

**KÖMÜR KÖKENLİ METAN GAZI SALINIMININ
DEĞERLENDİRİLEREK İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE ETKİSİNİN
AZALTILMASI**

Hakan ÖKSÜZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2012

ANKARA

Hakan ÖKSÜZ tarafından hazırlanan “KÖMÜR KÖKENLİ METAN GAZININ DEĞERLENDİRİLEREK İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE ETKİSİNİN AZALTILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Feriha YILDIRIM
Tez Danışmanı, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL
Tez 2.Danışmanı, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Beril SALMAN AKIN
Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Feriha YILDIRIM
Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 04/07/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hakan ÖKSÜZ

KÖMÜR KÖKENLİ METAN GAZININ DEĞERLENDİRİLEREK İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE ETKİSİNİN AZALTILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hakan ÖKSÜZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2012

ÖZET

XX. Yüzyılın başından itibaren maddi refah düzeyinin yükselmesi ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi sonucu atmosfere atılan gazlardaki artışın sebep olduğu iklim değişikliği olgusu, çevrenin ve gelecek kuşakların üzerinde beklenmedik dramatik etkiler gösterecek noktalara ulaşmıştır. İklim değişikliği sorununun çözümünde mevcut enerji politikalarının atmosferdeki karbondioksit seviyesini asgari düzeye indirecek teknoloji ve yöntemler kullanılması kilit rol oynamaktadır. Bu çalışmada, sera gazlarını azaltma yönünde kömür madenlerinden salınan metan gazının salınımına katkısının çeşitli yöntemler ile engellenmesi ve alternatif bir enerji kaynağı olarak tüketime arz edilerek ekonomiye kazandırılması temel yaklaşımı ele alınarak ülke potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında, örnek bir işletmenin metan gazı ölçüm sonuçları için gerekli hesaplamalar yapılmış, metan drenajı projelerinin iklim değişikliği sorunu ve enerji kaynak çeşitliliği bakımından tercih edilebilir ve uygulanabilir üstünlükleri irdelenmiştir.

Bilim Kodu : 903.1.054

Anahtar Kelimeler : Sera Gazı, Kömür Kökenli Metan, Enerji

Sayfa Adedi : 106

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Feriha YILDIRIM

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

**REDUCING THE EFFECTS ON CLIMATE CHANGE BY UTILIZATION
OF COAL-BED METHANE**

(MSc. Thesis)

Hakan ÖKSÜZ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2012

ABSTRACT

From the beginning the 20th Century, fact of climate change, due to increase in emissions of greenhouse gases to Earth's atmosphere as a result of increase in welfare and change in consumption patterns, has reached to a level causing unexpected and dramatic impacts on environment and posterity. Energy policies that promote technologies which reduce CO₂ concentrations in the atmosphere to minimum levels have a key role at the solution of climate change problem. The aim of this study is to evaluate the country's potential while the prevention of methane emissions from coal mines by various processes in order to reduce greenhouse gas emissions and recovery of methane to be introduced as an alternative energy source to country's economy are being considered as basic approaches. Within this context, in terms of climate change concerns and diversity in energy sources, preferable and feasible advantages of methane drainage projects have been examined by performing calculations based on a sample workplace's methane gas emission measurement results.

Science Code : 903.1.054
Key Words : Greenhouse Gas, Coalbed Methane, Energy
Page Number : 106
Adviser : Asst. Prof. Dr. Feriha YILDIRIM
Asst. Prof. Dr. Hüseyin TOPAL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezinin konu seçiminden hazırlama aşamalarına kadar süren tüm çalışmalar boyunca değerli yardım ve katkıları ile beni yönlendiren Yrd. Doç. Dr. Sayın Feriha YILDIRIM Hocam'a, yine zamanını, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak değerlendirmeleri ile bana ışık tutan Yrd. Doç. Dr. Sayın Hüseyin TOPAL Hocam'a, ayrıca bazı Kurumsal teknik bilgi ve verileri istifademe sunan Amasra Müessesesi Müdürü Sn. Ejder ERBAY'a ve Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü yetkililerine, özellikle manevi destekleri ile her zaman yanımda olan sevgili aileme en kalbi teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Son olarak, bu tez çalışmasını evlatları olmakla gurur duyduğum beni özveri ile yetiştiren anneme ve babama adıyor ve armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SORUNU.....	4
2.1. İklim Değişikliği Kavramı	4
2.2. Sıcaklıkta Tehlikeli Değişiklikler	5
2.3. Küresel Isınmaya Ait Başka Belirtiler	7
2.4. İklim Değişikliği Öngörülleri.....	8
2.5. İklim Değişikliğini Belirleyen Etkenler	10
3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE SERA GAZI ETKİSİ	13
3.1. Atmosfer Kimyası	13
3.2. Sera Etkisi	13
3.3. Sera Gazları	16
3.3.1. Su buharı	16

Sayfa

3.3.2. Karbondioksit (CO ₂).....	17
3.3.3. Metan (CH ₄).....	18
3.3.4. Diazotmonoksit (N ₂ O).....	20
3.3.5. Ozon (O ₃).....	20
3.3.6. Kloroflorokarbonlar (CFC).....	21
3.3.7. Aerosoller.....	21
3.4. Sera Gazlarına İnsan Kaynaklı Müdahale.....	23
3.5. Sera Gazı Salınımından Sorumlu Olan Ülkeler.....	27
4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SORUNUNA ULUSLAR ARASI ÇÖZÜM ARAYIŞLARI.....	30
4.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.....	30
4.2. Kyoto Protokolü.....	31
4.3. Kopenhag İklim Zirvesi.....	33
4.4. Sözleşme ve Kyoto Protokolü Çerçevesinde Türkiye'nin Pozisyonu.....	34
4.5. Türkiye'de Gönüllü Karbon Piyasası.....	35
5. SERA GAZLARI SALINIMI VE ENERJİ.....	36
5.1. Dünya'da Enerji Görünümü.....	36
5.2. Fosil Yakıt İlişkili Karbondioksit Salınımı.....	40
5.3. Türkiye'nin Enerji Talebi ve Karşılama Durumu.....	43
5.4. Elektrik Enerjisi Üretimi.....	45
5.5. Türkiye'nin Sera Gazı Temel Göstergeleri.....	46
5.6. Türkiye'nin Sera Gazı Salınımında Hedef ve Stratejisi.....	49

Sayfa

6. KKM GAZININ SERA GAZI SALINIMINA ETKİSİNİN AZALTILMASI.....	52
6.1 KKM Gazının ‘Enerji Kaynağı’ Olarak Değerlendirilmesinin Önemi.....	52
6.2. Kömür Madenlerinde Metan Gazı Kaynağı Ve Birikimi.....	53
6.3. Kömür Madencilüğünden Atmosfere Salınan Metan Gazı.....	56
6.4. KKM Gazı Kazanımı Ve Önemi.....	58
6.5. KKM Gazı Kazanım/Azaltım Yöntemleri	59
6.6. Dünya’da KKM Projelerine Genel Bakış	66
6.6.1. ABD’de KKM endüstrisindeki gelişmeler.....	66
6.6.2. Diğer ülkelerde KKM üretimi.....	68
6.6.3. Avrupa’da KKM endüstrisinin durumu	71
6.7. Türkiye’de KKM Gazının Rezerv ve Üretimine Yönelik Çalışmalar	73
7. MATERYAL VE METODOLOJİ.....	75
7.1. Kapsam.....	75
7.2. Çalışmada Yararlanılan Veri Kaynakları ve Metodoloji	75
7.3. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgi: Türkiye Taşkömürü Kurumu	81
8. BULGULAR.....	84
8.1. TTK İşletmelerinde Metan Emisyonunun CO ₂ Eşdeğeri	84
8.2. Kömürün Yanmasından Kaynaklı CO ₂ Emisyonu	85
8.3. Metan Emisyonunun (CO ₂ Eşdeğeri) Kömürün Yanmasından Kaynaklı CO ₂ Emisyonuna Oranı	85
8.4. Kazanılan Metanın Üretilen Kömürün Isı Değerine Oranı	86
8.5. Kazanılan Metanın Güç Üretim Potansiyeli	87
8.6. Metan Azaltımının Gönüllü Karbon Piyasasında Değerlendirilmesi.....	88

Sayfa

9. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	90
KAYNAKLAR	95
EKLER.....	99
EK-1 İklim değışkenliği, aşırı iklim olayları ve etkileriyle ilgili örnekler	100
EK-2 KKM gazının drene edilerek kullanılma seçenekleri	101
EK-3 Ocak havası metanın yardımcı yakıt olarak kullanım teknolojilerinin karşılaştırılması	102
EK-4 Ocak havasındaki metanın oksidasyon teknolojilerinin karşılaştırılması	103
EK-5 İngiliz Birim Sistemine Göre Kullanılan Formüller.....	104
EK-6 Formüllerde Geçen Birimler ve Metrik Sistemde Karşılıkları	105
ÖZGEÇMİŞ	106

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. İnsan kaynaklı sera gazları emisyonları.....	25
Çizelge 3.2. Küresel ısınmada etkili olan sera gazları ve özellikleri	26
Çizelge 3.3. 1850-2002 dönemi kümülatif CO ₂ emisyonları.....	27
Çizelge 3.4. 2000 yılı bazı ülkelerin kişi başı SG ve CO ₂ salınımı... ..	29
Çizelge 4.1. BMİDÇS’ne taraf ülkeler ve Türkiye	31
Çizelge 4.2. Ek-B listesi sayısallaştırılmış azaltım yükümlülükleri	32
Çizelge 5.1. Enerjinin alt sektörlerinde sera gazı salınım dağılımı	37
Çizelge 5.2. Dünya birincil enerji talebinin yakıt bazında dağılımı	38
Çizelge 5.3. 1990-2020 dönemi dünya enerji ilişkili CO ₂ salınımlarında yakıt payları.....	40
Çizelge 5.4. Enerji kaynaklarının karbon salınım miktarları	42
Çizelge 5.5. Türkiye genel enerji tüketiminde kaynakların payları.....	44
Çizelge 5.6. Sektörlere göre toplulaştırılmış sera gazı emisyonları.....	46
Çizelge 5.7. Topplulaştırılmış sera gazı emisyonları	47
Çizelge 5.8. 2008 yılı enerji kaynaklı CO ₂ ilişkin değerler	48
Çizelge 6.1. ABD’de KKM üretiminin yıllara göre artışı.....	67
Çizelge 6.2. Zonguldak havzasında metan gazı potansiyeli	73
Çizelge 7.1. TTK havalandırma ve gaz ölçüm sonuçları	76
Çizelge 7.2. 2003–2009 dönemi yıllık taşkömürü üretim miktarları	82
Çizelge 8.1. TTK faaliyetlerine bağlı yıllık metan emisyonları.....	84
Çizelge 8.2. TTK’nın Metan Salınımı ve Enerji Üretim Potansiyeli	89

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Son 18 000 yılda görülen ortalama sıcaklık değişimleri.....	7
Şekil 2.2. Endüstriyel çağda iklim zorlayıcı etmenler	10
Şekil 2.3. Geçen yüzyılda tahmini iklim zorlayıcıları.....	11
Şekil 3.1. Dünya üzerinde ısı alışveriş mekanizması.....	15
Şekil 3.2. Ölçümlerden elde edilen CO ₂ , CH ₄ ve sıcaklık kayıtları.....	23
Şekil 3.3. Kümülatif CO ₂ emisyonlarının ülkelere göre dağılımı.....	28
Şekil 5.1 Sera gazlarının kaynaklandıkları sektörler.....	36
Şekil 5.2. Dünya enerji tüketimi ve CO ₂ salınımı.....	37
Şekil 5.3. Ek -1 ülkelerde insan kaynaklı sera gazı salınımları	39
Şekil 5.4. 2035 yılı kaynaklara göre talep tahmin senaryoları.....	42
Şekil 5.5. Yanma kaynaklı CO ₂ emisyonlarının dağılımı	45
Şekil 6.1. Metan moleküllerinin temsili görünüşü.....	54
Şekil 6.2. Metan gazının bulunabileceği yerlerin görünümü	55
Şekil 6.3. Kömür üretici ülkelerin metan emisyonları	57
Şekil 6.4. Metan drenajının şematik gösterimi ve örnek uygulaması.	61
Şekil 6.5. Metan drenajı yöntemlerinin bir arada gösterimi	62
Şekil 6.6. Katalitik akış dönüşüm reaktör teknolojisinin avantajları	65
Şekil 6.7. İşletmedeki metan drenajı ve elektrik üretimi süreci.....	70

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Sihe metan gazlı elektrik santrali.....	70
Resim 6.2. Sihe pompa drenaj istasyonu	70
Resim 6.3. Gaz emme pompaları	72
Resim 6.4. Emilen gazın santrale pompalanması.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda belirtilmiştir.

Simge	Açıklama
Ar	Argon
Btu	İngiliz ısı birimi
CFC	Kloroflorokarbonlar
CH₄	Metan
CO₂	Karbondioksit
Gt	Milyar ton
GWP	Küresel ısınma potansiyeli
lb	İngiliz kütle birimi, libre
kcal	Kilokalori
Mpa	Mega paskal
Mt	Milyon ton
mtep	Milyon ton petrol eşdeğer
MWh	Megawatt saat
µm	Mikrometre
N₂	Azot
N₂O	Diazotmonoksit
O₂	Oksijen
O₃	Ozon
ppb	Milyarda bir hacim
ppm	Milyonda bir hacim
sc	İngiliz Hacim birimi (Kübik feet)
scf	1 varil ham petrol enerji eşdeğeri
tep	Petrol eşdeğeri
W	Watt

Kısaltma	Açıklama
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CRU	Climate Research Unit
ÇSKTP	Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Tematik Paneli
EGSOÜ	Ekonomileri Geçiş Sürecinde Olan Ülkeler
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
İDDB	İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı
İDEP	İklim Değişikliği Eylem Planı
HİDP	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
KKM	Kömür Kökenli Metan
LULUCF	Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Değişikliği ve Ormancılık
OECD	Ekonomik ve Kalkınma İşbirliği Örgütü
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu
TTKİGDB	Türkiye Taşkömürü Kurumu İş Güvenliği Daire Başkanlığı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
UİDSB	Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü

1. GİRİŞ

Çağımızda dünyanın en büyük sorununu, fosil yakıtların kullanımı ile ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının sebep olduğu küresel ısınma ve iklim değişiklikleri oluşturmaktadır. Küresel ısınma olgusu, özellikle karbon salınımları ya da karbondioksit emisyonları sebebi ile dünyanın ısı alışverişinin ısınma yönünde değişerek Dünya ortalama sıcaklığını artırması şeklinde anlaşılmaktadır. Buzulların erimesi, deniz suyu seviyesinin yükselmesi de bu olgunun doğal bir sonucu olmaktadır. Bilimsel çevreler, bu durumun geldiği noktayı yaptıkları bilimsel çalışmalar ile ortaya koyduklarından birçok ülke ve uluslararası kuruluşlar tarafından sera gazı salınımlarının azaltılmasına yönelik toplantılar düzenlenmekte ve protokoller imzalanmaktadır. Söz konusu organizasyonlarda yapılan çağrılar ile kamuoyunun bilgi eksikliği giderilmeye çalışılmakta, geleceğe yönelik tahminler yapılmakta ve konu ile ilgili acil olarak eyleme geçilmesi istenilmektedir.

Bilim insanlarının ortaya koyduğu tüm gayret ve araştırmalar kimi çevrelerde olumlu yankı bularak hedeflenen farkındalığı artırmakta iken, kimi bazı duyarsız ülke ve çevreler ise sera gazı salınımları konusunda herhangi bir kaygı taşımamakta, getirilen sınırlama ve yaptırımları ekonomik faaliyetlerine tehdit olarak görmektedirler. Tartışmalar bu noktada devam ederken asıl üzerinde durulması gerekli husus, hammadde ve kaynak tüketimi yüksek durumda olan sanayileşmiş ülkelerin yaşam ve çevre koşullarını da bozmaktan sorumlu olduğudur. Örneğin, gelişmiş ülke insanları gelişmemiş ülke insanlarına kıyasla ortalama olarak on kat daha fazla enerji, on kat daha fazla çelik, on beş kat daha fazla kâğıt, bir-iki katı kadar daha fazla gıda maddesi tüketmektedir. Bu tüketimler, hem doğal kaynak kullanımını yükseltmekte hem de karbondioksit, metan, CFC gazlarının ve diğer emisyonların atmosferdeki değerlerini hızla çoğaltmaktadır.

Atmosfere salınan başta CO₂ olmak üzere sera gazları birçok sektörden kaynaklanmakla birlikte fosil yakıtlı enerji ve ilişkin faaliyetlerin sorumluluk payı çok daha fazladır. Enerji; insanlığın temel ihtiyaçlarının karşılanmasında, insanın ortalama ömür ya da yaşam süresinin uzatılması ve hayat standartlarının

yükseltilmesinde birincil derecede önemli gereksinim kabul edilmektedir [Taner,2009]. O halde, bugünkü ekonomik gelişme sürecinde enerji sistemlerinde hâkim durumda kullanılan fosil enerji yakıtlarının küresel karbon salınımlarındaki etkisinin asgariye indirilmesi şart olarak gözükmektedir. Bu bağlamda, küresel endüstriyellemenin gereksinimlerini karşılayan fosil yakıtlı enerji sistemlerinde değişikliğe gitmek ve yenilenebilir enerji kaynaklarını (YEK) ve teknolojilerini kullanmak gerekmektedir.

Gelişmekte olan Ülkemiz değerlendirilecek olursa, içinde bulunulan coğrafyanın su kıtlığı, kuraklık ve toprak erozyonu sorunları ile karşı karşıya olması Türkiye'yi küresel ısınmanın zararlı ve şiddetli etkilerini en önce yaşayacak ülkeler arasına sokmaktadır. Her ne kadar, Türkiye'nin karbondioksit emisyonu üretme bakımından kişi başına düşen sorumluluğu, diğer OECD ve Avrupa Birliği ülkelerine göre daha az gözüksün de 1980'den bu yana Türkiye'nin enerji kaynaklı gaz salınımları artış gösterdiğinden bunun önüne geçilmesi ve kullanılan eski teknolojilerin değiştirilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Türkiye'nin enerji politikalarında göz önüne alınması gerekli temel ilkeler belirlenirken şüphesiz, enerji strateji ve hedefleri çevresel problemlere yol açmayacak temiz- çevre dostu yöntem ve teknolojilere öncelik verecek biçimde şekillendirilmelidir.

Türkiye'nin taraf olduğu uluslararası antlaşmalar uyarınca, Ülkemizde atmosfere salınan kirletici maddelerin denetlenmesi ve izleme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Ortaya konulan bu sonuçlara göre Türkiye, ulusal program ve stratejilerine uygun faaliyetlerini yürüterek iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışmalara katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, temiz ve yerli enerji kaynakları üzerine araştırmaların yapılabileceği ve uygulamaların gerçekleştirilebileceği alanlardan birisi de kömür madenciliğinin en büyük sorunlarından biri olan metan gazının uygun yöntem ve teknolojiler ile kazanılması, uygun süreçlerle elektrik veya ısı enerjisine dönüştürülmesi uygulamalarıdır. Dünya'da çeşitli ülkelerde kömürden metan üretimi ekonomik olarak yapılmakta, üretilen metan çeşitli yollarla endüstriyel tesislerde yakıt olarak kullanılmaktadır.

Tez kapsamında, uygulama için örnek tesis olarak Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğüne bağlı işletmeler seçilmiştir. Çalışmanın amacı, TTK işletmelerinin emisyonu katkısını ölçmek, emisyonu azaltmanın çevre ve enerji açısından değerini ortaya koymak, böylelikle sera gazı etkisini arttıran metan emisyonunun düşürülerek çevreye ait yükümlüklerin karşılanması, ayrıca enerji gereksiniminin karşılanmasında kullanılması ile işletme ve ülke ekonomisine getireceği ek kazançları tespit etmektir.

Çalışmada, Dünya’da birçok gelişmiş ülkede kullanılan kömür kökenli metan gazının drene edilmesi yöntemlerinin hâlihazırda Ülkemizde uygulanabilmesi için örnek seçilen madencilik kuruluşu ölçeğinde fizibilite amaçlı sayısal hesaplamalara ve sonuçlara yer verilmiştir. Ayrıca, Kurum işletmelerinde hava çıkış kuyularından atmosfere karışan metan gazının CO₂ eşdeğeri, ısıl değeri, potansiyel elektrik üretim kapasitesi ve karbon salınımından sağlanan tasarrufun uluslararası piyasalara satışı ile elde edilebilecek gelir hesaplanmaya çalışılmıştır.

Sonuç olarak, metan gazının kazanımı ve azaltımı ile atmosfere daha fazla yayılmasının önlenmiş olacağı ve söz konusu işletmeye ait yıllık salınımının çevresel ve sağlık açısından ciddi sonuçları görülmeden önce bertaraf edilmesinin yöntem olarak daha zararsız ve az maliyetle sonuçlanacağı vurgulanmıştır.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SORUNU

2.1. İklim Değişikliği Kavramı

İklim değişikliği, çok genel bir yaklaşımla, “Nedeni ne olursa olsun iklim koşullarındaki büyük ölçekli (küresel) ve önemli yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş gelişen değişiklikler” biçiminde kullanılabilir [Türkeş, 2003].

Günümüzde iklim değişikliği, sera gazı birikimlerini arttıran insan etkinlikleri dikkate alınarak tanımlanmaktadır. Örneğin, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nde (BMİDÇS), “Karşılaştırılabilir bir zaman döneminde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik” biçiminde tanımlanmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli’nin (HİDP) raporlarına göre ise “iklim değişikliği doğal nedenler ve beşeri faaliyetler yüzünden meydana gelen meteorolojik değişim” olarak tanımlanmıştır [Arıkan, 2006].

Atmosferdeki CO₂ birikiminin artmasına bağlı olarak dünya ikliminin değişebileceği olasılığı Nobel Ödüllü İsveçli S. Arrhenius tarafından 1896 yılında öngörülmüştür. Bu yıldan itibaren yapılan bilimsel çalışmalar, orta ölçekli olarak 1970’li yıllara kadar devam etmiştir. 1979 yılında ilk kez Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) öncülüğünde "Birinci Dünya İklim Konferansı" düzenlenerek fosil yakıtlardan ve CO₂ birikiminden kaynaklanan küresel iklim değişikliği vurgulanmıştır. Bu konferans ile konunun önemi dünya ülkelerinin dikkatine sunulmuş ve toplumun ana enerji kaynağı olarak fosil yakıtlara olan uzun süreli bağımlılığının ve ormansızlaşmanın gelecekte de sürmesi durumunda, atmosferdeki karbondioksit birikiminin büyük ölçüde artabileceği, insan etkinlikleriyle atmosfere eklenen CO₂’nin iklimsel sonuçlarının da uzun bir süre etkili olacağı ortaya konmuştur [DPT, 2000].

2.2. Sıcaklıkta Tehlikeli Değişiklikler

Geçmişten bu yana dünya iklimi üzerindeki değişimlerin ölçülmesine ilişkin bilim insanlarının dünyanın değişik noktalarında yaptığı birçok araştırmalar bulunmaktadır. 1989 yılında bir grup bilim heyetinin Grönland buzlarında yaptığı araştırmalarda şaşırtıcı bulgulara ulaşmaları ile iklim değişikliği ile ilgili değerlendirme ve düşünceler değişmeye başlamıştır. Bilim insanları buz katmanlarındaki sıkışık kalmış hava kabarcıkları üzerinde yaptıkları kimyasal testler her yıl ısının ne kadar olduğunu, havada ne kadar karbondioksit, metan ve su buharı olduğunu göstermiştir. Bilim insanları yavaş bir değişim beklerken bulgulara göre 24 büyük ısı değişimi evresi bulunduğu, dünya ısınırken değişimin büyük kısmının son 20 yıl içinde ve daha çabuk, hatta 10 660 yıl önce son buz çağıının sonunda Grönland'daki ısınmanın çoğunun sadece üç yılda gerçekleştiği belirlenmiştir [Jonathan, 2008].

1988 yılından başlayarak çeşitli milletlerden yetkin bilim adamlarını bir araya getirerek oluşturulan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (HİDP veya İng. IPCC) tarafından sunulan bilgi ve veriler, küresel bir ısınmanın beklenenin üzerinde bir hızla arttığını ve bunun temel sebebinin atmosferdeki “sera etkisi” yapan gazların hızla artmasından kaynaklandığını kesinlikle ortaya koymuştur. Söz konusu kuruluş, Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından kurulmuş ve iklim değişikliklerinin farklı açılardan nedenleri konusunda inceleme ve değerlendirme yapmayı amaç edinmiştir [Spence,2007].

Yeryüzündeki ortalama sıcaklıklardaki artışa, HİDP'nin iklim değişikliği üzerine yayınlamış olduğu 2001 ve 2007 yıllarında yayınladığı son iki raporda da dikkat çekilmiştir.

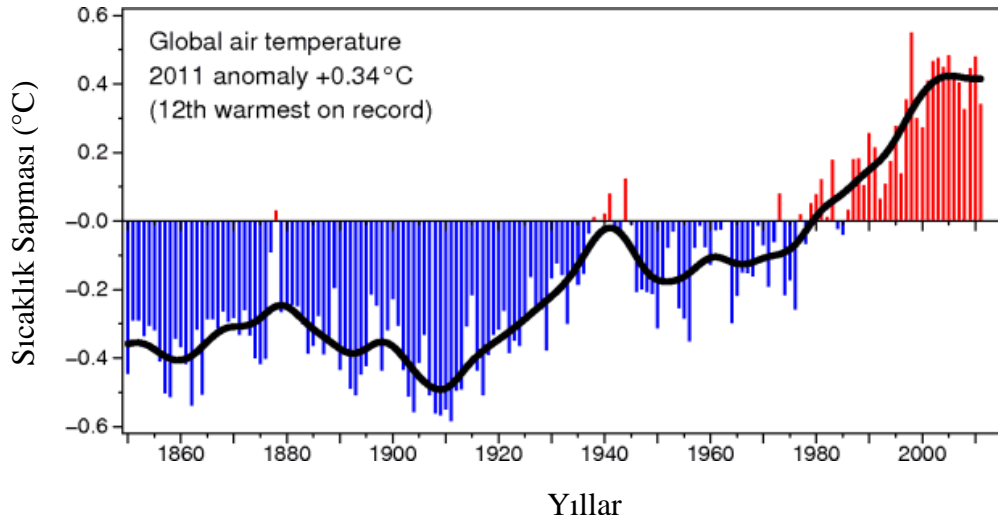
2001 yılında yayımlanan 3. Değerlendirme Raporu'na göre, küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 20. yüzyılda 0,4–0,8 °C arasında (yaklaşık 0,6 °C) artmıştır. 2007 yılı son değerlendirme raporunda ise kullanılan gelişmiş iklim modelleri sonuçlarına göre küresel ortalama yüzey sıcaklığının 1990–2100 döneminde 1,4–5,8°C arasında

yükseleceği öngörülmüştür [Türkeş,2002]. Yine aynı raporda, 1995–2006 yılları arasındaki 11 yıl, 1850 yılından beri ölçülen en sıcak 12 yıl arasında yer almıştır. Buna ek olarak, 1906–2005 yılları arasında yeryüzündeki ortalama yüzey sıcaklığındaki artış devam etmektedir. Buna göre, 1906–2005 yılları arasındaki ortalama yüzey sıcaklığı artışı $0,74^{\circ}\text{C}$ dereceye yükselmiştir [Doğan ve Sümer, 2011].

Climate Research Unit (CRU) tarafından kullanılan hesaplama yöntemine göre de 1850–2010 yılını kapsayan zaman serisinde, ortalama küresel sıcaklık değişimi Şekil 2.3.'den izlenebileceği üzere 2011 yılı için $+ 0,34^{\circ}\text{C}$ olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu değer, 1960 ile 1990 yılları arasındaki 30 yıllık ortalama alınarak elde edilen başvuru sıcaklığına göre, kayıtlarda sıcaklığın 12. en yüksek olduğu yıl, 2008 yılı ise 21. yüzyılın en soğuk yılı olmasına rağmen en sıcak 13. yıl olarak kayıtlara geçmiştir [Jones, 2011].

Aynı yöntemler ile elde edilen sonuçlar, 2001–2010 dönemi için on yıllık ortalama küresel sıcaklık değişiminde 1991–2000 dönemine göre $0,20^{\circ}\text{C}$ 'lik bir artış söz konusu olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 2.1.'de Dünyanın sıcaklık ortalamasında, son yıllarda kaydedilen değerlere göre meydana gelen değişimler görülmektedir. Isınma 1925–1944 arasında $0,3\text{--}0,4^{\circ}\text{C}$ 'lik artışla kendini göstermiş, daha sonra 1970'lerin sonuna kadar nispeten kararlı bir seyir izledikten sonra, özellikle 1975'den sonra başlayarak düzgün bir artış kendini göstermiştir. 1998, son 150 yılın en sıcak yılı olmuştur.



Şekil 2.1. 1860'tan beri yeryüzü ortalama sıcaklığındaki değişimler [Jones, 2011]

Dikine çizgiler yıllık sapmaları gösterirken, düz siyah çizgi ortalama değere denk gelir.

2.3. İklim Değişikliğine Ait Başka Belirtiler

HİDP'nin 2002 yılında yayınlanan "Synthesis Report" adlı raporunda sadece sıcaklık ölçümlerine dayanmayan başka ısınma belirtilerinden de söz edilmektedir. Bunlar şöyle özetlenebilir:

- 1- *Dağlardaki buzullarda bir gerileme vardır.* İsviçre Alpleri Buzullarının 1850-1973 arasındaki dönemde kalınlığının 19 metre azaldığı, buna paralel olarak buz hacminin % 33 azalarak 107 km³'den 74 km³'e düştüğü belirlenmiştir.
- 2- *Kar örtüsünde de gerileme görülmektedir.* Uydular ile yapılan gözlemler karlı bölgelerin yüzeyinin 1960'lardan beri %10 oranında azaldığını ortaya koymakta, yerden yapılan gözlemlerde ise, yüksek enlemlerde kışın donan nehir ve göllerin donmuş olarak kalma sürelerinin ortalama 2 hafta azaldığını ortaya çıkarmaktadır.
- 3- *Deniz buzları azalmaktadır.* 1950'li yıllara göre Kuzey Kutbunda ilkbahar ve yaz mevsiminde görülen deniz buzları % 10–15 azalmıştır.

- 4- *Kuzey Kutbundaki buz kalınlığı azalmıştır.* Özellikle 1960’lardan itibaren nükleer denizaltıların Kuzey Kutbu altından geçerken yaptıkları gözlemler sonucu Kuzey Kutbunu kaplayan buz kalınlığının % 40 kadar azaldığını ortaya koymaktadır.
- 5- *Bitkilerin uykuda kalma süresi azalmıştır.* Özellikle bazı bölgelerde bitkiler çok daha erken uyanır olmuştur. Sözcüleri İngiltere’de 5 haftalık bir geriye çekilme olmuştur.
- 6- *Deniz seviyesinde yükselme görülmektedir.* Deniz seviyesinin değişiminde başlıca etmenler arasında okyanus sularının ısınma sonucu genişmesi gelir. İklim değişikliği sonucu deniz yüzeyi suların sıcaklığının artmasına yol açarken, kaçınılmaz olarak su hacmi de artmaktadır. İkinci etmen ise, buzulların erimesi sonucu denize katılan muazzam su kütlelerinin hacmi dolayısıyla deniz seviyesini arttırmasıdır. Sonuçta, son yüzyıl içinde deniz seviyesinin ortalama 10–12 cm’lik bir artış ölçülmüştür [Doğan ve Tüzer 2011].

Çeşitli gözlem yöntemleri ile elde edilen bu sonuçlar üzerinden kesin ve hemen karar verilmemesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Buna karşın, farklı alanlarda yapılan gözlemlerin aynı yönde seyrediyor olması bu sonuçlara dikkat çekmeyi gerekli kılmaktadır.

2.4. İklim Değişikliği Öngörülleri

HİDP’nin 2007 yılı son raporunda önlem alınmazsa bu yüzyıl içinde 3°C ve sonuna doğru 5°C ortalama küresel sıcaklık artışı ile karşı karşıya kalılabileceği öngörülmektedir. İklim uzmanları ortalama sıcaklıktaki 5°C ‘lik bir azalmanın çok şiddetli bir iklim değişikliği olan buzullaşmaya yol açtığını, aynı miktar artışın yol açabileceği durumların neler olabileceğine işaret ederek iklimin tehlikeli kırılma noktasına yaklaştığını belirtmektedirler [Uzmen,2007].

Nitekim, dünyanın önde gelen iklimbilimcilerinden Nasa Goddard Yerbilimleri Enstitüsü Başkanı ve Kolombiya Üniversitesi Öğretim Üyesi Dr. James Hansen, iklim durumunun geldiği nokta hakkında 2008 yılında Japonya Başbakanına yazmış olduğu mektupta şu ifadeleri kullanmıştır; “Küresel iklim, Kuzey Kutbu’ndaki bütün

yaz deniz buzullarının yok olmasına yol açabilecek kritik bir kırılma noktasına doğru yaklaşıyor; bu, kademeli olarak Batı Antartika ve Grönland'da buzulların çözülmesini, deniz seviyesinin küresel çapta durdurulmaz yükselişi, birçok hayvan ve bitki türünün yok oluşu anlamına gelen, iklim bölgelerinin değişmesini, yüz milyonlarca insanın temiz su kaynaklarının kurumasını beraberinde getirecek; dağlardaki buzulların erimesi, aşırı kuraklık ve orman yangınlarıyla birlikte şiddetli yağmurlara ve sellere, tropik fırtınalar, tornadolar, şimşek ve yıldırımlarıyla gizil ısının harekete geçireceği güçlü kasırgalara neden olacak çok keskin hidrolojik döngüleri tetikleyerek, yerli halklara ve vahşi yaşama ölümcül etkilerde bulunacaktır” [Hansen,2009].

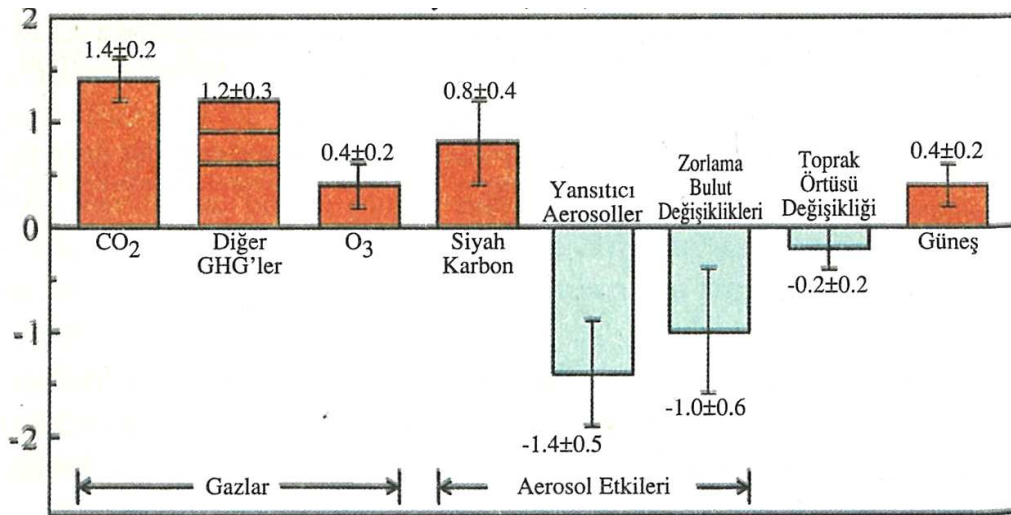
HİDP'nin hazırladığı 2001 Üçüncü Değerlendirme Raporunda ısınmanın insanlar ve yaşam üzerinde etkisi ve olasılıkları bir risk değerlendirme çizelgesi ile açıklanmıştır. Kimi yerde iklim olaylarında zarar göreceği öngörülen bölge ve kesimler liste halinde EK -1' de gösterilmiştir.

2.5. İklim Değişikliğini Belirleyen Etkenler

İklim, uzun dönemli olarak çeşitli zorlamalara karşılık gelecek şekilde değişim gösterebilmektedir. İklim değişikliğini açıklayabilmek için belli başlı iklim zorlayıcı etmenlerin hangileri olduğunun, dünya ikliminin bu zorlayıcılar karşısında ne kadar duyarlı olduğunun ve zorlamalarla gelen bir değişikliğe dünyanın tepki vermesinin ne kadar zaman aldığına bilinmesi gerekir.

İklim Bilimci James E. Hansen'e göre önemli iklim değişikliği zorlayıcıları; güneş ışığındaki, atmosferdeki veya dünyanın yüzeyindeki değişiklikler gibi etkenler olup küresel enerji dengesini değiştiren mekanizmalardır.

Metre kare başına zorlamalar "Watt" birimi ile ölçülür. Dünyanın güneşten absorbe ettiği güneş ışığı ortalama olarak 240 W/m^2 'dir. Dolayısıyla, güneş, %1 daha parlak olursa bu $2,4 \text{ W/m}^2$ pozitif zorlama anlamına gelmektedir. 1850–2000 yılları arası endüstriyel dönem boyunca iklim zorlamalarındaki tahmini değişiklikler Şekil 2.2'de sunulmuştur.



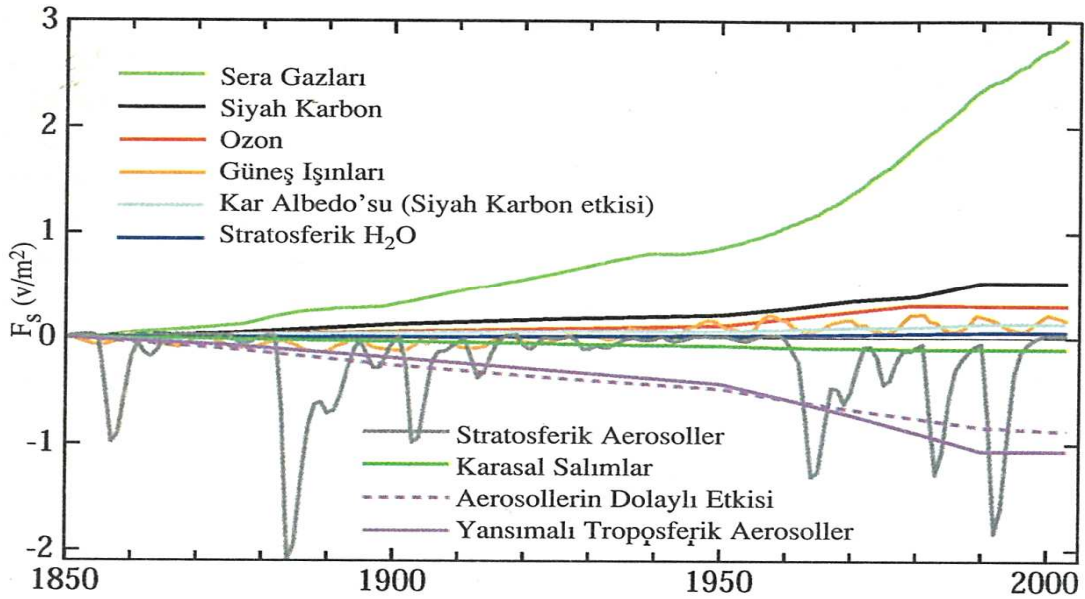
Şekil 2.2. Endüstriyel çağda iklim zorlayıcı etmenler [Hansen,2009]

İklim değişikliğinde gazlar pozitif, aerosoller negatif şekilde zorlayıcı etkiye sahiptir. Bu zorlayıcılar, doğal (güneşin parlaklığındaki oynamalar gibi) ya da insan

kaynaklı (aerosoller ve sera gazları gibi) olabilir. Şekilde 2.2.'de insan kaynaklı pozitif iklim zorlayıcılarının artık doğal zorlayıcıların önüne geçtiği görülmektedir.

Güçlü pozitif zorlayıcı insan kaynaklı sera gazları, karbondioksit, metan ve kloroflorokarbonlardır(CFC). En önde gelen negatif zorlayıcı, insan yapısı aerosollerdir. Bunlar genellikle sülfatlı fosil yakıtların yanması sonucu oluşan küçük parçacıklar olup bulut kümelerinin toplaşıp yoğuşmasını sağladıklarından güneş ışığının daha çok yansımaya neden olur; dolayısıyla soğutucu bir etki yapar.

1850–2000 yılları arasındaki dönemde ölçümlenen iklim zorlayıcıları Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Geçen yüzyılda tahmini iklim zorlayıcıları [Hansen,2009]

Burada ölçümü belirgin şekilde tayin edilebilen sera gazı ve volkanlardan çıkan stratosferik aerosoller gibi eğrilerdir. Çalışmalarla insan kaynaklı zorlayıcıların en önemli zorlayıcılar olduğu artık bilinmektedir.

Bu veriler ışığında, iklim uzmanları tarafından pozitif zorlayıcıların küresel ısınmaya ve gezegeni daha sıcak bir iklime doğru sürüklediği değerlendirilmektedir. Aynı

görüŖe göre; her geçen gün oranda atmosfere gaz eklenmesi, okyanusların yirmi otuz yıldır ısınmakta olması, bunun karşısında sisteme giren enerjiye kıyasla gezegenden daha az enerjinin çıkması yani “sera etkisi” dengesizliğe sebebiyet veren bir ilkim zorlayıcısıdır [Hansen,2009].

3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE SERA GAZI ETKİSİ

3.1. Atmosfer Kimyası

Dünyamız, okyanuslarda, karalardan, buz kaplı kutuplardan oluşur ve hepsi atmosfer denilen bir gaz karışımı ile örtülüdür. Yerden 10 ile 15 km'ye kadar yükselen atmosfer “traposfer” adını alır ve bütün canlı varlıkların bu tabaka içinde yer aldığı görülür. Atmosferin esas bileşeni % 78 oranı ile N₂ gazıdır. İkinci sırada fotosentez ile canlıların solunumu arasındaki dengenin sonucu olan O₂ gazı yer alır. Oksijenin atmosfer içindeki payı % 21'dir. Üçüncü sırada % 0,9 oranı ile Ar gazı gelir. Geriye kalan % 0,1 'lik kısım H₂O_(g), CO₂, CH₄, N₂O ve O₃ ve eser miktarda diğer gazlardan oluşur. İleride sık sık dile getirilecek olan sera etkisinin baş etmenleri de işte bu binde birlik kısmı oluşturan gazlardır. Atmosferde bulunan gazlar, dışarıdan (güneş, kozmik ışınlar) ve içeriden (dünyadan) kaynaklanan çeşitli kimyasal tepkimeler verirler, ama bu kimyasal değişimler belli bir dengede bulunduğundan atmosfer bileşiminde belirgin bir değişim fark edilmez. Aksi takdirde, atmosferdeki kimyasal ve fiziksel denge değişecek ve buna bağlı olarak canlıların yaşam dengeleri de alt üst olabilecektir [Uzmen,2007].

3.2. Sera Etkisi

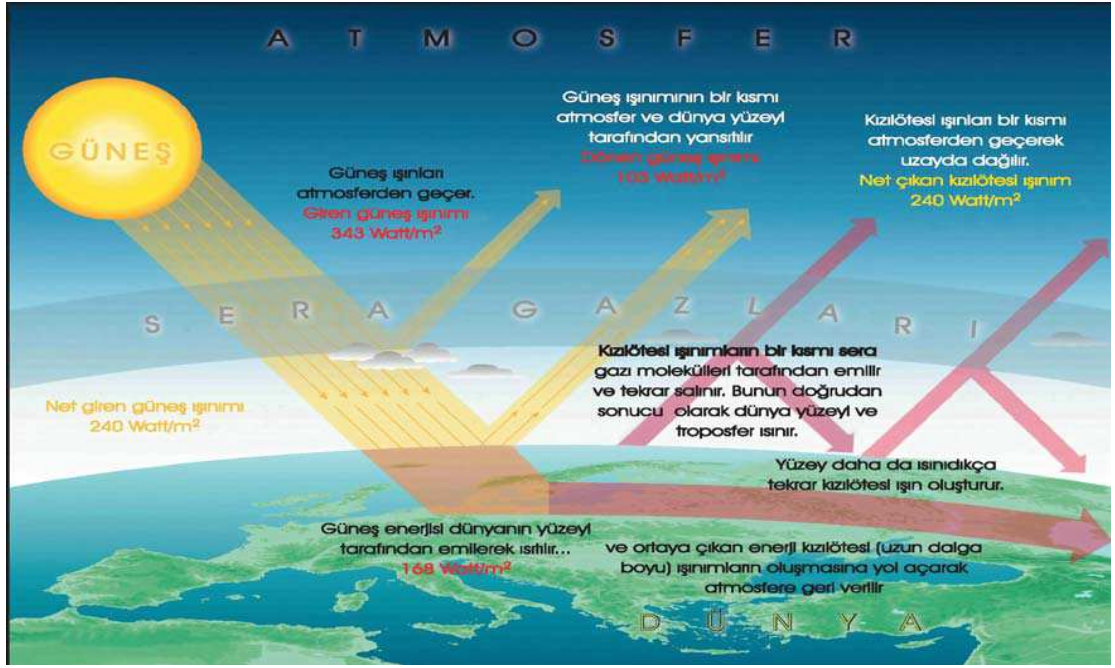
Atmosfer içinde binde birlik bir kısmı oluşturan gazlar (su buharı karbondioksit, metan vb.) tarımda kullanılan seraların üzerindeki plastik örtüler gibi Dünyadan çıkan ısı enerjisini tutma özelliğine sahiptir. Konunun fiziksel olarak anlaşılabilmesi için güneşten gelen ışınların özelliği ile başlanmalıdır. Güneşin 6 000°C 'lik yüzey sıcaklığından dünyaya gelen ışınların % 10'u morötesi, % 40'ı görünür ışık ve % 50'si kısa dalga boylu “yakın” denem kızıl altı ışınması şeklindedir. Güneşten dünyaya gelen ışınların yarısını oluşturan “yakın” kızılaltı ışınları daha yüksek enerjili, yani daha sıcaktır. Dünyadan uzaya yönelen kızılaltılar ise daha az sıcak, daha az enerjili ve daha büyük dalga boyludur. Sera etkisinin temel kilidini kızılaltı ışınlarının bu özellikleri oluşturur.

Isı tuzağı olarak görev yapan seramızda bulunan cam, Güneş'ten gelen "yakın" kızılaltı ışınlarının sera içine geçmesine izin verirken, seranın içinde dışarı kaçmaya çalışan büyük dalga boylu kızılaltı ışınlarının çıkmasına izin vermez. Dolayısıyla, seranın içindeki sıcaklık artar. Aynı şey atmosferde meydana gelir. Bu sefer sera camı yerine karbondioksit, metan, vb. sera etkili gazlar geçer ve atmosferin yere yakın bölgelerinde sıcaklığının artmasına yol açar.

Atmosferdeki gazların gelen Güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşı daha az geçirgen olması nedeniyle Yerküre'nin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen bu doğal süreç *sera etkisi* olarak adlandırılmaktadır [Uzmen, 2007].

Sera etkisi tek başına ele alındığında, insanlığın ve tüm canlıların var olması için temel ögedir. Sera etkisi sayesinde ortalama +15 °C gibi ılımlı bir sıcaklık içinde insanlar ve diğer canlılar yaşama imkânı bulmuştur.

Bu kadar yaşamsal öneme sahip sera etkisinin endişe verici bir tarafı da bulunmaktadır. Bunun sebebi sera etkisinin farklı sebeplerle artmaya başlamasından kaynaklanmaktadır. Olayı kısaca şöyle izah edebiliriz; ortalama koşullarda, yer/atmosfer sistemine giren kısa dalgalı güneş enerjisi ile geri salınan uzun dalgalı yer ışınımı dengededir. Güneş ışınımı ile yer ışınımı arasındaki bu dengeyi değiştiren herhangi bir etmen iklimi de değiştirebilmektedir. Aşağıda sunulan Şekil 3.1.'de dünya yüzeyinde gerçekleşen ısı (veya enerji) alışverişi ile sera etkisinin gerçekleşme süreci ve bu süreçte yer alan öğeler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Dünya üzerinde ısı (veya enerji) alışveriş mekanizması [Gülseven,2008]

Güneşten dünyaya gelen ortalama güneş enerjisi (yıl ve bütün dünya yüzeyi ortalaması) m² başına 343 Watt'dır (343W/m²). Bu enerjinin 103 W/m²' si (yaklaşık % 30) doğrudan uzaya yansır. Geri kalan % 70 (240 W/m²) okyanuslar, karalar ve atmosfer tarafından yutulur ve ısıya dönüşür. Isınan dünya yüzeyi (okyanuslar ve karalar) kızılaltı ışınımı şeklinde dışarı bu ısıyı verir. Bu ısının küçük bir kısmı atmosfer penceresinden uzaya kaçarken, geri kalan önemli bir kısmı atmosferdeki sera gazları tarafından tutulur. Bu şekilde ısınan atmosfer her yöne kızılaltı ışınımalar salar; bunun önemli bir kısmı yeniden dünya yüzeyinde tutulur. Dünya, biri doğrudan güneşten gelen, diğeri de sera gazlarından dolayı atmosferden gelen enerji olmak üzere yüzeyi iki defa enerji almış olur. Böylece yüzeyde fazlalaşan ısı, yüzeyin ortalama sıcaklığını da arttırmış olmaktadır [Uzmen, 2007].

Süreç içerisinde meydana gelen mekanizmalardan anlaşılacağı üzere ısı (veya enerji) dengesini sağlayan öğelerden birinin veya bir kaçının değişmesi durumunda dünya yüzeyinde ve atmosferinde tutulacak olan ısının ve dolayısıyla ortalama ısının değişebileceği açıktır.

Sonuç olarak, güneşten ve dünya yörüngesinden kaynaklanan değişimler dışında, sera etkisinin iklime etki edebilecek en önemli etmen olduğu anlaşılmaktadır.

3.3. Sera Gazları

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (BMİDÇS) sera gazlarının tanımı şu şekildedir: "Sera gazları, hem doğal, hem de insan kaynaklı olup atmosferdeki kızıl ötesi radyasyonu emen ve tekrar yayan gaz oluşumlarıdır."

Sera gazlarını doğal ve dolaylı (diğer) sera gazları olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Su buharı $H_2O_{(g)}$, karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), diazotmonoksit (N_2O) ve ozon (O_3) doğal sera gazları sınıfına girerken, endüstriyel üretim sonucu ortaya çıkan hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs) gibi florlu bileşikler ve kükürtheksaflorid (SF_6) ise dolaylı sera gazları sınıfında değerlendirilmektedir.

3.3.1. Su Buharı

Dünya yüzeyinden yayımlanan uzun dalga boylu kızıl altıları en fazla tutan gaz, su buharıdır. Karbondioksitten çok daha fazla ısı tutma özelliği olduğu gibi atmosferdeki yüzdesi de en yüksek olanıdır. Dünya yüzeyinin 2/3'ünün sularla kaplı olduğu düşünülürse yüzey sularının sıcaklığının artması demek daha fazla buharlaşma demektir. Buharlaşma, "gizli ısı" biçiminde atmosfere ısı enerjisi taşır. Atmosfer daha fazla ısınır; bu da yeniden buharlaştırmayı artırır. Atmosferdeki yüzde miktarı artan su buharı, daha fazla sera etkisini tetikleyerek atmosferin daha da ısınmasına yol açar. Bu duruma *pozitif geri etki* denir. Ancak, su buharının bir başka önemli özelliği de atmosferde belirli bir doygunluğa eriştiğinde yoğunlaşarak yağmur (sıvı su) hâlinde yere geri dönmesidir. Bunun sonucunda atmosferde su buharı birikimi olmaz, yağışların artmasıyla su buharı da kendisini dengeler. Öte yandan, su buharının atmosferde yoğunlaşması bulutların fazlaşmasına sebep olur. Bulutlar da güneşten gelen ışınları geri yansıttığından, "daha fazla su buharı, daha fazla bulut, yüzeye gelen daha az Güneş enerjisi" mekanizması çalışmaya başlar; yani, fazlaşan sera

etkisi bir şekilde dengelenmiş olur. İşte, özellikle su buharının yol açtığı bu son derece karmaşık sistem gelecek için düşünülen iklim modellerinin tasarlanmasını zorlaştırmaktadır.

3.3.2. Karbondioksit (CO₂)

Antropojenik sera etkisinin % 50-60'ı bu gazdan kaynaklanmaktadır. Karbondioksit fosil yakıtlar (petrol, doğal gaz ve kömür), katı atık, ağaç ve ağaç ürünlerinin yakılması, ormansızlaşma, çimento üretimi ve organik madde ayrışmasından kaynaklanmaktadır.

Yerkürede canlıların varlığından ve biyokimyasal süreçlerden dolayı sürekli bir karbon alışverişi meydana gelmektedir. Bu olguya karbon çevrimi adı verilmektedir. Söz konusu mekanizmalar, yıllık karbondioksit artış miktarının hepsini emebilecek bir hızda değildir; bu yüzden her yıl karbondioksit birikimi artarak devam etmektedir. Örneğin, şu anki atmosferde bulunan karbon miktarı 750 milyar ton iken endüstri devriminden önce 600 milyar ton idi. Ormanların yok edilmesi, kömür ve fosil gibi yakıtların kullanılması ile daha önce bu kaynaklarda depolanmış karbon atmosfere salınmaktadır [Kadıoğlu, 2001].

Karbondioksitin atmosferdeki konsantrasyonu Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'nin (NOAA) verilerine göre, 2006 yılında 382 ppm'e¹ ulaşmıştır. Bu seviye, sanayi öncesi zamanlara göre yaklaşık 280 ppm fazladır.

Günümüzde, karbondioksit artış oranı 1,9 ppm/yıl'dır [EPA,2012]. Dolayısıyla, insan etkinlikleri karbon içeren kaynakların hem büyüklüğünü hem de kaynaklardan açığa çıkan karbon miktarını büyük ölçüde değiştirme gücüne ulaşmıştır.

¹ Gazın atmosferde kapladığı alanın hacimsel olarak milyonda kısmı.

3.3.3. Metan (CH₄)

Metan renksiz, kokusuz bir gaz olup yoğunluğu 0,716 kg/m³'tür. Karbondioksit göre farklı davranışlar gösterir. Karbondioksit havada diğer gazlarla reaksiyona girmezken, metan reaksiyona girer ve zamanla bozunabilir. Atmosferde kalış süresi (12 yıl) daha azdır. Ancak metanın karbondioksit göre kızıl ötesi ışınları tutma gücünün çok daha fazla olması nedeniyle karbondioksitin yarattığı sera etkisinin 21 katına denk etkiye sahiptir. Ancak, metan gazı birikimini bir şekilde azaltma veya durdurma imkânı bulunduğu kısa sürede küresel ısınmada ciddi düşüşler sağlanabilecektir [Uzmen, 2007].

1750'li yıllarda atmosferde 700 ppb² olan metan konsantrasyonu 2005 yılına gelene kadar % 153 artış göstermiştir [HİDP, 2001].

Metan, hem insan (antropojenik) ile ilgili ve hem de çeşitli doğal kaynaklardan yayılır. Metanın doğal kaynakları sulak alanlar, gaz hidratlar³, permafrost⁴, termitler⁵, okyanuslar, tatlı su, sulak toprakları ve bu orman yangınları gibi diğer kaynakları içerir. Doğal kaynaklardan çıkan metan yılda 290 milyon tona (Mt) erişmektedir; bunun 225 Mt'u pirinç tarlaları, bataklık ve benzeri yerlerden gelir; okyanuslar, termitler ve metan hidratlar tamamlar.

İnsan faaliyetlerinin en önemli metan kaynağı, petrol, kömür ve doğal gaz yataklarının işletilmesi sırasında yerin altından çıkıp serbest kalan metandır; ayrıca, doğal gazın taşınması sırasında meydana gelen kaçakları da buna ilâve edilir. Bu şekilde 110 Mt'u bulur. Diğer en önemli kaynak, geniş getiren hayvanların sindirim sistemidir; yılda 115 Mt, evsel ve sanayi atıklarının işlenmesi (25 Mt), biyokütle (odun, tezek, vb.) yakılması (40 Mt) ile toprağa gömülen organik atıkların bozunması (40

² Hacimsel olarak milyarda kısım.

³ Gaz hidratlar, su ve hafif doğal gazların ki genellikle metan gazı, karışımından doğal yolla oluşan kristal yapı katılardır.

⁴ Permafrost, yılın büyük bir bölümünde donmuş olan topraktır.

⁵ Termit, odunları ve organik kökenli diğer maddeleri yiyerek beslenen beyaz karıncalardır.

Mt) geri kalan metan üretici insan faaliyetleridir. İnsan faaliyetlerinin toplam metan üretimi yılda 330 Mt'u bulmaktadır.

Yapılan yıllık tahminlerin en yüksek olanı, en az olan tahminden beş kere daha fazladır. Bir tahmine göre, metan salınımının yarısı gaz kaçaklarından ortaya çıkmaktadır. Sızıntılar daha çok gaz yataklarından evlere kadar giden boru hatlarında oluşmaktadır. Bir başka büyük metan salınımı çöplüklerde olmaktadır. Halen çöplüklerde yaygın olarak kullanılan bir teknik ile metan ısı elde etmek ya da elektrik üretmek için yüzeye çıkarılmaktadır [Jonathan, 2008].

Yılda doğal olarak ve insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan 600 Mt dolayındaki metanın yaklaşık 500 Mt'u havadaki oksijenle birleşerek karbon bileşiklerine dönüşür ve kaybolur. 40 Mt'u yüksek atmosferde (stratosfer) oksitlenirken, 30 Mt'u toprak tarafından alınır. Sonuç olarak metanın her yıl 30 Mt'u atmosferde birikmektedir.

İnsan kaynaklı karbondioksit üretimi, doğal kaynaklı olanın ancak küçük bir kısmı iken (insan kaynaklarının toplama oranı % 4,5 dolayındadır), metanda bu oran çok daha önemlidir. Pirinç tarlalarındaki üretim de dâhil edildiğinde insan kaynaklı metanın doğal kaynaklı metana oranı % 210 olmaktadır.

Atık depolama, kömür madenleri ve gübre yönetim sistemleri gibi kaynaklardan metan yakalamak ve kullanmak için teknolojilerin uygulanması, bu kaynaklardan gelen emisyon seviyelerini etkiler. Metanın sızıntı ile farklı kaynaklardan atmosfere yayılması salınımının hesaplanmasını güçleştirmekte ve karbondioksit kadar kolay olamamaktadır. Yine de tahmini sonuçlara dayalı hesaplamalar ile son yıllarda atmosferdeki konsantrasyonunun artışının durduğu ve az da olsa düşmeye başladığı yönünde bulgular mevcuttur [Jonathan, 2008].

3.3.4. Diazotmonoksit (N_2O)

Sera gazları bakımından üçüncü sırada diazotmonoksit gelir. Güldürücü gaz olarak da bilinen ve tıpta genel anesteziye kullanılan bir gazdır. Bu gaz doğal olarak toprakta mevcut nitrat veya nitritlerin mikroplar aracılığı ile bozunması sonucu oluşur. Atmosferde kalış süresi yaklaşık 120 yıl olarak hesaplanmıştır.

Atmosferdeki diazotmonoksit miktarı, 1800 yıllarına kadar 280 ppb iken özellikle tarımda suni azotlu gübre kullanımı ile birlikte sürekli bir artış içine girmiştir. Yapılan hesaplamalar doğal kaynaklardan diazotmonoksitin 10 Mt dolayında olduğunu göstermektedir. İnsan faaliyetleri sonucu her yıl 7 Mt azot diazotmonoksit atmosfere salınmaktadır [Uzmen,2007].

3.3.5 Ozon (O_3)

Oksijen, iki oksijen atomunun birleşmesinden oluşmuş molekül şeklindedir. Ozon çok etkin bir maddedir; morötesi ışınların etkisiyle hemen bozunarak tekrar oksijen verir. Böylece yüz binlerce yıl boyunca yukarı atmosferde bir ozon dengesi oluşmuştur. Yüksek atmosferde (stratosferde) ozonun güneşten gelen yüksek enerjili morötesi ışınları tutarak bozunmasının canlı varlıkların dünya üzerinde gelişmesine büyük katkısı olmaktadır. Bu arada, tamamen insan faaliyetleri sonucu atmosfere verilen CFC bileşikleri yüksek atmosferde, zaten çok etkin olan ozonla kimyasal tepkimeye girerek ozonun kaybolmasına yol açmaktadır. Ozon, yüksek atmosferde morötesi ışınlarla kimyasal olarak bozunmaya uğrarken tepkime sonucu ısı çıkarır; bu ısı da yüksek atmosferin sıcaklığının yükselmesine yol açar. Yüksek atmosferde "ozon tabakasının" incilmesi, yani ozonun azalması bu tepkime sonucu çıkan ısıyı da azaltmakta, bir başka deyişle yüksek atmosfer ozon azalmasına paralel olarak daha az ısınmaktadır; yani sera etkisi olayı azalmaktadır.

Ozonun iklim değişikliği üzerindeki etkisinin metanın ki kadar olduğu tahmin edilmektedir. Ozon tabakasını tahrip eden CFC bileşiklerinin kullanılması bu gazın sera etkisini biraz hafifletmiştir. Ama ozonun diğer faydalı işlevinin de (morötesi

ışınları tutması) azalmaktadır. CFC salınarak sera etkisi hafifletilmeye çalışılırken, canlıların morötesi ışınlara daha fazla maruz kalması gibi tehlikeli bir yola girilmektedir [Uzmen,2007].

3.3.6. Kloroflorokarbonlar (CFC)

CFC'ler, petrolün yan ürünleri olan hidrokarbonlardan türetilmiş ve molekülleri içindeki hidrojen atomları kısmen veya tamamen klor veya flüor atomları ile yer değiştirmiş, çok yaygın sınaî kullanıma sahip gazlardır. Kolaylıkla sıvılaşmaları bakımından soğutma sistemlerinde soğutucu gaz veya çeşitli kozmetik ürünlerde itici gaz olarak kullanılmaktadır. Yıllar boyu çok yaygın olarak kullanıldıktan sonra, atmosferde uzun süre dayanmaları ve ozonu tahrip etme özellikleri anlaşıldığından, bütün ülkeler Montreal Protokolü (1987) ile bu gazların kullanımını giderek azaltma yoluna girmiştir. Ama atmosferde kalış süreleri uzun olduğundan (bazı flüorürlü bileşikler 50 000 yıla kadar bozunmadan kalabilmektedir) daha uzun yıllar etkilerini sürdürmüş olacaklardır.

CFC'lerin bir diğer tehlikeli özelliği de çok ciddî sera etkisi göstermeleridir. Özellikle freon grubundakiler 1 kg'ı 10 000 ilâ 30 000 kg karbondioksitin sera etkisine denk bir güce sahiptir [Uzmen,2007].

3.3.7. Aerosoller

Aerosol terimi havada asılı duran sıvı ve katı tanecikleri tanımlamada kullanılır. Aerosol taneciklerinin çapı 0,002 μm^6 ile 100 μm arasında değişir. Aerosollerin doğrudan atmosfer sıcaklığı, dolayısıyla iklim üzerinde etkileri vardır. Uydular aracılığı ile yapılan ölçümlerde atmosfere yılda yüklenen aerosollerin toplam miktarının 3,4 milyar ton olduğu hesaplanmıştır. Bunun yaklaşık % 10'u insan faaliyetlerinden kaynaklanır. Doğal kaynaklardan gelen aerosoller göllerden rüzgârlarla havalanan kum zerrecikleri, dalgaların uçlarında ufalanan tuz tanecikleri,

⁶ μm , 10^{-6} metre'yi ifade eder.

yanardağ külleri, orman yangınlarından yükselen biyolojik katı taneciklerdir. İnsan faaliyetleri arasında fosil yakıtların (kömür, petrol, sanayi faaliyetleri, maden ocaklarının işletilmesi) kullanımından türeyen is ve sınaî tozlar yer alır. Gerek doğal, gerek insan faaliyetleri sonucu atmosfere yayılan bazı gazlar da (kükürt dioksit ve diazotmonoksit) atmosferde kimyasal tepkimelere girerek sıvı veya katı aerosollere dönüşür; örneğin kükürt dioksit oksijen ve su buharı ile tepkimeye girerek sülfürik asidi yani asit yağmurlarını meydana getirir.

Atmosferde bulutların oluşması ve çoğalmasının aerosollerin miktarı ile doğrudan bir ilişkisi vardır. Atmosferde aerosoller olmasaydı bulut oluşumu da olmazdı.

Aerosollerin atmosferde kalış süreleri çok fazla değildir; bir kaç hafta içinde yağışlarla birlikte tekrar yere inerler (atmosferin yıkanması). Ama yüksek atmosferde yağış olmadığından, oraya erişen aerosoller çok daha uzun süreler kalarak etkilerini devam ettirirler. 1991 yılında Filipinler'deki Pinatubo yanardağının patlaması sonucu atmosfere yayılan aerosoller, patlamanın şiddetinden stratosfere erişmiş ve orada aylarca kalarak daha serin yazlar geçirilmesine yol açmıştır. Bilim adamları Pinatubo'dan atmosfere 20 milyon ton kükürt dioksit yayıldığını tahmin etmektedirler. Bunun yarattığı soğuma etkisi patlamadan bir yıl sonra yeryüzü ortalama sıcaklığının yarım derece düşmesine sebep olmuştur.

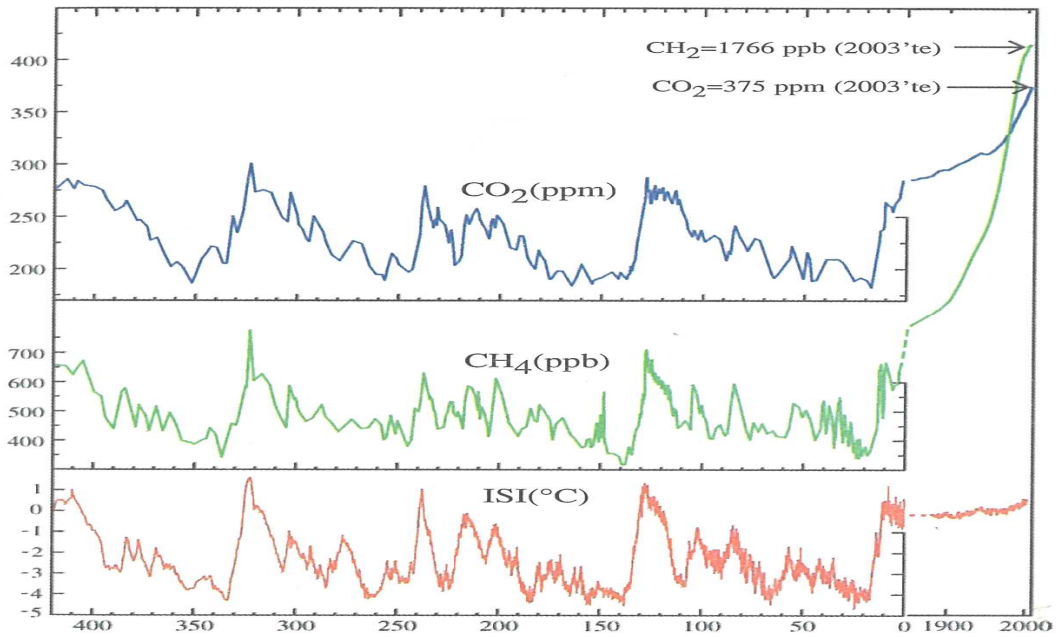
Sonuç olarak, doğal olsun, insan kaynaklı olsun aerosoller sera etkisi üzerinde pozitif veya negatif etkilere sahiptir. Doğal aerosoller daha çok atmosferi soğutma yönünde etki gösterirken, insan kaynaklı aerosoller, daha çok sera etkisini artırıcı yönde etki yapmaktadır [Uzmen,2007].

Sanayi devrimi yalnızca gaz üretmekle kalmadığı gibi çok sayıda asit ve kara kurum parçacıkları atmosfere salmaktadır. Halen, aerosol kirliliği neticesinde her yıl 1 milyon insan ölmektedir. Dünyada gittikçe önem verilmeye başlanan bu ölümlerin arka planında, küçük taneciklerin akciğer gibi insan dokularının derinlerine kadar

işlemesi, hatta kan dolaşımına kadar işleyerek kalp damar hastalıklarını tetiklemesi olarak gösterilmektedir [Hansen, 2009].

3.4. Sera Gazlarına İnsan Kaynaklı Müdahale

İklimeye insan kaynaklı müdahaleyi görebilmek için dünyanın gelişim seyri ile geçen yüzyılda insanoğlunun neden olduğu değişimlerin neler olduğuna bakmak gerekir. Şekil 3.2.'de geçen yüzyılda atmosferik CO₂ ve CH₄ ile daha önce 400 000 yıldaki CO₂ ve CH₄ seviyeleri ile sıcaklık değerleri karşılaştırılmalı olarak görülmektedir.



Şekil 3.2. Ölçümlerden elde edilen CO₂, CH₄ ve sıcaklık kayıtları [Hansen, 2009]

Kayıtlara göre CO₂ ve CH₄ gazı konsantrasyonlarında son 150 yılda önceki yüz binli yıllarda olmadığı kadar hızlı bir artış kaydedilmiştir. Yüz binlerce yıl içinde CO₂ konsantrasyonunun ortalama değeri yaklaşık 200–300 ppm iken, 2000'li yıllarda 375 ppm ile en yüksek değerine ulaşmış, bu artış 2000'li yıllardan sonra da devam etmiştir.

Metan değişimi ise neredeyse iki katına çıkarak çok daha çarpıcı olarak yükselmiştir.

Ancak, son yıllarda durağan bir seyir izlemektedir. Bu yavaşlamanın muhtemel nedenlerinden biri fosil yakıtların çıkarılması sürecinde metan kaybının (atmosfere yayılmasının) azaltılmasıdır. Metanın depolarda ve atık arıtma tesislerinde hapsedilmesi de metan artışının azalmasına katkı sağlamış olabileceği düşünülmektedir [Hansen, 2009].

HİDP 2007 raporunda daha kuvvetli bir biçimde yapılan değerlendirmelerde; “20. yüzyılın ortasından beri küresel ortalama sıcaklıklarda gözlenen artış, büyük olasılıkla, atmosferdeki insan kaynaklı sera gazı birikimlerinde gözlenen artış nedeniyle oluşmuştur.” denilmektedir.

Sera gazları birikimlerindeki artışın nedenleri olarak;

- Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarının kullanımı,
- Tarımsal faaliyetler,
- Enerji üretimi, ulaşım ve endüstriden kaynaklı emisyonlar,
- Sera gazları için yutak vazifesi gören orman alanlarının yok edilmesi,
- Atmosferin ısı tutma kapasitelerini yükselten CFC’lerin üretimi ve kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Antropojenik sera gazlarının emisyonunu arttıran etkenler Çizelge 3.1.’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Çizelge 3.1. İnsan Kaynaklı Sera Gazları Emisyonları[Global Climate Change, 2006]

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PFC	SF ₆	HFC
Metal Üretimi						
- Alüminyum	√	√		√	√	√
- Diğer metaller, magnezyum	√	√		√	√	√
- Demir, çelik ve demir içeren alaşımlar	√	√		√	√	√
Kimya Endüstrisi						
- Nitrik ve adipik asit	√	√	√	√	√	√
- Amonyak	√	√	√	√	√	√
- Üre, gübreler ve petrokimyasallar	√	√	√	√	√	√
Mineral Ürünler						
- Çimento, kireç ve harca katılan diğer maddelerin üretimi	√	√	√	√	√	√
Enerji Endüstrisi						
- Petrol ve gaz	√	√	√	√	√	√
- Elektrik Üretimi	√	√	√	√	√	√
- Kömür madeni	√	√	√	√	√	√
- Bölgesel Isıtma	√	√		√	√	√
Diğer Endüstriler						
- Kağıt hamuru ve kağıt	√	√		√	√	√
- Odun/mangal kömürü üretimi	√	√		√	√	√
- Halokarbonların ve SF ₆ 'nın üretilmesi ve kullanılması	√	√		√	√	√
Su Hizmetleri						
- Hurma yağı, manyok nişastası ve diğer tarımsal ürünler	√	√		√	√	√
- Şeker ve alkol fabrikaları	√	√		√	√	√
- Atık/çöp yönetimi	√	√		√	√	√

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yapılan bir çalışmadan alınan sonuçlara göre insanın çeşitli aktivitelerinin küresel ısınmaya katkısında, enerji kullanımının % 49, sanayinin % 24, ormanların yakılması ve tahribinin % 14, tarım aktivitelerinin payı ise % 13 olarak tespit edilmiştir [Akın,2006].

Yapılan bir diğer araştırma sonucuna göre; geçen 150 yıl içinde, fosil yakıt kullanımı ve çimento üretiminden 265 milyar ton (Gt), arazi kullanım değişikliğinden 124 Gt olmak üzere toplam 389 Gt karbon atmosfere salınmıştır. Bunun 214 Gt'u karasal ekosistemler ve okyanuslar tarafından geri alınmış, atmosferde 175 Gt karbon fazlalığı oluşmuştur. Karasal ekosistemlerin ve okyanusların tuttuğu ya da uzaklaştırdığı karbon tutarı atmosfere salınan toplam tutardan çıkarıldığında, her yıl insan kaynaklı net 3,2 milyar ton karbon atmosfere katılmaktadır [DPT,2000].

Sera gazlarının küresel ısınmaya katkıları da birbirlerinden farklıdır. Sera gazlarının iklim değişikliğine etki oranlarını kıyaslamak için “Küresel Isınma Potansiyeli” (GWP) olarak adlandırılan göreceli bir ölçek kullanılır. Karbondioksitin küresel ısınma potansiyeli 1’dir. CO₂ molekülünün küresel ısınma potansiyeli temel alınarak, diğer gazların küresel ısınma potansiyelleri ile birlikte atmosferik ömürleri ve konsantrasyonları Çizelge 3.2.’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Küresel ısınmada etkili olan sera gazları ve özellikleri [Zeydan,2008]

Sera gazı	Atmosferdeki ömrü (yıl)	Küresel ısınma potansiyeli (GWP) (100 yıllık)	Atmosferdeki konsantrasyonu (2005 yılı)
CO ₂	50–200	1	379 ppm
CH ₄	12	25	1 774 ppb
N ₂ O	114	298	319 ppb
SF ₆	3 200	22 800	5,6 ppt ⁷
CFCs	45 –1 700	4 750 –14 400	
HFCs	1,4 – 270	124 – 14 800	
HCFCs	1,3 –17,9	77– 2 310	
PFCs	2 600 – 50 000	7 390 – 12 200	

Farklı sera gazlarının küresel ısınmaya katkıları değerlendirildiğinde, bugün itibariyle ana sera gazları olarak bilinen CO₂, CH₄ ve N₂O doğal sera etkisini kuvvetlendiren en büyük paya sahiptirler [DPT,2000].

Ne yazık ki, atmosfere serbest bırakılan bu gazlarının miktarları ve ömürleri çok uzundur ve önemli bir azalma olmadıkça, konsantrasyonları da artmaya devam edecektir. Hâlihazırda, iklim uzmanları atmosfere bırakılmış bulunan sera gazları ile gelecekte oluşacak iklim değişiklikleri arasında bir ilişki olduğu görüşündedirler [WRI, 2005].

Atmosferde genel olarak sera gazı oranlarının artması kesin denilebilecek bir şekilde insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazlarından kaynaklanmaktadır.

⁷ ppt: Hacim olarak trilyonda kısım.

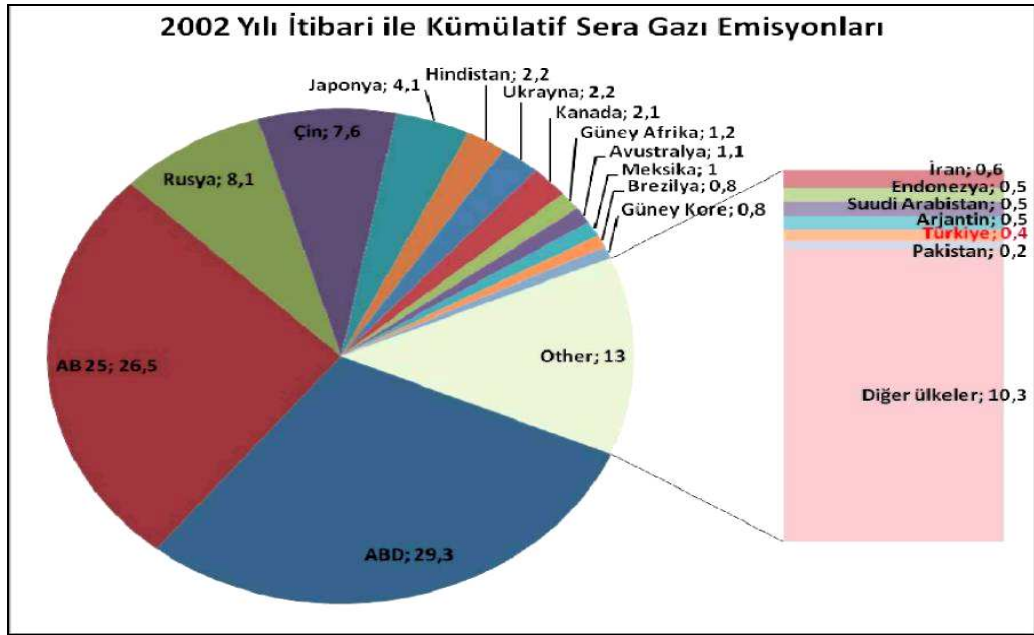
3.5. Sera Gazı Salınımından Sorumlu Olan Ülkeler

Ülkelerin enerji, sanayi, tarımsal faaliyetler ve atıklardan kaynaklı faaliyetleri ile yutak alanlarda karbon alımı sonucu gerçekleştirdiği sera gazı salınımları ülkeler ölçeğinde hesaplanmaktadır. Her ülkenin yılda tükettiği fosil yakıt türlerinin (benzin, gazyağı, motorin, doğalgaz, LPG) yanma sonucunda çıkardığı CO₂ veya CO₂'e eşdeğer miktar karbon hesaplanarak sera gazı salınımı bulunmaktadır. 1850 ila 2002 yılları arasında çeşitli ülkeler tarafından atmosfere verilen CO₂ emisyonlarının kümülatif olarak ülkeler arasındaki yüzde dağılımı Çizelge 3.3. ve Şekil 3.3.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. 1850–2002 arası kümülâtif CO₂ Emisyonları [Uzmen,2007]

Ülkeler	Emisyon %	Sıralama
ABD	29,3	1
AB 25	26,5	2
Rusya	8,1	3
Çin	7,6	4
Almanya (AB 25)	7,3	5
İngiltere (AB 25)	6,3	6
Japonya	4,1	7
Fransa (AB 25)	2,9	8
Hindistan	2,2	9
Ukrayna	2,2	10
Kanada	2,1	11
Polonya (AB 25)	2,1	12
İtalya (AB 25)	1,6	13
Güney Afrika	1,2	14
Avustralya	1,1	15
Meksika	1,0	16
İspanya(AB 25)	0,9	20
Brezilya	0,8	22
Güney Kore	0,8	23
İran	0,6	24
Endonezya	0,5	27
Suudi Arabistan	0,5	28
Arjantin	0,5	29
Türkiye	0,4	31
Pakistan	0,2	48
Diğer ülkeler	10,3	
Gelişmiş ülkeler	76	
Gelişmekte olan ülkeler	24	

1850 ve 2002 yılları arasındaki kümülatif sera gazı emisyonlarının ülkeler bazında dağılımına bakıldığında da toplam emisyonun yaklaşık % 30'unun tek başına AB, % 27'sinin AB-25 ülkeleri, % 8,1'inin Rusya ve % 7,6'sının Çin tarafından salındığı görülmüştür. Dikkat çeken bir diğer husus ise, gelişmiş ülkelerin 2002 yılına kadar atmosfere salınan CO₂ emisyonununun %76'sından sorumlu olmasıdır.



Şekil 3.3. Kümülatif CO₂ Emisyonlarının ülkelere göre dağılımı [İDKK,2009]

Genellikle ekonomileri gelişen ülkelerin emisyonları artmıştır. Türkiye ise bu sıralamada 152 yıllık dönem dikkate alındığında % 0,4'lük bir payla 31. sırada yer almaktadır. Gelişmekte olan bir ülke olarak, Ülkemizde de artan nüfus, gelişen sanayi ve buna bağlı olarak artan enerji talebi doğrultusunda sera gazı emisyonlarında artışın önümüzdeki süreçte de devam etmesi beklenmektedir [İDKK,2009].

Sera gazı salınımlarındaki tabloyu daha net görebilmek için kişi başına sera gazı miktarı bakımından bazı ülkeler ile beraber Türkiye'nin durumunu incelemekte yarar vardır. 2000 yılı itibariyle bazı ülkelerin kişi başı SG ve CO₂ salınımları aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. 2000 yılı bazı ülkelerin kişi başı SG ve CO₂ salınımı [WRI, 2005]

Ülke	Kişi başına SG Salınımı (Eşdeğer ton CO ₂)	SG Salınımına göre Sıralama	Kişi başına CO ₂ (ton)	CO ₂ Salınımına göre Sıralama
Katar	67,9	1	60,0	1
Kuveyt	31,6	3	26,8	2
Avustralya	25,6	4	17,3	7
ABD	24,5	6	20,4	5
Kanada	22,1	7	17,1	8
Lüksemburg	21,0	9	19,2	6
Yeni Zelanda	18,9	11	8,6	32
Suudi Arabistan	16,4	15	13,4	11
Belçika	14,5	16	12,2	14
Türkmenistan	13,8	19	7,8	40
Rusya	13,2	22	10,6	21
Almanya	12,3	27	10,4	22
İngiltere	11,1	32	9,4	30
AB-25	10,5	37	8,5	34
Japonya	10,4	39	9,5	29
Polonya	9,8	43	7,8	41
Güney Afrika	9,5	46	7,9	39
İspanya	9,4	47	7,5	44
İtalya	9,2	48	7,7	42
Fransa	8,7	50	6,2	48
Arjantin	8,1	52	3,9	70
Türkiye	5,3	75	3,3	78
Meksika	5,2	76	3,9	71
Brezilya	5,0	83	2,0	100
Çin	3,9	99	2,7	88
Endonezya	2,4	122	1,4	111
Pakistan	2,1	131	0,8	132
Hindistan	1,9	140	1,0	120
Gelişmiş ülkeler	14,1		11,4	
Gelişmekte olan ülkeler	3,3		2,1	
Dünya	5,6		4,0	

Çizelge 3.4.'teki verilere dayanarak, en fazla sera gazı salan ülke ABD, kişi başına sera gazı salınımında 6. sırada yer almakta, toplam en fazla salınımında 2. sırada olan Çin ise kişi başına 3.5 ton ile sera ile 99. sırada, Türkiye kişi başına 5,3 ton sera gazı ile 75. sırada yer almaktadır.

Sonuçlar sera gazı salınımlarında ülkelerin ekonomik kalkınmışlık durumu, sanayi ve ulaştırmanın büyüklüğü, büyüme hızları, nüfusları ve nüfus artış hızları ile en sonunda enerji kullanımı, sanayide modern teknikler ile verimlilik unsurlarının rol oynadığını ortaya koymaktadır.

4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SORUNUNUN AZALTILMASINA YÖNELİK ULUSLARARASI ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, sera gazlarının iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak için uluslar arası alanda yapılan bazı çalışmalara yer verilecektir.

İklim değişikliğinin 1980’li yıllarda hissedilir boyutlara ulaşması, dünya genelinde atmosfere verilen emisyon ve çevre kirliliğinde bazı sınırlamaları ve düzenlemeleri gerekli kılmıştır. Bu kapsamda, Birleşmiş Milletler harekete geçmiş ve 1992 yılında Rio de Jenario Çevre ve Kalkınma Konferansında kabul edilen ve 50 ülkenin onaylamasını takiben Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşmeyi güçlendirecek kararların alındığı Kyoto Protokolü ve sonuçları açısından önem arz eden Kopenhag İklim Zirvesi uluslararası alanda atılan en önemli adımlardır.

4.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

Sözleşme, sera gazı salınımlarını azaltma girişimi çerçevesinde 194 ülke tarafından kabul edilerek evrensel bir katılıma ulaşmıştır. Sözleşmenin nihai amacı, atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde durdurmaktadır [İDDB].

Sözleşmede yer alan hükümler, Sözleşmenin ekleri olan Ek-I ve Ek-II’ye göre belirlenmiştir. Ek-I’de OECD üyesi gelişmiş ülkeler ile ekonomileri geçiş sürecinde olan ülkeler (EGSOÜ); Ek-II’de ise sadece OECD üyesi olan gelişmiş ülkeler yer almaktadır.

2001 yılında Marakeş’te gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı’nda, “Sözleşmenin Ek-I listesinde yer alan diğer taraflardan farklı bir konumda olan Türkiye’nin özel koşullarının tanınarak, isminin EK-I’de kalarak EK-II’den silinmesi” yönünde karar alınmıştır. Türkiye, sözleşmeye 24 Mayıs 2004 tarihi itibarıyla taraf olmuştur.

Çizelge 4.1. BMİDÇS'ne taraf ülkeler ve Türkiye

Listeler	Ülkeler	Sorumluluklar
EK-I	OECD+AB+EGSOÜ (40 ülke) Türkiye (Özel şartları tanınarak)	Emisyon Azaltımı
EK-II	OECD+AB-15 (25 ülke) (Türkiye hariç)	Teknoloji Transferi ve Mali Destek Sağlamak
Ek-I Dışı	Diğer Ülkeler (Çin, Hindistan, Pakistan, Meksika, Brezilya, ..)	Yükümlülükleri yok.

Sözleşmenin kalbini oluşturan sera gazı salınımlarıyla ilgili yükümlülükler ise gelişmiş ülkelerin insan kaynaklı (antropojenik) sera gazı salınımlarını 2000 yılına kadar 1990 yılı düzeyine indirmeleri şeklinde yer almıştır. Buna karşılık, insan kaynaklı sera gazı salınımlarını, 2000 yılına kadar 1990 düzeyine çekme, mali kaynaklar, teknoloji transferi ve fonlar gibi birçok önemli konuda ana yükümlülükler, Türkiye'nin de içinde yer aldığı gelişmiş ülke taraflarına bırakılmıştır. Gelişmiş ülkelerin, az gelişmiş ülkelere finansal destek ve teknoloji transferi sağlamakla yükümlü olmaları, sözleşmenin ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ilkesinin bir sonucudur.

4.2. Kyoto Protokolü (KP)

Japonya'nın Kyoto kentinde 1997 yılında yapılan 3.Taraflar Konferansında iklim değişikliğinin olası etkilerinin önlenmesini amaçlayan bir protokol yapılması istenmiştir. Konferansta birçok ülke tarafından sera gazı salınımlarının 2010 yılına kadar 1990 düzeyinin % 15 altına indirmek olarak desteklenen önerge, ABD, Japonya, Avustralya ve Kanada gibi bazı gelişmiş ülkeler tarafından destek görmemiştir. Buna karşın KP, BMİDÇS'nin nihai amacına ulaşma yolunda önemli bir uluslararası adımdır. 2005 yılında yürürlüğe giren KP'ne AB dâhil günümüzde 182 ülke ve 1 Ekonomik Topluluk taraftır.

KP, Sözleşmede olduğu gibi iki ek listeye sahiptir. Protokolü'nün özünü, Ek-I Tarafları için bağlayıcılık taşıyan emisyon hedefleri oluşturmaktadır

[UNFCCC,2003]. Yükümlülükler için belirlenen insan kaynaklı karbondioksit eşdeğer sera gazı salınımları (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆) ve ilişkili sektörler (enerji, endüstriyel işlemler, tarım, atık) Ek-A'da, tarafların sayısal olarak belirlenmiş/ayrılmış yükümlülükleri ise Ek-B'de düzenlenmiştir. Protokole göre, Sözleşmenin Ek-I listesinde bulunan ülkeler, CO₂, CH₄, N₂O gazlarının toplam emisyonunu birinci yükümlülük dönemi olan 2008–2012 arasında toplam sera gazı emisyonlarının 1990 yılı (temel yıl) seviyesinin % 5 altına çekmekle yükümlüdürler.

Çizelge 4.2.'de Ek-I ülkelerinin her birinin 2008–2012 yıllarını kapsayan ilk yükümlülük döneminde, 1990 yılı seviyesine oranla taahhüt ettikleri sera gazı azaltımları listelenmiştir.

Çizelge 4.2. Ek-B Listesi ve Ülkelerin Sayısallaştırılmış Azaltım Yükümlülükleri [İDDK, 2009]

Ek B Ülkeleri	Yükümlülükler (1990 seviyesine göre)
AB-15, Bulgaristan, Çek C., Estonya, Letonya, Lihtenştayn, Litvanya, Monako, Romanya, Slovakya, Slovenya, İsviçre	-8%
ABD	-7%
Kanada, Macaristan, Japonya, Polonya	-6%
Hırvatistan	-5%
Yeni Zelanda, Rusya F., Ukrayna	0%
Norveç	1%
Avustralya	8%
İzlanda	10%

Kyoto Protokolü Ek-I ülkelerine yükümlülükler getirirken, onların bu yükümlülükleri kolay bir biçimde ve en düşük maliyetle yerine getirebilmeleri için bazı esneklikler de sunmaktadır. Kyoto Protokolü esneklik mekanizmaları olarak adlandırdığımız bu mekanizmalar Ortak Yürütme Mekanizması (Joint Implementation-JI), Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism-CDM) ve Emisyon Ticareti (Emission Trading)'dir.

Kyoto Protokolü'nün ortaya koyduğu son mekanizma olan "Emisyon Ticareti", ülkelere verilen kirletme izninin kullanılmayan kısmının satılması ilkesine dayanmaktadır. Bir ülkenin kendisine verilen emisyon iznini aşması durumunda aşan kısmı kadar emisyon iznini, aşmayan ülkelere satın alabilmektedir. Karbonun en yaygın sera gazı olması sebebiyle bu işlemler "karbon ticareti" olarak anılırken, bu ürünlerin işlem gördüğü piyasalara da "karbon piyasası" adı verilir. [Yalçın, 2010].

Karbon salınımları konusunda taraf ülkelerin sorumluluklarını belirleyen Kyoto Sözleşmesi'nin süresi 2012'de dolacaktır.

4.3. Kopenhag İklim Zirvesi

Kyoto Protokolü'nün yerini alacak yeni bir küresel anlaşma için 2009 yılında Danimarka'nın başkenti Kopenhag'da BM İklim Zirvesi yapılmıştır. 2012 sonrası yeni iklim rejiminin çerçevesini belirlemek üzere düzenlenen Zirve'de yaklaşık 25 ülkenin temsilcisi, küresel sıcaklık artışının 2 dereceye ulaşmamasını amaçlayan çalışmalar ve geliştirmekte olan ülkelere mali yardım yapılmasını öngören "Kopenhag Mutabakatı'nı" imzalamışlardır.

Yasal bağlayıcılığı bulunmayan ve daha çok "uzlaşma" niteliği taşıyan "Copenhagen Accord" başlıklı mutabakat metninde; küresel ısınmada etkili olan sera gazı salınımının önemli oranda kısıtlanması gereğinin bilimsel açıdan da desteklendiği vurgulanarak, gaz salınımında kısıtlama yapılması gerektiği ve 2010 yılının sonuna kadar üzerinde uzlaşılan konulara yasal bağlayıcılık getirilmesinin ele alınması önerilmiştir.

Zirve süresince salınımın denetlenmesi, özellikle Çin'in uluslararası denetime karşı çıkması en fazla tartışılan konular arasında yer almıştır. Sonuçları yönüyle, Kopenhag Zirvesi çeşitli ülkelere eleştiri ve övgüler almış, çevre örgütlerince kapsamlı bir mutabakat sağlanması talepleri öne sürülmüştür [ABHaber].

4.4. Sözleşme Ve Kyoto Protokolü Karşısında Türkiye'nin Pozisyonu

Türkiye, BMİDÇS'nin eklerinde gelişmiş ülkeler arasında değerlendirildiği için ve bu koşullar altında özellikle enerji ilişkili CO₂ ve öteki sera gazı salınımlarını 2000 yılına kadar 1990 düzeyine indirme, gelişme yolundaki ülkelere mali ve teknolojik yardım vb. konulardaki yükümlülüklerini yerine getiremeyeceği gerçeğiyle, BMİDÇS'yi Rio'da imzalamamış ve sonrasında da taraf olmamıştır. Türkiye, katıldığı hemen tüm BMİDÇS Hükümetlerarası Görüşme Komitesi toplantılarında, BMİDÇS'nin iki ekinden de çıkarak, ya da özel koşulları dikkate alınarak kendisine bazı kolaylıklar sağlanması koşuluyla eklerde kalarak, Sözleşme'ye taraf olabileceğini resmi olarak bildirmiştir.

Türkiye'nin Sözleşmenin Eklerinden çıkma istemi, 2001 yılında yapılan 7. Taraflar Konferansında kabul edilmiş ve ismi Ek-II'den çıkarılarak İDÇS'ye Ek-I ülkesi olarak kalması yönünde karar alınmıştır [ÇSKTP,2003]. Türkiye, Sözleşmeye 24 Mayıs 2004 tarihi itibarıyla 189. ülke olarak taraf olmuştur.

İklim değişikliği ile mücadele etmede Türkiye, 2009 yılında da Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur. Bu çerçevede Ek-B listesinde yer almadığı için Türkiye'nin sera gazı emisyonu azaltımına yönelik sayısal bir hedefi bulunmamaktadır [IDEP,2011].

Türkiye'nin iklim değişikliğiyle küresel mücadele kapsamında temel amacı, "küresel çabalara, sürdürülebilir kalkınma politikalarına uygun olarak, ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar prensibi ve Türkiye'nin özel şartları çerçevesinde katılmak" olarak açıklanmıştır. Bu yaklaşım ışığında, 2010 yılında Yüksek Planlama Kurulu tarafından onaylanan Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi'nin uygulanmasına yönelik olarak Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı hazırlanmıştır.

Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın (İDEP) hazırlanması, Dokuzuncu Kalkınma Planı'nda yer alan "ülkemiz şartları çerçevesinde ilgili tarafların katılımıyla sera gazı emisyonları azaltımı politika ve tedbirlerini ortaya

koyan bir Ulusal Eylem Planı hazırlanarak, BMİDÇS'ye ilişkin yükümlülüklerin yerine getirileceği" politikasına dayanmaktadır.

BMİDÇ Sözleşme Sekretaryasına Şubat 2007'de sunulan İklim Değişikliği I.Ulusal Bildirimi'nde; 1990–2004 yılları arası sera gazı emisyon envanteri, emisyon kaynakları ve bunlara bağlı olarak azaltım potansiyeli, politika ve tedbirler gibi konuları içeren Türkiye'nin yol haritası ortaya konulmaya çalışılmıştır.

4.5. Türkiye'de Gönüllü Karbon Piyasası

Düşük karbonlu ekonomi modeli, iklim değişikliğiyle mücadelede en uygun serbest piyasa çözümü olarak gözükmektedir. Türkiye, Kyoto Protokolünün Ek-I listesinde yer alması nedeniyle Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism-CDM) projelerine ev sahipliği yapamamaktadır. Diğer yandan, Ek-B listesinde yer almayarak emisyon azaltım hedefi belirleme zorunluluğu olmadığı için de esneklik mekanizmalarında yer alma zorunluluğu bulunmamaktadır. Bu nedenle Türkiye, 2008–2012 Kyoto Protokolü esneklik mekanizmalarında karbon alıcısı ya da karbon satıcısı olarak yer alamamaktadır. Ancak, 2006 yılından bu yana aktif olarak ve hali hazırda yenilenebilir enerji projeleriyle sınırlı olmak üzere gönüllü karbon piyasalarında yer almaktadır [Yalçın,2010]. Türkiye'de 2009 yılına kadar gerçekleştirilen 16 rüzgâr, 2 jeotermal, 2 biyogaz ve 3 HES santralinden oluşan yenilenebilir enerji yatırımlarının kurulu güçleri dikkate alındığında toplam 720 Megawat'lık bir yatırıma karşılık 3,2 milyon tonluk CO₂ azaltımı gerçekleştirilmiştir. CO₂'in ton başına ortalama 10 Euro'dan işlem gördüğü düşünülürse, Türkiye'de gönüllü karbon piyasalarının 32 milyon dolarlık bir büyüklüğe ulaştığı tahmin edilmektedir [Yalçın, 2010].

Türkiye için düşük karbon ekonomisine geçişte asıl önemli süreç, 2012 sonrasında başlamaktadır. Mevcut durumda, Türkiye bir emisyon kısıtlamasına tabi değildir. Ancak, muhtemelen Kyoto sonrası dönemi temsil eden 2012 sonrasında AB üyelik müzakerelerinin de etkisiyle keskin bir emisyon azaltım hedefine yönelmesi olasıdır [Yalçın,2010].

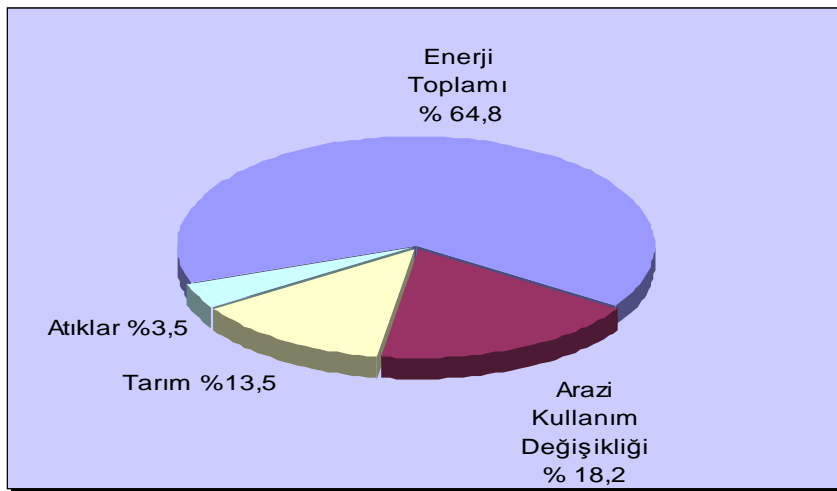
5. SERA GAZLARI SALINIMI VE ENERJİ

Sera gazları (CO_2 , N_2O , CH_4 , SF_6 , florlu gazlar v.b.) birçok sektörden kaynaklanmakla birlikte, enerji-ilişkin faaliyetlerin sorumluluk payı çok daha fazladır. Özellikle, CO_2 emisyonlarının çok büyük bir kısmı fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, enerji, sera gazı oluşturan diğer sektörlerle göre sera gazları açısından çok önemli bir sorumluluk payına sahiptir [DEKTMK, 2010].

5.1. Dünya’da Enerji Görünümü

Küresel birinci enerji arzı, 1971 ve 2009 yılları arasında ağırlıklı olarak fosil yakıtlara dayalı iki katına yükselmiştir [IEA, 2011].

Şekil 5.1. sera gazlarına kaynaklık eden sektörleri göstermektedir. Nedensel olarak çeşitli sektörlerden kaynaklanmakla beraber enerjiye ilişkin faaliyetler toplam sera gazının % 64,8’ine karşılık gelmektedir. Bu sonuçlarla enerji sektörü toplam sera gazı salınımının yaklaşık 2/3’ünü oluşturmaktadır.



Şekil 5.1. Sera gazlarının kaynaklandıkları sektörler [WRI, 2005’ten dönüştürülmüş]

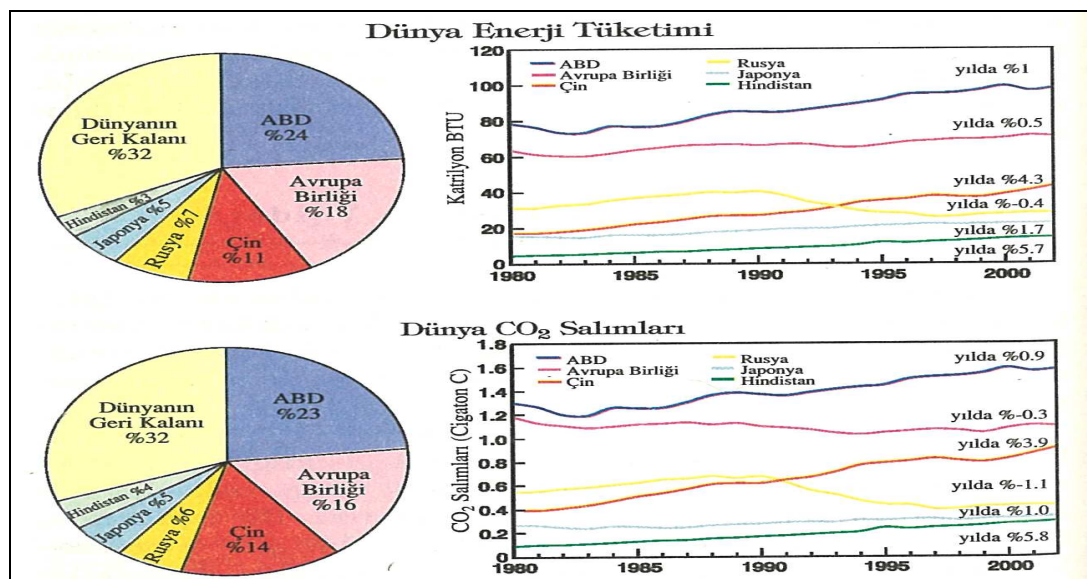
Enerjiden kaynaklanan sera gazı salınımlarının alt sektörler halinde görünümüne değinilecek olursa, elde edilen sonuçlar yüzde (%) dağılımları ile Çizelge 5.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Enerjinin alt sektörlerinde sera gazı salınım dağılımı [WRI,2005]

Alt Sektörler	%
Elektrik ve Isı (Konut, Ticari Yapılar)	24,6
Ulaşım (Kara, Hava, Demiryolu)	13,5
Sanayi (Kimyasal Madde, Çimento vb)	10,4
Diğer Yakıtların Yanması (Konut, Tarımda Enerji Kullanımı)	9
Kaçak Emisyon (Kömür, Petrol/Gaz Çıkarma ve Rafine)	3,9

Enerjinin sera gazı salınımindaki rolünün büyüklüğü kuşkusuz, dünya çapında ekonomik istikrar ve kalkınmanın yükselttiği enerji talebinin karşılanmasına dayanmaktadır.

Ülkeler arasında enerji kullanımı ve CO₂ salınımı oranları arasındaki var olan ilişki Şekil 5.2.'de görülmektedir.



Şekil 5.2. Dünya Enerji Tüketimi ve CO₂ Salınımı [Hansen,2009]

Şekil 5.2.'de dilimli grafik, 2002 yılında ülkeler arasında enerji kullanımını ve CO₂ salınımı oranlarını, çizgisel grafik ise yıllık büyüme oranlarıyla, 1980'den beri izlenen seyri göstermektedir. Üstteki grafikte ABD, Avrupa Birliği ve Çin'in dünya enerji bölümünde aldığı toplam % 53 pay ile alttaki grafikte dünya CO₂ salınımında aldığı paylar birbirine eşittir. Teknoloji alanında lider olan ABD, tek başına dünya CO₂ salınımı toplamının dörtte birinden sorumludur.

Enerji talebinin gelecekteki seyrine ilişkin olarak Uluslar arası Enerji Ajansı (IEA) tarafından 2008 yılında yayımlanan World Energy Outlook Raporunda (WEO-2008) yer alan Referans Senaryoya⁸ göre; 2006-2030 yılları arasında dünya birincil enerji⁹ talebinin Çizelge 5.2'den de takip edileceği üzere % 45 artarak, 17 014 milyon ton eşdeğer petrole (mtep) ulaşacağı öngörülmektedir.

Çizelge 5.2. Referans Senaryoya Göre Dünya Birincil Enerji Talebinin Yakıt Bazında Dağılımı (mtep) [Aküzüm,2010]

	1980	2000	2006	2015	2030	2006-2030 ¹⁰
Kömür	1 788	2 295	3 053	4 023	4 908	2,0%
Petrol	3 107	3 649	4 029	4 525	5 109	1,0%
Doğal Gaz	1 235	2 088	2 407	2 903	3 670	1,8%
Nükleer	186	675	728	817	901	0,9%
Hidro	148	225	261	321	414	1,9%
Biokütle ve Atık ¹¹	748	1.045	1 186	1 375	1 662	1,4%
Diğer Yenilenebilir	12	55	66	158	350	7,2%
Toplam	7 224	10 032	11 730	14 122	17 014	1,6%

Çizelge 5.2.'de sunulan verilerden petrol, kömür ve doğal gazdan oluşan fosil yakıtların dünya enerji talebinden aldıkları payın yıllar itibariyle baskın konumda olduğu ve 2030 yılında da fosil yakıtların % 80 pay ile aynı ağırlığını koruyacağı görülmektedir. Bu durumun doğal bir sonucu, başta fosil yakıtların ağırlıklı payının

⁸ Referans senaryo (R.S), 2008 yılı ortalarına kadar ki hükümet politikalarının ve önlemlerinin etkilerini içermekte, yenilerini öngörmemektedir.

⁹ Birincil enerji kaynakları; kömür, petrol, doğal gaz, radyoaktif maddeler, rüzgâr, hayvansal ve bitkisel atıklar, güneş ve hidrolik enerji gibi başka kaynaklar tüketilmeden kendiliğinden var olan ve gerektiğinde doğrudan kullanılabilen kaynaklardır. Birincil enerji talebi ise bu kaynaklara olan talebi ifade etmektedir.

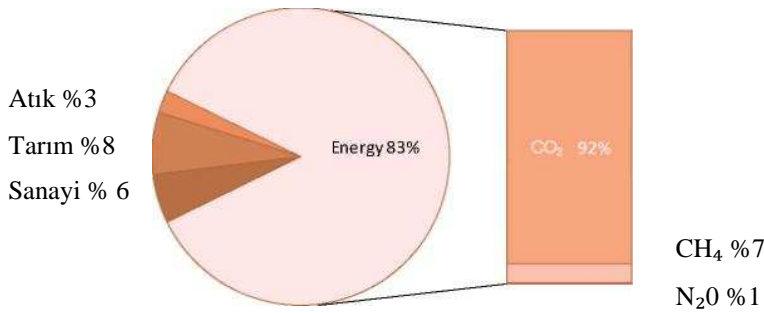
¹⁰ Ortalama yıllık büyüme oranı

¹¹ Geleneksel ve modern kullanımları içermektedir.

olduğu enerji sektörünün sera gazı salınımlarında ve iklim değişikliğinde başrolü oynamakta olduğudur.

Buraya kadar açıklamaya çalışılan genel resmin tamamlanması için enerji kullanımından kaynaklanan CO₂ salınımlarının payının nasıl bir seyir izleyeceğinin incelenmesinde yarar vardır. Enerji kullanımından kaynaklanan CO₂ salınımı, küresel antropojenik sera gazı salınımının yaklaşık % 65'ini temsil ederken EK-I'de yer alan ülkelerin küresel karbon salınımı içindeki payı yaklaşık % 83 kadardır.

Bu oran içinde sera gazlarından karbondioksitin oranı % 92, metanın % 7, diazotmonoksitin % 1'dir.(Şekil 5.3.)



Şekil 5.3. 2009 yılı Ek-1 Ülkelerde İnsan Kaynaklı Sera Gazı Salınımları [IEA, 2011]

Enerji talebinin artması ile birlikte 2008 yılında 30,2 milyar ton olan CO₂ emisyonunun artan bir seyir ile 2020 yılında 35,2 milyar ton, 2035 yılında 42,4 milyar ton'a ulaşacağı öngörülmektedir [EIA, 2011].

Küresel enerji verilerine göre, bugünkü durumun sürdürüleceği varsayımından hareket ederek gelecek 20 yıl içinde enerji tüketimi ve CO₂ salınımlarının yaklaşık aynı oranda (%2,1) değişme eğilimi gösterdikleri vurgusu yapılmaktadır. Bunun anlamı, mevcut enerji sistemlerinin fosil yakıtlara dayalı olması ve 2020'ye kadar da alternatif yakıt kullanan sistemlere geçilemeyecek olması nedeniyle, enerji

tüketiminde meydana gelecek bir birim artışın, karbondioksit emisyonuna bir birim artış şeklinde yansıtacak oluşudur [DPT,2000].

Gelişmekte olan ülkelerin 1996–2020 döneminde yıllık ortalama % 3,5 gibi dünya ortalamasının üzerinde bir salınım artış hızına sahip olacakları ve CO₂ salınım düzeyleri bakımından çok hassas bir konuma gelecekleri anlaşılmıştır [DPT, 2000].

5.2. Fosil Yakıt İlişkili CO₂ Salınımı

Fosil yakıtların yanması ile ortaya çıkan antropojenik karbondioksit emisyonları enerji tüketimini iklim değişikliği tartışmalarının merkezinde tutmaktadır. Fosil yakıtların CO₂ salınımlarındaki paylarının genel olarak incelenmesi amacıyla Çizelge 5.3 hazırlanmıştır.

Çizelge 5.3. 1990-2020 döneminde dünya enerji ilişkili CO₂ salınımlarında yakıt payları (%) [DPT,2000]

	1990			2010			2020		
	Petrol	Kömür	Gaz	Petrol	Kömür	Gaz	Petrol	Kömür	Gaz
GÜ.'ler	50	33	17	48	28	24	47	26	27
ABD	44	36	20	42	35	23	42	34	24
Batı Avrupa	51	34	15	53	18	29	51	15	34
Japonya	65	24	11	57	27	16	56	25	19
GYÜ.'ler	41	50	9	37	48	15	35	46	19
ÇHC	16	83	1	15	81	4	14	79	7
Hindistan	29	66	5	28	60	12	29	54	17
Kore Cumhuriyeti	62	35	3	65	27	8	67	23	10
Türkiye	48	46	6	55	32	13	58	27	15
Öteki Ülkeler*	31	41	28	25	30	45	25	22	53
DÜNYA	43	40	17	40	37	23	39	36	25

* Eski SSCB ve Doğu Avrupa Ülkeleridir.

Önümüzdeki 20 yıllık dönemde, enerji ilişkili CO₂ salınımlarından sorumlu ana yakıt kaynağı, gelişmiş ülkelerde petrol, gelişmekte olan ülkelerde kömür ve doğal gaz olacaktır. 1990–2020 döneminde, küresel toplam CO₂ salınımlarında kaynak payları açısından petrol, kömür ve doğal gaz şeklinde oluşan sıralamanın değişmeyeceği düşünülmektedir.

Dünya genelinde yaşanacak doğal gaz geçiş eğiliminin de bir göstergesi olarak doğal gazın payı artsa da bunun salınımlar üzerinde yol açacağı etki sınırlı bir düzeyde kalacaktır. 2020 yılında, petrol ve kömürün toplam salınımlardaki payı, sırasıyla, % 39 ve % 36 düzeylerini koruyacaktır.

Gelişmiş ülkelerin 1990–2020 dönemi toplam salınım tutarlarında, petrolün payında çok küçük bir gerileme yaşanacağı belirlenmekle birlikte, kömürün payının doğal gazın payına katılacağı anlaşılmaktadır. Batı Avrupa’da kömürün toplamdan aldığı payın yarı yarıya azalarak % 15’ler düzeyine düşmesi, petrolün payının değişmeyeceği, asıl ikamenin kömür ve doğalgaz arasında yaşanacak olması beklenmektedir. Özel olarak Türkiye’nin Çizelge’deki durumuna bakılacak olursa Türkiye’nin 1990–2020 döneminde CO₂ salınımlarında kömürün payının azalması beklenmektedir. Bu düşüşe kömüre göre daha temiz bir enerji kaynağı olan doğal gazın payının artmasının neden olacağı düşünülmektedir.

Sera gazı salınımı bakımından tüketilen fosil yakıtın içinde karbon miktarı en fazla içeren kömür, en az içeren doğal gaz olarak ortaya çıkmaktadır. Ortalama olarak kömür, eşdeğer miktardaki doğal gaz göre % 73, linyite göre % 89 daha fazla CO₂ salmaktadır. Kömür, dünya birincil enerji tüketiminde petrolün % 37’lik payının arkasından aldığı % 24’lük pay ile ikinci sırada gelmesine rağmen sera gazı salınımlarında petrol ile aynı salınım değerine ulaşmaktadır. Dolayısıyla sera gazı salınımları açısından en fazla üzerinde durulması gereken yakıtlardan biri kömür olmaktadır [Uzmen, 2007].

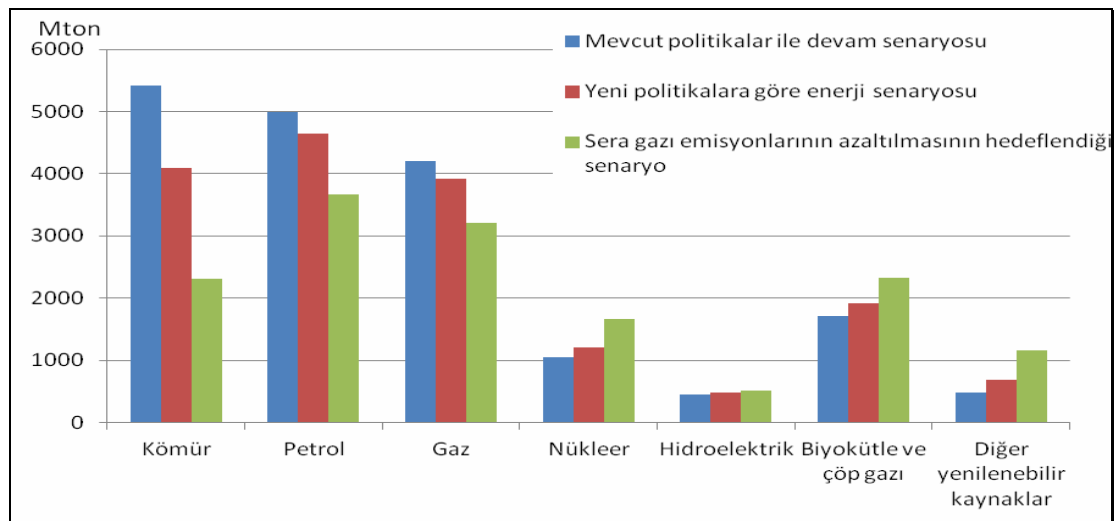
Enerji kaynaklarının türlerine göre karbon salınım miktarları incelendiğinde yenilenebilir temiz enerji olarak adlandırılan kaynakların, fosil yakıtlara oranla karbon salınımlarının çok daha düşük gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Çizelge 5.4.’te karbon salınımlarının kullanılan enerji kaynaklarına göre miktarları görülebilmektedir.

Çizelge 5.4. Enerji kaynaklarının dolaysız ve dolaylı karbon salınım miktarları
[OECD-NEA, 2002]

Enerji kaynağı türü	1990'ların teknolojisine göre		2005-2020 teknolojisine göre	
	Tesisten salınım	Diğer üretim zincirinden	Tesisten salınım	Diğer üretim zincirinden
Linyit	247- 359*	7 - 14	217	11
Kömür	216- 278	48-79	181	25
Petrol	195- 215	24-31	121	28
Doğal Gaz	99 - 157	21-31	90	16
Güneş fotovoltaik	0	27,3 - 76,4	0	8,2
Hidroelektrik	0	4,4 - 6,3	0	1,1
Biyokütle	0	16,6	0	8,4
Rüzgâr ,	0	7,6-13,1	0	2,5
Nükleer	0	5,7	0	2,5

* gram C/kWsaat

Kullandıkları yakıt karbon içermediğinden “temiz enerji” olarak adlandırılan güneş, hidro, biyokütle¹² rüzgar ve nükleer enerji ömür zincirinden salınan sera gazları açısından karşılaştırıldığında en düşük salınım hidroelektrik enerji, sonra nükleer enerji gelmektedir. Konu ile ilgili senaryolara göre; 2035 yılında fosil yakıtlar (petrol, doğalgaz, kömür), hâkim kaynaklar olmaya devam etmekle birlikte enerji talebindeki payları azalacaktır. Sözü edilen yıl için enerji kaynakları talep tahmin senaryolarının grafik gösterimi Şekil 5.4.’te sunulmuştur.



Şekil 5.4. 2035 Yılı Kaynaklara Göre Talep Tahmin Senaryoları [ETKB,2012]

¹² Biyokütlede karbon bulunmaktadır, ancak biyokütleyi oluşturan bitkilerin atmosferden aldıkları CO₂, yandıklarından verdiği CO₂'ye eşit olduğundan bilanço “sıfır” olmaktadır.

2009 yılında dünya birincil enerji kaynaklarının % 81'ini oluşturan fosil yakıtların 2035 yılındaki payı, mevcut enerji politikaları ile devam senaryosuna göre % 80'e, yeni enerji politikaları ile devam senaryosuna göre % 75'e ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasının hedeflendiği senaryoya göre % 62 oranına düşecektir.

İklim değişikliğine sebep olduğu kesinleşen sera gazı salınımlarının günümüzde kritik değerlere ulaştığı değerlendirildiğinde küresel endüstriyellemenin gereksinimlerini karşılayan fosil yakıtlı enerji sistemlerinde değişikliğe gitmek ve yenilenebilir enerji kaynaklarını (YEK) ve yenilenebilir enerji teknolojilerini kullanmak gerektiği değerlendirilmektedir. Her geçen gün fosil yakıtlardaki maliyet artışları ve çevreye verdiği zararlar sebebiyle yenilenebilir enerji kaynakları daha gözde ve stratejik hale gelmektedir [DEKTMK,2010].

5.3. Ülkemiz Enerji Talebi ve Karşılama Durumu

Ekonomik kalkınma sürecinde Türkiye'de, enerjiye olan talep önemli ölçüde artmaktadır. ETKB verilerine göre 1990–2008 döneminde ülkemizde birincil enerji talebi artış hızı aynı dönemde dünya ortalamasının 3 katı olarak % 4,3 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye, OECD ülkeleri içerisinde geçtiğimiz 10 yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke durumundadır. Aynı şekilde Ülkemiz, dünyada 2000 yılından bu yana elektrik ve doğal gazda Çin'den sonra en fazla talep artışına sahip ikinci büyük ekonomi konumunda olmuştur.

ETKB tarafından yapılan projeksiyonlar bu eğilimin orta vadede de devam edeceğini göstermektedir. 2008 yılı sonu itibariyle, 106,3 milyon tep değerine ulaşan birincil enerji tüketiminin, referans senaryo olarak adlandırabileceğimiz kabuller çerçevesinde, 2020 yılına kadar olan dönemde de yıllık ortalama % 4 oranında artması beklenmektedir [Türkyılmaz, 2010].

2009 yılında, Türkiye'nin toplam birincil enerji arzı 106,14 milyon tep olup toplam birincil arzın 30,44 mtep'i kömür ve 32,78 mtep'i doğalgaz ve 30,57 mtep'i petrol oluştururken, yenilenebilir kaynaklar ise 8,7 mtep'ini sağlamaktadır. Burada dikkat

çeken husus, Türkiye'nin birincil enerji arzını, ağırlıklı olarak kömür ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (hidrolik, biyokütle, rüzgâr, güneş ve jeotermal) tüketim de ise yüksek oranlarda doğal gaz ve petrolden karşılamasıdır.

Her geçen yıl artan enerji talebine karşılık, Ülkemizin birincil enerji üretimi (yurtiçi) % 3,5 artarak, 2008 yılında 29,3 mtep'den 2009 yılında 30,32 mtep değerine ulaşmış ve toplam enerji arzının % 28,6'sını sağlamıştır. Ülkenin 2009 yılında enerji ithalatı bağımlılığı %71,4 olup yerli enerji kaynakları ile talep karşılanmaktan uzaktır.

Yerli enerji kaynaklarından hayvansal ve bitkisel atıklar hariç, fosil yakıtların üretimi, 2009 yılında % 2,57 artarak, 2008 yılında 19,87 mtep değerinden 20,38 mtep değerine yükselmiştir. Yerli ham petrol üretimi % 3,57 artmıştır. Yerli doğal gaz üretimi, 2008 yılında 931 mtep değerinden % 32,65 azalarak 2009 yılında 627 mtep değerine ulaşmıştır. Temel yerli enerji kaynaklı olarak kömür üretimi 2009 yılında 79,5 milyon ton (Mt) olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.5. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan projeksiyonlara göre Türkiye'nin enerji tüketiminde kaynak paylarının değişimini göstermektedir.

Çizelge 5.5. Türkiye Genel Enerji Tüketiminde Kaynakların Payları
[DEKTMK,2010]

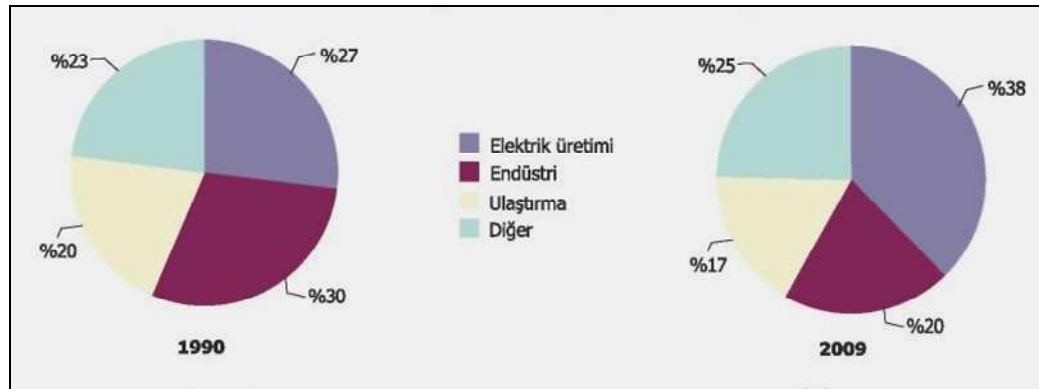
	Kaynak Payları (%)		
	2000	2010	2020
Petrol	40,6	26,1	21,6
Doğalgaz	16	29,3	25,2
Kömür	30,4	37,3	42,5
Hidroelektrik	3	3,3	2,8
Diğer	10	4	7,9

Projeksiyona göre 2020 yılı için petrol talebinin, 2000 yılındaki kullanıma göre iki kat artmasına karşın toplam enerji tüketimi içindeki payının % 40,6'dan % 21,6'ya düşmesi, doğal gazın payının ise % 16'dan % 25,2'ye yükselmesi beklenmektedir.

5.4. Elektrik Enerjisi Üretimi

Enerji sektörü içerisinde sera gazı emisyonu kaynağı açısından ağırlıklı payı olan elektrik enerjisi tüketimi de uzun yıllardan beri yıllık ortalama % 7–8 artış göstermektedir. Üretim kapasite projeksiyonlarına göre bu artış önümüzdeki on yıllık süreç içinde de devam edeceği öngörülmektedir. Son beş yılda Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketim artışı % 43'dür [ETKB, 2012]. Bu artış da dünya ülkeleri arasında en yüksek artışlardan biridir [Türkyılmaz, 2010].

Bunun çevre açısından olumsuz bir sonucu da son yıllarda elektrik üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının ana rolü üstlenmiş olmasıdır. Ulusal 1990–2009 Sera Gazı Envanter raporuna göre CO₂ emisyonunda elektrik üretiminin payı % 38 ile en yüksektir. (Bkz. Şekil 5.5.)



Şekil 5.5. Yanma Kaynaklı CO₂ emisyonlarının dağılımı [TÜİK, 2011].

Ülkemiz elektrik üretiminin % 49,3'ü doğalgaz ile sağlanırken bunu % 28,35 ile kömür, % 18,8 ile hidro ve jeotermal, % 0,94 ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları ve % 2,5 ile fuel oil takip etmektedir [TÜİK, 2011].

Türkiye, enerji alanında dışa bağımlı ve enerji açığı olan bir ülke konumundadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinden yapılan belirlemeye göre, Türkiye, 2011 yılının 11 ayında enerji ithalatına 49 milyar dolar harcarken 11 aylık dönemde

97 milyar dolara ulaşan dış ticaret açığının % 50,2'si enerji ithalatından kaynaklanmıştır [Enerji Enstitüsü, 2012].

Bu doğrultuda, Türkiye’de enerji talebi artış oranında dışa bağımlılığı azaltacak yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla hizmete alınması önem arz etmektedir. Yine, sera gazlarının azaltılması dikkate alınan en önemli hususlardan birisi olarak enerji politikalarının bu çerçevede oluşturulması gerektiği değerlendirilmektedir.

5.5. Ülkemizin Sera Gazı Temel Göstergeleri

Türkiye, sera gazı envanterini 14 Nisan 2006 tarihinden itibaren BMİDÇS Sekreteryasına sunmaktadır. 2009 yılı için hazırlanan envanter sonuçlarına göre, 2009 yılında toplam sera gazı emisyonu, CO₂ eşdeğeri olarak 369,65 Mt olarak tahmin edilmiştir. 2009 yılı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı % 75 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, ikinci sırayı % 9 ile atık bertarafı almaktadır. Endüstriyel işlemler ve tarımsal faaliyetler ise sırasıyla % 8 ve % 7 paya sahiptir. Türkiye’nin 1990–2009 yılları arası toplam sera gazı emisyonu ve sektörlere göre dağılımı Çizelge 5.6.’da verilmektedir.

Çizelge 5.6. Sektörlere göre toplulaştırılmış sera gazı emisyonları [TÜİK, 2011].

Sektör	1990	1995	2000	2005
Toplam (arazi kullanım hariç)	187.03	237.51	297.01	329.90
Enerji	132,13	160,79	212,55	241,75
Endüstriyel işlemler	15,44	24,21	24,37	28,78
Tarım	29,78	28,68	27,37	25,84
Atık	9,68	23,83	32,72	33,52
Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliği	-44,87	-61,84	-67,56	-69,53
1990 a göre % değişim (arazi kullanım hariç)	100,00	126,99	158,80	176,39
	2006	2007	2008	2009
Toplam (arazi kullanım hariç)	349,64	379,98	366,50	369,65
Enerji	258,56	288,69	277,71	278,33
Endüstriyel işlemler	30,70	29,26	29,83	31,69
Tarım	26,50	26,31	25,04	25,70
Atık	33,88	35,71	33,92	33,93
Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliği	-75,94	-76,27	-80,58	-82,53
1990 a göre % (arazi kullanım hariç)	186,95	203,16	195,96	197,64

Temel sera gazı emisyonlarının Çizelge 5.7.'de verilen eğilimlerine bakıldığında CO₂ emisyonlarının genel bir artış eğilimi gösterdiği, nispeten N₂O ve CH₄ emisyonlarının ise çok fazla değişmediği görülmektedir

Çizelge 5.7. Topplulaştırılmış sera gazı emisyonları,(LULUCF hariç) [TÜİK,2011]

Gaz	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009
Toplam	187,03*	237,51	297,01	329,90	349,64	379,98	366,50	369,65
CO ₂	141,30	173,90	225,43	259,61	276,72	307,92	297,12	299,11
CH ₄	33,50	46,87	53,30	52,38	53,33	55,58	54,29	54,37
N ₂ O	11,57	16,22	16,62	14,18	15,55	12,35	11,57	12,53
HFCs	0,00	0,00	0,82	2,38	2,73	3,17	2,67	2,84
PFCs	0,60	0,52	0,52	0,49	0,40	0,00	0,00	0,00
SF ₆	0,00	0,00	0,32	0,86	0,91	0,95	0,84	0,80

* Milyon ton CO₂ eşdeğer

Envanter sonuçlarına göre ülkemizin sera gazı emisyonu (CO₂ eşdeğeri olarak) 1990 yılı verilerine göre, 187,03 Mt iken 2009 yılında 369,65 Mt'a ulaşmıştır. 2009 yılı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılına göre iki kat civarında artmıştır.

Ulusal Sera Gazı Envanteri'ne göre yakıtların yanmasından kaynaklı emisyonlar 1990 ve 2009 yılı temel alındığında durum şu şekildedir;

- CO₂ emisyonlarında en yüksek artış % 201,4 ile enerji sanayinde gözlenmiştir.
- 1990 yılında sanayi sektörü en yüksek paya sahipken 2009 yılında elektrik üretiminin payı en yüksektir.
- N₂O emisyonlarındaki artış ulaştırma ve imalat sanayindeki enerji talebindeki artışla doğru orantılı şekilde yaklaşık olarak % 52,5 oranında artmıştır.
- CH₄ emisyonları 1990 yılına göre yaklaşık % 23,5 oranında artmıştır.
- CH₄ emisyonları 1997 yılından itibaren azalmış 2008 yılından itibaren tekrar artış göstermiştir [TÜİK,2011].
- Enerji kaynaklı emisyonlar, bütün ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de sera gazlarının kaynak sektörü durumundadır. Enerji sektöründen kaynaklanan emisyonlar enerji sanayi, imalat sanayi, ulaştırma ve diğer sektörleri (ısınma,

tarım, ormancılık ve balıkçılık) içermektedir. Yanma kaynaklı emisyonlar alt kategoriler halinde incelendiğinde emisyon seviyeleri ve eğilimleri bakımından enerji sanayi kategorisinin ve bu kategori içerisinde ağırlıklı olarak elektrik, ısı üretimi ve petrol rafinerisi için Türkiye’de yoğunlukla kullanılan taş kömürü, linyit ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar ana rolü üstlenmektedir.

Türkiye, 2005 yılı itibari ile 27,136 milyar ton olan dünya toplam CO₂ emisyonunun yaklaşık % 1’ini (241,9 milyon ton) üretmiştir. Öte yandan, Türkiye’nin son 15 yılda (1990–2004 döneminde) toplam 2,85 milyar ton olarak üretmiş olduğu CO₂ emisyonu, sadece ABD’nin 6 ayda, AB’ nin ise 1 yıl içinde üretmiş olduğu miktara eşittir [Tokgöz ve Arıoğlu].

Türkiye’nin enerji kaynaklı CO₂ ile ilgili bazı değerler dünya verileri ile karşılaştırıldığında Türkiye’nin CO₂ emisyonları açısından sorumluluk payının fazla olmadığı, hatta oldukça düşük olduğu görülmektedir. Çizelge 5.8.’de Uluslararası Enerji Ajansının 2008 yılı verilerini içeren 2010 yılı Raporu verileri yer almaktadır.

Çizelge 5.8. 2008 yılı enerji kaynaklı CO₂ ilişkin değerler [DEKTMK, 2010]

	CO ₂ (Milyon Ton)	CO ₂ /Nüfus (Ton/Kişi)	CO ₂ /Toplam Birincil Enerji arzı (Ton/TEP)
Dünya	29 381	4,22	2,40
OECD	12 630	11,02	2,33
Orta Doğu	1 492	6,62	2,51
Önceki Rusya	2 426	8,08	2,34
OECD-dışı Avrupa	269	4,87	2,52
Cin	6 550	3,89	3,07
Asya	3 023	1,25	2,14
Latin Amerika	1 068	2,09	1,86
Afrika	890	0,93	1,36
Türkiye	264	3,04	2,68

Bu verilere göre, Türkiye’nin enerji kaynaklı CO₂ emisyonları 264 milyon ton ile dünya CO₂ emisyonlarının % 0,8’ini, OECD CO₂ emisyonlarının ise % 2,1’ini teşkil etmektedir. Kişi başına düşen CO₂ emisyonlarının karşılaştırmasında da benzer bir durum söz konusu olup, Türkiye değerleri Dünya ve OECD değerleri altındadır.

Ancak, toplam birincil enerji arzı dikkate alınarak, üretilen birim enerji başına düşen enerji kaynaklı CO₂ miktarı dünya ve OECD değerlerinin üstündedir. Bu göstergeden de enerji arzında fosil kaynakların ağırlıklı olduğu sonucu çıkarken, Türkiye’de sera gazlarının temel kaynağının % 90 oranında fosil yakıtlara bağlı olduğu da anlaşılmaktadır [DEKTMK, 2010 ve TÜİK, 2011].

5.6. Ülkemizin Sera Gazı Salınımında Hedef ve Stratejisi

Türkiye, sosyo-ekonomik göstergeleri, sera gazı emisyon profili, tarihsel sorumluluğu, kişi başı emisyon miktarı, kişi başı gayri safi yüksek hasıla ve kişi başı enerji tüketim göstergeleri, İnsani Kalkınma Endeksindeki yeri dikkate alındığında ülkemiz “orta gelirli gelişmekte olan ülkeler” kategorisinde değerlendirilmektedir.

Türkiye, VI. Uluslararası İklim Değişikliği müzakereleri kapsamında tutumunu; ekonomik ve demografik gelişimi göz önüne alındığında herhangi bir geçmiş yıl referans verilerek sera gazı emisyon azaltım taahhüdü vermesi mümkün olmayacağı biçiminde belirlemiştir. Türkiye emisyon sınırlamasını, sürdürülebilir kalkınmasını ve yoksullukla mücadele çabalarını olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde alacağı önlemler yoluyla gerçekleştirmeyi planlamaktadır. Ayrıca, Türkiye azaltım faaliyetlerini ulusal programlarına ve stratejilerine uygun ölçülebilir, raporlanabilir ve doğrulanabilir şekilde yapacağını, yaklaşım olarak kendi özel şartları ve imkânları çerçevesinde iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışmalara katkı sağlamayı amaçladığını beyan etmektedir.

Türkiye’nin sera gazı emisyonu kontrol ve azaltım çalışmaları ile ilgili amaç ve eylemlerini göstermesi bakımından 2010 yılında yayınlanan “Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi” önemli bir bildiri niteliği taşımaktadır. Belgede, sera gazının emisyon kontrolü için enerji alanında kısa, orta ve uzun vadede yapılması öngörülen hedef çalışmalara yer verilmiştir. Söz konusu çalışmaların içeriği aşağıda sunulmuştur.

Kısa Vade :

- Hidrolik ve rüzgâr olmak üzere tüm yerli kaynaklardan yararlanmak,
- Binalarda enerji kimliği uygulanmasına başlamak,
- Kullanım alanı 1000 m² 'nin üzerindeki binalarda ısıtma sistemlerini güneş enerjisi toplayıcıları ile desteklemek.

Orta Vade :

- Binalarda enerji verimliliği potansiyelinin belirlenmesi ve yapı malzeme ve teknolojilerine yönelik projeler belirlemek,
- Mevcut binalara ısı yalıtım ve verimlilik artırıcı uygulamaları teşvik etmek,
- Sertifikalı enerji yöneticileri ile standardına uygun enerji yönetimi uygulamak,
- Başta yenilenebilir enerji ve temiz kömür teknolojisi olmak üzere nükleer enerji dahil düşük veya sıfır emisyon teknolojilerinin kullanımını özendirme,
- Yeni ve alternatif yakıtlarının kullanımını artırmak ve desteklemek,
- Mevcut termik ve hidroelektrik santrallerini iyileştirmek ve daha verimli çalışmalarını sağlamak.

Uzun Vade :

- 2020 yılına kadar enerji yoğunluğunu 2004 yılına göre düşük seviyelere indirmek,
- Kamu kuruluşlarının bina ve tesislerinde enerji tüketiminde iyileştirme sağlamak,
- 2023 yılına kadar toplam elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji payını % 30'a çıkarmak,
- 2020 yılına kadar referans senaryoya göre %7 karbondioksit emisyon sınırlamasını hedeflemek [UİDSB,2010].

Ülkemizin enerji alanındaki politikalarını belirleyen Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2010–2014 yılı perspektifinde beş yılı kapsayan stratejik planı incelendiğinde, öne sürülen hedeflerin genel olarak aşağıda belirtilen öncelikler çerçevesinde konulduğu anlaşılmaktadır.

Öncelik 1- Yerli kaynaklara öncelik vererek yerli kaynakların azami ölçüde kullanılması.

Öncelik 2- Kaynak çeşitlendirmesi sağlayarak yenilebilir enerji payının %30'a çıkarılması.

Öncelik 3- Toplam elektrik enerjisi üretiminde ve enerji sektöründe 2023 yılına kadar karbondioksitte %7 emisyon sınırlaması.

6. KKM GAZININ SERA GAZI SALINIMINDA ETKİSİNİN AZALTILMASI

6.1. KKM Gazının ‘Enerji Kaynağı’ Olarak Değerlendirilmesi

Metan, iklim değişikliğinin etkilerini azaltma yönünde yakın vadeli ilerleme sağlanabilecek güçlü bir sera gazıdır. Buna ek olarak, metan doğalgazın birincil bileşenidir. Böylece metan gazının toplanması ve kullanılması değerli ve temiz enerji kaynağı elde edilmesini sağlar, yerel ekonomik kalkınmayı teşvik ve çevre kirliliğini azaltır. Metandan enerji üretilmesi, geleneksel enerji kaynaklarının kullanımını önler, enerji santrallerinin ve nihai tüketicilerin CO₂ ve hava kirlenici emisyonlarını azaltır. Son olarak, kömür madenlerinden, çöp depolama alanları, petrol ve gaz tesislerinden metanın yakalanması, güvenlik koşullarını iyileştirerek patlama tehlikesini azaltır [IEA,2009].

Ülkemizin her türlü ve en önemlisi yerli enerji kaynaklarına olan büyük gereksinimi ve ülkemizde elverişli olabilecek kömür yataklarının bulunuşu gözetilerek kömür kökenli metan gazının alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılması enerjide dışa bağımlılığı da azaltacağından ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır.

Jeotermal, güneş, rüzgâr, dalga gibi temiz enerji kaynakları günümüzde çevre kavramı ile iyi dost olmalarına karşın kendilerine özgü enerji dönüşüm sistemleri ve teknolojiler gerektirdiğinden gereken ilgiyi görmemektedirler. Bunun yanı sıra nükleer enerji konusundaki tartışmalar ve özellikle gelişmiş ülkelerde bu enerjiye karşı oluşan tepkiler, henüz bu teknolojiye sahip olmayan ancak yapımını planlayan ülkeleri düşündürmektedir. Bu yüzden çevresel etkileri bakımından bazı dezavantajları olmasına rağmen; kömür, bitümlü şeyl¹³, petrol gibi fosil yakıtlar grubu içinde yer alan doğal gaz bu grup içinde en temiz yakıt olması nedeniyle özel bir ilgi alanı içindedir ve önemi her geçen gün artmaktadır [Şengiller,1996].

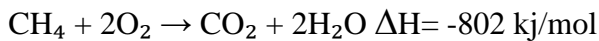
¹³ Genellikle ince taneli ve yapraklı yapıda olan ve “kerojen” adlı organik madde içeren, ısıtıldığı zaman sentetik petrol ve gaz üretebilen tortul kayalara verilen isim.

Petrol ve doğal gaz oluşumuna yönelik yapılan araştırmalar, organik maddeler içeren çökel kayaların yeterli sıcaklıkta belirli bir süre kaldıklarında, organik maddelerin geçirdiği bir dizi fiziko-kimyasal değişimler sonucu gaz oluşturduklarını göstermiştir. Benzer şekilde, içerisindeki minik kökenli organik madde ile bir ana kaya olarak adlandırılabilir kömür içerisinde de bir gaz oluşumu meydana gelmektedir. Kömürleşme ile birlikte % 95'ten fazla metan, çok düşük miktarlarda yüksek hidrokarbon ve % 3'ten az karbondioksit, nitrojen ve su oluşmaktadır [Gürdal ve Yalçın, 1992].

Kömür madenciliğinin en önemli sorunlarından biri de üretim sırasında açığa çıkan metan gazının neden olduğu grizu patlamaları ile başa çıkabilmek olmuştur. Bu nedenle kömürle birlikte metan gazının da bulunduğu çok eskiden beri bilinmektedir. Bununla beraber bu şekilde bulunan metan çok yakın bir geçmişe kadar sadece bir sorun olarak görülmüştür. Son yıllarda alternatif enerji kaynaklarına duyulan gereksinim ve en önemlisi birçok önde gelen doğal gaz yatağının ana kayasının (kökeninin) kömür olduğunun anlaşılması, kömürle birlikte bulunan doğal gazın ekonomik bir enerji kaynağı olarak gözetilmesine neden olmuştur [Yalçın, 1990].

6.2. Kömür Madenlerinde Metan Gazının Kaynağı Ve Birikimi

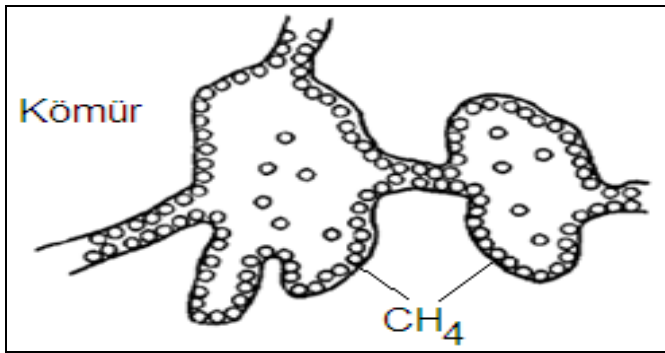
Kömürleşme, kömürün kökeni olan ve su altında havasız kalan bitkilerdeki karbon, hidrojen ve oksijenin birbirleri ile yaptıkları kimyasal tepkimeler ile oluşur. Bu kimyasal tepkimeler neticesinde karbon oksijen ile birleşerek (CO₂), oksijen hidrojen ile birleşerek (H₂O) ve hidrojen karbon ile birleşerek (CH₄) meydana gelmektedir. Aşağıda verilen reaksiyon uyarınca, bir mol metanın yanmasıyla bir mol karbondioksit ve iki mol su açığa çıkar:



Metan oluşumunda iki temel mekanizma söz konusudur. Bunlar biyojenik ve termojenik metan oluşumudur. Bitkisel kökenli organik maddelerin kömürleşme sürecinin ilk aşamalarında, genellikle 50°C' ye kadar olan sıcaklıklarda,

mikrobiyolojik ayrışma sonucunda biyojenik metan oluşumu gözlenir. Gerek miktarının azlığı, gerekse oluşan metanın birikebileceği bir rezervuar kayacının böyle bir ortamda bulunmayışı nedeniyle fosil biyojenik metan birikimleri çok ender olup ancak çok hızlı çöken az sayıda havzaya özgüdürler. Artan gömülmenin sonucu olarak ulaşılan yüksek sıcaklık değerleri kömürleşme derecesinin artması ve termojenik gaz oluşumunun başlamasına neden olur. Gaz oluşumunun kinetiğine bağlı olmakla birlikte yaklaşık 55°C den itibaren karbondioksit, 100°C den itibaren de metan ve azot gazları oluşmaya başlar. Artan kömürleşmeyle birlikte oluşan metan miktarı da artar [Aydın ve Kesimal, 2007].

Olağan petrol ve doğal gaz ana kayalarının tersine kömür, özgün gözeneklik yapısı ve olağanüstü yüksek soğurma (absorpsiyon) yeteneği nedeniyle, oluşturduğu gazı aynı zamanda içinde tutma özelliğine de sahip bulunmaktadır (Şekil 6.1.). Kömürlerde gözenek dağılımını araştıran çalışmalar, gözeneklerin büyük bir çoğunluğunun mikro gözenekler olduğunu göstermiştir. Soğurulan gaz miktarı iç yüzeyin yanı sıra basınçla da kontrol edilmektedir. Artan basınçla birlikte soğurulan gaz miktarı da artmaktadır. Bunlara bağlı olarak kömürde gram kömür başına 10–35 cm³ gazın soğurulması mümkündür. Bir diğer tanımlama ile oluşan toplam gazın yaklaşık % 30'unun kömür içersinde içinde tutulması söz konusudur.



Şekil 6.1. Metan moleküllerinin kömür gözeneklerindeki temsili görünüşü.

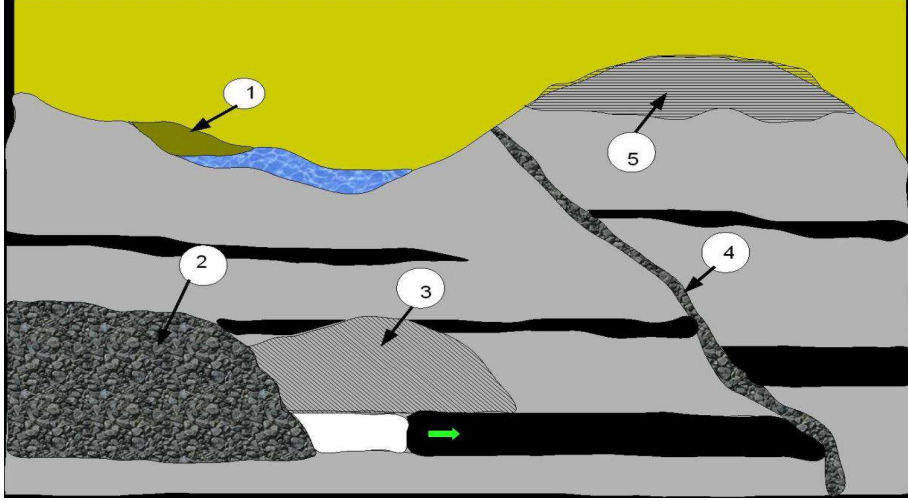
Oluşan gaz miktarı kömürün soğurma kapasitesinin üzerine çıktığı durumlarda, bu gaz bir ölçüde çevre kayalarındaki su içersinde erimekte, çoğunlukla ise serbest gaz olarak gözenek ve çatlaklarda veya kömür yüzeyine tutunmuş olarak birikmeye

başlamaktadır. Bazen de, serbest bir gaz fazının oluşmasıyla birlikte göç (migrasyon) olayı başlar. Eğer etkili bir örtü kaya veya özel hidrodinamik koşullar söz konusu değilse, serbest gaz olduğu ortamı terk ederek taşıyıcı katmanlar yardımıyla birikebileceği bir hazne kaya içersine doğru hareket etmeye başlar. Bu hareket klasik petrol ve gaz kapanlarının bulunduğu kesimlere kadar sürer [Yalçın, 1990]

Metan gazının bulunabileceği yerleri şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Suyun hareketi sonucunda kalan kısımda oluşan metan birikimi
- 2- Ayak¹⁴ arkası göçüklerde
- 3- Çalışılan ayakların tavanındaki yukarı çıkan gaz
- 4- Tektonik fay zonlarında
- 5- Kimyasal bozunuma uğramış karbon içerikli yapılarda.

Şekil 6.2.'de metan gazının bulunabileceği yerler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Metan gazının bulunabileceği yerlerin görünümü [TTK].

KKM olarak ta adlandırılan kömür kökenli doğal gaz, metanın kömür içinde adsorbsiyon yoluyla (kömür yüzeyinin soğrulması) depolanması nedeniyle diğer alışlagelmiş doğal gaz rezervuarlarından ayrılır. Birçok doğal gaz rezervuarlarının

¹⁴ Yeraltı işletmelerinde maden içerisinde iki galeri arasında cephe halinde maden üretimi yapılan yer.

aksine, kömür kökenli metan içerisinde çok az ağır propan, bütan gibi hidrokarbonlar bulunur. Ayrıca içerimin de çok az miktarda karbon dioksit gazına rastlanır.

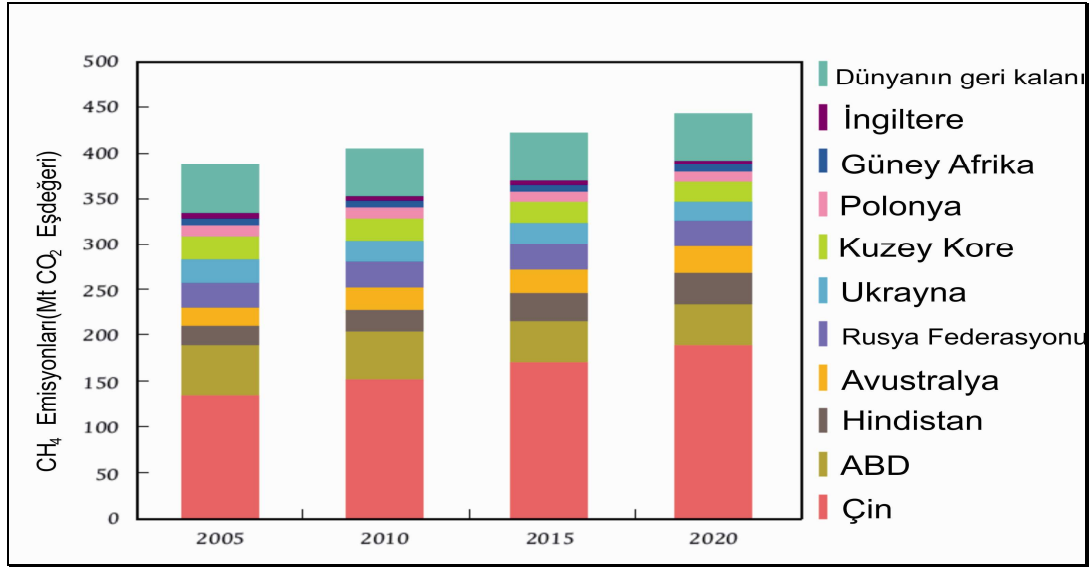
6.3. Kömür Madenciliğinden Atmosfere Salınan Metan Gazı

Madencilik faaliyetlerine bağlı olarak yayılan emisyon, terk edilmiş veya yüzeye yakın maden ocaklarında doğal çatlaklar ve diğer yayılma kaynakları aracılığı ile atmosfere kaçar.

Yeraltı kömür madenleri, kömürün karbon içeriğine bağlı olarak bünyesinde tuttuğu yüksek miktar metan nedeniyle metan emisyonlarının çoğunluğundan sorumludur. Yeraltı üretim faaliyetleri esnasında açığa çıkan metan emisyonu madenciler için bir patlama tehlikesi yaratabildiğinden, ocak içindeki havalandırma fanları kullanılarak seyreltilmektedir. Seyreltilen metan, ocak çıkış kuyusundan atmosfere bırakılmaktadır. Yüzey madenciliği çalışmalarında açığa çıkan metan ise direk olarak atmosfere yayılmaktadır.

Sektör olarak kömür madenciliği toplam metan emisyonunun % 6-8'ini oluşturmaktadır. Dünya kömür üretimi, son yıllarda yaklaşık yıllık % 6 artmıştır. Bu büyümenin bir sonucu olarak, derinlerdeki kömürü çıkarmak için teknolojik gelişmelere bağlı olarak KKM emisyonunun 2000–2020 aralığında % 20 oranında büyüyeceği tahmin edilmektedir. Çin, ABD, Hindistan ve Avustralya küresel KKM emisyonunun % 75'inden sorumlu en büyük üretici ülkelerdir [IEA,2009].

Şekil 6.3.'te, önemli kömür üreticisi ülkelerde 5 yıllık periyotlarla metan gazı emisyonlarındaki değişim izlenebilmektedir.



Şekil 6.3. Kömür Üretici Ülkelerin Metan Emisyonları [IEA,2009]

Buna göre, küresel kömür kökenli metan emisyonunun 2010 yılında yaklaşık 400 Mt iken 2020 yılında 450 Mt'a kadar ulaşacağı öngörülmektedir. Artışın sebebinin ise belirgin şekilde Çin'den kaynaklandığı, bu durumda diğer ülkelerin küresel metan emisyonundan hisselerine düşen miktarda pay aldıkları, bu payın ise değişmeden kalma eğilimli olacağı beklenmektedir.

Kömür madenciliği sırasında ortaya çıkan metan gazı miktarını, kömürün gaz içeriği, geçirgenliği, gözenekliliği, üretim yöntemi, kömür damarının derinliği ve üretim kapasitesi gibi birçok faktör etkiler. Üretimi bitmiş ve terkedilmiş yeraltı kömür madenleri bile ne ölçüde kapatıldığına veya su gelirine bağlı olarak metan gazı emisyonunun varlığı tespit edilmiştir. Yeraltı havasının içine karışan metan gazının havalandırma sistemi vasıtasıyla dış atmosfere verilmesinin önlenerek emisyonların azaltılması mümkün olduğu kadar metan içeriğine ve içerdiği kirleticilerin oranına bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanılması da mümkündür. Yanma kökenli bu uygulamalarla gaz yakılarak karbondioksit dönüştürülmekte ve enerji elde edilmektedir. Gazın karbondioksit dönüşmesi küresel ısınma üzerindeki etkisinin yirmi kat kadar azaltılması anlamına gelmektedir. Önümüzdeki yıllarda enerji gereksiniminin artacağı düşünülen ülkemizde, enerji temini ve çeşitlilik ilkesi gözetildiğinde kömür kökenli doğal gaz yeni bir enerji kaynağı olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Ayrıca, kömürleşme ile başlayan metan gazı, kömür madenleri için işletme sırasında büyük tehlike oluşturduğundan bu potansiyelin tehlikesiz duruma getirilmesi de sağlanmış olmaktadır.

6.4. KKM Gazı Kazanımı Ve Önemi

Pek çok yeraltı maden ocağında, hava içine karışan metan gazının seyreltilmesi ve kontrol altına tutulması büyük miktarda havalandırma sistemleri kurulmasını gerektirir. Kömür kökenli metan (KKM), kurulan bu havalandırma sistemi vasıtası ile % 1'den daha az konsantrasyonda ocağı terk ederek atmosfere yayılır. Buradaki metan, kömür kökenli metan emisyonlarının en büyük kaynağını oluşturmaktadır. Özellikle böyle gaz içeriği yüksek maden ocaklarında metanın güvenli konsantrasyonlar içinde kalmasını sağlamak için havalandırma sistemlerini tamamlamak üzere drenaj sistemleri geliştirilmiştir.

Metan drenajı ile üretilen gaz, kullanılmak üzere endüstriyel tesislere ulaştırılabilir veya atmosfere bırakılır. Böylece, ortalama % 50–60 oranında ve bazı hallerde %90'a kadar saf metan yeraltı çalışma alanlarına erişmeden önce ocak dışına atılmış olur.

Drenaj sistemleri, madencilik ihtiyaçlarına bağlı olarak çalışma anında veya çalışma öncesi kömür damarlarındaki metan gazının tahliye edilmesini sağlarken aynı zamanda satılabilir bir gaz ürün elde edilmesi ve alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılmasını sağlayacaktır. Batı Avrupa ocaklarında üretilen metan çeşitli yollarla demir çelik endüstrisi, kok fırınları, tuğla fırınları, cam fabrikaları, plastik üreten kimya endüstrisi gibi yerlerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Kömür kaynaklı metanın drene edilerek kullanılma seçenekleri Ek-2'de detaylı olarak gösterilmiştir. Bunun yanında gazın pazarlanması ile sera etkisinin azaltılması sonucu gönüllü karbon piyasasından işletmelere ek kazanç da sağlanabilmektedir. Gazın kullanılmasının ve/veya pazarlanmasının mümkün olmadığı durumlarda, gaz emisyonunun azaltılması için en iyi alternatif gazın yanma yoluyla imha edilmesidir.

Bir başka açıdan damar içerisindeki boşluklarda yüksek basınç altında bulunan gaz ortamdan uzaklaştırılacağından, metan gazından dolayı meydana gelen patlama, ani gaz ve toz püskürmeleri şeklinde meydana gelen iş kazaları da dikkate değer şekilde azalmış olacaktır.

Metan drenajı uygulanması halinde kömür madenlerinde işletmecilik koşulları açısından sağlanacak diğer avantajlar da şunlar olacaktır;

- Metanın yol açtığı üretim aksamaları azalır.
- Havalandırma maliyetleri düşer.
- İşçilerin çalışma koşulları iyileşir.
- İşletilebilecek olan kömür rezervi artar [Sorbbe, 1985].

6.5. KKM Gazı Kazanım/Azaltım Yöntemleri

Dünya’da çeşitli ülkelerde kömürden metan üretimi ekonomik olarak yapılmaktadır. Ancak uygulamalar kömür damarının türü, derinlikleri ve rezervuar özellikleri bakımından farklılıklar göstermektedir. Buna bağlı olarak ta değişik teknik yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır:

A- Madencilik Öncesi Açılan Drenaj Kuyuları (CoalBed Methane, CBM)

Tek bir kömür damarı ya da birkaç kömür damarı için yüzeyden damara doğru düşey kuyular açılır ve metanın madencilik işlemleri öncesinde drenajı sağlanır. Gazın yeryüzüne çıkarılması için çelik boru ile donatılmış bir kuyu kömür damarına delinir. Delinen kuyuda az miktarda bulunan su yeryüzüne pompalanarak kömür damarı üzerinde bulunan basınç azaltılınca, rezervuardan kuyu içine ve oradan da yeryüzüne gaz üretimi başlar. Metan akışını etkinleştirmek için kömür damarında hidrolik veya azot ile çatlatma operasyonu gerekebilir. Üretilen gaz, yeryüzünde bir kompresör istasyonunda sıkıştırılarak yakınlarda bulunan doğal gaz boru hattına verilir. Üretilen su ise ya tekrar izole bir formasyona geri basılır veya dereye verilir veya sulama da kullanılır veya buharlaştırma havuzlarına gönderilir. Düşey kuyular genellikle madencilik işlemleri başlamadan 2–7 yıl önce açılırlar ve damar işletilmeye

başlamadan önce damardaki gazı üretirler. Damarın gaz içeriğinin % 50-90'ı üretilebilmektedir.

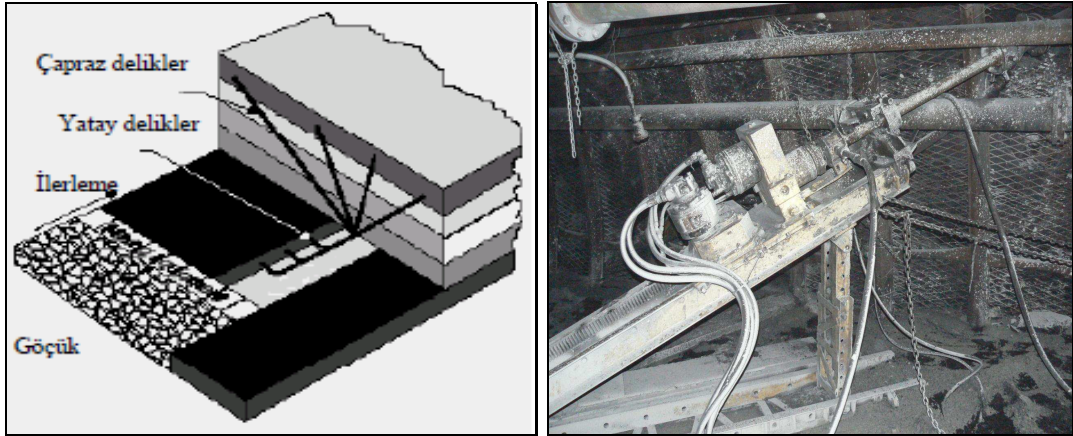
CBM kuyuları genellikle konvansiyonel doğal gaz kuyularına göre 8500 m³/gün ile daha düşük üretim debilerine sahiptirler. CBM rezervuarları düşük üretimlerine rağmen konvansiyonel bir doğal kuyusuna göre çok daha uzun bir üretim ömrüne sahip olurlar.

Drenaj yöntemlerinin verimi ve gaz kalitesi açısından en verimli, madencilik işlemleri öncesi yüzeyden kömür damarına doğru düşey kuyularla uygulanan drenaj yöntemidir. Yöntemde elde edilen gazın kalitesi çok yüksektir. Üretilen metan gazı yüksek kalitede olduğundan dolayı doğal gaz olarak kullanılabilir. Bu durumlarda doğal gaz hatları kömür kökenli metan için en önemli pazarlardan bir tanesi olmaktadır. Gazın bu amaçla kullanılabilmesi için en az % 95 metan içermesi ve % 4'den fazla nonhidrokarbon gazları içermemesi gerekmektedir. Koşulları sağlayan gaz basit bir zenginleştirme ile sıkıştırılarak civarda bulunan doğal gaz hatlarına sevk edilebilmektedir [Bibler and Carothers, 2001].

Gazın, doğal gaz gereksinimlerini karşılayamadığı durumlarda ise istenmeyen bileşenlerin ortamdaki uzaklaştırılmasıyla ve/veya gazın yüksek ısı değere sahip gaz ile karıştırılması ile gaz zenginleştirilebilmektedir [Karakurt ve ark., 2009].

B- Üretim Öncesi Açılan Drenaj Delikleri (Coal Mine Methane, CMM)

Damar içerisine yatay, dikey, çapraz şekilde delinen deliklerle yapılan metan drenajıdır. (Bkz. Şekil 6.4.) Maden ocağındaki çalışılan bölgeye muhtemel gaz sızmasını önler. Metan drenajı sadece kazılmamış kömür damarından yapıldığından ve drenaj zamanı kısa olduğundan dolayı yöntemin drenaj verimi düşüktür. Ele geçirilen metan miktarı az olmasına karşın gazın kalitesi yüksektir.



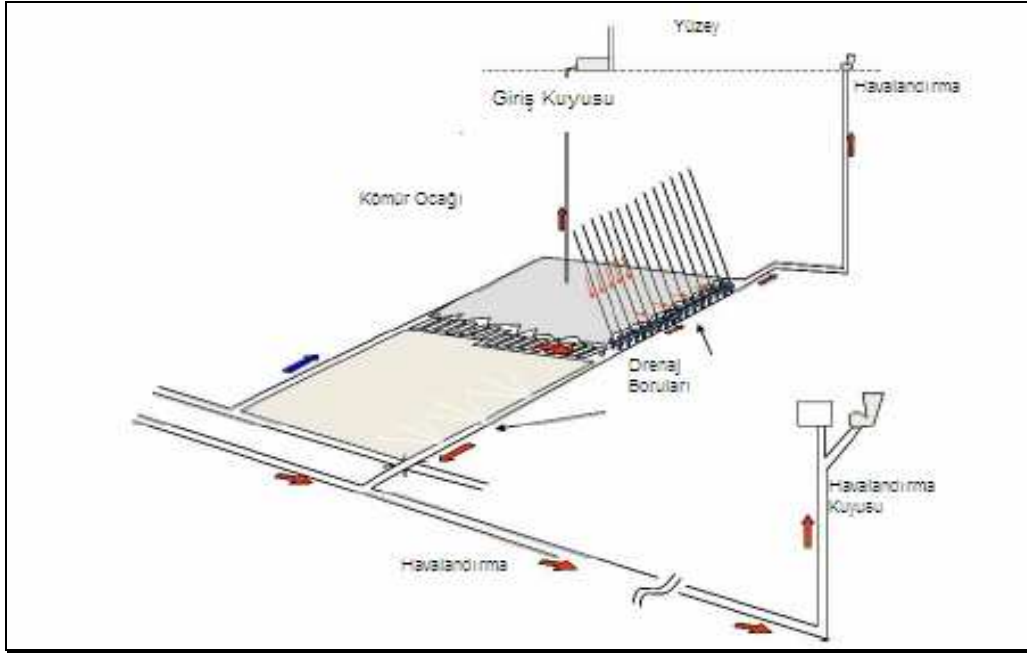
Şekil 6.4. Bir kömür damarına, yatay ve çapraz delinen delikler vasıtasıyla yapılan drenajın şematik gösterimi ve örnek bir uygulaması

Metan drenajı bu yöntem kullanılarak gerçekleştirileceği zaman deliklerden elde edilen gazı ocak içerisinde belirli bir bölgede toplamak için bir iletim hattı ve gazın yüzeye çıkarılması için bir düşey kuyuya ihtiyaç duyulmaktadır.

C-Terk Edilen Madenlerde Metan Drenajı (Abandoned Mine Methane, AMM)

Üretimin tamamlanan alana (göçük bölgesine) dik ve/veya açılı olarak açılan sondaj kuyuları sayesinde metanın emilimi sağlanır. Yöntemde metan göçük bölgesinden deliklerle emilir ve boru hattı boyunca hareket ederek yüzeye ulaşır. Yöntem düşey kuyularla karşılaştırıldığında zaman bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar; yüksek gaz içeriğinden yoksun olmaları, nispeten kısa üretim yaşamı ve üretimin sadece çevreleyen tabakalardan gerçekleştirilmesidir. Üretim sırasında göçük arkasına bırakılan borulardan da drenaj yapılabilir.

Yukarıda belirtilen drenaj yöntemleri, kömür kökenli metan gazı üretiminde günümüzde kullanılan en yaygın yöntemler olup Şekil 6.5.'de bir arada gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Metan drenajı yöntemlerinin bir arada gösterimi.

D- Ocak Havası Metan Gazının Kazanımı (Ventilation Air Methane, VAM)

Drenaj yöntemleri ile üretilmeyen düşük miktarlardaki metan, ocak havası ile seyreltilerek hava çıkış kuyusundan atmosfere salınır. Atmosfere bırakılan metan, düşük konsantrasyona sahip olmasına rağmen küresel anlamda yeraltı kömür madenlerinden açığa çıkan toplam metan emisyonunun yaklaşık % 60-70'ini oluşturur [Karakurt ve ark., 2010]. 2000 yılında küresel bazda madenlerin çıkış kuyularından atmosfere yayılan metanın 230 milyon ton CO₂'ye eşdeğer olduğu rapor edilmiştir. Bu miktarın 2020 yılına kadar 300 Mt'un üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir [Kruger ve Franklin, 2006].

Son teknolojik gelişmeler madenin hava çıkış kuyusundan dışarı verilen düşük konsantrasyonlarda metanın değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bu yönde yapılan çalışmaların çoğu, düşük konsantrasyonlu metanın oksidasyonu üzerine yoğunlaşmıştır. Metan, oksidasyon ile karbondioksit'e dönüştürülmekte ve açığa çıkan ısı ile birlikte enerji üretilebilmektedir. Ek olarak metanın küresel ısınma üzerindeki etkisi 21 kata kadar azaltılabilmektedir [Karakurt ve ark.,2010].

İşlemin teknik olarak uygulanabilirliğine yönelik Avustralya, ABD, Çin’de ocak havası içindeki metan için birçok farklı oksidasyon teknolojisi uygulamaları başlatılmıştır. Bunlardan biri, Avustralya’da 6 MW’lık kurulu gücü olan dünyanın ilk ticari ölçekli enerji santralidir [IEA, 2009].

Ocak havası metanı, termal ve katalitik olarak ayrımlandırılan oksidasyon teknolojileri ile mevcut yanma işlemlerinin performansını arttırmak için yardımcı veya ana yakıt işlevini görür. Ocak havasının yardımcı yakıt olarak kullanıldığı teknolojiler açığa çıkan metanın sera gazı etkisini azaltmak için daha uygun iken, ocak havasının ana yakıt olarak kullanıldığı teknolojiler, hem metanın küresel ısınma üzerindeki etkisini azaltmak hem de gazın farklı amaçlarda değerlendirilmesinin sağlanması için daha uygundur.

a-) Ocak Havasının Yardımcı Yakıt Olarak Kullanımı

Ocak havasının yardımcı yakıt olarak kullanıldığı teknolojilerde enerji kazanımı mümkün olabilmektedir. Ancak, en önemli sorun uygulama için gerekli ünitelerin ocak çıkış kuyusuna güvenli bağlantısının sağlanmasıdır.

Metanın yardımcı yakıt olarak kullanıldığı yöntemin temel uygulama alanları;

- i. Enerji santrallerinde kömür ile birlikte yanma işlemleri
- ii. Atık kömürlerin hibritleşmesini¹⁵ sağlayan yanma üniteleri
- iii. Klasik gaz türbinleri
- iv. İçten yanmalı motorlar

Ocak havasındaki metanın yardımcı yakıt olarak kullanım teknolojilerinin karşılaştırılması Ek-3’ de sunulmuştur.

¹⁵ Hibritleşme, bir atomda değerlik elektronlarının bulunduğu orbitallerin örtüşmesi olayına denir. Buna aynı zamanda melezleşme de denir.

b-) Ocak Havasının Ana Yakıt Olarak Kullanımı

Ocak havasının ana yakıt olarak kullanıldığı yöntemde, metan mevcut yanma işlemlerinde birincil yakıt olarak kullanılır. Ancak metanın mevcut yanma işlemlerinde ana yakıt olarak kullanımı; gazın konsantrasyonuna, ana yakıt olarak kullanılacağı düzeneğin minimum gaz gereksinimine bağlı olarak bazı teknolojiler için mümkün olmayabilir.

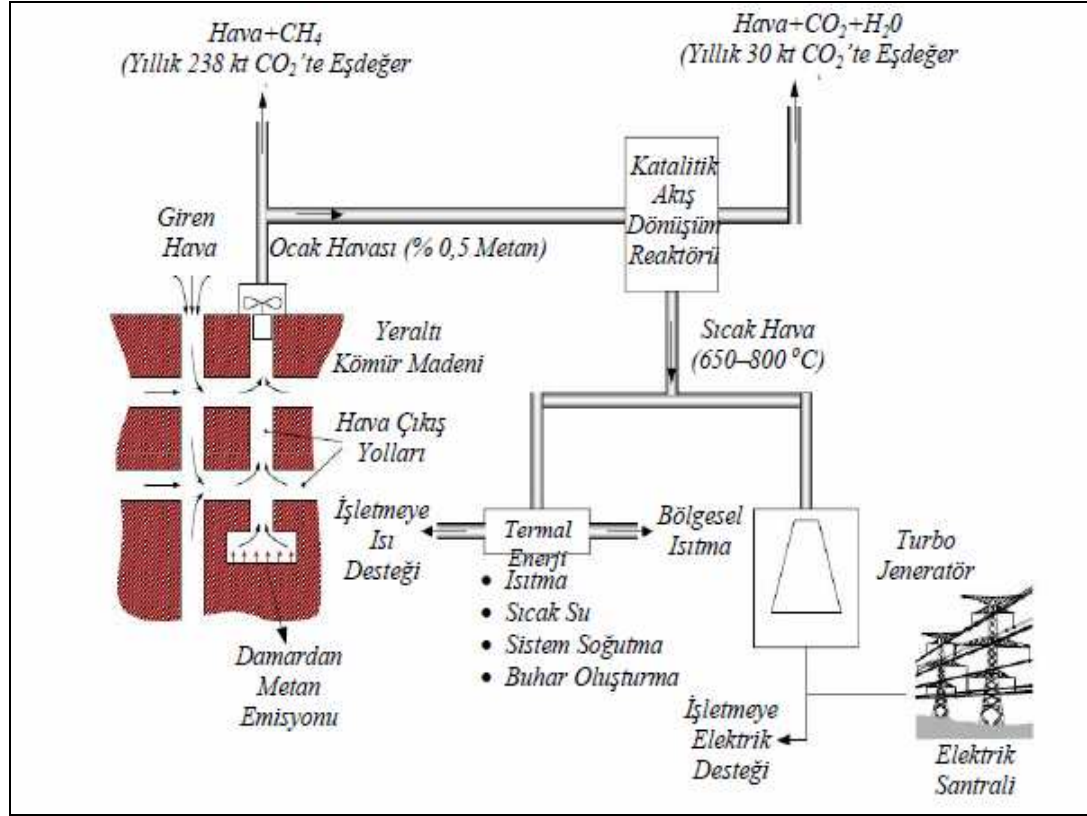
Metanın ana yakıt olarak kullanıldığı yöntemin temel uygulama alanları;

- i. Termal akış dönüşüm reaktörleri
- ii. Katalitik akış dönüşüm reaktörleri
- iii. Katalitik-monolitik reaktörler
- iv. Fakir yanma modlu gaz türbinleri
- v. Konsantratörlerdir.

Ocak havasındaki metanın oksidasyon teknolojilerinin (termal akış dönüşüm, katalitik akış dönüşüm ve katalitik-monolitik reaktör) karşılaştırılması EK-4'de sunulmuştur.

Katalitik akış dönüşüm reaktörleri, atmosfere salınan ocak havasındaki düşük konsantrasyonlu metanın azaltılması/kullanılması için teknik olarak uygulanabilen bir teknolojidir. Sapoundjiev ve Aube'nin yaptıkları bir çalışma, bu reaktörlerin termal enerji kullanıcılarına uzak olan kömür madenlerinde elektrik üretimi için kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Katalitik reaktörlerin ticari olarak yaygınlaştırılmasının kömür madenlerinden açığa çıkan metanın büyük çoğunluğunu oluşturan ocak havasındaki metanın azaltılabilirliği konusunda kömür işletmelerine büyük kazanç sağlayacağını belirten araştırmacılar, bu teknolojinin farklı alanlardan açığa çıkan metan emisyonlarını azaltmak için de uygulanabileceğini ifade etmişlerdir. Şekil 6.6.'da, ocak çıkış kuyusunda tutulan ve % 0,5 metan konsantrasyonuna sahip maden havasının katalitik akış dönüşüm reaktöründe kullanılması durumunda işletmeye ve küresel ısınmaya sağladığı avantajlar verilmiştir. Metanın küresel ısınma potansiyelinin CO₂'ye oranla 21 kat daha fazla olduğu ve değerlendirilmesi durumunda işletmeye getireceği katkı göz önüne

alındığında katalitik reaktör yönteminin kullanımının önemi daha da artmaktadır [Karakurt ve ark.,2010].



Şekil 6.6. Katalitik akış dönüşüm reaktör teknolojisinin avantajları [Karakurt ve ark.,2010]

Ocak havasındaki metanın sera gazı etkisinin azaltımı ve farklı alanlarda değerlendirilebilmesi için kullanılan oksidasyon teknolojilerinin uygulanabilirliği, sahaya bağlı olarak değişebildiğinden saha etüdünün iyi bir şekilde yapılması önemlidir. Mevcut teknoloji ile yeraltı kömür madenleri ocak çıkış kuyusundan atmosfere salınan metanın %95 oranında azaltılabilmektedir [Karakurt ve ark.,2010].

E- Metan Gazının Yanma Yoluyla İmha Edilmesi

Çevre açısından metanın yakılması işlemi, yanma reaksiyonunda büyük oranda karbondioksit açığa çıkmasından dolayı enerji yakıtı elde edilmesi kadar verimli görülmektedir. Çünkü karbondioksit salınımı küresel ısınma üzerinde doğrudan

metan salınımına göre daha az zararlı etki meydana getirmektedir. Sera gazının azaltılması amacıyla 1 ton metanın yakalanması ve enerji elde etmek için kullanılması 21 ton karbondioksit salınımında azalmaya karşılık gelmektedir. Bu şekilde kömür madenleri emisyonları yakılarak imha edilirse, azaltılan sera gazı miktarının kazanım ve kullanım yoluyla azaltılan sera gazı miktarının % 87,5'ine eşit olduğu bildirilmektedir [EPA,2003].

Günümüzde, ABD gibi ülkelerde terkedilmiş kömür madenlerinde metan gazının yanma yoluyla imhası işlemi uygulanmakla birlikte henüz aktif haldeki madenlerde güvenlik endişeleri nedeniyle uygulama alanı bulamamış durumdadır. Bu işlem, güvenlik kaygıları giderilirse metan emisyonlarının hafifletilmesinde ek bir seçenek haline gelebilecektir.

6.6. Dünya’da KKM Projelerine Genel Bakış

Günümüzde, gelişmiş ülkeler enerji gereksinimlerini karşılamak için yeni enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Özellikle Batı Avrupa ülkeleri, ABD, Çin ve Avustralya’da yeni bir enerji kaynağı olan kömür kökenli metanın kullanımına yönelik projeler yürütülmekte ve önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında kömür havzalarının gaz rezervleri tespit edilmekte, gazın değerlendirilebilmesi için kalite ve işletilebilme oranı tahmin edilerek enerji kaynağı olarak kullanılıp kullanılmayacağı belirlenmektedir. Aşağıda metan drenajının uygulanmasında gelişme kaydeden ülkeler ve çalışmaları hakkında bilgiler verilmiştir.

6.6.1. ABD’de KKM endüstrisindeki gelişmeler

Dünyada kömür kökenli metan gazının üretilmesi konusunda en ileri ülke ABD’dir. Çalışmalara 1980’li yılların başında başlanılmıştır. Amerikan Hükümeti’nin bu konuda sağladığı teşvik ve vergi indirimleriyle çok kısa zamanda üretime geçilmiş ve önemli teknolojik ilerlemeler sağlanmıştır. Amerika’da açılan kömüre dayalı metan kuyusu adedi ve metan üretim miktarları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.1. ABD’de KKM üretiminin yıllara göre artışı [USGS,2000]

Yıl	Üretim	Toplam Kuyu Adedi
1990	196 milyar scf ¹⁶	
2000	1 379 milyar scf	14 000
2005	1 732 milyar scf	20 000

ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu verilerine göre kömür kökenli metan rezervi 700 trilyon scf olup yıllık doğal gaz üretiminin % 7’sini KKM’den sağlamaktadır. KKM üretiminde, New Mexico’nun kuzeyinde ve Güney Batı Colorado’daki San Juan Baseni ile Alabama’daki Black Warrior Baseni başta gelen sahalar olmuştur. Black Warrior basenindeki metan üretim çalışmaları, madencilik çalışmalarına başlamadan önce madenin gazdan arındırılması amacıyla başlatılmıştır. Bugün ise bu sahada gaz üretimi madencilik çalışmalarından bağımsız olarak yürütülmektedir.

1983 yılında Gas Research Institute, kömürden metan üretimi konusunda araştırma çalışmalarını başlattığı zaman, doğal gaz endüstrisi bunu sadece madencilik endüstrisinin bir problemi olarak görmüştür. Kömür madenlerinde grizuya yol açan bu gazın, fiyat desteği ve vergi avantajı ile karlı olabilecek konvansiyonel olmayan bir doğal gaz kaynağı olabileceği anlaşılmıştır.

1980’li yıllara kadar, kömür tabakaları hiç bir zaman bir hedef rezervuar olmamıştır. Derinlerdeki hedef seviyelere sondaj yapılırken kömür tabakaları geçilmiş, gazın kömür yüzeyinde soğurulmuş olması ve gaz üretimi sağlanabilmesi için suyun üretilerek basıncın düşürülmesi gerektiğinden sondaj sırasında önemli bir gaz gelişi olmamıştır. Kömürden metan üretilmesinin mekanizmasının anlaşılması, kömür kuyularının tamamlanması için mevcut teknolojinin uyarlanması ve bazı başarılı uygulamalar, üretim şirketlerini harekete geçirmiş ve ABD’nin doğal gaz temininde KKM önem kazanmıştır.

¹⁶ Scf, 1 varil ham petrol enerji eşdeğerini ifade eder.

ABD'deki üretim şirketleri, kömürden metan üretilmesi konusunda daha fazla bilgi edindikçe ve kuyu tamamlama teknolojisini bu kuyulara uyarladıkça kömürden metan üretiminin sadece kömür madenlerinde tehlikeye yol açan gazın ortamdaki uzaklaştırılması olayı değil, aynı zamanda doğal gaz temininde yeni bir kaynak olduğunu anlamışlardır.

ABD'de kömürden metan üretimi konusunda elde edilen başarı, dünyanın diğer yerlerinde de bu teknolojinin uygulanmasına yol açmıştır. Doğu Avrupa ve Asya'da zengin kömür madenleri olan ülkeler, kömürden metan üretimi için projeler geliştirmişlerdir [HEMA].

6.6.2. Diğer ülkelerde KKM üretimi

Kuzey Amerika'da geniş kömür yataklarının bulunması, yüksek gaz fiyatları ve çok gelişmiş gaz dağıtım hatlarının bulunması nedeniyle kömürden gaz üretimi konusunda başarı sağlanmıştır. Ancak petrol ve doğal gaz talebinin sürekli olarak artması, diğer ülkelerde de, özellikle Avustralya, Çin ve Hindistan'da da bu yönde çalışmaların artmasına sebep olmuştur.

Avustralya'da Kömür Kökenli Metan Endüstrisinin Durumu: Avustralya, dünyanın dördüncü büyük kömür üreticisidir. Kuzey Amerika'dan sonra, KKM endüstrisi yönünden ikinci gelmektedir. Avustralya'nın konvansiyonel gaz rezervi 3,96 trilyon m³, KKM rezervi ise 6,23 trilyon m³ olarak tahmin edilmektedir.

KKM rezervlerinin çoğunluğu Bowen-Surat Baseninde yer almaktadır. Bunu Galilee-Eromonga, Sydney, Otway ve Gunnedah Basenleri izlemektedir. Bowen-Surat Baseninde üretim yapan kuyuların ortalama debisi 16,99 m³/gün, Sydney Baseninde 14,16 m³/gün'dür.

Çin'de Kömür Kökenli Metan Endüstrisinin Durumu: Çin'in KKM rezervi 33,98 trilyon m³ olarak tahmin edilmektedir. Ancak bu miktarın ne kadarının ekonomik olacağı bilinmemektedir. Çin'deki birçok KKM projesi henüz arama ve ilk

geliştirme safhasındadır. Panzhuang projesinde 346 km² alandaki 40,2 milyar m³ KKM rezervi hedeflenmektedir.

Burada 87,5 milyon \$ yatırım yapılarak 453 KKM kuyusu açılmıştır. Qinshui Baseninde 73,6 milyar m³ gaz rezervi tahmin edilmektedir. 2006 yılında 28 milyon \$ yatırım yapılmış, 230 metan gazı kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan 28 tanesinden gaz üretimine başlanmıştır.

Çin yasasına göre, kömür üretimine başlamadan önce çalışılacak olan damarın gaz içeriğinin 8 m³/ton, gaz basıncının ise 0,74 MPa' nın altına indirilmesi zorunludur. 2009 yılında 7,2 milyar m³ gaz drene edilmiş olup fiili kullanılan ise 3,2 milyar m³ 'tür. Bugüne kadar her çeşit yapıda drenaj çalışması yapılmış, gaz drenajı ile ilgili olarak çeşitli standartlar getirilmiştir. Çin'de, yeraltından yapılan ve yerüstünden yeraltına yapılan sondajlar olmak üzere iki tür drenaj yapılmaktadır [HEMA].

Çin'de Bir Metan Drenajı Uygulaması (Sihe Madeni): Geçirgenliğin en yüksek olduğu ocakta yüzeyden delinen kuyudan drenaj yapılmıştır. Geçirgenliğin düşük olması durumunda yüzeyden yapılan drenaj ekonomik olmamaktadır. Kömür üretimi başlamadan önce drenaj yapılmaktadır. Yüksek gazlı sert kömürlerde yatay sondajlarla drenaj yapılmaktadır. Üretim sırasında göçük arkasına bırakılan borudan da drenaj yapılmaktadır.

Sihe elektrik santralinde Sihe kömür ocağından drene edilen metan gazı kullanılmaktadır. Bu santralin yıllık üretimi 840 milyon kW/saat'tir. Elde edilen ısı enerjisi miktarı ise yılda 234 000 Giga Joule olup bu da 293 000 ton kömüre eşdeğerdir. Kuyudan çıkan yıllık gaz tüketimi ise yılda 385 milyon m³'tür. Bu miktar 179 milyon m³ net metana eşdeğerdir. Proje Şubat 2009'da işletmeye alınmıştır. Kurulu kapasitesi 120 MW olup metan gazı ile çalışan dünyanın en büyük santralidir [TTK].

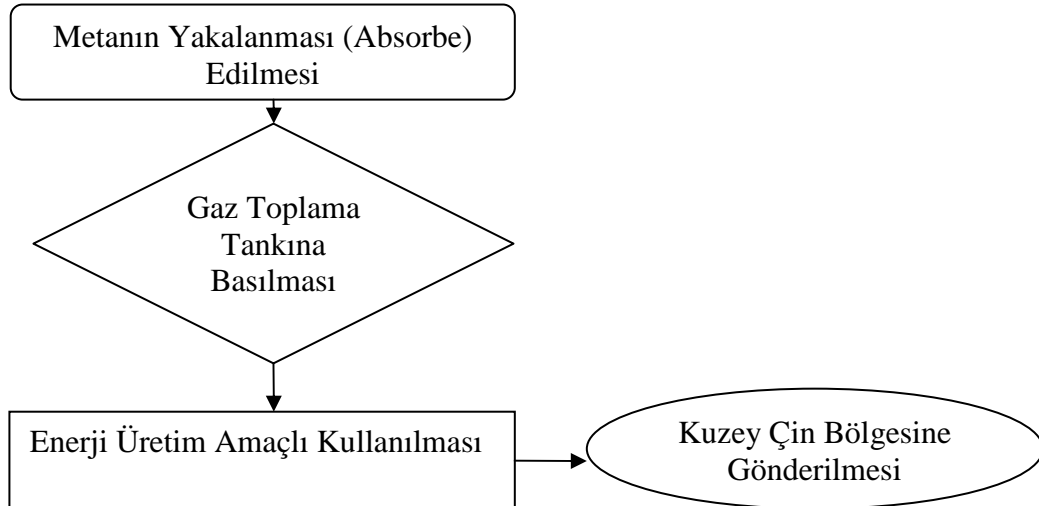


Resim 6.1. Sihe elektrik santrali



Resim 6.2. Sihe pompa drenaj istasyonu

İşletmedeki metan drenajı ve elektrik üretimi süreci şu şekildedir:



Şekil 6.7. İşletmedeki metan drenajı ve elektrik üretimi süreci

Hindistan'da Kömür Kökenli Metan Endüstrisinin Durumu: Hindistan'da KKM potansiyelinin ortaya çıkarılması için yerli ve uluslararası şirketlerin ilgisini çekmek amacıyla; yapılacak anlaşmalarda imza ikramiyesi istenmemekte, KKM operasyonları için gümrük vergisi alınmamakta ticari bir keşif yapıldıktan sonra 7 yıl gelir vergisi alınmamaktadır.

Endonezya'da Kömür Kökenli Metan Endüstrisinin Durumu: Endonezya'nın KKM rezervinin 453 Tcf (12,8 trilyon m³) olduğu tahmin edilmektedir. Güney Sumatra'daki bir bölgede 1-2 Tcf (28,3-56,6 milyar m³) olduğu tahmin edilen KKM rezervinin geliştirilmesi amacıyla kuyular açılmaya başlanmıştır.

6.6.3. Avrupa'da KKM endüstrisinin durumu

Batı Avrupa'da bulunan Fransa, Almanya, İtalya, İspanya ve İsviçre'de KKM arama çalışmalarının 1990'lı yıllardan itibaren yapıldığı bilinmektedir. İngiltere'de toplam rezervi 3,4 milyar m³ olan 15 saha keşfedilmiştir. Polonya'da Upper Silesian Baseninde KKM rezervinin 28,3 milyar m³ olduğu tahmin edilmektedir. Polonya'da KKM sahalarından üretilen gazdan devlet hissesi alınmamaktadır. Gelir vergisi % 19'dur. Birçok ülke ile karşılaştırıldığı zaman Polonya'daki teşvikler çok fazladır.

Çek Cumhuriyetinde Bir Metan Drenajı Uygulaması (Green Gase): 30 yıldan daha uzun bir süreden beri Çek, İsviçre, Almanya birlikteliğinden oluşan Green şirketler grubu, 50 farklı yerde CH₄ emisyonlarını temiz enerjiye ve Kyoto Protokolü kapsamında karbon kredisine dönüştüren kömür gazı ve çöp gazı konularında çalışma yapmaktadır. Şirket, kömürden çıkan gazdan toplam 568 000 MWh elektrik üretmiştir. Yıllık 58 milyon Euro cirosu bulunmakta, Çek Cumhuriyeti'nde çalışmakta olan kömür madenlerinde metan yönetimi ve kullanımı konusunda öncü bir firmadır. Metan gazının karbondioksit'e dönüşmesiyle ayrıca karbon kredisi de kazanılmaktadır. Karbon kredisi konusundaki prosedür tüm yönleriyle takip edilmektedir. Gaz yönetiminde gazın sahadan alınmasından, elektrik enerjisine dönüşmesine ve satışına kadar olan tüm aşamalar dünyanın tamamını kapsayacak şekilde tek merkezden yönetilmekte ve izlenmektedir. Sistem bu merkezden kumanda edilmekte, çalıştırılıp durdurulabilmekte, arızalara müdahale edilebilmektedir.

Yine, Green Gase şirketinin kömür madeni havalandırmasındaki (VAM) düşük konsantrasyonlu metan gazının oksidasyonu konusunda çalışmaları olan bir firmaları bulunmaktadır. Kömür madeninin havalandırma çıkış kuyusundaki (VAM) düşük konsantrasyonda (% 0,1-% 0,3) metan miktarı olduğunda enerji elde etmek için yeterli olmaktadır. Metan gazının önceden emilmesi güvenli bir çalışma ortamının tesisine imkân vermektedir. Drene edilen gazdan elektrik üretilmektedir [TTK].

Almanya'da Terk Edilen Bir Madende KKM Uygulaması (Guizin Madeni): Kömür madenini terk etmelerde kuyunun tamamı ya da belirli bölümleri tapa şeklinde beton ile kapatılarak sızdırmazlığı sağlanmaktadır. Ancak kuyu içinde su ve gaz borusu bırakılarak ocaklardan sürekli olarak gaz emilebilmektedir.

2005 yılında kapatılmadan önce Guizin madeninin taşkömürü üretimi yıllık 2 milyon ton'dur. Ton başına açığa çıkan gaz miktarı 12 m^3 , kapatılmadan önce emilen gaz miktarı saatte $35\,000 \text{ m}^3$ 'tür. Derinliği 800 metre olan kuyu, bir kısmı beton olmak üzere tamamen doldurularak kapatılmıştır. Kuyu içinde eski emme boruları mevcut durumda olup şu anda saatte $12\,000 \text{ m}^3$ % 63 oranında ($7\,500 \text{ m}^3$ saf) metan emilmektedir. Kapatılan ocakta, birkaç milyar m^3 gaz rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Su olmadığı sürece bu kuyudan 30 yıl süre ile gaz drenajı yapılacağı tahmin edilmektedir.



Resim 6.3. Gaz emme pompaları



Resim 6.4. Gazın santrale pompalanması

Yukarıdaki resimlerde sol tarafta görülen $4\,000 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasitede gazı emen pompalar, sağ taraftaki resimde görülen $2\,000 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasiteli gazı santrale basan pompalardır [TTK].

Santralin toplam kurulu gücü 42 MW olup hâlihazırda santralde motorlardan 10'u çalışmakta ve 30 MW elektrik enerjisi üretilmektedir. Bir motor saatte 750 m^3 saf metan harcamaktadır.

6.7. Türkiye’de KKM Gazının Rezerv ve Üretimine Yönelik Çalışmalar

Türkiye’de kömür kökenli metan gazı rezervine yönelik ilk çalışmalar Zonguldak-Bartın Taş Kömürü Havzasında yapılmıştır. Bu çalışmalardan ilki 1991 yılında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer Bilimleri Araştırma Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Elde edilen olumlu sonuçlara göre 1993 yılında yeni bir araştırma projesine başlanmıştır. Çalışma sonuçları Zonguldak yöresinde ekonomik kömür kökenli metan gazı potansiyeli olduğunu göstermiştir. 1994 yılında TÜBİTAK tarafından yapılan hesaplamalar ile bölgede bulunan tahmini ekonomik olarak kazanılabilir gaz rezervinin miktarı belirlenmiştir. Çizelge 6.2., Zonguldak taşkömürü havzasındaki metan gazı potansiyelini özetlemektedir.

Çizelge 6.2. Zonguldak Havzasında Metan Gazı Potansiyeli [RRV,1998]

Gaz Üretme Potansiyeli	30-90 m ³ gaz/ton kömür
Gaz Elde Etme Kapasitesi	5-20 m ³ gaz/ton kömür
Kömür Rezervi	2-10 milyar ton
Gaz Rezervi (Genel)	20-600 milyar m ³
Gaz Rezervi (Ortalama)	60-300 milyar m ³
Kazanılabilir Gaz	20-100 milyar m ³

TTK, ekonomik olarak metan gazı potansiyelinin değerlendirilebilmesi için 2000 yılında, imtiyaz sahası içinde gaz arama ve üretme izini için ihaleye çıkmış ve ihaleyi özel bir firma ortaklığı kazanmıştır. Ortaklık tarafından Zonguldak-Gelik yöresinde 1600 metre derinliğinde bir test kuyusu açılmış, fakat teknik ve mali yetersizlik nedeni ile projede başarıya ulaşılamamıştır.

Havzadaki kömür kaynaklı metan gazının araştırılması ve işletilmesi için 24 Ocak 2005 tarihinde yeni bir proje başlatılmıştır. Proje uygulama süresi 2 yıl arama ve 15 yıl işletme safhası olmak üzere toplam 17 yıldır. İhaleyi kazanan özel firma tarafından ilk sondaj Amasra sahasında yapılmış 1605 mt’ de tamamlanmıştır. İkinci gaz arama sondajı lokasyon hazırlıkları Karadon Müessesesi’nde başlatılmıştır. Ayrıca Armutçuk sahasında bir ve Üzülmüş Bağlık sahasında ve Kozlu Müessesesinde birer adet sondaj lokasyon çalışmaları başlatılmıştır.

Türkiye’de KKM gazı açısından önemli rezervlere sahip bölgelerinden diğeri de Manisa ili Soma ilçesindeki linyit havzasıdır. Bölgenin yüksek oranda metan gazı içeriğine sahip olduğu belirlenmiş olup halen gaz basıncı, gaz içeriği ve geçirgenliğin ölçülmesi işlemleri devam etmekte, toplanan bilgilerin değerlendirilmesi ile birlikte öngörülen drenaj yöntemine geçilmesi planlanmaktadır.

7. MATERYAL VE METOD

7.1. Kapsam

Kömür madenciliği sektöründen kaynaklanan metan gazının küresel ısınma üzerindeki etkisinin minimuma indirilmesi ve enerji kaynağı olarak yerel gaz ve elektrik şebekeleri için kullanılması tezin odağını oluşturmaktadır. Bu bölümde, son 20 yıldır Dünya’da birçok gelişmiş ülkede kullanılan kömür kökenli metan gazının drene edilmesi yöntemlerinin hâlihazırda Ülkemizde uygulanmadığı göz önüne alınarak, metan gazı potansiyeli bulunan bir kömür işletmesi ölçeğinde havalandırma çıkış verileri kullanılarak sera gazı salınımı ve enerji ilişkili değerlerin belirlenmesi için teorik hesaplama ve çözümlemelere yer verilmiştir.

Çalışma kapsamında, pilot işletme olarak seçilen Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü’ne bağlı müesseselerin metan salınımına olan katkısı ölçülmüş, salınımı azaltmanın çevre ve enerji açısından değeri hesaplanmıştır. Buradan yola çıkılarak çevreye ait yükümlülüklerin yerine getirilmesi için sera gazı etkisini arttıran KKM emisyonunun sınırlandırılması, bunun yanında geri kazanım yöntemleri ile alternatif bir enerji kaynağı halinde değerlendirilmesinin, işletme veya ülke ekonomisine sağlayacağı ek kazançlar tespit edilmiştir.

7.2. Çalışmada Yararlanılan Veri Kaynakları ve Metodoloji

Sera gazı etkisini arttıran metan emisyonlarına kaynaklık eden sektörün kömür madenciliği olması nedeniyle çalışmanın yapılacağı alan, Zonguldak ilinde kurulu TTK Genel Müdürlüğü müesseseleri olarak belirlenmiştir. Hedef alanın bu şekilde belirlenme nedeni, bölgenin metan gazı ihtiva eden zengin taş kömürü rezervlerine sahip olması ve yeraltı havalandırma sistemi ile ocak dışına yönlendirilen kirli hava içindeki metan gazı konsantrasyonunun otomatik gaz ölçüm sensörleri ile izlenebilmesidir.

Kömür kökenli metan gazının emisyon ve enerji eşdeğerinin saptanması için gerek duyulan emisyon verileri, TTK Genel Müdürlüğünün izni ve bilgisi ile İş Sağlığı ve Güvenliği Dairesi Başkanlığı aracılığı ile ulaşılmıştır. Temin edilen verilerin başında önemi açısından kömür üretimi yapılan müesseselerde ocağı terk eden kirli hava miktarı ve belirtilen havanın bünyesindeki metan gazı konsantrasyonu gelmektedir. Buradaki veriler, Kuruma bağlı maden ocaklarının her birinin emisyona katkısı ile birlikte Kurumun bütününe özgü emisyon değerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Emisyon değerinin belirlenmesinde yararlanılan hava miktarı ve metan gazı konsantrasyonları ismi verilen aspiratörlere ¹⁷ göre Çizelge 7.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 7.1. TTK Havalandırma ve Gaz Ölçüm Sonuçları [TTK İSGEDB]

Müessese	Aspiratör Adı	Hava Miktarı (m ³ /dk)	Metan (%)
Karadon	Aslanbahçesi	3 900	0,3
	52	4 200	0,1
	Gelik	5 770	0,1
	Karadon Top.	13 870	0,15
Üzülmez	Asma	5 770	0,2
Kozlu	Ali Soydaş	5 200	0,5
	İncivez	2 805	0,5
	Kozlu Top.	8 005	0,5
Amasra	40	1 700	0,3
Armutçuk	17	3 680	0,4

Tablodaki değerler, mevsim ve üretim şartları dolayısıyla değişken seyir izleyen ocak havası değerlerinin belli bir zaman aralığı seçilerek genel ortalaması alınarak elde edilmektedir. Kurum envanterinde olan ölçüm cihazları ile tespit edilen yukarıdaki değerler Ocak–2012 periyodu itibariyle yapılan ölçümlerin ortalamasını göstermektedir.

Çalışmanın hesaplamalar bölümünde yer alan TTK Genel Müdürlüğüne ait diğer veriler ise, Kurumun elektrik tüketimi, 2009 yılı taşkömürü üretimi ve taşkömürünün

¹⁷ Ocak içindeki kirli havanın emilerek dışarı atılmasını sağlayan havalandırma çıkış kuyusu üzerinde kurulu yüksek kapasiteli pervanelerdir.

kalorifik ısı değerleridir. Belirtilen bilgilerin kaynağı ise Kuruma ait web sitesi olup söz konusu verilerin doğruluğu ilgili birimlerin yetkilileri ile görüşülerek teyit edilmiştir.

Kuruma bağlı müesseselerin metan gazı emisyonu ve enerji eşdeğerinin hesaplanmasında kullanılan formüller, U.S. Mine Safety and Health Administration (MSHA) ile U.S. Environmental Protection Agency (EPA) tarafından ortaklaşa yayınlanan “Identifying Opportunities for Methane Recovery at U.S. Coal Mines” adlı rapordan referans alınmıştır [EPA,2003]. Çalışma çerçevesinde referans alınan formüller, adı geçen raporda İngiliz birim sistemindeki haliyle EK-5’de sunulmuştur.

Belirtilen formüller, İngiliz standartlarına özgü birimleri içermektedir. Ülkemizin kullandığı birim sisteminin farklı olması nedeniyle sonuçların daha anlaşılabilir olması açısından Ülkemizin kullandığı metrik birim sistemi tercih edilmiş ve zaman zaman birim dönüştürme işlemi yapılmıştır. Birimlerin metrik sisteme dönüştürülmesinde ‘birimler.info’ adlı web sitesi kaynak alınmıştır [Birimler]. Birimlerin metrik sisteme dönüşümünde EK- 6’daki veriler kullanılmıştır.

Hesaplama işlemleri esnasında referans alınan formüllerin biçim ve içeriğine sadık kalınarak mümkün olduğunca sadeleştirilmeye çalışılmıştır. Örneğin, metan gazı emisyonunu azaltmak için uygulanacak drenaj yöntemleri ile sağlanan geri kazanımın (elde edilebilecek metan oranı) farklı verimlilik değerleri ile (% 20, % 40, % 60) hesaplanması işlemi aynı şekilde seçilen işletme içinde örnek alınmıştır.

Sonuç olarak, tez çalışması sürecinde toplanan tüm veri, bilgi ve kaynaklarda adı geçen formüller ve birimlerin daha uygun hale getirilerek kullanılması hedeflenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan formüller ve ilgili açıklamaları içeren bilgiler aşağıda maddeler halinde geniş olarak ele alınmıştır.

1- Metan Emisyonunun CO₂ Eşdeğeri:

Bir maden ocağından potansiyel olarak açığa çıkan metan emisyonunun karbondioksit eşdeğeri aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilmektedir.

Kazanılabilecek potansiyel metan miktarı ki aynı zamanda azaltılacak metan miktarını temsil eder, aşağıdaki gibi karbondioksit eşdeğerine dönüştürülür:

CO₂ eşdeğeri

$$(\text{ton/yıl}) = [\text{CH}_4 \text{ emisyonu (m}^3/\text{yıl)} \times (\text{kazanım verimliliği \% 20, \% 40, \% 60)} \times 0,716 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3 \times 21\text{kg CO}_2/1\text{kg CH}_4 \times 1\text{ton}/1\ 000\text{kg}]^{18}$$

CO₂ eşdeğeri, metan gazının kazanım verimliliği % 20 % 40 ve % 60 (kazanılan ve yararlanılan toplam metan emisyonu oranı) varsayılarak hesaplanmaktadır.

2- Kömürün Yanmasından Kaynaklı CO₂ Emisyonları

Kömürün yanmasından kaynaklı CO₂ emisyonunu hesaplamak için yıllık kömür üretimi, kömürün ısı değeri ile çarpılır. Ardından bu değer, bir emisyon faktörü¹⁹ ile çarpılır. Son olarak değer, okside olan kısım için % 99 ile çarpılır. CO₂ emisyonu, kazanım verimliliği % 20, % 40 ve % 60 varsayılarak hesaplanır.

Formül aşağıdaki gibidir:

CO₂ Emisyonu

$$(\text{ton/yıl}) = [\text{Yıllık kömür üretimi (ton)} \times \text{Isıl Değeri} \times \text{Emisyon Faktörü} \times 0,99]$$

3- Metan Emisyonunun (CO₂ Eşdeğeri) Kömürün Yanmasından Kaynaklı CO₂ Emisyonuna Oranı

Yukarıdaki oran, maden ocaklarında üretilen kömüre karşılık gelen metanın yanmasından kaynaklanan CO₂ emisyonundaki azalımı gösterir. Oran, yıllık metan emisyonlarının CO₂ eşdeğerine dönüştürülmesi ve üretilen kömürün yanmasından kaynaklı CO₂ emisyonuna bölünmesi ile hesaplanır. Formül aşağıdaki gibidir:

¹⁸ Formüldeki 21 sayısı, 100 yıllık bir zaman periyodu içerisinde 1 gr karbondioksit salınımı karşılığında 1 gr metan salınımı için küresel ısınma potansiyelini (GWP) ifade eder.

¹⁹ Emisyon faktörü, EIA (ABD) adlı kuruluş tarafından bildirilen şekliyle beher milyon Btu için 203–210 lb CO₂ olup metrik sistem eşdeğeri beher milyon kcal için 0.368–0.380 ton CO₂'e denk gelir.

$$\text{Oran} = \frac{\text{Metan Emisyonu Azalımı (CO}_2 \text{ Eşdeğeri)}}{\text{Kömürün Yanmasından Kaynaklı CO}_2 \text{ Emisyonu}}$$

Oran, kazanım verimliliği % 20, % 40 ve % 60 varsayılarak hesaplanır.

4- Kazanılan Metanın Üretilen Kömürün Isı Değerine Oranı

Bu oranı hesaplamak için kazanılabilecek yıllık metan gazı miktarı ile ısıl değeri (kj/m³) ile çarpılır. Yıllık kömür üretimi ise kömürün ısıl değeri (kj/ton) ile çarpılır. Böylelikle, kazanılan metanın ısıl değerinin, üretilen kömürün ısıl değerine oranı hesaplanmış olur. Formül aşağıdaki gibidir:

$$\text{Oran} = \frac{\text{Kazanılan Metan Gazının Isıl Değeri [(m}^3\text{/yıl) x kj/m}^3]}{\text{Üretilen Kömürün Isıl Değeri [(ton/yıl) x (kj/ton)]}$$

Oran, kazanım verimliliği % 20, % 40 ve % 60 varsayılarak hesaplanır.

5- Kazanılan Metanın Güç Üretim Potansiyeli

Bu bölümde, bir kömür madeni işletmesinin elektrik üretimi projeleri için iyi bir aday olup olmadığı ile ilgili veriler sunulacaktır.

Toplam Elektrik Talebi (kW) : Bir maden işletmesinin yıllık elektrik talebi, maden ocağının elektrik talebi ile yerüstü hazırlık tesislerinin elektrik talebinin toplamıdır. Toplam elektrik talebi, aşağıdaki varsayımlar ve formüller yardımı ile hesaplanır.

- Varsayım 1

Referans alınan kaynaklarda toplam yıllık elektrik talebi, beher ton kömür için 24 kWh'tir. Buna karşın, Türkiye Taşkömürü Kurumu resmi verilerine göre 2009 yılı elektrik tüketimi beher ton satılabilir kömür için 107 kWh olarak gerçekleşmiştir. Bu

yüzden, elektrik talebi için aşağıda yapılan hesaplamada gerçekleşen tüketim değeri esas alınmıştır.

- Formül 1

$$\text{Talep (kWh/yıl)} = 107 \text{ kWh/ton} \times \text{Yıllık Kömür Üretim Miktarı}$$

- Varsayım 2

Havalandırma sistemleri, günde 24 saat, yılda 365 gün (yılda 8 760 saat) boyunca çalışırlar ve toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık % 25'ini tüketirler. Diğer madencilik işlemleri, günde 16 saat, 220 gün (yılda 3 520 saat) boyunca çalışırlar ve toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık % 75'ini tüketirler.

- Formül 2

$$\text{Talep (kW/saat)} = (\%75 \times \text{kWh/yıl}/3520 \text{ saat}) + (\%25 \times \text{kWhs/yıl}/ 8760 \text{ saat})$$

$$\text{(Madencilik İşlemleri) + (Havalandırma Sistemleri)}$$

- Varsayım 3

Yerüstü hazırlık tesislerinin elektrik talebinde kömür işlenmesi 6 kWh/ton elektrik gerektirir.

Hazırlık tesisi bir günde 16 saat yılda 220 gün (yılda 3 520 saat) çalıştırılır.

- Formül 3

$$\text{Talep (kWh/yıl)} = 6 \text{ kWh/ton} \times \text{Yıllık Kömür Üretim Miktarı}$$

Metan Gazının Potansiyel Elektrik Üretim Kapasitesi (kW): Potansiyel elektrik üretim kapasitesi tahmin edilirken, kazanılan metanın ısı değerinin 33 810 kJ/m³ ve böyle bir proje için kullanılabilir gaz türbininin ısı oranının yaklaşık 11 605 kJ/kWh (11 605 kJ metan gazından 1 kWh enerji üretilir.) olduğu varsayılmıştır.

Elektrik üretim kapasitesinin formülü şöyledir;

$$\text{Kapasite} = \text{CH}_4 \text{ (m}^3\text{/gün)} \times 1 \text{ gün}/24 \text{ saat} \times 33 \text{ 810 kJ/m}^3 \times \text{kWh}/11 \text{ 605 kJ}$$

Hesaplanan değer, işletme için potansiyel teorik elektrik üretim kapasitesidir. Ancak geri kazanım verimliliğinin en düşük %20, en yüksek %60 olduğu varsayılarak

ortalaması % 40 alınmak suretiyle işletmenin pratik elektrik üretim kapasitesi hesaplanır.

6- Metan Azaltımının Gönüllü Karbon Piyasasında Değerlendirilmesi

Sera gazı salınımlarının azaltılması projelerinin finansmanı için gönüllü karbon ticareti seçenek olarak kullanılabilir. Bu durumda, metan drenajı yöntemleri ile KKM kazanımı veya azaltımı potansiyelinin değerlendirilmesi neticesinde yıllık emisyon tasarrufunun gönüllü karbon piyasasında satılması sonucunda, CO₂'in ton başına ortalama 10 Euro'dan işlem gördüğü düşünülürse elde edilecek kazanç aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Gönüllü Karbon Ticareti İle Yapılan

Satıştan Elde Edilebilecek Gelir

$$= \text{Yıllık metan emisyonunun CO}_2 \text{ eşdeğeri (ton)} \times 10 \text{ €/ton}$$

7.3. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgi: Türkiye Taşkömürü Kurumu

Zonguldak havzası taş kömürlerinin 19. yüzyıl ortalarından itibaren Devlet ve toplumunun ekonomik, endüstriyel ve toplumsal gelişiminde önemli payı olmuştur. Bugün de bölge ekonomisinde çok önemli bir paya sahip olan TTK, 2x150 MW kurulu güce sahip olan Çatalağzı (B) Termik Santralının kömür ihtiyacının tamamını karşılamakta ve ülkemizin ilk iki entegre demir-çelik fabrikası olan Kardemir ve Erdemir'in koklaşabilir taşkömürü ihtiyacının karşılanmasında önemli bir güvence oluşturmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın "İlgili" kuruluşu olan TTK, üretim faaliyetlerini Armutçuk, Amasra, Kozlu, Üzülmüş ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri ile yürütmektedir. Kurumun 2010 yılı itibariyle işçi sayısı 12 000 civarındadır.

Zonguldak Havzası kömürlerinin kalorifik değeri 6 200-7 250 kcal/kg arasında değişmektedir ve -1200 kotuna kadar muhtemel rezervi 1,3 milyar tondur. Bu rezervin yaklaşık % 41'i (yaklaşık 550,8 milyon ton) görünür rezerv vasfındadır. Toplam rezervin 610 milyon tonu özel sektör işletmeciliğine açılmış bulunmaktadır.

Zonguldak havzasında üretim yapan TTK'ya bağlı müesseselerin ve özel teşebbüse ait maden işletmelerinin 2003–2009 döneminde yıllık taşkömürü üretim miktarları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. 2003–2009 dönemi yıllık taşkömürü üretim miktarları [TTK]

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
TTK	1 180 847	1 665 846	1 522 698	1 675 283	1 586 532	1 879 630
Özel Sektör	65 124	511 355	795 931	817 092	1 043 909	999 776
Toplam	1 245 971	2 177 201	2 318 629	2 492 375	2 630 441	2 879 406

TTK ocaklarında yürütülen yeraltı kazı ve üretim faaliyetlerinin bir sonucu olarak kömür damarlarından ve yan kayaçlardan sürekli metan gazı açığa çıkmaktadır. Metan gazının hava ile belirli oranlardaki karışımı parlama ve patlamaya sebep olduğundan müessese ocaklarında gazla mücadele çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar ile amaç, temel olarak iyi bir havalandırma ile çıkan gazı seyreltmek ve ocak gazları ile kirlenen havayı ana aspiratörler vasıtasıyla dışarı atmaktır. Havzada TTK'ya bağlı müesseselerde çeşitli kapasitelerde toplam 8 adet aspiratör vasıtası ile toplam uzunluğu 300 km olan galerilerden kirli hava emilmekte ve ocaktan tahliye edilerek atmosfere bırakılmaktadır. Zonguldak atmosferini kirleten ocak çıkışlı hava karışımı içerisinde karbondioksit, metan, karbonmonoksit, azot oksitleri vb. ocak gazları ile çeşitli toz partikülleri bulunmaktadır.

Bugün gelinen süreçte, TTK bünyesindeki maden ocaklarında metanın drene edilerek enerji elde edilmesi için herhangi bir uygulama söz konusu değildir. Havalandırma suretiyle metan geliri yenilemeyen bazı yeraltı ocaklarının üretim bölgesi çıkışlarında venturiler vasıtası ile metan gazının emilerek nefesliklere verilmesi uygulaması zaman zaman yapılmış olmakla birlikte, yoğun metan ihtiva eden kömür

damarlarının bulunduğu Kozlu ve Armutçuk ocaklarında damar bünyesinde bulunan metan gazının venturi veya lokal tulumbalarla emilerek alınması ve çıkış havasına verilmesi ilk aşamada varılması istenen hedefdir. Bu amacı gerçekleştirilebilmesi için yeraltında lokal drenaj yapacak tulumbaların temini çalışmaları başlatılmıştır.

8. BULGULAR

8.1. TTK İşletmelerinde Metan Emisyonunun CO₂ Eşdeğeri

Metan emisyonunun CO₂ eşdeğerini bulmak için öncelikle Çizelge 7.1'deki havalandırma ve gaz ölçüm verilerinden yararlanılarak müesseseler tarafından atmosfere salınan yıllık metan gazı miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ise Çizelge 8.1.'de gösterilmiştir. Müesseseler arasında kömür gaz içeriği en yüksek Kozlu Müessesesi olup ocak çıkış havası % 0,5 metan içermektedir. Bunu, % 0,4 ile Armutçuk, % 0,3 ile Amasra Müessesesi takip etmektedir. Yapılan hesaplama sonucunda tüm müesseselerin toplam olarak yılda 48 455 064 m³ metan gazını atmosfere saldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 8.1. TTK faaliyetlerine bağlı yıllık hesaplanan metan emisyonları

Müessese	Hava Miktarı		Metan	
	m ³ /dk	m ³ /yıl	%	m ³ /yıl (m ³ /yıl x % metan)
Karadon	13 870	7 290 072 000	0,15	10 935 108
Üzülmez	5 770	3 032 712 000	0,2	6 065 424
Kozlu	8 005	4 207 428 000	0,5	21 037 140
Amasra	1 700	893 520 000	0,3	2 680 560
Armutçuk	3 680	1 934 208 000	0,4	7 736 832
Toplam	33 025	17 357 940 000	0,28	48 455 064

Çizelge 8.1, Ocak/2012 ölçüm sonuçlarına göre oluşturulmuştur. Aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmış metan emisyonunun CO₂ eşdeğeri;

$$\begin{aligned}
 \text{a-) \% 20 kazanım verimliliği için} &= 48\,455\,064 \text{ m}^3/\text{yıl} \times \%20 \times 0,716\text{kg}/\text{m}^3 \times 21\text{kg} \\
 &\quad \text{CO}_2/1\text{kg CH}_4 \times 1\text{ton} / 1\,000\text{kg} \\
 &= \underline{145\,714 \text{ ton/yıl}} \text{ bulunur.}
 \end{aligned}$$

Aynı yöntem kullanılarak,

$$\text{b-) \% 40 kazanım verimliliği için} = \underline{291\,428 \text{ ton/yıl}}$$

$$\text{c-) \% 60 kazanım verimliliği için} = \underline{437\,142 \text{ ton/yıl}} \text{ CO}_2 \text{ salımı bulunur.}$$

Yukarıdaki sonuçlarla, TTK'ya bağlı beş işletme ile birlikte toplam metan gazı emisyonunun 2012 – Ocak ayına ait ölçüm sonuçlarına göre yıllık 145 714 ton ile 437 142 ton CO₂ eşdeğeri arasında gerçekleşmesi beklenmektedir.

8.2. Kömürün Yanmasından Kaynaklı CO₂ Emisyonu

Kömürün yanmasından kaynaklı CO₂ emisyonunu hesaplamak için kullanılan formülde ;

2009 yılı üretimi »1 879 630 ton,

Taşkömürünün ısı değeri » ort. 6 500 kcal/kg (6,5.10⁶ kcal/ton),

Emisyon faktörü » ort. 0,374 ton CO₂/10⁶ alınır;

TTK'na bağlı maden ocaklarında üretilen kömürün endüstriyel ve evsel ortamlarda yanmasından oluşan

CO₂ emisyonu (ton/yıl)

$$= 1\ 879\ 630\ \text{ton/yıl} \times 6,5.10^6\ \text{kcal/ton} \times 0,374\ \text{ton CO}_2/10^6\ \text{kcal} \times 0,99$$

$$= \underline{4\ 523\ 686\ \text{ton/yıl}}\ \text{bulunur.}$$

2009 yılında satılabilir kömürün bir fosil enerji kaynağı olarak tüketilmesi sonucunda yaklaşık 4,5 Mt CO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır.

8.3. Metan Emisyonunun (CO₂ Eşdeğeri) Kömürün Yanmasından Kaynaklı CO₂ Emisyonuna Oranı

Yukarıdaki oran, Bölüm 8.1. ve 8.2.'de bulunan sonuçlar yerine konularak çözümlerse;

a-) % 20 kazanım verimliliği için

$$\begin{aligned} \text{Oran} &= \frac{145\ 714\ \text{ton/yıl}}{4\ 523\ 686\ \text{ton/yıl}} \\ &= 0,032 \end{aligned}$$

Aynı yöntem kullanılarak,

b-) % 40 kazanım verimliliği için Oran = 0,064

c-) % 60 kazanım verimliliği için Oran = 0,096 bulunur.

Yukarıdaki sonuçlarla, toplam metan emisyonu % 20 verimlikle geri kazanıldığında oran olarak 0,032'ye karşılık gelen % 3,2 daha az karbondioksit salınımı meydana geleceği anlaşılmaktadır. Aynı şekilde, metan gazı % 40 verimlilikle geri kazanıldığında % 6,4 , % 60 verimlilikle geri kazanıldığında ise % 9,6 daha az CO₂ salınımları gerçekleşecektir.

8.4. Kazanılan Metanın Üretilen Kömürün Isı Değerine Oranı

TTK maden ocaklarında kazanılan metan gazının ısı değerinin üretilen kömürün ısı değerine oranı;

a-) % 20 kazanım verimliliği için

$$\begin{aligned} \text{Oran} &= \frac{0,20 \times 48\,455\,064 \text{ (m}^3\text{/yıl)} \times 33\,810 \text{ (kJ/m}^3\text{)}^{20}}{1\,879\,630 \text{ (ton/yıl)} \times 27\,310\,924 \text{ (kJ/ton)}} \\ &= 0,0063 \end{aligned}$$

Aynı yöntem kullanılarak,

b-) % 40 kazanım verimliliği için Oran = 0,0127

c-) % 60 kazanım verimliliği için Oran = 0,0189 bulunur.

Bu sonuçlarla, kazanım verimliliği % 20, % 40 ve % 60 olması durumunda metan gazından elde edilecek ısı değeri, üretilen kömürün ısı değerinin sırasıyla yaklaşık % 0,63, % 1,27 ve % 1,89'una eşit olmaktadır.

²⁰ Metanın ısı değeri 33 810 kJ/m³ veya 8 075 kcal/ m³ tür.

8.5. Kazanılan Metanın Elektrik Üretim Potansiyeli

Bölüm 7.2'de açıklanan varsayım ve formüllere göre;

TTK işletmelerinin yıllık elektrik talebi:

$$\text{Talep kWh/yıl} = 107 \text{ kWh/ton} \times 1\,879\,630 \text{ ton} = 201\,120\,410 \text{ kWh/yıl}$$

Madencilik faaliyetleri ve havalandırma sistemleri için gerekli elektrik talebi:

$$\begin{aligned} \text{Talep(kWh)} &= (\%75 \times \text{kWh/yıl} / 3\,520 \text{ saat}) + (\%25 \times \text{kWh/yıl} / 8\,760 \text{ saat}) \\ &\quad (\text{Madencilik İşlemleri}) + (\text{Havalandırma Sistemleri}) \\ &= (\%75 \times 201\,120\,410 / 3\,520 + \%25 \times 201\,120\,410 / 8\,760) \\ &= 42\,852 + 5\,739 \\ &= \underline{48\,591 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Kömür hazırlık tesislerinin elektrik talebi:

$$\begin{aligned} \text{Talep (kWh/yıl)} &= 6 \text{ kWh/ton} \times 1\,879\,630 \text{ ton} = 11\,277\,780 \text{ kWh/yıl} \\ &= 11\,277\,780 \text{ kWh/yıl} / 3520 \text{ saat} \\ \text{Talep (kWh)} &= \underline{3\,204 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Bu durumda, TTK maden ocaklarında yeraltı ve yerüstü tesislerinin elektrik talebi toplamı (kWh) :

$$\begin{aligned} \text{Talep (kWh)} &= 48\,591 \text{ kWh} + 3\,204 \text{ kWh} \\ &= \underline{51\,795 \text{ kWh}} \text{ (51,7 megawattsaat, MWh) olarak bulunur.} \end{aligned}$$

Metan Gazının Potansiyel Elektrik Üretim Kapasitesi (kW):

$$\begin{aligned} \text{TTK maden ocaklarından kazanılan metan gazından üretilebilecek elektrik kapasitesi} \\ &= 48\,455\,064 \text{ (m}^3\text{/yıl)} / 8\,760 \text{ saat/yıl} \times 33\,810 \text{ kJ/m}^3 \times \text{kWh} / 11\,605 \text{ kJ} \\ &= \underline{16\,115 \text{ kWh (16,1MWh)}} \text{ olarak bulunur.} \end{aligned}$$

Elektrik üretim kapasitesi teorik olarak 16,1 MWh, ancak pratikte geri kazanım verimliliği ortalama % 40 kabul edilirse gerçek enerji üretim kapasitesi 6,56 MWh

(6 560 kWh) bulunmaktadır. Bu durumda, kazanılacak metan gazının enerji üretme kapasitesi ile TTK maden ocaklarının yukarıda bulunan 51,7 MWh olan elektrik talebinin yaklaşık % 13'ü karşılanabilir görünmektedir.

Bir diğer yönüyle, üretilecek elektriğin evsel ortamda kullanması düşünüldüğünde bir ailenin yılda toplam 3 600 kWh elektrik enerjisi tüketimi olacağı kabul edilirse, metan gazından elde edilecek enerjiden yararlanabilecek aile sayısı;

$$= 6\,560 \text{ kWh} \times 8\,760 \text{ saat/yıl} / 3\,600 \text{ kWh}$$

$$= 15\,962 \text{ bulunur.}$$

8.6. Metan Azaltımının Gönüllü Karbon Piyasasında Değerlendirilmesi

8.1. başlığında sonuçlar baz alınarak yıllık metan emisyonunda sağlanan tasarrufun gönüllü karbon piyasasında satılması sonucunda, CO₂'in ton başına ortalama 10 Euro'dan işlem gördüğü düşünülürse elde edilecek gelir

$$= 145\,714 \text{ ton} \times 10 \text{ €/ton veya } 437\,142 \text{ ton} \times 10 \text{ €/ton}$$

$$= 1\,457\,140 \text{ €}$$

veya

$$= 4\,371\,420 \text{ € bulunur.}$$

TTK'nın karbon tasarrufundan dolayı yılda yaklaşık 1,4-4,4 milyon € kazanması işletme karlılığı açısından ek bir kalem oluşturmaktadır.

Yukarıda takip edilen metodoloji ile Türkiye Taşkömürü Kurumuna bağlı müesseselerde KKM gazının çevre ve enerji açısından potansiyeli hesaplanarak belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 8.2'de toplu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 8.2. TTK'nın Metan Salınımı ve Enerji Üretim Potansiyeli

TTK'nın Metan Salınımı	48 455 064 m ³ /yıl
Metan Salınımının Karbon Eşdeğeri	145 714 – 437 142 ton
Taşkömürünün Yanması İle Oluşan Karbon Salınımı	4 523 686 ton/yıl
Metanın Isıl Değeri	1 638 Milyar kj/yıl
Taşkömürünün Isıl Değeri	51 334 Milyar kj/yıl
Metanın Elektrik Üretim Potansiyeli	6,56 MWh
Metanın TTK'nın Elektrik Talebini Karşılama Oranı	% 13
Metandan Üretilecek Elektriği Kullanacak Aile Sayısı	15 962
Karbon Ticareti Geliri	1,4 - 4,4 Milyon Euro

9. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Küresel ve bölgesel çevre sorunlarının artmasındaki temel faktörlerden en önemlisi enerji kullanımındaki artışa paralel olarak açığa çıkan sera gazı emisyonlarının atmosferdeki artışlarıdır. İklim değişikliği üzerinde etkinliği olan sektörler (enerji, tarım, sanayi, ormancılık, atık, nüfus, vb) incelendiğinde bu günkü sıralamada fosil yakıtların ağırlıklı payının olduğu enerji sektörü başta gelmektedir. Bunun yanı sıra küresel enerji verileri doğrultusunda enerji sektörü sera etkisinin artmasında baskın ağırlığını koruyacak bir seyir izleyecektir. Enerji ve çevre arasındaki yakın, ancak olumsuz bu ilişkinin sağlıklı bir zemine oturtulması ve sürdürülebilir kalkınma hedefine uygun bir şekilde doğal varlıkların zarar görmeden geleceğe aktarılması yönünden enerjinin üretim, dağıtım, tüketim süreçlerinde çevresel etkileri en az olan kaynak ve teknolojilere geçilmek durumundadır. Tersine bir durum, yani yaşadığımız endüstriyel çağın gereksinimlerini düşünürken, çevreye, canlılara ve gelecek nesillere karşı sorumluluğun bir kenara bırakılması karşımıza daha büyük sorunlar ve maliyetler çıkaracaktır.

Türkiye'nin enerji talebi, büyüyen bir ekonomi olması itibarıyla hızla artmaktadır. Özellikle elektrik üretim kapasitesinde fosil enerji yakıtlarının payının yüksek olması nedeniyle sera gazı emisyonlarında artış kaydedilmektedir. Emisyon seviyeleri ve eğilimleri bakımından ana rolü enerji kategorisi üstlenirken yoğunlukla kullanılan taş kömürü, linyit ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar bu emisyonlara kaynaklık yapmaktadır.

Kyoto Protokolüne taraf olmasına karşın yükümlü ülkeler listesinde olmayan Türkiye'nin kalkınma politikaları çerçevesinde sera gazı emisyonu azaltımı ile ilgili küresel iklim değişikliği çabalarına katkı sağlamayı amaçlayan girişimleri mevcuttur. Bu doğrultuda karbon salınımını azaltan yenilenebilir, alternatif enerji kaynak ve sistemlerinin enerji piyasasında daha çok yer edinmesi ve küresel karbon salınımı içindeki artma eğilimindeki payının aşağılara çekilmesi önem arz etmektedir.

Sera gazları içerisinde yer alan metan gazının küresel ölçekte son yıllarda atmosferdeki tahmin edilebilen birikiminde artışın durduğu yönünde bulgular mevcut

ise de Türkiye’de 2008 yılından itibaren artış gözlenmektedir. Artışın sebepleri arasında kaçak yolla yayılan metan emisyonları gelmekte olup Türkiye’de ağırlıklı olarak yeraltı ve yer üstü kömür madenciliğine bağlı faaliyetler metan emisyonuna kaynaklık etmektedir.

Kömür üretimine bağlı olarak atmosfere yayılan metan gazı emisyonlarının madencilik faaliyetleri veya öncesinde azaltımı ve alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanımı tez çalışmasının ana fikrini oluşturmaktadır. Dünyanın birçok ülkesinde kömür madenciliğinden açığa çıkan metan gazının çeşitli teknolojiler ile küresel ısınma üzerindeki etkileri minimuma indirilirken, kimi işletmeler için ekonomilerine katkı sağlayan bir metâ haline geldiği görülmektedir. Ayrıca, gaz içeriği yüksek maden ocaklarında iş kazalarına sebebiyet veren metanın patlama konsantrasyonunun altında kalmasını sağlamak için drene edilmesinin işletmecilik açısından önemi büyüktür. Ülkemizde de kömür kökenli metan gazının drenaj yöntemleri ile salınımının azaltılması ve enerji kaynağına dönüştürülmesi konusu üzerinde araştırma yapılmaya başlanılan yeni alanlardan biridir.

Türkiye’de henüz kömür kökenli metanın sondaj kuyuları veya deliklerle yeraltından veyahut yer üstünden üretilebildiği herhangi bir işletme bulunmamaktadır. Konuya ilişkin başvuru yazılı kaynaklardan ve bazı kömür işletmelerinin bulunduğu havzalarda yapılan teknik gezilerden edinilen bilgiler doğrultusunda yalnızca özel ve kamu sektör marifeti ile arama ve hazırlık çalışmalarının yapıldığı bilinmektedir. Tez kapsamında alan çalışmasının yürütülebileceği kısıtlı sayıda işletme bulunduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, çalışma öncesi yapılan ön araştırmalarda kayda değer taşkömürü ve metan gazı varlığının bulunduğu gözlemlenen Zonguldak havzası ile verilerin daha güvenilir sağlanabildiği TTK Genel Müdürlüğü bünyesindeki müesseseler çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Tez çalışması çerçevesinde; metan salınımı ve enerji eş değerinin hesaplanmasında ABD’nin madencilik ve çevre alanında otorite kuruluşlarının yayınladıkları raporlarda yer alan formüller kullanılmıştır. Anılan kuruluşlar, ABD genelinde bulunan kömür işletmelerinin her biri için metan salınım değerini, yaklaşık drene

edilen metan seviyelerini ve potansiyel elektrik kapasitelerini belirleyerek çevre ve enerji yönünden elde edilen verileri kamuoyuna duyurarak bilgi vermektedir. Sözü edilen uluslararası kaynaktan yararlanılarak yapılan matematiksel çözümlerle TTK'ya bağlı işletmelerde havalandırma çıkış kuyularındaki metan gazının emisyonuna katkısı karbondioksit eşdeğeri olarak hesaplanmış, ayrıca salınan metan gazının azaltılması için metan drenaj yöntemleri ve enerji çevrim üniteleri kurulduğu takdirde elde edilebilecek güç üretim potansiyeli bulunmuştur. Öte yandan yapılan hesaplamalar ile işletmenin sağladığı emisyon tasarrufunun karşılığında gönüllü karbon piyasasındaki satıştan kazanılacak gelir de tespit edilmiştir. Çalışmada veri ve hesaplamalara dayalı yaklaşık sonuçlar elde edilmiştir.

Elde edilen bulguların gösterdiği sonuçlara bakılacak olursa, ilk olarak, Türkiye'nin 2009 yılı Sera Gazı Envanteri Raporunda belirtilen toplam 54,3 milyon ton (CO₂ eşdeğeri) metan salınımı içinde TTK'nın payının % 0,3–0,8 olduğu anlaşılmıştır.

İkincisi, metan gazının daha verimli olarak kazanılabildiği ölçüde kömürün yanması sonucu atmosfere salınan karbondioksit salınımında da azalma meydana geleceğini görülmüştür. Örneğin metan gazının % 60 verimlilik ile kazanılması neticesinde TTK maden ocaklarında üretilen kömürün yanması sonucu oluşan yaklaşık 4,5 milyon ton/yıl CO₂'in salınımında yaklaşık % 10 daha tasarruf sağlanarak emisyon yükü hafifletilmiş olmaktadır.

Üçüncüsü, hali hazırda kaybedilen bu enerji kaynağının yurt dışındaki uygulama örneklerinde olduğu gibi geri kazanılarak elektrik üretiminde kullanılması halinde, TTK'nın yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık % 13'üne denk gelecek güçte bir potansiyel enerji kaynağına sahip bulunduğu belirlenmiştir. Bu denli bir elektrik üretim kapasitesi, önceki bölümlerde belirtildiği gibi yaklaşık 16 000 ailenin yaşadığı bir şehrin yıllık enerji ihtiyacının karşılanabilmesi anlamına gelmektedir.

Dördüncüsü, emisyon tasarrufunun gönüllü karbon piyasasında değerlendirilmesi sonucu TTK'nın yıllık 1,4–4,4 milyon euro kazanç elde edeceğinin tespit edilmesi yanı sıra sürdürülebilir kalkınma, ülke ekonomisine ve toplum yararına yönelik faaliyetlerinden ötürü kurumsal imajına ve değerine daha ciddi katkılar sağlayacak olması da kuşkusuz önemle vurgulanması gereklidir. Böylelikle, karbon salınımının azaltılması ile beraber, sağlanan katkılar gözetildiğinde işletmenin ve Ülkenin hanesine farklı kazanç kalemleri de eklenmiş olmaktadır.

Sonuçlar irdelendiğinde, kömür madenciliği, enerji sektöründeki talep artışına bağlı olarak açığa çıkan metan emisyonunda belli bir rolü üstlenmiş durumdadır. Bugün açısından Zonguldak havzasında yapılan etütler ile belirlenen metan gazı varlığı ve TTK işletmelerinde yeraltı üretim bölgelerinden ve ara katmanlardan ocak havasına ve daha sonra atmosfere karışan metan gazı emisyonu sera etkisini arttırıcı bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan, havzada ve TTK işletmelerinde bu güne kadar metan gazının drenaj ve boru şebekeleri ile yakalanması ve değerlendirilmesi konusunda herhangi bir proje geliştirilememiştir. Daha önce teknik ve mali yetersizlikler nedeniyle kesintiye uğrayan metan gazı arama ve üretim çalışmaları, teknolojik olanakların gelişmesine bağlı olarak yeniden güncellik kazanmıştır. Son teknolojik gelişmeler, madenin hava çıkış kuyusundan dışarı verilen düşük konsantrasyonlarda (% 0,1-% 0,3) metanın değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. TTK işletmelerinde ocak havasındaki metan gazı konsantrasyonu % 0,15 - % 0,5 mertebelerinde olup havzada ortalama gaz rezervinin 60–300 milyar m³ olduğu yapılan etüt çalışmaları ile ortaya çıkarılmıştır. Her iki veri göz önüne alındığında bölgede enerji elde etmek ve metan emisyonunu azaltmak için ticari ölçekli santral kurulmasının göz önüne alınabilir bir yatırım olacağı ifade edilebilir. Nitekim Almanya gibi ülkelerde kapatılmış olduğu halde birkaç milyar m³ gaz rezervi olduğu tahmin edilen sahalarda gaz drenajı yapılabilmekte ve santrale basılan gazdan elektrik enerjisi üretilebilmektedir.

Yakın zamanlarda Zonguldak havzasında, en büyük kömür üreticisi olan Türkiye Taşkömürü Kurumu tarafından konuya gereken önemin verildiğini görmekteyiz. Bu hususta, Amasra Müessesesinde yürütülen yeni bir proje çalışması sonuçlarını

vermeye başlamış ve metan gazı üretim tesisi için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumuna lisans başvurusu yapılmıştır. Projeye göre, Amasra Müessesesinin havalandırma çıkış kuyularındaki metan gazını değerlendirmeye almak üzere kurulu güç kapasitesi 1,51 MWm olan termik- motor tipi tesis kurulması planlanmaktadır. Ek olarak tesisin kurulması ile metanın küresel ısınma üzerindeki etkisinin 21 kat azaltılması ile salınma katkısı en aza indirgenmiş olacaktır. Kurulacak tesisler ile yıllık enerji maliyetlerinde tasarruf sağlanması, karbon ticaretinden gelir elde edilmesi, iş güvenliği risklerinin önlenmesi ve üretim kayıplarının azalması gibi ekonomik kazanımlar söz konusu olduğundan metan drenajı sistemlerinin yatırım maliyetini rahatlıkla karşılayacağı görülmektedir. Ayrıca, rezervuar olarak doğal gaz kuyuları gibi metan gazı düşük üretim kapasitesine karşın uzun ömre sahip olabildiğinden tesis yatırımlarının verimli ve uzun ömürlü olması da söz konusudur.

Çevre ve halk sağlığı açısından karbon emisyonunun bugünkü değerinden çok daha düşük seviyelere düşürülmesi önemli bir sorumluluk ve beraberinde karar almayı gerektirmektedir. Türkiye, sera gazını kontrol etmekte hedef ve stratejisini ortaya koyduğu Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi'nde "düşük ve sıfır emisyon teknolojilerini özendirmek, yeni ve alternatif yakıtlarının kullanımını artırmak ve desteklemek" şeklinde öne sürülen hedefleri yakın ve orta vadede uygulamaya sokmak durumundadır. Ayrıca, 2023 yılına kadar karbonda % 7 emisyon sınırlaması getirilmesi beklenen enerji sektöründe etkin şekilde metan gazı salımlarının da azaltılması gerekmektedir. Bunun sağlanması için en uygun yolun kömür madenciliğinde Bölüm 6.1.4'te açıklanan drenaj yöntemleri kullanılarak metan gazının enerji elde etmek için kazanımı veya kazanılamıyor ise yanma yoluyla imha edilmesi olduğu değerlendirilmektedir. Halen Türkiye, kömür kökenli metan gazı araştırma ve üretimi için bakir bir ülke konumunda olup yurt dışında başarı ile yürütülen metan gazı azaltım projelerinin işletmelere model olarak önerilmesi ve teşvik mekanizmaları ile desteklenmesi belirtilen hedeflere ulaşmada yardımcı bir seçenek görevi görecektir.

KAYNAKLAR

İnternet: ABHaber, <http://www.abhaber.com/ozelhaber.php?id=5009>

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

Arıkan,Y., “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü”, *Bölgesel Çevre Merkezi (REC) Metinler ve Temel Bilgiler Kitabı*, s.9 (2006).

Aydın, G., Kesimal, A.,“Kömür Madenciliğinde Metan Drenajının Uygulanabilirliğinin Araştırılması”, *Madencilik*, 46 (4) : 11-20 (2007).

Aküzüm, A., “Enerji Kaynaklı Sera Gazlarının Azaltılması: “Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları ve Türkiye”, *Gazi Ün. Sosyal Bil. Ens. Y. Lisans Tezi*, s.17 (2010).

İnternet: Bibler, C. ve Carothers, P., “Overview of Coal Mine Gas Use Technologies”, <http://www.ravenridge.com/Utilization.PDF> (2001).

İnternet: Birimler, <http://www.birimler.info.com>

ÇSKTP, “Vizyon 2023: Bilim ve Teknoloji Stratejileri Teknoloji Öngörü Projesi”, *Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Paneli Vizyon ve Öngörü Raporu Çalışması*, s.17, Ankara (2003).

DEKTMK, “Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu”, s.21-85-149-152 (2010).

Doğan, S., Tüzer, M., “Küresel İklim Değişikliği ve Potansiyel Etkileri”, *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1) (2011).

DPT, “İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*, Ankara, s. 2-3-22-23-24 (2000).

İnternet: EIA, “International Energy Outlook, 2011”, *Energy Information Administration Report*, Number: DOE/EIA-(2011), <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/emissions.cfm> (2011).

İnternet: Enerji Enstitüsü, <http://www.enerjiensitüsü.com/2012/01/09/49> (2012).

EPA, “Identifying Opportunities for Methane Recovery at U.S. Coal Mines: Profiles of Selected Gassy Underground Coal Mines 1999-2003”, *Environmental Protection Agency*, page 2-1, EPA Publication, 430-K-04-003 (2003).

İnternet: EPA, <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/index.html> (2012).

ETKB, ETKB Bak. Taner Yıldız'ın TBMM Genel Kurul Konuşma Metni (2012).

İnternet: Global Climate Change, “Global Climate Change Risk to Bank Loans”, s. 70 http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/global_climate_change_risk.pdf (2006)

GÜLSEVEN, H. Z., “Zeki Modeller Kullanılarak Enerji Projeksiyonu ve Çevresel (Sera) Etkilerinin Belirlenmesi ve Ekonomik Göstergelerle İlişkilendirilmesi”, *Gazi Ün. Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi*, s.11 (2008).

Gürdal, G. ve Yalçın, M. N., “Kömürde Gaz Birikmesini Kontrol Eden Parametreler-Genel Bakış, *Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, s. 279-290 (1992).

Hansen. J. E., “Küresel Isınmanın Kırılma Noktası”, *Ayrıntılı Yayınları*, 1. Basım, s.3-28-59-66-70-152, ISBN:978-975-539-522-7 (2009).

HEMA, *Hema Doğal Kaynaklar A.Ş. Bilgi Notu* (2011).

İnternet:İDDB,*Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Raporu* <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm> (2001).

IDEP, *İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı*, 2011–2023, s.1 (2011).

İnternet: İDDB, <http://www.iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr>

İDKK, *İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu Değerlendirme Raporu*, s.4-20 (2009).

IEA, “CO₂ Emission From Fuel Combustion Highligts”, *Statistics 2011 Edition*, s.18 (2011).

IEA, Uluslararası Enerji Ajansı, *Energy Sector Methane Recovery and Use: The Importance of Policy*, s.13–20 (2009).

Jonathan N., “Stop Global Warming:Change the World”, *Bookmarks*, Londra, s.21-22-142 (2008).

İnternet: Jones, P., “*Global Temperature Record*”, *Climatic Research Unit, Information Sheets*”, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming> (2011).

Kadioğlu M., “Bildiğiniz Havaların Sonu Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye” *Güncel Yayıncılık : 110*, 1. Basım s.196 (2001).

Karakurt, ve ark., “Kömür Madenlerinden Açığa Çıkan Metan Gazının Azaltım Seçenekleri”, **3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu**, s.165-172, Ankara (2009)

Karakurt ve ark., “Ocak Havasındaki Düşük Konsantrasyonlu Metanın Azaltım ve Kullanım Teknolojileri”, **Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, Sigma 28, s.49-65 (2010).

Kruger, D. ve Franklin, P., “The Methane to Markets Partnership: Opportunities For Coal Mine Methane Utilization”, **11th U.S./North American Mine Ventilation Symposium**, June, 3-8 (2006).

İnternet: OECD-NEA, “Nuclear Energy and the Kyoto Protocol” <http://www.nea.fr> (2002).

Öztürk, K., “Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye’ye Olası Etkileri”, **G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi**, 22(1): 47-65 (2002).

RRV, “Geological Resource Assessment of Coalbed Methane Potential for the Zonguldak Coal Basin”, **Raven Ridge Resources**, Turkey (1998).

İnternet: Sorbbe J., “Ani metan ve Kömür Püskürmeleri” http://www.maden.org.tr/resimlerekler/7d98119037c5b8a_ek.pdf (1985)

Şengiller, İ., “Kömür Kökenli Doğal Gaz”, **Jeoloji Mühendisliği**, Sayı 49, Ankara (1996).

Spence, C., “Küresel Isınma, Sağlıklı Bir Dünya İçin Çözümler”, **Pegasus Yayınları:83**, s.27 (2007).

Taner, A. C., “Nükleer Enerji Santralleri, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Geleceği ve Enerji Kaynak Çeşitliliği”, **Çağın Polisi Dergisi**, Sayı 76 (2009).

İnternet: Tokgöz N., Arıoğlu E., “Ülkemizin Enerji Üretiminde Kömür Gerçeği ve Küresel- Bölgesel Ölçekli Atmosferik Isınmadaki Etkileri Üzerine Genel Bir Değerlendirme”, **İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü**, İstanbul, <http://www.maden.org.tr>

TÜİK, “Ulusal Seragazı Emisyon Envanteri Raporu 1990-2009” s.12, **Türkiye İstatistik Kurumu** (2011).

Türkeş, M., “Sera Gazı Salımlarının Azaltılması İçin Sürdürülebilir Teknolojik ve Davranışsal Seçenekler”, **V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi**, TMMOB Çevre Mühendisliği Odası Yayınları, s. 268 (2003).

Türkeş, M., Sümer, U. M., Çetiner, G., “Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri”, **Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları**, Çevre Bakanlığı, 7-24, ÇKÖK Gn. Md., Ankara (2000).

Türkeş, M., “İklim Değişikliği: Türkiye - İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi İlişkileri ve İklim Değişikliği Politikaları”, *Vizyon 2023: Bilim ve Teknoloji Stratejileri Teknoloji Öngörü Projesi, Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Paneli Vizyon ve Öngörü Raporu Çalışması* (2002).

Türkyılmaz, O., “Türkiye’nin Enerji Görünümü”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu Bildirisi*, s.2 (2010).

TTK İSGDB, *İş Güvenliği ve Eğitim Dairesi Başkanlığı*, Zonguldak.

TTK, *Türkiye Taşkömürü Genel Müdürlüğü* Yayın No: 68

İnternet: UİDSB, “Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi (2010-2020)”, *TC Kalkınma Bakanlığı Sürdürülebilir Kalkınma Portalı* (2010).
<http://www.surdurulebiliralkinma.gov.tr/Rio+20.portal>

UNFCCC, “İklim Özen Göstermek”, *IDÇS ve Kyoto Protokolü İçin Kılavuz*, Almanya (2003).

USGS, “Coal-Bed Methane: Potential and Concerns”, *U.S. Geological Survey* (2000).

Uzmen, R., Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, İnsanlığı Bekleyen Büyük Felaket mi?, *Bilgi Kültür Sanat Yayınları 1. Basım*, s.33-214-127, ISBN:978-9944-425-21-4 (2007).

İnternet: Uzun, N., “Zonguldak'ta Kömür Üretiminden Kaynaklanan Çevre Sorunları”, <http://www.maden.org.tr>

İnternet: WRI, Baumert, K, Herzog T., Pershing J., “Navigating The Numbers : Greenhouse Gas Data and International Climate Policy” *World Resource Institute* http://pdf.wri.org/navigating_numbers.pdf (2005)

YALÇIN, A., Z., “Sürdürülebilir Kalkınma İçin Düşük Karbon Ekonomisinin Önemi ve Türkiye İçin Bir Değerlendirme”, *Balikesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 13, Sayı 24, s.186-203, ISSN 1301–5265 (2010).

İnternet: Yalçın, MN., “Kömür Kökenli Doğal Gaz, Coalbed Methane”, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/1285fcadc52c0d3_ek.pdf (1990)

ZEYDAN, Ö., “Zonguldak Bölgesi Sera Gazı Emisyon Miktarlarının Belirlenmesi”, *ZKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi* (2008).

EKLER

EK- 1. İklim değışkenliği, aşırı iklim olayları ve etkileriyle ilgili örnekler

[UNFCCC,2003]

Öngörülen Değişiklikler	Öngörülen Etkiler
Hemen hemen bütün karasal alanlarda en yüksek sıcaklıklarda artış, daha fazla sıcak gün ve sıcak hava dalgaları Tahmin: çok olası	▲ Yaşlılar ve kent yoksulları arasında hastalık ve ölümler ▲ Çiftlik ve yabani hayvanlarda sıcak stresi ▲ Kimi tarım ürünlerinin zarar görmesi ▲ Soğutma ihtiyacı ▼ Enerji temininde güvenilirlik
Hemen hemen bütün karasal alanlarda daha yüksek en düşük sıcaklıklar; soğuk ve donlu gün sayısı ile soğuk hava dalgalarında azalma Tahmin: çok olası	▼ Soğukla ilgili insan hastalıkları ve ölümleri ▼ Kimi tarım ürünlerinin zarar görmesi ■ Kimi tarım zararlıları ile hastalık taşıyan canlıların yayılma alanı ve hareketlilikleri ▼ Isınma enerjisi talebi
Daha şiddetli yağış Tahmin: birçok bölge için çok olası	▲ Sel, toprak kayması ve çığ hasarı ▲ Toprak erozyonu ▲ Sellerle sürüklenen çökellerin taşkına bağlı akiferleri doldurması ▲ Kamu ve özel sel sigorta sistemleri ve afet yardımlarına yönelik talep
Orta enlemlerde yer alan iç bölgelerin çoğunda yazların kuraklaşması ve bununla ilgili kuraklık riski Tahmin: olası	▼ Tarım ürünleri verimi ▲ Zemindeki çekilme nedeniyle bina temellerinin gördüğü zarar ▲ Orman yangını riski ▼ Su kaynaklarının miktarı ve kalitesi
Tropikal siklon rüzgar hızında; ortalama ve en fazla yağış yoğunluklarında artış Tahmin: kimi bölgelerde olası	▲ İnsan yaşamı için risk, bulaşıcı hastalık salgınları ▲ Kıyı erozyonu; kıyılardaki binalar ve altyapıların uğradığı zarar ▲ Mercan kayalıkları ve mangrov gibi kıyı ekosistemlerinin uğradığı zarar
Birçok bölgede El Nino bağlantılı kuraklık ve sellerin şiddetlenmesi Tahmin: olası	▼ Kuraklık ve sele maruz bölgelerde tarım ve mera verimi ▼ Kuraklığa maruz bölgelerde hidrolik enerji potansiyeli
Asya yaz musonlarına bağlı yağışların daha değışken hale gelmesi Tahmin: olası	▲ Asya'nın ılıman ve tropikal bölgelerinde sel ve kuraklığın boyutları ve yol açtığı zarar
Orta enlemlerde daha kuvvetli fırtınalar. Tahmin: Mevcut modeller arasında pek az uyuşma var	▲ İnsan yaşamına ve sağlığına yönelik risk ▲ Mülk ve altyapı kayıpları ▲ Kıyı ekosistemlerinin zarar görmesi

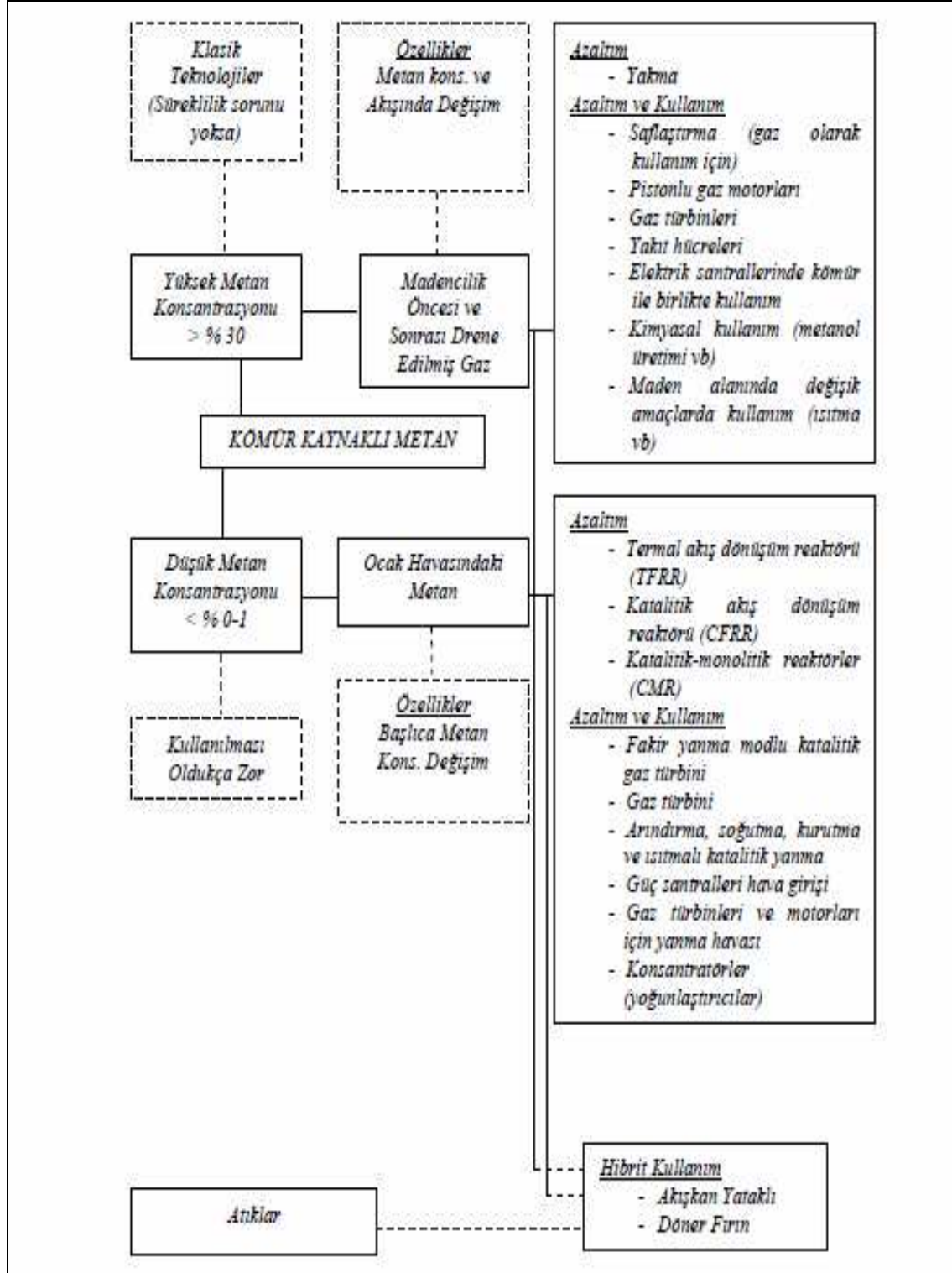
Semboller

▲ Artma

■ Yaygınlaşma

▼ Azalma

EK-2. KKM gazının drene edilerek kullanılma seçenekleri



EK-3. Ocak havası metanın yardımcı yakıt olarak kullanım teknolojilerinin karşılaştırılması.

Teknoloji	Özellik	Yanma Derecesi (°C)	Teknik ve Mühendislik Olarak Uygulanabilirlik	Potansiyel Sorunlar
Enerji santrallerinde kömür ile birlikte kullanım	İnce kömürle birlikte fırınlarda	1400–1650	Teknik olarak uygulanıyor	Sınırlı uygulama Alanı
			Mühendislik olarak herhangi bir madende uygulama yok	Mevcut fırın/kazanların potansiyel işletim problemleri
Atık kömürlerin hibritleştirilmesini sağlayan yanma üniteleri [akışkan yataklı ortam]	Döner Fırın	1200–1550	Teknik olarak uygulanabilir	Kendiliğinden yanma
			Mühendislik olarak herhangi bir madende uygulama yok	Kömür atık kalitesi için minimum gereksinim
Atık kömürlerin hibritleştirilmesini sağlayan yanma üniteleri [fırınlarda]	Akışkan Yataklı	850–950	Teknik olarak uygulanabilir	Kömür atık kalitesi için minimum gereksinim
			Mühendislik olarak herhangi bir madende uygulama yok	CH ₄ oksidasyonu için gerekli deneme testleri
Klasik Gaz Türbinleri	Gaz türbini	1400–1650	Teknik olarak uygulanabilir	Türbin vakıtlarının az olması
			Mühendislik olarak herhangi bir madende uygulama yok	Tek bir kompresör kullanımında fazla miktarda CH ₄ yayılmaktadır. İki kompresör kullanımında da ekipman fazlalığı söz konusudur. Bu da ocak havası kapasitesini düşürmektedir.
İçten yanmalı Motorlar	Motor	1800–2000	Teknik olarak uygulanabilir	Motor vakıtlarının az olması
			Mühendislik olarak uygulaması var	Düşük miktarlarda ocak havasının kullanılması

EK -4. Ocak havasındaki metanın oksidasyon teknolojilerinin karşılaştırılması.

Özellik	Termal Akış Dönüşüm Reaktör Teknolojisi	Katalitik Akış Dönüşüm Reaktör Teknolojisi	Katalitik-Monolitik Reaktör Teknolojisi
Çalışma prensipleri	Akış dönüşüm	Akış dönüşüm	Monolitik reaktör
Katalizör	Yok	Var	Var
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	1000 °C	350–800 °C	500 °C
İşlem süresi	Kısa	Uzun	Sürekli
Minimum CH ₄ konsantrasyonu	% 0,2	% 0,1	% 0,4
Uygulanabilirlik	CH ₄ Azaltılması	CH ₄ Azaltılması	CH ₄ Azaltılması
Açığa çıkan ısının elektrik üretiminde kullanma potansiyeli	CH ₄ kons. arttırmak ve sabit tutmak için ek olarak yakıt ihtiyacı olabilir	CH ₄ kons. arttırmak ve sabit tutmak için ek olarak yakıt ihtiyacı olabilir	CH ₄ kons. arttırmak ve sabit tutmak için ek olarak yakıt ihtiyacı olabilir
CH ₄ (metan) konsantrasyonu değişebilirliği	Değişken	Değişken	Değişken
İşletmede yer kaplama	Büyük yer kaplar	Geniş yer kaplar	Az yer kaplar
İşletim	Karışık	Karışık	Basit
NO _x emisyonu	N/A	Düşük	Düşük < 1 ppm
CO Emisyonu	Düşük	Düşük	Düşük (~ 0 ppm)

EK -5. İngiliz Birim Sistemine Göre Kullanılan Formüller

A- Metan Gazının CO₂ Eşdeğeri:

CO₂ Equivalent (million tons/yr)

$$= [\text{CH}_4 \text{ liberated (mmcf/yr) x recovery efficiency (20\%, 40\% \text{ and } 60\%) x 19,2 \text{ g CH}_4 / \text{cf} x 21 \text{ g CO}_2 / 1 \text{ g CH}_4 x 1 \text{ lb} / 453,59 \text{ g} x 1 \text{ ton} / 2000 \text{ lbs}]$$

B- Metan Emisyonu Azaltımının (CO₂ Eşdeğeri) / Kömürün Yanmasından Kaynaklı CO₂ Emisyonu:

CO₂ Equivalent of CH₄ Emissions Reductions/CO₂ Emissions from Coal Combustion

$$= [\text{CO}_2 \text{ equivalent of potential annual CH}_4 \text{ emissions reductions (lbs)}] / [\text{annual coal production (tons) x Btus/ton x lbs CO}_2 \text{ emitted / Btu x 99\% (fraction oxidized)}]$$

C- Kazanılan Metanın Isı Değerinin Üretilen Kömürün Isı Değerine Oranı:

Btu Value of Recovered Methane/Btu Value of Coal Produced

$$= [\text{Recovered methane (cf/yr) x 1000 Btus/cf}] / [\text{coal production (tons) x Btus/ton}]$$

D- Metanın Güç Üretim Potansiyeli :

a- Yeraltı ocak faaliyetleri için elektrik talebi;

Mine Electricity Demand;

$$\text{Demand (kWh/yr)} = 24 \text{ kWh/ton} x \text{ tons mined/yr} = \text{kWhs/yr}$$

$$\text{Demand (kW)} = [(\text{75\%} x \text{kWhs/yr}) / (\text{3520 hours})] + [(\text{25\%} x \text{kWhs/yr}) / \text{8760 hours}]$$

(mine operations) + (mine ventilation)

b- Kömür zenginleştirme tesisleri için elektrik talebi;

$$\text{Prep Plant Electricity Demand (kWh/yr)} = 6 \text{ kWh/ton} x \text{ tons/year}$$

c- Potansiyel Elektrik Üretim Kapasitesi;

$$\text{Potential Electric Generating Capacity (kW)} =$$

$$\text{CH}_4 \text{ liberated in cf/day} x 1 \text{ day/24 hours} x 1 \text{ 000 Btus/cf} x \text{ kWh/11 000 Btus.}$$

EK -6. Formüllerde Geçen Birimler ve Metrik Sistemde Karşılıkları

<u>İngiliz Birim Sistemi</u>	<u>Metrik Birim</u>
1 Kübik Feet (cf).....	0,028 m ³
1 Libre (lb).....	453,59 gr
1 Ton.....	2 204 lb
1 Btus.....	0,25 kcal
1 Btus.....	1,05 kj
1 Kj.....	0,238 Kcal

Metan gazı yoğunluğu

19,2 g/cf.....	0,716 kg/m ³
----------------	-------------------------

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖKSÜZ, Hakan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum Tarihi ve Yeri : 16.01.1972 Sivas
 Medeni Hali : Evli
 Telefon : 0 505 517 33 15
 e-mail : hoksuz@csgb.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üni./Çevre Bilimleri A.B.D	2012
Lisans	Hacettepe Ün. /Maden Müh.	1995
Lise	Çankaya Lisesi	1989

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002 -	Çalışma ve Sos. Güv. Bakanlığı	İş Müfettişi
2000-2001	Ali Rıza Onat A.Ş.	Satış Mühendisi
1998-2000	Özbekoğlu İth.İhr. San. Tic. Ltd Şti	Satış Mühendisi
1997-1998	Çanmersan Andezit ve Granit A.Ş.	İmalat Mühendisi
1995-1996	Kömürcüoğlu Mermer A.Ş.	Şantiye Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tarihi ve Kültürel Geziler, Eğitim ve Yardım Faaliyetleri.