

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**DOĞALGAZ ÇEVİRİM SANTRALLERİNDE ENERJİ
ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

PARİSA SHEVERİNİ

İSTANBUL, 2015

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ**

**DOĞALGAZ ÇEVİRİM SANTRALLERİNDE
ENERJİ ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL
ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

PARİSA SHEVERİNİ

Tez Danışmanı: YRD. DOÇ. DR. Hatice Eser Ökten

İSTANBUL, 2015

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ

Tezin Adı: Doğalgaz Çevrim Santrallerinde Enerji Üretiminin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi

Öğrencinin Adı Soyadı: Parisa Sheverini

Tez Savunma Tarihi : 27.08.2015

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç.Dr
NafizARICA
Enstitü Müdürü
İmza

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr.
Fehmi Görkem ÜÇTUĞ
Program Koordinatörü
İmza

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr. Hatice Eser Ökten

Üye
Prof.Dr.Göksel Demir

Üye
Doç.Dr.H. Kurtuluş Özcan

ÖZET

DOĞALGAZ ÇEVİRİM SANTRALLERİNDE ENERJİ ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Parisa Sheverini

Enerji ve Çevre Yönetimi

Tez Danışmanı: YRD.DOÇ Hatice Eser Öcten

Ağustos 2015, 27 sayfa

İnsanlık uzun yıllardan beri dünya üzerindeki fosil kaynakları, birincil enerji üretim maddeleri olarak kullanmaktadır. Bununla birlikte, fosil yakıtların doğaya saldığı karbondioksit miktarı ve bunun zararlı sonuçları ilk zamanlar fark edilememiştir. Öte yandan, geçtiğimiz 15-20 yıl içerisinde dünyanın iklim düzenindeki bozulmalar ve ekolojik dengenin bundan etkilenmeye başlaması insanları fosil kaynakların kullanımının zararına dikkat çekmeye itmiştir. Ayrıca, fosil kaynakların tükenebilen kaynaklar olmaları, her geçen gün bu kaynakların maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Bütün bu gelişmeler teknoloji ve bilim dünyasını daha temiz, doğaya zararsız ve yenilenebilir enerji türleri bulmaya itmiştir. Ancak, halen yenilenebilir enerji uygulamaların yetersiz olduğu görölmektedir. Sürdürülebilir enerjiye ulaşım da teknolojik gelişmelerin önemli yer tutması, bu kaynakların da maliyetini artırmakta ve az tercih edilen sistemler olmalarına neden olmaktadır. Bu geçiş sürecinde ise devletler diğer enerji kaynaklarına göre daha temiz bir yakıt ve karbondioksit emisyonunun yarı yarıya düşüren doğalgaz enerjisine yönelmişlerdir. Bu çalışmada da doğalgaz enerjisinin çevreye olan etkilerini incelemek adına Türkiye'deki üç doğalgaz santrali Küresel Isınma Potansiyeli ve Asidifikasyon Potansiyeli çerçevesinde incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Sürdürülebilirlik, Doğalgaz, Küresel Isınma Potansiyeli, Asidifikasyon

ABSTRACT

THE EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY PRODUCTION ON THE COMBINED CYCLE POWER PLANT

Parisa Sheverini

Energy and Environmental Management

Thesis Supervisor: Yrd.Doç.Dr. Hatice Eser Ökten

August 2015, 27 pages

Fossil resources has been the primary energy-generating resources through the history of industrialized societies. On the other hand, negative consequences of carbon dioxide emission which is caused by usage of fossil resources has not been understood at the first time. Climate changes and its harmful consequences on ecological system, on the other hand, resulted from understanding of detrimental effect of usage of fossil resources. Since fossil resources are depletable, their costs are also getting higher rapidly. These progresses force science and technology world to find new renewable and sustainable energy resources. However, sustainable energy practices are also expensive, since they rely highly on technological improvements. This causes lack of application of sustainable energy usage. Thus, governments tend to use natural gas, since it is cleaner and cause carbon dioxide emission in half than other fossil resources. In this regard, this study tried to understand environmental effects of natural gas by evaluation of global warming potential and acidification potentials of three natural gas power plant in Turkey.

Keywords: Energy, Sustainability, Natural Gas, Global Warming Potential, Acidification Potential.

İÇİNDEKİLER

TABLOLAR.....	vii
ŞEKİLLER.....	ix
KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. TÜRKİYE’NİN ENERJİ İHTİYACI.....	2
1.2. ENERJİ ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ	4
2. ENERJİ SANTRALLERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	8
2.1 KÜRESEL ISINMA POTANSİYELİ	10
2.2 ASİDİFİKASYON POTANSİYELİ	12
2.3 STRATOSFERİK OZON TÜKETİMİ POTANSİYELİ.....	13
2.4 FOTOKİMYASAL OZON OLUŞUMU POTANSİYELİ	14
3. DOĞALGAZ ÇEVİRİM SANTRALİ UYGULAMASI	15
3.1 KÜRESEL ISINMA POTANSİYELİ VE ASİDİFİKASYON POTANSİYELİ HESAPLAMALARI	16
3.2 NORMALİZASYON VE ÖNEME GÖRE AĞIRLIK ATAMALARI	19
3.3 EMİSYON AZALTILMALI.....	21
4. SONUÇ.....	23
KAYNAKÇA.....	26
ÖZGEÇMİŞ.....	28

TABLÖLAR

Tablo 2.1: Seçilen teknolojilerden elektrik üretimi için emisyon faktörleri	8
Tablo 2.2: Etki kategorileri, coğrafi etki ölçeği ve uluslararası kabul durumu.....	10
Tablo 2.3: Karbondioksit, metan, nitröz oksit gazlarının Küresel Isınma Potansiyelleri (IPPC, 1996)	11
Tablo 2.4: Asidifikasyon eşdeğerlik faktörleri.....	13
Tablo 3.1: Çalışmada ele alınan tesislere ait kapasite ve yakıt bilgileri	15
Tablo 3.2: Çalışmada ele alınan tesislere ait emisyon kütleli debileri	16
Tablo 3.3: Tesislerden çıkan CO ₂ emisyonları ve buna bağlı KIP değerleri.....	17
Tablo 3.4: Hava kirleticilerinin zamana bağlı asidifikasyon potansiyel faktörleri	18
Tablo 3.5: NO _x ve SO ₂ emisyon verileri ve ilgili asidifikasyon potansiyelleri (100 yıl için).....	19
Tablo 3.6: Normalizasyon Referansları ve Ağırlıklandırma Faktörleri (Danimarka Çevre Bakanlığı, 2005)	20

ŞEKİLLER

Şekil 1.1: Türkiye'nin 2005-2013 yılları arası sektörel elektrik tüketimi (GWh), (TÜİK, 2015).....	1
Şekil 1.2: Kaynak türüne göre üretim miktarı (MWh)	2
Şekil 1.3: 2013 yılı kaynak türlerine göre üretim miktarı (MWh) ve oranı (%)	3
Şekil 1.4: AB ve Türkiye'de Sektörlere Göre CO ₂ Emisyonu Dağılımı (IEA, CO ₂ EmissionsFromFuelCombustions, Highlights, 2012 Edition).....	4
Şekil 1.5: Küresel ısınma (a) ve NGCC termal enerji santralinde üretilen 1 kWh elektriğin küresel ısınma potansiyeli (b).....	5

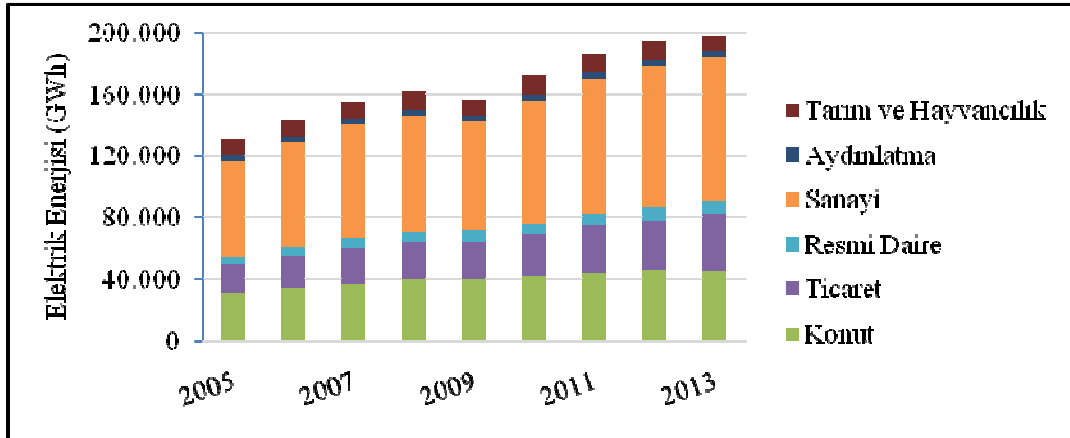
KISALTMALAR

BIOACID	: Biological Impacts of Ocean Acidfication
CO ₂	: Karbon Dioksit
CH ₄	: Metan
EPDK	: Enerji Piyasası Denetim Kurumu
EPOCA	: European Project on Ocean Acidification
FOOP	: Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli
GWh	: Gigawatt Hour
HCO ₃	: Bikarbonat
KIP	: Küresel Isınma Potansiyeli
LCA	: Life Cycle Assessment
MWh	: Megawatt Hour
NGCC	: Natural Gas Combined Cylce
N ₂ O	: Nitröz Oksit
SKHKKY	: Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
SO ₂	: Sülfür Dioksit
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TWh	: Tera Watt Hour
YDED	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme

1 GİRİŞ

Nihai enerji çeşidi olan elektrik enerjisi konutlarda, mal ve hizmet üretiminde kullanılmaktadır. Türkiye gibi nüfusu ve ekonomisi gelişen ülkelerde elektrik enerjisine olan ihtiyaç artmaktadır. Bunun yanında özellikle sanayi ve kamu kurumlarında enerji verimliliği konusunun Enerji Verimliliği Kanunu'na istinaden (Resmi Gazete, 2007) yönetmeliklerle ele alınması, tüketilen enerji miktarını azaltmaktadır. Tablo 1'den de görüleceği gibi 2009 yılındaki düşüş dışında Türkiye'nin genel elektrik enerjisi tüketimi artma eğilimindedir.

Şekil1.1: Türkiye'nin 2005-2013 yılları arası sektörel elektrik tüketimi (GWh), (TÜİK, 2015).



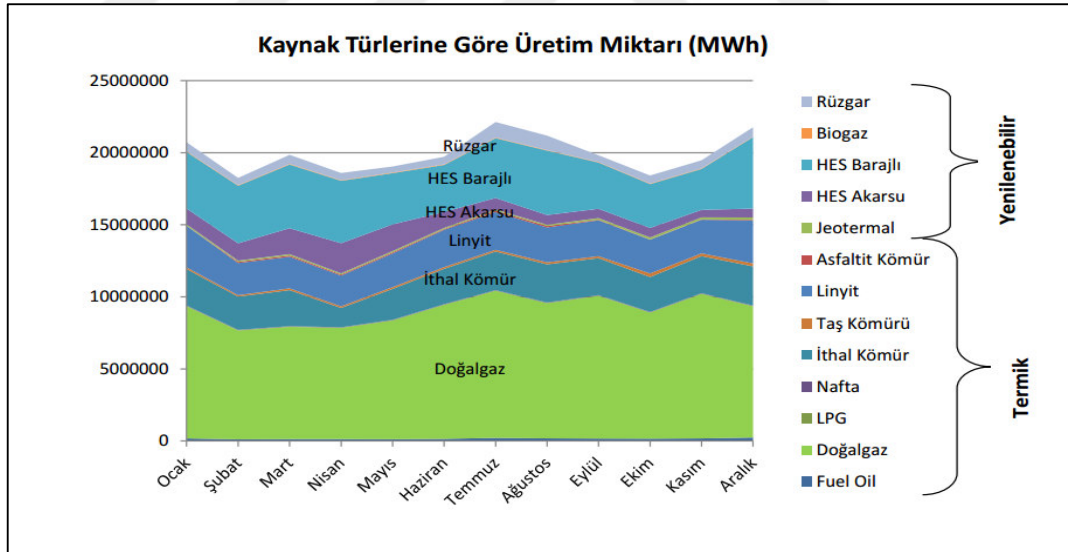
Elektrik enerjisinin üretimi de tüketime bağlı olarak artmaktadır. Türkiye'de elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü 2000 yılında 27.264 MW iken bu rakam 2013 yılı itibariyle 64.007 MW değerine ulaşmıştır (TÜİK, 2015). Elektrik santrallerinin kurulu gücünün artması, elektriğe çevrilen yakıt ve enerji türlerine olan ihtiyacın da artması anlamına gelmektedir. Fosil yakıtların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması kaçınılmazdır.

Bu enerji çeşidi depolanmadığından üretimi ve tüketimi eş zamanlı olmaktadır. Bahsi geçen bu enerjinin üretimi sırasında elektrik santrallerinde CO₂ salımı ortaya çıktığından tüketildiği sektörün salım toplamına dâhil edilmektedir. Bu sebepten dolayı bahsi nihai enerjinin kullanımının dağılımı alımların analizinde önem kazanmaktadır.

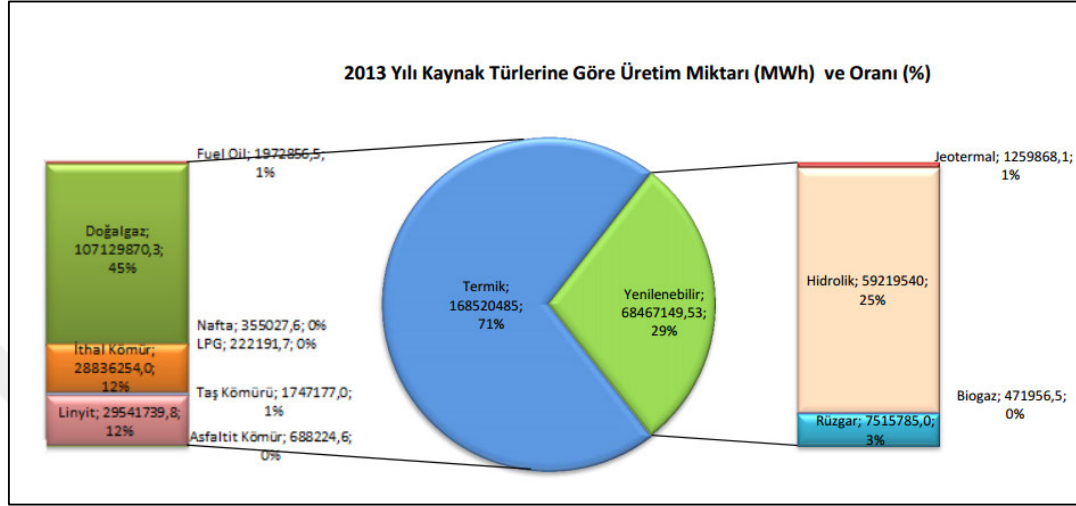
1.1 TÜRKİYE’İN ENERJİ İHTİYACI

2013 yılı verilerine göre Türkiye’nin elektrik enerjisi üretiminin kaynak türlerine göre dağılımı aşağıda verilmektedir. Bu dağılımda genel olarak kaynak türlerindeki değişimin benzerlik göstermiş olduğu belirtilmektedir. Doğalgazın yüzde 45 ile en çok paya sahip olduğu 2013 yılı sonunda görülür. Bahsi geçen bu pay, elektrik enerjisi üretiminde, kaynakların payına bakıldığında görülmektedir.

Şekil 1.2: Kaynak türüne göre üretim miktarı (MWh)



Şekil 1.3: 2013 yılı kaynak türlerine göre üretim miktarı (MWh) ve oranı



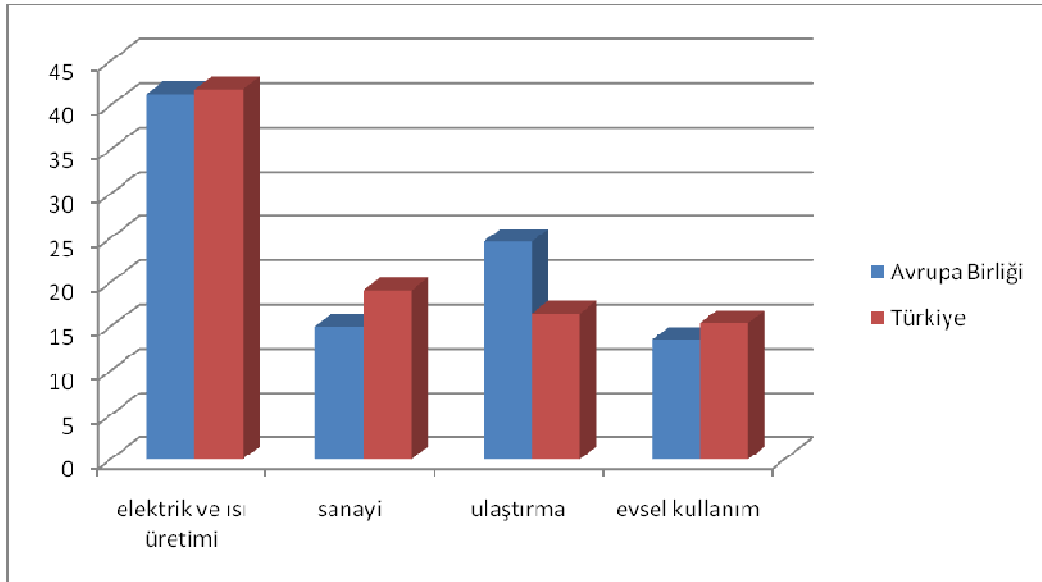
2013 yılı sonu itibariyle toplam doğal gaz tüketim miktarı 46.322.857 bin stdm³ 'tür (ilk altı ay tüketimi 23.155.558). 2012 yılında bu miktar 46.621.621 bin stdm³ 'tür (ilk altı ay tüketimi 22.305.317). 2013 yılındaki doğal gaz tüketimleri 2012 yılına göre yaklaşık yüzde 1 artmıştır. 2013 yılı enerji santralleri, sanayi ve şehir tüketim miktarları sırasıyla 134.637.596 bin stdm³, 20.990.274 bin stdm³ ve 8.336.421 bin stdm³ 'tür. 2013 yılı doğal gaz tüketiminde en yüksek paya yüzde 45 ile sanayi tüketimi sahiptir. Şehir ve enerji santralleri ise tüketim paylarının sırasıyla yüzde 18 ve yüzde 32'sini oluşturmaktadır.

Günümüzde enerji tüketiminin yüzde 24'ü doğal gazla karşılanmaktadır. Bu miktar doğalgaz, su buharı ve endüstriyel işlemlerde ısı üretimi, konut ve ticari ısınma ile elektrik enerjisi üretimi için kullanılmaktadır. Enerji Bilgi İdaresi 2020 yılında üretilen elektriğin yüzde 33'ünün doğal gaz yakıtlı santrallerden üretileceğini öngörmektedir. Bu güç karışımı önemi için , bir doğal gaz kombine çevrim (naturalgascombined-cycle'NGCC') sistemi üzerinden elektrik üretimi bir yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yapılmıştır. Bu işlem çevresel yararları ve sakıncalarından bir şema verecektir. Elektrik üretimi önemli ölçüde kirlen olabilir bu yüzden LCA metodolojileri uygulama sürecinin toplam çevresel etkisinin bir anlayış kazandığı için önemlidir.

1.2 ENERJİ ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Türkiye’de sürekli olarak gelişen bir endüstriye ve demografik artışa paralel olarak hızla özellikle elektrik enerjisine gereksinim duyulmaktadır. Hızla artan elektrik ihtiyacı sonucunda elektrik üretimi ve buna bağlı olarak CO₂emisyonda da artış görülmektedir. Bu yüzden artmakta olan çevre kirliliğinin en önemli nedenlerinden biri de elektrik üretimi olmuştur. Günümüzde elektrik santralleriyle ısı üretimi faaliyetleri, karbon dioksit salımı yapan faaliyetler içinde birinci sırada yer almaktadır.

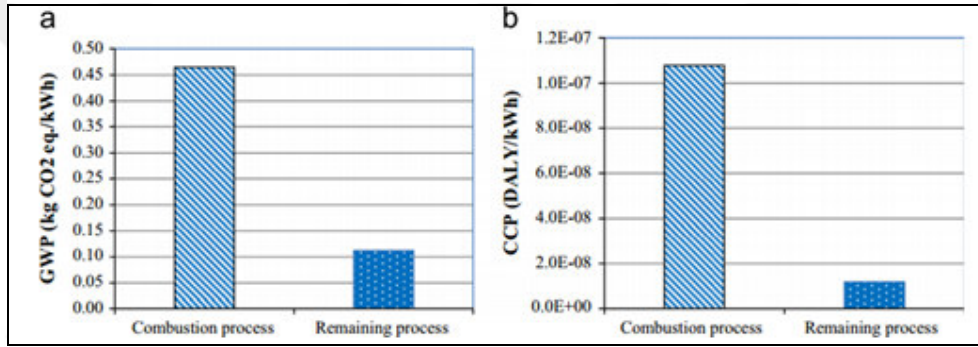
Şekil 1.4: AB ve Türkiye’de Sektörlere Göre CO₂ Emisyonu Dağılımı (IEA, CO₂EmissionsFromFuelCombustions, Highlights, 2012 Edition).



2010 yılı için Türkiye’nin toplam kurulu gücü 59 408 MW ve elektrik üretimi 312 TWh olarak tahmin edilmiştir. Yine yapılan tahminlerde toplam kurulu gücün yüzde 61’inin fosil yakıtlı santrallere ait olacağı ve enerji tüketiminden kaynaklanacak olan toplam CO₂emisyununun 608 milyon ton olacağı belirlenmiştir.

Atmosferik CO₂ artışı fosil yakıt tüketiminden dolayıdır. bu nedenle okyanuslarda pH oranında azalma ve okyanuslardaki küresel karbon döngüsünün değişmesine görülmektedir. Dünyada karbondioksit emisyonlarındaki yükselmesi, okyanusların kimyasında ve ekosisteminde tehlikeli değişimlere neden olmaktadır. Okyanuslarda görülen asidifikasyon deniz suyunun kimyasında ve birçok element-bileşiklerinin biyoloji kimyasal döngülerinin değişmesinde etkili olmaktadır.

Şekil 1.5: Küresel ısınma (a) ve NGCC termal enerji santralinde üretilen 1 kWh elektriğin küresel ısınma potansiyeli (b)



Okyanuslar doğal bir karbon alıcı olarak CO₂'yi atmosferden çözülmektedir. Okyanus asidifikasyonu, insanların başta fosil yakıtları yakmak suretiyle yayınladığı CO₂'nin okyanuslarda absorbe edilmesiyle meydana gelen sürece deniliyor. Ekosistemdeki CO₂ oranının artırılması ile birlikte okyanuslar **daha asitli** olmaktadır.

Ortamın asidikleşmesine ve pH'nın azalmasına neden olan, çözülmüş CO₂ deki artıştır. Sonuç olarak inorganik karbona bağlı türlerin dengesinde bozulma görülür. Ortamdaki HCO₃ konsantrasyonu artarken CO₃ bahsi geçen ortamdaki konsantrasyonda azalış görülür. Örnek vermek gerekirse Kuzey Pasifik Okyanusunun ortasında, atmosferden geçen her 100 çözülmüş CO₂'nin sadece 7 tanesi CO₂ olarak kalır. 15'i B(OH)₄ ile tepkimeye girer, 78'i CO₃ ile tepkimeye girerek HCO₃ 'ün oluşturmaktadır.

Atmosferde hızla artan CO₂ miktarı günümüzde 390 ppm seviyelerinde iken bu yüzyılın sonunda 750 ppm seviyelerine yükseleceği düşünülmektedir. Raven ve diğ. (2005) göre

endüstri devriminden günümüze okyanus yüzeyi pH değerleri 8.2'den 8.1'e yaklaşık 0,1 birim düşmüştür. Okyanus yüzeyi suyu ortalama pH değerleri 2100 yılı projeksiyonuna göre -0,13, -0,22, -0,28 veya -0,42 pH birim değişmesi ve atmosferik CO₂ seviyelerinin sırasıyla 421, 538, 670 veya 936 ppm'e gelebileceği tespit edilmiştir (Hoegh-Guldberg ve diğ. 2014).

Asidifikasyonun, küresel ısınmadan bağımsız olarak onunla artan etkileşimi olduğunu tanımlamaktadır. Okyanusların asitlenmesinin potansiyel tüm sonuçları anlaşılamamıştır ancak kalsiyum karbonattan ibaret olan yapılar çözülme tehlikesiyle karşı karşıyadırlar. Bu durum mercan resiflerini etkilediği gibi su kabuklularını da etkilemektedir. Minik salyangoz pembe somon diyet yüzde 45'ini oluşturan; onlar da ringa ve uskumru için besin kaynağıdır. (Kalsiyum karbonatın deniz suyu pH'sının düşmesine paralel olarak azalması sonucu en çok gözlemlenen olaylar denizel planktonun, bentikmolluskların, ekinodermilerin ve resiflerin kabuk ve iskelet formlarınının zarar görmesi olmuştur.)Birçok kalsifiye türün yüksek CO₂'li ortamda büyüme oranı ve kalsifikasyonu azalış göstermiştir.

Karbon döngüsün, Okyanus ve kıyıları ekosistemleri önemli bir yer almaktadır. insan aktivitelerinden dolayı ortaya çıkan karbon dioksitin 2000 ila 2007 yılları arasında yüzde 25'ini ve sanayi devriminden itibaren insanların tarafından oluşturulduğu CO₂ yarısını yok etmiştir. Deniz suyu sıcaklığının artması ve okyanusların asitliliği'nin yükselmesi karbon alıcı olarak kapasitelerinin zamanla azalması anlamına gelecektir. **Metan hidrat** yataklar da görülen diğer sorun da okyanus tabanının altında bulunmaktadır. Sera gazlarından çıkan metan gazı önemli bir miktarda burada görülür. Böylece okyanusların sıcaklığının artmasıyla salınması söz konusu olabilecektir.

Okyanusların asidifikasyonunun yavaşlatılması için ve önüne geçilmesinde alınması gereken tedbirler uluslararası işbirliği ve 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü gibi (*Kyoto Protokolü küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası tek çerçeve. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi içinde imzalanmıştır. Bu protokolü imzalayan ülkeler, karbon dioksit ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın salınımını azaltmaya veya bunu yapamıyorlarsa*

salınım ticareti yoluyla haklarını arttırmaya söz vermişlerdir.) anlaşmaların imzalanması olarak gösterilebilir. Bu konuda ülkemiz de içinde bulunduğu coğrafi konumu gereği üç tarafı denizlerle çevrili olması durumuyla önemli bir yerde bulunmaktadır. Küresel iklim değişikliğinden sonra ikincil olarak “Diğer CO₂ problemi” ile dikkat çeken okyanusların asidifikasyonunun ekosisteme etkilerini gösteren birçok araştırma projesi yapılmaktadır. Bunlardan bazıları;

- a. European Project on Ocean Acidification (EPOCA)
- b. Biological Impacts of Ocean Acidification (BIOACID)
- c. United Kingdom (UK) Ocean Acidification Research Programme
- d. IMBER/SOLAS Ocean Acidification Working Group

olarak sıralanabilir.

Elektrik üretimi için doğal gaz kullanımının artması diğer fosil yakıtlardan elektrik üretimi ile karşılaştırıldığında çevreye birçok yönden yararlı olabilir. Örneğin doğal gaz diğer fosil yakıtlardan daha az kükürt ve azot içeriğine sahip olduğundan doğal gaz kullanımı birim kWh elektrik üretimi için daha az SO_x ve NO_x yayılmasına neden olur. Ayrıca, kömür yakıtlı santrallerin aksine bir doğal gaz kombine çevrim sistemi (NGCC) hiçbir katı atık üretmez. Öte yandan bir yanma faaliyeti söz konusu olduğundan, CO₂ en büyük miktarda yayılan emisyondur ve bunu CH₄ izlemektedir. Toplam metan emisyonlarının ağırlıkça yüzde 74’ü doğal gazın üretimi ve dağıtımından kaynaklanmaktadır.

2. ENERJİ SANTRALLERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Küresel enerji ihtiyacının artmasıyla enerji santrallerinin sayısının ve toplam kapasitenin artması kaçınılmazdır. Ülkemizde ve dünya genelinde enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu da hem doğal kaynakların yönetimi ve hem de çevreye olan etkiler bağlamında sürdürülebilirlik olgusunu ortaya çıkarmaktadır. Tablo 2.1’de farklı enerji kaynakları için salınan emisyonlar için emisyon faktörleri verilmektedir.

Tablo 2.1: Seçilen teknolojilerden elektrik üretimi için emisyon faktörleri

Enerji kaynağı	CO ₂ -eşdeğeri	NO _x	SO ₂
Antrasit	600-1050	0.3-3.9	0.03-6.7
Linyit	800-1300	0.2-1.7	0.6-7
Doğalgaz	380-1000	0.2-3.8	0.01-0.32
Petrol	530-900	0.5-1.5	0.85-8
Nükleer enerji	3-35	0.01-0.04	0.003-0.038
Biyokütle	8.5-130	0.08-1.7	0.03-0.94
Hidroelektrik	2-20	0.004-0.06	0.001-0.03
Güneş enerjisi	13-190	0.15-0.40	0.12-0.29
Rüzgar	3-41	0.02-0.11	0.02-0.09

Sürdürülebilirlik çalışmalarında sıkça kullanılan yöntemlerden birisi de Yaşam Döngü Etki Değerlendirmesi’dir (YDED). Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu’nun çıkardığı ISO 14042’e göre YDED adımları şu şekilde verilmektedir:

- Yaşam döngü envanterinin etki kategorilerine dağıtılması ve sınıflandırılması. Bu aşamada değerlendirmede kullanılacak etki kategorileri tanımlanmaktadır.
- Çalışma kapsamında ele alınan tüm etmenlerin sayısallaştırılarak hesaplanması ve etki kategorilerinde tanımlı birimlere dönüştürülerek etki kategorilerine ait ön

sayısal büyüklüklerin ortaya koyulmasıdır.Karakterizasyon adımı olarak da bilinmektedir.

- c. Bir önceki adımda yapılan ön hesaplama üzerinden bu sefer referans değerleri göz önünde bulundurmak suretiyle yeniden normalizasyon yapılması. Referans değerleri belirlenirken farklı etki potansiyelleri ve kaynak kullanımları ortak bir ölçek üzerinde tanımlanmaktadır, böylelikle farklı YDED çalışmaları için etki kategorilerinin karşılaştırılması mümkün olmaktadır.
- d. Farklı etki kategorilerine ve kaynaklara, YDED'in amacına uygun şekilde, önem derecelerine göre ağırlık faktörleri atanır.
- e. YDED'in amaç ve kapsamına uygun olarak elde edilen sonuçların yorumlanması yapılır. Son adım olan yorumlamada duyarlılık analizi ve belirsizlik analizi uygulanır.

Bir YDED çalışmasında etki kategorilerinin doğru seçimi çok önemlidir. Danimarka Çevre Bakanlığı(2005) etki kategorilerinin seçiminde dikkate alınması faydalı olacak öneriler getirmektedir:

- a. Üzerinde uluslararası platformda bir uzlaşma olan tüm etki kategorileri çalışmaya dahil edilmelidir.
- b. Etki kategorisi uluslararası platformda tanınıyorsa dahil edilmelidir. Eğer dahil edilmiyorsa bilimsel olarak nedeni açıklanabiliyor olmalıdır.
- c. Amaç ve kapsam gereğince uluslararası olarak tanınmayan veya yeni etki kategorilerinin çalışmaya dahil edilmesi gerekebilir. Her ne kadar çalışmayla ilgili olsa da yeni etki kategorilerinin dahil edilmesi için gerekli bilimsel altyapı sunulmalıdır.
- d. Bazen potansiyel bir çevresel etki sadece nitel değerlendirme ile ele alınabilmektedir. Bu gibi durumlarda değerlendirmeyi yürütecek nicel yöntemlerin olmadığı ya da eldeki verinin güvenilir olmadığı gösterilmelidir. Nitel değerlendirme kabul edilebilir bir yöntem olmakla beraber eleştiriye daha açıktır.

Tablo 2.2'de detaylı bir etki kategorisi listesi vermektedir.

Tablo 2.2: Etki kategorileri, coğrafi etki ölçęi ve uluslararası kabul durumu.

Etki Kategorileri	Coğrafi Ölçek			Uluslararası Kabul	
	Küresel	Bölgesel	Yerel	Sınıflandırma	Karakterizasyon
Küresel Isınma	X			Evet	Evet
Stratosferik Ozon Tüketimi	X			Evet	Evet
Fotokimyasal Yükseltgen Oluşumu		X	X	Evet	Evet
Asidifikasyon		X	X	Evet	Evet
Nütrient Zenginleştirme		X	X	Evet	Evet
Atık Sıcak Su Etkisi			X	Hayır	Hayır
Ekotoksosite		X	X	Evet	Hayır
İnsan Toksisitesi		X	X	Evet	Hayır
Koku			X	Evet	Hayır
Gürültü			X	Evet	Hayır
Radyasyon				Evet	Hayır
Kaynak Tüketimi	X	X	X	Evet	Evet
Arazi Kullanımı			X	Evet	Hayır
Atık			X	Evet	Hayır
Ekosistem Etkileri				Hayır	Hayır

2.1 KÜRESEL ISINMA POTANSİYELİ

Küresel ısınma - ya da "sera etkisi" / "iklim değişikliği" - alt atmosferde artan sıcaklık etkisini ifade eder. Atmosfer, normal olarak, güneşten gelen ışınlar ile ısıtılır. Işınların bir kısmı dünya yüzeyinden geri yansıtılırken atmosferdeki karbondioksit (CO₂), metan

(CH₄), nitröz oksit (N₂O) ve kloroflorokarbonlar (CFCs) gibi gazlar kızılötesi ışımayı soğurarak “sera etkisi”ni oluştururlar. Bu etki de alt atmosfer katmanlarında sıcaklık artışına yol açar. Normalin üstündeki ısınma kutup buzullarının erimesi ve buna bağlı olarak deniz seviyesinin artması ile sonuçlanır. Ayrıca bölgesel ve küresel iklim değişiklikleri de gözlemlenir.

Bir maddenin küresel ısınmaya katkıda bulunması için kızılötesi ışımayı soğurması ya da CO₂'e bozunuyor olması gerekmektedir. Ayrıca atmosferik ömrünün de küresel ısınmaya katkıda bulunmasına imkan verecek bir süre olması gereklidir. Bu maddeler CO₂, CH₄, N₂O, CFCs, halonlar, hidrokloroflorokarbonlar (HCFCs), hidroflorokarbonlar (HFCs), tetraklorometan (CCl₄), 1,1,1-Trikloroetan (CCl₃CH₃), karbon monoksit (CO) olarak sıralanmaktadır. Metanın 12 ± 3 yıllık bir atmosferik ömrü vardır (Tablo...). IPCC 2007 raporuna göre küresel ısınma potansiyeli CO₂'e göre 20 yıllık zaman diliminde 72 kat, 100 yıllık zaman diliminde 25 kat ve 500 yıllık zaman diliminde 7.6 kat etkiye sahiptir. 2014 analizi beyan etmektedir ki daha kısa atmosferik ömründen dolayı metanın başlangıçtaki etkisi CO₂ den 100 kat daha fazla olmasına rağmen, 60-70 yıldan sonra iki gazın etkisi birbirine yaklaşmaktadır ve metanın etkisi, atmosferdeki kimyasal reaksiyonlarla CO₂ ve suya bozunmasıyla, nispeten azalmaya devam etmektedir.

Tablo 2.3: Karbondioksit, metan, nitröz oksit gazlarının Küresel Isınma Potansiyelleri(IPPC, 1996).

Gaz adı	Kimyasal formül	Atmosferde kalış süresi (yıl)	Belirli bir zaman dilimi için Küresel ısınma potansiyeli (KIP)		
			20-yıl	100-yıl	500-yıl
Karbondioksit	CO ₂	(50-200)	1	1	1
Metan	CH ₄	12	72	21	7.6
Nitröz oksit	N ₂ O	114	289	310	153

Bir ürün ya da sürecin potansiyel sera etkisi işlevsel birim (elektrik üreten enerji santralleri için 1 kWsa elektrik üretimi) başına salınan sera gazının, CO₂ eşdeğerine dönüşüm faktörü (kg CO₂-eşd/kg salınan gaz) ile çarpımının sonucu olarak ifade edilmektedir, birim ise kg CO₂-eşd/kWsa'dır.

Her sera gazının ısıyı atmosferde tutma özelliği ve atmosferde kalış süreleri farklıdır. Karbondioksitin etkisinin 1 birim olarak kabul edilmesi halinde, her bir maddenin 100 yıllık zaman dilimi içinde atmosferde yarattığı göreceli etki “Küresel Isınma Potansiyeli (KIP)” olarak hesaplanmaktadır. Bütün sera gazları, CO₂'e oranla ısı tutma kabiliyetlerini nitelendiren bir “küresel ısınma potansiyeli” ne sahiptir. Mesela metan gazı CO₂'e göre 21 kat daha fazla bir potansiyele sahiptir. Tablo 2.3'te gösterilen küresel ısınma potansiyelleri, bu gazların 100 yıllık bir zaman dilimi içerisinde CO₂'e oranla etkilerini gösteren değerleri yansıtmaktadır.

2.2 ASİDİFİKASYON POTANSİYELİ

Asidifikasyon daha çok bölgesel bir etki oluşturmaktadır. Toprağa ya da sucul ortamlara kimyasal reaksiyonlar sonucu protonların girişi dolayısıyla oluşur. Organik asitler çoğunlukla mineralize olduğundan asidifikasyona yol açmazlar. Asidifikasyonun yoğun olduğu topraklarda ağır metallerin ve alüminyumun hareketliliği de yükselir. Ayrıca asit yağmurları dolayısıyla bina cepheleri, heykeller, dış ortam malzemeleri zarar görür, orman dokusunda bozulmalar ve ölümler gözlemlenir.

Asidifikasyona başlıca katkıyı kükürt oksitler, azot oksitler ve amonyak yapar. Bunların dışında hidroklorik asit, nitrik asit, sülfürik asit, fosforik asit, hidrojen florür, hidrosülfid de katkıda bulunan bileşiklerdir. Asidifikasyon potansiyeli SO₂-eşdeğeri cinsinden hesaplanır. Asidifikasyona katkıda bulunan maddelerin asidifikasyon eşdeğerlik faktörleri stokiometrik denklikten aşağıdaki formül uyarınca çıkarılır (1). Formülde verilen 64.06 g/mol olarak SO₂'nin moleküler ağırlığıdır. Tablo....'de bazı bileşikler için asidifikasyon eşdeğerlik faktörleri verilmektedir.

$$\text{Eşdeğerlik Faktörü (EF)} = \frac{n}{2 \times M_w} \times 64.06 = \frac{n}{M_w} \times 32.03 \quad (2.1)$$

M_w : salınan maddenin moleküler ağırlığı (g/mol)

n: ortaya çıkan hidrojen iyonu sayısı

Tablo 2.4: Asidifikasyon eşdeğerlik faktörleri.

Hava emisyonu (1 kg için)	SO ₂ eşdeğerlik faktörü (kg eşd. SO ₂)
NO ₂	0.70
HCl	0.88
NH ₄	0.89
NH ₃	0.93
SO ₂	1
HF	1.69
H ₂ S	1.88

Eşdeğerlik faktörü hesabından sonra asidifikasyon potansiyeli hesabı yapılabilir.

$$AP = \sum_i EF_i \times m_i [SO_2 - eşd.] \quad (2.2)$$

EF_i: i maddesi için eşdeğerlik faktörü

m: i maddesi emisyon miktarı

2.3 STRATOSFERİK OZON TÜKETİMİ POTANSİYELİ

Güneşten gelen ultraviyole (UV) ışınları atmosferimize ulaştığında stratosferdeki ozon molekülleri yaşamı tehdit eden UV-C ışınlarını giderirken, zararlı UV-B ışınlarını da azaltır. Stratosferdeki ozon konsantrasyonunun azlaması canlı yaşamının tehdit altına girmesi demektir. Zararlı etkiler arasında cilt kanseri ve bağışıklık sistemi hastalıkları sayılabilir.

Stratosferik ozon tüketimine katkıda bulunan maddeler stratosfere ulaşabilecek kadar atmosferik stabiliteye sahiptirler ve klor veya brom içermektedirler. Klorlu ve bromlu bileşikler atmosfere salındıklarında ozonun kimyasal bozunmasında rol oynarlar. Bu bileşikler kloroflorokarbonlar (CFC-11,-12,-113,-114,-115), hidrokloroflorokarbonlar (HCFC-22, -123, -124, -141b, -142b), tetraklorometan (CCl₄), 1.1.1-trikloroetan (CCl₃CH₃) olarak sıralanırlar. Ozon tüketimi potansiyeli hesaplanırken referans bileşik olarak CFC-11 baz alınmaktadır (Danimarka Çevre Bakanlığı, 2005).

2.4 FOTOKİMYASAL OZON OLUŞUMU POTANSİYELİ

Ozon troposferde güneş ışınları ve azot oksitlerin varlığında oluşmaktadır. Ancak ortamda uçucu organik bileşiklerin de olması yüksek reaktiviteye sahip toksikperoksi radikallerinin oluşmasıyla sonuçlanır. Peroksi radikalleri bir seri karmaşık reaksiyondan sonra ozon konsantrasyonunda fazladan bir artışa neden olur. Stratosferde gayet yararlı olan ozon, troposferde bölgesel ölçekte bir tehdit oluşturur. Yüksek konsantrasyonda insan sağlığına zararlı iken düşük konsantrasyonda bitkilere zarar verir.

Troposferik ozonun oluşumuna katkıda bulunan bileşikler azot oksitler, uçucu organik bileşikler (metan dahil) ve karbon monoksittir. Fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli (FOOP) uçucu organik bileşikten üretilen ozon miktarının aynı miktarda eten salınması sonucu üretilen ozon miktarına bölünmesi ile bulunur. Birimi gram eten eşdeğeri/gram gaz ($\text{g C}_2\text{H}_4/\text{g VOC}$) olarak verilir. Etenin seçilme nedeni uçucu organik bileşikler arasında en çok ozona yol açan olmasıdır. Ayrıca azot oksitlerin konsantrasyonu da ozon oluşumunda önemlidir. Dolayısıyla FOOP hesabı azot oksitler ve uçucu organik bileşikler için emisyon envanterlerinin, kimyasal ve fotokimyasal verilerin, meteorolojik verilerin girdi olarak kullanıldığı yazılımlarla yapılmaktadır.

3. DOĞALGAZ ÇEVİRİM SANTRALİ UYGULAMASI

Avrupa Komisyonu'nun çevre ile ilgili yönetmeliklerinden biri olan Endüstriyel Emisyonlar Yönetmeliği 6 Ocak 2011 tarihinde yürürlüğe girmiş bir çatı yönetmeliktir ve daha önceden çıkarılmış olan Bütünleşik Kirlilik Önleme ve Kontrolü Yönetmeliği'nin daha kapsamlı bir versiyonudur. Ülkemizde Endüstriyel Emisyonlar Yönetmeliği'ne karşılık gelen yönetmelik Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'dir (SKHKKY). Bu yönetmelik 2009 yılında yürürlüğe girmiş ve 2010 ile 2011 yıllarında iki kez revize edilmiştir. SKHKKY ile üretim kapasitelerine göre tesislerin gerek ısınma gerek proses sonucu oluşan emisyonlarına sınırlamalar getirilmiştir. Böylelikle tesislerin ısınma faaliyetleri ve prosesleri sonucu saldıkları kirleticileri (yanma gazları, uçucu organik bileşikleri, partikül maddeler, vb.) belirlemeleri ve kütleli debilerini ölçmeleri gerekmektedir. Bu ölçümler daha sonra yönetmelikteki sınır değerlerle karşılaştırılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Türkiye'de faaliyette bulunan 3 farklı doğalgaz çevrim santrali Küresel Isınma Potansiyeli ve Asidifikasyon Potansiyeli kapsamında incelenmiştir. Tesislere ait kapasite ve doğal gaz tüketim bilgileri Tablo 2.5'te, emisyon kütleli debileri ise Tablo 2.6'da verilmektedir.

Tablo 3.1: Çalışmada ele alınan tesislere ait kapasite ve yakıt bilgileri.

Tesisler	Isıl Gücü, MW	Elektrik Üretimi, MW/yıl	Yakıt Miktarı, m ³ /yıl	Isıl Gücü, MW
Tesis A	376,8	1.077.480	350.999.995	376,8
Tesis B	144	546.264	117.720.000	144
Tesis C	128	472.752	120.551.760	128

Tablo 3.2: Çalışmada ele alınan tesislere ait emisyon kütleli debileri.

Tesisler	CO (kg/saat)	SO ₂ (kg/saat)	NO _x (kg/saat)	Toplam Çalışma Süresi
Tesis A	0	0	1083,7	365 gün/24 saat
Tesis B	0	2,17	118,3	365 gün/24 saat
Tesis C	8,6	0	35,8	365 gün/24 saat

Tablo 2.6’da CO ve SO₂ kütleli debi için verilen 0 değeri, bu tesisler için ilgili ölçümün yapılmadığını göstermektedir.

3.1 KÜRESEL ISINMA POTANSİYELİ VE ASİDİFİKASYON POTANSİYELİ HESAPLAMALARI

Doğal gaz çevrim santrallerinde KIP’ne en fazla katkı yanma sonucu oluşan CO₂’den gelmektedir. Amerika’da 505 MW kapasiteli bir doğal gaz çevrim santrali için hazırlanan YDED’de karbon dioksitin hesaplanan KIP’deki katkısını %88,1 olarak vermektedir (Spath ve Mann, 2000). Aynı çalışma CO₂’in emisyon miktarının 439,7 g/kWsa olduğunu söylemektedir. Hacimsel olarak bir metreküp doğal gaz yandığında ortalama olarak 2,057 kg CO₂ açığa çıkmaktadır (EIA, 2015).Yapılan yıllık CO₂ emisyonu hesabı Tablo 3.3’de verilmektedir.

Tablo 3.3: Tesislerden çıkan CO₂emisyonaları ve buna bağlı KIP değerleri.

Tesisler	Yakıt Miktarı, m ³ /yıl	Yıllık CO ₂ emisyonu, 10 ³ kg	Elektrik Üretimi, MWsa/yıl	CO ₂ emisyonu (kg/kWsa)	KIP değeri, kg CO ₂ -eşd./kWsa
Tesis A	350.999.995	722.007	1.077.480	0,670	0,670
Tesis B	117.720.000	242.150	546.264	0,443	0,443
Tesis C	120.551.760	247.975	472.752	0,525	0,525

Hesaplanan KIP değerlerinin Spath ve Mann'ın çalışmasındaki bulgulardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum doğal gaz içeriğindeki farklılıklardan kaynaklanacağı gibi tesisteki yakma teknolojisinden, işletme şartlarından da kaynaklanıyor olabilir.

IPCC İklim Değişikliği 2007 raporuna göre CO'nun küresel ısınma potansiyeli 100 yıllık zaman dilimi için 1.9 olarak verilmektedir (IPCC, 2015).Eldeki verilere göre sadece Tesis C için CO'den gelen KIP değerini hesaplamak mümkündür. Tesisin sürekli çalıştığı bilgisini kullanarak yıllık CO emisyonu 75.336 kg olarak hesaplanmaktadır. Bu değer tesisin yıllık elektrik üretimine bölünüp CO₂ eşdeğerlik faktörüyle çarpıldığında, CO'den gelen KIP değeri 0,0003 gibi gayet düşük bir değer olarak hesaplanmaktadır.

NO_x bileşiklerinin atmosferik ömürleri kısadır ve karmaşık kimyasal reaksiyonlar sonucu birbirine karşı çalışan ozon üretimi ve metan azaltımı etkilerine sebep olurlar. Bu da NO_xemisyonaları için KIP hesaplarında yüksek belirsizlik getirir, kaldı ki NO_x için küresel ortalama KIPdeğerinin pozitif ya da negative olduğuna dair bir uzlaşma da yoktur (IPCC, 2015). Tesislerde NO ve NO₂konsantrasyonlarının toplamı olarak verilen

NO_x emisyonunun KIP'e olan katkısını hesaplamak, NO_x dışındaki etmenlerin de bilinmesini gerektirdiğinden yapılamamıştır.

SO₂ atmosfere salındığında fotokimyasal tepkimeler sonucu sülfat aerosollerine dönüşmekte ve böylece güneş ışınlarının uzaya geri gönderilmesini sağlayarak dünya yüzeyine ulaşan ışımayı azaltıcı rol oynamaktadır. Ayrıca bulut oluşumuna katkıda bulunmakta ve stratosferik ozon oluşumu için gerekli yüzeyi sağlamaktadır. Bu bilgiler ışığında SO₂ kaynaklı aerosollerin KIP değerinin negatif olduğu düşünülmektedir (IPCC, 2015). Tesisler arasında sadece Tesis C'de SO₂ ölçümü yapılmış ve kütleli debi oldukça düşük ölçülmüştür. SO₂'nin KIP değerinin göz ardı edilebileceğine karar verilmiştir.

Asidifikasyon potansiyeli hesaplarında Avrupa için 20, 50, 100 ve 500 yıllık verilen faktörler Tablo 2.8'de gösterilmektedir (Goedkoop ve diğ., 2009).

Tablo 3.4: Hava kirleticilerinin zamana bağlı asidifikasyon potansiyel faktörleri.

Kirletici	Zaman (yıl)			
	20	50	100	500
NO _x (havaya)	0,49	0,52	0,56	0,71
NH ₃ (havaya)	1,99	2,23	2,45	2,89
SO ₂ (havaya)	1,00	1,00	1,00	1,00

SO₂ ve NO_x verisi olan tesisler için asidifikasyon potansiyeli işlevsel birim başına (üretilen 1 kWsa elektrik enerjisi) hesaplanmıştır (Tablo2.9). Emisyon değerleri yıllık bazda hesaplanmış ve daha sonra yıllık enerji üretimine bölünmüştür. Elde edilen sonuç asidifikasyon faktörü ile çarpılarak asidifikasyon potansiyeli değerleri bulunmuştur.

Tablo 3.5:NO_x ve SO₂emisyon verileri ve ilgili asidifikasyon potansiyelleri (100 yıl için).

Tesisler	NO _x (kg/saat)	AP (kg eşd/kWsa)	SO ₂ - SO ₂ (kg/saat)	AP (kg SO ₂ -eşd/kWsa)
Tesis A	1083,7	0,0049	0	-
Tesis B	118,3	0,0011	2,17	0,000035
Tesis C	35,8	0,00037	0	-

Verilere göre yapılan hesaplamalarda AP değerleri düşük bulunmuştur.

3.2 NORMALİZASYON VE ÖNEME GÖRE AĞIRLIK ATAMALARI

Farklı YDED çalışmalarının ortak bir ölçekte değerlendirilebilmeleri için normalizasyon ve ağırlıklandırma yapılması gereklidir. Danimarka Çevre Bakanlığı (2005) yürüttüğü bir çalışmayla normalizasyon ve ağırlıklandırma faktörlerini güncellemiş ve küresel ölçüğe genişletmiştir (Tablo 3.6). Bu güncelleme çalışmasının çıkış noktasını EDIP97 başlıklı bir YDED yöntemi oluşturmaktadır.

Tablo 3.6: Normalizasyon Referansları ve Ağırlıklandırma Faktörleri (Danimarka Çevre Bakanlığı, 2005).

Etki Kategorileri	Birim	Normalizasyon Referansı – Ağırlıklandırma Faktörleri			
		EDIP97	Küresel	EU-15	Danimarka
Küresel Isınma	ton CO ₂ -eşd/kişi/yıl	8.7-1.3	8.7-1.12	8.7-1.05	8.7-1.11
Stratosferik Ozon Tüketimi	kg CFC-11-eşd/kişi/yıl	0.2-23	0.103-63/4.43	0.103-2.46	0.103-∞
Fotokimyasal Yükseltgen Oluşumu	kg C ₂ H ₄ -eşd/kişi/yıl	20-1.2	22-1	25-1.33	20-1.26
Asidifikasyon	kg SO ₂ -eşd/kişi/yıl	124-1.3	59-Yok	74-1.27	101-1.34
Nütrient Zenginleştirme	kg NO ₃ -eşd/kişi/yıl	298-1.2	95-Yok	119-1.22	260-1.31
İnsan Toksikitesi, Hava yoluyla	m ³ hava/kişi/yıl	9.18E+09 – 1.1	2.45E+09 - Yok	3.06E+09 – 1.06	2.09E+09 – 1.11
İnsan Toksikitesi, Su yoluyla	m ³ su/kişi/yıl	5.90E+04 – 2.9	4.18E+04 - Yok	5.22E+04 – 1.3	1.79E+05 – 1.02
İnsan Toksikitesi, Toprak yoluyla	m ³ toprak/kişi/yıl	3.10E+02 – 2.7	1.02E+02 - Yok	1.27E+02 – 1.23	1.57E+02 – 1.02
Ekotoksosite, Su, Akut	m ³ su/kişi/yıl	4.80E+04 – 2.6	2.33E+04 - Yok	2.91E+04 – 1.11	7.91E+05 – 1.73
Ekotoksosite, Su, Kronik	m ³ su/kişi/yıl	4.70E+05 – 2.6	2.82E+05 - Yok	3.52E+05 – 1.18	7.40E+04 – 1.67
Ekotoksosite, Toprak, Kronik	m ³ toprak/kişi/yıl	3.00E+04 – 1.9	7.71E+05 - Yok	9.64E+05 - 1	6.56E+05 – 1.56

Genel olarak YDED çalışmalarında sınıflandırma ve karakterizasyon adımları zorunlu olmakla beraber normalizasyon ve ağırlık atama adımları seçime bağlıdır. Çalışmamızda tesislere ve yapılan ölçümlere ait belirsizlikler ve veri yetersizliği problemleri olduğundan normalizasyon ve ağırlık atama adımları yapılmamıştır.

3.3 EMİSYON AZALTIMI

Çalışmada ele alınan tesislerde emisyonları azaltmaya yönelik herhangi bir süreç ya da modül kullanılmamaktadır. Ancak emisyon azaltımına yönelik süreçlerle ilgili çalışmalar bilimsel literatürde yer almaktadır. Pandit ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada gaz turbine teknolojisini kullanan bir doğal gaz çevrim santralinin CO₂emisyonlarını düşürmeyi amaçlamışlardır. Egzost gazı geri döndürme sistemi ile potasyum karbonat (K₂CO₃) çöktürme prosesini birlikte kullanmışlar ve CO₂ tutmak için gerekli enerji miktarını yüzde 15 oranında azaltmayı başarmışlardır.

Biliyok ve Yeung (2013) ise yaptıkları çalışmada 4400 MW kapasiteli bir doğal gaz kombine çevrim santralini ele almışlar ve yüzde 90 CO₂ tutma veriminin ekonomik analizini yapmışlardır. Sisteme yakma sonrası carbon tutma kolonu ve egzost geri döndürme sistemi eklendiğinde tesisin net enerji çıktısı yüzde 12 oranında düşmektedir ve sistemin soğutma suyu ihtiyacı da yüzde 33 oranında artmaktadır. Öte yandan üretilen enerji başına salınan CO₂emisyonu yüzde 89 olmaktadır ki baştaki yüzde 90'lık hedefe yakındır.

Fadeyi ve diğ. (2013) yüzde 90 and yüzde 80 CO₂tutma verimleri için çevresel değerlendirme çalışması yürütmüşlerdir. Farklı CO₂ kompreslemek konfigürasyonlarında monoetanolamin (MEA) ve KS-1 solvent kullanımını değerlendirmişlerdir. MEA ile yapılan çalışmada yüzde 90'lık ve yüzde 80'lik tutma verimleri için sera gazı emisyonlarında sırasıyla yüzde 76 ve yüzde 65 azaltım sağlanmıştır. KS-1 solvent kullanımı ise, CO₂rejenerasyonu için gerekli enerji gereksinimindeki düşüşten dolayı, sera gazı emisyonlarında yüzde 78'lik azalmaya yol açmıştır. Ancak CO₂ tutma proseslerinin insan toksisite potansiyeli, sucul ekotoksisite potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, toprak ekotoksisite potansiyeli değerlerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Bu artışın CO₂ tutma için harcanması gereken fazladan

enerjiden kaynaklandığı ayrıca belirtilmiştir.

IPPC Büyük Yakma Tesisleri (LargeCombustionPlants) rehber dokümanında gaz türbinleri ve kombine çevrim santralleri için emisyon azaltım önerileri getirmektedir. Doğal gaz yakma tesislerinde partiküler madde ve kükürt dioksit emisyonlarının önemli ölçüde olmadığı kabulüyle NO_x emisyonlarının azaltılması ile ilgili bilgiler verilmektedir. Halihazırdaki tesisler için en kolay uygulanabilir teknoloji olarak yüksek saflıkta su veya buhar püskürtme sistemleri önerilmektedir. Kapasitesi 20 MW'dan düşük tesislerdeki gaz türbinleri için ise kuru düşük NO_x yakma teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Günümüzde bir gaz türbinini kuru düşük NO_x yakma için yeniden düzenlemek 140 MW_{th} kapasiteli bir gaz türbini için yaklaşık 2 milyon Euro'dur. Bir diğer teknoloji ise seçici katalitik indirgemedir ve dünya üzerinde yaklaşık 300 gaz türbini bu teknoloji ile donatılmıştır.

4. SONUÇLAR

Sürdürülebilirlik, son dönemlerde oldukça sık rastladığımız bir ifade olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı, günümüzdeki kullanımına dair ilk tanımı 1992 yılında Rio De Janeiro'da düzenlenen “Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı”nda yapılmıştır. Sürdürülebilirliğin ne olduğu kısaca tanımlanacak olduğunda ise; doğal kaynakların tüketilmeden, ekolojik yaşamın devamlılığı ve bütünlüğünün korunduğu ve aynı zamanda, insanlığın bu ekolojik sistem ile uyum içinde olduğu bir sistemi ifade eder (Peterson ve Dorsey, 2000; Goodland and Daly, 1996). Sürdürülebilirlik kavramı mimari alandan sosyo-politik alanlara, insan faaliyetlerini içeren her alanda uygulama alanı bulmuştur. Enerji alanındaki sürdürülebilirlik uygulamaları ise “yenilenebilir enerji” uygulamalarıyla hayat bulmaktadır.

İnsanlık uzun yıllardır hayatlarının pek çok alanında fosil enerji kaynaklarına neredeyse bağımlı hale gelmiş haldedir. Bununla birlikte fosil enerji kaynaklarının doğal çevrenin bozulması ve iklim değişiklikleri ile ilgisi uzun yıllardır konuşulan ve tartışılan bir durum. Ayrıca, belirli rezervlerden çıkarılan bu kaynakların miktarı her geçen gün azalmakta ve bu durum hem insanları yeni rezerv bulma arayışına itmekte hem de elde bulunan yakıtın değerinin her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Değeri artışı ve yeni rezervler kurma sırasında oluşan maliyetler ise fosil yakıtların fiyatlarını giderek arttırmaktadır (Çukurçayır ve Sağır, 2008; Gaigalis, Markevicius, Skema ve Savickas, 2015). Bütün bunlar devletleri “yenilenebilir enerji” veya “sürdürülebilir enerji” olarak ifade edilen yeni enerji türlerine itmektedir. Bu enerji türü, sürdürülebilirlik ilkesine dayalı olarak geliştirilen bir enerji tipidir.

Her ne kadar, devletlerin sürdürülebilir enerjiye verdikleri önem gittikçe artsa da, bu alandaki uygulamalar oldukça yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir enerji üretiminde teknolojik gelişmeler önemli yer tutmaktadır ve bu da sürdürülebilir enerjinin günlük hayattaki kullanımının maliyetini artırmaktadır (Ediger, 2009). Bu nedenle günümüzde sürdürülebilir enerji kullanımı yerine fosil yakıt kullanımı halen devam etmektedir. Bu fosil yakıtlar içerisinde çevreye en az zararlı olduğu düşünülen yakıt ise doğal gazdır.

Doğal gaz, petrol gibi bir fosil yakıt olmakla birlikte, yanma sonucun kükürt dioksit ve karbondioksit gibi havaya zararlı gazlar çıkarmayan bir enerji kaynağıdır (Gültekin ve Örgün, 1993). Yapılan çalışmalar, bir elektrik santralının doğal gaz ile çalıştırılması sonucunda, kömürle çalıştırmaya göre yarı yarıya daha az karbondioksit emisyonu olduğu görülmüştür (Sürdürülebilirlik Raporu, 2011). Bu faydaları nedeniyle doğal gazın gelecek yıllarda, özellikle AB ülkelerinde, sürdürülebilir bir enerji kaynaklarına giden yolda bir köprü görevi görmesi beklenmektedir. Bugün dünyada doğal gaz enerjisinin kullanımı diğer enerji kaynakları arasında yüzde 24'lük bir paya sahiptir. Türkiye'de ise doğal gazın tüketim payı, diğer enerji kaynakları arasında yüzde 32'dir (EPDK, 2012). Ancak, doğal gaz enerjisine yönelik artan bu talep miktarı, doğal gaz kaynaklarını da yok olma tehlikesiyle karşı karşıya getirmektedir. Gelecek 90 yıl içerisinde doğal gaz kaynaklarının tükeneceği belirtilmiştir (Özçuhadar, 2007). Bu durum bir an önce sürdürülebilir kaynakların yaygın şekilde kullanılması gerekliliğini bir kez daha gözler önüne sermektedir.

Ülkemizde halihazırda faaliyet gösteren 3 doğal gaz çevrim santralinde yakma prosesinden gelen emisyonlar için küresel ısınma potansiyeli ve asidifikasyon potansiyeli hesabı yapılmıştır. Ancak ölçüm verilerindeki eksiklikler bu hesaplamalarda da eksikliklerin olmasına yol açmıştır. Karbon dioksit üzerinden ölçüme dayalı olmayan bir hesaplama ile yapılan KIP tahminleri ise literatür ile karşılaştırılabilir çıkmıştır. Bu da ölçüm verilerindeki belirsizliğe bir kez daha dikkat çekmektedir. Sürdürülebilirlik çalışmalarının küresel ölçekte önem kazandığı günümüzde ülkemizdeki enerji sektörüne ait tesislerin yaşam döngü analizlerini yapabilmek için daha detaylı bilgi edinmeye ihtiyaç vardır. Bu da bacalardan sürekli ölçüm cihazlarıyla Çevre ve Şehircilik

Bakanlığı İl M¼d¼rl¼kleri'ne doğrudan veri akışı ile m¼mk¼n olacaktır. Ayrıca atmosferik modellemeler, toprak modellemeleri, g¼nl¼k ve mevsimlik emisyon modellemeleri gerektiren kapsamlı bir çabanın ¼r¼n¼ olacaktır.



KAYNAKÇA

Sürekli Yayınlar

- Çukurçayır, M.A. ve Sağır, H. (2008). Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20, 257-278.
- Ediger, V.Ş. (2009). Türkiye'nin Sürdürülebilir Enerji Gelişimi. *TÜBA Günce*, 39, 18-25.
- Gaigalis, V., Markevicius, A., Skema, R. ve Savickas, J. (2015). Sustainable Energy Strategy of Lithuanian Ignalina Nuclear Power Plant Region for 2012-2035 as a Chance for Regional Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1680-1696.
- Goodland, R. ve Daly, H. (1996). Environmental Sustainability: Universal and Non-Negotiable. *Ecological Applications*, 6, 1002-1017.
- Gültekin A.H. ve Örgün, Y. (1993). Doğal Gaz ve Çevre. *Çevre Dergisi*, 9, 37-41.

Diğer Kaynaklar

Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing Coordinating Lead

Authors: Piers Forster ,Venkatachalam Ramaswamy

Esra KARAKIŞ, Enerji İstatistikleri Daire Başkanlığı / enerji verileri için genel bir değerlendirme

EPDK. (2012). *Doğal Gaz Piyasası 2011 Yılı Sektör Raporu*. Doğal Gaz Piyasası Daire Başkanlığı, Ankara.

IPCC FourthAssessment Report: ClimateChange 2007:
www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-3-2.html Son erişim tarihi: 15 Ağustos 2015.

Özçuhadar, T. (2007). *Sürdürülebilir Çevre için Enerji Etkin Tasarımın Yaşam Döngüsü Sürecinde İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Peterson, K.L. ve Dorsey, J.A. (2000). Roadmap for Integrating Sustainable Design into Site-Level Operations. Prepared for the US. Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington:The Brandle Groupft. Colorado: Collins.

Sürdürülebilirlik Raporu – Özet. (2011). RoyalDutch Shell PLC 2011 Sürdürülebilirlik Raporu – Özet. http://reports.shell.com/sustainability-report/2014/servicepages/previous/files/11_review_turkish.pdf

US Energy Information Administration
www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=738t=11 Son erişim tarihi: 9 Temmuz 2015

[<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>]

[http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029]

<https://www.princeton.edu/morel/publications/pdfs/eglestonGlobalBio2010.pdf>

<http://www.realscience.us/2012/03/06/acid-oceans-spell-trouble-for-sea-life/>

UNEP, FAO, IOC (2009) Blue Carbon. The role of healthy oceans in binding carbon

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Parisa Sheverini
Sürekli Adresi : Karajmehrvila, Rudakigharbi No : 153 . Daire : 13
Doğum Yeri ve Yılı :Tehran 1986
İlk Öğretim : Razi (Karaj) 1997
Orta Öğretim : Pardis (Tehran) 2000
Lise : Pardis (Tehran) 2004
Lisans : Islamic Azad University of İran 2010
Yüksek Lisans : Bahçeşehir Üniversitesi 2015
Enstitü Adı : Fen Bilimleri
Program Adı : Enerji ve Çevre Yönetimi