



**INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
CLIMATE CHANGE, ENERGY TRANSITION  
AND SUSTAINABILITY**

**29-30 September, 2023**

**CONFERENCE PROCEEDINGS BOOK**



## **AVRUPA BİRLİĞİNİN ÇEVRE POLİTİKALARININ ENERJİ SANTRALLERİ ÜZERİNDEKİ ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLİŞKİSİ**

**Oğuz Kaan POLAT<sup>1</sup>, Prof. Dr. Hasan YAMIK<sup>2</sup>**

### **Özet**

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. 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 ekotoksitesisi 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 değerlendirilmesi*

## **THE RELATIONSHIP WITH ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY ON ENERGY PLANTS OF THE ENVIRONMENTAL POLICIES OF THE EUROPEAN UNION**

### **Abstract**

Lignite, hard coal and imported coal are used in coal-fired thermal power plants in our country. In coal-based thermal power plants, two combustion technologies are at the forefront: pulverized coal combustion technologies and fluidized bed combustion technology. Pulverized coal

<sup>1</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği, oguzkaanpolat34@gmail.com, ORCID No : 0009-0000-0765-2499

<sup>2</sup> Prof. Dr. , Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, hasan.yamik@bilecik.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-6269-8606

burning technologies in themselves; It is divided into three types: pulverized subcritical, pulverized supercritical and pulverized ultra-supercritical. The majority of thermal power plants in our country have pulverized subcritical boiler technology, but there are also a very limited number of power plants operating with fluidized bed boiler technology, pulverized supercritical and pulverized ultra-supercritical boiler technology. In this study, the environmental impacts of coal-fired thermal power plants were determined and compared using the life cycle assessment method. Coal power plants using pulverized subcritical boiler technology were considered as the current situation, and pulverized supercritical, pulverized ultra-supercritical and fluidized bed boiler technologies were evaluated as alternative technologies. By comparing these technologies, the impact of life cycle assessment on the categories was examined. The comparison was made with the ReCiPe 2016 Midpoint (H) method using SimaPro 9.1 software. In characterization categories; It has been observed that fluidized bed technology has a higher environmental impact than pulverized systems in terms of all impact categories except freshwater eutrophication potential and fossil resource depletion potential. In pulverized systems, the environmental impact is greater in subcritical systems, and in all categories except the particulate matter formation potential of supercritical systems (8.9%), ozone formation terrestrial ecotoxicity potential (18.7%) and terrestrial acidification potential (8.8%), ultra-high pressure is observed in all categories. It has been observed that it has more effect than supercritical systems.

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

## 1. GİRİŞ

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 (http-1, 2023). Ülkemizde ise 2021 yılında elektrik üretiminin % 63,1 'i fosil yakıtlı santrallerden sağlanmış, hidrolik santraller %16,79 rüzgar 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 Assesment- 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. TEORİK LİTERATÜR**

### **2.1. Çevre Sorunları**

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 bildiride, 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 incilmesi 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).

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.

### **2.2. Enerji Kaynakları**

Etimolojik açıdan incelendiğinde enerji kavramının eski Yunanca da kullanılmış bir kavram olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Yunanca aktif anlamına gelen “ev” 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 endirekt 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 dönüştürülebilir 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.

### **2.2.1. 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).

### **2.2.2. 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).

### **2.3. 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 entegresi amaçlanır. Eylem programları istenen eylemin hukuki kuralların hazırlanmasını gerektirdiğinden mevzuatların gelişimine katkı sağlar (Sarıkaya, 2004: 3).

### **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 yürütülen 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.

### **2.3.1.3. 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.

### **2.3.2. 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 (T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, Fasil-15 Enerji).

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,
- Ülkelere 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 Gezini, 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.

### **2.3.3. 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).

#### **2.3.4. 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).

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. 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.

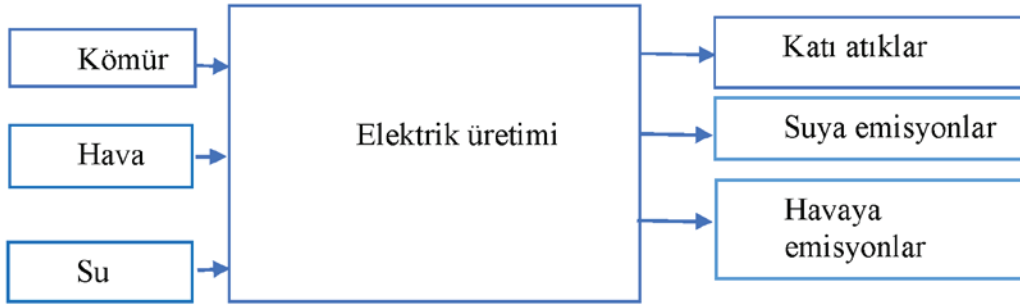
##### 3.1.1. Sistemlerin tanıtımı

Kömürle çalışan termik santrallerde pulverize subkritik kazan teknolojisi, pulverize süperkritik kazan teknolojisi, pulverize ultrasüperkritik kazan teknolojisi ve akışkan yatak kazan teknolojisi gibi teknolojiler kullanılmaktadır.

##### 3.1.2. 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 1. Sistem sınırı*



#### 3.2. 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 1, Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmiştir.

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

<b>Girdiler</b>	<b>Miktar</b>
Kömür tüketimi (kg) (linyit)	1,07a
Soğutma suyu tüketimi (m3)	0,00082b
Proses suyu tüketimi (m3)	0,0014b
Çıktılar	Miktar
Atıksu oluşumu (m3)	0,00064c
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 <sub>2</sub> (g)	3,61 d
NO <sub>x</sub> (g)	3,3 e
PM <sub>10</sub> (g)	0,33 f
CO (g)	0,095 g
CO <sub>2</sub> (kg)	1,05h
HCl (mg)	7,1k
HF (mg)	3,07 j
Uçucu kül (kg)	0,28 ı
Cüruf (kg)	0,061 ı

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, Koornnef 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, Koornnef 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, Koornnef vd.,2008 ve Mengshu., vd, 2022 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

ı 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 2. Pulverize süperkritik kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh)**

<b>Girdiler</b>	<b>Miktar</b>
Kömür tüketimi (kg) (linyit)	0,38 a
Soğutma suyu tüketimi (m3)	0,00166 b
Proses suyu tüketimi (m3)	0,00166 c
Çıktılar	Miktar
Atıksu oluşumu (m3)	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 <sub>2</sub> (g)	0,44 e
NO <sub>x</sub> (g)	0,56 f
PM <sub>10</sub> (g)	0,18 g
CO (g)	0,053 f
CO <sub>2</sub> (kg)	0,70 h
HCl (mg)	0,56 ı
HF (mg)	0,21 j
Uçucu kül (kg)	0,07 k
Cüruf (kg)	0,00001 l

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;

ı 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 3. Pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh)**

<b>Girdiler</b>	<b>Miktar</b>
Kömür tüketimi (kg) (linyit)	0,29 a
Soğutma suyu tüketimi (m3)	0,235 b
Proses suyu tüketimi (m3)	0,0062 b
Çıktılar	Miktar
Atıksu oluşumu (m3)	0,0000257 c
Atıksudaki kirletici 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 <sub>2</sub> (g)	0,5 d
NO <sub>x</sub> (g)	1,8 d
PM <sub>10</sub> (g)	0,0531 e
CO (g)	0,53 f
CO <sub>2</sub> (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

a Cui vd., 2012., http-14 ve Koornnef vd.,2008 değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

b http-12 değeri kullanılmıştır;

c Cui vd., 2012 değeri kullanılmıştır;

d SO<sub>2</sub>, ve NO<sub>x</sub>, 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;

ı 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. Akışkan yatak kazan teknolojisine dair veriler (fb: 1kWh)**

<b>Girdiler</b>	<b>Miktar</b>
Kömür tüketimi (kg) (linyit)	1,05 a
Soğutma suyu tüketimi (m3)	0,0020 b
Proses suyu tüketimi (m3)	0,00065 b
Çıktılar	Miktar
Atıksu oluşumu (m3)	0,00046 b
Atıksudaki kirletici 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 <sub>2</sub> (g)	5,1 c
NO <sub>x</sub> (g)	3,9 c
PM <sub>10</sub> (g)	0,59 d
CO (g)	1,6 c
CO <sub>2</sub> (kg)	1,25 e
HCl (mg)	470 f
HF (mg)	70 g
Uçucu kül (kg)	0,28 h
Cüruf (kg)	0,45 h

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).

### 3.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

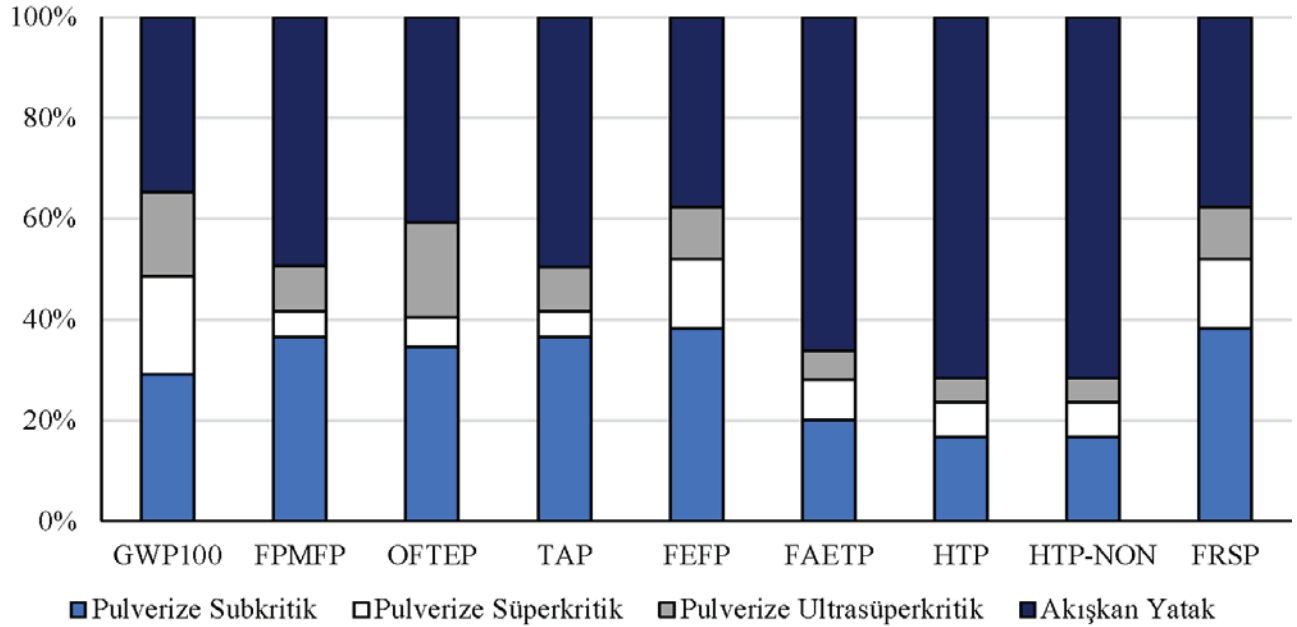
LCA hesaplamaları, lisanslı SimaPro 9.1 yazılımı kullanılarak karakterizasyon aşaması için Re-CiPe 2016 Midpoint (H) metodu kullanılmış ve sonuçlar Tablo 5’de verilmiştir. Bu tabloda yöntemde bulunan tüm etki kategorileri gösterilmektedir. Şekil 3’de ise kazan teknolojileri seçili etki kategorileri bazında 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 5. Tüm kazan teknolojilerine ait karakterizasyon sonuçları**

Etki Kategorileri	Birim	Pulverize Subkritik	Pulverize Süperkritik	Pulverize Ultra süperkritik	Akışkan Yatak
Küresel Isınma	Kg CO2 ed.	1,07	0,71	0,61	1,27
Stratosferik ozon incelmesi	Kg CFC-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 NOx ed.	3,34E-03	5,73E-04	1,81E-03	3,93E-03
Partikül Madde Oluşumu	Kg PM <sub>2,5</sub> ed.	1,43E-03	1,96E-04	3,48E-04	1,93E-03
Ozon Oluşumu, Karasal Ekosistem	Kg NOx ed.	3,34E-03	5,73E-04	1,81E-03	3,94E-03
Karasal Asidifikasyon	Kg SO2 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
Tuzlu Su Ötrofikasyonu	Kg N ed.	1,90E-06	6,76E-07	5,16E-07	1,87E-06
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 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 <sup>2</sup> a 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 <sup>3</sup>	0,08411	0,0308	0,02903	0,08293

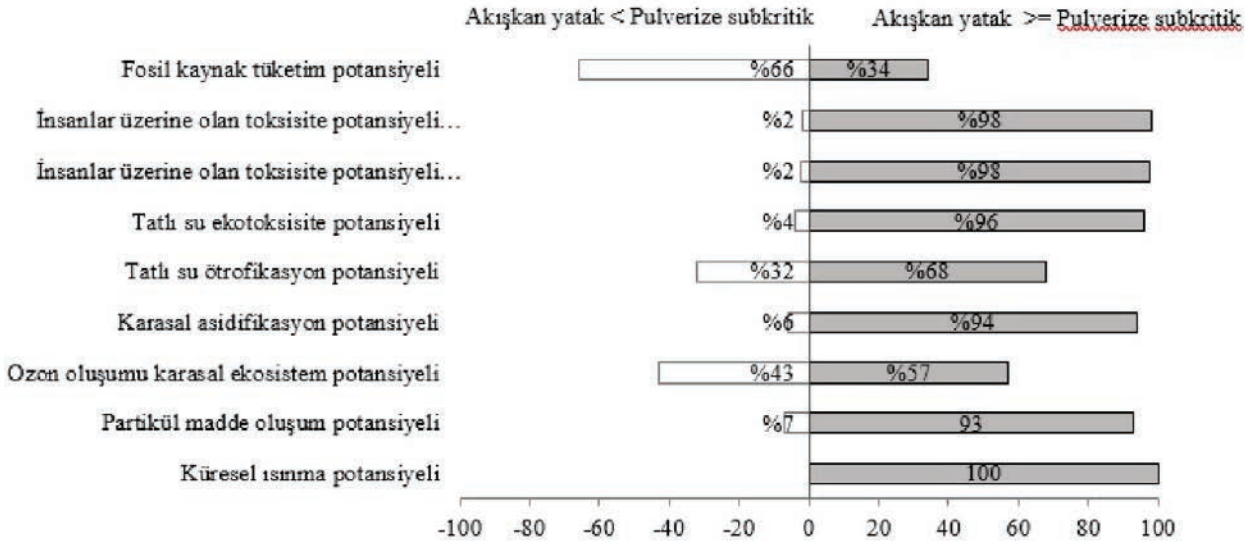
**Şekil 2. Kazan teknolojilerinin etki kategorileri bazında karşılaştırılması**



(GWP100;küresel ısınma potansiyeli, FPMFP; partikül madde potansiyeli, OFTEP; ozon oluşumu, karasal eko sistem potansiyeli, TAP; karasal asidifikasyon potansiyeli, FEFP; tatlı su ötrofikasyonu potansiyeli, FAETP; tatlı su ekotoksitesite potansiyeli, HTP; insanlar üzerine olan toksisite potansiyeli (kanserojen), HTP-NON; insanlar üzerine olan toksisite 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 3'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 3. Monte Carlo analizi (akışkan yatak - pulverize subkritik kazan teknolojileri)



GWP100 etkisi termik santrallerde kömürün yanmasıyla havaya salınan CO<sub>2</sub> emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Yapılan analizlerde küresel ısınmaya en fazla neden olan faktörün tüm kazan teknolojilerinde CO<sub>2</sub> 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 etkisi termik santrallerde kömürün yanmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan analizlerde partikül madde oluşum potansiyeline tüm kazan teknolojilerinde en fazla SO<sub>2</sub> ve NO neden olmuştur. Pulverize subkritik kazan teknolojisi için bu değer %73,8 SO<sub>2</sub> ve %25,5 ile NO olmuştur. Pulverize süperkritik kazan teknolojisi için %66,8 SO<sub>2</sub> ve %32,14 NO olmuştur. Pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi için %65 SO<sub>2</sub> ve %34,2 NO olmuştur. Akışkan yatak kazan teknolojisi için ise %77 SO<sub>2</sub> ve %22,36 NO olmuştur. Pulverize subkritik ve akışkan yatak kazan teknolojisi için SO<sub>2</sub> ve NO giderim sistemlerinin veriminin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

OFTEP 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<sub>x</sub> emisyonları neden olmuştur. NO<sub>x</sub> 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 etkisi kömürün yanmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan analizlerde karasal asidifikasyona neden olan faktörler SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> olmuştur. Bu emisyonların yüzde değerleri pulverize subkritik için %75 SO<sub>2</sub> ve %24,6 NO<sub>x</sub>, pulverize süperkritik için %68 SO<sub>2</sub> ve %30,9 NO<sub>x</sub>, pulverize ultra süperkritik için %66,7 SO<sub>2</sub> ve %33, NO<sub>x</sub> ve akışkan yatak için %78 SO<sub>2</sub> ve %21,5 NO<sub>x</sub> olarak hesaplanmıştır.

FEFP 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 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 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 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO ve PM (duman ve toz vb.) salımı nedeniyle sağlık tehlikesi kategorisinde kömüre dayalı enerji üretiminin etkileri analiz edilmiştir. Sağlık tehlikeleri sırasıyla; PM > NO<sub>x</sub>, > SO<sub>2</sub>, > CO (Rasheed vd., 2021).

HTP-NON 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 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.

#### **4. SONUÇ**

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 teknolojisi. Bu açıdan, çevresel etkinin en az olduğu kazan teknolojisi pulverize ultra süperkritik kazan teknolojisi. 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.

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.

## **KAYNAKLAR**

- Aydın, L. (2014). *Enerji Ekonomisi ve Politikaları Kuram ve Kavramlar-Piyasalar-Modeller-Politikalar. Birinci Baskı. Seçkin Yayıncılık. ISBN: 978-975-02-2823-0. Ankara.*
- Bayraç, H. N. (2009). "Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğal Gaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma". *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. Cilt: 10. Sayı:1. Haziran 2009. ss. 115-142.*
- 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. 1. Baskı. 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.*
- 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.*
- Dölek, E. (2007). *Comparison Of Iscst3 And Aermom Air Dispersion Models: Case Study Of Cayırhan Thermal Power Plant. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences.*
- Duru, B. (t.y). *Avrupa Birliği Çevre Politikası. <http://kentcevre.politics.ankara.edu.tr/>*

*duruabcevre.pdf (03.05.2023).*

*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).*

*Ersoy, Ö. (2014). Yatağan Termik Santrali Etki Alanında Hava Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*

*Ertürk, H. (1998). Çevre Bilimlerine Giriş. 3. Baskı. Ceylan Matbaacılık. Yayın No: 3. ISBN: 975-564-028-2. Bursa.*

*Görmez, K. (2007). Çevre Sorunları. 1. Baskı. Nobel Yayın Dağıtım. Yayın No: 1138. Ankara.*

*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.*

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

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

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

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

*http-4, [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/Sayfa159%20%C3%B6ncesi\\_0.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/Sayfa159%20%C3%B6ncesi_0.pdf) Erişim Tarihi: 06.05.2023.*

*http-5, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kutahya\\_-cdr2020-20220105124313.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kutahya_-cdr2020-20220105124313.pdf) Erişim Tarihi: 06.05.2023.*

*http-6, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/mugla\\_-cdr2020-20220201160023.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/mugla_-cdr2020-20220201160023.pdf) Erişim Tarihi: 06.05.2023.*

*http-7, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/canakkale\\_-cdr2020-20211110114745.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/canakkale_-cdr2020-20211110114745.pdf) Erişim Tarihi: 06.05.2023.*

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

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

*http-10, [https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/027bdd941585254\\_ek.pdf](https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/027bdd941585254_ek.pdf) Erişim Tarihi: 06.05.2023.*

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

*http-12, <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/3989#> Erişim Tarihi: 06.05.2023.*

*https-13, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/adana\\_2020\\_-cdr-20211206082506.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/adana_2020_-cdr-20211206082506.pdf) Erişim Tarihi: 06.05.2023.*

*http-14, <https://www.stgm.org.tr/sites/default/files/2020-09/sirnak-silopi-termik-santralisantrala-yakit-saglayan-asfaltit-sahasi-ve-kirectasi-sahalari-kapasite-artisiprojesi-ced-raporu.pdf> Erişim Tarihi: 06.05.2023.*

- http-15, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/mansa\\_2019\\_cevre\\_durum\\_raporu-20201117201719.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/mansa_2019_cevre_durum_raporu-20201117201719.pdf) Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- http-16, [https://www.banktrack.org/download/tufanebeyli\\_coal\\_power\\_project\\_description/tufanbeyli\\_ptd\\_tr.pdf](https://www.banktrack.org/download/tufanebeyli_coal_power_project_description/tufanbeyli_ptd_tr.pdf) Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- http-17, <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/8979#> Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- http-18, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/s-rnak\\_-cdr2020-20220225095334.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/s-rnak_-cdr2020-20220225095334.pdf) Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- İktisadi Kalkınma Vakfı. (2023). Türkiye-AB Katılım Süreci Mali İş birliği. [http://www.ikv.org.tr/icerik\\_print.asp?id=42](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](http://www.ikv.org.tr/icerik_print.asp?id=227) (07.05.2023).
- Keleş, R. ve Hamamcı. C. (1997). Çevre Bilim. 5. Baskı. İmge Kitabevi. ISBN: 975-533-024-0. Ankara.
- Malanima, P. (2014). *The Basic Environmental History: Energy in Histroy*, (Editors: Mauro Agnoletti, Simone Neri Serneri), Germany: Springer, 1-21.
- Moud, A. H. (2012). *Wind Energy Systems Solutions for Power Quality and Stabilization*, Florida: Crcpress Taylor & Francis Group.
- Ökmen, M. ve Demir. F. (2010). "Türkiye'de Katılımcı Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Uşak İli Örneği". *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. Sayı: 27. Ağustos. 265-276.
- Öztürk, H. H. (2013). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Pamir, N. (2005). "Enerji Politikaları ve Küresel Gelişmeler", *Stratejik Analiz*, Aralık, 68-74.
- Rashed, 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.
- Salinas, Ivan., *Energy Potential*, 19 July 2017, s. 1-19, [<https://media.nationalgeographic.org/assets/file/energy-teacher-guide-ch1.pdf> Erişim Tarihi: 01. 05.2023].
- Sarıkaya, H. Z. (2004). "Avrupa Birliği Uyum Sürecinde Çevre Politikaları ve Uygulamaları". *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*. Cilt: 14. Sayı:1. 1-10.
- Sefton, I. M. (2004). *Understanding Energy*, 1 Januray 2004, [[https://www.researchgate.net/publication/242589441\\_Understanding\\_Energy](https://www.researchgate.net/publication/242589441_Understanding_Energy) Erişim Tarihi: 02. 05.2023].
- Şenel, M. C. (2012). *Rüzgâr Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları- Dinamik Davranış*, (Yüksek Lisans Tezi), Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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.
- T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı. AB Programları. No:9. [http://www.ab.gov.tr/files/rehber/09\\_rehber.pdf](http://www.ab.gov.tr/files/rehber/09_rehber.pdf) (18.05.2023).
- T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı. Fasil-15 Enerji. Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası. <http://www.>

*ab.gov.tr/index.php?p=80&l=1 (26.05.20123).*

*T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. 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. Dış İşleri Bakanlığı. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve Kyoto Protokolü. [http://www.mfa.gov.tr/birlesmis-milletler\\_iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-\\_bmidcs\\_-ve-kyoto-protokolu-\\_.tr.mfa](http://www.mfa.gov.tr/birlesmis-milletler_iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-_bmidcs_-ve-kyoto-protokolu-_.tr.mfa) (28.05.2023).*

*T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı. Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü. Sayı 13. Temmuz 2016. [http://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi\\_13/Sayi\\_13.html#p=1](http://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_13/Sayi_13.html#p=1) (10.05.2023).*

*The International Renewable Energy Agency (IRENA). <https://www.irena.org/aboutirena> (08.05.2023).*

*TÜBİTAK. 2020: Yeni AB Araştırma ve Yenilik Çerçeve Programı Kapsamı ve İçeriğindeki Yenilikler 2014-2020. 29.06.2012. [http://www.abmerkezi-arastirma.itu.edu.tr/docs/librariesprovider81/horizon-2020-belgeler/horizon\\_2020\\_bt.y.k\\_bilgi\\_notu\\_26062012\\_v06.pdf?sfvrsn=4](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).*

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

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