 304	7 269 778
Aritılan atıksu miktarı (Bin m ³)	18 477	12 249
Toplam atık miktarı (Ton)	19 476 924	26 127 134
Tehlikesiz atık miktarı (Ton)	19 464 946	26 113 329
Tehlikeli atık miktarı (Ton)	11 979	13 805

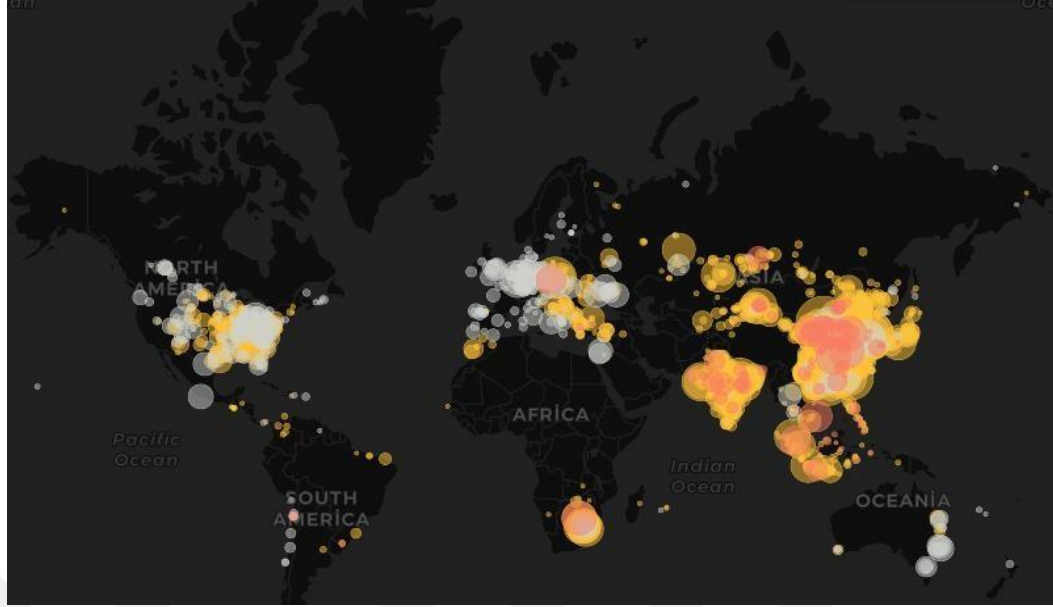
Şekil 2.9. Termik Santral Su, Atık su ve Atık Göstergeleri 2016,2018 (TÜİK, 2022)

Çevresel faktörleri dikkate almadan enerji üretim ve iletim planlarını tasarlamak ve uygulamak mümkün değildir. Fosil yakıt kullanımı, özellikle elektrik üretiminde birçok çevre sorununu beraberinde getirmektedir. Fosil yakıt kullanımının en büyük etkisi küresel ısınma ve asit birikimine yol açmaktır (Say, 2006).

2.2.7. Dünya’da termik santrallerin durumu

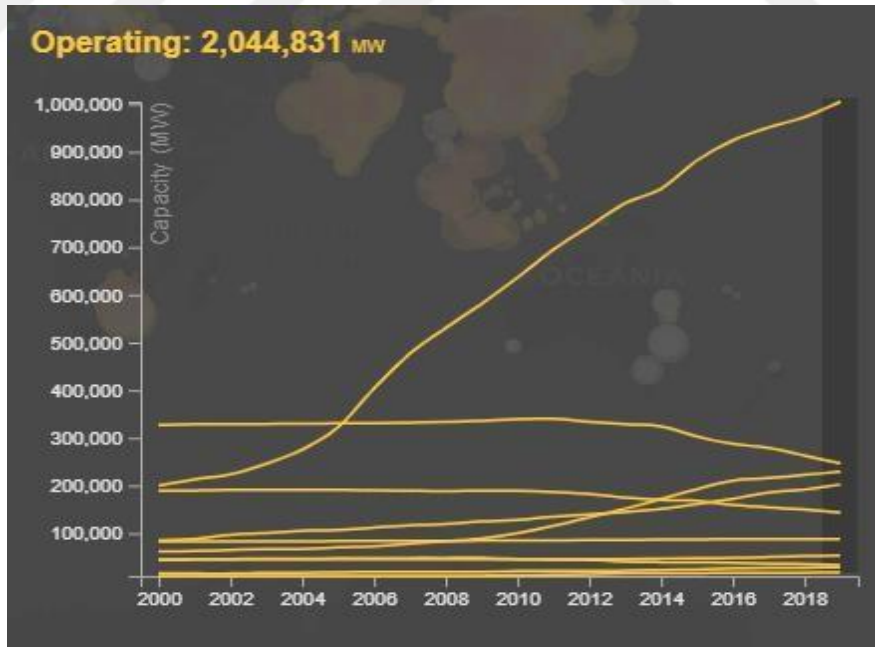
Kömür yakıtlı termik enerji üretimi, büyük ölçekli enerji üretiminin en eski biçimlerinden biridir. İlk ilkel güç jeneratörü 1832’de Fransız Hippolyte Pixii tarafından icat edilmiştir. 28 yıl sonra,1860’da jeneratör, sürekli ve doğru akım gücüne izin verecek şekilde yükseltildi. Günümüzde, fosil yakıtlı termik enerji üretimi, hala dünyadaki baskın enerji üretim yöntemidir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve BP Group’un istatistiklerine göre, 2017 yılında kömür yakıtlı termik santral nükleer, hidroelektrik ve yenilenebilir enerjinin toplamı kadar elektrik ürettiği belirlenmiştir (Zhang, 2020).

2019 yılında dünyada bulunan tüm termik santrallerin haritası Şekil 2.10.’da gösterilmektedir. Beyaz işaretli kısımlar kapalı santralleri, sarı işaretli kısımlar çalışan santralleri, pembe işaretli kısımlar yeni santralleri göstermektedir (Carbon Brief, 2022).



Şekil 2.10. 2019 yılı Dünya’da Bulunan Kömürlü Termik Santraller (Carbon Brief, 2022)

2019 yılında dünyada işletilen kömürlü termik santrallerin 2,044,831 MW bir güce sahip olduğu Şekil 2.11.’de gösterilen grafikte yer almaktadır (Carbon Brief, 2022).



Şekil 2.11. 2000-2018 yılları arasında Dünya’daki kömürlü termik santrallerin durumu (Carbon Brief, 2022)

Tablo 2.1. Üretim Kaynaklarına Göre Küresel Santraller

Yakıt	Kapasite (MW)
Kömür	1.965.540,99
Gaz	1.493.050,60
Hidro	1.053.159,61
Nükleer	407.911,75
Rüzgâr	263.053,72
Güneş	188.312,32
Biyokütle	34.281,30
Jeotermal	12.687,75
Diğerleri	3.612,85

Dünya'daki santraller türlerinin, üretim kapasitesi ve yakıt türüne göre verileri Tablo 2.1.'de gösterilmektedir.(Global Power Plant Database, 2022)

2.2.8. Türkiye'de termik santrallerin durumu

Türkiye'de hızlı bir sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışı yaşanmaktadır. Türkiye'de toplam kurulu gücü 2.0433,8 MW olan termik santraller genellikle elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadırlar. Bu santrallerin %15'i kömür yakmaktadır. Büyük ölçekli kömürler çalışan santrallerin çoğu ,düşük kalorifik değere ve yüksek kül, kükürt içeriğine sahip yerli linyit kullanmaktadır (Say, 2006).

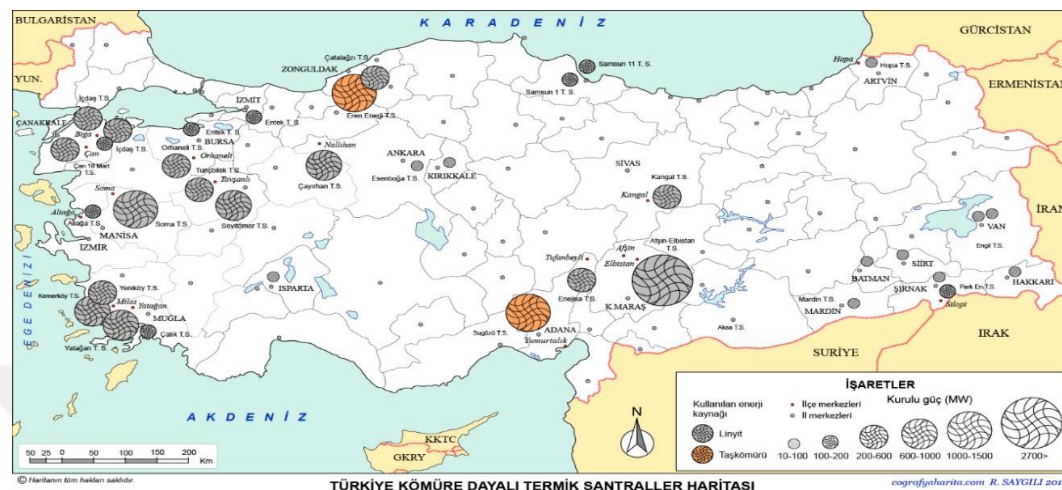
Türkiye'deki çoğu santralde iki ana yakıt kullanılmaktadır. Birincisi düşük kaliteli linyit, ikincisi ise doğal gazdır. Düşük kaliteli linyitin termik santrallerde kullanımı çevre kirliliğine önemli ölçüde yol açmaktadır. Devletin elektrik üretim şirketi olan Elektrik Üretim İş Birliği A.Ş. (EÜAŞ) tarafından işletilen 13 kömür ve 4 doğalgaz santrali bulunmaktadır. Türkiye'de toplam kurulu gücün %57'si, toplam üretimin %49,'u EÜAŞ tarafından işletilmektedir (Sözen ve ark., 2010). Veri zarflama analizi (VZA) ile yapılan bir çalışmada 11 adet linyit ,1 adet taş kömürü ve 3 adet linyit yakıtlı tesisin verimlilik analizleri kullanılarak elde edilen sonuçlarda Soma AB santrali, tüm taş kömürle çalışan santraller arasında en iyi performans gösteren santral olarak belirlenmiştir. Çalışma , Türkiye'deki termik santrallerin çevresel etkilerinin izlenmesi ve etkilerin azaltılması için önlemler alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Sözen ve ark., 2010, s. 10).

Türkiye’de Çatalağzı termik santralinde yakıt olarak maden kömürü kullanılan tek santraldir. Diğer termik santrallerde ise büyük oranda linyit kullanılmaktadır. Ayrıca Çatalağzı termik santralının çevreye olan etkisi diğer santrallere kıyasla daha azdır. Türkiye’de linyit kullanılan termik santrallerde, linyitin nem oranı %10 -50, kül oranları %14-49, kükürt oranları %1,21 – 4,39 ve alt ısı değerleri ise 1050 Kcal/kg- 3.678 Kcal/kg arasında değişmektedir (Avcı, 2012).Veri zarflama analizinin kullanılarak, model 1 girdileri: yakıtın alt ısı değeri, planlanan üretim kapasitesi, ana yakıt tüketimine model 2 girdileri : CO₂, NO_x, SO₂ ve diğer gaz emisyonları olmak üzere iki farklı modelin oluşturulduğu bir diğer çalışmada ise etkinliği en yüksek olan termik santraller Çan ve Hamitabat termik santralleri olarak belirlenmiştir (Yetik ve ark., 2011).

Tablo 2.2. Türkiye’de Kömürle Çalışan Termik Santrallerin Yıllık CO₂ Emisyon Değerleri (Carbon Brief, 2022)

TERMİK SANTRAL	CO ₂ Emisyonu (ton /yıl)
İÇDAŞ Bekirli 1	7,37
Cenal	5,31
Çan 1	1,88
Çan 2	1,62
İzdemir Enerji	1,57
Yatağan	4,13
Kemerköy	3,98
Yeniköy	2,75
Orhaneli	1,33
Aksa	0,72
Gebze Çolakoğlu	1,04
Tunçbilek	2,39
Polat	0,28
Seyit Ömer	3,93
Bolu Göynük	1,46
Çayırhan	3,99
Yunus Emre	0,79
Çoban Yıldız	0,2
ZETES	12,13
Çatalağzı B	2,02
Kardemir Karabük Demir Çelik	0,44
İsken Sugözü	5,63
Atlas Enerji	4,91
Afşin Elbistan A	8,26
Afşin Elbistan B	7,8
Kangal	3,48
Şırnak Silopi	2,26

Tablo 2.2.'de gösterilen termik santraller toplamda yıllık 91,67 ton/yıl CO₂ emisyonunu atmosfere yaymaktadır. Gösterilen tüm termik santrallerin işletimi günümüzde devam etmektedir.



Şekil 2.12. Türkiye Kömüre Dayalı Termik Santraller Haritası (Coğrafya Harita, 2022)

Şekil 2.12.'de Türkiye'de kömüre dayalı santrallerin Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunluğu başlayarak İç Anadolu bölgesine doğru devam etmektedir. Genel olarak 1000-1500 MW ile 2700 MW kurulu güce sahip olan santrallerin yoğunlukta olduğu görülmektedir.

2.2.9. Sakarya ilinde enerji santrallerinin durumu

Sakarya, Marmara Bölgesinin Çatalca-Kocaeli bölümünde yer almaktadır ve 2020 yılı itibari ile 1.042.649 nüfusa sahiptir. 1954 yılına kadar Kocaeli'ne bağlı Adapazarı olarak bir ilçe iken 22 Haziran 1954 tarihinde il olarak Sakarya adını almıştır. Bu gelişmelere ek olarak 2000 yılında Büyükşehir Belediyesi olmuştur. Sakarya'da 208.226 ha ormanlık alan ve 280.424 ha açıklık alan bulunmaktadır. Ormanlık alanlar şehrin yüz ölçümünün %43'ünü oluşturmaktadır. Sakarya, Karadeniz ve Marmara Bölgesinin iklim özelliklerini taşımaktadır ve zengin bir bitki örtüsüne sahiptir. Şehir Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde yer aldığı için 1. derece deprem bölgesidir. Sakarya'nın ekonomisini tarım, sanayi ve hizmet sektörü oluşturmaktadır. Sanayi sektöründe toplamda 1561 firma yer almaktadır (Brifing, 2021). Sakarya ilinde 2020

yılında 3.852.443.137 kWh elektrik tüketimi ve 591.010.272 kWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Sakarya’da lisanslı olarak 14 adet elektrik enerji santrali bulunmaktadır. Sakarya ilinde kömür yakan bir termik santral bulunmamakta ve doğalgaz çevrim santrali bulunmaktadır. Bu santraller Türkiye’de ki kurulu gücün %3’üne karşılık gelmektedir (S. B. Belediyesi, 2021). Sakarya ilinde bulunan enerji santralleri Tablo 2.3.’de gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Sakarya İli Enerji Santralleri (Atlası, 2021)

Sakarya İli Enerji Santralleri		
Santral adı	Tesis türü	Kurulu güç
Enka Gebze doğalgaz elektrik santrali	Doğalgaz	1.595 MW
Enka Adapazarı Doğalgaz Santrali	Doğalgaz	880 MW
Doğançay HES	Hidroelektrik	30 MW
Ak Gıda Doğalgaz Sant.	Doğalgaz	23 MW
Adapazarı Şeker Fab. Elkt Sant.	Kömür, Fueloil, Doğalgaz	10 MW
Adasu HES	Hidroelektrik	9,60 MW
Goodyear Sakarya Enerji Santrali	LPG	9,60 MW
Pamukova HES	Hidroelektrik	9,30 MW
Asaş Alüminyum Doğalgaz Sant.	Doğalgaz	8,60 MW
Aydın Örne Akyazı Doğalgaz Santrali	Doğalgaz	7,52 MW
Karma Gıda Biyogaz Santrali	Biyokütle	1,49 MW
Pamukova Katı Atık Biyogaz Santrali	Biyogaz	1,40 MW
Haraklı Hendek HES	Hidroelektrik	0,26 MW
Pazarköy Akyazı HES	Hidroelektrik	0,18 MW
Bora Memi Usta HES (Yapım aşamasında)	Hidroelektrik	1,32 MW
TOPLAM		2504,19 MW

Sakarya’da bulunan Enka Adapazarı Doğalgaz Santrali, 880 MW kurulu güce sahip bir termik santraldir. Adapazarı’nın 1.804 nüfusa ve 7,818 km² yüz ölçümüne sahip olan Taşkısığı mahallesinde yer almaktadır. Santralin ana yakıtı doğalgazdır. İşletmeci firması Enka Enerji olmakla birlikte yıllık üretim kapasitesi 6493 GWh-yıl olarak belirlenmiştir. Santralde elektrik üretimi iki ana aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşamada, doğalgazın yanması sonucu ile türbin çevrilerek elektrik üretilmektedir. Bu aşamada ortaya çıkan ısı buhar kazanına gönderilir ve oluşan buhar aracılığı ile buhar türbini çevrilerek ikinci aşamada elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Bu şekilde elektrik üreten kombine çevrim santrallerinde verimlilik %60 oranlarındadır (Enerji, 2021).

Doğalgaz kombine çevrim santralleri, fosil enerji kaynaklarını kullanan diğer termik santrallere kıyasla daha az çevre sorunu oluşturan santrallerdir (Avcı, 2012, s. 13).

2.3. Atık Isı

Birincil enerji taşıyıcılarından nihai enerji kullanımına kadar enerji dönüşümde zincirinde çeşitli kayıplar meydana gelmektedir. Özellikle son aşamalarda büyük miktarda dönüştürülen enerji genellikle atık ısı olarak çevreye salınmaktadır. Atık ısı, enerji dönüşümünün neredeyse her adımında ortaya çıkmaktadır. Enerji verimliliğini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için bu atık ısıların uygun şekilde kullanılması önemli bir hal almaktadır (Forman ve ark., 2016).

Atık ısı, yakıtın yanması, kimyasal reaksiyon ve sıcak sıvı prosesi sonucunda elde edilmektedir. Elde edilen atık ısı egzoz emisyonu ve sıcak atık su şeklinde çevreye deşarj edilmektedir. Küresel birincil enerji tüketiminin %72'sinin dönüşümden sonra kaybolmaktadır. Atık ısı akışlarının %63'ü elektrik üretiminde, sanayide ve ulaşımda 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda ortaya çıkmaktadır (Gadhi ve ark., 2021).

Düşük dereceli atık ısı, toplam atık ısının kalitesini düşürmektedir. Atık ısının geri kazanılması veya dönüştürülmesi zor bir süreçtir. Fakat atık ısının geri kazanımı, çeşitli atık ısı geri kazanımı teknolojileri aracılığıyla gerçekleştirmek mümkündür (Forman ve ark., 2016).

Günümüzde son yıllarda küresel ısınma ile ilgili artan tehlike nedeniyle çeşitli endüstriler sera gazı emisyonlarını azaltmak ve tesis verimliliğini artırmak için atık ısı geri kazanım sistemlerini kullanmaya yönelmiştir. Endüstriyel atık ısı, endüstriyel tesislerde üretilen ve pratikte kullanılmadan çevreye verilen ısıdır. Atık ısı kaynakları çoğunlukla endüstriyel ürünler, ekipman ve işlemlerden iletim, taşınım, konveksiyon ve radyasyon yoluyla aktarılan ısı kaybını ve yanma işlemlerinden ortaya çıkan ısıyı içermektedir. Atık ısı geri kazanımını verimli bir şekilde gerçekleştirmek için Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri (WHR) kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki WHR, 400°C'den yüksek sıcaklıklardaki atık ısının geri kazanılmasında oluşmaktadır.

Bu geri kazanımda orta sıcaklık aralığı 100- 400 °C ve düşük sıcaklık aralığı 100 °C'nin altındaki sıcaklıklar için geçerlidir. Genellikle yüksek sıcaklık aralığında bulunan atık ısının çoğu doğrudan yakma işlemlerinden, orta aralıkta yanma ünitelerinin egzozundan ve düşük sıcaklık aralığında parçalardan, ürünlerden ve proses ünitelerinin ekipmanlarından oluşmaktadır (Jouhara ve ark., 2018).

2.3.1. Atık ısı geri kazanım sistemleri

Son yüzyılda özellik mühendislik alanında meydana gelen teknolojik devrim ile birlikte ekonomik ve çevresel seviyede karmaşık etkileri olan bir enerji krizi meydana gelmeye başlamıştır. Enerji yönetimi, enerjinin geri kazanılması, yeniden kullanımı ve ısının geri kazanımı, yenilenebilir enerji ve fosil yakıtların kullanımını azaltmak için önemli bir adım olarak görülmektedir. Enerji üretimi, ısıtma, soğutma ve ısı depolama sistemleri, ısı geri kazanım sistemlerinin ana uygulamaları arasında yer almaktadır. Bu uygulama ısı eşanjörleri kullanılarak uygulanmaktadır. Isı eşanjörleri, iki farklı akışkanın dışarıdan herhangi bir enerji verilmeden sıcaklıklarının birbirine aktarılmasını sağlayan ekipmanlar olarak tanımlanmaktadır (El Hager ve ark., 2020). Günümüzde pek çok atık ısı geri kazanım teknolojisi mevcut bulunmaktadır. Bu teknolojiler atık ısının yakalanması ve geri kazanılması için kullanılan atık ısı geri kazanım ünitesinden ve enerji geri kazanımlı ısı eşanjörlerinden oluşmaktadır. Bu üniteler temel olarak reküperatörler dahil olmak üzere hava ön ısıtıcıları ,fırın rejeneratörleri ve döner jeneratörler veya ısı çarkları dahil olmak üzere bobin, rejeneratif ve reküperatif brülörler ,ısı borulu ısı eşanjörleri,plakalı ısı eşanjörleri,ekonomizörler,atık ısı kazanları ve doğrudan elektrik dönüştürme cihazları gibi ortak atık ısı geri kazanım sistemlerinden oluşmaktadır (Jouhara ve ark., 2018, s. 2).

Atık ısı geri kazanım sistemleri endüstri ve evsel alanlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Evsel atık ısı geri kazanım sistemleri, konutlarda uygulanmaktadır. Konut uygulamalarında enerji, egzoz gazlarında veya suda yakalanan şekilde yaymaktadır. Yayılan ısı başka bir sıvıyı veya akımı ısıtmak için doğrudan veya dolaylı olarak kullanılabilir. Evsel uygulamalarda egzoz gazlarından ısı geri

kazanımı için genel olarak baca, ocak ve elektrik jeneratörleri kullanılmaktadır. Bir diğer sistem olan drenaj suyu ısı geri kazanımı sistemleri, kanalizasyona bağlı bir ısı eşanjörü kullanılarak soğuk su akışının sıcaklığını arttırmaya dayanmaktadır. Bu sistem doğrudan, dolaylı, dikey , yatay ve depolama tankı olmak üzere farklı sistemler halinde kullanılmaktadır (El Hage ve ark., 2020).

Farklı endüstriyel prosesler ve bunların çalışma sıcaklıkları, atık ısı ile sağlanabilen düşük sıcaklık proseslerinde atık ısı kaynakları olarak kullanılmaktadır. Sanayiden ve endüstriden kaynaklanan atık ısıyı kullanmak için oluşturulan teknolojiler aktif ve pasif olarak kategorize edilmektedir. Şekil 2.13.'de aktif ve pasif teknolojiler gösterilmiştir. Isı eşanjörleri ve termal enerji depoları iki yaygın pasif teknolojidir. Bu teknolojiler, atık ısıyı yeniden kullanmak veya geri dönüştürmek için kullanılmaktadır. Sorpsiyon sistemleri, mekanik ısı pompaları ve organik rankine çevrimleri aktif teknolojiler olarak kullanılmaktadır. Bu aktif teknolojileri, ısıtma, soğutma ve elektrik sağlamak olmak üzere üç farklı şekilde uygulanmaktadır (Brückner ve ark., 2015).



Şekil 2.13. Endüstriyel Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri

Küresel olarak endüstriyel enerji kullanımı sera gazlarının %33'ünden sorumlu olduğu için özellikle bu sektördeki atık ısı geri kazanım sistemlerinin uygulanması küresel ısınmanın etkilerini azaltmak ve düşük emisyon çıkış değerleri elde etmek için önemli bir rol oynayacaktır (Jouhara ve Olabi, 2018).

Termik santrallerde atık ısının geri kazanılması, yoğuşurma sırasında soğuk su için verilen ısının geri kazanımını ifade etmektedir. Termik santrallerde atık ısının geri kazanımı için kullanılan yöntemler şu şekilde sıralanmaktadır (Şube Raporu, 2009, s. 5).

- Yoğuşma sıcaklığını yükselterek ısıtma
- Ara buhar yöntemi ile ısıtma
- Düşük sıcaklık ısıtma sistemleri
- Isı pompası kullanarak ısıtma

2.3.2. Atık ısı ile bölgesel ısıtma

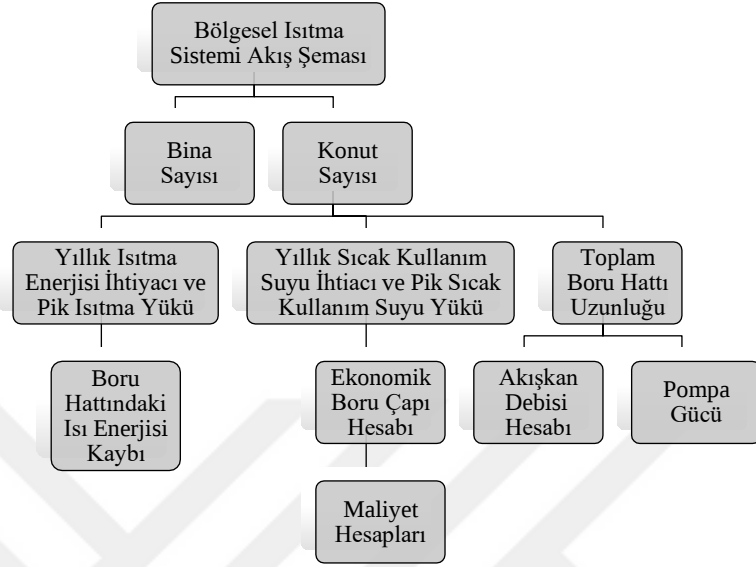
Bölgesel ısıtma ilk olarak 1870 ve 1880 yılları arasında Lockport ve New York gibi şehirlerde ticari olarak tanıtılmıştır. Bölgesel ısıtma, mahal ısıtma ve su ısıtma gibi konut ve ticari ısıtma gereksinimleri için bir yalıtımlı boru sistemi aracılığıyla merkezi bir yerde üretilen ısıyı dağıtmak için kullanılan sistemlerdir. Isı genellikle fosil yakıtları veya biyokütleyi yakan bir kojenerasyon tesisinden elde edilmektedir (Werner, 2017). Bölgesel ısıtma sistemleri üretim, iletim-dağıtım ve tüketim olarak üç temel kısımdan oluşmaktadır. Isı üretim merkezlerinde kullanılan yakıtlar Şekil 2.14.'deki gibi üç ana başlıkta toplanmaktadır (Topal, 2013).

Katı Yakıtlı	Sıvı Yakıtlı	Gaz Yakıtlı
• Kömür • Odun • Çöp • Talaş	• Motorin • Fuel-oil	• Doğalgaz • LPG • Biyogaz

Şekil 2.14. Isı üretim merkezinde kullanılan yakıtlar

Günümüzde 6000'i Avrupa'da olmak üzere toplam 80.000 sistem olduğu tahmin edilmektedir. Bölgesel ısıtma yaygın olarak endüstrilerde ve binalarda kullanılmaktadır. Bölgesel ısıtma tesisleri, yerel kazanlara göre daha yüksek verimlilik ve daha iyi kirlilik kontrolü sağlamaktadır. Bununla birlikte birleşik ısı ve güç sistemleri ile bölgesel ısıtma ,karbon emisyonlarını azaltmanın en ucuz yöntemi

olmasına ek olarak tüm fosil yakıt kullanan tesisler arasında en düşük karbon ayak izine sahip olmaktadır (Werner, 2017).



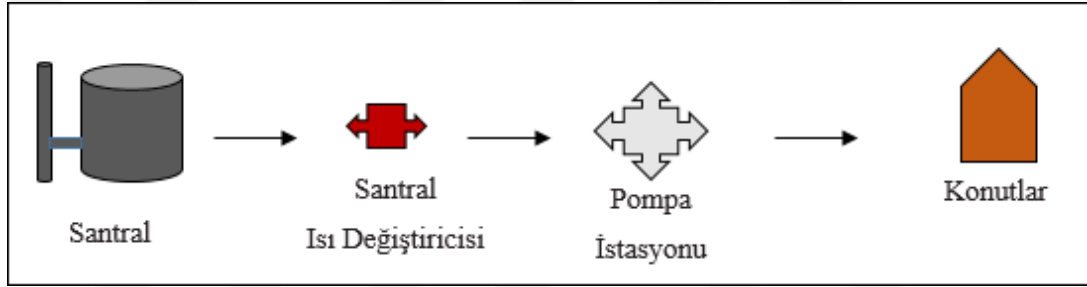
Şekil 2.15. Bölgesel Isıtma Sistemi Hesap Akış Şeması

Bir bölgesel ısıtma sistemini bir mahalleye veya bölgeye uygulamak için Şekil 2.15.'de gösterilen adımlar uygulanmalıdır. Bu adımlar uygulanarak yapılacak olan modelleme daha uygun olacaktır. Örneğin, Zonguldak İl merkezinde yapılması planlanan bölgesel ısıtma sistemi Şekil 2.15.'de verilen şemaya uygun olarak modellenecektir (Topal, 2013).

BIS kurulumunda konutlar oluşturulan BIS şebekesine “Bina alt istasyonu” adı verilen bir düzenek ile entegre olmaktadır. BIS şebekesi dağıtım hattı bina içindeki alt istasyona bağlanmaktadır. BIS şebekesinde, tüm binaların kendine ait bir alt istasyonu mevcuttur. Binalarda kullanılan bina alt istasyonu sayesinde BIS ile sağlanan şebeke suyu ve taşınan ısı enerjisi bina alt istasyonundaki ısı değiştiriciler vasıtasıyla ısıyı bina ısıtma tesisatına aktarmaktadır. Bu sistem ile BIS şebeke suyu bina ısıtma tesisatı ya da sıcak su tesisatının birbirine karışması engellenmektedir. Binaların ısı tüketimleri, bina alt istasyonunda bulunan ısı sayacı (kalorimetre) aracılığıyla ölçülmektedir. Böylece her binanın ısı tüketimi sayaç ile ölçülerek faturalandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Buna ek olarak, daire girişlerine konulacak ısı sayaçları ile her

dairenin ısı tüketimi ayrı olarak ölçülmüş olacaktır. Sonuç olarak BIS uygulamasında aboneler, tüketimlerine bağlı olarak ısı bedeli ödemektedirler.

Bir santralde ısı üretimi yapabilecek olan kaynaklar baca gazı, kondenser, mevcut ara buharlar ve OBT/ABT buhar geçiş hatlarıdır. Bu ısı kaynakları santrale göre incelenerek BIS uygulaması için en uygun olacak kaynak seçilmektedir. Şebeke ve bina tesisatı göz önüne alındığında oluşacak olan yüksek maliyet sebebi ile genellikle kondenserin ısı üretimi için kullanımı daha ekonomik olarak görülmektedir. Sonuç olarak BIS uygulaması ısı üretilen santral, ısı iletim ve dağıtım şebekeleri ve ısıtılan konutlar olmak üzere üç aşamada oluşmaktadır. Aşama adımları Şekil 2.16.'da verilmektedir.



Şekil 2.16. BIS Uygulaması Temel Yapılar

Kullanıcıların BIS uygulamasından faydalanması için yapması gerekenler aşağıda sıralanmıştır.

- Konut içi radyatör sistemi kurulumu
- Bina alt istasyon kurulumu (Sayaç dahildir.)

Bölgesel ısıtmanın tek dezavantajı ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Düzenli ve planlı yerleşim bölgeleri oluşturarak sağlanan bölgesel ısıtma sistemlerinde bu maliyeti düşürmek mümkün olmaktadır. Bölgesel ısıtmanın avantajları ise şunlardır:

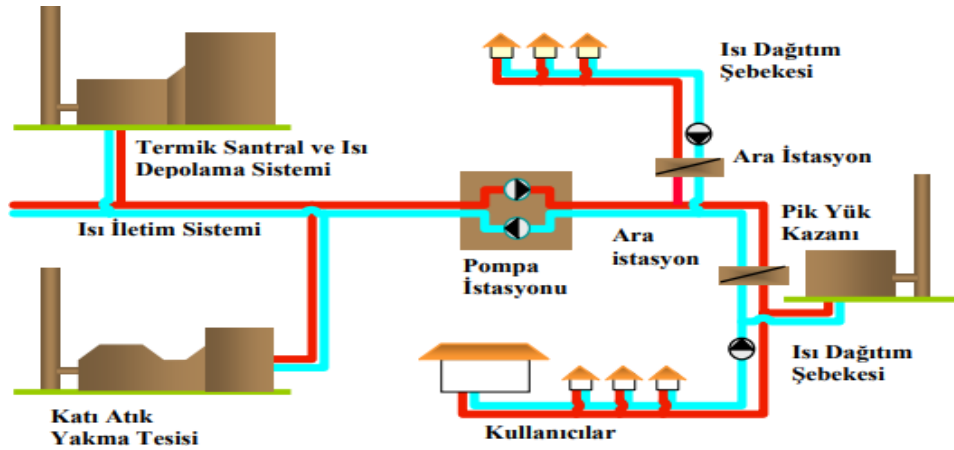
- Isınma için kullanılan yakıtın tek bir merkezde yakılması emisyon kontrolünü kolaylaştırmaktadır.

- Yakıt olarak kömürün kullanıldığı konut ısıtma sistemlerinde lokal hava kirliliği oluşmaktadır. Fakat bölgesel ısıtma sistemi, yerleşim yerlerindeki hava kalitesini artırarak oluşacak lokal hava kirliliğinin önüne geçmektedir.
- Santrallerde bacaların yüksek olması sebebi ile bacalardan atmosfere yayılan gazlar, yerleşim alanlarında çökmeden havaya karışarak lokal hava kirliliğini önleyecektir.
- Günümüzde dünya çapında yıllık 22.700 megaton olan CO₂ emisyonu, bölgesel ısıtma sistemleri ile yıllık 700 ile 900 megaton değerleri arasında azaltılabileceği öngörülmektedir (Şube Raporu, 2009).

Günümüzde sera gazı salınımının büyük ölçüde bir sorun haline geldiği gerçeği göz önüne alındığında bölgesel ısıtma sistemleri sera gazı salınımında özellikle de CO₂ salınımı için önemli bir iyileştirme adımı olacaktır.

2.3.3. Termik santrallerde atık ısı ile bölgesel ısıtma

Termik santrallerde atık ısı çoğunlukla yoğunlaştırucularda oluşmaktadır. Termik santrallerden ortaya çıkan atık ısı, binaların ısıtma sistemlerinde ve çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Şekil 2.17.'de tipik bir bölgesel ısıtma sistemi şeması verilmiştir. Bazı santrallerde sadece ısı üretilir, bazı santrallerde ise ısı ve elektrik aynı anda üretilmektedir. Sadece ısı üretilen santraller su ve buhar üreten kazanlardan oluşurken ısı ve elektriğin birlikte üretildiği santrallerde buhar türbini, gaz türbini veya gaz motoru kullanılmaktadır. Elektrik ve ısı aynı anda üretildiği santrallerinde bu uygulamalar bileşik ısı-güç üretimi veya kojenerasyon olarak bilinmektedir (Şube Raporu, 2009, s. 8).

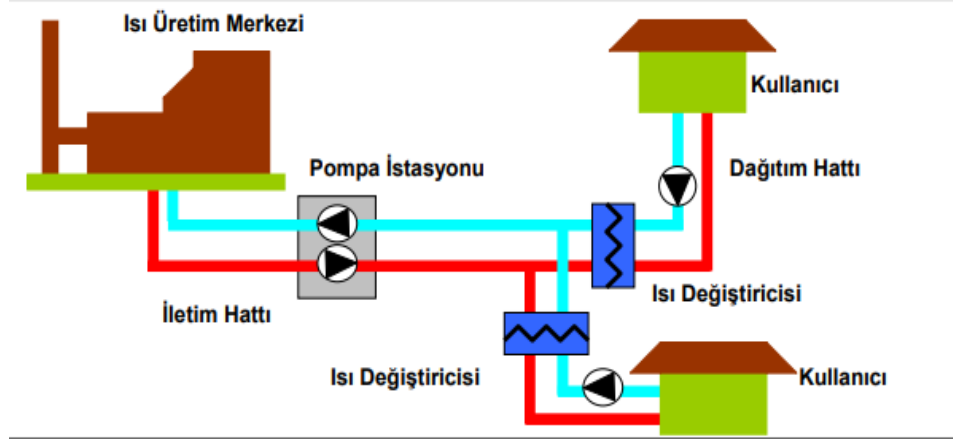


Şekil 2.17. Tipik Bölgesel Isıtma Sistemi (TSAD, 2006)

Termik santrallerde oluşan atık ısılarından elde edilen ısı, iletim hatları aracılığıyla merkezi ısı değiştiriciler kullanılarak dağıtım hattına aktarılmaktadır. Dağıtım hattına aktarılan ısı, direk olarak bağlanma ya da binalardaki alt istasyonlar vasıtasıyla kullanıcıların şebekelerine aktarılmaktadır. Termik santrallerde atık ısılarından elde edilen sıcak su, dağıtım şebekelerinde oluşan yerel ve sürtünme kayıpları nedeniyle enerjisini kaybetmektedir. Bunun önüne geçmek için, şebeke sistemlerinin üzerinde uygun görülen yerlerde pompa istasyonlarının kurulması gerekmektedir. Bölgesel ısıtma sisteminde, iletim ve dağıtım hatlarının basınç ve sıcaklık değerleri şunlardır:

- Isı İletim Sistemi 25 bar, $< 120^{\circ}\text{C}$
- Isı Dağıtım Şebekesi 6 bar, $< 100^{\circ}\text{C}$ (MalzemeEnstitüsü, 2007, s. 80)

Kullanılan bu pompalar şebeke hattında dolaşan sıcak suya enerji kazandırarak kayıpların önüne geçmektedir. Şekil 2.18.'de iletim ve dağıtım hatları gösterilmektedir. Atık ısıdan elde edilen sıcak suyu ulaştırmak için iletim ve dağıtım hattında kullanılan borular, ön izolasyonlu borulardan oluşmaktadır. Bu şekilde bölgesel ısıtma gerçekleştirilmektedir (MalzemeEnstitüsü, 2007, s. 80).



Şekil 2.18. Bölgesel Isıtma İletim ve Dağıtım Hatları (TSAD, 2006)

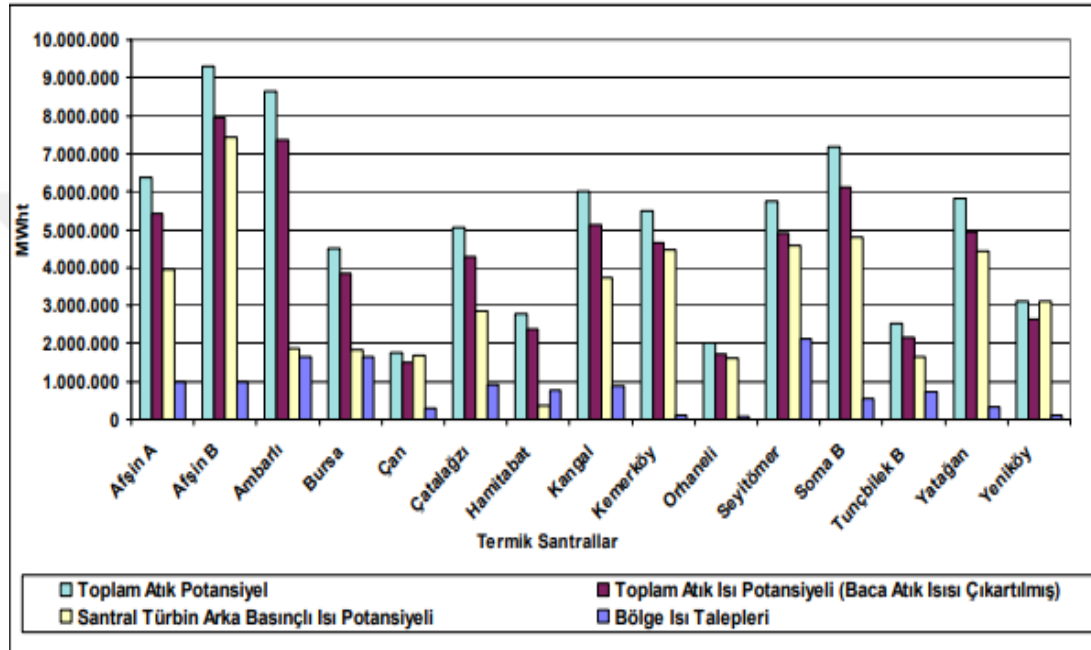
Tüm bunlara ek olarak dağıtım hattındaki ısı, kullanıcılara üç farklı şekilde ulaştırabilmektedir. Birincisi dağıtım hattından gelen sıcak su direkt olarak bina tesisatına verilebilir, ikincisi karışık dolaşım sistemi ve üçüncüsü ise bina alt istasyon sistemidir. Bu sistemler kullanılırken, yerel ve sürtünme kayıplarını ortadan kaldırmak için sirkülasyon pompası ve oluşacak basınç dengesizliklerini gidermek için de genişleme tankı kullanılmaktadır. Aynı şekilde oluşacak ısı dengesizliklerini engellemek amacı ile sıcaklık kontrol elemanları kullanılmalıdır (MalzemeEnstitüsü, 2007, s. 85).

Termik santrallerdeki atık ısının kullanılabileceği pek çok alan mevcuttur. Termik santrallerin atık ısılarını kullanarak, bölgesel ısıtma sağlanmasının yanında aynı zamanda konutlarda kullanılmak üzere sıcak kullanım suyu elde etmek, seraların ısınması sağlamak, bölge soğutma sistemlerinde kullanmak gibi uygulamalar mümkündür.

2.3.4. Türkiye’de atık ısı ile bölgesel ısıtma potansiyeli ve uygulama örnekleri

Türkiye’de bulunan termik santrallerin atık ısı potansiyeli toplamda 35 Milyon MWh/yıl olarak tahmin edilmektedir. Bu potansiyel ile mevcut santrallere 50 km’den yakın olan bölgelerde bulunan 620.000 konutun ısıtılması mümkün görülmektedir (Kahraman, 2006).

EÜAŞ'a 2006 yılına ait toplam bölge ısı taleplerinin, santralin potansiyel atık ısılarının ve türbin arka basınçlı çalışması durumunda ısı potansiyeli ile ilgili karşılaştırma verileri Şekil 2.19.'da verilmiştir. Ayrıca Tablo 2.4.'de EÜAŞ'a bağlı bazı termik santrallerin teknik bilgileri verilmektedir. Santrallerin, türbin arka basınçlı çalışması durumunda bölgesel ısı taleplerinin karşılanacağı görülmüştür (MalzemeEnstitüsü, 2007).



Şekil 2.19. EÜAŞ'a bağlı termik santrallerin bölge ısıtma talebini potansiyeli karşılaştırma verileri (Enstitüsü, 2007)

Esenyurt termik santrali 1999 yılında ,180 MW kurulu güç ile devreye girmiştir. Santral ile Esenkent'te 10.000 konut bölgesel ısıtma ile ısıtılmıştır ve doğalgaza oranla %40 daha ucuz bir maliyet elde edilmiştir. YİD (yap, işlet, devret) süresinin bitmesi nedeniyle EÜAŞ'a devredilmiş ve işletilmesi 2020 yılında sona ermiştir (Elektrik Üretim A.Ş., 2022).

Tablo 2.4. EÜAŞ'a Bağlı Termik Santrallerin Teknik Bilgileri (TSAD, 2006)

Santral Adı	Ünite Sayısı	Santral Tipi	Yakıt Tipi	Türbin Tipi	Kapasite (MW _e)
Afşin Elbistan B	4	Yoğuşmalı	Linyit	Buhar Türbini	1440
Çan	2	Yoğuşmalı, Akışkan Yatak	Linyit	Buhar Türbini	320
Çatalağzı	2	Yoğuşmalı	Taş Kömürü	Buhar Türbini	300
Kangal	3	Yoğuşmalı	Linyit	Buhar Türbini	457
Orhaneli	1	Yoğuşmalı	Linyit	Buhar Türbini	210
Seyitömer	4	Yoğuşmalı	Linyit	Buhar Türbini	600
Soma	8	Yoğuşmalı	Linyit	Buhar Türbini	990
Tunçbilek	5	Yoğuşmalı	Linyit	Buhar Türbini	429
Ambarlı DGKÇ Santrali	3	Kombine Çevrim	Doğalgaz	2 Gaz Türbini, 1 Buhar türbini	1350
Bursa DGKÇ Santrali	2	Kombine Çevrim	Doğalgaz	2 Gaz Türbini, 1 Buhar türbini	1432
Hamitabat DGKÇ Santrali	4	Kombine Çevrim	Doğalgaz	2 Gaz Türbini, 1 Buhar türbini	1200
Yatağan	3	Yoğuşmalı	Linyit	Buhar Türbini	630
Yeniköy	2	Yoğuşmalı	Linyit	Buhar Türbini	420
Kemerköy	3	Yoğuşmalı	Linyit	Buhar Türbini	630

Ülkemizde pilot uygulama olarak başlayan Manisa'nın Soma ilçesinde bulunan Soma B Termik Santralinin atık ısı ile BİS uygulaması günümüzde hala devam etmektedir. Soma ilçesinde doğalgaz bulunmamaktadır. Soma'da bir konut ortalama 6 ton kömür tüketmektedir. İlçede bulunan Soma B Termik Santrali, atık ısı bölgesel ısıtma sistemi ile 15,000 konutun ısınma ihtiyacı karşılanmaktadır. Soma ilçesinde 2006 ve 2020 yıllarında BİS ile ısıtılan konutların abone sayısı ve nüfus verileri Tablo 2.5.'de, Soma B Termik Santralinin BİS uygulaması ile emisyon değerlerindeki değişimi ise Tablo 2.6. ve Tablo 2.7.'de yer almaktadır. İlçede BİS uygulaması ile konut başına 5,72 tonluk bir azaltım sağlanacağı tahmin edilmektedir (MalzemeEnstitüsü, 2007).

Tablo 2.5. Soma İli 2006-2020 Yılları Karşılaştırma Verileri

Soma	2006	2020
Nüfus	97.739	110.935
Abone Sayısı	8.100	15.000
Doğal gaz tüketim (m ³)	YOK	YOK

Tablo 2.6. Konutlarda Oluşan Emisyon Değerleri, SOMA (Tubitak, 2016)

Yerleşim Birimi	Konut Sayısı	Yakılan Kömür (ton)	Yıllık Toplam CO ₂ Emisyonu Emisyonu (ton)	Yıllık Toplam SO ₂ Emisyonu Emisyonu (ton)
Soma	21.566	171.503,39	139,352	2,808

Tablo 2.7. Soma B Termik Santrali BİS Uygulaması ile Emisyon Değişimi (Tubitak, 2016)

Emisyon	Değişim Miktarı (ton/yıl)
CO ₂	-86,309
SO ₂	-668

2.3.5. Dünya’da atık ısı ve örnekleri

Üretimde ve enerji kullanımında bölgesel ısıtma ve soğutmayı birleştirmek, dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir çözüm yöntemi olarak görülmektedir. Bölgesel ısıtma sistemlerinin esnekliği, elektrik güç sistemleri için kullanılabilir ve böylece yatırımcılar birden fazla olanaktan faydalanarak kar elde edebilmektedir. Son yıllarda çoklu enerji sistemlerinin yoğun entegrasyonu göz önüne alındığında, bölgesel ısıtma sistemleri ve doğalgaz sistemleri gibi diğer enerji sektörleri için etkili ve umut verici seçenekler ortaya çıkmaktadır (Tan ve ark., 2022). Dünyada bölgesel ısıtma sistemi kullanan bazı ülkelerin durumu Tablo 2.8.’de gösterilmektedir.

Helsinki, 60 derece kuzey enleminde yer alır ve dünyanın en kuzeydeki başkentleri arasında bulunmaktadır. Helsinki’de evleri ve işyerleri enerji tasarruflu bölgesel ısıtma ile ısıtılan yaklaşık 600.000 konut bulunmaktadır. Sistem 300 MW ısıtma gücü üretim kapasitesine sahiptir ve BIS sistemi 7.500 km şebeke uzunluğuna sahiptir. Helsinki’deki konut stokunun %90’ından fazlası bölgesel ısıtma ile sağlanmaktadır (District Energy Award, 2011).

Yunanistan’da bölgesel ısıtma, alan ısıtma için gereken talebin yalnızca küçük bir bölümünü karşılamaktadır. Şebekede dağıtılan ısı, geleneksel yakıtlar kullanan termik santrallerden kaynaklanmaktadır. Yunanistan’da ilk küçük çaplı bölgesel ısıtma

tesisi,1960 yılında Ptolemaida termik santralinde faaliyete geçmiştir. Günümüzde, Kozani, Amynteo, Filotas ve Megalopoli şehirlerinde yakındaki termik santrallerin termal yükünden yararlanan bölgesel ısıtma sistemleri kullanılmaktadır (Markogiannakis, 2016).

En büyük Alman bölgesel sistemlerinden biri günümüzde Mannheim ve Heidelberg şehirlerinin büyük bölümüne hizmet vermektedir. Sistem, GrosskraftwerkMannheim'e Ünite 9'un eklenmesiyle daha da genişletilecektir.911 MW ve 500 MW aralığına kadar ısıtma gücü sağlayan Ünite 9'un sağladığı kapasite artışı ile Speyer şehri içinde bölgesel ısıtma hizmeti verilmektedir. Ünite 9'un yüksek verimliliği nedeni ile yılda 1 milyon ton CO₂ tasarrufu sağlaması öngörülmektedir (Engineering,2020).

Odense'de kullanılan bölgesel ısıtma sistemi, Danimarka'da ki en büyük üçüncü sistemdir. Fynsværket, bir kömür yakıtlı ünite, daha küçük biyokütle yakıtlı ünite ve üç adet belediye katı atık ünitesi ile %95 oranında 80.000 aboneye bölgesel ısıtma sağlamaktadır (EA E.Analyses, 2014).

Tablo 2.8. Bazı Ülkelerde Bölgesel Isıtma Sistemlerinin Durumu (TSAD, 2006)

Ülkeler	Konut Sayısı	Şebeke Uzunluğu (km)
Hırvatistan	140.000	458
Litvanya	660.000	2,507
Güney Kore	1.390.000	3,387
Hollanda	250.000	3,30
İzlanda	77.334	4,390
Finlandiya	1.200.000	10.000
Almanya	4.900.000	25.000
Danimarka	1.500.000	27.067

Bölgesel ısıtma,2050 yılına kadar Avrupa'nın kentsel alanlarındaki ısı talebinin %50'sini karşılayabileceği ve ısıtma-soğutma sektörünün karbon emisyonlarından azalmasına yardımcı olacağı öngörülmektedir. Almanya, Polonya ve İsveç, Avrupa'nın en büyük bölgesel ısıtma pazarlarıdır. Genel olarak, kuzey ve doğu Avrupa'da ki daha soğuk ülkeler merkezi ısıtmadan en iyi şekilde yararlanan Finlandiya, Danimarka ve İsveç'in tümü, İspanya veya İtalya'dan çok daha fazla

bölgesel ısıtma enerjisi sağlamaktadır. Bölgesel ısıtma, Avrupa’da ısıtma-soğutma alt yapısının karbon ayak izini azaltmak için önemli bir yol olma potansiyeline sahiptir (Calcea, 2022).



BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, termik santrallerden elde edilen atık ısının bölgesel ısıtma sisteminde evsel ısıtma için kullanılmasıyla atmosfere salınan karbon miktarında nasıl bir değişim oluşacağı temel alınmıştır. Termik santrallerin çalışma prensibi, termik santrallerde atık ısının hangi aşamada oluştuğu, atık ısı hakkında genel bilgiler ve geri kazanım yöntemleri, atık ısı ile bölgesel ısıtma sistemleri, bölgesel ısıtma sisteminin temel işleyişi incelenmiştir. Bu incelemelerde termik santrallerin atık ısı ile bölgesel ısıtmanın uygulanması sonucunda, bu uygulamanın enerji verimliliği, enerji tasarrufu, karbon emisyonları üzerine olumlu etkisi ve iklim değişikliği üzerinde olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bütün bu araştırmalar kapsamında Sakarya ilinde bulunan Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin atık ısısının, santralin bulunduğu bölgede ısıtma için kullanılması durumunda kaç konutun ısıtılabileceğini ve bunun karbon emisyonuna etkisi göz önüne alarak çalışmaya başlanmıştır. Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin atık ısı ile bölgesel ısıtma uygulanacağı temel alınarak, bölgesel ısıtma sisteminin karbon ayak izine etkisini belirlemek için iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Isıtılacak konutların tamamında doğalgaz kullanıldığı ve bölgesel ısıtma sistemi ile konutların doğalgaz kullanımının tamamen ortadan kalkacağı varsayılarak, bu durumun karbon ayak izine etkisini belirlemek için Senaryo 1 hazırlanmıştır. Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin bir kömürlü termik santral olduğu, konutların tamamının kömür ile ısındığı ve bölgesel ısıtma sistemi ile konutlarda kömür tüketiminin ortadan kalkacağı varsayılarak, bu durumun karbon ayak izine etkisini belirlemek için Senaryo 2 oluşturulmuştur. Ayrıca Senaryo 2’de Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin, kömürlü bir termik santral olması kabulünde santralin kömür tüketimine bağlı olarak oluşacak karbon ayak izi etkisi de incelenmiş ve sonuçlar hesaplanmıştır. Ülkemizde bulunan Soma B termik santralini atık ısı ile bölgesel ısıtma sistemi pilot uygulaması ile

Sakarya ili Enka Doğalgaz Santrali için kullanılması var sayılan atık ısı ile bölgesel ısıtma sisteminden elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca dünya üzerinde var olan atık ısı ile bölgesel ısıtma sistemleri ele alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Sakarya ilinde kullanılan kömür, doğalgaz abone sayısı, yıllık doğalgaz tüketimi, Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin kurulu gücü ve elektrik üretimi bilgileri gerekli kurumlardan alınmıştır. Doğal gaz kullanımı ve abone sayısına ilişkin veriler Adapazarı Gaz Dağıtım A.Ş. (AGDAŞ), kömür kullanım verileri Sakarya Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, Adapazarı İlçesinde Isınma Kaynaklı Emisyonların Analizi ve Envanterlenmesi çalışmasında elde edilen kömür ve doğal gaz verileri Sakarya Büyükşehir Belediye Başkanlığı – Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı ve santral bilgileri Enka İnşaat ve Sanayi A.Ş. aracılığı ile elde edilmiştir.

Sakarya ilindeki kömür ve doğal gaz kullanım bilgilerinin karbon emisyon miktarları, GHG emisyon faktörleri ile Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) Tier-1 metodu ile hesaplanmıştır.

3.1. Sakarya İlinde Atık Isı ile Bölgesel Isıtma Potansiyeli

Sakarya İlinde 2006 yılı toplam doğal gaz tüketimi 45.373.074 m³ olarak belirlenmiştir. Bu tüketimin 36.076.103 m³'ünü evsel aboneler ve 9.296.971 m³'ünü ticari ve sanayi kullanımı oluşturmaktadır. Evsel abone sayısı 25,015 ve ticari-sanayi abone sayısı 237 olarak belirlenmiştir. Adapazarı genelinde kömür tüketim ortalaması, 2 04, ± 0 ,041 ton/yıl olarak belirlenmiştir. Soba kullanan hane sayısı 38.355, sobada kullanılan kömür miktarı 78.244 ton / yıl, kalorifer kullanan hane sayısı 13.617, kaloriferde tüketilen kömür miktarı 27.778 ton / yıl olarak belirlenmiştir. Toplamda 106.023 ton /yıl kömür tüketimi gerçekleşmiştir. 2006 yılında Sakarya'da Ağdaş sorumluluğunda yalnızca Adapazarı, Erenler, Serdivan ve Arifiye ilçesinde doğal gaz kullanımı mevcuttu (S.B.Belediyesi, 2006). Nüfus ve kullanım miktarı hızla artmıştır.

3.2. Senaryo 1

Enka Adapazarı Doğalgaz Santralının atık ısısı ile bölgesel ısıtma uygulandığı taktirde ısıtılacak konutların doğalgaz kullanıldığı var sayılarak, bu kullanımın bölgesel ısıtma ile sıfırlanacağı kabul edilmiş ve karbon emisyonuna etkisi hesaplanmıştır. Dolayısıyla Senaryo 1’de Sakarya ilinde aktif olarak bulunan 256.725 abonenin bulunduğu konutların bölgesel ısıtma sistemi ile ısınması sonucunda konutlardaki doğalgaz kullanımının tamamen ortadan kalkacağı kabul edilmiştir. Senaryo 1’e ait verilerin bilgileri Tablo 3.1.’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Senaryo 1’de kullanılan veriler

Kaynaklar	Veriler	Birim
Konut Sayısı	256.725	-
Bir Konutun Ort. Doğalgaz Tüketimi (yıllık)	950	m ³
GHG Faktörü Doğalgaz	1,88496	Kg/m ³ CO ₂
	0,000168	Kg/m ³ CH ₄
	0,00000336	Kg/m ³ N ₂ O

3.3. Senaryo 2

Enka Adapazarı Doğalgaz Santralının üretim potansiyeline eş değer bir kömür yakan termik santral var olduğu kabul edilerek, santralin atık ısısı ile bölgesel ısıtma uygulandığı taktirde konutlarda ısınma için kullanılan kömürün ortadan kalkacağı, konutlarda kömür kullanımının karbon salınımına etkisi göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Dolayısıyla Senaryo 2’de Sakarya ilinde aktif olarak yıllık kullanılan 500.000 ton kömürün, konutların bölgesel ısıtma sistemi ile ısınması sonucunda tamamen ortadan kalkacağı kabul edilmiştir. Buna ek olarak kömürlütermik santralin çalışması ile atmosfere salınan su buharı da ortadan kalkmış olacaktır. Yıllık kullanılan 500.000 ton kömür, aktif olarak bulunan 256.725 abone ele alınarak konut başına ortalama kömür tüketimi belirlenmiştir. Senaryo 2’ye ait verilerin bilgileri Tablo 3.2.’de verilmektedir.

Tablo 3.2. Senaryo 2’de kullanılan veriler

Kaynaklar	Veriler	Birim
Konut Sayısı	256.725	Hane
Bir Konutun Ort. Kömür Tüketimi (yıllık)	2,56	ton
Santralin Yıllık Yakıt Miktarı (Linyit)	8.000.000	ton
GHG Faktörü Kömür	101000	kg/ TJ (CO ₂)
	10	kg / TJ (CH ₄)
	1,5	kg/TJ (N ₂ O)

3.4. Veriler

- Sakarya ilinde 2020 yılında doğal gaz tüketimi toplam 437.711,687 m³ olarak belirlenmiştir. Bu tüketimin 230.408,88 m³’ünü evsel aboneler ve 207.302,79 m³’ünü serbest aboneler oluşturmaktadır. İlde aktif olarak 256.725 abone bulunmaktadır. Bir abone yıllık 950 m³ doğalgaz tüketmektedir. Sakarya’da bulunan 16 ilçeden biri hariç tüm ilçelerde doğalgaz mevcuttur (Adapazarı Gaz Dağıtım A.Ş., 2021).
- Sakarya’da 2020 yılında 72 ton ithal kömür ve 3.250 ton yerli kömür kullanıldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, ikinci Senaryoda hane başına 2 ton kömür kullanıldığı verisi üzerinden ortalama yıllık 500.000 ton kömür kullanıldığı kabul edilmiştir (Sakarya Valiliği Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2018).
- Enka Adapazarı Doğalgaz Santrali, 818 MW kurulu güce sahiptir. Santralin, 1.360.016 kişinin günlük elektrik ihtiyacını karşıladığı tahmin edilmektedir. Sadece konutların elektrik ihtiyacını karşılayacağı varsayıldığında ise 1.653.692 konutun elektrik ihtiyacını karşılayacak kadar elektrik üretimi yaptığı belirlenmiştir (Enerji, 2021).

3.5. Bölgesel Isıtma Sistem Kurulumu

Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinde BIS sistemi için gerekli dönüşüm sürecinin en başından yapılması durumunda gereken adımlar aşağıda sıralanmaktadır.

1. Santralının bir ünitesinde Orta Basınç Türbini/Alçak Basınç Türbini (OBT/ABT) buhar geçiş hattından alınacak düşük basınçtaki (2,5 bar) buhar, bir ısı değiştiricisine gönderilerek BIS şebeke suyu ısıtılacaktır.
2. Zorunlu hallerde (ısı tedarik güvenliğini sağlama amaçlı) devreye girecek şekilde Yüksek Basınç Türbini (YBT) çıkış hatlarından beslenen bir paralel hattan alınacak buhar ile gerekli ısı enerjisi üretilecektir. Bu dönüşümle Enka Doğalgaz Çevrim Santrali, Adapazarı ilinde belirlenen sayıdaki konutun ısı talebini karşılayacak düzeyde ısı üretim kapasitesine sahip olacağı kabul edilmiştir.

Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin atık ısısı ile kurulacak olan BIS uygulaması mevcut durumda iletim hatlarının, santralde yapılacak olan dönüşümlerin santral inşa edilmeden önce yapılmış olduğu kabul edilerek bu maliyet ihmal edilmiş ve BIS uygulamasında ısının mevcut doğalgaz iletim hatları üzerinden binalara iletileceği kabul edilmiştir.

BÖLÜM 4. BULGULAR

4.1. Hesaplamalar

Çalışmada, hesaplamalar için GHG emisyon faktörleri ile Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) Tier-1 metodu kullanılmıştır. Kullanılan emisyon kaynakları ve faktörleri ile karbondioksit sera gazı emisyon kaynakları Tablo 4.1.'de ve Tablo 4.2.'de gösterilmektedir.

Tier 1 metodu formülü aşağıdaki şekildedir (IPCC, 2006):

- Emisyon SG, FUEL (kg SG) = Yakıt Tüketimi (TJ) x Emisyon Faktörü (Kg SG/TJ)
- Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı (tCO₂) = Yakıt Tüketimi (TJ, t ya da Nm³) x Emisyon Faktörü (tCO₂ /TJ, tCO₂ /t ya da tCO₂ /Nm³) x Dönüşüm Faktörü (-)

Çalışmada, Tier 1 metoduna uygun hazırlanan aşağıdaki (Denklem 4.1) kullanılmıştır.

$$\frac{\text{Yakıt Tüketimi} \times \text{Emisyon Faktörü}}{1000} \times \text{CO}_2 \text{ eşdeğeri kat sayısı (Küresel ısınma potansiyeli)} \quad (4.1)$$

Tablo 4.1. CO₂ eşdeğeri olarak küresel ısınma potansiyeli (IPCC, 2021)

Karbondioksit (CO ₂)	1
Metan (CH ₄)	29,8
Nitröz Oksit (N ₂ O)	273

Tablo 4.2. Kullanılan Emisyon Kaynakları ve Faktörleri (EPA, 2021)

GHG Emisyon Kaynakları	Emisyon Faktörleri	Birim
Doğalgaz	1,88496	Kg/m ³ CO ₂
Doğalgaz	0,000168	Kg/m ³ CH ₄
Doğalgaz	0,00000336	Kg/m ³ N ₂ O
Kömür	1,885	Kg/ ton CO ₂
Kömür	217	G / ton CH ₄
Kömür	32	G/ton N ₂ O
Linyit	1,389	Kg/ ton CO ₂
Linyit	156	G / ton CH ₄
Linyit	23	G/ton N ₂ O
Elektrik	0.856	Kg CO ₂ e/kWh

Sakarya'da Soma'daki projede yapıldığı gibi 15.000 konutun bölgesel ısıtma sistemi ile ısıtıldığını varsayarsak Denklem 4.1 ve emisyon faktörleri ile karbondioksit sera gazı emisyon kaynakları için Tablo 4.1.'de ve Tablo 4.2.'de gösterilen değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda, yıllık 26.945,1 tCO₂e konutlardan atmosfere salınmış olacaktır.

Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin elektrik üretimine bağlı olarak karbon emisyon miktarı hesapları aşağıda verilmiştir. Hesaplamalar yapılırken Tablo 4.2.'de verilen değerler kullanılmıştır.

Enka Adapazarı Doğalgaz Santrali, yıllık 4940 GWh elektrik üretmektedir (EnerjiAtlası, 2021). Bu değer CO₂ emisyon miktarı Tablo 4.2.'deki değerler kullanılarak hesaplanacak olursa;

Adapazarı Enka Doğalgaz Santrali elektrik üretiminde kullanılan doğalgaz miktarı ortalama 450.000.000 m³

Emisyon değerleri	828.232 ton/yıl CO ₂ e
	412.776 ton/yıl CO ₂ e
	2252,8 ton/yıl CO ₂ e
Toplam:	1.262.260,8 ton/yıl CO ₂ e

Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinde yıllık elektrik üretimine karşılık olarak 1.263.260,8 ton/yıl CO₂e atmosfere salınmaktadır (Tablo 4.3).

Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin 1.653.692 abonenin elektrik ihtiyacını karşılayacak kadar elektrik ürettiği bilinmektedir (EnerjiAtlası, 2021). Bu tüketime

bağlı olarak hanelerin elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyon miktarı kullanılarak hesaplanacak olursa;

$$1.653.692 \times 0,856 = 1.415.560,35 \text{ ton/yıl CO}_{2e}$$

Enka Adapazarı Doğalgaz Santralının 1.653.692 abonenin elektrik ihtiyacını karşıladığında bu elektrik tüketimine karşılık olarak 1.415.560,35 ton/yıl CO_{2e} atmosfere salmaktadır. Santralin elektrik üretimi sonucunda oluşan emisyon toplam miktarı Tablo 4.3.'de verilmektedir.

Tablo 4.3. Santralin Elektrik Üretimine Bağlı Emisyon Miktarı

Emisyon Kaynağı	Emisyon Miktarı	Birim
Doğalgaz	1.263.260	Ton /yıl CO _{2e}

Alt kritik seviyede kapalı devre bir 500 MW'lık bir kömürlü termik santralin yılda 10 Milyon m³ civarında su çektiği ve 8,4 milyon m³ su kullandığı bilinmektedir. (Greenpeace, 2016) Dolayısıyla Enka Adapazarı Doğalgaz Çevrim Santralının bir kömürlü termik santral olması durumunda yıllık ortalama kullanacağı su miktarı 8,4 milyon m³ olarak kabul edildiğinde, BIS uygulaması ile santralin su tüketimi ve buna bağlı atmosfere salınan su buharı engellenmiş olacaktır.

4.1.1. Senaryo 1'de hesaplanan CO₂ emisyon miktarı

Enka Adapazarı Doğalgaz Santrali, sahip olduğu 2310 MW kurulu güç ile Sakarya'da aktif olarak doğalgaz kullanan 256.725 abone sayısı olduğu göz önüne alındığında, santralin kurulu gücü atık ısı ile bölgesel ısıtma sistemi kapsamında abonelerin ısınma ihtiyacını karşılayacaktır. Bir abonenin yıllık doğalgaz tüketim miktarı 950 m³ olarak bilinmektedir. Emisyon değerleri Denklem 4.1 kullanılarak ve emisyon faktörleri ile karbondioksit sera gazı emisyon kaynakları için Tablo 4.1'de ve Tablo 4.2'de gösterilen değerler kullanılarak hesaplanmıştır.

Sakarya ilinde aktif olarak 256.725 abone bulunmaktadır. Bir konutun yıllık doğalgaz tüketimi ve bu kullanım sonucu ortaya çıkacak olan CO₂ emisyon miktarı detaylı olarak hesaplanmıştır.

$$256.725 \text{ abone sayısı} \times 950 \text{ m}^3 = 243.888.750 \text{ m}^3$$

CH₄, CO₂, N₂O emisyon eşdeğeri için;

$$\frac{\text{Yakıt Tüketimi} \times \text{Emisyon Faktörü}}{1000} \times \text{CO}_2 \text{ eşdeğeri olarak küresel ısınma potansiyeli}$$

$$\begin{aligned} & \text{- CO}_2 \text{ Emisyon Eşdeğeri için} \\ & \frac{243.888.750 \text{ m}^3 \times 1,88496 \text{ Kg/m}^3 (\text{CO}_2)}{1000} \times 1 = 459.720,5 \text{ ton/yıl CO}_{2e} \\ & \text{- N}_2\text{O Emisyon Eşdeğeri için} \\ & \frac{243.888.750 \text{ m}^3 \times 0,00000336 \text{ Kg/m}^3 (\text{N}_2\text{O})}{1000} \times 273 = 223,7 \text{ ton /yıl CO}_{2e} \\ & \text{- CH}_4 \text{ Emisyon Eşdeğeri için} \\ & \frac{243.888.750 \text{ m}^3 \times 0,000168 \text{ Kg/m}^3 (\text{CH}_4)}{1000} \times 29,8 = 1221 \text{ ton /yıl CO}_{2e} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Toplamda 461.161,2 ton/yıl CO_{2e} konutlardan doğalgaz tüketimine bağlı olarak atmosfere salınması engellenmiş olacaktır. Hesaplama sonuçları Tablo 4.4.'de verilmektedir.

Tablo 4.4. Senaryo 1 Emisyon Sonuçları

Emisyon Kaynağı	Emisyon Miktarı
Doğalgaz	CO ₂ Emisyon Eşdeğeri 459.720,5 ton/yıl CO _{2e}
	N ₂ O Emisyon Eşdeğeri 223,7 ton/yıl CO _{2e}
	CH ₄ Emisyon Eşdeğeri 1221 ton/yıl CO _{2e}
Toplam	461.161,2 ton/yıl CO _{2e}

4.1.2. Senaryo 2'de hesaplanan CO₂ emisyon miktarı

Sakarya'da hane başına ortalama 2 ton/yıl kömür kullanıldığı verisi üzerinden yıllık ortalama 500.000 ton kömür kullanıldığı kabul edilmiştir. Enka Adapazarı Doğalgaz Santrali'nin atık ısısı ile yapılacak olan bölgesel ısıtma sisteminde yıllık 100.000 ton olan kömür kullanımının sona ereceği ve 256.725 abonenin kömür kullandığı varsayılarak aşağıdaki eşitlik (Denklem 4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

500.000 ton kömür/256.725 hane $\cong$ 2 ton kömür/ hane

$$Emisyon Eşdeğeri = (Yakıt Tüketimi \times Emisyon Faktörü \times Değişim Faktörü)/1000 \times Küresel ısınma potansiyeli \quad (4,2)$$

Doğalgaz emisyon değeri hesaplanırken değişim faktörü 1 olarak alınmıştır. Bununla birlikte kömürün karbon emisyon değeri yüksek olduğu için IPCC'nin net kalorifik değeri kullanılarak yakıt tüketimi belirlenmiştir. Buna göre;

500.000 ton = 5.950.000 TJ

Emisyon Faktörleri:

CO₂ için 101.000 kg/TJ

CH₄ için 10 kg/TJ

N₂O için 1,5 kg/TJ

Bu formül ile hane başına 500.000 ton kömür kullanımına göre yapılan emisyon hesaplama sonuçları Tablo 4.5. ta gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Senaryo 2 Konut Kömür Kullanımı Emisyon Sonuçları

Emisyon Kaynağı	Emisyon Miktarı
Kömür	CO ₂ Emisyon Eşdeğeri 600.950 ton/yıl CO _{2e}
	N ₂ O Emisyon Eşdeğeri 2436,5 ton/yıl CO _{2e}
	CH ₄ Emisyon Eşdeğeri 1773,1 ton/yıl CO _{2e}
Toplam	605.159,6 ton/yıl CO _{2e}

Toplamda 605.159,6 ton/yıl CO_{2e} konutlardan kömür tüketimine bağlı olarak atmosfere salınması engellenmiş olacaktır.

Enka Adapazarı Doğalgaz Çevrim Santralinin kurulu gücü ve elektrik üretim kapasitesine sahip bir kömürlü termik santral ortalama 8.000.000 ton kömür yakmaktadır. Kömürlü termik santrallerde yakıt olarak ise çoğunlukla ısı değeri düşük olan linyit kullanılmaktadır. Bu veriler doğrultusunda hesaplamalar eşitlik (Denklem 4.2) kullanılarak santralin kömür yakımı sonucu ortaya çıkacak emisyon miktarları hesaplanarak sonuçlar Tablo 4.6 da gösterilmiştir.

Santral yakıt tüketimi 8.000.000 ton = 95.200.000 TJ

Emisyon Faktörleri:

CO₂ için 101.000 kg/TJ

CH₄ için 10 kg/TJ

N₂O için 1,5 kg/

Tablo 4.6. Senaryo 2 Santral Linyit Kullanımı Emisyon Sonuçları

Emisyon Kaynağı	Emisyon Miktarı
Linyit	CO ₂ Emisyon Eşdeğeri 9.615.220 ton/yıl CO ₂ e
	N ₂ O Emisyon Eşdeğeri 28.369,6 ton/yıl CO ₂ e
	CH ₄ Emisyon Eşdeğeri 38.984,4 ton/yıl CO ₂ e
Toplam	9.682.554 ton/yıl CO ₂ e

Santral, yıllık çalışması sonucunda yaktığı linyit ile toplamda 9.682.554 ton/yıl CO₂e atmosfere salınmaktadır.

4.2. Maliyet

Yapılacak olan BIS uygulaması kapsamında santral içinde yapılması gereken dönüşümler ve diğer dönüşümlerin sıfırdan yapılacağı zaman oluşacak girdiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Maliyet hesap tabloları oluşturulurken, BIS uygulaması için mevcut doğalgaz hattı kullanılacağı kabul edilerek Tablo 4.8. ve Tablo 4.9. hazırlanmıştır. Hesaplama sırasında kullanılan döviz kuru Tablo 4.7.'de verilmektedir.

- Santral dönüşüm projelendirilmesi
- Isı Üretimi için gerekli ısı değiştiricileri
- Buhar ve kondens hatları borulama işlemleri
- Buhar ve kondens boru tesisatının kontrolünü sağlayacak ekipmanlar
- Uygulanacak sistemin kontrolü ve adaptasyonu
- Sistemin kurulumu, işçilik vb.
- Buhar ve kondens hatlarının yalıtımı
- Isı Tedarik Güvenliğini Sağlamak için Yedek Sıcak Su Kazanı

- Sabit yatırım giderleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir. (Santralin yapacağı yatırımlar)
- BIS için santral içinde döşenecek boru tesisatı
- BIS için ısınının üretilmesi için kurulacak ısı değiştiriciler
- Boru tesisatı üzerinde kontrolü, izlemeyi ve emniyeti sağlayacak enstrümanlar (vanalar, transmitterler)
- Sistemin kontrolü ve adaptasyonu
- Diğer giderler (kurulum, işçilik, yalıtım vs.)
- Mekanik montaj
- İnşaat bedelleri
- BIS işletme giderleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.
- Isı üretme giderleri
- Santral içindeki BIS sisteminin işletme, bakım (O/M) giderleri

Tablo 4.7. Hesaplamalarda Kullanılan Döviz Kurları

Dolar	17
Euro	18

Tablo 4.8. Santral İşletme Gelir ve Gider Tablosu (TL)

Isı Üretim Maliyeti	29.075.666,67
Bakım ve Personel Maliyeti	986.000
Toplam İşletme Maliyeti	30.061.666,67

Tablo 4.9. BIS Kullanıcısına Ait Harcamalar

	Toplam TL
Radyatör Tesisatı	34.000
Bina Alt İstasyonu (Sayaç Dahil)	34.000
GENEL TOPLAM	68.000

Fiyat belirlemesi için Temmuz 2022 döviz kuru esas alınmıştır.

Enka Adapazarı Doğalgaz Çevrim Santralinin atık ısısı ile yapılacak olan BIS sisteminin, mevcut doğalgaz hattı kullanılarak konutlara iletildiği kabul edilerek

maliyet hesabı yapılmıştır. Tablo 4.8. ve Tablo 4.9.'da maliyet adımları gösterilmektedir. Hesaplamalar sonucunda BIS kurulum maliyeti, toplamda 30.129.666,67 TL olarak hesaplanmıştır. Son dönemlerde döviz kurlarındaki ani yükselişler ve ülkemizin ekonomik problemleri göz önüne alındığında ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir. BIS uygulaması sonucunda, konutların doğalgaz ve kömür tüketimi ortadan kalkacağı için doğalgaz fatura ücreti ile kömür tüketim maliyeti ortadan kalkmış olacaktır.

Örneğin; Türkiye’de mevcut olarak faaliyet gösteren Soma Termik Santralinin atık ısısının değerlendirilmesi için kullanılan BIS sistemi 2010 yılı döviz kuru ile tahmini 5.053.000 TL bir bütçe ile hazırlanmıştır (MalzemeEnstitüsü, 2007).

İki ayrı senaryoya göre BIS uygulaması ile yıllık olarak atmosfere salınması engellenecek olan CO_{2e} miktarının gönüllü karbon piyasasında değerlendirilerek kazanç sağlanması mümkündür. Şikago iklim borsasında değerlendirileceği varsayılmıştır. Şikago İklim Borsası, Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltımı (CER) ile gönüllülük esasına dayalı 2003 yılında kurulan ilk borsadır (CCX, 2011).

Şikago İklim Borsası ton başına = US 15 \$

Doğalgaz tüketildiğinde:

$$461.161,2 \text{ ton CO}_{2e} \times 15 \$ = 6.917.418 \$$$

Kömür Tüketildiğinde;

$$605.159,6 \text{ ton CO}_{2e} \times 15 \$ = 9.075.000 \$$$

Şikago iklim borsasında değerlendirilmesi ile iki farklı senaryoda farklı kazançlar kazanç elde edilebilecektir.

BIS uygulaması sonucunda, konutların kömür tüketimi ortadan kalkacağı için kömür ücreti ortadan kalkmış olacaktır. 2022 yılında 1 ton kömürün ortalama fiyatı 3024 TL olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2022). Bir konut için 2 ton/yıl kömür tüketildiğinde yapılacak olan yıllık harcama 6048 TL olacaktır. BIS uygulaması ile konut sahibinin

yapacağı bu harcama ortadan kalkacaktır. Ayrıca BIS uygulaması sonucunda, konutların doğalgaz tüketimi ortadan kalkacağı için doğalgaz fatura ücreti de ortadan kalkmış olacaktır. GAZBİR verilerine göre 2020 yılında Türkiye’deki hane doğalgaz faturası ortalama 1.990 lira olarak belirlenmiştir (GAZBİR, 2022). BIS uygulaması ile hane sahibinin yapacağı bu harcama ortadan kalkacaktır.



BÖLÜM 5. DEĞERLENDİRME

Bölgesel ısıtma sistemi ile ısıtılacak olan konutların mevcut durumda yıllık doğalgaz tüketiminden kaynaklanan 461.161,2 ton/yıl CO_{2e} atmosfere salınması engellenmiş olacaktır. Ayrıca, bu konutların kömür tüketimi sonucu ortaya çıkan 605.159,6 ton/yıl CO₂ atmosfere salınması da engellenmiş olacaktır.

Enka Adapazarı Doğalgaz Santralinin elektrik tüketimine bağlı olarak karbon emisyon miktarı olan 1.263.260 ton/yıl CO_{2e} atmosfere salınmış olacaktır.

BIS uygulaması sonucunda atmosfere salınması engellenen karbon emisyon miktarı, santralin elektrik üretimi için kullanılan doğalgaza bağlı olarak atmosfere salınan karbon emisyon miktarını düşürmektedir. Ayrıca, BIS uygulaması ile birlikte konutların doğalgaz fatura bedeli ve kömür almak için yaptıkları harcamalar ortadan kalkmış olacaktır.

Enka Adapazarı Doğalgaz Çevrim Santralinin kömürlü bir termik santral olması durumunda, yakıt olarak kullanacağı linyitin yanması ile atmosfere 9.682.554 ton/yıl CO_{2e} salınmış olacaktır.

Türkiye’de hali hazırda var olan termik santrallerin atık ısısı ile BIS uygulamaları göz önüne alındığında, pilot uygulama olarak başlayan ve halen devam eden Soma Termik Santrali ile BIS uygulaması dışında çalışmaya devam eden santral bulunmamaktadır. Enka Adapazarı doğalgaz Santralinin atık ısısı ile yapılacak olan BIS uygulaması

sonucunda sadece konutların doğalgaz ve kömür tüketiminin sona ermesi ile atmosfere salınması engellenecek olan karbon emisyonu miktarı ile Soma'da ki BIS uygulaması engellenen karbon emisyon miktarı karşılaştırıldığında Enka Adapazarı Doğalgaz Çevrim Santralinde uygulanacak BIS sistemi ile daha yüksek miktarda karbon emisyonunun atmosfere salınması engelleneceği görülmektedir.

Ülkemizde kamuya ait termik santrallardaki atık ısı potansiyelini belirlemek ve bu potansiyeli faydaya dönüştürebilmek amacıyla TÜBİTAK MAM ve YTÜ iş birliği ile kısa adı TSAD olan “Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral AtıkIsılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması” mevcut 14 santralde halen devam ediyor olsaydı 2006 yılında yapılan hesaplamalar sonucunda yıllık 1.529.118 ton/yıl CO₂ emisyonunda azalma sağlanmış olacaktı (Malzeme Enstitüsü, 2007).

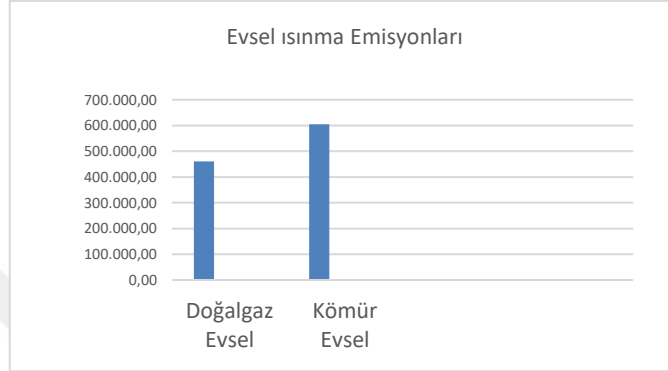
5.1. Senaryo 1 ve Senaryo 2'nin Karşılaştırılması

Senaryo 1'de doğalgaz tüketimine bağlı olarak 461.161,2 ton/yıl CO_{2e}, Senaryo 2'de kömür tüketimine bağlı olarak 605.159,6 ton/yıl CO_{2e} ortaya çıkmıştır. Senaryo 1 de doğalgaz yakan santralin emisyon değeri 1.263.260,8ton/yıl CO_{2e}, senaryo 2'de ki kömürlü termik santralin yıllık emisyon değeri 9.682.554 ton/yıl CO_{2e} olacaktır. Senaryo 1 ve Senaryo 2 karşılaştırmalı emisyon değerleri Tablo 5.1.'de gösterilmektedir.

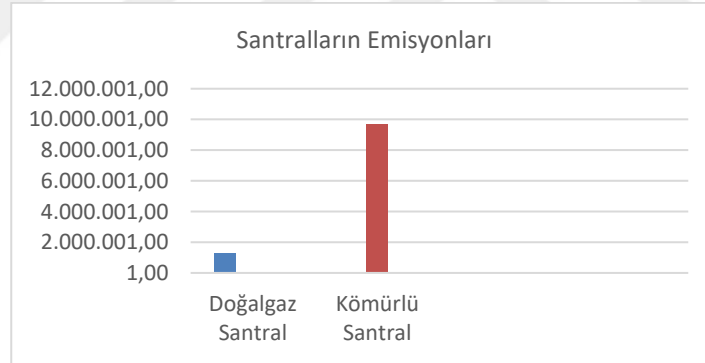
Tablo 5.1. İki Senaryoya Göre Emisyon Değerleri

Senaryo 1			Senaryo 2	
Emisyon Kaynağı	Doğalgaz Eysel	Doğalgaz Santral	Kömür Eysel	Linyit Santral
Kaynak Miktarı	243.888.750m ³ /yıl	464.772.483,5m ³ /yıl	500.000 ton /yıl (5.950.000 TJ)	8.000.000 ton/yıl (95.200.000 TJ)
Emisyon Miktarı	461.161,2ton/yıl CO _{2e}	1.263.260,8ton/yıl CO _{2e}	605.159,6 ton/yıl CO _{2e}	9.682.554 ton/yıl CO _{2e}

Sakarya’da konutlarda ısıtma için kullanılan kömür ve doğalgaz tüketiminden kaynaklanan emisyonların farkı Şekil 5.1.’de gösterilmektedir. Konutlarda kömür tüketimine bağlı olarak oluşan karbon emisyon miktarı doğalgaz yanması ile ortaya çıkan miktardan fazla olduğu görülmektedir. Bölgesel ısıtma sistemi bu emisyonları minimuma indirecektir.



Şekil 5.1. Senaryo 1 ve Senaryo 2 de Evsel Isınmada Yıllık Emisyon Farkı



Şekil 5.2. Senaryo 1 ve Senaryo 2 için Santrallerin Yıllık Emisyon Değerleri

Şekil 5.2.’de görüldüğü gibi Senaryo 2’ye ait olan emisyon miktarları, Senaryo1’de ortaya çıkan emisyonlardan daha fazladır. Senaryo 2’de ortaya çıkan emisyon miktarındaki yükseklikte özellikle, santralde yakıt olarak kullanılacak olan linyitin yanması ile ortaya çıkan emisyon miktarı oluşturmaktadır. Senaryo 2’nin Senaryo 1 ile arasında büyük fark olmasını sağlayan etken linyittir.

Senaryo 1’de bulunan konutlarda ısınma için kullanılan doğalgaz tüketimine bağlı emisyon salınımı ve Senaryo 2’de bulunan konutlarda ısınma için kullanılan kömür tüketimine bağlı emisyonlar, Enka Doğalgaz Çevrim Santralinin atık ısısı kullanılarak kurulacak olan BIS sistemi ile atmosfere salınması engellenmiş olacaktır.



BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Termik santrallerin atık ısıları ile kurulan bir bölge ısıtma sisteminin kullanılması ile birlikte, BIS kullanılan konutlarda kullanılan yakıtların yakılması ile bu alanlarda ısınmadan kaynaklanan sera gazı salınım miktarında önemli oranda azaltım sağlanmaktadır.

Bölgesel ısıtma sistemi ile santrallerde oluşacak olan su buharının atmosfere salınması engellenerek, kentsel ısı adası oluşumu azaltılmış olacaktır. Dolayısıyla, ülkemizde bulunan termik santrallerin hali hazırda var olan çevresel etkileri göz önüne alındığında, mevcut olan termik santrallerin atık ısılarının bölgesel ısıtma sistemleri ile değerlendirilmesi sera gazı emisyonlarını önemli miktarda kapsayan karbon emisyonunun azaltımı için önemli bir adım olacaktır.

Doğalgaz ile sağlanan ısınmadaki sıcak kullanım suyu ve ısıtma imkânı, bölgesel ısıtma sistemlerinde de kullanılmaktadır. Her tüketicinin ısı tüketimi ölçülerek sadece tüketilen ısı bedelinin ödenmesi sağlanmaktadır. Bölgesel ısıtma sistemleri doğalgazlı sistemlere göre düşük maliyetli olduğu için daha ekonomik bir çözüm olacaktır. Doğalgazlı sistemlere kıyasla bölgesel ısıtma sisteminde borulardan sadece su taşındığı için doğalgaz kaçaklarına bağlı ortaya çıkacak tehlikeler ortadan kalkmış olacaktır. Bölgesel ısıtma sistemlerinin en önemli faydalarından biri ise kış aylarında artan hava kirliliği probleminin önemli ölçüde önüne geçilmiş olacaktır.

Sobalı sistemlerde ise, konutlarda soba kullanılan bölgenin ısınması yerine bölgesel ısıtma kullanıldığı zaman konutun her yerinde ısınma sağlanmaktadır. Soba kullanımı ile ortaya çıkan kül atımı, bacanın temizlenmesi ve zehirlenme gibi sorunlar ortadan kalkacaktır. Ayrıca sıcak su kullanımı kesintisiz olarak sunulacaktır. Kömürün yakılması ile ortaya çıkan CO₂ ve SO₂ gibi zararlı gazların atmosfere salınması

bölgesel ısıtma sistemi ile engellenmiş olacaktır. Hava kalitesinin iyileşmesi ile toprakta meydana gelecek olan kirlenme azalmış olacak ve yetişen ürünlerin kalitesi artmış olacaktır. Tüm bunların yanı sıra insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen emisyon kaynaklı hastalıklar ve ölümler azalacaktır. Bu risklerin ortadan kalkması iş gücü kayıplarını da azaltacaktır.

Enka Adapazarı Doğalgaz Çevrim Santralinde uygulanacak BIS sisteminin mümkün ve verimli olacağı hesaplamalar sonucunda ön görülmektedir. İlk kurulum maliyetinin yüksek olması nedeniyle termik santrallerin atık ısısı ile kurulacak olan BIS sistemlerinin tercih edilmemesi büyük bir engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat ülkemizde mevcut olan ve yeni kurulacak termik santrallerde atık ısı ile BIS sistemlerinin, minimum düzeyde yapılacak dönüşümlerle oluşacak maliyetlerin göze alınarak kurulması en azından mevcut santrallerin karbon salınımını miktarını önemli miktarda azaltacaktır. Ülkemizde, yeni termik santrallerin kurulması ve termik santrallerden vazgeçilmesi mümkün görülmediği için mevcut olan ve yeni kurulacak termik santrallerin atık ısısı ile uygulanacak olan BIS sistemlerinin karbon salınımına etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanı sıra, Türkiye’de ki kömür yakan termik santrallerin sayısı ele alındığında, mevcut santrallerin atık ısısı ile BIS uygulamasının yaygınlaşması kömürden çıkış politikası için de çok büyük bir adım olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abas, N., Kalair, A. ve Khan, N. (2015). Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures*. doi:10.1016/j.futures.2015.03.003
- Adapazarı Gaz Dağıtım A.Ş. (2021). Adapazarı Gaz Dağıtım A.Ş. <https://www.agdas.com.tr/> adresinden erişildi.
- Aplus Enerji. (2021). *Kömürden Çıkış 2030*.
- Avcı, S. (2012). TÜRKİYE’de Termik Santraller Ve Çevre Etkileri. *Coğrafya Dergisi / Journal of Geography*, (13). <http://dergipark.gov.tr/iucografya/issue/25062/264580> adresinden erişildi.
- Bazan, G. (1997). Our Ecological Footprint: reducing human impact on the earth. *Electronic Green Journal*, 1(7). doi:10.5070/g31710273
- Belediyesi, A. B. (2006). *Adapazarı İlçesinde Isınma Kaynaklı Emisyonların Analizi Ve Envanterlenmesi*.
- Belediyesi, S. B. (2021). Sakarya Büyükşehir Belediyesi. 11 Ocak 2022 tarihinde <https://www.sakarya.bel.tr/> adresinden erişildi.
- Breeze, P. (2019). Natural Gas-Fired Gas Turbine and Combined Cycle Power Plants. *Power Generation Technologies* içinde (ss. 71–97). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-08-102631-1.00004-3
- Brifing, K. (2021). T.c. sakarya valiliği.
- Brown, M. A., Southworth, F. ve Sarzynski BROOKINGS, A. (2008). Shrinking the Carbon Footprint of Metropolitan America America’s Challenge Limitations of Existing Federal Policy, (May).
- Brückner, S., Liu, S., Miró, L., Radspieler, M., Cabeza, L. F. ve Lävemann, E. (2015). Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies. *Applied Energy*, 151, 157–167. doi:10.1016/J.APENERGY.2015.01.147
- Calcea, N. (2022). Europe makes progress integrating renewables in district heating. <https://www.energymonitor.ai/sectors/heating-cooling/europe-makes-progress-integrating-renewables-in-district-heating#:~:text=District heating could supply 50,the heating and cooling sector.&text=Nearly half of energy used,relies heavily on fossil fuels.> adresinden erişildi.

- Can, F. (2018). Türkiye’de Uygulanan ve Gönüllü Karbon Piyasalarında Faaliyette Bulunan Projelerin Paydaş Katılımı Açısından Değerlendirilmesi. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 1–17. doi:10.30784/epfad.408988
- Carbon Brief. (2022). Carbon Brief,Power Plants. 5 Ocak 2022 tarihinde <https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-coal-power-plants> adresinden erişildi.
- Carbon Offset Guide. (2022). Carbon Offset Guide. <https://www.offsetguide.org/understanding-carbon-offsets/carbon-offset-programs/mandatory-voluntary-offset-markets/> adresinden erişildi.
- CCX. (2011). Chicago Climate Exchange. <http://www.chicagoclimatex.com/> adresinden erişildi.
- District Energy Award. (2011). Helsingin Energia’s smart CHP/DH system – the most energy-efficient solution for heating Finland’s capital. <https://www.districtenergyaward.org/> adresinden erişildi.
- Dordi, T., Gehricke, S. A., Naef, A. ve Weber, O. (2022). Ten financial actors can accelerate a transition away from fossil fuels. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 44, 60–78. doi:10.1016/j.eist.2022.05.006
- Dr. Uzma Nadeem. (2019). CARBON FOOTPRINT.
- Dulkadiroğlu, H. (2018). TÜRKİYE’DeElektirÜretiminin Sera GazıEmisyonlari Açısından İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67–74. doi:10.28948/ngumuh.369948
- EA E.Analyses. (2014). DISTRICT HEATING IN ODENSE. <https://www.ea-energianalyse.dk/en/cases/1450-district-heating-in-odense/> adresinden erişildi.
- Ejaz Memon. (2021). Environmental effects of thermal power plant emissions : a case study. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2013–2015. <http://research.library.mun.ca/id/eprint/1308> adresinden erişildi.
- El Hage, H., Ramadan, M., Jaber, H., Khaled, M. ve Olabi, A. G. (2020). A short review on the techniques of waste heat recovery from domestic applications. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 42(24), 3019–3034. doi:10.1080/15567036.2019.1623940
- Elektrik Üretim A.Ş. (2022). No Title. 28 Şubat 2022 tarihinde <https://www.euas.gov.tr/santraller/esenyurt-dogalgaz-kombine-cevrimsantrali> adresinden erişildi.
- Enerji, E. (2021). Enka Enerji.
- EnerjiAtlası. (2021). Enerji Atlası. 15 Kasım 2022 tarihinde <https://www.enerjiatlasi.com/> adresinden erişildi.
- Engineering, P. I. (2020). Mannheim 9: Modernizing Europe’s power plants. <https://www.powerengineeringint.com/world-regions/asia/mannheim-9-modernizing-europes-power-plants-to-meet-the-20-20-20-target/> adresinden erişildi.

- Epa. (2003). *A Guide to Designing and Operating a Cap and Trade Program for Pollution Control*.
- EPA. (2021). Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories. <https://www.epa.gov/climateleadership/ghg-emission-factors-hub> adresinden erişildi.
- EPA. (2022). No Title.
- Forman, C., Muritala, I. K., Pardemann, R. ve Meyer, B. (2016). Estimating the global waste heat potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1568–1579. doi:10.1016/j.rser.2015.12.192
- Gadhi, T. A., Ali, I., Mahar, R. B., Maitlo, H. A. ve Channa, N. (2021). Waste Heat and Wastewater Recovery in Textile Processing Industry: A Case Study of Adopted Practices. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 40(3), 606–616. doi:10.22581/muet1982.2103.14
- GAZBİR. (2022). No Title. <https://www.gazbir.org.tr/> adresinden erişildi.
- Global Power Plant Database. (2022). Global Power Plant Database. <https://resourcewatch.org/data/explore/Powerwatch?section=Discover&selectedCollection=&zoom=3.0000000000000004&lat=13.203533167570825&lng=-1.5027833336658545&pitch=0&bearing=0&basemap=dark&labels=light&layers=%255B%257B%2522dataset%2522%253A%2522a86d906d-> adresinden erişildi.
- Greenpeace. (2016). *Büyük Su Gaspı İçindekiler*.
- Hafner, M. ve Luciani, G. (2022). *The Palgrave Handbook of International Energy Economics*. (M. Hafner ve G. Luciani, Ed.). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-86884-0
- Hariram, M., Sahu, R., Kumar, A. ve Elumalai, S. P. (2022). Impact of emissions from coal-based thermal power plants on surrounding vegetation and air quality over Bokaro Thermal Power Plant. *Asian Atmospheric Pollution*, 255–274. doi:10.1016/B978-0-12-816693-2.00007-X
- IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> adresinden erişildi.
- Işık E., İ. M. (2005). Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler.
- ISO 14064-1. (2006). Greenhouse gases. 9 Kasım 2022 tarihinde <https://www.iso.org/standard/38381.html> adresinden erişildi.
- ISO 14064-2. (2016). Greenhouse gases. 9 Kasım 2022 tarihinde <https://www.iso.org/standard/38382.html> adresinden erişildi.
- Jouhara, H., Khordehghah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A. ve Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6(January), 268–289. doi:10.1016/j.tsep.2018.04.017
- Jouhara, H. ve Olabi, A. G. (2018). Editorial: Industrial waste heat recovery. *Energy*. doi:10.1016/j.energy.2018.07.013

- Kahraman, M. (2006). Termik Santrallerdeki Atık Isı.
- Kalair, A., Abas, N., Saleem, M. S., Kalair, A. R. ve Khan, N. (2021). Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables. *Energy Storage*, 3(1). doi:10.1002/est2.135
- Kaushik, S. C., Reddy, V. S. ve Tyagi, S. K. (2011). Energy and exergy analyses of thermal power plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1857–1872. doi:10.1016/J.RSER.2010.12.007
- Kongboon, R., Gheewala, S. H. ve Sampattagul, S. (2022). Greenhouse gas emissions inventory data acquisition and analytics for low carbon cities. *Journal of Cleaner Production*, 343. doi:10.1016/j.jclepro.2022.130711
- Kühne, K., Bartsch, N., Tate, R. D., Higson, J. ve Habet, A. (2022). “Carbon Bombs” - Mapping key fossil fuel projects. *Energy Policy*. doi:10.1016/j.enpol.2022.112950
- Kumari, S. ve Bera, S. (2022). A decision analysis model for reducing carbon emission from coal-fired power plants and its compensatory units. *Journal of Environmental Management*, 301, 113829. doi:10.1016/J.JENVMAN.2021.113829
- MalzemeEnstitüsü. (2007). R 2-1 Türkiye Atık Isı ve Bölge Isıtma Potansiyeli Raporu.
- Markogiannakis, G. (2016). *ALTERNATIVES TO THE DISTRICT HEATING SYSTEMS OF W. MACEDONIA*. <https://www.wwf.gr> adresinden erişildi.
- MMO. (2021). Meteoroloji Mühendisleri Odası. <https://www.meteoroloji.org.tr/> adresinden erişildi.
- Ohyama, H., Shiomi, K., Kikuchi, N., Morino, I. ve Matsunaga, T. (2021). Quantifying CO₂ emissions from a thermal power plant based on CO₂ column measurements by portable Fourier transform spectrometers. *Remote Sensing of Environment*, 267, 112714. doi:10.1016/j.rse.2021.112714
- Özsoy, C. E. (2015). Düşük KarboEkonomisi VeTürkiyeNin Karbon Ayağı. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 4(9), 198–215. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/hakisderg/issue/7583/99549> adresinden erişildi.
- Pandey, D., Agrawal, M., Jai, ., Pandey, S., Pandey, D., Agrawal, . M ve Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environ Monit Assess*, 178, 135–160. doi:10.1007/s10661-010-1678-y
- Paris Agreement. (2015). *PARIS AGREEMENT*. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf adresinden erişildi.
- Rao, A. D. (2010). Gas-fired combined-cycle power plant design and technology. *Advanced Power Plant Materials, Design and Technology* içinde (ss. 32–53). Elsevier. doi:10.1533/9781845699468.1.32
- Rasul, M. (2013). *THERMAL POWER PLANTS Edited by Mohammad Rasul*. www.intechopen.com adresinden erişildi.

- Rende, K. (2013). *Türkiye çimento sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları*. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=OdTq3d3vs0VJV7XwmbtqtQ&no=UjcbCUqXeMqDCBvKqNvHkg> adresinden erişildi.
- Report, E. S. T. E. F. (2007). Turkey's Ecological Footprint Report.
- Sakarya Valiliği Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. (2018). No Title. <https://sakarya.csb.gov.tr/> adresinden erişildi.
- Sarkar, D. K. (2015). chapter 1 Steam Power Plant Cycles. *Thermal Power Plant* içinde (ss. 1–37). doi:10.1016/b978-0-12-801575-9.00001-9
- Sarkar, D. K. (2017). General Description of Thermal Power Plants. *Thermal Power Plant*, 1–31. doi:10.1016/B978-0-08-101112-6.00001-0
- Say, N. P. (2006). Lignite-fired thermal power plants and SO₂ pollution in Turkey. *Energy Policy*, 34(17), 2690–2701. doi:10.1016/j.enpol.2005.03.006
- Schmitz, S. (2004). WBCSD/WRI, 2004. Greenhouse Gas Protocol: a Corporate Accounting and Reporting Standard, (January). doi:10.13140/RG.2.2.34895.33443
- Sözen, A., Alp, I. ve Özdemir, A. (2010). Assessment of operational and environmental performance of the thermal power plants in Turkey by using data envelopment analysis. *Energy Policy*, 38(10), 6194–6203. doi:10.1016/j.enpol.2010.06.005
- Specification, P. A. (2008). PAS 2050 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
- Sterkhov, K. V., Khokhlov, D. A., Zaichenko, M. N. ve Pleshanov, K. A. (2021). A zero carbon emission CCGT power plant and an existing steam power station modernization scheme. *Energy*, 237, 121570. doi:10.1016/J.ENERGY.2021.121570
- Şube, M. Z. ve Raporu, E. K. (2009). *zonguldak ş ubesi ÇATES ATIK ISISI İLE BÖLGESEL ISITMA İMKANLARI RAPORU*.
- Tan, J., Wu, Q. ve Zhang, M. (2022). Strategic investment for district heating systems participating in energy and reserve markets using heat flexibility. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 137, 107819. doi:10.1016/j.ijepes.2021.107819
- Tan, Z. (2014). *Air Pollution and Greenhouse Gases. Understanding Urban Ecology: An Interdisciplinary ...*, Green Energy and Technology. Singapore: Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-287-212-8
- Tiwari, M. K., Bajpai, S. ve Dewangan, U. K. (2019). Environmental Issues in Thermal Power Plants – Review in Chhattisgarh Context. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 10(11), 1123–1134.
- TKİ. (2022). Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu. <https://www.tki.gov.tr> adresinden erişildi.
- Topal, H. İ. (2013). *Çatalağzı Termik Santrali ara buharı ile bölgesel ısıtmanın incelenmesi*. Bülent Ecevit Üniversitesi.

- TÜİK. (2022). No Title. <https://www.tuik.gov.tr/> adresinden erişildi.
- UNFCCC. (2021). No Title. <https://unfccc.int/news/end-of-coal-in-sight-at-cop26> adresinden erişildi.
- UNFCCC. (2019). IPCC Tier - definition What is the UNFCCC? <http://www.lowcarbonturkey.org> adresinden erişildi.
- Wang, X., Hu, H.-B., Zheng, X., Deng, W.-B., Chen, J.-Y., Zhang, S. ve Cheng, C. (2022). Will climate warming of terrestrial ecosystem contribute to increase soil greenhouse gas fluxes in plot experiment? A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 827, 154114. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154114
- Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. *Energy*, 137, 617–631. doi:10.1016/j.energy.2017.04.045
- World Population Review. (2020). World Population Review. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/carbon-footprint-by-country> adresinden erişildi.
- WWF International. (2012). *Biodiversity, biocapacity and better choices*. www.livingplanetindex.org adresinden erişildi.
- Yang, X., Wang, X. C. ve Zhou, Z. Y. (2018). Development path of Chinese low-carbon cities based on index evaluation. *Advances in Climate Change Research*, 9(2), 144–153. doi:10.1016/j.accre.2018.05.004
- Yetik, Ö., Köse, R., Özgür, M. A. ve Arslan, O. (2011). TÜRKİYE ‘DEKİ TERMİK SANTRALLERİN ETKİNLİK ANALİZİ: PARAMETRİK VE PARAMETRİK OLMAYAN YAKLAŞIMLAR THE EFFICIENCY ANALYSIS OF THERMAL POWER PLANTS IN TURKEY: PARAMETRIC AND NON-PARAMETRIC APPROACHES, 71–82.
- Zhang, T. (2020). Methods of Improving the Efficiency of Thermal Power Plants.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve ŞENEREN

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği	2019-2022
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği	2015- 2019
Lise	Gölbaşı Kız Meslek Lisesi	2005- 2009

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

- Şeneren M., Gümrükçüoğlu Yiğit, M., “Küresel Isınmaya Karşı Karbon Ayak İzi Azaltılmış Yeşil Bina”, ISHAD 2018 3rd International Symposium On Natural Hazards And Disaster Management, Sakarya üniversitesi, Sakarya