

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KÖMÜR İLE ÇALIŞAN TERMİK SANTRALLERİN LCA ANALİZİ İLE KAZAN
TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZ KAAN POLAT

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. HASAN YAMIK

BİLECİK, 2024
10615494

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KÖMÜR İLE ÇALIŞAN TERMİK SANTRALLERİN LCA ANALİZİ İLE KAZAN
TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZ KAAN POLAT

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. HASAN YAMIK

BİLECİK, 2024

10615494

BEYAN

“Kömür İle Çalışan Termik Santrallerin LCA Analizi İle Kazan Teknolojilerinin Karşılaştırılması ” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığımı, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR	<input type="checkbox"/>	DESTEK ALINMAMIŞTIR	<input checked="" type="checkbox"/>
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Destegin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....	

Oğuz Kaan POLAT

..../..../2024

İmza

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden, benimle ilgilenen, destekleriyle yol gösteren değerli bilgilerini benimle paylaşmasıyla birlikte, desteğini her zaman hissettiren ve iyi ki varlar dediğim başta aileme ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan YAMIK'a, ayrıca tezimin önemli kısmı olan LCA yaşam döngüsü envanter analizi kısmında, analiz konusunda çok büyük destek olan Gülşah UZUN'a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Oğuz Kaan POLAT

2024



ÖZET

KÖMÜR İLE ÇALIŞAN TERMİK SANTRALLERİN LCA ANALİZİ İLE KAZAN TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada kömürle çalışan termik santrallerin çevresel etkileri yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemiyle belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Mevcut durum olarak pulverize subkritik kazan teknolojisi kullanılan kömür santralleri ele alınmış olup alternatif teknoloji olarak pulverize süperkritik, pulverize ultra süperkritik ve akışkan yatak kazan teknolojileri değerlendirilmiştir. Bu teknolojiler karşılaştırılarak yaşam döngüsü değerlendirmesinin kategoriler üzerinde etkisi incelenmiştir. Karşılaştırma, SimaPro 9.1 yazılımı kullanılarak ReCiPe 2016 Midpoint (H) metodu ile yapılmıştır. Karakterizasyon kategorilerinde; tatlı su ötrofikasyonu potansiyeli ve fosil kaynak tüketim potansiyeli dışında tüm etki kategorileri açısından akışkan yatak teknolojisinin pulverize sistemlere göre çevresel etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür. Pulverize sistemlerde ise çevresel etkinin subkritik sistemlerde daha fazla olduğu, süper kritik sistemlerin partikül madde oluşum potansiyeli (%8,9), ozon oluşumu karasal ekotoksitesitesi potansiyeli (% 18,7) ve karasal asidifikasyon potansiyeli (%8,8) hariç tüm kategorilerde ultra süperkritik sistemlerden daha fazla etki gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki, Enerji, Kömür, Termik santral, Yaşam döngüsü değerlendirmesi

ABSTRACT

COMPARISON OF BOILER TECHNOLOGIES WITH LCA ANALYSIS OF COAL-OPERATED THERMAL POWER PLANTS

In this study, the environmental impacts of coal-fired thermal power plants were determined and compared with the life cycle assessment method. Coal power plants using pulverized subcritical boiler technology are considered as the current situation, and pulverized supercritical, pulverized ultra supercritical and fluidized bed boiler technologies are evaluated as alternative technologies. By comparing these technologies, the effect of life cycle assessment on the categories was examined. Comparison was made with the ReCiPe 2016 Midpoint (H) method using SimaPro 9.1 software. In the characterization categories; It has been observed that the environmental impact of fluidized bed technology is higher than pulverized systems in terms of all impact categories except freshwater eutrophication potential and fossil resource consumption potential. On the other hand, in pulverized systems, the environmental impact is higher in subcritical systems, and ultra-critical systems are used in all categories except particulate matter generation potential (8.9%), ozone formation terrestrial ecotoxicity potential (18.7%) and terrestrial acidification potential (8.8%). It has been observed that it has more effect than supercritical systems.

Keywords: Environmental impact, Energy, Coal, Thermal power plant, Life cycle assessment

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
1.GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2.KURAMSAL ÇERÇEVE.....	2
2.1.Çevre Sorunları.....	2
2.1.1.Çevre Sorunlarının Tanımlanması.....	2
2.1.2.Çevre Sorunlarının Sınıflandırılması.....	2
2.1.2.1.Hava Kirliliği.....	3
2.1.2.2.Su Kirliliği.....	5
2.1.2.3.Toprak Kirliliği.....	5
2.1.2.4.Sera Etkisi Küresel Isınma ve İklim Değişikliği.....	6
2.1.2.5.Enerji Üretimi ve Radyasyon Kirliliği.....	8
2.1.2.6.Gürültü Kirliliği.....	8
2.1.2.7.Atıklar.....	9
2.1.2.8.Ozon Tabakasının İncelmesi.....	10
2.2.Enerji Kaynakları.....	10
2.2.1.Enerji Kavramı.....	10
2.2.2.Enerji Kaynaklarının Türleri.....	11
2.2.3.Yenilenemeyen Enerji Kaynaklarının Çeşitleri ve Önemi.....	12

2.2.3.1.Petrol	12
2.2.3.2.Kömür	13
2.2.3.3.Doğal Gaz	15
2.2.3.4.Nükleer (Çekirdek Kaynaklı) Enerji ve Kullanım Alanları.....	15
2.2.4.Yenilenemeyen Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri	18
2.3.Avrupa Birliği Çevre Politikası.....	22
2.3.1.Avrupa Birliği Çevre Politikasının Temelleri.....	22
2.3.1.1. Avrupa Birliği'nin Çevre Eylem Programları.....	22
2.3.1.1.1. Birinci Çevre Eylem Programı (1973-1976).....	23
2.3.1.1.2. İkinci Çevre Eylem Programı (1977-1981)	23
2.3.1.1.3. Üçüncü Çevre Eylem Programı (1982-1986)	23
2.3.1.1.4. Dördüncü Çevre Eylem Programı (1987-1992)	24
2.3.1.1.5. Beşinci Çevre Eylem Programı (1992-1999)	24
2.3.1.1.6. Altıncı Çevre Eylem Programı (2001-2010).....	25
2.3.1.1.7. Yedinci Çevre Eylem Programı (2014-2020)	25
2.3.1.2. Avrupa Birliği Çerçeve Programları.....	26
2.3.1.2.1. Altıncı Çerçeve Programı	26
2.3.1.2.2. Yedinci Çerçeve Programı.....	27
2.3.1.2.3. Horizon 2020 Programı	27
2.3.1.3. Avrupa Birliği Çevre Politikasının Temel Araçları	28
2.3.1.3.1. Çevresel Etki Değerlendirmesi.....	28
2.3.1.3.2. Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği	28
2.3.1.3.3. LIFE Programı	28
2.3.1.3.4. Çevre Kirliliği ile İlgili Bilgilere Ulaşma Özgürlüğü Direktifi.....	29
2.3.1.3.5. Çevre Dostu Ürünler için Eko-Etiket	29
2.3.1.3.6. Çevresel Denetleme	29

2.3.1.3.7. Çevre İle İlgili Kullanılan Fonlar	29
2.3.2.Avrupa Birliğinde Uygulanan Enerji Politikaları.....	30
2.3.2.1. Avrupa Tek Senedi.....	33
2.3.2.2. Maastricht Antlaşması.....	34
2.3.2.3. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.....	34
2.3.2.4. Kyoto Protokolü	35
2.3.2.5. Bali Eylem Planı	36
2.3.2.6. COP-14 Polonya Ponzan Mutakabatu	36
2.3.2.7. COP-15 Danimarka Kopenhag Mutakabatu.....	36
2.3.2.8. COP-16 Cancun Anlaşması	37
2.3.2.9. COP-21 Paris Anlaşması	37
2.3.2.10. Beyaz Kitap.....	38
2.3.2.11. Yeşil Kitap.....	38
2.3.2.12. Avrupa Enerji Şartı	38
2.3.3.AB ile Türkiye Arasındaki Mali İşbirliğine Dayalı Çevre Dostu Enerji Politikaları.....	39
2.3.3.1. IPA-I Dönemi (2007-2013).....	40
2.3.3.2. IPA-II Dönemi (2014-2020)	40
2.3.4.AB Çevre Dostu Uygulamalarının Türkiye'deki Çevre Dostu Enerji Politikalarına Etkileri	41
2.3.4.1.BMİDÇS ve Kyoto Protokolü.....	41
2.3.4.2.Türkiye için Endikatif Strateji Belgesi.....	42
2.3.4.3.Müzakere Çerçeve Belgesi.....	43
2.3.4.4.Avrupa Birliği Tarafından Hazırlanan Genişleme Stratejisine Göre Türkiye'nin Çevre Politikası	43
2.3.4.5.Avrupa Birliği Tarafından Hazırlanan Katılım Ortaklığı Belgesine Göre Türkiye'nin Çevre Politikası.....	45

2.4.Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.....	46
2.4.1.LCA'nın Standardizasyonu ve Aşamaları	46
2.4.1.1.Hedef ve Kapsam Tanımı	46
2.4.1.2.Yaşam Döngüsü Envanter Analizi.....	47
2.4.1.3.Yaşam Döngüsü Etki Analizi	47
2.4.1.4.Yorum.....	50
3. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR.....	51
4. MATERYAL VE METOD	60
4.1.Hedef ve Kapsam Tanımı	60
4.1.1.Sistemlerin tanıtımı.....	60
4.1.1.1.Pulverize toz kömürlü kazan teknolojileri.....	60
4.1.1.2.Akışkan yatak teknolojisi	69
4.1.2.Sistem sınırları.....	70
4.2.Yaşam Döngüsü Envanter Analizi.....	71
4.3.Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi	78
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKÇA	86
EKLER.....	101

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Kritikaltı ve kritiküstü kazanların karşılaştırılması	61
Tablo 4.2. Pulverize subkritik kazan ve pulverize süperkritik kazan sistemlerinin karşılaştırılması	64
Tablo 4.3. Pulverize subkritik kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh)	71
Tablo 4.4. Pulverize süperkritik kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh).....	73
Tablo 4.5. Pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh).....	75
Tablo 4.6. Akışkan yatak kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh)	76
Tablo 4.7. Tüm kazan teknolojilerine ait karakterizasyon sonuçları.....	79

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. AB Enerji Politikasının Amaçları	30
Şekil 4.1. Ultra Süperkritik Kazan Teknolojisi.....	63
Şekil 4.2. Pulverize Subkritik Kazan Teknolojisi	65
Şekil 4.3. Pulverize Süper Kritik Kazan Teknolojisi	68
Şekil 4.4. Sistem sınırı	70
Şekil 4.5. SimaPro 9.1 Yazılımı.....	78
Şekil 4.6. Kazan teknolojilerinin etki kategorileri bazında karşılaştırılması	80
Şekil 4.7. Monte Carlo analizi (akışkan yatak - pulverize subkritik kazan teknolojileri).....	81

KISALTMALAR LİSTESİ

AÇA:	Avrupa Çevre Ajansı
AT:	Avrupa Topluluğu
BMBCS :	Birleşmiş Milletler Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi
BMİDÇS :	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CAFE :	Avrupa İçin Temiz Hava Programı
ÇED:	Çevresel Etki değerlendirmesi
ÇEP:	Çevre Eylem Programı
ÇP :	Çerçeve Programı
EMAS:	Çevresel Yönetim ve Denetim Projesi
EREC:	Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi
ETKB:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
ETS :	Emisyon Ticaret Sistemi
EÜAŞ :	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
IEA:	Uluslararası Enerji Ajansı
IPA :	Avrupa Birliği Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı
IPCC :	Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
IRENA :	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
KOB:	Katılım Ortaklığı Belgesi
LCA :	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
NGS:	Nükleer Güç Santrali
SÇD :	Stratejik Çevresel Değerlendirme
TMMOB :	Türk Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği
TÜREB :	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
t.y. :	Tarih Yok
YEK :	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YET	Yeni Enerji Teknolojileri

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde artan nüfus ve sanayileşmenin sonucu olarak elektrik enerjisine ihtiyaç da artmaktadır. Dünyada bu ihtiyacın karşılanmasında çeşitli enerji kaynakları kullanılmakta ve enerji ihtiyacının %61,3'ü fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların tercih edilme sebebi ekonomik olarak ucuz ve bulunma ağının geniş olmasıdır. Elektrik üretiminde en çok tercih edilen fosil yakıt türü kömürdür. Dünyada 2019 yılında üretilen 9.914.448 GWh elektrik enerjisi kömür kullanılan termik santrallerden üretilmiştir (Url-1, 2023). Ülkemizde ise 2021 yılında elektrik üretiminin %63,1 'i fosil yakıtlı santrallerden sağlanmış, hidrolik santraller % 16,79 rüzgâr santralleri % 9,41, güneş santralleri %3,92, jeotermal %3,27, biyokütle %1,91'li payı oluşturmuştur (EÜAŞ, 2023). Ülkemizde kömür ile çalışan termik santrallerde linyit, taş kömürü ve ithal kömür kullanılmaktadır.

Kömüre dayalı termik santrallerde pulverize kömür yakma teknolojileri ve akışkan yataklı yakma teknolojisi olmak üzere iki yakma teknolojisi ön plandadır. Pulverize kömür yakma teknolojileri kendi içinde; pulverize subkritik, pulverize süperkritik ve pulverize ultra süperkritik olarak üçe ayrılmaktadır. Ülkemizde bulunan termik santrallerin büyük çoğunluğu pulverize subkritik kazan teknolojisine sahip olup oldukça sınırlı sayıda akışkan yatak kazan teknolojisi, pulverize süperkritik ve pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi ile çalışan santraller de bulunmaktadır.

Her üretim türünde olduğu gibi kömürle çalışan termik santrallerden enerji üretiminin de çevresel etkileri bulunmaktadır. Mevcut teknolojilerden kaynaklanan çevresel etkiler detaylı bir şekilde belirlenip, etkilerinin azaltılması için alternatif teknolojiler uygulanmalıdır. Bu çevresel etkilerin belirlenmesinde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment-LCA) faydalı bir yöntemdir. Bu çalışmada kömürle çalışan termik santrallerin, pulverize subkritik kazan teknolojisi, pulverize süperkritik kazan teknolojisi, pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi ve akışkan yatak kazan teknolojisi kullanılması durumunda çevresel etkileri LCA yöntemiyle belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

2.KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1.Çevre Sorunları

2.1.1.Çevre Sorunlarının Tanımlanması

Genel olarak çevre; “Bir organizmanın yaşama ve gelişmesini etkileyen tüm dış şart ve faktörler toplamı” şeklinde tanımlanmaktadır (Görmez, 2007: 7). Doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlardan doğal çevre insan müdahalesinin olmadığı bu nedenle de değişikliğe uğramamış çevre iken, yapay çevre insanın müdahalesi ile oluşturduğu çevre olarak tanımlanmıştır (Görmez, 2007: 8). Çeşitli toplumsal faaliyetlerin, doğal çevrenin düzenini bozması ve taşıma kapasitesini zorlaması sonucu yenilenemez kaynakların hızla tükenmesi, yenilenebilir kaynakların tahribi ve fiziki çevrenin kirlenmesi gibi sorunlara neden olmaktadır. 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren nüfusun hızlı artması, çarpık kentleşme ve doğal çevreyi önemsemeyen endüstrileşme sonucu çevre sorunları oluşmuştur (Ertürk, 1998: 45-46).

1869 yılında çevre sorunlarının ilk defa ele alındığı ABD Massachusetts Halk Sağlığı Komitesi'nin yayınladığı bildiriye, her insanın temiz hava, su ve toprağa ihtiyacı olduğu ve bunların kirlenmemesi gerektiği belirtilmiştir (Bozyiğit ve Karaaslan, 1998: 5). Çevre sorunları, hava, su, toprak kirlenmesiyle başlayıp bitki örtüsü ve hayvan topluluklarının yok olmasına kadar uzanmaktadır. Londra'da 1952 yılında kirli hava yüzünden 1 hafta içinde yaklaşık 4000 kişinin hayatını kaybetmesi ilk örneklerden biridir. Kirli sulardan elde edilen su ürünleriyle beslenenlerde görülen toplu ölümler ise toplumun dikkatini çeken diğer bir çevre sorunu olmuştur (Keleş ve Hamamcı, 1997: 15-16).

Günümüzdeki toplumların doğal çevre sorunları dünya çapında ve geniş bölgeleri etkileyen uluslararası boyutlarda çeşitli şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu dünya çapındaki sorunlar; CO₂ gazının artması sonucu oluşan iklim değişikliği, kansere neden olan ışınları süzen ozon tabakasının incelmeye ve delinmesi, tropikal ormanların tahribi sonucu bitki ve hayvan türlerinin yok olma tehlikesi ve büyük çaplı nükleer kirlenmelerdir. Uluslararası sorunlar arasında ise asit yağmurları, çölleşme, toksit atıklar, kimyasal ilaçlar, petrolün denizleri kirlenmesi ve civa kirlenmesi sayılabilir (Ertürk, 1998: 48).

2.1.2.Çevre Sorunlarının Sınıflandırılması

Çevreyi insan faaliyetlerinin tümü etkilemektedir. Taşıtların çoğalması hava kirliliğine, hızlı nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler doğal kaynakların aşırı bir şekilde tüketilmesine neden olmaktadır. Çevre sorunları türleri genel olarak hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği,

sera etkisi-küresel ısınma ve iklim değişikliği, enerji üretimi ve radyasyon kirliliği, gürültü kirliliği, atıklar ve ozon tabakasının incelmelerinden oluşmaktadır.

2.1.2.1.Hava Kirliliği

Hava; nitrojen, oksijen, argon, CO₂ ile diğer gazlardan oluşmakta, söz konusu bileşim atmosferi meydana getirmektedir. Ayrıca hava bünyesinde atmosfer koşullarına göre su buharı da taşımaktadır (Keleş ve Hamamcı, 1997: 78). Havanın bu bileşimini kimyasal maddeler değiştirip olumsuz yönde etkilemektedir. Katı, sıvı veya gaz halde bulunan bu kimyasal maddelerin canlıların hayatına zarar verebilecek miktara ulaşması hava kirliliği olarak tanımlanmaktadır (İlkılıç ve Behçet, 2006: 66).

Havayı kirleten maddeler, atmosferin doğal bileşiminde bulunmayan maddeler ile doğal bileşimindeki düzeylerin dışına çıkan maddelerden oluşur. Hava kirliliğini meydana getiren kirleticiler kaynaktan çıkışlarına, kaynaklara ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Kaynaktan çıkışlarına göre; belirli bir kaynaktan atmosfere bırakılan birinci derece kirleticiler ile atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ikinci derece kirleticiler olarak sınıflandırılmaktadır (İhsan vd., 2006: 1). Birinci derece kirleticiler: kükürtdioksit, hidrojen sülfür, azot monoksit, karbon monoksit, CO₂, hidrojen florür, hidrojen klorür ve partikül maddeden oluşur. İkinci derece kirleticiler ise kükürt trioksit, sülfirik asit, azot dioksit, aldehitler, ketonlar, asitler, endüstriyel duman v.b. oluşur (Karaca, t.y.: 41).

Kaynaklarına göre kirleticiler; doğal ve yapay kaynaklardan oluşmalarına göre sınıflandırılmaktadır. Doğal kaynaklardan oluşan kirleticilere örnek olarak deniz yosunlarının çevreye yaydığı gazlar, yanardağ volkan faaliyetleri ve orman yangınları sonucu atmosfere yayılan zararlı bileşikler, doğanın biyolojik değişimi sonrası açığa çıkan karbon oksitler, doğadaki çürüme olayları sonucunda oluşan metan gazı verilebilir. Yapay kaynaklardan oluşan kirleticiler; fosil yakıtların (odun, kömür, benzin, fuel-oil gibi) yanması sonucu açığa çıkan partiküller, kükürt dioksit azot oksitleri, karbon oksit, kurşun, hidrokarbonlar vb. den oluşur (Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü (RSHM), t.y.: 12).

Kimyasal yapılarına göre kirleticiler; organik ve inorganik gazlar ile partiküler maddeden oluşur. Organik gazlar; hidro karbon, aldehitler, ketonlar ve diğer organikler (benzen, etanol, etilen) den oluşur. İnorganik gazlar; azot oksit, karbon oksit, kükürt oksitler, florür, klorür ve amonyaktan oluşur. Partiküler maddeler ise katı ve sıvı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Katı partiküller toz, duman, kül, karbon, kurşun, asbestden oluşurken sıvı

partiküller ise sis, duman, yağ ve asitlerden oluşmaktadır (RSHM, t.y.:12). Hidrokarbonların önemli doğal kaynakları arasında, biyolojik aktiviteler, kömür yatakları, doğalgaz ve petrol çıkarma alanları sayılabilir (Erbaşlar ve Taşdemir, 2007:9). Partiküler maddenin kaynakları fabrikalar, enerji tesisleri, yakma tesisleri, inşaat faaliyetleri, yangın ve rüzgarlardır (Varınca vd., 2008: 2).

Hava kirletici maddelerin en yaygın olanı kükürt dioksit'dir. Çoğu elektrik üretimi amacıyla kükürtlü katı ve sıvı yakıt yakan termik santrallerden atmosfere yayılmaktadır. Çeşitli kaynaklardan atmosfere karışıp kendisinin atmosferdeki dönüşüm ürünleri olan sülfid ve sülfatlar yayılma yoluyla toz taneciklerine dönüşerek kendi aralarında veya başka taneciklerle birleşerek büyür ve çökelirler. Bazen havadaki kükürt dioksit atmosferin çok yüksek tabakalarına kadar çıkarak hava akımları yoluyla uzaklara sürüklenebilir. Bunun sonucunda havadaki su damlacıkları ile kimyasal tepkimeye girerek asit oluşumuna neden olmaktadır. Bunlar asit yağmurlarının oluşumunda önemli bir rol oynarlar (İlkılıç ve Behçet, 2006: 67-68).

Asit yağmurları toprağın yapısında bulunan kalsiyum, magnezyum vb. elementleri yıkayıp toprağın derinliklerine taşıyarak toprağın veriminin düşmesine, içme suları, yer altı suları, bitki ve balıkların olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır (İlkılıç ve Behçet, 2006: 69-70).

Başka bir hava kirletici madde ise azot oksitlerdir. Az miktarda azot dioksit ile çok miktarda azot monoksitlerden oluşur. Taşıt egzozları, kimyasal işlemler, ısınma amacı ile kullanılan bazı fosil kökenli yakıtların yanması ve elektrik üretimi gibi kaynaklardan atmosfere yayılmaktadır. Söz konusu azot oksitler sigara kullanımı, gaz yakıtlı (likit doğal gaz- gaz yağı) sobalar ve evsel cihazların kullanımı sonucunda da oluşmaktadır (RSHM, t.y.: 37-39)

Hava kirliliği sonucunda insan sağlığı da olumsuz etkilenmektedir. Solunum rahatsızlıklarından başlayıp zehirlenmelere hatta ölüme de sebebiyet verebilmektedir. Hava kirliliği iklim değişikliğine de neden olmaktadır. Hava kirliliği atmosferdeki karbondioksit miktarını artırarak ozon tabakasının incelmeye dolayısıyla radyoaktif ışınların doğrudan doğruya dünyaya gelmesine ve sonuç olarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu durum literatürde sera etkisi olarak tanımlanmaktadır (Görmez, 2007: 41).

2.1.2.2.Su Kirliliği

İkinci çevre sorunu su kirliliğidir. Su kirliliğinden kast edilen Şey organik, inorganik, biyolojik ve radyoaktif maddelerin suya karışmasıdır. Yapay gübreler, hayvan atıkları ve tarımsal mücadele ilaçları toprağa karışarak su kaynaklarına ulaşmaktadır. Ayrıca toprak aşınması sonucu toprağın üst kısmının sürüklenerek su kaynaklarına karışması nedeniyle içerdiği maddeler bazı yosun türlerini çoğaltarak, erimiş oksijen tüketimini arttırır. Bu durum bitki ve hayvan türlerinin yaşaması için tehlike arz etmektedir. Sanayi faaliyetlerinde ise sanayi atıkları su kaynaklarına ulaşarak doğanın dengesini bozmaktadır (Türküm, 1998: 167). Su kirliliği sonucunda akarsuların kirlenmesi, deniz canlılarının toplu ölümleri, içme sularının kirlenmesi bunun sonucunda da salgın hastalıkları artar (Erten, 2006: 2).

Su kirliliğine neden olan sekiz tane faktör bulunmakta olup bu faktörlerden ilk sırada tortu kirliliği yer almaktadır. Tortu kirliliği; erozyon sonucu toprak parçacıklarının suya karışmasıyla oluşur. İkinci olarak tuvalet, bulaşık makineleri ve duşlardan atılan sabun ve deterjan gibi insan kaynaklı atıkların kanalizasyonlarla suya karışması sonucu oluşan kirlilikler yer alır. nc sırada kolera ve tifo gibi hastalıklara neden olan organizmaların bulaşmış olduğu kişilerin atıklarının suya karışması sonucu oluşan kirlilikler yer almaktadır. Diğer bir kirletici ise hayvansal ve bitkisel atıklar yoluyla ortaya çıkan nitrojen ve fosfor gibi inorganik bitki besinlerinin neden olduğu kirliliklerdir. Çoğu sentetik organik bileşiklerde (petrol kökenli yakıtlar, plastikler, elyaflar, çözücüler, yağlı boyalar vb.) bulunan mikroorganizmalar da su kirleticilerindedir. Doğada uzun süre etkin olarak kalırlar ve bunların sayılarını azaltmak oldukça zordur. Altıncı sırada inorganik kimyasallar yani cıva bileşikleri, tuzlar ve asit maden drenajlarının suya karışmasından oluşan kirlilik yer alır. Yedinci sırada radyoaktif maddelerin suya karışması, son sırada ise termal kirlilik bulunmaktadır. Termal kirlilik pek çok endüstriyel süreçler sonucunda meydana gelen atık ısının su yollarına bırakılması sonucu oluşur. Sadece yaşayan organizmaları değil çok çeşitli yaban hayatı da etkiler (Raven vd., 1995: 466).

2.1.2.3.Toprak Kirliliği

Toprak kirliliği, toprağın verimini azaltan bütün teknik ve ekolojik baskılar olarak tanımlanır. Toprak p yığınları suları, kirli sulama yapılması, gübre çözeltileri ve radyoaktif maddeler toprağı kirleten maddeler tarafından kirlenmektedir. Şöyle ki kükürt dioksit oranı yüksek olan bir atmosfer tabakasına maruz kalan yağmur damlaları asit yağışları Şeklinde toprağa geçerek ağaç köklerini, bitkileri, otçul hayvanları olumsuz etkiler. Toprağın

reaksiyonunu değişime uğratarak besin maddesi dengesini bozar, yer altı sularını içilmez hale getirir (Özey, 2009: 23).

Asitli, zehirli sular ve zararlı maddelerden oluşan sınai atıklar topraktaki yararlı bakterilerin ve mikroorganizmaların ölümüne yol açmaktadır. Bu durumda humus tabakasının doğal oluşumu tehlikeye girmektedir. Rüzgar, yağmur ve diğer benzer doğa olayları toprak üzerindeki etkisini arttırmakta, toprak kayıplarına yol açan erozyonlara neden olmaktadır. Yararlanılabilir toprakların azalması bitkisel ve hayvansal hayat için tehlike arz etmektedir (Güney, 2004: 101). Tarım ilaçları ve gübrelerin bilinçsiz kullanılması sadece bitkileri ve toprağı etkilemekle kalmaz buradan yeraltı su kaynaklarına da geçer. Bu durum su kalitesinin düşmesine ve kalıcı bazı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olur (Güney, 2003: 45). Yapılması gereken önlemlerden bazıları olarak ağaçlandırma faaliyetlerinin hızlandırılması, erozyon kontrolünün yapılması, bitki örtüsünü zedeleyen, toprağı kirleten ve verimli toprakları yok eden plan ve projelere izin verilmemesi sayılabilir (Çiftlikli, 1992: 46).

2.1.2.4.Sera Etkisi Küresel Isınma ve İklim Değişikliği

Küresel ısınma, insan faaliyetleri sonucunda CO₂, metan, kloroflorokarbon, ozon, azot oksit gibi sera gazlarının atmosferde yoğun bir şekilde artması sonucunda, atmosferin dünya yüzeyine yakın kısımlarındaki yeryüzü ısısının yapay olarak yükselmesidir. Küresel ısınma sonucu yağış, nem, hava hareketleri, kuraklık vb. iklim olaylarının değişmesi de küresel iklim değişikliğidir (Doğan, 2005: 58).

Atmosferdeki gazlar kısa dalgalı güneş ışınlarına karşı geçirgen fakat geri salınan uzun dalgalı yer ışıımına karşı çok daha az geçirgendir. Dünyanın beklenenden daha çok ısınmasını sağlayan bu doğal süreç sera etkisi olarak tanımlanır (Türkeş, 2007: 44). Eğer sera etkisi olmasaydı dünyanın sıcaklık ortalaması -18 °C olurdu (Saraçoğlu, 2010: 30). Sera gazlarının aşırı artışı normal olmayan sıcaklık artışlarına bu da iklim değişikliğine yol açmaktadır (Demir, 2009: 39).

Sera gazı salınımına neden olan üretim ve tüketim faaliyetlerine şuan son verilse dahi bu gazların neden olduğu etki, her sera gazının belli bir atmosferik yaşam süresi olması sebebiyle uzun yıllar sürecektir (Bayraç, 2010: 233-234). Kloroflorokarbon gazları da ozon tabakasını tahrip etmekte yüksek paya sahiptir. Bu kimyasalların üretimi azaltılsa veya durdurulsa bile atmosferdeki konsantrasyonları uzun yıllar kalabilir (Aksay, 2005: 34).

1980’li yıllarda, halk, hükümet yetkilileri ve hatta bilim adamlarının çoğu, artan küresel ısınma ile CO₂’yi eş anlamlı olarak düşünmekteydi. Ancak atmosferde CO₂’den başka yaklaşık

30 adet daha sera gazı bulunmaktadır. Atmosferde bulunan bu gazlar, miktar olarak CO₂'den az olduklarından dolayı önemsenmemektedir. Söz konusu bu ek sera gazları da CO₂'nin kendisi kadar küresel ısınmaya neden olabilir. Bu gazlar bir odanın tavanında yer alan farklı pencereler olarak düşünülebilir. Pencere sayısı arttıkça odanın içine giren güneş ışığı miktarı da artar ve burada ısı olarak saklanır. CO₂'den sonra önem arz eden bir diğer sera gazı ise metandır. Yüzyıl ölçeği baz alınarak hesaplandığında metan gazının CO₂'den altmış kat daha yetenekli olduğu, atmosferdeki ömrünün ise daha kısa olduğu bilinmektedir. Metan gazı bataklıklarda veya dışkı gibi oksijensiz bölgelerde üreyen mikroplar yoluyla oluşur. Metan gazının 21. yüzyılda gerçekleşen küresel ısınmanın %15-%17'sinden sorumlu olduğu hesaplanmıştır (Flannery, 2007: 48).

Sanayi devriminden günümüze kadar bazı sera gazlarında ki artış şu şekilde olmuştur: CO₂ konsantrasyonu; milyonda 280 parçadan, milyonda 378 parçaya çıkarak %35'lik artış göstermiştir. Yine metan konsantrasyonu; milyarda 700 parçadan, milyarda 1766 parçaya çıkarak %52 artmıştır. Son olarak nitro oksit konsantrasyonu; milyarda 270 parçadan, milyarda 317 parçaya çıkarak %17'lik artış göstermiştir (Justus vd., 2006: 2).

Dünyanın küresel yüzey sıcaklığı ortalaması ise 1750 yılından yani sanayi devriminden bu yana 0.8°C (1.44 °F) artmıştır. Bu artışın çoğunluğu 20. yüzyıl da ortaya çıkmış olup, 1970 yılından itibaren de artış hızı yükselmiştir. Yeryüzünde daha fazla güneş enerjisinin kalması da iklimlerin değişmesine sebep olmaktadır. Özellikle sanayi devriminden buyana hemen hemen bütün iklim bilimciler dünya ikliminin insan faaliyetleri sonucunda değiştiği konusunda hemfikirdirler (Leggett, 2007: 22).

Ciddi bir iklim değişikliği meydana gelirse bundan devlet bütçesi, ticaret koşulları (tarımsal üretim, emek verimliliği), ekonomik büyüme oranı (tarımsal üretim, emek verimliliği, ulusal kaynakların verimliliği) ve toplumsal refah (fiyat artışları, sel baskını, kirlilik, sağlık sorunları) doğrudan etkilenecektir (Coervo ve Gandhi, 1998: 8). Şöyle ki, kirlenmiş çevrenin temizlenmesi veya kirlenmeden önce korunması toplum refahını olumlu yönde etkilerken, kirlilik kontrolünün maliyeti ve kirlenmenin önlenmesi için sarf edilen maddi kaynak ise toplum refahını olumsuz etkilemektedir. Kirlenmiş bir çevreyi tekrardan eski temiz haline döndürmek için yapılacak harcamalar, hiç kirlenmemiş bir çevrenin korunması için yapılacak harcamalardan daha fazladır. Bu sorunu ortadan kaldırmanın tek yolu ise çevre ekonomisi analizlerinin önceden yapılması ve çevrenin kirlenmeden önce korunmasıdır (Karpuzcu, 2002: 3).

2.1.2.5. Enerji Üretimi ve Radyasyon Kirliliği

Genel olarak enerji, üretim aşamasından tüketimine kadar geçen tüm aşamalarda çevreye zarar vermektedir. YEK kullanılmış olsa dahi, yine de çevreye kısıtlı miktarda olsa dahi çevreye zarar vermektedir. Örneğin, hidrolik güç elde etmek için yapılan barajlar, baraj gölleri altında kalan toprakların ve bu topraklar üzerindeki bitki ve hayvanların yok olmasına neden olmaktadır. En çok bilinen kirlenme türü fosil yakıtlardır. Kullanılmaları sırasında atmosfere bıraktıkları zehirli gazlar, hava kirliliğine, bu kirlilik küresel ısınmaya, iklim değişikliğine ve asit yağmurlarına yol açmaktadır (Keleş ve Hamamcı, 2005: 92-93).

Bir diğer enerji kaynağı olan nükleer enerjiyi bilim adamları keşfettikten sonra bu enerjiyi kullanmak için dünyanın çeşitli bölgelerinde (Amerika Nevada Çölü, Fransa Pasifik, Rusya Kazakistan Çölleri) nükleer denemeler yapmışlardır. Bu bölgelerdeki radyasyon hava, su ve toprak kirliliğine yol açmış olup, hava ve suyla taşınan radyasyon diğer bölgeleri de etkilemiştir (Çokadar vd., 2006: 93).

Termik, hidrolik ve nükleer güç santralleri (NGS)'nin arızalanması da olumsuz etki doğurur. Öldürücü dozda radyasyonun doğal çevreye yayılması sonucu meydana gelecek mutajen etkiler sonucu ölüm tehlikesi gündeme gelmektedir. Diğer taraftan NGS'lerde atom ve hidrojen bombaları gibi nükleer silahların geliştirilmesi için yapılan denemelerle çevreye yayılan çeşitli radyoaktif maddeler son zamanlarda kirlenmeye eklenen önemli unsurlardır (Akman vd., 2000: 61). Söz konusu bu radyoaktif maddelerin iklim koşulları üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu maddeler toz ve duman oluşturup ışığın yeryüzüne ulaşmasına engel olurlar ve toz bulutunun altındaki bölgelerde hava sıcaklığının düşmesine sebep olurlar (Çokadar vd., 2006: 93).

2.1.2.6. Gürültü Kirliliği

Gürültü basit anlamıyla rahatsız edici ses, kapsamlı olarak ise canlıların fizyolojik fonksiyonlarını ve insanların psikolojik dengelerini olumsuz yönde etkileyerek, iş yapabilme gücünü azaltan ve işlenmeyen sesler olarak tanımlanmaktadır. Gürültünün çevre sorunu haline gelmesinin nedenleri arasında hızlı nüfus artışı, sanayileşme, çarpık kentleşme ve teknolojinin getirdiği makineleşme sayılabilir (Yıldız vd., 2000: 116).

Tanımdan da anlaşılacağı üzere gürültü neredeyse bütün canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olur. Ancak insan yaşamı üzerinde etkileri daha ön plandadır. Geçici ya da kalıcı işitme bozukluğu, kas gerilmesi, kan basıncı artışı, dolaşım sistemi bozuklukları, uykusuzluk,

sinir bozukluğu, korku, rahatsızlık, yorgunluk, genel huzursuzluk vb birçok olumsuz etkilere neden olmaktadır (Yıldız vd., 2000: 117).

Gürültünün azaltılması atmosferin durumu, sıcaklık, nem, rüzgar kuvveti ve yönü, yayılma alanının geometrik biçimi, gürültü kaynağının toprağa olan mesafesi, toprağın yansıtma ve absorbe kapasitesi ile bitkisel örtünün olup olmayışı gibi birçok faktöre bağlıdır. Örneğin; havaalanına yakın yerde ikamet edenler gürültüyü önlemek için yeşil alanlar oluşturmaktadırlar (Gürpınar, 1995: 185).

2.1.2.7. Atıklar

Sanayi devriminden bu yana insanların tüketim alışkanlıklarının değişmesi, refah yaşamının getirdiği olanaklarla insanların daha çok besin maddesi tüketmesi ve daha çok giyim eşyası satın alması sonucunda atıklar büyük bir sorun haline gelmiştir. Bu ve benzeri sebeplerle oluşan atıklar pek çok kirliliğin oluşmasına (görünüm kirliliği, kötü koku ve hava kirliliği yaratması, hastalıklara kaynaklık etmesi, mikrop üretmesi, çöplerden sızan kirli suların yeraltı sularına karışarak toprak kirliliği oluşturması) neden olurlar. Yapılması gereken şey çöplerin denetim altında boşaltılmasıdır. Bu şekilde çöpler gübre olarak kullanılabilir ya da yakılabilir. Bu durumda ortaya çıkan ikincil atıkların da işlenmesi gerekir, ancak, ikincil atıkların hacim olarak öbürlerine oranla yok edilebilmeleri daha kolaydır (Güney, 2004: 219-220).

Tarihte çöplerin imha edilmesinde çok farklı yöntemler kullanılmıştır. Denize dökülerek imha bu yöntemlerden birisidir. Eski Yunanistan'da ise çöpler "bothros" adı verilen çukurlara gömülürdü. Kahire'de daha farklı bir yöntem olarak çöpler hamamların ısıtılmasında kullanılırdı. Böylelikle çöpler hem birikmemiş olur hem de enerji olarak çöplerden faydalanmış olunurdu. Günümüzde ise çöpler hala denizlere dökülmektedir. Fakat bu yöntem denizlerin kirlenmesine yol açar, toprakların verimini azaltır ve kıyılarda görüntü kirliliğine neden olur. Bu da soruna ancak geçici bir çözüm getirir (Güney, 2004: 220-222).

Dünyada petrol ve maden gibi yenilenemeyen enerji kaynakları zaman içinde azalmaktadır. Bundan dolayı YEK'den birisi olan katı atıklardan yararlanmak son derece önemlidir. Başka bir katı atık türü de su tasfiyesi sonucunda oluşan çamurlardır. Bu çamurlar doğru yöntemlerle ıslah edildiğinde tarım arazisi olarak kullanılabilirdiği gibi ziraatta gübre olarak da kullanılabilir. Ancak bu gübrenin çiftçilere satılabilir duruma getirebilmesi için gerekli olan çabanın gösterilmesi gerekmektedir (Karpuzcu, 1996: 119-120).

2.1.2.8.Ozon Tabakasının İncelmesi

Ozon tabakası atmosferin ara katmanlarından birisi olup dünyayı saran bir örtü gibi düşünülebilir. Bu örtü güneşten dünyamıza gelen ve öldürücü etkileri olan, ultraviyole ışınlarının geçmesini engeller. Bir nevi süzgeç veya şemsiye işlevi görüyor denilebilir. Ozon tabakasının tümüyle yok olması canlı türlerinin sona ermesine neden olur. İnsanlarda görülecek ilk etkisi deri kanserlerine bağlı ölümlerdir. Diğer sebep olduğu hastalıklar ise astım, bronşit ve ciğerlerin suyla dolması olarak tanımlanan akciğer ödemidir. Ozon tabakasının incelenmesi sonucunda ultraviyole ışınların daha çok yeryüzüne ulaşması da bazı zararlı etkilere yol açar. İnsanlarda cilt kanseri, gözlerde katarakt ve ultraviyole kaynaklı hastalıklara, bağışıklık sisteminin çökmesine, yüzlerde kırışıklık ve erken yaşlanmaya neden olur. Ayrıca söz konusu ışınların su yüzeyinin alt kısımlarına ulaşması tek hücreli canlıların ölümü ve tahıl ürünlerinin daha az üretimi gibi sonuçlar doğurur (Erdoğan ve Ejder, 1997: 8).

2.2.Enerji Kaynakları

2.2.1.Enerji Kavramı

Etimolojik açıdan incelendiğinde enerji kavramının eski Yunanca da kullanılmış bir kavram olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Yunanca aktif anlamına gelen “εν” kelimesinin ile “iş” anlamına gelen “εργον” kelimesinin bir araya gelmesinden enerji kavramı ortaya çıkmıştır. Günlük hayatta madde ile doğrudan bir temas mümkün iken aynı durum enerji ile mümkün değildir. Madde dokunulabilir, formu tarif edilebilir ve çevremizde olduğu gibi ayaklarımızın altında da var olmaktadır. Ancak enerji için durum farklıdır. Enerjinin indirekt etkileri sadece yapısındaki değişikliklerden yani maddenin moleküler veya atomik bileşimindeki değişikliklerden veya bir su akışı veya rüzgâr esintisi gibi uzaydaki konumunda meydana gelen değişikliklerden kaynaklanan potansiyel enerjiden hissedilmektedir. Her iki durumda da hareket, ısı veya ışık gibi etkiler, yaklaşık 2000 yıldan beri enerji dediğimiz şeyin varlığını ortaya çıkarmaktadır. Yaratılamayacağı gibi yok edilemeyen ancak bir formdan başka bir forma dönüşen enerjide; kimyasal enerji, ısı enerjisi, nükleer enerji, potansiyel enerji, mekanik enerji, manyetik enerji, kinetik enerji ve elektrik enerjisi başlıca enerji türlerini oluşturmaktadır (Öztürk, 2013: 1-10). Dolayısıyla enerji, “maddenin iş, ısı veya radyasyona dönüştürülebilen bir özelliği” olarak tanımlanabilmektedir (Malanima, 2014: 2).

Fizik biliminde enerji, “iş yapabilme yeteneği/kapasitesi” olarak tanımlanmaktadır ki bu tanım en sık rastlanan tanımların başında gelmektedir. Bu kısa tanımda geçen “iş” kelimesi ile “uzaktan uygulanan güç” ifade edilmek istenmektedir (Salinas, 2017: 11).

20. yüzyılın en önemli fizikçilerinden olan ve Nobel Fizik Ödülü sahibi Richard Feynman enerjiiyi, “Enerji algılanabilir bir şey değil, kapsamlı bir kurallar dizisi kullanılarak hesaplanması gereken akıcılık” olarak tanımlamıştır (Sefton, 2004: 2).

Öztürk (2013: 1), enerjiiyi, “Fiziksel bir sistemin ne kadar iş veya ne kadar ısı transfer yapabileceğini belirleyen bir durum fonksiyonu” şeklinde tanımlamıştır.

2.2.2. Enerji Kaynaklarının Türleri

Enerji kaynaklarının sınıflandırılması ile ilgili olarak literatürde birincil ve ikincil enerji kaynakları, konvansiyonel olan enerji kaynakları ve konvansiyonel olmayan enerji kaynakları, ticari olan enerji kaynakları ve ticari olmayan enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemez enerji kaynakları olarak farklı şekillerde sınıflandırmalara rastlanmaktadır. Birincil enerji kaynakları enerjinin bir başka enerjiye dönüşmemiş halidir. Kömür, petrol, doğal gaz, nükleer, biokütle, hidrolik, güneş, rüzgâr, dalga enerjisi birincil enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Aydın, 2014: 26). Birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi sonucunda elde edilen enerji kaynakları ise ikincil enerji kaynaklarıdır. İkincil enerji kaynakları arasında sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), elektrik, hava gazı, ikincil kömür, Petro kök, benzin, motorin ve mazot gibi enerji kaynakları yer almaktadır (Şenel, 2012: 2).

Ticari olan enerji kaynakları hem ulusal hem de uluslararası pazarlarda talep edilen ve özellikle modern endüstrinin enerji ihtiyacını karşılamada kullanılan petrol, elektrik, doğal gaz, kömür, nükleer enerji, hidrolik gibi enerji kaynaklarıdır. Ticari olmayan enerji kaynakları ise geleneksel endüstrinin enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik olan odun, tarımsal atıklar ve hayvan atıkları gibi enerji kaynaklarıdır (Bilginoğlu, 1991: 123).

Literatürde en çok rastlanan sınıflandırma türü, yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemeyen enerji kaynakları şeklinde olanıdır. Yenilenemez enerji kaynakları, bir kez tüketildiğinde gelecekte yerine yenisinin konamayacağı sınırlı nitelikteki enerji kaynaklarıdır. Bu sınıfta yer alan enerji kaynakları kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kaynaklı ve nükleer kaynaklı enerjiler olmak üzere kendi içinde iki gruba ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi gibi tüketilmesi halinde yerine yenisi gelen ve gelecekte tükenme ihtimali olmayan enerji kaynaklarını ifade etmektedir (Moud, 2012: 1).

2.2.3.Yenilenemeyen Enerji Kaynaklarının Çeşitleri ve Önemi

Karbon bazlı klasik enerji kaynakları olarak da adlandırılan yenilenemez enerji kaynakları, adından da anlaşılacağı üzere tüketildikten sonra yerine yenisinin konulamayacağı enerji kaynaklarıdır. Petrol, kömür, doğal gaz, nükleer enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynakları kategorisinde yer almaktadır. Tarihi süreçte yenilenemeyen, diğer adıyla fosil enerji kaynaklarından farklı biri önemli hale gelmiştir. Çinliler tarafından kullanılan kömür insanların tüketmeye başladıkları ilk yenilenemeyen enerji kaynağıdır. Zaman içinde petrolün kullanım alanlarının genişlemesi kömürün eski önemini yitirmesine zemin hazırlamıştır. Ancak 1973-1974 yılında petrol krizinin yaşanması enerji ihtiyacının karşılanmasında nükleer enerji kaynağının kullanımını gündeme taşımıştır. Ancak nükleer enerjinin kullanımının neden olduğu çevresel sorunların ciddiyeti doğal gazın alternatif olarak önem kazanmasında etkili olmuştur. Ancak günümüz enerji tüketiminin artması ve bilinçsiz tüketim, yenilenemeyen enerji kaynaklarının da tükenme sınırlarına yavaş yavaş yaklaşıldığını bilimsel verilerle ortaya koymaktadır. Bir başka ifade ile tüm yenilenemeyen enerji kaynaklarının da yakın gelecekte önemini yitirerek yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakacağı tartışılmaz bir gerçektir (Pamir, 2005: 58-59).

2.2.3.1.Petrol

Etimolojik açıdan incelendiğinde “petrol” kelimesinin Grekçe’de “taş” anlamına gelen “petra” ve “yağ” anlamına gelen “oleum” kelimelerinin birleşmesinde türediği ve “taşyağı” anlamına geldiği görülmektedir. Greklerden önceki dönemlerde, Mezopotamya dillerinde “naptu” kelimesi “taşyağı” anlamında kullanılmıştır. Zaman içinde “naptu” kelimesi değişime uğrayarak günümüzde pek çok dilde kullanılan ve ham petrol veya petrolden elde edilen gazyağı ve benzin türü hidrokarbon sıvıların ifade etmek üzere kullanılan “nafta” kelimesine dönüşmüştür.

Yerkürenin derinliklerinde organik maddelerin başkalaşım sürecine girmeleri sonucunda oluşmuş özel kayaçlar içinde depolanmış sıvı karbonlara “ham petrol” denilmektedir. Ham petrol kelimesindeki “ham” kelimesi petrolün işleme uğramadan önceki durumunu ifade etmek için kullanılmaktadır. Rafinerilerde ham petrol bileşenlerine ayrılmak suretiyle günlük yaşamda ihtiyacı karşılamak üzere kullanılan akaryakıt ürünleri ve ara madde ürünleri elde edilmektedir. Petrolün bileşenleri incelendiğinde doğal gaz ile aynı hidrokarbon ailesinden Metan (CH₄) 0,44, Etan (C₂H₆) 0,04, Propan (C₃H₈) 0,04, Bütan (C₄H₁₀) 0,03, Pentan

(C₅H₁₂) 0,02, Hexan ve daha ağır (C₆H₁₄ ve yukarısı) 0,43 moleküllerinin farklı oranlarda bileşiminden meydana gelmektedir.

Ham petrolün yeşilden kehribara, kahverengiden siyaha farklı renkleri bulunmaktadır. Yapışkan ve yanıcı bir yapıya sahip olan ham petrolün bileşenlerine bağlı olarak akışkanlığı su gibi akışkan olabildiği gibi bal kıvamında bir akışkanlığa da sahip olabilmektedir. Ham petrolün açık kahverengi, kehribar ve yeşil renkli yüksek graviteli (hafif petroler) petrolerden özellikle jet yakıtı, benzin, motorin gibi petrol ürünleri elde edilirken, koyu kahverengi ve siyah renkte olan düşük graviteli petrolerden (ağır petroler) kalorifer yakıtı, asfalt, fuel oil gibi yakıtlar elde edilmektedir (Bayraç, 2005: 2).

1 varil petrol 42 galona veya 159,5 litre petrole denk gelmektedir. 1 varil ham petrolden rafine (damıtma) işleminden sonra %3 asfalt, %47 benzin, %23 fuel oil ve motorin, %4 sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), %10 jet yakıtı ve %18 diğer petrol ürünleri elde edilmektedir. 1 varil petrolden elde edilen benzin ile bir araba yaklaşık 450 km. yol gidebilmekte, mazot ile bir kamyon 63 km. yol gidebilmekte, geriye kalan ürünlerle 70 kWh elektrik, 1,8 kg. kömür, 3,8 litre zift, 12 küçük mutfak tüpünü dolduracak miktarda propane, 0,95 litre motor yağı, 170 doğum günü mumu ya da 27 pastel kalem üretmeye yetecek miktarda parafin üretilmektedir. Artan petrokimyasallar ile 39 adet polyester t-şört, 540 adet diş fırçası ve 1244 adet farklı plastik gereçler üretilmektedir. Tüm bunlara ek olarak deterjan, oyuncak, buzdolabı, şampuan, kozmetik, kredi kartı, cankurtaran yeleği, yağmurluk, yapay kalp, sörf tahtası, kayak malzemeleri, bebek bezi, mobilya, diş macunu, kontak lens, böcek ilacı, golf topu, telefon, güneş gözlüğü, pastel kalem, tenis raketi, işitme cihazı, aspirin gibi günlük yaşantıda kullanılan ürünlerinde aralarında bulunduğu yaklaşık 80 bin ürün içerisinde petrol bir şekilde yer almaktadır (Yıldız, 2018).

2.2.3.2.Kömür

İnsanların yararlanmaya başladıkları ilk fosil enerji kaynağı olan kömür, yapısında karbon, hidrojen ve oksijenin yanı sıra çok az miktarda kükürt ve nitrojen bulunan maden ve kayalarla verilen isimdir.

Çoğunlukla bitkisel maddeler veya bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çöker ve jeolojik işlemlerle birlikte yeraltına gömülürler. Özellikle en kalın kömür damarlarının olduğu deltalar, kalın kömür damarlarının meydana geldiği göl kıyıları, deniz etkisinin de hissedildiği ve ince kömür damarlarının olduğu lagünler, yine ince kömür

damarlarının oluşumuna uygun olan akarsu taşıma ovaları kömürleşme için en uygun şartların bulunduğu ortamlardır (www.enerji.gov.tr).

Bitkisel maddelerin ve bitki parçacıklarının yeraltında fiziksel, kimyasal ve jeolojik etkilerle değişime uğraması sonucu kömür grubunda yer almayan ve “turba” olarak adlandırılan organik maddelerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Sıcaklık ve basınçtan etkilenen turbadan ilk olarak su ve su buharı, karbondioksit, oksijen uzaklaşırken, ileri aşamalarda hidrojen bu ortamdan uzaklaşmaktadır. Yer ısısının her 30 metrede 10 °C arttığı dikkate alındığında, daha derinlere inildikçe artan yer ısısına bağlı olarak turba ilk olarak önce “Linyit”, daha sonra “Alt bitümlü Kömür”, sonra “Taşkömürü”, “Antrasit” ve en sonunda uygun şartlar gerçekleştiği taktirde “Grafit”e dönüşmektedir. Turba’nın olgunlaşma süreci “kömürleşme” olarak açıklanırken, olgunlaşmanın ger seviyesi de “Kömürleşme Derecesi (Rank)” olarak adlandırılmaktadır (TMMOB, 2015: 28; TKİK, 2009: 3).

En çok rastlanan kömür türleri şunlardır (www.mta.gov.tr):

Turba: En çok bataklık alalarda rastlanan turba, yüksek miktarda su barındırmaktadır. Sahip olduğu karbon oranı %60’ı geçmeyen turba, henüz karbonlaşma aşamasını tamamlamamış genç kömür olarak nitelendirilebilir. Turba ısıtıldığında 3000 ve altında kalori vermektedir.

Linyit: Oluşumunun 60 milyon yıl önce başladığı tahmin edilen linyitin barındırdığı karbon %60-70 arasında olup içerdiği oksijen oranı %25’ten fazla, hidrojen oranı ise %5’tir (MEB, 2008: 6). Kahverengi kömür olarak da adlandırılan linyitin düşük ısıl değerine karşın yüksek oranda kül ve nem içermesinden dolayı genellikle termik santrallerinde yakıt olarak kullanılan kömür türlerinden birisidir. Kalorifik değerine göre linyit üç gruba ayrılmaktadır:

- İyi kaliteli linyit: 3000-4000 kcal/kg
- Linyit: 2000-3000 kcal/kg
- Düşük kaliteli linyit: 2000kcal/kg

Linyit, düşük kalorisi nedeniyle çoğunlukla sanayi ve konutların enerji ihtiyacını karşılamada kullanılan kömür çeşididir. Özellikle termik santrallerde elektrik üretimi için tercih edilen kömür türüdür.

Taş Kömürü: Kömürleşme süreci bakımından antrasit kadar, linyit kadar kısa bir zaman gerektirmese de taş kömürünün oluşması için 200-250 milyon yıllık bir zaman gerekmektedir. Maden kömürü olarak da bilinen ve karbon ve uçucu maddeler bakımından zengin olan taş

kömürünün karbon yüzdesi %75-90 arasında değişmektedir. Taş kömürü ısıtıldığında 6000-9000 kalori arasınca ısı vermektedir.

Antrasit: En sert kömür olması ve ısıtıldığında diğer kömür türlerine göre daha fazla ısı vermesinden dolayı en değerli kömür türüdür. Antrasitin %95'i karbondan oluşmaktadır.

Grafit: Tabiatta bulunan saf karbondur. Grafiti, elmastan ayıran temel fark ise sahip olduğu amorf yapısıdır. Ark lambası kömürlerinin yapımında ve yağlama maddelerinde kullanılan grafit aynı zamanda belirli oranda kil ile karıştırıldığında kalem ucu yapımında kullanılan madde elde edilmektedir.

2.2.3.3.Doğal Gaz

Bir petrol türevi olan ve fosil yakıtlar içinde en temiz olan doğal gaz, renksiz, kokusuz ve havadan hafiftir. Yeraltında genellikle petrolün bulunduğu yerlerde bulunan doğal gazın yapısında propan (C_3H_8), etan (C_2H_6) ve metan (CH_4) gibi hafif moleküler ağırlıklı hidrokarbonlar yer almaktadır. Doğal gaz yandığında ise su buharı, karbondioksit ve azot oksitler açığa çıkmaktadır. Doğal gaz, kaynağından çıkarıldığı hali ile herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın kullanılabilir. Doğal gazın taşınması ise genellikle boru hatları vasıtasıyla veya sıvılaştırıldıktan sonra tankerler aracılığıyla yapılmaktadır (www.enerji.gov.tr).

Doğal gazın kullanım alanları oldukça geniştir. Özellikle meskenlerde ısıtma, pişirme, sıcak su ihtiyacının karşılanmasında oldukça büyük bir öneme sahiptir. Meskenlerin yanı sıra ticari sektörler, ofisler, okullar, ibadethaneler, oteller ve restoranlar, kamu binaları da doğal gazın kullanım alanları arasında yer alan mekanlardır. Endüstriyel alanda elektrikten sonra enerji ihtiyacının en çok karşılandığı kaynak doğal gazdır. Sanayide de enerji ihtiyacını karşılayan önemli bir kaynak olan doğal gaz, özellikle küçük sanayi, atölye ve fırınlarda üretim amaçlı kullanılmaktadır. Demir-çelik, kimya sanayii, çimento ve seramik/fayans fırınlarında, tuğla, cam imalatı, sulu kazanlarla buhar üretiminde, tekstil sektörü doğal gazın kullanım alanları içindedir. Petrokimya sanayiinde karbon karası ve amonyak, kükürt üretiminin yanı sıra etilen, plastik, gübre üretiminde de önemli bir yere sahip olan doğal gaz Türkiye'nin elektrik enerjisini karşılamak için de kullanılan önemli bir fosil yakıttır (Demir, 2019).

2.2.3.4.Nükleer (Çekirdek Kaynaklı) Enerji ve Kullanım Alanları

Yenilenemeyen enerji kaynakları arasında yer alan nükleer enerjinin günümüzde kullanılabilmesinin temelinde 1879 yılında nükleer santrallerin en önemli yakıtı olan Uranyum'un keşfedilmesi 1934 yılında atomun parçalanması ile ilgili yaşanan gelişmeler yatmaktadır. Önemli bu iki gelişmenin ardından nükleer enerjiden yararlanma düşüncesi

politikacıların, bilim insanlarının ve sanayicilerin gündemine oturmuştur. Nükleer enerji ile ilgili çalışmalar, diğer birçok teknolojik gelişme de olduğu gibi öncelikli olarak askeri alanda başlamış sonradan ticari alanda devam etmiştir. Nükleer enerjiden faydalanma konusunda yapılan çalışmalarda, diğer birçok ülke olmasına rağmen Birleşik Devletler ve Rusya bu alanda başı çekmişlerdir. Gerçekleştirilmiş olan araştırmalar neticesinde atomların parçalanması ile ortaya çıkan ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürecek sistemler (nükleer santraller) geliştirilmiştir. Bugün, nükleer enerji güvenli, kontrol edilebilir ve sürdürülebilir biçimde yararlanmasında nükleer santrallerin önemli rolü vardır (www.enerji.gov.tr)

Yenilenebilir enerji kullanımına geçmemiş, kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıt kaynaklarına sahip olmayan ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için nükleer enerjiye yönelmektedirler. Söz konusu kaynaklara sahip olan ülkeler ise mevcut kaynaklarını değerlendirmeye yönelik politikaların yanı sıra muhtemel enerji arz açıklarının önüne geçebilmek amacıyla nükleer enerjiden yararlanmak amacıyla santraller kurmaktadır (DEK-TMK, 2010: 309).

Diğer yenilenemeyen enerji türlerine göre nükleer enerjisinin tercih edilmesinin temel nedenlerinden birisi ekonomik olması ve istikrarlı fiyata sahip olmasıdır. Nükleer enerjinin üretiminde yakıt maliyeti kilovat/saat başına toplam üretim maliyetinin 4/1'i civarındadır. Örneğin 1 kg kömürden üretilen elektrik enerjisi 3 kWh iken, 1 kg petrolden üretilen elektrik enerjisi 4 kWh, 1 m³ doğal gazdan üretilen elektrik enerjisi 10,64 kWh iken, 1kg uranyumdan üretilen elektrik enerjisi ise 50 bin kWh'dır. Nükleer enerjinin tercih nedenlerinden bir diğeri ise atmosferik karbon dioksit salınımının olmamasıdır. Yanma neticesinde ortaya çıkan karbon emisyonunun yanı sıra nükleer santralin dolaylı emisyonlarla birlikte nükleer enerjiden kaynaklanan emisyon miktarı kömür santrallerinin kullanımı neticesinde açığa çıkan toplam emisyonun %1-2'si oranındadır. Söz konusu bu nedenler ülkelerin fosil yakıtlar yerine nükleer enerjiye yönelmelerinde etkili olmaktadır (İşeri ve Özen, 2012: 166).

Nükleer enerji kullanımının beraberinde getirdiği en büyük endişe nükleer santrallerde meydana gelebilecek sızıntı veya kazadır. Nükleer santrallerine yönelik olarak alınan güvenlik tedbirleri diğer endüstriyel tesislere kıyasla daha fazla olsa da birçok tehlikenin varlığı söz konusudur. Nükleer santrallerin kullanılmaya başlamasıyla birlikte birçok nükleer kaza yaşanmıştır. Söz konusu bu kazaların etkilerinin anlaşılabilmesi için uluslararası bir ölçek belirlenmiştir. Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği'ne (International Nuclear and Radiological Event Scale - INES) göre her bir seviye bir öncekinden on kat daha fazla etkiye

sahiptir (Günel, 2017: 185). INES seviyelerinin sınıflandırması aşağıdaki gibidir (www.iaea.org):

- INES Seviye 7- Büyük Kaza
- INES Seviye 6- Ciddi Kaza
- INES Seviye 5- Geniş Sonuçları Olan Kaza
- INES Seviye 4- Yerel Sonuçları Olan Kaza
- INES Seviye 3- Ciddi Olay
- INES Seviye 2- Olay
- INES Seviye 1- Normal

Geçmişte yaşanmış nükleer kazalardan bazıları şunlardır (www.taek.gov.tr):

- Kyshtym (1957 - Eski Sovyetler Birliği): Mayak nükleer alan kazası olarak da bilinen kaza nükleer atık konteynerinde meydana gelen bir patlama sonucunda yaşanmıştır. Yaklaşık 200 kişi radyasyondan etkilendikleri için hayatını kaybetmiş 10 bin kişi bölgeden tahliye edilmiştir (www.ahder.org).
- Windscale Yakıt Üretim Tesisi Kazası (1957 - İngiltere): İngiltere'nin ilk reaktörünün çekirdeğinde meydana gelen yangın neticesinde oluşan radyoaktif bulutlar İsviçre'ye kadar ulaşmıştır. Kaza sonrasında İngiltere'de 200 kanser vakası ortaya çıkmıştır. Yaşanan bu kazaya bağlanan kanser vakalarının yarısı ölüm ile neticelenmiştir (www.ahder.org).
- Three Mile Island Nükleer Santral Kazası (1979 - ABD): 28 Mart 1979 tarihinde Birleşik Devletler'in Pensilvanya Eyaleti'nde bulunan nükleer reaktörün ikinci soğutma sisteminde meydana gelen bir arıza ile başlayan kaza birinci soğutma sisteminde bulunan bir vananın açık kalarak sıkışması neticesinde oldukça fazla miktarda soğutma suyunun soğutma sistemi dışına çıkması reaktör çekirdeğinin aşırı ısınmasına ve reaktörü çekirdeğinin kısmen erimesine yol açmıştır. Kaza neticesinde ölen veya yaralanan olmaz iken halk arasında nükleer güvenlik ile ilgili kaygılar artmıştır. INES seviyesi 5 (Günel, 2017: 185).
- Çernobil Nükleer Santral Kazası (1986 - Eski Sovyetler Birliği): Tarihte yaşanmış olan en büyük nükleer kazadır. 26 Nisan 1986 tarihinde bir reaktörün sistem testi yapıldığı sırada meydana gelen ani güç artışı sonucu meydana gelen patlamada reaktörün dördüncü ünitesi yıkılmış ve yangına neden olmuştur. Kaza ile radyoaktif maddelerle birlikte çok geniş bir alanda bulunan tarım alanlarının, denizlerin, göllerin, kentlerin ve

ormanların üzerinde birikmiştir. Kazadan sonraki birkaç ay içinde radyasyondan ve yanıklardan etkilenen 28 bin kişi hayatını kaybederken, çok geniş Alana yayılan radyoaktif bulutlardan etkilenen insan sayısı 60 bin kişiye ulaşmıştır. INES seviyesi 7. (Kaya, 2012: 76; Günalp, 2017: 185).

- Tokaimura Yakıt Çevrim Tesisi Kazası (1999 - Japonya): Kaza yeniden işleme tesisinde kapasitenin üzerinde uranium depolanması nedeniyle yaşanmıştır. 1 kişinin hayatını kaybettiği kazada 100 kişi radyasyondan etkilendikleri için hastaneye kaldırılmıştır. 313 bin kişinin evlerinden çıkmaları yasaklanmıştır (Kaya, 2012: 76).
- Fukushima Nükleer Santral Kazası (2011 - Japonya): 11 Mart 2011'de Japonya'nın doğu kıyısında meydana gelen ve 9 şiddetinde tsunamiye neden olan deprem aynı zamanda Kuzeydoğu kıyısında olan Fukushima Daiichi Nükleer Enerji Santrali'nde hasar görmesine neden olmuştur. Deprem, reaktörlerin dış güç kaynaklarının kesilmesine ve yedek jeneratörlerin devreye girmeyerek reaktörün soğutma sisteminin çökmesine neden olmuştur. Reaktör çekirdeğinde aşırı ısınan yakıt hidrojen patlamalarına neden olarak hasar gören reaktörlerden sızan radyonüklidler geniş bir çevreye yayılmıştır. Yaklaşık 500 bin kişi evlerinden tahliye edildi. INES seviyesi 7 olan Fukushima Nükleer Santral kazası, Çernobil Nükleer Santral kazasından sonra yaşanmış en ciddi nükleer felaket olarak tarihe geçmiştir (Günalp, 2017: 187).

2.2.4. Yenilenemeyen Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri

Yenilenemeyen enerji kaynakları diğer adıyla fosil yakıtların yaygın bir şekilde kullanımının gerek çevre gerek insan sağlığı açısından çeşitli sakıncaları vardır. Hangi fosil yakıt olursa olsun yanmaya karşı gösterdiği reaksiyon neticesinde çeşitli zehir gaz ve katı serbest kalmaktadır. Atmosfere ve çevreye dağılan bu atıklar ise hava, su ve toprağa karışmak suretiyle çevre kirliliğine yol açmasının yanı sıra iklim değişikliği gibi küresel sorunların da başlıca nedeni oluşturmaktadır. Yeryüzü, güneşten gelen ışınların %30'unu geri yansıtırken, %70'ini emerek sonradan uzun dalga boylu ışınlar şeklinde atmosfere geri göndermektedir. Atmosfere geri gönderilen bu ışınlar, yine atmosferde bulunan azot oksitler (N_2O), metan (CH_4), karbon dioksit (CO_2), kloroflorkarbonlar CFCs, gibi sera gazları sayesinde atmosferde tutularak havanın ısınmasına katkı sağlamaktadır. Doğal oranlarda atmosferde bulunan bu sera gazları iklim dengesini koruyacak şekilde ısının tutulmasını sağlarken, fosil yakıtların aşırı ve yaygın kullanımı neticesinde atmosfere salınan tehlikeli gazlar yeryüzünden atmosfere yansıyan güneş ışınlarının atmosferde daha fazla tutulmasını sağlayarak bugün küresel ısınma olarak adlandırılan en büyük çevre felaketinin tetikleyicisi olmuştur. Küresel ısınmaya

neticesinde hava sıcaklıklarının normalin üstüne çıkması, iklim değışikliklerini beraberinde getirmiştir. İklim değışikliği ise kimi bölgelerde kuraklık olarak, kimi bölgelerde aşırı yağış, sel baskınları ve fırtınalar şeklinde etkisini göstermektedir. Ayrıca kutup bölgelerinde buzulların eriyerek deniz seviyesinin her geçen yıl daha da yükselmesi kıyı bölgelerinde bulunan birçok yerin gelecekte sular altında kalma riskini doğurmuştur. Tüm bu olaylar ise doğrudan ve dolaylı olarak canlıların doğal yaşam alanlarının yok olması ve doğal dengenin bozulması anlamına gelmektedir (Yıldız, 2018: 225-226; Akın, 2006: 30-31).

Küresel ısınmaya neden olan sera gazlarından en önemlisi olan karbon dioksit (CO₂) emisyonunun (Akkaya, 2015: 2) son 10 yıllık durumu incelendiğinde aşağıdaki tablo ortaya çıkmaktadır:

2009 yılında dünya genelinde karbon dioksit emisyonu 29719,4 milyon tondur. En çok karbon dioksit emisyonuna sahip bölge olan Asya Pasifik'in sahip olduğu toplam karbon dioksit emisyonu 13251,5 milyon ton iken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip bölge 1041,6 milyon ton ile Afrika olmuştur. 2009 yılında en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip ülke 7708,8 milyon ton ile Çin olurken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip ülke 13,2 milyon ton ile Sri Lanka olmuştur.

2010 yılında dünyadaki karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 31057,9 milyon tona ulaşmıştır. En çok karbon dioksit emisyonuna sahip bölge olan Asya Pasifik'in sahip olduğu miktar bir önceki yıla göre artarak 13994 milyon tona yükselirken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip olan Afrika'nın sahip olduğu karbon dioksit emisyonu 1071,6 milyon ton seviyesine yükselmiştir. 2010 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi Çin'in sahip olduğu emisyonu bir önceki yıla göre artarak 8135,2 milyon ton seviyesine ulaşırken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip olan ülke olan Sri Lanka'nın miktarı ise bir önceki yıla göre azalarak 13,1 milyon ton seviyesine gerilemiştir.

2011 yılında dünya genelindeki karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 31978,3 milyon ton seviyesine yükselmiştir. En çok karbon dioksit emisyonuna sahip bölge olan Asya Pasifik'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artmaya devam ederek 14867,2 milyon ton seviyesine ulaşırken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip olan Afrika'nın sahip olduğu miktar bir önceki yıla göre artarak 1073,1 milyon ton seviyesine yükselmiştir. 2011 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip olan ülkesi Çin'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 8805,8 milyon ton seviyesine ulaşırken, en az

karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Sri Lanka'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 14,8 milyon ton seviyesine yükselmiştir.

2012 yılında dünya genelindeki karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla artarak 32316,7 milyon ton seviyesine yükselmiştir. 2012 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Asya Pasifik'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 15317,4 milyon tona yükselirken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi Afrika'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 1106,4 milyon ton olmuştur. 2012 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi Çin'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 8991,5 milyon ton seviyesine yükselirken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Sri Lanka'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 16,1 milyon ton seviyesine yükselmiştir.

2013 yılında dünya genelinde karbon dioksit emisyonu artmaya devam etmiş ve 32799,9 milyon ton olmuştur. 2013 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Asya Pasifik'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 15670,5 milyon ton olurken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Afrika'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 1130,7 milyon tona ulaşmıştır. 2013 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Çin'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 9237,7 milyon ton seviyesine ulaşırken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Sri Lanka'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre azalarak 14 milyon ton seviyesine gerilemiştir.

2014 yılında dünya genelinde karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artmış ve 32844,8 milyon tona ulaşmıştır. 2014 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Asya Pasifik'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 15799,5 milyon ton olurken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Afrika'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 1166,2 milyon tona ulaşmıştır. 2014 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Çin'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre azalarak 9223,7 milyon ton seviyesine gerilerken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Sri Lanka'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 14,2 milyon ton seviyesine ulaşmıştır.

2015 yılında dünya genelinde karbon dioksit emisyonu azalarak 32804,4 milyon ton seviyesine gerilemiştir. 2015 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Asya Pasifik'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 15886 milyon ton

seviyesine ulaşırken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Afrika'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 1173,7 milyon tona ulaşmıştır. 2015 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Çin'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre azalarak 9174,6 milyon ton seviyesine gerilerken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Sri Lanka'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 17,9 milyon ton seviyesine yükselmiştir.

2016 yılında dünya genelinde karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 32913,5 milyon ton seviyesine yükselmiştir. 2016 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Asya Pasifik'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 15998,9 milyon ton seviyesine ulaşırken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Afrika'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 1191,2 milyon tona ulaşmıştır. 2016 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Çin'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre azalarak 9119 milyon ton seviyesine gerilerken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Sri Lanka'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 20,2 milyon ton seviyesine yükselmiştir.

2017 yılında dünya genelinde karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artmaya devam etmiş ve 33242,5 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. 2017 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Asya Pasifik'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 16292,7 milyon ton seviyesine yükselirken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Afrika'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 1206,1 milyon tona ulaşmıştır. 2017 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Çin'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 9229,8 milyon ton seviyesine ulaşırken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Sri Lanka'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 20,7 milyon ton seviyesine yükselmiştir.

2018 yılında dünya genelinde karbon emisyonu bir önceki yıla göre artmaya devam ederek 33890,8 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. 2018 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Asya Pasifik'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 16744,1 milyon ton seviyesine yükselirken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip bölgesi olan Afrika'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 1234,6 milyon tona ulaşmıştır. 2018 yılının en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Çin'in karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre artarak 9428,7 milyon ton seviyesine ulaşırken, en az karbon dioksit emisyonuna sahip ülkesi olan Sri Lanka'nın karbon dioksit emisyonu bir önceki yıla göre azalarak 20,6 milyon ton seviyesine gerilemiştir.

2009 yılında Türkiye'nin karbon dioksit emisyonu 276,1 milyon ton seviyesinde iken 2010 yılında 278,6 milyon ton seviyesine, 2011 yılında 301,5 milyon ton seviyesine, 2012 yılında 316,9 milyon ton seviyesine yükselmiştir. 2013 yılında 305,5 milyon ton seviyesine gerileyen Türkiye'nin karbon dioksit emisyonu 2014 yılında 337,5 milyon ton seviyesine, 2015 yılında 346,1 milyon ton seviyesine, 2016 yılında 366 milyon ton seviyesine, 2017 yılında 388,5 milyon ton seviyesine ve 2018 yılında ise 389,9 milyon ton seviyesine yükselmiştir.

Özetle küresel ısınmanın temel nedenlerinde birisi olan ve yeryüzünde geri yansıyan güneş ışınlarını tutarak yeryüzünün normalin üzerinde ısınmasına neden olan sera gazlarının başında gelen karbon dioksit oranı gerek dünya, gerek bölge ve gerekse ülke bazında artış eğilimindedir. Bu durum ise yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin önemini bir kez daha ortaya koyan kanıt niteliğindedir.

2.3.Avrupa Birliği Çevre Politikası

AB, birlik üyesi ve birlik dışı ülkeler açısından çevre dostu politikalar oluşturma konusunda son derece önem arz etmektedir. Koyduğu kurallar ve üye dışı devletlerle yoğun ilişkileri dünyanın ekolojik dengesinin korunmasına büyük etki göstermektedir. AB yaşam kalitesinin iyileştirilmesi ve bunu birlik genelinde ortak bir düzeye yükseltmek adına çevre sorunlarına büyük önem vermektedir.

Günümüzde doğal kaynaklar üzerindeki baskı giderek arttığı için ekonominin sürdürülebilirliği sorunu gündeme gelmiş, iklim değişikliği gibi yeni sorun alanları oluşmuştur. Kentsel ve kırsal yerleşim yerlerinde sağlık önlemleri alınması ve bölgesel dengesizliklerin giderilmesi sadece sağlıklı ve dengeli bir çevreyi mümkün kılan çevre dostu enerji politikalarının hayata geçirilmesi ile mümkündür (Duru, t.y. 2).

2.3.1.Avrupa Birliği Çevre Politikasının Temelleri

Çalışmanın bu bölümünde AB çevre dostu yenilenebilir enerji politikasının temel ilkeleri ve uygulamaları ele alınmaktadır. Bu kapsamda AB 'nin Çevre Eylem Programları, Avrupa Birliği Çerçeve Programları ile Avrupa Birliği çevre politikasının temel araçları bu kısımda anlatılmaktadır.

2.3.1.1. Avrupa Birliği'nin Çevre Eylem Programları

AB, çevre politikalarını çevre eylem programları (ÇEP) ile hayata geçirmektedir. ÇEP, AB'nin çevre sorunlarını belirleyen ve birlik genelinde amaçlar sıralayan programlar olup, AB'nin çevre politikalarının gelişiminde oldukça etkili olmuştur.

ÇEP Avrupa Komisyonu tarafından genellikle Konsey beyanı şeklinde ortaya konularak uygulanır. Komisyon, düzenleyici ve mali araçlar, yatay önlemler ve mali destek mekanizmalarının geniş kapsamlı birleşimini sağlamaya çalışır. Söz konusu programlarda dikey ve sektörel yaklaşım ele alınmıştır. Her programda kirlilikle mücadele, çevreyi ilgilendiren tüm konuların topluluk aktivitelerine entegrasyonu amaçlanır. Eylem programları istenen eylemin hukuki kuralların hazırlanmasını gerektirdiğinden mevzuatların gelişimine katkı sağlar (Sarıkaya, 2004: 3).

2.3.1.1.1. Birinci Çevre Eylem Programı (1973-1976)

Stockholm'de gerçekleştirilen İnsan Çevresi Konferansı'nın birinci ÇEP'in hazırlanmasında önemli payı bulunmaktadır. Program Stockholm Konferansı'nda benimsenen ilkeler doğrultusunda belirlenmiştir. Genel amaç bireylerin yaşam koşullarını geliştirmektir. Benimsenen ilkeler şunlardır: kirliliği kaynağında önleme; çevresel kaygıların bütün karar verme süreçlerine dahil edilmesi; kirlenme öder ilkesinin kabulü; AT politikalarının gelişmekte olan ülkeler üzerindeki etkisinin dikkate alınması; uluslararası işbirliğinin geliştirilmesi; eğitsel etkinliklerin teşvik edilmesi; üye ülkelerdeki çevre programlarının uyumlaştırılmasıdır. Programda ayrıca zehirli atıklar, uluslararası nehir ve denizlerin kirliliği, üretim yerlerinin denetlenmesi, radyoaktif atıklar gibi çevre sorunlarına karşı politikalar geliştirilmiştir (Duru, t.y. 6).

2.3.1.1.2. İkinci Çevre Eylem Programı (1977-1981)

Birinci çevre eylem programının devamı niteliğinde olan bu programda birincide uygulanamayan kararlara burada tekrar yer verilmiştir. Bu kararlar arasında topluluğun çevre ile ilgili durumunu gösteren raporların düzenli olarak yayımlanması, eğitime öncelik verilmesi, Avrupa Çevre Bürosu ve sivil toplumları arasında işbirliğinin gerekli olması sayılabilir (Budak, 2007: 94).

2.3.1.1.3. Üçüncü Çevre Eylem Programı (1982-1986)

1982-1986 periyodu için onaylanan üçüncü çevre eylem programı iç piyasalarla yakından ilişkili olan çevre politikalarını ifade etmede önemli bir değişikliği yansıtmaktadır. Bu program tarafından getirilen yeni bir özellik bunları kontrol etmek yerine genelleştirilmiş çevresel stratejileri ve çevreye verilen zararı önlemeyi vurgulayan faaliyetleri şekillendirmeye bağlantılıdır. Söz konusu şekillendirme iç piyasa için çevresel politikaların faydaları ile potansiyel risklerini ve iç piyasada Avrupa topluluğunun plan ve programları için önemli bir faktör haline gelen çevresel politika arasındaki sorunlu ilişkiyi vurgulamaktadır. Aynı zamanda

bu periyodik dönem uygulanan çevresel politikalar tarafından sağlanan ekonomik faydalar ve endüstriyel mücadele açısından bozulma olasılığını önlemek için emisyon standartlarının uyumlaştırılması ihtiyacından bahsetmektedir (Popeangă, 2013: 26).

1986 yılında AB düzeyinde uygulanan çevresel politikaların tarihi evriminin önemi açısından Avrupa Tek Senedi (1997), AT Antlaşmasının çevre politikası yasal entegrasyonu Roma Antlaşması (1957) benimsendi. Avrupa Tek Senedi, doğal kaynakların rasyonel kullanılması, sağlığın korunması ve çevrenin geliştirilmesi ve korunması gibi hedeflerin elde edilmesini belirten “Çevresel Politika” VII başlık aracılığıyla Roma Antlaşmasına eklendi. Avrupa Tek Senedi, çevre politikasının diğer topluluk politikaları içine entegre edilmesi ve üye devletlerin çevre için daha fazla sürdürülebilir önlemler benimsemesi gerektiğini ortaya koymaktadır. 1987 yılında Avrupa çevre politikasında çevre ilk kez Roma Antlaşmasında kendi bölümünde uygulanmıştır (Popeangă, 2013: 26).

2.3.1.1.4. Dördüncü Çevre Eylem Programı (1987-1992)

4. Eylem Planı döneminde AB “halk sağlığı” ile gündemini meşgul etmekte olduğundan içme ve deniz suyu önceliklidir. Bu dönemde su kalitesi ile ilgili düzenlemeler yapılmıştır (Bayram vd., 2011: 34-35).

Dördüncü çevre eylem programı çevre politikası yaklaşımı bakımından bir değişikliği de vurgulamaktadır. Programda bir önceki ÇEP eksiklikleri (kalite politikası, emisyon oryantasyon vb.) kabul edildi ve çevre ilk kez bir ek politika olmaktan çıkarak bütün üretim süreciyle bütünleşmiş bir faaliyet olarak kabul edildi. PAM4 tarafından stratejik ekonomik sektörlerin çevresel etkilerini analiz ederek “Sektörel Yaklaşım” kuruldu. Bu program aracılığıyla dış ticarete konu emisyon izni, sübvansiyonlar, vergiler gibi teşvik tabanlı araçlar ilk kez belirlenmiştir (Popeangă, 2013: 26-27).

Sürdürülebilir Kalkınma kavramı 1990 yılından bu yana çevre politikası için bir referans haline gelmiştir (Hey, 2007’den aktaran Popeangă, 2013: 27).

2.3.1.1.5. Beşinci Çevre Eylem Programı (1992-1999)

Beşinci ÇEP, diğer geride kalan ÇEP’lere oranla oldukça kapsamlı ve daha uzun bir dönem için yapılmıştır. Bu dönemde motorlu taşıtlar emisyonlarının azaltılmasını ve yakıt kalitesine ilişkin vergi teşviklerini içeren direktifler yayınlanmıştır. AB Eko-Label ile EMAS’da piyasa mekanizması ile, üretici ve tüketicilerin davranışlarını çevre lehine etkilemeyi amaçlayan yeni uygulamalar yapılmıştır (Dündar ve Fişne, 2002: 127-128).

Beşinci ÇEP ile piyasa temelli aşağıdaki kategoriler kurulmuştur (Pascariu, t.y.'den aktaran Popeangă, 2013: 28):

- Vergiler: Ürün ve emisyon olmak üzere iki kategori içinde gruplandı.
- Vergi indirimleri ve olanakları: Eko-ürünler ve sürdürülebilir üretim sitelerini teşvik etmeyi amaçlar.
- Doğrudan ve dolaylı kamu sübvansiyonları: Bu araçlar 'kirleten öder' ilkesi ve bu ilkenin iç pazarın işleyişi ile uyumluluğunu sağlamak üzere konulmuştur.
- Çevresel denetim: Çevrenin korunması ve doğal kaynakların kullanımında performans artışı sağlamak ve iç yönetim sistemindeki analizi geliştirmek üzere ekonomik birimlerin uyarılması için dizayn edilmiştir. Sistem gönüllük esasına dayanmaktadır.

2.3.1.1.6. Altıncı Çevre Eylem Programı (2001-2010)

“Geleceğimiz, Tercihimiz” başlıklı 6. ÇEP, risk oluşturmayan, kabul edilebilir hava kalitesi düzeyine odaklanmaktadır. Bu programda yer alan Avrupa İçin Temiz Hava Programı (CAFE) 2004-2005 döneminde temel hava kalitesi hedefine ulaşılması için atılacak adımlar ile mevcut hava kalitesi mevzuatının uygulanmasını belirlemeye çalışır. Salım envanterleri ve bilimsel hava kalitesi verilerinin oluşturulması, toplanması ve değerlendirilmesi; hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik sektörel adımların atılması ve “teknik bilgi ve politikalar”a ilişkin bilgi yayılımının sağlanması önerileri de yer almaktadır (REC, 2010: 69).

2.3.1.1.7. Yedinci Çevre Eylem Programı (2014-2020)

7. ÇEP 17.01.2014 tarihinde “gezegenin sınırları içinde, daha iyi yaşamak” sloganıyla yürürlüğe giren program AB’nin orta vadedeki çevre politikalarını vurgulamakta olup tüm üye ülkeleri bağlayan 2050 hedeflerinin (%80-95 emisyon azaltım) gerçekleşmesi için 22.01.2014 tarihinde açıklanan “2030 yılına ait iklim ve enerji politikası” paketiyle beraber “ara dönem” çalışma programıdır. Tematik stratejiler üzerinden yürütülen çalışmalar, iklim değişikliği, insan sağlığı, doğal kaynakların verimli kullanılması ve enerji verimliliği gibi konulara odaklanmaktadır. AB’de hızla gelişen yeşil ekonomiye geçiş hızlandırılacaktır. Program bütçesi, 2014-2020 Çok Yıllı Mali Çerçevesi dâhilinde ele alınacaktır (Kıvılcım, 2014).

7. ÇEP’nin öncelikli hedefleri şunlardır (T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, 2023):

- Doğal sermayenin korunması ve güçlendirilmesi,
- Verimli kaynak kullanımı, yeşil, rekabetçi ve düşük karbon ekonomisine geçiş,
- Halkın sağlık ve refahının çevrenin olumsuzluklarına karşı korunması,

- Çevre mevzuatı uygulamalarının geliştirilmesi,
- Çevre ve iklim politikalarına yönelik yatırım sağlanması,
- Çevrenin diğer politika alanlarına uyumunun sağlanması,
- Şehirlerin sürdürülebilirliği,
- Birliğin uluslararası çevre sorunlarındaki etkinliğinin artırılması.

2.3.1.2. Avrupa Birliği Çerçeve Programları

Amaçları ve bütçesi belli bir dönem için tasarlanan ve çok yıllık olan AB Çerçeve Programları (ÇP), üye ülkelerin bilim, teknoloji, politika ve uygulamalarının birbirine yakınlaştırılması için oluşturulmuştur (TÜBİTAK, 2023).

AB’nde yenilenebilir enerji projelerine ÇP ile de destek sağlanmaktadır. Aşağıda 2000-2006 döneminde yürütölen 6. ÇP, 2007-2013 yıllarını kapsayan 7. ÇP ve 2014-2020 yılı arası yürürlükte olan Horizon 2020’nin yenilenebilir enerji ile ilgili kısımları ele alınmaktadır.

2.3.1.2.1. Altıncı Çerçeve Programı

6. ÇP 2000-2006 yılları arasında yürütölmüştür. “Sürdürülebilir Kalkınma, Küresel Değişimler ve Ekosistemler” tematik alanının içinde bir alt tema olarak “Sürdürülebilir Enerji Sistemleri” başlığı altında enerji konusuna yer verilmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımını yaygınlaştırmak bu araştırma programının politik amaçları arasında sayılmıştır. 1990-2010 tarihleri arasında sera gazı emisyonlarının yaklaşık %8 civarına düşürölmesi, 2010 yılına kadar YEK’in % 6’dan %12’ye çıkarılması, enerji kaynaklarının rasyonel kullanılması, yabancı enerji kaynaklarına olan bağımlılığın düşürölmesi, likit biyoyakıt ürünlerinin teşvik edilmesine dair düzenleyici ve ekonomik hükümler içeren yönergeler doğrultusunda hareket edilmesi, yeni ve YEK’in maliyetinin uzun vade de geleneksel fosil yakıtlarından elde edilen enerji ile rekabet edebilir hale getirilmesi kararlaştırılmıştır (Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası (MESS), t.y. 18).

6. ÇP 16,3 milyar Avroluk bütçeye sahiptir. Bu ÇP dahilinde başarılı olan projelere örnek vermek gerekirse hidrojen projesi ile çiftlik, toprak ve su arıtım işletmelerindeki biyogazlar hidrojene dönüştürölerek bir prototip sistem geliştirilip araçlarda kullanımı sağlanmıştı. Night Wind projesi ile, Avrupa enerji hizmet ağına YEK entegre edilerek, rüzgâr enerjisini depolayan yeni tesisler kurularak, talebin en yoğun olduğı saatlerde ek enerji üretimi ile rüzgâr enerjisinin ekonomik değeri artırılması sağlanmıştı (Kabaalioğlu, 2011: 62).

2.3.1.2.2. Yedinci Çerçeve Programı

7. ÇP 2007-2013 yıllarını kapsamaktadır. “İş birliği Özel Programı”, “Fikirler Özel Programı”, “Marie-Curie Araştırma Programları ve Bursları”, ve “Kapasiteler Özel Programı” olmak üzere dört programdan oluşmaktadır. Bu dört özel programa, EURATOM programı dahil edilmiştir. Enerji ve Çevre tematik alanına İş birliği Özel Programı’nda yer verilmiştir. Programa sanayi ve araştırma kuruluşları arasındaki işbirliğinin sağlanmasına yönelik projelerin desteklenmesi için 32,4 milyar Avro tahsis edilmiştir (TÜBİTAK, 2023: 4).

TÜBİTAK AB ÇP Ulusal Koordinasyon Ofisi tarafından, İstanbul Sanayi Odası’nda, İstanbul Sanayi Odası iş birliği ile 2010 yılında AB Kamu-Özel Ortaklıkları bilgi günleri düzenlenmiştir. “Enerji Verimli Binalar” ve “Temiz Araçlar” bilgi günleri 05.07.2010 tarihinde gerçekleştirilmiştir (TÜBİTAK, 2023: 15).

2.3.1.2.3. Horizon 2020 Programı

Horizon 2020 Programı, 2014-2020 yılları arasında yaklaşık 35.763 milyon Avro’luk bir bütçe ile 7. ÇP programının devamı niteliğinde uygulanmaktadır. Program, “Bilimsel Mükemmeliyet”, “Endüstriyel Rekabetçilik ve Liderlik” ve “Toplumsal Sorunlara Çözümler” olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Enerjiye 5.931 milyon Avro bütçe ile toplumsal sorunlara çözümler bileşeni altında “Güvenli, Temiz ve Verimli Enerji” alt başlığında yer verilerek etkili çözüm önerilerini desteklemektedir (T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, 2023: 2-12). Bu alan kapsamında Avrupa 2020 Stratejisi olan enerji güvenliği ve etkinliğinin yanı sıra AB’nin endüstride rekabetçiliği sağlanmaya çalışılacaktır (TÜBİTAK, 2023: 11).

Toplumsal sorunlara çözümler başlığı altında yine enerji ile yakından ilişkili bir diğer başlık “İklim Değişikliği ve Kaynak Verimliliği (hammaddeleler dahil)” olup bu alana 3.160 milyon Avro ayrılmıştır. Diğer alt hedefler ise Avrupa’nın rekabet gücünü artırarak refahını sağlamak, çevreyi entegre bir şekilde ele almak ve korumak, küresel ısınmayı 2 °C altında tutabilecek önlemler almak, ekosistem ve toplumun iklim değişikliğine uyumunu sağlamaktır (TÜBİTAK, 2023: 12).

2.3.1.3. Avrupa Birliği Çevre Politikasının Temel Araçları

AB, birtakım çevre politikası araçları kullanarak üye ülkeleri yönlendirir, mevcut sistemde gerekli değişiklikleri yapar ve üye ülkeler arasındaki farklı uygulamaların önüne geçmeye çalışır.

2.3.1.3.1. Çevresel Etki Değerlendirmesi

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), kamu veya özel projelerin neden olabileceği çevresel zararın değerlendirilmesi için faaliyet onayı verilmeden önce, çevresel etki değerlendirmesine ilişkin gereklilikleri ortaya koyar. ÇED süreci usulleri Avrupa Komisyonu tarafından Haziran 2001’de yayınlanan “ÇED Kılavuzu-Tarama”, “ÇED Kılavuzu-Kapsamın Belirlenmesi” ve “ÇED Kılavuzu-ÇED Raporunun İncelenmesi” adlı üç yayında sunulmaktadır. Avrupa Komisyonu 2008 yılında, ÇED’in I ve II numaralı ek’lerinde belirtilmiş olan belirli proje kategori tanımlarının nasıl yorumlanacağı ile ilgili yayınladığı kılavuzda, projelerin çevresel etki yaratması ihtimalinde, halk ve resmi danışmanlarla birlikte sınır ötesi görüşme ve danışma yolu öngörülmektedir. Aynı zamanda tarafların bilgiye erişimi konusuna önem verilmiştir (Bölgesel Çevre Merkezi (REC), 2010: 40-41).

2.3.1.3.2. Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği

Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği 2017 yılında yayımlanmıştır. Yönetmeliğin amacı belirli plan veya programların çevresel sonuçlarını ortaya çıkarmak ve bunların değerlendirilmesini sağlamaktır. Kamu otoriteleri ve halk kendi görüşlerini sunmaktadır. Planlama sürecinde bu görüşler dikkate alınarak kararlar alınmalıdır. Plan veya program kabul edildikten sonra halk kararın nasıl alındığı hakkında bilgilendirilmelidir. Eğer sınır ötesi bir etki oluşmuş ise etkilenen üye devlet de bilgilendirilmelidir. Sonuç olarak halkın katılımı ile daha şeffaf bir planlama süreci amaçlanmıştır (Çörtoğlu, 2016: 106-107).

2.3.1.3.3. LIFE Programı

Bu programın amacı çevre alanında bir mevzuatın oluşturulması ve geliştirilmesini sağlamaktır. LIFE programı 3. Dünya ülkelerinin yaptıkları çevre politikaları ile ilgili projeleri de desteklemektedir (Çokgezen, 2007: 103). Konsey tarafından 1991-95 yılları arası 400 milyon ECU dağıtılmıştır (Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği (TÜSİAD), 1998: 244). Çevre alanında bir finansal araç olan LIFE programı; doğa ve biyo çeşitlilik, çevre politikası ve

yönetişim, bilgi ve iletişim olmak üzere 3 bileşenden oluşmaktadır. Kamu kurumları ve özel birimler bu programdan faydalanabilirler (T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, 2023: 31).

2.3.1.3.4. Çevre Kirliliği ile İlgili Bilgilere Ulaşma Özgürlüğü Direktifi

ÇEP'in sonucu olan direktif, bilgiye ulaşma ile ilgili ilke ve kuralları açıklamaktadır. Özellikle kamu yetkililerinden çevre ile ilgili bilgiye ulaşmaları ve bilginin dağıtımında önlemler almaları beklenir. Ayrıca çevre ile ilgili sorumlulukları olan kurumların da aynı şekilde bilgi vermeleri gerekir. Herkes çevreye dair bilgi sorma hakkına sahiptir. İstenen bilgi en fazla iki ayda verilmelidir (Candan, 2003: 8).

2.3.1.3.5. Çevre Dostu Ürünler için Eko-Etiket

Çevre Dostu Ürünler için Eko-Etiket direktifi 1992 yılında benimsenmiştir. İmalatçı veya ürünü ilk ithal eden firma, üye devletin ilgili kurumuna eko-etiket için başvurmuştur. Bu kurum, ürünün eko-etiketi hak edip etmediğini değerlendirmektedir (Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği (TÜSİAD), 1998: 244).

Eco-Etiket, "ISO 14024 Tip I" çevre etiketleme sistemi dâhilinde tanımlanır. Gönüllü olarak kullanılan eko-etiketleme sistemi için belirlenen kıstaslar çevresel faydanın oluşturulmasında önem arz eder. Çevresel kıstaslar ürünlerin yaklaşık %10- 20'sinin bu etiketi hemen alabilecek durumda olup olmalarına göre belirlenir. Kullanılan kıstasların çoğu ürünün çevresel etkileri hesaba katılarak belirlendiği için bu etiketler tüketicilere çevreye en duyarlı ürünleri seçme imkanı sunmaktadır (Kara, 2011: 7).

2.3.1.3.6. Çevresel Denetleme

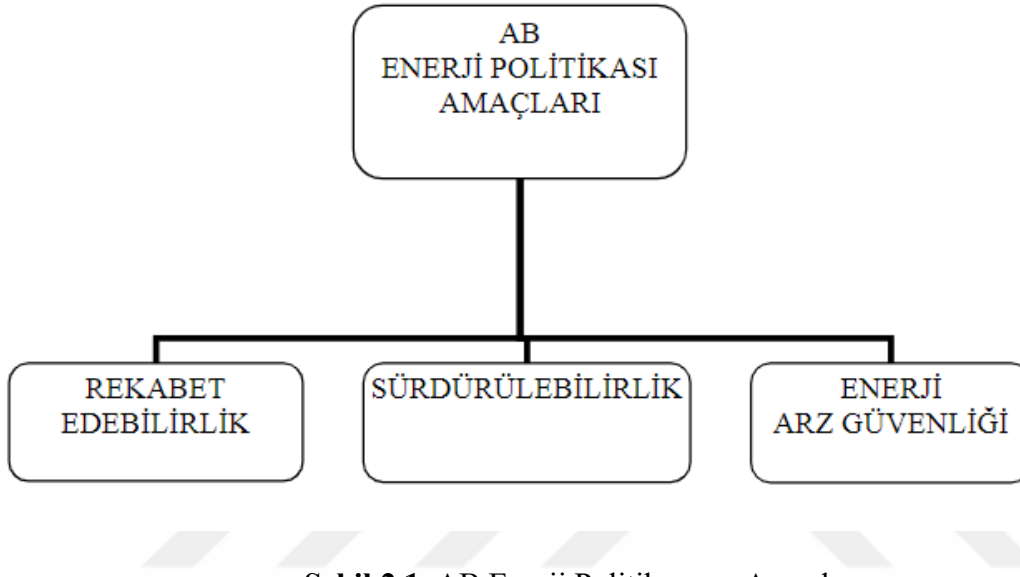
Çevresel denetim sistemi gönüllü olarak yapılır. İlgili şirketler kendi üretim süreçlerine çevresel koruma standartlarını dahil etme imkânı bulur. Üye devletler, bu uygulamanın koordinasyonundan sorumlu olup, başvuruları alarak başvuruların, uygun olup olmadığına karar verebilen onaylanmış "teyitçiler listesi" oluştururlar (Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği (TÜSİAD), 1998: 244).

2.3.1.3.7. Çevre İle İlgili Kullanılan Fonlar

"Avrupa Tarımsal Yönlendirme ve Garanti Fonu" ile "Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu" 1992 yılına kadar kullanılmış olup daha sonra bu fonlara "Uyumlaştırma Fonu" eklenmiştir. Bu fonların kullanılmalarındaki asıl amaç çevre koşullarının iyileştirilmesi olmasa da kamusal bir çevre bilincinin oluşturulmasındaki rolü aradaki bu bağlantıyı gerekli yapmaktadır (Çokgezen, 2007: 103).

2.3.2. Avrupa Birliğinde Uygulanan Enerji Politikaları

AB çevre dostu enerji politikalarını oluştururken, topluluğun rekabet edebilirliğine katkı sağlamak, enerji arz güvenliğini oluşturmak ve sürdürülebilir kalkınma temelinde çevrenin korunmasına hizmet etmekten oluşan üç amaç arasında bir denge kurmaya çalışır (Şekil 2.1) (T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, Fasıl-15 Enerji).



Şekil 2.1. AB Enerji Politikasının Amaçları

Kaynak: (Erdal, 2011: 118)

Enerji çalışmalarının başlangıcı olarak kabul gören 1951 yılında Paris Antlaşması ile Kömür ve Çelik Topluluğu, 1958 yılında Roma Antlaşmasıyla Atom Enerjisi Topluluğu kuruldu. O dönemlerde kömür ve güç santralleri, enerji politikalarının ortak yürütülmesinde ve AB ülkeleri arasındaki gerginliğin giderilmesinde önemli faktörlerdi. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizlerinden sonra petrolün önem kazanmaya başlamasıyla 1973 yılında Arap-İsrail savaşında petrol üreten ülkeler kendi aralarında OPEC'i kurdular. Bu durum dünya petrol üretiminin neredeyse %60'ına sahip bir kartel olarak petrol ithal eden AB ülkelerinin zor duruma düşmesine neden olmuştur (Aydın, 2014: 541-542).

AB ülkeleri ile diğer petrol ithal eden ABD, Kanada, Avustralya ve Japonya gibi ülkeler tarafından OPEC'in bir karşılığı olarak petrol stoklarının tutulmasına yönelik petrol güvenliği açısından IEA kuruldu (Aydın, 2014: 542).

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA), ülkelerin sürdürülebilir bir enerji geleceğine geçişlerini destekleyen hükümetler arası bir kuruluştur. Yenilenebilir enerji

konusunda uluslararası işbirliği için politika, teknoloji, kaynak ve finansal bilgi deposu olarak hizmet vermektedir. IRENA, uluslararası bir yetkiyle hükümetleri yenilenebilir enerji yatırımları için etkin politikalar benimsemeye teşvik eder, yenilenebilir enerji dağıtımını hızlandırmak için gerekli araçlar ve politika tavsiyeleri sağlar.

180'den fazla ülkeye hizmet veren IRENA, yaşanabilir bir gelecek için yenilenebilir kaynak ve teknolojileri desteklemekte ve ülkelerin yenilenebilir enerji potansiyellerine ulaşmalarına yardımcı olmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda IRENA, aşağıdaki ürün ve hizmetleri sunmaktadır (IRENA, t.y.):

- Yenilenebilir enerji kapasitesi istatistikleri,
- Yenilenebilir enerji maliyet çalışmaları,
- Ükelere göre yenilenebilir enerji gelişiminin artırılmasına yardımcı olmak için hükümetler ve bölgesel kuruluşlarla ortaklaşa yürütülen Yenilenebilir Hazırlık Değerlendirmeleri,
- Kaynak potansiyelini kaynağa ve konuma göre haritalayan Global Atlas;
- Yenilenebilir enerji faydaları çalışmaları,
- 2030 yılına kadar dünyada iki kat yenilenebilir enerji kullanımı için bir yol haritası olan REmap,
- YET özetleri,
- Bölgesel yenilenebilir enerji planlamasının kolaylaştırılması,
- Proje Gezgini, Sürdürülebilir Enerji Pazarı gibi yenilenebilir enerji proje geliştirme araçları.

AB'nin kuruluş aşamasında ortak bir çevre politikası yoktur. Birliği kuran Paris ve Roma anlaşmalarında çevreye ilişkin herhangi bir hüküm de yer almamıştır. Fakat ilerleyen dönemlerde kirliliğin artması nedeniyle ortak bir çevre politikasının oluşturulması kararı alınmıştır. 1972 yılında çevre sorunlarının BM düzeyinde ele alınması için Stockholm Konferansı, yine aynı yıl içinde Paris Konferansı yapılmıştır (Yıldız, 2005: 166-167). 1992 yılında Rio Zirvesinde biyolojik çeşitlilik, iklim değişikliği ile mücadele konularında önemli sorunlar sözleşmeye dönüştürülmüştür. Bu sözleşmeler; Birleşmiş Milletler Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (BMBÇS), Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (BMÇMS), Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)'den oluşmaktadır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2011: 9).

Avrupa Konseyi tarafından ilk kez 1983 yılında AB'ye, kendi enerji politikasını oluşturması için yetki verilmiştir. Birkaç yıllık çerçeve programları oluşturularak söz konusu programlarda her üye ülke için enerji etkinliğini artırmak, ithalat bağımlılığını azaltmak, yurtiçi enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasını sağlamak ve yeni enerji teknolojilerini teşvik etmek gibi ortak görev ve hedefler belirlenmiştir (Bayraç, 2009: 123).

1993 yılında Kopenhag'da üye devletler ile AT'nun çevre konusunda tarafsız, güvenilir ve kıyaslanabilir nitelikte veri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) kurulmuştur. Üye devletler, Avrupa Çevre Bilgi ve Gözlem Ağı (Eionet) çerçevesinde ulusal çevresel bilgi ağının ana unsurlarına ilişkin AÇA'ya çevresel bilgi toplamak ve analiz etmekle yükümlüdürler. AÇA aynı zamanda çevre raporları yayınlamakta ve üye devletlere de tavsiyelerde bulunmaktadır (Bölgesel Çevre Merkezi (REC), 2010: 44). Birlik üyesi olmayan ülkelerin katılımı da kabul edilmektedir. AÇA, OECD ile birlikte çevre politikalarına ilişkin bir veri tabanı hazırlamıştır (Bölgesel Çevre Merkezi (REC), 2010: 103).

AÇA, devlet için de önemli bir kaynak teşkil eder. Türkiye'de AÇA üyesidir. AÇA'nın üye ülkelere katkıları şunlardır (Ökmen ve Demir, 2010: 267-268):

- Çevre ve diğer alanlarda AB müktesebatına uyum için gerekli olan verilerin AB standartlarına uygun şekilde toplanarak, gerekli tüm verilerin temin edilmesi,
- Karar vericilere, politika oluşturulması aşamasında tüm veri ve bilgilerin teminini sağlaması,
- AB'ne aday ülkelerin hazırladığı projelerin ÇED aşamasında gerekli olan tüm veri ve bilginin temini,
- Çevre durumunun izlenerek raporlanması,
- Eionet sisteminin üye ülkelerde etkinleştirilmesi,
- Çevre ile ilgili verilere halkın ulaşabilmesini sağlamasıdır.

Amsterdam Antlaşması (1999) ise, çevrenin korunması ve geliştirilmesi için alınacak olan tedbirlere değinmiştir. O tarihten bu yana yasama ve politika faaliyetlerinde bir artış gözlemlenmiştir (Corporate and Public Strategy Advisory Group, 2012: 13).

13.04.2000 tarihinde kurulan Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi (EREC), YE alanında faaliyet gösteren sanayi, ticaret ve araştırma kurumlarını biraraya getiren bir organizasyondur. Konsey, 2020 yılında AB enerji ihtiyacının %20'sinin YEK'den karşılanmasını önermiştir. 31.03.2009'da "Binaların Enerji Performans Yönergesi" kabul edilmiş olup söz konusu raporda AB'nin 2020 yılı yenilenebilir enerji yol haritasındaki %20

yenilenebilir enerji hedefi için Ar-Ge çalışmalarının hızlandırılması ve yatırımların artması için özel sektörün desteklenmesi gereğinden bahsedilmiştir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2019: 78-79).

EREC, Avrupa Birliği'nin 2050 yılındaki enerji arzının YEK'den tamamen karşılanabileceğini ve aynı zamanda 6 milyondan fazla sürdürülebilirliğin sağlanabileceğini gösteren bir senaryo sunmuştur. Bu senaryoya göre yüzyılın ortalarına kadar 2,8 trilyon Avro tutarında birikimli yatırımı tetikliyor. EREC, 2050'de %100 yenilenebilir hedefini takip etmenin aynı zamanda en iddialı iklim azaltma hedeflerine de ulaşacağına dikkat çekmiştir. %100 YEK'ler 2050 yılında sadece enerji sektörünün neredeyse tamamen karbondan arındırılmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir büyüme ve sürdürülebilir işler de sağlar (Hinrichs Rahlwes, 2013: 14).

Lizbon Antlaşması (2009) uyarınca, iklim değişikliğiyle mücadele, AB'nin çevre politikasının öncelikli hedeflerinden biri olarak belirlenmiştir. 2010 yılında Avrupa Komisyonu çatısı altında "İklim Genel Müdürlüğü" kurulmuştur (T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, 2023: 24). Çevre, AB ile üye ülkeler arasında paylaşılan yetki alanı olmuştur. Lizbon Antlaşması gereğince, birliğin çevre politikası aşağıdaki hedeflere katkı sağlamaktadır (T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, 2023):

- Çevre kalitesinin iyileştirilmesi,
- İnsan sağlığının korunması,
- Doğal kaynakların rasyonel kullanımı,
- Uluslararası düzeyde alınacak tedbirlerle iklim değişikliğiyle mücadele edilmesi.

2.3.2.1. Avrupa Tek Senedi

1986 yılında Lahey'de imzalanan Avrupa Tek Senedi, Avrupa Topluluklarını kuran antlaşmalara değişiklik getiren hükümler ile dış politika alanında üye devletlerarasında işbirliğini öngören hükümler içermektedir.

Avrupa Tek Senedi ile Roma Antlaşması'nda değişiklikler yapılmış olup ilk kez çevre sorunları bağımsız bir bölümde (VII. başlıkta) yer almıştır. Avrupa Tek Senedinin 100A maddesi ortak bir çevre politikası için önemlidir. Buna göre Konsey, çevre koruma ile ilgili alınacak kararlarda oybirliği yerine nitelikli çoğunluğu dikkate alacaktır. Tek Senet'te üye ülkelerin ve topluluğun çevre sorunlarının giderilmesinde üçüncü ülkelerle ve ilgili uluslararası örgütlerle işbirliğine gidebileceği, üye ülkelerin, daha sıkı koruma önlemleri alabileceğinden söz edilmektedir (Duru, t.y. 3).

2.3.2.2. Maastricht Antlaşması

9-10 Aralık 1991 tarihinde Hollanda'nın Maastricht kentinde AT Devlet ve Hükümet Başkanları tarafından üye devletler arasında parasal birliğe geçilmesinin ve dış politika, güvenlik, adalet ve içişleri alanlarında da ortak politikaları kapsayan bir siyasi birliğin temelleri atılmıştır. Maastricht Antlaşmasında çevre politikası da güçlendirilen bu politika alanları arasında yer almaktadır. Bu antlaşma ile çevrenin korunması ilkesi ilk kez açık bir şekilde AB'nin hedefleri kapsamına alınmıştır. Ekonomik büyüme ile temiz çevrenin uyum içinde gerçekleşmesinin önemi vurgulanmış bu amaçla AB'ne bir çevre politikası geliştirilmesi görevi verilmiştir (Tunçer, 2009).

2.3.2.3. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

21.03.1994 yılında yürürlüğe giren BMİDÇS ile küresel ısınmaya neden olan CO₂ salımlarını azaltmaya yönelik eylem stratejileri ve yükümlülükler düzenlenmektedir (Türkeş, 2002: 3). Günümüz itibariyle 194 tarafı bulunan sözleşmenin temel ilkeleri şunlardır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, t.y.):

- İklim sisteminin eşitlik temeline göre, ortak fakat farklı sorumluluk ilkesine uygun olarak korunması,
- İklim değişikliğinden etkilenecek olan gelişmekte olan ülkelerin ihtiyaç ve özel şartlarının dikkate alınması,
- İklim değişikliğine karşı önlem alınması ve bu önlemlerin maliyetinin düşük olması,
- Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi, belirlenecek politika ve önlemlerin ulusal kalkınma programlarına eklenmesi,
- Taraflar arasında işbirliği sağlanmasıdır.

23.09.2019 tarihinde New York'ta düzenlenen BM İklim Zirvesi kapsamında 9 tematik dönüşüm alanı ve bu dönüşüm alanlarına kolaylaştırıcılık yapmak üzere eş-öncü ülkeler ve bir BM Kuruluşu belirlenmiştir. 02-13 Aralık 2019 tarihleri arasında İspanya'nın Madrid kentinde gerçekleştirilen BMİDÇS 25. Taraflar Toplantısında (COP25) Şehirler, Altyapı ve Yerel Eylem teması kapsamında yan etkinlikler gerçekleştirilmiştir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 202).

2.3.2.4. Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü sera gazı salımlarının dünyanın her yerinde giderek artması üzerine BMİDÇS'ne taraf olan devletler tarafından 1997 yılında kabul edilmiştir. Kyoto Protokolünün hedefi, Ek-B Listesi'nde yer alan ülkelerin KP/Ek A'da listelenen CO₂ salınım toplamının, 2008-2012 yıllarını kapsayan birinci taahhüt döneminde, 1990 yılındaki seviyenin %5 altına düşmesini sağlamalarıdır (T.C. Dış İşleri Bakanlığı, 2023).

AB Kyoto Protokolü kapsamında kendisine 6 sera gazı salınım toplamının, 1990 yılındaki düzeylerine kıyasla, 2010 yılına kadar %8 azaltma sorumluluğu almıştır. AB sürdürülebilir kalkınma için, enerji kaynaklarının rasyonel ve verimli kullanımını teşvik etme yolunda ilk adımı atmıştır (Dikmen, 2005: 581).

AB Kyoto Protokolü gereği, CO₂ salınımını azaltmak amacı ile AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)'ni 2003/87/EC sayılı direktif ile oluşturmuştur. Söz konusu direktifle, AB'nde ETS'nin nasıl uygulanacağı ve üye ülkelerin neler yapması gerektiği belirlenmiştir. ETS dönemler halinde uygulanmaktadır. İlk deneme dönemi olarak değerlendirilen dönem 2005 yılı başında başlamış ve 2007 yılında sona ermiştir. 2008 yılı başında ise 2008-2012 yıllarını kapsayan ikinci bir dönem başlamıştır (Öktem, 2008: 24).

ETS'de CO₂ emisyonunu ortaya konan standartlar çerçevesinde hedeften daha fazla azaltan şirket ya da devletin yaratmış olduğu ek kotalar hedefe ulaşamayan şirket ya da devletlere vadeli işlemler piyasasında gelecekte kullanılmak üzere şimdiden alınıp satılmaktadır. Piyasaya bir ton CO₂ atmosfere bırakmanın maliyeti yaklaşık olarak 14 Avro'dur. Kotalar düşürüldükçe karbonun piyasa fiyatı bugünkünün 4-5 katına çıkabilir (TEVEM, 2010: 57).

AB enerji politikasında sürdürülebilirliğin sağlanması önemli bir sorundur. CO₂ salınımlarının yaklaşık %80'i enerji sektörü kaynaklıdır. Eğer mevcut enerji politikaları sürdürülürse 2030 yılında bugünkü emisyon oranının yaklaşık %5 artacağı tahmin edilmektedir (Öner, t.y. s.y.).

2.3.2.5. Bali Eylem Planı

Bali Eylem Planı, iklim değişikliği konusunda BM çatısı altında 3-14 Aralık 2017 yılında Endonezya Bali'de düzenlenmiştir. Konferans geniş ve en üst düzey katılımlı toplantı olma özelliğine sahiptir. BMİDÇS'nin 13. Taraflar Konferansı (COP.13) ile Kyoto Protokolü'nün 3. Taraflar Buluşmasında (COP/MOP.3) BMİDÇS'ne taraf 192, Kyoto Protokolü'ne taraf 176 ülkeden on bine yakın temsilci, altı başbakan, yüzden fazla çevre, sanayi ve ticaret ve dışişleri bakanı ile çok sayıda parlamenter ve belediye başkanı yer almıştır. Müzakereler için Geçici Çalışma Grubu oluşturulacak ve alınan kararlar COP.14'te gözden geçirilecektir. Planda AB'nin tüm ısrarlarına rağmen salım azaltım hedefleri ve tarihleri belirtilmemiştir. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Dördüncü Değerlendirme Raporu'nun ilgili bölümlerine atıflar yapılmıştır (Ediger, 2008: 141-144).

2.3.2.6. COP-14 Polonya Ponzan Mutakabati

BMİDÇS'nin 14. Taraflar Konferansı ve Kyoto Protokolü'nün 4. Taraflar Toplantısı (COP 14/MOP 4), 1-12 Aralık 2008 tarihlerinde Polonya'nın Ponzan kentinde gerçekleştirilmiştir. Taraflar Konferansı, BMİDÇS'nin en yüksek karar alıcı organıdır. BMİDÇS'ye taraf tüm ülkelerin katılımıyla her yıl bir kez toplanır. Taraflar Toplantısı ise Kyoto Protokolü kapsamındaki en yüksek karar alıcı organıdır. Kyoto Protokolü'nün yürürlüğe girdiği 2005 yılından beri yılda bir kez Taraflar Konferansı ile birlikte toplanır (Şaylan, 2009: 8).

Ponzan'daki toplantıda teknoloji transferi için yeni bir fon oluşturulması, ormansızlaşmadan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılması, emisyon azaltım yöntemleri, nükleer enerji projelerinin karbon ticareti kapsamına alınması, 2012 sonrasında yükümlülük alacak ülkeler arasında genişleme ve farklılaşma için yöntemlerin belirlenmesi gibi konular ele alınmıştır (Şaylan, 2009: 9).

2.3.2.7. COP-15 Danimarka Kopenhag Mutakabati

Kopenhag Mutakabati'nda artan ortalama küresel sıcaklığın 2°C nin altında tutulmasına, EK-I ülkelerinin CO₂ emisyonu 2020 hedeflerine, EK-I dışı ülkelerin ise, ulusal programlarına uygun azaltım faaliyetlerini Sekretarya'ya iletmesine, Afrika, Az Gelişmiş Ülkeler ve Küçük Ada Devletlerinin uyum faaliyetlerinin finansmanına öncelik verilmesine, gelişmekte olan ülkelerin uyum ve azaltım faaliyetlerinin finansmanı için 2010-2012 periyodunda 30 milyar ABD \$lık, 2012-2020 arasında yıllık 100 milyar ABD \$ kaynak

sağlanmasına, “Kopenhag Yeşil Çevre Fonu”nun oluşturulmasına karar verilmiştir (Turan ve Güler, 2013: 956-957).

2.3.2.8. COP-16 Cancun Anlaşması

Cancun Anlaşmasında 26/CP.7 kararınca ilk kez Türkiye'nin diğer EK-I ülkelerinden farklı koşullarda olduğu tüm ülkeler nezdinde tanınmıştır. Anlaşma ile küresel sıcaklık artışının 2°C derece ile sınırlandırılmasına, Ek I ülkelerinin ekonomileri genelinde sayısal azaltım hedefleri almalarına ve düşük karbonlu büyüme planları ve stratejileri yapmalarına, Ek I dışı ülkelere sağlanan destekler için kayıt sistemi kurulmasına, ulusal programlara uygun azaltım faaliyetleri gerçekleştirmelerine, düşük karbonlu büyüme planları ve stratejilerini teşvik etmelerine, Yeşil İklim Fonu adı altında bir fon kurularak gelişmekte olan ülkelere finansman yardımı yapılmasına karar verilmiştir (Turan ve Güler, 2013: 957).

2.3.2.9. COP-21 Paris Anlaşması

COP-21 Paris Anlaşması, 2020 yılında sona erecek olan Kyoto Protokolü'nün yerine geçecek olan anlaşmadır. Anlaşma 2015 yılında Paris'te gerçekleştirilen BMİDÇS'nin 21'nci Taraflar Konferansı'nda (COP-21) 196 ülke tarafından onaylanmıştır (İktisadi Kalkınma Vakfı, 2016).

İlk defa hukuki bağlayıcılığı olan 21. yüzyılın ilk kapsamlı ve çok taraflı anlaşması, küresel ısınmayı 1,5-2°C ile sınırlandırmak suretiyle küresel bir eylem planı ortaya koymaktadır. Kyoto Protokolüne katılımın sınırlı olması ve 2009 yılında Kopenhag'da bir anlaşmaya varılamaması sonrasında, AB gelişmiş ve gelişmekte olan nezdinde Paris konferansında başarılı sonuç için ortam hazırlamıştır. Paris Anlaşması kaynakların çevreyi kirleten fosil yakıtlardan uzaklaştırılması gereği yönünde net bir mesaj vermektedir. Ülkeler bilimsel gerçekler doğrultusunda daha iddialı hedefler belirlemek üzere her beş yılda bir araya gelmeyi kararlaştırmışlar, neleri nasıl yaptıklarını kamuoyuna duyurmayı kabul etmişlerdir (Avrupa Birliği Türkiye Delegasyonu, 2023).

Anlaşmada “ortak ancak farklılaştırılmış sorumluluklar” ifadesi bulunup, BMİDÇS'nin EK-I ve EK-II gibi ülke sınıflandırılması kaldırılmıştır. 2020 yılından itibaren Kyoto Protokolü'nün esneklik mekanizmaları da geçerliliğini yitirecektir. Kyoto Protokolü sadece emisyon azaltım hedefine yöneliktir. Paris Anlaşması kapsamına ise “sürdürülebilir kalkınma”, ekonomik alanda “karbonsuzlaşma” gibi ifadeler eklenmiştir. Tüm kararlar 2016 yılından itibaren yapılacak COP'larda detaylandırılacaktır (İktisadi Kalkınma Vakfı, 2016).

2.3.2.10. Beyaz Kitap

1995 yılında, AB enerji iç pazarına yönelik genel ilkeleri ortaya koyan “Avrupa Birliği için Bir Enerji Politikası” başlıklı Beyaz Kitap yayınlanmış olup sürdürülebilir büyümeyi gerçekleştirmek için enerji arz güvenliği, rekabetçi enerji sistemi ve çevrenin korunması temel hedef olarak belirlenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda 1998 yılı sonrası AB Komisyonu “Ortak Analiz Projesi”ni hayata geçirmiştir. Projede Kyoto Protokolü’ne uyum sağlanması, enerji üretimi ve tüketiminde verimliliğin artırılması hedefleri yer almıştır (Değirmenci, 2009: 3).

Beyaz Kitapta savunulan çoğu ülkede kabul görmüş ve uygulamaya konulan yeni bir yaklaşımdan da bahsetmek gerekir. “Yeşil Vergi Reformu” ya da “Ekolojik Vergi Reformu” yaklaşıma göre çevre vergilerinin büyüme, rekabet ve istihdam üzerinde olumsuz etki meydana getirmemesi için söz konusu vergiler mali kaynak oluşturma amaçlı kullanılmamalıdır. Yeni getirilen çevre vergilerinin yükleri mevcut bazı vergi ve benzeri kamusal yüklerin düşürülmesi ile telafi edilebilir. Böylelikle alınan vergilerin çoğunluğunun çevresel zararlara neden olan faaliyetlere kaydırılması hedeflenir (Değirmendereli, 2000: sy). Beyaz Kitap’a göre AB giderek daha fazla ithal edilen hidrokarbon yakıtlara bağımlı olmaktadır. Mevcut politikalarla birliğin enerji ithalat bağımlılığı 2030 yılına kadar %50’den %65 oranına yükseleceği tahmin edilmektedir (Dağdelen, 2015: 32).

2.3.2.11. Yeşil Kitap

AB komisyonu tarafından 2001 yılının Kasım ayında çevre politikalarının diğer sektör politikaları ile bütünleştirilmesine yönelik “Güvenli Enerji Arzı İçin Avrupa Stratejisine Doğru” başlıklı Yeşil Kitap yayınlanmıştır. Söz konusu belge AB enerji politikasının, talep sektöründe olası artışlar, yerli enerji üretimindeki düşüşler ve fosil yakıt kullanımındaki baskılar ile nasıl başa çıkılacağı, Kyoto Protokolü ve gelecekteki yükümlülükleri karşılayacak şekilde nasıl şekillendirilmesi gerektiği sorularına yer vermektedir (Türkeş ve Kılıç, 2003: 61).

2.3.2.12. Avrupa Enerji Şartı

Avrupa Enerji Şartı 1991 yılında Lahey’de imzalanmış olup şarta 46 ülke taraftır. AB’nin enerji arz güvenliğini artırmak, enerji üretimi, taşınması, dağıtım ve kullanım verimliliğini sağlamak ile çevre sorunlarının azaltılmasını sağlamak amacını güder. Bu şart ile belirlenen hedefler çıkarılan direktiflerle uygulamaya konulmaktadır. Bu amaçla 1998 yılında Enerji Şartı ve Enerji Verimliliği Protokolü yürürlüğe girmiştir (Değirmenci, 2009: 3). Bu hedefler doğrultusunda AB üyesi ülkelerin enerji sistemlerinin birleştirilmesi, eş çalışması esas alınarak trans-Avrupa olarak bilinen şebekeler arasında bağlantılar yapılmıştır (Şahiner, t.y. 3).

2.3.3.AB ile Türkiye Arasındaki Mali İşbirliğine Dayalı Çevre Dostu Enerji Politikaları

Çevre dostu enerji politikaları bağlamında Türkiye ile AB arasındaki mali işbirliği dört dönem itibariyle ele alınabilir. Birinci dönem, 1963 yılında Türkiye-AT Ortaklık Anlaşması'nın imzalanmasıyla başlayan ortaklık ilişkisinden, resmi adaylık statüsü verilmesine kadar geçen süredir. Bu dönem kendi içinde Gümrük Birliği öncesi dönem ve Gümrük Birliği dönemi olarak ikiye ayrılmaktadır. 2000 yılından günümüze kadar olan dönem ise ikinci dönem olarak adlandırılmaktadır. Bu dönemde kendi içerisinde AB'nin mali yardım programlarının tek bir çerçeve mekanizma kapsamına alındığı 2007 yılına kadar olan süre ve sonrası olarak ikiye ayrılmaktadır (İktisadi Kalkınma Vakfı, 2016).

Gümrük Birliği'nin yürürlüğe girmesinden önceki dönemde (1964-1995), 1,433 milyon Avro tutarında yardım öngörülmüş fakat 830 milyon Avro kullanılmıştır. Gümrük Birliği Dönemi (1996-1999)'nde verilen mali yardım ise Türkiye'nin yeni rekabet şartlarına uyum sağlayabilmesi, ekonomik farklılıkların azaltılması ve özellikle karayolları, limanlar ve demiryolları gibi alanlarda altyapının geliştirilmesi amacıyla kullanılmıştır (İktisadi Kalkınma Vakfı, Türkiye-AB Katılım Süreci Mali İşbirliği).

Katılım Öncesi Mali Yardım Dönemi (2000-2006) ise Türkiye'nin AB'ye üyelik adaylığının resmi olarak tanınmasından AB'nin mali yardım proje ve programlarının tek bir çerçeve mekanizma kapsamına alınmasına kadar olan süreci kapsamaktadır. Türkiye'ye 250 milyon Avro yardım verilmiştir. 2007 yılından itibaren AB'nin 2006 yılına kadar sağladığı mali yardım programları PHARE, ISPA, SAPARD, CARDS ve IPA kapsamına alınmıştır (İktisadi Kalkınma Vakfı, 2016).

AB ve Akdeniz ülkeleri arasındaki işbirliğini arttırmak amacıyla Akdeniz için Birlik kapsamında oluşturulan yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine ilişkin çalışma ilkelerini içeren belgeler Türkiye'nin de görüşleri alınarak son halini almıştır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2016: 83-86).

Türkiye 2006 yılında Enerji Topluluğu'na gözlemci olarak katılmıştır. AB katılım müzakereleri kapsamında, "Enerji Faslı"nın tarama süreci 2007 yılında son halini almıştır. Türkiye ile AB arasındaki enerji alanında işbirliğinin geliştirilmesi amacıyla Yüksek Düzeyli Enerji Diyalogu tesis edilmiştir. Birinci toplantı 2015 yılında Ankara'da, ikincisi 2016 yılında İstanbul'da düzenlenmiştir (T.C. Dış İşleri Bakanlığı, 2016).

2.3.3.1. IPA-I Dönemi (2007-2013)

AB tarafından 2007-2013 yıllarına ait bütçe döneminde aday ve potansiyel aday ülkelere sağlanan mali yardımlar IPA adı altında birleştirilmiştir. Temel amaç, AB'ye üye olma yolundaki aday ülkenin ihtiyaç ve önceliklerine hizmet eden projeleri desteklemektir. Projeler aracılığıyla fon kullanımı, AB müktesebatına uyumu ve gerekli idari kapasite oluşturulması hedeflenmektedir. İçişleri Bakanlığı bağlı kuruluşları ve merkez birimleri "Geçiş Dönemi Desteği ve Kurumsal Yapılanma" adlı IPA bileşeni altında kurumların kapasitelerinin artırılması, ilgili birimler arasında eşgüdüm ve işbirliğinin geliştirilmesi amacıyla projeler yürütmektedir (T.C. İçişleri Bakanlığı AB ve Dış İlişkiler Dairesi Başkanlığı).

Türkiye'ye IPA-I döneminde 4,87 milyar Avro ile en fazla yardım alan ülke olmuştur. Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanan Çok Yıllı Endikatif Planlama Belgesi IPA bileşenlerin programlanması ve önceliklerin belirlenmesinde, AB mali yardımlarının hangi sektörlerde kullanılabilmesine ilişkin temel belge niteliğini taşır. 3 yıllık dönemleri kapsayacak şekilde hazırlanır ve Avrupa Komisyonu tarafından her yıl revize edilmektedir. 2007-2013 Dönemi'nde IPA kaynakları ile çevre, iklim değişikliği ve enerji alanlarında uyum çalışmalarının hızlandırılması ve rekabet edebilirliğinin güçlendirilmesi amacıyla ekonomik ve sosyal kalkınmanın desteklenmesi öngörülmüştür (İktisadi Kalkınma Vakfı, 2016).

2.3.3.2. IPA-II Dönemi (2014-2020)

IPA II Dönemi, çevre, taşımacılık ve enerji sektörlerinde kaynak etkinliği ile düşük karbon ekonomisine yönelik kalkınmayı teşvik etmeye yönelik olup Türkiye ile AB arasındaki bağlantıyı arttırmaya odaklanmaktadır. Komisyon, fonların daha etkin kullanımına yönelik bir yaklaşım benimsemiştir. Bu amaçla IPA'nın 1. döneminde yer alan bileşen bazlı yapı kaldırılarak finanse edilmesi öngörülen sektörler ile bu sektörler kapsamındaki çalışmalarını yürütecek sektör sorumlusu kuruluşlar belirlenmiştir (T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, IPA I ve IPA II Dönemi Programlama).

IPA kapsamındaki Dünya Bankası ve Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası'nın yürüttüğü Enerji Sektör Programı Faz-1 ve Faz-2 projeleri başlamış, 50,9 milyon Avro tutarında hibe Avrupa Komisyonu tarafından ETKB'na sağlanmıştır. Bu projelerle ETKB'nın kapasitesinin artırılması, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji sektörünün geliştirilmesi amaçlanmıştır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2016: 87).

AB mali yardımların ve hibelerinin kullanılmasına yönelik Avrupa Komisyonu tarafından programlama ve izleme yetkileri sektör bazında lider kurumlara, enerji sektöründe

ETKB'na devredilmesi için lider kurumların komisyon nezdinde akredite zorunluğu getirilmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2016: 87).

IPA 2006 programı kapsamında madde akış hesapları, hava emisyon hesapları ve çevre koruma harcamaları ile ilgili metodolojik çalışmalar başlatılmıştır.

2.3.4.AB Çevre Dostu Uygulamalarının Türkiye'deki Çevre Dostu Enerji Politikalarına Etkileri

AB, 17.12.2004 tarihinde Türkiye ile müzakerelerin başlatılması kararı almıştır. AB çevre müktesabatına uyum sağlanarak etkin bir şekilde uygulanmasına yönelik birçok çalışma başlatılmıştır (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009: 78). İlk olarak Türkiye'nin çevre mevzuatı ile AB çevre mevzuatı arasındaki yasal boşlukların analiz edilmesi için Avrupa Komisyonunun MEDA fonu kapsamında Çevre Bakanlığı tarafından "Türkiye'de Çevre Mevzuatının Analizi" projesi gerçekleştirilmiştir. Projeye göre Türkiye'nin AB'nin çevre direktiflerine uygun olarak yatırımın tahmini maliyetleri 2001 yılı fiyatları ile 27 milyar Avro olarak belirlenmiştir. Söz konusu müktesabatın uygulanmasından dolayı oluşacak çevresel faydanın tahmini değeri ise uyum maliyetinin 4 katından daha fazla olduğu yönündedir (Sarıkaya, 2004: 7).

Türkiye, 2024 yılına kadar AB çevre mevzuatının uyumlaştırılmasına yönelik olarak "Toplam Yatırım Miktarı Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması için Teknik Yardım Projesi" adı verilen bir proje yapmıştır. Projede çevre direktiflerinde uyumun maliyeti hesaplanarak dokuz başlık altında ele alınmıştır (Tuncay, 2006: 16). Türkiye ile AT Arasında "Türkiye Cumhuriyeti'nin AÇA ve Avrupa Bilgi ve Gözlem Ağı'na Katılımı Anlaşması" 2000 yılında imzalanmıştır (Ökmen ve Demir, 2010: 267).

2.3.4.1.BMİDÇS ve Kyoto Protokolü

Küresel ısınmayla mücadeleye yönelik uluslararası ilk çevre sözleşmesi olan BMİDÇS BM öncülüğünde imzalanarak 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. Türkiye'de bu sözleşmeye taraf olmuştur. Kyoto Protokolü söz konusu sözleşmenin küresel ısınmayla mücadele etmeyi hedefleyen protokolü olarak 1997 yılında kabul edilmiş olmasına rağmen yürürlüğe girmesi 2005 yılını bulmuştur. Türkiye, BMİDÇS içerisinde yanlış konumda yer almasından dolayı iklim değişikliği konusunda ülke içinde ve dışında pozisyon almakta gecikmiştir. Kyoto Protokolü TBMM'de 2009 yılında onaylanmıştır. Protokolün kabulünün ilk taahhüt döneminin başlamasından sonraki bir tarihte gerçekleştiği için, 2008-2012 dönemi için öngörülen sera gazı

emisyon kısıtlamaları ve dengeleme hedefleri için Türkiye'nin bir yükümlülüğü bulunmamaktadır (TÜSİAD, 2011: 62).

2.3.4.2. Türkiye için Endikatif Strateji Belgesi

Endikatif Strateji Belgesin IPA komitesi tarafından 26.08.2014 yılında kabul edilmiştir. Belgede, IPA II Dönemi'nde Türkiye'ye verilmesi planlanan mali yardımın kapsamı, miktarı ve verileceği öncelik alanları ele alınmaktadır. Türkiye'de 8 öncelik alan belirlenmiştir. Çevre ve iklim ile enerji öncelikli alanı sosyo-ekonomik ve bölgesel kalkınma başlığı altında incelenmiştir. Çevre ve iklim alanı, çevrenin korunması, iklim değişikliği ile mücadele, AB'nin çevre ve iklim müktesebatına uyumun artırılması konularını içermektedir. Enerji alanı da Türkiye'nin Avrupa elektrik ve doğalgaz piyasasına entegrasyonunun artırılması, AB'nin kaynak verimliliği ve iklim hedefleriyle uyumlu enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjinin desteklenmesi, nükleer enerjiye ilişkin düzenlemelerin AB standartlarıyla uyumlu hale getirilmesi konularından oluşmaktadır. Çevre ve iklim alanına yönelik 644,6 milyon Avro, enerji alanına yönelik 93,5 milyon Avro yatırım öngörülmüştür (İktisadi Kalkınma Vakfı, 2016).

Türkiye, 1958 yılında Avrupa Ekonomik Topluluğu'nun kurulmasının hemen ardından 1959 yılında topluluğa üye olmak için başvurmuş, 10-11 Aralık 1999 tarihlerinde Helsinki'de yapılan AB Devlet ve Hükümet Başkanları Zirvesi'nde AB'ne aday ülke olmasına oybirliği ile karar verilmiştir. Aralık 2004'te Brüksel'de yapılan AB Konseyi Zirvesi'nde, Türkiye ile müzakerelerin 03.10.2005 tarihinde başlamasına oybirliğiyle karar verilmiştir. Söz konusu tarihten itibaren AB, Türk çevre politikasını Müzakere Çerçeve Belgesi, Komisyonun Genişleme Stratejisi ve Katılım Ortaklığı Belgesi uygulamaları ile etkilemektedir. Avrupa Komisyonu'nun 06.10.2004'te hazırladığı rapor ve tavsiye kararıyla "Katılımcı Ülke" olarak adlandırılan Türkiye'nin; Katılım Ortaklığına uyum sağlamak için hazırlanacak çevre strateji dökümanında kısa, orta ve uzun vadeli hedefleri ortaya koyması ve bu hedeflere yönelik çevre müktesebatını uygulaması gerekmiştir. Ayrıca her yıl yayımlanan ilerleme raporlarında da çevre açısından yaşanan son durum ve yapılması gerekenlerden bahsedilmektedir (Yıldırım ve Budak, 2010: 175-176).

2.3.4.3.Müzakere Çerçeve Belgesi

AB ile Türkiye arasındaki katılım müzakerelerinin temel esaslarını belirleyen “Müzakere Çerçeve Belgesi” 03.10.2005 tarihinde kabul edilmiştir. Bu belgede 16-17.12.2004 Brüksel Zirvesi kararlarının Türkiye ile ilgili kısmı da önemli yer kaplamıştır. Müzakere Çerçeve Belgesi 23 maddeden oluşmaktadır.

Müzakere Çerçeve Belgesiyle AB çevrenin yüksek seviyede korumasının önemini vurgulamaktadır. Belgenin 2. maddesinde yer alan “müzakerelerin ortak hedefi üyeliktir” ifadesi, Türkiye için tamamen bir dönüşüm sağlayacak bir sürecin başlangıcını belirtmektedir. 25 üye ülkenin farklı önceliklerini birleştiren, aynı zamanda Türkiye’nin beklentilerine cevap verebilen bir metne ulaşmak, AB açısından zor bir durum olmuş, bu nedenle çerçeve metin içinde yoruma açık gri alanlar ortaya çıkmıştır. Bu kısımların netleştirilmesi müzakerelerin sağlıklı yürütülmesi için gereklidir (Yıldırım ve Budak, 2010: 175).

2.3.4.4.Avrupa Birliği Tarafından Hazırlanan Genişleme Stratejisine Göre Türkiye’nin Çevre Politikası

Avrupa Komisyonunun Avrupa Parlamentosu ve Konsey’e iletilmek üzere hazırladığı 2005 yılı genişleme stratejisine göre Türkiye’nin AB yasal müktesebatının kabulü ve uygulanması konusunda, uyumlaştırma süreci çeşitli alanlarda ilerleme kaydetmiş olsa da birçok alanda erken bir aşamadır. Bu nedenle çevre de dahil tüm alanlarda ilave çalışmaya ihtiyaç vardır (Avrupa Komisyonu, 2005: 5).

2012-2013 yıllarını kapsayan genişleme stratejisinde Türkiye’nin çevre ve iklim değişikliği bakımından düzensiz ilerleme gösterdiğinden bahsedilmiştir. Su alanındaki ilerlemenin iyi olduğu, atık yönetimi ve endüstriyel kirlenmedeki ilerlemenin az, olduğu, hava kalitesi ve doğa korumasındaki ilerlemenin sınırlı olduğundan bahsedilmiştir. Yatay çevre mevzuatındaki doğa koruma ve kimyasallar konularında ilerleme olmamıştır (Avrupa Komisyonu, 2005: 23).

Aynı belgede Türkiye’nin yapması gerekenler arasında iklim değişikliğine yönelik yurt içi ve yurt dışında iddialı ve koordineli politika oluşturulması ve uygulanması sayılmıştır. İdari kapasitede tam ilerleme olmadığı için tüm düzeylerdeki ilgili makamlar arasında koordinasyonun sağlanması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve enerji sektöründe nispeten ileri düzeyde bir uyum görülmüştür. Düzenleyici kurumun bağımsızlığı sağlanmalı, kurumsal kapasite güçlendirilmelidir (Avrupa Komisyonu, 2005: 21; 23).

2014-2015 genişleme stratejisine göre hava kalitesi ile ilgili (dış ortam, ulusal emisyon tavanları ve uçucu organik bileşikler) ulusal mevzuatın, AB direktifleri ile uyumlu olacak şekilde kabul edilmesi gerekmektedir. Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik ile Ulusal Havza Yönetim Stratejisi (2014-2020) kabul edilmiştir (Avrupa Komisyonu, 2005: 23).

Türkiye'nin ulusal iklim değişikliği eylem planında, CO₂ emisyon azaltım hedefi belirlenmemiştir. Türkiye'nin özel koşulları BMİDÇS ve Kyoto Protokolü çerçevesinde tanınmıştır. 2013 yılında 5. ulusal bildirim BMİDÇS'ye sunulmuştur. Ancak bu bildirim Türkiye'nin CO₂ hedeflerini içermemektedir. 2030 iklim ve enerji çerçevesine yönelik değerlendirmelere biran önce başlanmalıdır (Avrupa Komisyonu, 2005: 68).

Dünya Bankası ile pilot olarak elektrik sektöründe CO₂ emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması ile Türkiye'ye karbon piyasalarına ilişkin teknik kapasite transferi konularındaki çalışmalar hakkında kapasite artırımı destek programı hususunda bir anlaşma imzalanmıştır. Ancak Türkiye'de genel bir CO₂ emisyon hedefinin bulunmayışı karbon piyasası mekanizmalarının gelişmesinin önünde bir engeldir. Türkiye, Çevre ve İklim Bölgesel Katılım Ağı'na düzenli olarak katılmıştır (Avrupa Komisyonu, 2005: 68).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı yeniden kurulmuştur. Çevre ve iklim değişikliği konusundaki hazırlıklar hâlâ erken aşamadır (Avrupa Komisyonu, 2005: 68).

2016 yılı AB genişleme stratejisine ilişkin AB tarafından hazırlanan 2016 yılı ilerleme raporunun 27. faslında Türkiye'nin AB çevre ve iklim değişikliği politikaları kapsamında atmış olduğu adımlar raporda şu şekilde ifade dilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2016: 86-87):

- Türkiye'nin bu fasılda kapsamlı ve iyi koordine edilmiş çevre ve iklim politikaları oluşturup uygulaması,
- ÇED mevzuatının doğru olarak uygulanmasının sağlanması,
- Halkın çevresel bilgilere erişim hakkı ile ilgili müktesebata uyum sağlaması;
- Paris Anlaşması'nı onaylaması ve katkısını uygulaması,
- SÇD Direktifi'ne uyum sağlanması,
- Hava kirliliğine yönelik yerel temiz hava eylem planları hazırlaması gerekir.

Türkiye'nin stratejik planlama ile ilgili AB'nin "2030 İklim ve Enerji Politikaları Çerçevesi" ile uyumlu bir ulusal stratejisi yoktur. Mevcut ulusal iklim değişikliği stratejisi ve

ulusal iklim değişikliği eylem planı diğer stratejiler ile uyumlu değildir. İklım değişikliği uyum stratejisi hazırlanmış olup uygulanmamaktadır (Avrupa Komisyonu, 2016: 88).

BMİDÇ Sözleşmesi kapsamındaki yükümlüklerde CO₂ emisyonu hakkında 1. ve 2. İki Yıllık Raporu 2016 yılının Mart ayında, 6. Ulusal Bildirimi ile Ulusal Envanteri Nisan ayında sunulmuştur. Türkiye'nin "arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık faaliyetlerinden kaynaklan CO₂ emisyonları ile bu faaliyetler neticesinde uzaklaştırılan emisyonlara ilişkin hesaplama kuralları hakkındaki karar"a uyum sağlaması gerekmektedir. Emisyon Ticareti Direktifi'ne tam olarak uyum sağlanması için 2019 yılı belirlenmiştir (Avrupa Komisyonu, 2016: 86-87).

2.3.4.5. Avrupa Birliği Tarafından Hazırlanan Katılım Ortaklığı Belgesine Göre Türkiye'nin Çevre Politikası

Katılım Ortaklığı Belgesi (KOB), adaylığı resmen kabul edilen her ülke için Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanıp Konsey tarafından onaylanmasıyla birlikte AB Resmi Gazetesi'nde yayımlanır. Bu belgede üyelik için alınması gereken önlemler, kısa ve orta vadeli öncelikler şeklinde, siyasi/ekonomik kriterler ve AB müktesebatına uyum başlıkları altında yer almaktadır. KOB'da yer alan kısa vadeli önlemlerin KOB'un yayım tarihinden itibaren genelde 1-2 yıl, orta vadeli önlemlerin ise 3-4 yıllık bir sürede yerine getirilmesi beklenir. İlerleyen dönemde aday ülkenin yerine getirdiği hususlar KOB'dan çıkarılır; geri kalan önlemler ise yeni bir takvime bağlanır (T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, Katılım Ortaklığı Belgeleri).

Türkiye ile Katılım Ortaklığının Kapsadığı İlkeler, Öncelikler ve Koşullara Dair Konsey Kararı, 01.03.2008 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Bu karar Türkiye'nin 4. Katılım Ortaklığı Belgesidir (Yıldırım ve Budak, 2010: 180).

Çevre konusunda kısa vadeli öncelikler arasında aşağıdaki tespitler yapılmış ve öneriler getirilmiştir (Avrupa Komisyonu, 2008: 10):

- Müktesebatın kademeli olarak iç hukuka aktarılması, uygulanması ve yürürlüğe girmesi için, kilometre taşlarının ve takvimin belirlendiği ve ulusal, bölgesel ve yerel düzeylerde gerekli kurumsal kapasitenin ve mali kaynakların oluşturulmasına yönelik planları da içeren kapsamlı bir stratejinin kabul edilmesi,
- İdari kapasitenin güçlendirilmesinin yanı sıra, özellikle, sınır aşan durumları da içeren çevresel etki değerlendirmesi gibi yatay ve çerçeve mevzuatın iç hukuka aktarılması, uygulanması ve yürürlüğe konmasına devam edilmesi,
- Ulusal Atık Yönetimi Planının kabul edilmesi.

- Çevre konusunda orta vadeli öncelikler arasında ise aşağıdaki öneriler yapılmıştır (Avrupa Komisyonu, 2008: 19):
- Çerçeve mevzuat, uluslararası çevre sözleşmeleri ile doğa koruma, su kalitesi, kimyasallar, endüstriyel kirlilik, risk yönetimi ve atık yönetimi ile ilgili müktesebatın iç hukuka aktarılmasına ve uygulanmasına devam edilmesi.
- Çevresel gereksinimlerin diğer sektörel politikalara entegre edilmesinin takip edilmesi.

2.4.Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment, LCA), bir ürün veya hizmetin çevresel etkilerini detaylı olarak ortaya çıkarmaya yarayan niceliksel ve sistematik bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. LCA çalışması, verilecek olan kararlara yardımcı olma niteliği taşımakta olup, ürünlerin hammaddelerinin, üretim süreçlerinin, ekipmanlarının vb. değiştirilmesi veya yeniden tasarlanması ile çevresel etkilerin önlenmesi/azaltılması amacıyla kullanılır. Bu bölümde LCA'nın aşamaları ve bu aşamaların nasıl uygulandığından bahsedilmiştir. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme yöntemleri ve etki kategorilerine göre sayısal hesaplamaların yapıldığı yazılımlar hakkında bilgi verilmiştir.

2.4.1.LCA'nın Standardizasyonu ve Aşamaları

LCA çalışmaları ISO 14040 ve 14044 standartlarına göre yürütülür. ISO 14040 standardı, Yaşam Döngüsü Değerlendirme Prensipler ve Çerçeve adıyla ürünlerin ve sistemlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve bu etkilerin azaltılmasını sağlamaya yönelik geliştirilen LCA yöntemini ve kullanım alanlarını tanımlamaktadır. ISO 14044 standardı ise LCA Gereksinimler ve Yönergeler adıyla LCA'nın aşamalarını tanımlayan bir kılavuz görevi görmektedir. LCA'lar hedef ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki değerlendirilmesi ve yorum olmak üzere dört aşamadan oluşur.

2.4.1.1.Hedef ve Kapsam Tanımı

Bir Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmasının ilk aşaması hedef ve kapsam tanımının yapılarak işlevsel birim ve sistem sınırlarının belirlenmesidir. Hedef tanımında çalışmanın neden yapıldığı, ulaşılmak istenen hedefler, LCA raporunun sunulacağı hedef kitle ve karşılaştırma yapıp yapılmayacağı hakkında bilgi verilir. Kapsam tanımında ise değerlendirilecek ürün veya süreç sisteminin sınırları tanımlanır ve tüm varsayımlar detaylandırılır.

2.4.1.2.Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

Üzerinde çalışılan sistem dahilindeki tüm girdi ve çıktı envanterinin oluşturulduğu basamaktır. Oluşturulan envanter, çalışmanın hedefinin gerçekleştirilmesi için gerekli tüm verileri içermelidir. Bu veriler temel olarak enerji ve hammadde girdileri; oluşan ürünler, yan ürünler ve atıklar; suya ve toprağa tüm deşarjlar ve tüm diğer çevresel boyutlar şeklinde sıralanabilir. Bunlar haricinde hammadde üretimleri ve işletmeye getirilme şekilleri, getirilme mesafeleri, bu süreçte tüketilen yakıt, elektrik vb. miktarları; işletmede üretilen ürünün tüketiciye ulaştırılması sürecinde gerçekleştirilen tüm operasyonlar ile temizlik süreçlerinde tüketilen kimyasal çeşitleri ile miktarları da incelenmesi gereken verilere dahil edilir. Elde edilen tüm veriler belirlenen fonksiyonel birim temelinde incelenmelidir (Uysal, 2022).

2.4.1.3.Yaşam Döngüsü Etki Analizi

Çevresel etkilerin öneminin vurgulandığı, envanter analizi sonuçlarını kapsayan, sonuçların yorumlanması için gerekli bilgiyi sağlayan basamaktır. Envanterde bulunan tüm girdi ve çıktılar belirli kategorilere göre sınıflandırılır ve her kategorideki girdi ve çıktılar belirli indikatörlere modellenir. Bu basamağın zorunlu unsurları incelenecek etki kategorilerinin seçilmesi, kategori indikatörlerinin ve karakterizasyon modellerinin belirlenmesi, envanter sonuçlarının saptanması ve sınıflandırılması, kategori indikatör sonuçlarının hesaplanması (karakterizasyonu) olarak sıralanabilir. Bunun yanında bu basamağın opsiyonel unsurları ise kategori indikatör sonuçlarının normalizasyonu, sonuçların gruplandırılması ve ağırlıklandırılması ile veri kalite analizleridir (Uysal, 2022).

Bir yaşam döngüsü etki analizini gerçekleştirmek için kullanılacak farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar sürekli farklı metodolojilere ait farklı gruplar tarafından araştırılıp geliştirilmiş olup CML, TRACI, ReCiPe, Eco Indicator 99, EDIP ve Impact 2002 gibi yöntemler mevcuttur.

CML 2001, belirsizliklerin sınırlandırılması için neden-sonuç zincirinde kantitatif modellemeyi erken aşamalara sınırlayan bir etki değerlendirme yöntemidir. Sonuçlar, ortak mekanizmalara (örneğin, iklim değişikliği) veya yaygın olarak kabul edilen gruplara (örneğin, ekotoksosite) göre orta nokta kategorilerinde gruplandırılmıştır. CML 2001'in ortalama Avrupa karakterizasyon faktörleri, dünyada ve Avrupa'da şu anda mevcut en iyi uygulama olarak önerilmektedir. CML 2001'de bölgesel faktörler temel olarak kabul edilmemiştir, çünkü

LCA'deki emisyon alanları arasındaki farklılıkları göz önünde bulundurmak her zaman mümkün olmamakta ve istenmemektedir (Taşkın, 2018).

TRACI metodolojisinde etki kategorileri, neden-sonuç ilişkisi içinde modellenmenin kesinliklerine ilişkin daha yüksek bir toplumsal anlaşma düzeyi dahil olmak üzere, orta nokta seviyesinde tanımlanmıştır. Asidifikasyon, duman oluşumu, ötrofikasyon, insan sağlığı kanser, insan sağlığı kriteri gibi etki kategorilerinde yapılan araştırmalar, ABD ve Kanada koşullarına uygun girdi verilerini kullanarak özellikle ABD koşullarına yönelik olarak geliştirilmiştir.

ReCiPe yönteminin öncelikli amacı, yaşam döngüsü envanteri sonuçlarını sınırlı sayıda gösterge puanına dönüştürmektir. Bu gösterge puanları, çevresel etki kategorisinde göreceli şiddeti ifade eder. ReCiPe'de göstergeler orta nokta ve son nokta olmak üzere iki seviyede belirlenir. Örnek olarak iklim değişimi etki kategorisi için orta nokta seviyesinde etki değerlendirme yapıldığında sonuçlar kg CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilirken, son nokta seviyesinde etki değerlendirmede ekosistem ve insan sağlığı olarak ikiye ayrılmaktadır. Ekosistem üzerine değerlendirmede birim "canlı türü.yıl", insan sağlığı üzerine değerlendirmede ise DALY (Disability Adjusted Life Year), yani "işlev kaybına uyarlanmış yaşam yılı" şeklindedir.

Modellemenin temeli olarak ReCiPe'nin kullandığı çevresel mekanizma, insan sağlığı veya ekosistemler için belirli bir düzeyde zarar oluşturabilecek bir dizi etki olarak görülebilir. Örneğin, iklim değişikliği için bir dizi maddenin, radyal zorlanmayı arttırdığı bilinmekte olup, bu da ısının toprağa doğru yayılmasının önlenmesi anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, yeryüzünde daha fazla enerji tutulur ve sıcaklık artar. Bunun sonucu olarak da canlılar için yaşam ortamlarında değişiklikler beklenebilir ve bu durumda türlerin soyu tükenebilir.

Etki değerlendirmesinin zorunlu (sınıflandırma ve karakterizasyon) ve gönüllü (normalizasyon ve ağırlıklandırma) alt aşamaları ISO 14040:2006'da tanımlanmış olup, bu tanımlar aşağıda verilmiştir (Taşkın, 2018):

Sınıflandırma: Ayrı ayrı olan envanter öğeleri, ilgili çevresel etki kategorilerine göre atanır. Örneğin, CO₂ emisyonları "küresel ısınma" kategorisine konur.

Karakterizasyon: Aynı çevresel soruna katkısı olan envanter öğeleri ilgili katsayılarla çarpılarak ortak birim üzerinde toplanır ve her çevresel etki kategorisi için toplam etki hesaplanır. Örneğin, küresel ısınmaya yol açan CO₂, CH₄, N₂O emisyonlarının tümü kg CO₂ eşdeğeri üzerinden ifade edilir ve Küresel Isınma Potansiyeli hesaplanır.

Normalizasyon: Kabul görmüş normalizasyon yöntemleri kullanılarak ortak referans sistemine göre birimsiz hale getirilen farklı çevresel etki potansiyelleri birbiri ile karşılaştırılır. Böylece normalizasyon, hangi çevresel etki potansiyelinin daha yüksek olduğunu ortaya koyar.

Ağırlıklandırma: Normalizasyon sonuçlarının yine kabul görmüş ve her çevresel etki kategorisi için azaltım hedeflerine dayanan ağırlıklandırma yöntemlerinden biri kullanılarak katsayılarla çarpılmasıdır. Hangi çevresel etki potansiyelinin daha önemli olduğunu ortaya koymak için hesaplanır

Çalışmanın amacına bağlı olarak değişmekte olup, etki kategorileri ve etki değerlendirme yöntemlerinin seçimi, çalışmanın amaç ve kapsamında verilmelidir (Taşkın 2018).

- Küresel Isınma Potansiyeli

Karbon ayak izi, iklim değişikliği ve sera gazı emisyonları küresel ısınma potansiyeli kategorisi altında incelenmektedir. Fonksiyonel birim başına meydana gelen sera gazı emisyonu (CO₂, CH₄, N₂O vb.) miktarı olarak tanımlanmakta olup kg CO₂ ed. birimi ile ifade edilmektedir. Meydana gelen sera gazı emisyonları küresel ısınmaya sebebiyet vermektedir. Fosil yakıt kullanımı ve termal enerji tüketimi ile doğrudan bağlantılıdır (Uysal, 2022).

- Asidifikasyon Potansiyeli

Çevrede asitlik etkisine ve asit yağmurlarına sebep olan emisyonların (sülfür oksitler, oksijen oksitler, amonyak vb.) ölçüsü şeklinde tanımlanmakta olup kg SO₂ ed. birimi ile ifade edilmektedir.

- Ötrofikasyon Potansiyeli

Arazilerde gübre kullanımı gibi çevrede ötrofikasyona sebep olan emisyonların ölçüsü şeklinde tanımlanmaktadır. Genellikle doğrudan fosfat, nitrat, nitrojen, amonyak ve kimyasal oksijen gereksinimi yüksek madde emisyonları sonucunda oluşur ve birimi kg PO₄-3 eşd şeklindedir. Ötrofikasyon sonucunda sucul fauna ve florada bulunan pek çok canlı türünde toplu kayıplar gerçekleşir. Deniz su ötrofikasyonu çoğunlukla atık su arıtma sistemlerinden nitrik asit kullanımına bağlı olarak sulara nitrojen içerikli madde emisyonları olup kg N eşd birimi ile ifade edilmektedir. Temiz su ötrofikasyonu fosfor emisyonları ile atık su arıtma sistemleri ve elektrik enerjisi üretimi için gerekli maden aktiviteleri sonucu oluşan fosfor emisyonları sonucunda oluşmakta olup kg P eşd. birimi ile ifade edilmektedir.

- Fotokimyasal Ozon Oluşum Potansiyeli

Fotokimyasal ozon oluşumu (kg C₂H₄ ed.) bu kategori altında İncelenmektedir. Ekosistemi, insan sağlığını ve mahsülleri etkileyen reaktif maddelerin, özellikle de ozon oluşumunun ölçüsü şeklinde tanımlanmakta olup kg metan olmayan uçucu organik maddeler (kg NMVOC) birimi ile ifade edilmektedir. Özellikle ulaştırma ve üretim basamaklarına bağlı yanma tepkimeleri sonucu gerçekleşen emisyonlardır. Atmosferde nitrojen oksitler ve uçucu organik maddeler bulunduğu, güneş ışığı varlığında ozon oluşumu gerçekleşir. Düşük miktarlarda ozon üretimi mahsüllerde zarara ve başta astım olmak üzere pek çok solunum rahatsızlığına sebebiyet vermektedir (Uysal, 2022).

- Toksikite Potansiyelleri

Bir maddenin toksisitesi ile ilgili olarak akut, yarı akut/kronik ve kronik toksisite etkinin süresi ve frekansı ile tanımlandığı ve bir maddenin toksisitesi birçok parametreye göre değerlendirilmiştir. Bayrak (2014)'ın çalışmasında “Buna göre bir maddenin kimyasal kompozisyonu, fiziksel özellikleri, noktasal emisyon kaynaklarına bağlı toksisite potansiyeli söz konusu maddenin çevreye deşarjına göre karakterize edilir. Karakterizasyon faktörleri örneğin CML yönteminde yağmur suyu ve havanın küçük karşılıklı değişimleri, maddelerin uzun yerleşme süreleri, orta şiddette rüzgar ve sistem sınırları üzerindeki küçük yer değiştirmelere göre oluşturulan bir modelle hesaplanır” denmektedir.

Toksosite potansiyelleri belirsizlik içerir. Bunu sebebi, bir maddenin etkisinin farklı potansiyel etkilere ve maruziyet sürelerine bağlı olarak değişkenlik göstermesidir. Hava, su ve toprak olmak üzere üç farklı alıcı ortama göre hesaplanabilen toksisite potansiyellerinde, her madde için eşik değerler belirlenir.

2.4.1.4.Yorum

Yorumlama, envanter analizi ve etki değerlendirmesi aşamalarından elde edilen sonuçların kontrol edildiği, yorumlandığı ve iyileştirme değerlendirmesinin yapıldığı aşamadır. Ortaya çıkan bulgular, çalışmanın amaç ve kapsamıyla uyumlu olarak anlaşılır bir şekilde sunulmalıdır.

3. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Bu bölümde kömürle çalışan termik santrallerin ele alındığı LCA çalışmalarına yer verilmiştir.

Jung vd. (2022), bu çalışmada Kore'deki Taeon kömür santralinin gerçek verilerine dayanarak, ikincil veri düzeyinde LCA verilerini kullanan bir analiz modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan yaşam döngüsü envanterlerinden, modellenen Taeon kömür santrali ilk olarak çevresel etkilerine göre değerlendirilmiştir. Taeon modeline CO₂ yakalama modülü uygulanarak küresel ısınma potansiyelinin %78 oranında azaltılabileceği bulunmuştur. Bu nedenle, termik santral gibi önemli bir emisyon kaynağından CO₂ yakalama modülü uygulanmasının, 2050 Düşük Emisyonlu Kalkınma stratejisinde hedeflenen sera gazı azaltımına ulaşmak için etkili bir çözüm olduğu doğrulanmıştır. Ayrıca, CO₂ yakalama modülünün kömür santraline uygulanması için çevresel etki değerlendirilirken, hem zaman hem de ülke karakterizasyon faktörünün entegre edilmesinin önemi vurgulanmıştır. LCA metodolojisinin yardımıyla, hava kirletici kontrolü ve CO₂ yakalama modüllerinin uygulanmasının, çevresel düzenleme standartlarıyla sera gazı azaltımına ulaşmak için etkili bir çözüm olduğu doğrulanmıştır.

Tao vd. (2022), Çin'deki kömür madeninin, madencilik süreci üzerine bir LCA çalışması yapmışlardır. Arka plan verilerini sağlamak için Ecoinvent v3 veri tabanı kullanılmış ve belirsizlik bilgisine sahip orta nokta sonuçları ReCiPe Midpoint (H) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Orta nokta sonuçlarını normalleştirdikten sonra, fosil tükenmesi en baskın çevresel etki kategorisi olarak belirlenmiş ve bunu deniz ekotoksitesitesi, tatlı su ekotoksitesitesi, iklim değişikliği, tatlı su ötrofikasyonu ve insanlar üzerine olan toksisite izlemiştir. Kömür madenciliği faaliyetlerinin; çelik, elektrik tüketiminin ve maden havalandırmasının, yukarıda belirtilen çevresel etki kategorilerine neden olan ve dikkat gösterilmesi gereken kilit süreçler olduğu gösterilmiştir. Duyarlılık analizine göre, çevresel sorunları ele almak için birincil önlemler madencilik faaliyetlerini azaltmak, kömür madenciliği ve kullanımının verimliliğini artırmak olduğu ortaya çıkmıştır.

Peng vd. (2021), bu çalışmada, ilk kez kömürle çalışan enerji üretim süreçlerinden kaynaklanan doğrudan ve dolaylı VOC emisyonlarını, LCA aracılığıyla kapsamlı bir şekilde değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, kömür madenciliğinden, kömürle çalışan enerji üretim sistemlerinden, baca gazı temizleme sistemlerinden ve atık bertaraf sistemlerinden kaynaklanan VOC emisyonlarının sırasıyla; 2,31E-03 ile 1,10E-02, 2,24E-03 ile 1,46E-02, 2,38E-03 ile

2,36E-03 ve 1,30E-05 ile 1,33E-05 kg/MWh olacağı belirlenmiştir. Bir bütün olarak kömürle çalışan enerji üretim sürecinden kaynaklanan yaşam döngüsü VOC emisyonları, hava kirliliği kontrol cihazlarının etkileri dikkate alınmadan 1,78E-02 ile 9,85E-02 kg/MWh olarak hesaplanmıştır. Hava kirliliği kontrol teknolojileri uygulanırsa bu değer 6,95E-03'ten 2,80E-02 kg/MWh'ye düşürüleceği görülmüştür. Dolaylı emisyonlar, esas olarak kömür madenciliği ve baca gazı arıtma sisteminden kaynaklanan yaşam döngüsü VOC emisyonlarının %48,46-68,13'ünü oluşturmuştur. Makale ayrıca, temel girdi değişkenlerinin değişiminin genel VOC emisyonları üzerindeki etkisini de analiz etmiştir.

Rashedd vd. (2021), Pakistan da süperkritik kömür yakıtlı termik santralde elektrik üretiminin süreçlerini LCA yöntemi ile analiz etmişlerdir. 1 MWh elektrik üretimi fonksiyonel birim seçilmiştir. Sonuçlara göre, iklim değişikliği potansiyeli kategorisinde en yüksek etkiyi (7,41E+02 kg CO₂ ed.) gösterirken, en düşük etki ise stratosferik ozon incelmesi kategorisinde kaydedilmiştir (8,27E-08 kg CFC-11 ed.). Genel olarak, bu enerji santrali, daha temiz süper kritik enerji üretim teknolojisi, yüksek termal verimlilik, daha az CO₂ emisyonu, modern kirlilik izleme ve yönetim sistemi nedeniyle eko-ayak izini etkili bir şekilde azaltmıştır.

Rocha vd. (2021) üretilen elektriğin çevresel etkisini değerlendirmek için kömürle çalışan elektrik santrallerine exergoçevresel analiz uygulamışlardır. Buhar koşullarıyla ilgili iki farklı teknoloji hem ekserji hem de çevresel açıdan değerlendirilmiştir. Kömür bileşiminin değiştirilmesinin, ürünlerin çevresel etki oranlarını nasıl etkilediğini değerlendirerek duyarlılık analizi yapılmıştır. Santrallerin toplam ekserji verimliliği, kritik altı için %35,8 ve süper kritik için %37,8 olmak üzere önemli bir değişim göstermiş ve bu teknolojik yeterliliğin teşvik edilmesinin avantajını ortaya koymuştur. Santrallerde üretilen elektriğin çevresel etki oranları kritik altı ve kritik üstü için sırasıyla 48,26 mPts/kWh ve 45,50 mPts/kWh'dir. Süperkritik teknoloji kullanımı ile elde edilen toplam çevresel etki oranındaki azalma %5,7 olmuştur. Ayrıca, kirleticilerin oluşumunun, toplam etki oranının yaklaşık %60'undan sorumlu olan ana bileşeni olduğu ve bu nedenle, duyarlılık analizi ile görülebileceği gibi, yüksek kaliteli yakıt bileşiminin kullanılmasının gerekli olduğu gösterilmiştir. Kömürle çalışan santraller için teknolojiler ile ilgili olarak, süper kritik ve ultra süper kritik sistemlerin, yakıt kaynağının daha iyi enerji kullanımını sağlayarak çevreye zararlı etkileri en aza indirmek için çok uygun alternatiflerden oluştuğu sonucuna varılmıştır. Genel olarak kazan malzemeleri, türbinler ve borular ile ilgili daha fazla ilerlemenin sistemde daha yüksek sıcaklıklara ve basınçlara ulaşmayı mümkün kılacağı ve sonuç olarak daha yüksek verimlilik ve daha düşük çevresel etki ile sonuçlanacağını belirtmişlerdir.

Zhu vd. (2020), Çin'de kömürle çalışan termik santrallerden elektrik üretiminin yaşam döngüsü tabanlı su ayak izini değerlendirmişlerdir. 2016 yılında Çin'de kömürle çalışan elektrik üretimi ile il sanal su tüketimini ve bunun su kalitesi üzerindeki etkisini nicel olarak analiz etmek için uygulanmıştır. Sanal su akışı analizine göre, Kuzeybatı Çin, ülkedeki kömürle çalışan enerjinin ana tedarikçisidir; ancak bu bölge de su kıtlığı mevcuttur. Bu çalışmanın bulguları, Kuzeybatı Çin'de gelecekteki enerji planlamasında enerji gelişimine yönelik başlıca zorlukları ve su kaynakları sınırlamalarının dikkate alınması gerekliliğini vurgulamıştır. Gelecekteki çalışmalarda, enerji ve su geliştirme planlarının sürdürülebilirliğini sağlamak, enerji ve su kullanım gereksinimlerini aynı anda azaltmak için avantajlı enerji ve su geliştirme yolları araştırılması gerektiği vurgulanmıştır.

Dunmade vd. (2019), Güney Afrika'daki bir enerji santralının kömür yakma sürecinin potansiyel çevresel etkileri hakkında modern bir LCA perspektifi önermişlerdir. Bu çalışmada, kömür üretimi, kömürün toz haline getirilmesi, su kullanımı ve kül yönetimi, elektrik üretimi için kömür yakma işleminde önemli noktalar olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, küresel ısınma potansiyeli, fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli ve asidifikasyon potansiyeli olmak üzere dört etki kategorisi ele alınmıştır. Kömür prosesi, küresel ısınma için % 95, ötrofikasyon için % 4, asidifikasyon potansiyeli için % 1 ve fotokimyasal ozon oluşumu için %1'den az bir değere sahip olmuştur. Sonuç olarak, belirlenen önemli noktalarda ekolojik ayak izlerini en aza indiren bir süreç optimizasyonunun, enerji santralinde oldukça önemli olduğu belirlenmiştir. Kömür temini sürecinin çevre üzerindeki potansiyel etkilerini azaltmak için olası iyileştirmeler arasında; yakındaki kömürün tedarik edilmesi, kömürün trenle % 100 taşınması, külden değerli ürünler üretilmesi ve verimli bir su geri dönüşümü olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, kömür sürecinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirilmesinin, Güney Afrika'da çevresel sürdürülebilirliği sağlayacağı ortaya konulmuştur.

Kabayo vd. (2019), Portekiz'de kilit elektrik üretim sistemleri için gerçekleştirilen LCA'nın, önemli olan olumsuz etki alanlarını vurgulamışlardır. Fosil yakıt bazlı sistemlerin çoğu çevresel kategoride en olumsuz (yani en yüksek) etkileri ürettiği bulunmuştur. Özellikle, yakıtın yanması nedeniyle kömürün birkaç kategoride en yüksek etkiye sahip olduğu tahmin edilmiştir. Yenilenebilir sistemler genellikle daha düşük çevresel etkiler üretirken, bazı sistemler şu kategorilerde en yüksek olanı belirlemiştir: metal tükenmesi (rüzgar ve fotovoltaik); tatlı su ekotoksitesitesi ve insanlar üzerine olan toksisite kanserojen olmayan (fotovoltaik); ve su kıtlığı ayak izi (büyük hidro) dur. Fosil tabanlı sistemlere yeni yatırımlar

çevresel nedenlerden ötürü daha fazla teşvik edilmemekle birlikte, Portekiz'deki elektrik sisteminin genel sürdürülebilirliğini arttırmak için yenilenebilir tabanlı sistemlere yönelik hangi yatırımlara öncelik verilmesi gerektiği belirsizdir. Çok Kriterli Karar Analizi araçları, ilgili paydaşların farklı öncelikleri dikkate alınarak değerlendirilen çoklu göstergelerden karmaşık bilgileri toplayarak karar verme sürecine yeni bilgiler getirebileceği belirtilmiştir.

Orfanos vd. (2019), ülkede mevcut faaliyet gösteren farklı enerji üretim teknolojileri ve birbirine bağlı elektrik iletim sistemi göz önünde bulundurularak, Yunanistan elektrik şebekesinin entegre bir yaşam döngüsü değerlendirmesini sunmuşlardır. Hem üretim hem de iletim sistemlerinin enerji ve çevre değerlendirmesi SimaPro kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışma, çevresel olarak olumsuz ana etkilerin elektrik üretim sektörü (>%60) ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Elektrik iletiminin, üretime kıyasla %70-90 daha düşük yaşam döngüsü etkilerine sahip olduğu bulunmuştur. İletim güç kayıpları, sera gazı emisyonlarına en önemli katkıyı sağlarken, iletim hatları altyapısı ve transformatörler çok daha düşük yaşam döngüsü etkisi oluşturmuştur. Gelecekteki elektrik arzında yenilenebilir kaynakların yüksek paya sahip olacağı, önemli ölçüde daha düşük sera gazı emisyonları oluştururken, yenilenebilir enerji kaynaklarının inşaat aşamasının yoğunluğu nedeniyle birincil enerji talebinin artması beklenilmektedir.

Silva vd. (2018), Brezilya'daki bir yerüstü madeninden elde edilen kömürün yaşam döngüsüne ilişkin ilk envanter ve çevresel etki çalışmasını sunmuşlardır. Bu envanter, literatürde böyle bir bilgi bulunmadığından özellikle sera gazlarının etkisi göz önünde bulundurularak LCA çalışmalarına bir veri tabanı görevi görmek üzere geliştirilmiştir. Kömür yaşam döngüsü emisyonları, 3,29E-2kg CO₂ ed. olmakla birlikte doğrudan sera gazının %98,3'ünü oluşturmaktadır. Bu etkinin büyük kısmı, açık madencilik ve madencilik sonrası kömürün kırma ve taşıma işlemleri sonucunda açığa çıkan metan emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, duyarlılık analizi sonuçları, dikkate alınan girdiler açısından motorin tüketiminin yaşam döngüsü emisyonunun en etkili parametresi olduğunu göstermiştir.

Wang, vd. (2018), tarafından kömür yakıtlı elektrik üretim teknolojisinin yaşam döngüsü değerlendirilmiş, yaşam döngüsü zincirinin kaynak tüketimi ve kirlenici emisyonları analiz edilmiştir. Fonksiyonel birim 1 MWh güç üretimi olarak belirlenmiştir. En büyük çevresel etkiye sahip emisyonlar; CO₂, CO, SO₂, partikül madde, kimyasal oksijen ihtiyacı ve kazan külü olarak belirlenmiştir. Duman ve tozun çevresel etkiye katkı oranları %63,33 ile en yüksek düzeydedir. Çevresel etki, kömür yakıtlı elektrik üretiminin yaşam döngüsünün aşamalarında farklı çıkmıştır. Küresel ısınmanın orta nokta etki kategorisi, kömür madenciliği

aşamasında ve enerji üretim aşamalarında en büyük etkiye sahipken, duman ve tozun kömür yıkama ve taşıma aşamalarında büyük etkisi olmuştur. Emisyon azaltımı için yeni tesislerdeki uygulamaların güçlendirilmesi, kirleticilerin emisyon standartlarının iyileştirilmesi ve kömürle çalışan termik santrallerde elektrik üretiminin süreç yönetiminin güçlendirilmesi, çevresel etki faktörlerinin neden olduğu çevresel yükü azaltmanın etkili yolları olduğu belirtilmiştir.

Atılğan ve Azapagic (2016), yaptıkları çalışmada ilk kez Türkiye'de elektrik sektörünün sürdürülebilirliğindeki, elektrik karışımındaki fosil gücünün payı azaltıldığında elde edilecek önemli gelişmeleri ölçmüşlerdir. Halihazırda elektrik karışımında bulunan farklı teknolojilerin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerini dikkate alarak Türkiye elektrik sektörünün yaşam döngüsü sürdürülebilirliğini değerlendirilmiştir. Bulgular, ülke için en sürdürülebilir elektrik seçeneklerini belirlemek ve elektrik sektöründe sürdürülebilirliği geliştirmeye yönelik politika önerilerinde bulunmak için kullanılacağı belirtilmiştir. Fonksiyonel birim Türkiye'de 1 kWh elektrik üretimi seçilmiştir. Beşikten mezara yaklaşımı uygulanmıştır. Sekiz enerji kaynağının (linyit, taş kömürü, gaz, büyük ve küçük rezervuar, rüzgar enerjisi, nehir tipi hidroelektrik ve jeotermal) çevresel etkilerini karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları linyitten gelen elektriğin en az sürdürülebilir seçenek olduğunu göstermiştir. Bunun tek istisnası, ekonomik yönün en önemli olduğu düşünülerek, bu durumda orta sıralama seçeneği haline gelmiştir. Bu nedenle, ana enerji sürücüsü enerji güvenliği ise, mevcut linyit santrallerinin sürdürülebilirlik performansı iyileştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Yenilenebilir elektrik kaynaklarının fosil yakıtlara alternatif olarak şebekeye daha fazla nüfuz etmesi, Türkiye'nin ithal yakıtlara olan bağımlılığını azaltmak, arz güvenliğini artırmak ve elektrik sektöründen kaynaklanan çevresel etkileri azaltmak için önemli olduğu belirtilmiştir.

Burchart-Korol vd. (2016), Polonya'da taş kömürü madenciliği faaliyetlerinin değerlendirilmesinde LCA uygulamışlardır. Yaşam döngüsü yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar, geleneksel çevresel değerlendirmede dikkate alınan üç doğrudan çevresel yönün (yani drenaj suyu, atıkların işlenmesi ve atmosfere salınan metan emisyonları) dışında, kömür madenciliği faaliyetleriyle ilişkili en önemli çevresel etkilerin şebekeden gelen elektriğin dolaylı etkisi ile çelik ve ısı kullanımı olduğunu ortaya koymuştur. Madencilik alanı dışında meydana gelmelerine rağmen, bu elementlerle ilişkili üretim süreçleri bir kömür madeninin yaşam döngüsüne dahil edilmiş ve çevreyi büyük ölçüde etkilemiştir. Kömür madenciliği proseslerinin çevresel performansını artırmak için metan emisyonları ile elektrik, ısı ve çelik tüketiminin azaltılması gerektiği tespit edilmiştir. Kömür madenlerinde özellikle havalandırma

işlemlerinden ve elektrik üretiminden kaynaklanan metan emisyonlarının azaltılmasının, sera gazı emisyonlarının azalmasına katkıda bulunabileceği tespit edilmiştir.

Dzikuc ve Piwowar (2016), Polonya'da linyit, kömür ve biyokütlenin birlikte yakma yöntemini kullanarak elektrik enerjisi üretimi ile ilgili en önemli hususları açıklamışlardır. Makalede, biyokütle birlikte yakma yöntemini kullanarak kömürden elektrik enerjisi üretiminin çevresel etkisini değerlendirmek için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) yöntemi kullanılmıştır. Polonya'daki büyük kömür ve linyit kömürlü elektrik santrallerinden elde edilen verilerin analizi sunulmuştur. Hesaplanan çevresel etki tahminleri, çevresel hasarı sınırlandıracak çözümlere dikkat edilmesi gerektiğini göstermiştir. Kömürle birlikte biyokütlenin yanma olasılığı belirtilmiştir. Polonya'da enerji üretimi ile ilgili mevcut altyapı, düşük maliyetler söz konusu olduğunda, Polonya'nın enerji güvenliğini artırmak için nispeten ucuz olan biyokütle potansiyelinin kullanılmasını sağlayacağını belirtilmiştir. Kömürle birlikte yanan biyokütle, fosil yakıtların enerji üretiminde kullanımını azaltmanın en ekonomik yolu olduğu sonucuna varılmıştır.

Günkaya vd. (2016), bu makalede Türkiye'nin elektrik üretiminin çevresel yüklerini belirlemek için bir LCA metodolojisi uygulamasını sunmuşlardır. Örnek olay olarak 2012 ve 2023 yıllarına ait Türkiye elektrik üretim verileri kullanılmıştır. Elektrik üretimi için fonksiyonel birim 1 kWh elektrik üretimi seçilmiştir. LCA hesaplamaları CML-IA (v3.00) verileri kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Monte Carlo simülasyon analizine SimaPro 8.0.1 yazılımında yerleşik Monte Carlo fonksiyonuna göre yorumlanmıştır. Sonuçlar, fosil yakıt tüketiminin sadece küresel ısınmaya katkıda bulunmadığını, fakat aynı zamanda fabrika altyapısı için hammadde tüketimine bağlı olarak abiyotik tükenmenin elementel bazında da etkileri olduğunu göstermiştir. Tüm etki kategorileri dikkate alındığında hidroelektrik enerji seçeneği, elektrik üretiminde jeotermal ve güneş enerjisi seçeneklerinden sonra en düşük üçüncü seçenektir. Bununla birlikte, 2023 yılında Türkiye'nin dikkate değer toplam enerji talebinin yalnızca küçük bir kısmını (yaklaşık %1,2) karşılayacak olan jeotermal ve güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde de en küçük paya sahip olacağı öngörülmüştür. Planlanan hidroelektrik enerjinin elektrik üretimine katkısı 2023 yılı sonuna kadar tüm doğal kaynakların yaklaşık %40'ı (154.000 GWh) olacağı öngörülmüştür. Sonuç olarak, jeotermal ve güneş enerjisi ülke çapında bir enerji arzı yerine yerel bir kaynak olarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Bayrak (2014), LCA yöntemi kullanılarak kömürün sahadan çıkarılıp termik santrale verilinceye kadar olan aşamalarına (madencilik, kömür hazırlama ve zenginleştirme ve taşıma)

ait çevresel etkileri araştırmıştır. Bu araştırmada Türkiye'deki termik santrallere kömür veren maden sahalarından temin edilen saha verileri kullanılmıştır. Arazi kullanımı potansiyeli için erozyon direnci, mekanik filtrasyon, yeraltı suyu birikimi ve biyolojik üretim olmak üzere dört adet indikatör hesaplanmıştır. İnceleme sonucunda seçilen etki kategorileri için etki sonuçları hesaplanmıştır. Çevreye etkilerin azaltılması için madencilik uygulamalarında iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirmelere göre iyileştirme yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu iyileştirmeler; iş makinesi çalışma kapasitelerinin artırılması, yıkama prosesi atık suyunun susuzlaştırılması, atığın geri kazanımı, biyodizel karışımı yakıt kullanımı ve yolların sulanması gibi madencilik faaliyetlerinde uygulanabilir değişiklikleri içermektedir.

Maarten vd. (2014), gelecekteki bir akıllı şebekenin avantajlarından tam olarak yararlanmak için bir karar destek aracı sağlamak için 1 kWh üretilen elektriğin saatlik CO₂ içeriğine ilişkin net bir bilimsel arka plan sağlamışlardır. 2011 yılında Belçika elektrik üretim zinciri, hammadde çıkarımından elektrik üretimine kadar değerlendirilmiştir. Hesaplanan CO₂ içeriği yalnızca bir elektrik santralindeki elektrik üretimiyle ilgili faaliyetleri değil, aynı zamanda altyapının inşası ve yakıt tedarik zinciriyle ilgili karbon emisyonlarını da içereceğini ortaya koymuştur. Özellikle rüzgar, hidro, güneş ve nükleer gibi dönüşüm emisyonu olmayan santraller için hammadde üretimi ve santralin inşası sırasında oluşan emisyonların dahil edilmesi büyük önem taşımıştır. Dikkate alınan hammaddeler; nükleer yanıcı, petrol, kömür, doğal gaz, biyoatık, yüksek fırın gazı ve odun seçilmiştir. Konvansiyonel fosil yakıtlar (kömür, petrol ve doğal gaz) ile ilgili olarak, ürünün tüm tedarik zinciri göz önünde bulundurulmuş ve kömürün en yüksek Küresel Isınma Potansiyeli'ne sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Scannapieco vd. (2014), Çevresel Etki Değerlendirmeleri sırasında olduğu gibi, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği açısından en iyi santralin seçilmesi sürecinde karar vericilere yardımcı olacak bir araç önermişlerdir. Bu prosedür aracılığıyla çevresel etkilerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Santrallerin faaliyete geçirilmesiyle ortaya çıkabilecek bu etkiler bir LCA ile değerlendirilmiştir; ardından, karar vericilere en iyi enerji santralini seçmelerine yardımcı olacak bir araç önermek için bir AHP geliştirilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada karar vericilerin desteklenmesi için bir araç önerilmiştir: yedi farklı enerji santralinden (kömür, petrol, gaz, nükleer, rüzgar, güneş ve hidroelektrik) LCA verilerine dayanmıştır. Önerilen prosedür farklı enerji santrallerini değerlendirmeyi, tesis yapımı ve işletme aşamalarında en çevreci olanı tespit etmeyi amaçlamıştır. Sonuç olarak, yenilenebilir yakıtlar güvenilirlik ve çevresel etkilerin azaltılması açısından daha iyi performans gösterebilir. Yenilenebilir kaynaklar daha yüksek sermaye harcamalarına yol açabilse de işletme ve bakım

maliyetleriyle ilgili ekonomik faydalar karşı konulmaz olabilir. Sunulan sonuçlara dayanarak, çevreyi iyileştiren yenilenebilir yakıtların geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Çetinkaya vd. (2012), İzmir, Torbalı'daki bir tekstil fabrikasında kullanılan bir akışkan yataklı buhar tesisi için bir LCA çalışması gerçekleştirmiştir. Yüksek kükürt içeriğine sahip olan soma linyiti birincil yakıt olarak tüketilmiştir. LCA adımları, kömür madenciliği, kömür taşımacılığı, kömür temizliği, tesis işletmesi, kükürt gidermede kireçtaşı kullanımı, kül ve kalsiyum sülfatın toprağa verilmesi olarak belirtilmiştir. Madencilik ve düzenli depolama ekipmanları için üretim ve hizmetten çıkarma, karbondioksit eşdeğeri ve enerji tüketimi açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirmede, kullanım ömrü 30 yıl olarak belirtilmiştir. Toplam karbondioksit eşdeğeri emisyon değerleri, başlıca kömür madenciliği, nakliye, tesis inşaatı, tesis işletmesi ve düzenli depolama kategorileri için, ömür boyu sırasıyla 12,9, 0,0011, 0,00058, 298,9 ve 0,0024 Mton olarak belirlenmiştir. Ana karbondioksit emisyon kaynağının buhar tesisinin çalışması olduğu ve enerji kullanımı üzerinde büyük etkisi olan ana malzemelerin çelik ve beton olduğu tespit edilmiştir. Bu emisyon oksit-yakıt yanması gibi teknolojilerle azaltılabileceği belirtilmiştir. Enerji kullanımı kömür madenciliği, kömür temizliği, nakliye, fabrika malzeme imalatı, işletme ve depolama için sırasıyla 18,2, 0,1, 5,6, 16,1, 115,9 ve 3,6 TJ olarak belirlenmiştir.

Felix ve Gheewala (2012), Tanzania'daki Elektrik Kaynaklarına göre, 2000, 2015, 2020, 2026 ve 2030 yılları için bir yaşam döngüsü yaklaşımı kullanarak Tanzania'daki merkezi şebekeye bağlı elektrik üretiminin çevresel değerlendirmesini sunmuşlardır. Seçili tüm bu çalışmanın sonuçları etkiler kategorilerinde mutlak yıllara dayalı elektrik üretimi, çevresel etkileri yıllar 2000, 2015, 2020, 2026 ve 2030 karşılaştırırken zamanla önemli ölçüde artmıştır. Seçilen tüm etki kategorilerindeki çevresel yükler 2000-2030 döneminde artacağı beklenmiştir. Artan hidroelektrik kullanımı, elektriğin çevre profilini iyileştirmeye yardımcı olacağı belirtilmiştir. Sonuç olarak, burada sunulan projelere kıyasla fosil yakıtlardan toplam üretim azaltılabilir. Burada modellenen tüm çevresel yükler fosil yakıtlı enerji santralleri için daha yüksek olduğundan, çevresel etki azaltılabileceği belirtilmiştir.

Cui, Hong ve Gao (2012), Çin'de yaygın olarak kullanılan veya teşvik edilen üç kömür bazlı elektrik üretim senaryosunun, yani kritik altı teknoloji (300 MW), süper kritik teknoloji (600 MW) ve ultra süper kritik teknolojinin (1000 MW) çevresel etkisini tahmin etmek için bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yapmışlardır. Diğer senaryolarla karşılaştırıldığında, ultra-süper kritik teknoloji, kömür külünün depolama sahasına atılması nedeniyle doğal arazi

kullanımı kategorisi dışında, çoğu kategoride önemli ölçüde çevresel faydalar sağlamıştır. Net kömür tüketim verimliliğini optimize etmek, kömür külünü yapı malzemesi olarak yeniden kullanmak, kükürt gidermeyi artırmak ve denitrizasyon sistemi verimliliği ve kömür alıcısından tedarikçiye karayolu taşımacılığı mesafesinin azaltılması, elektrik üretiminin genel çevresel etkisinin azaltılmasında önemli faktör olduğu belirtilmiştir.

E.Santoyo-Castelazo vd. (2011), ilk kez Meksika'da elektrik üretimine ilişkin bir LCA çalışması sunmuşlardır. Meksika'daki elektrik karışımına toplam birincil enerjiye yaklaşık %79 oranında katkıda bulunan fosil yakıtlar hakimdir; yenilenebilir enerjiler %16,5 (hidroelektrik %13,5, jeotermal %03 ve rüzgâr % 0,02) ve geri kalan % 4,8'i nükleer enerjiden kaynaklanmıştır. LCA sonuçları, 225 TWh elektriğin yaklaşık 129 milyon ton CO₂ ed. ürettiğini göstermiştir. CO₂ emisyonları toplam Küresel Isınma Potansiyeli değerinin yaklaşık %94'ünü oluşturmuş olup sırasıyla %4,2 ve %1,2 CH₄ ve N₂O'dan gelir. Sera gazı emisyonlarının ana kaynağı fosil yakıtlı enerji santrallerinin işletilmesi (yakılması) olup, toplam Küresel Isınma Potansiyeli değerine %87 katkıda bulunmuştur. Diğer çevresel etkilerin çoğunluğu, enerji santrallerinde fosil yakıtların yanmasından kaynaklanmakta olup, ağır fuel oil en fazla katkıda bulunmuştur (% 59-97).

Odeh ve Cockerill (2008), Birleşik Krallık'taki mevcut toz haline getirilmiş kömür santrallerinden kaynaklanan yaşam döngüsü GHG emisyonlarını incelemiştir. Santralin enerji ve malzeme gereksinimlerini tahmin etmek için basit bir model geliştirilmiştir. Ön hesaplamalar, Birleşik Krallık kömür yakıtlı santrali için, yaşam döngüsü emisyonlarının, daha önceki Birleşik Krallık araştırmalarıyla karşılaştırıldığında, üretilen elektriğin 990 g CO₂ ed./kWh olduğunu ortaya koymuştur. Bu emisyonların çoğu doğrudan yakıt yanmasından kaynaklanmıştır (882 g/kWh, %89), dolaylı emisyonların %60'ını oluşturan madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan metan sızıntısı olarak belirtilmiştir. Toplamda madencilik faaliyetleri (metan sızıntısı dahil) dolaylı emisyonların %67,4'ünü oluştururken, kireçtaşı ve diğer malzeme üretimi ve nakliyesi %31,5'ini oluşturmuştur. Geliştirilen metodoloji, IGCC enerji santraline de uygulanmıştır. IGCC yaşam döngüsü emisyonlarının PC santrallerinden kaynaklanan emisyonlardan %15 daha az olduğu bulunmuştur. Ayrıca, santral parametrelerinin yaşam döngüsü emisyonları üzerindeki etkisi araştırıldığında, verimliliği %35'ten %38'e çıkarmanın emisyonları %7,6 oranında azaltabileceği belirlenmiştir. Mevcut makale, CCS kullanıldığında, üretim sırasındaki emisyonların, yukarı akış süreçlerinden (yani kömür üretimi ve nakliye) kaynaklanan emisyonların baskın hale geldiği bir seviyeye düşmesinin ve dolayısıyla CCS'nin yaşam döngüsü verimliliğinin mümkün olabileceğini ortaya koymuştur.

Literatür çalışmalarından görüleceği üzere termik santrallerin çevresel etkilerinin LCA yöntemiyle ele alındığı çalışmalar mevcuttur. Diğer yandan, literatürde bu tez çalışmasının amacını oluşturan pulverize toz kömürlü subkritik kazan teknolojisi, pulverize süperkritik kazan, pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi ve akışkan yatak teknolojisinin çevresel etkilerinin karşılaştırıldığı bir çalışma yapıldığı görülmemiştir. Bu açıdan, bu tez çalışması özgün bir değer taşımaktadır.

4. MATERYAL VE METOD

Tezin bu kısmında uygulanan LCA yöntemi, ISO 14040 ve ISO 14044 ilkelerine bağlı olarak hedef ve kapsamın belirlenmesi, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorumlama olarak dört aşamada ele alınmıştır.

4.1.Hedef ve Kapsam Tanımı

Bu LCA çalışmasının amacını kömürle çalışan termik santrallerde kullanılan mevcut pulverize toz kömürlü subkritik kazan teknolojisi ve buna alternatif olarak, pulverize süperkritik kazan, pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi ve akışkan yatak teknolojisinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması oluşturmaktadır. Çalışmanın fonksiyonel birimi, 1 kWh elektrik üretimi olarak belirlenmiştir.

4.1.1.Sistemlerin tanıtımı

Kömürle çalışan termik santrallerde pulverize subkritik kazan teknolojisi, pulverize süperkritik kazan teknolojisi, pulverize ultrasüperkritik kazan teknolojisi ve akışkan yatak kazan teknolojisi gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kazan teknolojilerinin açıklamaları alt bölümlerde detaylı olarak açıklanmaktadır.

4.1.1.1.Pulverize toz kömürlü kazan teknolojileri

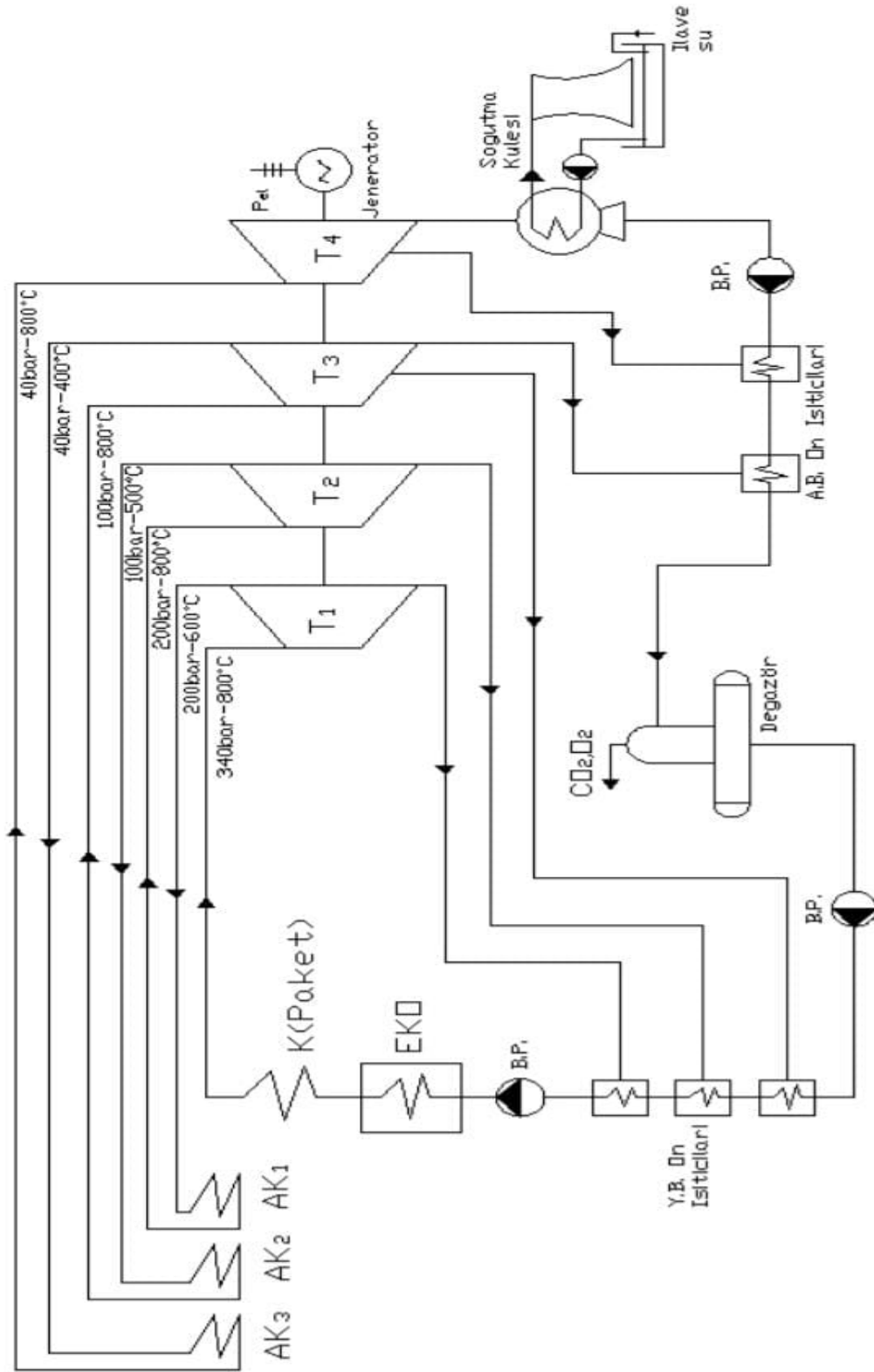
Pulverize kömür yakma sisteminde; bunkerlerden alınan kömür bantlar aracılığıyla değirmenlere gelir, değirmenlerde toz haline getirilerek yanma odasına sıcak havayla püskürtülür ve yanar. Bu şekilde kömürün kimyasal enerjisi kazanda meydana gelen yanma sonucu ısı enerjisine dönüşür. Yanma sonucu oluşan baca gazları, ısılarını kazan borularına vererek boruların içinden geçen suyun sıcaklığını yükseltir. Su sıcaklığı kazan basıncının karşılığı olan buharlaşma sıcaklığına eriştiğinde buharlaşma başlar. Bu şekilde meydana gelen su-buhar karışımı dom denilen bir büyük tankta doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır. Doymuş buhar daha sonra yine baca gazları ile kızdırılır. Su ise tekrar çevrimin başlangıç noktasına gönderilerek yeniden ısıtılır. Kızdırıcılarda mümkün olduğu kadar yüksek

sıcaklıklara erişilmesi istenir. Bunun sebebi sıcaklık artışına bağlı olarak verimin de artmasıdır. Pulverize kömür yakma kazanları, sıcaklık ve basınç farklılıklarına göre kritikaltı (K-altı) (subkritik) ve kritiküstü (süperkritik ve ultra süperkritik) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kritikaltı ve kritiküstü kazanların sıcaklık, basınç, güç ve verim aralıklarının karşılaştırılması Tablo 4.1’de verilmiştir.

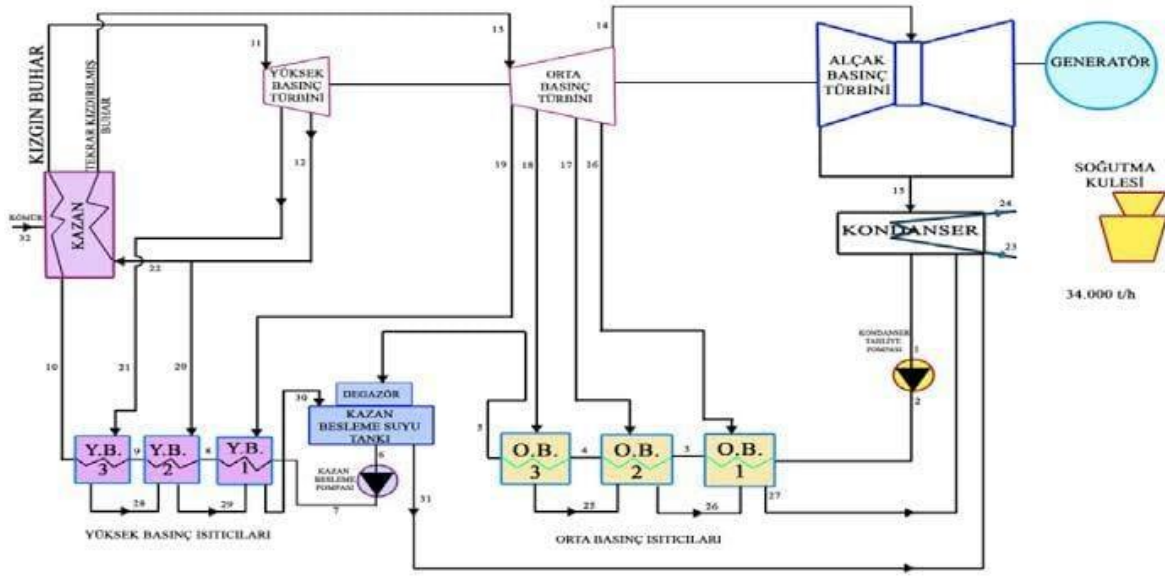
Tablo 4.1. Kritikaltı ve kritiküstü kazanların karşılaştırılması

Kazan tipi	Kritikaltı (K-altı)	Süperkritik (SK)	Ultra süperkritik
Sıcaklık (°C)	540	610	700
Basınç (Bar)	160-250	250-285	300
Güç (MW)	150-350	500-1000	500-1100
Verim (%)	30-37	39-43	43-50

Kaynak: (Taşkın, 2018)



a-)



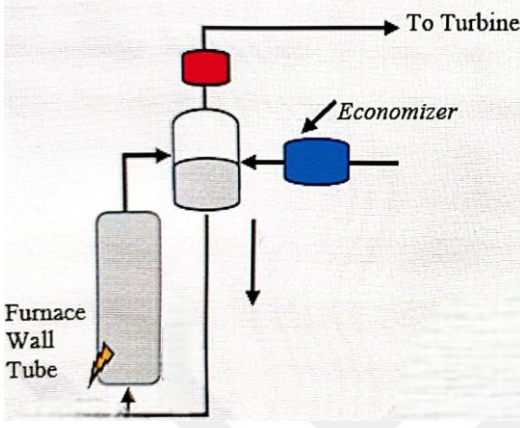
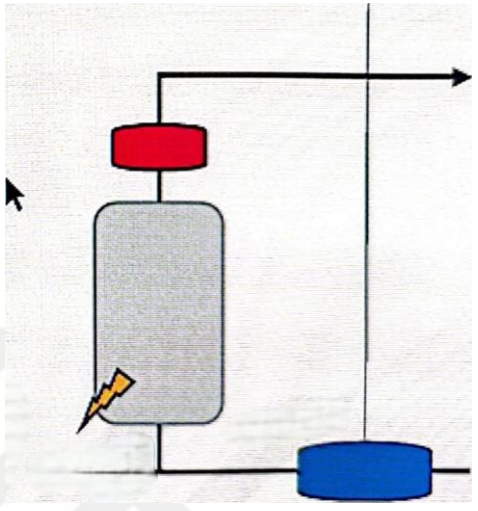
b-)

Şekil 4.1. (a-b). Ultra Süperkritik Kazan Teknolojisi

Pulverize subkritik kazan teknolojisi

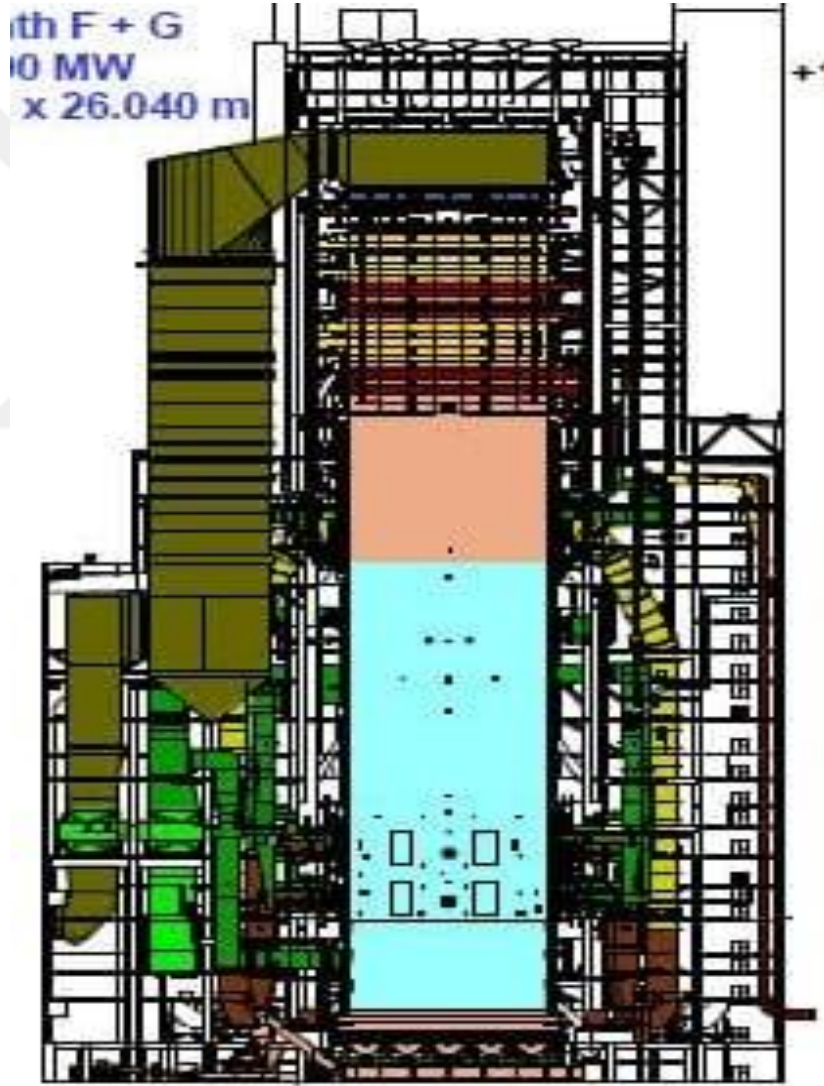
Türkiye de bulunan termik santrallerin çoğunda pulverize subkritik kazan teknolojisi kullanılmaktadır. Subkritik kazanlar, 374°C'ye kadar sıcaklıklarda ve 3208 psi (suyun kritik noktası) basınçta çalışan kazanlardır. Bu kazanlar, sabit buharlaşma uç noktasına sahip bir sistem oluşturur. Bir kritik altı kazan için tipik bir örnek, tambur tipi buhar jeneratörüdür. Kazan içinde, kolonların ısıtılmasıyla sıvının doğal sirkülasyonu sağlanır. Bu yükselticiden çıkan su ve buhar karışımı daha sonra tamburda su ve buhara ayrılır. Su sirküle edilir, su alt köşelerden evaporatör girişine dönerken, buhar kızdırıcı bölmesine akar. Akışkanın doğal sirkülasyona girmesine izin verilirse, uygulama aralığı maksimum tambur basıncı olarak yaklaşık 190 bar ile sınırlıdır. Ancak sirkülasyon bir sirkülasyon pompası kullanılarak yapılırsa (cebri sirkülasyon olarak bilinir), bu aralık genişletilebilir. Bu uzama, tamburdaki buharlaşma son noktasının sabitlenmesi nedeniyle olur. Ayrıca evaporatördeki ve kızdırıcıdaki ısıtma yüzeyinin boyutunu ayarlar. Subkritik kazanın önemli bir dezavantajı, bu kazanlarda kabarcık oluşumunun meydana gelebilmesidir (http-3, 2023). Pulverize subkritik kazan ve pulverize süperkritik kazan sistemlerinin karşılaştırılması Tablo 4.2' de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Pulverize subkritik kazan ve pulverize süperkritik kazan sistemlerinin karşılaştırılması

Kritik Altı Dramlı Kazan	Kritik Üstü ve Ultra Kritik Üstü Tek Geçişli Kazan
	
<p>Dram vardır.</p> <p>Kazan suyu dramı besler.</p> <p>Kazan suyu kazan duvar borularından aşağı doğru iner ve ısınır. Isınan buhar-su tekrar drama gider. Buhar kazandan ayrılır ve kızdırıcıya gider. Kızgın buhar buradan türbine gider.</p> <p>Kazandaki sirkülasyonda, duvar borularında ki su ve ısıtma tüplerindeki buhar-su karışımının arasındaki yoğunlukları farkına etki eden yer çekimi harekete sebep olur.</p> <p>Termik santrallerde maksimum kapasite, dram boyutundan dolayı 600 MWe ile sınırlıdır.</p> <p>Dram blöfü vardır.</p> <p>Kazan maliyeti daha düşüktür.</p>	<p>Dram yoktur.</p> <p>Besleme suyu, süper kritik basınçta doğrudan su formundan buhar formuna dönüşür.</p> <p>Besleme suyu doğrudan ekonomizere girer ve buradan kazan duvar borularına geçer, kazan duvar borularında ısınan besleme suyu buhar formuna geçer ve buradan kızdırıcıya geçer. Ardından kızgın buhar türbine gider.</p> <p>Kazanda İki fazlı durum meydana gelir bu yüzden drama ihtiyaç duyulmaz.</p> <p>Kondensat arıtma sistemi olması zorunludur.</p> <p>Tek geçişlidir.</p>

	<p>Su kalitesi devamlı kontrol altında olmalıdır.</p> <p>Su analizleri daha kapsamlıdır (toplam demir, toplam bakır)</p> <p>Kazan maliyetleri çok daha yüksektir.</p> <p>Kazan tasarımı kullanılan kazan boruları yüksek alaşımlı borulardır.</p>
--	---

Kaynak: (Kömürcü, 2019)



Şekil 4.2. Pulverize Subkritik Kazan Teknolojisi

Pulverize süperkritik kazan teknolojisi

İncelenmiş olan makalelerde yurtdışında çoğu termik santralde süperkritik kömür yakıtlı elektrik santralleri tercih edilmektedir. Kritik altı santrallerle karşılaştırıldığında, tipik olarak daha enerji verimli ve daha çevre dostudurlar. Kritik altı üretim teknolojisine dayalı kömür yakıtlı elektrik santralleri ile karşılaştırıldığında, incelenen santral, %10-11 daha yüksek termal verimliliğe sahip süper kritik süreci kullanır. SC teknolojisi iyi gelişmiştir ve giderek daha fazla endüstriyel kömürle çalışan elektrik santrali tarafından benimsenmektedir (Tanq ve You, 2018). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Temiz Kömür Merkezi, mevcut kritik altı güç ünitelerinin süper kritik veya ultra süper kritik sistemlerle değiştirilmesinin, emisyonların (CO₂) yaklaşık %23 azaltılmasının mümkün olduğunu bildirmiştir. Gerçekte, yalnızca %1 oranında artırılmış bir termal verimlilik, kömürle çalışan güç sistemlerinin daha uzun ömürlü olmasıyla yaklaşık 2,4 Mt CO₂, 2000 ton NO_x ve SO₂ ve 500 ton PM'yi azaltabilir (Rashedd vd. 2021).

Süper kritik kazanlar 1950 yıllarının sonunda ve 1960 yıllarının başında ilk olarak Amerika da üretilmiş ve 22,11 MPA kritik basıncın üzerinde çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Avrupa ve Asya da 1990lı yıllardan beri süperkritik kazanları kullanmaya başlamış ve halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Süperkritik kazanlar, sub-kritik kazanlara göre ilk maliyeti yüksek olmasına rağmen yüksek verimlilik, az yakıt tüketimi ve az emisyon değerleri göz önüne alındığında daha avantajlı olmaktadır. 1950li yıllardaki tasarımlardan sonra 1990'lı yıllarda kritik basınç değeri 31 MPa kadar yükselmiş, fakat sıcaklık değeri 537°C olarak değiştirilmemiştir. Bu şekilde verim %40 civarlarındadır. 1990'lı yılların sonunda sıcaklık değeri de 621°C'lere çıkarılmış ve verim %44'lere kadar yükselmiştir. Bu yapılan revizyonlarla sadece verimde artış olmamış aynı zamanda yakıt daha az tüketilmiş ve emisyon değerleri azalmıştır.

Kritik nokta, sıvı ve buhar halindeki su arasında net bir ayrım bulunmayan termodinamik bir durumdur. Su, bu duruma 22,1 MPa ve 374°C sıcaklıkta ulaşır. Su, kritik nokta ve üzerinde hemen buharlaşacak ve kızgın su buharı olacaktır. Kritik nokta sıcaklığına ulaşıldıktan sonra basınç değeri ne kadar artarsa su, sıvı hale geçmemektedir. Süper kritik nokta 24,2 MPa ve 566°C'dir. Bu termodinamik prensibe göre çalışan santrallere süper kritik teknoloji denir. Süperkritik kömür teknolojisinin avantajları aşağıda yer almaktadır:

- Yüksek santral verimliliği sağlar.
- Kazan yapısından kaynaklı santral operasyonlarında esneklik sağlayabilir.

- Basıncın değiştirilmesi ile yük değişimleri kontrol altına alınabilir. Genel olarak termik santrallerde yük kontrolü türbin girişindeki kısma vanası ile yapılır fakat süperkritik santrallerde buhar basıncı ile ayarlama yapılabilmektedir.
- Küçük ısı değişimlerinde hızlı tepki alınır.
- Ana buhar sıcaklıkları yakıt-su oranı ile ayarlanabilir ve kontrol özelliği kolaydır (Bayram, 2020).

Pulverize ultra-süperkritik kazan teknolojisi

ASME parametrelerine göre subkritik sistem verimi % 33-37, süper kritik sistem verimi % 37-42, ultra süper kritik sistem verimi ise % 42 ve üstü olarak tanımlanmaktadır. Sadece sıcaklık ve basınç ultra süper kritik teknoloji için belirleyici değildir, en önemli olan konulardan biri de bu şartlarda çalışacak yüksek alaşımlı çelik malzemenin olmasıdır. Artan sıcaklık ve basınç, malzeme dayanımını azalttığından, montaj aşamasında yaşanan kaynak sıkıntıları ve santralin emre amadeliği konusundaki riskleri artırmaktadır. Ultra-süperkritik kömür teknolojisinin avantajları aşağıda yer almaktadır:

- Santral veriminde % 1 oranında artış, kömür tüketiminde % 2,5 oranında azalmaya karşılık gelmektedir.
- Çevre açısından ise santral verimindeki % 1 artış, sera gazı salınımının % 2,5 oranında azalması anlamına gelmektedir. Bu hem çevresel açıdan olumludur, hem de tesisinin atık gazı arıtması için daha az kimyasal kullanılmasını sağlar.

Ultra-süperkritik kömür teknolojisinin dezavantajları aşağıda yer almaktadır:

- Malzeme mukavemetiyle ilgili daha kısa sürelerde çatlak, malzeme kopması ve aşınma gibi problemlerle karşılaşılmaktadır.
- Montajda kaynak problemleri sıkça yaşanan problemlerdir ve konuyla ilgili yetişmiş personel sıkıntısı vardır.
- Sıcaklığın ve basıncın yükselmesi sadece borularda değil, bu sistem üzerinde bulunan bağlantı elemanlarında, vanalarda ve ilave elemanlarda da daha dayanıklı ve pahalı malzemelerin kullanımını gerektirmektedir.
- Tasarım ve performans çalışmaları da gelişme aşamasındadır ve iyileştirmeler için zamana ihtiyaç vardır. Süperkritik sistem bu anlamda daha da oturmuş ve kendini ispatlamış bir teknolojidir.

4.1.1.2.Akışkan yatak teknolojisi

Türkiye'de termik santrallerde kullanılan kömürlerin ısı değerleri 1000 kcal/kg ile 3500 kcal/kg değerleri arasında, içerdikleri kül miktarları ağırlıklı olarak % 15 ile %35 arasında değişen linyit kömürleridir (Özdemir vd., 2017). Türkiye’de düşük kaliteli linyit yakan tesisler için akışkan yataklı kazan kullanılması uygundur. Akışkan yataklı yakma (AYY) teknolojisi, akışkan bir havanın içinde ısıtılmış ve askıda durabilen taneciklerden oluşan bir yatakta kömürün yakılması işlemine dayanır. Yüksek hızlardaki hava akımında bu yatak, akışkan gibi davranarak taneciklerin çok hızlı bir şekilde karışmasını sağlar. Bu hareket ile düşük sıcaklıklarda bile kömürün tamamıyla yanması sağlanır. AYY teknolojileri, “atmosferik” ve basınçlı” olmak üzere iki grupta sınıflandırılmakta olup, atmosferik akışkan yataklı yakma teknolojisi de kendi içinde atmosferik akışkan yataklı yakma teknolojileri ve basınçlı akışkan yakma teknolojisi olmak üzere iki grupta incelenir:

- Atmosferik akışkan yataklı yakma teknolojileri

Kabarcıklı akışkan yatak (KAY) teknolojisi;

KAY teknolojisinde, dağıtıcıdan geçen hava yatak içinde kabarcıklar oluşturarak yatak içindeki katı tanecikleri kaldırır ve yatağa kaynayan akışkan görüntüsü kazandırır. Başlangıçta 500°C’ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulan yatağa beslenen yakıt tutuşur ve yanmaya başlar. Yatak içindeki gaz kabarcıkların sebep olduğu türbülanslı hareket ve şiddetli karışım, sabit sıcaklıkta bir ortam oluşmasını sağlar. Emisyonların azaltılması amacıyla 750-950 °C arasında çalıştırılırlar.

Dolaşımli akışkan yatak (DAY) teknolojisi;

AYK içinde hava hızının yukarıya doğru artırılması ve yataktaki tüm partiküllerin yukarıya taşınması ile DAY şartlarına ulaşılır. Partiküller, yükseltici boru içini doldurarak yanma gazı ile kazandan dışarıya, siklonlara taşınır. Baca gazından ayrılan partiküller geri dönüş borusu ile yükseltici boru içerisine yeniden verilir. Yanma bölgesi olan yükseltici boruda tam yanmamış kömür tanecikleri varsa, bu geri dönüş sayesinde tanecikler daha uzun süre sistemde kalacağından tam yanma sağlanabilmektedir.

AYK’da yatak maddesi olarak inert partiküller kullanılmaktadır. Bunlara kum veya kül örnek verilebilir. Yatakta kullanılan bu partiküllerin ısı kapasitesi de kazana ısı kararlılık sağladığından dolayı diğer tip kazanlarda farklı olarak kullanılan yakıtın özellikleri AYK’nın kararlı performansını fazla etkilemez.

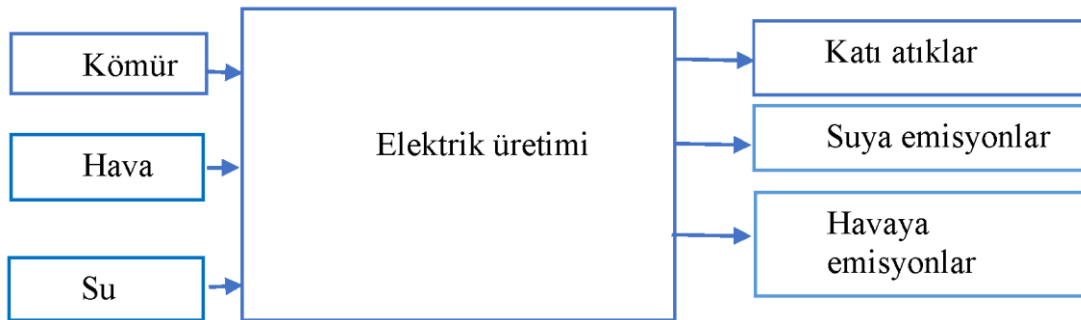
AYK'da genelde yüksek kül içerikli kömür kullanılır. Bunlar arasında santral boyutunda başarıyla uygulanmış ve kullanımı giderek yaygınlaşan tip, DAY teknolojisidir (Taşkın, 2018).

- Basınçlı akışkan yataklı yakma teknolojisi

Basınçlı akışkan yataklı kazanlarda kömür, 5 atm ile 20 atm aralığında bir basınç altında yandığı için buhar üretiminin yanı sıra, gaz türbinlerine beslenebilecek basınca sahip yanma gazı elde edilir. Proses buharı ve buhar türbinlerinden, elektrik eldesine ek olarak, gaz türbininden de elektrik elde ediliyor olması basınçlı sistemleri atmosferik 26 çalışan akışkan yataklara göre daha verimli kılar. Ancak basınçlı sistemlerde sıcak gazın temizlenmesi çok önemli bir noktadır ki, eğer kazanı terk eden sıcak gaz, siklonlar ve filtreler aracılığıyla parçacıklardan iyice arındırılmazsa ve korozyona yol açan gazlar bulunduruyorsa, gaz türbininin kanatlarının zarar görmesi kaçınılmazdır. Bu sebeple, sıcak gazların temizlenmesi üzerine yapılan araştırmalar, verimi yüksek bu tesisleri sorunsuzca uygulanabilir kılmak adına büyük önem teşkil etmektedir. Basınç altında reaksiyonların gerçekleşiyor olması yanmaya olumlu etki ederken kükürt tutma verimini de artırır. Hem kabarcıklı hem de dolaşımli sistemler basınçlı olarak tasarlanabilse de daha yaygın olan kabarcıklı akışkan yatakların 100 MWe kapasiteli basınçlı uygulamaları mevcuttur. Basınçlı dolaşımli akışkan yataklar ise geliştirme amacıyla kurulmuş 130 MWe gücünü bulan üniteler üzerinde yapılan çalışmalarla uygulamaya geçirilmeye çalışılmaktadır (Abacıoğlu, 2012).

4.1.2.Sistem sınırları

Sistem elektrik üretim süreci ve buna bağlı çevresel etkilerin belirlenmesiyle sonlanır. Beşikten mezara yaklaşımı yöntemi uygulanmıştır. Sistem sınırları elektrik üretimi için girdi olarak kömür, hava ve su tüketimini içerir. Elektrik üretiminin çıktıları olarak katı atıklar, suya emisyonlar ve havaya emisyonlar yer alır.



Şekil 4.4. Sistem sınırı

4.2.Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

Karşılaştırmada ele alınan pulverize subkritik kazan teknolojisi, pulverize süperkritik kazan teknolojisi, pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi ve akışkan yatak teknolojisine ait veriler sırasıyla Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da verilmiştir. Tabloların ham verileri ise EK’te sunulmuştur.

Tablo 4.3. Pulverize subkritik kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh)

Girdiler	Miktar
Kömür tüketimi (kg) (linyit)	1,07 ^a
Soğutma suyu tüketimi (m ³)	0,00082 ^b
Proses suyu tüketimi (m ³)	0,0014 ^b
Çıktılar	Miktar
Atıksu oluşumu (m ³)	0,00064 ^c
Atıksudaki kirletici parametreler ^m (mg)	
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	19,32 ^c
Askıda katı madde (AKM)	64,40 ^c
Yağ ve gres	6,44 ^c
Toplam siyanür	0,32 ^c
Atmosferik emisyonlar	
SO ₂ (g)	3,61 ^d
NO _x (g)	3,3 ^e
PM10 (g)	0,33 ^f
CO (g)	0,095 ^g
CO ₂ (kg)	1,05 ^h
HCl (mg)	7,1 ^k
HF (mg)	3,07 ^j
Uçucu kül (kg)	0,28 ^l
Cüruf (kg)	0,061 ^l

Kaynak: ^a http-5, http-6, http-7, Cui vd., 2012 ve Günkaya vd., 2016 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^b http-5 değeri kullanılmıştır;

^c http-8 değeri kullanılmıştır;

^d http-9, Ersoy, Ö. 2014, http-10, Dölek, E. 2007, http-8, Cui vd., 2012, Koornef vd.,2008 ve Mengshu vd., 2022 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^e http-9, Ersoy, Ö. 2014, http-10, Dölek, E. 2007, http-8, Cui vd., 2012, Günkaya vd., 2016, Koornef vd.,2008 ve Mengshu vd., 2022 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^f http-9 ve Dölek, E. 2007 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^g http-9, Ö. 2014 ve http-10 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^h Cui vd., 2012, Günkaya vd., 2016, Koornef vd.,2008 ve Mengshu., vd, 2022 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

ⁱ Ersoy, Ö. 2014 ve http-5 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^j http-5, http-6, http-13 ve Cui vd., 2012 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^k http-5, http-6 ve http-7 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^m Termik santraller için atıksu deşarj limitleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, KOİ 30 mg/L, SSM 100 mg/L, Yağ ve Gres 10 mg/L, Toplam Siyanür 0,5 mg/L, sıcaklıkta 35 °C (http-11, 2022).

Tablo 4.4. Pulverize süperkritik kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh)

Girdiler	Miktar
Kömür tüketimi (kg) (linyit)	0,38 ^a
Soğutma suyu tüketimi (m ³)	0,00166 ^b
Proses suyu tüketimi (m ³)	0,00166 ^c
Çıktılar	Miktar
Atıksu oluşumu (m ³)	0,00012 ^d
Atıksudaki kirletici parametreler ^m (mg)	
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	3,87 ^d
Askıda katı madde (AKM)	12,9 ^d
Yağ ve gres	1,29 ^d
Toplam siyanür	0,064 ^d
Atmosferik emisyonlar	
SO ₂ (g)	0,44 ^e
NO _x (g)	0,56 ^f
PM10 (g)	0,18 ^g
CO (g)	0,053 ^f
CO ₂ (kg)	0,70 ^h
HCl (mg)	0,56 ⁱ
HF (mg)	0,21 ^j
Uçucu kül (kg)	0,07 ^k
Cüruf (kg)	0,00001 ^l

Kaynak: ^a Rasheed vd., 2021, Cui vd., 2012 ve Tang ve You 2018 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^b Rasheed vd., 2021 değeri kullanılmıştır; (Toplam tüketilen su miktarının yarısı soğutma suyu olarak kullanılmıştır.)

^c Rasheed vd., 2021 değeri kullanılmıştır; (Toplam tüketilen su miktarının yarısı proses suyu olarak kullanılmıştır.)

^d Cui vd., 2012 ve Tang ve You 2018 değeri kullanılmıştır; (Tang ve You 2018de su tüketimi değeri atıksu miktarı olarak alınmıştır.)

^e Rasheed vd., 2021, Cui vd., 2012 ve Tang ve You 2018 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^f Rasheed vd., 2021 ve Tang ve You 2018 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^g Cui vd., 2012 ve Tang ve You 2018 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^h Rasheed vd., 2021, Cui vd., 2012 ve Tang ve You 2018 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

ⁱ Veri eksikliğinden dolayı süper kritik ve ultra süper kritik teknolojilerdeki HF verilerinden bir yaklaşımda bulunarak hesaplama yapılmıştır.

^j Tang ve You 2018 değeri kullanılmıştır;

^k Rasheed vd., 2021 değeri kullanılmıştır;

^l Rasheed vd., 2021 değeri kullanılmıştır.

^m Termik santraller için atıksu deşarj limitleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, KOİ 30 mg/L, SSM 100 mg/L, Yağ ve Gres 10 mg/L, Toplam Siyanür 0,5 mg/L, sıcaklıkta 35 °C (http-11, 2023).

Tablo 4.5. Pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh)

Girdiler	Miktar
Kömür tüketimi (kg) (linyit)	0,29 ^a
Soğutma suyu tüketimi (m ³)	0,235 ^b
Proses suyu tüketimi (m ³)	0,0062 ^b
Çıktılar	Miktar
Atıksu oluşumu (m ³)	0,0000257 ^c
Atıksudaki kirlenici parametreler ^m (mg)	
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	0,771 ^c
Askıda katı madde (AKM)	2,57 ^c
Yağ ve gres	0,257 ^c
Toplam siyanür	0,01285 ^c
Atmosferik emisyonlar	
SO ₂ (g)	0,5 ^d
NO _x (g)	1,8 ^d
PM10 (g)	0,0531 ^e
CO (g)	0,53 ^f
CO ₂ (kg)	0,61 ^d
HCl (mg)	7,68 ^g
HF (mg)	2,9 ^h
Uçucu kül (kg)	0,040 ^c
Cüruf (kg)	0,0089 ^c

Kaynak: ^a Cui vd., 2012., http-14 ve Koomnef vd.,2008 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^b http-12 değeri kullanılmıştır;

^c Cui vd., 2012 değeri kullanılmıştır;

^d SO₂, ve NO_x, emisyonu; Cui., vd., 2012 ve Koornnef vd.,2008 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^e http-12 değeri kullanılmıştır;

^f Cui., vd., 2012 değeri kullanılmıştır;

^g Koornnef vd.,2008 değeri kullanılmıştır.

^h http-12 ve Koornnef vd.,2008 değerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

ⁱ http-12 değeri kullanılmıştır.

^m Termik santraller için atıksu deşarj limitleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ,KOİ 30 mg/L, SSM 100 mg/L, Yağ ve Gres 10 mg/L, Toplam Siyanür 0,5 mg/L, sıcaklıkta 35 °C (http-11, 2023).

Tablo 4.6. Akışkan yatak kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh)

Girdiler	Miktar
Kömür tüketimi (kg) (liniyit)	1,05 ^a
Soğutma suyu tüketimi (m ³)	0,0020 ^b
Proses suyu tüketimi (m ³)	0,00065 ^b
Çıktılar	Miktar
Atıksu oluşumu (m ³)	0,00046 ^b
Atıksudaki kirlenici parametreler ^m (mg)	
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	13,83 ^b
Askıda katı madde (AKM)	46,10 ^b
Yağ ve gres	4,6 ^b
Toplam siyanür	0,23 ^b
Atmosferik emisyonlar	
SO ₂ (g)	5,1 ^c
NO _x (g)	3,9 ^c
PM10 (g)	0,59 ^d
CO (g)	1,6 ^c

CO ₂ (kg)	1,25 ^e
HCl (mg)	470 ^f
HF (mg)	70 ^g
Uçucu kül (kg)	0,28 ^h
Cüruf (kg)	0,45 ^h

Kaynak: ^a http-13, http-14 ve http-15 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^b http-18 değeri kullanılmıştır;

^c http-14, http-16 ve Mengshu., vd, 2022 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^d http-12 değeri kullanılmıştır;

^e Mengshu., vd, 2022 ve Whitaker ., vd 2012 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^f http-14, http-16 ve http-17 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

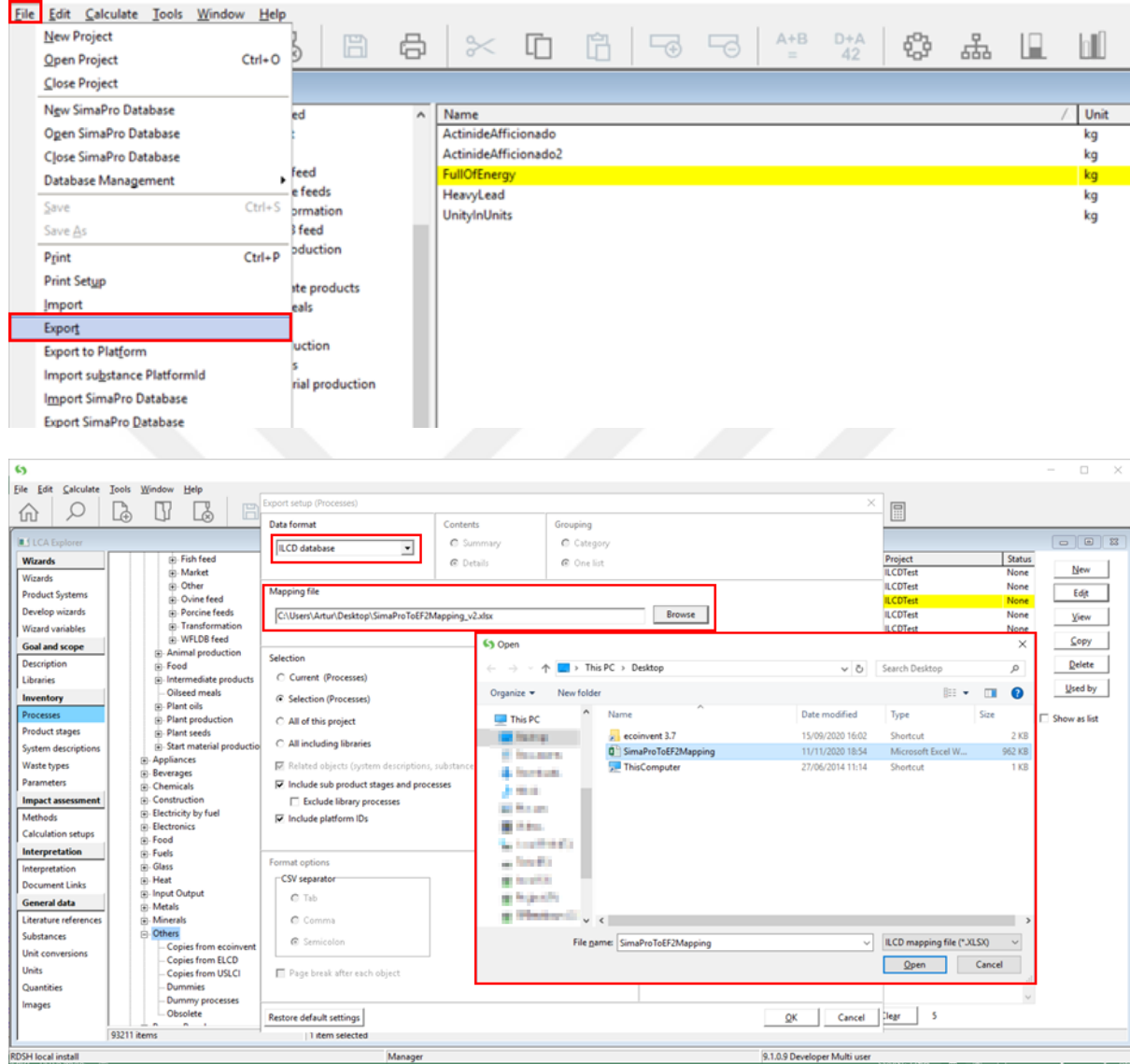
^g http-14 ve http-18 değerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

^h http-17 ve http-18 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

^m Termik santraller için atıksu deşarj limitleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ,KOİ 30 mg/L, SSM 100 mg/L, Yağ ve Gres 10 mg/L, Toplam Siyanür 0,5 mg/L, sıcaklıkta 35 °C (http-11, 2023).

4.3.Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

LCA hesaplamaları, lisanslı SimaPro 9.1 yazılımı kullanılarak karakterizasyon aşaması için ReCiPe 2016 Midpoint (H) metodu kullanılmış ve sonuçlar Tablo 4.7’de verilmiştir.



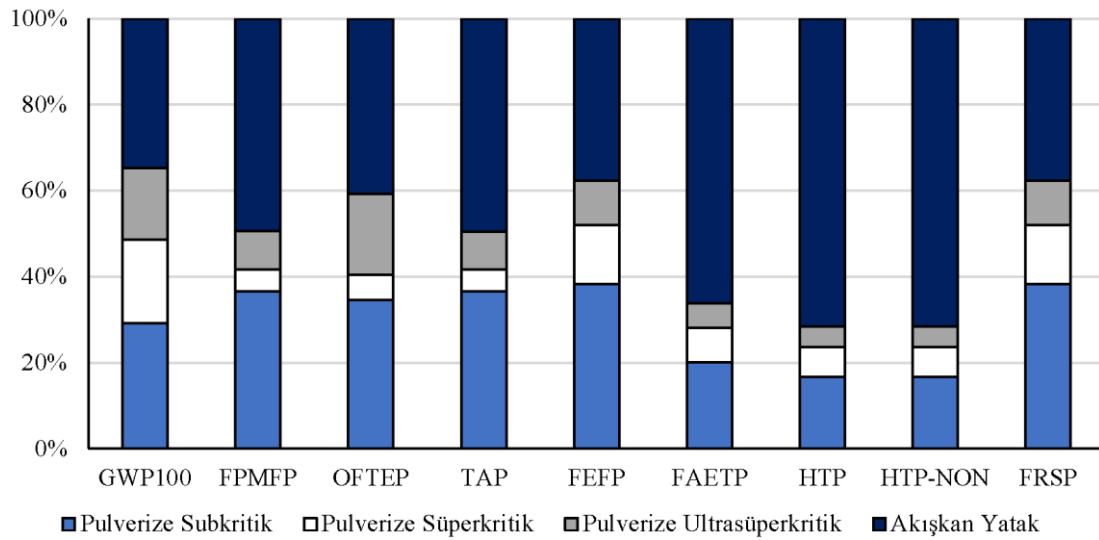
Şekil 4.5. SimaPro 9.1 Yazılımı

Bu tabloda yöntemde bulunan tüm etki kategorileri gösterilmektedir. Şekil 4.5’de ise kazan teknolojileri seçili etki kategorileri bazında yüzdesel olarak karşılaştırılmıştır. Bu grafiğe bakıldığında fosil kaynak tüketim potansiyeli (%66) dışında tüm etki kategorileri açısından akışkan yatak teknolojisinin pulverize sistemlere göre çevresel etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür. Pulverize sistemlerde ise çevresel etkinin subkritik sistemlerde daha fazla olduğu, süper kritik sistemlerin partikül madde oluşum potansiyeli, ozon oluşumu karasal ekosistem potansiyeli ve karasal asidifikasyon potansiyeli hariç tüm kategorilerde ultra süperkritik sistemlerden daha fazla etki gösterdiği görülmüştür.

Tablo 4.7. Tüm kazan teknolojilerine ait karakterizasyon sonuçları

Etki Kategorileri	Birim	Pulverize Subkritik	Pulverize Süperkritik	Pulverize Ultra süperkritik	Akışkan Yatak
Küresel Isınma	kg CO ₂ ed.	1,07	0,71	0,61	1,27
Stratosferik Ozon İncelmesi	kgCFC-11 ed.	4,96E-09	1,77E-09	1,36E-09	4,87E-09
İyonlaştırıcı Radyasyon	kBq Co-60 ed.	5,52E-04	1,96E-04	1,51E-04	5,41E-04
Ozon Oluşumu, İnsan Sağlığı	kg NO _x ed.	3,34E-03	5,73E-04	1,81E-03	3,93E-03
Partikül Madde Oluşumu	kg PM 2,5 ed.	1,43E-03	1,96E-04	3,48E-04	1,93E-03
Ozon Oluşumu, Karasal Ekosistem	kg NO _x ed.	3,34E-03	5,73E-04	1,81E-03	3,94E-03
Karasal Asidifikasyon	kg SO ₂ ed.	4,84E-03	6,59E-04	1,16E-03	6,55E-03
Tatlı Su Ötrofikasyonu	kg P ed.	2,59E-04	9,21E-05	7,03E-05	2,55E-04
Karasal Ekotoksitesitesi	kg 1,4-DCB	7,61E-03	2,71E-03	2,08E-03	7,47E-03
Tatlı Su Ekotoksitesitesi	kg 1,4-DCB	3,22E-04	1,27E-04	9,11E-05	1,06E-03
Tuzlu Su Ötrofikasyonu	kg N ed.	1,90E-06	6,76E-07	5,16E-07	1,87E-06
Tuzlu Su Ekotoksitesitesi	kg 1,4-DCB	4,58E-04	1,81E-04	1,30E-04	1,51E-03
İnsanlar Üzerine Olan Toksikite(Kanserojen)	kg 1,4-DCB	8,41E-03	3,45E-03	2,42E-03	3,59E-02

İnsanlar Üzerine Olan Toksikite (Kanserojen Olmayan)	kg 1,4-DCB	0,2306	0,0946	0,0663	0,9878
Arazi Kullanımı	m ² crop ed.	8,98E-04	3,19E-04	2,43E-04	8,81E-04
Maden Kaynak	kg Cu ed.	4,49E-06	1,60E-06	1,22E-06	4,40E-06
Fosil Kaynak Tüketimi	kg oil ed.	0,2387	0,0848	0,06472	0,2343
Su Tüketimi	m ³	0,08411	0,0308	0,02903	0,08293

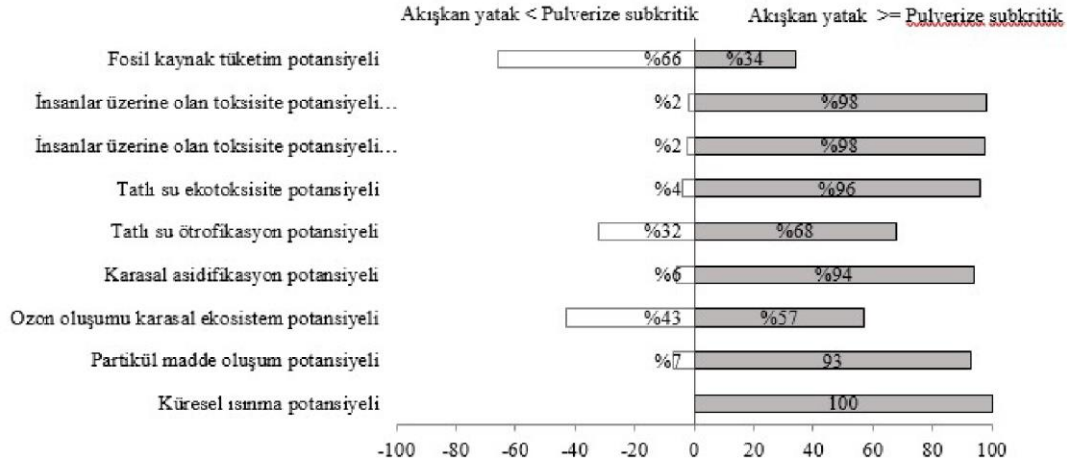


Şekil 4.6. Kazan teknolojilerinin etki kategorileri bazında karşılaştırılması

(GWP100; Küresel Isınma Potansiyeli, FPMFP; Partikül Madde Potansiyeli, OFTEP; Ozon Oluşumu, Karasal Ekosistem Potansiyeli, TAP; Karasal Asidifikasyon Potansiyeli, FEFP; Tatlı Su Ötrofikasyonu Potansiyeli, FAETP; Tatlı Su Ekotoksikite Potansiyeli, HTP; İnsanlar Üzerine Olan Toksikite Potansiyeli (Kanserojen), HTP-NON; İnsanlar Üzerine Olan Toksikite Potansiyeli (Kanserojen Olmayan), FRSP; Fosil Kaynak Tüketimi Potansiyeli)

Pulverize subkritik ve akışkan yatak kazan teknolojileri arasındaki LCA karşılaştırmalarındaki belirsizlikleri tahmin etmek için Monte Carlo simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Monte Carlo simülasyon analizi (SimaPro 9.1 yazılımında bulunan Monte Carlo fonksiyonu ile), %95 güven aralığında $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde 1000 sabit çalıştırma gerçekleştirilmiştir. Monte Carlo analizi sonuçları Şekil 4.7’de verilmiş olup grafik değerleri sol tarafta akışkan yatak teknolojisinin karakterizasyon sonuçlarının pulverize subkritik kazan

teknolojisinin sonuçlarından düşük olma, sağ tarafta ise yüksek olma olasılık değerlerini göstermektedir. Bu grafiğe göre; akışkan yatak kazan teknolojisi fosil kaynak tüketim potansiyeli, ozon oluşumu karasal ekosistem potansiyeli ve tatlı su ötrofikasyonu potansiyeli dışında tüm göstergelerde yüksek oranda (%93'ün üzerinde) pulverize subkritik kazan teknolojisinden daha yüksek çevresel etki göstermektedir.



Şekil 4.7. Monte Carlo analizi (akışkan yatak - pulverize subkritik kazan teknolojileri)

GWP100 (Küresel Isınma Potansiyeli) etkisi termik santrallerde kömürün yanmasıyla havaya salınan CO₂ emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Yapılan analizlerde küresel ısınmaya en fazla neden olan faktörün tüm kazan teknolojilerinde CO₂ emisyonları (%98-%99) olduğu saptanmıştır. Küresel ısınmaya en fazla etki eden kazan teknolojileri akışkan yatak ve pulverize subkritik kazan teknolojileri olmuştur. Süperkritik ve ultra süperkritik kazan teknolojileri ise diğer teknolojilere göre daha az etki etmiş olup bu durum süperkritik ve ultra süperkritik kazan teknolojilerinde kömür tüketiminin daha az olmasına bağlıdır.

FPMFP (Partikül Madde Potansiyeli) etkisi termik santrallerde kömürün yanmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan analizlerde partikül madde oluşum potansiyeline tüm kazan teknolojilerinde en fazla SO₂ ve NO neden olmuştur. Pulverize subkritik kazan teknolojisi için bu değer %73,8 SO₂ ve %25,5 ile NO olmuştur. Pulverize süperkritik kazan teknolojisi için %66,8 SO₂ ve %32,14 NO olmuştur. Pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi için %65 SO₂ ve %34,2 NO olmuştur. Akışkan yatak kazan teknolojisi için ise %77 SO₂ ve %22,36 NO olmuştur. Pulverize subkritik ve akışkan yatak kazan teknolojisi için SO₂ ve NO giderim sistemlerinin veriminin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

OFTEP (Ozon Oluşumu, Karasal Ekosistem Potansiyeli) etkisi kömürün yanmasından ve kömürün en fazla tüketildiği kazan teknolojisine bağlı olarak açıklanmaktadır. Yapılan

analizlerde ozon oluşumu, karasal ekosistem etki potansiyeline tüm kazan teknolojilerinde ağırlıklı olarak NO_x emisyonları neden olmuştur. NO_x emisyonlarının bu etkideki payının sırasıyla pulverize subkritik için %99,4 pulverize süperkritik için %98,8, pulverize ultra süperkritik için %99,7 ve akışkan yatak için %99,5 olduğu belirlenmiştir.

TAP (Karasal Asidifikasyon Potansiyeli) etkisi kömürün yanmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan analizlerde karasal asidifikasyona neden olan faktörler SO₂ ve NO_x olmuştur. Bu emisyonların yüzde değerleri pulverize subkritik için %75 SO₂ ve %24,6 NO_x, pulverize süperkritik için %68 SO₂ ve %30,9 NO_x, pulverize ultra süperkritik için %66,7 SO₂ ve %33, NO_x ve akışkan yatak için %78 SO₂ ve %21,5 NO_x olarak hesaplanmıştır.

FEFP (Tatlı Su Ötrofikasyonu Potansiyeli) etkisi kömür külünün bertarafından ve kömür madenciliği atıklarından kaynaklanmaktadır. Yapılan analizlerde tüm kazan teknolojilerinde tatlı su ötrofikasyonuna en fazla neden olan faktör fosfat olmuştur (%100).

FAETP (Tatlı Su Ekotoksosite Potansiyeli) etkisine külün depolanması sebep olmaktadır. Yapılan analizlerde pulverize subkritik kazan teknolojisi için tatlı su ekotoksitesine en fazla neden olan faktörler %34,6 arsenik, %27,12 krom VI, %20,75 çinko ve %5,73 oranında nikel olmuştur. Pulverize süperkritik kazan teknolojisinde bu etkiye en fazla neden olan faktörler; arsenik (%36,16), krom VI (%28,2) ve çinko (%18,71) oranında olmuştur. Pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisinde en fazla neden olan faktörleri %78,22 oranında krom VI ve %35,2 oranında arsenik oluşturmuştur. Akışkan yatak kazan teknolojisinde ise %45 arsenik, %35,15 krom VI ve %6,21 oranında çinko en fazla neden olan faktörler olmuştur. Bu emisyonlar, esas olarak termik santrallerde kömür külü (linyit) bertarafından ve kömür madenciliği atıklarından kaynaklanmaktadır.

HTP (İnsanlar Üzerine Olan Toksikite Potansiyeli (Kanserojen)) etkisi termik santrallerde kömür külü (linyit) bertarafı ve kömür madenciliğinden çıkan atıklar sorumludur. Bu etkiye külün depolanması sebep olmaktadır. Yapılan analizlerde tüm kazan teknolojisinde kanserojen etkisine en fazla neden olan faktör %89 ile krom VI ve %11 ile arsenik olmuştur. Baca gazı SO₂, NO_x, CO ve PM (duman ve toz vb.) salımı nedeniyle sağlık tehlikesi kategorisinde kömüre dayalı enerji üretiminin etkileri analiz edilmiştir. Sağlık tehlikeleri sırasıyla; PM > NO_x, > SO₂, > CO (Rasheed vd., 2021).

HTP-NON (İnsanlar Üzerine Olan Toksikite Potansiyeli (Kanserojen Olmayan)) etkisine külün depolanması sebep olmaktadır. Yapılan analizlerde pulverize subkritik kazan teknolojisi için kanserojen etkiye en fazla neden olan faktör %98,5 ile arsenik olmuştur.

Sırasıyla; pulverize süperkritik %98,6, pulverize ultra süperkritik %98,6 ve akışkan yatak kazan teknolojisi için %98,9 olmuştur.

FRSP (Fosil Kaynak Tüketimi Potansiyeli) etkisine tüketilen linyit sebep olmaktadır. Yapılan analizlerde tüm kazan teknolojilerinde fosil kaynak tüketimine etkisi en fazla neden olan faktör %98 ile kömür tüketimi olmuştur. Sırasıyla; pulverize süperkritik %98,9, pulverize ultra süperkritik %98,9 ve akışkan yatak kazan teknolojisi için %98,9 olmuştur. Santralin veriminin yüksek olması kömür tüketim miktarını azaltır.



5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu LCA çalışmasının amacını kömürle çalışan termik santrallerde kullanılan mevcut pulverize toz kömürlü subkritik kazan teknolojisi ve buna alternatif olarak, pulverize süperkritik kazan, pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi ve akışkan yatak teknolojisinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması oluşturmuştur. Tezde elde edilen sonuçlara göre; termik santrallerde yüksek verim, çevresel etkinin azalmasını sağlamaktadır. Pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisinin verimlilik seviyesi en yüksek olan kazan teknolojisidir. Bu açıdan, çevresel etkinin en az olduğu kazan teknolojisi pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisidir. Bu kazan teknolojisini, pulverize süperkritik kazan teknolojisi takip etmiştir. Ülkemizde ultra süperkritik kazan teknolojisine ait bir adet termik santral bulunmakta olup yeni termik santral projelerinde ultra süperkritik kazan teknolojisinin uygulanması çevresel açıdan anlamlı olacaktır.

Pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi, enerji üretimi için kullanılan bir tür kazan teknolojisidir ve çevre politikalarına uygunluğu çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu teknoloji, geleneksel kömür yakma işlemlerine göre daha çevre dostu olabilir, ancak çevre politikalarına uygunluğu belirlemek için bazı faktörler göz önüne alınmalıdır:

Emisyon Azaltımı: Pulverize ultra süperkritik kazanlar, yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışarak daha yüksek termal verimlilik sağlayabilir. Bu, daha az sera gazı emisyonu üretilmesine yardımcı olabilir. Bu nedenle, sera gazı azaltımı hedefleri olan çevre politikalarına uygun bir seçenek olabilir.

Partikül Madde Kontrolü: Kömür yakma işlemleri, hava kirliliğine neden olan partikül madde emisyonlarına yol açabilir. Pulverize ultra süperkritik kazanlar, partikül madde emisyonlarını azaltmada daha etkili olabilir ve bu nedenle hava kalitesi ile ilgili çevre politikalarını destekleyebilir.

Kükürt Emisyonları Kontrolü: Kömür yakma işlemleri ayrıca kükürt dioksit (SO₂) emisyonlarına da yol açabilir. Pulverize ultra süperkritik kazanlar, kükürt emisyonlarını azaltmak için kükürt yakalama teknolojileriyle birleştirilebilir ve bu da hava kalitesi ve asit yağmurları ile ilgili çevre politikalarını destekler. Çevre ve emisyon, çevresel bilimler ve sürdürülebilirlikle ilgili önemli konuları kapsayan terimlerdir. İşte her iki terimin de anlamları: Çevre, bir organizma, toplum veya sistemin fiziksel, kimyasal ve biyolojik koşullarını oluşturan ve etkileyen tüm dış etkenleri ifade eder. Bu etkenler atmosfer, su kaynakları, toprak, bitki örtüsü, canlı organizmalar ve insan faaliyetlerini içerebilir. Çevre, doğal yaşamın

sürdürülebilirliği, insan sağlığı ve refahı açısından hayati bir öneme sahiptir. Emisyon, genellikle çevreye veya atmosfere atılan gaz, partikül veya kimyasal maddeleri ifade eder. Bu maddeler genellikle endüstriyel işlemler, taşıt trafiği, enerji üretimi ve diğer insan faaliyetleri sonucunda atmosfere salınır. Emisyonlar, hava kalitesini, iklim değişikliğini ve ekosistemleri olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle emisyonların kontrol altında tutulması ve azaltılması, çevre koruma çabalarının önemli bir bileşenidir. Çevre ve emisyon kavramları, sürdürülebilirlik, çevresel koruma ve iklim değişikliği gibi önemli meselelerle ilgilidir. Çevresel sorunların ele alınması ve emisyonların azaltılması, dünya genelinde çevresel sürdürülebilirliği ve insan sağlığını korumak için büyük bir öneme sahiptir. Bu konularda yapılan araştırmalar ve politika geliştirmeleri, çevre ve emisyonların yönetilmesine yardımcı olur.

Yakıt Çeşitliliği: Bu teknoloji, farklı yakıt kaynaklarını kullanabilme esnekliği sağlayabilir. Bu, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin desteklenmesi amacıyla geliştirilen çevre politikalarıyla uyumlu olabilir.

Ancak, bu teknolojinin çevre politikalarına uygunluğu yerel, bölgesel ve ulusal düzeyde değişebilir. Ayrıca, teknolojinin uygulama koşulları ve operasyon parametreleri, çevre etkilerini belirleyebilir. Bu nedenle, bu tür bir teknolojiyi uygularken ve çevre politikalarıyla uyum sağlamak için uygun önlemleri almak için yerel düzenlemelere ve çevre otoritelerinin yönergelerine dikkat etmek önemlidir.

Bu çalışmada yalnızca termik santrallerden kaynaklanan çevresel etkiler incelenmiş olup teknik ve ekonomik açıdan değerlendirme yapılmamıştır. Termik santral projelerinde uygulanacak olan teknolojilerin seçiminde, çevresel değerlendirmeyle birlikte teknik ve ekonomik kriterlerin de yer aldığı çok ölçütlü karar destek yöntemlerinin kullanılması ile bütünsel bir yaklaşım sağlanabilir.

Bu çalışmanın, gelecekte enerji sürdürülebilirliği için yapılacak olan termik santrallerde çevresel etkilerin belirlenmesi konusunda enerji politikalarının belirlenmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir. Ülkemizde enerji üretiminin yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemiyle çevresel etkilerin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olup bundan sonraki çalışmalara yol gösterici bir kaynak olarak kullanılabilir.

KAYNAKÇA

Abacıoğlu, M. (2012). *Mevcut Bir Termik Santralde Pülverize Kazanın Akışkan Yataklı Kazana Dönüşümünün İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Afete Hazırlık Derneği, (2015). *Dünya'da Meydana Gelen En Büyük 5 Nükleer Kaza*, 31 Mayıs 2015, [<http://www.ahder.org/dunyada-meydana-gelen-en-buyuk-5-nukleer-kaza> Erişim Tarihi: 11.02.2023].

Akın, G. (2006). Küresel Isınma, Nedenleri Ve Sonuçları, *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46/2, 29-43.

Akkaya, Ş. (2015). Küresel İşbirliği Sorunu ve Küresel Karbon Vergisi, *Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi*, 37/1, 1-25.

Akman, Y., Ketenoğlu, O., Kurt, L., Evren, H. ve Düzenli, S. (2000). *Çevre Kirliliği Çevre Biyolojisi*. Palme Yayıncılık. ISBN-ISSN: 9757852737.

Aksay, C. S., Ketenoğlu, O. ve Kurt, L. (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, *Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*. 25, 29-41.

Atılğan, B. and Azapagic, A. (2016). An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey. *Energy Policy*, 93, 168-186.

Avrupa Birliği Türkiye Delegasyonu, (2023). <http://avrupa.info.tr/tr/bilgi-kaynaklari/haber-arsivi/news-single-view/article/pariste-tarihi-iklim-anlasmasi-ab-kueresel-cabalara-oenderlik-ediyor.html> (15.05.2023).

Avrupa Komisyonu, (2007). *2006/35/EC Sayılı Kararın Feshine ve Türkiye ile Katılım Ortaklığının Kapsadığı İlkeler, Öncelikler ve Koşullara Dair Bir Konsey Kararı*, Brüksel. 26.02.2008 COM (2007) 661. http://www.abgs.gov.tr/files/AB_Iliskileri/AdaylikSureci/Kob/Turkiye_Kat_Ort_Belg_2007.pdf (14-05-2023).

Avrupa Komisyonu, (2016). *Komisyon Tarafından Avrupa Parlamentosuna, Konseye, Ekonomik ve Sosyal Komiteye ve Bölgeler Komitesine Sunulan Bildirim*, Brüksel. 09.11.2016. COM (2016) 715 Nihai. http://www.ab.gov.tr/files/pub/2016_ilerleme_raporu_tr.pdf (11.05.2023).

Avrupa Komisyonu (2005). *Komisyon Bildirimi Genişleme Stratejisi Kağıdı*, Brüksel 9 Kasım 2005 COM (2005) 561. http://www.mfa.gov.tr/data/AB/2005_genisleme.pdf (14-05-2023).

Aydın, L. (2014). *Enerji Ekonomisi ve Politikaları Kuram ve Kavramlar-Piyasalar-Modeller-Politikalar*. Seçkin Yayıncılık. ISBN: 978-975-02-2823-0.

Bayraç, N. H. (2005). Uluslararası Petrol Piyasasının Ekonomik Analizi, *Finans-Politik ve Ekonomik Yorumlar*, 499/42, 6-20.

Bayraç, H. N. (2010). Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 229-260.

Bayraç, H. N. (2009). Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğal Gaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 10(1), 115-142.

Bayrak, F. (2014). *Elektrik Üretiminde Kullanılan Linyitin Madencilik Aşamalarına Ait Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bayram, B. (2020). *Süperkritik Bir Santralde Enerji ve Ekserji Analizi*, (Yüksek Lisans Tezi), Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Bayram, T. T., Altıkat, A. ve Torun, F. E. (2011). Avrupa Birliği ve Türkiye’de Çevre Politikaları, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 33-38.

Bilginoğlu, M. A. (1991). Gelişmekte olan Ülkelerde Enerji Sorunu ve Alternatif Enerji Politikaları, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 9, 122-147.

Bozyiğit, R. ve Karaaslan, T. (1998). *Çevre Bilgisi*. Nobel Yayın Dağıtım. Ankara.

Bölgesel Çevre Merkezi (REC), (2010). *Avrupa Birliği Çevre Mevzuatı Yayınları*. (Çev., Eren Paydaş. Öznur Karakaş. Mine Yıldırım. Zeynel Gül). ISBN: 978-975-6180-35-8. Ankara.

Burchart-Korol, D., Fugiel, A., Czaplicka-Kolarz, K., Turek, M. (2016). Model Of Environmental Life Cycle Assessment For Coal Mining Operations. *Science of The Total Environment*, 562, 61-72.

Candan, A. (2003). *15 soruda 15 AB Politikası: Avrupa Birliği'nin Çevre Politikası*. Cilt: 6. İktisadi Kalkınma Vakfı. İstanbul.

Coervo, J. and Gandhi, P. (1998). *Carbon Taxes: Their Macroeconomic Effects and Prospects for Global Adoption – A Survey of the Literature*. I.M.F. Working Paper. ISBN: 01105-9781452721002. International Monetary Fund.

Corporate and Public Strategy Advisory Group, (2012). *Çevre Hakkında AB Müktesebat Rehberi*. İstanbul-Brüksel. 2012. <https://www.mess.org.tr/content/MESS%20-%C3%87evre-Ocak-2012.pdf> (08.05.2023).

Cui, X., Hong, J. and Gao, M. (2012). Environmental Impact Assessment Of Three Coal-Based Electricity Generation Scenarios In China. *Energy*, 45(1), 952-959.

Çetinkaya, E., Rosen, M.A. and Dinçer, İ. (2012). Life cycle assessment of a fluidized bed system for steam production. *Energy Conversion and Management*, 63, 225-232.

Çiftlikli, M. (1992). Çevre Kirliliğinin Ekonomik Boyutları, *Çevre ve Ekoloji Dergisi*, 3.

Çokadar, H., Türkoğlu, A. ve Gezer, K. (2006). *Çevre Sorunları*, Çevre Bilimi. (Ed., Mustafa Aydoğdu ve Kudret Gezer). Anı Yayıncılık. ISBN: 975-6376-81-3. Ankara.

Çokgezen, J. (2007). Avrupa Birliği Çevre Politikası ve Türkiye, *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 23(2), 91-115.

Çörtoğlu, F. S. (2016). *Avrupa Birliği'nde Çevre Politikasının Bütünleşmesi ve Türkiye'de Doğa Koruma Açısından Önemi*, Ankara Üniversitesi Avrupa Toplulukları Araştırma ve Uygulama Merkezi. Araştırma Dizisi No: 40. Ankara Üniversitesi Yayınları No: 546. Ankara.

Dağdelen, D. (2015). *Küresel Biyoyakıt Politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi*, (AB Uzmanlık Tezi), T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü. Ankara.

Değirmenci, F. (2009). *Avrupa Birliği Enerji Politikalarındaki Gelişmeler ve Türkiye Açılımları*, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. Türkiye 11. Enerji Kongresi. İzmir. 21-23 Ekim 2009. http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_11/120.pdf (10-05-2023).

Değirmendereli, A. (2000). Çeşitli Ülkelerde Uygulanan Ekolojik Vergiler, *Mevzuat Dergisi*, 34(3).

Demir, A. (2009). Küresel İklim Değişikliğinin Biyolojik Çeşitlilik ve Ekosistem Kaynakları Üzerine Etkisi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2). 37-54.

Demir, F. (2019). *Doğal Gazın Kimyasal Özellikleri ve Kullanım Alanları*, 25 Mayıs 2019, [<https://www.thesisat.org/dogal-gazin-kimyasal-ozelikleri-ve-kullanim-alanlari.html>, Erişim Tarihi: 06. 05.2023].

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2023). *Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı İklim Değişikliği Birimi. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü ve Türkiye.* http://www.dsi.gov.tr/docs/iklim-degisikligi/iklim_degisikligi_cerceve_sozlesmesi_ve_turkiye.pdf?sfvrsn=2 (03.05.2023).

Dikmen, A. Ç. (2005). *AB' de Enerji ve Çevre, Küreselleşmenin Enerji Sektöründe Yapısal Değişim Programı ve Enerji Politikaları*, TMMOB. Türkiye V. Enerji Sempozyumu. Ankara.

Doğan, S. (2005). Türkiye'nin Küresel İklim Değişikliğinde Rolü ve Önleyici Küresel Çabaya Katılım Girişimleri, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 6(2), 57-73.

Dölek, E. (2007). *Comparison Of Iscst3 And Aermoc Air Dispersion Models: Case Study Of Cayirhan Thermal Power Plant*, (Yüksek Lisans Tezi), Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara.

Dunmade, I., Madushele, N., Adedeji, P. A. and Akinlabi, E. S. (2019). A Streamlined Life Cycle Assessment Of A Coal-Fired Power Plant: The South African Case Study. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 18484–18492.

Duru, B. (2023). *Avrupa Birliği Çevre Politikası.* <http://kentcevre.politics.ankara.edu.tr/duruabcevre.pdf> (03.05.2023).

Dündar, Y. ve Fişne, M. (2002). Avrupa Birliği'nde Çevresel Ekonomik Uygulamalar, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 4(2), 119-136.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2009). *Enerji Raporu 2009*, Yayın No: DEK-TMK: 0013/2009. ISSN: 1301-6318. Ankara.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (DEK-TMK), (2009). *Güneş Enerjisi ve Dünyada Güneş Enerjisinin Durumu,* Haziran 2009, [<http://www.dektmk.org.tr/upresimler/GUNES.pdf>, Erişim Tarihi: 20. 05.2023].

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2019). *Yenilenebilir Enerjiler 2019 Küresel Durum Raporu.* 08.07.2020. <https://www.dunyaenerji.org.tr/yenilenebilir-enerjiler-2019-kuresel-durum-raporu/> (14.05.2023).

- Dzikuc, M. and Piwowar, A.** (2016). Ecological and economic aspects of electric energy production using the biomassco-firingmethod:Thecase of Poland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 816-862.
- Ediger, V.** (2008). Küresel İklim Değişikliğinin Uluslararası İlişkiler Boyutu ve Türkiye'nin Politikaları, *Mülkiye Dergisi*, 32(259), 133-158.
- Erbaş, O. ve Rahim, M. A.** (2009). Düşük Kaliteli Linyitlerin Ultra Süper Kritik Kazanlarda Yakıt Olarak Kullanılması, *Fen Bilimleri Dergisi*, 18, 1302-3055.
- Erdal, L.** (2011). *Enerji Arz Güvenliğinin Etkileyen Faktörler ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Alternatifi*, (Doktora Tezi), Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Aydın.
- Erdoğan, İ. ve Ejder, N.** (1997). *Çevre Sorunları Nedenler ve Çözümler – Egemen ve Marksist Anlayışın İlettikleri Üzerine*, Doruk Yayıncılık. ISBN: 975-553-192-0. Ankara.
- Ersoy, Ö.** (2014). *Yatağan Termik Santrali Etki Alanında Hava Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erten, S.** (2006). *Enerji Tasarrufu Davranışında Ortaya Çıkabilecek Psikolojik ve Sosyolojik Engeller*, 25. Enerji Verimliliği Konferansı. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Yayını. Hacettepe Üniversitesi. Ankara.
- Ertürk, H.** (1998). *Çevre Bilimlerine Giriş*. Ceylan Matbaacılık. Yayın No: 3. ISBN: 975-564-028-2. Bursa.
- Felix, M. and Gheewala, S. H.** (2012). Environmental Assessment Of Electricity Production İn Tanzania. *Energy For Sustainable Development*, 16, 439-447.
- Flannery, T.** (2007). *İklimin Efendileri İklim Değişikliğinin Tarihçesi ve Yakın Geleceğimize Etkileri*. (Çev., Demet Taşkan). Klan Yayınları. ISBN: 978-975-6388-73-0. İstanbul.
- Görmez, K.** (2007). *Çevre Sorunları*. Nobel Yayın Dağıtım. Yayın No: 1138. Ankara.
- Günalp, B.** (2017). Dünyada ve Ülkemizde Nükleer ve Radyolojik Kazaların Tarihçesi, *Nuclear Medicine Seminars*, 17, 18-188.
- Güney, E.** (2004). *Çevre Sorunları Coğrafyası*. Gündüz Eğitim ve Yayıncılık. Ümit Ofset Matbaacılık. ISBN: 975-6859-59-8. Ankara.
- Güney, E.** (2004). *Çevre Sorunları*. Nobel Yayın Dağıtım. Yayın No: 635. Ankara.

Güney, E. (2003). *Çevre ve İnsan Toplum Doğa İlişkileri*. Çantay Kitabevi. ISBN: 975-7206-640-4. İstanbul.

Günkaya, Z., Özdemir, A., Özkan, A., Banar, M. (2016). Environmental Performance of Electricity Generation Based on Resources: A Life Cycle Assessment Case Study in Turkey. *Sustainability*. 8(11),1097.

Gürpınar, E. (1995). *Çevre Sorunları*. Der Yayınları. Yayın No: 74. ISBN: 975- 353-019-6. İstanbul.

Hinrichs Rahlwes, R. (2013). Renewable Energy: Paving the Way Towards Sustainable Energy Security. Lessons Learnt from Germany, *Renewable Energy*, 49, 10-14.

http-1, (2023). <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity> Erişim Tarihi:06.05.2023.

http-2, (2023). <https://www.euas.gov.tr/yillik-raporlar> Erişim Tarihi: 06.05.2023.

http-3, (2023). <https://tr.strephonsays.com/subcritical-and-vs-supercritical-boiler-14374> Erişim Tarihi: 06.05.2023.

http-4, (2023). https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/Sayfa159%20%C3%B6ncesi_0.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.

https-5, (2023). https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kutahya_-cdr2020-20220105124313.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.

http-6, (2023). https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/mugla_-cdr2020-20220201160023.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.

http-7, (2023). https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/canakkale_-cdr2020-20211110114745.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.

http-8, (2023). <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/3972> Erişim Tarihi: 06.05.2023.

http-9, (2023). https://webdosya.csb.gov.tr/db/kutahya/menu/temiz-hava-eylem-plani-2020-2024_20210223101957.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.

http-10, (2023). https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/027bdd941585254_ek.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.

http-11, (2023). <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> Erişim Tarihi: 06.05.2023.

- http-12**, (2023). <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/3989#> Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- https-13**, (2023). https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/adana_2020_-cdr-20211206082506.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- http-14** (2023). <https://www.stgm.org.tr/sites/default/files/2020-09/sirnak-silopi-termik-santrali-santrala-yakit-saglayan-asfaltit-sahasi-ve-kirectasi-sahalari-kapasite-artisi-projesi-ced-raporu.pdf> Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- http-15**, (2023). https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/man-sa_2019_cevre_durum_raporu-20201117201719.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- http-16**, (2023). https://www.banktrack.org/download/tufanebeyli_coal_power_project_description/tufanbeyli_ptd_tr.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- http-17**, (2023). <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/8979#> Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- http-18**, (2023). https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/s-rnak_-cdr2020-20220225095334.pdf Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- International Nuclear and Radiological Event Scale - INES**, (2020). *The International Nuclear And Radiological Event Scale*, 10 Şubat 2020, 1-4, [<https://www.iaea.org/sites/default/files/ines.pdf> Erişim Tarihi: 10. 02.2023].
- İktisadi Kalkınma Vakfı**, (2023). *Türkiye-AB Katılım Süreci Mali İş birliği*. http://www.ikv.org.tr/icerik_print.asp?id=42 (07.05.2023).
- İktisadi Kalkınma Vakfı**. (2023). *Avrupa Birliği Temel Politika Alanları Çevre Politikası*. http://www.ikv.org.tr/icerik_print.asp?id=227 (07.05.2023).
- İlhan, A. İ., Öz, N., DüNDAR, C., Kenet, F. ve Balta, T.** (2006). *Asit Yağmurları ve Hava Kirliliği Değerlendirme Raporu*, Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. Ankara. Mayıs 2006. <http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/Asit.y.agmurlariDegerlendirmeRaporu.pdf> (03-05-2023).
- İlkılıç, C. ve Behçet, R.** (2006). Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerindeki Etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, *Fırat Üniversitesi*, 5(1), 66-72.
- İşeri, E. ve Özen, C.** (2012). Türkiye’de Sürdürülebilir Enerji Politikaları Kapsamında Nükleer Enerjinin Konumu, *İ.Ü. Siyasal Bilimler Fakültesi Dergisi*, 47, 161-180.

Jung, H., Ryoo, S. G. and Kang, Y. T. (2022). Life cycle environmental impact assessment of Taean coal power plant with CO₂ capture module. *Journal of Cleaner Production*, 357, Energy Conversion and Management, 63, 131663.

Justus, J. R. and Fletcher, S. R. (2023). *Global Climate Change*. CRS Issue Brief for Congress. Mayıs 2006. <http://fpc.state.gov/documents/organization/67128.pdf> (05-05-2023).

Kabaalioglu, H. (2011). Avrupa Birliği'nde Yenilenebilir Enerji, *MÜSİAD Çerçeve Dergisi*. 56(19). 58-63.

Kabayo, J., Marques, P., Garcia, R. and Freire, F. (2019). Life-Cycle Sustainability Assessment Of Key Electricity Generation Systems In Portugal. *Energy*, 176, 131-142.

Kara, H. (2011). *Eko-Etiket*. Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları. ISBN: 978-975-6180-42-6. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Karaca, A. N. (2023). 3. Bölüm: Hava Kirliliği ve Atmosfer. http://www.agri.ankara.edu.tr/soil_sciences/1250__Karaca_CevreKirliligi_Bolum_3.pdf. (04-05-2023).

Karpuzcu, M. (1996). *Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü*. Özal Matbaası. Kubbealtı Neşriyatı. İstanbul.

Karpuzcu, M. (2002). Çevre Kirlenmesinin Sosyo-Ekonomik Yönü, *Çevre Bilimleri Dergisi*. Hacettepe Üniversitesi Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilimsel ve Teknik Yayın Organı. Sayı: 5. Prof. Dr. Muzaffer M. Evirgen Özel Sayısı. 1-8.

Kaya, İ. S. (2012). Nükleer Enerji Dünyasında Çevre ve İnsan, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1/24, 71-90.

Keleş, R. ve Hamamcı, C. (1997). *Çevre Bilim*. İmge Kitabevi. ISBN: 975-533-024-0. Ankara.

Keleş, R. ve Hamamcı, C. (2005). *Çevre Politikası*. İmge Kitabevi. ISBN: 975-533-439-4. Ankara.

Kıvılcım, İ. (2014). *Ab'de 7'nci Çevre Eylem Programı Başladı*, İktisadi Kalkınma Vakfı. Mart 2014. http://ikv.org.tr/images/upload/data/files/abde_7nci_cevre_eylem_programi_basladi.pdf (30.05.2023).

Kömürcü, A. (2019). *Düşük Kaliteli Linyit Yakıtlı Akışkan Yataklı Termik Santral Tasarımı Ve Optimizasyonu*, (Yüksek Lisans Tezi), Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

- Leggett, J. A.** (2007). *Climate Change: Science and Policy Implications*. CRS Report for Congress. Specialist in Energy and Environmental Policy Resources, Science, and Industry Division. <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL33849.pdf> (06-05-2023).
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü – MTA,** (2020). *Türkiye Yeraltı Kaynakları*, 4 Şubat 2020, [mta.gov.tr/v3.0/muze/yeralti-kaynaklari Erişim Tarihi: 04. 02.2023].
- Malanima, P.** (2014). *The Basic Environmental History: Energy in Histroy*, (Editors: Mauro Agnoletti, Simone Neri Seneri), Germany: Springer, 1-21.
- Milli Eğitim Bakanlığı - MEB,** (2008). *Metalürji Teknolojisi Kömür Hazırlama*, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), Ankara.
- Moud, A. H.** (2012). *Wind Energy Systems Solutions for Power Quality and Stabilization*, Florida: Crcpress Taylor & Francis Group.
- Odeh, N.A. and Cockerill, T. C.** (2008), Life cycleanalysis of UK coalfired power plants. *Energy Conversion and Management*, 49, 212-220.
- Orfanos, N., Mitzelos, D., Sagani, A. and Dedoussis, V.** (2019). Life-Cycle Environmental Performance Assessment Of Electricity Generation And Transmission Systems İn Greece. *Renewable Energy*, 139, 1447-1462.
- Ökmen, M. ve Demir, F.** (2010). Türkiye’de Katılımcı Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Uşak İli Örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 27. 265-276.
- Öktem, A. U.** (2008). Avrupa Birliği İklim Değişikliği Politikasında Yeni Bir Politika Aracı: Emisyon Ticareti. *Akademik İncelemeler*. 3(1), 19-29.
- Öner, B.** (2023). *Avrupa Birliği Enerji Politikasındaki Gelişmeler*. http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_11/28.pdf (10.05.2023).
- Özdemir, M.T., Menlik, T., Variyenli, H. L., Sevin, L.** (2017). Bir Termik Santralin Performans Analizi ve Rehabilitasyon Metotları, 20, 971-978.
- Özey, R.** (2009). *Çevre Sorunları*. Aktif Yayınevi. İstanbul.
- Öztürk, H. H.** (2013). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Pamir, N.** (2005). Enerji Politikaları ve Küresel Gelişmeler, *Stratejik Analiz*, Aralık, 68-74.
- Peng, Y., Yang, Q., Wang, L., Wang, S., Li, J., Zhang, X., Zhang, S., Zhao, H., Zhang, B., Wang, C., Bartocci, P., Fantozzi, F.** (2021). VOC emissions of coal-fired power plants in China based on life cycle assessment method. *Fuel*, 292, 120325.

Popeanga, V. (2013). Environmental Action Programmes In The Avropean Union- Evolution And Specific. Annals of the “Constantin Brâncu.i” University of Târgu Jiu, *Letter and Social Science Series*. 3. 24-33.

Rasheed, R., Javed, H., Rizwan, A., Sharif, F., Yasar,A.,Tabinda, A., Ahmad,S., Wang, Y., Su, Y. (2021). Life cycle assessment of a cleaner supercritical coal-fired power plant. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123869.

Raven, P. H., Berg, L. R. and Johnson, G. (1995). *Environment* (1995 Version). Fort Worth: Sounders College Publishing.

Rocha, D.H.D., Siqueira, D.S. and Silva, R.J. (2021). Exergoenvironmental analysis for evaluating coal-fired power plants. *Energy*, 233, 121169.

Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü (RSHM). (2023). *Hava Kirliliğine Genel Bakış*. <http://www.rshm.saglik.gov.tr/hki/pdf/hava.pdf> (04-05-2023).

Salinas, I. (2017). *Energy Potential*, 19 July 2017, 1-19, [<https://media.nationalgeographic.org/assets/file/energy-teacher-guide-ch1.pdf> Erişim Tarihi: 01. 05.2023].

Santoyo-Castelazo, E., Gujba,H. and Azapagic,A.(2011). Life Cycle Assessment Of Electricity Generation İn Mexico. *Energy*, 36, 1488-1499.

Saraçoğlu, N. (2010). *Küresel İklim Değişimi, Biyoenerji ve Enerji Ormancılığı*. Efil Yayınevi. Ankara.

Sarıkaya, H. Z. (2004). Avrupa Birliği Uyum Sürecinde Çevre Politikaları ve Uygulamaları. *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*. 14(1). 1-10.

Scannapieco, D., Naddeo, V. and Belgiorno, V.(2014). Sustainable power plants A support tool for the analysis. *Land Use Policy*, 36, 478-484.

Sefton, I. M. (2004). *Understanding Energy*, 1 Januray 2004, [https://www.researchgate.net/publication/242589441_Understanding_Energy Erişim Tarihi: 02. 05.2023].

Silva, M.G., Muniz, A.R.C. and Hoffmann,R. (2018). Impact Of Greenhouse Gases On Surface Coal Mining İn Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 193, 206-216.

Şahiner, S. (2023). *Türkiye Cumhuriyeti Enerji Politikasına Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği Enerji Politikaları Bağlamında Genel Bir Bakış ve Elektrik Enerjisi Özelleştirme Politikası ile Çevresel ve Hukuksal Alt Yapı Yaklaşımları*. http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_11/37.pdf (10-05-2023).

Şaylan, İ. B. (2009). İklim Değişikliği Ponzan Müzakereleri ve Maliye Bakanları İklim Değişikliği Üst Düzey İkinci Toplantısı. *Bülten*. 23.

Şenel, M. C. (2012). *Rüzgâr Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış*, (Yüksek Lisans Tezi), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Tang, Y. and You, F. (2018). Life cycle environmental and economic analysis of pulverized coal oxy-fuel combustion combining with calcium looping process or chemical looping air separation. *Journal of Cleaner Production*, 181, 271-292.

Tao, M., Cheng, W., Nie, K., Zhang, X., Cao, W. (2022). Life cycle assessment of underground coal mining in China. *Science of the Total Environment*, 805, 150231.

Taşkın, E. (2018). *Linyit Yakıtlı Pilot Termik Santral İçin Baca Gazı Emisyon Azaltma Seçeneklerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı. (2023). *AB Programları. No:9*. http://www.ab.gov.tr/files/rehber/09_rehber.pdf (18.05.2023).

T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı. (2023). *Fasıl-15 Enerji. Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası*. <http://www.ab.gov.tr/index.php?p=80&l=1> (26.05.20123).

T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı. (2023). *Fasıl-27 Çevre. Avrupa Birliği'nin Çevre Politikası*. <http://www.ab.gov.tr/index.php?p=92&l=1>. (26.05.2023).

T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı. (2023). *Katılım Ortaklığı Belgeleri*. <http://www.ab.gov.tr/index.php?p=46226&l=1> (20-05-2023).

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2023). *Final Raporu. "Rio Sözleşmeleri Kapsamında Türkiye'nin Ulusal Kapasitesinin Değerlendirilmesi Projesi"*. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları. No: 414. ISBN: 978-605-393-081-5. Ankara. 2011.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2023). *Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi*. <https://iklim.csb.gov.tr/birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i>

Tunçer, M. (2009). *Avrupa Birliği sürecinde doğal ve tarihsel çevrelerin bütüncül planlanmasına ilişkin saptamalar*. Milliyet. 20.04.2009. <http://blog.milliyet.com.tr/avrupa-birligi-surecinde-dogal-ve-tarihselcevrelerin-butuncul-planlanmasına-iliskin-saptamalar/Blog/?BlogNo=175171>. (03.05.2023).

Turan, A. ve Güler, M. (2013). Türkiye’de Sürdürülebilir Çevre Politikaları: İklim Değişikliği Örneği. *International On Conference Eurasian Economies*. 17-18 September 2013. St. Petersburg. Rusya.

TÜBİTAK. (2023). *H2020: Yeni AB Araştırma ve Yenilik Çerçeve Programı Kapsamı ve İçeriğindeki Yenilikler 2014-2020*. http://www.abmerkezi-arastirma.itu.edu.tr/docs/librariesprovider81/horizon-2020-belgeler/horizon_2020_bt.y.k_bilgi_notu_26062012_v06.pdf?sfvrsn=4 (10.05.2023).

Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği -TMMOB, (2015). *Türkiye'nin Enerji Görünümü*, 1 Şubat 2015, 1-20, [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/a5a69d7ec06d9cd_ek.pdf Erişim Tarihi: 04. 05.2023].

Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği (TÜSİAD). (1998). *21. Yüzyıla Girenken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi*. TÜSİAD Yayınları. Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239. İstanbul.

Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği (TÜSİAD). (2011). *Vizyon 2050 Türkiye*. Yayın No: TUSIAD-2011-09/518. İstanbul. Eylül 2011. http://www.tusiad.org/_rsc/shared/file/VIZYON-2050-RAPOR.pdf (14-05-2023).

Türkeş, M. (2002). *İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Kalkınma Ulusal Değerlendirme Raporu*. Türkiye Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi Ulusal Hazırlıkları. Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Yayınları. Ankara. 2002.

Türkeş, M. (2007). *Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler*. I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi- TİKDEK 2007 Bildiri Kitabı. (Ed: Ahmet Öztopal ve Zekâi Şen). Su Vakfı. İstanbul Teknik Üniversitesi. Clerdec. İstanbul. 11- 13 Nisan 2007. ss.38-53.

Türkeş, M. ve Kılıç, G. (2003). *Avrupa Birliği'nin Enerji ve Çevre Politikalarının Türkiye'ye 'İklim Değişikliği' Açısından Yansımaları*. Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası ve Türkiye'ye Yansımaları II - AB'de Enerji ve Çevre AB Enerji Modelleri. Ulusal Politika Araştırmaları Vakfı Yayınları. Ankara.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu – TAEK, (2016). *Dünyadaki Nükleer Kazalar*, 6 Eylül 2016, [<https://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-44-19/1040-nukleer-ve-radyolojik-kazalar.html> Erişim Tarihi: 10. 05.2023].

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu –TKİK, (2009). *Kömür Sektörü Raporu (Linyit)*, 1 Ocak 2009, s. 1-21, [https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FSektor_Raporu_TKI.pdf Erişim Tarihi: 03. 05.2023].

Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası (MESS). (2023). *Altıncı Çerçeve Programı*. http://www.mess.org.tr/media/filer_public/56/27/5627da57-d85d-428e-b9bb-02f189b6f564/6cerceve.pdf (18.05.2023).

Türküm, A. S. (1998). *Çağdaş Toplumda Çevre Sorunları ve Çevre Bilinci*. Çağdaş Yaşam Çağdaş İnsan. (Ed., Gürhan Can). T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları. Yayın No: 1020. ISBN 975-492-769-3. Eskişehir.

Uysal, İ.G. (2022). *İzmir Tulum Peyniri Üretiminde Yaşam Döngüsü Analizi İle Çevresel Etkilerin Sürdürülebilirlik Kapsamında İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Varınca, K. B., Güneş, G. ve Ertürk, F. (2008). *Hava Kirleticilerinin İnsan Sağlığı ve İklim Değişikliği Üzerine Etkileri*. Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu. Konya.

Wang, J., Wang, R., Zhu, Y., Li, J. (2018). Life Cycle Assessment And Environmental Cost Accounting Of Coal-Fired Power Generation in China, *Energy Policy*, 115, 374-384.

Whitaker, M., Heath, G.A., O'Donoghue, P., Vorum, M. (2012). Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Coal-Fired Electricity Generation. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 53-72.

Yıldırım, U. ve Budak, S. (2010). AB Tam Üyelik Sürecinde Türkiye'nin Çevre Politikasındaki Değişimler. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 7(13). 173-191.

Yıldız, K., Sipahioğlu, Ş. ve Yılmaz, M. (2000). *Çevre Bilimi*. Gündüz Eğitim ve Yayıncılık. ISBN: 975-6859-13-X. Ankara.

Yıldız, N. (2005). Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne Uyum Sürecinde Çevre Politikalarının Karşılaştırmalı Analizi. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 6(1). 164-173.

Yıldız, S. (2018). Yok Oluştan Doğan Turizm: Kıyamet Turizmi, *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5/5, 224-241.

Yıldızel, Z. E. (2023). *Petrol sadece bir enerji ham maddesi midir?*, [<http://petroturk.com/makale/petrol-sadece-bir-enerji-ham-maddesi-midir> Erişim Tarihi: 31.05.2023].

Zhu, Y., Jiang, S., Zhao, Y., Li, H., He, G., Li, L. (2020). Life-cycle-based water footprint assessment of coal-fired power generation in China *Journal of Cleaner Production*, 254, 120098.





EKLER

Tablo E.1. Pulverize subkritik kazan teknolojisi kullanılan termik santrallere ait veriler

Girdiler	Seyitömer	Tunçbilek	Yatağan	Yeniköy	Kemerköy	Çayırhan	Çan 2	Cui vd.,	Günkaya vd.,	Koornef vd.,	Mengshu vd.,
	Termik Santrali	Termik Santrali	Termik Santrali	Termik Santrali	Termik Santrali	Termik Santrali	Termik Santrali	2012*	2016*	2008*	2022*
Kömür tüketimi (kg) (linyit)	294.425	12.255	584.333	413.016,32	635.580,37	-	181.677,85	6,60E-01	1,43	4,47E-01	4,24E-01
Soğutma suyu Tüketimi (m ³)	353	-	-	-	-	-	8000	8,47E-05	9,60E-02	-	-
Proses suyu tüketimi (m ³)	609	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atıksu oluşumu (m ³)	-	94	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrik üretimi (kWh)	3.768.632.00	1.605.433.428	4.070.830.00	3.278.140.000	3.517.950.00	1.934.703.99	1.999.547.001	8,40E-02			
Atmosferik emisyonlar (kg)											
SO ₂											
NO _x	3.489,16	2.452,82	2.251,21	3.591,13	2.123,12	2.321,22	2.147,28		2,50E-01	1,40E-03	6,00E-03
PM10	1.217,69	969,40	1169,6	954,36	1706,4	443,01	0	1,60E-03	4,10E-02	1,90E-03	4,00E-03
CO	127,51	339,15	1320,6	10,70	1345,3	891,03	280	8,00E-03	3,00E-03	1,61E-03	2,75E-03
CO ₂	85,15	35,38	38,43	1,57	14,47	109	280	2,00E-05	3,00E-03	1,05	1,56
HCl	77,287	23,74	12.6146,083	1,05	3,24	21.711,07	280	1,04E-03	8,19E-01	1,41E-05	1,64E-03
HF	25.762,10	5,017	29.216,7	93.566,44	0,362 0,090	54.278,08	77.179,11	8,00E-01	2,90E-04	1,20E-05	
				23.391,6			14.975,5	2,64E-01	2,73E-01		

*Fonksiyonel birime dönüştürülmüş verilerdir.

Tablo E.2. Pulverize süperkritik kazan teknolojisi kullanılan termik santrallere ait veriler

Girdiler	Rasheed vd., 2021*	Cui vd., 2012*	Tang ve You 2018*
Kömür tüketimi (kg) (liniyit)	3,70E-01	4,50E-01	3,20E-01
Soğutma suyu tüketimi (m ³)	1,66	8,00E-02	9,20E-05
Proses suyu tüketimi (m ³)	1,66	8,00E-02	-
Çıktılar	-	-	-
Atıksu oluşumu (m ³)	3,30	1,60E-01	9,20E-05
Atmosferik emisyonlar (kg)	-	-	-
SO ₂	7,50E-04	3,00E-04	2,70E-04
NO _x	4,00E-04	5,40E-03	7,00E-04
PM10	1,20E-04	8,00E-05	2,40E-04
CO	4,70E-05	9,50E-04	5,90E-05
CO ₂	5,30E-01	7,30E-01	8,61E-01
HCl	-	-	-
HF	-	-	2,13E-07
Uçucu kül (kg)	7,00E-02	3,10E-02	9,00E-03
Cüruf (kg)	1,00E-05	4,50E-01	-

*Fonksiyonel birime dönüştürülmüş verilerdir.

Tablo E.3. Pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi kullanılan termik santrallere ait veriler

Girdiler	Cenal Karabiga Termik Santrali	Cui vd., 2012*	Koornef vd., 2008*
Kömür tüketimi (kg) (linyit)	368.150,68	2,20E-01	3,40E-01
Soğutma suyu tüketimi (m ³)	263000	1,22E-05	-
Proses suyu tüketimi (m ³)	7000	1,22E-05	-
Çıktılar			
Atıksu oluşumu (m ³)	-	2,57E-05	-
Elektrik üretimi (kWh)	9.773.589.700	-	-
Atmosferik emisyonlar (kg)	-	-	-
SO ₂	400,07	1,32E-03	7,10E-04
NO _x	400,07	2,47E-03	1,03E-03
PM10	60,01	1,10E-04	1,18E-03
CO	-	5,30E-04	-
CO ₂	-	4,10E-01	8,05E-01
HCl	200,039	-	7,68E-06
HF	5,001	-	1,38E-06
Uçucu kül (kg)	45000	-	-
Cüruf (kg)	10000	-	-

*Fonksiyonel birime dönüştürülmüş verilerdir.

Tablo E.4. Akışkan yatak kazan teknolojisi kullanılan termik santrallere ait veriler

Girdiler	Tufanbeyli Termik Santrali	Silopi Termik Santrali	Soma Kolin Termik Santrali	Mengshu vd., 2022*	Whitaker vd., 2012*
Kömür tüketimi (kg) (liniyit)	734656,4	143.881	357984,0	4,40E-01	-
Soğutma suyu tüketimi (m ³)	275	-	742	-	-
Proses suyu tüketimi (m ³)	85	-	243,32	-	-
Çıktılar	-	-	-	-	-
Atıksu oluşumu (m ³)	90	-	168	-	-
Elektrik üretimi (kWh)	3.448.719.000	2.222.875.310	3.236.289.680	-	-
Atmosferik emisyonlar (kg)	-	-	-	-	-
SO ₂	1848	1486,7	257,2	4,90E-03	-
NO _x	1386	1189,4	257,2	3,50E-03	-
PM10		148,7			-
CO	462	297,3	257,2	2,47E-03	-
CO ₂	-	-	-	1,44	1,07
HCl	186	148,7	128,76	-	-
HF	3,6	22,33	19,3	-	-
Uçucu kül (kg)	47,5	41,94	150080	-	-
Cüruf (kg)	-	17.962,10	73920	-	-

*Fonksiyonel birime dönüştürülmüş verilerdir.