



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 11.11.2019
Kabul Tarihi :04.12.2019

Received Date : 11.11.2019
Accepted Date : 04.12.2019

TERMİK SANTRALLERİN MRV SİSTEMİ SERA GAZI EMİSYON HESABI ve EMİSYONLARIN İYİLEŞTİRİLMESİ

GREENHOUSE GAS EMISSION CALCULATION AND IMPROVEMENT OF THERMAL POWER PLANTS WITH MRV SYSTEM

Ece Ümmü DEVECİ *¹ (ORCID: 0000-0002-7551-188X)

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ece Ümmü DEVECİ, ecedeveci@gmail.com

ÖZET

Antropojenik faaliyetler sonucu oluşan sera etkisine sahip gazlar CO₂, CH₄, N₂O ve PFC (Per florlanmış kimyasal) gibi bileşiklerdir. Sera gazlarının artmasına neden faaliyetlerin kontrolünün sağlanması amacıyla Aralık 2015’de Fransa’da Paris İklim Zirvesi düzenlenmiştir. Bu zirve ile ülkeler daha önce dünya sıcaklığının 2°C artışla sınırlı kalma hedefini değiştirmişler ve “ısı artışını 1,5°C sınırlama çabası” kararına varmışlardır. Sera gazı etkisine neden olan en önemli kaynağın fosil yakıtların tüketimi olduğuna bu zirvede karar verilmiştir. Bu amaçla 195 ülke sera gazlarını azaltmayı, kömür, petrol ve doğalgazdan uzaklaşmayı öngören dönüm noktası niteliğinde bir anlaşmayı benimsemişlerdir. Türkiye de ise Sera gazı ile ilgili mücadele 2014 yılında başlamış olup, 17/5/2014 tarihli ve 29003 sayılı Resmî Gazete ’de yayımlanan Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik kapsamında sera gazı emisyonlarının ve ilgili faaliyet verilerinin izlenmesi ve raporlanması ile ilgili yönetmelik çıkartılmıştır. 22/7/2014 tarihinde “Sera Gazı Emisyonlarının İzlemesi Ve Raporlanması Hakkındaki Tebliğ” yayınlanmıştır. Paris zirvesinde varılan anlaşmalara paralel olarak 2015’de tebliğ çeşitli revizyonlardan geçerek yürürlüğe girmiştir. Bu amaçla fosil yakıt kullanan termik santrallerin MRV sistemi ile izlendiklerinde elde edilen CO₂ emisyonlarının iyileştirilmesi için gerekli önlemleri almakla yükümlü kılınmıştır. Bu çalışmanın amacı ise Türkiye’de temsili bir termik santralin CO₂ emisyonları hesaplanmış, oluşan emisyonlara karşı çevresel çözüm öneriler sunulmuş ve bu önerilerin uygulanabilirliği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sera Gazı, MRV sistemi, Termik Santral, Emisyon hesabı

ABSTRACT

The greenhouse gases have been produced as a result of anthropogenic activities are compounds such as CO₂, CH₄, N₂O and PFC (Perfluorinated chemicals). The Paris Climate Summit was held in France in December 2015 in order to control the activities causing greenhouse gases to increase. With this summit, countries have previously changed the objective of limiting world temperature to an increase of 2 ° C and have decided to limit the temperature increase to 1.5 ° C. It was decided that the most important source of the greenhouse gas effect was the consumption of fossil fuels. For this purpose, 195 countries have adopted a milestone agreement that aims to reduce greenhouse gases and move away from coal, oil and natural gas. Studies on Turkey was started in 2014, 17.05.2014 dated and 29003 numbered Official Paper have been published "Greenhouse Regulations on the Track of Gas Emissions". Regulation on Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emissions has been published. In parallel with the agreements reached at the Paris summit, the regulation entered into force through various revisions in 2015.

For this purpose, it is obliged to take the necessary measures to reduce the CO₂ emissions obtained by monitoring the MRV system of thermal power plants using fossil fuel. The purpose of this study is that CO₂ emissions from representative thermal power plant in Turkey were calculated against the resulting emissions presenting environmental solutions were determined applicability of these recommendations.

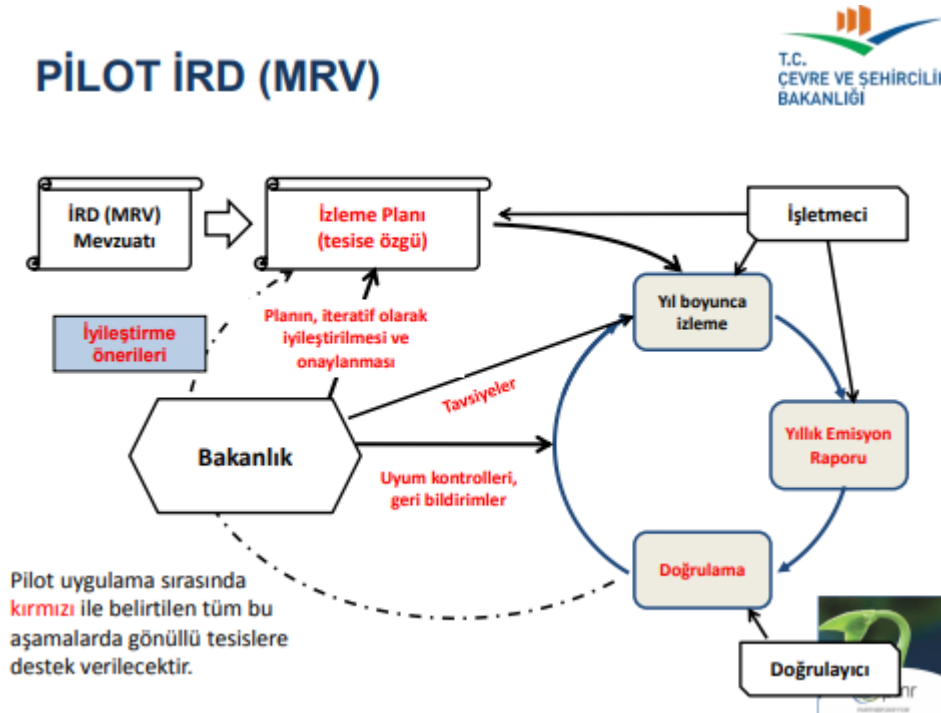
Keywords: Greenhouse Gases, MRV System, Thermal Power Plants, Emission Calculation

GİRİŞ

İnsanlar tarafından sürekli tüketilen ve tüketildikçe çevreye sürekli zarar veren yenilenmez kaynaklar olan; petrol, kömür, doğalgaz vb. gibi kaynaklar çevreye geri dönülmez zararlar vermektedirler. Bu kaynakların tüketilmesiyle atmosferde biriken sera gazları iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Bunun sonucunda doğada büyük bir tehlike ile baş başa kalırken sürdürülebilir gelişmenin olumsuz yönde etkilenmektedir. Yenilenemez enerji kaynakları bir yandan çevre kirliliğine neden olurken diğer yandan sürdürülebilirlik ters orantılı olarak etkilenecektir. Biyokütle enerjisi, jeotermal enerjisi, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerjisi vb. gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldığında ya az miktarda atık bırakır ya da hiç atık bırakmazlar.

Artan enerji tüketimine paralel olarak sera gazları emisyon değerleri de artmakta olup emisyonların %85'i enerji sektörlerinden kaynaklandığı bilinmektedir. 1850 öncesi dünya genelinde CO₂ seviyesi 280 ppm iken 2018 itibariyle 408 ppm'dir ve bu durum endüstriyel gelişmenin CO₂ emisyonlarının artışına etkisini açık olarak göstermektedir. Dünyada fosil yakıtlardan kaynaklı CO₂ emisyonları 2005 yılından 2017 yılına kadar enerji üretim tesislerinde %24 artış, Endüstriyel ürün üretiminden kaynaklı yakıtlarda %28 artış, meskenlerde %3 artış, ulaşımdan kaynaklıda %21 artış ve madenciligi de içine alan diğer endüstrilerden kaynaklı emisyonlarda ise %40 artış belirlenmiştir. Türkiye'de ise TÜİK tarafından 13 Nisan 2018'de verilen verilere göre, 2016 yılında toplam sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 496,1 milyon ton (Mt) olarak hesaplanmıştır. TÜİK verilerine göre, 2016 CO₂ emisyonları; %72,8 ile enerji kaynaklı, %12,6 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %11,4 ile tarımsal faaliyetler ve %3,3 ile atık olmak üzere belirlenmiştir (TÜİK, 2018). Çevre ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde Türkiye enerji politikasının ana hedefi, çevrenin korunması ve geliştirilmesi ile birlikte sürdürülebilir kalkınmayı belirlemişir.

Sera gazlarının emisyonlarının takibi amacıyla "Ölçülebilir, Raporlanabilir, Doğrulanabilir" (MRV) bir Sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile endüstriyel kaynaklı emisyonlar, taşıtlardan ve konutlardan kaynaklı emisyonlar takip edilebilecektir. Ancak öncelik olarak endüstriyel faaliyetler göz önüne alınmıştır. 25 Nisan 2012 yılında Sera Gazlarının Takibi Hakkında Yönetmelik yayımlanırken, 17 Mayıs 2014'de mevzuat Revizyona uğramış ve 22 Temmuz 2014 yılı itibariyle Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ yayımlanmıştır. Türkiye'de ilk olarak 5 Çimento fabrikası, 10 kamu ve 8 özel tesis olmak üzere Elektrik üretim tesisleri, 1 adet rafineri tesisi ile gönüllü pilot sektörler izlenmeye başlanmıştır.



Şekil 1. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından uygulanacak pilot MRV sistemi

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından uygulanacak pilot MRV sistemi Şekil 1’de verilmiştir. Pilot MRV sistemi içerisinde öncelikli olarak bu konuda eğitimlerin tamamlanması istenilmektedir. Bu eğitimler içinde verilerin nasıl toplanacağı, emisyonların nasıl hesaplanacağı gösterilecektir. Ayrıca kullanılacak elektronik şablonların gösterilmesi ve eğitimin verilmesi gerekmektedir. Tesisin belirli zaman aralığında uzmanların ziyaret ederek eksiklerin ve tutarsızlıkların belirlemesi, verilerin kimin tarafından ne kadar aralıklarla alınacağını, izleme planı ve emisyon raporlarının hazırlanması, emisyon raporlarının doğrulanması ve iyileştirmeler hakkında bilgilendirme yapılması istenilmektedir.

Günümüzde kömür, doğalgaz, jeotermal enerji, güneş enerjisi, petrol ürünleri, biyogaz, nükleer yakıt gibi termik kaynakları kullanan çok sayıda termik santral vardır. Termik santraller, yakıtın ve mekanik enerji üreten makinenin tipine göre dört kısma ayrılır: Buhar Türbinli Santraller, Gaz Türbinli Santraller, Dizel Santraller ve Nükleer Santrallerdir (Taşkın, 2018).

Termik santraller genel olarak çeşitli fosil yakıtların (kömür, fueloil, doğal gaz vb.) yanmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisinden elektrik enerjisi üreten enerji merkezleri olarak adlandırılabilirler. Katı, sıvı ya da gaz haldeki fosil yakıtların kimyasal enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü enerji santrali olarak da tanımlanabilirler. Bir kazan içerisinde gerçekleşen yanma yüksek sıcaklık ve basınçta gerçekleşmektedir. Bu yüksek sıcaklıkta suyun buharlaşması sağlanmakta, düşük basınçlarda ise su buharı genişlemektedir. Bu sırada gerçekleşen genişleme ise bir enerji türbinine mekanik enerji kazandırılması için kullanılmakta ve bu sırada elektrik üretilmektedir. Bu su buharı daha sonra soğutulmakta ve yeniden kullanılmaktadır. Genel olarak kömür ile işletilen bir termik santralde yaklaşık verim %40 civarındadır. Türkiye’de kömür enerji içeriği oldukça düşük olup, genel olarak maden kömürü, linyit, fueloil, motorin, doğal gaz, LPG gibi fosil yakıtlar ve türevleri kullanılmaktadır. Termik santrallerden maden kömürü, linyit ile çalışanları hammadde kaynaklarına yakın, doğal gaz, fuel-oil gibi yakıtla çalışanları ise tüketim sahalarına yakın kurulmuşlardır (Goncaloğlu vd. 2000).

Termik santrallerde kullanılacak kaynağa göre büyüklüğü değişmektedir. Özellikle kömür kullanan tesisler diğerlerine göre oldukça büyüktür. Kömür kullanılan tesislerde öncelikli olarak kömür öğütülmekte ve 500°C’nin üzerinde ısıtılmış yanma kazanlarına gönderilir. Büyük bir termik santralin kömür tüketimi günde 3000 tonu aşar.

Sera Gazlarının Takibi ve raporlanması (MRV) ile termik santrallerden kaynaklı CO₂ emisyonları takip edilecek ve dünyaya salınan CO₂ miktarı kadar üretecekleri teknolojilerle CO₂ geri kazanım sağlayacaktır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda sadece ağaç dikme ve yetiştiriciliği şeklinde yapılsa da ilerleyen yıllarda yeni teknolojilerin geliştirilmesi gerekecektir.

Bu çalışmada, yaşam döngüsü çalışmasından yola çıkılarak 300 MW’lık bir termik santral örneği ele alınarak emisyon hesabı yapılmıştır. Elde edilen emisyon hesapları ile kaynak akışları ve tesisin kategorisi belirlenmiştir. Elde edilen tüm veriler değerlendirilerek santralde oluşan CO₂’in değerlendirilmesi için dünya çapında yapılan araştırmalar değerlendirilmiştir.

CO₂ emisyonları ise dünya genelinde 128,8 Mt’dan 2000 yılında 204,1 Mt’ya 2001 yılında ise 198,8 Mt’ya yükselmiştir. Türkiye’nin OECD ülkeleri içerisinde 2000 yılında emisyon payı %1,6’dır. Türkiye gelişmekte olan bir ülke olmasından hareketle enerji alanında sürekli kesintisiz, güvenilir, ekonomik kaynaklar ve pazarlama ihtiyacı vardır. Türkiye 1991-2002 yılları arasında enerji üretim-tüketim eğilimlerinin grafiği analiz edildiğinde sürekli enerjiyi ithal ederek kullanılmaktayız. Ülkemizde üretim-tüketim karşılaştırma oranına baktığımızda 1991 yılında % 47,68 iken bu oran 2002 yılında %31,33’e kadar düşmüştür ve 2002 yılında tüketilen enerji miktarının %69,67’lik bir kısmı yine ithal enerji kullanılarak tüketilmiştir (Selici vd. 2002).

Türkiye’nin enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu çerçevede enerji politikasında mümkün olduğu kadar yerli enerji kaynakları kullanılmasına öncelik verilmiştir. Bu prensip çerçevesinde özellikle elektrik üretiminde enerji azlığından dolayı linyitler önemli bir yer almıştır. Düşük kaliteli linyit değerlerinin ısı değeri düşük fakat kükürt değeri yüksek olmasından dolayı termik santrallerinde linyitten kaynaklı SO_x emisyonları ilgili yönetmelikte belirtilen sınır değerlerini aşmakta ve bunu en aza indirmek için (BGD) baca gazı kükürt arıtma tesisi kurulmak gerekmektedir. Bu açıdan mevcut termik santrallerde yönetmeliğe uygun olarak baca gazı kükürt arıtma (BGD)

tesisleri kurulmaktadır. 2001 yılında yenilenebilir enerji kaynakları üretim ve tüketimi 11 Mt olup birincil enerji kaynaklarının arzı da %15'i olarak gerçekleşmiştir. 2016 yılı sonu itibari ile küresel enerji kullanımı 13,147 Milyar TEP, Türkiye 126,9 milyon TEP miktarı olarak hesaplanmıştır. Türkiye, birincil üretimde yerli kaynakları kullanması durumunda en yüksek linyit %39 oranla ardından hidrolik %27, rüzgâr %8 ile takip etmektedir. 2011 yılı birincil enerji üretim bakımından hidrolik %14, rüzgâr %1, linyit %50, taş kömürü %4 oranı bulunmakta iken, 2016 yılı hidrolik %27 ve rüzgâr %8 ile büyük artış payı göstermiş olup linyit %39 ve taş kömürü %2 oranı ile kayda değer düşüş gerçekleşmiştir (Koç vd. 2018). Toplam kömür üretiminden sonra ikinci en yüksek üretime sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Biyokütle (hayvan, odun ve bitki atıkları) yenilenebilir enerji kaynaklarının 2/3'ünü oluşturmaktadır ve geriye kalan 1/3'lük kısmını da hidrolik enerji yer almaktadır (Koç vd. 2018).

Sera gazları emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir bir dünya için Türkiye olarak yeraltı kaynaklarımızdan olan toryum, uranyum, bitümlü şistler, asfaltit, ham petrol, doğal gaz, taş kömür ve linyit gibi fosil yakıt rezervleri ile biyokütle, jeotermal, hidrolik, rüzgâr, güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynak potansiyellerini kullanılmalıdır.

Uygun koşulların sağlanması halinde katı, sıvı gaz halde bulunan yakıtlar yakılarak elde edilen ısıdan mekanik enerji elde edilmekte ve elde edilen bu enerji ile elektrik üreten teknolojiler genel olarak termik santral olarak bilinmektedir. Bu şekilde elde edilen enerjinin maliyeti hidroelektrik santrallerde elde edilen enerjinin maliyetinden yüksektir.

Katı Yakıtlı (Kömür – Linyit) Termik Santrallerde, yakıt olarak kömür veya linyit kullanılmaktadır. Yakıtın yakılmasıyla elde edilen ısı suyun buharlaşmasını sağlamak ve buharın kanatları çevirmesi neticesinde jeneratörün çalışarak elektrik ürettiği santrallerdir. Akışkan yataklı Termik santraller genel olarak 1970'li yıllardan beri en çok tercih edilen teknolojiler arasındadır. Son yıllarda akışkan yataklı teknolojilerde iyileştirmelerle kullanılmaya devam etmektedir. Bu sistemin en büyük özelliği yakıt esnekliği ve düşük emisyonudur. Akışkan yataklı kazanlar akışkanlaştırma koşullarına göre kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yataklı kazanlar olarak ayrılmaktadır (Topal vd. 2018).

Tablo 1. Türkiye'deki Termik Santraller, Yakıtları ve Kurulu Güçleri

Termik Santral	Yer	Yakıt	Güç (MW)
Zonguldak Eren (ZETES)	Zonguldak	İthal kömür	2790
Afşin – Elbistan B	Kahramanmaraş	linyit	1440
Afşin – Elbistan A	Kahramanmaraş	linyit	1335
Sugözü	Adana	İthal kömür	1320
İçdaş Bekirli	Çanakkale	İthal kömür	1200
İskenderun Atlas	Hatay	İthal kömür	1200
Soma B	Manisa	Linyit	990
Kemerköy	Muğla	linyit	630
Yatağan	Muğla	Kömür	630
Çayırhan	Ankara	Kömür	620
Seyitömer	Kütahya	linyit	600
Kangal	Sivas	linyit	457
Tufanbeyli	Adana	Linyit	450
Yeniköy	Muğla	linyit	420
İçdaş Değirmencik	Çanakkale	İthal kömür	405
Silopi	Şırnak	Asfaltit	405
Tunçbilek	Kütahya	linyit	365
Aliağa	İzmir	İthal kömür	350
18 Mart Çan	Çanakkale	İthal linyit	320
Çatalağzı	Zonguldak	Yerli kömür	300
Aksa Bolu Göynük	Bolu	Linyit	270
İskenderun Demir Çelik	Hatay	İthal kömür	220
Orhaneli	Bursa	linyit	210

Çolakoğlu	Kocaeli	İthal kömür	180
Yunus Emre	Eskişehir	Linyit	145 (290)
Kardemir	Karabük	Kömür	78
Polat	Kütahya	Linyit	51
Soma A	Manisa	Kömür	44
Eti Soda Kojenerasyon	Ankara	Linyit	24
Kağıt	Kahramanmaraş	İthal kömür	16
Susurluk şeker fabrikası	Balıkesir	Linyit	9,6
Amasya Şeker Fabrikası	Amasya	Linyit	7,76
Kıpaş Kağıt Fabrikası	Kahramanmaraş	İthal kömür	7,6 (25)
Aynes Gıda	Denizli	Linyit	5,5
Küçükler Tekstil	Denizli	Linyit	5
Kütahya Şeker Fabrikası	Kütahya	Linyit	4,57(7,13)
Çankırı Tuz Fabrikası	Çankırı	Linyit	1,64
Göknur Gıda	Niğde	Kömür	1,55

Tablo 1’de Türkiye’de aktif olan termik santraller verilmiştir. Parantez içerisindeki değerler ise mevcut tesisin yapım aşamasında olan kısmının tamamlanmasından sonra ulaşacağı güçtür. Türkiye’de aktif olan santral sayısı 38’dir. Kurulu güç 17,538 MWe, yıllık elektrik üretimi yaklaşık 90,3 GWh’dır. Yapım aşamasında olan kömür ve linyit yataklı santral sayısı 9, üretim lisansı alan kömür ve linyit yataklı santral sayısı 7, ön lisans alan kömür ve linyit yataklı santral sayısı 7, kurulması planlanan kömür ve linyit yataklı santral sayısı ise 7 adettir.(Karaatlas, 2017). Yapım aşamasında olan santrallerin başında 1320 MW güce sahip Çanakkale’deki Cenal Karabiga Termik santrali ve Bartın’da bulunan 1100 MW güce sahip Amasra Termik Santrali gelmektedir. Kurulması planlanan santrallerin başında 1220 MW güce Zorlu Enerji Kumpınar Termik Santrali ve 800 MW güce Bandırma 3 İthal Kömür Santrali gelmektedir.

Ülkemizde elektrik üretiminde en büyük pay doğalgaza aittir. Bunu takiben HES’ler taş kömür, linyit, ithal kömür, rüzgâr, motorin ve fuel-oil gibi sıvı yakıtlar ve ayrıca jeotermal, güneş enerjisi ve biyogazdan da elektrik üretimi yapılmaktadır. Aşağıda elektrik üretimi ile ilgili olarak kaynaklarına göre günlük elektrik üretimi Tablo 2’de ve son bir yıllık elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Kaynaklara Göre Günlük Elektrik Üretimi. (Enerji Atlası, 2018).

Kaynak	Üretim	Üretim yüzdesi
Doğalgaz	260 558 180	%34,6
HES	180 124 280	%23,92
Taş kömür ve linyit	121 293 230	%16,11
İthal kömür	118 493 250	%15,74
Rüzgâr	39 087 600	%5,19
Fuel-oil	13 330 330	%1,77
Jeotermal	13 278 970	%1,76
Biyogaz	6 802 920	%0,90
Güneş (2017)	74 000	%0,29

Tablo 3. Son Bir Yıllık Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı . (Enerji Atlası, 2018)

Kaynak	Üretim	Üretim yüzdesi
Doğalgaz	92 481 857	%33.16
HES	65 279 160	%23,40
Taş kömür ve linyit	43 680 722	%15.66
İthal kömür	49 312 946	%17.68
Rüzgâr	16 186 056	%5,8
Jeotermal	4 456 120	%1,60
Biyogaz	2 139 772	%0,77

İthalat	3 716 344	%1,33
Diğer Termik	1 682 442	%0,60

YÖNTEM

Hedef

Çalışmada uygulanan aşamalar aşağıda verilmiştir..

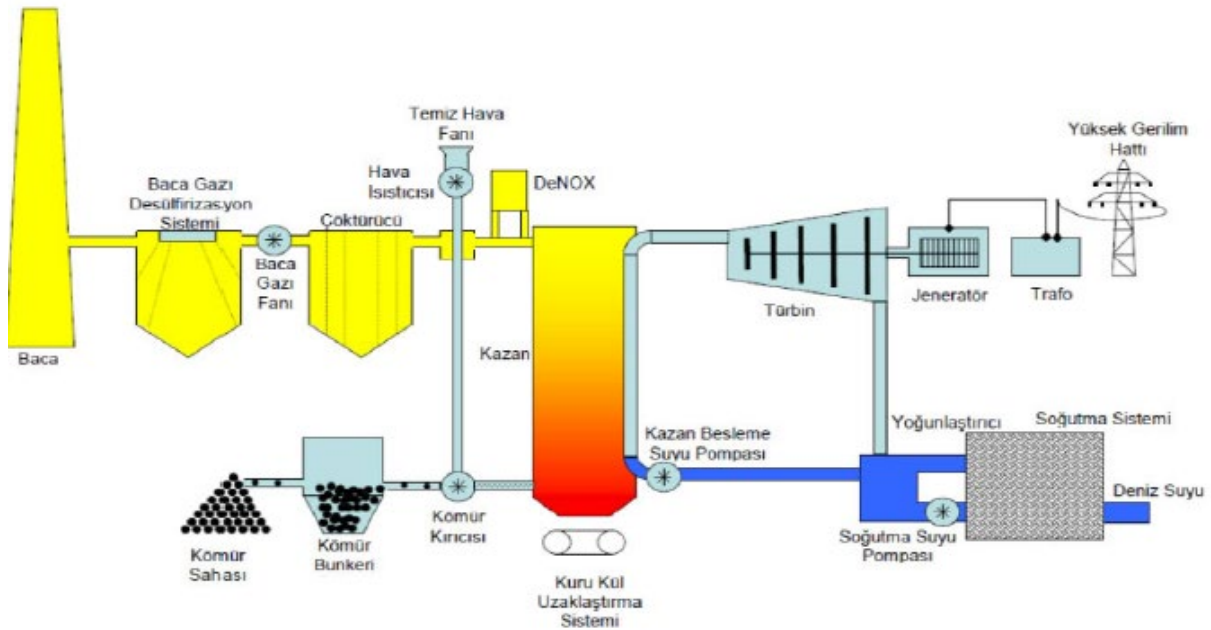
- Termik santral teknolojilerinin ve termik santral çeşitlerinin incelenmesi.
- Kömür ısıl değerlerine göre emisyon hesabının yapılması ve karşılaştırılması.
- Kullanılacak sistem incelenmiştir.
- Emisyon hesapları yapılmış ve emisyonları azaltmak için kullanılabilecek yöntemler incelenmiştir.

Bu hedefe ek olarak, yakıt türlerinden kömür (linyit) seçilmiş olup, kömürün ısıl değerlerine bağlı olarak CO₂ emisyonu hesaplanmış ve çevreye verilen zararı azaltacak yöntemler hedeflenmiştir.

Kapsam

1. Fonksiyonel Birim

Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak 300 MWh'lık (2*150 MWh) termik santrali seçilmiş ve yerli linyit yakıtlı termik santralin çevresel etkileri ve bu etkilerin en aza indirilmesi için çalışmalar yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Kömür ile çalışan termik santral

2. Sistem Sınırları

Sistem sınırları, santral sahası, santrale yakıt sağlayan kömür ve kireçtaşı maden sahası, santralden kaynaklanan katı atık depolama alanı ve enerji iletim hatlarıdır.

3. MRV Sistemi

İklim değişikliği anlaşıldığından bu yana işletmelerin izlenmesi ve raporlanması amacıyla kullanılan sistemdir. İklim değişikliğiyle savaşmak için işletmelerin bilgiye ihtiyacı vardır. Sistem Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve KYOTO protokolünde derlenerek oluşturulmuştur. Bali eylem planında MRV terimi kullanılmıştır. 2010 yılında tanımlanmış ve Varşova'da 2013 yılında ayrıntılarıyla sunulmuştur. İşletmeler her 4 yılda daha ayrıntılı raporlarını 2 yılda bir genel raporlarını sunmayı kabul etmişlerdir. Bu raporlar iklim değişikliği hakkında net bilgilere ulaşmamıza yardımcı olmaktadır. MRV ülkelerin emisyon salınımını nasıl azaltabiliriz önlemleri veri toplayarak bilgilerin saklanması, uluslararası incelemeye hazır halde veri bulunması

kullanılan terimdir. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) MRV doğruluğunu onaylıyor ve işletmelerin kendi aralarında güvenini sağlıyor. İşletmeler sera gazını azaltmak için elle tutulur işlemler, katkıda gelişmiş ülkelerin gelişmekte olan ülkelere destek sağlamasıdır. İşletmeler MRV sistemini kullanarak 2015 ilk çeyreğinde doğru bir şekilde uluslararası topluma sunulması amaçlanmıştır. Küresel ısınmayı 2°C'nın altına düşürmek için izleme yapmak MRV bireysel katkıların emisyon azaltımını ölçmek için bir çerçeve sağlıyor emisyonu azaltımında yol gösterici oluyor. Farklı ülkelere, işletmelerin sera gazı emisyonları izlenerek birleştiriliyor ve küresel ölçekte izlenmiş oluyor ve sınır geçilmemeye çalışıyor. 2015 anlaşma kapsamında gelecekteki MRV mimarisinin unsurları yaklaşmakta olan müzakerelerde tanımlanacaktır. Tarafların, farklı ulusal yaklaşımları tartışabilecekleri birbirlerine zorluklar, fırsatlar, güçlü yönler ve iyi uygulamalar hakkında bilgi verebilecekleri bir foruma ihtiyaçları vardır. Böyle bir forum sağlayarak, azaltma ve azaltmayla mücadele uluslararası ortaklığı, kurumsal düzenlemeler, yasal çerçeveler, veri toplama, raporlama ve muhasebe işlemlerine, katkıların geliştirilmesine, önceden açıklanması gibi MRV'ye özgü konularda kapasite oluşturma ve eşler arası karşılıklı paylaşım yoluyla katkıda bulunmayı amaçlamaktadır (Sera Gazı Emisyon Raporlarının Doğrulanması Ve Doğrulayıcı Kuruluşların Yetkilendirilmesi Tebliği, 2015).

4. Termik Santrallerde İzleme Planının Hazırlanması

Ek listede yer alan ve içerisinde termik santrallerinde olduğu işletmelerin sera gazı emisyonlarını izlemek ve doğrulamak için gerekli belgelerin hazırlanmasına *izleme planı* denir. Bu izleme planının elektronik ortamda hazırlanması ve bakanlığa sunulan şablona uygun olmalıdır.

5. Doğrulayıcı kuruluş

Doğrulayıcı kuruluş, elektronik sistem üzerinden emisyon raporuna ulaşır ve bu rapor ile ilgili olarak gerekli incelemeleri yapar. İnceleme sırasında tesis gerekli olan belgeleri doğrulayıcı kuruluşa sunmakla yükümlüdür. İnceleme tamamlandıktan sonra doğrulama raporu hazırlanarak sitem üzerinden onaylı olarak işletmeye verilir. Doğrulama raporunu alan tesis Çevre ve Şehircilik Bakanlığının belirlediği süre içerisinde yıllık emisyon raporunu sistemden bakanlığa gönderir.

6. Raporlamanın İzleme Planı ile Uyumu

Tesis tarafından yapılan raporlamada tesis tarafından yürütülen tüm faaliyetler, bu faaliyetlere bağlı oluşan sera gazı emisyonlarının kaynak akışı ve emisyon noktaları eksiksiz olarak verilmelidir. Emisyonun olduğu her bir faaliyet için toplam kapasite ve raporlanacak olan sera gazları, izleme planında belirtildiği şekilde olmalıdır. Tesis için belirlenen izleme yöntemleri bakanlıkça onaylanan izleme planı ile uyumlu olmalıdır. Bu nedenle izleme planlarının Yönetmelik ve İ&R Tebliği ile uyumlu ve raporlama dönemi boyunca doğru şekilde uygulanması gerekmektedir.

BULGULAR

1. Hesaplamalar

Bu çalışmada Türkiye'de bulunan termik santraller baz alınmış olup ancak herhangi bir termik santral işaret etmemektedir. Türkiye de bulunan Elektrik A.Ş. ye ait hayali bir termik santralde birincil yakıt olarak kömür kullanılarak, yıllık 6500 saat çalışma süresince elektrik üretilmektedir. Tesiste aynı zamanda baca gazı yıkamada gerçekleştirilmektedir. Tesis, 2 adet kazan 2 adet buhar türbini ve 8 adet jeneratörden oluşmaktadır.

Kömür kazanı (2 adet)

- Toplam Termal Anma Isıl gücü: 300MWth
- Hesabı:
 - Kullanılan yakıt türü: Kömür (yıllık toplam 591 500 ton linyit tüketilmektedir)
 - Buhar türbini (2 adet)
 - Toplam termal anma ısı gücü: 150 x 2
 - Kullanılan yakıt türü: Kömür (yıllık toplam 591 500 ton linyit tüketilmektedir)

- Jeneratörler (8 adet)
- Toplam termal anma ısıl gücü: 1 MW (her bir jeneratör için)
- Kullanılan yakıt türü: Motorin (toplam 50,4 ton tüketilmektedir.)
- Ulaşım:
 - Tesiste kullanılan damperli kamyon
 - Kullanılan yakıt türü: Motorin
 - Yıllık toplam 275 ton tüketilmektedir.
- Baca gazı temizleme:
 - Yıllık 22 700 ton kireç kullanılmaktadır.

Faaliyetler		
F1	Yakıtların Yanması	
Emisyon Kaynakları		
K1	Kömür Kazanı	
K2	Jeneratörler (2 adet)	
K3	Baca	
Emisyon Noktaları		
EN1	Baca	
Kaynak Akışları		
Faaliyet Verisi		
KA1	Linyit	591,5 ton
KA2	Motorin	50,4 ton
KA3	Kireç	227,5 ton

Yakıtların yanmasından kaynaklanan yıllık tahmini emisyonlarının hesaplanması

Yıllık emisyon miktarı = $FV \times EF \times NKD \times YF$ Denklem 1;

Yakıtların yanmasından kaynaklanan yıllık emisyonların hesaplanmasına ilişkin verilen Denklem 1’de kullanılan hesaplama faktörleri; emisyon faktörü, net kalorilik değer ve yükseltgenme faktörüdür. Tahmini emisyonlarının ihtiyatlı bir hesaba dayandırılması için yükseltgenme faktörü 1 alınır.

Yıllık emisyon miktarı = $[tCO_2]$

FV= Faaliyet verisi $\{T_j, t \text{ yada } Nm^3\}$

NKD= Net Kalorifik Değer $[T_j/Gg]$

EF= Emisyon Faktörü $[tCO_2/TJ, tCO_2/t \text{ yada } tCO_2/Nm^3]$

YF= Yükseltgenme Faktörü

DF= Dönüşüm Faktörü

Her bir faaliyet için kullanılan standart emisyon faktörleri ve net kalorilik değerler, İ&R tebliğinin Ek-%’inden, IPCC kılavuz dokümanından ya da sunulabilecek ek bir kaynaktan alınabilir. Ancak kaynağın güvenilirliğinin değerlendirilmesi Bakanlıkça yapılır. Ancak yıllık tahmin emisyonların belirlenmesine ilişkin kullanılacak olan diğer hesaplama faktörleri için kullanılacak değerler İ&R Tebliğinin Madde 29’u uyarınca tanımlanmıştır. Sera gazlarının emisyonlarının ihtiyatlı bir tahminine dayanması için yükseltgenme ve dönüşüm faktörlerinin 1 alınması gerekmektedir.

Bu verilere göre emisyon hesapları;

-Kaynak Akışı 1 (Linyit) = $FV * EF * YF * DF * NKD = 591,500 * 11,9 * 101 * 1 * 1 = 710\ 923 \text{ ton } CO_2/\text{yıl}$

-Kaynak Akışı 2 (Motorin) = $50,4 * 43 * 74,1 * 1 * 1 = 160,59$ Ton CO₂/yıl

-Kaynak Akışı 3 (Kireç) = (Kireç için NKD YF ve DF değerleri bulunmamaktadır)

Toplam Yıllık CO₂ Emisyonu = 710 923 + 160,59 + 100,1 = 971 613 ton CO₂/yıl

Tablo 4. Tesisin Toplam Sera Gazı Emisyon Hesabı

Kaynak Akışları		Faaliyet Verisi (ton)	NKD	EF	YF	DF	Emisyon (tonCO ₂ /yıl)
KA1	Linyit	591,500	11,9	101	1	1	710 923
KA2	Motorin	50,400	43	74,1	1	1	160,59
KA3	Kireç	227,500		0,44			100,1
Toplam Tahmini Sera Gazı Emisyonu					971,613 ton/yıl		

Uygulaması gereken kademeyi tanımlayabilmek için işletme, yıllık tahmini toplam sera gazı emisyonlarına göre tesis sınıflandırmasını belirtildiği şekilde yapmalıdır. Yapılan hesaplamalar Tablo 4’de verilmiştir. Kategorilerin belirlenmesi sırasında biyokütleden kaynaklı CO₂’ler hesaplamalara dahil edilmeyerek doğrulama döneminde verilen CO₂ emisyon miktarına göre Kategori A, Kategori B ve Kategori C olarak sınıflandırılmaktadır. Belirlenen termik santralin tesis kategorisi yapılan hesaplamalar ile Kategori C olduğu belirlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Tesisin Bulunduğu Kategori

Tesisin Kategorisi	C Kategorisi (>500,000 ton CO ₂)
--------------------	--

Kaynak akışları, hesaplama temelli yöntemlerle sınıflandırılır. Sınıflandırma yapılırken her bir akıştan kaynaklı emisyonun toplam emisyon içindeki payı oldukça önemlidir. Ölçüm temelli yöntemle izlenen sera gazı emisyonları için kademeler kaynak akışı kategorisi Sera gazları Emisyonları takibi yönetmeliğinde Küçük Kaynak Akışı (5.000 ton fosil CO₂den daha), Önemsiz Kaynak Akışı (1.000 ton fosil CO₂den daha düşük) ve Büyük Kaynak akışı şeklinde sıralanmıştır. Bu kaynak akışlarına göre emisyonlar sınıflandırılır (Tablo 6).

Tablo 6. Kaynak Akış Kategorileri

Kaynak Akışları	Emisyonlar (ton CO ₂)	Kaynak Akış Kategorisi	
KA1	Linyit	710 923	Büyük Kaynak Akışı
KA2	Motorin	160,59	Önemsiz
KA3	Kireç	100,1	Önemsiz

Kademe belirlenmesinin önemli olma sebebi ise; emisyon raporundaki yıllık emisyonlar faaliyet verisi ve hesaplama faktörleri kullanılarak hesaplanacağından önem arz etmektedir. Kademe en düşükten en yükseğe: 1, 2a, 2b, 3 ve 4 şeklinde sıralanmaktadır. 2a ve 2b eşdeğer kademelerdir. Yani 2a kademesinin bir üst kademesi 3 tür. En düşük kademe her zaman 1’ dir. Kademe belirlemedeki en önemli kural “aksi belirtilmediği sürece en yüksek kademeyi uygulamaktır.”

Her bir Kaynak Akışı İçin Kademelerin seçimi

Tablo 7’de Linyit İçin Kademe Seçimi, Tablo 8’da motorin İçin Kademe Seçimi ve Tablo 9’da kireç için kademe seçimi ayrıntılı olarak verilmiş olup, hesaplamalar Tablo içerisinde yapılmıştır.

Tablo 7. Linyit İçin Kademe Seçimi

Faaliyet Verisi (kademe 3 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4
Belirsizlik	± % 7,5	± % 5	± % 2,5	± % 1,5
Emisyon Faktörü(kademe 3 seçildi)				
Kademenin	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	
	--	--	Analiz	

Tanımı			
Analiz sıklığı	20,000 ton (yılda en az bir defa)	--	---
Net Kalorifik Değer (kademe 3 seçildi)			
	Kademe 1	Kademe 2a/2b	Kademe 3
Kademenin Tanımı	--	--	Analiz
Analiz sıklığı	20,000 ton (en az yılda bir defa)	--	--
Yükseltgenme Faktörü (kademe 3 seçildi)			
	Kademe 1	Kademe 2a/2b	Kademe 3
Kademenin Tanımı			Analiz
Analiz Sıklığı	20,000 ton (yılda en az bir defa)		

Tablo 8. Motorin İçin Kademe Seçimi

Faaliyet Verisi (kademe 2 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4
Belirsizlik	± % 7,5	± % 5	± % 2,5	± % 1,5
Emisyon Faktörü (kademe 2 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	
Kademenin Tanımı	--	Analiz	--	
Analiz sıklığı	--	--	--	
Net Kalorifik Değer (kademe 2 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2a/2b	Kademe 3	
Kademenin Tanımı		Analiz		
Analiz sıklığı				
Yükseltgenme Faktörü (kademe 1 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2a/2b	Kademe 3	
Kademenin Tanımı	Analiz			
Analiz Sıklığı				

Tablo 9. Kireç İçin Kademe Seçimi

Faaliyet Verisi (kademe 1 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4
Belirsizlik	± % 7,5	± % 5	± % 2,5	± % 1,5
Emisyon Faktörü (kademe 2 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	
Kademenin Tanımı	Standart Değer			
Analiz sıklığı				

Yanma Emisyonlarının Hesaplama Faktörleri İçin Kademelerin Tanımı

İşletmeler yönetmeliğinin Ek-1' inde listelenen faaliyetler altında gerçekleşen her tip yanma işleminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını, bu bölümde yer alan kademeleri kullanarak izlenir. Yakıtların proses girdisi olarak kullandığı durumlarda, yanma emisyonları kuralları ile aynı kurallar geçerlidir. Kademe 1, 2a, 2b, 3 yazılacak kademe 2a'nın tercih edildiği belirtilecek. Kirecin faaliyet verisinde belirsizliğin belirlenmesi +%7,5 olarak kademe 1 den belirlenmiştir. Kirecin emisyon faktörü kademe 1 den standart değerden seçilmiştir. Kirecin NKD'si ve yükseltgenme faktörü bulunmamaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Termik santralden kaynaklı CO₂ emisyonlarının atmosfere verilmemesi için bu zamana kadar geliştirilen sistemler sonuç ve öneriler kısmında değerlendirilecektir. MRV sisteminin amacı; CO₂ emisyonlarının takibi ve raporlanması nedeniyle bir sonraki alınacak önlemler endüstriyel kaynaklı CO₂ emisyonlarının yeniden kullanıldığı sistemlerin zorunlu tutulması olacaktır. Bu çalışma ile endüstrilerden kaynaklı CO₂ emisyonlarının nasıl yeni bir teknoloji ile tutulabileceği ve depolanabileceği çalışılmıştır. Konuyla ilgili birkaç çalışma referans edilerek verilmiş olup konuyla ilgili bilimsel çalışmalar hızla devam etmektedir. 300 MW'lık bir termik santralden yaklaşık olarak hesap ile 971 613 ton CO₂ /yıl olarak belirlenmiştir.

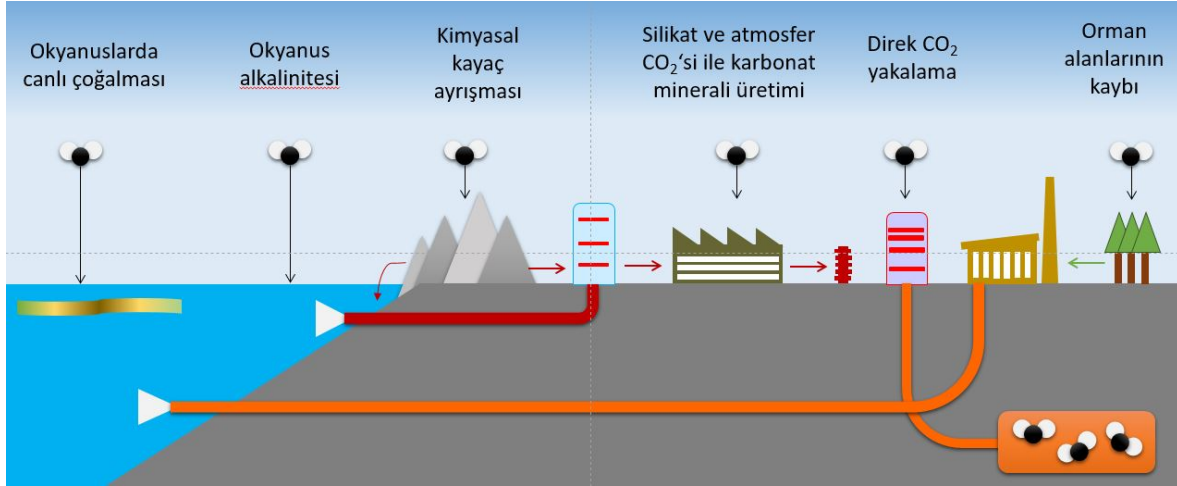
Karbondioksit Tutum ve Depolaması (KTD)

Karbondioksit tutumu: Enerji üretimi sonucu oluşan karbondioksiti olan fabrika ve santral bacalarından ayrıştırılması işlemidir. Bu sayede iklim değişikliğinde başrol oynayan karbondioksit baca gazlarından ayrıştırılarak atmosfere salınması engellenir. Bu işlem sonrasında baca gazlarından ayrıştırılarak tutulan karbondioksitin, uygun jeolojik koşulların bulunduğu bölgeye taşınması ve buradan yeraltına verilmesi gerekir (IPCC, 2005).

Tablo 10. Dünya Geneli CO₂ Kaynakları veya Endüstriyel Profili (IPCC, 2005)

İşlem	Kaynak Sayısı	Emisyonlar (tCO ₂)
<i>Fosil Yakıtlar</i>		
Elektrik	4942	10 539
Çimento üretimi	1175	932
Rafineriler	638	798
Çelik-Demir Sektörü	269	646
Petrol ve Gaz Üretimi	---	50
Diğer Kaynaklar	90	33
<i>Biyokütle</i>		
Biyoetanol ve biyoenerji	303	91
Toplam	7887	13 466

Tablo 10’de dünya genelinde CO₂ kaynakları veya endüstriyel kullanım profili verilmiştir. Bu tabloya göre en yüksek emisyon elektrik üretim endüstrisinden kaynaklanmaktadır. Endüstrilerden kaynaklı emisyonların tutulması için geliştirilen karbondioksit tutma ve depolanması; karbondioksitin tutularak depo bölgesine götürülmesi atmosferden uzak tutma işlemidir. Başka azaltma teknikleri düşük karbon içerikli yakıtlar nükleer enerji yenilenebilir enerji gibi seçenekleri içerir. KTD yöntemi maliyetin azaltılması sera gazını atmosfere bırakmada esneklik sağlar. Teknolojiler, CO₂ tutma emisyonunun en çok çıktığı yere uygulanabilir. Tutulan CO₂ hacmi azaltılarak jeolojik işlemlerde okyanuslarda minerallerde ya da endüstriyel işlemlerde kullanılmak üzere taşınır. Depolama yöntemleri jeolojik depolama derin deniz deşarjı karbondioksitin inorganik karbonatlar içerisinde hapsedilmesidir.



Şekil 3. Karbondioksit Yakalama ve Depolama Şekillerinin Gösterimi

Şekil 3’de karbondioksit yakalama ve depolama şekillerinin gösterimi verilmiş olup, bu zamana kadar geliştirilen teknolojiler karbondioksiti %85-95 tutar. KTD sistemi bulunmayan işletmelerin enerji tüketimi %10-40 oranında daha fazladır. KTD kullanan tesisle kullanılmayan tesis karşılaştırıldığında KTD kullanan tesis %80-90 emisyonun azalmasına neden olur. 300 mW’lık bir termik santralden kaynaklı emisyonların bu sistem ile %85 tutulduğu düşünülürse bu tesisin yıllık tuttuğu CO₂ emisyonları miktarı $971\ 613\ \text{ton} \cdot 0,85 = 825\ 871\ \text{ton CO}_2 / \text{yıl}$ ’dır.

Günümüzde birden çok emisyon tutma sistemi vardır. Santrallerdeki yakma ünitesinden sonra oluşan emisyonu tutmak için geliştirilen kireç uygulaması hem kükürdün tutulması hem CO₂ emisyonlarının tutulması açısından önemlidir. Ayrıca baca gazının su buharından geçirilmesi ile oluşturulan sistemler özel koşullar altında ekonomik açıdan uygundur. Ekonomik uygulamalar arasında öncelikli olarak ağaç dikme gösterilirken yoğun CO₂ çıkışı olan tesislerde özel olarak yapılmış reaktörlerde alg yetiştiriciliği de dikkat çekmektedir. Algler karbon kaynağı olarak CO₂ kullandıklarından CO₂ emisyonlarının tutulmasında ayrı bir öneme sahiptir. Yağ içeriği yüksek algler yetiştirildiğinde biyo yakıt üretimi ve besin katkı maddelerinin geliştirilmesinde kullanılabilir. Endüstriyel CO₂ tutulması için en uygun sistemler kapalı fotobiyoreaktörlerdir ve bu sistemler kontrolü kolay ancak oldukça pahalı sistemlerdir (Elener ve Öner, 2019). 300 MW’lık bir termik santralden kaynaklı emisyonların tutulmasında bu istemin kullanılması oldukça verimli olup hem endüstriyel üretim yapılması hem de doğaya dost bir tesis olması açısından oldukça önemlidir.

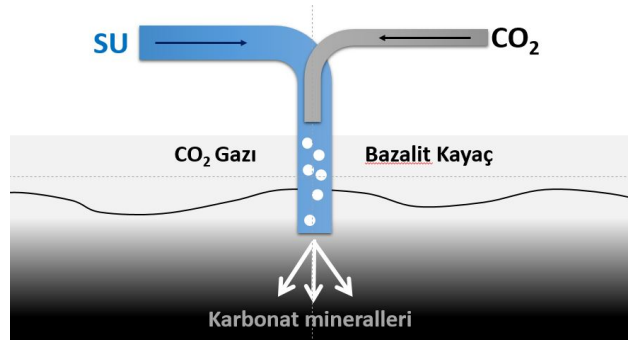
Derinde CO₂ depolanması için petrol ve doğalgaz endüstrisini geliştirilen birçok teknoloji türü kullanılmaktadır. Şu anda yapılan çalışmalarda, CO₂ 800 m derinliğinde tuz veya petrol alanına depolandığında yeryüzüne çıkması engellenebilmektedir. Okyanuslara depolama iki yolla yapılabilir. Sabit bir boru hattı veya hareket halindeki bir gemi yardımıyla yapılabilir. Okyanusa depolama ekolojik alanlara verebileceği zararlar halen araştırılmaktadır. CO₂’nin kirliliği su akıntılarında metal oksitlerle reaksiyona girerek kararlı karbonatlar oluşur. Ancak bu yöntem bugünkü teknoloji ile deney fazındadır. Kimyasal işlemlerde CO₂’nin endüstriyel kullanımları ile karbon içerikli ürünler elde edilmesi mümkündür. KTD gelişme aşamasında olup, tutulan emisyonun birleştirilmesi, taşınması

ve entegre KTD sistemlerine depolanması için bilimsel çalışmalar devam etmektedir. CO₂'nin tuz formlarına jeolojik depolama potansiyeli oldukça fazla olup uygulamadaki ekonomik potansiyel belirsizdir (IPCC. 2005).

Yeraltı İçi Enjeksiyonlar Karbon Dioksiti Taşa Çevrilmesi

Karbon yakalama ve depolama işleminin en büyük dezavantajlarından biri karbondioksit gazının hangi alanda depolanacağıdır. Bilim adamları tortu kayaların bulunduğu bölgelerde depolama işleminin yapılmasının en uygun alan olduğunu belirtmektedir. Tortu kayalarının bulunduğu bölgeler ise bitmiş petrol kuyularının yeraltı sularının azaldığı bölgeler ve kumtaşının bulunduğu alanlarda bulunmaktadır. Fakat depolama işleminin yapıldığı alanlardaki kayalarda oluşan deliklerden tekrar CO₂ gazının atmosfere dönmesine neden olabilecek olması endişe vermektedir.

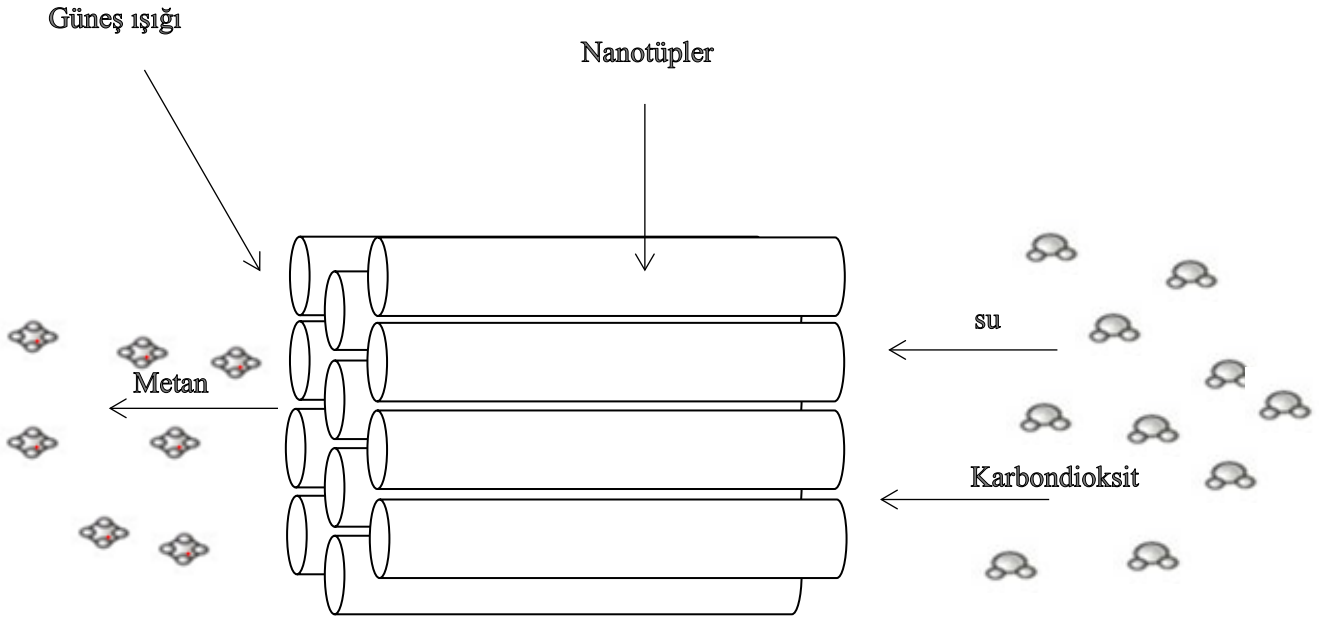
Bu nedenle 2006 yılında bilim adamları farklı bir arayışa girmişlerdir. Bazalt dünyada okyanusların dip kısmında ve yeryüzünde belli başlı jeolojik alanlarda bulunmaktadır. Bazaltın CO₂ ile tepkimesi sonucunda kumtaşından farklı olarak kalsit karbonat mineraller oluşmaktadır. Bu işlemin uzun zamanlar alacağı tahmin edildi Bu amaç doğrultusunda İzlanda'nın Reykjavik bölgesinin 25 km doğusunda CarbFix deneyi gerçekleştirdiler (Şekil 8). İzlanda yeraltında bulunan bazalttan CO₂ enjekte edilip yakında bulunan jeotermal enerji santralinde toplamayı hedeflemişlerdi. 2012' yılında bilim adamları gözlem amaçlı İzlanda'da 220 ton CO₂ yeryüzün 400 ile 800 metre altındaki kısımda bulunan bazalt katmanına enjekte işlemini gerçekleştirdiler. Bir yandansa karbonik asit oluşumunu gerçekleştirmek için gaz ve su eklendi. Atık haldeki karbon diğer kirletici gazlardan ayrılır. Karbonik asit oluşturarak suyun içinde karbonik asit çözünür. Çözelti depolama enjeksiyon işlemi için yeraltında bulunan bazalt katmanına enjekte edilir. Karbonik asit etrafta bulunan kayalardaki magnezyum ve kalsiyum maddeleri sızdırır. Belli bir süre sonra çözelti bazalt katmanında oluşan tepkime sonucunda kireç taşı meydana gelir. Daha sonra alanın bulunduğu kısımda bulunana kuyulardan örnekler alarak deneyler yapılarak değişimler izlendi. Bu işlem sırasında gözlem kuyusunda bulunan pompalarda meydana gelen arızaların meydana getiren karbon içeren kalsitten oluştuğu tespit edildi. Yapılan deneyler sonucunda depolama alanından alınan çözülmüş karbon ölçümlerinde depolanan karbonun % 95' inden daha fazla kısmın kalsit ve diğer minerallere dönüştüğü belirlendi (Alfredsson vd, 2013; Snæbjörnsdóttir)



Şekil 4. CO₂ Depolama Görünümü

Karbondioksitin Yararlı Bir Yan Ürüne Dönüştürülmesi

Enerji üretimi için kullanılan fosil kaynakların yakılması işlemi sonucunda atmosfere emisyon olarak verilen karbondioksitin sera gazı miktarında artışa neden olmaktadır. Atmosferde bulunan sera gazı miktarını dengelemek için CO₂ tutma ve depolama teknikleri ile karbondioksit yararlı bir yan ürüne döndürmek oldukça önemlidir. Emisyon sonucu oluşan gazdan sanayi kullanılan hammaddenin üretimi için kullanmak oldukça avantaj sağlamaktadır. Bu işlem ile ekonomik olarak oldukça kazanç sağlanmaktadır. Bunun yansıra dizel yakıtı, jet yakıtı gibi yeni bir yakıtı dönüştürmek oldukça kazanç sağlayacaktır. CO₂'yi sıvı yakıtı dönüşümü ile petrol kullanımında büyük oranlarda azalma görülecektir. Atıl durumdaki karbondioksit faydalı bir hammadde haline dönüşerek daha az kimyasalların kullanıma ve yenilenebilir kaynakların kullanımı daha aza indirecektir. Nanoteknoloji uygulaması ile fosil yakıtların kullanımı sonucu oluşan karbondioksiti yakıt olarak kullanmada yardımcı bir işlem olabilir. Böylelikle emisyonun atmosfere verilmesinin önüne geçilirken tesisin enerji ihtiyacını da karşılanabilir. Yakalama işlemi sonucu tutulan CO₂'yi değerlendirmenin bir başka yöntemi ise metan gibi yanabilir bir madde haline dönüştürmek. Karbondioksitin yapısında bulunan iki tane oksijen atomu yerine dört tane hidrojen atomunu yerleştirmek. Penn State'de, bilim adamları güneş enerjisini kullanarak karbondioksitten metan gazı üretimini gerçekleştirmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışmada bir katalizör ile titanyum oksit tüpleri kullanılıyor (Şekil 9).

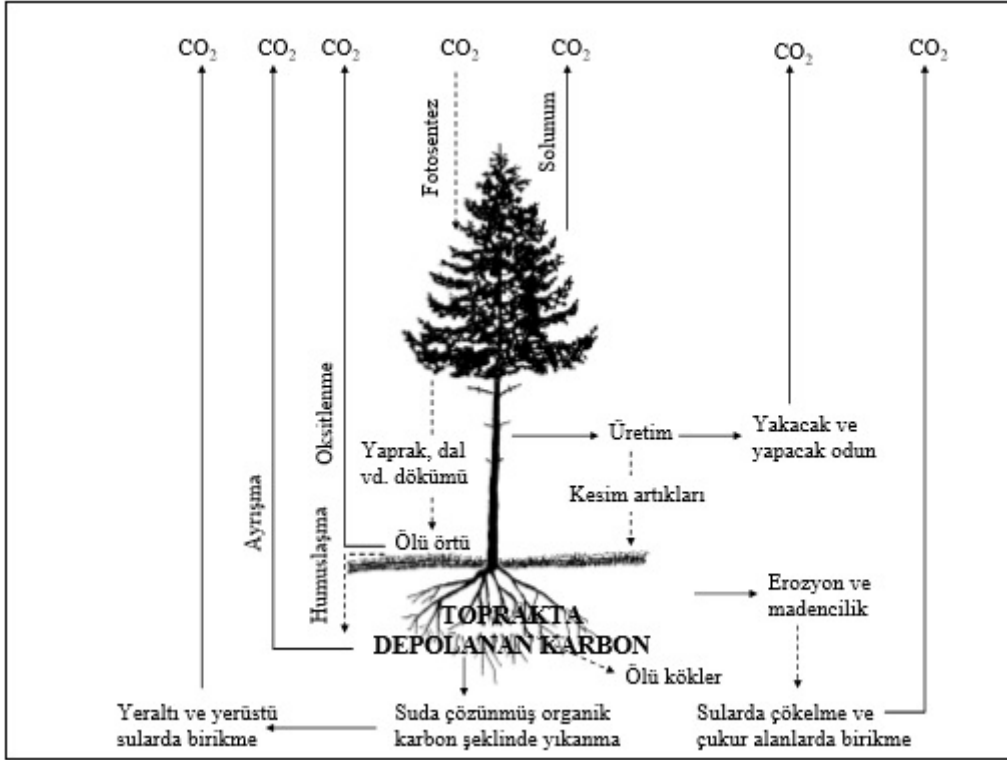


Şekil 5. CO₂'den Metanol Elde Edilmesi

Bu işlem ile karbondioksitin termal santralin yakınında depolama işlemi sonucu tesiste gerekli olan yakıtı temin edilebilir (Şekil 5). Karbondioksitin atıl duruma kalmasını önleyerek atmosfere emisyon olarak verilmesinin önüne geçirilecektir. Karbondioksitin metan gazına dönüşmesi işleminde güç kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanılması maliyet açısından bir avantaj durumuna gelmektedir (Yılmazoğlu, 2013).

Emisyon Miktarına Göre Ağaç Dikilmesi

Ağaç dikme işlemi günümüzde uygulanan en yaygın yöntemdir. Fosil yakıtlı kaynakların kullanımı sonucu oluşan karbondioksit ağaçlar için bir yutak vazifesi görmektedir. Ağaçlar yaptıkları fotosentez olayı ile atmosferde bulunan CO₂'yi yapraklarında bulunan stomalardan bünyelerine alarak yaşamlarını sürdürmek için besine dönüştürürler (Şekil 6).



Şekil 6. Ağacın CO₂' yi Tutması

Günümüzde termik santrallerde ve diğer karbondioksit salınımı yapılan faaliyetlerde genel olarak ağaç dikimi işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağaçların ne kadar karbondioksit tutacak miktarı ağaçların yaşına ve türüne bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Günümüzde yakın bir değer olarak yıllık olarak bir ağacın tuttuğu karbondioksit miktarı yaklaşık olarak 11 -12 kg değeri arasındadır. Bizim toplam emisyonumuz 971,613 Ton CO₂/yıl. Hesaplama yapıldığında;

$$(971,613 \text{ Ton CO}_2/\text{yıl}) * (103 \text{ kg/Ton}) / (12 \text{ kg/ ağaç}) = \sim 8,000,000 \text{ ağaç dikilmelidir}$$

KAYNAKLAR

- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2018). Sera gazı Emisyon İstatistikleri, 2016, Sayı: 27675.
- Taşkın E., (2018). Linyit Yakıtlı Pilot Termik Santral İçin Baca Gazi Emisyon Azaltma Seçeneklerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018
- Goncaloğlu, B. İ., Ertürk, F., Erdal, A., (2000). Termik santrallerle Nükleer santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması. *Ekolojik Çevre Dergisi*, 34, İstanbul.
- Selici Tülay, Utlu Zafer ve Nadir İlten, Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri ve Sürdürülebilir Gelişme Açısından Değerlendirilmesi, 1-5, <http://www.solaracademy.com/menus/Enerji-Kullanimi-Cevresel-Etkiler-Surdurulebilir-Enerji.005428.pdf>, (Erişim Tarihi: 11.11.2019).
- Koç A., Yağlı H., Koç Y., Uğurlu İ. (2018) Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 59:692, 86-114.
- Topal H., Durmaz, A., Atımtay A.T. (2018), Petrokok Ve Linyit Karışımlarının Dolaşım Akışkan Yatakta Yakılması Ve Emisyonları, *Engineer And Machinery*, 59:692, 86-114.
- Karaatlas, Kurulu ve kurulması planlanan termik santraller haritası, <http://karaatlas.org/harita/> Erişim tarihi:11.11.2019
- <http://www.enerjiatlas.com/>, Erişim tarihi: 11 Kasım 2019.
- Tebliğ, Sera Gazı Emisyon Raporlarının Doğrulanması Ve Doğrulayıcı Kuruluşların Yetkilendirilmesi Tebliği. 2015, Resmî Gazete.
- IPCC, (2005). IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. United States.
- Eleren S.Ç. Öner B., (2019), Sürdürülebilir ve çevre dostu biyoyakıt hammaddesi: Mikroalgler Sustainable and eco-friendly raw materials for biofuels: Microalgae, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 25(3), 304-319, 2019
- Alfredsson, H.A., Oelkers, E.H., Hardarsson, B.S., Franzson, H.S., Gunnlaugsson, E., Gislason S.R., (2013). The geology and water chemistry of the Hellisheidi, SW-Iceland carbon storage site. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 12, 399-418, 2013.
- Snæbjörnsdóttir, S.O., Oelkers, E.H., Mesfin, K., Gunnarsson, I., Gunnlaugsson, E., Gislason S.R., (2017). The chemistry and saturation states of subsurface fluids during the in situ mineralisation of CO₂ and H₂S at the CarbFix site in SW-Iceland. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 58, 87-102.
- Yılmazoğlu, Z. (2013). Yenilenebilir Metan Üretimi Ve Karbon Nötr Topluma Geçiş. *Mühendis ve Makine*, 54: 643, 47-53.