



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TERMİK SANTRALLERDE OLUŞAN UÇUCU KÜL VE
ATIKSULARIN YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ash ÖZSOY

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Gamze SÖNMEZ

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212301418 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Aslı ÖZSOY tarafından hazırlanan “**TERMİK SANTRALLERDE OLUŞAN UÇUCU KÜL VE ATIKSULARIN YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gamze SÖNMEZ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Özlem GÜLLÜ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi İlker BALCILAR

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 26/06/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Aslı ÖZSOY

TEŞEKKÜR

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalına yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın oluşturulmasının her aşamasında ve laboratuvar çalışmalarında her türlü bilgi, tecrübe, destek ve sabrını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gamze SÖNMEZ'e ve termik santrallerdeki deneyim ve tecrübeleri ile ışık tutan Sayın Çevre Yüksek Mühendisi Sonay ALEMDAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca desteğini benden esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme ve yanımda olamasa da kalbimde olan Canım Babam'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aslı ÖZSOY
AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1 Enerji İhtiyacı ve Önemi.....	5
2.2 Enerjinin Sınıflandırılması.....	6
2.3 Termik Santrallerin Kuruluşu ve Gelişimi.....	8
2.4 Termik Santrallerde Enerji Üretim Aşamaları	9
2.4.1 Türbinler ve kazanlar.....	10
2.4.2 Kondenserler	12
2.5 Kömür Yakıtlı Termik Santraller	13
2.5.1 Kömürün kullanımının önemi.....	13
2.5.2 Kömür özellikleri ve türleri	17
2.6 Dünyada Termik Santrallerin Yeri	18
2.7 Türkiye’de Termik Santrallerin Yeri	19
2.8 Termik Santrallerin Karbon Salınımına Etkisi.....	22
2.9 Termik Santral Faaliyetlerinin Sosyal ve Çevresel Etkileri.....	23
2.9.1 Fiziksel çevre üzerine etkiler	24
2.9.2 Biyolojik çevre üzerine etkiler.....	25
2.9.3 Sosyal yaşama etkiler	26
2.9.4 Ekonomik etkiler	27
2.10 Termik Santral Etkilerinin Araştırılmasında Daha Önce Yapılan Çalışmalar	27
2.11 Termik Santrallerin Ulusal Çevre Mevzuatı Açısından Değerlendirilmesi ...	29
2.12 Termik Santral Faaliyetleri Sonucu Oluşan Atıklar	30
2.12.1 Kömürün yanması sonucu oluşan uçucu kül	30
2.12.2 Uçucu külün depolanması esnasında oluşan atıksu.....	31
2.13 Termik Santrallerde Bulunan Düzenli Depolama Sahaları.....	32
2.14 Uçucu Kül Düzenli Depolama Sahalarının Kullanım Ömrü	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1 Analizlerde Kullanılan Metotlar ve Araç-Gereçler	35
3.2 Analiz Sonuçlarının Mevzuat ile Karşılaştırılması.....	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	39
4.1 Analizlerde Kullanılan Atık Suyun Karakteristik Özellikleri ve Ulusal Mevzuat ile Karşılaştırılması	39
4.2 Atıksuyun Yeniden Kullanımı ve Bertarafına İlişkin Değerlendirme	41
4.3 Termik Santrallerdeki Uçucu Külün Özellikleri	42
4.4 Uçucu Külün Yeniden Kullanımı ve Bertarafına İlişkin Değerlendirme	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ	51

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TERMİK SANTRALLERDE OLUŞAN UÇUCU KÜL VE ATIKSULARIN YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aslı ÖZSOY

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gamze SÖNMEZ

ÖZET

Ülkelerin en büyük çabalarından birisi enerji üretmek ve sürekliliğini sağlamaktır. Günümüzde bunun yenilenebilir kaynaklar ile yapılması amaçlansa da kömür yakıtlı termik santraller başta ülkemiz olmak üzere gelişmekte olan birçok ülkenin ana enerji üretim kaynaklarından biridir. Tüm bu termik santral faaliyetlerinin gerçekleşmesi esnasında, elektrik üretimi için ana hammadde olan kömürün yakılması sonucu oluşan atık uçucu kül ilave olarak, soğutma sisteminde buhar elde etmek ve külün depolanması esnasında kullanılan su nedeniyle yüksek tonajlarda atıksu oluşmaktadır. Bu atıkların ve atıksuların doğru yönetilmediği takdirde çevre kirliliği başta olmak üzere sosyo-ekonomik yapı ve canlı hayatında zarara yol açması kaçınılmazdır. Dev yapılar olarak inşa edilen termik santrallerde yakılan kömür miktarı düşünüldüğünde buna karşılık oluşan kül miktarı da oldukça fazla olmaktadır. 2053 net sıfır karbon hedefine ulaşılması için yapılacak çalışmaların en başında daha fazla kömürlü termik santral tesis edilmesi ve işletilmesinin önüne geçilmesi gerekmektedir. Ancak, yeni kömürlü termik santrallerin yapılmaması tek başına yeterli olmayacağı için mevcutta işletilmekte olan kömürlü termik santrallerin de Ulusal ve Uluslararası Mevzuatlar çerçevesinde kontrol altında tutulması, teknolojik olarak iyileştirmesi ve oluşan atıkların yeniden kullanılabilirliği başta olmak üzere tekrar değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında, termik santral faaliyetleri ile elektrik üretimi ve buna bağlı olarak kömür yakma sonucu oluşan uçucu külün yeniden kullanılabilirliği, alternatif hammadde olarak kullanılması için gereken Ulusal ve karakteristik gereklilikleri araştırılmıştır. Ayrıca, halihazırda faaliyetini sürdürmekte olan bir termik santralde bulunan düzenli depolama tesisinde oluşan uçucu kül ile bu uçucu külün depolanması esnasında kullanılan suyun karakteristik özelliklerin belirlenmesi ve söz konusu atıksuyun yeniden kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Sızıntı suyu numunesinden alınan analiz sonuçlarının SKKY'nin Ek listesinde Tablo-2'de ve Tablo-9.3'te yer alan deşarj sınır değerleri ile karşılaştırılmasına bakıldığında, yalnızca pH değerinin deşarj standardını sağlamadığı görülmüştür. Buna ilave olarak; pH dışındaki diğer parametre değerlerinin ise Yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin oldukça altında kaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, Enerji, Kül, Termik santral.

Haziran, 2024; 51 sayfa

M.Sc. THESIS

EVALUATION OF THE REUSABILITY OF FLY ASH AND WASTEWATER FROM THERMAL POWER PLANTS

Aşlı ÖZSOY

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Gamze SÖNMEZ

ABSTRACT

One of the foremost efforts of countries is to produce energy and ensure its continuity. While today there is a goal to achieve this with renewable sources, coal-fired thermal power plants are still a primary source of energy production for many developing countries, including our own. During the operation of all these thermal power plants, in addition to the waste fly ash resulting from the combustion of coal, there is also a significant amount of wastewater generated due to the use of water in the cooling system and for the storage of ash. If these wastes and wastewaters are not managed properly, it is inevitable that they will cause environmental pollution, as well as socio-economic damage and harm to living organisms. Considering the amount of coal burned in these massive structures of thermal power plants, the amount of ash generated in return is also substantial. To achieve the goal of net zero carbon by 2053, the foremost task is to prevent the construction and operation of more coal-fired thermal power plants. However, it is not sufficient to simply refrain from building new coal-fired thermal power plants. It is crucial to also keep the existing ones under control in accordance with National and International Legislation, to improve them technologically, and to reevaluate the management of generated wastes, especially focusing on their reusability. This thesis investigates the reusability of fly ash generated as a result of coal combustion in thermal power plant operations, and the National and characteristic requirements for its use as an alternative raw material. Additionally, the characteristics of the fly ash generated in the landfill facility of a thermal power plant and the water used during the storage of this fly ash were determined and the reusability of the wastewater in question was evaluated. When the analysis results obtained from the leachate sample are compared with the discharge limit values in Table-2 and Table-9.3 in the Annex list of SKKY, it is seen that only the pH value does not meet the discharge standard. In addition to this; other parameter values other than pH were found to be well below the limit values specified in the Regulation.

Keywords: Wastewater, Energy, Ash, Thermal power plant.

June, 2024; 51 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma konusunun seçilme nedenleri.	4
Şekil 2.1. Kömür yakıtlı termik santrallerin genel akış şeması.	9
Şekil 2.2. Kömür yakıtlı termik santrallerin akış diyagramı.	10
Şekil 2.3. Kömür üretiminin yıllara göre değişimi.	14
Şekil 2.4. Kömür tüketiminin yıllara göre değişimi.	15
Şekil 2.5. Dünyadaki birincil enerji kaynağı tüketiminin yıllara göre değişimi.	15
Şekil 2.6. Türkiye’deki termik santral potansiyeli.	22
Şekil 2.7. Termik santrallerin çevreye olan etkileri.	24
Şekil 2.8. Termik santrallerde uçucu kül ve atıksu oluşumu.	32
Şekil 3.1. Anlık pH ölçümü.	36
Şekil 3.2. Kül depolama sahası atık suyu numuneleri-I.	37
Şekil 3.3. Kül depolama sahası atık suyu numuneleri-II.	37
Şekil 4.1. Analiz sonuçlarının sınır değerler ile karşılaştırılması.	41
Şekil 4.2. Kül depolama sahası uçucu kül görünümleri.	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Termik santralde yakılan linyit kömürü özellikleri.....	17
Çizelge 2.2. Türkiye’de devrede olan kömür yakıtlı termik santraller.....	19
Çizelge 2.2 (devam). Türkiye’de devrede olan kömür yakıtlı termik santraller.	20
Çizelge 2.2 (devam). Türkiye’de devrede olan kömür yakıtlı termik santraller.	21
Çizelge 2.3. Kömürün yanması sonucu oluşan külün mevzuat kapsamındaki yeri. ..	31
Çizelge 3.1. Karakterizasyonunda kullanılan metotlar.....	35
Çizelge 4.1. Yüzey suyu numunesi analiz sonuçları.....	39
Çizelge 4.2. Sızıntı suyu numunesi analiz sonuçları.....	40
Çizelge 4.3. Deniz deşarjına izin verilebilecek endüstriyel atıksuların özellikleri. ..	40
Çizelge 4.4. Termik santral alıcı ortam deşarj standartları.....	41
Çizelge 4.5. Uçucu küllerde bulunan mineraller	43



SİMGELER VE KISALTMALAR

AKM	Askıda Katı Madde
AYY	Atık Yönetimi Yönetmeliği
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇŞİDB	T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DEK	Dünya Enerji Komisyonu
DSİ	Devlet Su İşleri
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ESP	Elektrostatik Filtre
GEM	Global Energy Monitor
GES	Güneş Enerji Santrali
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	Litre
m³	Metreküp
mg	Miligram
mL	Mililitre
Mt	Milyon ton
MTA	Maden Tetkik Arama
MW	Megavat
R.G.	Resmi Gazete
RES	Rüzgar Enerji Santrali
SEÖS	Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemi
SKHKKY	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TES	Termik Enerji Santrali
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynağı
Ca(OH)₂	Kalsiyum Hidroksit
CO₂	Karbondioksit

1. GİRİŞ

Tarih boyunca enerji, insanların varoluşlarının tüm yönlerinde hayatta kalabilmeleri için gerekli olduğu fikriyle bağlantılı olmuştur. Enerjinin çeşitli alanlarda farklı tanımları yapılmaktadır. Fizikteki tanımı "gerçekleştirme yeteneği" olsa da termodinamik perspektifinden bakıldığında, bir şeyi değiştiren etki olarak da tanımlanabilir (Çengel ve Boles, 2007). Günümüzde hızla artan nüfus, sanayinin ve teknolojinin gelişimi ve refah seviyesinin yükselmesi ile artan enerji talebi karşılanamamakta, enerji arz-talep arasındaki makas açılmaktadır (Kumbur vd., 2005).

Ülkelerin en büyük çabalarından birisi enerji üretmek ve bunun sürekliliğini sağlamaktır. Günümüzde bunun yenilenebilir kaynaklar ile yapılması amaçlansa da kömür yakıtlı termik santraller de başta ülkemiz olmak üzere gelişmekte olan birçok ülkenin enerji üretim kaynaklarından biridir. Ancak, kömür gibi fosil yakıtların yanması esnasında oluşan hava kirliliği vb. etmenlerin yanı sıra yanma sonucu oluşan kül atıklarının yönetilmesi için de büyük alanlar ve finans kaynakları gerekmektedir.

Termik santral faaliyetlerinde kömürün yakılması neticesinde oluşan atık uçucu küle ilave olarak, soğutma sisteminde buhar elde etmek amacıyla kullanılan suyun döngüdeki görevini tamamlamasıyla da yüksek tonajlarda atıksu oluşmaktadır. Bu atıkların ve atıksuların doğru yönetilmediği takdirde çevre kirliliği başta olmak üzere sosyo-ekonomik yapı ve canlı hayatında zarara yol açması kaçınılmazdır. Ana yakıtı kömür olan ve elektrik enerjisi üretimi yapılan termik santrallerin ana yapısına bakıldığında; kapalı çevrim olarak sistemde dolaşan suyun bir kazan vasıtasıyla buharlaştırılması, oluşan buharın öncelikle türbin yüksek basınç bölümünde, sonra orta ve alçak basınç bölümlerinde genişlemesi sağlanır. Takip eden genişlemeler ile ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi sağlanmış olur.

Kapalı çevrim olarak inşa edilen bu ünitelerde oluşan buhar ve su kapalı sistemde döngünün tekrarlanması ile sürekli yenilenmiş olur. Su, buhar çevrimli ve soğutma suyu olarak iki şekilde termik santrallerde kullanılır. Kullanılacak ham suyun kaynağından alınması için bir pompa kullanılır. Ham su, sertlik giderme sistemi üzerinden geçirilerek havalandırma cihazından geçirilir, kazanın besleme suyu

haznesine aktarılır. Besleme suyu haznesinden pompalar aracılığıyla alınan su, ön ısıtıcıda ısınır ve bu ısıtılmış su, kazana beslenir. Su ayırıcı, kazandan çıkan yüksek basınçlı buharın buhar makinesine ulaşmasına izin verir. Buhar makinesi jeneratörü döndürür ve elektrik üretir. Kuruluşları ve işletmeye alınma tarihleri ülkemizde de eskiye dayanan termik santrallerin birçoğunda ana yakıt kaynağı kömürdür. Termik santral faaliyetlerinin gerçekleşmesi esnasında, elektrik üretimi için ihtiyaç duyulan ana hammadde olan kömürün yakılması sonucu, % 60'ı kül olan ve kömür yanma atığı olarak bilinen atık ürünler oluşur (Flues vd., 2013; Jones vd., 2012). İnce yapıya sahip olan ve uçucu kül olarak adlandırılan küller, prosesteki diğer yardımcı yakıt gazlarıyla beraber sürüklenir ve bacalar vasıtasıyla atmosfere salınır. Uçucu küllerin renkleri yanmayan kömürün oranından, demir içeriği zengin tanelerden, nemden etkilenir ve açık kremden koyu kahverengine kadar farklılık gösterir (Alkaya, 2009; Kaplan ve Gültekin, 2010). Daha büyük boyuta sahip kül ise kazan altına düşer ve orada birikir. Uçucu kül olarak adlandırılan bu atık malzeme, doğrudan bir fayda sağlamadığı gibi ulusal Mevzuat gereği atık olarak nitelendirildiğinden atık muamelesi gösterilerek bertarafı zorunludur.

Dev yapılar olarak inşa edilen termik santrallerde yakılan kömür miktarı düşünüldüğünde buna karşılık oluşan kül miktarı da oldukça fazla olmaktadır. Kömürün yanması sonucu oluşan küllerin termik santrallerde belirlenen kül barajlarında düzenli depolanması esnasında toz emisyonunun indirgenmesi için; hem ulusal Mevzuat açısından hem de yönetimi açısından günümüzde çok tercih edilmese de “sulu depolama” yöntemi kullanılmaktadır. Burada depolama neticesinde çökelen kül atığı ve dinlenmiş atıksu oluşmaktadır. Depolama esnasında ulusal Mevzuat gereği belirli periyotlarda gözlem kuyularından numune alımları gerçekleştirilerek izlenmesi zorunlu olmaktadır.

Kömürün yakılması sonucu oluşan uçucu kül, silisli ve fiziksel olarak katı olmasına rağmen yumuşak ve esnek bir yapıya sahiptir. Çok ince taneli olan bu kül atığı, Ca(OH)_2 ve su ile reaksiyona girebilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle, çimentonun da hidratasyon ürünü olan kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiklerinde hidrolik bağlayıcı olurlar. Ulusal Mevzuat çerçevesinde atık olarak nitelendirilen bu kazan altı kül malzeme, beton katkı maddesi olarak ve çimento yapımında doğrudan kullanılabilir. Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK]'nin 2018 yılına ait yayınlamış

olduğu anket verilerine göre; termik santrallerde %98,2 deniz, %1,8 kuyu, akarsu, baraj gibi kaynaklardan toplamda 7,9 milyar m³ su çekildiği açıklanmıştır. 2018 yılında termik santral faaliyetleri sonucu ise 7,5 milyar m³ atıksuyun olduğu, bunun %99,5'inin denize, %0,5'inin düzenli depolama tesisi, kül barajı ve diğer alıcı ortama deşarj edildiği belirtilmiştir (TÜİK, 2018). Ayrıca, aynı anket verilerinde, termik santrallerde tehlikeli ve tehlikesiz olarak toplamda 26,1 milyon ton atık olduğu ve bunun %89,2'sinin kül ve cüruf atıklarından olduğu açıklanmıştır. Oluşan toplam atığın %87,5'inin kül barajı, düzenli depolama tesisi vb. aracılığıyla ortadan kaldırıldığı (bertaraf) belirtilmiştir (TÜİK, 2018).

Termik santrallerden kaynaklı oluşan kül atıkları ile bu atıkların hiçbir ön işleme tabi tutulmadan düzenli depolanma miktarına bakıldığında, neredeyse tüm atığın hiçbir yeniden kullanım çalışması, azaltma önlemi vb. çalışmalar yapılmadan doğrudan depolandığı görülmektedir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda; termik santral faaliyetleri devam ettiği sürece her geçen gün artarak oluşacak olan atık kül ve atıksu ile bu atıkların depolanması için ihtiyaç duyulan düzenli depolama sahalarına olan ihtiyaç da artacaktır. Üretim faaliyetleri neticesinde oluşan atıkların ve diğer maddelerin üretime bağlı şekilde doğru orantılı olarak artması, işletme sahipleri tarafından istenmeyen bir durumdur. Nitekim, üretime bağlı olarak artan atık miktarlarının yönetimi, kalıcı çözümler bulunmadığı ve bertaraf etmekle yetinildiği sürece kontrol edilemez bir iş gücü ve ekonomik kayba sebebiyet vermektedir. Bu kapsamda, oluşan bu atıkların öncelikli olarak yeniden kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi kaçınılmazdır. Bu tez çalışması kapsamında; termik santral faaliyetlerinin ulusal ve uluslararası ölçekteki güncel durumu, üretim ve buna bağlı olarak oluşan atıklar, bu atıkların mevcut durumdaki yönetiminin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma konusunun seçilme nedenleri Şekil 1.1'de verilmiş olup bu amaç doğrultusunda halihazırda faaliyetini sürdürmekte olan kömür yakıtlı bir termik santrale entegre şekilde tesis edilen 2. Sınıf Düzenli Depolama Tesisinde oluşan uçucu kül (kazan külü) ile bu uçucu külün depolanması esnasında kullanılan suyun karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için atıksu numuneleri alınarak karakteristik özelliklerin belirlenmesi için analizler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu atıksuyun yeniden kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Ayrıca, kömür yakma sonucu oluşan uçucu külün yeniden kullanılabilirliği, alternatif hammadde olarak kullanılması için gereken Ulusal ve karakteristik gereklilikleri incelenmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma konusunun seçilme nedenleri.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Enerji İhtiyacı ve Önemi

Enerji; iş yapma becerisi olarak tanımlanmakta ve fiziksel bir olgu olarak kabul edilmektedir. Mekanik, kimyasal, elektrik ve nükleer gibi çeşitli biçimlerde bulunmakta ve farklı yöntemlerle bir türden diğerine dönüştürülebilmektedir (Koç ve Kaya, 2015). Enerji denilince akla ilk olarak yaşamı kolaylaştıran ve yaşamın vazgeçilmezi olan “elektrik enerjisi” gelmektedir. Kullanım kolaylığı, çok yönlülüğü (teknolojik gelişmelere bağlı olarak her an başka enerji türlerine dönüştürülebilmesi) ve kullanıma hazır hale getirilebilmesi nedeniyle ekonomik gelişmelerin, sanayileşmenin ve sosyal yaşamın en önemli faktörü olan elektrik enerjisi, günlük yaşamın vazgeçilmez bir ihtiyacı haline gelmiştir.

Devletlerin gelişiminin ve kalkınmasının en önemli ögesi enerji kaynağı rezervi ve enerji kullanımıdır. Enerjinin ve ihtiyacının devamlılığı ise yaşamın sürdürülebilmesi için önemli bir faktördür. Bu nedenle bir ülkede enerji ihtiyacı ve üretimi konusundaki başarı o toplumda ve ekonomide zaman sorunu olmadan kaliteli ve güvenilir refahı beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, güvenli ve etkili bir şekilde gereksinim duyulan enerjiyi sağlamak ve enerji arz güvenliği açısından kaynak çeşitliliğini artırmak önemlidir (Pamir, 2005). Enerjideki güvenlik, ekonomik olarak önemli sayılacağı gibi sosyal, çevresel, kurumsal ve küresel bakımdan da göz ardı edilemeyecek konumdadır. Bireylerin enerji kaynaklarından ziyade enerjiden elde edilen faydalarla ilgilenmesi bu kaynakların ileride ne şekilde yönetileceğine ilişkin soru işaretleri doğurmaktadır (Dünya Enerji Komisyonu [DEK], 1996: 27).

Enerji, ekonomik kalkınma ve sosyal refah için temel bir faktördür. Tüm ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de büyük önem taşır. Enerji konusunda dışa bağımlı olan ülkeler, politika oluştururken zorluklarla karşılaşabilirler. Bu nedenle, ülkemizin enerjiye önem vermesi ve politikalarını bu doğrultuda oluşturması durumunda, dünya genelinde gelişmiş ilk on ülke arasında yer alabilecek potansiyele sahiptir (Bilim, 2016).

Bugünün dünyasında, ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin karşılaştırılmasında öncelikli olarak; milli gelir, gayri safi milli hasıla, kentleşme, nüfus projeksiyonuna ilave olarak enerji ölçütü de kullanılmaktadır. Bir ülkedeki kişi başına düşen enerji

tüketimi miktarı, sadece ekonomik gösterge olmanın ötesinde sosyal gelişmenin de bir belirleyicisi olarak kabul edilmektedir. Bu noktada, 1973/1974 petrol krizi ve bunun yol açtığı sosyo-ekonomik sorunlar, enerji sektörünün stratejik önemini artırmış ve dışa bağımlı olan ülkeleri zorlu koşullara itmiştir (Mutluer, 1990). Ülkemiz, dünya ortalamasının oldukça altında olan kişi başına yıllık enerji tüketimi ile birlikte, tüm zorluklara rağmen büyümeye devam etmek zorundadır. Ancak, son zamanlarda ülkemizde süregelen bir enerji krizi yaşanmaktadır. Tüm Dünya'da yaşanan ve etkisi uzun yıllar süren petrol şoku, sosyal ve ekonomik şartların ve buna bağlı olarak enerji sorunlarının da büyük ölçüde artmasına yani dışa bağımlı ülkeleri zor koşullara itmesine sebep olmuştur. Bu yaşananlar ile birlikte yerli enerji tüm ülkeler için daha da önemli hale gelmiştir.

2.2 Enerjinin Sınıflandırılması

Enerjinin kaynakları, genellikle, yenilenebilir ve yenilenemeyen olarak iki ana kategoride sınıflandırılır. Yenilenemeyen enerji kaynakları arasında petrol, doğal gaz, kömür ve nükleer enerji gibi kaynaklar yer alırken, yenilenebilir enerji kaynakları ise rüzgâr, hidrolik, güneş, biyogaz ve jeotermal gibi kaynaklarla temsil edilir. Bu kategorizasyon, enerji sektörünün sürdürülebilirliği ve çevresel etkileri konusunda kritik bir öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal olarak yenilenebilme kapasitesine sahip olmaları ve sınırlı bir şekilde tükenmemeleri nedeniyle uzun vadede daha sürdürülebilir bir enerji temini sağlama potansiyeline sahiptirler. Öte yandan, yenilenemeyen enerji kaynakları ise ekonomik, politik ve çevresel risklere karşı daha savunmasızdır ve uzun vadede kaynak kısıtlamalarıyla karşılaşma olasılıkları daha yüksektir. Bu nedenle, enerji politikalarının oluşturulması ve uygulanması süreçlerinde bu iki kategorinin dengeli bir şekilde ele alınması ve yenilenebilir kaynakların daha fazla kullanımının teşvik edilmesi önemlidir (Aruoba ve Alpar, 1992).

Günümüzde hala en fazla kullanılan gaz, taş kömürü ve petrol gibi fosil yakıtlar, yandıkları ve tükendikleri için yenilenebilir kaynaklar değildir. Ulaşım, ısınma ve elektrik üretimi de dahil olmak üzere dünyanın enerji ihtiyacının çoğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Örneğin, kömür gibi fosil yakıtlar, nispeten düşük bir maliyetle büyük miktarda enerji üretmek için kullanılabilirler. Ancak bununla birlikte kömür kullanımının önemli çevre sorunlarına neden olduğu bilinmektedir.

Fosil yakıtların yakılmasının bir yan ürünü olan karbondioksit gezegeni ısıtır ve "sera etkisine" katkıda bulunur. Kömür yakıldığında petrol ya da gaz yakıldığından daha fazla karbondioksit üretilmektedir (Toraman, 2009). Kömürün yanması sonucunda atmosfere karbon dioksit (CO₂), kükürt oksit (SO_x), azot oksit (NO_x) gazları gibi kirleticiler yayılmakta ve bu gazların miktarındaki artış küresel ısınmaya neden olmaktadır. Aynı zamanda SO_x ve NO_x gazları da atmosferdeki suyla tepkimeye girerek, sülfürik asit ve nitrik aside dönüşmekte ve asit yağmuru oluşumuna sebep olmaktadır (Schweinfurth, 2003).

Enerji kaynaklarının bir diğer sınıflandırılma şekli ise birincil ve ikincil kaynaklardır. Herhangi bir dönüşüme uğramamış enerji kaynakları birincil enerji kaynakları, birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen kaynaklar ise ikincil enerji kaynakları olarak bilinmektedir. Petrol, taş kömürü, linyit, petrol, doğal gaz, hidrolik enerji, jeotermal enerji, odun, hayvan ve bitki atıkları gibi kaynaklar birincil kaynaklar grubunu oluştururken, ikincil enerji kaynakları ise elektrik enerjisi, bezin, mazot, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve hava gazı gibi kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, enerji kaynaklarının kullanımı ve dönüşümü açısından önemli bir temel oluşturmaktadır. (Aybar vd., 1986; Koç ve Kaya, 2015). Dünyada yaygın olarak kullanılan birincil enerji kaynakları kömür, petrol ve doğal gazdır. Bu kaynaklar konvansiyonel enerji kaynakları olarak da nitelendirilmekte ve kullanıldıklarında tükenmekte ve çıkardıkları atıklarla çevreye zarar vermektedir. Enerji üretimi konusunda 1970’li yıllarda petrolden sonra en fazla kullanılan kömür, daha sonraki dönemlerde yerini doğal gaza bırakmıştır ve 2000’li yıllarda doğal gaz kullanımının daha da artacağı tahmin edilmektedir (Avcı, 2005).

Son yıllarda doğal gaz, elektrik üretiminde daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Gelecek 20 yıl içerisinde elektrik üretiminde doğal gazın payının %18’den %25’e çıkarılması, hidroelektrik üretim kaynakları ile yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımının da artırılması beklenmektedir (EIA, 2004: 9). Bütün bunlara karşılık, geleceğe yönelik elektrik talebini değerlendiren çeşitli kuruluşlar, fosil yakıtların kullanımına yönelik büyük farklılıklar ortaya çıkmayacağını tahmin etmektedir. Petrol tüketiminin azaltılması ve linyitin kullanımının artırılması yönünde politikalar ile elektriğin daha verimli kullanılması enerji konusundaki başlıca hedefler olarak

belirtilmektedir. Ancak, verimliliğin artırılması ile talepteki artışın sadece bir kısmını karşılamak mümkün olabilecektir (Flavin ve Lenssen, 1994: 24).

2.3 Termik Santrallerin Kuruluşu ve Gelişimi

Uygarlığın gelişimi, enerjinin kullanılabilirliği ile çok yakından ilgilidir. Bu sebeple, yeteri miktardaki enerjinin mümkün olan en düşük fiyatla halka sunulabilmesi, bir ülkenin endüstriyel gelişmesi ve hayat standardının yükselebilmesi için gereklidir. Bu nedenlerle, önceki zamanlarda küçük ve ilkel santraller; teknolojinin gelişmesine paralel olarak yerlerini daima daha güçlü, daha ekonomik ve daha modern santrallere bırakmışlardır (Heper, 1979).

Elektrik enerjisinin günlük yaşamdaki kullanımı, 1878 yılında başlamış olup, bu dönemde ilk elektrik santrali de Londra'da faaliyete geçmiştir. Ülkemizde ise ilk elektrik üretimi, 1902 yılında Tarsus'ta 2 kW gücündeki bir su türbini ile gerçekleştirilmiştir. İlk büyük santral ise 1914 yılında İstanbul Silahtarağa'da kurulan 15 MW gücündeki termik santraldir ve 1983 yılına kadar elektrik üretmeye devam etmiştir (Aktaş ve Alioğlu, 2012). Zonguldak ilinin Çatalağzı beldesinde 1948 yılında faaliyete geçen Çatalağzı Termik Santrali A Ünitesi ise Türkiye'nin enerji sektöründeki önemli kilometre taşlarından biridir ve "Cumhuriyetin İlk Termik Santrali" olarak tanınmaktadır. Bu santral, döneminin en büyük sanayi yatırımlarından biri olmasıyla birlikte, ülkemizin elektrik üretimi konusunda önemli bir adımı simgelemektedir (URL-1).

Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşundan sonra elektrik üretiminde büyük bir artış yaşanmıştır. 1923 yılında kurulu güç 33 MW iken, bugün bu rakam 40.519 MW'a yükselmiştir, yani 1.228 kat artış göstermiştir. Aynı dönemde elektrik üretimi de büyük bir ivme kazanarak, 1923 yılında 45 milyon kWh iken, günümüzde 175,69 milyar kWh'a ulaşmıştır, yani 3.904 kat artmıştır. Elektrik sektörünün gelişiminde önemli rol oynayan kurumlar arasında Etibank, Maden Tetkik ve Arama [MTA], Elektrik İşleri Etüt İdaresi [Eİİİ], İller Bankası ve Devlet Su İşleri [DSİ] Genel Müdürlükleri öne çıkmaktadır. Bu kurumlar, Türkiye'nin enerji altyapısının geliştirilmesi ve elektrik üretim kapasitesinin artırılmasında önemli bir rol üstlenmiştir (URL-2).

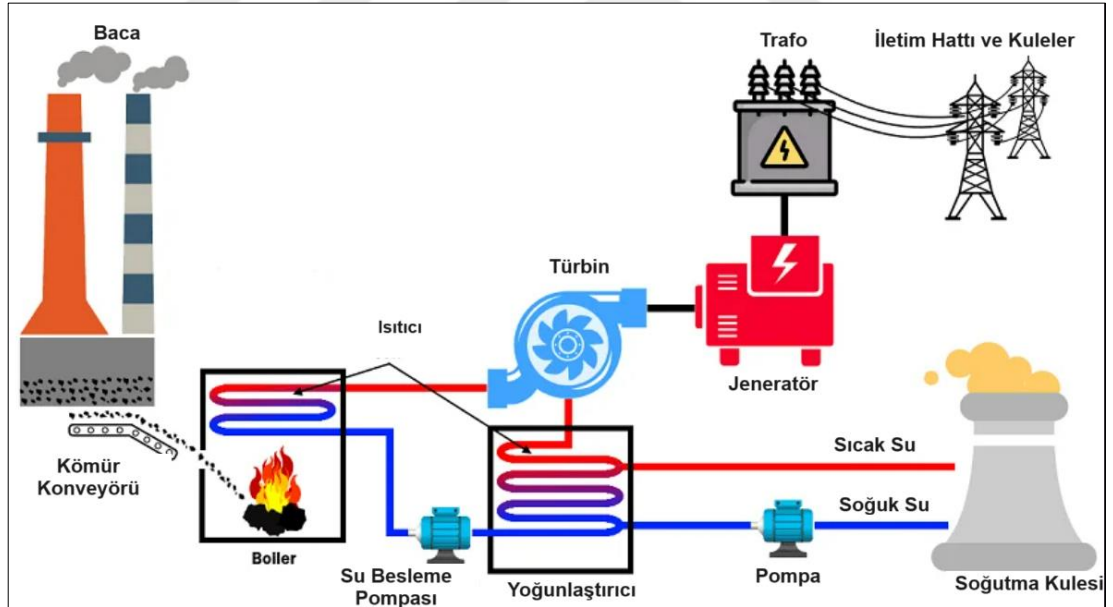
Ülkemizde elektrik enerjisinde kurulu gücün yaklaşık %22'sinin kömür yakıtlı termik santrallerden elde edilmektedir ve 2020 yılı itibarıyla Türkiye'de 100 MW ve üzeri kapasiteye sahip 28 adet kömür yakıtlı termik santral bulunmaktadır. Söz konusu, kömür yakıtlı termik santrallerin toplam kurulu gücü 20.323 MW'dır (Ay, 2022).

2.4 Termik Santrallerde Enerji Üretim Aşamaları

Kömür yakıtlı termik santrallerde ana çalışma prensibi; enerji kaynağı olan fosil yakıtın, uygun ortamda ve uygun şartlarda yakılarak mekanik enerjinin elde edilmesinin sağlanmasıdır.

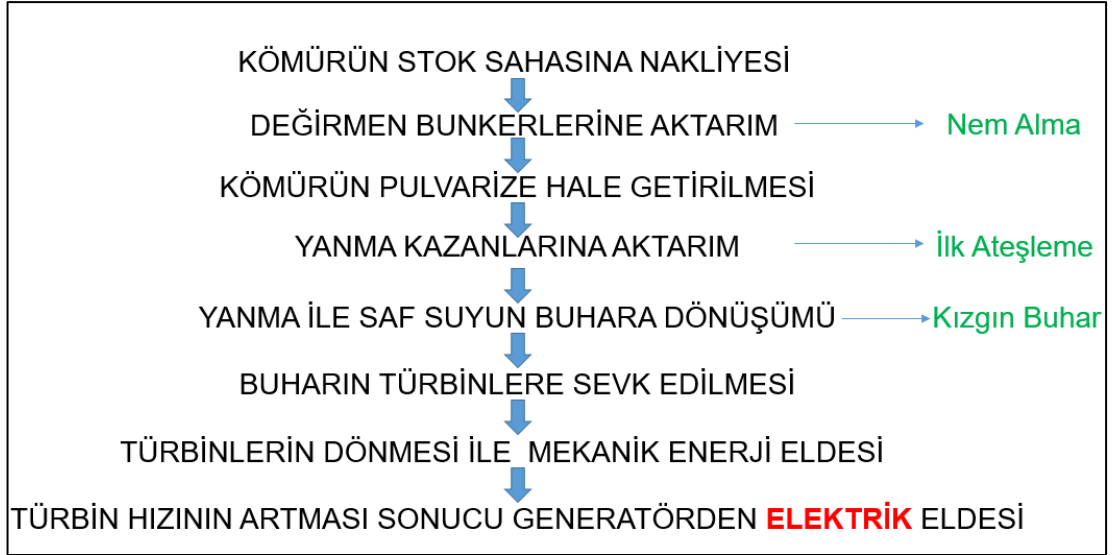
Yakma sonucu ortaya çıkan mekanik enerji, alternatörler aracılığıyla alternatif enerjiye dönüştürülür ve elde edilen enerjinin de elektrik enerjisine dönüştürülmesi, akabinde ise trafo merkezi ile ulusal şebekeye aktarılması sağlanır.

Kömür yakıtlı termik santrallere ilişkin genel akış şeması Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kömür yakıtlı termik santrallerin genel akış şeması (URL-3).

Tez araştırmasına konu ve halihazırda faaliyet göstermekte olan termik santralde gerçekleştirilen üretim aşamaları ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kömür yakıtlı termik santrallerin akış diyagramı.

2.4.1 Türbinler ve kazanlar

Termik santrallerde bulunan kazanlarda katı veya sıvı-gaz yakacağın (motorin, doğalgaz, fuel-oil vb.) brülör vasıtası ile yandığı kısma külhan denir. Sistemde kullanılan akışkan, yanma odasında ısıtım ve taşınım yoluyla, kazanın konveksiyon yüzeyi denilen diğer kısımlarında ise sadece taşınım yoluyla ısıtılır (URL-4).

Santraldeki kazanlar tabii sirkülasyonlu, domlu, pülvarize kömür yakmalı, tekrar kızdırıcılı ve tek ocaklıdır. Ana yakıt olan kömür, teğetsel yakma yöntemi ile yakılmaktadır. Teğetsel yakma yönteminde; brülörlerin kazana farklı açılardan bağlanarak kazan merkezindeki yanmanın istenilen bölgede oluşması sağlanmaktadır. Böylece verim kayıplarının önüne geçilmektedir.

Su borulu buhar kazanlarının standart bir özelliği domlu olmasıdır. Su borusunun üst ucunda bulunan su ve buhar rezervuarıdır. Dom; buharın kızdırıcılara gitmeden önce doymuş buharın sudan ayrıştırılması görevini yapacak bir dizi seperatöre sahiptir.

Termik santrallerde, yakıttaki enerji önce kazanda ısı enerjisine çevrilerek buhara verilir ve daha sonra da bu buhardaki ısı enerjisi türbinde mekanik enerjiye ve ardından jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülür (Aktaş ve Alioğlu, 2012).

Aslan (1996)'ya göre de; termik santrallerdeki ilk enerji dönüşümü buhar kazanlarında meydana gelir. Burada kömür yakılarak elde edilen ısı su buharına verilir. Suyun buharlaştırılarak buhar elde edilen kazanlara buhar kazanı adı verilir (Aslan, 1996).

Kazanların çeşitlerine göre ayırımları aşağıda verilmiştir.

1- Kazan yapımında kullanılan malzemenin cinsine göre;

- Dökme dilimli kazanlar
- Çelik kazanlar

2- Kullanılan yakıtın cinsine göre;

- Gaz yakıtlı kazanlar (Doğal gaz)
- Sıvı yakıtlı kazanlar (Motorin, fuel –oil)
- Katı yakıtlı kazanlar (Taş kömürü, odun vb.)

3- Yanma odasının basıncına göre;

- Karşı basınçlı kazanlar
- Karşı basınçsız kazanlar

4- Isıtıcı akışkan cinsine göre;

- Sıcak sulu kazanlar
- Kaynar sulu kazanlar
- Buharlı kazanlar

5- Kazanın yapısal tasarımı açısından;

- Alev borulu kazanlar
- Alev duman borulu kazanlar
- Duman borulu kazanlar
- Su borulu kazanlar

6- Kazanın biçimi açısından;

- Yarım silindirik kazanlar
- Tam silindirik kazanlar
- Prizmatik paket kazanlar

Santraldeki türbinler çift silindirdi, çift egzozlu, tekrar kızdırıcılıdır. Türbin gövdeleri termik genişlemelerden dolayı hasara sebebiyet vermemek için türbin eksenine göre doğru pozisyonu muhafaza etmesi ve ısı değişimleri sebebiyle meydana gelecek genişmelere imkan verebilecek şekilde tasarlanmıştır.

2.4.2 Kondenserler

Sıcak buhar şeklinde gelen soğutucu akışkanları yoğunlaştırıp soğutma işlemi uygulayan ısı değiştiriciler, piyasada kondenser şeklinde adlandırılmaktadır. Günümüzde kondenserler, genel olarak yoğunlaştırucu ismiyle de anılmaktadır. Sözcük olarak ise “ısı regülatörü” olarak da çevrilebilmektedir (URL-5).

Kondenserler; su soğutmalı, çift bölmeli soğutma yüzeylidir. Çift bölmeli olması, türbin tamamen devre dışı olmadan yarım yükte iken bölümlerden birine bakım yapma imkânı verir. Kondenserde soğutma suyu ile çevrimde kullanılan su-buhar birbirine karışmaz. Santralde kazan besleme suyu pompalarının bastığı su, yüksek basınç ısıtıcılarından geçtikten sonra ekonomizere girer. Ekonomizerlerden geçen sıcak su doma girer. Dom kısmı, su borularında üretilen buharı tutar ve karışık halde olan buhar ve su için faz ayırıcı görevi görür. Burada ayrılan su doma geri dönerek besleme suyuna karışır ve ayrılan doymuş buhar kolektöre gelir. Domu terk eden buhar kızdırıcı boruları giriş kolektörüne gelir. Buradan da kızdırıcı borularına dağılır. Kızdırıcılarda kızdırılan buhar, buhar türbinine gönderilir.

Türbin yüksek kademesinden dönen buhar tekrar kızdırıcı giriş kolektörüne gelir. Tekrar kızdırıcıda sıcaklığı yükseltilecek buhar, türbin orta basınç kademesine gönderilir. Sonra da alçak basınç türbinine gelerek enerjisini verir ve kondensere dökülerek yoğunlaşır ve çevrimini tamamlamış olur.

Santralde ihtiyaç duyulan soğutma suyu denizden kullanılmaktadır. Denize yapılan bir mendirek sayesinde, deniz suyu cazibeli akış ile klorklama havuzuna gelir. Burada yabancı maddelerden arındırılan deniz suyu pompalar yardımıyla kondensere gönderilir. Kondenserde buharın ısısını üzerine alan deniz suyu iki koldan kondenserden çıkarak tekrar denize deşarj edilir.

2.5 Kömür Yakıtlı Termik Santraller

Termik santraller genel olarak; kömür ve türevi yakıtların belirli sistemlerde yakılması sonucu açığa çıkan kimyasal enerjiyi çeşitli sistemlere dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemler gündelik uygulamalar için ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için bir termik santral kullanılır. Elektrik enerjisi üretimi sürecinde, buharla çalışan türbinler, ısıyı mekanik güce ve son olarak da elektrik gücüne dönüştürür (URL-6).

Kömür yakıcılarından kazan içerisine pulvarize halde gönderilen kömür yanmaya başlar. Baca gazları yanma bölgesinden eko bölgesine geçerken ağır küller kazan altındaki cüruf teknesine düşerek söndürülür. Cüruf teknesinin tabanında bulunan paletli cüruf çıkarıcılar cürufu kazan altından alarak bunkerlere oradan da kül-cüruf sahasına sevk eder. Sıcaklığı düşen sıcak gazlar kazanı terk ederken döner hava ısıtıcılarından geçerek ısılarını sac peteklere bırakırlar. Sıcaklığı düşen gazlar elektro-filtrelerden geçerek içerisindeki külleri bırakır. Elektro-filtre çıkışındaki cebri çekme fanları ile yanmış gazlar Kazan-Elektrostatik filtre [ESP] sisteminin içerisinden çekilerek bacadan dışarıya atılır.

Taze hava fanları, atmosferden ve kazan binası içerisinden çekmiş olduğu taze havayı, hava ön ısıtıcısından ve daha sonra da döner hava ısıtıcısından geçirerek kömür yakıcılarından kazan içerisine yakma havası olarak gönderir. Böylece kömür, hava, yanma, sıcak gaz ve baca gazı döngüsü tamamlanmış olur. İşlevini bitiren baca gazları da bacadan dışarıya atılmaktadır. Santraldeki generatörler, hidrojen soğutmalı, senkron tiplidir. Ana yataklar dökme çelikten yapılmıştır. Yatakların yağlanması için yağlama sisteminden yararlanılır.

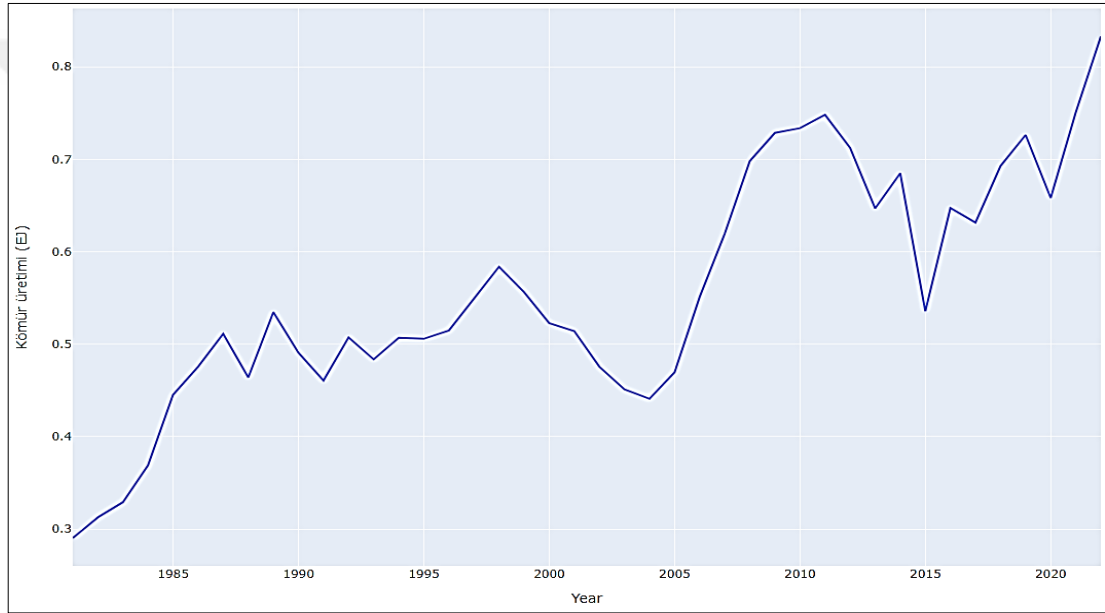
Santraldeki üniteler, orta-yüksek gerilimli ana trafo vasıtasıyla, ürettiği enerjiyi şalt sistemine vererek ve enterkonnekte sisteme katılmaktadır. Şalt sahası; bir ana bara ve bir transfer baradan oluşan tek baralı bir sistemdir. Trafo vasıtasıyla şebekeye uygun güce dönüştürülen enerji en yakın enerji iletim hatlarına bağlantılıdır.

2.5.1 Kömürün kullanımının önemi

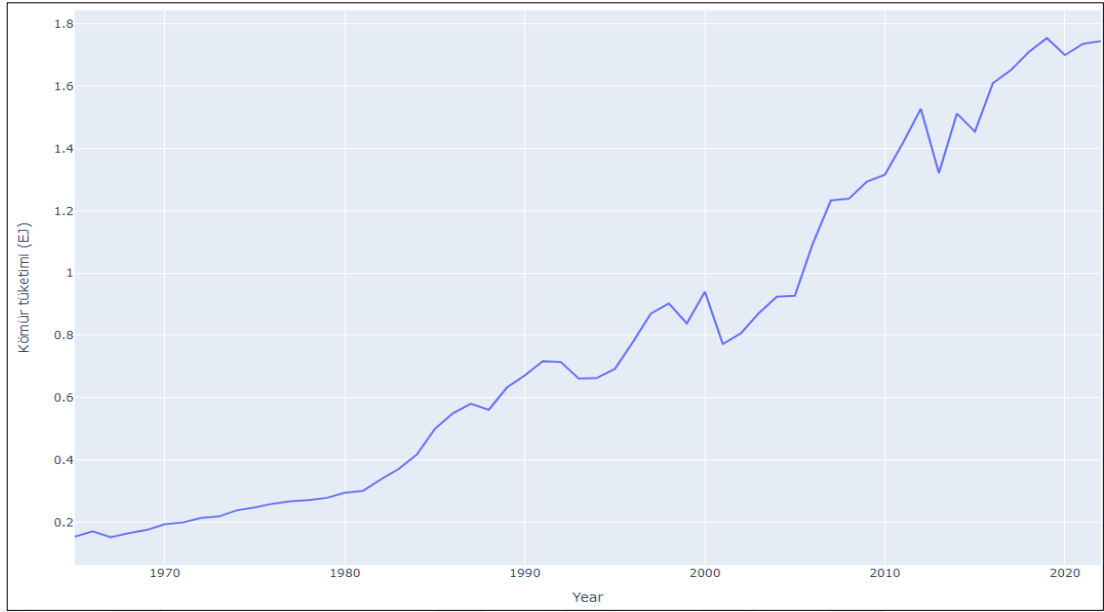
BP'nin 2022 verilerine göre, 2020 yılı sonunda dünya genelinde antrasit, bitümlü kömürler, alt bitümlü kömürler ve linyit gibi kömür rezervlerinin toplamı 1,07 trilyon

ton olarak kaydedilmiştir. Bu rezervin 753,6 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömürlerden oluşurken, geri kalan 320,5 milyar ton ise alt bitümlü kömürler ve linyittir. Bu verilere göre, kömür rezervlerinin %70'i antrasit ve bitümlü kömürlerden, %30'u ise alt bitümlü kömürler ve linyitlerden oluşmaktadır (URL-7). BP Türkiye Enerji İstatistiklerinde 2020 yılı sonu itibariyle kömür üretim ve tüketim miktarlarındaki değişimlerin yıllara göre grafiksel gösterimleri Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te verilmiştir.

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere günümüzde kömür madeni hala çıkartılmakta ve büyük oranı enerji üretimi olmak üzere üretim sektöründe kullanılmaktadır.

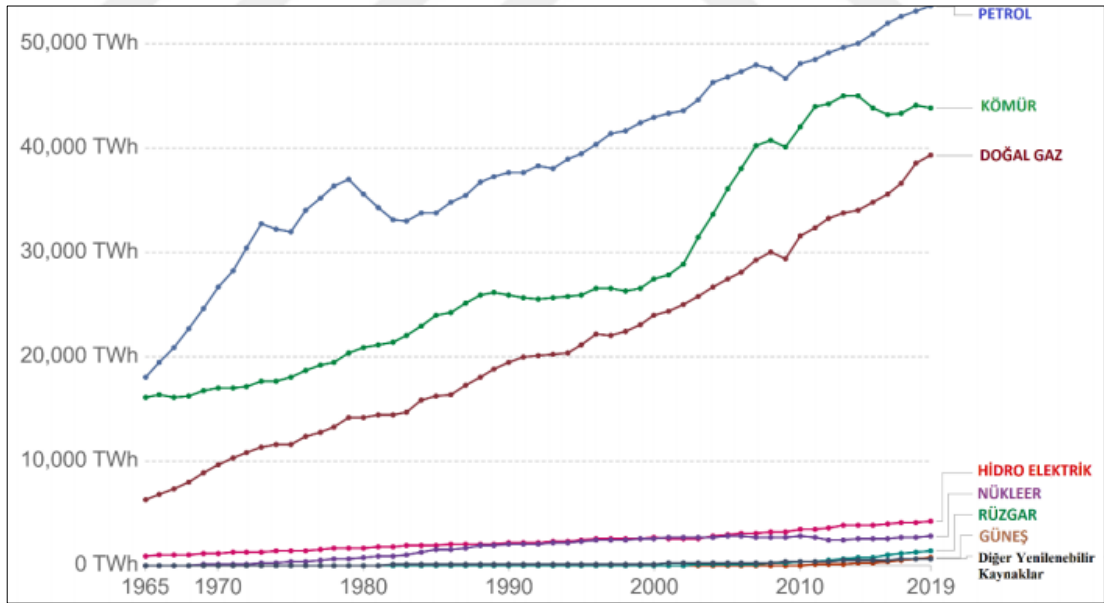


Şekil 2.3. Kömür üretiminin yıllara göre değişimi (URL-7).



Şekil 2.4. Kömür tüketiminin yıllara göre değişimi (URL-7).

Günümüzde hala enerji gereksiniminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. BP'nin 2019 verilerine göre, dünyada birincil enerji kaynaklarına göre tüketimin yıllara göre değişimi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Dünyadaki birincil enerji kaynağı tüketiminin yıllara göre değişimi (URL-7).

Türkiye Kömür İşletmeleri [TKİ] Kurumu 2018 verilerine göre, kömürün dünyada en fazla rezerve sahip fosil yakıt olduğu ve dünya üzerinde 20 yıl kadar daha önemini koruyacağı belirtilmiştir.

Kömür, elektrik üretimi, ısınma, demir-çelik ve çimento endüstrisi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Dünya genelinde kömür, enerji tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle 2021 yılı verilerine göre, kömür dünya birincil enerji tüketiminde %26,9'luk bir paya sahip olup, bu alanda petrolün ardından ikinci sıradadır. Aynı yıl dünya elektrik üretiminde ise %35,9'luk bir payla öncü konumdadır. (URL-7).

Türkiye'deki kömür yakıtlı termik santrallerde kullanılan birincil yakıt linyit kömürüdür. Linyit kömürü yakıldığında ortaya çıkan kül, kömür türüne ve termik santralin teknolojisine bağlı olarak ağırlıkça %17 ile %46 arasında değişmektedir (EÜAŞ, 2011). İstatistik raporlarına göre, 2008 yılında termik santrallerde üretilen toplam mineral atık miktarı (taban külü, uçucu kül, cüruf, alçıtaşı) yaklaşık 25,5 milyon tondur. Bu atıkların yaklaşık %80'i bertaraf edilirken yaklaşık %16'sı madenlerde kullanılmış ve yalnızca %3'ü geri dönüştürülmüştür (TUİK, 2008). Bu uçucu küllerin düzenli depolama tesislerinde depolanması ve yeniden kullanıma mahal verilmeden bertarafa gönderilmesi önemli ekonomik ve çevresel sorunlara yol açmaktadır.

Dünya genelinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kömürlerin orijinal ısı değerleri, termik santrallarda kullanılan yakıtlar arasında geniş bir yelpazeye sahiptir; bu değerler genellikle 800 kcal/kg'dan 5000-7000 kcal/kg seviyelerine kadar değişmektedir. Ayrıca, bu kömürlerin içerdikleri kül oranı da ağırlık olarak % 6-7'den % 30-40'lara kadar değişebilmektedir (Aslan, 1996.).

Termik santralde ana tüketim malzemesi olarak, yaklaşık 3.000-3.300 kcal/kg ısı değeri taşıyan taş kömürü kullanılmaktadır. Kömür, demiryolu vasıtasıyla rödovans sahalarından kamyonlarla stok sahasına taşınır. Stok sahasından taşıyıcı bantlar vasıtasıyla santrale beslenir. Ana yakıt olan kömürün santrale beslenmesi aşamasında; kömür bunkerlerine gelen kömür besleyiciler ile alınarak sıcak gaz kanalına girer. Yanmış sıcak gazla temas eden kömür, kuruma sürecinde kömür

değirmenine dökülür. Değirmende öğütme ve kurutma işlemi tamamlandıktan sonra yakıcılara basılır.

2.5.2 Kömür özellikleri ve türleri

Kömür, organik ve inorganik bileşenlerden oluşmuş sedimanter bir kayadır. Genellikle siyah, koyu gri veya kahverengi-siyah renklerde olup parlak veya mat bir yapıya sahiptir. Ayrıca, su ve gaz da içermektedir. Bitki kalıntıları ve bataklık katmanlarının üst üste gelerek birikinti oluşturması ve milyonlarca yıl boyunca basınç ve sıcaklık gibi etkiler sonucu değişim göstermesi ile oluşmaktadır (Ünalan, 2013). Bu kalıntıların ağırlıkça %50'den fazlası, hacimce ise %70'ten fazlası kömürün yapısını oluşturur. Kömür içerisindeki kükürt, organik, sülfid ve sülfata ait olmak üzere üç değişik kökende bulunmaktadır. Kömüre dönüşen bitkilerden oluşan kükürt organik kükürttür. Sülfatlara ait kükürt örneği ise jipstir (Ward, 1984).

Doğada bulunan ve kullanılan kömür türleri aşağıda açıklanmıştır.

Turba: Ilık veya soğuk iklimde, oksijensiz sulak alanlarda bitki artıklarının depolanması sonucu oluşan ve organik madde içeriği yüksek olan çökellerdir (Çiftçi, 2003). Biyokimyasal olarak kömürleşmiş en genç kömürdür ve sertlikleri azdır. Sarı, siyah, kahverengi olabilmektedir. Turba kömürün özelliği bitki türü ve çürüme derecesine bağlıdır (Kemal vd., 1991; Güldan, 2010; Özcan, 2015; Çolpan, 2019).

Linyit: Koyu kahverengi veya siyah renktedir. Kırılgan bir yapısı bulunmakta olup toz haline kolay gelebilen ve kils dokuya sahip bir kömürdür. Ayrıca, nem içeriği yüksek ve karbon ihtivası düşüktür (Erbilen ve Şahin, 2015; Diş, 2020).

Termik santrallerde yakılan linyit kömürünün genel özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Termik santralde yakılan linyit kömürü özellikleri.

Nitelik	Özellik
Kalori (kCal)	4.800
Nem Oranı (%)	15-30
Karbon Oranı (%)	37,41-43,54
Renk	Kahverengi
Jeolojik Yaş	Genç, orta
Sülfür İçeriği	Yüksek
Kül İçeriği	Yüksek

Taş kömürü: Siyah ve mat bir görüntüye sahiptir. Ayrıca, sağlam bir yapısı bulunmaktadır. Kalorifik değeri yüksektir. Kaliteli bir taş kömürü % 10-15 arası kül içermektedir (Nakoman, 2012).

Antrasit: En yüksek kaliteye sahip katı fosil yakıttır. Kalorifik değeri 8600 kcal/kg'a kadar çıkabilmektedir. Siyah renkte, parlak ve sağlam bir yapısı vardır. Dayanımı en yüksek katı fosil yakıt çeşididir. Uzun süreli yanabilir ve duman yaymaz (Şahinoğlu, 2006; Güldan, 2010; Çetinkaya, 2020).

2.6 Dünyada Termik Santrallerin Yeri

Dünya genelindeki kömür yakıtla çalıştırılan termik santrallere bakıldığında; 95 ülkede 3.000 GW'lık kurulu enerji gücüyle işletme faaliyeti kapatılan, işletilen ve planlanan 10.000 adet termik santral yer almaktadır (URL-8). 2000'li yıllardan günümüze, Çin ve Hindistan'daki gelişmeler kömür yakıtlı termik santrallerin kapasitesinin iki katına çıkarılarak 2.000 GW'a ulaştığı, 200 GW'lık kapasitenin yapım aşamasında ve 450 GW'lık kapasitenin de yapılanma seviyesinde olduğu araştırılmıştır (URL-8).

Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletlerindeki emeklilik dalgası nedeniyle yakın zamanda 200 GW'lık kapasitede kömür yakıtlı termik santral kapatılmış, 170 GW'lık kapasitede kömür yakıtlı termik santralin de 2030 yılına kadar kapatılacağı planlanmıştır. Ayrıca, 2014 yılında zirveye ulaşan kömür yakıtlı termik santraller için 13 ülkede aşamalı olarak kömürlü termik santrallerin faaliyetine son verilmesi planlanmaktadır.

Global Energy Monitor'un kömür santrali hattına ilişkin "Kömürde Patlama ve Düşüş 2022" raporu, geliştirilmekte olan toplam kömürlü termik santral kapasitesinin 2015'ten bu yana ilk kez 2020'de artmasının ardından 2021 yılında %13 düşerek 525 GW'tan rekor düşüş ile 457 GW olduğunu ortaya koymuştur (Global Energy Monitor [GEM], 2022).

Uluslararası Enerji Ajansı [IEA]'na göre, küresel ısınmanın Sanayi Devrimi öncesine göre 2 derecenin altında sınırlanması hedefleniyorsa, ilerleyen yıllarda tüm kömürlü termik santrallerin kapatılması gerektiği değerlendirilmektedir (URL-9).

2.7 Türkiye’de Termik Santrallerin Yeri

Türkiye farklı enerji kaynaklarına sahip bir ülke olup, ihtiyaç duyulan en önemli enerji çeşidi elektriktir. Ülkemizde enerji üretimine en fazla katkısı olan başlıca kaynaklar ise hidroelektrik santraller, doğal gaz santralleri ve termik santrallerdir. Termik santrallerde maden kömürü, linyit, fuel-oil, motorin, doğal gaz, sıvılaştırılmış gaz gibi fosil yakıtlar ile jeotermal kaynaklar ve atıklar kullanılmaktadır (Avcı, 2005). Kömür yakıtlı termik santraller, Türkiye'nin enerji talebinin beşte birinden fazlasını karşılamada büyük bir öneme sahiptir. Termik santraller, ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan santrallerdir. Isı enerjisini elde etmek için katı, sıvı veya gaz formunda termik kaynaklar kullanılır.

Yakıt türüne ve mekanik enerji üreten makineye göre çeşitlenen termik santraller şunlardır:

- Gaz türbinli santraller, doğal gaz ve petrol ürünleri gibi gaz yakıtları kullanarak elektrik üretirler.
- Dizel santraller ise dizel yakıtını kullanarak mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler.
- Nükleer santraller, nükleer reaksiyonlar yoluyla ısı enerjisi üretir ve buhar üreterek elektrik üretirler.
- Buhar türbinli santraller ise kömür, petrol ürünleri veya doğal gaz gibi yakıtları kullanarak buhar üreterek mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler.

Türkiye’de kömür yakıtlı ve halihazırda devrede olan toplam 53 adet termik santral bulunmakta olup Çizelge 2.2’de verilmiştir. Bu 53 adet kömür yakıtlı termik santralin toplam kurulu gücü 20.443 MW’tır (URL-10).

Çizelge 2.2. Türkiye’de devrede olan kömür yakıtlı termik santraller.

No	Santral Adı	İl	Firma	Yakıt	Güç (MW)
1	Zonguldak Eren (ZETES)	Zonguldak	Eren Enerji	İthak Kömür	2.790
2	Afşin Elbistan B Termik Santrali	Kahramanmaraş	EÜAŞ	Linyit	1.440
3	Afşin Elbistan A Termik Santrali	Kahramanmaraş	Çelikler Enerji	Linyit	1.355
4	Cenal Karabiga Termik Santrali	Çanakkale	Alarko Enerji	İthak Kömür	1.320

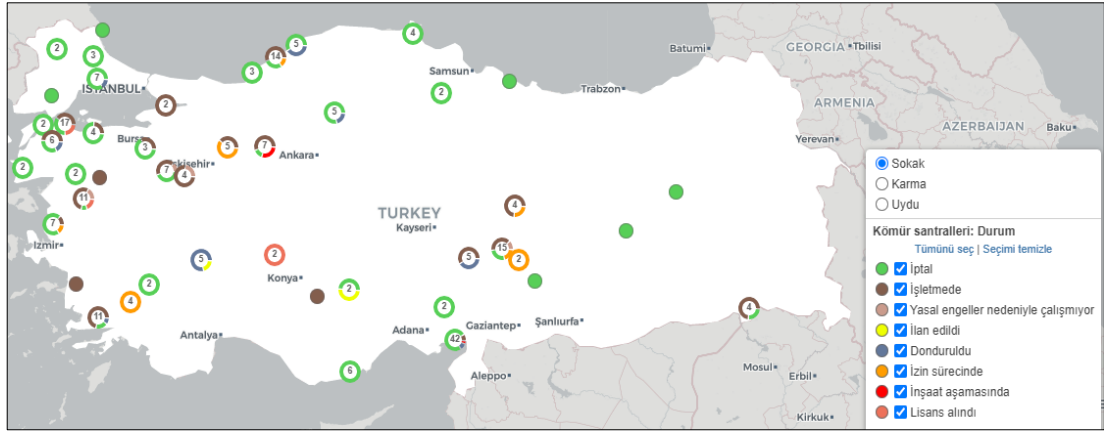
Çizelge 2.2 (devam). Türkiye’de devrede olan kömür yakıtlı termik santraller.

No	Santral Adı	İl	Firma	Yakıt	Güç (MW)
5	İSKEN Sugözü Termik Santrali	Adana	Steag Enerji	İthat Kömür	1.308
6	İskenderun Atlas Termik Santrali	Hatay	Diler Holding Enerji Grubu	İthat Kömür	1.260
7	İÇDAŞ Bekirli Termik Santrali	Çanakkale	İÇDAŞ Elektrik	İthat Kömür	1200
8	Soma B Termik Santrali	Manisa	Konya Şeker Enerji	Linyit	990
9	Kemerköy Termik Santrali	Muğla	Limak Enerji	Linyit	698
10	Yatağan Termik Santrali	Muğla	Aydem Enerji	Linyit	630
11	Çayırhan Termik Santrali	Ankara	EÜAŞ	Linyit	620
12	Seyitömer Termik Santrali	Kütahya	Çelikler Elektrik	Linyit	600
13	Soma Kolin Termik Santrali	Manisa	Kolin Enerji	Linyit	510
14	Kangal Termik Santrali	Sivas	Konya Şeker Enerji	Linyit	457
15	Tufanbeyli Termik Santrali	Adana	Enerjisa Elektrik	Linyit	450
16	Yeniköy Termik Santrali	Muğla	IC İçtaş Enerji	Linyit	420
17	İÇDAŞ Biga Termik Santrali	Çanakkale	İÇDAŞ Elektrik	İthat Kömür	405
18	Silopi Termik Santrali	Şırnak	Ciner Enerji	Asfaltit	405
19	İzdemir Enerji Aliğa Termik Santrali	İzmir	İzmir Demir Çelik	İthat Kömür	700
20	Tunçbilek Termik Santrali	Kütahya	Çelikler Enerji	Linyit	365
					330
21	Çan 2 Termik Santrali	Çanakkale	Odaş Enerji	Linyit	
22	18 Mart Çan Termik Santrali	Çanakkale	EÜAŞ	Linyit	320
23	Çatalağzı Termik Santrali	Zonguldak	Ayden Enerji	Taş Kömürü	315
24	Aksa Bolu Göynük Termik Santrali	Bolu	Aksa Enerji	Linyit	270
25	İskenderun Demir Çelik Termik Santrali	Hatay	OYAK	İthat Kömür	239
26	Orhaneli Termik Santrali	Bursa	Çelikler Enerji	Linyit	210
27	Çolakoğlu 2 Termik Santrali	Kocaeli	Çolakoğlu Metalurji	İthat Kömür	190
28	Yunus Emre Termik Santrali	Eskişehir	Naksan Enerji	Linyit	290
29	Aksa Akrilik Kimya Elektrik Santrali	Yalova	Aksa Akrilik Kimya	İthat Kömür	145
30	Kardemir Termik Santrali	Karabük	Kardemir A.Ş.		78
31	Polat Termik Santrali	Kütahya	Polat Elektrik Üretim	Linyit	51

Çizelge 2.2 (devam). Türkiye’de devrede olan kömür yakıtlı termik santraller.

No	Santral Adı	İl	Firma	Yakıt	Güç (MW)
32	Soma A Termik Santrali	Manisa	EÜAŞ		44
33	Albayrak Balıkesir Kojenerasyon Santrali	Balıkesir	Albayrak Turizm	İthas Kömür	40
34	Çumra Termik Santrali	Konya	Konya Şeker Enerji	Linyit, Doğalgaz	37
35	Eti Soda Kojenerasyon Santrali	Ankara	Ciner Enerji	Linyit	28
36	Konya Şeker Çumra Termik Santrali	Konya	Konya Şeker Enerji	Doğalgaz, Fuel oil	24
37	Konya Şeker Fabrikası Doğalgaz Santrali	Konya	Konya Şeker Enerji	Doğalgaz, Linyit, Fuel oil	19
38	Kahramanmaraş Kağıt Termik Santrali	Kahramanmaraş	Kahramanmaraş Kağıt	İthas Kömür	16
39	Ilgın Şeker Fabrikası Termik Santrali	Konya	Türkiye Şeker Fabrikaları	Linyit, Fuel oil	14
40	Turhal Şeker Fabrikası Termik Santrali	Tokat	Kayseri Şeker	Linyit, Fuel oil	14
41	Eti Alüminyum Termik Santrali	Konya	Cengiz Enerji	Linyit	13
42	Afyon Şeker Fabrikası Termik Santrali	Afyonkarahisar	Türkiye Şeker Fabrikaları	Linyit, Fuel oil	13
43	Adapazarı Şeker Fabrikası Santrali	Sakarya	Adapazarı Şeker Fabrikası	Linyit	10
44	Susurluk Şeker Fabrikası Termik Santrali	Balıkesir	Türkiye Şeker Fabrikaları	Linyit	9,60
45	Amasya Şeker Fabrikası Termik Santrali	Amasya	Amasya Şeker A.Ş.	Linyit	7,76
46	Kipaş Kağıt Fabrikası Kömür Santrali	Kahramanmaraş	Kipaş Holding	İthas Kömür	7,60
47	Kütahya Şeker Fabrikası Termik Santrali	Kütahya	Kütahya Şeker Fabrikası	Linyit	7,13
48	Petlas Lastik Enerji Santrali	Kırşehir	Petlas Lastik	Kömür, LPG, Doğalgaz	6,00
49	Yozgat Şeker Fabrikası Termik Santrali	Yozgat	Türkiye Şeker Fabrikaları	Linyit, Fuel oil	6,00
50	Aynes Gıda Termik Santrali	Denizli	Aynes Gıda	Linyit	5,50
51	Küçüker Tekstil Termik Santrali	Denizli	Küçüker Tekstil	Linyit	5,00
52	Çankırı Tuz Fabrikası Konejerasyon Santrali	Çankırı	Med-Mar Sağlık Saltı Tuz	Linyit	1,64
53	Göknur Gıda Termik Santrali	Niğde	Göknur Gıda	Kömür	1,55

Türkiye’deki termik santral potansiyelini gösterir harita ise Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Türkiye’deki termik santral potansiyeli (URL-10).

2.8 Termik Santrallerin Karbon Salınımına Etkisi

Türkiye, 07.10.2021 tarihinde Cumhurbaşkanlığı Kararı ile onaylanan Paris İklim Anlaşması'nı takiben sıfır karbon hedefini 2053 yılı olarak belirlemiştir. Bu hedef, doğal yutaklar ve teknolojik yutaklar aracılığıyla atmosfere salınan sera gazı miktarının eşitlenmesini amaçlar. Doğal yutaklar, örneğin ormanlar ve denizler gibi ekosistemler, karbon emisyonlarını emerek depolar. Teknolojik yutaklar ise karbon yakalama ve depolama teknolojilerini kullanarak sera gazlarını doğrudan atmosferden alıp depolarlar. Bu sayede sıfır karbon hedefi, Türkiye'nin mevcut doğal yutak kapasitesini göz önünde bulundurarak 2053 yılına kadar yıllık 80 milyon ton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonunu hedeflemektedir. Ancak, 2020 verilerine göre Türkiye'nin yıllık sera gazı emisyon seviyesi 523,9 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak kaydedilmiştir. Bu durumda, 2053 net-sıfır karbon hedefi oldukça iddialı ve zorlu bir hedef olarak öne çıkmaktadır. Bu hedefe ulaşmak için öncelikli olarak enerji üretim sektöründen kaynaklanan emisyonların ciddi oranda azaltılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, enerji verimliliğinin artırılması, karbon salınımını azaltan teknolojilerin kullanımının teşvik edilmesi gibi politika ve uygulamaların hayata geçirilmesi bu hedefe ulaşmada kritik öneme sahiptir. Ayrıca, sera gazı emisyonlarını azaltmak için toplumun ve endüstrinin de katkıları önemlidir. Eğitim, farkındalık oluşturma, yeşil teknolojilere yatırım ve sürdürülebilirlik ilkelerinin benimsenmesi gibi adımlarla hedeflenen sıfır karbon hedefi daha erişilebilir hale gelebilir. (URL-11).

2053 net-sıfır karbon hedefine ulaşılması için yapılacak çalışmaların en başında da daha fazla kömürlü termik santral tesis edilmesi ve işletilmesinin önüne geçilmesi gerekmektedir. Ancak, yeni kömürlü termik santrallerin yapılmaması tek başına yeterli olmayacağı için mevcutta işletilmekte olan kömürlü termik santrallerin de Ulusal ve Uluslararası Mevzuatlar çerçevesinde kontrol altında tutulması, teknoloji iyileştirmesi ve oluşan atıkların yeniden kullanılabilirliği başta olmak üzere tekrar değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

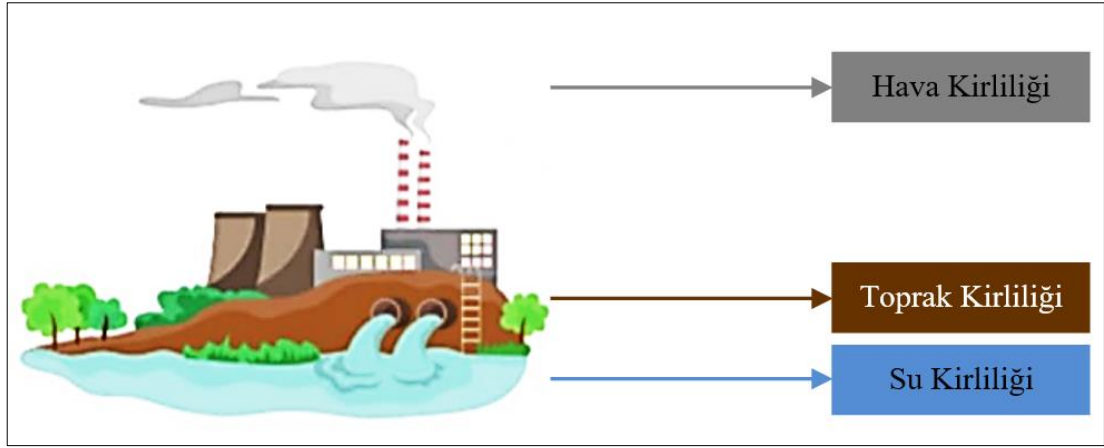
2.9 Termik Santral Faaliyetlerinin Sosyal ve Çevresel Etkileri

Enerji, sosyal ve ekonomik kalkınmanın en önemli göstergesidir. Sanayileşme, teknolojik gelişmeler, hızla artan nüfus ve bunlara bağlı olarak refah seviyesinin yükselmesi Türkiye’de ve dünyada enerjiye olan talebi artırmaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler sürekli ve devamlı olarak artan bir üretim bandının içerisinde olmak zorundadır. Buna bağlı olarak da enerjiye ve enerji üretimine olan ihtiyaç da her geçen gün artmaktadır.

Son yılların gözdesi haline gelen yenilenebilir enerji ile elektrik üretimi yani “YEKA Modeli” kapsamında olan güneş enerji santralleri ve rüzgar enerji santralleri ile hem kaynak kaybının önüne geçilmekte hem dışa bağımlılık olmamakta hem de çevresel açıdan bakıldığında diğer enerji üretim faaliyetlerine göre fayda sağlamaktadır.

Birçoğu devletten özelleşen fosil yakıtlı termik santrallerinde ise bahsedilen yenilenebilir enerji üretim tesislerinden farklı olarak daha da yakından kontrol altına alınması, çevresel etkilerinin en aza indirilmesi için yapılacak çalışmaların belirlenmesi ve teknolojik gelişmelere uygun hale getirilmesi gereklidir.

Termik santrallerin ana çevresel etkileri Şekil 2.7’de gösterilmiş olup alt başlıklarda açıklanmıştır.



Şekil 2.7. Termik santrallerin çevreye olan etkileri.

2.9.1 Fiziksel çevre üzerine etkiler

Termik santrallerin işletilmesi su, toprak ve hava kalitesi üzerinde birçok olumsuz etkiyi de beraberinde getirmektedir. Kullanılan yakıtlar ve bu yakıtların türüne bağlı olarak değişen miktarlarda kükürt dioksit (SO_2), karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), azot oksit türleri (NO_x), ozon (O_3), hidrokarbon türleri, partikül madde (PM) ve kül emisyonları havaya verilmektedir. Özellikle düşük kaliteli linyit kullanılan termik santrallerde bu tür çevresel kirleticilerin miktarı daha da artmaktadır. Bu kirleticiler özellikle faaliyetin gerçekleştiği bölgelerde hâkim rüzgâr yönü ve şiddetine bağlı olarak etkisini arttırabilmektedir (Atay, 2019). Ayrıca, oluşan baca gazı ve diğer gaz emisyonlarının atmosfere salınması ile birlikte sera gazı oluşumuna ve asit yağmurlarına sebebiyet vermektedir. Asit yağmurları sadece taş yapıtlar ve eski sanat eserleri gibi fiziksel unsurlar için değil aynı zamanda canlılar için de önemli bir tehlike oluşturmaktadırlar. Gelişmiş ülkelerde, enerji sektörü %90 oranında CO_2 emisyonuna ve toplam sera gazı emisyonlarının %75'ine neden olmaktadır. Bu emisyonların ana nedeni ise enerji santrallerindeki yakma prosesi ve rafinerilerdir (Jeon, 2009). Faaliyetin yürütüldüğü aşamada bu denli çevresel risk teşkil eden kömür yakıtlı termik santrallerde nihai üretim döngüsünün tamamlanması aşamasında ve sonrasındaki atık oluşumu ve bu atıkların yönetimi de çevresel olarak oldukça büyük bir sorun haline gelmektedir.

Termal santraller ile ilgili olarak ortaya çıkan diğer önemli bir çevre sorunuda su kirliliğidir. Buhar üretme, soğutma, temizleme gibi proseslerde önemli miktarlarda su kullanılmakta ve bu sular kullanılmadan önce çeşitli kimyasal işlemlerden

geçirilmektedir. Ayrıca proseslerden sonucu ortaya çıkan atıksuların sıcaklıkları da diğer önemli parametredir. Bu tür atıksuların alındıkları kaynaklara geri verilmeleri bu kaynaklarda kirliliğin artmasına neden olabilmektedir (Avcı, 2005). Su kirliliği konusunda diğer önemli bir nokta ise termik santrallerden çıkan kül, cüruf ve gazlar içerisinde yer alan arsenik (As), kadmiyum (Cd), baryum (Ba), kurşun (Pb), krom (Cr), selenyum (Se), çinko (Zn) ve cıva (Hg) gibi toksik iz elementlerin yağmur suları ile karışarak uygun koşulların olduğu durumunda yüzey suyu ve yeraltı suyu ile karışabilmeleridir. Bu durum hem toprakta, hem yüzey sularında hem de yeraltı sularında çevresel problemlere neden olabilmektedir (Karaca, 2019). Söz konusu uçucu küllerin ile ilgili diğer önemli bir noktada depolama alanına taşınması sırasında dağılma olmaması için uçucu küllerin nemlendirilmesidir. Bu işlem sonucunda kül barajlarında büyük hacimli atık su barajları oluşmaktadır ve küllerdeki iz elementlerin suya geçişinde pH önemli bir rol oynamaktadır (Atay, 2019).

Termik santral faaliyetleri çevresinde bulunan orman ve tarım alanlarına ait toprakların asitlenmesine, tarım ürünlerinde var olan verimin düşmesine, ürün gelişiminin yavaşlamasına, oluşan küllerin ve gazların havada asılı kalarak asit yağmurlarına sebep olmasına neden olmaktadır. Ayrıca, santral sahası ve çevresinde muhtemel zemin emniyeti riski, depremselliğe ilave yük ve sismik risk oluşturmaktadır.

2.9.2 Biyolojik çevre üzerine etkiler

Termik santrallerde yüksek sıcaklık derecesine sahip suların döngü sonrasında deşarj edilmesi ile birlikte bölgedeki mevcut flora ve vejetasyon sistemi ile karasal ve sucul fauna zarar görmektedir. Aynı zamanda, yüksek sıcaklık derecesine sahip suların toprak aracılığıyla yeraltı sularına karışması, akarsulara ve denize deşarj edilmesi de çevresel risk teşkil etmektedir.

Termik santrallerde kalitesiz linyit kömürünün yakılması çevre kirliliğine neden olmaktadır. Santral bacalarından salınan kükürt, azot ve karbondioksitler havada su buharı ile birleşerek asit yağmurlarına sebep olurlar. Atık olarak değerlendirilen uçucu küllerin birikmesi ise toprakta ve suda kirliliğe sebep olur (TKİ, 2011). Linyit kömürüyle çalışan termik santrallerde, kömürün yanması sonucu büyük miktarda kül

oluşmaktadır. Bu kül, içinde bulunan gazlarla birlikte atmosfere salınmakta ve bu gazlar, asit yağmurlarının oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, bu küller çökebilir ve toprak yüzeyini ve bitkileri kaplayabilir. Bu durumda, yağışlarla birlikte toprak altına sızabilirler ve toprak kalitesinde belirleyici olan özelliklerin bozulmasına neden olabilirler. Bu durum toprak verimliliğini olumsuz etkileyebilir ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir. Bu nedenle, linyit kömürüyle çalışan termik santrallerin çevresel etkilerini değerlendirirken bu kül oluşumunun da göz önünde bulundurulması önemlidir. (URL-12)

Afşin-Elbistan Termik Santrali bacalarından çıkan emisyonlar ile ilgili olarak etki alanı içerisindeki toprak yapısında fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine araştırmalar yapılmış ve bu amaçla 2 yıl boyunca, 4 ayrı dönemde, hakim rüzgar yönü dikkate alınarak termik santrale 30 km mesafeden ve civar köylerden toprak numuneleri alınmıştır. Örneklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra S, Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Pb, Ni ve F, üreaz, asit ve alkali fosfataz enzim aktiviteleri ile karbon dioksit çıkışı miktarları belirlenmiştir. Genel olarak hakim rüzgar yönünden alınan örneklerin iz element ve ağır metal içerikleri, çevre köylerden alınan örneklerle kıyasla yüksek bulunmuş, özellikle santralin etki alanında bu konsantrasyonlar oldukça artış göstermiştir (URL-12).

2.9.3 Sosyal yaşama etkiler

Termik santrallerin tesis edileceği alanlar için kamulaştırma ve yeniden yerleşim gibi işlemlerin yürütülmesi, mevcut altyapı ve ulaşım ağına ilave yük getirmesi, bölgedeki sağlık koşullarının etkilenmesi gibi etkileri mevcuttur. Ancak bunun yanı sıra büyük ve entegre yapılar olduğu için istihdama da olumlu etki sağlayabilmektedir.

Bir bölgede yapılması planlanan enerji tesisinin, tam verimde uzun yıllar çalışma kapasitesinin o tesisin teknolojik özellikleri yanı sıra bölgedeki yerel halka olan tutumuna ve yerel halkın tesisi kabul etme düzeyine bağlı olduğu düşünülmektedir. Yapılan araştırmalarda termik santrallerin yerel halkın yaşam bölgesine olan yakınlığı ve uzaklığının santrale ve santral çalışanlarına olan tutum ve davranışlarında belirleyici etkiye sahip olduğu görülmüştür (Uzun vd., 2018).

2.9.4 Ekonomik etkiler

Sanayi İnkılabı ile birlikte ortaya çıkan makineleşme, üretim süreçlerinde daha az insan gücü kullanarak daha fazla üretme yeteneği getirmiştir. Bu da enerji ihtiyacının ve bağımlılığının artmasına neden olmuştur. Üretim süreçlerinde makinelerin çalışması, ısıtma, aydınlatma gibi aşamalarda enerji gereksiniminin artmasıyla ülkelerin enerji üretimine yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Bu da ülkelerin gelişmişlik seviyelerini uzun yıllar boyunca ürettikleri ve tükettikleri enerji miktarına göre değerlendirme eğilimini güçlendirmiştir.

Sanayileşme sürecinde artan enerji ihtiyacının karşılanması genellikle kömür yakıtlı termik santrallerle gerçekleşmiştir. Kömürün ana yakıt olarak kullanıldığı bu santraller, gelişmiş batılı ülkelerde temel enerji kaynakları olarak önemli bir rol oynamıştır. Ancak, fosil yakıtlardan biri olan kömürün yanması sonucu atmosfere salınan karbondioksit gazının neden olduğu çevresel sorunlar, termik santrallere karşı eleştirel bir bakış açısının oluşmasına yol açmıştır. Özellikle İngiltere gibi sanayi devriminin başladığı ülkelerde, 1952 yılında yaşanan ve "öldüren sis" olarak adlandırılan çevre felaketi sonrasında, binlerce kişinin ölümü yaşanmıştır (Altıkat vd., 2011: 135). Bu tür olaylar, fosil yakıtların ve termik santrallerin çevresel etkileri konusunda toplumsal tepkileri artırmış ve alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır.

2.10 Termik Santral Etkilerinin Araştırılmasında Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Şengül (2002) çalışmasında, Kangal Termik Santralinden çıkan uçucu küllerin çevresel etkilerini ele almıştır. Liçlenmiş kül örneklerinde, atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak, (Li), (Na), (K), (Rb), (Ca), (Mg) ve (Sr) elementlerinin geçiş miktarlarını belirlemiştir. Kirletici seviyelerin kısa ve orta vadede tehlike oluşturmadığı belirlemiştir. Baba (2001), ise yaptığı çalışmasında Yatağan Termik Santral atık depolama sahasından kaynaklanan kirletici potansiyellerinin yeraltı sularına olan etkilerinin belirlenmesini ele almıştır. Bu bağlamda, atık depolama sahasından sızan sular ve depolama sahasının önündeki gözlemler kullanılarak, kirletici potansiyellerinin yeraltı sularına olan etkilerini incelemek için kuyulardan alınan su örnekleri kullanılmıştır. Yatağan 'Termik

Santrallerinden kaynaklanan kül ve cüruf, atık depolama sahasındaki suların pH'larının düşmesine bağlı olarak yeraltı sularını etkileyebilir. Çünkü pH değerleri düşerken çözülmüş madde konsantrasyonları artmaktadır. 1994'te bölgeden alınan su örneklerinde yapılan ağır metal analiz sonuçları, yeraltı suyu kirliliğini göstermemiştir. Ancak daha sonraki yıllarda, özellikle Cd ve Pb'nin içme suları için EPA (1993) tarafından önerilen sınır değerlerini aştığı bulunmuştur. Ek olarak, araştırma alanındaki yeraltı sularında SO_4 'ın miktarı, termik santral atıklarının etkisinin bir sonucu olarak artmıştır. Yatağan Termik Santrali'nde bulunan kül ve cüruflar, içerdikleri toksik iz elementler nedeniyle çevre için önemlidir. Kül ve cüruflar, toprak örtüsü ve yüzey sularının kirlenmesi nedeniyle yanlış ıra yoluyla yeraltı sularına ulaşması nedeniyle sağlık açısından tehlikelidir. Yeraltı sularının korunması için Yatağan Termik Santrallerin atıklarının ve kömür yakıtlı diğer termik santrallerin kül ve cüruflarının güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi çok önemlidir.

Özmen (2012), termik santrallerin denizden aldığı soğutma suyunu kullandıktan sonra türbinlenen buhar ısını soğutma suyuna aktardıktan sonra tekrar denize deşarj etmesi nedeniyle deniz suyunun kalitesindeki değişiklikleri fizikokimyasal ve biyolojik yönlerden incelemeye çalışmıştır. Bu amaçla ZETES Termik Santrali, Zonguldak il sınırları içinde sahilde bulunan, çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu termik santralin soğutma suyu tesislerinde, yaklaşık iki aylık periyotlarla iki farklı deniz suyu istasyonundan su numuneleri alınmıştır. Deney sonuçları, termik santrallerde kullanılan soğutma sularının, özellikle soğutma suyu olarak kullanılan kaynakta su sıcaklıklarını etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle, hidrotermal modelleme, termik santrallerin soğutma suyu sistemlerinin dizaynında çok önemli bir bileşendir.

Say (2006) tarafından yapılan araştırma, linyit yakmalı termik santrallerin Türkiye'deki enerji politikalarında hava kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmanın odak noktası, kükürtdioksit (SO_2) kirliliğini ve bu kirliliğin bölgesel dağılımını ve yoğunluğunu belirlemektir. Coğrafi Bilgi Sistemi [CBS] yazılımı, rüzgâr verisi, izoterm eğrileri, nüfus yoğunluğu ve topografik özellikler gibi çeşitli parametreler kullanılarak kirlotici difüzyon alanlarını haritalandırmıştır. Ayrıca, termik santrallerin Türkiye'nin enerji politikalarındaki rolünü ve SO_2 kirliliğindeki etkilerini araştırmıştır.

Jeon vd. (2010) tarafından yapılan çalışma Kore'de büyük bir sera gazı kaynağı olan termik santrallerin karbondioksit (CO₂) emisyonlarını ele almıştır. Araştırmacılar, antrasit, bitümlü ve düşük bitümlü kömür kullanan sekiz termik santralden kömür ve 28 bacadan CO₂ örnekleri alarak çalışmışlardır. Metanizer adlı bir cihaz, termik santrallerdeki karbondioksit konsantrasyonunu ölçmek için kullanılmıştır. Çalışmada, antrasit, bitümlü kömür ve düşük bitümlü kömür için CO₂ emisyon faktörleri sırasıyla 108,9 mg/kj, 88,4 mg/kj ve 97,9 mg/kj olarak belirlenmiştir. Bu değerler, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından belirlenen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, IPCC'nin değerlerine göre antrasit için emisyon faktörünün %10,8 daha yüksek, bitümlü kömür için %5,5 daha düşük ve düşük bitümlü kömür için ise %1,9 daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Şengül (1999), doktora tezinde, termik santraldeki atık depolama alanından depolanan uçucu küllerin fiziksel, kimyasal ve çevresel özelliklerini değerlendirmiş ve uçucu küldeki Se ve Sr elementleri konsantrasyonunun yerkabuğu ortalamasından daha yüksek olduğunu saptamıştır. Böylelikle uçucu küllerin orta ve uzun vadede çevresel açıdan çok büyük bir kirletici kaynağı olmadığı kanaatini belirtmiştir.

2.11 Termik Santrallerin Ulusal Çevre Mevzuatı Açısından Değerlendirilmesi

Termik santral faaliyetleri, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı – [ÇŞİDB] tarafından yayımlanan "Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği"nin EK-1 Listesi kapsamında değerlendirilmektedir. Bu yönetmelik, "Madde 2-Termik güç santralleri" başlığı altında Çevresel Etki Değerlendirme [ÇED] süreci yürütülmesine tabi projeleri belirlemektedir.

Ulusal Mevzuat kapsamında ilk olarak 1993 yılında yayımlanarak yürürlüğe giren Mülga ÇED Yönetmeliği ile birlikte çevresel açıdan değerlendirmeye alınmış olup ülkemizde kuruluşları daha eskiye dayanan (1993'ten önce) termik santrallerin ÇED Yönetmeliği hükümlerinden muaf olması, işletmenin takibi ve çevreye olan etkilerinin detaylı olarak irdelenememesine sebep olmuştur.

Ulusal mevzuat çerçevesinde, ÇŞİDB tarafından "ÇED Olumlu" kararı verilen projeler için inşaat çalışmalarına başlanması ve projenin işletmeye hazır şekilde tamamlanmasının ardından, yine aynı Bakanlık tarafından yayımlanan "Çevre İzin ve

Lisans Yönetmeliği" kapsamında iş ve işlemler yürütülmektedir. Bu yönetmelik, EK-1 Listesi "Madde 1-Enerji Endüstrisi" başlığı altında değerlendirilen projeleri içermektedir. İlave olarak, kömür yakıtlı termik santrallerde oluşan kazan altı külün (cüruf) düzenli depolanması halinde de bahsedilen Yönetmeliğin EK-1 Listesi "Madde 8.3.1 Atık düzenli depolama tesisleri" kapsamında değerlendirilmektedir.

Söz konusu termik santral faaliyetlerinin hava emisyonuna olan etkileri herkes tarafından bilinmekte olup bu faaliyetler (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği [SKHKKY], 2009) kapsamında Birinci Grup Tesisler olan Büyük Yakma Tesisleri olarak nitelendirilmektedir. Bu tesislerde Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemi [SEÖS] kurulması mevzuatta zorunlu kılınmıştır.

2.12 Termik Santral Faaliyetleri Sonucu Oluşan Atıklar

Termik santrallerde, üretim faaliyetleri başta olmak üzere; bakım-onarım çalışmaları, inşaat çalışmaları, personelden kaynaklı vb. birçok çeşit atık oluşmaktadır.

2.12.1 Kömürün yanması sonucu oluşan uçucu kül

Kömür yakan termik santrallerin 1920'li yıllarda enerji üretimine başlaması ile birlikte milyonlarca ton kül oluşturduğu görülmüştür (Ahmaruzzaman, 2010). Uçucu kül, kömür yakıtlı termik santrallerde elektrik enerjisi üretmek için pülverize kömürün yakılması sonucu oluşan yan ürünlerden biridir. Kömür, yanıcı organik maddeler ve inorganik mineral maddeler olmak üzere iki kısımdan oluşur. Pulverize kömür yakıldığında, kömürdeki organik bileşenler (karbon ve diğer yanıcı maddeler) yanar. Ancak kil, şeyl, kuvars ve feldispat gibi minerallerden oluşan inorganik mineral maddeler baca gazlarında asılı kalır. Askıda kalan yanıcı olmayan mineral maddelerin bazıları topaklanır ve daha iri parçacıklar oluşturur. Bu partiküller kazanın tabanına düşer ve taban külü olarak toplanır. Kalan kısım ise baca gazlarında bulunan ve çoğunlukla erimiş olan ince mineral maddelerden oluşur. Bu partiküller soğumak üzere baca gazları aracılığıyla daha düşük sıcaklıktaki bir bölgeye taşınır. Soğumuş ve katılaşmış partiküller camsı amorf kül partiküllerini oluşturur. Elektrostatik çökticiler, mekanik ayırıcılar veya torba evler kullanılarak kül partikülleri baca gazlarından ayrılır ve bir siloda uçucu kül olarak toplanır (Benscheidt vd., 2010; Joshi ve Lohtia, 1997; Ramachandran, 1996).

Dünya genelinde artan enerji ihtiyacı kömür tüketiminin de artmasına neden olmakta ve durum da berberde daha fazla uçucu oluşumuna yol açmaktadır. Dev yapılar olarak inşa edilen termik santrallerde yakılan kömür miktarı düşünüldüğünde buna karşılık oluşan kül miktarı da oldukça fazla olmaktadır. Dünyada yılda yaklaşık 750 milyon ton uçucu kül üretildiği ve bunun yaklaşık %25'inin çimento ve beton sektörü, tarım, seramik ve cam, toprak stabilizasyonu, madencilik uygulamaları ve yapısal dolgular gibi çeşitli kullanım alanları bulduğu tahmin edilmektedir. Kullanılmayan kapasite, geri dönüştürülmüş uçucu kül miktarının neredeyse 3 katıdır. Uçucu küller çoğunlukla kadmiyum, vanadyum, krom, arsenik, kurşun, çinko, nikel gibi farklı seviyelerde ağır metal konsantrasyonuna sahiptir ve bu da ciddi çevresel kaygılara yol açmaktadır. Büyük miktarda kullanılmayan uçucu kül atığı ya düzenli depolama alanına ya da okyanusa dökülmektedir. Bu hem ekolojik hem de ekonomik açıdan sorunlu bir durumdur çünkü uçucu kül toprakların, su rezervuarlarının, okyanusların kirlenmesi, hava kirliliği ve hatta insan vücudunda alerji gibi çevresel zararlara neden olabilir ve ayrıca depolama alanı ve nakliye için bir maliyet gerektirir (Blissett ve Rowson, 2012; Yao vd., 2013).

Kömürün yanması sonucu oluşan bu uçucu kül, doğrudan bir fayda sağlamadığı gibi ulusal Mevzuat gereği de atık olarak nitelendirildiğinden atık muamelesi gösterilerek bertarafı zorunludur. Kömürün yanması sonucu oluşan bu kül, hiçbir malzeme ile temas etmediğinden ulusal Mevzuat kapsamında “tehlikesiz atık” olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmaya konu uçucu kül atığının yürürlükte bulunan (Atık Yönetimi Yönetmeliği [AYY], 2015) EK-4 Listesinde (Değişik: RG-23/3/2017-30016) verilen tanımı Çizelge 2.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Kömürün yanması sonucu oluşan külün mevzuat kapsamındaki yeri (AYY, 2015).

Atık Kodu	Atık Kodu Tanımı
10	Isıl İşlemlerden Kaynaklanan Atıklar
10 01	Enerji Santrallerinden ve Diğer Yakma Tesislerinden Kaynaklanan Atıklar
10 01 02	Uçucu Kömür Külü

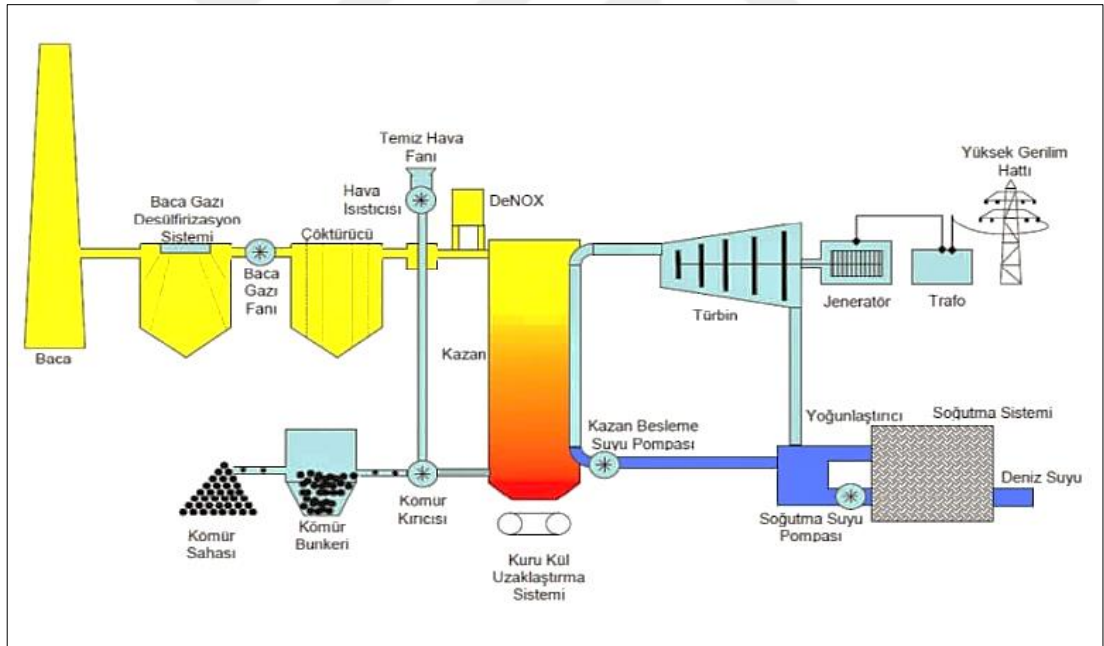
2.12.2 Uçucu külün depolanması esnasında oluşan atıksu

Kömürün yanması sonucu oluşan uçucu küllerin termik santrallerde belirlenen kül barajlarında düzenli depolanması esnasında toz emisyonunun indirgenmesi için hem ulusal Mevzuat açısından hem de yönetimi açısından günümüzde çok tercih edilmese

de “sulu depolama” yöntemi kullanılmaktadır. Bu depolama esnasında ulusal Mevzuat gereği belirli periyotlarda gözlem kuyularından numune alımları gerçekleştirilerek izlenmesi zorunlu olmaktadır.

Termik santral faaliyetleri esnasında oluşan kazan altı (uçucu) külü, su ile muhteva edilerek pompalar yardımıyla borulardan kül barajı denilen düzenli depolama sahasına basılmaktadır. Burada depolama neticesinde çökelen kül atığı ve dinlenmiş atıksu oluşmaktadır. Düzenli depolama sahasında dinlenik şekilde bulunan bu atıksuyun doğrudan kullanımı ve/veya deşarjı, halihazırda yürürlükte bulunan ulusal Kanun ve bu Kanunlara bağlı Yönetmeliklerdeki uygulama kriterlerine bağlı olduğu için mevcut durumda mevsimsel koşullar ile buharlaşması vb. etkenler haricinde etki edilememektedir.

Termik santral faaliyetlerinde tez çalışmasına konu uçucu kül ve soğutma suyunun olduğu bölümleri gösterir şematik akış şeması Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Termik santrallerde uçucu kül ve atıksu oluşumu.

2.13 Termik Santrallerde Bulunan Düzenli Depolama Sahaları

26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik” hükümlerine göre düzenli depolama tesisleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

- I. sınıf düzenli depolama tesisi: Tehlikeli atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.
- II. sınıf düzenli depolama tesisi: Belediye atıkları ile tehlikesiz atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.
- III. sınıf düzenli depolama tesisi: İnert atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.

2.14 Uçucu Kül Düzenli Depolama Sahalarının Kullanım Ömrü

Ana yakıt kaynağı kömür olan termik santrallerde, kömürün yakılması sonucu oluşan külün düzenli depolanması için tesis edilen düzenli depolama tesislerinde Ulusal Mevzuat gereği dolum kotu ve kül barajı hacmi belirlenmekte olup kullanım ömrü de buna bağlı olmaktadır.

Yakılan kömürün kalitesine bağlı olarak oluşacak kül miktarı değişiklik gösterse de tez çalışmalarına konu incelenen termik santralde kullanılan kömür miktarı ve kömür cinsine bağlı olarak yaklaşık 60 ton/saat kül atığı oluşmaktadır. Söz konusu termik santral 24 saat/gün faaliyet göstermekte olup yaklaşık olarak;

$$\begin{aligned}
 60 \text{ ton/saat} \times 24 \text{ saat/gün} &= 1.440 \text{ ton/gün} \\
 1.440 \text{ ton/gün} \times 30 \text{ gün/ay} &= 43.200 \text{ ton/ay} \\
 43.200 \text{ ton/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} &= 518.400 \text{ ton/yıl atık kül oluşmaktadır.}
 \end{aligned}$$

Tez çalışmalarına konu düzenli depolama sahası tabanı maksimum atık dolum kotu +100 m olup 10.000.000 m³ hacim kapasitesi bulunmaktadır. Oluşan külün birim hacim ağırlığı 1 ton/m³ (URL-13) olarak tespit edilmiştir.

Yıllık Oluşan Atık Kül Miktarı= 518.400 ton/yıl

$$\text{Atık Külün Yoğunluğu} = 1 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Atık Miktarı} = 518.400 \text{ m}^3/\text{yıl atık kül oluşmaktadır.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Saha Doluluk Oranı (\%)} &= 518.400 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 100 / 10.000.000 \text{ m}^3 \\
 &= \% 5,18
 \end{aligned}$$

Tam kapasite ve tek türbin ile çalışan kömür yakıtlı termik santralde yıllık ortalama 518.400 m³ atık kül oluşmaktadır. Yapılan hesaplamalarda da görüldüğü üzere her

yıl ortalama bu miktarda atık kül oluşumu ile düzenli depolama sahasının yılda % 5,18 oranında doluma ulaştığı görülmektedir. Maksimum atık dolun kotu +100 m olan 10.000.000 m³ hacim kapasiteli kül depolama sahasının bu koşullarda yaklaşık 18-20 yılda ömrünü tamamlayacağı görülmektedir. Ayrıca, depolamanın sulu yapılması ile birlikte bu süre daha da kısalmış olacaktır.

İşletme ömrü yaklaşık 30-35 yıl olarak tesis edilen termik santraller için depolama ömrü 18-20 yıl olan düzenli depolama sahalarının ne denli yetersiz olduğu ve bu atıkların azaltıma ve yeniden kullanıma yönelik değerlendirilmesi gerektiği açıkça görülmektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Analizlerde Kullanılan Metotlar ve Araç-Gereçler

Düzenli Depolama Tesisindeki atık sudan, Mevzuat kapsamında deşarj kriterlerinin belirlenebilmesi için sızıntı suyu numunesi alınmıştır. İlave olarak, aynı dönem içerisinde atıksu karakterizasyonu hakkında değerlendirme yapabilmek için yüzey suyu numunesi de alınarak gerekli analizler gerçekleştirilmiştir. Alınan numunelerin karakterizasyonunda kullanılan parametrelerin tayininde kullanılan metotlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Karakterizasyonunda kullanılan metotlar.

Parametre	Metot
Renk	TS EN ISO 7887, SM 2120 C
pH	TS EN ISO 10523
Askıda Katı Madde	TS EN 872
Çözülmüş Oksijen	ASTM D888
Toplam Kjeldahl Azotu	SM 4500 Norg B
Fosfat Fosforu	SM 4500-P E
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	SM 5220 B
Krom ⁺⁶	SM 3500-Cr B
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	SM 5210 B
Toplam Azot	SM 4500-NO2 – B, SM 4500 Norg B, EPA 352-1
Mangan	TS EN ISO 17294-1,2
Selenyum	TS EN ISO 17294-1,2
Toplam Siyanür	SM 4500 CN-C, SM 4500 CN-E
İletkenlik	TS 9748 EN 27888
Yağ Gres	TS 8312
Amonyum Azotu	SM 4500 NH3 B, SM 4500 NH3 F
Nitrat Azotu	EPA 352.1
Nitrit Azotu	SM 4500 NO2- B
Toplam Fosfor	TS EN ISO 15587-1,2, TS EN ISO 17294-1,2 SM 4500 P B, SM 4500 P E
Florür	SM 4500-F B, SM 4500-F D
Sülfür	SM 4500-S 2- D
Toplam Krom	
Kurşun	
Kadmiyum	TS EN ISO 15587-1,2
Demir	TS EN ISO 17294-1,2
Bakır	
Çinko	
Toplam Organik Karbon	TS 8195 EN 1484
Balık Biyodeneyi	SKKY Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği Ek-1

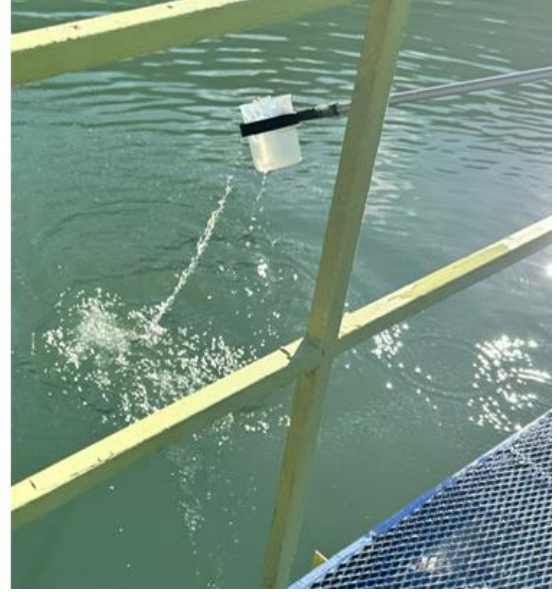
Atıksu analizlerinde renk parametresi için kullanılan SM 2120 C yöntemi doğal organik maddelerin sebep olduğu renk tayinlerinde kullanılmaktadır. Yüzey suyu, endüstriyel atıksu, içme suyu vb. sular için kullanılabilen standart bir metottur. pH

parametresi tayininde 2 saatlik kompozit numune alınarak anlık pH ölçümü gerçekleştirilmiştir ve HQ40d Multi marka, dijital ve iki kanallı pH metre kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Askıda katı madde (AKM) parametresi tayini için ISOLAB marka 50C0042 lot numaralı filtre kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Anlık pH ölçümü.

Analiz çalışmalarına konu atıksu numunesinden görünüm Şekil 3.2’de ve Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.2. Kül depolama sahası atık suyu numuneleri-I.



Şekil 3.3. Kül depolama sahası atık suyu numuneleri-II.

3.2 Analiz Sonuçlarının Mevzuat ile Karşılaştırılması

Tez çalışmalarına konu atıksuların karakterizasyonu, yeniden kullanılabilirliği ve bertarafına ilişkin değerlendirmeleri Ulusal Mevzuat ile karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiş olup yürürlükte bulunan (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği [SKKY], 2004) hükümleri (*Değişik: RG-12.05.2023-32188*) ve Ek listesinde verilen

denize deşarj standartları ve termik santrallerin alıcı ortama deşarj standartları esas alınarak değerlendirilmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Analizlerde Kullanılan Atık Suyun Karakteristik Özellikleri ve Ulusal Mevzuat ile Karşılaştırılması

Düzenli Depolama Tesisindeki atıksudan yüzey suyu ve sızıntı suyu olmak üzere 2 saatlik kompozit numuneler alınmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Numune sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ayrıca, depolanan atıksuyun deşarj standartlarını sağlayacak şekilde denize deşarj edilebilirliği ile ilgili olarak da SKKY Ek listesinde verilen denize deşarj standartları ve sınır değerleri ile değerlendirme yapılmıştır. Çalışmalarda ilgili Bakanlığın değerlendirmeleri kapsamında sızıntı suyu analiz sonuçlarının karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Yüzey suyu numunesi analiz sonuçları.

Parametre	Birim	Sonuç
Renk	(m ⁻¹)	436 nm:0 525 nm:0 620 nm:0
pH	-	9,97
Çözünmüş Oksijen	mg/L	7,33
Toplam Kjeldahl Azotu	mg/L	1,03
Fosfat Fosforu	mg/L	0,031
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/L	19,29
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/L	7,12
Toplam Azot	mg/L	1,03
Mangan	µg/L	21,03
Selenyum	µg/L	5,56
İletkenlik	µS/cm	596
Yağ Gres	mg/L	<10
Amonyum Azotu	mg/L	<0,02
Nitrat Azotu	mg/L	<0,1
Toplam Fosfor	mg/L	0,046
Florür	mg/L	1060
Sülfür	µg/L	<2

Çizelge 4.2. Sızıntı suyu numunesi analiz sonuçları.

Analiz Sonuçları			
Parametre	Birim	Sonuç	SKKY Sınır Değer
pH	-	11,40	6-9
İletkenlik	µS/cm	4286	-
Çözülmüş Oksijen	mg/L	8,26	-
Askıda Katı Madde	mg/L	56,32	150
Renk	Pt-Co	<5	-
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/L	16,8	50
Yağ Gres	mg/L	<10	20
Amonyum Azotu	mg/L	0,108	-
Nitrit Azotu	mg/L	0,052	-
Krom ⁺⁶	mg/L	<0,02	-
Nitrat Azotu	mg/L	0,571	-
Toplam Kjeldahl Azotu	mg/L	1,327	-
Toplam Fosfor	mg/L	0,414	8
Toplam Siyanür	mg/L	<0,005	0,5
Florür	mg/L	0,975	-
Balık Biyodeneyi	-	<10	-
Toplam Krom	mg/L	0,564	-
Kurşun	mg/L	<0,001	-
Kadmiyum	mg/L	<0,0002	-
Demir	mg/L	1,73	-
Bakır	mg/L	0,030	-
Çinko	mg/L	0,052	-
Toplam Organik Karbon	mg/L	3,84	-

SKKY'nin Ek listesinde Tablo-2'de yer alan deniz deşarjına izin verilebilecek endüstriyel atıksuların özellikleri tanımlanmış ve Çizelge 4.3'te verilmiştir. Yönetmeliğin Ek listesinde Tablo-9.3'te yer alan ilgili sektör termik santraller için diğer deşarj standartları ise Çizelge 4.4'te verilmiştir.

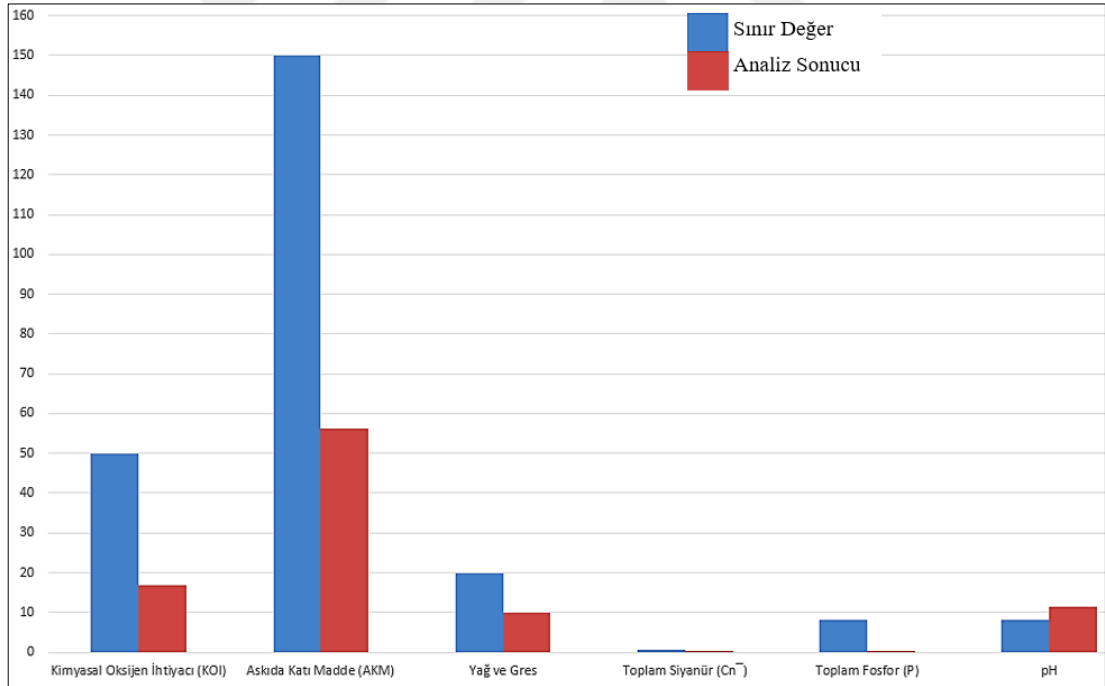
Çizelge 4.3. Deniz deşarjına izin verilebilecek endüstriyel atıksuların özellikleri (SKKY, 2004).

Parametre	Limit
Sıcaklık	Deniz ortamının seyreltme kapasitesi ne olursa olsun, denize deşarj edilecek suların sıcaklığı 35 °C yi aşamaz. Atıksu deşarjları, difüzörlerin bulunduğu deşarj noktası referans kabul edilerek deniz yüzeyinde 75 metre yarıçaplı alan sınırında (ilk seyrelme bölgesi sınırı olarak kabul edilerek) deniz suyunun sıcaklığını, Haziran-Eylül aylarını kapsayan yaz döneminde 1 °C'den, diğer aylarda ise 2 °C' den fazla değiştiremez. Ancak, deniz suyu sıcaklığının 28 °C'nin üzerinde olduğu durumlarda, alıcı ortam sıcaklığını 3 °C'den fazla değiştirmeyecek şekilde deşarja izin verilebilir.
Tuzluluk	Konsantre tuzlu suların DDD uygulamasında tuzluluk artış değeri; difüzörlerin bulunduğu deşarj noktası referans kabul edilerek deniz yüzeyinde 75 metre yarıçaplı alan sınırında (ilk seyrelme bölgesi sınırı olarak kabul edilerek) hassas deniz alanlarında binde 2 (2 ppt), diğer deniz alanlarında ise binde 3 (3 ppt)'ü aşmaz.
pH	6-9
Diğer Parametreler	İlgili sektör tablolarında yer alan limit değerlere uyulacaktır.

Çizelge 4.4. Termik santral alıcı ortam deşarj standartları (SKKY, 2004).

Parametre	Birim	2 Saatlik Kompozit Numune
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	50
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	150
Yağ ve Gres	mg/L	20
Toplam Siyanür (Cn ⁻)	mg/L	0,5
Toplam Fosfor (P)	mg/L	8
Sıcaklık	°C	35
pH	-	6-9

Sızıntı suyu numunesinden alınan analiz sonuçlarının SKKY'nin Ek listesinde Tablo-2'de ve Tablo-9.3'te yer alan deşarj sınır değerleri ile karşılaştırılmasına bakıldığında, yalnızca pH değerinin deşarj standardını sağlamadığı görülmüştür. Buna ilave olarak; pH dışındaki diğer parametre değerlerinin ise Yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin oldukça altında kaldığı görülmektedir. Analiz sonuçlarına ait kıyaslamanın grafiksel gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Analiz sonuçlarının sınır değerler ile karşılaştırılması.

4.2 Atıksuyun Yeniden Kullanımı ve Bertarafına İlişkin Değerlendirme

Tez çalışmalarına konu atıksuyun analiz sonuçlarına bakıldığında hiçbir arıtma işlemi uygulanmadan da Mevzuatta belirtilen sınır değerlerin birçoğunu sağladığı

görülmektedir. Ölçülen parametrelerden deşarj standardına uygun olmayan pH parametresinin deşarj kriterlerinin sağlanması için fosforik asit, nitrik asit, sülfürik asit gibi asitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların seçimi doğru yapıldığı takdirde; kurulumu ve kontrolü kolay bir arıtma tesisi ile güvenli ve ekonomik şekilde atıksuyun yönetimi sağlanabilecektir.

Atıksu deşarjına ilişkin çalışmalar için Ulusal Mevzuat kapsamında ilgili kurumun hakları saklı kalmak kaydıyla bu şekilde deşarjın mümkün olması halinde Düzenli Depolama sahası ömrünün de uzayacağı aşıkardır.

Termik santrallerde, soğutma suyu olarak kullanılan ve denizden temin edilen suyun tamamının olmasa da bir kısmının bu atıksudan kullanılması ile de; hem denizden daha az su kullanımı ile doğal kaynakların daha az tüketilmesi sağlanacak hem de kül depolama sahasında depolanan atıksuyun yeniden kullanımı sağlanmış olacaktır.

Ayrıca bu sular endüstriyel nitelikte olduğu için “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” hükümleri kapsamında değerlendirilememekte ve insani tüketim amacıyla kullanılamamaktadır.

4.3 Termik Santrallerdeki Uçucu Külün Özellikleri

Termik santralde kömürün yanması sonucu oluşan ve Düzenli Depolama Sahasında depolanan uçucu külün görünüşleri Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kül depolama sahası uçucu kül görünüşleri.

Kömürün yanması sonucu oluşan uçucu külün parçacık boyutu, kömürün bileşimi, homojenliği, pulverizasyon derecesi, yakılma sıcaklığı vb. nedenlere bağlı olarak değişmektedir (Acı, 2003; Tangüler, 2015). Uçucu külün renkleri açık gri, koyu gri veya siyah olabilmektedir. Külün rengi kömüre ve yanma özelliğine bağlıdır. İyi yanan kömürün külü daha açık renktedir. Uçucu küller genellikle alkali özelliktedir. Boyutları 0,2- 200 µm aralığında olup, küresel, camsı, düzensiz ya da köşeli taneciklerden oluşur. Ayrıca, uçucu küller geniş bir alanda birçok küçük küreyi içerebilir. Uçucu küllerin özgül ağırlığı 1,9 ile 2,8 g/cm³ arasında değişmektedir (Ay, 2022).

Uçucu külün kimyasal bileşenleri kömür içeriğinde bulunan mineraller ile doğrudan ilişkilidir (Benscheidt vd., 2010). Kömürde bulunan kil mineralleri ve kuvars uçucu küldeki silis içeriğinin asıl nedenidir. Uçucu küldeki kalsiyum oksit içeriği kömürde bulunan CaCO₃ ve CaSO₄'tan gelir. Alüminyum içeriği ise kil minerallerinden ve nadiren de olsa kömürde bulunan organik bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Demir oksit, kömürdeki demir içeren minerallerden gelmektedir. SO₃ bulunmasının sebebi ise kömürdeki alçıtaşıdan kaynaklanmaktadır. Karbon içeriğinin sebebi ise kömürün tam yanmaması ve su barındırmasıdır (Acı, 2003; Tangüler, 2015). Uçucu küllerde bulunan mineraller Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Uçucu küllerde bulunan mineraller (Smith, 1999).

Mineral
Kuvars
Mullit
Manyetit
Hematit
Anhidrit
Kireç
Periklaz
Trikalsiyum Alüminat
Melilit
Mervinit
Ferrit Spinel

4.4 Uçucu Külün Yeniden Kullanımı ve Bertarafına İlişkin Değerlendirme

Kömürün yakılması sonucu açığa çıkan uçucu külün beton üretiminde alternatif hammadde olarak kullanılması son dönemlerde oldukça yaygınlaşan çalışmalardan birisidir. Yapılan bir araştırmada, taze beton içeriğinde uçucu kül kullanılmadan ve uçucu kül kullanılarak numuneler hazırlanmış ve malzemeler karşılaştırılmıştır. Buna

göre %20 uçucu kül içeren betonda uçucu kül içermeyen betona göre kıvam alma süresinin %7 azaldığı görülmüştür. Uçucu kül içeriğinin artması ile beton basınç dayanımında azalma olduğu ve daha geç sürede dayanım kazanıldığı anlaşılmıştır. Ayrıca, uçucu kül içermeyen betonlarda hava boşluğunun değişim oranlarının yüksek ve düzensiz olduğu saptanmıştır. Çökme miktarına bakıldığında ise çok büyük bir fark gözlemlenmemiştir (Topçu vd., 2001).

Bu kapsamda, uçucu külün beton üretiminde alternatif hammadde olarak kullanılabileceği ve kapalı yapılarda, mevsimsel koşullardan en az etkilenecek şekilde kullanıldığında olumlu sonuç vereceği düşünülmektedir. Böylece, hem depolama sahasına giden atık miktarı azaltılacak, hem de ekonomik olarak üretim devamlılığı sağlanabilecektir.

Bir başka araştırmaya göre, gübresiz toprağa farklı gramajlarda karıştırılan odun külü ve kömür küllerinin bitki gelişimine olan etkileri araştırılmıştır. 16 günlük saksı denemesi sonucunda kömür külünün bitki gelişiminde odun külüne göre daha iyi performans gösterdiği ve bitki boylarının uzadığı görülmüştür (URL-14).

Uçucu külün tarım toprağında gübre olarak kullanılıp kullanılmayacağına yönelik yapılan bir araştırmada, iki farklı toprak farklı oranlarda linyit kömürü külüne maruz bırakılmıştır. Çalışmalar neticesinde %5 oranında uçucu kül verilen toprakta azot, organik madde, manganez, demir, magnezyum, kalsiyum ve çinko, gibi faydalı elementlerin arttığı görülmüştür. Ayrıca, uçucu külün pH'ını arttırdığı, yüksek pH'lı toprağa ise zarar vermediği ortaya konmuştur. Topraklarda mevcut yönetmeliklere göre nikel, çinko, kadmiyum, kurşun, cıva, krom, kalay, bakır gibi kirletici maddelere ilişkin herhangi bir belirti görülmemiştir (URL-9).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, termik santral faaliyetlerinde ana yakıt olan kömürün yanması sonucu oluşan uçucu külün yeniden kullanılabilirliği ve uçucu külün depolanması ile oluşan atıksuyun da karakteristik özelliklerinin belirlenerek yeniden kullanılabilmesi veya deşarj standartlarına uygunluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

İlk olarak halihazırda faaliyetlerini sürdürmekte olan termik santralin Düzenli Depolama Tesisindeki atıksudan yüzey suyu ve sızıntı suyu olmak üzere 2 saatlik kompozit numuneler alınmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, depolanan atıksuyun deşarj standartlarını sağlayacak şekilde denize deşarj edilebilirliği ile ilgili olarak da SKKY Ek listesinde verilen denize deşarj standartları ve sınır değerleri ile değerlendirme yapılmıştır. Çalışmalarda ilgili Bakanlığın değerlendirmeleri kapsamında sızıntı suyu analiz sonuçlarının karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

Sızıntı suyu numunesinden alınan analiz sonuçlarının SKKY'nin Ek listesinde Tablo-2'de ve Tablo-9.3'te yer alan deşarj sınır değerleri ile karşılaştırılmasına bakıldığında, yalnızca pH değerinin deşarj standardını sağlamadığı görülmüştür. Buna ilave olarak; pH dışındaki diğer parametre değerlerinin ise Yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin oldukça altında kaldığı görülmüştür.

Tez çalışmalarına konu atıksuyun analiz sonuçlarına bakıldığında hiçbir arıtma işlemi uygulanmadan da Mevzuatta belirtilen sınır değerlerin birçoğunu sağladığı görülmüştür. Ölçülen parametrelerden deşarj standardına uygun olmayan pH parametresinin deşarj kriterlerinin sağlanması için fosforik asit, nitrik asit, sülfürik asit gibi asitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların seçimi doğru yapıldığı takdirde; kurulumu ve kontrolü kolay bir arıtma tesisi ile güvenli ve ekonomik şekilde atıksuyun yönetimi sağlanabilecektir. Böylece atıksu deşarjına ilişkin Ulusal Mevzuat da gözetilerek yapılacak çalışmalarda, deşarjın mümkün olması halinde Düzenli Depolama sahası ömrü de uzatılmış olacaktır.

Termik santrallerde, denizden temin edilen ve proseste soğutma suyu olarak kullanılan suyun da bir kısmının bu atıksudan kullanılmasının değerlendirilmesi halinde de hem denizden daha az su kullanımı olacak, doğal kaynakların daha az tüketilmesi sağlanacak hem de kül depolama sahasında depolanan atıksuyun yeniden

kullanımı sağlanmış olacaktır. Tez çalışmalarına konu atıksular endüstriyel nitelikte olduğu için “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” hükümleri kapsamında değerlendirilememekte ve insani tüketim amacıyla kullanılamamaktadır.

Kömürün yakılması sonucu açığa çıkan uçucu külün günümüzde birçok çalışmada kullanıldığı ve kullanılmaya devam etmesi için de araştırmaların sürdüğu görölmektedir. Yapılan araştırmalarda uçucu külün imento fabrikalarında beton üretiminde kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Uçucu külün katkı malzemesi olarak kapalı yapılarda, mevsimsel koşullardan en az etkilenecek şekilde kullanıldığında olumlu sonuç vereceği düşünölmektedir. Böylece, hem depolama sahasına giden atık miktarı azaltılacak, hem de ekonomik olarak üretim devamlılığı sağlanabilecektir.

Bir diğer çalışmalara göre de uçucu külün tarım toprağına ve bitki gelişimine etkileri araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarında kömür külünün bitki gelişiminde odun külüne göre daha iyi performans gösterdiği ve bitki boylarının uzadığı görölmüştür. Uçucu kömür külünün bitki gelişimine etkileri ve tarımsal faaliyetlerde kullanılıp kullanılamayacağı konularının daha detaylı araştırılması gerektiği düşünölmektedir.

Uçucu külün tarım toprağında gübre olarak kullanılıp kullanılamayacağına yönelik yapılan bir araştırmada neticesinde %5 oranında uçucu kül verilen toprakta azot, organik madde, manganez, demir, magnezyum, kalsiyum ve çinko, gibi faydalı elementlerin arttığı görölmüştür. Ayrıca, uçucu külün pH'ını arttırdığı, yüksek pH'lı toprağa ise zarar vermediği ortaya konmuştur.

Söz konusu çalışmalar neticesinde; uçucu kül atığının ve atıksuyun yeniden kullanımının gayet mümkün göröldüğu, düzenli depolama ile ekonomik külfet ve büyük alan kayıplarının önüne geçileceği, ölkemizin geleceği için atık yönetiminin en doğru şekilde yapılmasına katkı sağlanacağı, atığın kaynağında azaltılacağı ve doğal kaynak kullanımının azalacağı görölmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmaruzzaman, M., 2010. "A review on the utilization of fly ash." Progress in Energy and Combustion Science, 36, 3, 327-363.
- Aktaş, E. ve Alioğlu, O., 2012. Türkiye’de enerji sektörü analizi: Marmara bölgesi termik santraller örneği, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 21, 1, 281-297.
- Alkaya, D., 2009. Uçucu Küllerin Zemin İyileştirmesinde Kullanılmasının İncelenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5, 1, 61-72.
- Altıkat, A., Ekmekyapar Torun, F. ve Turan Bayram, T., 2011. Küresel Kirlilik: Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye’de Hava Kirliliği Örneği, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27, 2, 134-149.
- Aruoba, Ç. ve Alpar, C., 1992. Türkiye Ekonomisi Sektörel Gelişmeler, Özyurt Matbaacılık, Ankara.
- Aslan, B., 1996. Kömüre Dayalı Termik Elektrik Santrallerinde Verim ve Kapasite Kullanım Oranı Düşüklüğünün Nedenleri ve Bunların Yükseltilmeleri İçin Alınması Gerekli Tedbirler, TMMOB 1. Enerji Sempozyumu, Ankara, Bildiriler Kitabı, 148 – 149.
- Atay, B., 2019. Termik Santrallerin Çevreye Negatif Etkisi ve Alınabilecek Önlemlerin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Avcı, S., 2005. Türkiye’de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri, Coğrafya Dergisi; Sayı 13.
- Ay, D., 2022. Çanakkale İli Termik Santrallerinin Uçucu Kül Karakterizasyonunun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale.
- Aybar, E. N., Saral, R., ve Fikret, H., 1986. Türkiye’nin Bugünü ve Gelecekteki Enerji Durumu, İzmir.
- Baba, A., 2001. Yatağan (Muğla) Termik Santrali, Atık Depolama Sahasının Yeraltı Sularına Etkisi, Jeoloji Mühendisliği, 25-2.
- Benscheidt, N., Vom Berg, W., Feuerborn, H.-J., Heinz, D., Hohberg, I., Hugot, A., Lutze, D., Mengede, M., Pierkes, R., Schneider, E., ve Wiens, U., 2010.
- Bilim, N., 2016. Türkiye’nin Elektrik Enerjisi Üretimindeki Dışa Bağımlılığın Azaltılması İçin Uygulanması Gereken Politikalar, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4-2, 145-154.
- Blissett, R. S., ve Rowson, N. A., 2012. A review of the multi-component utilisation of coal fly ash, 97, 1-23.

- Cengel, Y.A. ve Boles, M.A., 2007. Thermodynamics: An Engineering Approach, 6th Edition (SI Units), The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- ÇŞİDB, 2016. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Sektörel Atık Kılavuzları-Termik Santraller, “Endüstriyel Atıkların Sektörel Yönetimi Kapsamında Atık Üretim Faktörlerinin Belirlenmesi ve Sektör Kılavuzlarının Hazırlaması”, Proje Yöneticisi: Prof. Dr. Ülkü Yetiş, ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Dünya Enerji Komisyonu, 1996. Yarının Dünyası İçin Enerji, Çev: Mustafa Parlar, DEK Türk Milli Komitesi Yayını, Ankara.
- Flavin, C., Lenssen, N., 1994. Enerjide Arayışlar, Çeviren: Yaman Köseoğlu Tema Vakfı, Yayın No: 12.
- Flues, M., Sato, I.M., Scapin, M.A., Cotrim, M.E.B., ve Camargo, I.M.C., 2013. Toxic elements mobility in coal and ashes of Figueira coal power plant, Brazil, Fuel, 103, 430-436.
- Global Energy Monitor., 2022. Kömür 2022 Raporu: Kömür '22'de Patlama ve Düşüş: Küresel Kömür Santrali Boru Hattının Takibi.
- Güldan G., 2010. Zonguldak Taşkömürünün Kuru Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 108.
- Heper, Y., 1979, Buhar Santralleri Teorisi ve Uygulaması, Ankara.
- Jeon, E. C., Myeong, S., Sa, J. W., Kim, J., ve Jeong, J. H., 2010. Greenhouse gas emission factor development for coal-fired power plants in Korea, Applied Energy, 87-1, 205-210.
- Jeon, E. C., Myeong, S., Sa, j., Kim, J., Jeong, J., 2009. Greenhouse Gas Emission Factor Development for Coal-fired Power Plants in Korea, Applied Energy, 87, 205-210.
- Jones, K.B., Ruppert L.F. ve Swanson, S. M., 2012. Leaching of elements from bottom ash, economizer fly ash, and fly ash from two coal-fired power plants, International Journal of Coal Geology, 94, 337–348.
- Joshi, R. C., ve Lohtia, R. P., 1997. Fly Ash in Concrete: Production, Properties and Uses, Amsterdam, Overseas Publishers Association.
- Kaplan, G., Gültekin, A.B., 2010. Yapı Sektöründe Uçucu Kül Kullanımının Çevresel ve Toplumsal Etkiler Açısından İncelenmesi, International Sustainable Buildings Symposium, Ankara.
- Karaca, Z., 2019. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

- Kemal, M., Önal, G., Ateşok, G., 1991, Linyit Kömürü Değerlendirilmesi ve Kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri, Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, YMGV, 270- 282.
- Koç, E. ve Kaya, K., 2015. “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu”, Mühendis ve Makina, 56-668, 36-47.
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, D. H., Avcı, D. E., 2005. Türkiye’de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması, III. Ulusal Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin.
- Mutluer, M., 1990. Gelişimi, Yapısı ve Sorunlarıyla Türkiye’de Enerji Sektörü, Ege Coğrafya Dergisi, 5-1, 184-214.
- Özmen, E., 2012. Termik Santral Soğutma Sularının Deniz Suyu Kalitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pamir, N., 2005. Enerji politikalar ve küresel gelişmeler, Stratejik Analiz, 6-68, 57-73.
- Ramachandran, V. S., 1996. Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science, and Technology . Park Ridge, New Jersey: Noyes Publications.
- Say, N. P., 2006. Lignite-fired thermal power plants and SO₂ pollution in Turkey, Energy policy, 34-17, 2690-2701.
- Schweinfurth, S. P., 2003. Coal-a Complex Natural Resource: An Overview of Factors Affecting Coal Quality and Use in the United States, 1143. Washington: US Department of the Interior.
- Şengül, Ü., 2002. Kangal Termik Santralinde Uçucu Kül Atımının Çevresel Etkileri, Çev-Kor, 11, 44, 21-24.
- T.C. Resmi Gazete, Atık Yönetimi Yönetmeliği (29115), 10.09.2014.
- T.C. Resmi Gazete, Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği (29314), 02.04.2015.
- T.C. Resmi Gazete, Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği (31907),29.07.2022.
- T.C. Resmi Gazete, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (25687), 31.12.2004.
- Tangüler, M., Meral, Ç., ve Aslam, I., 2014. Early-Age Performance of Binary Fly Ash- Portland Cement Blends. In Eurasia 2014 Waste Management Symposium, 28-30 April, İstanbul, Türkiye.
- Tokay, M., ve Erdoğan, K., 1998. Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu, Ankara, TÇMB / AR-GE / 98, 3.

- Uzun, A., Arslan, F., 2018. Termik Santral Projelerinin Sosyal Kabul Boyutu: Paşaköy (Balıkesir) Termik Santral Örneği, Balıkesir.
- Üçışık Erbilen, S., Şahin, G., 2015. Enerji Coğrafyası Kapsamında Türkiye’de Linyit, Doğu Coğrafya Dergisi, 20-33, 135-160.
- Yao, Z. T., Xia, M. S., Sarker, P. K., ve Chen, T., 2013. A review of the alumina recovery from coal fly ash, with a focus in China, Fuel, 120, 74-85.
- Yüksel, İ., Özkan, Ö., Bilir, T., 2006. Use of Granulated Blast Furnace Slag in Concrete as Fine Aggregate, ACI Materials Journal, 103, 3, 203-208.
- URL-1 < <https://repository.bilkent.edu.tr/> >, Erişim tarihi: 10.05.2024.
- URL-2 < <https://www.emo.org.tr/> >, Erişim tarihi: 17.02.2024.
- URL-3 < <https://www.electricistanbul.com/> >, Erişim tarihi: 08.08.2024.
- URL-4 < <https://www.thesisat.org/kazanlar/> >, Erişim tarihi: 17.05.2024.
- URL-5 < <https://dunyaisi.com/urunler/kondenser-ve-evaporator> >, Erişim tarihi: 30.05.2024.
- URL-6 < <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/termik-santral/4007/> >, Erişim tarihi: 11.08.2024.
- URL-7 < <https://enerji.gov.tr/> >, Erişim tarihi: 17.02.2024.
- URL-8 < <https://www.iklimhaber.org/> >, Erişim tarihi: 10.02.2024.
- URL-9 < <https://www.iea.org/> >, Erişim tarihi: 10.05.2024.
- URL-10 < <https://www.enerjiatlası.com/komur/> >, Erişim tarihi: 20.12.2023.
- URL-11 < <https://www.sefia.org/> >, Erişim tarihi: 23.12.2023.
- URL-12 < https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/duyurular/dilerelbistan_ced_raporu_-20180131131430.pdf >, Erişim tarihi: 20.03.2024.
- URL-13 < https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f7deb880ca6b4b7_ek.pdf >, Erişim tarihi: 11.08.2024.
- URL-14 < <https://www.eia.gov/outlooks/steo/archives/sep04.pdf> >, Erişim tarihi: 20.04.2024.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Aslı ÖZSOY

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
2012-2017

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Çevre Müh. Anabilim Dalı,
2021-2024

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. T.C. Sağlık Bakanlığı Yaz Stajı
2. T.C. Vakıf Bank Genel Müdürlüğü Yaz Stajı
3. ASKİ Genel Müdürlüğü Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi Yaz Stajı
4. T.C. Çankaya Belediyesi Yaz Stajı
5. Boyut Çevre ve İş Güvenliği Dan. Müh. İnş. ve Tic. LTD. ŞTİ. (2017- 2018)
6. Çevre Boyut Dan. İş Güvenliği Müh. İnş. ve Tic. LTD. ŞTİ. (2018-2021)
7. Çınar Müh. Müş. A.Ş. (2021-Devam Ediyor)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. ZEUGMA 12. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi