



**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI
İKT - DR - 2013 - 0002**

**TÜRKİYE İÇİN ALTERNATİF MİTİGASYON
POLİTİKASI UYGULAMALARININ EKONOMİK
ANALİZİ:
GENEL DENGİ ANALİZİ**

**HAZIRLAYAN
Mehmet MERCAN**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Etem KARAKAYA**

AYDIN - 2013

**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI
İKT - DR - 2013 - 0002**

**TÜRKİYE İÇİN ALTERNATİF MİTİGASYON
POLİTİKASI UYGULAMALARININ EKONOMİK
ANALİZİ:
GENEL DENGİ ANALİZİ**

**HAZIRLAYAN
Mehmet MERCAN**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Etem KARAKAYA**

AYDIN - 2013

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

AYDIN

İktisat anabilim dalı doktora programı öğrencisi **Mehmet MERCAN** tarafından hazırlanan “**Türkiye için Alternatif Mitigasyon Politikası Uygulamalarının Ekonomik Analizi: Genel Denge Analizi**” başlıklı tez 04.01.2013 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

<u>Ünvanı, Adı ve Soyadı</u>	<u>Kurumu</u>	<u>İmzası</u>
Doç.Dr.Etem KARAKAYA (Başkan)	Adnan Menderes Üniversitesi	
Doç.Dr.Mesut ALBENİ	Süleyman Demirel Üniversitesi	
Doç.Dr.Recep TEKELİ	Adnan Menderes Üniversitesi	
Yrd.Doç.Dr. Abdullah ÖZDEMİR	Adnan Menderes Üniversitesi	
Yrd.Doç.Dr.Hakan HOTUNLUOĞLU	Adnan Menderes Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu doktora tezi, Enstitü Yönetim Kurulu’nun
..... sayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

Doç.Dr. Osman PEKER

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Not: Bu tez intihal engelleme programı “iThenticate” (Professional Plagiarism Prevention) tarafından Atatürk Üniversitesi veri tabanları aracılığıyla taranmıştır.

Adı Soyadı : Mehmet MERCAN

İmza :

Bu tez, Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklenmiş olup, proje numarası NİİBF–12007’dir.

YAZAR ADI - SOYADI: MEHMET MERCAN

**BAŞLIK: TÜRKİYE İÇİN ALTERNATİF MİTİGASYON POLİTİKASI
UYGULAMALARININ EKONOMİK ANALİZİ: GENEL DENGE ANALİZİ**

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı; genel denge analizi yardımıyla, 2008 yılından Kyoto protokolü ile gündeme gelen küresel ısınmanın başlıca sebebi olan karbondioksit salımının kontrol altına alınabilmesi için uygulanan yöntemlerden olan emisyon ticaretinin Türkiye ekonomisi açısından ekonomik maliyetleri analiz etmek ve geleceğe yönelik uygulanması gereken ekonomi politikaları için önerilerde bulunmaktır. Türkiye’de yapılan çalışmalarda, mitigasyon (sera gazı azaltımı) politikalarının (karbon vergisi ve emisyon ticareti) ekonomiye çok ağır yük getireceği iddia edilmektedir. Çalışmada bu savlarının doğruluğu tartışılarak karar vericilere politika oluşturmada yol gösterilmesi amaçlanmaktadır. İktisat literatüründe, özellikle Türkiye’de konu ile ilgili çok az sayıda çalışma olduğu göz önüne alındığında bu çalışmanın önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

Bu çerçevede çalışmada, karbon vergisi ve emisyon ticaretinin ekonomiye ve makroekonomik değişkenlere literatürde iddia edilenden daha az yük getireceği ve küresel ısınmayı azaltıcı yönde etkileyeceğini beklemekteyiz.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Genel Denge Modeli, Karbon Vergisi, Emisyon Ticareti, İklim değişikliği, GAMS, Türkiye.

NAME of the AUTHOR: MEHMET MERCAN

**TITLE of the STUDY: ECONOMIC ANALYSIS OF ALTERNATIVE
MITIGATION POLICY PRACTICE FOR TURKEY:
GENERAL EQUILIBRIUM ANALYSIS**

ABSTRACT

The main objective of this study is to analyze the economic costs of the emission trade and carbon tax in terms of Turkish economy which is one of the methods used to control the carbon emissions which is the main reason for the global warming coming into question with Kyoto protocol in 2008 and to make advices for economic policies that have to be applied in future. In the studies in Turkey, it is claimed that mitigation policy (greenhouse gas mitigation) implementations (carbon tax and emission trade) will bring a heavy burden to economy. In this study it is aimed to guide the decision makers for making policies by discussing the accuracy of the arguments. When it is considered that there is very less amount of studies about this subject in economics literature especially in Turkey, it is thought that this study will fill a significant gap.

In this context in this study, we expect that carbon tax and emission trade will bring less burden to economy and macroeconomic variables than claimed in literature and will affect the global warming in the reducing direction.

KEYWORDS: General Equilibrium Model, Carbon Tax, Emission Trading, Climate Change, GAMS, Turkey.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, Türkiye’de karbon emisyonlarının azaltımında uygulanacak karbon vergisi ve emisyon ticareti gibi alternatif mitigasyon (sera gazı azaltımı) politikalarının Türkiye ekonomisi üzerindeki maliyetleri TÜİK tarafından hazırlanan ve 59 sektörün girdi-çıktı ilişkilerini gösteren Girdi-Çıktı tablosu baz alınarak Genel Denge Analizi ile incelenmeye çalışılmıştır. Çalışma, Türkiye ölçeğinde yapılan çalışmaların oldukça az olması ve karbon vergisi uygulamasının yanı sıra emisyon ticaretini de analiz etmesi açısından önem taşımaktadır. Diğer taraftan, tüm sektörleri ve üretim faktörlerini hesaba katan Genel Denge Analizinin kullanılması, çalışmanın orijinallliğini arttırmaktadır.

Akademik hayatımın başından itibaren bana her türlü desteği gösteren, iktisat bilimini bana sevdiren ve iktisat ile arama sağlam köprüler inşa eden danışmanım Doç.Dr. Etem KARAKAYA başta olmak üzere, tez çalışmamda desteğini gördüğüm Doç.Dr. Osman Peker, Prof.Dr. Serdar SAYAN, Prof.Dr. Erinç YELDAN, Doç.Dr. Recep TEKELİ, Yrd. Doç.Dr. Abdullah ÖZDEMİR, Yrd. Doç.Dr. Mustafa ÖZÇAĞ, Yrd. Doç.Dr. Hakan HOTUNLUOĞLU’na çalışmama yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkürü borç bilirim. Akademik hayatımda bu noktaya gelmeme katkı sağlayan Nazilli İİBF öğretim elemanlarına ve emeği geçen tüm meslektaşlarıma minnettarım. Bunun yanında, çalışma süresince her türlü desteği esirgemeyen annem, babam, sevgili eşim Emel’e ve dünyaya gelişi ile hayatımıza renk katan oğlum Hasan Bertuğ’un vermiş olduğu çalışma azmi için de sonsuz teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR VE SİMGELER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiv
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
EKLER LİSTESİ	xvii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

İNSAN KAYNAKLI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ.....	7
1.1. İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği, Sebepleri, Sonuçları ve Etkileri.....	7
1.1.1. Sera Etkisi ve Küresel Isınmanın Bilimsel Analizi.....	8
1.1.2. Küresel Isınma Konusunda Karşıt Görüşler	13
1.1.3. Küresel Isınma Trendi, Projeksiyonlar ve Senaryolar	14
1.1.4. İklim Değişikliğine Neden Olan Sera Gazlarının Dünya Genelindeki Trendi ve Artışının Nedenleri	19
1.1.4.1. İklim Değişikliğinde Enerji Kaynaklı Emisyonlar, Enerji Arz Trendi ve Projeksiyonlar	20
1.1.4.2. Enerji Arzında Fosil Kaynaklı Enerji Kullanımı	28
1.1.4.3. Sanayileşme.....	31
1.1.4.4. Nüfus Artışı.....	35
1.1.4.5. Arazi Kullanım Değişiklikleri, Tarım ve Hayvancılık Faaliyetleri	37
1.1.5. İklim Değişikliğinin Etkileri ve İklim Değişikliğinin Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	39
1.1.5.1. İklim Değişikliğinin Ekonomik Etkileri ile İlgili Çalışmalar	41

İKİNCİ BÖLÜM

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE NEDEN OLAN SERA GAZLARININ TÜRKİYE’DE GELİŞİMİ VE NEDENLERİ	44
2.1. İklim Değişikliğinin Müzakereleri ve Türkiye	44
2.2. Türkiye’de Sera Gazı Emisyonlarının Gelişimi	48

2.3. Türkiye’de Sera Gazı Emisyon Artışlarının Ekonomik Belirleyicileri.....	54
2.3.1. Ekonomik Faaliyetlerde Enerji Kullanımı	54
2.3.1.1. Yakıtların Yanmasıyla Oluşan Emisyonlar.....	55
2.3.1.1.1. Enerji Sektörü.....	57
2.3.1.1.2. İnşaat ve İmalat Sanayii	60
2.3.1.1.3. Ulaştırma Sektörü.....	60
2.3.1.2. Kaçak Emisyonlar	62
2.3.2. Endüstriyel Faaliyetler	63
2.3.3. Tarımsal Faaliyetler	66
2.3.4. Ormancılık, Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişikliği (LULUCF)....	68
2.3.4.1. Ormancılık.....	68
2.3.4.2. Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişiklikleri.....	70
2.3.5. Atık Faaliyetleri	72

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SERA GAZLARININ AZALTIMINA YÖNELİK EKONOMİ POLİTİKALARI

.....	74
3.1. Kyoto Protokolünde Tanımlanan Proje Temelli Esneklik Mekanizmaları	75
3.1.1. Temiz Kalkınma Mekanizması	78
3.1.2. Ortak Yürütme Mekanizması.....	79
3.2. Proje Temelli Esneklik Mekanizmalarında Türkiye’nin Konumu ve Gönüllülük Esasına Dayanan Piyasalar.....	80
3.3. Kyoto Protokolünde Tanımlanan Piyasa Temelli Esneklik Mekanizması: Emisyon Ticareti	85
3.3.1. Emisyon Ticareti Kavramı ve Teorisi	85
3.3.2. Emisyon Ticareti Çeşitleri	88
3.3.3. Emisyon Ticareti ve Emisyon Vergisinin Karşılaştırılması.....	89
3.3.4. Emisyon Ticareti Uygulamalarının Tarihsel Süreci.....	89
3.3.5. Kyoto Protokolü ve Emisyon Ticareti Sistemi	93
3.3.6. Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi (EU ETS).....	95
3.3.6.1. Birinci Ticari Dönem (NAP1-Phase 1-2005-2007)	97
3.3.6.2. İkinci Ticari Dönem (NAP2-Phase 2-2008-2012)	100
3.3.6.3. Üçüncü Ticari Dönem (Phase 3-2013-2020)	103

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

KARBON PİYASASI 105

4.1. Karbon Piyasasının Bileşenleri	105
4.2. Karbon Piyasasının İşlem ve Ticaret Hacmi	108
4.3. Karbon Fiyatını Etkileyen Faktörler	114

BEŞİNCİ BÖLÜM

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ MODELLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: LİTERATÜR VE TÜRKİYE ANALİZİ..... 117

5.1. İklim Değişikliği Modelleme Yaklaşımları: Temelden-Yukarı ve Yukarıdan-Aşağı Modellemeler	118
5.1.1. Yukarıdan aşağı (top-down) modeller	119
5.1.1.1. Oyun Teorisi Temelli Modeller	120
5.1.1.2. Ekonometrik Modeller	120
5.1.1.3. Input-Output Modelleri	120
5.1.1.4. Genel Denge Modelleri	120
5.1.1.5. Yapay Sinir Ağları Uygulamaları	122
5.1.1.6. Entegre Değerlendirme Modelleri.....	122
5.1.2. Temelden Yukarı (Bottom Up) Modeller	123
5.1.2.1. Enerji Sistemi Optimizasyon Modelleri.....	123
5.1.2.2. Enerji Sistemi Simülasyon Modelleri	124
5.1.3. Hibrid (Melez) Modeller	125
5.2. İklim Değişikliği Modellerinin Değerlendirilmesi.....	127
5.2.1. İklim Değişikliği Modellerinin Maliyet Analizi	128
5.3. Dünyada Yapılan İklim Değişikliği Modellerinin ve Projeksiyonlarının Analizi ve Literatür	130
5.4. Türkiye Üzerine Yapılan İklim Değişikliği Modellerinin ve Projeksiyonlarının Analizi ve Literatür Taraması	139

ALTINCI BÖLÜM

HESAPLANABİLİR GENEL DENGİ MODELİ..... 149

6.1. Genel Denge Teorisi ve Tarihçesi.....	149
6.2. Hesaplanabilir Genel Denge Modelinin Analizi ve İşlemleri	154
6.2.1. Firmalar (Üreticiler).....	155
6.2.2. Hane Halkı (Tüketiciler)	157
6.3. HGD Denklemlerinin Topluca Yazılması ve Varsayımlar	158
6.4. HGD Modelinin Kalibrasyonu	160
6.5. HGD Modelinin Çözümü.....	163
6.6. Politika (Senaryo) Analizi Örneği.....	166
6.7. Özet	168

YEDİNCİ BÖLÜM

EMİSYON TİCARETİ VE KARBON VERGİSİ UYGULAMASININ TÜRKİYE EKONOMİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN GENEL DENGİ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ	169
7.1. Modelin Arz Yakası, Sektörler (Üreticiler), Faktör Piyasaları	170
7.2. Modelin Talep Yakası, Hane Halkı (Tüketiciler)	171
7.3. Makroekonomik Projeksiyonlar ve Senaryo Uygulamaları	173
7.3.1. Farklı Emisyon Kotalarının Sektörlere Dağılımı	182
7.3.2. Uluslararası Piyasada Karbon Fiyatının ve Emisyon Kotalarının Değişiminin Refah Etkileri	183
7.3.3. Döviz Kuru Değişiminin Refah Etkileri	185
SONUÇ	187
KAYNAKÇA	194
EKLER	218
ÖZGEÇMİŞ	229

KISALTMALAR VE SİMGELER

AAU	: Assigned Amount Unit (Tahsis Edilmiş Emisyon Birimi)
AB	: Avrupa Birliği
AR1	: First Assessment Report (Birinci Değerlendirme Raporu)
AR4	: Fourth Assessment Report (Dördüncü Değerlendirme Raporu)
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CES	: Constant Elasticity of Substitution (Sabit İkame Esnekliği)
CCAR	: California Climate Action Register (Kaliforniya İklim Eylem Kayıt Protokolleri)
CCS	: Carbon Capture and Storage (Karbon Yakalama ve Depolama)
CCX	: Chicago Climate Exchange (Şikago İklim Borsası)
CDM	: Clean Development Mechanism (Temiz Kalkınma Mekanizması)
CEMS	: Continuous Emission Monitoring Systems (Devamlı Emisyon Takip Sistemi)
CER	: Certification Emissions Reduction (Emisyon Azaltım Kredisi)
CH₄	: Metan
CNRS	: Centre National de la Recherche Scientifique (Fransa Ulusal Bilim Araştırmaları Merkezi)
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
CO_{2e}	: Karbondioksit Eşdeğeri
COP	: Conference of the Parties (Taraflar Konferansı)
ÇOB	: Orman ve Su İşleri Bakanlığı
DGD	: Dinamik Genel Denge
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	: Devlet Su İşleri
EC	: European Comission (Avrupa Komisyonu)
ED	: Ekler Dışı
EDM	: Entegre Değerlendirme Modelleri
EEA	: European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
EECCA	: Doğu Avrupa, Kafkaslar ve Merkez Asya Ülkeleri
Ej	: Eta Joule

ENPEP	: Energy and Power Evaluation Program (Enerji ve Güç Planlama Modeli)
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ERU	: Emission Reduction Units (Emisyon Azaltım Birimi)
ET	: Emisyon Ticaret
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
ETS	: Emission Trading System (Emisyon Ticareti Sistemi)
EUA	: European Allowance Units (Ton Başına Birim Permi)
EU ETS	: European Emission Trading System (AB Emisyon Ticareti Sistemi)
FAQ	: Frequently Asked Questions (Sık Sorulan Sorular)
FAO	: Food and Agriculture Organization (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü)
G-Ç	: Girdi-Çıktı
GAMS	: General Algebraic Modeling System (Genel Cebirsel Modelleme Sistemi)
GD	: Genel Denge
Gg	: Giga Gram (Milyar Gram, Bin Ton)
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
Gt	: Giga Ton
GtCO₂	: Giga Ton Karbondioksit
GW	: Giga watt
HFC	: Hidroflorokarbon
HGDM	: Hesaplanabilir Genel Denge Modelleri
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
ITL	: International Transaction Log (Uluslararası İşlem Logu)
İDÇS	: İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
İDKK	: İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu
JI	: Joint Implementation (Ortak Yürütme)
JV ETS	: Japan Voluntary Emission Trading Scheme (Japonya Gönüllü Emisyon Ticareti Sistemi)
KD	: Kısmi Denge

KP	: Kyoto Protokolü
KPEM	: Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları
KV	: Karbon Vergisi
KWES	: Key Word Energy Statistics (Enerji İstatistikleri Anahtar Sözcükler)
LPG	: Likit Petrol Gazı
LULUCF	: Land Use Land Use Change and Forestry (Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık)
MAC	: Marginal Abatement Cost (Marjinal Azaltım Maliyeti)
MAED	: Model for Analysis of the Energy Demand (Enerji Talebi Analizi Modeli)
MİO	: Marjinal İkame Oranını (Marginal Rate of Substitution, MRS)
MIT	: Massachussets Institute of Technology (Massachussets Teknoloji Enstitüsü)
MPSGE	: Mathematical Programming System For General Equilibrium Analysis (Genel Denge Analizi İçin Matematik Programlama)
Mt	: Milyon ton
Mt CO_{2e}	: Milyon Ton Karbondioksit Eşdeğeri
Mt CO₂	: Milyon Ton Karbondioksit
MTİO	: Marjinal Teknik İkame Oranını (Marginal Rate of Technical Substitution, MRTS)
Mtoe	: Million tonnes oil equivalent (Milyon ton petrol eşdeğeri)
MW	: Mega watt
NAMA	: Nationally Appropriate Mitigation Actions (Ulusal Programlara Uygun Azaltım Faaliyetleri)
NAP	: National Allocation Plan (Ulusal Taahhüt Planı)
NMVOC	: Metal Olmayan Uçucu Organik Bileşikler
NO	: Azotmonoksit
N₂O	: Diazotmonoksit
NO₂	: Azotdioksit
NO_x	: Azotoksit
NSW	: New South Wales Sera Gazı Azaltımı Planı
NZ ETS	: New Zeland Emission Trading Scheme (Yeni Zelenda Emisyon Ticareti Sistemi)
O₃	: Ozon

OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
OPEC	: Organization of the Petroleum Exporting Countries (Petrol İhraç Eden Ülkeler)
OTC	: Over the Counter (Tezgah Üstü Piyasalar, Borsa Dışı Alım)
P1	: Phase 1 (1. Safha)
PEGSÜ	: Pazar Ekonomisine Geçiş Sürecinde Olan Ülkeler
PFC	: Perflorokarbon
Ppb	: Parts per billion (Milyarda bir)
Ppm	: Parts per million (Milyonda bir)
RECLAIM	: California's Regional Clean Air Incentive Market (California Bölgesel Temiz Hava Teşvik Piyasası)
REDD	: Reduced Emissions from Deforestation and Degradation (Ormansızlaşma ve Orman Bozulumundan Kaynaklanan Emisyonların Azaltımı)
RGGI	: Regional Greenhouse Gas Initiative (Bölgesel Sera Gazı Girişimi)
RMU	: Removal Units (Karbon Uzaklaştırma Birimi)
SF₆	: Sülfürhekzaflorid
SHM	: Sosyal Hesaplamalar Matrisi
SO₂	: Kükürtdioksit
SPM	: Summary For Policy Makers (Politika Yapıcılar İçin Özet)
SRES	: Special Report on Emission Scenarios (Emisyon Senaryoları Özel Raporu)
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi
TFC	: Total Final Energy Consumption (Toplam Nihai Enerji Tüketimi)
TPES	: Total Primary Energy Supply (Toplam Birincil Enerji Arzı)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TW	: Tera Watt
TWh	: Tera watt saat
UB	: Ulaştırma Bakanlığı
UK ETS	: United Kingdom Emission Trading System (Birleşik Krallık Emisyon Ticaret Sistemi)
UNDP	: United Nations Development Programme (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı)

UNPD	: United Nations Population Division (Birleşmiş Milletler Nüfus Dairesi)
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
VER	: Verified Emission Reduction (Doğrulanmış Emisyon Azaltımları)
WB	: World Bank (Dünya Bankası)
WCC	: World Climate Conference (Dünya İklim Konferansı)
WCI	: Western Climate Initiative (Batı İklim Girişimi)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Sera Etkisi	7
Şekil 1.2: Atmosferde Sera Gazlarının Yoğunluğu.....	9
Şekil 1.3: Dünyadaki Sıcaklık Artışları	10
Şekil 1.4: Kıtalaraya Göre Sıcaklık Artışları	11
Şekil 1.5: Atmosferdeki CO ₂ Yoğunluğunun Gelişimi.....	14
Şekil 1.6: Deniz Seviyelerinde Değişim Trendi	17
Şekil 1.7: Enerji Kaynaklı CO ₂ Emisyonlarının Sektörel Dağılımı ve Senaryolar	28
Şekil 1.8: Dünyada 1971-2009 Arasında Yakıt Türlerinin CO ₂ Emisyonu (Mt CO ₂).....	29
Şekil 2.1: Türkiye’de Sera Gazı Emisyon Eğilimi	47
Şekil 2.2: Türkiye’de Türlerine Göre Sera Gazları Emisyonlarının Gelişimi.....	48
Şekil 2.3: Türkiye’de Sektörel Sera Gazı Emisyon Trendleri.....	50
Şekil 2.4: Türkiye’de Yakıtların Yanmasından Kaynaklanan Sektörel CO ₂ Emisyonları.....	53
Şekil 2.5: Türkiye’de Yakıt Türlerinden Kaynaklanan Sektörel CO ₂ Emisyonları	54
Şekil 2.6: Türkiye’de Yakıtların Kullanımından Kaynaklanan Emisyonlar Türleri	54
Şekil 2.7: Türkiye’de Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan CO ₂ Emisyonları....	59
Şekil 2.8: Türkiye’de Ulaşım Sektöründen Kaynaklanan CO ₂ Emisyonları.....	60
Şekil 2.9: Kömür Madenciliğinden Kaynaklanan Metan Emisyonları	61
Şekil 2.10: Endüstriyel Faaliyetlerden Kaynaklanan CO ₂ Emisyonları.....	61
Şekil 2.11: Türkiye’de Endüstriyel Faaliyetlerden Kaynaklanan CO ₂ Dışı Sera Gazları.....	63
Şekil 2.12: Türkiye’de Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Metan Emisyonları.	64
Şekil 2.13: Türkiye’de Tarımsal Atık Yakımından Kaynaklanan N ₂ O ve CO Emisyonları.....	65
Şekil 2.14: Türkiye’de Ormancılık Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan Net CO ₂ Emisyonları (Gg).....	66
Şekil 2.15: Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişikliği Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan CO ₂ Emisyonları.....	68
Şekil 2.16: LULUCF Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan CO ₂ Emisyonları (Gg)..	68
Şekil 2.17: Türkiye’de Atık Depolanması Kaynaklı Metan Emisyonları.....	69

Şekil 3.1: BMİDÇS'ye Göre Ülkelerin Sınıflandırılması.....	75
Şekil 3.2: EU ETS'de NAP1 (2005-2007) ve NAP2 (2008-2012) Dönemine Ait Fiyat Değişimleri.....	98
Şekil 4.1: Uluslararası Karbon Piyasaları ve Uygulandığı Ülkeler (2012).....	107
Şekil 4.2: Uluslararası Karbon Piyasalarının Hacimleri (2003-2008, Milyar Ton).....	109
Şekil 4.3: Uluslararası Karbon Piyasalarının Payları (2003-2008).....	109
Şekil 4.4: Gönüllü Karbon Piyasalarının İşlem Hacmindeki Gelişim (Mt CO ₂ e)...	111
Şekil 4.5: Gönüllü Karbon Piyasalarının Değeri (Milyon \$).....	111
Şekil 5.1: Çevre-Enerji-Ekonomi Modellerinin Sınıflandırılması.....	117
Şekil 6.1: Ekonomide Akım Döngüsü.....	149
Şekil 6.2: Tek değişkenli Newton Optimizasyonu.....	163
Şekil 7.1: 1990-2009 Yılı Toplam Emisyonlar (Mt CO ₂ e).....	172
Şekil 7.2: 2009 ve 2002 Yılı Sektörel Emisyonlar (Mt CO ₂ e).....	173
Şekil 7.3: 1990-2009 Dönemi % 5.13'lük Emisyon Artımına Göre Sektörel ve Genel Emisyon Tahminleri (Mt CO ₂ e).....	176
Şekil 7.4: 1990-2009 Dönemi % 5.13'lük Emisyon Artımına Göre Sektörel ve Genel Emisyon Tahminleri (Mt CO ₂ e).....	177
Şekil 7.5: Türkiye'nin GSYİH Projeksiyonu (Cari Milyar TL/\$).....	179
Şekil 7.6: Türkiye'nin GSYİH Projeksiyonu (Sabit Milyon TL/\$).....	179

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Ek I Ülkelerinde Sera Gazlarının Dağılımı (2009).....	8
Tablo 1.2: SRES 2001 Senaryolarının Ekonomik Tahminleri.....	16
Tablo 1.3: 1980-1990 Dönemine Verileriyle SRES 2090-2099 Dönemi Tahminleri.....	17
Tablo 1.4: 2009 Yılında CO ₂ Emisyonu Yüksek Olan Ülkeler (Mt CO ₂ e).....	19
Tablo 1.5: Toplam Birincil Enerji Arzındaki Değişmeler (1975-2009).....	20
Tablo 1.6: Toplam Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı (%).....	21
Tablo 1.7: Toplam Nihai Enerji Tüketimindeki Değişimler (1971 – 2009).....	21
Tablo 1.8: Toplam Nihai Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı (2007)	21
Tablo 1.9: Toplam Nihai Enerji Tüketiminin Bölgelere Göre Dağılımı	23
Tablo 1.10: Toplam Birincil Enerji Talebinin Geleceği (mtoe).....	23
Tablo 1.11: TPES Senaryolarına Göre Yakıt Türlerinin Alacağı Paylar (%)....	25
Tablo 1.12: Enerji Kaynaklı CO ₂ Emisyonlarının Geleceği (Milyar ton).....	25
Tablo 1.13: Enerji Kaynaklı CO ₂ Emisyonlarının Sektörel Dağılımı (%).....	28
Tablo 1.14: Farklı Yakıt Türlerinin CO ₂ Emisyonu Dağılımı (%).....	29
Tablo 1.15: Kaynaklara Göre Dünya Sanayisinde Nihai Enerji Tüketimi (mtoe)	31
Tablo 1.16: Dünya Sanayisinde Bölgesel Enerji Tüketimi ve Enerji Kaynaklı CO ₂ Emisyonları.....	32
Tablo 1.17: Dünya’da Nüfus Artışları ve Projeksiyonları (%).....	34
Tablo 2.1: Türkiye’de Sera Gazı Emisyonlarının Gelişimi.....	47
Tablo 2.2: Türkiye’nin Sektörlere Göre Toplulaştırılmış Sera Gazı Emisyonları	49
Tablo 2.3: Türkiye’de Sektörlerin Sera Gazı Emisyonuna Katkısı (%).....	51
Tablo 2.4: Türkiye’de Elektrik Üretiminin Kaynakları (TWh).....	56
Tablo 2.5: Türkiye’de CO ₂ Emisyonunun Sektörel Dağılımı (%).....	57
Tablo 2.6: Türkiye’de Ulaştırma Kaynaklı CO ₂ Emisyonunun Sektörel Dağılımı.....	59
Tablo 2.7: Türkiye’de Ormancılık Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan Net CO ₂ Emisyonları.....	66
Tablo 2.8: Türkiye’de Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişiklikleri Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan Net CO ₂ Emisyonları.....	67
Tablo 3.1: BMİDÇS ve KP’ye Göre Ülkelerin Sınıflandırılması ve Yükümlülükleri.....	74

Tablo 3.2: Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmalarının Temel Tanımları.....	77
Tablo 4.1: Küresel Karbon Piyasasının Farklı Aktörleri ve Dönemsel Gelişimi..	105
Tablo 4.2: Uluslararası Karbon Piyasası İşlem Hacimleri ve Değerleri 2008-2010.....	108
Tablo 5.1: Çevre-Enerji-Ekonomi Modelleri.....	126
Tablo 6.1: Model İçin Benchmark (Referans) Sosyal Hesaplamalar Matrisi.....	159
Tablo 6.2: 2X2 HGD Modelinin Sonuçları.....	165
Tablo 7.1: Sektörler Arası Ara Girdi Akımları (Bin TL)(2003 SAM).....	172
Tablo 7.2: Sektörlerin Yıllara Göre Karbon Emisyonları (Mt CO ₂ e).....	175
Tablo 7.3: Sektörlerin Yıllara Göre Karbon Emisyonları (Mt CO ₂ e).....	177
Tablo 7.4: Toplam ve Sektörel Olarak Emisyon Kotaları (Mt CO ₂ e).....	180
Tablo 7.5: Farklı Karbon Fiyatları Altında Emisyon Ticareti ve Karbon Vergisi Uygulamasının Sonuçları.....	182
Tablo 7.6: Farklı Döviz Kurları Altında Emisyon Ticareti ve Karbon Vergisi Uygulamasının Sonuçları (% 20 Kota altında ve Karbon Fiyatı 10 € iken).....	183

EKLER LİSTESİ

EK – 1: 2X2’lik analizde Kullanılan GAMS Programı Kodları.....	220
EK – 2: Analizde Kullanılan GAMS Programı Kodları	221

GİRİŞ

Tarih boyunca insanoğlu, hayatını devam ettirebilmek ve tüm ihtiyaçlarını karşılayabilmek için doğal kaynaklara yönelmiştir. Doğadan tüm gıda ihtiyacını karşılamış, ayrıca üretim süreci için gerekli olan enerjinin elde edilmesi amacıyla, doğal kaynaklar oldukça yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Doğadan bu kadar faydalanılmasına rağmen, üretim sürecinde oluşan atıklar çoğu zaman doğrudan doğaya bırakılmıştır. Özellikle sanayi devrimi öncesi dönemlerde, doğayı kirletme sonucu ortaya çıkan olumsuz etkiler dünya nüfusunun az olmasıyla fazla hissedilmemiş, fakat artan nüfusla birlikte atıkların olumsuz etkileri insanlığı tehdit etmeye başlayınca bu sürecin sürdürülemeyeceği anlaşılmıştır.

Dünya tarihi boyunca insanlık doğal felaketler, savaşlar, kıtlık ve açlık sorunları başta olmak üzere hızlı nüfus artışı, kentleşme gibi birçok sorunla karşı karşıya kalmış ve çözümler üretmiştir. Sanayileşme süreci ile birlikte 1870’li yıllardan itibaren, fosil yakıtlarının yoğun bir şekilde kullanılmasıyla insanlık yeni bir sorunla karşı karşıya kalmıştır. Bu sorun çevre sorunudur, özellikle iklim değişikliğidir ve sadece çevreyi kirleten gelişmiş ülkeleri değil gelişmişlik düzeyi ne olursa olsun dünya ülkelerinin tamamını etkilemektedir.

Tüm dünya ülkelerini ilgilendiren en önemli çevresel sorun olan iklim değişikliğine, doğrudan üretim sürecinde kullanılan fosil yakıtların kullanılmasıyla ortaya çıkan sera gazlarının atmosferdeki miktarının artması sebep olmaktadır. Sera gazları, güneşten gelen ve yer yüzeyinden yansıyan ışınların ne kadarının atmosfer içerisinden geçeceğini belirlemekte ve tıpkı bir sera vazifesi görerek yer yüzeyi ile atmosfer tabakası arasındaki ısıyı tutulması görevini yapmaktadır. Atmosferdeki sera gazları miktarının artması ile yer yüzeyinden yansıyan ışınların uzay boşluğuna geçişleri azalmakta, daha fazla ısı yer yüzeyi ile atmosfer arasında kalmaktadır. Ülkelerin sürdürülebilir kalkınma için enerji kullanması kaçınılmazdır, dolayısıyla sera gazı artışlarının devam edeceği dikkate alınırse temel sorun, sera gazı miktarlarının artması ve bu artışın nasıl engelleneceği konusudur.

Üretim sürecinde makinelerin kullanımının artmasıyla özellikle Sanayi Devrimi’nden itibaren atmosferde belli oranlara sahip olan sera gazlarının miktarı ve bileşimi değişmeye başlamıştır. Toplumların refahlarını daha üst seviyelere çıkarmak

için daha fazla üretim yapılması ile birlikte, doğal bir dengede olan sera gazları yoğunluğu artmasıyla iklim değişikliğinin olumsuz etkileri daha çok hissedilmeye başlanmıştır. Üretimin artmasıyla, üretim sürecinin en temel girdilerinden biri olan enerji ihtiyacı giderek artmıştır. Artan enerji ihtiyacının kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan sağlanması ile iklim değişikliği çerçevesinde bu noktaya dikkat çekilmiştir. Fosil yakıtların yanması sonucu önemli miktarda karbondioksit gazı açığa çıktığı için hem atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu artmakta hem de sera gazları içinde en büyük paya sahip olan bu gazın toplam sera gazı içindeki payı giderek artmaktadır. Bu durum ise, atmosferde sera gazlarının bileşimini ve yoğunluğunu değiştirmekte ve atmosferin ısı geçirgenliği özelliğini engelleyerek küresel ısınma sürecine olumsuz katkılar yapmaktadır. Bu bağlamda, enerji kullanımı ve küresel ısınma, dolayısıyla iklim değişikliği arasında, oldukça güçlü bir bağ olduğu aşıkardır.

İklim değişikliği ile birlikte atmosfer içindeki sera gazı miktarının artması ve oranlarının değişmesi ile birlikte küresel ısınmanın bir tehdit haline gelmesi, çevre ve ekolojik denge üzerinde gözle görülür tehlikelerin ortaya çıkması ile gerek ulusal, gerekse uluslararası kamuoyunda bir takım adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda ilk uluslararası adım olarak Birleşmiş Milletler'in 1972 yılında düzenlediği konferans düşünülebilir. Bu konferansla iklim değişikliği ile konferanslar düzenlenmiş ve bu konu dünya gündemine girmiştir. Çevresel bozulmaların artması ve canlılar üzerinde ciddi tehditler oluşturması ile birlikte çevre bilinci artmış ve uluslararası alanda önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu sürecin başlamasındaki ilk adım, 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün desteğiyle "Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)" nin kurulmasıdır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, sonuncusu 2007 olmak üzere 1990, 1995 ve 2001 yıllarında farklı bilim dallarından birçok bilim adamının yapmış olduğu çalışmaları içermekte, iklim değişikliği bağlamında uygulanacak uluslararası politikalarda farkındalık oluşturmayı ve iklim değişikliği hakkında yapılan müzakerelerde rehber olmayı amaçlamaktadır.

Sanayileşme sürecinde fosil yakıtların kullanımı sonucu meydana gelen iklim değişikliğinin etkilerinin ortaya çıkması, gelecekte insanlık ve tüm canlılar için ciddi bir tehdit olacağının anlaşılması, iklim değişikliğinin büyük ölçüde insanoğlunun kendi faaliyetleri sonucu oluştuğunun anlaşılması üzerine, uluslararası kurumlar ve devletler acil önlemler alınması konusunda harekete geçme ihtiyacı hissetmişlerdir. Bu çerçevede

Birleşmiş Milletler öncülük etmiş ve ilk görüşme 1979 yılında “Dünya İklim Konferansı” olmuştur. 1990 yılınca Uluslararası İklim Değişikliği Paneli detaylı rapor yayınlarak konunun önemini bilimsel olarak ifade etmiştir. 1992 Rio Zirvesi’yle önemli bir adım atılarak “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” kabul edilerek 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. 1997 yılında Kyoto’da yapılan üçüncü Taraflar Konferansında hazırlanan Protokol’le birlikte dünya genelinde, ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sera gazları emisyon miktarlarının belli seviyelere çekilmesine ilişkin önemli bir adım atılmıştır. İklim değişikliği kavramıyla özdeşleşen Kyoto Protokolü Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girerek sera gazı emisyon artışlarına kısıtlamalar getirmiştir.

Tez çalışmasının araştırma konusu, iklim değişikliğine yol açan karbon emisyonlarının alternatif azaltım maliyetlerinin incelenmesi ve bu azaltımın ekonomik maliyetlerinin büyüme üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bu amaca yönelik olarak, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından hazırlanan son Girdi-Çıktı tablosu (2002) kullanılarak seçilen toplulaştırılmış sektörlerin, yine TÜİK tarafından hazırlanan “Sera Gazı Envanteri 2011” raporu kullanılarak karbondioksit emisyonu hesaplanmış ve Genel Denge analizine dahil edilmiştir. Enerji kullanım yoğunluğu dikkate alınarak sektörler; Tarım, Kömür Madenciliği, Ham Petrol ve Doğalgaz, Kağıt ve Ürünleri İmalatı, Petrolün Arındırılması, Çimento, Demir Çelik, Elektrik Üretimi, Ulaşım, Diğer Ekonomi olarak sınıflandırılarak analize dahil edilmiştir.

Tez çalışmasının temelini şu sorular oluşturmaktadır:

- 1-) Avrupa Birliği’ne üye olan ve adaylık sürecini devam ettiren ülkeler için karbon emisyonu azaltımı zorunlu olduğu için, Avrupa Birliği üyelik sürecini devam ettiren Türkiye’nin karbon emisyonu azaltımında, hangi araçları kullanması ekonomik maliyet açısından en iyi tercihtir?
- 2-) Farklı mitigasyon (sera gazı azaltımı) politikalarının sektörel etkileri nedir?
- 3-) Mitigasyon politikalarının uygulanması sonucu işsizlik, GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) gibi makroekonomik değişkenler bu süreçten nasıl etkilenmektedir?
- 4-) Türkiye için ilerleyen yıllarda karbon emisyonu trendi ne olacaktır ve ne tür enerji kullanımı ekonomik açıdan karlı olacaktır?

Bu sorular çerçevesinde çalışmamız: “Mitigasyon politikalarının ekonomik maliyet doğuracağı, fakat emisyon ticaretinin maliyetinin en az olacağı ve ayrıca Türkiye uluslararası karbon piyasasına dahil olursa maliyetlerin daha da az olacağı” şeklinde belirlenmiştir.

Literatür araştırması sonucu Türkiye’de yapılan çalışmalar oldukça az olduğu, ayrıca yapılan çalışmalarda karbon vergisine yoğunlaşıldığı ve sonuç olarak önemli ekonomik maliyetler doğurduğu belirtilmiştir. Uluslararası çalışmalarda ise karbon vergisi uygulamasının yanı sıra sektörler arasında transfer imkanı sağlayan emisyon ticareti ve ülkeler arası emisyon transferi imkanı sağlayan karbon borsaları ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Ülkelerin karbon vergisi yerine emisyon ticareti uygulamalarının ve uluslararası karbon piyasalarına dahil olmalarının ekonomik maliyetleri önemli ölçüde azalttığı vurgulanmaktadır. Literatürde stokastik süreç içeren ekonometrik çalışmalarının yanı sıra deterministik süreç arzeden Genel Denge analizlerinde yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür. Genel Denge analizleri gerek ekonominin tamamını içerecek şekilde tasarlanması, gerekse mevcut durum ve gelecek süreçler için ekonomide oluşabilecek farklı simülasyonlara imkan tanınması açısından, analizlerde daha etkin olduğu düşünülmektedir. Bu çerçevede tez çalışmasının, iklim değişikliğinin nedenlerini detaylı olarak incelenmesi, iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının azaltımı için kullanılan yöntemlerin oldukça ayrıntılı bir şekilde irdelenmesi, Genel Denge analizi ile yapılması ve farklı sonuçlara ulaşılması bakımından büyük önem kazanacağı düşünülmektedir. Tez çalışmasının özellikle Türkiye ve Uluslararası literatürüne katkı yapmasının yanı sıra karar vericiler içinde bir rehber olması amaçlanmaktadır.

Karbon emisyonlarının azaltımında alternatif mitigasyon politikalarının ve Kyoto Protokolü ile birlikte uygulamaya konulan proje temelli esneklik mekanizmalarının incelenmesinden sonra kurulan Genel Denge modeli aracılığı ile farklı simülasyonlar yapılmış ve ekonometrik olarak tahmin edilen karbon emisyonları trendi modele dahil edilerek gelecek yıllar için mitigasyon politikalarının sonuçları dinamik süreçte incelenmiştir.

Birinci bölümde, insan kaynaklı iklim değişikliği teorisine ve tartışmalarına yer verilmiştir. Bu çerçevede, iklim değişikliğinin sonuçlarının ekonomik ve çevresel

etkileri değerlendirilmiş, bulgular çevresel ve ekonomik etkiler başlıkları altında incelenmiştir.

İkinci bölüm, insan kaynaklı iklim değişikliği açısından Türkiye Ekonomisi'nin incelenmesine ayrılmıştır. Bu bölümde Türkiye'nin, iklim değişikliği alanında atılan uluslararası adımlara nasıl uyum sağladığı incelenmiş, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne taraf olması nedeniyle hazırlama yükümlülüğü altına girdiği Ulusal Sera gazı Envanterleri çerçevesinde, sera gazı emisyon değerlendirmeleri yapılmıştır.

Üçüncü bölüm, iklim değişikliğine neden olan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik en önemli adım niteliğindeki Kyoto Protokolü ile uygulamaya konulan proje temelli esneklik mekanizmaları olan “Temiz Kalkınma Mekanizması” ve “Ortak Yürütme” ile piyasa temelli esneklik mekanizması olan “Emisyon Ticareti” incelenmiştir. Proje ve piyasa temelli esneklik mekanizması uygulamaları anlatılarak etkinliği tartışılmıştır.

Dördüncü bölüm, piyasa ve proje temelli esneklik mekanizmaları uygulamaları ile oluşan karbon piyasaları incelenmiştir. Dünyada ülke grupları, ülkeler ve ülke içerisinde bölgelerde uygulanmakta olan emisyon ticareti sistemleri, hacimleri ve yıllara göre hacimlerinde meydana gelen değişimler anlatılmış ve uluslararası piyasalarda oluşan karbon fiyatının belirleyicileri üzerinde durulmuştur.

Beşinci bölüm, çevre-enerji-ekonomi modellemesi bağlamında iklim değişikliği modelleri incelenmiş, yukarıdan aşağı ve temelden yukarı modellerin özellikleri örneklerle anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde Türkiye ve Dünya örneğinde yapılan modelleme çalışmalarına ilişkin literatür taraması yapılmıştır.

Altıncı bölüm, çalışmada kullanılacak yöntem olan Genel Denge Analizi ile ilgili olarak yöntemin tarihçesi, teorisi anlatılmış, kapalı ve basit bir ekonomi için senaryo uygulamaları yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmanın son bölümü olan yedinci bölümde ise, insan kaynaklı iklim değişikliğine yol açan sera gazlarının azaltımında, alternatif mitigasyon politikaları Genel Denge Analizi ile incelenmiş, Türkiye'nin hangi mitigasyon argümanını kullanması gerektiği tartışılmıştır.

Hazırlanan tez çalışması doğrultusunda gerçekleştirilen analiz ve yapılan simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi, yazılan bölümlerin özetlerinin verilmesi ve politika önerileri ile çalışma sonlandırılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

İNSAN KAYNAKLI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

İklim değışikliğı, çevresel sorunların artmasıyla birlikte tüm dünyada ve Türkiye’de güncelliğini koruyan ve uzun tartışmalara sahne olan bir konudur. Mevsimsel sıcaklıklarda gözlemlenen, yağışların miktar ve dönemlerinde ortaya çıkan değışmeler, temiz su kaynaklarının azalması ve bunların insan ve canlıların yaşamını ciddi boyutta tehdit eder hale gelmesi, insan kaynaklı iklim değışikliğı ile doğrudan bağlantılı konulardır. Ortaya çıkan tüm bu olumsuz gelişmeler, temel olarak fosil yakıt kullanımı, sanayileşme, nüfus artışı, ormanların tahrip edilmesi ve tarım-hayvancılık faaliyetleri gibi insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılayabilmek için ekolojik düzen üzerinde oluşturmuş olduğu baskılardan kaynaklanmaktadır.

1.1. İnsan Kaynaklı İklim Değışikliğı, Sebepleri, Sonuçları ve Etkileri

Enerji üretiminde fosil yakıtların yoğun olarak kullanımı, sanayileşme, nüfus artışı, ormanların tahrip edilmesi ve tarım-hayvancılık faaliyetleri gibi süreçler boyunca insanoğlu, ekolojik sistemin dengesine telafisi güç zararlar vermektedir. Tüm bu faaliyetler göz önüne alındığında çevresel sorunların ortaya çıkmasındaki en büyük faktörün “insan” olduğu görülmektedir. Günümüzde; küresel ısınma ve buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim değışikliğı, insan kaynaklı (antropojenik) çevre sorunlarının en önemlisidir.

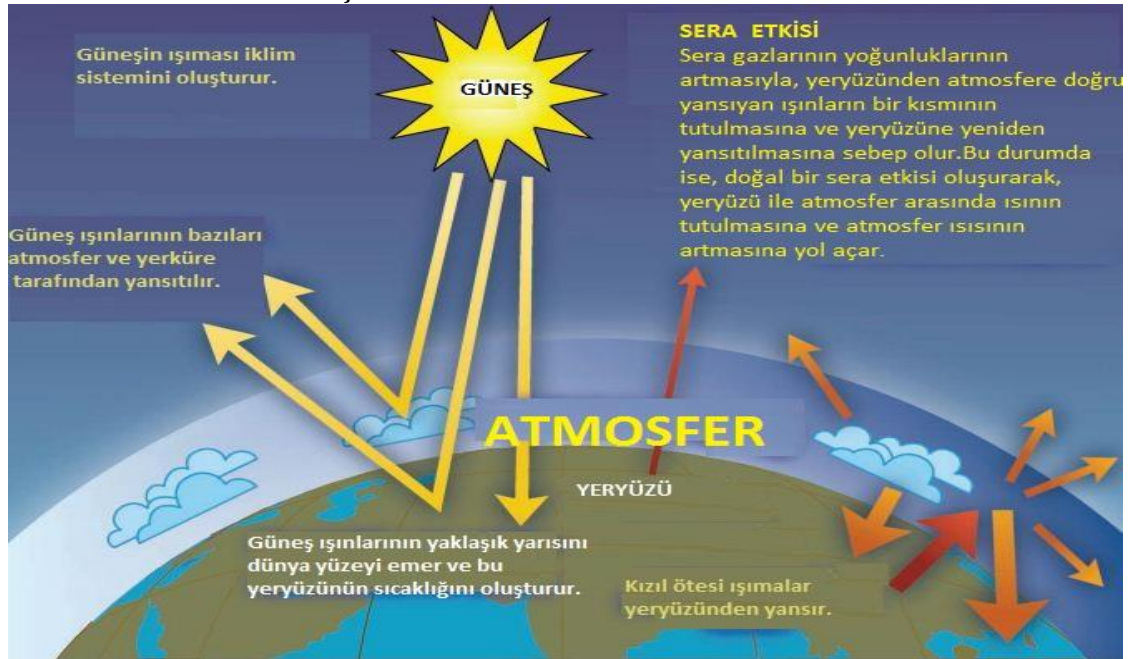
Birleşmiş Milletler İklim Değışikliğı Çerçeve Sözleşmesi’nde (UNFCCC) insan kaynaklı iklim değışikliğı, “karşılaştırılabilir bir zaman diliminde gözlenen doğal iklim değışikliğı ve doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkileri sonucunda iklimde oluşan değışiklikler” olarak tanımlanmıştır (UNFCCC, 1992). İklim değışikliğini IPCC (Hükümetlerarası İklim Değışikliğı Paneli) ise; “belli bir dönemde iklimlerde, doğal değışimler ya da insan faaliyetleri sonucunda oluşan değışiklikler” olarak ifade etmektedir (IPCC, 2007a: 2).

Atmosferdeki sera gazlarının artması, sera etkisi teorisine göre doğal bir sera etkisi oluşturarak iklimleri değıştirmekte ve yer yüzeyinin ısınmasına yol açmaktadır. Yeryüzünün ısınması, hava parametreleri değışimine, taşkınlar ve kuraklıkların olması gibi önemli değışikliklere yol açmaktadır.

1.1.1. Sera Etkisi ve Küresel Isınmanın Bilimsel Analizi

Tüm canlılar, hava olaylarının meydana geldiği atmosferin en alt katmanı olan Troposfer içinde yaşamaktadırlar (Kadıoğlu, 2007: 19). Güneşten gelen ışınların bir bölümü, bulutları da içerisinde bulunduran atmosferin alt tabakasında (troposfer), bir miktarıda yeryüzünde emilmektedir. Geri kalan bölümü ise, herhangi bir ortam tarafından emilmeden uzay boşluğuna yansımaktadır (Bk. Şekil 1.1).

Şekil 1.1: Sera Etkisi



Kaynak : IPCC, 2007. FAQ 1.3, s:98 (Yazar tarafından uyarlanmıştır.)

Atmosferdeki gazların, güneşten gelen ışınları geçirmesi, fakat yeryüzünden yansıyan ışınları daha az geçirmesi nedeniyle yerkürenin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen bu doğal süreç “Sera Etkisi” olarak adlandırılmaktadır (DPT, 2000: 3). Atmosferin geçirgenliğini belirleyen en önemli faktör ise, içinde bulundurduğu sera gazlarının yoğunluğudur. Atmosfer ve doğal sera etkisi olmasaydı, dünya yüzeyinin mevcut olduğundan daha soğuk bir iklime sahip olacağı söylenebilir.

Atmosfer içerisinde doğal olarak belirli oranlarda bulunan su buharı, Karbondioksit (CO_2), Metan (CH_4), Azotoksit (N_2O) ve Ozon (O_3) gazları ile endüstriyel üretim sonucunda ortaya çıkan Hidroflorokarbon (HFC), Perflorokarbon (PFC), Sülfürhekzaflorid (SF_6) gibi florlu bileşiklerin tümüne sera gazı adı verilmektedir.

Sera etkisi insanlara ve diğer canlılara yarar sağlayan bir olgu olmasına rağmen sera etkisinin çeşitli nedenlerle artmaya başlaması endişe vericidir (Uzmen, 2007: 49). Sera gazlarının yoğunluklarının artması, yeryüzünden atmosfere doğru yansıyan ışınların tutulmasını ve yeryüzüne yeniden yansıtılmasına sebep olacaktır. Bu durumda ise, doğal bir sera etkisi oluşturarak, yeryüzü ile atmosfer arasında ısının tutulmasına ve atmosfer ısısının artmasına yol açacaktır.

Sera gazları içinde oran olarak en büyüğü su buharıdır ve karbondioksitten çok daha fazla ısı tutma özelliğine sahiptir. Fakat su buharının atmosfer içindeki değişimleri insan faaliyetlerine bağlı değildir (Uzmen, 2007: 51). Su buharı, diğer gaz karışımlarının yutacağından yaklaşık beş kat daha fazla ısıyı tutma kapasitesine sahiptir (Kadioğlu, 2007: 68).

Sera etkisinin ortaya çıkmasında birçok gazın etkisi vardır. Fakat karbondioksit gazı (CO_2), kirliliğe sebep olan en önemli sera gazı olduğu için sera etkisi yaratan temel gaz olarak karbondioksit kabul edilmekte ve yapılan çalışmalar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Atmosferde küçük bir miktarda bulunan (% 0,03) ve ortalama 100 yıllık bir kalıcılık süresine sahip olan CO_2 , sera gazları içinde en büyük payı almaktadır. Tablo 1.1.'de, 1992 Rio Zirvesi'nde imzaya açılan İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde "EK-1" ülkeleri adıyla gruplandırılmış olan piyasa ekonomisine geçmiş Eski Sovyet ülkeleri ve Doğu Avrupa ile OECD üyesi ülkelerdeki İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü'nce envanteri tutulan sera gazlarının payları verilmiştir.

Tablo 1.1: Ek I Ülkelerinde Sera Gazlarının Dağılımı (2009)

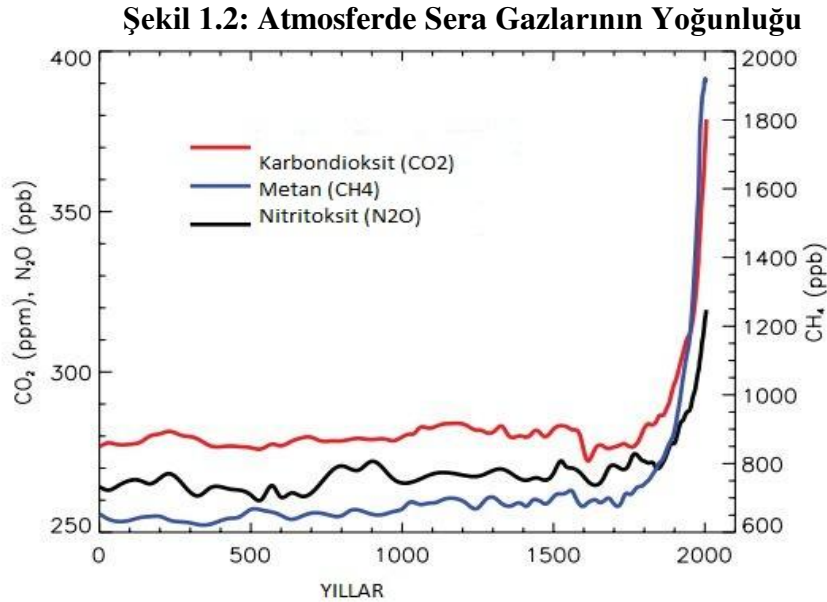
Sera Gazı	Toplam İçindeki Payı (%)
Karbondioksit (CO_2)	81,11
Metan (CH_4)	11,68
Azotoksit (N_2O) ¹	5,49
HidroFloroKarbon (HFC)	
PerFloroKarbon (PFC)	1,72
SülfürHekzaFlorid (SF_6)	

Kaynak: UNFCCC, 2011. "Summary of GHG Emission for Annex 1" (http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/ghg_profiles/items/4625.php, Erişim: 21.11.2011).

¹ N_2O gazı diazot monoksit, nitrikoksit ya da nitroksit olarak bilinmektedir. Atmosferde bulunan azot oksit bileşikleri; azot monoksit (NO), azot dioksit (NO_2), diazot (mono)oksit (N_2O)'dir (www.rshm.saglik.gov.tr/hki/pdf/hava.pdf, Erişim: 21.11.2011).

Tablo 1.1'den ve DPT, IPCC raporlarından açıkça görüldüğü üzere sera etkisi; atmosferin yapısında doğal olarak belli miktarlarda ve oranlarda bulunan sera gazlarının, özellikle de karbondioksit gazının çeşitli insan faaliyetleri sonucu yoğunluklarının artması nedeniyle ortaya çıkan ve atmosferin ısınmasına sebep olan durumdur. Söz konusu bu durum, yeryüzü sıcaklığını arttırarak küresel ısınma'ya yol açmakta ve dünya üzerindeki canlı yaşamı için tehdit oluşturmaktadır.

Günümüzde sera etkisi ve küresel ısınmanın bir gerçek olduğu birçok bilimsel çalışmayla ortaya konmuştur. Şekil 1.2'de 2000 yıllık süreçte atmosferdeki sera gazları yoğunluğu verilmiştir. Sanayi devriminden bu yana sera gazları yoğunluğunun aşırı düzeyde arttığı görülmektedir. İngiliz Kutup Araştırmacılarından (British Antarctic Survey) Eric Wolff başkanlığındaki Avrupalı bilim adamlarının Antartika kıtasında EPICA Projesi adıyla 2004 yılında tamamladıkları çalışmaya göre, 750 bin yıl öncesine ait iklim verilerine ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sera gazlarının sanayileşmeye paralel olarak son 200 yılda arttığı, karbondioksit ve metan gazlarının son 440.000 yılın en yüksek seviyesine ulaştığı ve atmosferdeki karbondioksit miktarının incelenen dönemden % 30 daha fazla olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır (<http://www.akut.org.tr>, Erişim: 08.01.2011).

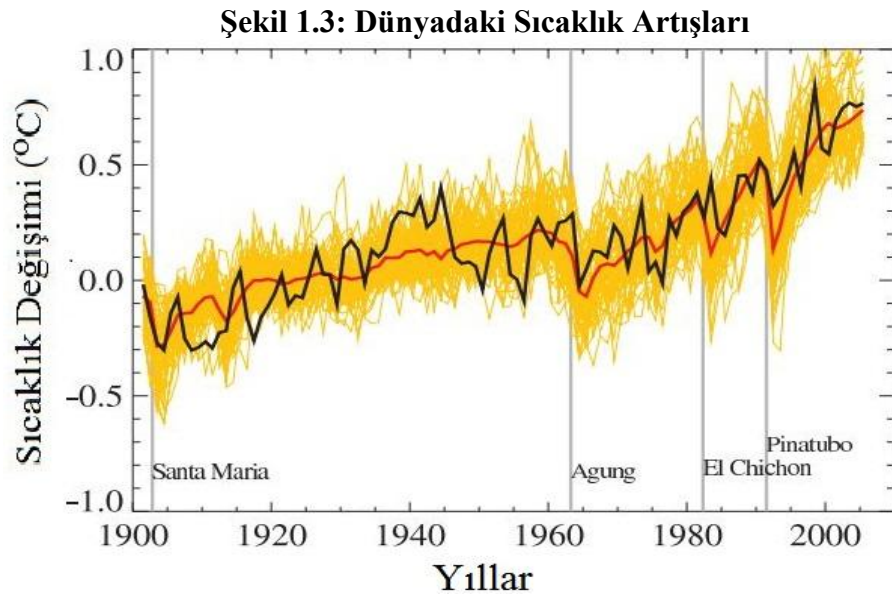


Kaynak : IPCC 2007. FAQ 2.1, s:100 (ppb, ppm yoğunluk birimidir.)

Kutup Vakfı tarafından Antarktika bölgesinde yapılan ve 14 ülkeden bilim adamlarının katıldığı 2.5 ay süren araştırma gezisi sonucunda da, küresel ısınma

hakkında oldukça çarpıcı sonuçlara ulaşılmıştır. Araştırmacılar, Antarktika bölgesinde, 1974 yılından itibaren 1.5 milyon hektarlık buzulun koptuğunu, son 12 yıl içinde de en az 5000 yaşında iki büyük buzulun yıkılıp eridiğini ve eskiden buzullarla kaplı bölgede artık turuncu deniz yıldızı, vantilatör yüzgeçli buz balığı ve deniz hıyarı gibi egzotik canlıların görülmeye başlandığını, bu durumun en büyük sorumlusunun ise küresel ısınma olduğunu ifade etmişlerdir (<http://arsiv.ntvmsnbc.com/news/401210.asp>, Erişim: 26.11.2011).

Küresel ısınmanın gerçekliğini kanıtlamak üzere yapılan bir diğer çalışma ise, Fransa Ulusal Bilim Araştırmaları Merkezi (CNRS) araştırmacılarının, Everest Dağı'nın zirvesinden almış oldukları buz kütlelerini incelemeleridir. 2001-2002 yıllarında Everest'in kuzey sırtındaki Doğu Rongbuk buzulundan almış oldukları üç buzul örneğinden ikisinin içindeki gaz oranını incelemeyi başaran CNRS, iki bin yıl öncesinin iklimine dair veriler elde etmiş ve 20. yüzyılda buz içindeki gaz miktarının önceki yüzyıllara göre azaldığını saptamıştır. Bu durum ise, Everest buzulu yüzeyindeki karların, yaz mevsiminde daha hızla eridiğini göstermektedir (<http://www.cnnturk.com>, Erişim: 15.03.2011).

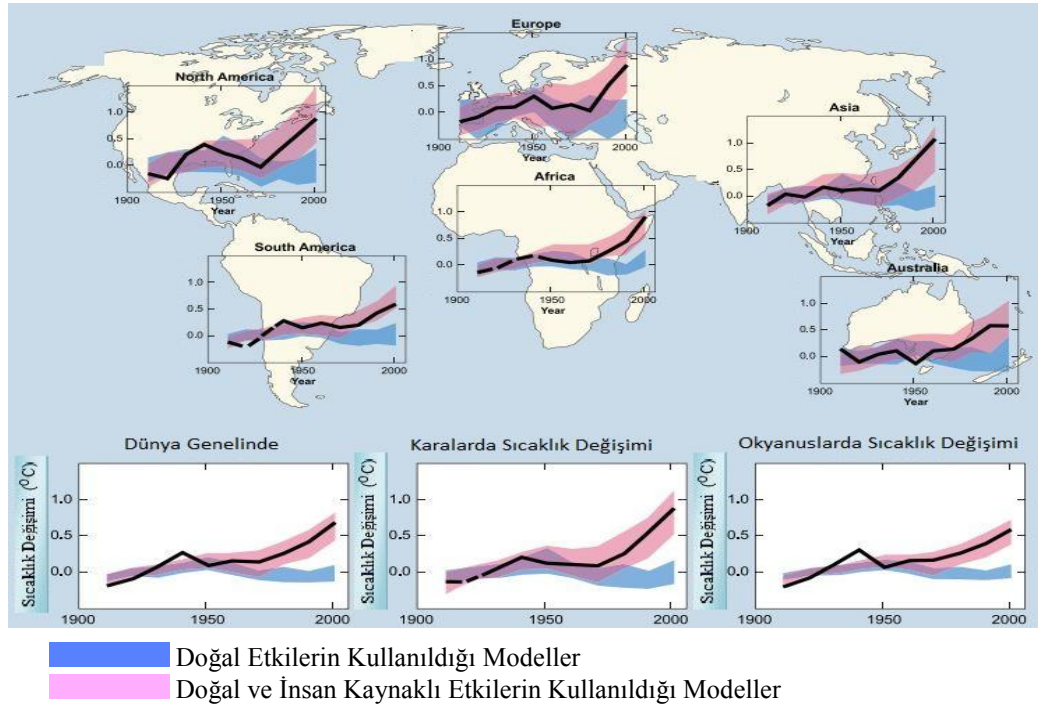


Kaynak: IPCC, 2007. FAQ 8.1, s:117.

Şekil 1.3'te 18 farklı iklim modeli ve 58 farklı simülasyonla elde edilen 100 yıllık küresel sıcaklık anomalleri verilmiştir. Dikey çizgiler ise volkanik faaliyetleri göstermektedir. Şekil 1.3'ten izlenebileceği gibi dünya sıcaklığı 1 °C artmıştır. Sıcaklıkların bu kadar artışı 500 yıllık süreç dikkate alındığında hiç bu kadar

olmamıştır. İnsan faaliyetleri sonucu atmosferde sera gazlarının rekor seviyelere ulaşması bu sıra dışı sıcaklık artışlarının ana sebebidir. Sıcaklık artışlarının bu şekilde devam etmesi durumunda sıra dışı doğa olayları olmaya devam edecektir (IPCC, 2007. FAQ 6.2, s:114).

Şekil 1.4: Kıtalara Göre Sıcaklık Artışları



Kaynak: IPCC, 2007. FAQ 9.2, s:121

Şekil 1.4'ten izlenebileceği gibi, yerkürede sıcaklıkta yaşanan anomaliler, özellikle sanayileşmeye paralel olarak 1950'li yıllardan sonra artan bir trende sahiptir. Sadece doğal etkilerin kullanıldığı modellerde yaşanan sıcaklık anomaliler tüm durumlarda neredeyse durağan bir seyir izlerken, insan kaynaklı faktörler hesaba katıldığı zaman, sıcaklık anomalilerinde büyük artışlar görülmektedir. Karalarda sıcaklık artışlarının okyanuslara göre daha fazla olduğu ve kıtalar bazında düşünüldüğü zaman sanayileşmenin en yoğun olduğu Avrupa kıtasında sıcaklık artış trendi en yüksek iken Avustralya kıtasında en düşük olduğu görülmüştür. Dünya genelinde 1990 yılından itibaren aletli gözlem kayıtlarındaki en yüksek sıcaklar kaydedilmiş, sırasıyla 1998 ve 2005 yılları sıcak yıllar olarak kayıtlara geçmiştir. Aletli yüzey sıcaklık ölçümlerinin yapılmaya başlanmasından itibaren geçen süre içinde 1995-2006 yıllarını kapsayan dönem en sıcak 12 yılın yaşandığı dönem olarak kayıtlara geçmiştir (IPCC, 2007a: 5). Diğer taraftan 20. yüzyılda, orta enlem kutupsal kar örtüsü, kutupsal kara ve deniz buzları ile orta enlemlerin dağ buzulları eriyerek alansal ve hacimsel olarak azalırken,

gel-git ve deniz seviyesi ölçüm kayıtlarına göre küresel ortalama deniz seviyesi yaklaşık 0,17 metre arasında yükselmiş, okyanusların sahip oldukları ısı içerikleri artmıştır. Yağışlar, kuzey yarım kürenin orta ve yüksek enlem bölgelerinde her on yılda yaklaşık % 0.5 ile % 1 arasında artarken, Akdeniz Havzası'nı da içeren sub-tropikal karaların önemli bir bölümünde her on yılda yaklaşık % 3 oranında azalmıştır (Türkeş, 2007: 48).

1.1.2. Küresel Isınma Konusunda Karşıt Görüşler

Küresel ısınma son yıllarda çevresel felaketlerin artmasıyla birlikte üzerinde en çok tartışılan konulardan biridir. Birçok bilim adamı bu gerçeğe işaret ederken karşıt görüşlerde vardır.

Harward Üniversitesi astrofizikçilerinden William Soon'a göre, son 1000 yılın verileri düzensiz, küçük ölçekte ve yerel iklim bölgeleri hakkında bilgi vermektedir. Belirli dönem için farklı bölgelerde bulunan göstergelerden hareketle hazırlanan iklimsel gelişme, bilimsel metodoloji bakımından bunların değerini arttırmaktadır (Uzmen, 2007: 82).

Farklı bir görüş olarak, küresel ısınmanın bir gerçek olduğu fakat buna yol açan temel faktörün sera gazları miktarındaki artış olmadığı, güneşin ısıtma gücünün bu durumu oluşturduğu öne sürülmüş, fakat yapılan çalışmalarla güneşin ısıtma gücünün son 30 yıldır değişmediği gerçeği ile karşılaşılmıştır.

Bazı bilim adamları, iklim değişikliklerinin dünya tarihi boyunca sürekli olarak gerçekleştiği, bu konuda endişe edilecek bir durumun olmadığına ilişkin görüşleri ifade etmişlerdir. Dünya, milyonlarca yıldır çok farklı iklimlere sahip olmuştur. Örneğin, 100 milyon yıl öncesindeki dünya sıcaklığı günümüz sıcaklığının 6 derece üstündeydi (Uzmen, 2007: 85). Dünya tarihi boyunca sıcaklık artışları olsa da, son yüzyılda, özellikle de sanayi devrimiyle birlikte ortaya çıkan küresel sıcaklık artışının şimdiye kadar hiç görülmemiş bir şekilde yüksek olduğudur. Bunun yanı sıra, sera gazlarının atmosfer içinde artması nedeniyle dünya yüzeyinin almış olduğu enerji miktarının iklimleri değiştirmesi yüzünden, günümüzde meydana gelen iklim değişimleri, eski çağlarda yaşanan iklim değişimlerinden çok farklı olmuştur. Geçmişte uzun yıllarda oluşan doğal olaylar günümüzde daha kısa sürede meydana gelmektedir. Örneğin, buzullaşma için 10.000 ila 20.000 yıl gibi bir süre gerekirken, sera gazlarının

atmosferde artmasının yol açmış olduğu küresel ısınma dünya üzerinde birkaç yüzyıl içinde çok ciddi değişikliklere sebep olabilmektedir.

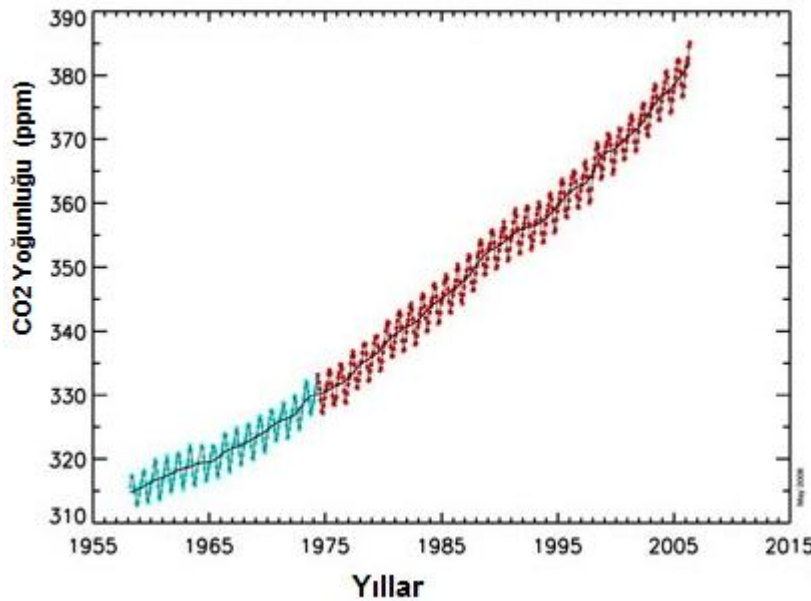
İklim değişikliği konusunda yapılan modellemelerin yanlış olabileceğini savunulan görüşlerde karşıt görüş olarak değerlendirilebilir. Örnek olarak; “Massachusetts Institute of Technology (MIT)”de tropikal meteoroloji uzmanı Richard Lindzen 2001 yılında yayımlamış olduğu bir makalesinde; geçmişe göre ortalama küresel sıcaklıkta bir artış yaşandığını, son 200 yıldır atmosferdeki karbondioksit oranının arttığını ve bu durumun küresel ısınmaya sebep olabileceğini belirtmekle birlikte, geçmişte yaşanan iklim değişikliklerini kesinlikle karbondioksit artışına bağlama ve gelecekteki iklimi tahmin etme durumunda olunamayacağını ileri sürmüştür. Lindzen, iklim modellerinin, su buharı ve bulutların sera etkisini telafi edici yönünü dikkate almadığı için, küresel sıcaklıkta yaşanması öngörülen artışların gereğinden fazla olacağını savunmaktadır.

Sonuç olarak, küresel ısınma konusunda çok çeşitli itirazlar ortaya çıkmıştır. Bu itirazların giderilebilmesi amacıyla iklim değişikliği hakkında bilimsel kurullar oluşturularak, küresel ısınma gerçeği bilimsel veriler ışığında ortaya konulmuştur.

1.1.3. Küresel Isınma Trendi, Projeksiyonlar ve Senaryolar

Küresel ısınma çerçevesinde yapılan tüm çalışmalar sonucu elde edilen verilerden, atmosfer içindeki sera gazı emisyonlarının giderek artan bir seyir izlediğini söylemek mümkündür. IPCC son olarak 2007 yılında yayımladığı dördüncü değerlendirme raporuna göre; yerküre ve okyanusların sıcaklığının arttığı, buzullarda erimeler meydana geldiği ve çevresel değişimin oldukça hızlı meydana geldiğini ifade etmektedir. IPCC raporları yanı sıra birçok ülkede iklim değişikliği üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Örnek olarak; Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi’nin (National Oceanic and Atmospheric Administration), Pasifik Okyanusu’nun ortasındaki Hawaii Adası’nda 3.500 metre yükseklikteki Mauna Loa isimli dağın zirvesinde kurulu olan gözlemevinde 1958 yılından bu yana yapılan ölçümlere göre, atmosfer içerisindeki karbondioksit birikimi çok hızlı biçimde artmaktadır. (Şekil 1.5) Mauna Loa gözlemevi haricinde Law Dome, Adalie Land, South Pole ve Siple gibi bir çok sabit istasyon ve atmosferin belirli yükseklikleri için uçaklarla sürekli olarak sera gazı ölçümleri yapılmakta ve sera gazı emisyonlarındaki artış bilimsel olarak ortaya konulmaktadır (Özçağ, 2011. s:12).

Şekil 1.5: Atmosferdeki CO₂ Yoğunluğunun Gelişimi



Kaynak: <http://www.licor.com/env/newsline/tag/keeling-curve/>, Erişim: 13.03.2012

Şekil 1.5'in ilk kısmındaki testere şeklindeki grafik Keeling eğrisi olarak adlandırılmaktadır². Şeklin testere olmasının sebebi bitkilerin karbondioksiti yazın atmosferden alarak kışın iade etmesinden kaynaklanmaktadır (Madra ve Şahin, 2007:30-33).

Şekil 1.5'ten izlenebileceği gibi 1950 yılında atmosferdeki CO₂ yoğunluğu 310 ppm (parts per million) iken, 2010 yılında 380 ppm'e yükselmiştir. 1900'lü yıllardan itibaren sanayileşme ile birlikte CO₂ yoğunluğunda meydana gelen artış önceki dönemin 15 katıdır (<http://www.brophy.net/weblog/pivot/entry.php?id=10>, Erişim:27.11.2011). Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan yıllık CO₂ emisyonu 1990 yılında 6.4 GtC (Giga Ton Carbon) iken 2000-2005 yılları arasında 7.2 GtC'a yükselmiştir. Bir diğer sera gazı olan Metan'ın sanayi öncesi dönemde 715 ppb (parts per billion-milyarda bir) atmosfer içindeki yoğunluğu, 1990'lı yılların başında 1732 ppb'ye yükselmiş, bu rakam 2005 yılında 1774 ppb seviyesine ulaşmıştır. Aynı dönemde Nitrit oksit ise 215 ppb'den 317 ppb'ye yükselmiştir (IPCC, 2007a: 2-3).

IPCC'nin IV. Değerlendirme Raporu'na göre (AR4); Karbondioksit emisyonlarında ortaya çıkan önemli artışlara bağlı olarak, 2100 yılına kadar ortalama yüzey sıcaklıklarında yaşanacak artışın yaklaşık olarak 3 C° olması, en iyi kestirme

² Charles David Keeling 1958'den itibaren 44 yıl boyunca düzenli olarak Mauna Loa (Hawaii) Gözlemevinde karbon ölçümleri yapan ve iklim değişikliğinin temelini karbondioksit olduğunu ileri süren bilim adamıdır (Keeling ve Whorf, 2005).

değeriyle 2 C° ile 4.5 C° aralığında olması beklenmektedir. Ayrıca birçok senaryo, gelecek 20 yıl için 0.2 C°/10 yıl oranında bir ısınmanın yaşanacağını öngörmektedir (IPCC, 2007a: 5). Deniz seviyesinin ise, 1990 ve 2100 yılları arasında 0.1 ile 0.9 metre arasında artacağı ileri sürülmektedir (EEA, 2003: 94).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin hazırladığı ve mevcut durumu anlatan raporların yanı sıra, küresel ısınmanın gelecek durumuyla ilgili ve emisyon azaltımı konusunda da çeşitli senaryolar hazırlamaktadır. IPCC'nin sera gazı emisyon azaltım senaryoları 1990 yılındaki ilk değerlendirme raporunda yer almıştır. 1990-2100 aralığı için hazırlanan bu ilk senaryolar, güncellenerek ve kapsamı genişletilerek 1992 yılında yayınlanmıştır. IS92 adıyla anılan bu emisyon senaryoları, atmosferik bileşim ve iklim üzerindeki değişimleri ele almaktadır. Bu çalışmaların amacı, 2100 yılına kadar ortaya çıkması öngörülen sera gazları salım artışları ve buna bağlı olarak atmosferdeki sera gazları oranlarının belirlenmesi; bu değerlerin çeşitli iklim modellerinde kullanılması sağlanarak atmosferdeki sera gazları artışının doğuracağı küresel ısınma ile yağış rejimlerinde ortaya çıkacak değişmelerin coğrafi bölgeler arasında nasıl bir dağılım sergileyeceğinin tespit edilmesi, kara ve deniz sıcaklıklarının tespit edilmesi ve iklim değişikliğinin olası sonuçlarının belirlenmesiydi.

Hazırlanan ilk senaryoların ardından IPCC, 1996 yılında yeni bir emisyon senaryosu hazırlamayı kabul etmiştir. Bu yeni senaryolar, Emisyon Senaryoları Özel Raporu (SRES-Special Report on Emission Scenarios) ismiyle adlandırılmaktadır. IPCC'nin 2001 ve 2007 yıllarında yayımladığı SRES Raporu içerisinde dört farklı senaryo ailesi ortaya konmuştur. Bu senaryoların detayları 2001 raporunda anlatılmış ve 2007 raporunda güncellenmiştir. Bu senaryolar; A1, A2, B1 ve B2 senaryolarıdır.

A1 Senaryo Grubu, dünya ekonomisinin yeni ve daha etkin teknolojilerin kullanılarak hızlı bir şekilde büyüyeceği, nüfus artışının yüzyılın ortasında en büyük değerine ulaşp daha sonra azalacağı, varsayımına dayanmaktadır. Bu senaryo ailesinde önemle vurgulanan alanlar; kişi başına gelirdeki bölgesel farklılıklarda ortaya çıkan önemli azalmayla birlikte bölgeler arasında yakınlaşma, kapasite gelişimi, kültürel ve sosyal ilişkilerdeki artış gibi konulardır. A1 Senaryo grubu, enerji sistemlerdeki farklı gelişmeleri göz önüne alan A1FI (fosil yoğun enerji teknolojileri), A1T (fosil kaynaklı olmayan enerji kullanımı) ve A1B (tüm kaynaklar arasında dengeli bir dağılım) alt senaryolarını içermektedir (IPCC, 2007a: SPM, s:18).

A2 Senaryo Grubu, çok hızlı bir nüfus artışı ile birlikte dengesiz ve yavaş ilerleyen bir ekonomik kalkınmayı, homojen olmayan bir dünyayı esas alan ve küresel ısınma ve çevresel değişim konularında mücadele için herhangi bir özel tedbirin alınmadığı bir yapıya sahiptir.

B1 Senaryo Grubu, A1 senaryosu ile aynı varsayımlara dayanmakta fakat fazla enerji tüketimine ihtiyaç duymayan, daha çok hizmet sektörüne ağırlık veren bir ekonomik gelişme öngörmektedir. Bu senaryoda, kaynakların daha etkin kullanımına dayanan temiz teknolojiler kullanılacaktır.

Son olarak B2 Senaryo Grubu ise; ekonomik, sosyal ve çevresel kapasitelerin daha çok yerel ölçekte çözümlendiği bir dünya anlayışına sahiptir (IPCC, 2007a: SPM, s:18).

IPCC'nin senaryolarının dünya nüfusuna ve ekonomisine ilişkin öngörülerini aşağıdaki tabloda verilmektedir:

Tablo 1.2: SRES 2001 Senaryolarının Ekonomik Tahminleri

Senaryo	Nüfus (Milyar Kişi)		Gayri Safi Hasıla (Trilyon \$)		Kişi Başına Gelir Oranı (Gelişmiş/Gelişmekte Olan Ülkeler)	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100
A1	8,70	7,04	164,5	518,8	2,8	1,5
A2	11,29	14,71	111,3	248,5	6,6	4,2
B1	8,7	7,04	135,6	328,4	3,6	1,8
B2	9,8	10,3	75,7	198,7	4	3

Kaynak: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/data/allscen.xls>, Erişim: 27.11.2011.

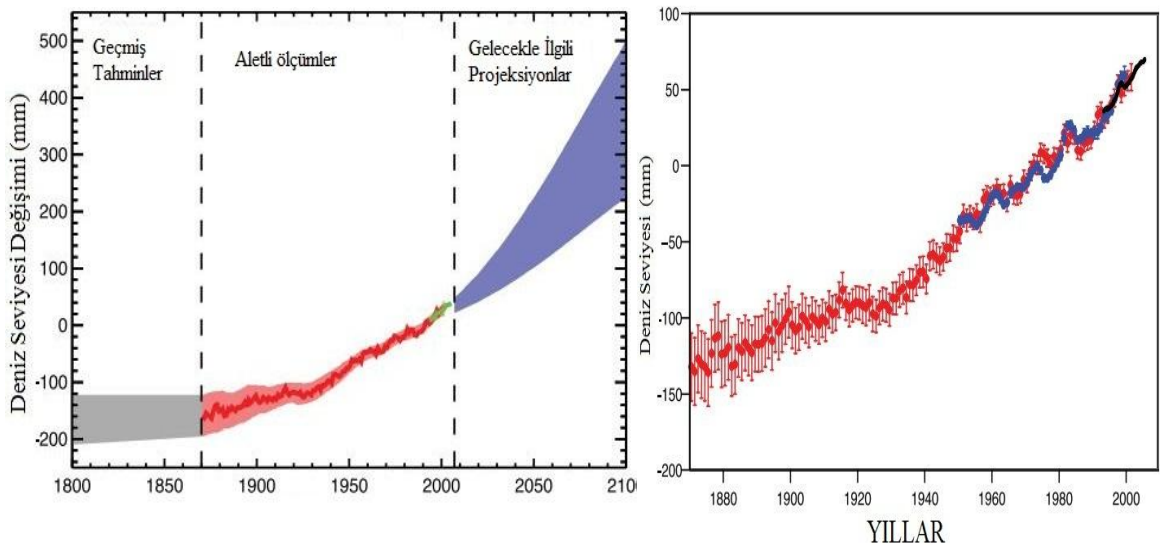
IPCC'nin hazırlamış olduğu Emisyon Senaryoları Özel Raporu (SRES)'nda, karbondioksit ve diğer sera gazları emisyonlarının gelecek yüzyılda önemli derecede artış kaydedeceği ifade edilmektedir. Rapora göre, önümüzdeki 20 yıl boyunca küresel sıcaklıkta her 10 yılda bir 0.2 C⁰'lık bir artış öngörülmektedir (IPCC, 2007a: 12). 21. yüzyılda dünyada ortaya çıkması öngörülen sıcaklık artışları ve deniz seviyesi değişimleri Tablo 1.3'te verilmektedir.

Tablo 1.3: 1980-1990 Dönemine Verileriyle SRES 2090-2099 Dönemi Tahminleri

Senaryo	Sıcaklık Değişimi (C ⁰)		Deniz Seviyesi Değişimi (mt)
	Tahmin	Aralık	
B1	1.8	1.1 - 2.9	0.18 - 0.38
A1T	2.4	1.4 - 3.8	0.20 - 0.45
B2	2.4	1.4 - 3.8	0.20 - 0.43
A1B	2.8	1.7 - 4.4	0.21 - 0.48
A2	3.4	2.0 - 5.4	0.23 - 0.51
A1FI	4.0	2.4 - 6.4	0.26 - 0.59

Kaynak : IPCC, 2007a. SPM, s.13.

Küresel ısınma düzeyinin en düşük olduğu (B1) senaryosuna göre, 2090-2099 yılları arasındaki sıcaklık artışının 1980-1990 dönemine göre 1.8 C⁰ olması öngörülmektedir. Bu sıcaklık artışının söz konusu dönemde 1.1 C⁰ ile 2.9 C⁰ aralığında olması beklenmektedir. Bu senaryoya göre ise, deniz seviyesinde 0.18-0.38 metre aralığında bir yükselme gerçekleşeceği hesaplanmıştır. Küresel ısınma düzeyinin en yüksek olduğu A1FI senaryosuna göre ise, dünya yüzey sıcaklığının 4 C⁰ artması beklenmekte, deniz seviyesinde ise 0.26-0.59 metrelik bir yükselme öngörülmektedir. Bu durum Şekil 1.6'da gösterilmiştir.

Şekil 1.6: Deniz Seviyelerinde Değişim Trendi

Kaynak: IPCC, 2007a. s:409-410.

Şekil 1.6 panelin birinci kısmında 1980-1999 yılları baz alınarak oluşturulmuş deniz seviyesinde meydana gelen değişimler verilmiştir. 1800-1870 yılları arası tahmini olarak yazılmış, 1870–2000 yılları arasında ise aletli ölçümlere dayalı (Gel – Git ölçeği)

değişimler verilmiştir. 2000–2100 yılları arası deniz seviyesi değişim değerleri SRES A1B senaryosu kullanılarak tahmin edilmiştir. Panelin ikinci kısmı ise yıllık ortalama deniz seviyesi değerleri kullanılarak elde edilmiştir. 1870-1950 yılları arası değerler Church ve White (2006)' ın çalışmasından, 1950 ve sonrası değerler ise Holgate ve Woodworth (2004) ve Leuliette vd. (2004) çalışmalarından alınmış olup % 90 güven aralığı içerisinde olan değerlerdir.

SRES Senaryoları'na göre, atmosferik karbondioksit emisyonundaki yoğunluğun artması, okyanusların asitlik seviyesini yükseltmektedir. Yapılan tahminlere göre, okyanusların PH değerinin azalarak 21. yüzyılda 0.14 ile 0.35 arasında azalması öngörülmektedir. Okyanusların pH değerinin azalması asitlik derecesinin yükselmesi anlamına gelecek, asitlik derecesinin yükselmesi ve ısısının artması ile karbon yutma özelliğini zamanla kaybedecektir (IPCC, 2007a. SPM, s:14).

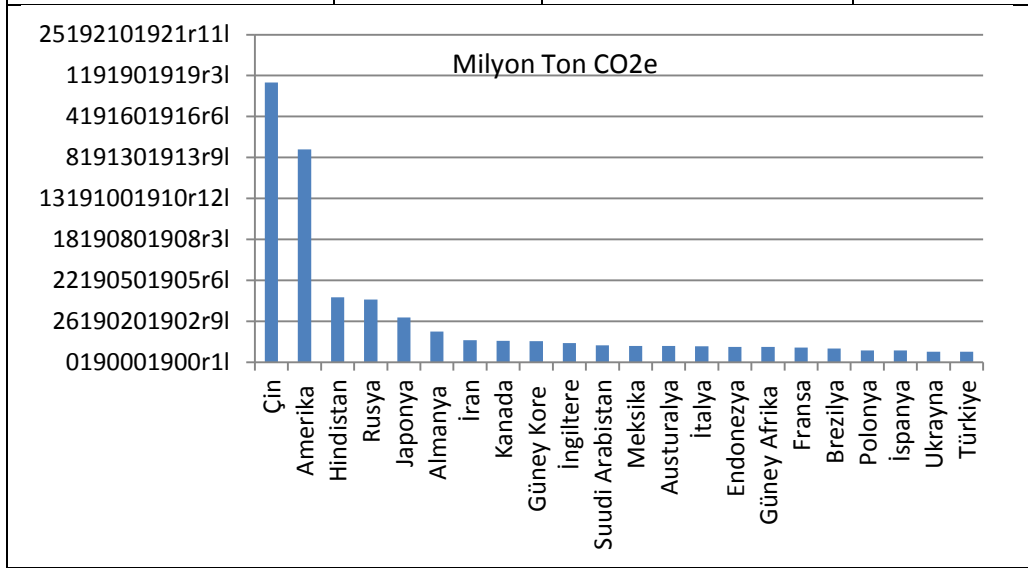
1.1.4. İklim Değişikliğine Neden Olan Sera Gazlarının Dünya Genelindeki Trendi ve Artışının Nedenleri

İnsanoğlu, sınırsız ihtiyaçlarını karşılamak için gereksinim duyduğu hammaddeleri doğadan temin etmesi, üretim sürecinde fosil kaynaklı enerji kullanılması, üretim ve tüketim sürecinde oluşan atıkların çevreye bırakılması, dünya nüfusunun artması, ormanlara ve çevreye zarar vermesi sonucunda küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunsalı ile karşı karşıya kalmıştır. Bu durumlar genel olarak değerlendirildiği zaman küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunun temelinde insan kaynaklı bir sorundur.

Tablo 1.4'te 2009 yılında insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının ülkelere göre dağılımı ve dünya genelinde meydana gelen toplam miktar verilmiştir. Tablo 1.4'ten izlenebileceği gibi en fazla sera gazı salımı yapan ilk beş ülke Çin, Amerika, Hindistan, Rusya ve Japonya'dır. Bu ülkeler toplam 16,235 milyon Ton CO₂e salımı yapmakta ve toplam sera gazı salımında % 55.9'luk paya sahiptirler. Türkiye ise 2009 yılında 256 milyon Ton CO₂e salımı yapmıştır ve toplam sera gazı salımında binde sekizlik (% 0.8) paya sahiptir.

Tablo 1.4: 2009 Yılında CO₂ Emisyonu Yüksek Olan Ülkeler (Mt CO₂e)*

1-Çin	6,831	12-Meksika	399
2-Amerika	5,195	13-Austuralya	394
3-Hindistan	1,585	14-İtalya	389
4-Rusya	1,532	15-Endonezya	376
5-Japonya	1,092	16-Güney Afrika	369
6-Almanya	750	17-Fransa	354
7-İran	533	18-Brezilya	337
8-Kanada	520	19-Polonya	286
9-Güney Kore	515	20-İspanya	283
10-İngiltere	465	21-Ukrayna	256.39
11- Suudi Arabistan	410	22-Türkiye	256.31
Dünya Toplam	28,999		



Kaynak : IEA, KWES (Key World Energy Statistics), 2011, s. 48-57. Tablodaki değerler yazar tarafından oluşturulmuştur.

*: Arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri ve ormancılık sektörünün sera gazı azaltımı değişiklikleri dahil.

İnsanoğlunun daha yüksek bir refah düzeyi elde etmek için doğaya zarar verme süreciyle, insan kaynaklı bu faktörlerin tamamı, küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır. İnsan kaynaklı çevresel sorunlara yol açan nedenler arasında; fosil kaynaklı enerji kullanımı, sanayileşme ve kentleşme, nüfus artışı, arazi kullanım değişiklikleri ve tarım-hayvancılık faaliyetleri düşünülebilir.

1.1.4.1. İklim Değişikliğinde Enerji Kaynaklı Emisyonlar, Enerji Arz Trendi ve Projeksiyonlar

Enerji üretim sürecinde en önemli girdilerden birisidir. Üretim yapacak firmalar ve hane halkları gereksinim duyduğu enerjiyi fosil kaynaklı yakıtlardan ya da yenilenebilir enerji kaynaklarında temin etmek durumundadır. Karlarını maksimize etmek isteyen firmalar ve refah düzeyini yükseltmek isteyen hane halkları için en ucuz enerji kaynağına yönelmek kaçınılmaz olacaktır. Enerji kullanımının sonucu ortaya

çıkan sera gazlarının küresel ısınmaya yol açtığı aşıkardır. Farklı enerji türlerinin de farklı türlerde ve miktarlarda sera gazı salımının olduğu bilinmektedir. Karar vericiler ülkede kullanılan enerji miktarını ve gelecekte meydana gelecek olan enerji talebini bilirlerse sera gazı emisyonunu tahmin etmekleri o denli kolay olacaktır.

Toplam Birincil Enerji Arzı (Total Primary Energy Supply – TPES) ve Toplam Nihai Enerji Tüketimi (Total Final Energy Consumption – TFC) enerji arz ve tüketimi konularında en sık kullanılan değişkenlerdir.

Toplam Birincil Enerji Arzını aşağıdaki şekilde formüle etmek mümkündür:

$$\text{TPES} = \text{Yurtiçi Enerji Üretim} + \text{Enerji İhracatı} - \text{Enerji İthalatı} - \text{Uluslararası Deniz Taşımacılığında Kullanılan Enerji} \pm \text{Stok Değişimleri}$$

Toplam Nihai Enerji Tüketimi (TFC) ise, bir ekonominin tüm sektörlerinde tüketilen toplam enerji miktarını ifade etmektedir.

Toplam birincil enerji arzı ve toplam nihai enerji tüketiminin gelişimine bakıldığında, giderek artan ihtiyaçların karşılanabilmesi, ekonomik büyümenin sağlanabilmesi ve nüfus artışının da etkisiyle 2008 küresel ekonomik krizin olduğu yıl hariç sürekli olarak artan bir trendin ortaya çıktığı gözlenmektedir.

Tablo 1.5: Toplam Birincil Enerji Arzındaki Değişmeler (1975-2009)

Yıllar	TPES (mtoe)
1975	6 230
1980	7 257
1985	7 792
1990	8 741
1995	9 280
2000	10 108
2001	10 159
2002	10 380
2003	10 723
2004	11059
2005	11435
2006	11741
2007	12029
2008	12267
2009	12150

Kaynak : Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'ndan derlenmiştir. (Key World Energy Statistics-KWES)

Tablo 1.5'ten izlenebileceği gibi 1975'li yıllardan sonra dünya genelinde artan enerji arzının günümüzde iki katına çıktığı görülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın verilerine göre, 1975'li yılların başında dünya genelinde 6230 mtoe olan

Birincil Enerji Arzı Toplamı (TPES) 2009 yılında 12150 mtoe'ye yükselmiştir. 1975-2009 arası dönemde TPES % 95 düzeyinde bir artış göstermiştir.

Tablo 1.6: Toplam Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı (%)

Yakıt Türü	2007	2009
Petrol	34	32.8
Kömür	26.5	27.2
Doğalgaz	20.9	20.9
Hidroelektrik	2.2	2.3
Nükleer	5.9	5.8
Güneş, Rüzgar, Jeotermal ve diğer	10.5	11

Kaynak: IEA, 2011. "Key World Energy Statistics 2011", s: 8.

Tablo 1.6'dan görüldüğü gibi toplam birincil enerji arzı içerisinde fosil kaynaklı yakıtlar önemli bir yer işgal etmektedir. Tablo 1.6'da, 2007 yılında dünya genelinde toplam birincil enerji arzının yaklaşık % 81'i; kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtlardan karşılandığı görülmektedir. 2009 yılında ise bu oran % 80,9'dur. Fosil kaynaklı yakıtların toplam kaynaklar içindeki bu yüksek oranı, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda üretimde temel girdilerden birinin enerji olduğu dikkate alınırsa enerji kullanımının belirleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmasının en önemli nedenini oluşturmaktadır.

Tablo 1.7: Toplam Nihai Enerji Tüketimindeki Değişimler (1971 – 2009)

Yıllar	TFC (mtoe)
1971	3556
1985	4786
1990	5315
1995	5609
2001	6995
2004	7644
2005	7912
2006	8084
2007	8286
2008	8428
2009	8352

Kaynak : Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) yayınlarından derlenmiştir. (KWES)

Tablo 1.7'den izlenebileceği gibi 1970'li yıllarda 3556 mtoe olan toplam nihai enerji tüketimi 2009 yılına gelindiğinde 8352 mtoe seviyesine yükselmiştir.

Tablo 1.8: Toplam Nihai Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı (2007)

Yakıt Türü	2007 (%)	2009
Petrol	42,6	41,4
Kömür	8,8	9,9
Doğalgaz	15,6	15,1
Elektrik	17,1	19,9
Yenilenebilir Kaynaklar ve Atıklar	12,4	12,9
Diğer *	3,5	3,8

Kaynak : IEA, 2010-2011. “Key World Energy Statistics 2011”, s: 37.

* : Elektrik, Jeotermal, güneş ve rüzgar

Tablo 1.8’de görüldüğü üzere; 2007 yılı toplam nihai enerji tüketiminin % 42,6’sı petrol, % 15,6’sı doğalgaz ve % 8,8’i de kömür gibi kaynaklardan karşılanmaktadır. 2009 yılında ise toplam nihai enerji tüketiminin % 41,4’i petrol, % 15,1’i doğalgaz ve % 9,9’ı de kömür gibi kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu da göstermektedir ki, toplam nihai enerji tüketiminin 2007 yılında % 67’si, 2009 yılında % 66,4’ü fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanmaktadır (IEA, 2009b: 28, IEA, 2011: 37).

2007 yılında toplam nihai enerji tüketiminde % 17’lik bir paya sahip olan elektrik enerjisi tüketimi de fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanmaktadır. 1973 yılında 6115 TW (Tera Watt) olan dünya elektrik üretiminin % 38,3’ü kömürden, % 24,7’s petrolden, % 12,1’i doğalgazdan karşılanırken, 2007 yılına gelindiğinde 19771 TW olan dünya elektrik üretiminin % 41,5’i kömürden, % 5,6’sı petrolden ve % 20,9’u doğalgazdan, 2009 yılında ise 20055 TW’lık elektrik enerjisinin % 40,6’sı kömürden, % 5,1’i petrolden ve % 21,4’ü doğalgazdan karşılanır hale gelmiştir (IEA, 2003: 24, IEA, 2009b: 24, IEA, 2011: 24). Görüldüğü üzere, 1973 yılında dünya elektrik tüketiminin % 75’i fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanırken, 2007 yılında bu oranın % 67, 2009 yılında ise % 66 seviyesine gerilemesine rağmen, elektrik üretimi içindeki fosil kaynaklı üretimin yüksek payı halen devam etmektedir.

Tablolardan görüldüğü üzere, Dünya genelinde üretilen enerjinin % 80,9’u ve tüketilen enerjinin % 68’i fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilmekte olup en büyük payları almaktadırlar. Bu durum, fosil kaynaklı enerji kullanımı ile günümüzün ve geleceğin en önemli çevresel sorunu olarak nitelendirilebilecek olan küresel ısınma iklim değişikliği arasındaki ilişkiye temel oluşturmaktadır.

Bölgeler ve ülke grupları açısından değerlendirildiğinde enerji üretimi ve tüketimi farklılık göstermektedir. Tablo 1.9’da toplam nihai enerji tüketiminin bölgelere göre dağılımı görülmektedir.

Tablo 1.9: Toplam Nihai Enerji Tüketiminin Bölgelere Göre Dağılımı

Ülke / Ülke Grubu	2007 (%)	2009 (%)
OECD	45,5	43.3
Çin	15,2	18.7
Çin Dışı Asya Ülkeleri	11,5	12.0
Eski SSCB	8.7	8.6
Afrika	5.6	5.5
Latin Amerika	5.1	4.4
Orta Doğu	4.4	4.8

Kaynak: IEA, 2011. “Key World Energy Statistics 2011”, s: 8.

2007 yılı toplam nihai enerji tüketiminin % 45,5’i OECD ülkelerinde, % 15,2’si Çin’de, % 11,5’i Çin dışı Asya ülkelerinde, % 8,7’si de Eski Sovyetler Birliği ülkelerinde gerçekleştirilmiş, Afrika, Latin Amerika ve Ortadoğu’da sadece % 5’lik nihai enerji tüketimi gerçekleşmiştir. 2009 yılında ise toplam nihai enerji tüketiminin % 43,3’ü OECD ülkelerinde, % 18,7’si Çin’de, % 12’si Çin dışı Asya ülkelerinde, % 8,6’sı da Eski Sovyetler Birliği ülkelerinde gerçekleştirilmiştir. Tablo 1.9’da açıkça görülmektedir ki, enerji tüketiminin çok büyük bir kısmı gelişmiş ve gelişmekte olan ülke gruplarında yoğunlaşmaktadır. Ayrıca Çin başta olmak üzere Asya ülkelerinde 2009 yılında 2007’ye göre nihai enerji tüketiminin arttığı görülmektedir.

Enerji alanında yapılan projeksiyonlar, enerji arzı ve talebinde ortaya çıkan bu artış trendinin gelecekte de devam edeceğini göstermektedir. Tablo 1.10’da Uluslararası Enerji Ajansı’nın hazırlamış olduğu Referans Senaryosu çerçevesinde yapılan hesaplamalara göre, dünya genelinde 2005-2030 yılları arasında birincil enerji talebinin, enerji türlerine göre ne şekilde değişim göstereceğine ilişkin tahminler yer almaktadır.

Tablo 1.10: Toplam Birincil Enerji Talebinin Geleceği (mtoe)

Yakıt Türü	Yeni Politikalar Senaryosu				Mevcut Politikalar Senaryosu		450 Senaryosu	
	1980	2008	2020	2035	2020	2035	2020	2035
Kömür	1792	3315	3966	3934	4307	5281	3743	2496
Petrol	3107	4059	4346	4662	4443	5026	4175	3816
Doğalgaz	1234	2596	3132	3748	3166	4039	2960	2985
Nükleer Enerji	186	712	968	1273	915	1081	1003	1676
Hidroelektrik	148	276	376	476	364	439	383	519
Biyomas ve Atıklar	749	1225	1501	1957	1461	1715	1539	2316
Diğer Yenilenebilir Kaynaklar	12	89	268	699	239	468	325	1112
Toplam	7229	12271	14556	16768	14896	18048	14127	14920

Kaynak : IEA, 2010a. "World Energy Outlook 2010", s: 80.

Tablo 1.10'da Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2010 yılında hazırlamış olduğu toplam birincil enerji talebinin farklı senaryolar altındaki trendleri verilmiştir. Mevcut durumda yani referans senaryoya göre dünya genelinde toplam birincil enerji talebi 2020 yılında 14,8 milyar tona, 2035 yılında ise 18,0 milyar ton olacaktır. 2007 yılında kullanılan Alternatif Senaryo, 2010 yılında "450 senaryo" olarak isimlendirilmiştir. Bu senaryonun varsayımları; 2030 yılında atmosferde CO₂'nin 450 ppm olarak kalacağı, küresel sıcaklığın 2⁰'yi aşmayacağı, araç satışlarında % 60 oranında hibrid araçların olacağı gibi (2010 yılında hibrid araç oranı % 1'dir.) iyimser varsayımları içermektedir (<http://www.energyboom.com/emerging/ieas-450-scenario-outlines-energy-actions-needed-mitigate-climate-change>, Erişim:30.11.2011). "450 senaryo" da toplam birincil enerji talebi 2020 yılında 14,1 milyar tona, 2035 yılında ise 14,9 milyar ton olacaktır ve diğer senaryolara göre oldukça düşüktür. Ayrıca bu senaryo küresel ısınmaya karşı önlemler almayı varsaydığı için yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılında 2008 yılına göre % 1149 artacaktır. Yeni Politikalar Senaryosuna göre dünya genelinde toplam birincil enerji talebi 2020 yılında 14,5 milyar tona, 2035 yılında ise 16,7 milyar ton olacaktır.

Tablo 1.10'dan izlenebileceği gibi, 2008-2035 yılları arasında dünya birincil enerji talebi mevcut senaryoya göre % 47 oranında artış kaydedecektir. Hesaplamalara göre, talep artışının yaklaşık % 70'i ise gelişmekte olan ülkelerden kaynaklanacaktır.

OECD ülkelerinin talep artışı % 25 olacak, kalan miktar ise geçiş ekonomilerince karşılanacaktır. Gelişmekte olan ülkelerde ortaya çıkacak olan talep artışının kaynağı ekonomik büyüme nüfus artış trendi olacaktır.

Birincil enerji arzının yakıt türleri açısından gelecek dönemlere ilişkin yapılan senaryolarda, nasıl bir dağılım sergileyeceği konusu da uygulanacak enerji politikaları açısından büyük önem taşımaktadır. Çünkü farklı enerji türlerinin emisyon miktarlarında farklıdır. Tablo 1.11’de, 2010 ve 2030 yıllarında dünya enerji talebine ilişkin projeksiyonlar görülmektedir.

Tablo 1.11: TPES Senaryolarına Göre Yakıt Türlerinin Alacağı Paylar(%)

Yakıt Türü	2010	2030	2035
Petrol	35,3	35,0	29.8
Kömür	22,7	21,8	29.3
Doğalgaz	22,2	25,0	22.4
Nükleer Enerji	6,4	4,6	6.0
Hidroelektrik Enerjisi	2,3	2,2	2.4
Diğer Yakıt Türleri	11,2	11,3	11.8

Kaynak: IEA, 2005b. “Key World Energy Statistics 2005”, p: 46.

IEA, 2011. “Key World Energy Statistics 2011”, p: 46.

Tablo 1.11’den görülebileceği gibi hazırlanan senaryolara göre, gelecek dönemlerde de fosil kaynaklı yakıtların toplam birincil enerji arzı içinde sahip oldukları büyük pay kısmen azalsa da değişmeyecektir. Fosil kaynaklı yakıtların gelecek yıllarda da bu denli yoğun bir şekilde kullanımı, doğal olarak enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarında da artışlar ortaya çıkaracaktır. İnsan kaynaklı iklim değişikliği ve küresel ısınma açısından bu olumsuz tabloların mevcut olumsuz durumu daha da kötüleştireceği, atmosferdeki sera gazlarının daha da artacağı şimdiye kadar aktarılan bilgiler ışığında, açıkça görülmektedir.

Tablo 1.12’de, Referans, Alternatif Politika ve Yüksek Büyüme Senaryoları’na göre, 2015 ve 2030 yıllarında enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarında ortaya çıkması öngörülen gelişmeler gösterilmektedir.

Tablo 1.12: Enerji Kaynaklı CO₂ Emisyonlarının Geleceği (Milyar ton)

Ülkeler	2005	Referans Senaryosu		Alternatif Politika Senaryosu		Yüksek Büyüme Senaryosu	
		2015	2030	2015	2030	2015	2030
OECD	12,8	14,1	15,1	13,2	12,5	13,9	14,6
Geçiş Ekonomileri	2,5	3,0	3,2	2,9	2,8	3,0	3,2
Gelişmekte Olan Ülkeler	10,7	16,4	22,9	15,2	17,9	17,4	26,3
Dünya*	26,6	34,1	41,9	31,9	33,9	39,9	44,8
Dünya**	29,2	35,4	40,0	31,9	24,9	32,7	35,0

Kaynak : IEA, 2007a. “World Energy Outlook 2007”, s: 199.

IEA, 2010. “World Energy Outlook 2010”, s: 624-695.

Not:* 2007 yılında hazırlanan senaryolardaki öngörülen emisyonu, ** 2010 yılında hazırlanan senaryolardaki öngörülen emisyonu belirtir.

Hükümetlerin mevcut emisyon trendini değiştirmek için herhangi bir ek önlem almamaları durumunda olması beklenen durum Referans Senaryo ile ifade edilmektedir. Referans senaryoya göre, dünya genelinde enerji kaynaklı CO₂ emisyonu 2015 yılında 34,1 milyar tona, 2030 yılında ise 41,9 milyar ton olacaktır. Uluslararası Enerji Ajansı’nın hazırlamış olduğu ve 2000 yılından itibaren kullanılan Alternatif Politika senaryosuna göre ise, enerji kaynaklı CO₂ emisyonunun geleceği, Referans senaryosuna göre daha düşük gerçekleşmektedir. Çünkü, Alternatif Politika Senaryosu’nun, hükümetlerin enerji güvenilirliği ve çevresel sürdürülebilirlik için enerji talebinde yaşanması muhtemel artışlar karşısında yeni önlemler almaları varsayımıdır. Yüksek büyüme Senaryosu ise, dünya ekonomilerinin hızlı bir şekilde büyümeleri varsayımı altında enerji talebinin artacağı varsayımıyla hazırlanmaktadır.

Tablo 1.12 son satırında Uluslararası Enerji Ajansı’nın 2010 yılında hazırlamış olduğu emisyon trendleri verilmiştir. Mevcut durumda yani referans senaryoya göre dünya genelinde enerji kaynaklı CO₂ emisyonu 2015 yılında 35,4 milyar tona, 2030 yılında ise 40,0 milyar ton olacaktır. Alternatif senaryo 2010 yılında “450 senaryo” olarak isimlendirilmiştir. Bu senaryonun varsayımları; 2030 yılında atmosferde CO₂’nin 450 ppm olarak kalacağı, küresel sıcaklığın 2⁰’yi aşmayacağı, araç satışlarında % 60 oranında hibrid araçların olacağı gibi (2010 yılında hibrid araç oranı % 1’dir.) iyimser varsayımları içermektedir (<http://www.energyboom.com/emerging/ieas-450-scenario-outlines-energy-actions-needed-mitigate-climate-change>, Erişim:30.11.2011). Alternatif

senaryoda 2030 yılı emisyonu 24,9 milyar tondur ve diğer senaryolara göre oldukça düşüktür. Yüksek Büyüme Senaryosu 2010 yılında “Yeni Politikalar Senaryosu” olarak isimlendirilmiştir. Yeni Politikalar Senaryosuna göre dünya genelinde enerji kaynaklı CO₂ emisyonu 2015 yılında 32,7 milyar tona, 2030 yılında ise 35,0 milyar ton olacaktır.

2005 yılında enerji kaynaklı CO₂ emisyonunda en büyük kirletici ülkeler, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Rusya, Japonya ve Hindistan’dır. 2015 ve 2030 yıllarında bu sıralamanın sırasıyla Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan, Rusya ve Japonya olarak değişmesi öngörülmektedir (Özçağ, 2011: 25).

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin gelecekte çok önemli tehditler oluşturabileceği düşünülürse, gelecekteki enerji politikalarının gözden geçirilmesi önem arz etmektedir. Üretim sürecinde kullanılan enerji türlerinin emisyon miktarları farklılık arz etmekle birlikte, dünya genelinde giderek artış trendi izleyen enerji talebinin karşılanmasında yeni enerji türlerinin arayışı da hızlanmıştır. Emisyon azaltımı için, günümüze kadar yoğun bir şekilde kullanılan fosil kaynaklı yakıtlar içerisinde emisyonu en düşük olan yakıt türüne yönelinmektedir ve bu kaynaklara alternatif olarak ortaya atılan güneş, rüzgar, su, buhar ve biyomas gibi yenilenebilir kaynaklar, enerji kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan çevresel sorunların azaltılmasında önem kazanmaya başlamışlardır. Çünkü bu tür enerji kaynakları, fosil kaynaklı yakıtlara göre çok daha az ya da hiç kirletici emisyon salımı yapmamakta bu nedenle de çevre dostu enerji kaynakları olarak nitelendirilmektedirler.

1.1.4.2. Enerji Arzında Fosil Kaynaklı Enerji Kullanımı

Sanayi devriminden itibaren üretim faktörü olarak insan unsuru yerine makinelerin kullanılmasıyla, gün geçtikçe artan insan nüfusu ve çeşitlenen sınırsız sayıdaki ihtiyaçlarının karşılanması sürecinde enerji talebi doğurmuştur. Ekonomik sistemin devam ettirilebilmesi için temel girdilerinden biri konumunda olan enerjinin elde edilmesi, dönüştürülmesi ve kullanılması aşamalarının her birisi çevre üzerinde olumsuz etkilere sahiptir.

İhtiyaç duyulan enerjinin elde edilebilmesi için enerji kaynaklarının doğadan çıkartılıp ekonomik sistem içerisine sokulması, özellikle yenilenemeyen doğal kaynakların yoğun olarak kullanılması ve enerjinin kullanımı sonucu oluşan atıkların

doğaya bırakılması çevre açısından son derece zararlı olan kirlilik sorununu da beraberinde getirmektedir. Üretim sürecinde enerji konusu bu açıdan değerlendirildiğinde, bu girdinin insanoğlunun doğayı tahrip sürecinde en önemli faktör olduğu söylenebilir.

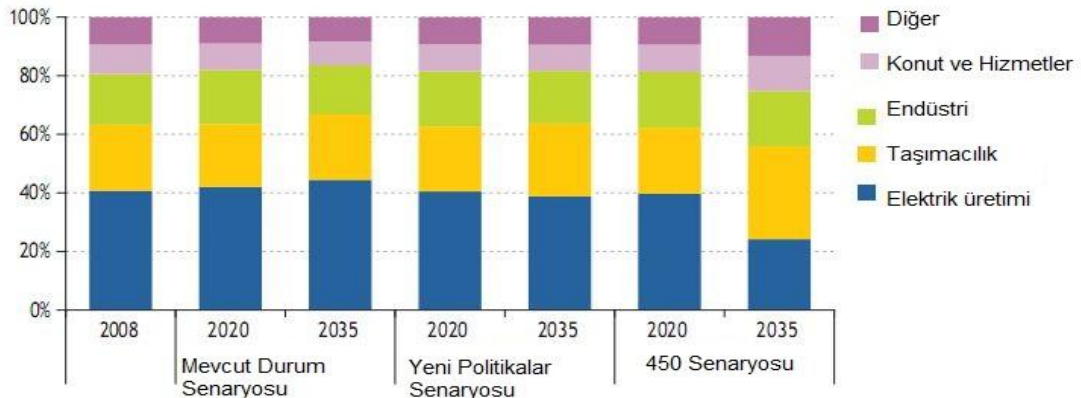
Enerji girdisinin çevre üzerinde oluşturduğu en olumsuz etki, üretim aşamasında fosil kaynaklı yakıt kullanımı sonucu olarak açığa çıkan ve “sera gazları” olarak bilinen karbondioksit, metan, azotoksit gibi çeşitli gazların salımı, atmosfer içindeki yoğunluklarını arttırmaları ve bu artışa paralel olarak en önemli çevre sorunlarından biri olan küresel ısınmaya yol açmasıdır. Sera gazları içerisinde en büyük paya sahip olması nedeniyle karbondioksit gazı, iklim değişikliği konusunda üzerinde en fazla durulan gaz türüdür. Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunu incelenirken bu soruna yol açan temel faktör olarak, enerji temini için fosil kaynaklı yakıt kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan karbondioksit emisyonu gösterilmektedir. Enerji temini için fosil kaynaklı yakıt kullanımı sonucu, enerji tüketimine bağlı karbondioksit emisyonu seviyelerinde giderek artan bir trend ortaya çıkmıştır.

Tablo 1.13: Enerji Kaynaklı CO₂ Emisyonlarının Sektörel Dağılımı (%)

	1990	2007	2008
Enerji Üretimi	36	41	40
Taşımacılık	22	23	22
Sanayi	19	17	18
Konut ve Hizmetler	14	10	12
Diğer Faaliyetler	10	10	8

Kaynak : IEA, 2009a. s: 17, IEA, 2010a. (World Energy Outlook 2010), s: 418

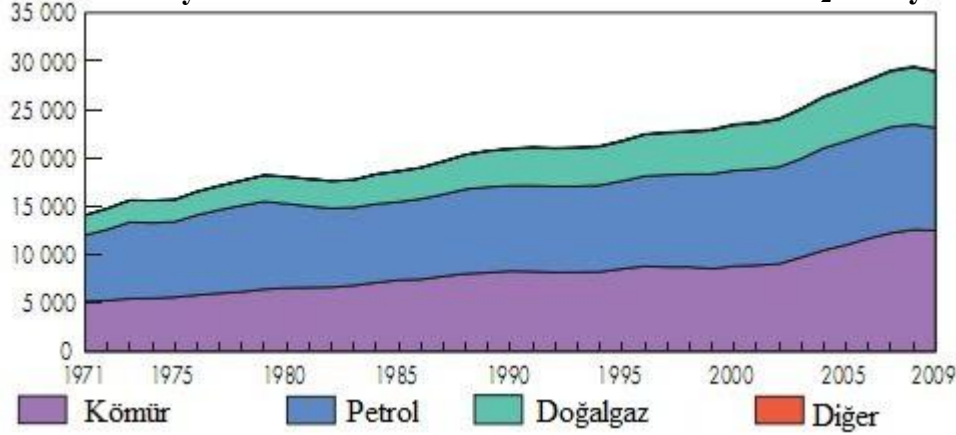
Şekil 1.7: Enerji Kaynaklı CO₂ Emisyonlarının Sektörel Dağılımı ve Senaryolar



Kaynak: IEA, 2010a. (World Energy Outlook 2010), s:418.

Tablo 1.13'ten izlenebileceği gibi enerji üretimi, CO₂ emisyonuna yol açan en önemli ekonomik faaliyettir. Enerji üretimini taşımacılık, sanayi, konut ve hizmetler ve diğer faaliyetler almaktadır. Taşımacılık ve sanayi sektörlerinde de enerji tüketiminin önemli payı olduğuna dikkat edilmelidir. Şekil 1.7'de Uluslararası Enerji Ajansının hazırladığı üç farklı senaryo sonuçları verilmiştir. Mevcut durum senaryosu ve Yeni politikalar senaryosuna göre enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarının sektörel dağılımının çok fazla değişmediği fakat çevresel tedbirler almayı varsayan 450 senaryosuna göre ise elektrik üretiminde kaynaklanan emisyonların önemli ölçüde azaldığı, taşımacılık sektöründen kaynaklanan emisyonların ise önemli ölçüde arttığı göze çarpmaktadır.

Şekil 1.8: Dünyada 1971-2009 Arasında Yakıt Türlerinin CO₂ Emisyonu (Mt CO₂)



Kaynak: IEA, 2011. "Key World Energy Statistics, 2011", s: 44.

Tablo 1.14: Farklı Yakıt Türlerinin CO₂ Emisyonu Dağılımı (%)

Yakıt Türü	1973	2007	2009
Petrol	50,6	37,6	36,7
Kömür	34,9	42,2	43,0
Doğalgaz	14,4	19,8	19,9
Diğer Yakıt Türleri	0,1	0,4	0,4
Toplam Emisyon (Mt CO ₂)	15661	27136	28999

Kaynak : IEA, 2011. "Key World Energy Statistics, 2011", s: 44.

IEA, 2009b. "Key World Energy Statistics, 2009", s: 44.

Şekil 1.8 ve Tablo 1.14'ten izlenebileceği gibi, 1973 yılında 15661 Mt CO₂ olan karbondioksit emisyonunun % 50,6'si petrol tüketiminden kaynaklanmaktadır. Kömür tüketimi sonucu açığa çıkan CO₂ emisyonunun toplam emisyon içindeki payı % 34,9 doğalgazın payı ise % 14,4 seviyesinde olduğu görülmektedir. 2007 yılına gelindiğinde yakıt tüketimine bağlı ortaya çıkan karbondioksit emisyonu miktarı 27136 Mt CO₂ seviyesine yükselmiştir. Petrolün sahip olduğu pay 2007 yılında azalma gösterirken,

birinci sırayı kömür almış, diğer yakıt türlerinin paylarında ise artışlar gözlenmiştir. 2009 yılında ise yakıt tüketimine bağlı ortaya çıkan karbondioksit emisyonu miktarı 28999 Mt CO₂ olarak kaydedilmiştir. Enerji üretiminde fosil yakıtların payının % 99 seviyelerinde olması ve 1973'ten bu yana kullanımında önemli değişiklikler olmaması bu sorunun devam edeceğine dair bir belirti sayılabilir.

Enerji ve iklim değişikliği ilişkisinde üzerinde önemle durulması gereken konulardan biri de “Enerji Yoğunluğu”dur. Enerji yoğunluğunun temel mantığı, ekonomide birim çıktı başına kullanılan enerji miktarını ifade etmesidir. Yüksek bir enerji yoğunluğu, üretim sürecinde bir birimlik çıktı elde edebilmek için daha fazla enerjinin kullanıldığı anlamına gelmektedir. Enerji yoğunluğunun yüksek olması ise, literatürde iklim değişikliğine yol açan temel unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir. Gelişmiş ülkelerde düşük seviyelerde olan enerji yoğunluğu, gelişmekte olan ve azgelişmiş ülkelerde daha yüksek oranlarda seyretmektedir. Enerji yoğunluğu açısından gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ortaya çıkan bu farklılığın temel nedenleri, gelişmiş ülkelerin diğer ülkelere göre daha yüksek teknolojilerle üretim yapma imkanlarının bulunması, enerjiyi daha etkin kullanma şanslarının olması ve bu ülkelerde hizmetler sektörünün diğer sektörlerle göre daha yüksek bir paya sahip olmasıdır. Nitekim, geri kalmış teknolojilerle yapılan enerji üretimleri, hem hammaddeyi yeterince yararlanılamaması sonucunu doğurmakta, hem de üretim sürecinde çok daha fazla kirlenici emisyonların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Özellikle termik santrallerle yapılan enerji üretim sürecinde baca filtrelerinin kullanılmaması, çok daha fazla miktarda emisyon salımına neden olmaktadır. Diğer taraftan, ekonomik büyüme ve kalkınma sürecinin ilerleyen safhalarına geçildikçe hizmetler sektörünün ekonomide daha yüksek bir pay almaya başlaması, bu ülkelerin enerji yoğunluğunu düşüren faktörlerden birini oluşturmaktadır. Çünkü hizmetler sektörü, diğer sektörlerle nazaran daha az enerji talebinde bulunmakta, buna bağlı olarak da düşük enerji tüketimiyle daha fazla katma değer yaratmaktadır.

1.1.4.3. Sanayileşme

Sanayi Devrimi'nden itibaren ülkeler, makineler kullanılmasıyla üretim düzeylerini arttırarak hızlı bir ekonomik büyüme süreci içine girmişlerdir. Bu büyüme sürecinin devam etmesi için enerji ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Sanayileşme ile birlikte üretim sürecinin başlangıcında enerji tüketimi artmış ayrıca üretimden kaynaklanan

atıklar gündeme gelmiştir. Üretimde enerjinin kullanımı sırasında atmosfere sera gazı salımı yapılmakta, hem de ekonomik çıktı elde edildikten sonra çeşitli sanayi atıkları çevreye bırakılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, sanayileşme ile birlikte atmosfer içerisindeki sera gazı yoğunluğu % 30 artmış durumdadır (Ansua ve Escapa, 2002: 24). Ayrıca, 1000-1750 yılları arasında atmosfer içerisinde 280 ppmv olan karbondioksit yoğunluğu günümüzde 430 ppm seviyesine yükselmiştir (Stern Review, 2006: 169). 1980-1990 döneminde atmosfer içindeki karbondioksit yoğunluğu göz önünde bulundurularak yapılan araştırmalar ise, 21. yüzyılın başlarında karbondioksit birikiminin ikiye katlanması ile dünyanın yüzey ısısının $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ artacağını tahmin etmektedir (Keleş ve Hamamcı, 2002: 88).

Dünyada Sanayi Devrimi'yle birlikte hızlı bir büyüme süreci içerisine girilmiş ve dünya ekonomisinde ortaya çıkan ekonomik genişlemeye paralel olarak talep edilen enerji miktarında da çok ciddi artışlar yaşanmıştır.

Tablo 1.15: Kaynaklara Göre Dünya Sanayisinde Nihai Enerji Tüketimi (mtoe)

Yıllar	Kömür	Ham Petrol ve Petrol Ürünleri	Doğalgaz	Toplam Enerji Tüketimi
1973	356	499	362	1507
2001	386	589	509	2200
2005	514	325	432	2092
2006	550	329	434	2180
2007	583	324	461	2274
2008	646	332	466	2351
2020*	876	380	587	3132
2035*	972	382	696	3716

Kaynak: IEA, 2009a. s: 17, IEA, 2010a. (World Energy Outlook 2010), s: 618-619

Not: * Uluslararası Enerji Ajansının “Mevcut Politikalar Senaryosu” nun tahminleridir.

Tablo 1.15'ten izlenebileceği gibi, dünya genelinde, temel girdilerden biri olan enerji tüketimi 2007 yılına kadar tüm fosil yakıtlarda hızla artmıştır. Bu yıla kadar üç temel enerji kaynağı içerisinde petrol ağırlığını koruyarak sürdürmüştür. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde enerji kullanımı sürekli olarak artmaktadır. 2007 yılına gelindiğinde ise, küresel ekonomik krizinde etkisiyle petrol fiyatları çok fazla artış kaydetmiş ve sanayi sektöründe kömür ve doğalgaz tüketiminin toplam içindeki payı hızlı bir artış göstermiş, petrol tüketimi ise önceki dönemlere göre azalma sergilemiştir.

Uluslararası Enerji Ajansının “Mevcut Politikalar Senaryosu”na göre sanayi sektöründe enerji kaynakları talep değişimi 2035 yılında 2008 yılına göre, kömürdeki artış % 50, petroldeki artış % 15, doğalgazdaki artış % 49 tahmin edilmektedir. Toplam talepteki artış ise % 58 olması öngörülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansının çevresel önlemler almayı içeren “450 Senaryosu”na göre ise sanayi sektöründe toplam enerji kaynakları talep değişimi 2035 yılında 2008 yılına göre, % 32 tahmin edilmektedir (IEA, 2010a: 618-619).

Sanayileşme ile birlikte enerji yoğun malların üretimi artmış, ve enerji yoğun malların üretiminin çoğu gelişmekte olan ülkelerde gerçekleşmiştir. Örnek olarak Çin dünyanın en büyük çelik, çimento ve alüminyum üreticisi durumundadır. Sanayi sektöründeki enerji kullanımının dağılımına bakıldığında, enerji tüketiminin yaklaşık % 85’inin, demir-çelik, kimya ve gübre, petrol rafinerisi gibi enerji yoğun sektörlerde gerçekleşmiştir. 1970 yılından bu yana dünyada gelir ve nüfus artışına paralel olarak enerji yoğun ürünlerden çimento üretimi % 271, alüminyum üretimi % 223, çelik üretimi % 84, amonyak üretimi % 200 ve kağıt üretimi % 180 artış kaydetmiştir. 2003 yılında gelişmekte olan ülkeler dünya çelik üretiminin % 42’sini, gübre üretiminin % 57’sini, çimento üretiminin % 78’ini ve alüminyum üretiminin de % 50’sini gerçekleştirmişlerdir (IPCC, 2007b: 451-452).

CO₂ emisyonunun yaklaşık % 90’lık bir kısmı sanayi sektörden kaynaklanmakta ve temel olarak üç temel faaliyetten beslenmektedir. Bunlar; enerji amacıyla fosil kaynaklı yakıt kullanımı, kimyasal faaliyetler ve metal işlemede fosil kaynaklı yakıtların enerji amacı dışında kullanılması ve son olarak fosil yakıt kaynaklı olmayan faaliyetlerdir. Özellikle sanayi sektöründe CO₂ dışında başta metan olmak üzere birçok farklı sera gazı da açığa çıkmaktadır (Özçağ, 2011: 31).

Tablo 1.16: Dünya Sanayisinde Bölgesel Enerji Tüketimi ve Enerji Kaynaklı CO₂ Emisyonları

	Nihai Enerji Tüketimi (Eta Joule - Ej)			Enerji Kaynaklı CO ₂ Emisyonu (mtoe)		
	1971	1990	2004	1971	1990	2004
OECD Pasifik	6.02	8.04	10.31	524	710	853
Kuzey Amerika	20.21	19.5	22.66	1,512	1,472	1,512
Batı Avrupa	14.78	14.88	16.60	1,380	1,187	1,126
Merkezi ve Doğu Avrupa	3.75	4.52	2.81	424	529	263
EECCA Ülkeleri *	11.23	18.59	9.87	1,095	1,631	856
Gelişmekte Olan Asya Ülkeleri	7.34	19.88	34.51	714	2,012	4,098
Latin Amerika	2.79	5.94	8.22	178	327	469
Sahra Altı Afrika Ülkeleri	1.24	2.11	2.49	98	178	209
Orta Doğu ve Kuzey Afrika	0.83	4.01	6.78	65	277	470
Dünya	68.18	97.13	114.25	5,990	8,324	9,855

Kaynak: IPCC, 2007b: Chapter7, s:452.

* : Doğu Avrupa, Kafkaslar ve Merkez Asya Ülkeleri

Tablo 1.16’da görülebileceği gibi, dünya sanayinde enerji tüketimini ve tüketim sonucunda açığa çıkan CO₂ emisyonlarının bölgelere göre dağılımı verilmiştir. Dünya sanayinde 1971 yılında 5,9 GtCO₂ (Giga ton CO₂ eşdeğeri) olan enerji kaynaklı CO₂ emisyonu, 1990 yılında 8,3 GtCO₂ ve 2004 yılında 9,8 GtCO₂ seviyesine yükselmiştir. 2004 yılında dünya sanayi sektöründe enerji kullanımı kaynaklı CO₂ emisyonu, toplam enerji kaynaklı CO₂ emisyonunun % 37’sini oluşturmaktadır. Dünya sanayi sektöründe enerji kaynaklı CO₂ emisyonları içinde gelişmekte olan ülkelerin payı 1971 yılında % 18 iken bu oran 2004 yılında % 53 seviyesine ulaşmıştır. Çin ve Hindistan’ı kapsayan “Gelişmekte Olan Asya Ülkeleri” grubundaki nihai enerji tüketimi ve buna bağlı olarak açığa çıkan emisyon miktarları 2004 yılında 1971 yılına göre % 473 artmıştır. Bu yüksek artış tüm ülkeler içerisinde en yüksek artış olarak dikkat çekmektedir.

IPCC'nin geleceğe yönelik senaryolarına göre, dünya sanayinde kullanılan nihai enerji tüketiminin giderek artacağını ve bu artışa bağlı olarak ortaya çıkan enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarında artışlar yaşanacağını öngörmektedir (IPCC, 2007b: 453).

Sanayileşme ile birlikte üretim sürecinde enerji kullanımı kaçınılmazdır. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli nedeni olarak fosil yakıtların kullanılması sonucu atmosfer içerisindeki karbondioksit ve diğer sera gazları yoğunluklarının artmasıdır. Sanayileşme süreciyle birlikte artan enerji ihtiyacının üç temel fosil kaynaktan karşılanması iklim değişikliği açısından daha da olumsuz tablolar ortaya çıkaracağı açıktır. CO₂ emisyonu olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gelecekte sera gazlarının azaltımında büyük önem kazanacaktır.

1.1.4.4. Nüfus Artışı

Çevrebilimciler, yeryüzünün iki taraflı bir tehditle karşı karşıya kaldığı öne sürmektedirler. Bir yandan gelişmiş ülkelerdeki savurganlık ve yüksek tüketim düzeyi diğer yandan da gelişmekte olan ülkelerdeki yüksek nüfus artışı ve ekonomik geliri artan bireylerin tüketim düzeylerini yükseltme istekleri dünya için önemli tehlike arz etmektedir (Kutlu ve Eşkinat, 2002: 11). Yüksek düzeydeki bir nüfus artışı, çok sayıda sosyo-ekonomik sorunlar yaratmasının yanında, önemli çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir.

Birdsall (1992), nüfus artışının iki farklı şekilde çevresel sorunları etkilediğini belirtmiştir. Öncelikle yüksek bir nüfus artış oranı, enerji, sanayi ve taşımacılık gibi çeşitli enerji yoğun sektörlerde daha yüksek bir enerji talebi ortaya çıkarmakta, bunun sonucunda fosil kaynaklı yakıt emisyonları artış göstermektedir. Diğer taraftan, nüfus artışı ortaya çıkardığı ormansızlaşma etkisi ile emisyon artışına sebep olmaktadır (Birdsall, 1992: 4). Bununla birlikte artan dünya nüfusuna bağlı olarak ortaya çıkan talebin karşılanabilmesi üretim düzeyinin artmasını ve ekonomik büyümeyi zorunlu kılmaktadır. Nüfus artışı, tarımsal üretimde birim alandan daha yüksek verim almayı zorunlu kılarak olumlu katkılar sağlasa da, orman arazilerinin tarım arazisi haline getirilmesi gibi olumsuz etkiler de meydana getirebilecektir (Sönmez, 1997: 73).

Dünya nüfusunun hızla artmakta olduğu bilinmektedir. 1980'li yıllarda 4.43 milyar olan dünya nüfusu 2002 yılında 6,19 milyara yükselmiştir. 2015 yılında ise bu rakamın 7,1 milyar olması beklenmektedir (WB, 2004: 40). Fakat 2011 yılında dünya

nüfusu 7 milyara ulaşmıştır. 2035 yılında ise dünya nüfusunun 8,5 milyar olması beklenmektedir (IEA, 2010a: 64). Dünya Bankası'nın projeksiyonların göre ise, dünya nüfusunun 2050 yılında iki katına ulaşması tahmin edilmektedir (Cao, 2003: 61). Birleşmiş Milletler Nüfus Dairesi (UNPD) tahminlerine göre Afrika hariç dünyada birçok bölgede nüfusun şehirlerde yoğunlaşacağı, kırsal nüfusun gerileyeceği öngörülmektedir (IEA, 2010a: 65). Ortaya çıkan kentleşme süreci, ormanlık arazilerin yok edilmesi, verimli tarım arazilerinin yerleşim ve ulaşım amaçlı kullanılması, temiz su kaynaklarının kirlenmesi, çevre ve hava kirliliği gibi önemli çevre sorunlarına neden olacaktır.

Tablo 1.17: Dünya’da Nüfus Artışları ve Projeksiyonları (%)

	1980-1990	1990-2008	2008-2020	2008-2035
OECD	0.8	0.7	0.5	0.4
Amerika	1.2	1.2	0.9	0.7
Latin Amerika	2.0	1.5	1.0	0.8
Avrupa	0.5	0.5	0.3	0.2
AB	-	0.3	0.2	0.1
Japonya	0.5	0.2	-0.2	-0.4
Doğu Avrupa*	0.8	-0.2	-0.1	-0.2
Asya**	1.8	1.4	1.0	0.8
Ortadoğu	3.6	2.3	1.8	1.5
Afrika	2.9	2.5	2.2	1.9
Dünya	1.7	1.3	1.1	0.9

Kaynak: IEA, 2010a. “World Energy Outlook 2010”, p: 65.

Not: * Rusya ve Hazar bölgesini, ** Çin ve Hindistan’ı temsil etmektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı’nın hazırlamış olduğu projeksiyonlara göre, Tablo 1.17’den izlenebileceği gibi, dünya nüfusunda önemli artışların Asya, Ortadoğu, Afrika gibi gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde meydana geleceği beklenmektedir. Bu hesaplamalara göre Dünya nüfusunda, 2008-2020 yılları arasında yıllık % 1.1, 2008-2035 yılları arasında ise yıllık % 0.9 nüfus artışları yaşanması öngörülmektedir. Doğu Avrupa ve Japonya’nın nüfusunda negatif büyümeler öngörülürken, Avrupa Birliği’nin nüfus artışı ise marjinal düzeyde olacaktır. 2008-2035 yılları arasında en fazla nüfus artışı % 1.9 ile Afrika kıtasında olacaktır.

Günümüzdeki artan nüfus dolayısıyla, mal ve hizmet talebi ve istihdam gereksinimini yükselecek, atık oluşumu arttıracak ve doğal kaynaklar üzerinde olumsuz

etkiler oluşacaktır (Keleş, 1997: 80). Ayrıca yüksek bir nüfus düzeyi, birçok sektörde daha fazla bir enerji talebine yol açacak, artan enerji talebinin karşılanması için daha fazla doğal kaynak kullanılacak, dolayısıyla da çevre üzerindeki baskılar artacaktır (Shi, 2001: 4). Nitekim, Uluslararası Enerji Ajansının tahminlerine göre dünya genelinde enerji talebi, 2008-2020 yılları arası 12271 Mtoe'den 14556 Mtoe'e çıkması, yani % 18 artması öngörülmektedir (IEA, 2010a: 80).

1.1.4.5. Arazi Kullanım Değişiklikleri, Tarım ve Hayvancılık Faaliyetleri

İklim değişikliğinde “Arazi Kullanım Değişiklikleri”de önemli yer tutmaktadır. Bu faaliyetler arasında, ormanlık alanların insan eliyle azaltılması, ekim veya otlak için arazinin genişletilmesi, ekim türünün değiştirilmesi sayılabilir. Cropper ve Griffith (1994), ormanlık alanların yok olmasına; ormanlık alanların tarım arazisi ya da mera oluşturulması amacıyla tahrip edilmesi, kütük temini için ağaç kesimi ve yakıt amacıyla odun temin edilmesi olarak adlandırabileceğimiz üç temel sorunun yol açtığını ifade etmektedir. Arazi kullanım değişikliklerinin, toplam sera gazı emisyonu içindeki payı yaklaşık olarak % 18'dir (Uzmen, 2007: 140). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) gelişen dünyada, son on yılda azalmasına rağmen, ormansızlaşmanın en önemli problem olduğu ve alarm verici boyutlara ulaştığını ifade etmiştir (IEA, 2010a: 284, FAO, 2010).

Dünyada oluşan karbondioksit salımının azaltılmasında okyanuslardan sonra en büyük yutak, bitki örtüsü ve ormanlık alanlardır. Farklı sebeplerle ortaya çıkan karbondioksit emisyonu bitki örtüsü ve ormanlık alanlar tarafından emilmekte ve oksijen olarak tekrar atmosfere verilmektedir. Yani ormansızlaştırma ile, hem oluşan karbondioksit emisyonunun emilimi hem de oksijen oluşumu azalacak ve karbondioksit emisyonunda artışlar meydana gelecektir.

1900'lü yıllardan bu yana, dünya tarımsal alanının yaklaşık iki katına eşdeğer bir ormanlık alanın yok edildiği ifade edilmektedir. Geriye kalan ormanlık alanlar, gelişmekte olan ülkelerdeki tropikal ormanlar ve sanayileşmiş ülkelerdeki kuzeysel/ılıman ormanlar arasında eşit olarak dağılmış durumdadır (Brown, 2003: 57). FAO'ya (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) göre, % 42'si Latin Amerika'da, % 31'i Afrika'da ve % 27'si de Asya'da olmak üzere her yıl yaklaşık 15.4 milyon hektar tropikal ormanlık alan yok olmaktadır. Dünya Tarım Örgütü'nün verilerine göre, dünya genelinde her yıl yaklaşık 3,4 milyar metreküp ağaç kesilmekte ve bu miktarın her yıl %

0.5 artması öngörülmektedir. Fakat resmi veriler dışında kayıt altına alınmayan kesim faaliyetleride düşünülürse bu rakamın daha yüksek olduğu açıktır (IPCC, 2007b: 546).

Ormanlık alanların yok olması atmosfer içerisindeki oksijeni azaltmakta ve karbondioksit emisyonunu önemli derecede arttırmaktadır. Örnek olarak; 2000 yılındaki toplam sera gazı emisyonunun 23,9 Gt'u (Giga Ton) fosil kaynaklı yakıtların yakılmasından, 3,94 Gt'u ormansızlaşmadan, 1,4 Gt'u çimento üretiminden, 14,8 Gt'u ise diğer faaliyetlerden kaynaklanmıştır (Rehan ve Nehdi, 2005: 106). Gelişmekte olan ülkelerde 1990-1995 yılları arasında, yılda yaklaşık 13 milyon hektarlık bir alanın kaybolduğu ifade edilmektedir. Sanayileşmiş ülkeler ise her yıl yaklaşık 3,6 milyon hektarlık orman alanı kazanmaktadır. Bu durum, Rusya'da olduğu gibi terk edilen tarım alanlarının ormana dönüşmesinden ve ticari amaçla ormanlaştırma sürecinden kaynaklanmaktadır (Brown, 2003: 57).

Kağıt üretimi amacıyla ormanların yok edilmesi ormansızlaştırmada önemli yer teşkil etmektedir. Orman ürünleri ekonomisinin içindeki en büyük paya sahip sektör ise kağıt üretimi sektörüdür. Dünya genelinde kesilen ağaçların % 60'ı sanayi sektöründe, geri kalan kısmı da yakıt amaçlı kullanılmaktadır. Orman ürünleri ekonomisi içinde bir diğer önemli paya sahip sektör ise odun sektörüdür. Dünya genelinde enerji arzının yaklaşık olarak % 7'sini oluşturan odun sektörü, gelişmekte olan ülkelerde % 15, sanayileşmiş ülkelerde ise % 3'lük bir paya sahiptir (IPCC, 2007b: 546).

Açıkça görülmektedir ki, orman ürünleri talebinde meydana gelecek artışlarla birlikte, ormanlık alanlar üzerindeki baskı arttıracaktır. Ormansızlaşma ile birlikte, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlar yanında, ekonomilerinde orman ürünleri önemli paylar tutan bazı ülkelerde ekonomik sıkıntılar meydana getirecektir.

Tarım ve hayvancılık faaliyetleri, arazi kullanım değişiklikleri yanı sıra iklim değişikliğinde konusunda incelenmesi gereken bir konudur. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) 2011 yılı verilerine göre; tarımında içinde bulunduğu özel ve kamu hizmetleri, hane halkları ve sanayi ve ulaşım hariç diğer sektörlerin toplam enerji talebi % 36'dır. Tarımın payı ise yaklaşık % 4'tür (IEA, KWES 2011: 37). 2005 yılında ise tarımın nihai enerji tüketimi içindeki payı % 3,6'dır. Bu değerler küçük olsa da, sera gazı emisyonuna katkı yapan önemli unsurlardan biri konumundadır (IEA, 2007b: 309).

Tablo 1.14'tede belirtildiği gibi 2007 yılı verilerine göre tarımsal faaliyetleride kapsayan diğer faaliyetler, insan kaynaklı sera gazı emisyonunun yaklaşık olarak % 10'unu oluşturmaktadır. 2008 yılında bu oran % 8 civarındadır (IEA, 2010a: 418). Bu sera gazlarına, çiftliklerde enerji amaçlı fosil yakıt kullanımı ve ormansızlaşma, pirinç üretimi, gübreleme, biomas tüketimi sonucu oluşan metan gazı emisyonu gibi faktörlerin toplamı oluşturmaktadır. Tarımsal faaliyetler içinde karbon dışı emisyon açığa çıkaran faktörler sırasıyla; % 38 gübreleme, % 31 çiftlik hayvanları yetiştiriciliği, % 11 pirinç üretimi, % 7 doğal gübre üretimi ve % 13 anız ve tarımsal atıkların yakılması faaliyetleridir (Stern Review: 2006-Ek 7: 1).

1990-2000 yılları arasında tarımsal emisyonlar % 10 oranında artış kaydetmiştir. Tarımsal emisyonlarının gelecek dönemlerde nasıl bir durum alacağına bakıldığında, yapılan hesaplamalar 2020 yılına kadar emisyon miktarının % 30 artacağını öngörmektedir. Bu artışın % 60'ının ise Afrika, Latin Amerika ve Çin gibi ülkelere kaynaklanması beklenmektedir. Tarımsal emisyonlarda oluşması tahmin edilen artışların kaynağı da yine ekonomik büyüme ve artan nüfus olacaktır. Son 40 yıl içinde tarımsal alanlar % 10 artış kaydederken, kişi başına düşen tarımsal alan artan nüfus yüzünden gerileme kaydetmiştir (Stern Review, 2006-Ek 7: 2). Tarımsal alanların daha fazla genişletilemeyeceği ve dünya nüfusunun hızla artmakta olduğu göz önüne alındığında bu gerilemenin önümüzdeki dönemlerde de devam edeceği beklenmektedir (Özçağ, 2011: 37).

1.1.5. İklim Değişikliğinin Etkileri ve İklim Değişikliğinin Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar

İklim değişikliğine bağlı olarak, su kaynaklarının hacim ve kalitesinin azalması, enerji arzı ve güvenliği, biyolojik çeşitliliğin azalması, kar ve buzul alanların azalması, kuraklık ve sellerin ortaya çıkması, deniz seviyesinin yükselmesi, çölleşme, tarımsal üretimin azalması gibi sosyo-ekonomik ve ekolojik denge açısından değişik sorunlar ortaya çıkabilmektedir. İklim değişikliğinin etkileri, dünya genelinde farklı olabilmektedir. Dünyanın bazı bölgelerinde kasırgalar, seller ve taşkınlar gibi hava olayları olurken, bazı bölgelerinde uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar ve çölleşme olabilmektedir.

Bilim adamlarına göre, 20. yüzyıl boyunca kuzey yarımkürenin orta ve yüksek enlemlerindeki yağış miktarları her on yılda bir % 0.5 ile % 1 oranında, tropikal alanlarda ise % 0.2 ile % 0.3 arasında artış göstermiştir (IPCC, 2001b: 4). 21. yüzyılın ikinci yarısına kadar yağışların, kış mevsimlerinde orta ve yüksek kuzey enlemlerde ve Antarktika'da artması beklenmekte ve alçak enlemlerdeki kara alanlarında hem bölgesel artışlar hem de azalışlar yaşanacağı ifade edilmektedir (Türkeş, 2007: 50). İklim sistemleri üzerine yapılan tahminler, Akdeniz ülkesi olan İspanya, Yunanistan ve Türkiye'de ortalama yağışların her on yıl içinde % 5'e varan oranda bir azalma kaydedeceğini göstermektedir.

Uydu verilerine göre, dünyanın kar tabakası 1960'lı yıllardan itibaren % 10 azalmıştır. Ayrıca, kuzey yarımküredeki deniz buzulları örtüsü, 1950 yılından itibaren % 10 ile % 15 oranında azalma göstermiştir ve 1978 yılından günümüze kadar kuzey kutbu buz büyüklüğü her on yılda bir % 2.7 küçülmüştür. Dünya buzul kütleindeki azalmaya paralel olarak, deniz seviyesinin 20. yüzyıl boyunca 0.1 ve 0.2 metre arasında yükseldiği ifade edilmektedir (IPCC, 2001b: 4). Ayrıca dünya üzerindeki en büyük karbon yutakları konumunda olan okyanusların ısınmasıyla, karbon depolama kapasitesi azalacak ve bu durum küresel ısınma sürecini hızlandıracaktır.

İklim değişikliğine bağlı olarak, ortaya çıkan sorunlar ve ekonomik etkileri, özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çok daha ciddi etkiler meydana getirebilmektedir. CO₂ emisyonunun iki katına çıkmasının, dünya gayri safi yurtiçi hasılasında % 1 ile % 2,5'lik etki oluşturacağı belirtilmiştir (Decanio, 1997: 11).

Küresel ısınma sonucu oluşan kuraklık ve üretimdeki düşüşler, besin ihtiyacının karşılanmasını zorlaştıracak ve dünya ekonomilerinde küçülmelere yol açacaktır. Bunun sonucu olarak; yiyecek kıtlığı, yoksullukta artış, hayat kalitesinde azalmalar, iç göçler ve sosyal huzursuzluklar gibi istenmeyen olaylar olacaktır (Gürer, 2007: 20).

Küresel ısınma sonucu meydana gelen iklim değişikliği, nehirlerin hacimlerini ve akış zamanlamalarını, yer altı sularının döngü süreçlerini, bunun sonucunda ortaya çıkan su kıtlığı nedeniyle de nüfusların dağılımını etkileyecektir (Arnell, 2004: 31).

Küresel ısınma sonucu Amerika Birleşik Devletleri'nde sadece Hurricane Kasırgası'ndan ortaya çıkan kayıp 45 milyar \$ olarak hesaplanmıştır. Sadece Losiana ve

Florida eyaletlerinde, 2005 yılında 600.000 kişi, ya sigorta poliçelerini iptal ettirmiş ya da sigorta poliçelerini yenilememiştir (Mills ve Lecomte, 2006: 1).

Dünya Bankası raporlarında, küresel ısınmaya sonucu deniz seviyesindeki yükselmenin bir metre olması durumunda, deniz kıyısında olan 84 gelişmiş ülkenin karasal alanlarının % 0.3'ünün (yaklaşık 194.000 km²), toplam nüfuslarının ise % 1.28'inin (56 milyon kişi) etkileneceği belirtilmiştir. Deniz seviyesindeki yükselmenin 2 metre olması durumunda ise 89 milyon kişi olumsuz etkilenecektir (Dasgupta vd., 2007: 9).

1.1.5.1. İklim Değişikliğinin Ekonomik Etkileri ile İlgili Çalışmalar

Olesen ve Bindi (2002) çalışmasında, iklim değişikliğinin Avrupa tarımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, iklim değişikliği sürecinde, Avrupa'nın kuzey bölgelerinde tarımsal alanların genişlemesi, yeni ürünlerin yetiştirilmeye başlanması ve ürün verimliliğindeki artışlar gibi unsurlar nedeniyle, küresel ısınmadan olumlu yönde etkilenebileceği fakat, iklim değişikliğine bağlı olarak oluşan su kıtlığı ve ekstrem hava durumları gibi faktörlerin de ürün verimini düşürmesi nedeniyle Avrupa tarımı için tehlike arz ettiği belirtmişlerdir.

Jones ve Thornton'nun (2003) çalışmasında, iklim değişikliğinin Afrika ve Latin Amerika'daki mısır üretiminin iklim değişikliğine bağlı olarak 2055 yılında % 10 azalacağı, bu azalma sonucu ekonomik kaybın ise yıllık 2 milyar \$'a ulaşacağı bulgusunu elde etmişlerdir (Jones ve Thornton, 2003: 51).

Hamilton vd. (2005), nüfus artışı, ekonomik büyüme ve iklim değişikliği gibi faktörlerin turizm üzerindeki etkilerini 207 ülke için incelemişlerdir. Analiz sonucunda, orta ve uzun dönemde turizmin gelişeceği, fakat iklim değişiminden kaynaklanan değişmelerin nüfus ve gelir artışının yaratacağı etkilerden daha küçük olacağını ortaya koymaktadır. Analizde, uluslararası turizmde deniz ve kum tercihi yapan turistlerin, küresel ısınma nedeniyle yüksek enlemler ve rakımlardaki turistik yerleri tercih edecekleri de belirtilmiştir (Hamilton vd., 2005: 263).

Frank (2005) çalışmasında, iklim değişikliğinin İsveç'teki enerji talebi üzerindeki etkisini 2050-2100 yılları arası dönemi kapsayan projeksiyonlar çerçevesinde analiz etmiştir. Analiz sonucunda iklim değişikliğine bağlı olarak, konutlarda ısıtma amaçlı kullanılacak olan enerji talebinin % 44 azalma göstereceği, aynı dönemde

ofislerde soğutma amaçlı kullanılacak olan enerji talebinin % 58 oranında artacağı sonucuna ulaşmıştır (Frank, 2005: 1181).

Berrittella vd. 2006 yılında Genel Denge Modeli kullanarak yapmış oldukları çalışmada, iklim değişikliğinin turizm sektörü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, iklim değişikliğine bağlı olarak turistlerin tercihlerini değiştirmeleri, GSYİH üzerinde % -0.3 ile % 0.5 arasında değişime yol açabilecektir. Atmosferdeki CO₂ emisyonunun iki katına ulaşması durumunda ise GSYİH'deki değişimler % -1 ile % 2 arasında olacaktır (Brittella vd., 2006: 922).

Mariara ve Karanja'nın (2007) iklim değişikliğinin Kenya'daki ekin tarımı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, küresel ısınmanın ürün verimliliği üzerinde olumsuz etkiler yaratacağı, Kenya'daki net ürün gelirinin küresel ısınmadan önemli derecede etkileneceği ifade etmişlerdir (Mariara ve Karanja, 2007: 319).

Stenevik ve Sundby (2007) çalışmalarında, iklim değişikliğinin Norveç balıkçılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Küresel ısınmanın Atlantik Somon'unun daha kuzey bölgelere göç etmesine neden olacağını, Kuzey Denizi'ndeki balık türlerinin azalacağı ve yeni sıcak su akıntı türlerinin daha fazla olacağı bulgusunu elde etmişlerdir (Stevenik ve Sundby, 2007: 19-30).

Barrios vd. (2008) çalışmasında, iklim değişikliğinin etkilerinin, gelişmekte olan Sahra altı ve Sahra üstü Afrika ülkelerinde farklı olacağını ve sıcaklık ve yağmurlarda ortaya çıkan değişimlerin Sahra altı Afrika Ülkelerinde, tarımsal verimin temel belirleyicisi olduğunu ifade etmişlerdir (Barrios, Ouattara ve Strobl, 2008: 298).

Yapılan çalışmalardan anlaşılabacağı üzere, insan kaynaklı iklim değişikliği ile ekonomik faaliyetlerin yakın ilişki içerisinde olduğunu ifade etmek yanlış olmayacaktır. İnsanoğlunun sanayileşme, artan enerji kullanımı, üretim ve tüketim sürecinin sonucu olarak oluşan iklim değişikliği ekonomi ve çevre üzerinde çok çeşitli etkiler yaratmaktadır. Bu olumsuzlukların engellenebilmesi amacıyla IPCC, küresel sıcaklık artışının sanayi öncesi dönemin 2 C⁰ üzerinde sınırlandırılması için, gelişmiş ülkelerin emisyonlarını 2020 yılına kadar 1990 yılı seviyesinin % 25 ile % 40 altına düşürmeleri gerektiğini belirtmiştir. Gelişmekte olan ülkeler için bu oranlar % 15 ile % 30 olarak tespit edilmiştir.

Türkiye'nin Kyoto Protokolü'nün birinci yükümlülük dönemi olan 2008-2012 arası döneminde bir emisyon azaltımı yükümlülüğü bulunmamaktadır. Gelecek dönemlerde alacağı yükümlülüğün ekonomik büyümeyi sınırlandırmayacak şekilde, sera gazı emisyonlarının ve emisyon kaynaklarının iyi tespit edilmesi ve azaltım seçeneklerin politika yapıcılar tarafından tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, çalışmanın sonraki bölümü Türkiye'nin iklim değişikliği karşısındaki durumu, sera gazı emisyonlarının trendleri ve emisyon kaynaklarının analizine ayrılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE NEDEN OLAN SERA GAZLARININ TÜRKİYE’DE GELİŞİMİ VE NEDENLERİ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği; sanayi, ticaret, turizm, tarım gibi birçok sektörü ilgilendiren, tüm dünya ülkelerinin ve insanlığın ortak sorunudur. Bu sorunun çözümünde ortak hareket edilmesi, soruna sebep teşkil eden unsurların analiz edilmesi önemlidir. Ülkelerin gelişmişlik seviyeleri, enerji kaynakları, nüfus yapıları homojen olmadığı için, küresel ısınmaya karşı ülkelerin mücadele stratejileri, uygulanabilecek araçlar, alınan önlemler sonucu ortaya çıkabilecek emisyon azaltım miktarları da farklı olacaktır. Gelişmiş bir ülke ile gelişmekte olan bir ülkeye aynı miktarda sera gazı azaltımı yüklemek, gelişmekte olan ülkenin ekonomisine olumsuz etki yapacaktır.

Türkiye 2001 yılından itibaren güçlü ekonomiye geçiş programı ile büyüme trendi yakalamış, gelişmekte olan ülkeler grubundadır. Ekonomisinin büyümesine paralel olarak küresel ısınmaya kaynaklık eden sera gazı salımında artmıştır. Türkiye’nin küresel ısınma ile mücadelesinde ekonomik büyümesini azaltmadan ya da en az etkileyerek başarıya ulaşabilmesi için en uygun araçları seçmesi önemlidir. Bu noktada, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne (BMİDÇS) imza atan her ülkenin her yıl hazırlamak ve BMİDÇS Sekreteryası’na rapor etmek zorunda olduğu Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri en önemli rehber niteliğindedir. Bu envanter ile ülkeler, sera gazı emisyon miktarları, kaynakları, sektörel dağılımlarını tespit edebilmektedirler.

Tezin bu bölümü, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2011 yılında hazırlanan ve 1990-2009 dönemini kapsayan sera gazı emisyonlarının analizine ayrılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, ilk etapta iklim değişikliği alanında Türkiye’nin uluslararası gelişmelere katılım süreci hakkında bilgi verilecek, daha sonra ise 2011 yılı Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri’ne bağlı kalınarak değerlendirmeler yapılacaktır.

2.1. İklim Değişikliğinin Müzakereleri ve Türkiye

Küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açan atmosferde biriken sera gazlarının ekolojik düzen üzerindeki etkilerini engellemek ve küresel sıcaklığı belirli bir seviyede tutabilmek için uluslararası alanda atılan adımlar şu şekilde sıralanabilir:

1979 - İlk dünya iklim konferansı (WCC) düzenlendi.

1988 - Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kuruldu.

1990 - IPCC'nin iklim değişikliği konusunda ilk değerlendirme raporu (AR1) yayınlandı ve iklim değişikliğinin tehditleri vurgulandı.

1992 - Rio'da düzenlenen çevre ve kalkınma konferansında BMİDÇS kabul edildi ve imzaya açıldı.

1994 - BMİDÇS yürürlüğe girdi.

2012 – Her yıl aralık ayında düzenlenen, 19.'su Doha/KATAR'da yapılan ve Kyoto sonrası görüşmelerin devam ettiği Taraflar Konferansı (COP-19).

1992 yılında kabul edilen ve 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren BMİDÇS, küresel ısınma çerçevesinde uluslararası alanda atılan adımların köşe taşlarından biridir. 1992 yılında Rio'da düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda kabul edilen ve 50 ülkenin onaylamasıyla yürürlüğe giren İDÇS'ne göre ülkelere gelişmişlik düzeyine göre belli hedefler öngörülmüştür. Bu hedeflerine ulaşmak için, gelişmiş ülkeler 2000 yılındaki sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyelerine indirmek ve geliştirmekte olan ülkelere teknolojik ve mali yardımlar yapmakla yükümlü kılınmışlardır, geliştirmekte olan ülkeler ise belli oranlarda sera gazı azaltımı hedefi almışlardır.

Sözleşme'nin içerdiği temel ilkeler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- a) İklim sisteminin eşitlik temelinde, ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluk alanına uygun bir şekilde korunması,
- b) İklim değişikliğinden etkilenecek olan geliştirmekte olan ülkelerin ihtiyaç ve özel koşullarının dikkate alınması,
- c) İklim değişikliğinin önlenmesi için alınacak önlemlerin etkin bir şekilde ve mümkün olan en az maliyetle gerçekleştirilmesi,
- d) Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi ve uygulanacak politika ile alınacak önlemlerin kalkınma programlarına entegre edilmesi,
- e) Alınan karşı önlemlerin keyfi, haksız, ayrımcı ya da uluslararası ticarete gizli bir kısıtlama oluşturmayacak nitelikte olmasıdır (Özçağ, 2011:58).

İDÇS atmosferdeki insan kaynaklı sera gazı yoğunluğunu bir düzeyde tutmayı amaç edinmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için ülkeler gelişmişlik düzeylerine göre sözleşme kapsamında iki grubu ayrılmıştır. Bu gruplardan EK-2 listesi, 1992 yılında ve öncesinde OECD üyesi olan ülkeler ile Avrupa Birliği ülkelerinden oluşmaktadır. Bu ülkeler, Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, İsviçre, Norveç, Avustralya, Hollanda, İtalya, Portekiz, Avusturya, İngiltere, İzlanda, Türkiye, Belçika, İrlanda, Japonya, Yeni Zelanda, Danimarka, İspanya, Kanada ve Yunanistan'dır. EK-1 listesi ise, EK-2 listesindeki ülkelere ek olarak pazar ekonomisine geçiş sürecindeki ülkelere (Rusya Federasyonu, Hırvatistan, Slovakya, Litvanya, Ukrayna, Macaristan, Letonya, Polonya, Slovenya, Romanya, Bulgaristan, Belarus, Çek Cumhuriyeti ve Estonya) oluşmaktadır.

1961 yılından bu yana OECD üyesi olan Türkiye, sera gazı salımlarını azaltmada birinci derecede sorumlu olan Ek-1 ülkeleri grubuna, ve aynı zamanda az gelişmiş ülkelerin salımlarının azaltılması için finansal ve teknik destek sağlayacak Ek-2 ülkeleri grubuna dahil edilmiştir. Türkiye'nin ekonomik kalkınma düzeyi düşünüldüğü zaman, genel olarak hem OECD üyesi ülkelere hem de diğer EK-2 ülkelerinden daha düşüktür. Ekonomik olarak gelişmiş ülkelerle aynı düzeyde olmayan Türkiye'nin emisyon azaltım yükümlüğünün aynı olması rasyonel değildir. Bu durumda Türkiye ilkesel olarak İDÇS'ne sıcak baktığı halde, yükümlülüklerini yerine getiremeyeceği gerekçesiyle, 1992 Rio Konferansı'nda imzalamamıştır.

Dünyada küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı 1979 yılında Dünya ilkim konferansı ile başlayan ve 1994'te İDÇS'nin yürürlüğe girmesiyle devam eden süreçte 1995 yılında Berlin'de başlayan ve İDÇS hedeflerinin gerçekleştirilmesi ve gözetilmesi amacıyla düzenlenen ve tüm tarafların söz sahibi olduğu Taraflar Konferansı'nın (Conference of the Parties-COP) katkısı oldukça önemlidir. 2011 yılında 16.'sı Cancun-Meksika'da yapılan bu görüşmeler küresel ısınma ile mücadele sürecinde yol haritası niteliğindedir. 1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenen III. Taraflar Konferansı, (COP3) sera gazları salımlarını 2000 yılı sonrasında azaltmaya yönelik yasal yükümlülükler içermesi ve uygulanabilecek çeşitli mekanizmalar ortaya koyması nedeniyle özel bir öneme sahiptir. 1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenen Konferansta, ilkim değişikliğine yol açan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yükümlülükleri daha detaylı bir şekilde ortaya koyması ve uygulanabilecek çeşitli mekanizmalar yaratması nedeniyle özel bir öneme sahiptir.

1997’de III. Taraflar Konferansı’nda kabul edilen ve 16 Mart 1998 tarihinde imzaya açılan Kyoto Protokolü’ne göre, EK-1 grubuna dahil olan ülkeler, sera gazı emisyonlarını 2008-2012 yılları arasında, 1990 yılı emisyon seviyelerinin % 5 altına indirmeleri gerekmektedir. Kyoto Protokolü’nde ortaya konulan bu hedef, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması konusunda uluslararası alanda atılan en önemli adımlardan biri olarak kabul edilmektedir.

Kyoto Protokolü’nün yürürlüğe girebilmesi iki temel koşula bağlanmıştır. Birinci koşul, İDÇS taraflarının en az % 55’inin bu belgeye taraf olması ve onaylamasıdır. İkincisi koşul ise, 1990 yılı toplam CO₂ emisyonu miktarının en az % 55’inden sorumlu Ek-1 ülkelerinin 55 ülke içinde yer almasıdır. Amerika Birleşik Devletleri’nin Ek-1 ülkeleri içinde 2004 yılında karbon emisyonu % 39’dur. Dünya genelinde ise 2006 yılında % 20 ve 2009 yılında % 18’lik bir paya sahip olan Amerika Birleşik Devletleri’nin Protokol’ü uzun bir süre imzalamaması nedeniyle yürürlüğe giremeyen Kyoto Protokolü, % 11’lik paya sahip olan Rusya Federasyonu’nun 18 Kasım 2004 tarihinde imzalamasıyla birlikte, 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir (IEA, 2008, 2010, KWES:48-56).

Türkiye, 1997 yılında Kyoto’da yapılan III. Taraflar Konferansı (COP 3) sürecinde İDÇS’nin her iki ekinden de çıkarılmasını talep etmiş, fakat talebi kabul edilmediği için Kyoto Protokolü’ne taraf olmamıştır. Türkiye’nin İDÇS karşısındaki tutumu, Rio’dan Kyoto’ya kadarki dönem olan 1992-1997 ile 1997 sonrası dönemleri için önemli farklılıklar arz etmektedir. III. Taraflar Konferansı olan Kyoto’ya kadar Türkiye’nin genel tavrı, her iki ekten de çıkartılması veya Türkiye’nin özel şartlarını hesaba katarak kolaylıklar sağlanması durumunda İDÇS’ye taraf olunması yönündedir. 1997 yılı sonrasında ise, İDÇS sürecine dahil olmanın somut yollarını araştıran daha ılımlı bir yaklaşım içinde olmuştur (Türkeş ve Kılıç, 2003: 20). Bu doğrultuda, 2000 yılında Lahey’de düzenlenen ve VI. Taraflar Konferansı’nda (COP 6) Türkiye, Ek-2’den çıkarılması şartı ve pazar ekonomisine geçiş ülkeleri olan eski sosyalist ülkelere sağlanan teknik destek, finansal yardım, kapasite geliştirme gibi imkanlardan faydalandırılması durumunda Ek-1 ülkesi olarak İDÇS’ye taraf olabileceğini ifade etmiştir. Lahey Konferansı’nda alınan karara bağlı olarak 2001 yılında VII. Taraflar Konferansı olan Marakeş Konferansı’nda (COP 7) “Sözleşmenin Ek-I listesinde yer alan diğer ülkelerden farklı bir konumda olan Türkiye’nin özel şartları tanınarak, 26/CP.7 sayılı kararla isminin EK-1’de kalarak EK-2’den silinmesi” kararıyla Türkiye’nin Ek II’den

çıkartılması kabul edilmiştir (UNFCCC, 2001: 2, <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr> Erişim: 07.12.2011). Bu gelişmelerin ardından, Türkiye'nin İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne katılmasının uygun bulunduğu dair kanun 24 Mayıs 2004 tarihinde imzalanarak Türkiye İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne 189. ülke olarak taraf olmuştur.

Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ne katılmasına dair kanun 26 Ağustos 2009 tarihinde yürürlüğe girmiş ve Türkiye Protokol'e taraf olmuştur. Protokolün kabul tarihinde (1997) BMİDÇS tarafı olmayan Türkiye, EK-1 Taraflarının sayısallaştırılmış salım sınırlama veya azaltım yükümlülüklerinin tanımlandığı Protokol EK-B listesine dahil edilmemiştir. Dolayısıyla, Protokol'ün 2008-2012 yıllarını kapsayan birinci yükümlülük döneminde Türkiye'nin herhangi bir sayısallaştırılmış emisyon sınırlama veya azaltım yükümlülüğü bulunmamaktadır (<http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr> Erişim: 07.12.2011).

2.2. Türkiye'de Sera Gazı Emisyonlarının Gelişimi

İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (İDÇS) taraf olan ülkeler, Ulusal Bildirim ve Ulusal Sera Gazı Envanteri raporlarını her yıl IPCC metodolojisine göre hazırlayarak İDÇS Sekreteryası'na arz etmek zorundadırlar. Ulusal Bildirim raporu, temel olarak geleceğe dair bir yol haritası niteliği taşımaktadır. Sera Gazı Envanteri ise, geçmiş dönemlere ait toplam ve sektörlere ait emisyon verilerinin derlenmesi olarak da değerlendirilebilir.

Türkiye, 2004 yılında İDÇS'ye resmen taraf olması nedeniyle söz konusu iki raporu hazırlama yükümlülüğü altına girmiş, 1990-2004 dönemini kapsayan ilk ulusal sera gazı envanterini 2006 yılında İDÇS Sekreteryası'na sunmuştur. Son olarak 2011 yılında 1990 – 2009 dönemini kapsayan altıncı ulusal sera gazı envanteri hazırlanmıştır.

Tablo 2.1'de Türkiye'nin 1990-2009 döneminde toplam sera gazı emisyonlarında ortaya çıkan değişimler görülmektedir.

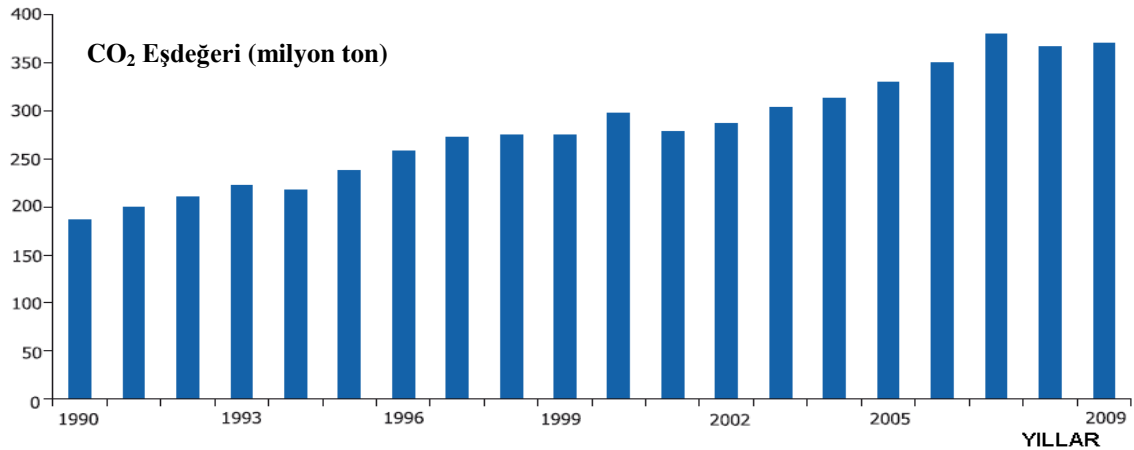
Tablo 2.1: Türkiye’de Sera Gazı Emisyonlarının Gelişimi

Yıllar	Sera Gazları (Milyon Ton CO ₂ eşdeğeri)					Toplam Emisyon
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	SF ₆	
1990	141,36	33,50	11,57	0	0	187,03
1991	148,31	37,56	12,51	0	0	199,13
1992	153,95	41,02	14,58	0	0	210,23
1993	162,55	43,33	15,10	0	0	221,66
1994	160,82	43,71	12,02	0	0	217,15
1995	173,90	46,87	16,22	0	0	237,51
1996	192,01	49,31	16,40	0	0,37	258,62
1997	205,18	50,59	14,98	0	0,61	271,88
1998	204,32	51,90	16,65	0	0,66	274,05
1999	203,68	53,14	16,93	0	0,51	274,78
2000	225,43	53,30	16,62	0,82	0,32	297,01
2001	208,99	52,74	16,49	0,87	0,31	278,11
2002	217,93	50,43	15,32	1,42	0,48	286,09
2003	232,64	51,63	15,67	1,81	0,48	302,75
2004	243,43	49,37	16,00	2,23	0,70	312,26
2005	259,61	52,35	14,18	2,38	0,86	329,87
2006	276,72	53,33	15,55	2,73	0,91	349,64
2007	307,92	55,58	12,35	3,17	0,95	379,98
2008	297,12	54,29	11,57	2,67	0,84	366,50
2009	299,11	54,37	12,53	2,84	0,80	369,65

Kaynak : TÜİK, 2011a: 9.

* : Arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri ve ormancılık sektörünün sera gazı azaltımı değişiklikleri hariç.

Tablo 2.1’den izlenebileceği gibi, Türkiye’nin toplam sera gazı emisyonları, 1990-2009 yıllarını kapsayan dönem boyunca % 97 artış göstermiştir.

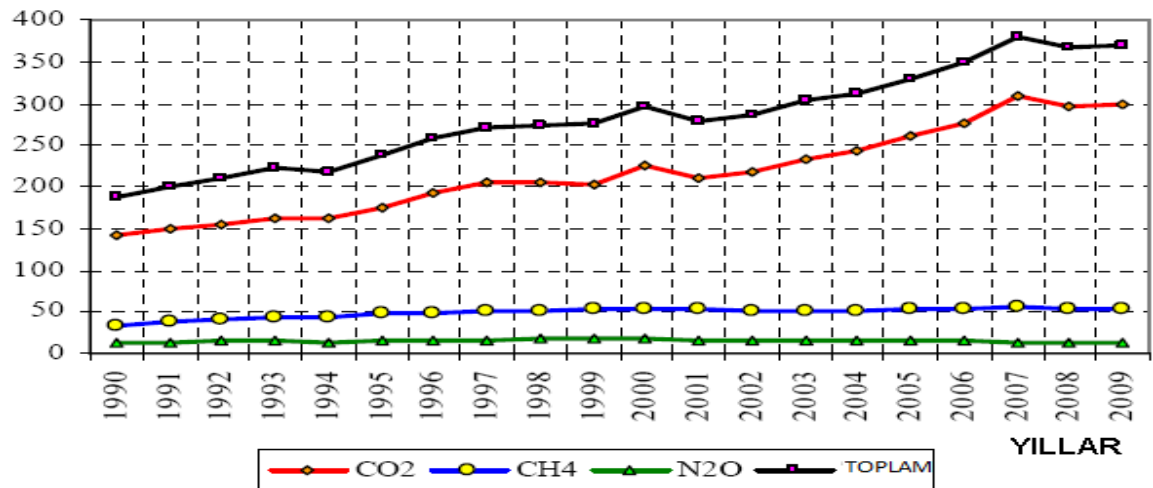
Şekil 2.1: Türkiye’de Sera Gazı Emisyon Eğilimi

Kaynak : TÜİK, 2011a: 6.

Tablo 2.1 ve Şekil 2.1’den görüldüğü üzere, Türkiye’nin 1990 yılında 187,03 milyon ton CO₂ eşdeğeri olan toplam sera gazı emisyonu, 2009 yılına gelindiğinde % 97 oranında bir artış göstererek 369,65 milyon ton CO₂ eşdeğerine ulaşmış bulunmaktadır. Ortaya çıkan bu yüksek artış oranında, söz konusu dönemde Türkiye’nin ekonomik büyüme açısından oldukça iyi bir performans sergilemesi ve yüksek nüfus artışının etkileri olduğu söylenebilir. 1998–2009 döneminde Türkiye ekonomisi reel olarak % 38 büyürken, 1990–2009 döneminde ise % 119 büyümüştür (evds.tcmb.gov.tr’den hesaplanmıştır, Erişim: 09.12.2011).

Şekil 2.2: Türkiye’de Türlerine Göre Sera Gazları Emisyonlarının Gelişimi

CO₂ Eşdeğeri (milyon ton)



Kaynak : TÜİK, 2011a: 10.

Şekil 2.2’den izlenebileceği gibi, 1990-2009 arası dönemde Türkiye’de sera gazları içerisinde CO₂, oldukça yüksek bir orana sahiptir ve toplam sera gazlarının

belirleyicisi konumundadır. CO₂ gazının artış eğilimi toplam artış eğilimi ile paralellik gösterirken, diğer sera gazlarının artış eğilimi nispeten daha düşüktür.

Toplam sera gazı emisyonlarındaki artış yukarıdaki gibi ifade edildikten sonra, sera gazlarının sektörel kaynakları üzerinde durulması gereken önemli noktalardan birisidir.

Tablo 2.2: Türkiye'nin Sektörlere Göre Toplulaştırılmış Sera Gazı Emisyonları *

Yıllar	Sektörler / Faaliyetler					Değişim 1990=100
	Enerji	Sanayi	Tarım	Atık	Toplam**	
1990	132,13	15,44	29,78	9,68	187,03	100,00
1991	137,96	17,73	30,35	13,09	199,13	106,47
1992	144,27	18,93	30,33	16,70	210,23	112,40
1993	150,78	20,92	30,51	19,46	221,66	118,52
1994	148,62	19,25	29,19	20,09	217,15	116,10
1995	160,79	24,21	28,68	23,83	237,51	126,99
1996	178,96	24,32	29,10	26,24	258,62	138,28
1997	191,39	24,14	27,66	28,69	271,88	145,37
1998	190,62	24,75	28,36	30,31	274,05	146,53
1999	190,61	23,93	28,61	31,62	274,78	146,92
2000	212,55	24,37	27,37	32,72	297,01	158,80
2001	196,02	23,32	25,96	32,81	278,11	148,70
2002	204,02	25,43	24,51	32,12	286,09	152,96
2003	218,00	26,30	25,36	33,09	302,75	161,87
2004	227,43	28,52	25,01	31,30	312,26	166,96
2005	241,75	28,75	25,84	33,52	329,87	176,37
2006	258,66	30,69	26,50	33,88	349,64	186,94
2007	283,69	29,26	26,31	35,71	379,98	203,17
2008	277,71	29,83	25,04	33,92	366,50	195,96
2009	278,33	31,69	25,70	33,93	369,65	197,64

Kaynak : TÜİK, 2011a: 6.

* : milyon ton CO₂ eşdeğeri

** :Arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri ve ormancılık sektörünün sera gazı azaltımı değişiklikleri hariç

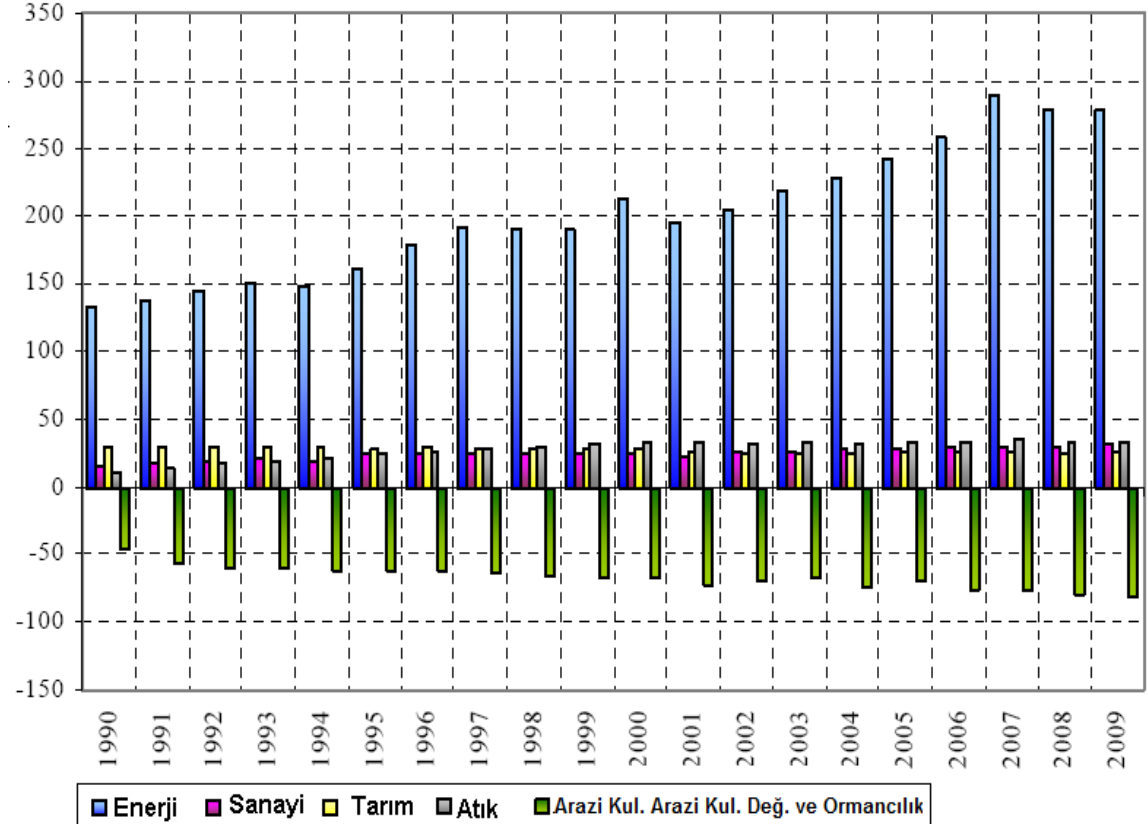
Tablo 2.2'de arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık sektörü (Land Use, Land-Use Change and Forestry-LULUCF) olmadan meydana gelen sektörel emisyon miktarları verilmiştir. Sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımına

bakıldığında, 2009 yılında 369,65 milyon tonluk emisyonun 278,33 milyon tonu enerji sektöründen kaynaklanmaktadır ve enerji sektörünün emisyonu toplam sera gazı emisyonu içinde % 75 gibi önemli bir yer tutmaktadır. 1990 yılında ise bu oran % 70'tir ve 187,03 milyon ton CO₂ eşdeğeri olan sera gazı emisyonunun 132,13 milyon ton CO₂ eşdeğeri gibi büyük bir kısmı enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Ayrıca, incelenen dönem içerisinde enerji sektörü, toplam sera gazı emisyonu içindeki yüksek payını sürekli olarak korumuş ve arttırmıştır. 2009 yılında sanayi sektörünün payı % 8, tarım sektörünün payı % 6 ve atık bertarafı sektörünün payı % 9'dur. Enerji sektöründen sonraki en yüksek payları sırasıyla; atık, sanayi, tarım sektörleri almaktadır.

Tablo 2.2'de dikkat çeken önemli bir nokta; 1990 – 2009 döneminde sektörel sera gazı artışları göz önüne alındığında; enerji sektöründe sera gazı artışı % 110, sanayi sektöründe % 100, atık sektöründe % 266'dır. Tarım sektöründe ise azalma söz konusudur ve emisyon salımı % 13 azalmıştır.

Şekil 2.3: Türkiye'de Sektörel Sera Gazı Emisyon Trendleri

CO₂ Eşdeğeri (Milyon Ton)



Kaynak : TÜİK, 2011a: 9.

Şekil 2.3'ten de izlenebileceği gibi, enerji sektörü 1990-2009 arası dönemde tüm emisyonlar arasında en yüksek paya sahip olan sektör konumundadır ve sektörel açıdan sera gazlarının temel belirleyicisidir. 2000'li yıllara kadar, tarım sektörü toplam sera gazı emisyonuna katkı yapan ikinci büyük sektör iken, 1999 yılından itibaren sahip olduğu konumu atık sektörüne bırakmıştır. 1990 yılında oldukça düşük bir miktarla toplam sera gazı emisyonuna katkı yapan atık sektörünün ağırlığı zaman içerisinde artmış, 1997 yılından sonra ise toplam sera gazı emisyonlarına sanayi ve tarım sektörleri emisyonlarından daha fazla miktarda katkı yapmıştır. Şekil 2.3'te dikkat çeken başka bir husus, arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık (LULUCF) sektörü sera gazlarını azaltıcı yönde etki göstermektedir.

Tablo 2.3: Türkiye’de Sektörlerin Sera Gazı Emisyonuna Katkısı (%)

Yıllar	Sektörler / Faaliyetler				
	Enerji	Sanayi	Tarım	Atık	Arazi Kul. Değ. ve Ormancılık
1990	92,9	10,9	20,9	6,8	-31,6
1991	96,6	12,4	21,2	9,2	-39,4
1992	96,5	12,7	20,3	11,2	-40,5
1993	93,4	13,0	18,9	12,1	-37,3
1994	95,9	12,4	18,8	13,0	-40,1
1995	91,5	13,8	16,3	13,6	-35,2
1996	91,2	12,4	14,8	13,4	-31,8
1997	92,2	11,6	13,3	13,8	-31,0
1998	91,5	11,9	13,6	14,5	-31,5
1999	91,5	11,5	13,7	15,2	-31,9
2000	92,6	10,6	11,9	14,3	-29,4
2001	95,2	11,3	12,6	15,9	-35,0
2002	93,9	11,7	11,3	14,8	-31,7
2003	92,7	11,2	10,8	14,1	-28,7
2004	95,9	12,0	10,5	13,2	-31,7
2005	92,9	11,0	9,9	12,9	-26,7
2006	94,5	11,2	9,7	12,4	-27,7
2007	95,1	9,6	8,7	11,8	-25,1
2008	97,1	10,4	8,8	11,9	-28,2
2009	96,9	11,04	8,9	11,8	-28,7

Kaynak : TÜİK, 2011a: 8.

* : Arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri ve ormancılık.

Tablo 2.3’de arazi kullanımı, arazi kullanım değışikliğı ve ormancılık sektörü (LULUCF) ile birlikte tüm sektörlerin oluşturduğu sektörel emisyon miktarları verilmiştir. Sektör ya da faaliyetlerin toplam sera gazı emisyonuna yapmış oldukları katkılar incelendiğinde ise, 1990 yılında enerji sektörünün toplam sera gazı emisyonuna % 92,9 oranında katkı yaptığı görülmektedir. Aynı yılda sanayi sektörünün toplam sera gazı emisyonuna yapmış olduğu katkı payı % 10,9; tarım sektörünün yapmış olduğu katkı payı % 20,9’dur. Atık faaliyetleri ise 1990 yılında toplam sera gazı emisyonuna % 6,8 oranında katkı yapmıştır. Tüm bu sektörler ve faaliyetler toplam sera gazı emisyonunu arttırıcı bir etki yaratırken, toprak kullanımında ortaya çıkan bazı değışiklikler de emisyon miktarını azaltıcı etkiler yaratmaktadır. Nitekim 1990 yılında toprak kullanımında ortaya çıkan değışmeler, toplam sera gazı emisyonuna % 31,6 oranında negatif yönde katkı yapmıştır. Bu oranın 2009 yılında % 28’e gerilemesinde ormanların yok edilmesinin etkisi olduğu düşünölebilir.

2.3. Türkiye’de Sera Gazı Emisyon Artışlarının Ekonomik Belirleyicileri

Çalışmanın bu bölümünde Türkiye’deki iklim değışikliğıne neden olan ekonomik faktörler incelenirken, Türkiye’nin IPCC metodolojisine uygun olarak hazırlayıp İDÇS sekreteryasına sunmuş olduğu ve 1990-2009 yıllarını kapsayan VI. Ulusal Sera Gazı Envanteri dikkate alınmıştır. Sera gazı emisyon artışlarının ekonomik belirleyicileri olarak, 2011 Envanteri’nde yer alan enerji, sanayi, tarım, toprak kullanımı ve atık faaliyetlerine yer verilecektir.

2.3.1. Ekonomik Faaliyetlerde Enerji Kullanımı

Dünya’da olduğu gibi enerji sektörü, Türkiye’de de sera gazı emisyonları açısından kilit sektör konumundadır. 2009 yılında toplam CO₂ emisyonunun yaklaşık % 92’sinin enerji sektöründen kaynaklandığı düşünölürse, söz konusu sektörün sera gazı emisyonları açısından taşımış olduğu önem daha da anlam kazanacaktır.

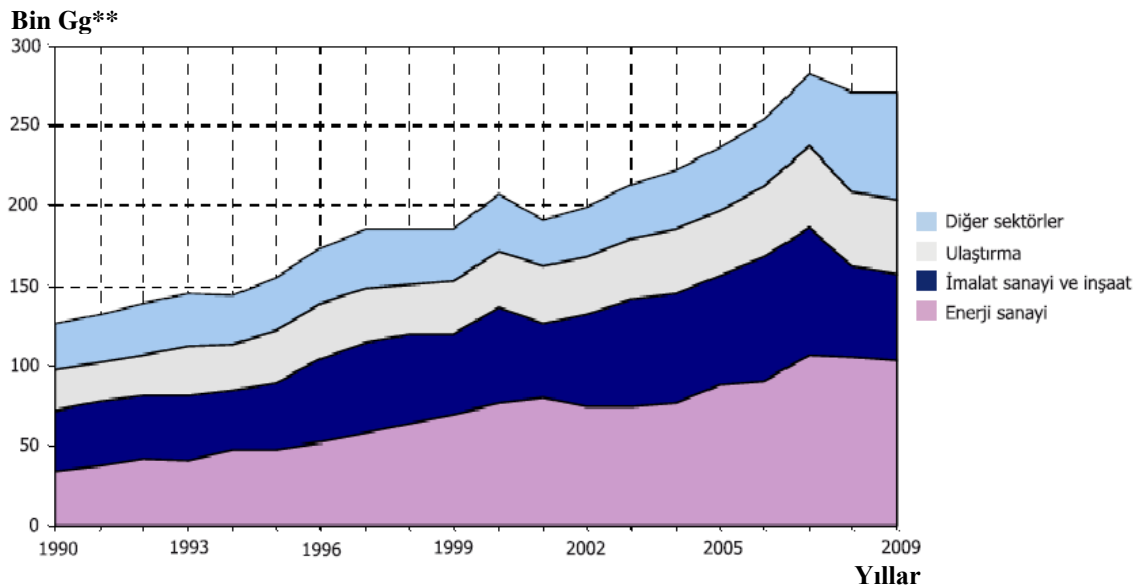
Türkiye’de üretimde enerji kullanımından kaynaklanan emisyonları, TÜİK’in hazırlamış olduğu 2011 yılı Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu’nda olduğu gibi iki bölümde incelenebilir. Bu bölümler; yakıt tüketimi sonucu açığa çıkan emisyonlar ve kaçak emisyonlar’dır.

2.3.1.1. Yakıtların Yanmasıyla Oluşan Emisyonlar

1990-2009 dönemini kapsayan VI. Sera Gazı Envanteri Dönemi'nde enerji sektöründeki sera gazı emisyonları Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ve Ulaştırma Bakanlığı (UB) ile hesaplanmaktadır. Türkiye'de sera gazlarının temel kaynağı fosil yakıtlardır. Enerji kullanımından kaynaklanan en büyük sera gazı emisyonu kaynağı, yakıtların yanmasından kaynaklanan emisyonlardır (TÜİK 2011a: 10).

Şekil 2.4'te TÜİK'in baz aldığı ETKB'nın Enerji Denge Tabloları'nda da düzenlenmiş olan sektörlerin sera gazı emisyon miktarları, Şekil 2.5'te sektörlerin sera gazı emisyon oranları verilmiştir.

Şekil 2.4: Türkiye'de Yakıtların Yanmasından Kaynaklanan Sektörel CO₂ Emisyonları*



Kaynak : TÜİK, 2011a: 13.

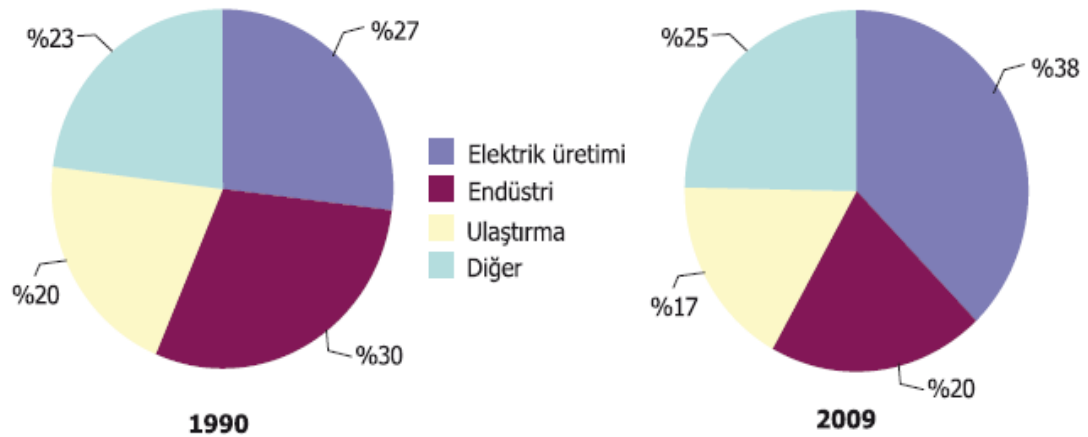
**** :** Bin Giga gram ya da milyon ton, ** Diğer sektörler; Isınma, Tarım, Ormancılık ve Balıkçılıktır.

Dünyada sera gazı etkisinin yaklaşık % 60'ı CO₂ gazından kaynaklanmaktadır (TÜİK, 2011a: 11). Şekil 2.4'ten izlenebileceği gibi, Türkiye'de yakıt yanmasından kaynaklanan sektörel CO₂ emisyonu miktarı 1994 yılına kadar önemli bir değişme göstermemiştir. 1995-1997 yılları arasında ise hızlı bir artış eğilimi dikkat ekmektedir. Bu artış eğilimi 1997, 1998 ve 1999 yılları arasında durağanlaşmış, 2000 ve 2007 yıllarında pik değerlere ulaşmıştır. 2000 yılına gelindiğinde 200 milyon ton seviyesinde

olan emisyon miktarı 2001 yılında azalma kaydetmiş fakat, tekrar artış eğilimine girerek, 2008 yılında 277 milyon ton seviyesine çıkmıştır.

Türkiye’de yanma kaynaklı en büyük emisyon artışı 1990 yılına göre % 201,4 gibi yüksek bir oranla enerji sanayisinde ortaya çıkmıştır. Enerji sanayisini, % 80 oranıyla taşımacılık ve % 46,8 oranıyla imalat sanayi takip etmektedir. 1990 yılına göre enerji kaynaklı toplam CO₂ emisyonu artışı ise % 114’tür (TÜİK, 2011a: 12). Karbondioksit emisyonunda yaşanan bu artışta, Türkiye’nin ekonomik büyümesi ve nüfus artışının önemli bir etkisi vardır.

Şekil 2.5: Türkiye’de Yakıt Türlerinden Kaynaklanan Sektörel CO₂ Emisyonları*

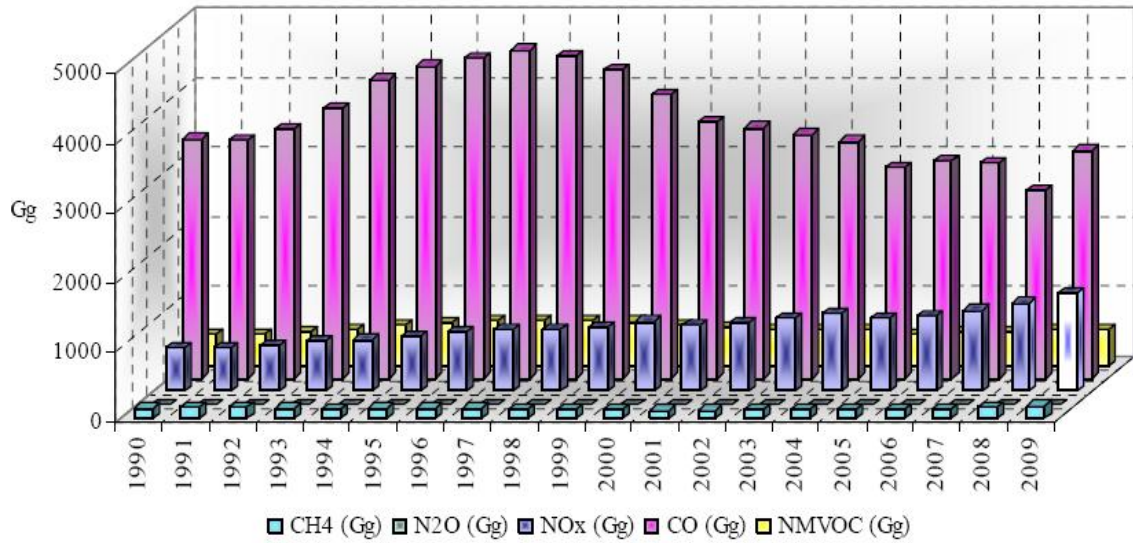


Kaynak : TÜİK, 2011a: 12.

* Diğer sektörler; Isınma, Tarım, Ormancılık ve Balıkçılıktır.

Şekil 2.5’te görülebileceği gibi, 1990 yılında yanma kaynaklı emisyonların payı sırasıyla Endüstri % 30, Elektrik Üretimi % 27, Ulaştırma % 20 ve Diğer sektörler % 23’ür. 2009 yılında ise en fazla pay % 38 ile Elektrik Üretimi’ndedir. Elektrik Üretimini sırasıyla % 25 Diğer sektörler, % 20 Endüstri, % 17 Ulaştırma sektörü izlemektedir. Elektrik Üretimi ve Diğer sektörlerin payı artarken, Ulaştırma ve Endüstrinin emisyonlardaki payı azalmıştır.

Şekil 2.6: Türkiye’de Yakıtların Kullanımından Kaynaklanan Emisyonlar Türleri



Kaynak : TÜİK, 2011a: 14.

Şekil 2.6’da görüldüğü gibi, yakıt kullanımından kaynaklanan karbonmonoksit (CO) emisyonu, 1998 yılına kadar bir artış göstermiş fakat bu yıldan sonra dalgalı bir seyir izleyerek azalma kaydetmiştir. CO emisyonu trendinde ortaya çıkan bu durumun en önemli nedeni, konutlarda kömür yerine doğalgaz tüketiminin hız kazanmaya başlamasıdır. 2001 yılında sadece 6 ilimizde doğalgaz varken, 2010 yılı sonu itibariyle 63 ilimizde konutlarda ve sanayide doğalgaz kullanılmaktadır (EPDK, 2010: 36). Ayrıca taşımacılık sektöründe LPG kullanımının yaygınlaşması ve 1998 yılından itibaren dizel yakıt tüketimindeki artış da emisyon trendindeki azalmaya katkı yapmıştır.

2.3.1.1.1. Enerji Sektörü

Enerji sanayisinden kaynaklanan emisyonlar hesaplanırken, ağırlıklı olarak elektrik üretimi ve petrol rafineri işlemlerinde kullanılan taşkömürü, linyit, doğalgaz gibi fosil yakıt kullanımlarını dikkate alınmaktadır. Yakıt tüketimleri Enerji Denge Tabloları’ndan elde edilmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı verilerine göre, 2009 yılında elektrik üretimi sera gazı emisyonları içerisindeki ana rolünü korumuştur. Elektrik üretim kapasitesi bir önceki yıla göre % 7,08 oranında artarak 47,76 GW (giga watt) seviyesine ulaşmıştır. Bu değer 1990 yılı değerinden yaklaşık 2,75 kat fazladır. Toplam net elektrik üretimi 2008 yılında 161,9 TW (tera watt) iken 2009 yılında 159,9 TW olarak gerçekleşmiştir. Elektrik tüketimine olan talep ise sürekli artış göstermektedir. 1990

yılında 57,5 TWh (tera watt saat) olan brüt elektrik üretimi, 2006 yılında 176,3 TWh, 2007 yılında 191,5 TWh, 2008 yılında 198,16, 2009 yılında 196,01 TWh ve 2010 yılında 212,01 TWh seviyesine yükselmiştir. 1990-2010 arasındaki artış oranı % 268, ortalama yıllık artış oranı ise % 12'dir³.

2009 yılı elektrik üretiminde % 49.3 ile doğalgaz en büyük paya sahip iken, bunu % 28.35 ile kömür, % 18.8 ile Hidro ve Jeotermal, % 0.94 ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları ve % 2.5 ile fueloil izlemektedir (TÜİK, 2011a: 15).

Tablo 2.4: Türkiye’de Elektrik Üretiminin Kaynakları (TWh)

Yıllar	Elektrik Üretim Kaynakları				
	Doğalgaz	Taşkömürü	Linyit	Su ve Jeotermal	Petrol
2006	80,6	14,2	32,4	44,3	4,3
2007	95	15,1	38,2	36	6,5
2008	98,6	15,8	41,8	33,3	7,5
2009	96,0	16,1	39,0	24,7	4,8
2010	98,1	18,1	35,9	52,4	2,8

Kaynak : Tablodaki değerler T.C.Enerji Bakanlığı Enerji Denge Tablolarından yazar tarafından hesaplanmıştır.

2006 yılında hidroelektrik santrallerinden 44,3 TWh saat elektrik elde edilirken, 2007 yılında bu rakam 36 TWh seviyesine gerilemiştir. Bu azalmanın sebebi son yıllarda yaşanan su sıkıntıları ve yetersiz yağışlardır. Buna rağmen hidroelektrik santrallerindeki kapasite artışı devam etmektedir. Hidroelektrik santrallerindeki elektrik üretiminde yaşanan bu azalış nedeniyle, artan enerji talebini karşılayabilmek amacıyla 2007 yılında 155 TWh’lik termal elektrik tesisi yatırımı gerçekleştirilmiştir. Böylece termal kaynaklı elektrik üretimi 2006 yılına göre % 18 oranında arttırılmıştır. 2008 yılında hidroelektrik santrallerde ve özellikle doğalgazla çalışan termik santrallerde yapılan kapasite artışı ile 33 TW olan üretim, 2009 yılında % 9,1 artışla 36 TW olarak gerçekleşmiştir. 2009 yılında termik santraller toplam kurulu kapasitenin % 65,5’ini

³ Veriler, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 yılı Enerji Denge Tabloları’ndan faydalanılarak yazar tarafından hesaplanmıştır.

http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/raporVeriGir/62173/2

http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/raporVeriGir/49100/2

oluşturmakta ve toplam talebin % 80,6'sını karşılamaktadır (TÜİK, 2011a: 16). Hidroelektrik santrallerindeki su sıkıntısı ve elektrik talebinde yaşanan hızlı artışlar sebebiyle Şekil 2.5'ten de görüldüğü üzere, elektrik üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. 1990 yılında toplam CO₂ emisyonunun % 27'si elektrik üretiminden kaynaklanırken, 2009 yılında bu oran % 38 seviyesine yükselmiştir. Tablo 2.4 göstermektedir ki, Türkiye'de başta doğalgaz olmak üzere, kömür ve petrolden elde edilen elektrik üretimi artış göstermekte, fosil kaynaklı yakıt kullanımına bağlı olarak oluşan sera gazı emisyonları da buna paralel olarak artış kaydetmektedir.

Ayrıca hayvansal ve bitkisel atıklardan elektrik üretimi 2008 yılına göre % 36,6 artış kaydederek, 82 MW (Mega Watt) kurulu güce ulaşmış ve 2009 yılında 340 GW (Giga Watt) üretim gerçekleştirmiştir (TÜİK, 2011a: 17).

Tüm fosil kaynaklı yakıtlardan ve hayvansal ve bitkisel atıklardan elektrik üretiminin artarak CO₂ emisyonuna sebep olmasının yanı sıra, emisyonu yol açmayan özellikle rüzgar enerjisi gibi temiz enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin artış göstermesi olumlu bir gelişmedir. 2006 yılında rüzgar santrallerinden 126,5 MW (mega watt) elektrik elde edilirken, 2007 yılında 355 MW, 2008 yılında 364 MW ve 2009 yılında ise 792 MW olarak gerçekleşmiştir. Bu santrallerin kurulu güç kapasitelerinde ve elde edilen elektrik enerjisi seviyelerinde artışlar olsa da henüz elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının % 1'den küçük olması, bu konuda çok daha fazla çalışma yapılması gerektiğini ifade etmektedir.

2009 yılında Türkiye'nin Toplam Birincil Enerji Arzı (TPES) 106 ,14 Mtep olup 2008 yılına göre % 0.18 azalmıştır. Toplam birincil enerji arzının 30,44 Mtep'i kömür, 32,78 Mtep'i doğalgaz, 30,57 Mtep'i petrol ve 8,7 Mtep'i yenilenebilir kaynaklardan temin edilmiştir. Birincil enerji üretimi (yurtiçi) % 3.5 artarak 2008 yılında 29,3 Mtep'den 2009 yılında 30,32 Mtep değerine ulaşmış ve TPES'in % 28.6'sını sağlamıştır. Türkiye'nin 2009 yılında enerji ithalatı bağımlılığı % 71,5 olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2011a: 16). Türkiye'nin % 71.5 gibi oldukça yüksek enerji bağımlılığı hem ekonomisini hem de emisyonlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Türkiye'nin ithalatında enerjinin payı 2009 yılında % 22.2, 2010 yılında ise % 21.7'dir. Türkiye'nin cari açığının büyük bir kısmının enerji ithalatından kaynaklandığı göz

önüne alınırsa yenilenebilir kaynaklara yatırım yaparak, hem ekonomisini bağımlılıktan kurtaracak hem de emisyonlarını azaltabilecektir.

2.3.1.1.2. İnşaat ve İmalat Sanayi

İmalat sanayi ve inşaat sektörünün alt kalemleri; demir ve çelik endüstrisi, kimya sanayi, kağıt üretimi, çimento üretimi, gıda üretimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu endüstrilere ilişkin CO₂ emisyonu diğer sektörler nazaran oldukça yüksektir. Üretim süresince yüksek ısı verme özelliğine sahip olan fosil kaynaklı bir yakıt olan kömür ve doğalgazın yoğun olarak kullanılması bu duruma yol açan ana faktördür. Enerji denge Tablolarında detaylı ayrıştırma yapılmadığı için, alt sektörler emisyon açısından detaylı inceleme yapılamamaktadır.

Türkiye’de toplam CO₂ emisyonuna imalat sanayinin katkısı 1990 yılında % 30 iken 2009 yılında % 29 olmuştur (TÜİK, 2011a: 12).

Tablo 2.5: Türkiye’de CO₂ Emisyonunun Sektörel Dağılımı (%)

Sektör	1990	2009
Elektrik Üretimi	27	38
Sanayi	30	20
Ulaştırma	20	17
Diğer	23	25

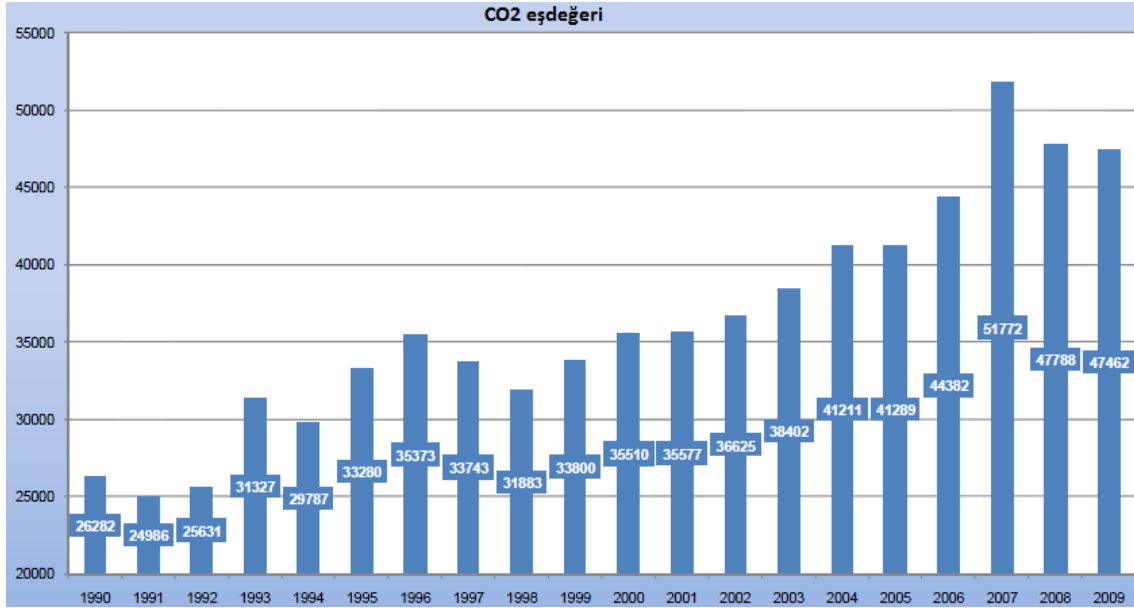
Kaynak : TÜİK, 2011a: 12.

Tablo 2.5’ten izlenebileceği gibi, 1990-2009 döneminde, elektrik üretimi, CO₂ emisyonuna yapmış olduğu katkıyı arttırırken, sanayi ve ulaştırma sektörlerin payları azalma göstermiştir. Bu azalmada, emisyonu kömüre göre daha az olan doğalgaz kullanımının etkisi vardır.

2.3.1.1.3. Ulaştırma Sektörü

Sivil havacılık, karayolu ulaşımı, yurtiçi deniz taşımacılığı ve demiryolu ulaşımını sektörlerinden oluşan ulaştırma sektörü, Türkiye’de ana emisyon kaynaklarından biridir. Nitekim 2009 yılı emisyonu, 1990 yılı emisyonundan % 64,97 fazla olup yılda ortalama % 4,03 artmaktadır. Bu sektörlerde ortaya çıkan temel sera gazları CO₂ ve N₂O’dur (TÜİK, 2011a: 20).

Şekil 2.7: Türkiye’de Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan CO₂ Emisyonları



Kaynak: TÜİK, 2011a: 21.

Şekil 2.7’de görülebileceği gibi, 2009 yılında ulaşım sektörü toplam CO₂ emisyonu 47,48 Mt katkıda bulunmuştur. 1990- 2009 dönemi içerisinde 51,17 Mt ile en fazla emisyon 2007 yılında gerçekleşmiştir.

Tablo 2.6’da ulaştırma sektörünün alt sektörlerinin CO₂ emisyonları verilmiştir. Karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar, ulaşım sektöründe en büyük payı almaktadır. Bu sektör 2009 yılında 40,19 Mt karbondioksit emisyonu oluşturmuştur ve toplam emisyon içinde % 84,7’lik bir paya sahip olmuştur. Karayolu taşımacılığını 8,82 milyon tonluk emisyon hacmi ve % 22,5 oranıyla kişisel taşıtlar izlemektedir. Yurtiçi havacılık 2009 yılında 5,1 milyon tonluk bir emisyon açığa çıkarmış ve toplam ulaşım sektöründe % 10,8’lik paya sahip olmuştur. Yurtiçi deniz taşımacılığının toplam emisyonu 1,6 milyon ton ve payı % 3,4 iken demiryolu taşımacılığının emisyonu 0,45 milyon ton ve payı % 0.9’dur. Tablo 2.6’da dikkat çeken bir diğer husus, ulaştırma sektöründe havayolu taşımacılığının payının artması ile birlikte CO₂ emisyonundaki payda artmış, 1990 yılında % 3.4 iken 2009 yılında % 10.8’e yükselmiştir. Denizcilik sektöründe emisyon payını artırırken, karayolu ve demiryolu taşımacılığının payı bu dönemde azalmıştır.

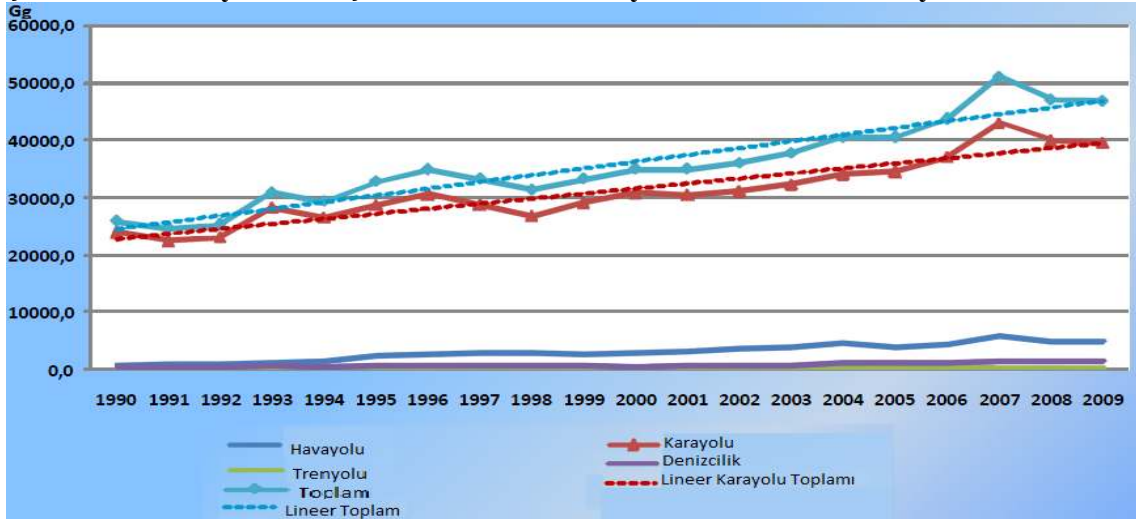
Tablo 2.6: Türkiye’de Ulaştırma Kaynaklı CO₂ Emisyonunun Sektörel Dağılımı

Sektör	1990 (Gg)	1990 (%)*	2009 (Gg)	2009 (%)*
Karayolu	24350,7	92,6	40199,6	84,74
Sivil Havacılık	914,9	3,4	5158,9	10,87
Demiryolu	521,5	1,9	444,8	0,94
Denizcilik	499,3	1,8	1636,3	3,45

Kaynak : TÜİK, 2011a: 20.

* Verilen yılda ilgili sektörün ulaştırma sektörü içindeki CO₂ emisyonu payıdır.

Şekil 2.8’de ulaştırma sektörünün alt sektörlerinin CO₂ emisyonları grafiği verilmiştir.

Şekil 2.8: Türkiye’de Ulaşım Sektöründen Kaynaklanan CO₂ Emisyonları

Kaynak: TÜİK, 2011a: 21.

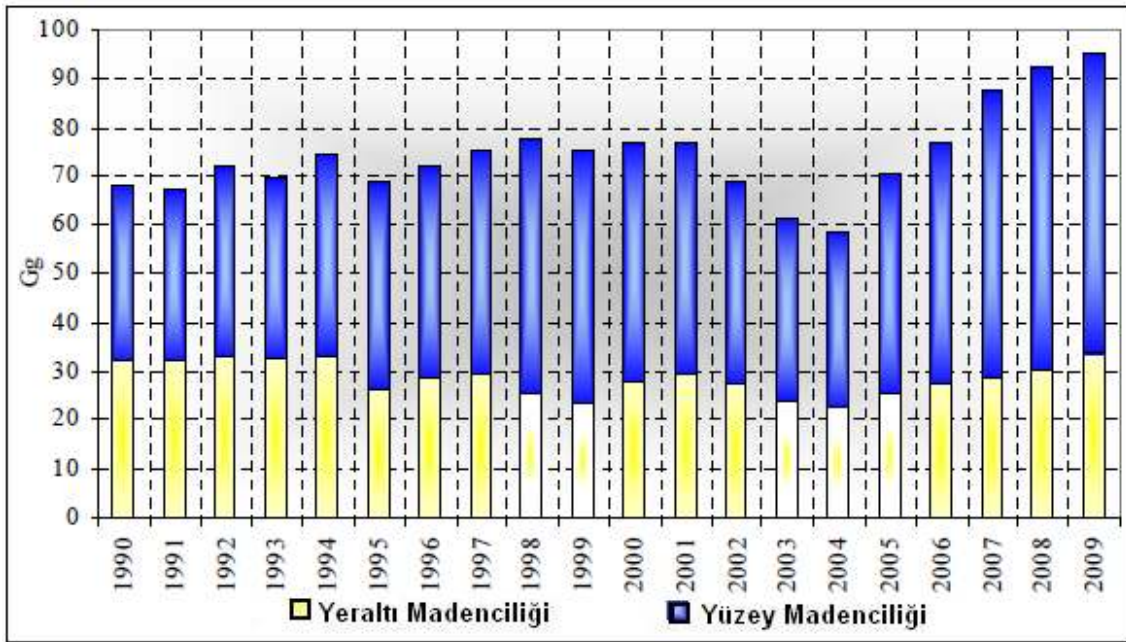
Şekil 2.8’den izlenebileceği gibi ulaşım sektöründen kaynaklanan toplam CO₂ emisyonu genel olarak artış eğilimindedir. Şekilde ulaşım sektöründeki CO₂ emisyonlarında temel belirleyici sektörün karayolu taşımacılığı olduğu görülmektedir. Trenyolu taşımacılığı, denizyolu taşımacılığı ve havayolu taşımacılığının emisyonları, karayolu taşımacılığına göre oldukça azdır. Ayrıca havayolu taşımacılığının emisyonlarının yüksek bir artış trendinde olduğu söylenebilir.

2.3.1.2. Kaçak Emisyonlar

Fosil yakıtların nihai kullanımına kadar tüm aşamalarda kaçak emisyon salınabilmektedir. Türkiye’deki enerji kaynaklı kaçak emisyonların başında, yer altından ve yüzey madenlerinden çıkarılan taşkömürü ve linyite bağlı olarak açığa çıkan

metan gazı emisyonu gelmektedir. Kömür madenciliğinden kaynaklanan metan gazı emisyonu 58,54 Giga gram (58540 ton) ile 95,18 Giga gram arasında değişmektedir. Metan emisyonu 2009 yılında en yüksek değerini alırken, en düşük metan emisyonu ise 2004 yılında gözlenmiştir.

Şekil 2.9: Kömür Madenciliğinden Kaynaklanan Metan Emisyonları



Kaynak : TÜİK, 2011a: 37.

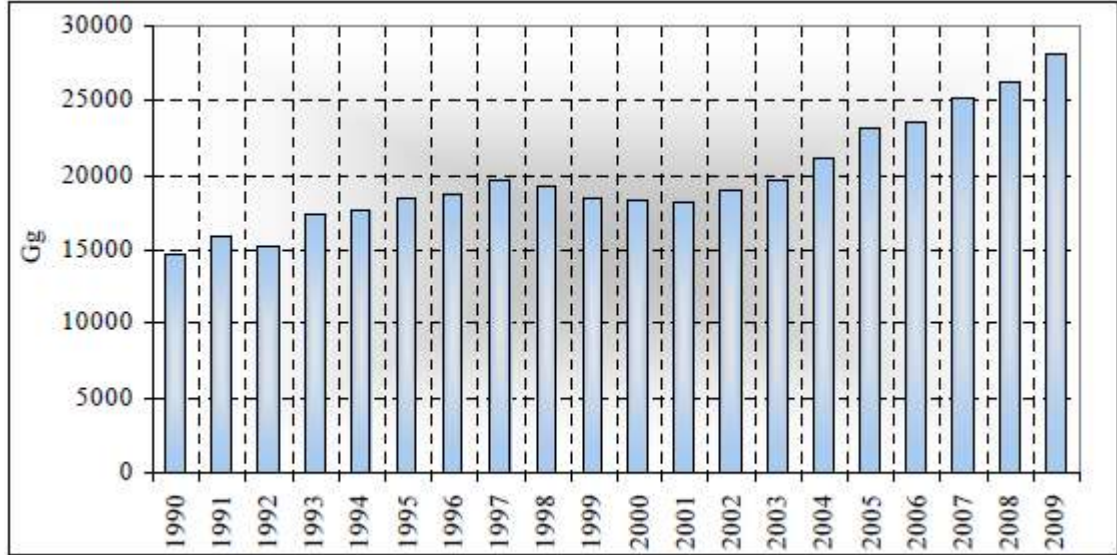
Türkiye’de yeraltı kömür madenciliği emisyonu 1990-2004 dönemi boyunca durağan bir seyir izlemiş, 2001 yılında itibaren azalma göstererek 2004 yılında en düşük seviyesine gerilemiş ve bu yıldan itibaren hızlı bir artış trendine girmiştir. 1990 yılında 68,12 Giga gram olan yer altı madenciliğine bağlı metan emisyonu 2009 yılına gelindiğinde 95,18 Giga gram seviyesine yükselmiştir. 1990 yılında toplam kömür üretiminin yaklaşık % 5,8’i yer altı madenlerinden elde edilirken, 2009 yılında bu oran % 3,6 seviyesine kadar düşmüştür (TÜİK, 2011a: 39-40). Kömür madeni üretiminde ortaya çıkan bu azalmanın temel nedeni, daha önce de anlatıldığı üzere, konut sektöründe kömür tüketimi yerine doğalgaz tüketiminin tercih edilmesidir.

2.3.2. Endüstriyel Faaliyetler

Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları, sadece üretim sürecinden kaynaklanan emisyonlardır. Bu kategori sadece üretim esnasında çıkan emisyonları kapsar, üretim için gerekli olan enerji arzının sağlanmasındaki yakıt kullanımından kaynaklanan emisyonları kapsamaz, endüstriyel faaliyetlerden

kaynaklanan emisyonlar kapsamının dışında tutulmaktadır. Bu nedenle de, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklı emisyonlara “yanma dışı emisyonlar (non-combustion emission)” denilmektedir.

Şekil 2.10: Endüstriyel Faaliyetlerden Kaynaklanan CO₂ Emisyonları



Kaynak : TÜİK, 2011a: 41.

Şekil 2.10, Türkiye’de 1990-2009 döneminde endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının gelişimini göstermektedir. 1990 yılında yaklaşık 140 Giga gram olan endüstri kaynaklı CO₂ emisyonu miktarı, 2009 yılına gelindiğinde yaklaşık % 50 oranında artış göstererek 285 Giga gram seviyesine yükselmiş bulunmaktadır.

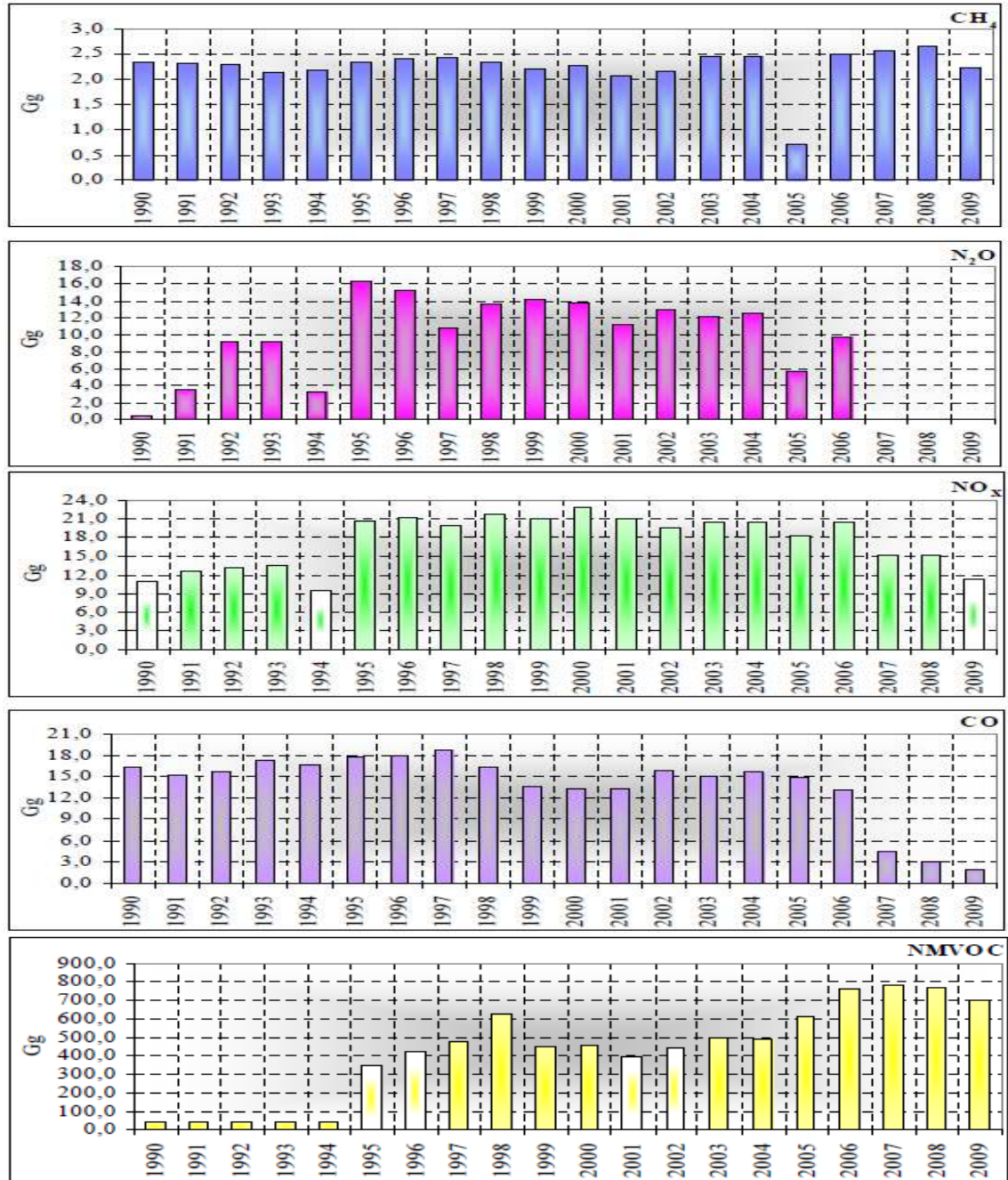
1990-2009 döneminde bakıldığında, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarında en büyük payı çimento üretimi almaktadır. 1990 yılında, çimento üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonunun, toplam endüstriyel faaliyetler CO₂ emisyonuna yapmış olduğu katkı % 71,9 iken, 2009 yılında bu oran % 91,1 düzeyine yükselmiştir (TÜİK, 2011a: 42).

Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan CO₂ emisyonu haricindeki diğer sera gazlarının gelişimi ise Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Türkiye’de metan emisyonunun temel kaynağı kimya endüstrisidir. Söz konusu endüstri, yıllık 0,71 ila 2,64 Gg arasında emisyon yaratmaktadır. CO emisyonu ağırlıklı olarak asfalt yol kaplama ve petrol sanayisinden kaynaklanmaktadır. CO emisyonu 1,99 ile 18,64 Gg arasında değişmektedir.

Kimya sanayisinde özellikle nitrik asit üretiminde kullanılan N_2O (Azotoksit) emisyonu, 1990-2009 yılları arasında büyük dalgalanmalar göstermiştir. Bu durumun temel nedeni; yurt içinde nitrik aside olan talepteki değişimlerdir. Bu durum NO_x emisyonlarını da etkilemiştir. NO_x emisyonu başlıca; cam üretimi, asfalt üretimi, nitrik asit üretimi, demir ve çelik üretimi, diğer kimyasal maddelerin üretilmesi, kağıt imalatı gibi çeşitli sanayi faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Türkiye’de en yüksek NO_x emisyonu yaratan faaliyetler, kağıt üretimi ve nitrik asit üretimidir.

Şekil 2.11’den da açıkça görülmektedir ki, 1990-2009 döneminde Türkiye’nin endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan sera gazları emisyonlarında, metan (CH_4) ve karbonmonoksit (CO) haricinde, çok ciddi artışlar meydana gelmiştir.

Şekil 2.11: Türkiye’de Endüstriyel Faaliyetlerden Kaynaklanan CO₂ Dışı Sera Gazları*

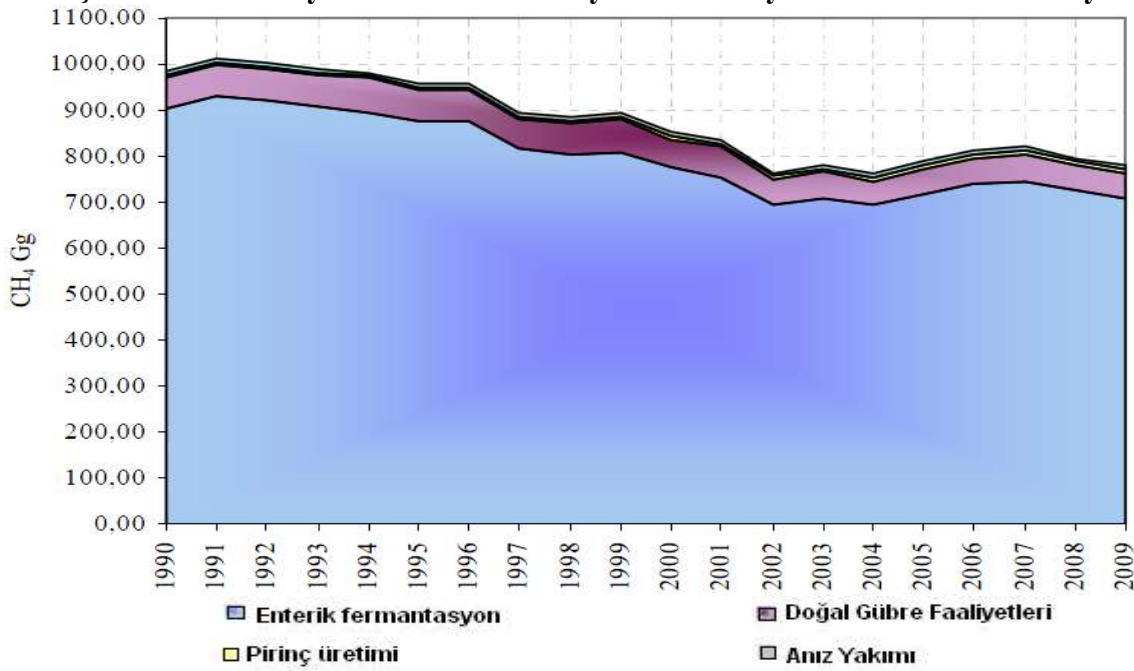


Kaynak : TÜİK, 2011a: 42. * NMVOC: Metal Olmayan Uçucu Organik Bileşikler.

2.3.3. Tarımsal Faaliyetler

Türkiye’de tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları, tarımsal ürünlerin üretimi ve işlenmesi, hayvan sayısı, (enterik fermentasyon, gübre faaliyetleri) pirinç üretimi ve tarımsal atıkların yakılması gibi faaliyetler sonucu açığa çıkmaktadır. Tarımsal faaliyetler ağırlıklı olarak CH₄ (metan) ve N₂O (Azot oksit) emisyonlarına neden olmaktadır. Tarımsal atıkların (anızların) yakılması ise azotoksit ve karbonmonoksit gibi sera gazlarının oluşmasına neden olmaktadır (TÜİK, 2011a: 61).

Şekil 2.12: Türkiye’de Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Metan Emisyonları



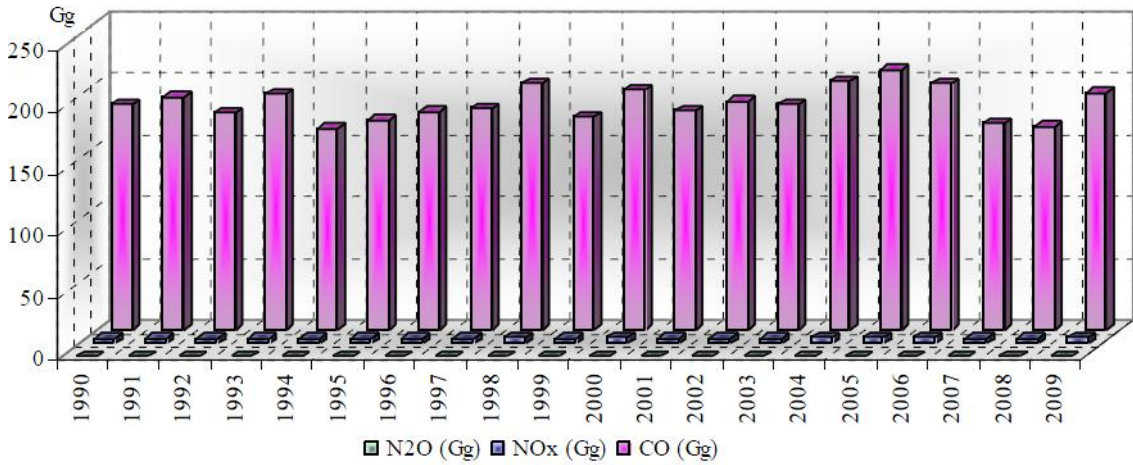
Kaynak : TÜİK, 2011a: 58.

Tarımsal faaliyetler içinde metan gazı emisyonunun temel nedeni, enterik fermantasyondur. (hayvanların geviş getirmesi) Şekil 2.12’den izlenebileceği gibi, tarımsal kaynaklı metan gazı emisyonu, özellikle 1990 yılından itibaren azalan bir trend izlemeye başlamıştır. 1990 yılında yaklaşık 1000 Gg olan metan gazı emisyonu 2009 yılında 707,6 bin ton olarak kaydedilmiştir. Metan gazında ortaya çıkan bu azalmanın temel nedeni, Türkiye’deki toplam hayvan sayısında yaşanan azalmadır. Örnek olarak 1990 yılında 11,5 milyon olan inek sayısı, 2009 yılında 10,6 milyona gerilemiştir. Aynı dönemde koyun sayısı yarı yarıya azalmıştır⁴.

Tarımsal alanlardaki anız yakma işlemi, enterik fermantasyondan sonra en fazla emisyonu sebep olan tarımsal faaliyettir. Bu faaliyet sonucunda özellikle azotoksit ve karbonmonoksit emisyonları açığa çıkmaktadır.

⁴ Detaylı Bilgi İçin Bk.: “TÜİK-Türkiye VI. Ulusal Sera Gazı Envanteri, 1990-2009”, Tablo 6.1, s: 62.

Şekil 2.13: Türkiye’de Tarımsal Atık Yakımından Kaynaklanan N₂O ve CO Emisyonları



Kaynak : TÜİK, 2011a: 60.

Şekil 2.13’de görülebileceği gibi, 1990-2009 döneminde özellikle CO emisyonu dalgalı bir seyir izlese de önemli değişimler olmamıştır. En yüksek CO emisyonları 1999, 2001, 2005 ve 2006 yıllarında gözlenmiştir. 2005 yılında açığa çıkan CO emisyonu 209,7 Gg, 2009 yılında ise 198,3 Gg seviyesindedir.

2.3.4. Ormancılık, Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişikliği (LULUCF)

Bu bölüme kadar incelenen tüm sektörler emisyonların artmasına sebep olurken, LULUCF sektörü emisyonları azaltıcı yönde etki etmektedir. Bu sektör; 2009 yılında 82,5 milyon ton emisyon azaltımı yaparak, toplam emisyonların % 28,7’sini azaltmıştır. LULUCF sektörü 1990–2009 döneminde ortalama % 32’lik emisyon azaltımı gerçekleştirmiştir. 1990 yılına göre 2009 yılında emisyon azaltım oranının düşme sebebi ormanların azalmasıdır (TÜİK, 2011b: 4).

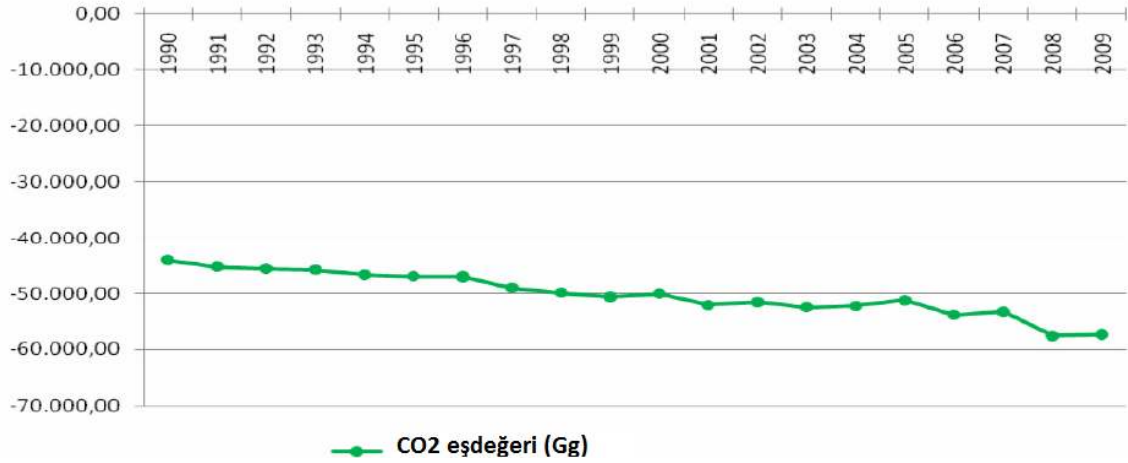
Türkiye’de ormancılık ve arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri sektörüne bağlı olarak ortaya çıkan emisyonlar, Ulusal Sera Gazı Envanteri’ne paralel olarak ormancılık ve arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri başlıkları altında incelenecektir.

2.3.4.1. Ormancılık

Ormanlık alanlar sera gazı emisyonları açısından önemli birer yutak konumundadırlar. Atmosferdeki sera gazlarını bünyesinde toplayarak yok eden ve toplam emisyonu azaltıcı bir etki gösteren ormanların çokluğu, emisyonlar üzerinde

azaltıcı etki oluşturacaktır. Türkiye’de toplam orman varlığının % 99’unun devlete aittir ve ormanlık alanların miktarı yaklaşık olarak 21,3 milyon hektardır (TÜİK, 2011b: 5,6).

Şekil 2.14: Türkiye’de Ormancılık Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan Net CO₂ Emisyonları (Gg)



Kaynak: TÜİK, 2011b: 1.

Tablo 2.7: Türkiye’de Ormancılık Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan Net CO₂ Emisyonları

Yıllar	Net Azaltım (Mt CO ₂ Eşdeğeri*)	Net Azaltım %**
1990	44,08	23,57
1995	46,98	19,78
2000	50,07	16,86
2001	52,12	18,74
2002	51,57	18,03
2003	52,48	17,33
2004	52,25	16,73
2005	51,22	15,53
2006	53,85	15,40
2007	53,31	14,03
2008	57,57	15,71
2009	57,36	15,52

Kaynak: TÜİK, 2011b: 14. * Milyon Ton

** Ormancılık sektörünün emisyon azaltımının toplam emisyonlar içerisindeki payıdır. Yüzdelik değerler yazar tarafından hesaplanmıştır.

1990-2009 döneminde Türkiye’de mevcut ormanlık alanların artışına bağlı olarak, bu alanlarca atmosferden uzaklaştırılan CO₂ emisyonlarında az da olsa artışlar

yaşanmıştır. 1990 yılında azaltılan emisyon miktarı 44,08 milyon ton iken, 2009 yılında bu rakam 57,3 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Fakat aynı dönemde emisyon artışları ormanlık alan artışlarından daha fazladır. 1990 yılında ormancılık sektörünün emisyon azaltım oranı % 23,6 iken bu oran 2009 yılında % 15,5'ya gerilemiştir.

1990-2009 arası dönemde Türkiye’de ormanlık alanlar tarafından absorbe edilen CO₂ emisyonlarında artış yaşanmasının nedenleri olarak; ikamet nedeniyle kırsal alanlardan il ve ilçe merkezlerine göçler, küçükbaş hayvanların ormanlık alanlarda otlatılması yerine daha modern besleme alışkanlıklarının ortaya çıkması, sürdürülebilir orman yönetimi çerçevesinde orman kaynaklarının çok fonksiyonlu olarak kullanılmaya başlanması ve ormanlık alan miktarının artırılması belirtilebilir. Nitekim, 1990 yılında 20 milyon hektar olan Türkiye’nin toplam ormanlık alan miktarı 2004 yılına gelindiğinde 21,3 milyon hektar seviyesine ulaşmıştır (TÜİK, 2011b: 5,6).

2.3.4.2. Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişiklikleri

Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişiklikleri olarak, toprağın sürülmesi, gübre kullanımı, mera ve tarım arazisi şeklinde kullanımlar düşünülebilir. Türkiye’de arazi kullanımı ve arazi kullanım değişiklikleri sektörü tarafından uzaklaştırılan net CO₂ emisyonları hesaplanarak Tablo 2.8’de verilmiştir.

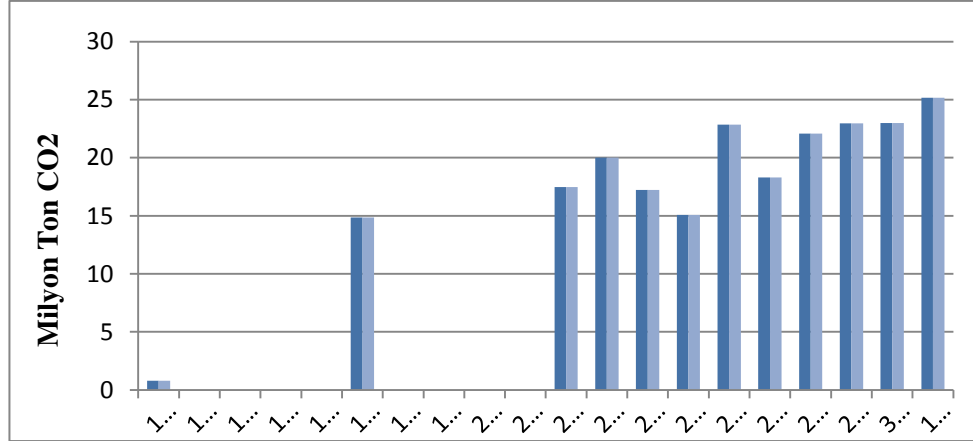
Tablo 2.8: Türkiye’de Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişiklikleri Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan Net CO₂ Emisyonları

Yıllar	Net Azaltım (CO ₂ Eşdeğeri-Gg)	Net Azaltım %*
1990	0,78	0,42
1995	14,85	6,25
2000	17,48	5,89
2001	20,00	7,19
2002	17,23	6,02
2003	15,08	4,98
2004	22,85	7,32
2005	18,31	5,55
2006	22,08	6,31
2007	22,96	6,04
2008	23,00	6,28
2009	25,16	6,81

Kaynak: TÜİK, 2011b: 4,14.

* Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişiklikleri sektörünün emisyon azaltımının toplam emisyonlar içerisindeki payıdır. Tablodaki değerler yazar tarafından hesaplanmıştır.

Şekil 2.15: Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişikliği Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan CO₂ Emisyonları



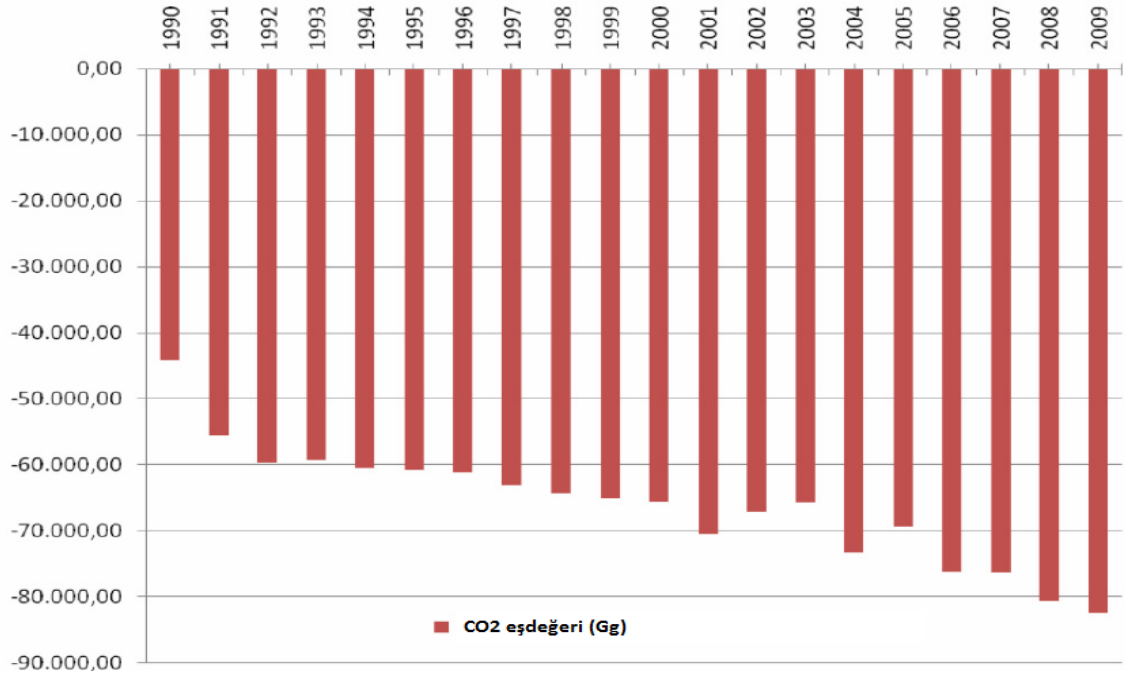
Kaynak: TÜİK, 2011b: 1.

* : LULUCF sektörü, arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık sektörüdür.

Tablo 2.8 ve Şekil 2.15'ten izlenebileceği gibi arazi kullanımı ve arazi kullanım değişiklikleri sektörü tarafından 1990 yılında uzaklaştırılan emisyon miktarı 780 ton iken, 2009 yılında bu rakam 25160 ton olarak kaydedilmiştir. Bu sektör 1990 yılında toplam emisyonların % 0.42'sini karşılarken, 2009 yılında % 6.81'ini karşılamıştır. Bu oranın artmasında en önemli unsur, gelişen teknolojilerle birlikte toprağın daha verimli işlenmesi, tarımın daha bilinçli yapılması ve doğru gübre kullanılması düşünülebilir.

Şekil 2.16'da hem arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliği sektörü hem de ormancılık sektörünün toplam emisyon azaltımı verilmiştir. İki sektörün toplam olarak emisyon azaltımı, 1990 yılında 44,87 Mt iken 2009 yılında 82,52 Mt olarak görülmektedir. LULUCF sektörü 2009 yılında toplam emisyonların % 28.7'sini uzaklaştırmıştır ayrıca 1990–2009 döneminde ise ortalama % 32 emisyon azaltımı gerçekleştirmiştir.

Şekil 2.16: LULUCF* Sektörü Tarafından Uzaklaştırılan CO₂ Emisyonları (Gg)



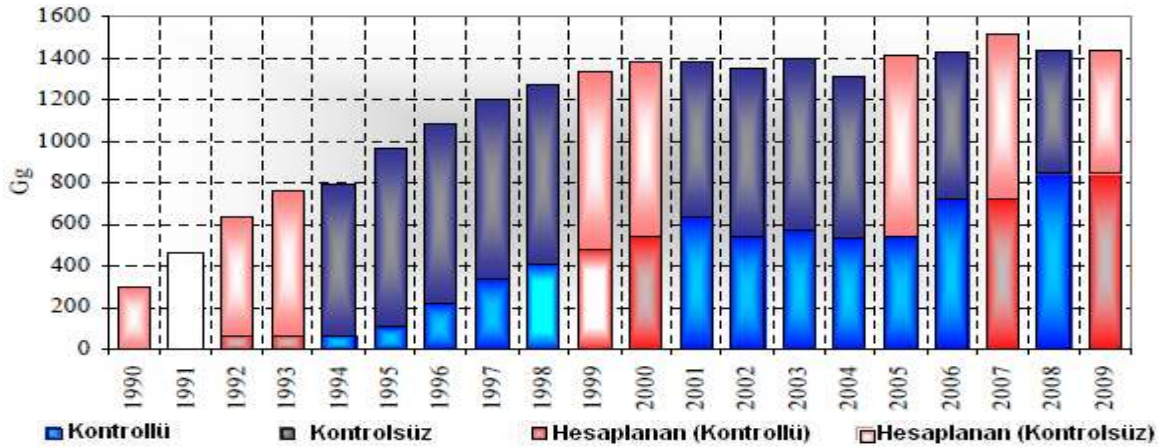
Kaynak: TÜİK, 2011b: 1.

* : LULUCF sektörü, arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık sektörüdür.

2.3.5. Atık Faaliyetleri

Bu sektör bünyesinde, en önemli sera gazı emisyonu belediye atıklarının depolanmasından kaynaklanan metan emisyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye’de söz konusu faaliyete bağlı olarak ortaya çıkan emisyon miktarına ilişkin veriler sadece 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2001, 2002, 2003, 2004 ve 2006 yıllarına ilişkin elde edilebildiği için, IV. Ulusal Sera Gazı Envanteri kapsamında ekonometrik analiz yardımıyla veri elde edilemeyen yıllarla ilişkin hesaplamalar yapılmıştır. Analiz sonucunda, Türkiye’nin atık depolanmasından kaynaklanan metan emisyonları Şekil 2.17’de gösterilmiştir.

Şekil 2.17: Türkiye’de Atık Depolanması Kaynaklı Metan Emisyonları



Kaynak : TÜİK, 2011a: 68.

Şekil 2.17’den de görüldüğü gibi, katı atık depolanmasından kaynaklanan metan emisyonları, 1990- 2009 yılı süresince, 300 giga gram seviyesinden 1437 giga gram seviyesine yükselmiş bulunmaktadır. Söz konusu emisyonun, 2000-2009 arası dönemde stabil kaldığı da ifade edilebilir.

Bölüm içerisinde değinildiği üzere, Türkiye’nin 1990-2009 yılları arasındaki toplam sera gazı emisyonu % 97.6 oranında artış göstermiştir. Bu durumun ortaya çıkmasındaki en önemli unsur, Türkiye’nin son dönemlerde gerçekleştirmiş olduğu ekonomik büyümedir. Bu bağlamda, iklim değişikliği açısından en önemli sera gazı olarak ortaya çıkan CO₂ emisyonu ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkilerin daha ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SERA GAZLARININ AZALTIMINA YÖNELİK EKONOMİ POLİTİKALARI

Tezin bu bölüme kadar olan kısmında insan kaynaklı sera gazlarının atmosferde birikmesi sonucu küresel ısınma ve bunun sonucu olarak iklim değişikliğinin meydana geldiği anlatılmıştır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin dünyada ve Türkiye’de hissedilmesi sonucunda ülkeler, iklim değişikliğine neden olan insan kaynaklı sera gazlarının azaltılması için farklı mekanizmaları uygulamaya başlamışlardır. Sera gazlarının azaltımının birtakım ekonomik maliyetleri olacağı aşîkardır. Azaltım için uygulanacak farklı her mitigasyon (sera gazı azaltımı) politikasının ekonomik maliyetleride farklı olacaktır. Bu durumda ülkeler için en az azaltım maliyetinin oluşacağı politikayı uygulamak rasyonel bir tercih olacaktır. Bu kısımda insan kaynaklı sera gazlarının azaltılması için uygulanabilecek proje temelli esneklik mekanizmaları olan Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism-CDM) ve Ortak Yürütme Mekanizması (Joint Implementation-JI) ve piyasa temelli esneklik mekanizması olan Emisyon Ticareti (Emission Trading-ET) anlatılacaktır⁵.

“Yük Paylaşımı” (Burden Sharing) piyasa ve proje temelli esneklik mekanizmalarının yanı sıra dördüncü bir esneklik mekanizması olarak ifade edilmektedir. Türkiye için emisyon azaltımında Eski Sovyet Bloku ülkeleri yerine, AB’nin “Yük Paylaşımı” ilkesini gündeme getirip Portekiz ve Yunanistan’a sağlanan kolaylıkları talep etmesi gerektiği görüşünü savunanlar vardır (Karakaya ve Özçağ, 2003:26). Kyoto Protokolü’ne göre ülkeler sera gazı azaltımı hedefine ulaşırken, bazı ülkelerin emisyon azaltımı hedefleri farklı olabilmektedir. Örneğin; sera gazlarını 1990 yılı emisyon seviyesinin altına indirmesi doğrultusunda; AB ortalama olarak % 8, ABD % 7, Japonya % 6 ve Rusya % 0 hedefleri belirlenmiştir. AB üye ülkelerinin belirlenen hedefe ulaşırken “Yük Paylaşımı” (Burden Sharing) ilkesi gereği bazı üye ülkeler çok fazla emisyon indirimi yükümlülüğü altına girerken, bazı ülkeler 1990 seviyesinin daha da üstünde sera gazı emisyonu üretebilmektedir.

⁵ Bu bölümün anlatımında Karakaya (2008)’den faydalanılmıştır.

3.1. Kyoto Protokolünde Tanımlanan Proje Temelli Esneklik Mekanizmaları

İklim değişikliğine neden olan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik en önemli adım niteliğindeki Kyoto Protokolü (KP), sera gazı emisyonunu azaltma hedefine ulaşma amacıyla tarafların kullanabileceği üç yeni mekanizmayı uygulamaya koymuştur. Bu mekanizmalar Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları (KPEM) olarak adlandırılmaktadır. Bu mekanizmaların temel amacı, iklim değişikliğine yol açan sera gazı emisyonlarını azaltıcı uygulamaların daha düşük maliyet ile hayata geçirilebilmesine olanak sağlamaktır (www.iklim.cob.gov.tr, Erişim: 07.12.2011). Protokol, bu mekanizmalar sayesinde taraflara kendi ülkelerinin dışında sera gazı emisyonunu azaltıcı etkinlikleri uygulama olanağı sağlamıştır. Kyoto Protokolü'nün tarafların kullanımına sunduğu proje temelli mekanizmalar, Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism-CDM) ve Ortak Yürütme Mekanizmasıdır (Joint Implementation-JI). Emisyon Ticareti (Emission Trading-ET) ise piyasa temelli bir mekanizmadır. Bu mekanizmalar ilk Kyoto Protokolü ile tanıtılmıştır. Bu mekanizmaların detaylı içeriği, ne şekilde uygulanacağı ve kurumsal yapısına ilişkin düzenlenmeler daha sonra 7. Taraflar Konferansı'nda (COP 7) Marakeş Anlaşması ile şekillendirilmiştir⁶. Çalışmamızda öncelikle proje temelli esneklik mekanizmaları incelenecektir.

Proje temelli esneklik mekanizmalarına konu olan projelerin uygulandığı ve emisyon azaltımının sağlandığı ülkeye “evsahibi ülke”, bu projelerin gerçekleşmesine teknik ve finansal açıdan destek sağlayan ve emisyonları satın alan ülkeye ise ‘yatırımcı ülke’ denilmektedir. Yatırımcı statüsündeki alıcılar ve ev sahibi konumundaki satıcılar kamu kesiminden veya özel kesimden olabilir. Benzer şekilde, özel kesimden olan kuruluş bir sivil toplum kuruluşu olabileceği gibi, enerji sektöründe faaliyet gösteren bir işletme ya da karbon ticareti ile uğraşan bir uluslararası finans kuruluşu da olabilir. Proje temelli esneklik mekanizmalarından birincisi Kyoto Protokolü'nün 12. maddesi ile düzenlenen Temiz Kalkınma Mekanizmasıdır. Bu mekanizmaya göre EK-1 ülkeleri, EKLER DIŞI (ED) ülkelerde hazırlanan projeler doğrultusunda daha gelişmiş teknolojiyi transfer ederek, sera gazı emisyonlarında azaltım sağlayacak ve bu sayede Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltım Kredisi (Certification Emissions Reduction-CER) kazanarak, kazandıkları bu miktarı toplam emisyon azaltım hedefinden düşebilecektir.

⁶ Esneklik mekanizmalarının içeriği ile ilgili detaylı bilgiler için UNFCCC'nin resmi web sitesi olan <http://unfccc.int> adresine bakılabilir.

CDM projeleri sayesinde emisyon azaltma yükümlülüğü olmayan EKLER DIŞI az gelişmiş ülkeler, sera gazı emisyonu azaltılmasına yönelik önleyici politikalar geliştirerek emisyonları azaltmaktadırlar.

Proje temelli mekanizmaların ikincisi Ortak Yürütme ise Protokol'ün 6. maddesi ile düzenlenmiştir. Bu mekanizma, herhangi bir EK-1 ülkesinin başka bir EK-1 ülkesinde emisyon azaltımına yönelik ortak projeleri uygulayabilmesine olanak sağlamaktadır. Hazırlanan projeler yardımıyla emisyon azaltımlarını başaran ev sahibi ülke (EK-1) Emisyon Azaltım Kredisi (Emissions Reduction Units-ERU) kazanacak ve bu krediyi yatırımcı diğer EK-1 ülkesine satabilecektir. Yatırımcı EK-1 ülkesi satın aldığı kredileri kendi toplam sera gazı azaltım hedefinden düşebilmektedir.

Kyoto Protokolü'nün esneklik mekanizmalarından yararlanmak için, Kyoto Protokolü'nü imzalamış olma ön koşulu vardır. Temiz Kalkınma Mekanizması ve Ortak Yürütme mekanizmasının ortak noktası, sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik yapılan projelerdir. Emisyon Ticareti ise, piyasa temelli bir mekanizmadır. Emisyon Ticareti ve Ortak Yürütme Mekanizması'ndan ancak emisyon azaltım hedefi belirlemiş ve Kyoto Protokolü EK-B listesinde (UNFCCC listesindeki Türkiye hariç EK-1 ülkeleri) yer alan ülkeler yararlanabilmektedir. Temiz Kalkınma Mekanizması'ndan evsahibi olarak yararlanabilmek için ise emisyon azaltım hedefi olmayan EKLER-DIŞI (NON-ANNEX) ülke olma önkoşulu vardır. Tablo 3.1 ve Şekil 3.1'de BMİDÇS ve KP'ye göre ülkeleri sınıflandırılması ve sera gazı azaltımı yükümlülükleri detaylı olarak verilmiştir.

Sera gazı emisyonu azaltımında Esneklik Mekanizmaları'nın kullanılması, tüm taraflara önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle proje temelli Esneklik Mekanizmaları olan Temiz Kalkınma Mekanizması ve Ortak Yürütme Mekanizması'nın kullanılması, gelişmiş ülkelere önemli maliyet avantajları sağlarken, gelişmekte olan ülkelere de önemli miktarlarda yabancı sermaye girdisi ve yeni teknolojilerin transferi imkanını sunmaktadır. Esneklik Mekanizmaları'nın kullanılmasının bir diğer önemli avantajı ise, taraflar arasında sera gazı azaltımı yükünün dengeli dağılımına yöneliktir. Özellikle proje temelli esneklik mekanizmalarının kullanılması sayesinde, toplam sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak belirli hedefleri olan ve İDÇS'nin EK-1 listesindeki taraflar arasındaki yük daha dengeli dağılmış olacaktır. Bu çerçevede bundan sonraki kısımlarda, Temiz Kalkınma Mekanizması, Ortak Yürütme

Mekanizması ve proje temelli esneklik mekanizmalarında Türkiye'nin durumu anlatılacak son kısımda ise piyasa temelli esneklik mekanizması olan Emisyon Ticareti anlatılacaktır.

Tablo 3.1: BMİDÇS ve KP'ye Göre Ülkelerin Sınıflandırılması ve Yükümlülükleri

	Listeler	Ülkeler	Yükümlülükler
B M İ D Ç S	EK-I Ülkeleri (41) (40+AB-15) Sanayileşmiş Ülkeler (OECD26+AB-15) + PEGSÜ (14) Türkiye (Özel şartlar Tanınarak)	<u>Sanayileşmiş Ülkeler:</u> Almanya, ABD, AB-15, Avustralya, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, İngiltere, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Lüksemburg, Kanada, Norveç, Portekiz, Yeni Zelanda, Yunanistan. Türkiye, Lichtenstein, Monaco.	<u>(PEGSÜ)*:</u> Belarus (Beyaz Rusya), Bulgaristan, Estonya, Letonya, Litvanya, Macaristan, Polonya, Romanya, Rusya Federasyonu, Ukrayna, Çek Cumhuriyeti, Slovenya, Slovakya, Hırvatistan.
	Ek-II Ülkeleri** (23+AB-15) OECD + AB-15*** (24 ülke) Türkiye (hariç)	<u>Sanayileşmiş Ülkeler:</u> Almanya, ABD, AB-15, Avustralya, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, İngiltere, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Lüksemburg, Kanada, Norveç, Portekiz, Yeni Zelanda, Yunanistan.	Teknoloji Transferi ve Mali Destek Sağlamak
	Ek-1 Dışı	Diğer Ülkeler (Çin, Hindistan, Pakistan, Meksika, Brezilya, ...)	Yükümlülükleri yok
K P	Ek-B****	Ek-1 Ülkeleri (38 ülke) Türkiye, Belarus hariç*****	2008-2012 döneminde 1990 seviyesine göre sera gazı emisyonlarında en az % 5 azaltım

Not: Ek-1 tanımlaması 1992 Rio Zirvesinde (UNFCC'de) yapılmıştır. KP'ye taraf olan Ek-1 ülkelerinin ismi (Türkiye ve Belarus (Beyaz Rusya) hariç) Ek-B olmuştur.

*: PEGSÜ: Pazar Ekonomisine Geçiş Sürecinde Olan Ülkeler.

**: Ek-2'de Ek-1'den farklı olarak PEGSÜ, Türkiye, Lichtenstein ve Monaco yoktur.

***: AB-15 2004 yılı öncesi AB ülkeleridir.

****: ABD Ek-B ülkesidir fakat KP'yi imzalamış fakat onaylamamıştır.

*****: Ek-B'de Ek-1'den farklı olarak Türkiye ve Belarus yoktur.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

sayede önemli miktarda doğrudan yabancı sermaye çekmiş olacaktır (UNDP, 2006; Dolu, 2005).

CDM projelerinin tarafları tek-taraflı (sadece projeye ev sahipliği yapan EK-1 dışı ülke), çift-taraflı (ev sahibi ülke ve yatırımcı EK-B ülkesi) ya da çok-taraflı (ev sahibi ülke ve birden fazla yatırımcı ülke) olabilmektedir. Yani, CDM projelerinde ev sahibi ülke yatırımcı ülke bulmadan kendi başına projeler hazırlayabilecektir (Laseur, 2005). Tek-taraflı (unilateral) CDM olarak isimlendirilen bu yöntemin en önemli avantajı, büyük rakamlara ulaşabilecek işlem maliyetini azaltmasıdır. Tek taraflı CDM projesi hazırlayan ülke, kazandığı CER sertifikasını piyasanın daha elverişli olduğu bir dönemi bekleyip satma olanağı da sahip olmaktadır.

3.1.2. Ortak Yürütme Mekanizması

İnsan kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla Kyoto Protokolü'nün tarafların kullanımına sunduğu diğer Esneklik Mekanizması Ortak Yürütme Mekanizması olup birçok yönden Temiz Kalkınma Mekanizması'na benzemektedir. Ortak Yürütme Mekanizması'nda Temiz Kalkınma Mekanizması'nda olduğu gibi, amaç, sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik olarak hazırlanan projelerdir. Her iki Esneklik Mekanizma da proje temelli olup aralarındaki fark, projenin yapılacağı ülke gruplarının farklı olmasıdır. Temiz Kalkınma Mekanizması projeleri, EK-1 ülkeleri ile (azaltım hedefi olan) EKLER-DIŞI ülkelerinin sera gazı azaltımına yönelik olarak ve projeler çerçevesinde ortaklaşa çalışma olanağı sağlarken, Ortak Yürütme Mekanizması projeleri; sadece EK-1 ülkeleri (azaltım hedefi olan) arasında ve yine proje dahilinde ortak faaliyetler yürütmelerine olanak sağlamaktadır. Temiz Kalkınma Mekanizması'nda projeye ev sahipliği yapan taraf Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltımı (CER) Kredisi elde ederken, Ortak Yürütme Mekanizması'nda projeye evsahipliği yapan EK-B ülkesi sera gazı azaltımında başarılı olursa Emisyon Azaltım Birimi (ERU) Kredisi kazanmaktadır (Dolu, 2005). Marakeş Anlaşması'na göre (2001) ERU kredisinin matbu olarak basımı ve yatırımcı ülkeye geçişi belirli bir süreci gerektirmektedir. II projesine konu olan her iki tarafta belli bir emisyon azaltımı yükümlülüğü almış EK-B ülkesi olduğu için ev sahibi ülkenin kazandığı ERU'ların bu ülke için Tahsis Edilmiş Emisyon Birimi/Miktarı'ndan (Assigned Amount Unit-AAU) düşülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, II projelerinden kazanılan ERU kredilerinin kullanımı ancak Kyoto dönemi olan 2008 yılından itibaren başlamıştır.

Tablo 3.2: Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmalarının Temel Tanımları

Mekanizma Türü	İlgili Kyoto Protokolü maddesi	Katılımcı Ülkeler		Geçerli Karbon Birimi
		Yatırımcı (Alıcı)	Evsahibi (Satıcı)	
Temiz Kalkınma Mekanizması - TKM (Clean Development Mechanism-CDM)	12. Madde	Ek-B Ülkeleri	Ek-I Dışı Ülkeler	Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltımı (CER)
Ortak Yürütme – OY (Joint Implementation-JI)	6. Madde	Ek-B Ülkeleri		Emisyon Azaltım Birimi (ERU)
Emisyon Ticareti ET (Emission Trade-ET)	17. Madde	Ek-B Ülkeleri		Tahsis Edilmiş Toplam Emisyon Miktarı (AAU) Ton Başına Birim Permi (EUA)
Gönüllü Piyasalar	Kyoto Protokolü Dışındadır.	Tüm Ülkeler		Doğrulanmış Emisyon Azaltımları (VER)

Kaynak: Çevre ve Orman Bakanlığı, 2011:12 ve yazarın çalışması.

Not: AAU küresel emisyon ticareti piyasasında birim başına emisyon fiyatını gösterir, EUA ise EU ETS’de birim başına emisyon fiyatını gösterir.

3.2. Proje Temelli Esneklik Mekanizmalarında Türkiye’nin Konumu ve Gönüllülük Esasına Dayanan Piyasalar

UNFCCC’yi EK-1 ülkesi sıfatıyla 24 Mayıs 2004 yılında 189. ülke olarak imzalamış olan Türkiye, 26 Ağustos 2009 yılında Kyoto Protokolü’ne taraf olmuştur. Türkiye esneklik mekanizmalarının en önemli şartı olan Kyoto Protokolünü imzalamış olsada Marekeş Anlaşması (2001-COP-7) ile belirlenen özel konumu dolayısıyla Kyoto Protokolünün 2008-2012 yıllarını kapsayan birinci yükümlülük döneminde herhangi bir yükümlülük almadığı için sunulan hiç bir mekanizmadan faydalanma şansına sahip değildir. Fakat Kyoto sonrası dönemde Türkiye’nin AB üyeliği süreci ve küresel sorumluluk anlayışı zorunlu olarak bu uluslararası anlaşmalarda yer almasını gerektirecektir. Türkiye’nin EK-1 ülkesidir ve bu statüsü, normal süreç işlerse, Türkiye’nin EK-B ülkesi olması anlamına gelecektir. Gelişmiş ülkeleri içeren EK-B ülkesi statüsü sorumluluk gereği ilgili ülkenin hem emisyon hedefi belirlemesini hem de

daha az avantajlı olan Ortak Yürütme projelerinde ev sahibi ülke olma hakkını vermektedir. Bu çerçevede, Türkiye'nin EK-B ülkesi statüsünde olmasının oldukça dezavantajlı olacağını açıklar.

EK-B ve OECD ülkeleri arasında Türkiye, kişi başına karbon emisyonları bakımından arasında en son sırada yer almaktadır. Bunun yanı sıra, karbon yoğunluğu dünya ortalamasının bile altında seyreden bir ülke olması şimdiye kadarki sera gazı konsantrasyonlarının artışında sadece % 0.8'lik gibi oldukça düşük katkısı olması yani küresel ısınma sorununa neden olan ülkeler grubunda yer almadığını göstermektedir (IEA, KWES, 2011:48-49). Ayrıca, ekonomik gelişmişlik seviyesini gösteren en önemli göstergelerden olan kişi başına GSYİH karşılaştırması yapıldığında OECD ülkeleri arasında, en düşük kişi başı milli gelire sahip olan ülkeler arasındadır⁷. Bu nedenlerle Türkiye'nin gelişmiş ülkelerle aynı ülkeler grubuna konulup benzer yükümlülükleri alması rasyonel olmayacaktır. Türkiye çoğu ekonomik ve sosyal gelişme göstergeleri açısından aynı grupta gösterildiği Güney Kore, Brezilya, Meksika, Hindistan ve Çin gibi ülkelerin Kyoto Protokolü'nde öngörülen pozisyonu ile karşılaştırılmalı ve Türkiye'nin yükümlülüğü bu ülkeler için öngörülecek yükümlülükten farklı olmalıdır. EKLER DIŞI listesinde yer alan bu ülkelerin hiç birisinin emisyon hedefi yükümlülüğü yoktur ve tümü CDM'den faydalanmaktadırlar. Dikkat edilmesi gereken diğer ayrıntı, yukarıda adı geçen ülkelerden Güney Kore ve Meksika UNFCCC imzalandıktan sonra OECD üyesi olmuşlardır ancak Kyoto Protokolü imzaya açıldığı süreçte OECD üyesi olmalarına rağmen UNFCCC'de EKLER-DIŞI olmanın avantajını kullanarak Kyoto EK-B listesine dahil olmadan Protokole imza atmışlardır ve yükümlülük almamışlardır.

Gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye'nin, gelişmiş EK-B ülkeleri gibi emisyon hedefi alması ve bu statüye giren ülkelerin ev sahibi olarak JI esneklik mekanizmasından faydalanması beklenemez. EK-B statüsünün esneklik mekanizmaları açısından Türkiye için niçin sakıncalı olabileceği şöyle özetlenebilir; EK-B üyesi olması durumunda, 1990 seviyesinin oldukça üstünde bir emisyon hedefi alacak olsa bile, Türkiye'de ekonomik büyümenin yüksek seyretmesi durumunda her zaman bu hedefi tutturmak kolay olmayacaktır. Bu durumda Türkiye'deki yetkili makamların ev sahibi

⁷ Detaylı bilgi için bk.

http://www.oecd-ilibrary.org/economics/country-statistical-profile-turkey_20752288-table-tur

statüsüyle JI projesi hazırlamak isteyen kuruluşlara izin vermesi çok zor olacaktır. Çünkü JI uygulaması söz konusu olsaydı, JI projesi çerçevesinde azaltılan emisyonlar (ERU miktarı) dışarıya satıldığı anda aynı miktar, Türkiye için belirlenmiş olan yıllık Tahsis Edilmiş Emisyon Miktarı'ndan (AAU) düşülecektir. Bu durum ise, Türkiye için izin verilen toplam yıllık emisyon hakkının azalması anlamına gelmektedir. Türkiye'nin hedeflerini rahatlıkla tutturabileceği durumda sorun olmayacaktır fakat, aksi durumda emisyon hedefine ulaşmak için ülke içinde emisyon azaltmaya yönelik daha sıkı önlemler alınması gerekecektir. Kısılan emisyon tahsisi (azalmış AAU) ve azaltım potansiyelinin zorlaşması ton başına CO₂ maliyetini daha pahalı hale getirecektir. Sonuç olarak Türkiye tekrar karbon piyasasında alıcı konumuna gelecektir. Yukarıda anlatılan senaryodan da görüleceği gibi böyle bir durumda, yetkililerin ülke içindeki kurumların ev sahibi statüsü ile JI projesi hazırlama ve bu projelerden kazanacakları kredileri satmalarına onay vermeleri oldukça zordur. Bu durumda, Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülke Kyoto Protokolü'nün esneklik mekanizmalarından istifade edemeyecektir.

Türkiye EK-1 ülkesi yerine EKLER DIŞI ülke statüsünde olsaydı, Türkiye'deki bir çok resmi ve özel kuruluş çok sayıda CDM projesi üretebilecek ve küresel sera gazı azaltımı çabalarına önemli katkılar sağlayabilecekti. Türkiye'nin sadece OECD üyesi olması nedeniyle bu mekanizmadan mahrum kalması BMİDÇS'de belirlenen "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluk" ilkesi⁸ ile örtüşmemektedir. Bu gerekçeler göz önüne alındığı zaman Türkiye'nin EK-1 listesinden çıkıp EKLER DIŞI kalma olasılığı ülke adına rasyonel bir tercih olacaktır. EK-1 statüsü ile devam edilmesi durumunda ise, özellikle 2001 yılında Marakeş'te yapılan 7. Taraflar Konferansı'nda (COP-7) kabul edilen 26/CP7 numaralı karar uyarınca, Türkiye'nin "diğer EK-I Ülkelerinden farklı bir konumda olduğu tüm taraf ülkelerce kabul edilerek EK-B ülkeleri listesine alınmaması"⁹, gibi benzer destekleyici argüman savunabilir.

Türkiye'nin Ek-1 ülkesi olması dolayısıyla Kyoto esneklik mekanizmalarından faydalanmasının mümkün olmadığı için faaliyeti gereği çok sayıda CO₂ ya da metan gazı azaltılabilecek ve bunu sertifikalandırıp satabilecek potansiyele sahip firmaların projeleri değerlendirilememektedir. Fakat son zamanlarda bu alanda oldukça yeni

⁸ BMİDÇS'nin ilgili ilkeleri için bk.

http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1355.php

⁹ BM'in Türkiye'nin farklı konumuna vurgu yaptığı COP7 kararı için bk.

unfccc.int/resource/docs/cop7/13a04.pdf

gelişmeler yaşanmaya devam etmektedir ve bu yeni gelişmelere bağlı olarak Türkiye'deki emisyonları azaltabilecek projelere fırsatlar sunulmaktadır. Bilindiği üzere, şu anda karbon piyasasının ana aktörleri olarak Kyoto protokolü temelli CDM ve JI projeleri ve AB'nin uygulamaya soktuğu Emisyon Ticaret (EU-ETS) piyasasını görmekteyiz. Uluslararası Emisyon Ticareti ise Kyoto dönemi olan 2008'de uygulamaya konulmuştur. Karbon piyasasında adı geçen araçların yanı sıra yeni bir ekonomik araçta kullanılmaya başlanmıştır. Gönüllü Emisyon Piyasası olarak isimlendirilen bu yeni oluşum ile Kyoto Protokolü'ne taraf olmamış ülkelerde de emisyon azaltımı sağlayan projelerle azalttıkları emisyon miktarlarını başka ülkelerdeki firma ve kuruluşlara satabilme imkanı tanınmıştır. Başlangıçta Kyoto protokolünün henüz imzalanmamış olması nedeniyle küçük çaplı olarak başlamış olan bu sistem artarak devam etmektedir.

Gönüllü emisyon piyasası, tanımından anlaşılacağı gibi belli bir düzenlemeye tabi olan Kyoto ve EU-ETS dışında oluşan ve tamamen gönüllülük esasına göre emisyon azaltımı sağlayan uygulamaları kapsamaktadır. Gönüllü emisyon piyasası birkaç farklı piyasayı içermektedir. Bu piyasalardan denkleştirici karbon uygulaması Türkiye'yi ilgilendirecek özelliktedir. Denkleştirici karbon uygulaması proje temelli özelliğinden dolayı burada anlatılacaktır.

Küresel ısınma olgusunun ciddi bir sorun olarak algılanıp dünyanın gündemine yerleşmesiyle, özellikle gelişmiş ülkelerdeki bir çok işletme, kamu kuruluşları, organizasyon ve hatta bireyler sosyal sorumluluk kaygısıyla kendi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonları sıfırlayacak bir uygulama olarak bilinen karbon nötral (carbon neutral) olma anlayışını benimsemeye başlamışlardır. Emisyonları sıfırlamak için geliştirilen en önemli araç ise karbon denkleştirme (carbon offseting) yöntemidir (Nadaa, 2006). Karbon denkleştirme sistemi atmosfere karbondioksit emisyonu salan herhangi bir kuruluş ya da bireyin saldıkları emisyonları, yapılan projeler sonucu azalttığı CO₂ emisyonu ile denkleştirmesi anlamına gelmektedir. Gönüllü piyasanın talep kısmını tamamen karbon nötr olmayı planlayan çok uluslu şirketler (HSBC, Marks&Spencer, Tesco, BBC gibi), havayolu uçuşlarını karbon nötr yapma hedefi alan kamu kuruluşları (İngiltere ve Almanya'daki gibi), belli bir organizasyon sonucu (2006 Dünya Kupası, ya da bir konferans etkinliği gibi) salınan karbonu sıfırlama hedefi güden kuruluşlar ya da sorumluluk sahibi olarak kendi faaliyetlerini karbon nötr

yapmak isteyen bireylerden oluşmaktadır. Aracılık vazifesini gören bu şirketler öncelikle gelişmekte olan ülkeler olmak üzere, dünyanın herhangi bir yerinde geliştirilen sera gazı azaltımı projeleri sonucu sağlanan emisyon azaltımlarını satın almaktadırlar. Bu projeler sonucu kazanılan kredilere “Doğrulanmış Emisyon Azaltımları” (Verified Emission Reductions- VER) ismi verilmektedir (CBNET, 2006). Aracı kuruluşlar satın aldıkları bu VER birimlerini toptan veya perakende bir şekilde müşterilerine satabilmektedirler (TCES, 2006).

VER azaltım kredilerini satın alan yatırımcı işletmeler herhangi bir şekilde bu haklarını kullanıp yükümlü oldukları emisyon azaltımı hedeflerinden düşmemektedirler. Bunun başlıca nedeni Kyoto Protokolü içinde VER sisteminin tanımlanmamış olması yani Kyoto dışı bir sistem olmasıdır (CBNET, 2006). Bu sebeple örneğin, bir Avrupa Birliği işletmesi bu emisyon azaltımı hakkını satın alıp EU ETS de, ya da ülkesinin Kyoto hedefinde kullanamaz.

Bu durumda görülebileceği gibi yapılan uygulamalar tamamen gönüllülük esasına dayanmakta ve Kyoto Protokolü’nden bağımsız olarak yapılmaktadır. Bu yüzden emisyon azaltımının yapıldığı ülkenin Kyoto’yu imzalamış ülke olması zorunluluğu yoktur. Bu sistemin gelişmesinin bir diğer nedeni de, Kyoto Protokolü’ne ülkesi dahil olmadığı halde bu piyasada yer almak isteyen bir çok kuruluş için VER sistemi tek çözüm olarak görülmektedir (Nadaa, 2006). Bu gelişmenin Türkiye için önemli olduğunu söylenebilir çünkü Türkiye’deki emisyonları azaltabilecek projelere karbon piyasalarından ancak VER sistemi finansman sağlayabilir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise, söz konusu aracı kurumların karbon nötral olmuş duyarlı müşterilerine emisyon azaltıcı güvenilir VER projesi bulmakta zorluk çekebileceğidir. Bunun nedeni, CER kredilerine göre VER kredileri için ödenen ton başına fiyat ucuz olduğundan, geliştirilecek projeleri KP’yi onaylamış bir ülkeden yapmak zor olacaktır. Çünkü, Kyoto üyesi ülke CER fiyatı yüksek olduğu için geliştirdiği projeyi CDM olarak hazırlamak isteyecektir. Bu nedenle bir çok aracı işletme ancak Kyoto’da tanımlanmamış uygulamaları (ormansızlaşmayı önleme vb.) ve sektörleri (biyo-yakıtların bazı türleri gibi) içeren sera gazı emisyonu azaltıcı projeler geliştirebilmektedir. Ancak, bu projelerin sınırlı bir hacme sahip olduğu unutulmamalıdır. Türkiye’nin bu piyasada arzeden ülke olması bu kurumlar için önemli

bir avantajdır. Çünkü Türkiye’de birinci sınıf kategoriye giren yenilenebilir enerji projelerinden biyo-kütle, enerji dönüşümü, enerji etkinliği projeleri fazlaca vardır ve ülkemizde CDM mümkün olmadığı için tüm azaltımları VER piyasasında kullanılabilir.

Gönüllü karbon piyasasında yapılan emisyon azaltımı işlemlerinin ve kazanılan kredilerin hukuki bir bağlayıcılığı olmadığından ülkelerin ulusal emisyon tescil sistemlerinde herhangi bir şekilde yer almaz yani başka bir ülkeye transfer edilmiş gibi gösterilmez. Bu çerçevede, VER bir Kyoto birimi olmadığından ilerisi için bir yükümlülük getirmeyecektir. Türkiye’nin Kyoto sonrası’nda alınacak bir yükümlülük durumunda söz konusu azaltımların, emisyon azaltım hedeflerimizden sayılacağı da söylenemeyebilir. Güneş enerjisi gibi bugünden başlayan bir yenilenebilir enerji projesinin azalttığı emisyonlar Kyoto sonrası’nda bu projelere konulacak bir madde ile proje CDM/JI projesine dönüştürülebilir ve yeni birim fiyatı belirlenecektir denilebilir.

3.3. Kyoto Protokolünde Tanımlanan Piyasa Temelli Esneklik Mekanizması:

Emisyon Ticareti

Çevre kirliliğini önlemeye yönelik çevre ekonomistlerince belirtilen üç yöntemden bahsedilebilir. Birincisi *Yönetim ve Kontrol veya Doğrudan Düzenlemeler (Command and Control or Direct Regulations)* olarak isimlendirilen standartların belirlenmesi şeklinde doğrudan düzenlemeler ve mevzuat düzenlemeleri teşkil eder. Diğer ikisi ise *emisyon vergileri ve emisyon ticareti* olarak adlandırılır ve literatürde piyasa temelli esneklik mekanizmaları olarak bilinmektedir. Firmalara atıkları (emisyonlar) üzerine vergi konulması karbon vergisi (emisyon vergisi) olarak adlandırılır. Firmaların atıkları ölçülür ve ortaya çıkardıkları her atık birimi (örneğin ton başına karbondioksit emisyonu) üzerinden vergi alınır (Field ve Field, 2002: 235). Bu durumda her firma, emisyonları üzerinden ödediği vergi ile marjinal azaltım maliyeti (marginal abatement cost) eşit oluncaya kadar emisyonlarını düşüreceklerdir. Çünkü birim başına ödenen karbon vergisi oranı, marjinal azaltım maliyetinden yüksek olduğu müddetçe firma için emisyonu azaltmak karlı olacaktır.

3.3.1. Emisyon Ticareti Kavramı ve Teorisi

Emisyon ticareti, ilk defa 1970’li yıllarda ABD’de kullanılmaya başlanmış ve yaygın bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Kyoto Protokolü ile birlikte küresel

ısınmaya karşı mücadelede farklı mekanizmalar arasında emisyon ticareti sistemi anahtar konuma sahiptir. İkinci olarak, AB ülkelerinde 1 Ocak 2005 tarihinde yürürlüğe giren AB Emisyon Ticaret Sistemi, (EU ETS, European Union Emission Trading Scheme) şu anda en büyük uluslararası sera gazı emisyon ticareti sistemini oluşturmaktadır. Bu sistemin işleyişi, farklı aşamaları, CO₂ piyasası ve fiyat oluşumu gibi konular çalışmada detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

Emisyon Ticaretinin teorik altyapısı, 1960 yılında Coase tarafından yayınlanan makaleye dayanmaktadır. Daha sonra Dales (1968), Baumol ve Oates (1971), Montgomery vd. (1972) emisyon ticareti kavramını ve teorisini geliştirmişlerdir. Bu konudaki teorik çalışmalar çok eski olmasına karşın, emisyon ticaretinin pratik uygulamaları oldukça yenidir. İlk uygulama ancak 1970'li yılların ortalarında ABD'de gerçekleşmiştir. Bu gecikmenin sebebi olarak Miller vd. (2005) iki farklı nedene dikkat çekmektedir; birincisi çevrecilere göre emisyon ticareti daha önce paha biçilemez olarak düşünülen çevreyi fiyatlandırmaktadır. Bu görüş nedeniyle emisyon ticareti, bazı çevre grupları tarafından (örneğin; Greenpeace) şiddetle eleştirilmiştir, ikincisi emisyon ticareti, uygulanacak endüstrinin kendi isteksizliği olarak düşünülebilir. Çünkü emisyon ticaretinin ilk uygulamalarında firmaların o yıl içinde kullanmadığı ve daha sonra kullanmak için biriktirdiği (banking) emisyon kredilerine regülasyonları düzenleyen ilgili çevre kurumu, çevre koruma amacıyla el koymuş, bu da firmaların emisyon ticareti uygulamaları konusunda isteksizliğini arttırmıştır (Miller vd., 2005: 191).

Emisyon vergileri ve emisyon ticaretinin her ikisi de piyasa temelli araçlardır (Emisyon ticareti esneklik mekanizması iken emisyon vergileri değildir). Teoride her ikisi de etkin maliyetle çevre kirliliğini azaltacak ve toplum için öngörülen düşük seviyede bir kirliliğe ulaşmayı en düşük maliyetle sağlayacaktır. Emisyon ticareti maliyetinin etkin olması, iyi işleyen sağlıklı bir kirletme hakları piyasası oluşturmakla mümkün olabilir. Bilindiği gibi her işletme, (fabrika, santral vs.) farklı marjinal kirlilik azaltım maliyetlerine (Marginal Abatement Costs, MAC) sahiptir. Bazı işletmelerin MAC'ları oldukça düşükken diğerlerinin yüksek olabilmektedir. Buna göre bazı işletmeler için üretimde bulunurken çevreyi kirletmek ve bunun kirletme bedelini ödemek daha uygun iken (yüksek MAC'lı şirketler), diğerleri için çevre kirletmeyi azaltmak daha ekonomiktir (düşük MAC'lı şirketler). Emisyon ticareti işletmeler arasındaki bu farklılıkları dikkate alarak çevre kirliliğinin düşürülmesinde maliyet etkin

bir yöntem olabilmektedir. Kirletme hakları yani emisyon permileri emisyon ticaretinin temelini oluşturmaktadır. Her emisyon permisi işletmeye belli bir miktar kirletme hakkı (örneğin; bir permi = 1 ton CO₂ salım izni) vermektedir. İlgili devlet kuruluşu ilk olarak, belli bir bölge için maksimum toplam kirletme hakkını (toplam emisyon permi miktarını) belirlemeli ve daha sonra bu toplam miktarı hangi mekanizma ile firmalara dağıtacağına karar vermelidir. Toplum için, optimum toplam kirletme hakkı, toplam marjinal kirlilik azaltım maliyetlerinin (MAC), kirliliğin oluşturduğu marjinal zarar maliyetine (Marginal Damage Cost) eşit olduğu noktada belirlenmelidir. Fakat uygulamada kirlilik zarar maliyetlerinin ve kirlilik azaltım maliyetlerinin tam olarak hesaplanması çok yüksek işlem maliyetleri (transaction costs) gerektireceği için toplam permi miktarı, ilgili devlet kuruluşu tarafından maliyetler hakkında eldeki en iyi bilgiler kullanılarak belirlenir (Hussen, 2004: 113). İlgili bölge için toplam permi miktarı belirlendikten sonra ikinci aşama bunların işletmeler arasında paylaştırılmasıdır. Her işletmeye ne kadar miktarda permi dağıtılacağı genellikle iki yöntem ile yapılmaktadır. Bunlardan birincisi, yönetmelik kuralları (grandfathering) denen ve genellikle işletmelerin geçmişteki emisyonları baz alınarak permilerin ücretsiz dağıtılması yoluyla yapılırken iken ikinci yöntem ise, permilerin ücret karşılığı açık artırma (auctioning) ile satılması şeklindedir. Emisyon ticaretinin uygulanması esas itibarıyla şu şekilde olmaktadır: Belli bir coğrafi bölge içindeki şirketlere permiler belli kuralları çerçevesinde dağıtılır. Her bir permi şirketin belli miktarda emisyonuna izin vermektedir. Örneğin 1 perminin 1 ton CO₂ emisyonuna eşit olduğunu varsayalım. Atmosfere 1 ton CO₂ salımında bulunan her işletme, 1 permisini, ilgili devlet kuruluşuna teslim etmelidir. Daha önce belirttiğimiz gibi her işletmenin MAC'ı farklı olacaktır. Bazı işletmeler daha düşük maliyetlerle CO₂ emisyonlarını azaltabilirken, diğerleri bunun için çok yüksek harcamalar yapmak zorunda kalabileceklerdir. Bu noktada emisyon ticareti firmaların birbirleri arasında permi alıp satmalarına olanak sağlamakta, böylece düşük MAC'lı firmalar emisyonlarını daha ucuza azaltarak, kullanmadıkları permileri o bölgedeki yüksek MAC'lı olan firmalara satabilmektedirler. Yüksek MAC'lı firmalar, piyasada oluşan permi fiyatları kendi MAC'larından düşük olduğu sürece permileri talep edecekler, aynı şekilde düşük MAC'lı firmalar permi fiyatları MAC'larından yüksek olduğu sürece bu fiyattan permi satmak isteyeceklerdir. Sonuçta, teorik olarak işlem maliyetlerinin düşük ve permi piyasalarının gelişmiş olduğu varsayımında, emisyon ticareti maliyet etkin bir şekilde emisyon miktarını kontrol edebilecektir. Piyasadaki denge noktası, tüm firmaların MAC'larının eşit olduğu noktada oluşacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken

konu şudur; sistem tüm permilerin firmalar arasında piyasa mekanizması eşliğinde maliyet etkin dağılımını sağlamaktadır, fakat kesin olarak çevre kaynaklarının optimal kullanımı sonucunu doğurmamaktadır. Bu durum ancak dağıtılacak toplam permi sayısının eldeki bilgilerle en doğru şekilde hesaplanmasına bağlıdır ki, bu da hasar maliyetleri (damage cost) konusunda çok detaylı bilgi gerektirmektedir (Hussen, 2004: 116).

3.3.2. Emisyon Ticareti Çeşitleri

Emisyon ticaretinden genel olarak iki şekilde bahsedilebilir. Birincisi, *kredi ticareti* (*credit trading*) ikincisi, *limitleme ve ticaret* veya *tahsisat ticareti* (*cap-and-trade* veya *allowance trading*) olarak bilinmektedir (Ellerman vd., 2003: 4; Ellerman, 2005: 124). Kredi ticaretinde, emisyon tahsisatları, belli işletme parametrelerine (enerji üretimi, tüketimi, vs.) bağlı olarak belirlenir (EEA, 2006: 18). Emisyon seviyesini normal seyir halinde ulaşılabilecek düzeyin (baseline level), altına düşürebilen işletmeler, bu çabaları sonucu kredi elde ederler. Sistem, belirtilenden daha çok emisyon düşüren işletmeleri kredilendirerek, ödüllendirilmesi temeline dayanmaktadır. Fakat bu kredilerin başka bir işletmeye satılabilmesi için ilgili düzenleyici kurum tarafından sertifikalandırılması gerekmektedir. Bu sertifikalandırmadaki amaç ilgili işletmenin gerçekten emisyonu düşürmek için fazladan çabasının olup olmadığının (özellikle programın teşvikiyle emisyonu düşürüp düşürmediğinin) kontrolüdür. İlgili kurum tarafından sertifikalandırma zorunluluğu, *kredi ticaretinde* işlem maliyetlerini çok yükseltmekte ve firmalar arasındaki ticareti azaltmaktadır (Ellerman, 2005: 125).

Limitleme ve ticaret veya *tahsisat ticareti* yöntemi son yıllarda daha çok kullanılan ve etkin maliyetle çevreyi koruyan bir yöntemdir. Buna göre, mikro düzeyde işletmeler hariç tüm işletmeler için toplam bir üst emisyon limiti (cap) belirlenir. Her işletmeden istenen, sadece gerçekleşen emisyon miktarına karşılık gelen permiyi ilgili kuruma teslim etmesidir (hesaplar bilgisayar ortamında tutulur ve işletmeler emisyon miktarlarına karşılık gelen permiyi bu hesaplardan düşerler). İşletmeler piyasada serbestçe permi alıp satabilmektedirler. Bu yöntem ile, işletmelerin MAC'ları eşitlenmekte ve etkin maliyetle çevre kirliliği önlenmektedir.

3.3.3. Emisyon Ticareti ve Emisyon Vergisinin Karşılaştırılması

Bu kısımda piyasa temelli esneklik mekanizması olan emisyon ticareti ve emisyon vergisi (karbon vergisi) politikanın benzerlikleri ve farklılıklarına değinilecektir.

Teoride, karbon vergileri ve emisyon ticareti çevre kirliliğini önlemede aynı oranda etkin yöntemlerdir. Karbon vergilerinin ve emisyon ticaretinin ilk uygulamalarına baktığımızda karbon vergilerinin özellikle ABD’de politik nedenler dolayısıyla AB’den daha az tercih edildiği görülmüştür (Ellerman, 2005: 128). Ancak ABD’deki özellikle enerji çevreleri son zamanlarda karbon fiyatındaki artışlar nedeniyle emisyon ticareti yerine karbon vergileri kullanılmalı görüşü ifade edilmektedirler.

Karbon vergisi ve emisyon ticareti arasındaki farklılıkları Portney ve Stavins (2000) çalışmalarında şu şekilde ifade etmişlerdir; (i) emisyon ticareti çevre kirliliğinin toplam miktarını belirlerken, karbon vergileri çevre kirliliğinin maliyetini kontrol eder, (ii) teknolojik gelişmeler olduğu varsayılırsa ve ilave bir devlet müdahalesi yapılmadığı durumda kirlilik miktarı emisyon ticaretinde sabit kalırken, emisyon vergilerinde artar, (iii) ilk permi dağıtımında yönetsel kuralların uygulandığı emisyon ticaretinde kaynaklar özel sektör içinde el değiştirirken, emisyon vergilerinde özel sektörden kamu sektörüne kaynak artırımını söz konusudur, (iv) her iki sistemde de tüketici ve endüstrinin maliyetleri artarken, vergilerde bu artış genellikle her iki grup tarafından daha fazla hissedilir, (v) bazı emisyon vergileri otomatik olarak enflasyona göre ayarlanmaz, fakat permi fiyatları enflasyona göre otomatik ayarlanır, (vi) emisyon vergilerine göre emisyon ticareti sisteminde firmaların stratejik davranışlarına daha çok rastlanır, (vii) işlem maliyetlerinin yüksek olması her iki sistemi de olumsuz etkilemesine karşın, özellikle emisyon ticaretinde uyum maliyetlerini artırır, viii) belirsizlik durumunda, marjinal fayda ve marjinal maliyet fonksiyonlarının göreceli eğilimine bağlı olarak emisyon vergileri veya emisyon ticareti daha etkin olabilir. Son olarak, vergilerden elde edilen gelirlerin ne gibi projelerde kullanıldığı emisyon vergilerinin etkinliğini etkileyecek önemli faktörlerden biridir.

3.3.4. Emisyon Ticareti Uygulamalarının Tarihsel Süreci

İlk olarak kirletme hakkı ticareti 1970’lerde ABD’de ve daha sonra birçok Avrupa ülkesi, Kanada, Meksika ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde uygulanmıştır. Ancak

emisyona ticaretine öncülük eden ilk uygulamalar CO₂ emisyonu ticaretini değil nitrojen oksit (NO_x) ve kükürt dioksit (SO₂) gibi hava kalitesini etkileyen emisyonların ticaretini içermektedir.

Emisyon ticaretinin ABD’de ilk kez denkleştirme politikası (offset policy) şeklinde 1976 yılında Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA) tarafından uygulanmıştır. Bazı bölgeler Temiz Hava Yasasının (Clean Air Act) belirlediği standartlara ulaşamadığı için yeni yatırımlarının yasaklanması durumu ile karşılaşmışlardır (Tietenberg, 2006: 6). Bu durumda EPA temiz hava standartlarını sağlayamayan bölgelerde, yeni firmaların yatırım yapabilmesi için bölgede bulunan firmaların emisyonlarını en az yeni firmanın yaratacağı kirlilik oranında düşürmesi şartını getirmiştir (Ellerman vd., 2003: 8). EPA bölgedeki firmaların gönüllü olarak emisyonlarını düşürmelerini teşvik etmiş, düşürülen bu ekstra emisyon miktarı EPA tarafından sertifikalandırılmış ve yeni firmaların transferine izin verilmiştir. Hatta yeni firmalara bölgeye girmeleri için yapacakları emisyonun % 120’si kadar emisyon sertifikasını faaliyette bulunan firmalardan alma şartı getirilerek hava kalitesi iyileştirilmiştir (Tietenberg, 2006: 7).

Emisyon ticareti sistemini Amerika’da ayrıca “benzindeki kurşunun azaltılması ve sonlandırılması”, “ozon tabakasına zarar veren kimyasal maddelerin düşürülmesi” (Reducing Ozone Depleting Chemicals) ve “endüstri zehirli atık programı” (Industrial Air Toxics) gibi programlarda iktisadi araç olarak kullanmıştır. Fakat ABD’de uygulanan emisyon ticaretinin en geniş kapsamlı ve en başarılı uygulamalarından biri asit yağmurlarına yol açan kükürt dioksit (SO₂) emisyonunun azaltılmasıdır (Tietenberg, 2006: 10). Bu program emisyon ticareti sisteminin geniş bölgelerde de çok etkin ve standart düzenlemelerine göre çok daha düşük maliyetle emisyon miktarını azaltabileceğini göstermiştir (Ellerman, 2004: 94). 1990 yılında Temiz Hava Yasasında yapılan değişiklikle, elektrik santrallerinin SO₂ emisyonları toplamının, 1980’den 2000’e yıllık emisyon miktarının 10 milyon ton azaltılarak 2000 yılında 1980 yılındakinin yarısına düşürülmesi kararlaştırılmıştır. İlk aşamada, 1995 ve 2000 yıllarını ve 61 elektrik şirketi tarafından yönetilen 110 büyük elektrik santralini kapsarken, ikinci aşamada ise 2000 ve 2010 yılları arasında ülke çapında büyüklü küçüklü 1000’den fazla elektrik santralini kapsamaktadır (ikinci aşamadaki amaç ise 2010 yılına kadar emisyon miktarını ekstra 10 milyon ton düşürmek olarak belirlendi). Sadece ilk aşamadaki

hedefe bile Yönetim ve Kontrol Yöntemi kullanılarak ulaşmanın tahmini maliyeti, kontrol edilen her ton SO₂ için 1000 \$'a ulaşıyordu (Kerr, 1998, aktaran Hussen, 2004: 120). Fakat bu hedefler emisyon ticareti yöntemi ile çok düşük maliyetler ile gerçekleştirilmiştir. Santrallerin geçmişteki emisyonlarını da dikkate alacak şekilde permi dağıtımları yapılmıştır. Her permi 1 ton SO₂ emisyon hakkı veriyordu. Programa dahil olan tüm enerji santrallerine yasa ile devamlı emisyon takip sistemi (continuous emission monitoring systems, CEMS) kurma yükümlülüğü getirilmiştir. Bu sistem her santralin ne kadar SO₂ emisyonunda bulunduğunu takip ediyordu. Yıl sonunda eğer bir işletme elindeki permilerin izin verdiği miktardan daha fazla emisyonda bulunmuşsa, her ton için enflasyona endeksli olacak şekilde en az 2000 \$ ceza ödemek zorunda kalıyordu ve takip eden yılda firmaların permi miktarları ekstra emisyonda bulundukları kısım kadar azaltılıyordu. İşletmeler kendi aralarında permi alıp satabildikleri gibi yıl içinde kullanmadıkları permileri daha sonraki yıllarda kullanmak üzere saklayabiliyorlardı (banking). Ayrıca, çevre örgütleri permi satın alıp kullanmayarak çevrenin korunmasına yardım edebildikleri gibi yatırımcılarda ileride permi fiyatlarının artabileceği düşüncesiyle spekülatif amaçla permi satın alabiliyorlardı. Permi piyasasındaki işlem maliyetlerini düşürmek ve permi fiyatlarında şeffaflığı sağlamak amacıyla permilerin % 2'lik kısmı EPA tarafından Chicago ticari ürün borsasında (Chicago Board of Trade) açık artırma ile satışa sunulmuştur (Tietenberg, 2006: 11). Program bir bütün olarak çok başarılı olmuştur. Yasanın öngördüğünden bile daha fazla miktarda kükürt dioksit azaltılmış ve bu oran ilk tahminlerden % 75 daha az maliyetle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca firmaların kurallara % 100'e yakın oranda uymuşlardır (Sandor, 2006: 398).

ABD'de uygulanan tüm programlar federal hükümet tarafından başlatılmıştı, fakat çevre standartlarına uyum sağlamak amacıyla 1994'lerden itibaren birçok eyalet bireysel emisyon ticareti programlarını başlatmıştır. Aktif olarak işlem yapan Kaliforniya ve çevresindeki bazı batı eyaletlerinden oluşan Kaliforniya İklim Eylem Kayıt Protokolleri (California Climate Action Register, CCAR), kuzeydoğu eyaletlerinden bazılarının oluşturduğu Bölgesel Sera Gazı Girişimi (Regional Greenhouse Gas Initiative-RGGI), Chicago İklim Borsası (Chicago Climate Exchange, CCX)¹⁰ bunlardan bazılarıdır. Bunlardan en önemli olanlardan birisi California Bölgesel

¹⁰ Chicago İklim Borsası (CCX) 2010 yılı sonunda kapanmıştır (Ecosystem Marketplace, 2011: 15).

Temiz Hava Teşvik Piyasası'dır (California's Regional Clean Air Incentive Market, RECLAIM), (Tietenberg, 2006: 12). Los Angeles bölgesinde Nitrojen oksit ve kükürtdioksit emisyonlarını düşürmek için Ocak 1994'te başlatılan emisyon ticareti programına 350 civarı işletme katılmış ve yapılan tahminlere göre program yaklaşık 60 milyon \$'lık (% 40'lık) bir maliyet tasarrufu sağlamıştır (Stavins, 2000: 40). Nitrojen Oksit Bütçe Programı (The NO_x Budget Program) ve Chicago Emisyon Azaltımı Piyasası Sistemi (the Chicago Emissions Reduction Market System) ABD'de uygulanan diğer emisyon programlarına örnek olarak verilebilir. Batı İklim Girişimi (Western Climate Initiative, WCI) 1 Ocak 2012 yılında Amerika'nın on eyaleti ve Kanada arasında uygulamaya konulmuştur ve uygulandığı bölgenin emisyonlarının başlangıçta % 66'sını, 2015 yılında ise % 90'ını kapsaması tahmin edilmektedir.

Danimarka'nın, 1999 yılında çıkardığı Sera Gazları Ticaret Sistemi Yasası ile bu konuda AB içinde öncü ülke olmuştur (Michaelowa, 2004: 770). Yürürlüğe konulan emisyon ticareti programı 2001-2003 yılları arasında elektrik santrallerinin CO₂ salımının her yıl 1 milyon ton düşürülmesini hedeflemiştir (UNP, 2002: 30). Sistemin aşağıda belirtilen sebeplerden dolayı eleştirilmiştir; (i) sadece en büyük sekiz işletmeyi kapsaması ki bunlardan ikisi ilk tahsisatın % 93'ünü elde etmiştir ve (ii) uygulanacak yaptırımlar oldukça düşük belirlenmiştir (5.2 Euro/ CO₂ ton). Bu yüzden çok düşük miktarda emisyon ticareti yapılmıştır (limitin sadece % 1 oranında) ve gelecek yıllara saklanamayan bazı sertifikalar 2001 yılının sonunda yabancı alıcılara satılmıştır (UNP, 2002: 31; EPA, 2006: 21).

İlk endüstriler arası sera gazı emisyon ticareti sistemine Birleşik Krallık Emisyon Ticaret Sistemi (the UK ETS) örnek verilebilir. Temel olarak enerji tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonunu içermektedir ve 2002-2006 yıllarını kapsamaktadır (Brady, 2005: 371). Hükümet 2000 yılından itibaren endüstri enerji tüketimini baz alan enerji vergisi olarak İklim Değişikliği Vergisi (Climate Change Levy) almaya başlamıştır. Fakat ilgili endüstriye, hükümetle sera gazlarını düşürmek konusunda bir anlaşmaya varmaları halinde, ödedikleri verginin % 80'inin geri ödenmesi kolaylığı sağlanarak işletmeler anlaşmaya özendirilmiştir (Michaelowa, 2004: 668). Brady (2005)'e göre firmalar üç yöntem ile UK ETS'ye dahil olabilmişlerdir. Bunlar; (i) hükümet tarafından verilecek sübvansiyon karşılığı gönüllülük esasına dayalı direk katılımla, firmalar emisyon hedeflerini ve düşürecekleri mutlak CO₂ emisyon

miktarını yıllık ton olarak belirtmişlerdir. Limit ve ticaret yöntemi ile gerçekleştirilen sisteme toplam 34 şirket 2002 yılında yapılan açık artırma ile katılmıştır, (ii) 8000 firmayı kapsayan 40 endüstri sektörünün üretimde kullanacağı *maksimum enerji miktarı* hedefi belirleyerek sisteme katılma imkanı sağlanmıştır. Sistemin kurallarına uymamanın cezası, uyumsuzluğun belirlendiği yılı takip eden 2 yıl boyunca % 80'lik İklim Değişikliği Vergisi indiriminin iptalini gerektirmekteydi, (iii) sera gazı emisyonunu belli bir seviyenin altına düşürecek Birleşik Krallık projeleri son yöntemi oluşturmaktaydı. Fakat EU ETS'nin gelişmesi bu yöntemin yerine geçmiştir. Emisyon ticareti sisteminin 12 milyon ton CO₂ (Kyoto protokolünde Birleşik Krallık için belirlenen azaltımın % 16'sı kadar) emisyonu azaltımına yol açması beklenmektedir. Sistem EU ETS'ye geçiş için İngiltere'ye önemli tecrübe kazandırmıştır. Uyum döneminde bir süre iki sistem beraber işledikten sonra sistem EU ETS içinde yer alacaktır (Brady, 2005: 371).

Yukarıda anlatılan emisyon ticareti uygulamalarına ek olarak Avustralya'da uygulanan en büyük kirletici 500 şirketi kapsayan ve 1 Temmuz 2012-2015 döneminde % 60 emisyon azaltımı sağlaması beklenen “Carbon Pricing Mechanism” örnek gösterilebilir. Japonya'da uygulanan Japan Voluntary Emission Trading Scheme (JV ETS) 300 şirketi kapsamakta ve 2005 yılından bu yana uygulanmaktadır. 2008 yılında bu yana uygulamada olan New Zeland Emission Trading Scheme (NZ ETS) ülke emisyonlarının yaklaşık % 50'sini kapsamaktadır. Çin 2013 yılında, ilk etapta üç eyalette olmak üzere ülke genelini kapsayacak ETS planlamaktadır. Kore'de 2015 yılında uygulamaya konulacak olan ETS'nin 470 büyük şirketi kapsaması ve % 60'lık emisyon azaltımı sağlaması beklenmektedir. İsviçre'de 2008 yılında faaliyete başlayan Swiss Emission Trading Scheme ETS'ne örnek gösterilebilir. CRC Energy Efficiency Scheme, İngiltere'de EU ETS'den bağımsız çalışan ve ülkenin emisyonlarının yaklaşık % 10'unu kapsayan uygulamadır¹¹.

3.3.5. Kyoto Protokolü ve Emisyon Ticareti Sistemi

Sera gazı emisyonlarını azaltmak için Kyoto Protokolü ile getirilen üç esneklik mekanizmasından piyasa temelli olan mekanizma emisyon ticaretidir. Emisyon ticareti Kyoto Protokolünün 17. maddesi ile düzenlenmiştir. ABD'de uygulanan emisyon

¹¹ Emisyon Ticareti uygulamaları için detaylı bilgi için bk: <http://www.climatechange.govt.nz/emissions-trading-scheme/about/international-examples.html>

ticareti programlarının (özellikle Asit Yağmurları Programının) çok başarılı olması üzerine bu mekanizma Kyoto protokolünde yer almıştır (Damro ve Mendes, 2005: 257). Emisyon ticaretinin yapılmasına Kyoto Protokolü'nü imzalamış ve emisyon azaltımı yükümlülüğü alan EK-1 ülkelerinden oluşan EK-B ülkeleri arasında izin verilmektedir. Kyoto Protokolü'nde emisyon azaltımı hedefi almış olan EK-B ülkelerinin 2008-2012 Kyoto dönemi için salım yapabileceği maksimum miktarı gösteren toplam "Tahsis Edilmiş Emisyon miktarı" (Assigned Amount-AA) belirlenir. Belirlenen hedefin altında ya da üstünde sera gazı salımı gerçekleştiren ülkeler arasında 'Tahsis Edilmiş Emisyon Birimi' (Assigned Amount Unit-AAU) ticareti yapılır. Ayrıca, Kyoto emisyon ticareti mekanizması tüm Kyoto tahsisatları için uluslararası ölçekte potansiyel bir pazar oluşturmaktadır. Buna göre, ülkelere tahsis edilmiş emisyon miktarı (Assigned Amount Units, AAUs) dışında Ortak Yürütme Programı dahilinde elde edilen Emisyon Azaltım Birimleri (Emission Reduction Units, ERUs), yutak alanların artırılması sonucu oluşturulan Uzaklaştırma Birimleri (Removal Units, RMUs) ve Temiz Kalkınma Programı dahilinde elde edilen Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltımlarının (Certified Emissions Reductions, CERs) tümünün Kyoto Protokolünün 17. maddesine göre ticareti yapılabilmektedir (OECD, 2005: 36). İlâveten, Kyoto Protokolü EU ETS gibi diğer ülke ya da bölgesel sistemleri de içine alacak şekilde çok daha geniş bir emisyon pazarının temelini çatısını oluşturmaktadır. Kyoto Protokolü'ne göre, öncelikle ülkelerin kendi çabaları ile emisyonları azaltması esastır, ayrıca esneklik mekanizmaları ile emisyonların azaltılması ilave bir katkı olarak görülmelidir.

1997 yılında 3. Taraflar Konferansında (COP-3) ortaya çıkan Kyoto Protokolü'nce tanımlanan emisyon ticaretinin ayrıntılı düzenlenmesi 7. Taraflar Konferansı'nda (COP-7) kabul edilen 2001 Marakeş Sözleşmesi ile yapılmıştır. Marakeş Sözleşmesi'ne göre, ülkelerin temel alınan yıla (baseline-genellikle 1990 yılı) ait emisyonları ve emisyon azaltım hedeflerini esas olarak dağıtılan toplam AAU miktarı, her bir ülke içinde kendi yetkili kurumları tarafından sektörlere ya da işletmelere dağıtılabilir. Kyoto protokolü, emisyon azaltımı faaliyetlerinin şeffaf, ölçülebilir ve belli bir yöntemle göre hesaplanması şartını getirmektedir. Marakeş Sözleşmesi'ne göre ayrıca, EK-B ülkelerinin esneklik mekanizmaları yolu ile kazanılan kredileri ve permileri Kyoto dönemi sonrasında kullanmak amacıyla saklamalarına (banking) izin verilmektedir. Fakat, birimlerin Kyoto sonrasına aktarımında, AAU transferi için herhangi bir kısıtlama getirilmemiş iken proje temelli esneklik

mekanizmalarından kazanılan kredilerin (CER ve ERU) transferinde toplam tahsis edilen emisyon miktarının (Assigned Amount) % 2.5 seviyesinin üzerine çıkmaması şartı konulmuştur (UNFCCC, 2007)

Kyoto Protokolü ile tüm ticarete konu olan emisyon birimlerinin transferi, kaydedilmesi ve kontrolü Uluslararası İşlem Kütüğü (International Transaction Log-ITL) olarak isimlendirilen bilgisayar kayıt sistemince yapılmakta ve izlenmektedir¹². Her ülke kendi kayıtlarını güvenli iletişim kanallarıyla ITL'ye aktarır onaylatır. Protokol bazı ülkelerin emisyon ticaretini kötüye kullanmalarını (örneğin, tahsisatlarının çok büyük bir kısmını satıp, sonradan da sistemden çıkmaları gibi) önlemeye çalışmıştır. Ayrıca Kyoto üyesi EK 1 ülkelerinin emisyon ticareti yoluyla diğer EK 1 ülkelere aşırı transfer yapmalarını engellemek amacıyla her ülkenin yükümlülük dönemi rezervi belirlenmiştir. Tüm uluslararası ticareti kaydeden ITL sistemi otomatik olarak rezervi aşan ülkeleri tanımlayıp ticaret yapmasının önüne geçecektir. Fakat ABD'nin beklenen AAU talebinin oluşmaması (Kyoto Protokolünü onaylamaması nedeni ile) yükümlülük dönemi rezervi gereğini azaltmıştır (OECD, 2005: 37-38).

EK-I ülkelerinin Kyoto Protokolü ile tanımlanan uluslararası emisyon ticaretine katılım koşulları Ortak Yürütme için belirtilen koşullar ile aynıdır. Emisyon ticaretinin ancak emisyon hedefi almış EK-I ülkeleri arasında yapılması şartı söz konusu olduğu için, masrafsız bol emisyon azaltımı sağlamış olan EKLER-DİŞI ülkelerden Kazakistan ve Beyaz Rusya'nın özellikle EK-I ülkesi oldukları görülmektedir. 2008-2012 Kyoto döneminde emisyon azaltımı yükümlülüğünü yerine getiremeyen ülkeler yaptırım olarak her bir ton başına 1.3 ton CO₂ eşdeğeri emisyon azaltımını Kyoto sonrası dönemde gerçekleştirmek zorundadır.

3.3.6. Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi (EU ETS)

Sera gazlarını azaltmak amacıyla uygulanmakta olan emisyon ticareti sisteminin günümüzdeki en büyük örneği 2005 yılında Avrupa Birliği içinde *limitleme ve ticaret (cap and trade)* şeklinde faaliyete geçmiş olan Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemidir (European Union Emission Trading Scheme- EU ETS). Avrupa Birliği, en

¹² ITL için detaylı bilgi için bk: http://unfccc.int/kyoto_protocol/registry_systems/itl/items/4065.php

etkin sera gazı azaltımı sağlayacak uygulamaların başında emisyon ticareti sisteminin olacağını belirtmiştir (European Commission, 2007: 3).

Karbondiyoksit (CO₂) emisyonlarını azaltmaya yönelik olarak geliştirilmiş ilk bölgesel emisyon ticareti uygulaması olan Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi 2003 yılında yayınlanan 2003/87/EC sayılı yönetmelik ile hayata geçmiştir. Avrupa Birliği'nin 30 ülkesinden yaklaşık 11000 işletme bu sistemin içine dahil edilmiştir¹³. EU ETS içinde elektrik santralleri, petrol rafineleri, demir-çelik, çimento, cam ve seramik ve kağıt gibi enerji yoğun sektörlerdeki büyük kirletici işletmeler yer almaktadır. Sisteme dahil olan işletmelerin salımı toplam AB sera gazının % 43'üne karşılık gelmektedir ve 2008-2009 küresel krizde azalan bu miktar 2010 yılında zirve noktaya ulaşmıştır (EEA, 2011:43). Elektrik sektörü sistem içindeki % 40'lık CO₂ oranı ile en büyük paya sahiptir (IEA, 2011: 418). EU ETS sisteminin işleyişi özetle şu şekilde açıklanabilir; sisteme dahil olan işletmelere ülkeleri tarafından belirlenen yıllık kullanabilecekleri "Tahsis Edilmiş Emisyon Birimi" AAU (Assigned Amount Unit-AAU) ile belli bir kota getirilir. Toplam emisyon kotası hesap birimi olarak belirlenen ve ton başına birim permi anlamına gelen EUA (European Union Allowance) sayısı ile ifade edilir. EUA permi miktarı ilgili sektördeki işletmelerin geçmiş yıllardaki karbondiyoksit emisyon miktarları baz alınarak belirlenir. O yıl içinde işletmeler kendilerine tahsis edilen miktar kadar CO₂ emisyonu salabilirler. İşletmeler yılın sonunda gerçekleşen CO₂ emisyonları ve tahsis edilen EUA emisyon permilerini karşılaştırarak izin verilen miktarı dengeleyecek şekilde ülke yetkili organına iade etmek zorundadır. İşletmelerin gerçekleşen emisyonları düşüldükten sonra eğer hala EUA permisi kalmış ise, bu miktarı sistemdeki kota hedefini tutturamamış işletmelere satabilir, ya da sonraki yıllarda kullanmak üzere biriktirebilirler (banking). NAP1 (National Allocation Plan- Ulusal Taahhüt Planı) ya da P1 (Phase 1-Birinci dönem) ve NAP2 dönemlerinde artan permilerin gelecekte tekrar kullanılmasına yönelik kuralın uygulanması farklılık arz etmektedir. Örnek olarak, NAP1 döneminde fazla olan permilerin sadece NAP1 içindeki bir sonraki yılda kullanılması mümkünken, NAP2 döneminde biriktirilen fazla permiler, NAP2 ve NAP3 (2013 sonrası) dönemi içinde de kullanılabilir (PointCarbon, 2007a; EC, 2009: 24). EU ETS'nin bir diğer önemli özelliği ise Bağlantı Yönetmeliği (Linking Directive)¹⁴ ile EU ETS sisteminin içine proje temelli

¹³ http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm

¹⁴ Yönetmelik için bakınız Official Journal L 338, 13.11.2004, p. 18

esneklik mekanizmaları olan CDM ve JI belli bir sınır ile dahil edilebilmektedir (www.sanayi.gov.tr, erişim:06.06.2012). Yani emisyon ticareti sistemine dahil olan işletmeler, hedeflerini tutturabilmek için kendi azaltım çabaları ve başka firmalardan emisyon ticareti yolu ile permi satın almanın yanı sıra Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) ya da Ortak Yürütme (JI) projelerinden kazanılan kredileri de belli bir sınır dahilinde kullanabilirler.

EU ETS uygulaması birincisi pilot uygulama olmak üzere farklı dönemlerden oluşmaktadır. Pilot uygulama olarak isimlendirilen NAP1 ya da P1 dönemi Ocak 2005-Aralık 2007 dönemini kapsamaktadır (EC, 2009: 8). EU ETS Yönetmeliği uyarınca, üye ülkeler ‘ulusal taahhüt planlarını’ kendileri belirledikten sonra Avrupa Komisyonu’nun onayına sunarlar. NAP hazırlanırken, işletmelere ne kadar ve nasıl (bedava ya da müzayede yöntemi) emisyon kotası verileceği kurallar dahilinde ilgili ülkenin kendi kararına bırakılmıştır, fakat toplam NAP miktarının kabul edilmesi Komisyon’un kararı ile geçerlilik kazanabilir. Üye ülkeler ve Komisyon arasındaki anlaşmazlık durumunda üst mahkemenin kararı geçerli olacaktır. NAP1 ticaret döneminde EUA emisyon permilerinin işletmelere dağıtımı, en fazla % 5 kadarı müzayede yöntemi ile geri kalanı ise bedava (grandfathering) olacak şekilde yapılmıştır. NAP2 dönemi için müzayede ile dağıtım oranı üst sınır % 10 olarak belirlenmiştir. NAP1 döneminde hedefine ulaşamayan işletmeler için uygulanacak ceza ton başına 40 Euro, NAP2 döneminde ise ceza miktarı ton başına 100 Euro olarak belirlenmiştir.¹⁵ Üçüncü dönemde ise ceza 100 Euro’ya ilaveten Euro Bölgesi yıllık enflasyonu oranında arttırılacaktır (EC, 2009: 19).

3.3.6.1. Birinci Ticari Dönem (NAP1-Phase 1-2005-2007)

AB Emisyon Ticareti Sistemi (EU ETS) 25 ülkeyi içeren bölgesel karbon piyasası olarak alım-satım işlemlerine 1 Ocak 2005 tarihinde başlamış ve günümüzde dünyanın en büyük karbon piyasası oluşmuştur. Danimarka ve İngiltere’de küçük ölçekte pilot proje olarak uygulanmaya başlanmış olan emisyon ticareti artık tüm AB’de uygulanmaktadır. 3 yıllık P1 (Phase 1-NAP1) dönemi sistemin uygulanarak öğrenilebilmesi, deneyim kazanılması ve diğer dönemlere hazırlık olması itibariyle hayati öneme sahiptir. Bu dönemde karbon fiyatı belirlenmiş, izleme ve raporlama işlemleri ile ilgili altyapı oluşturulmuş, nispeten rahat ulaşılabilecek kotalar ve geçici istisnalar getirilmiş ve karbon piyasasının yeni uluslararası finans kurumları ve aracı

¹⁵ Ayrıntılı bilgi için bakınız <http://ec.europa.eu/environment/climat/emission.htm>

brokerleri oluşmaya başlamıştır (EC, 2009: 8). Elde edilen permilerin ticareti bu kuruluşlar tarafından yapılabilmektedir ve mal piyasalarında uygulanan farklı ticaret yöntemlerinin benzeri olarak spot karbon ticareti, futures (vadeli işlemler) karbon ticareti (özellikle P2-NAP2 yılları için) EU ETS içinde geçerlidir.

Şekil 3.2, EU ETS'deki EUA işlemlerinde oluşan fiyat değişimlerini göstermektedir. Mavi (açık) renk ile gösterilen çizgi birinci döneme (NAP1-2005-2007) ait ton başına fiyat değişimini gösterirken, mavi (koyu) çizgi ve alttaki grafik ise NAP2-2008-2012 ikinci döneme ait vadeli işlemler piyasasında ortaya çıkan ton başına karbon fiyatını göstermektedir¹⁶.

EU ETS ilk uygulanmaya başladığında bir ton karbonun fiyatı (EUA fiyatı) 8 Euro olarak belirlenmiştir. Birinci döneme (P1) ait fiyat değişimlerine baktığımızda, 2005 yılı içinde başlangıçta hızlı bir artış kaydedilmiş ve 29 Euro değerlerine ulaştıktan sonra uzunca bir dönem 20 Euro civarında işlem görmüştür. 2006 yılı başından itibaren tekrar artış trendi gösteren P1 dönemi fiyatları 30 Euro'ya ulaştıktan sonra Mayıs ortasından itibaren çok hızlı bir düşüş yaşamıştır. 15 Mayıs'ta Avrupa Komisyonu'nunda EU ETS sistemi içindeki birçok büyük ülkenin 2005 yılına ait saptaması yapılmıştır. Birinci safhada permilerin % 95'inin ve ikinci safhada % 90'ının ücretsiz dağıtılması dönem sonunda birçok işletmede permi fazlalığı bulunacağı anlaşılmış ve bu durum EUA fiyatlarında önemli bir düşüşe yol açmış ve fiyat 10 Euro civarına inmiştir (EC, 2009: 9). 2006 yılı gerçekleşen emisyonların sonuçları da benzer şekilde birçok işletmenin elinde fazladan permi olduğunu gösterince karbon fiyatları 1 Euro'ya kadar düşmüştür. EU ETS'de gerçekleşen emisyonların, dağıtılan emisyon permilerinin toplamından 60 milyon ton daha az olduğu, başka bir ifadeyle dağıtılan permilerin gerçekleşen emisyonların % 3 daha üstünde olduğu görülünce ilk dönemde fiyatlar tamamen dibe vurmuştur (EEA, 2007: 53). Birinci dönem (P1) ve ikinci dönem arasında emisyon permilerinin transferinin mümkün olmaması EUA fiyatlarının 1 Euro'nun bile çok altına inmesinin önemli bir nedenidir. Ayrıca ABD gibi emisyon piyasasında alıcı konumundaki ülkelerin sistemin dışında olması karbon fiyatlarının düşmesinde etken sayılabilir. ABD'nin sisteme dahil olması durumunda fiyatın 100 \$ olabileceği aksi durumda ise ton başına 0-10 \$ olacağı belirtilmiştir (Zhang, 2000).

¹⁶ Karbon fiyatlarının günlük değişimlerini izlemek için bakınız www.pointcarbon.com.

Şekil 3.2: EU ETS’de NAP1 (2005-2007) ve NAP2 (2008-2012) Dönemine Ait Fiyat Değişimleri



Kaynak: PointCarbon.com, 2010 analizi, ss:3.

Karbon fiyatlarının çok düşük düzeylere inmesi iklim değişikliği ile mücadelede öncü olan Avrupa Birliği’nin emisyon ticareti uygulamasının birçok çevrede eleştirilmesine ve şüphelere neden olmuştur. Emisyon ticareti sisteminin sorunsuz işleyebilmesi için bazı kurumsal ve teknik önlemlerin dikkatli bir şekilde alınması gerekmektedir. Bu bağlamda, emisyon permisi fiyatları piyasada arz ve talebe göre belirleneceği için öncelikli olarak sağlam temeller üzerine kurulmuş piyasa düzeni ve sağlam rekabet koşulları sağlanmalıdır. Bu çerçevede, örneğin, sera gazı emisyonlarının ölçümü ve değerlendirilmesi titizlikle yapılmalıdır. Birinci dönemde (P1) dönemde işletmeler için geçmiş trend esas alınarak yapılan emisyon tahsisinin yanlışlığı sistemin düzgün işleyişini bozmuştur. İşletmelere bir önceki döneminden daha az emisyon sınırı getirilmez ise herkesin elinde permi fazlalığı olacaktır ve piyasada alıcı bulunmayacaktır. Emisyon Ticareti Mekanizması’nın sağlıklı işleyişi, kurumsal altyapının ve sağlam rekabet koşullarının oluşması ile büyük oranda ilişkilidir.

Birinci dönemde yaşanan fiyat düşüşlerinin, EU ETS’nin başarısız olduğu şeklinde yorumlanması yanlış olacaktır. Çünkü öncelikle bu dönem bir pilot uygulama

dönemidir ve diğer dönemler için deneyim kazanmayı amaçladığı hatırlanmalıdır. Birinci dönemde (P1) en azından aktif bir karbon piyasası ve 25 üye ülke için veri bankası ve ticaret platformu altyapısı oluşturulmuştur. Ayrıca, bu dönemde EU ETS'ye dahil olan işletmelerin önemli bir kısmının belirlenen yükümlülükleri sonucu aktif olarak karbon emisyonu azaltıcı politikalar, yatırımlar geliştirdiği belirtilmiştir (PointCarbon, 2007b). Bu anlamda emisyon azaltımı faaliyetinin ilk NAP döneminde aşırı permi dağıtımından daha önemli olduğu saptanmıştır (Ellerman ve Buchner, 2006). Birinci dönem pilot uygulamasıyla Avrupa Komisyonu, deneyim kazanmış ve görülen eksiklikleri tespit ederek ikinci dönem için daha sağlam politikalar uygulama şansını elde etmiştir.

3.3.6.2. İkinci Ticari Dönem (NAP2-Phase 2-2008-2012)

Birinci emisyon ticareti döneminde permilerin ücretsiz dağıtılması sonucu karbon fiyatlarının oldukça düşmesi gibi tecrübeler sonucunda İkinci dönem (Phase 2-P2) için Avrupa Komisyonu'nun emisyon permilerinin dağıtımı noktasında daha sıkı bir tutum izlemesini zorunlu kılmıştır. İkinci dönemde komisyonun tahmini değerler yerine gerçekleşen emisyon değerlerine göre permileri belirlemesi avantajdır ve ikinci dönemde (P2) belirlenen azaltım miktarı daha gerçekçi bir azaltım olacaktır. Avrupa Komisyonu P2 dönemi içerisinde ticarete konu olan işletmelerin emisyonlarının 2005-2007 dönemi emisyonlarının % 6.5 daha altında belirlemeyi kararlaştırmıştır (EC, 2009: 8). İlk dönemin tecrübesi ile Komisyon üye ülkelerin onay için sundukları ikinci dönem “ulusal taahhüt planları” (NAP) üzerinde çok eleştirel yaklaşarak, Fransa, İngiltere ve Slovenya hariç diğer ülkelerin tümünün sunulan planlarını reddetmiş, tekrar aşağıya doğru revize edilmesini istemiştir. Komisyonun bu kararı sonucu 2007 yılında 7 Doğu Avrupa ülkesinin anlaşmazlığı mahkemeye götürmüştür. Geri kalan ülkelerin (yeni üye ülkeler Romanya ve Bulgaristan dahil) sundukları NAP planları ise kabul edilmiştir.

EU ETS karbon fiyat değişimlerini ve future piyasasında işlem gören 2005-2008 yıllarına ait EUA fiyatları Şekil 2'de göstermektedir. Şekil 2'den görüleceği gibi, ilk yıllarda ikinci döneme ait fiyatlar P1 dönemi ile aynı seviyede giderken, P1 fiyatlarının hızlı bir şekilde aşağıya doğru seyrettiği 2006 Ekim ayı sonrasında ise P2 dönemine ait EUA fiyatları artmaya başlamıştır. P2 dönemine ait EUA karbon fiyatlarının bu tarihten itibaren 12 Euro fiyatının altına inmemesi ve hatta yükselerek

28 Euro'ya kadar artmasının en önemli nedeni, ikinci döneme yönelik Avrupa Komisyonu'nun emisyon permilerini onaylarken katı davranışdır. Birinci dönemdeki gibi fazla emisyon permisi olmayacağı düşüncesi ve gerçekçi azaltım sağlanacağı beklentisi karbon fiyatlarının düşmesini engellemiştir. Avrupa Çevre Ajansı'nın yapmış olduğu projeksiyonlara göre, Avrupa Birliği ETS sistemine dahil olan ve azaltım hedefi alan işletmeler, AB-15'in¹⁷ Kyoto protokolünde yükümlülük aldığı % 8 civarındaki azaltma hedefinin % 2.3'ünü tek başına sağlayacaktır (EEA, 2007). AB-15 üyesi ülkeleri 2005 verilerine göre sera gazı emisyonlarını 1990 seviyesinin ancak % 1.5 altına indirebilmişlerdir (EEA, 2007).

Bağlantı Yönetmeliği (Linking Directive) sayesinde Kyoto Protokolü'nde tanımlanan proje temelli esneklik mekanizmalarının (CDM, JI) kullanımına olanak tanınması İkinci Ticaret döneminin (P2) diğer önemli bir özelliğidir. Birinci dönemde esneklik mekanizmaları için gerekli olan uluslararası ticaret kayıt sistemi (International Trade Log-ITL) kurulmadığı için bu yönetmelikten faydalanılamamıştır. Ayrıca, ilk dönemde EUA fiyatlarının çok düşmesi ve Temiz Kalkınma Mekanizması CER fiyatlarının daha yüksek olması bu yönetmeliğin kullanımına olanak tanımamıştır (Schleich, Betz ve Rogge, 2007: 7). İkinci dönemde ise, ülkelerin ve ticarete konu olan işletmelerin bu mekanizmalar yoluyla kazanacakları kredileri kendi emisyon yükümlülüklerinden düşme konusunda istekli olduğu görülmektedir. Ancak, ülkelerin tamamı esneklik mekanizmalarından faydalanmamıştır. Örneğin, Malta hiç faydalanmazken İspanya elektrik sektörü için % 70 ve diğer sektörler için % 20 oranında bu mekanizmalardan faydalanmayı düşündüğünü ifade etmiştir (Schleich, Betz ve Rogge, 2007: 7). Avrupa Komisyonu bir takım kriterler getirerek üye ülkelerin Kyoto mekanizması kredilerini kullanımını kısıtlamıştır. İşletmelerin herhangi bir çaba göstermeden doğrudan CER veya ERU kredisi satın alarak yükümlü oldukları azaltımı yerine getirmeleri Kyoto Protokolü'nde ve Bağlantı Direktifindeki esneklik mekanizmalarının tamamlayıcılık (supplementarity) ilkesi ile çelişmektedir. Tamamlayıcılık ilkesine göre, bir üye ülke öncelikle sera gazı emisyonu azaltımını kendi çabalarıyla sağlamalı, esneklik mekanizmaları ise bu çabalara ek katkı sağlamalıdır.

¹⁷ AB-15 ülkesi 2004 yılından önceki Avrupa Birliği üyesi ülkeleri içermektedir.

Birçok ülkeyi de kapsayacak şekilde kurulmuş EU ETS'nin yaşanan tecrübelerle daha da geliştirilerek Kyoto sonrası için belirlenen emisyon azaltımlarında önemli bir araç olacağı konusunda Avrupa Birliği'nde ciddi bir fikir birliği olduğu söylenebilir. Avrupa Komisyonu, düzgün işleyen bir emisyon ticareti sisteminin enerji verimliliğinde iyileşme, temiz teknolojiye geçiş ve diğer bir takım yapısal değişiklikleri sağlayarak sera gazı emisyonunu en ucuza azaltacağını ifade etmektedir (EC, 2007). Günümüze kadar yaşanan, EU ETS'in P1 dönemi içinde bile emisyonları azaltmada önemli bir rol oynadığı, nispeten etkin çalıştığı, rekabet edebilirlik ve işsizlik üzerine olumsuz etkilerinin oldukça düşük olduğu belirtilmektedir (Ellerman ve Buchner, 2006; CEPS, 2007).

EU ETS'in şimdiye kadar olan uygulamaları düşünülerek önümüzdeki dönemlerde (P2 ve P3) döneminde ve sonrasında daha fazla sera gazını ve sektörü içererek yoluna devam edeceği planlanmaktadır. Avrupa Komisyonu Kyoto sonrası dönemde emisyon tahsislerinin ülke ölçeğinde değil, Avrupa Birliği ve Dünya ölçeğinde gelişmiş ekonomileride kapsayacak şekilde yapılabileceğini belirtmektedir. Böylece ulusal ölçekte dağıtım planları (NAP) yapılmayacak emisyon tahsisleri doğrudan komisyon tarafından yapılarak üye ülkeler ile komisyon arasında oluşacak anlaşmazlıkların önüne geçiliş olacaktır.¹⁸ Komisyon, üçüncü ticaret dönemini (P3), ilk iki dönemden farklı olarak, daha uzun bir zaman dilimine yaymayı kararlaştırmıştır. P3 dönemi (2013-2020) içinde ayrıca "karbon yakalama ve depolama" (CCS) teknolojisine yönelik uygulamalarında emisyon ticareti sistemi içerisine dahil edilmesi düşünülmektedir. Bu teknoloji ile CO₂ gazı atmosferden alınarak depolanmakta (yer altı vb.) ve atmosferde CO₂ yoğunluğu azaldığı için sera etkisi göstermeyerek küresel ısınmayı arttırmamaktadır. CCS teknolojisi geliştikçe CO₂ yakalama ve depolama maliyeti ucuzlayacak fosil yakıt kullanılması sorun teşkil etmeyecektir.

2012 itibariyle Kyoto sonrası'na yönelik küresel bir anlaşmanın sağlanamamış olması EU ETS'nin en büyük dezavantajıdır. Bu durum, küresel ölçekteki emisyon ticareti için alınacak kararlara uyum konusunda sıkıntı yaratabilir (CEPS, 2007). Fakat küresel ölçekte oluşturulacak bir karbon piyasası için EU ETS'in önemli tecrübe sağlayacağı da aşikardır. Yaşanan tecrübeler birçok ülkenin EU ETS'i örnek almaya çalıştığı ya da bu sistemle ortak çalışmayı hedeflediğini göstermektedir.

¹⁸ http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/allocation/2008/index_en.htm

EU ETS Türkiye açısından değerlendirilirse; Kyoto sonrası dönemde bir yükümlülük almasa da bu sisteme dahil olabilir. Kyoto dönemi için her ne kadar düzenleme bu piyasanın ancak AB'nin tam üyesi ülkeler ile sınırlı olsa da, ileriki dönemlerde Avrupa Birliği aday statüsündeki ülkeleri ve talep halinde diğer ülkeleri de sisteme dahil edebileceğini belirtmektedir. Böyle bir durumda, Türkiye'de birçok enerji yoğun büyük işletmeler için belli kotalar belirlenecektir. Bu işletmeler belirlenen kotaların altında emisyon ürettikleri takdirde Avrupa Birliği ülkelerindeki veya Türkiye'deki emisyon azaltamayan işletmelere bu emisyon kotalarını satabileceklerdir. Dolayısıyla enerji tasarrufuna gidebilen ve enerji yoğunluğunu düşük tutabilen firmalar açısından bu durum önemli faydalar sağlayacak, hem firma çevresel sorumluluğunu yerine getirebilecek hem de gelir elde edebilecektir.

3.3.6.3. Üçüncü Ticari Dönem (Phase 3-2013-2020)

EU ETS birinci ve ikinci ticari dönemlerde başarıyla uygulanmış ve düşük maliyetlerle emisyon salımı azaltımının gerçekleşmesine yardımcı olmuştur. Fakat EU ETS'nin dünya genelinde değilde sadece AB içerisinde uygulanması ve emisyon salımının büyük çoğunluğunu gerçekleştiren gelişmiş ülkeleri kapsamaması önemli bir dezavantajdır. Bu yüzden üçüncü ticari dönemde, birinci ve ikinci dönemin aksine “ulusal tahsis planlarının” (NAP) Komisyon tarafından hazırlanması ve daha çok ülkenin sistem içerisine dahil edilmesi öngörülmektedir. Bilindiği gibi birinci dönem 3 yıl (2005-2007), ikinci dönem 4 yıllık (2008-2012) süreci kapsamakta idi. Üçüncü dönem (2013-2020) ise 7 yıl gibi daha uzun bir süreci kapsamaktadır. Bu süreçte ayrıca emisyon azaltımı için uzun vadede yatırımların teşvik edilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmesi gerekli olacaktır (EC, 2009: 11).

2020 yılına kadar AB, 1990 yılına göre emisyonlarının % 20 azaltılmasını hatta gelişmiş ülkelerinde sürece dahil olmasıyla bu oranın % 30 olmasını hedeflemektedir. Bu hedefe ulaşmada ETS yine kilit rol oynayacaktır (EC, 2009: 11). Komisyon % 1.74'lük doğrusal bir azaltım trendi ile 2020 yılında 2005 yılına göre % 21 altında olacağını öngörmüştür. Ayrıca AB 2020 yılına kadar enerjisinin % 20'sinin yenilenebilir kaynaklardan temin edilmesi ve enerji kullanımını % 20 azaltmayı da üçüncü ticari dönemde hedeflemiştir. Bu amaç AB'nin 2020 için hedeflediği 5 amaç içerisinde iklim değişikliği ile ilgili olan hedefidir ve 20-20-20 stratejisi olarak

adlandırılabilir.¹⁹ İlk iki dönemde emisyon tahsislerinin % 90'ı ücretsiz veriliyordu. 2013 yılında en az % 50'sinin 2027 yılına kadar ise tamamının açık artırma ile satılması hedeflenmektedir. Üçüncü dönemde CDM ve JI projelerine üçüncü ülkeleride dahil ederek gelecekte imzalanacak küresel iklim değişikliği anlaşması için altyapı oluşturmakta hedeflenmektedir (EC, 2009: 12). 2013 yılından itibaren EU ETS'ye büyük gelişme gösteren havacılık sektöründe sisteme dahil edilmesi, ayrıca petrokimya ürünleri üretimi, alüminyum sektörü gibi sektörlerinde dahil edilmesi planlanmaktadır. Böylece 2013 yılından itibaren yıllık 120-130 milyon ton CO₂ emisyonu azaltarak toplam AB sera gazı emisyonu içinde EU ETS'nin kapsamı % 40'tan % 43'e çıkarılabilecektir (EC, 2009: 13).

Güney Afrika'nın Durban şehrinde 194 ülkenin katılımıyla Aralık 2011'de yapılan 17. Taraflar Konferansında (COP-17) üçüncü ticari dönem için (P3) yol haritası çıkarılmaya çalışılmıştır. Küresel ısınmanın 2^o'nin altında tutulması hedefi tekrar benimsenmiştir. BM İklim Değişikliği konferansında (COP-17) sera gazı azaltımı için uygulanacak eylem planının 2015 yılına kadar müzakere edilerek 2017 ya da 2020 yılında yürürlüğe girmesi kararlaştırılmıştır. Eylem sürecinin bu kadar uzamasının eleştirilmesine karşın, üçüncü dönemde özellikle Amerika, Çin, Hindistan gibi yükümlülük almayan ülkeler içinde bağlayıcılık arz edecek olması oldukça önemlidir. Konferansın bir diğer önemli sonucu, AB'nin ikinci bir yükümlülük dönemini kabul etmesidir. Kyoto normal şartlarda 2012 yılında bitecektir. Kyoto Protokolü'nde imzası bulunan AB ülkeleri, ikinci bir antlaşmaya kadarki dönemde yükümlülüklerini sürdürmek için Kyoto'da imzası bulunmayan ülkelerin de katılımını şart koşuyordu (Draft Decision, COP-17: 1-2). Yeni bir anlaşmaya kadar AB ülkeleri azaltıma devam edecek. Bu geçiş sürecinin beş yıl mı, sekiz yıl mı süreceği, 2012 yılında yapılacak olan iklim değişikliği konferansında masaya yatırılacaktır (Draft Decision, COP-17: 1-2).

¹⁹ http://ec.europa.eu/europe2020/reaching-the-goals/targets/index_en.htm

DÖRDÜNCÜBÖLÜM

KARBON PİYASASI

İklim değişikliğine yol açan küresel ısınmaya sera gazlarının sebep olduğu ve azaltılması gerektiği aşîkardır. Sera gazlarının azaltım süreci üretim düzeyi ve birçok makroekonomik değişkeni etkileyebileceği için bu süreçte kullanılacak araçlar çok önemlidir. Sera gazı azaltım sürecinin en düşük maliyetle yapılması önemlidir. EU ETS'nin uygulanmasıyla küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarının azaltılmasında piyasa mekanizmasının önemli bir rol oynayabileceği ve düşük maliyetle azaltım yapılabileceği görüşü önem kazanmıştır. Bu çerçevede, piyasa kurallarına göre işleyecek bir karbon piyasası²⁰ ve ticarete konu olan karbondioksitin bir fiyatının olması emisyonları azaltmada önemli bir araç olarak görölmektedir. Emisyon Ticareti Teorisine göre, karbon piyasası emisyonları azaltmak için mevcut kaynakların en etkili ve ucuz maliyetle kanallize edilmesini sağlar. Bu anlamda, belirlenen limitten fazla emisyon salanları cezalandırırken daha az salanları ise ödüllendirir (PointCarbon, 2004). Ayrıca çevreyi kirletmeyi fiyatlandırarak vererek karbonun tüm dünyada ticaretinin yapılmasına olanak tanır. Böylece, düzgün işleyen bir karbon piyasası işletmelerin daha az sera gazı emisyonu salmasını, temiz teknoloji ve enerji kaynaklarını kullanmasını teşvik eder ve diğer işletmelere göre avantaj sağlar (UNFCCC, 2007). Bu kısımda karbon piyasasının yapısı, fiyatların belirleyicileri ve unsurları incelenecektir²¹.

4.1. Karbon Piyasasının Bileşenleri

Karbon piyasasını oluşturan uygulamaların, birinci ve ikinci ticaret döneminde farklı sektörleri ve ülkeleri kapsadığı görölmektedir. Karbon piyasası öncelikle, piyasa temelli (ETS) ve proje temelli (CDM, JI) esneklik mekanizmalarından oluşmaktadır. Bu mekanizmalar, azaltılan ton başına emisyon kredilerinin ve kirletme hakkını temsil eden permilerin işlem gördüğü mekanizmalarıdır. İkinci olarak Kyoto Protokolü'nde öngörölen yükümlölöklere tabi olmayan ve kendi tercihleri sonucu oluşan gönüllü piyasalar şeklinde de sınıflandırılabilir. Karbon piyasaları tek bir ülke içinde ya da birçok ülkeden oluşan uluslararası nitelikte yapılan uygulama olabilir. Küresel karbon

²⁰ Karbon piyasası terimi karbon fiyatı için kullanılsa da, literatürde genellikle sera gazlarının tümünü temsil etmektedir. Sera gazlarının büyük kısmı karbondioksit ticaretinden oluşturduğundan ve diğer sera gazları da karbon eşdeğeri olarak çevrildiğinden karbon piyasası olarak adlandırılmaktadır.

²¹ Bu bölümün anlatımında Karakaya (2008)'den faydalanılmıştır.

piyasası ise tüm karbon piyasalarının toplamını ifade etmektedir (Ellis ve Tirpak, 2006). Piyasa temelli esneklik mekanizması olan Emisyon Ticareti (ET) ve proje temelli esneklik mekanizmaları olan Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) ve Ortak Yürütme (JI) 1997 yılında Kyoto Protokolü'yle dünya gündemine girmiş ve karbon piyasasının oluşumunda önemli rolü oynamışlardır. Danimarka, İngiltere ve Norveç 2002 yılından itibaren emisyon ticareti sistemleri ile ülke bazında karbon piyasası oluşumunun öncülüğünü yapmıştır. 2005 yılında Kyoto Protokolü'nün yürürlüğe girmesiyle karbon piyasasının gelişimi ivme kazanmıştır. EU ETS bölgesel karbon ticareti sisteminin başlaması karbon piyasasının gelişmesinde en önemli neden olmuştur. Kyoto öncesi dönemde (2005-2007) CDM'in hızlı bir şekilde gelişme sağladığı, JI'in ise Kyoto dönemi (2008-2012) resmi ticaretinin mümkün olması sonucu daha yavaş geliştiği görülmüştür.

Kyoto Protokolü'nde öngörülen hedeflere ulaşmak amacıyla Protokolde tanımlanan esneklik mekanizmaları haricinde kurulan, tamamen gönüllülük esasına göre gelişen ve farklı unsurlardan oluşan gönüllü emisyon piyasaları da faaliyet göstermektedir (Bayon, Hawn ve Hamilton, 2007). Sosyal sorumluluk gereği kendi emisyonlarına karşılık olarak başka bir yerde uygulanan proje sonucu azaltılmış sera gazı emisyonlarının satıldığı denkleştirici (offset) piyasalarda VER kredileri satılmaktadır. Benzer şekilde, gönüllü emisyon piyasaları olarak Avustralya'daki New South Wales sera gazı azaltımı Planı (NSW) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde bir kısım çok uluslu şirketlerin dahil olduğu karbon ticaret sistemi olan “Chicago Climate Exchanges” (CCX) mübadele platformu 2003 yılından beri faaliyet göstermektedir (Ellis ve Tirpak, 2006).

Tablo 4.1: Küresel Karbon Piyasasının Farklı Aktörleri ve Dönemsel Gelişimi

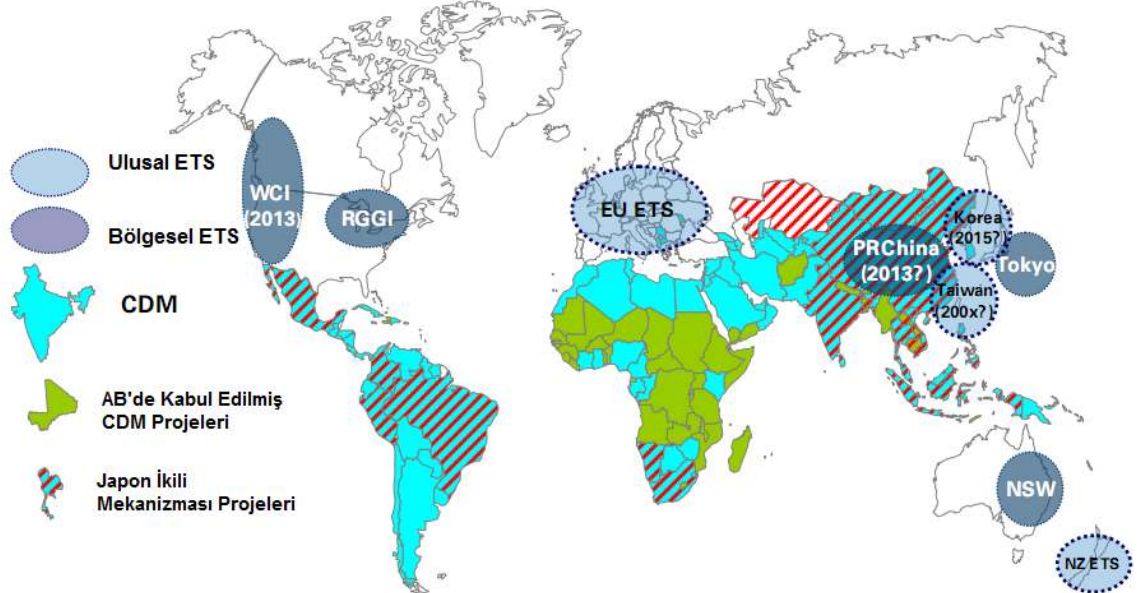
Uygulanan Dönem	Kyoto Öncesi (2005-2007)		Kyoto Dönemi (2008-2012)		Kyoto Sonrası (2013-2020)	
Esneklik Mekanizmaları	EU ETS (NAP1)	CDM	EU ETS ve EK-1-ETS (NAP2)	CDM-JI	EU ETS ve Tam Küresel Ticaret	CDM
	Gönüllü Piyasalar		Gönüllü Piyasalar		Gönüllü Piyasalar	
Sera gazı Türü	CO ₂	Tüm Sera gazları	CO ₂	Tüm Sera gazları	CO ₂	Tüm Sera gazları
Uygulanan Sektörler	Bazı Sektörler		Tüm Sektörler		Tüm Sektörler	
Uygulanan Ülkeler	AB, Danimarka, İngiltere, Norveç		AB (Ek-1 Ülkeleri), İsviçre, Norveç, Kanada, Japonya, Bölgesel Uygulamalar (Amerika-CCAR, RGGI) Kyoto Dışı Gönüllü Piyasalar VER (CCX, NSW)		Yüksek Emisyonu Olan Tüm Ülkeler	

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Danimarka ve İngiltere ulusal sistemleri hariç şimdiye kadar oluşturulmuş olan karbon piyasaları Kyoto ve sonrası dönemde de faaliyetlerine büyüyerek devam edeceklerdir. Kyoto döneminde yeni uygulamaların karbon piyasasına dahil olduğu görülmektedir. Bunlardan en önemlisi Kyoto Protokolü'nde öngörülen uluslararası emisyon ticareti sisteminin faaliyete geçecek olmasıdır. EK-I ülkeleri arasında AAU'nin ticaretinin yapılacağı bu sistem EU ETS'de dahil olmak üzere yükümlülük almış tüm ülkelerin karbon piyasaları için bir çatı niteliğinde olacaktır. Bu dönemde ayrıca AB üyesi olmayan Japonya, İsviçre ve Kanada gibi Kyoto üyesi ülkeler kendi ulusal ETS'ni kurmayı planlanmaktadır (Worldbank, 2007). Birinci ticaret dönemindeki gönüllü uygulamalara ilave olarak özellikle Kyoto'ya taraf olmayan ABD'nde bazı eyaletlerin bölgesel oluşumlara giderek karbon ticareti sistemini oluşturmuştur. California ve çevresindeki bazı batı eyaletlerinden oluşan "California Climate Action Register" (CCAR) ve kuzeydoğu eyaletlerinden bazılarının oluşturduğu "Regional Greenhouse Gas Initiative" (RGGI) gönüllü ETS uygulamalarına Kyoto dönemi içinde başlamıştır (www.sanayi.gov.tr, Erişim: 06.06.2012). Faaliyette olan Chicago İklim Borsası CCX'e ilave olarak New York borsası (NYCX) ve kuzeydoğu Eyaletleri Borsası (NECX) Kyoto döneminde karbon ticaretine başlamıştır (Worldbank, 2007:19). Şekil 4,1'de Uluslararası Karbon Piyasası ve uygulandığı ülkeler verilmiştir.

Kyoto sürecine dahil olmayan Amerika'nın tutumunun belirsizliği ve Kyoto sonrası görüşmeleri henüz sonuçlanmadığı için uluslararası emisyon ticaretinin 2012 sonrasında nasıl gelişeceği net değildir. Ancak, şimdiki üyelere ek olarak Kyoto'yu imzalamayan gelişmiş ülkeler ve bazı büyük emisyon salan gelişmekte olan ülkeleri de içerecek daha büyük bir uluslararası karbon piyasasının oluşacağı beklentisi büyüktür (CEPS, 2007). Diğer taraftan, Kyoto sonrası dönem için daha yüksek emisyon hedefi almış olan Avrupa Birliği, mevcut EU ETS uygulamasını daha fazla sera gazı ve sektörü içerecek şekilde geliştirerek bölgesel karbon ticaretine devam edeceğini ifade etmiştir (EC, 2007). ETS'nin yanı sıra Temiz Kalkınma Mekanizması'nın, (CDM) Kyoto sonrasında da karbon piyasasının en önemli unsurlarından bir tanesi olacaktır.

Şekil 4.1: Uluslararası Karbon Piyasaları ve Uygulandığı Ülkeler (2012)



Kaynak: UNEP RISØ, 2011:18.

Not: WCI: Batı İklim Girişimi (Western Climate Initiative), RGGI: Bölgesel Sera Gazı Girişimi (Regional GreenHouse Gas Initiative), NZ ETS: Yeni Zelanda Emisyon Ticareti Sistemi, NSW: New South Wales Sera Gazı Azaltımı Planı.

4.2. Karbon Piyasasının İşlem ve Ticaret Hacmi

Karbon piyasasının işlem hacmi, 2000 yılında oldukça küçük olmasına rağmen özellikle Kyoto döneminde çok hızlı bir gelişme kaydetmiş ve 2009 yılında 144.2 milyar \$'a ulaşmıştır. Ayrıca, 2009 küresel krizle birlikte Küresel GSYİH % 0.6 düşmesine rağmen karbon piyasasının önceki yıla göre % 6 artması bu piyasanın istikrarlılığının bir göstergesi olarak düşünülebilir (World Bank, 2010; ÇOB, 2011:15). İşlem hacminin artmasıyla günümüzde karbon fuarları düzenlenmekte ve binlerce firma bu fuarlara katılmakta ve alım satım anlaşmaları yapmaktadır. Günümüzde, diğer mal

piyasalarında olduğu gibi, karbon piyasalarında da spot piyasanın yanında vadeli işlemler (futures) ve opsiyon (options) piyasası işlemleri yapılmaktadır. Dünya bankası tarafından oluşturulan ilk karbon fonu Prototype Carbon Fund'dan bugüne kadar toplam 54 fon geliştirilmiştir ve bu fonların piyasa değeri 6.25 milyar \$'a ulaşmıştır (UNFCCC, 2007:167). Bu piyasalarda, sadece emisyon ticaretine doğrudan konu olan taraflar değil, kişisel ve kurumsal yatırımcılar, spekülasyon fonları ve emeklilik fonları da bu piyasada işlem yapmaya başlamıştır. Örneğin, 2005 yılında karbon piyasasında yaklaşık 800 milyon ton Karbon eşdeğeri (Mt CO₂e) miktarında işlem gerçekleşmiş ve bu işlem hacminin parasal değeri yaklaşık 11 milyar \$'a ulaşmıştır. 2006 yılında 1.6 milyar Ton CO₂e takas yapılmış ve gerçekleşen parasal değer yaklaşık üç katına çıkarak 30 milyar \$ olmuştur (Worldbank, 2007; PointCarbon, 2007b). 2009 yılı sonunda ise bu piyasalar üzerinden 8.7 milyar ton CO₂ emisyonu azaltımı yapılmıştır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2011: 11).

Şekil 4.3 ve Tablo 4.2'de 2008-2009 yılları karbon piyasasının önemli aktörlerinin toplam ticaret hacmi ve farklı piyasalarda oluşan ortalama karbon fiyatları gösterilmiştir. Şekil 4.3 ve Tablo 4.2'den izlenebileceği gibi 2008 yılında olduğu gibi 2009 yılında da karbon piyasasının en büyüğü EU ETS'dir. Birinci ve ikinci ticari dönemlere ait (NAP1 ve NAP2) iki ayrı EUA fiyatının oluştuğu EU ETS, 2009 yılında toplam uluslararası karbon piyasasında, işlem miktarının % 72'sine, parasal değer olarak ise % 82'sinin üzerinde piyasa payına sahiptir (Bloomberg New Energy Finance, 2010).

Tablo 4.2'den izlenebileceği gibi proje temelli esneklik mekanizması olan Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) karbon piyasasında en büyük ikinci pazar payına sahiptir. Örneğin 2008 yılında CDM projeleri ile 1404 Mt CO₂e, 2009 yılında ise 1266 Mt CO₂e azaltım gerçekleştirilmiştir. 2008 yılında CDM ile toplam emisyon azaltımının % 30'u gerçekleşmiş iken, 2009 yılında bu oran % 14 olarak gerçekleşmiştir. CDM'nin payının azalmasında temel sebep ETS'nin yaygınlaşması ve 2008 yılına göre payının 2009 yılında payının iki katına çıkmasıdır. Gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonu azaltıcı faaliyetleri sonucu kazandıkları CDM CER kredilerinin proje sahipleri ile yatırımcılar arasında doğrudan ticaretinin yapıldığı birinci el piyasada işlem miktarı 2009 yılında 211 Mt CO₂e'dir. Fakat bu miktara onay aşamasında olan binlerce CDM projesi dahil değildir, sadece kaydı UNFCCC'ce tescillenmiş projeleri kapsamaktadır.

Diğer proje temelli esneklik mekanizması olan Ortak Yürütme sonucu kazanılan JI ERU kredilerinin pazarı ise oldukça düşük kalmıştır. 2009 yılında JI projeleri ile toplam emisyon azaltımının sadece binde ikisi gerçekleşmiştir (% 0.2 = 26/8719 Mt CO₂e).

Tablo 4.2: Uluslararası Karbon Piyasası İşlem Hacimleri ve Değerleri 2008-2010

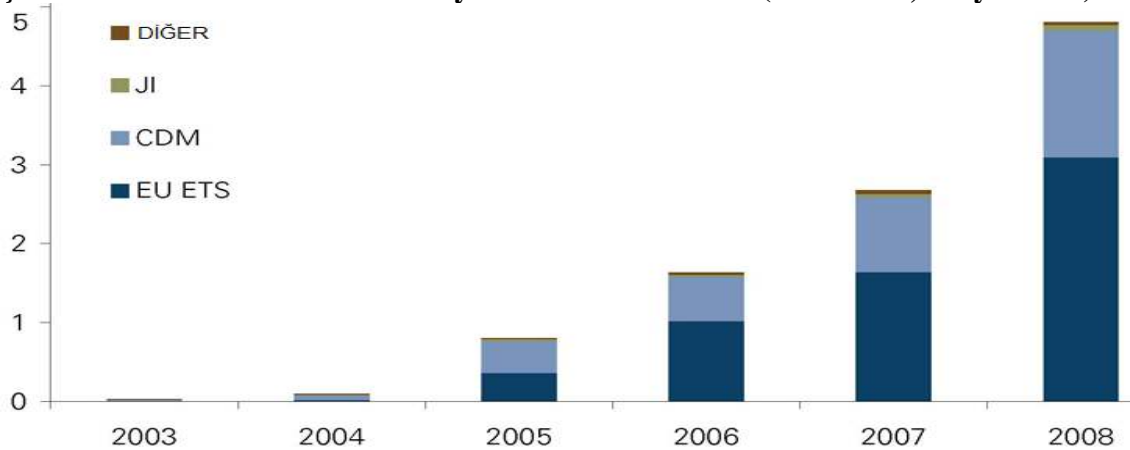
Piyasalar	Hacim (Mt CO ₂ e)			Değer (Milyon \$)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Gönüllü OTC	57	51	128	420	326	414
CCX	69	41	2	307	50	0.2
Diğer Borsalar	0.2	2	2	2	12	10
Gönüllü Piyasalar Toplamı	127	94	132	728	387	424
EU ETS	3,093	6,326	5,529	100,526	118,474	106,024
Birincil CDM	404	211	94	6,511	2,678	1,325
İkincil CDM	1,072	1,055	1,005	26,277	17,543	15,904
JI	25	26		367	354	
Kyoto (AAU)	23	155	19	276	2,003	265
New South Wales	31	34		183	117	
RGGI	62	813	45	241	2,667	436
Albert SGER	3	5		34	61	
Düzenlenen Piyasalar Toplamı	4,713	8,625	6,692	134,415	143,897	123,954
Toplam Küresel Piyasalar	4,840	8,719	6,823	135,143	144,284	124,378

Kaynak: Bloomberg New Energy Finance, 2010; Bloomberg New Energy Finance, 2011:11
ÇOB, 2011:15.

Not: 2009 yılı küresel toplam emisyon 28.9 Milyar Ton CO₂e'dir.

Tablo 4.2'de Uluslararası Karbon Piyasasının hacimlerini ve Şekil 4.3'te ise yüzdelik dağılımları verilmiştir. Şekil 4.2'den izlenebileceği gibi 2005 yılında 1 milyar ton CO₂e olan karbon piyasası 2008 yılında yaklaşık beş katına çıkarak 5 milyar ton CO₂e düzeyine gelmiştir. 2005 yılından itibaren EU ETS'nin ağırlığı göze çarpmaktadır.

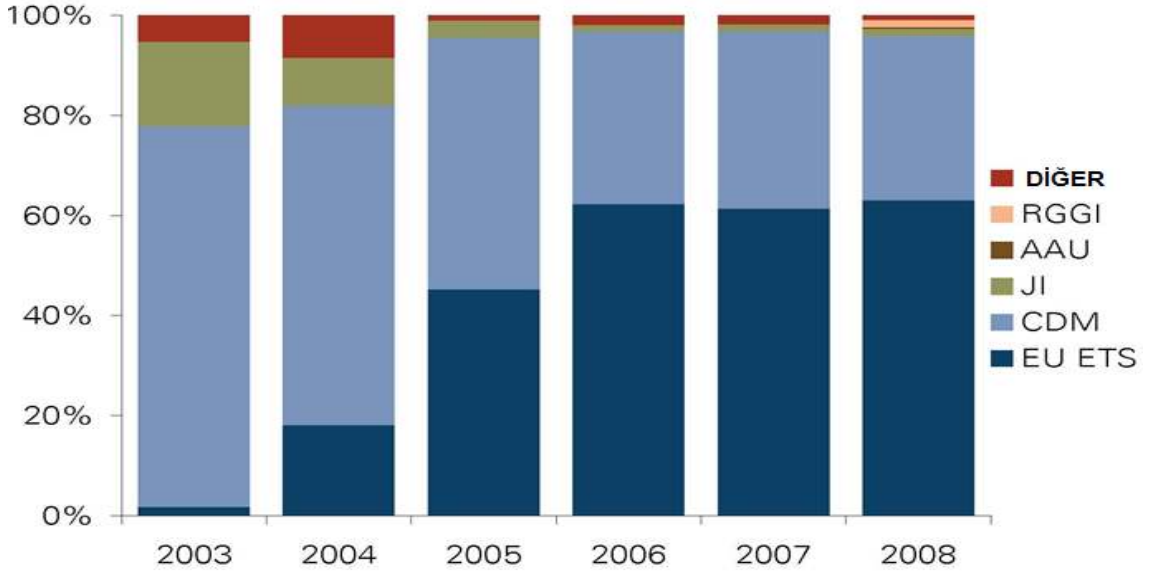
Şekil 4.2: Uluslararası Karbon Piyasalarının Hacimleri (2003-2008, Milyar Ton)



Kaynak: Carbon, 2009:3.

Şekil 4.3'ten izlenebileceği gibi 2005 yılına kadar karbon piyasasında en büyük pay Temiz Kalkınma Projelerine (CDM) aitken, 2005 yılından sonra ise EU ETS'nin payının arttığı görülmektedir.

Şekil 4.3: Uluslararası Karbon Piyasalarının Payları (2003-2008)



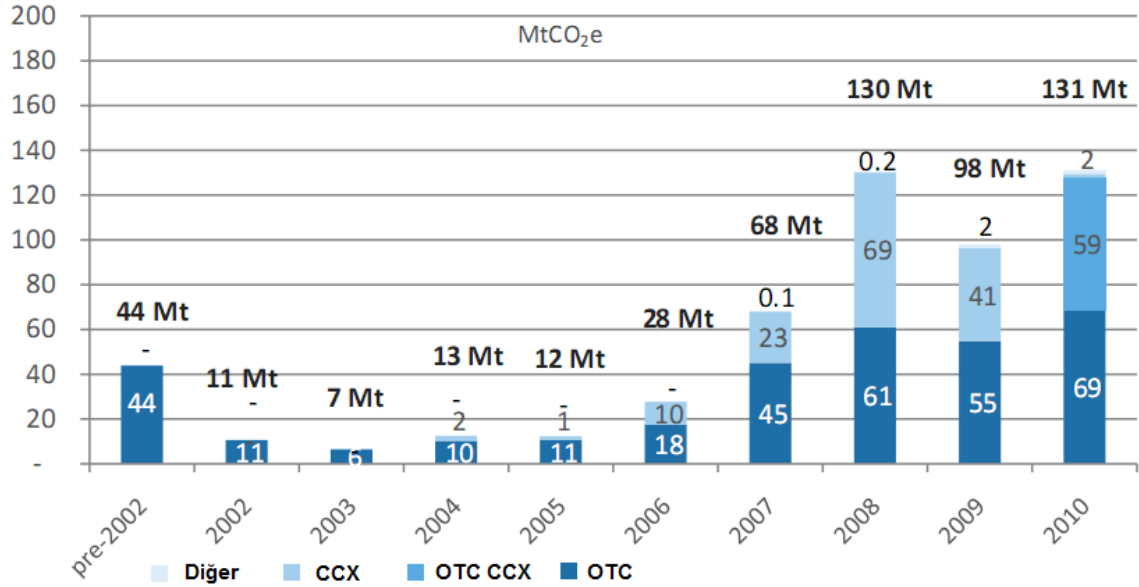
Kaynak: Carbon, 2009:4.

Tablo 4.2'den izlenebileceği gibi, gönüllü oluşan ABD'deki Chicago (CCX) emisyon ticareti uygulamaları gibi piyasalar henüz oldukça küçük bir ticaret hacmine sahiptir. Proje temelli denkleştirme (offset) projelerinden kazanılan VER kredileri de dahil 2008 yılında gönüllü emisyon piyasalarının işlem hacminin, toplam karbon piyasasında yüzde iki (% 2) civarında bir yere sahiptir (127/4840 Mt CO₂e). 2009 yılında bu oran yüzde bir (% 1) olmuştur (94/8719 Mt CO₂e). Gönüllü piyasalar parasal değer açısından incelendiği zaman ise 2008 yılında işlem hacmi 728 milyon \$ ve binde beş (% 0.5), 2009 yılında ise işlem hacmi 387 milyon \$ ve binde ikilik (% 0.2) paya sahiptir. Bu piyasada gönüllülük esas olduğu için oluşan karbon fiyatının da nispeten daha düşük olduğu görülmektedir. Fakat, CDM piyasasına benzer şekilde, VER piyasasında da iki ayrı piyasa mevcuttur ve proje hazırlayıcısı ile projeye yatırım yapanlardan oluşan birinci el VER piyasasında karbonun ton başına fiyatı nispeten düşük iken, yaratılan bu VER kredilerinin ikinci el piyasasında şahıslara ya da kurumlara satış fiyatı çok yüksek rakamlara ulaşabilmektedir.

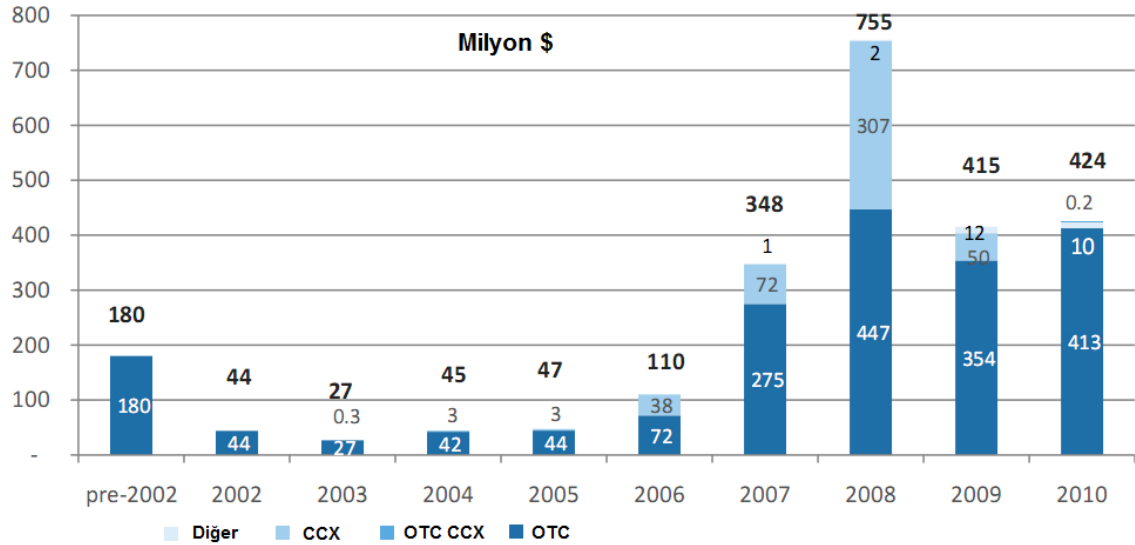
2009 yılında gönüllü karbon piyasalarındaki işlemlerin toplam hacmi 94 Mt CO₂e ulaşmıştır. 2008 yılında işlem gören 127 Mt CO₂e ile kıyaslandığında ise, işlem hacminde % 26 azalma olmasına rağmen bu değer 2007 yılı seviyesinin % 39

üzerindedir. Bu düşüş iki temel neden ile açıklanmaktadır: küresel krize müdahale olarak şirketlerin ortak sosyal sorumluluk girişimlerine bağlı ve karbon denkleştirmeyi de içeren bu ihtiyari fonlarında kesintiye gitmeleri ve özellikle bu piyasalardaki talebi önemli oranda artırması beklenen ABD'deki ilgili taslak kanunların durumlarına dair belirsizliklerdir. Aynı zamanda, BMİDÇS sürecindeki REDD7 (Reduced Emissions from Deforestation and Degradation, Ormansızlaşma ve Orman Bozulumundan Kaynaklanan Emisyonların Azaltımı) mekanizmaları ve karbon piyasalarındaki benzer belirsizlikler de potansiyel talebin oluşmasına engel oluşturmuştur (Ecosystem Marketplace, Bloomberg, 2010). Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te, bu piyasaların 2002 yılından bu yana gelişimi görülmektedir.

Şekil 4.4: Gönüllü Karbon Piyasalarının İşlem Hacmindeki Gelişim (Mt CO₂e)



Kaynak: Ecosystem Marketplace, 2011:9; ÇOB, 2011:15.

Şekil 4.5: Gönüllü Karbon Piyasalarının Değeri (Milyon \$)

Kaynak: Ecosystem Marketplace, 2011:10; ÇOB, 2011:15.

2008-2012 Kyoto döneminde ise EK-B ülkeleri arasında yapılacak olan uluslararası emisyon ticaretinin devreye girmesi ile daha yüksek hacimlerde emisyon ticareti gerçekleşmiştir. Gelişmekte olan ülkelerin CDM ya da emisyon ticareti ile piyasada rol alması maliyetleri daha da aşağıya çekmektedir (Buchner ve Galeotti, 2003). Japonya, Kanada, Batı Avrupa ülkeleri (İngiltere ve İsveç hariç) genelde bu piyasada alıcı konumunda iken birçok eski Sovyet ülkesi ve doğu Avrupa ülkeleri AAU satıcısı konumunda olacaktırlar. Ancak EK-B ülkeleri arasında yapılacak emisyon ticareti konusunda en önemli sorun Rusya ve Ukrayna başta olmak üzere eski Komünist ülkelerinde hiç bir mitigasyon çabası sağlamadan azaltılan milyarlarca tonluk hot air olarak bilinen masrafsız AAU permilerinin piyasada satılıp satılmayacağıdır (Ellis ve Tirpak, 2006). Bedava azaltılmış olan bu ‘bedava hava’nın (hot air) emisyon ticaretine konu olması durumunda arz yönünde çok ciddi bir fazlalık yaratacağı ve karbon fiyatını çok aşağılara çekeceği beklenmektedir. Bu durum haliyle diğer karbon piyasalarını da etkileyecektir. Ancak karbon piyasasının hot air’den kaynaklanan aşırı AAU permisine sahip olması fiyatların düşmesine yol açmayabilir. PointCarbon (2004) Rusya’nın piyasaya arz edeceği AAU miktarını kontrollü bir şekilde sunması durumunda Kyoto döneminde fiyatların normal bir seyirde izleyeceği ve Rusya’nın bu işlemlerden 10 milyar \$’a yakın gelir sağlayacağını tahmin etmektedir. ABD’nin Kyoto Protokolü’nü imzalaması durumunda talep yönünden çok güçlü bir alıcı olacağı beklenebilir.

Gelişmiş ülkelerin ev sahibi ülke statüsüyle geliştirdiği proje temelli CDM CER kredilerinin alıcılarının yine yukarıda saydığımız aynı ülkelere olacağı

beklenmektedir. Avrupa Birliği içindeki ülkelerin hükümetlerinin haricinde EU ETS sistemine dahil olan işletmeler de NAP2 döneminde CDM projelerinin önemli alıcılarından olacaktır (EEA, 2007). UNFCCC (2007) tahminlerine göre CDM CER kredileri Kyoto döneminde gelişmekte olan ülkelere toplam olarak 25 milyar \$ civarında kaynak sağlayacaktır. Kyoto döneminde Protokol'de belirlenen ticaret birimlerin piyasaya arz edilecek payı konusunda yapılan tahminlere göre, AAU permilerinin % 81, CER kredilerinin % 16 ve ERU kredilerinin % 3 paya sahip olacağı beklenmektedir (UNFCCC, 2007).

Sonuç olarak, Kyoto Protokolü ile düzenlenen karbon piyasasında, arzın talebi geçeceği ancak piyasada sunulacak arz miktarının kontrol edilmesiyle belli bir dengenin sağlanacağını tahmin edebiliriz.

Kyoto sonrası döneme ait karbon piyasasının gelişimi konusunda ise belirleyici unsur, Taraflar Konferansı'nda 2011'den itibaren yapılacak olan görüşmeler olacaktır. Görüşmeler küresel anlamda ABD ve Avustralya'nın da dahil olduğu gelişmiş bir karbon piyasasının şekilleneceği yönde devam etmektedir. Uluslararası ölçekte bağlayıcı anlaşmaların yapılabilmesi karbon piyasasının hacmini önemli ölçüde arttıracaktır. Dünya Bankası'nın 2007 yılında yaptığı tahminlere göre, 2030 yılına gelindiğinde, küresel karbon piyasası, 6 milyar tonluk CO₂ emisyon permisi ticaretinin yapıldığı 100 milyar \$'lık pazar büyüklüğü tahmin edilmesine rağmen, henüz 2009 yılında 8,7 milyar tonluk CO₂ emisyon permisi ticaretinin yapıldığı 144 milyar \$'lık hacme ulaşmıştır (Worldbank, 2007; UNFCCC, 2007; ÇOB, 2011:15).

4.3. Karbon Fiyatını Etkileyen Faktörler

Üretim ve tüketim sürecinde ortaya çıkan sera gazlarının azaltımının ekonomik maliyetleri olacağı için karbon piyasasında oluşan karbon fiyatının öngörülebilmesi önem arzedecek, ekonomik birimlerin temiz enerji teknoloji vb. yatırım kararlarını etkileyecektir. Çünkü bir üretim sürecinde sera gazı emisyonun azaltılması bir takım teknolojik yenilikler ve optimizasyon gerektirmektedir ve karbon fiyatı bu değişimin sağlanmasında önemli bir görev alır. Karbon fiyatı artışları sera gazı emisyonlarını azaltıcı faaliyetleri teşvik eder, emisyonları azaltma derecesi yine karbonun fiyatına bağlıdır (CEPS, 2007). Karbon fiyatının yüksek olması tasarrufu, temiz teknolojileri ve yenilenebilir enerjileri daha çok teşvik ederek emisyonları daha fazla azaltırken, karbon

fiyatının düşük olması durumunda emisyonların düşmesi daha yavaş olacaktır. Fakat birçok farklı etkiye bağlı olan karbon fiyatlarının öngörülebilmesi oldukça zordur.

Karbon fiyatlarının öngörülememesinin ana nedenlerin birisi farklı karbon piyasalarındaki birbirinden oldukça farklı olan karbon fiyatları olduğu söylenebilir. 1 ton karbonun her piyasa için homojen olduğu düşünülürse, farklı piyasalarda azaltım maliyetinin farklılık arz etmesi bu fiyat farklılığının en temel nedenidir. Örneğin ulusal ölçekte uygulanan emisyon ticareti sistemindeki hacim, uluslararası ölçeğe yayılmış daha büyük karbon piyasası uygulamasındaki hacimden çok daha küçük olacağı için emisyon permileri daha pahalı olabilecektir. Özellikle emisyon azaltım hedefi almamış ve azaltım potansiyeli yüksek olan geçiş ekonomileri ve gelişmekte olan ülkelerde yürütülen CDM projelerinin azaltım maliyeti daha düşük olacağından proje temelli piyasalarda oluşan fiyatlar daha ucuz olmaktadır. Benzer şekilde, emisyon ticareti sistemine gelişmekte olan ülkelerin katılması durumunda karbon fiyatları daha ucuz olabilecektir (Buchner ve Galeotti, 2003). Homojen olan bir ton karbonun fiyatının tüm piyasalarda dengelenmesi ancak farklı piyasaların birbirilerine entegre olması ile mümkün olabilir. İktisatta “arbitraj” kuralı gereği aynı malın farklı yerlerde fiyatı farklı ise, o mal fiyatı düşük olan yerde satın alınıp yüksek olan yerde satılacaktır. Böylece talebi artan düşük fiyatlı malın fiyatını artarken, arzı artan malın yüksek olan fiyatı düşerek piyasada fiyatlar eşitlenir (Wolff, 2006). EU ETS içindeki işletmelerin CDM kredilerini kullanmasında arbitraj kuralının etkileri kısmen görülmektedir. Kyoto döneminde yapılan emisyon ticareti işlemlerinde, EUA fiyatlarının CER kredilerine göre pahalı olması CER kredilerinin talebini arttırmış ve fiyatlarını yükseltmiştir. İki ayrı piyasanın büyüklüğü ve bu piyasaların entegre olma düzeyi fiyatların birbirine yaklaşmasında önemli bir etkidir.

İktisatta diğer mal piyasalarında olduğu gibi, karbon piyasasında oluşan karbon fiyatını arz ve talep kuralı belirleyecektir. Karbon piyasalarının özellikleri baz alınarak karbon fiyatını etkileyen başlıca faktörler aşağıda sıralanmıştır;²²

1-) Tahsis edilen maksimum emisyon (kirlenme) hakkı: Arz yönünü ifade eden toplam permi sayısı, fiyatı etkileyen en önemli faktörlerin başında gelir. Emisyon hakkının

²² Karbon fiyatlarını etkileyen temel faktörler üzerine araştırma yapan çalışmalardan bazıları PointCarbon (2004), Ellis ve Tırpak (2006), Reinaud (2007).

işletmelerin normal seyrine göre salacağı emisyonlardan düşük olması ya da ülkelerin alacağı emisyon azaltım hedefi düşük olması karbon fiyatını yükseltecektir.

2-) Ülkelerin veya işletmelerin emisyon hedeflerini tutturabilmeleri için mevcut seçeneklerin potansiyeli ve maliyetleri karbon fiyatını etkiler. Ülkenin azaltım potansiyelinin düşük ya da azaltım maliyetlerinin yüksek olması karbon piyasasında alıcı sayısını artıracaktır.

3-) Ekonomik büyüme: Ekonomik büyümenin hızına göre enerji kullanımı değişecektir. Ayrıca, büyümeye konu olan sektörlerin enerji-yoğun olup olmadığı da emisyonları etkileyeceğinden karbon fiyatlarını etkileyecektir.

4-) Enerji fiyatları: Enerji fiyatlarından ziyade fosil yakıtların fiyatlarındaki değişiklikler emisyonları ve dolayısıyla karbon fiyatlarını etkileyecektir. Elektrik sektörü başta olmak üzere birçok enerji yoğun sektörde kömür, petrol ve doğal gazın nispi fiyatları enerji dönüşümüne yol açacaktır. Ayrıca emisyon salımı olmayan yenilenebilir enerji ya da nükleer enerji fiyatları da karbon fiyatını etkileyecektir.

5-) Hava sıcaklıkları: Kışın çok soğuk geçmesi daha fazla enerji kullanımını ve daha fazla emisyonu getirecektir. Dolayısıyla ülkelerin ya da işletmelerin emisyon hedefine ulaşmada daha fazla zorlanacağı için karbon fiyatları yükselecektir. Ilık geçen kış aylarında ise tersi bir durum söz konusu olacaktır. Yaz aylarındaki hava durumu da enerji kullanımını etkileyerek karbon fiyatlarını etkileyebilecektir.

6-) Diğer karbon piyasaları ile ilişki seviyesi: Özellikle proje temelli esneklik mekanizmaları olan CDM ve JI kredilerinin bir emisyon ticareti sistemi içinde kullanılıp kullanılmayacağı, kullanılacak ise payının ne kadar olacağı karbon fiyatı üzerinde önemli etkiye sahip olacaktır. Genellikle CDM kredilerinin fiyatı, emisyon ticareti sistemi içerisinde oluşan karbon fiyatından daha ucuz olmasından dolayı sisteme dahil olması halinde fiyatları aşağıya çekecektir (Karakaya, 2008).

Günümüzde artık karbonun uluslararası piyasada oluşmuş bir fiyatı olduğu düşünülürse, emisyon ticaretine konu olan işletmeler faaliyetlerini yürütürken karbon fiyatını önemli ölçüde hesaba katmak zorunda kalacaklardır. Kurumlar eğer üretim sürecinde çevreyi kirletirlerse yaptırım olacaktır. Zorunlu emisyon azaltım hedefine sahip olan ülkeler ya da emisyon azaltmayı planlayan gönüllü kuruluşlar karbon fiyatını hesaba katmak zorunda kalacaklardır. Böylece karbon piyasası, küresel iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli bir araç olacaktır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ MODELLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: LİTERATÜR VE TÜRKİYE ANALİZİ

Sosyal Bilimler ve mühendislik gibi farklı disiplinleri içeren küresel ısınma eksenli çalışmalarda farklı modeller kullanılmaktadır. Bu çalışmalar, iklim değişikliği senaryolarını ya da sektörlerin sera gazı oluşturma etkisini ölçebileceği gibi çevre-enerji-ekonomi ilişkisini ve ekonomik etkileri ölçmeye amaçlayan çalışmalardır.

Çevre-ekonomi ilişkisi incelenirken enerjiden kaynaklanan çevre sorunları gündeme gelmektedir. Çevre-enerji-ekonomi ilişkisi açısından bakıldığında, bu modellerin temel amacı iklim değişikliği alanında olabilecek ekonomik maliyetleri hesaplamak ve bu maliyetlere göre uygun politika seçimi için öngörüler sunmaktır. İklim değişikliği alanında söz konusu ekonomik maliyetler üç ana kategoride incelenebilir. Bu maliyetler sırasıyla, iklim değişikliğinin etkisi sonucu oluşacak hasar maliyeti (impact cost), bu hasarı azaltmaya yönelik uyum maliyeti (adaptation cost) ve son olarak iklim değişikliği sorununu önlemek amacıyla sera gazı emisyonlarını azaltmak için geliştirilen stratejilerin, uygulanan önleyici politikaların maliyetleridir (mitigation cost). Bu maliyetlerden hasar ve adaptasyon maliyeti iklim değişikliği gerçekten dünyamızı etkilendiğinde söz konusu olabilecek maliyetlerdir. Önleyici maliyetler ise önceden uygulanması gereken politikaların sonucu oluşacağından iklim değişikliği sorununun gerçekleşme durumundan bağımsızdır. Önleyici politikaların yoğun ve etkin kullanılması söz konusu ise hasar maliyeti ve adaptasyon maliyeti düşük olacaktır (Kuik vd., 2007).

Küresel ısınma literatüründe önleyici politikaların maliyeti konusunu, hasar maliyeti ve adaptasyon maliyeti konularına göre öncelikli olarak incelemiştir (Karakaya, 2007a). Türkiye açısından iklim değişikliği ile mücadelede henüz yükümlülük alınmamış olması ve önleyici politikaların ülkemiz açısından getireceği maliyet olacağı endişesi bu konunun ayrıntılı incelenmesini haklı göstermektedir.

Bu bölümde, öncelikle çevre-enerji-ekonomi analizi çerçevesinde kullanılan modeller incelenecek, iklim değişikliği ile mücadelede kullanılan ekonomik

enstrümanların literatür özeti verilecek, dünyada ve ülkemizde yapılan iklim değişikliği modelleri ve sonuçları tartışılacaktır²³.

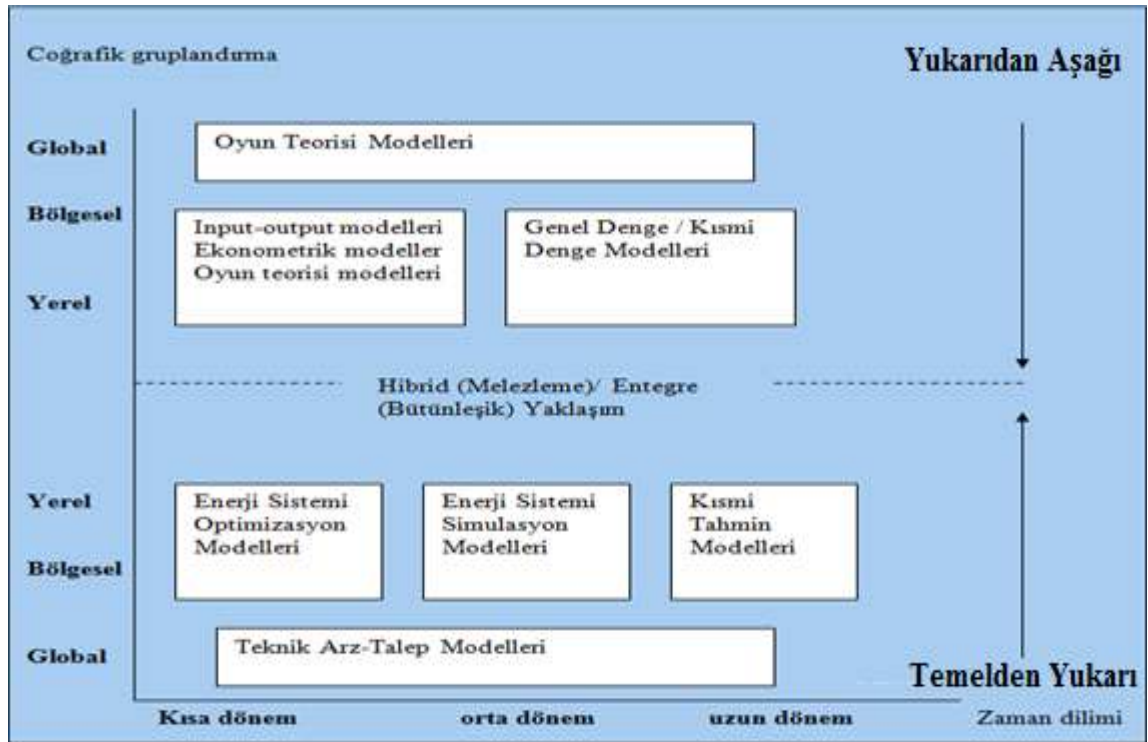
5.1. İklim Değişikliği Modelleme Yaklaşımları: Temelden-Yukarı ve Yukarıdan-Aşağı Modellemeler

İklim değişikliğini önlemeye yönelik politikaların ekonomik analizi, bir çok modelleme tekniği ile yapılmaktadır. Kullanılan modellerde, gerçek bir ekonomideki tüm değişkenleri kullanmak zor olduğu için ekonomik sistemin işleyişini basitleştiren belirli kısıtlamalara gitme ve varsayımlarda bulunma ihtiyacı duyarlar. Bu kısıtlar ve varsayımlara göre modeller farklı sonuçlar verebilmektedir (Jaccard ve Rivers, 2005).

Literatürde çevre-enerji-ekonomi arasındaki ilişkilerin modellenmesine yönelik yaklaşımlar ‘yukarıdan aşağı’ (top-down) ve ‘temelden yukarı’ (bottom-up) modeller olarak iki kategoride ele alınmaktadır. Yukarıdan aşağı (top-down) modeller genelde ekonomi teorisine dayanmaktadır. Top-down modeller probleme makroekonomik açıdan yaklaşarak enerji sektörünün diğer sektörlerle olan ilişkisini inceler. Temelden yukarı (bottom-up) modeller ise enerji sistemini, tüm teknolojik detayları dahil ederek ayrıntılı bir şekilde incelemektedir (Kemfert, 2003). Ayrıca, son yıllarda her iki modelin de özelliklerini taşıyan hibrid modeller geliştirilmiştir (IPCC, 2001). İklim değişikliği modelleme yaklaşımları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

²³ Bu bölümün anlatımında Karakaya (2008)’den faydalanılmıştır.

Şekil 5.1: Çevre-Enerji-Ekonomi Modellerinin Sınıflandırılması



Kaynak: Kemfert (2003)

5.1.1. Yukarıdan aşağı (top-down) modeller

Yukarıdan aşağı modellerde ekonominin tamamını temsil edecek şekilde üretim ve tüketim yapısı belirlenir, sermaye, emek ve enerji girdileri tanımlanır, yatırım, devlet harcamaları, vergiler ve dış ticaret gibi ekonomik faaliyetler modelin amacına göre detaylı ya da zımni olarak yer alır (Karakaya 2008: 335). Yukarıdan aşağı modeller, herhangi bir piyasadaki (enerji) değişikliğin diğer piyasalara etkilerini de hesap edebildiği için iklim değişikliği politikasının dolaylı ekonomik etkilerine yönelik sonuç verebilmektedir (Loeschel, 2002). Bu modeller teknolojik detayları içermediğinden, teknolojik gelişme sonucu oluşabilecek olası etkileri ve maliyet değişimlerini ölçmede sınırlı kalabilmektedir. Yukarıdan aşağı modellerde ekonomik teori baz alınarak ilgili dönemdeki GSYİH, nüfus, enerji fiyatları ve teknolojik gelişme oranı gibi temel değişkenler belirlenip denklemler oluşturularak tüm ekonominin modellenmesi yapılmaktadır (Barker, 2004).

Yukarıdan aşağıya modeller altı grupta incelenebilir. Bu gruplar içerisinde en çok tüm ekonominin yapısını, etkileşimini hesaba kattığı için Genel Denge (GD) Modelleri (general equilibrium models) kullanılmaktadır.

5.1.1.1. Oyun Teorisi Temelli Modeller

Yukarıdan-aşağı (top-down) modellerin birincisi olan “oyun teorisi temelli modelleri” iklim değişikliği müzakereleri sonucu alınacak emisyon azaltım hedeflerini ve politika uygulamalarını, işbirliğine gidilen ya da gidilmeyen rekabetçi oyun kuralları çerçevesinden incelenmektedir. Oyun teorisi modellerinde aynı hedefe ulaşmak için rekabet eden bireylerin davranışları, karar verme süreçleri incelenmektedir (Kemfert, 2003).

5.1.1.2. Ekonometrik Modeller

Yukarıdan-aşağı modellerin ikincisi olan “ekonometrik modeller” uzun dönemli zaman serisi verileri kullanılmakta ve Neo-Keynesyen ekonomik teori temel olarak alınmaktadır. Ekonometrik modeller genellikle makroekonomik konuları inceler. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin önemli bir sorun olarak gündeme gelmesiyle birlikte bu alanda da kullanılmaya başlanmıştır (Nakata, 2004). İklim değişikliği analizinde kullanılan ekonometrik modeller, sektörlerdeki yatırım ve tüketim davranışlarını tanımlayarak sera gazı emisyonlarını azaltıcı politikalara vurgu yapmaktadır. Ekonometrik modeller genellikle, ulusal ölçekte enerji ya da iklim değişikliği politikalarının ekonomik etkileri konusunda değerlendirmede bulunabilmektedir.

5.1.1.3. Input-Output Modelleri

Yukarıdan-aşağı modellerin üçüncüsü olan diğer bir modelleme tekniği ise “input-output” modelidir. Input-output modelleri, herhangi bir sektörün üretimi için diğer sektörlerden gerekli talebi ya da tüm sektörlerin üretiminin ilgili sektör üzerindeki üretim artışlarını input-output tablosu yardımı ile ölçmek için kullanılır. Input-output tablolarından hesaplanan katsayılar sürekli sabit kaldığından, üretim faktörleri arasında ikame ya da teknolojik değişme gibi önemli unsurların etkilerini ölçmemektedir (Nakata, 2004).

5.1.1.4. Genel Denge Modelleri

Yukarıdan-aşağı modelleme yaklaşımının dördüncüsü, Hesaplanabilir Genel Denge Modelleri (HGDM)’dir ve sera gazı azaltımına yönelik önleyici politikaların analizinde önemli bir yere sahiptir. HGDM, modelleme yöntemleri arasında, tüm

ekonomiyi en fazla temsil etme yeteneğine sahip modeller olarak kabul edilebilmektedir (Pezzey ve Lambie 2001). Çünkü bu modelleme genel denge teorisini temel almakta ve ithalatı, ihracatı, vergileri, sektörler arası ilişkileri, girdileri ve üretim faktörleri piyasasını eşanlı olarak hesaba katabilmektedir. Genel denge ekonomideki tüm piyasalarda arz ve talebin dengeye geldiğini ifade eder. Hesaplanabilir Genel Denge ise ekonominin genel dengesinin belirli bir sistematik içinde çözülmesini ifade etmektedir.

Genel Denge Modelleri, uygulanacak sosyo-ekonomik politikaların ekonomik ve refah etkilerini ölçmede ya da alternatif politikalar ile karşılaştırmada, iktisadi öngörülerde bulunulması gibi geniş bir yelpazede kullanılabilecek güçlü bir analitik araçtır (Telli 2004). HGDM 1980'lerden itibaren uluslararası ticaret, yapısal reform, istikrar politikaları, vergi reformu, sonraki yıllarda ise enerji ve iklim değişikliği alanlarında özellikle önleyici politikaların seçimi için tercih edilen bir modelleme aracı olarak kullanılmaktadır. HGDM'nin ekonomik yapıyı bir bütün olarak ele alması yönüyle, doğrusal optimizasyona dayanan input-output ve makro ekonometrik modeller için tamamlayıcı bir alternatif oluşturduğu söylenebilir. HGDM'nde tüm piyasaları eşzamanlı olarak dengeye getirebilmek için ücretler, fiyatlar, miktarlar ve döviz kuru değişkenlerinden oluşan bir dizi veri seti kullanılarak model çözülmeye çalışılır (McFarland vd., 2002).

HGDM'nin çözümü yapıldıktan sonra denge halindeki ekonomik sisteme uygulanan yeni politikalar ya da dışsal bir "şok" un (örneğin işgücü ya da sermaye değişimi, karbon vergisi uygulaması) fiyatlar üzerine etkileri yoluyla refah düzeyindeki değişmeyi (GSYİH'deki değişim) analiz edecek şekilde düzenlenmiştir (Nakata, 2004). Örneğin, uygulanacak önleyici bir iklim değişikliği politikasının yol açacağı maliyetler ve refah etkisi tüm ekonomiyi içerecek şekilde HGDM ile yapılabilmektedir. HGDM tek-ülkeli bir model olabileceği gibi, bir bölgedeki ülkeleri (AB gibi) inceleyen çok-ülkeli bir model halinde de olabilir. Fakat, modeldeki değişkenler ya da ülke sayısı arttıkça kullanılacak güvenilir veri setini oluşturmak güçleşecektir. Teknolojik detayların modellenmesi iklim değişikliğini önleyici politikaların maliyetlerini etkileyecek önemli faktörlerdir fakat yukarıdan-aşağı modellerde dolayısıyla HGDM'nde teknolojik detaylandırma söz konusu değildir (Loeschel, A. 2002). Teknolojik detaylandırma olmaması HGD modellerinin temel eksikliği sayılabilir (McFarland vd., 2002).

5.1.1.5. Yapay Sinir Ağları Uygulamaları

Yapay zeka uygulamalarındaki ilerlemelerle birlikte yapay sinir ağları yöntemleri enerji-çevre-ekonomi analizlerde uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemin en önemli özelliği öğrenebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Bu yöntemde oluşturulan yapay sinir ağına enerji-çevre-ekonomi değişkenleri zaman boyutu ile girdi olarak verilmekte, tahmin edilecek büyüklüğün mevcut değerleri de çıktı olarak verilmektedir. Yapay sinir ağları sisteme verilen bilgiler ile, bunların arasındaki ilişkileri öğrenip tahminleri gerçekleştirmektedir (Hotunluoğlu, 2011:47).

5.1.1.6. Entegre Değerlendirme Modelleri

Yukarıdan-aşağı modeller ekonomik teori çerçevesinde tasarlanmıştır. Fakat küresel ölçekte olabilecek bir felaketin analizi ve önleyici politikaların belirlenmesinin sadece kuramsal ekonomik teorilere dayanan modelleme teknikleri ile yapılması yanıltıcı olabilecektir (Nakata, 2004; Kemfert, 2003). Bu yüzden sosyo-ekonomik modellerle biyo-fiziki mühendislik modellerinin birleştirildiği Entegre Değerlendirme Modelleri (Integrated Assessment Models) doğmuştur. “Entegre Değerlendirme” farklı bilimsel dallardan bilgilerin bir araya getirilmesi, birleştirilmesi ve yorumlanmasını içeren disiplinler arası bir süreçtir (Ahmad ve Warrick 2001).

Entegre (bütünleşik) Değerlendirme Modelleri (EDM) iklim değişikliği alanında neden-sonuç ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla farklı disiplinlerde ve boyutlarda bir dizi alt-modelleri bir araya getirir. Böylece, bu modeller bir sistemde karşılıklı ilişkileri ve bunların etkileşimlerini ortaya çıkarabilir (Weyant, 2003). EDM içerisindeki modeller arasında birçok veri transferi gerçekleşmektedir. Birbiriyle ilişkili modellerden herhangi birinin önemli bir hata yapması durumunda diğer modelleri de etkiler.

ED Modelleri iklim değişikliği ve enerji alanında önemli faktörleri, etkileri ve disiplinler arası bağlantıyı detaylı olarak birleştirebilmektedir. Bu nedenle önleyici politikaların maliyetler gibi olası etkilerinin değerlendirilmesi, konuyla ilgili bilginin ve belirsizliklerin netleştirilmesinde önemli katkılar sağladığı söylenebilir (Jaeger vd., 2002; Kemfert, 2003). Diğer bir husus ED modeller yukarıdan-aşağı modelleme yaklaşımı içerisinde yapılandırılrsa da, son zamanlarda oluşturulan bazı ED modellerin “temelden-yukarı” ya da hibrid modelleme şeklinde olduğu görülmektedir (Nakata, 2004; Jaeger vd., 2002).

5.1.2. Temelden Yukarı (Bottom Up) Modeller

Temelden Yukarı (bottom-up) modeller özellikle enerji sektörü üzerinde yoğunlaşır, bu sektörü etkileyecek tüm teknolojik detayları hesaba katar ve mühendislik ağırlıklı ilişkileri esas alır. Geleceğe yönelik enerji talebi ve arz projeksiyonları yapılırken, bu modeller tüm enerji türlerini (fosil ve yenilenebilir), mevcut ve potansiyel enerji teknolojileri stoğunu ve ilgili teknolojilerin enerji yoğunluğu derecelerini hesaba katar (Loeschel, 2002; Jaccard vd., 2003b). Bu tür modellerde teknoloji, üretim faktörleri (sermaye ve emek) ve enerjinin girdi olarak kullanıldığı üretim fonksiyonu ile temsil edilir. Teknolojinin değişmesi durumunda kullanılacak teknolojiye yönelik tercihlerde ve nispi maliyetlerde önemli değişiklikler olacaktır (Jaccard vd., 2003b). Mühendislik açısından konuya yaklaşan “temelden yukarı” enerji modelleri özellikle bu sorunu aşacak şekilde geliştirilmiştir.

Bu kısımda temelden yukarı modellerden enerji sektörü optimizasyon ve simulasyon modelleri ve en çok kullanılan bazı örnekleri açıklanacaktır.

5.1.2.1. Enerji Sistemi Optimizasyon Modelleri

Temelden yukarı modellerin birincisi olan enerji optimizasyon yöntemi kullanan modeller genellikle enerji arzı ve enerji dönüşümü (conversion) üzerine yoğunlaşır. Bu modeller, enerji sisteminin en düşük maliyetle işlemlerini sağlayacak optimum enerji bileşimini bulmaya çalışır (Jaccard vd., 2003a). Maliyet hesaplaması yapılırken detaylı bir şekilde tüm sektörlerin hem yatırım hem de işletmecilik maliyetleri hesaba katılır (IPCC, 2001). Bu modeller sera gazı emisyonları azaltım potansiyelini ve maliyetini uzun dönemli dinamik şekilde analiz edebilme yeteneğine sahiptir ve temelden yukarı modelleme tekniği içinde en fazla kullanılan araçtır. Çoğunlukla modelde teknolojik değişme, nispi maliyetlere göre en fazla hasılayı sağlayan yeni ve etkin teknolojiye geçiş şeklinde temsil edilmektedir. Optimizasyon modelleri gerçek anlamda ne olacağını tahmin etmekten ziyade belirli kurallar altında olabilecekleri sunmaya çalışmaktadır (Jaccard vd., 2003a).

Enerji optimizasyon modelleri içerisinde bir çok ülke tarafından tercih edilen bazı modeller MARKAL, EFOM, SAGE, MESSAGE'dir. Bu modeller en yaygın olan MARKAL modeli Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından geliştirilmiştir ve teknoloji odaklı dinamik maliyet optimizasyonu modelidir. Dinamik bir yapıya sahip

olan MARKAL modeli ile Kyoto dönemi ya da sonrası döneme yönelik analizler yapılabileceği gibi, 2150 yılına kadar enerji senaryosu analizi de yapılabilir. Geniş perspektifli yapısı ve modülleri sayesinde, MARKAL modeli ulusal ya da yerel ölçekte enerji planlaması ve sera gazını önlemeye yönelik stratejilerin geliştirilmesi amacıyla birçok ülke tarafından tercih edilen bir araçtır (Ercan, 2004; Smekens vd., 2003). MARKAL modeli Amerika, AB ülkeleri ve birçok gelişmekte olan Asya ülkesinin kullanmaktadır.

5.1.2.2. Enerji Sistemi Simülasyon Modelleri

Temelden yukarı modellerin ikincisi olan enerji simülasyon modeli, tüm teknolojileri içerecek şekilde enerji arz ve talebini detaylı bir şekilde modelleyerek tüm enerji sisteminin profilini çıkarmaya çalışmaktadır. Tasvir edici özellikte olan bu modeller enerji sisteminin sadeleştirilmiş operasyonlarının yeniden kopyasını çıkartmayı amaçlamaktadır (Jaccard vd., 2003a). Bu tür modeller özellikle referans senaryoya göre karşılaştırmalı analiz yapar ve alternatif politikaların sonuçlarını değerlendirir. Teknolojiye yönelik ayrıntılı bilgi içermeleri sayesinde, bu modeller enerji ihtiyaçlarının belirlenmesinde önemli derecede yol gösterici olabilmektedir.

Enerji simülasyon modellerine örnek olarak; NEMS, CIMS ENPEP, LEAP, POLES verilebilir. Bu gruptaki modellerden ENPEP modülleri Türkiye tarafından uzun süredir enerji planlaması ve iklim değişikliği projeksiyonları için tercih edilen bir model konumundadır.

Enerji sistemi simülasyon modelleri grubuna giren Enerji ve Güç Planlama Modeli ENPEP (Energy and Power Evaluation Program) Argonne Ulusal Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş ve 10 farklı modülden oluşan entegre enerji, çevre ve ekonomik analiz aracıdır²⁴. ENPEP bir ülkenin enerji ihtiyacını ve bu ihtiyaca karşılık gelecek enerji kaynaklarının belirlenmesini ve enerji kullanımı sonucu oluşan çevre etkilerini değerlendirir. ENPEP ailesine ait her bir modül enerji ve elektrik sektörüne yönelik değerlendirme sürecinde spesifik bir alanla ilgilenir. Her bir modül diğer modüllerle karşılıklı ilişki halinde olmasının yanında tamamen bağımsız olarak ta bir konuyu analiz edebilme yeteneğine sahiptir.

²⁴ ENPEP ailesi modeller için bk. <http://www.dis.anl.gov/ceesa/programs/enpepwin.html>

Türkiye’de uzun süredir kullanılan Enerji Talebi Analizi Modeli MAED (Model for Analysis of the Energy Demand) modülü bir ülke ya da bölgenin orta ve uzun vadeli enerji ve elektrik talebini hesaplayan senaryo temelli simülasyon modelidir. Bir ülkenin enerji talebinde gelecekte oluşacak yapısal değişiklikleri yansıtabilme yeteneğine sahip olan MAED, ekonomik, sosyal ve teknolojik gelişmelerin ve uygulanacak politikaların detaylı bir analizini sunabilmektedir (UNFCCC, 2006; Ediger ve Tatlıdil, 2002). Türkiye’de ayrıca, ENPEP modelin WASP, IMPACTS, ELECTRIC ve VALORAGUA modülleri enerji planlaması ve çevre alanında değişik amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır (İDKK, 2005).

5.1.3. Hibrid (Melez) Modeller

İklim değişikliğini ile ilgili önleyici politikalar ekonominin birçok sektörünü doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyecektir. Bu yüzden mitigasyon ve enerji politikasına rehberlik edecek modellemenin kısa ve uzun dönemli teknolojik gelişmeleri, yatırım planlarının sonuçlarını, piyasa yapısındaki değişimleri ve bu politikaların diğer ekonomik sektörler üzerine olan etkilerini mümkün olduğunca hesaba katması gerekmektedir (Pandey, 2002). Şimdiye kadar incelenen “yukarıdan aşağı” modeller enerji sistemi içerisinde teknolojik gelişmenin rolünü ihmal ederken, “temelden yukarı” modeller ise makroekonomik yapıyı ve bir politikanın dolaylı etkilerini hesaba katmaktan eksik kalmaktadır (Kemfert, 2003; Jaccard ve Rivers, 2005). Bu yüzden iki modelleme tekniğini birleştirip daha güçlü analiz yapabilen ve diğer modellerin eksik yönlerini ortadan kaldıracak şekilde hibrid (melez) modelleme tekniği ihtiyacı doğmuştur. Hibrid çevre-enerji-ekonomi modelleri ekonominin tamamını görebilme açısından teknolojinin ve makroekonomik sistemin açıkça temsil edildiği bir yapıda olmaktadır (Loeschel, 2002).

Hibrid modeller, “yukarıdan aşağı” ve “temelden-yukarı” olmak üzere önceden oluşturulmuş iki modelin birleştirilmesi oluşturulabilir. Zayıf-bağlanma (soft-link) olarak adlandırılan bu durumda, iki modelin varsayımları ve hesaplama tekniklerinde farklılıkların olmasının uyumsuzlıklara neden olabileceği ifade edilmektedir (Böhringer ve Rutherford, 2006, Jaccard ve Rivers, 2005; McFarland vd., 2002). Güçlü-bağlanma (hard-link) durumunda ise ekonomik tutarlılığı sağlayacak şekilde, “yukarıdan-aşağı” ve “temelden-yukarı” modellerin tek bir çerçevede birleştirilmesi ile hibrid model

oluşturulur. Hibrid modellere örnek olarak MARKAL-MACRO ve PRIMES modelleri verilebilir.

MARKAL-MACRO modeli, temelden yukarı yaklaşım içinde yer alan ve ekonomik ilişkilerin nispeten sınırlı olduğu fakat enerji sisteminin vurgulandığı MARKAL modeli ile talebin fiyata göre değişim gösterebilmesine imkan verecek şekilde tasarlanan MACRO modülünün birleşiminden oluşmuştur. MARKAL-MACRO modelinde; enerjiye yönelik tüm fiziki hareketler orijinal MARKAL'dan MACRO'ya aktarılırken, enerji maliyetleri, ödemelere yönelik bilgilerde MACRO'dan MARKAL'a aktarılmaktadır. Günümüzde bir çok ülke hibrid yapıda olan MARKAL-MACRO modelini tercih etmektedir (Smeekens vd., 2003)

PRIMES Modeli ise Atina Ulusal Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen çevre-enerji analizi çerçevesinde piyasa davranışlarını da içeren bir kısmi denge simulasyon modelidir. 1993 yılında AB desteği ile geliştirilen PRIMES modeli, tüm AB bölgesini, her bir üye ülkeyi ve Türkiye'de dahil tüm aday ülkeleri kapsayacak şekilde enerji ve enerji kaynaklı çevre problemlerini incelemektedir²⁵. Avrupa Komisyonu, Avrupa Çevre Ajansı ve son yıllarda bazı üyeler tarafından model referans olarak kullanılmaktadır. Komisyon üye ve üyelik sürecinde olan ülkelerin tüm enerji ve iklim değişikliği ile ilgili çalışmaların PRIMES varsayımları ve referans sonuçları ile uyumlu olup olmadığına oldukça önem vermektedir. Orta ve uzun dönem analizi yapabilen PRIMES modeli enerji planı, enerji politikaları ve çevre konularına yönelik projeksiyon, tahmin, senaryo oluşturma ve politikaların sonuçlarını analiz etmek için kullanılabilir (Capros ve Mantzos, 2005).

PRIMES modeli kısmi denge modeli olduğu için, ancak doğrudan maliyetleri hesaplayabilmekte ve dolaylı maliyetleri ihmal etmektedir (Canes, 2002). PRIMES modeli konusunda göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli nokta da, bu modelin AB bölgesi ya da başka ülkeler için çalıştırılıp sonuç vermesidir. Fakat modelin kullanılabilmesi sadece Atina'daki merkezde üniversitenin kendi elemanlarınca yapılabilmektedir.

²⁵ PRIMES model hakkında daha ayrıntılı bilgi için bakınız <http://www.e3mlab.ntua.gr/>

5.2. İklim Değişikliği Modellerinin Değerlendirilmesi

Küresel ısınma ve iklim değişikliğini önlemeye yönelik uygulanacak politikaların ekonomik analizinde birbirinden farklı teknikler ve modeller kullanılmaktadır. Kullanılan modeller zaman içinde ihtiyaçlara göre geliştirilmiştir. Örneğin; input-output modelleri ve makroekonometrik modellerin yerini bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmeler yardımıyla hesaplanabilir genel denge modelleri (HGDM) almıştır. Yukarıdan-aşağı ve temelden-yukarı modelleme tekniklerinde görülen bazı eksiklikler, bu iki modelin birleştirilmesi ile oluşturulan hibrid modelleri ön plana çıkartmıştır (Nakata, 2004). Ayrıca modelleme tekniği açısından önemli gelişmeler kateden Entegre Değerlendirme Modelleri, temsil ettikleri biyo-fiziki ve beşeri sistemlerin işleyişi ve bunların karşılıklı etkileşimine yönelik önemli bilgiler sunması bakımından karar vericiler tarafından tercih edilen bir araç olmuştur (Weyant, 2003) .

Tablo 5.1’de değişik modelleme grubuna giren bazı modellerin sınıflandırılması yapılmaktadır. Başlangıçta kullanılan modeller, ülkelerin Kyoto hedeflerini tutturmak için uygulayacakları piyasa temelli araçlar ile emisyon azaltımı politikalarını inceleyen ulusal ölçekte ve kısa dönemli idi. Sonraki dönemde ise kullanılan modellerin inceleme alanı genişlemiş, ulusal ölçekte modellerin yanı sıra bölgesel ve küresel ölçekte maliyetleri inceleyen çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İklim değişikliğinin önlenmesi için IPCC’nin dördüncü raporunda “450S” olarak adlandırılan düşük karbon teknolojisi ve yenilenebilir enerjinin yoğun kullanıldığı senaryolarından yola çıkarak Kyoto sonrası için senaryolarda düşük karbon teknolojisi seçenekleri, bunların emisyon azaltım potansiyellerini ve maliyetlerini bölgesel ve global ölçekte inceleyen çalışmalarda yapılmaktadır. Bu çalışmalarda özellikle emisyon ticareti öne çıkmakta ve karbonun fiyatı önemli kazanmaktadır. Çalışmalarda farklı karbon fiyatlarına göre teknolojik gelişmelerin ve farklı mitigasyon araçlarının emisyonları azaltım potansiyelleri ve toplam maliyetleri öngörülme çalışılmaktadır.

Tablo 5.1: Çevre-Enerji-Ekonomi Modelleri

Modelleme Tekniği	Model İsmi	Modelleyen
Ekonometrik Model	E3MG WARM	Barker vd. (2006) Carraro ve Galeotti (1997)
Input-Output Modeli	MIS	Kemfert ve Kuckshinrichs (1995)
Genel Denge Modeli	EPPA G-CUBED GEM-E3 GREEN GTAP-E GTEM VIAGEM TEM TISP BADA PERSEUS-RES-E DID WITCH	McFarland vd. (2002) McKibbin ve Wilcoxon (2004) Capros (2003) Burniaux vd. (1992) Burniaux ve Truong (2002) Viguier vd. (2003) Kemfert (2002) Bickl vd. (2010) Chen vd. (2010) Scheelhaase (2010) Möst ve Fichtner (2010) Lin ve Li (2011) Masseti (2011)
Entegre Değerlendirme Modeli	DICE/RICE, ESCAPE IMAGE FUND PAGE MERGE ICAM	Nordhaus (1994, 1996,2007) Rotmans vd. (1994) Alcamo vd. (1998) Tol (2005) Hope (2006) Manne ve Richels (2004) Dowlatabadi (1998)
Temelden Yukarı – Optimizasyon Modeli	MARKAL MESSAGE	UKERC (2006) Messner vd. (1997)
Temelden Yukarı-Simülasyon Modeli	ENPEP POLES NEMS AIM	Conzelmann (2001) Russ ve Criqui (2007) USDOE/EIA (2004) Kainumaa vd. (2000)
Hibrid Modeller	PRIMES MARKAL-MACRO Böhringer ve Rutherford Modeli SCREEN Modeli	Capros ve Mantzos (2005) UKERC (2006) Böhringer ve Rutherford, (2006) Kumbaroğlu ve Madlener (2003)

Kaynak: Karakaya (2008: 348) ve yazar tarafından oluşturulmuştur.

5.2.1. İklim Değişikliği Modellerinin Maliyet Analizi

İklim değişikliğini önlemeye yönelik modellerin uygulanması şu şekildedir: öncelikle mevcut durumla devam edilmesi halinde çevre-enerji-ekonomi durumunun ne olacağını hesaplanır. Mevcut durumla devam edilmesi durumunda çevre-enerji ve ekonomi’de oluşacak sonuçlara referans/baz senaryo (business as usual-BAU) denir. Daha sonra hedef tanımlanır (örneğin, Kyoto protokolünün öngördüğü emisyon

hedefine ulaşmak gibi). Son olarak, bu hedefe ulaşmak için kullanılabilecek araçların seçimi ve bunların uygulanması sonucu belirlenen hedefe ulaşmanın ekonomik maliyeti hesaplanır. Tüm bu aşamaların sonunda, karar vericiler bu araçların azaltım potansiyellerini ve yapılan alternatif maliyet analizlerine göre stratejilerini oluşturmaya çalışılır. Genel olarak tüm modelleme tekniklerinde bu yaklaşım görülebilir.

İklim değişikliği ile mücadelede kullanılan modellerde, uygulanan alternatif politikaların azaltım potansiyeli ve maliyetleri birbirinden farklı olabilir. Modellerde kullanılabilecek farklı politika araçları üç grupta toplayabiliriz: 1-piyasa temelli ekonomik araçlar; vergiler (karbon/enerji vergisi), emisyon kotası uygulaması (emisyon ticareti) ve sübvansiyonlar gibi fiyatları ve miktarları doğrudan etkileyen araçlardır (EEA, 2005). 2- Teknoloji temelli politikalar 3-Gönüllü uygulamalar. Teknoloji temelli politikalar insanların düşük karbon salımı yapan belli bir teknolojiyi kullanmaya yöneltmek amacıyla getirilen kontroller ve standartlardır. Emisyonları azaltmaya yönelik uzun dönemli teknolojik seçenekler olarak güneş, rüzgar ve hidrojen enerjisine geçiş, karbon tutulması ve depolanması (carbon capture and storage) düşünülebilir.

İklim değişikliğini önlemeye yönelik politika seçeneklerinden bir tanesi uygulamak yerine, mümkün olduğunca fazla politika seçeneklerinin aynı anda uygulanması durumunda maliyetlerin daha düşük olacağı söylenebilir. Ayrıca yapılan hesaplamalara göre piyasa temelli ekonomik araçların diğer uygulamalara göre daha az maliyetle, daha etkin emisyon azaltımı sağladığı görülmektedir (EEA, 2005). Farklı modelleme tekniklerinin aynı politika seçeneklerini modellemesi farklı olabileceğinden farklı maliyet sonuçları ortaya çıkabilir.

Modelleme teknikleri düşünüldüğünde, "yukarıdan-aşağı" yaklaşıma sahip modeller emisyon azaltımı için uygulanan politikaların maliyetini "temelden-yukarı" modellere göre daha yüksek hesaplamaktadır (Jaccard ve Rivers, 2005; Kemfert, 2003). Bunun nedeni yukarıdan aşağı modellerin ekonomik yapıyı daha kapsamlı bir şekilde modellemesi ve fiyat mekanizması yoluyla dolaylı ve dolaysız makro ekonomik etkileri hesaplayabilmesidir. Temelden yukarı modeller ise, sadece enerji sektörüne yoğunlaşan kısmi denge yaklaşımıyla ancak doğrudan maliyetleri hesaplamaktadır. Gerçek ekonomide dolaylı etkiler oldukça büyük olabilir. Örneğin, fosil enerji, doğrudan tüketilen bir mal olmasının yanında diğer sektörler için önemli bir hammadde olduğu için piyasa temelli araçlardan olan karbon/enerji vergisi (ya da emisyon ticareti)

uygulamasının ekonomiye oldukça büyük bir etkisi olacaktır (Zhang ve Baranzini, 2004). Bu yüzden, "temelden yukarı" modellerin dolaylı etkileri hesaba katmaması toplam maliyetler açısından önemli bir eksiklik sayılabilir (Loeschel, 2002; Jaccard vd., 2003b).

İklim değişikliği ile mücadelede emisyon azaltımında teknolojinin rolü, yukarıdan-aşağı modellerde ihmal edilmektedir (Barker, 2004; Jaccard vd., 2003b). Genel Denge Modellerinde, teknolojik ilerleme dışsal kabul edilmiş, üretim fonksiyonu genelde ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında modellenmiştir. Bunun sonucu olarak, yukarıdan-aşağı grubun en önemli temsilcisi olan genel denge modellerinin maliyet tahminlerini olması gerekenden fazla hesaplandığı söylenebilir. Temelden-yukarı modelleme tekniğinde ise teknolojinin model yapısında yer alması teknoloji yönlü politikaların analiz edilmesinde avantaj sağlamaktadır. Bu sayede, teknolojik gelişmelerin sera gazı emisyonunu azaltma potansiyeli ve sektör üzerine maliyeti daha kapsamlı bir şekilde hesaplanabilmektedir.

Son yıllarda, iki modelleme yaklaşımının güçlü yönlerini birleştiren hibrid modelleme tekniğinin yardımıyla, bu iki modelleme tekniği arasındaki farkın yavaş yavaş azaldığı görülmektedir. Önleyici politikaların öngörülen maliyet değerlerinin bir çok modelleme tekniğinde bir birine yaklaştığı görülmektedir (UNFCCC, 2005). En son açıklanan 4. IPCC WG3 raporunda küresel anlamda emisyonları kabul edilebilir seviyede tutmanın dünya ekonomisine maliyeti 2030 yılına kadar GSYİH'nın % 3'ünü, 2050 yılına kadar ise % 5'ini geçmeyeceği ifade edilmiştir (IPCC AR4, WG3; 2007)

5.3. Dünyada Yapılan İklim Değişikliği Modellerinin ve Projeksiyonlarının Analizi ve Literatür

Literatürde çevre-enerji-ekonomi modellemesine yönelik çalışmalar, karbon emisyonlarını azaltmanın ekonomik maliyetleri çerçevesinde şekillenmektedir. Çalışmalarda özellikle piyasa temelli esneklik mekanizmalarının emisyon azaltım maliyetleri ön plana çıkmaktadır. Sadece karbon vergisinin ya da emisyon ticaretinin analiz edildiği çalışmaların yanı sıra, her ikisinin birlikte incelendiği çalışmalarda bulunmaktadır. Bu kısımda literatürde yapılan bu çalışmaların ve elde edilen sonuçlar anlatılacaktır.

Proost ve Regemorter (1992), Belçika örneğinde Dinamik Genel Denge (DGD) modeli yardımıyla karbon emisyonları azaltımında piyasa temelli esneklik mekanizmalarından emisyon vergisinin mitigasyon politikalarındaki etkinliğini araştırmıştır. Karbon vergisinin uluslararası ve ulusal ölçekte modellediği çalışmasında, uluslararası ölçekte uygulanan karbon vergisinin etkinliğinin daha fazla olduğu fakat ulusal ölçekte karbon vergisi uygulamanın daha olası olduğu bulgusuna ulaşmışlardır.

Bernand ve Vielle (1997), Kyoto protokolü çerçevesinde Fransa'nın nükleer programını Dinamik Genel Denge (DGD) modeli ile incelediği çalışmasında, programın ekonomiye, enerji arzına ve çevre kirliliğinin azalmasına olumlu katkı yaptığı belirtilmiş, nükleer enerjinin olmadığı durumda refahın azalacağını ve permi alınmasının ise daha az refah kaybına yol açacağını belirtmiştir.

Dessus ve Bussolo (1998), Costa Rika için emisyon vergisinin etkisini dinamik genel denge (DGD) modeli ile incelemiş ve vergilerin büyümeyi ve emisyonları hızlı bir şekilde azalttığı bulgusunu elde etmiştir. Atık su vergilendirmesinin kaynak tahsisine olumlu katkı yaptığı ifade edilmiştir.

Yang (2000), Tayvan örneğinde karbon vergilerinin ve gelir dağılımı üzerindeki etkisinin incelediği çalışmasında, birden fazla sektör ve hane halkının olduğu GD modeli kullanmış ve alternatif enerji vergilerinin gelir dağılımları ve makroekonomik etkilerini farklı senaryolarla incelemiştir. Karbon vergisine alternatif olarak ham petrol ithalatına ve akaryakıt ürünlerine vergi konulması durumunda hükümet gelirlerinin ve Gini katsayısını arttığı fakat özel tüketim ve harcanabilir gelirin azaldığı sonucuna ulaşmıştır. Gini katsayısının artmasının gelir dağılımını kötüleştirdiği özellikle alt gelir grubunda olan kesimin durumunun kötüleştiğini ifade etmiş, enerji vergileri uygulamasının daha kötü sonuçlara yol açtığı ve bu sonuçların gelişmekte olan ülkeler için yapılan çalışmaların sonuçları ile tutarlı olduğunu belirtmiştir.

McCarl ve Schneider (2000), Amerikan tarım sektörünün küresel sera gazı azaltımındaki rolünü incelediği çalışmasında, tarım sektörünün emisyon kaynağı olabileceği gibi, emisyon azaltımına yardımcı olabileceğini belirtmiş, tarım sektöründe ton başına karbon maliyeti 10-25 \$ iken diğer sektörlerde 200-250 \$ olacağı bulgusunu elde etmiştir.

Ekins ve Barker (2001), karbon emisyonları azaltımı için yapılan uygulamaların genel değerlendirilmesinin yapıldığı literatür taraması şeklindeki çalışmada, mitigasyon araçlarının yoğun kullanılmasının bu araçların etkinliğini azaltabileceğini vurgulamış, kullanılan modellerde sonuçların kullanılan varsayımlarla değişebileceğini ve genel olarak karbon vergilerinin çevresel etkinliğinin olumlu olduğunu belirtmiş ve insan kaynaklı iklim değişikliği artmaya devam ettikçe karbon vergisi ve permi ticaretinin de artmaya devam edeceğinin altını çizmiştir.

Yang (2001a), Tayvan ekonomisi için ticari liberalizasyon ve liberalizasyonun sonucu olarak üretim düzeyindeki değişmeye bağlı olan karbondioksit emisyonları arasındaki ilişkiyi Hesaplanabilir Genel Denge (HGD) modeli yardımıyla analiz etmiş, liberalizasyon sonucu emisyonların arttığını ve liberalizasyonun üretim artışına yol açtığı sektörlerin karbon yoğunluğu en fazla olduğu sektörler olduğunu belirtmiştir.

Yang (2001b) çalışmasında, dış ticaret ve karbon emisyonlarını inceleyen çalışmalar olduğunu fakat, yeni sanayileşen ülkelerle ilgili çalışmaların olmadığını belirtip, Tayvan ekonomisi için 5 hanehalkı ve 18 sektörlü GD modeli ile ticari liberalizasyon ve çevre politikalarının birlikte uygulandığı senaryo analizi yapmıştır. Gümrük vergilerini azaltmanın emisyon azaltım maliyetlerini önemli ölçüde azaltacağını ve oluşan refah kaybının ise karbon vergisi uygulamasıyla dengelenebileceğini belirtmiştir. Ticari liberalizasyon ve çevre politikalarının birlikte uygulanmasının ayrıca kaynak dağılımları üzerinde olumlu etki yapacağını ve bu bulguların gelişmekte olan ülkelerin bulguları ile tutarlı olduğunu belirtmiştir.

Yang (2001c), Yang ve Wang (2002), çalışmasında Tayvan ekonomisi için karbon emisyonu sınırlamasının maliyetlerini Genel Denge (GD) modeli ile incelemiştir. Analiz sonucunda; karbon vergisi uygulamasının emisyonları ve ekonomik büyümeyi azalttığı, fakat gelir vergisi oranının azaltılarak bu açığın karbon vergisi gelirleri yoluyla telafi edilmesi durumunda refah kaybının azaldığını ve bu durumun kabul edilebilir ulusal sera gazı politikası olabileceğini belirtmiştir.

Böhringer ve Rutherford (2002), karbon azaltımının maliyetlerini uluslararası enerji kullanımı ve ticaret hesaba katılarak GD modeli ile çok ülkeli olarak incelemişlerdir. Karbon emisyonu azaltımının uluslararası fiyatlara etkisinden dolayı ulusal ekonomilerde azaltım maliyetlerinin değişebileceği bulgusunu elde etmişlerdir.

Gelişmekte olan ülkelerin bu süreçteki zararının, Ek-B ülkelerine göre oldukça az olacağı fakat petrol ihraç eden Meksika ve OPEC ülkelerinin ciddi kayba uğrayacağı belirtilmiştir. Ayrıca emisyon ticaretinin karbon vergisine göre önemli ölçüde refah kaybını azalttığı ifade edilmiştir.

Böhringer vd. (2003) çalışmasında, Almanya'nın 1990 yılına göre 2005 yılında emisyonlarını % 25 azaltmak yükümlülüğü olduğunun altını çizmiş ve bu hedefi tutturabilmek için yetkililerin çevre-karbon vergileri uygulamasına gittiğini ve uygulamaların sonucunda, emisyonların azaldığı fakat işgücü piyasasını olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Yazar emisyon azaltımında esneklik mekanizmalarının daha düşük maliyetle azaltım sağlayabileceğini ifade etmiş ve Almanya'nın Kyoto Protokolünde belirtilen "Ortak Yürütme" mekanizmasını kullanmasının etkilerini GD modeli ile incelemiştir. Ev sahibi ülke olarak Hindistan'ın seçildiği çalışmada, Almanya'nın emisyon azaltımı için Hindistan elektrik sektörüne yatırım yaparak emisyon azalttığı varsayının kullandığı analiz sonucunda, Almanya'nın sera gazı emisyonları azaltması sonucu işgücü piyasasında meydana gelen olumsuz etkilerin düzeldiği sonucuna ulaşmıştır. Almanya için emisyon vergisinde işsizlik % 0.22 artarken, Hindistan ile "Ortak Yürütme" uygulamasında % 0.49 azaldığı ve emisyon vergisinde refah kaybı % 0.47 iken, ortak yürütme uygulamasında ise % 0.26 olduğu ayrıca emisyon azalma miktarının daha çok olduğunu belirtmiştir.

Resosudarmo (2003) çalışmasında, hava kirliliği politikalarının milli gelir, hanehalkı geliri ve farklı ekonomik birimler üzerindeki beklenen etkisini Endonezya örneğinde Hesaplanabilir Genel Denge (HGD) modeli yardımıyla incelemiştir. Analiz sonucunda kirliliği azaltma politikalarının şehirlerde hava kalitesini arttırdığı, ayrıca ekonomik gelişmeye de katkı sağlayabileceği belirtilmiştir. Uygulanan en iyimser senaryoda GSYİH'nin % 0.41 arttıracağı, en kötümser senaryoda ise % 0.03 kayba yol açacağı bugusu elde edilmiştir.

Klepper ve Peterson (2003), uluslararası emisyon ticaretinin etkilerini incelemek için Marjinal Azaltım Maliyeti Eğrisi (MACC) ve GD Modeli kullandığı çalışmada enerji fiyatları değişimlerinin MAC eğrileri üzerinde ülkelere göre farklılık arzettiğini belirtmişler, MAC eğrilerinin yerine sosyal maliyet eğrilerinin kullanılmasının daha uygun olacağını ifade etmişlerdir.

Fæhn ve Holmøy (2003), Norveç örneğinde ticari liberalizasyonun kirliliğe yol açan emisyon ve atıklar üzerindeki etkisini GD modeli yardımıyla liberalizasyonun olduğu ve olmadığı senaryolar için incelemiştir. Senaryolarda GSYİH kayıpları yaklaşık aynı olsada (% 0.1) liberalizasyon sonucu ihracata konu olan sektörlerin artan enerji talepleri ile emisyonların diğer senaryoya göre çok daha fazla arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Kumbaroğlu ve Madlener (2003), İsviçre örneğinde uzun dönemde enerji ve iklim politikalarını teknolojik detayları içeren "temelden yukarı" ve GD özelliği olan "yukarıdan aşağı" modellerin birlikte kullanıldığı hibrit bir model olan SCREEN Dinamik Hesaplanabilir Genel Denge (DHGD) modeli yardımıyla analiz etmişlerdir. Analiz sonucunda karbon vergisi senaryosunda, 2010 yılında 1990 yılına göre emisyonların % 10 azalacağını, 2020 yılında ise azalmanın % 16 olacağı, enerji üretiminde düşük yatırımlar sebebiyle doğalgazın payının önemli ölçüde azalacağı işsizlik ve GSYİH'nın fazla etkileneceğini elirtmiştir. "Trend" 2000-2020 senaryosunda GSYİH kaybı % 38 ve işsizlikteki artışı % 9 hesaplamıştır.

Timilsina ve Shrestha (2006), Tayland için Temiz Kalkınma Mekanizma'sının göz önünde bulundurarak, sera gazı azaltımının ekonomik etkilerini çok sektörlü GD modeli ile incelediği çalışmada elektrik ikamesinin termik ya da hidro elektrik santrallerden elde edilme durumunda ekonomik refahın artacağı sonucuna ulaşmışlardır. Yazarlar, Temiz Kalkınma Mekanizma'sının özellikle gelişmekte olan ülkeler için sera gazı azaltımında önemli bir enstrüman olduğunu belirtmişlerdir.

Dellink ve Ierland (2006), Hollanda ekonomisi için emisyon azaltım maliyetlerini HGD modeli yardımıyla farklı senaryo uygulamalarıyla incelemiştir. Farklı senaryoların uygulandığı çalışmada çevre politikalarının maliyetleri, azaltımda teknolojik gelişmelerden faydalanılması ve uygun ekonomi politikaları gibi önlemlerle birlikte eş zamanlı uygulanabilirse GSYİH kayıplarının % 6-% 8 civarında olacağı ve % 11'i geçmeyeceğini belirtmiştir.

Nordhaus (2007) çalışmasında, ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltımında emisyon vergisi uygulamasının etkilerini incelemiştir. Emisyon ticaretinin olmadığı durumda tüm dünyadaki azaltım maliyetlerinin 12 trilyon \$ olacağını, emisyon

ticaretinin olduğu durumda ise maliyetin 2 trilyon \$'dan daha az olacağını kullandığı RICE modeli yardımıyla öngörmüştür.

Lippke ve Garcia (2008), karbon vergisi ya da "cap and trade" (limitleme ve ticaret)'inin etkileri üzerine yaptığı çalışmasında, bu araçların kullanımının yanı sıra bireylerin tüketiminde, üretiminde, bina inşaatları gibi faaliyetlerinde çevreye duyarlı davranmalarının emisyon azaltımında etkili olabileceğini ve fosil yakıtlar yerine orman ürünlerinin kullanımı ve iyi bir orman yönetiminde emisyon azaltımına katkısı olabileceğini belirtmişlerdir.

Halıcıoğlu (2009) çalışmasında, Türkiye'nin gelir, dış ticaret ve enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerine etkisini incelediği ekonometrik analizinde, enerji tüketiminin karbon emisyonları uzun dönem esnekliğini % 78 bulmuş, yani enerji tüketiminde meydana gelen % 100'lük artış % 78 oranında emisyon artışına neden olacağını belirtmiştir. Emisyonların gelir esnekliğini ise % 123 bulmuş fakat bu sonucun yüksek olduğunu ve daha önce gerçekleşen değerlerle uyumsuz olduğunu belirtmiştir. Dışa açıklığın esnekliğini ise % 7 gibi küçük bir değer olarak hesaplamıştır. Yazar nedensellik analizinde ise karbon emisyonları ile gelir ve enerji tüketimi arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi olduğunu ifade etmiştir.

Ermolieva vd. (2010), iklim değişikliği ile mücadelede piyasa temelli araçlar olan karbon vergisi ve emisyon ticaretinin, oldukça yoğun kullanılan araçlar olduğunu fakat bu mekanizmaların sosyo-ekonomik ve emisyon azaltımı anlamında her zaman olumlu etkilerinin olmayabileceğini ve emisyon azaltımını düşük maliyetle sağlayamayabileceğini iddaa etmiştir. Yazarlar emisyon ticareti ve karbon vergilerinin etkisini incelemek için literatürde kullanılan denge modellerinden daha kapsamlı stokastik model önermiştir. Önerilen stokastik modelde çok daha fazla ekonomik birimi kapsamaktadır.

Pickl vd. (2010), 1992 Rio konferansında karar vericilerin mikro ve makro düzeyde çevreye koruma için yeni araçlara odaklandığını ve "Ortak Yürütme" mekanizmasının bunlardan biri olduğunu, ülkelerin sürdürülebilir kalkınma için enerji potansiyellerini yönetmesinde bu mekanizmayı göz ardı etmemesi gerektiğini vurgulamıştır. Ülkelerin "etkileşimli kaynak yönetim planı"nın emisyon ticareti açısından artan bir öneme sahip olduğunu belirtmiş ve bu uygulamalar için makro-

ekonomik dinamik oyun modeli olan "TEM" (Technology-Emission-Means) modelini önermiştir.

Chen vd. (2010), emisyon ticaretindeki belirsizlikleri ve eksikleri ifade ederek karbondioksit emisyon ticareti planlaması için iki aşamalı tam olmayan rassal programlama (TISP) geliştirmişlerdir. Yazarlar programın sonuçlarının makul olduğunu iddia ederek karar vericiler için sera gazı azaltımında farklı ekonomik vb. kısıtlar altında sonuçlar alınabileceğini ifade etmişlerdir. Analizde 10 farklı senaryo uygulaması yapılmış ve emisyon ticaretinin olduğu durumlarda kazanımların diğer durumlara göre fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Eichner ve Pethig (2010), Avrupa Birliği ve aday ülkeler için emisyon azaltım yükümlülüğü olduğu belirtip, emisyon azaltımında karbon vergisinin ve emisyon ticaretinin kullanılabileceğini belirtmişler, farklı araçların uygulanmasının refah üzerinde farklı etkileri olacağını ifade edip, her iki aracında etkin kullanılabileceği hibrit model önermişlerdir.

Erdoğan (2010) çalışmasında, sıcaklıktaki sadece 4 derecelik değişimin dünyayı buzul çağına götürebileceğini belirtip çevre felaketleri ve küresel ısınmaya dikkat çekmiştir. Türkiye'nin 2009 yılında Kyoto Protokolü'nü onaylamasına rağmen, herhangi bir adım atmadığını belirtip ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi, enerji kayıplarının azaltılıp verimliliğin artması, yakıt kalitesinin yükseltilmesi ve sera gazını engelleyici teknolojik yenilikleri kullanması gibi uygulamaları hayata geçirmesi gerektiğini vurgulamıştır. Türkiye'nin bu önlemleri almaması durumunda ise Kyoto sonrası dönemde zorluklar yaşayacağını ifade etmiştir.

Scheelhaase vd. (2010) çalışmasında, Avrupa Komisyonu, Avrupa Konseyi ve Avrupa Parlamentosu'nun 2008 yılında ortaklaşa aldığı kararla varolan karbon piyasasına havacılık sektöründe dahil etme kararı aldığını, 2012'den sonra AB üyesi ülkelere yapılan uçuşlarda uygulamaya konulacağını belirtmiştir. Bu kararın maliyetleri, bilet fiyatlarına ve uçuş hizmetlerine yansımaları tartışılmıştır. Yazarlar, havacılık sektörünün insan kaynaklı küresel ısınmanın % 3'üne neden olduğunu belirtip, uçakların yakıt tüketimi ve karbon emisyonu arasındaki ilişkiyi Almanya ve Amerika firmaları için emisyon ticareti çerçevesinde "BADA" isimli model yardımıyla

incelenmiş, Almanya'nın kapasitesi % 3.5, Amerika'nın ise % 1.4 artabileceği bulgusunu elde etmiştir.

Möst ve Fichtner (2010), AB-15 ülkeleri için elektrik üretiminde gerekli olan enerji arzını, emisyon kısıtı altında başta yenilenebilir kaynaklar olmak üzere fosil kaynaklar vb. temin edilmesini ve ülkelerin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelininde hesaba katıldığı "PERSEUS-RES-E" enerji optimizasyon modelinin emisyon ticareti ile ilişkisini incelemiştir. Analiz sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının arttırılmasının karbon emisyonlarının azaltımında düşük bir maliyete sahip olmadığı, bunun yerine nükleer enerji ve doğal gaz kullanımının marjinal azaltım maliyetinin daha düşük olduğu kanısına varmıştır.

Lanz ve Rausch (2011), karbon emisyonlarına en çok neden olan sektör elektrik üretimi olduğu için çalışmada, elektrik üretimi teknolojilerinin emisyon azaltımındaki etkisini Genel Denge (GD) ve Kısmi Denge (KD) modelleriyle incelemiştir. Ekonominin genelini ilgilendiren karbon azaltımı politikasının sektörler arası genel denge etkisinin oldukça geniş olduğunu belirtmiş bu azaltımın etkileri için "Temelden yukarı", "Yukarıdan aşağı" ve "Entegre Modeller" ile GD analizi yapmıştır. Analiz sonuçlarına göre % 10'luk azaltımda her üç modelde de refah kaybı % 0.2 civarında, % 20'lik bir azaltımda en az refah kaybı "Yukarıdan Aşağı" modelde ve % 0.25 ve % 40'lık bir emisyon azaltımında ise gene en az rafah kaybı "Yukarıdan Aşağı" modelde ve % 0.75, aynı senaryodaki diğer modellerde refah kaybı ise aynıdır ve % 1 civarındadır.

Upadhyaya (2011), emisyon ticaretinin mitigasyon politikaları için önemli bir araç olduğunu fakat, gelişmekte olan ülkelerde henüz uygulamasının olmadığını belirterek emisyon ticaretini Hindistan örneğinde politik ve kurumsal açıdan irdelemiştir. Hindistan'da "Temiz Kalkınma Mekanizması", "Ulusal Programlara Uygun Azaltım Faaliyetleri" (Nationally Appropriate Mitigation Actions-NAMA), gibi farklı karbon emisyonu azaltımı uygulamalarının olduğunu belirtip emisyon ticareti sisteminin yakın gelecekte Hindistan için uygun olmadığını iddaa etmiştir.

Lin ve Li (2011), emisyon azaltımında piyasa temelli araç olan karbon vergisinin uluslararası organizasyonlar ve ekonomistler tarafından yoğun bir şekilde tavsiye edildiğini, Danimarka, Finlandiya, İsveç, Norveç ve Hollanda gibi ülkelerin karbon

vergisini ilk uygulayan ve etkilerini ilk araştıran ülkeler olduğunu belirtmiş ve bu ülkeler için karbon vergisinin gerçek azaltım etkilerini DID (Difference in Difference) metoduyla incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, Finlandiya ekonomisi için karbon vergisi uygulamasının Finlandiya'nın kişi başı karbon emisyonlarının artışında büyük ve negatif etki meydana getirdiği, Danimarka, İsveç ve Hollanda'da ise etkinin gene azaltıcı nitelikte fakat önemsiz düzeyde olduğu, Norveçte ise enerji sektöründeki hızlı büyümenin karbon emisyonlarını arttırdığı için, karbon vergilerinin emisyon azaltıcı etkilerinin görülemediği bulgusuna ulaşmışlardır. Ayrıca bu ülkelerde enerji yoğun sektörlere uygulanan vergi muafiyet politikalarının, karbon vergisinin emisyon azaltıcı etkisini zayıflattığı ifade edilmiştir.

Masseti (2011), Çin ve Hindistan'ın büyük nüfusları ve büyüyen ekonomileri ile küresel oyuncular olduğu, yüksek enerji ihtiyaçları ile küresel sera gazı emisyonlarının şekillenmesinde önemli rol oynayacağını belirtilmiş, çalışmalarında iklim değişikliği toplantıları göz önünde bulundurularak Çin ve Hindistan için kabul edilebilir sera gazı azaltım hedeflerinin değerlendirmesini yapmışlardır. Analizde WITCH (World Induced Technical Change Hybrid) modeli yardımıyla 2050 yılına kadar hiçbir önlemin alınmadığı (Business as Usual-BAU) emisyon düzeyi baz alınarak karbon vergisinin azaltım etkisini dört farklı senaryo yardımıyla incelemişlerdir. Düşük vergi senaryosunda (2020 yılına kadar ton başına 10 \$'dan başlayan karbon vergisi) 2050 yılına kadar BAU'ya göre Çin'in % 25, Hindistan'ın % 30 azaltım gerçekleştireceği ve maliyetin düşük olacağı, marjinal azaltım maliyeti eğrisi'nin (MACC) bu vergi düzeyinden sonra eğiminin arttığı, yani verginin bu düzeyi geçmesinden sonra hem emisyon azaltımının düşeceği hem de maliyetlerin çok artacağı vurgulanmıştır. Çin için uygulanan sadece en yüksek iki vergi düzeyi emisyonları 2050 yılında 2005 seviyesinin altına indirebilmekte, Hindistan'da ise en yüksek vergi düzeyinde bile 2050 yılında emisyonlar 2005 yılı seviyesinin üstünde gerçekleşmektedir. Yazarlar bu sonuçlara dayanarak G8 ve MEF (Major Economic Forum) ülkelerinin 2050 yılına kadar küresel toplam emisyonları % 50 azaltma vaadinin (Yüksek gelirli ülkeler % 80, düşük gelirli ülkeler % 25-30 azaltımda bulunacak) oldukça yüksek maliyetli olduğu için gerçekçi olmadığını belirtmişler, Uluslararası azaltım hedeflerini belirlerken Çin ve Hindistan'a daha makul hedefler verilmesinin ve yüksek hedeflerden kaçınılmasının mantıklı olacağını öne sürmüşlerdir.

Burniaux ve Martins (2012), emisyon yükümlülüğü olmayan ülkelerdeki "karbon kaçakları" (Carbon Leakages) sebebiyle diğer ülkelerdeki emisyon azaltım faaliyetlerinin etkisinin azalabileceğini ifade etmiştir. Yazar karbon kaçaklarının da hesaba katan iki bölgeyi iki mal grubunun olduğu, enerji girdisi olarak kömür, petrol ve düşük emisyonlu enerjinin kullanıldığını varsaydığı, uluslararası ticaret ve sermaye hareketliliğinin olduğu GD modeli ile analiz yapmıştır. Analiz sonucunda kömür arz esnekliğinin, ticarete konu olan mallar ile uluslararası sermaye hareketliliği arasındaki ikame esnekliğine göre çok daha kritik rol oynadığı ve üretim fonksiyonunun yapısının karbon kaçaklarının boyutunu hesaplamada önemli olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca karbon kaçaklarının miktarının küçük olduğu bu yüzden büyük ülke grupları (örneğin EK-1) tarafından uygulanan tek taraflı karbon azaltımı çabasının büyük miktardaki karbon kaçakları tarafından etkisizleştirildiği iddiasının desteklenmediği belirtilmiştir.

5.4. Türkiye Üzerine Yapılan İklim Değişikliği Modellerinin ve Projeksiyonlarının Analizi ve Literatür Taraması

Türkiye’de çevre-enerji-ekonomi modellemesine yönelik çalışma oldukça azdır. İklim değişikliğine yönelik Türkiye için yapılan çalışmaların bir bölümü geçmiş verileri kullanarak sera gazı emisyonlarındaki değişime neden olan faktörleri ve bu faktörlerin etkilerini hesaplamaya çalışan araştırmalardır (Karakaya ve Özçağ, 2003; Abduvaitov ve Eşrefoğlu, 2004; Lise, 2006). Yapılan çalışmalar, Türkiye’de geçmişten günümüze sera gazı emisyonlarının artışına kaynaklık eden en önemli faktörlerin ekonomik büyüme, yüksek enerji yoğunluğu ve etkisi azalmakla birlikte nüfus olduğunu belirtmişlerdir.

Türkiye’de SO₂ ve NO_x emisyonlarının²⁶ tarihsel gelişimini, yakıt türlerini ve özelliklerini dikkate alarak, ayrıntılı olarak hesaplayan kapsamlı bilimsel çalışmalar Taşdemiroğlu (1992) tarafından yapılmıştır. Taşdemiroğlu’nun hesaplamalarına göre 1960-1987 yılları arasında emisyon hacmindeki ortalama yıllık büyüme hızı SO₂ için % 5.3 , NO_x için % 5.5 olmuştur.

1995 yılında elektrik enerjisi üretiminden kaynaklanan emisyon hacmi Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü tarafından yapılan santral bazlı ayrıntılı çalışma

²⁶ SO₂ ve NO_x gazları sera gazı değildir fakat hava kirliliğine sebep olmaktadır.

sonucu 1055.6 bin ton SO₂ ve 140.2 bin ton NO_x olarak belirlenmiş (TEAŞ, 1996), bu sonuç Taşdemiroğlu'nun 1987 yılı için ulaştığı bulguların üçte birinin altında kalmıştır.

Yeldan vd. (1996) Türkiye için sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yaptıkları ilk çalışmada, çok sektörlü bir genel denge modeli ile alternatif politikaların emisyonlar üzerine etkisini hesaplamıştır. Yapılan çalışma, Kyoto Protokolü'nün olmadığı dönemde yapılmış olup, enerji vergisi uygulamasının 1987-2000 döneminde emisyonları % 9.3 oranında arttıracakını öngörmüştür.

Arıkan ve Kumbaroğlu (2001) enerji, ekonomi ve çevre alt modellerinin birleştirilmesinden oluşan bir genel denge modeli olan ENVEES modelinde SO₂ ve NO_x emisyon seviyelerine Avrupa Birliği çevre standartları doğrultusunda üst limitler verilmiş ve model çalıştırılarak bu limitlere uygun vergi miktarları belirlenmiştir. Analiz sonucunda emisyon vergilerinin ekonomiyi küçültücü bir şekilde etki ettiği ve GSYİH kaybının % 1.4 olduğu bulgusu elde edilmiştir. 2020 yılına gelindiğinde ise % 2.5 civarında GSYİH kaybı öngörülmüştür.

Kumbaroğlu (2003) çalışmasında genel denge modeli kullanarak (ENVEEM modeli) farklı vergi seçenekleri altında CO₂ dışı gazların emisyon azaltımının ekonomiye etkisini incelemiştir. Emisyon vergisi uygulamak yerine sülfür emisyonuna vergi koymanın dört kat refah kaybına neden olduğunu tespit etmiştir. Emisyonların azaltımı için çevre vergilerinin uygun bir araç olduğunu, bu vergilerin çevre kirliliğini azaltabileceğini, ve vergi gelirini arttırabileceğini göstermiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu (2005) verilerine göre 1999-2003 yılları arası yıllık ortalama CO₂ emisyon artış oranı % 3.2 olup, 2003 yılı emisyon değeri 235 milyon tondur. Uluslararası Enerji Ajansı ise biri sektörel olmak üzere iki farklı yaklaşımla 2003 yılı emisyonu 203 ve 204 milyon ton olarak hesaplamıştır.

Ocak vd. (2004) 2000 yılına ait emisyon değerini farklı bir yöntemle (IPCC yaklaşımı) araştırmış ve 226 milyon ton sonucuna ulaşmıştır (Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2000 yılı emisyonlarını 229 milyon tondur.

Şahin (2004) tarafından geliştirilen 15 sektörlü ve Türkiye'yi üç bölgeye ayıran TURCO modeli, alternatif politikaların etkisini ölçen bir Genel Denge modelidir. İklim değişikliğini önlemeye yönelik olarak oluşturulan senaryolarda, enerji vergisi ve

emisyon ticareti uygulamasının etkileri incelenmektedir. Yazarın çalışmasında, enerji vergisi uygulamasında iki ayrı senaryo yapmıştır. PN senaryosunda, üretim sürecinde yerli ya da ithal girdi olarak kullanılan enerji malı üzerine % 20 vergi uygulamıştır. PN-CN senaryosunda ise hem üretim hemde tüketim sürecinde kullanılan enerji üzerine % 20 vergi uygulamıştır. Çalışma Türkiye için emisyon ticareti uygulamasını modelleyen ilk ve tek çalışmadır. TURCO modeli EN senaryosunda, sektörel, bölgesel ya da ulusal ölçekte emisyon ticareti sisteminin kurulmasına imkan tanımıştır. Bu çalışmada, 1990 yılı emisyon seviyesine göre 2005-2008 dönemi arasında uygulanan alternatif politikaların etkilerini hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre; vergi uygulanması durumunda emisyon seviyesi PN senaryosunda 1990 seviyesinin % 3.34, PN-CN senaryosunda ise % 2.25 altında gerçekleşeceği öngörülmüştür. Türkiye genelinde emisyon ticareti uygulanması durumunda ise sera gazı emisyonlarının 2005-2008 dönemi içinde 1990 seviyesinin % 2.34 altında olacağı öngörülmüştür. Emisyon ticareti uygulamasında sadece ülke içindeki enerji şirketleri hesaba katılmış ve enerji ithaline yönelik herhangi bir permi sistemi uygulanmamıştır. Permi sistemi uygulanmadığı için emisyon ticaretinin etkisi düşük düzeyde kalmıştır. Analizde uygulanan alternatif senaryoların ekonomik maliyetleri ise oldukça düşük gerçekleşmiştir. Senaryolarda üretim azalışları % 0.49 ile en fazla PN-CN senaryoda, daha sonra % 0.15 ile EN senaryoda ve % 0.12 ile PN senaryoda yaşanmıştır.

Yeldan vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada ekonomideki emisyon salımı yoğun üretim sektörlerini 2002 yılı Girdi-Çıktı tablosundan toplulaştırarak 10 sektörlü, açık ekonomi çerçevesinde işleyen bir hesaplanabilir genel denge modeli tasarlamıştır. 2003 Sosyal Hesaplar Matrisi veri seti üzerine kurulmuş olan model 2006-2020 dönemini incelemektedir. Ölçeğe göre sabit getirinin varsayıldığı üretim fonksiyonu iki aşamalı olarak seçilmiştir. Birinci aşamada enerji türleri arasındaki teknolojik ilişki sabit ikame esnekliği (CES) fonksiyonu ile ikinci aşamada ise üretim faktörleri ikamesi Cobb-Douglas üretim teknolojisi ile belirlenmektedir. Nüfus artışı, özel ve kamu yatırımlarındaki değişme, toplam faktör verimliliği büyümesi modele dışsal olarak eklenmiş ve modele 15 yıllık ilerleyen dinamik bir yapı kazandırılmıştır. Hiç bir politika değişikliğine gidilmediği durumu gösteren referans senaryoda ekonominin 2003-2020 yılları arasında yıllık ortalama % 6 civarında büyüyeceği varsayılmıştır. Referans senaryo sonuçlarına göre 2010 yılına gelindiğinde (2003 sabit fiyatları ile) GSYİH toplam 544 milyar TL, 2012 yılında 606 milyar TL ve 2020 yılına gelindiğinde ise 952

milyar TL'ye ulaşacaktır. Büyüme trendine paralel olarak CO₂ emisyonları ise 2010 yılında yaklaşık 356 milyon ton, 2012 yılında yaklaşık 390 milyon ton ve 2020 yılında ise 656 milyon ton olacağı öngörülmüştür (Yeldan vd. 2006: 46-68).

2010 yılında gerçekleşen GSYİH'nın yaklaşık 1 trilyon TL olduğu düşünülürse yazarların 544 milyar TL öngörüsünün oldukça düşük olduğu ifade edilebilir. Ayrıca 2010 yılında Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonu yaklaşık 290 Mt CO₂e (Lulucf dahil) olarak gerçekleşmiştir. Yazarların 2010 yılı emisyon öngörüsü 356 Mt CO₂e 'dir. Ulusal Bildirim'de ENPEP modeli yardımıyla elde edilen enerji ve sera gazı projeksiyonlarının da bu şekilde yüksek çıktığı görülmektedir. Yeldan vd. (2006) daha sonra uyguladıkları alternatif politikaların 2006-2020 döneminde emisyonları ne kadar azaltabileceği ve emisyon azaltımının maliyetlerini incelemiştir. Analizde iki farklı önleyici politikaların etkileri incelenmiştir. Birinci grup senaryolarda vergi ve emisyon kotası uygulaması getirilmekte fakat bu uygulama ile birlikte emisyon azaltıcı bir çevre yatırımı yapılmamaktadır. İkinci grup senaryolarda ise vergi uygulamasının yanı sıra hükümet emisyonları azaltacak şekilde çevresel teknoloji yatırımlarına yönelmekte dolayısıyla düşük karbonlu üretim teknolojileri sayesinde emisyonlarda daha fazla bir azaltım sağlanabileceği varsayılmaktadır.

Teknolojik yatırımın olmadığı birinci grup senaryoların ilkinde öncelikle emisyon seviyelerinin azaltılmasına yönelik olarak referans senaryoda öngörülen miktarı baz alarak bu miktarın % 90, % 80 ve % 60 seviyesini aşmayacak şekilde doğrudan kota uygulamasının etkileri incelenmiştir. Doğrudan kotayı uygulamak için gerekli CO₂ vergi oranı model tarafından belirlenmektedir. Analiz sonuçlarına göre, böyle bir uygulama ekonomiye çok ağır yük getirmektedir. Oransal olarak % 90 ve % 60 kota uygulanması durumunda GSYİH'nın 2020 yılında kümülatif olarak doğrusal olmayan bir şekilde % 7.1 ve % 36.8 oranında azalacağı bulunmuştur. 2005-2020 dönemi GSYİH'daki kayıp yıllık bazda düşünüldüğü zaman % 2.3'lük kayıp anlamına gelmektedir (Yeldan vd. 2006: 47-48).

Çevre yatırımının olmadığı birinci grup senaryoların ikincisinde ise enerji girdilerinin üzerine uygulanan % 10 ve % 20'lik vergi uygulamasının sonuçları incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, % 10 ve % 20 enerji vergisi konulması durumunda CO₂ emisyonlarının 2020 yılında referans senaryo seviyesinden sırasıyla % 14.2 ve % 25.3 düşük olacağını göstermektedir. Enerji vergisinin % 10 olması

durumunda GSYİH’da görülecek azalmanın % 4.6 olacağı, % 20 olması durumunda ise % 7.4 olacağı öngörülmüştür. Analiz sonuçları ayrıca ekonomideki küçülmenin etkisiyle işsizlik oranlarında ciddi bir artış olacağını tahmin etmiştir.

İkinci grup senaryolarda ise daha aktif bir çevre politikası uygulanacağı varsayılarak CO₂ emisyonunda azaltım sağlayacak teknolojik yatırımlar ile CO₂ emisyonunun yılda % 5 azalma olacağı kabul edilmiştir. Yıllık GSYİH’nin % 1.5 değerinde kaynak gerektiren temiz teknoloji yatırımları, toplam sermaye birikimine ayrılacak kaynaklardan karşılanacaktır. Bu yatırımı sağlayacak iki farklı senaryo uygulamasında emisyon azaltım seviyesi ve ekonomik maliyetler hesaplanmıştır. Çevre yatırımlarının enerji vergisi ile finanse edilmesi durumunda CO₂ emisyonlarında önemli bir azaltım sağlanırken bunun yol açacağı ekonomik kayıplarda oldukça büyük olmaktadır. Eğer gerekli yatırımlar yabancı kaynaklarla gerçekleşirse, ekonomide önemli bir kayba yol açmadan emisyonların 2020 yılında % 4.9 civarında azalacağı bulunmuştur. Yeldan vd. (2006) çalışması, emisyon azaltıcı araç olarak enerji vergisinin karbon vergisinden daha etkin olacağını bulmuştur. Bu sonuç literatürdeki sonuçlardan farklılık arz etmektedir.

Şimdiye kadar incelenen modelleme yaklaşımlarında, iklim değişikliğini önlemek amacıyla ülkelerin alacağı emisyon azaltımının maliyetini hesaplarken uluslararası karbon fiyatı hesaba katılmadığı için maliyetlerin oldukça büyük çıktığı söylenebilir. Anlatılan modeller karbon piyasasının ana unsuru olan emisyon ticareti ve proje temelli esneklik mekanizmalarını hesaba katmamaktadır ve bundan dolayı bu modeller gerçek maliyetleri hesaplamada eksik kalabilmektedir. Türkiye’nin yukarıdaki çalışmaların öngördüğü gibi referans senaryonun % 40 altında olacak şekilde bir emisyon azaltım hedefi aldığını varsayalım. Bilindiği gibi, Kyoto Protokolü emisyon hedefine ulaşabilmek için ülkelere esneklik mekanizmalarından yararlanma hakkını vermektedir. Türkiye öncelikle % 40 emisyon azaltım hedefini tutturabilmek için içeride kendi politikalarını uygulayacaktır. Ancak belli bir aşamadan sonra emisyon azaltımının marjinal maliyeti karbon piyasasında oluşan fiyatlardan daha yüksek olmaya başlarsa bu durumda Türkiye karbon piyasasından gerekli olan miktar kadar emisyon kredisi satın alabilecektir. Türkiye’nin maliyetlerini azaltmak için CDM, JI kredisi ya da emisyon ticareti yoluyla karbon piyasasından emisyon açığını kapatmak en doğal hakkıdır. Kyoto Protokolü’ne göre bu mekanizmalardan faydalanmaya sınır

konulmamıştır. 2012 yılı Mart ayı CDM/JI CER/ERU kredilerinin ton başına fiyatı yaklaşık 9 Euro civarındadır. Türkiye'nin emisyonu 2009 yılında 287 Mt CO₂e'dir. Türkiye'nin % 40 azaltımı yaklaşık 114 Mt CO₂e'dir ve ton başına karbon 9 Euro olduğu için azaltımın değeri 1.026 milyon Euro ya da 2.565 milyon TL'dir. (Kur 2.5 TL alınmıştır) 2009 yılı GSYİH 952 milyar TL olduğu düşünülürse azaltım GSYİH'nın % 0.2'ine (binde iki) karşılık gelmektedir. Bu hesaplamalar doğrultusunda incelenen çalışmalarda % 2 civarında olan GSYİH kaybının oldukça yüksek olduğu aşıkardır. Çalışmalarda bulunan % 2'lik kaybın değeri 19.02 milyar TL olup karbon değeri yaklaşık 846 Mt CO₂e'dir. Türkiye 2009 yılı 287 Mt CO₂e olan emisyonunu 6.5 milyar TL (GSYİH'nın % 0.6'sı) ödeyerek binde altılık refah kaybı ile kapatabilir. Görüldüğü gibi her durumda % 2'lik kayıp oldukça yüksektir ve modellerin karbon piyasasını hesaba katmadığı durumda çok ciddi maliyet hesaplaması yanlışlığına gidilebilmektedir. Karbon piyasasının olduğu durumda yapılan maliyet hesaplaması, karbon fiyatını esas almayan yüksek maliyetlerin oldukça altındadır. 1. Ulusal Bildirim olarak UNFCCC'ye gönderilen raporda resmi projeksiyonları hesaplayan ENPEP modeli de emisyon ticaretini hesaba katmamaktadır. Bu nedenle benzer değerlendirmeler ENPEP sonuçları içinde geçerli olacaktır.

Türkiye'nin geleceğe yönelik enerji ve sera gazı projeksiyonlarını uzun zamandır resmi statü ile Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik Üretim Anonim Şirketi ve Amerika Merkezli Argonne Ulusal Laboratuvarı birlikte ENPEP modeli yardımıyla hazırlanmaktadır. En son UNFCCC'ye sunulan Birinci Ulusal Bildirim içinde yine ENPEP modelinin 2020 yılına kadar öngördüğü projeksiyonlar kullanılmıştır. ENPEP Modelinin kullanımı şu şekildedir; öncelikle Türkiye'nin genel enerji ve elektrik talebi ENPEP'in bir modülü olan MAED modeli ile tahmin edilmektedir. MAED geçmiş yıllardaki tüketimle ilgili istatistiklere ve ülkenin nüfus, ekonomi ve sosyal gelişimi ile ilgili beklentilere göre Türkiye'nin enerji talebini hesaplamaktadır. Sonraki aşamada MAED'in elde ettiği sonuçlar temel modül olan BALANCE tarafından kullanılarak ülkenin enerji ve ekonomi sisteminin genel arz ve talep dengesi ortaya çıkartmakta ve sera gazı emisyonlarını hesaplamaktadır. Ulusal Bildirim için yapılan projeksiyonlarda 2005-2020 yılları arası analiz edilmiş ve baz yıl olarak 2003 alınmıştır.

Birinci Ulusal Bildirim için sunulan projeksiyonlarda ilk önce herhangi bir önlemin alınmadığı mevcut işleyişin devam ettiği durumu öngören “referans senaryo” belirlenmiştir. Referans senaryo’nun MAED ve BALANCE modülleri için varsayımları şöyledir. Devlet Planlama Teşkilatı’nın resmi rakamları baz alarak ekonomik büyümenin gelecek 15 yıllık süreçte ortalama % 6 civarında olacağı, nüfusun ise 2010 yılında % 1.4 artacağı, daha sonra bu artışın azalarak 2020 yılında % 1 artışla 87.7 milyona ulaşacağı öngörülmektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2007). Enerji sektörüne yönelik varsayımlarda yine resmi rakamlar hesaba katılmakta, ayrıca artan enerji talebinin (özellikle elektrik sektörü) maliyeti az olan linyit ve taşkömüründen karşılanacağı varsayılmaktadır. Baz alınan referans senaryo’da, birincil enerji arzı (TPES) toplamının 2005 yılında 92 milyon ton petrol eşdeğeri (mtpe) iken bu rakamın yıllık ortalama % 6.1 artış ile 2020 yılında 223 mtpe’ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2005 yılında enerji ihtiyacını karşılarken kömür (liniyit ve taşkömürü) % 29, petrol % 37, doğal gaz % 22, su kaynakları % 4 ve diğer yenilenebilir enerji % 8 oranında kullanılmıştır. 2020 yılına gelindiğinde ise enerji kaynağı olarak kömür % 37, petrol % 27, doğal gaz % 23, su kaynakları % 4, diğer yenilenebilirler % 5 ve nükleer enerji % 4 oranında kullanılacaktır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2007).

Türkiye’nin sera gazı emisyonu projeksiyonu Ulusal Bildirim içinde yer almamıştır fakat, sera gazları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Karbondioksit emisyonları için yapılan projeksiyonlara göre, Türkiye’nin CO₂ emisyonları 2003-2020 yılları arasında ortalama % 6.3 yıllık artış gösterecek ve 2020 yılında emisyonlar 604.63 Mt CO_{2e} seviyesine ulaşacaktır. Bu artışın en önemli nedeni elektrik sektöründe yaşanan hızlı talep artışı ve bu talebin linyit ve kömürle karşılanmasıdır. Elektrik sektöründen kaynaklanan emisyonlarda görülen % 7.1 gibi hızlı bir artış sonucu bu sektörün toplam emisyonlar içinde 2003 yılında % 32 olan payı 2020 yılında % 37’ye yükselmiştir. Alternatif senaryoda ise 1500 MW kapasiteli 3 ünitenin kurulması öngörülmekte ve karbondioksit emisyonları 2020 yılına gelindiğinde referans senaryo sonucuna göre ortalama % 12 azalma gösterecektir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2007).

ENPEP modelin referans senaryosu ve alternatif senaryonun bulmuş olduğu emisyon sonuçları oldukça yüksek olması karar vericileri yükümlülük alma konusunda endişeye sevk etmiştir (Karakaya, 2007b). Günümüze kadar yapılan tahminler (nüfus vb.) genellikle, gerçekleşen değerlerden daha yüksek çıkmaktadır. Bunun sonucunda,

MAED modelin Türkiye için bulunan sonuçları geleceğe yönelik enerji talebi projeksiyonu yapan tüm ekonometrik çalışmalardan daima yüksek çıkmaktadır (Ediger ve Akar, 2007; Ediger ve Tatlıdil, 2002; Hamzaçebi, 2007; Ceylan ve Öztürk, 2004, Ercan, 2004). Bu parametrelere göre öngörülen enerji talebi sonucu yüksek çıktığı için, CO₂ emisyonu tahminleri de yüksek çıkmaktadır. Bundan dolayı, sürekli olarak tahmin edilen yıl yaklaştıkça emisyon beklentisi aşağıya doğru revize edilmektedir (Karakaya, 2007b). Varsayımlarda diğer bir konu ise doğal gaz kullanımının sınırlı tutulmasıdır. Doğal gaz fosil yakıtlar içinde en az CO₂ salımı yapandır, bu nedenle bir çok Avrupa Birliği ülkesinin gelecek projeksiyonlarında doğal gaz kullanımının artacağı öngörülmüştür (European Commission, 2006). Türkiye'nin şimdiye kadarki emisyonlarının daha da hızlı artmamasının temel nedenlerinden biri artan miktarda doğal gaz kullanımınıdır. Türkiye'nin en önemli enerji politikalarından bir tanesi özellikle doğal gaz konusunda önemli bir enerji merkezi ve koridoru olmaktır. Enerji jeopolitiğinin sunduğu avantaj sayesinde ucuz enerji sağlayabileceği söylenebilir. Kömür yerine doğalgaz kullanımı da emisyonları azaltacaktır.

ENPEP modeli genellikle AB dışı gelişmekte olan ülkelerde kullanılırken, PRIMES modeli AB'nin ve Türkiye'nin resmi enerji ve sera gazı emisyonları projeksiyonlarını yapmaktadır. 2030 yılına kadar Avrupa ülkelerinin enerji ve emisyon tahminlerini yapan PRIMES modeli uluslararası farklı enerji fiyatlarının tahmini değerlerini ise yine bir Avrupa Komisyonu modeli olan ve küresel ölçekte dünya enerji sistemini modelleyen POLES modelinden almaktadır. PRIMES modeli ENPEP modeline paralel şekilde Türkiye'nin nüfusun artış hızının gidecek azalacağını ve 2030 yılına geldiğinde bu artış hızının % 0.8 olacağını öngörmüştür. Ekonomik büyüme tahmininde ulusal bildirimde benzer olarak, 2000-2010 döneminde ekonomi % 4.2, 2010-2020 döneminde % 6, 2020-2030 döneminde % 6.1, 2000-2030 döneminde ise ortalama % 5.4 olacağı tahmin edilmiştir (European Commission, 2006).

PRIMES modelinin Türkiye'nin enerji talebi tahmini ulusal bildirimde öngörülen tahminlerden oldukça farklıdır ve Türkiye'nin enerji talebinin 2000-2030 döneminde incelenen 30 Avrupa ülkesi içinde en hızlı artışla yıllık ortalama % 3.2 oranında büyüyeceği öngörülmektedir. PRIMES modeli nükleer enerjinin ancak 2025 sonrası mümkün olacağını ve kömür kullanımında ise 2010 yılına kadar bir artış olmayacağını, 2010-2020 döneminde % 2.4, 2020-2030 döneminde ise % 2 oranında

artış olacağını tahmin etmektedir. Enerji üretiminde doğal gaz kullanımı ise 2010 yılına kadar % 7.6 oranında artarken bu artış hızı daha sonraki iki dönemde % 4 civarında olacaktır (European Commission, 2006). Ulusal bildirimdeki projeksiyonlardan farklı olarak, doğal gazın toplam enerji tüketimi içindeki payı 2010-2020 ve 2020-2030 dönemlerinde artarken, kömürün payı aynı dönemlerde azalmaktadır.

Ulusal bildirimlerden farklı enerji öngörülleri sonucunda, PRIMES modelinin referans senaryo için öngördüğü karbondioksit emisyonları da ulusal bildirimde ENPEP modelin öngördüğü değerlerden daha düşüktür. PRIMES modelinin karbondioksit emisyonları 2010, 2015 2020, 2025 ve 2030 yılları için sırasıyla 249.1, 299.1, 363.0, 421.4 ve 495.5 milyon ton karbondioksittir (European Commission, 2006). ENPEP modelinin 2020 yılı 604 Mt CO₂e olan emisyon öngörüsü PRIMES'in öngördüğü 363 Mt CO₂e değerinden oldukça fazladır. PRIMES modelin bu öngörüü yaparken Türkiye'de ilgili dönem içinde nükleer enerji kullanımı olmadığı varsayımı düşünülürse emisyon daha da azalacaktır. ENPEP ve PRIMES modelleri enerji sektörünü ve teknolojiyi temelden yukarı yöntemle ayrıntılı olarak modelleyebilmesine rağmen enerji ve sera gazı projeksiyonlarında geleceğe yönelik parametreler için kullanılan değerler sonuçları değiştirebilmektedirler. Geçmiş yıllarda modellerin öngörülleri ve gerçekleşen değerler gözönüne alındığında, PRIMES modelin kullandığı varsayımların daha gerçekçi olduğu söylenebilir.

Karali, (2006) CO₂ emisyonu üzerine yaptığı genel denge modeli tek sektörlüdür. Model ile referans senaryosunun yanı sıra çeşitli CO₂ emisyonu kısıtları içeren senaryolar eşliğinde enerji-ekonomi dengelerindeki değişimler incelenmiştir. Analizde, emisyon kısıtları arttıkça tüketiciler fosil yakıtları daha az tüketileceği ve ekonominin küçüleceği öngörülmüştür. Emisyonları 2000 yılı seviyelerine sınırlayan senaryoya göre, emisyon seviyelerindeki düşüşle beraber GSYİH'da ortalama % 22 seviyesinde önemli bir kayıp olacağı bulgusu elde edilmiştir. Bu modelin 2005-2020 dönemi için öngördüğü elektrik enerjisi kaynaklı CO₂ emisyon artış oranı % 82.2 olmuş, elektrik dışındaki sektörleri de içeren toplamda ise % 69.2 oranında bir artış kaydedilmiştir. Birinci Ulusal Bildirim'de ise beklenen artış oranları elektrik kaynaklı emisyonlar için % 171.4, toplam içinse % 151.2 olarak verilmiştir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2007).

Kumbaroğlu vd. (2008) çalışmasında bir enerji sektörü optimizasyon modeli kullanılarak temelden yukarı yaklaşım ile elektrik üretimi kaynaklı CO₂ emisyonlarını yenilenebilir enerji teknolojilerinin adaptasyonuna yönelik farklı senaryolar altında incelenmiştir. 2005-2020 dönemi için elektrik üretimi kaynaklı toplam emisyon artışı % 63.8 olarak bulmuştur. Bu artış hızı Birinci Ulusal Bildirim’de (2007) referans senaryo kapsamında aynı dönem elektrik üretimi kaynaklı emisyon projeksiyonlarının öngördüğü % 171.4 artış değerinin yarısından daha düşük bir düzeydedir.

ALTINCI BÖLÜM

HESAPLANABİLİR GENEL DENGİ MODELİ

6.1. Genel Denge Teorisi ve Tarihçesi

İktisat literatüründe ekonomik denge teorisi ile ilgili olarak, Alfred Marshall'ın öncülük ettiği kısmi denge yaklaşımı ve Leon Walras'ın çalışmalarına dayanan genel denge yaklaşımı olmak üzere iki önemli yaklaşım bulunmaktadır (Aydın, 2007: 8). Kısmi denge tek bir piyasanın incelendiği, bu piyasanın diğer piyasalarla olan ilişkisinin gözardı edildiği (*ceteris paribus*) bir analiz şeklindedir (Ünlükaplan, 2006: 36). Genel denge analizinde ise ekonomideki mallar, üretim faktörleri, miktar ve fiyatların eşanlı olarak belirlenmesini amaç edinir. Genel denge analizinde; tüketici ve üreticilerin rasyonel davranacağını varsayarak, tüketicilerin maksimum fayda, üreticilerin maksimum kar elde ettiği ve arzın talebe eşit olduğu bir fiyat düzeyi kabul edilir (Arrow, 1974: 258). Diğer bir ifadeyle Neoklasik maksimizasyon bağlamında genel denge, bütün tüketicilerin bütçe kısıtı altında en çok fayda elde ettikleri, bütün üreticilerin maksimum kar sağladıkları, üretim ve kaynaklarla talebin tamamen karşılandığı bir durum ve bu durumu gerçekleştiren bir fiyatlar seti olarak tanımlanmaktadır (Bulutay, 1979: 71). Genel denge analizi, eşanlı doğrusal olmayan denklem sistemlerinden oluşur. Genel denge modellerinde, ekonomideki kaynaklar atıl bırakılmaz ve kaynaklar etkin tahsis edilir (Scarf, 1990: 378).

İktisat literatüründe genel denge analizinin temelleri Fizyokrasi'nin kurucusu Quesnay'a kadar dayanmakla birlikte genel dengeyi ekonominin tüm birimlerini içerecek şekilde ilk defa modelleyen Walras olmuştur. Walras ekonomiyi, tüketicilerin mal taleplerinin üreticilerin arzına eşit olacak şekilde denge koşulunu ifade eden eşanlı denklem sistemleriyle ifade etmiştir ve ortaya çıkan bu eşanlı denklemler setinin çözümü üzerinde durmuştur. Genel dengenin varlığının ispatlanabilmesi için öncelikle, sistemin tamamlanması için kaç tane denklem gerektiğini belirleyerek modeli bir denklem sistemi şeklinde ifade etmektir (Koutsoyiannis 1997: 535). Walras, eşanlı denklemler setinin çözümü için gerekli ama yeterli olmayan koşul; bilinmeyen sayısının denklem sayısına eşit olması ilkesinden yola çıkarak mallarda birinin fiyatının diğer bütün mal fiyatları cinsinden ifade edilebilecek bir ölçü olarak kabul etmiş ve bunu “numeraire” olarak isimlendirmiştir. Böylece çözümün olabileceğini ortaya atmıştır.

Genel denge analizini, ilk kez 1874 yılında ortaya atan Leon Walras, genel dengenin varlığını kanıtlayamamıştır. Tüm piyasalarda arz ve talepleri eşitleyen bir fiyatlar bütünü varlığını kanıtlamak yaklaşık yüzyıl sürmüştür. Konunun iktisat teorisi çerçevesinde incelenmesi ve kanıtlama konusunda önemli gelişmeler ve 1950’lerde Neuman (1946), Arrow ve Debreu (1954), Wald (1951), McKenzie (1954), Gale (1955)’in katkılarıyla olmuştur.

Çok sektörlü “Hesaplanabilir Genel Denge” (HGD) modelleri genel olarak, bir ekonominin üretim, tüketim, gelir dağılımı, yatırım ve dış ticaret ilişkilerini makro anlamda bütüncül olarak tasarlayan, Walrasgil eşanlı bir denge sistemi olarak tanımlanabilir (Derviş vd., 1982). Ekonominin temel yapısal özelliklerini yansıtan bu sistem, alternatif sosyo-ekonomik politikaların olası sonuçlarının analiz edileceği bir tür “iktisadi laboratuvar” işlevi görerek, klasik girdi-çıktı ve makro-ekonomik modellere tamamlayıcı nitelikte bir model oluşturur (Köse ve Yeldan, 1996: 59-60). Hesaplanabilir Genel Denge (HGD) Modeli Neo-Klasik mikroekonomik teorinin geniş ve pratik uygulamasını temsil eder ve iklim değişikliği politikaları analizinde kullanılan “top-down” (tepeden aşağı) modelinin temel değişkenidir. HGD modeli 1980’lerden beri bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve özel matematik yazılımlarının programlamayı ve uygulamaları kolaylaştırması sayesinde geniş bir şekilde kullanılmakta ve kullanımı giderek artmaktadır. HGD modeli artık kişisel bilgisayarlarda uluslararası ekonomi, vergi ve kamu maliyesi, ekonomik kalkınma ve özellikle çevre politikaları analizlerinde kullanılabilmektedir.

Basit bir HGD modelinin şeması ekonomide gelir akım döngüsüyle Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Şekilden izlenebileceği gibi hane halkları üretim faktörlerini firmalara kiralar ve gelir elde eder. Firmalar da mal ve hizmet üretmek için bu üretim faktörlerini kullanır ve bu malları hane halkına satarak gelir elde ederler.²⁷ Şekil 6.1 ekonomideki fiziksel ve parasal akımları göstererek, basit bir ekonomideki denge kavramını gösterir. Bu ekonomide varsayımımız firmalar tarafından üretilen tüm mallar hane halkı tarafından tüketilmelidir.

²⁷ HGD modelinde firmalar birçok farklı girdi kullanarak, birçok farklı mallar üretebilirler. Farklı tüketim tercihleri olan farklı ekonomik birimler olabilir ve bu birimler farklı üretim faktörleri sunabilir. Örneğin kamu vergi toplar, hizmet sunar ya da yabancı birim ithalat malı arz eder ve ihraç malları talep edebilir. İklim değişikliği bağlamında düşündüğümüz zaman atık döngüsü şöyle tasvir edilebilir: Çevreden, doğadan ham madde akımı vardır ve bunların atıkları tekrar doğaya döner.

Şekil 6.1: Ekonomide Akım Döngüsü



Üretilen malların miktarı tüketilen mallara eşit olmalıdır. Benzer şekilde hane halkı tarafından arz edilen tüm üretim faktörleri firmalar tarafından kiralanmalı ve kullanılmalıdır, kullanılmayan üretim faktörü dengeye konulmamalıdır.²⁸ Bu *piyasanın dengelenmesi* (market-clearance) şartıdır ve piyasada toplam mal ve faktör arzının talebine eşit olduğunu ifade eden ekonomide genel bir terimdir. Aynı zamanda bu durum Şekil 6.1’de kapalı ekonomi için şunu ifade eder; firmaların mallarını satarak elde ettiği gelirin tamamını hane halkından üretim faktörleri temin etmek için harcarlar. Bu şekilde ekonomik sistemde değerler korunur ve kayıplar olmaz. Bu şart aynı zamanda “*sıfır kar şartı*” olarak ta bilinir ve ekonomideki tüm firmalar için geçerlidir. Benzer durumda hane halkıda gelirlerinin tamamını firmaların ürettiği malları almak için harcarlar fakat firmalar malların bir kısmını tasarruf edebilir. Bu şart “*bütçe dengesi şartı*”dır.

Ekonomideki tüm firmalar, hane halkları ve birimler için yukarıda bahsedilen üç şart sağlanırsa ekonomide “*genel denge*” olarak ifade edilir. HGD modeli fiyat çözümlemesi yapmak için bu üç şartı kullanır ve genel denge ile tutarlı olarak kaynakları tahsis eder.

HGD kullanımının faydası tutarlı olması, teori temelli yapıda olması ve değişik piyasalar arasındaki ekonomik ilişkiyi yakalayabilme yeteneği ve modelleyebilmesidir. Herhangi bir sektördeki firmanın üretim politikası piyasa dengesini, hem firma tarafından üretilen mal piyasasındaki dengeyi etkileyerek hem de diğer firmaların faktör talebini değiştirerek etkileyebilir. Sırasıyla talepteki ve çıktıdaki bu değişimler kademeli olarak diğer piyasalarda değişime sebep olur. Tek piyasaya yoğunlaşan kısmi denge

²⁸ Uyarlanmış HGD modelinde iş piyasasındaki işsizlik gibi kullanılmayan üretim faktörleri modelde açıklanabilir.

yaklaşımında, bu bağlantılar kaybolduğu için tek firmanın üretim politikasının etkisi tamamiyle analiz edilemez.

İklim değişikliği politikalarının analizinde tüm birimleri ilgilendiren genel denge analizinin kullanılması özel bir öneme sahiptir. Ekonomide her tür faaliyette sera gazı emisyonu üretilir. Ayrıca büyük piyasa temelli iklim değişikliği politikalarının bazı sektörlerdeki ekonomik etkisi daha çok olabilir. Verilen bir sektör üzerindeki etkisi doğrudan veya dolaylı olarak diğer sektörler ve ekonomideki diğer birimlere yayılabildiği için, kısmi denge modelinin HGD modeline göre kullanılabilirliğinin azalacağı aşıkardır.

Bununla birlikte HGD modelinin diğer modellere göre dezavantajları olabilir, fakat bu dezavantajları göz ardı ederek, birçok üstünlüğü de olduğu için analizimizde kullanacağız.

HGD modelinin en temel dezavantajı çözümlemede kalibrasyon sürecinin gerekliliğidir.²⁹ Öncelikle ekonomideki birimlerin teknolojileri ve üstünlükleri tanımlanarak fonksiyonel olarak ilişkilerinin genel formu tanımlanmalıdır. Çoğu HGD modelinde kısıtlanmış fonksiyon formu kullanıldığı için, elde edilen model sonuçlarını da sınırlayabilir (McKitrick, 1998).³⁰ HGD modelinde ekonomik birimlerin ilişkileri fonksiyonlar yardımıyla ifade edildiği için, bu ilişkiler sayısal olarak yazılmalıdır. Bu süreç her ikisi de model sonucunu etkileyebilen iki aşamalı bir süreçtir. Öncelikle modelin temelini oluşturan baz alınacak referans yılı veri seti alınmalıdır. Baz yılı ekonomide verilen yıldaki tüm işlemleri ve ekonomik ilişkileri modellemelidir. Referans yılının seçimi referans verileri fonksiyonel ilişkilerle bağlar. Bu referans veri seti ile modelin kurulumu tüm piyasalarda denge durumunu ifade ettiği varsayılır. Gerçekte ekonomi sürekli düzenlemeler ve uyum sürecindedir.

İkinci aşamada referans seçilen dengeden uzaklaşan ekonomik birimlerin esnekliğini ifade eden parametrelere kalibrasyon süreci gerekmektedir. Ampirik literatüre dayalı bu parametreler seçilirken, pratikte ampirik tahminler genelde uyarlanmış modele uyumlu değildir bu yüzden parametreler keyfi seçilebilir ve modelin

²⁹ Bazı HGD modelleri kalibre edilmeden tahmin edilmektedir ve böylece eleştiri söz konusu olmamaktadır (McKitrick, 1998; Jorgenson and Wilcoxon, 1990). Bununla birlikte bu süreç modele uyarlanmış kalibrasyon sürecinden çok daha karmaşık yoğun veri çalışması gerektirmektedir.

³⁰ Kısıtlanmış fonksiyon formu olarak Cobb- Douglas fonksiyonu düşünülürse emek ve sermaye girdileri arasındaki ikame esnekliği 1'e eşit olmalıdır.

sonuçlarına göre düzenlenebilir. Anahtar parametrelerin ampirik tahminleri mümkün olmasına rağmen, eski verilerden elde edilen benzer parametrelerin gelecekte de geçerliliğini koruyacağı garanti edilemez (Norton vd., 1998).

Kalibrasyona ilişkin konulara ek olarak özellikle iklim ve enerji politikaları bağlamında HGD modeli teknoloji ve teknolojideki değişimleri modelde nasıl temsil edeceği ile ilgili olarak eksik kalabilmektedir. HGD modelinde teknoloji üretim fonksiyonu aracılığıyla bir bütün ve standart olarak temsil edilir. Bu varsayım girdi ve çıktı arasındaki basit bir ilişkiyi ifade eder ve girdiler arasında ikame derecesini yakalamak için ikame esnekliğini kullanmak yerine belli teknoloji düzeyinin bir özetidir. Bu yaklaşımda birkaç sorun ortaya çıkabilir. İlk olarak, ekonomistler genellikle enerji ve iklim dışsallıklarını çözme konusunda ilk en iyi yaklaşım üzerinde hemfikir olmalarına rağmen, politik zorunluluklar genellikle karar vericileri sübvansiyon veya resmi yetki gibi teknoloji tabanlı politikalara zorlar. Bunun gibi politikaları üretim fonksiyonunu kullanarak ifade etmek zordur. İkinci olarak üretim fonksiyonu girdi miktarı ve nispi fiyatları arası ilişkiyi basitçe ifade eder. Bunlar nispi fiyat değişiminden kaynaklanan ani artışları yakalamada başarısızdır. Örnek olarak bir teknolojinin rekabete dayalı olmanın ötesinde “taşma noktası” na ulaşması gibi. Üçüncü olarak üretim fonksiyonu ekonomist olmayanlar için daima şeffaf değildir. Bu durum da model detaylarını politika yapıcılara anlatmayı zorlaştırır. Artan bu zorluklar HGD çalışanları teknoloji değişkenini modelden ayrı tutmaya itmiştir (Böhringer, 1998).

Bu konuların yanı sıra bir başka zor konu HGD modellerinin karmaşık oluşudur. Ekonomik birimler ve çeşitli piyasalar arasındaki bağlantıları tam olarak tespit etmek ve sonuçlarını yorumlamak zor olabilmektedir. Bu yüzden HGD modelini eleştirenler modeli “kara kutu” (black boxes) olarak adlandırmışlardır. HGD modelini ve özelliklerini tespit etmenin zaman alıcı olduğunu belirtmiş, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin sonuca ulaşmayı kolaylaştırırsa da çözümlenemeyen kısımların kara kutu olarak kaldığını ve yazarın sonuçları sezgisel olarak çoğu zaman açıklayamayacağını belirtmiştir (Sue- Wing, 2004’den aktaran Panagariya ve Duttagupta, 2001).

Genel dengenin aksine, kısmi denge modelinde bazı değişkenlerdeki değişimin sebep olduğu sonuçlar kolayca tanımlanabilir, çünkü analiz edilen piyasa zaten diğer piyasalardan izoledir ve başlangıç denge koşulları sadece dışsal şoklarla bozulabilir. Bu bilgiler ifade eder ki sayede birbiriyle ilişkili piyasaların birbirleriyle olan gerçek

bağlantılarını analiz etmek HGD modelinin bir güçlüğüdür. Bu yüzden HGD sonuçlarını yorumlarken bu zayıflıkları göz önünde tutmak gerekli olacaktır.

İlerleyen bölümde HGD modelinin bu zorluklarını daha iyi analiz etmek ve “kara kutu” olarak adlandırılan HGD’yi aydınlatabilmek için iki sektörlü, iki mal üretilen basit bir ekonomide HGD analizi yapılacaktır. Bu basit ekonomi analizi sayesinde hem HGD analizi daha kolay anlaşılacak hem de ileride yapılacak çok sektörlü analiz için bir model olacaktır. Bu bölümde HGD modelinin anlatımında Rutherford ve Paltsev (1999), Rutherford (1995, 1999), Paltsev (2004), Bergman (2004), Sayan (1994) ve Yeldan vd. (2006) çalışmalarından faydalanılmıştır.

HGD anlatımında önce ekonomik birimlerin (firmalar ve hanehalkları) davranışları analiz edilecek ve ekonomik birimlerin davranışları toplam ekonominin genel dengesini nasıl etkilediği incelenecektir. Daha sonra modelimiz referans (Benchmark) dataya göre kalibre edilecek ve uyguladığımız ekonomik politika/senaryo sonuçları yorumlanacaktır.

6.2. Hesaplanabilir Genel Denge Modelinin Analizi ve İşlemleri³¹

Bu kısımda firmalar üretim için hangi girdileri seçtiği, tüketicilerin tüketmek için hangi malları seçtiğinin cebirsel hesaplamaları yapılacaktır. Hesaplamalar yapılırken birbirleriyle ilişkili olan firmaların, tüketicilerin ve piyasaların davranışlarına ilişkin varsayımlar verilecektir.

Analizlerimizde firmaların ve tüketicilerin seçim yaparken rasyonel davrandığını varsayıyoruz. Tüketicilerin tercihleri bütçe kısıtı altında hem faydalarını maksimum yapacak malları seçecek şekilde tamamlayıcıdır, hem de geçişkendir. Yani X malını Y malına, Y malını Z malına tercih ediyorsa, X malını Z malına tercih eder. Firmalarda karının maksimum yapacak şekilde girdi ve çıktı seçimi yaparlar (Mas–Colell vd., 1995). Tüketiciler daima bir üst fayda dilimini tercih etme eğiliminde olacaktır. Tüketicilerin gelirlerinde ve fiyatlarda aynı oranlarda artış olduğu zaman talebi değiştirmeyecektir (sıfır dereceden homojenlik şartı). İkinci varsayımımız piyasalar rekabetçidir yani her bir farklı malda tek bir fiyat geçerlidir ve tüketiciler ve üreticiler

³¹ 2x2’lik modelin çözümlemesi Rivers (2011) ve Sayan (1994)’ten faydalanılarak yazar tarafından yapılmıştır.

fiyatları sabit kabul eder. Üçüncü olarak firmalar ölçeğe göre sabit getiri ile üretim yapar. Yani girdiler iki kat artarsa çıktılar da iki kat artacaktır.

Sonraki kısımda ise basit bir HGD modeli kullanılarak, HGD modelinin oluşturulması kalibrasyonu ve çözümü yapılacaktır. Model HGD modellerinin anlaşılabilmesi amacıyla özellikle iki temsili üretici (firma) ve tüketici (hane halkı) seçilerek yapılmıştır. Analizde firmanın enerji yoğun ve enerji yoğun olmayan şekilde üretim yapması tanımlanarak, enerji politikalarının analizinin basit modellemesi yapılacaktır. Kullandığımız basit model HGD'yi anlayabilmek için birçok kaynakta anlatılan giriş niteliğinde somut bir örneklem olup birçok denklem ve notasyon gerektiren HGD'nin minimize edilmiş şeklidir.

6.2.1. Firmalar (Üreticiler)

Modelde firmalar hane halkının tüketeyeceği kadar girdileri ürüne dönüştüren ekonomik birimlerdir. Gerçek dünyada firmalar üretim için keyfi sayıda üretim faktörleri ve keyfi miktarlarda ara girdi kullanmakta ve nihai malı üretmektedir. Modelde her bir firmanın iki üretim faktörü kullanarak tek mal ürettiği varsayılacaktır (Geleneksel HGD modellerinde de bu şekilde varsayılır). Analizimizde özel olarak firmanın üretim için işgücü ve sermaye kullandığını varsayıyoruz.

Firmaların üretim miktarı ve üretim faktörleri arasındaki ilişkiyi Cobb–Douglas fonksiyonu yardımıyla tanımlarsak:

$$Q_X = T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X} \quad (6.1)$$

Denklemden Q temsili X firmasının üretim miktarını, T_X teknoloji düzeyini, K_X firmanın kullandığı sermaye miktarını, L_X ise firmanın kullandığı işgücü miktarını vermektedir³² ve denklemden α_X ise parametredir. Bu parametre üretimde sermaye ve işgücü arasındaki ikamenin derecesini gösterir. Analizimizde iki firma olduğunu ve farklı mallar ürettiğini varsayıyoruz. İkinci firma olan Y firması içinde üretim fonksiyonunu benzer şekilde yazabiliriz:

$$Q_Y = T_Y K_Y^{\alpha_Y} L_Y^{1-\alpha_Y} \quad (6.2)$$

³² L_X ve K_X firmaların kar maksimizasyonu için seçtiği üretim faktörleridir.

Her bir firmanın girdi ve üretim miktarını belirlerken kar maksimizasyonu yaptığını varsayıyoruz. Ayrıca firmalarımız hiçbir girdi ve çıktı fiyatlarından etkilenmeyen çok sayıda küçük firmayı temsil etmektedir ve piyasa fiyatını değiştirememektedir yani fiyatı veri olarak almaktadır. Verilen bu varsayımlar altında firmaların talep edeceği girdi miktarını belirlemek mümkündür. X firmasının karı için gelirlerinden maliyetlerini çıkararak kar maksimizasyonunu yazarsak:

$$\pi = P_X Q_X - (wL_X + rK_X) \quad (6.3)$$

Burada P_X ; firmanın X malının fiyatını, w firmaların işgücüne ödenen ücreti, r firmaların sermaye kullanımı için ödediği kira miktarını belirtir. Denklem (6.3)'te Q_X yerine denklem (6.1)'deki değeri yazılırsa:

$$\pi = P_X T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X} - (wL_X + rK_X) \quad (6.4)$$

Denklemini elde edilir. Kar maksimizasyonu için firmanın kar denkleminin K_X ve L_X 'e göre türevleri alınarak sıfıra (0) eşitlenirse:

$$\frac{\partial \pi}{\partial K_X} = \alpha_X P_X T_X K_X^{\alpha_X-1} L_X^{1-\alpha_X} - r = 0 \quad (6.5)$$

Denklem (6.5)'in her iki tarafı K_X ile çarpılıp bölünürse ve r denklemden elde edilirse:

$$\frac{\alpha_X P_X T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X}}{K_X} = r \quad (6.6)$$

bulunur. Benzer şekilde denklem (6.4)'ün L_X 'e göre türevi alınarak sıfıra eşitlenirse:

$$\frac{\partial \pi}{\partial L_X} = (1 - \alpha_X) P_X T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{-\alpha_X} - w = 0 \quad (6.7)$$

Denklem (6.7)'in her iki tarafı L_X ile çarpılıp bölünürse ve w denklemden elde edilirse:

$$\frac{(1-\alpha_X) P_X T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X}}{L_X} = w \quad (6.8)$$

bulunur. Denklem (6.6) ve (6.8) oranlanırsa:

$$\frac{\alpha_X L_X}{(1-\alpha_X) K_X} = \frac{r}{w} \quad (6.9)$$

bulunur ve bu oran işgücü ve sermaye arasındaki Marjinal Teknik İkame Oranını–MTİO-(Marginal Rate of Technical Substitution–MRTS) verir ve bu oran girdi fiyatları oranına eşittir. Denklem (6.1)’i

$Q_X = T_X K_X^{\alpha_X} \frac{L_X}{L_X^{\alpha_X}}$ şeklinde ifade eder ve işgünün sermayeye oranı bulunursa:

$$\frac{L_X}{K_X}^{\alpha_X} = \frac{T_X L_X}{Q_X} \quad (6.10)$$

bulunur ve bu ifade denklem (6.9)’da yazılırsa:

$$K_X = \frac{Q_X}{T_X \frac{r(1-\alpha_X)}{w\alpha_X}^{1-\alpha_X}} \quad (6.11)$$

bulunur ve bu ifade firmanın sermaye talebidir. Benzer şekilde firmanın işgücü talebi elde edilirse:

$$L_X = \frac{Q_X}{T_X \frac{w\alpha_X}{r(1-\alpha_X)}^{\alpha_X}} \quad (6.12)$$

elde edilebilir. Aynı yöntem uygulanarak Y firmasının da işgücü ve sermaye talebi de elde edilebilir.

6.2.2. Hane Halkı (Tüketiciler)

Modelde hane halkı firmaların ürettiği iki farklı malı tercih ederek faydasını maksimize eden ekonomik birimdir. Hane halkının fayda fonksiyonunu iki mal bileşimi ile CES (constant elasticity of substitution) fonksiyonu yardımıyla ifade edersek:

$$U = (\gamma Q_X^\beta + (1 - \gamma) Q_Y^\beta)^{\frac{1}{\beta}} \quad (6.13)$$

Denklemden Q_X ve Q_Y hane halkının tüketeceği iki malın miktarıdır. γ paylaşırma/dağıtma parametresidir. Bu parametre tüketimde Q_X ve Q_Y malları arasındaki ikamenin derecesini gösterir. $\sigma = 1/(1-\beta)$ eşitliği X ve Y mallarının tüketiminin ikame esnekliğidir. Hane halkının verilen B bütçe kısıtı altında iki malı seçerek faydasını maksimize edeceği varsayılır. Bütçe denklemini yazarsak:

$$P_X Q_X + P_Y Q_Y = B \quad (6.14)$$

Burada P_X ve P_Y sırasıyla Q_X ve Q_Y malının fiyatını ifade etmektedir. Denklem (6.14)'ten Q_Y çekilirse:

$Q_Y = \frac{B-P_X Q_X}{P_Y}$ elde edilir. Bu ifade fayda fonksiyonunda (denklem (6.13)) yazılırsa:

$$U = (\gamma Q_X^\beta + (1 - \gamma) \left(\frac{B-P_X Q_X}{P_Y} \right)^\beta)^{\frac{1}{\beta}} \quad (6.15)$$

Elde edilir. Fayda maksimizasyonu için fayda fonksiyonunun türevi alınarak sıfıra eşitlenerek işlemler yapılırsa:

$$\frac{\gamma Q_Y^{\frac{1}{\sigma}}}{(1-\gamma) Q_X^{\frac{1}{\sigma}}} = \frac{P_X}{P_Y} \quad (6.16)$$

bulunur ve bu oran hane halkının tükettiği iki malın Marjinal İkame Oranını–MİO– (Marginal Rate of Substitution–MRS) verir ve bu oran malların fiyatları oranına eşittir. Denklem (6.14) ve (6.16) kullanılarak hane halkının X ve Y malına olan talepleri elde edilebilir.

$$Q_X = \frac{B}{P_X + P_Y \frac{\gamma P_Y}{(1-\gamma) P_X}^{\frac{1}{\sigma-1}}} \quad (6.17)$$

$$Q_Y = \frac{B}{P_Y + P_X \frac{(1-\gamma) P_X}{\gamma P_Y}^{\frac{1}{\sigma-1}}} \quad (6.18)$$

6.3. HGD Denklemlerinin Topluca Yazılması ve Varsayımlar

Ekonominin tümünün modellenmesi ve ekonomide genel denge kavramının ifade edilebilmesi için oluşturulan denklemler bir araya getirilerek çözülmelidir. Şimdiye kadar firmalar ve hane halkları için denklemleri elde ettik. Fayda ve kar maksimizasyonları şartlarıyla denge için her bir piyasada arz edilen miktar talep edilen miktara eşit olmalıdır.

Örnek modelimizde dengeye ulaşması gereken dört piyasa vardır. Bunlar: X malı piyasası, Y malı piyasası, işgücü ve sermaye piyasasıdır. X malı için piyasası için arz denklemi (6.1) ve talep denklemi (6.17)'dir. Y malı piyasası için arz denklemi (6.2) ve talep denklemi (6.18)'dir.

Modelimizde işgücü arzının sabit ve L olduğunu varsayıyoruz. İşgücü piyasası için “market clearance” (piyasanın dengelenmesi) $L=L_X+L_Y$ ile ifade edilebilir. Burada L_X ve L_Y denklem (6.12)’de tanımlanan işgücü arzıdır (firmaların işgücü talebidir). Benzer şekilde sermaye arzının sabit ve K olduğunu varsayıyoruz. Sermaye piyasası için “market clearance” (piyasanın dengelenmesi) $K=K_X+K_Y$ ile ifade edilebilir. Burada K_X ve K_Y denklem (6.11)’de tanımlanan sermaye arzıdır (firmaların sermaye talebidir).

Ekonomide denge için firmaların sıfır kar şartı sağlanmalıdır (Hiçbir sektör pozitif kar elde etmemelidir). Eğer bir sektör pozitif kar elde ederse, başka firmalar hemen bu sektöre girecek, üretimi arttıracak, fiyatları aşağı çekecek ve sıfır kar şartı sağlanacaktır.³³

İki sektörlü modelimizde X ve Y sektörleri sıfır kar şartının sağlamalıdır. Kar firmaların gelirlerinden maliyetlerinin çıkarılmasıyla elde edilir. Pozitif olmayan kar maliyetlerin en azından gelirler kadar olmasıdır. Her bir sektör için maliyetleri denklem (6.11) ve (6.12)’de verilen sermaye ve işgücü maliyetleri ve üretim maliyetleri, gelirleri ise toplam üretim ve üretimden elde edilen gelirler oluşturur.

Modelimizde ayrıca tüketiciler denge şartı için bütçelerinin tümünü firmaların ürettiği malları almak için harcamalıdır. Denklem (6.14)’te hane halkının bütçe denklemi verilmişti. Hane halkının firmalara işgücü ve sermaye verdiği düşünülerek bütçe denklemi şu şekilde tekrar yazılabilir:

$$B = rK + wL \quad (6.19)$$

Modelimizde dengenin şu özelliği önemlidir. Öncelikle denklem sistemi fiyatlara göre lineer (doğrusal) ve homojendir. Genel denge modeli çözümünde fiyatlar referans dataya (Benchmark) göre sabittir ve çeşitli simülasyonlarla fiyat değişimlerinin genel denge üzerindeki etkisi bu fiyatlar baz alınarak izlenebilir. Değişkenlerden herhangi biride modelde sabit alınabilir, örneğin hane halkının geliri sabit alınabilir. Modelde P_X olarak elektrik enerjisi kullanılmadan üretilen mal fiyatı olarak alınmıştır ve sabittir. Aşağıdaki denklemlerde P_X fiyatı şapka işareti ile belirtilmiştir.

³³ *Market clearance* (piyasaların dengelenmesi) şartı aslında burada ifade edilen *sıfır kar şartı*’dır.

Aşağıda modelde kullanılan tüm denklemler verilmiştir. Modelde 6 (altı) denklem ve 6 bilinmeyen vardır. Diğer bölümde modelin kalibrasyonu ve çözümü yapılacaktır.

İşgücü için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (w):

$$L \geq \frac{Q_X}{T_X \frac{w\alpha_X}{r(1-\alpha_X)}} + \frac{Q_Y}{T_Y \frac{w\alpha_Y}{r(1-\alpha_Y)}}$$

Sermaye için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (r):

$$K \geq \frac{Q_X}{T_X \frac{r(1-\alpha_X)}{w\alpha_X}} + \frac{Q_Y}{T_Y \frac{r(1-\alpha_Y)}{w\alpha_Y}}$$

Y malı için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (P_Y):

$$Q_Y \geq \frac{B}{P_Y + P_X \frac{\gamma P_Y}{(1-\gamma)P_X} \frac{1}{\sigma-1}}$$

X malı için sıfır kar şartı (X)

$$P_X \leq \frac{w}{T_X \frac{w\alpha_X}{r(1-\alpha_X)}} + \frac{r}{T_X \frac{r(1-\alpha_X)}{w\alpha_X}}$$

Y malı için sıfır kar şartı (Y)

$$P_Y \leq \frac{w}{T_Y \frac{w\alpha_Y}{r(1-\alpha_Y)}} + \frac{r}{T_Y \frac{r(1-\alpha_Y)}{w\alpha_Y}}$$

Tüketicinin geliri

$$B = rK + wL$$

Modelde bilinmeyenler: Q_X, Q_Y, P_Y, w, r, B

6.4. HGD Modelinin Kalibrasyonu

Ekonomideki farklı birimlerin davranışlarını analiz etmeye yardımcı olan denklemler uygulamalı politika analizinde kullanılmadan önce, ilk olarak parametre şeklinde ifade edilmelidir. Modelin parametreleştirilmesi genellikle ekonomide dengeyi temsil ettiği varsayılan referans (Benchmark) data setine göre yapılır. Sosyal Hesaplamalar Matrisi (SHM) (Social Accounting Matrix SAM), HGD modelinin temelini oluşturan datayı tanımlamada oldukça kolaylık sağlar. Tablo 6.1’de

modelimizdeki sektör sayılarıyla uyumlu bir SHM verilmiştir. Tablodaki değerler 2002 yılı Türkiye’deki değerleri temsil etmektedir. Tablo 6.1’de Y enerji yoğun sektörleri, X diğer tüm sektörleri ve H tüm nihai talebi temsil etmektedir.

Tablo 6.1: Model İçin Benchmark (Referans) Sosyal Hesaplamalar Matrisi

	Q_X	Q_Y	H
Q_X	-	-	235,999,827
Q_Y	-	-	79,867,277
K	165,243,883	58,192,128	-
L	70,755,944	21,675,149	-

Not: Tablodaki değerler bin TL cinsindendir.

SHM’nin sütun girdileri, sütundaki değerlerin satırdaki değerlere (sektörlere) ödendiğini, satırları ise sütundaki değerlerden satırdakilerin kazanımlarını temsil eder. SHM’nin ilk satırı, referans alınan yılda (Benchmark) hane halkının 235,999,827 bin TL X malına harcama yaptığını ve ikinci satır ise hane halkının 79,867,277 bin TL Y malına harcama yaptığını gösterir. Üçüncü satırda X sektörünün 165,243,883 bin TL sermaye malı kullandığını Y sektörünün ise 58,192,128 bin TL sermaye malı kullandığını gösterir. Son satırda ise X sektörünün 70,755,944 bin TL değerinde işgücü kullandığını Y sektörünün ise 21,675,149 bin TL değerinde işgücü kullandığını gösterir.

SHM ekonominin denge durumundaki belirlenmiş arz talep dengesini sağlar. SHM’den ilk olarak her malın talebi arzına eşit olduğu görülebilir. Örnek olarak 235,999,827 bin TL X malı üretilmiştir ve aynı miktar X malı tüketilmiştir.³⁴ İkinci olarak dengede her sektör sıfır kardadır. Örneğin Y sektörü 79,867,277 bin TL gelir üretmiştir ve bu gelirin tamamını sermaye ve işgücü için harcamıştır. Son olarak hane halkının bütçesi dengededir yani sermaye ve işgücünden elde ettiği gelir 315,867,104 bin TL’dir ve bu miktar toplam harcamasına eşittir.

SHM’ndeki girdi miktarları fiyatıyla çarpılarak değeri elde edilir. HGD modelinin kalibrasyonu, miktarların ayrı ayrı tanımlanabilmesi için her bir mala ait fiyat seçmeyi gerektirir. Kullandığımız gibi basit bir ekonomik modelde (vergiler olmaksızın) tüm fiyatlar benchmark data setinde isteğe bağlı olarak bire (1) eşitlenebilir. Referans (Benchmark) fiyat seçimi model çözümünü değiştirmez. Fiyatı bire (1)

³⁴ Firma X malı için $K+L=165,243,883+70,755,944=235,999,827$ bin TL faktör kullanır ve hane halkının X malı nihai, talebi 235,999,827 bin TL’dir.

eşitlemek SHM’ndeki girdilerin hem değer hem de miktar ile uyumlu olduğunu gösterir. Örneğin hane halkı birimi bir TL olan X malının (1TL) 235,999,827 birimi tüketmiştir.

Verilen referans (benchmark) miktar ve fiyatlar ile denklemlerdeki bilinmeyen parametreler bulunabilir. Modelimizin ilk şartı olan firmaların kar maksimizasyonunu ifade eden denklem (6.9) kullanılarak α parametresi bulunabilir.

$$\frac{\alpha_X L_X}{(1-\alpha_X)K_X} = \frac{r}{w} \Rightarrow \frac{70,755,944 \alpha_X}{165,243,883 (1-\alpha_X)} = 1 \quad (6.20)$$

Denklem çözülürse $\alpha_X=0.700$ bulunur. Bu değer denklem (6.1)’de yazılırsa

$$Q_X = T_X K_X^{\alpha_X} L_X^{1-\alpha_X} \Rightarrow 235,999,827 = T_X 165,243,883^{0.700} 70,755,944^{1-0.700}$$

denklem çözülürse

$T_X=3.530$ bulunur. Aynı hesaplamalar Y sektörü içinde yapılırsa $\alpha_Y=0.728$ ve $T_Y=4.343$ elde edilir.

Hane halkı için ikame esnekliği belirlenmelidir. Modelimizde firmaların teknolojileri için ikame esnekliği Cobb–Douglas fonksiyonu formuyla belirlenmiştir. Genel olarak ikame esnekliği literatüre paralel olarak seçilir. Modelimizde $\sigma= 0.5$ ve $\sigma= 1/(1-\beta)$ eşitliğinden $\beta=-1$ elde edilir. Denklem (6.16) kullanılarak γ değeri hesaplanırsa

$$\frac{\gamma Y^{\frac{1}{\sigma}}}{(1-\gamma)X^{\frac{1}{\sigma}}} = \frac{P_X}{P_Y} \Rightarrow \frac{\gamma 79,867,277^{\left(\frac{1}{0.5}\right)}}{(1-\gamma)235,999,827^{\left(\frac{1}{0.5}\right)}} = \frac{P_X}{P_Y}$$

Denklemini çözülürse $\gamma = 0.897$ elde edilir. Bulduğumuz ikame esnekliklerini ve referans (benchmark) toplam işgücü talebi $L=92,431,093$ ve toplam sermaye talebi $K=223,436,010$ değerlerini kullanırsak, ekonominin tüm davranışlarını aşağıdaki denklem sistemi ile parametreler yardımıyla yansıtabiliriz.

İşgücü için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (w)

$$92,431,093 \geq \frac{Q_X}{3.530 \frac{0.700w}{0.300r}^{0.700}} + \frac{Q_Y}{4.343 \frac{0.728w}{0.272r}^{0.728}}$$

Sermaye için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (r)

$$223,436,010 \geq \frac{Q_X}{3.530 \frac{0.300r}{0.700w}^{0.300}} + \frac{Q_Y}{4.343 \frac{0.272r}{0.728w}^{0.272}}$$

Y malı için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (P_Y)

$$Q_Y \geq \frac{B}{P_Y + P_X \frac{0.897P_Y}{(0.103P_X)^{0.845}}}$$

X malı için sıfır kar şartı (X)

$$P_X \leq \frac{w}{3.530 \frac{0.700w}{0.300r}^{0.700}} + \frac{r}{3.530 \frac{0.300r}{0.700w}^{0.300}}$$

Y malı için sıfır kar şartı (Y)

$$P_Y \leq \frac{w}{4.343 \frac{0.728w}{0.272r}^{0.728}} + \frac{r}{4.343 \frac{0.272r}{0.728w}^{0.272}}$$

Tüketicinin geliri (B)

$$B = 223,436,010r + 92,431,093w$$

6.5. HGD Modelinin Çözümü

Modelimiz basit ve sadece iki sektörlü olmasına rağmen analitik çözüm gerektirir, çok sektörlü ve daha karmaşık modellerde nümerik çözümleme gerekmektedir (örnek olarak Jones (1965), Harberger (1962)). Modelin çözümlemesi şu şekilde yapılır: ilk olarak değişkenlerin her biri için başlangıç değeri seçilmelidir. İkinci olarak her bir piyasa için talep fazlası belirlenmelidir. X, Y, K, L olmak üzere dört piyasamız vardır ve talep fazlası bu piyasaların her birindeki arz edilen miktardan talep edilen miktar çıkarılarak bulunur. Örnek olarak Y malı için talep fazlası fonksiyonu:

$$\Delta P_Y = \frac{B}{P_Y + P_X \frac{0.897P_Y}{(0.103P_X)^{0.845}}} - Q_Y \quad (6.20)$$

Talep fazlası fonksiyonuna ek olarak aşırı kar fonksiyonu belirlenmelidir. Aşırı kar durumu olabilecek iki firma vardır. Aşırı kar bir birimlik gelirin maliyeti aşması olarak tanımlanabilir. X firması için aşırı kar fonksiyonu:

$$\Delta Q_X = P_X - \frac{w}{3.530 \frac{0.700w}{0.300r}^{0.700}} - \frac{r}{3.530 \frac{0.300r}{0.700w}^{0.300}} \quad (6.21)$$

Son olarak; müşterilerin (hane halkının) aşırı gelirleri faktör gelirlerinden harcamalarının çıkarılmasıyla bulunabilir, bunu denklem olarak ifade edersek;

$$\Delta B = 92,431,093w + 223,436,010r - B \quad (6.22)$$

Ekonomi denge durumunda iken, mallar için aşırı talep yoktur, aşırı kar ve tüketiciler için aşırı gelir yoktur. Bu yüzden genel denge modelinin çözümünde denklem (6.20), (6.21), (6.22) için minimizasyon sağlanmalıdır. Denklemlerde aşırı kar, aşırı talep, aşırı gelir Δ sembolü ile belirtilmiştir. Minimizasyon problemi fiyatlar ($p=[P_Y, w, r]$), üretim düzeyi ($q=[Q_X, Q_Y]$) veya gelirden ($\Delta(p, q, B)=0$) herhangi biri seçilerek ifade edilebilir.

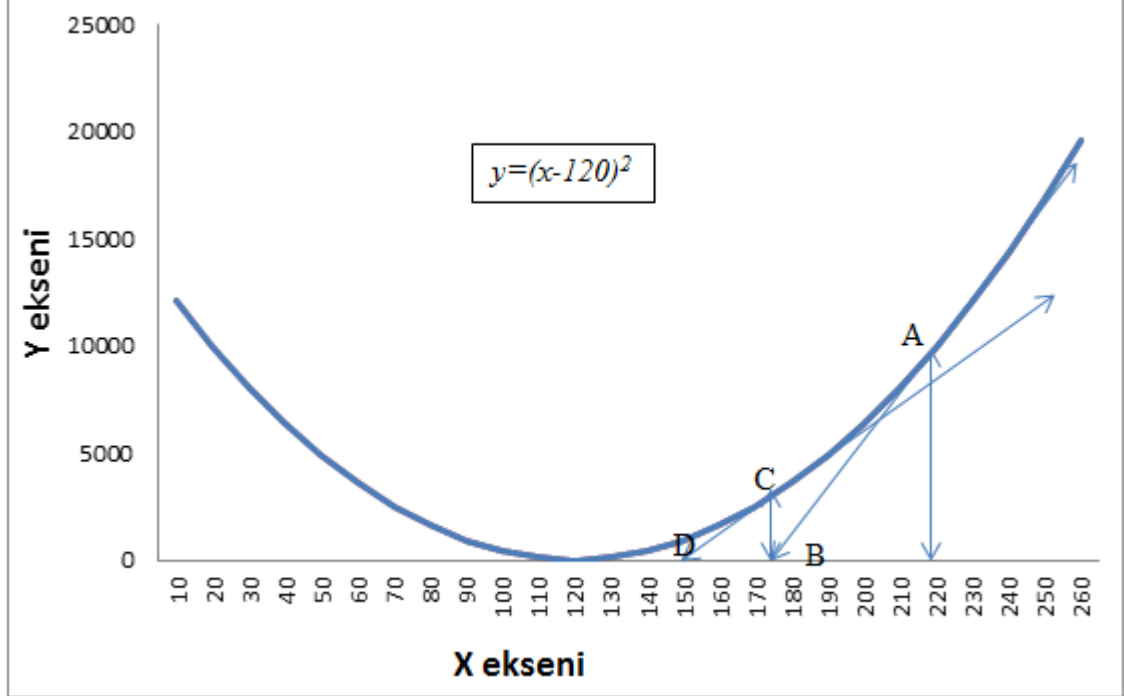
Bu minimizasyon problemi matematik tabanlı programlar yardımıyla çözülebilir. Çözümde süreci fiyatlar ile aşırı talep arasında, üretim düzeyi ve aşırı kar arasında tamamlayıcılık ilişkisi gerektirdiği için sınır çözümlemesi yapılmalıdır. Örnek olarak fiyatlar ve aşırı talep arasındaki tamamlayıcılık ilişkisi şunu ifade eder; fiyatlar pozitif iken aşırı talep sıfır olmalıdır fakat fiyatlar sıfır iken aşırı talep negatif olmalıdır. Bu problemin çözümü için GAMS (General Algebraic Modeling System) programı ve Rutherford (1995) tarafından geliştirilen ve bu programın alt sistemi olan ve MPSGE (Mathematical Programming System For General Equilibrium Analysis) kullanılacaktır. PATH Dirkse ve Ferris (1995)'in tezinde problemlerin çözümü için kullandığı bir öncü çözücüdür.

PATH ve diğer MPSGE çözücüler Newton optimizasyonuna dayanır. Şekil 6.2'de tek değişkenli denklemin kökü için çözüm süreci gösterilmiştir (Şekilde denklem olarak $y=(x-120)^2$ fonksiyonu seçilmiştir). Öncelikle keyfi bir başlangıç noktası seçilmelidir; burada $x=220$ seçilmiştir. $x=220$ için fonksiyonun değeri bulunur, şekilde bu nokta A noktasıdır. İkinci olarak bu noktadaki türevi (teğetin eğimi) bulunur. Türevi $f'(x)$ ile gösterilir ve bu noktadaki eğim şekilde A ve B noktaları birleştirilerek gösterilmiştir. $f(x)/f'(x)$ oranı kadar giderek yatay hale gelen seyirde adım adım fonksiyonun köküne doğru işlem devam ettirilir. Eğim doğrusu x eksenini B noktasında keser, B noktasının fonksiyondaki değeri C noktasıdır. Tekrar C noktasından türev alınırsa teğetin eğimi fonksiyonu D noktasında keser. Tekrar $f(x)/f'(x)$ miktarı kadar fonksiyonun köküne doğru devam edilir. Bu işlem aşağıdaki formülasyonla ifade edilebilir:

$$X_i = X_{i-1} + \frac{f(X_{i-1})}{f'(X_{i-1})} \quad (6.23)$$

Denklemden i ardışık iterasyon sürecini göstermektedir. Bu süreç fonksiyonun köküne yakınsamaya kadar devam eder.

Şekil 6.2: Tek değişkenli Newton Optimizasyonu



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Modelimizde olduğu gibi çok değişkenli problemlerde de benzer işlemler yapılır. Fakat türev işlemlerinden ziyade çok değişken eşitliği (Jacobian) kullanılır. $z = [p, q, B]$ eşitliğinin Jacobiyeni şu şekilde ifade edilebilir.

$$J = \frac{\partial \Delta}{\partial z} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P_X}{\partial P_X} & \frac{\partial \Delta P_Y}{\partial P_X} & \frac{\partial \Delta W}{\partial P_X} & \dots & \dots \\ \frac{\partial \Delta P_X}{\partial P_Y} & \frac{\partial \Delta P_Y}{\partial P_Y} & \frac{\partial \Delta W}{\partial P_Y} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \Delta M}{\partial P_Y} & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (6.24)$$

Çok değişkenli problemlerde Newton optimizasyon algoritması işlemleri şu şekilde formüle edilebilir:

$$Z_i = Z_{i-1} + J^{-1} \Delta(Z_{i-1}) \quad (6.25)$$

Burada J^{-1} Jakobiye'nin tersini belirtir. Tek değişken probleminde olduğu gibi çok değişken probleminde de aynı işlemler belli bir eşiğin altına düşen ardışık iterasyonlar arasında hata oluncaya kadar amaç fonksiyonu yardımıyla devam ettirilir.

6.6. Politika (Senaryo) Analizi Örneği

HGD modelini yorumlamak ve senaryo uygulaması için çalıştığımız basit modeli kullanacağız. Senaryo uygulaması olarak Y malı (enerji kullanılan sektör) üzerine vergi koyalım. Tüketicinin Y malına ödediği ücret ile üreticinin aldığı fiyat arasına vergi koyalım. Sonuç olarak denklem üzerinde biraz manipülasyon yaparak vergiyi uygulayabiliriz. Öncelikle üreticiler için Y malının fiyatı P_Y , tüketiciler için ise fiyatın $P_Y(1+D_Y)$ olduğunu varsayalım. Burada D_Y vergi oranıdır. Tüketici fiyatları Y malının talebini belirlemede kullanılır. Devlet (modelde açıkça belirtilmemiştir.) tarafından toplanan vergi uygulayarak geliri arttırdığı ve artan geliri tüketicilere iade ettiğini varsayalım. Sonuç olarak tüketicilerin gelir fonksiyonu $P_Y Q_Y D_Y$ miktarında geliri içerecek şekilde düzenlenmelidir. Denklemlerdeki bu düzenlemeler aşağıda verilmiştir.

İşgücü için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (w):

$$92,431,093 \geq \frac{Q_X}{3.530 \frac{0.700w}{0.300r}^{0.700}} + \frac{Q_Y}{4.343 \frac{0.728w}{0.272r}^{0.728}}$$

Sermaye için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (r):

$$223,436,010 \geq \frac{Q_X}{3.530 \frac{0.300r}{0.700w}^{0.300}} + \frac{Q_Y}{4.343 \frac{0.272r}{0.728w}^{0.272}}$$

Y malı için Piyasanın Dengelenmesi (market clearance) (P_Y):

$$Q_Y \geq \frac{B}{P_Y(1 + D_Y) + P_X \frac{0.897P_Y(1 + D_Y)}{(0.103P_X)}^{0.845}}$$

X malı için sıfır kar şartı (X):

$$P_X \leq \frac{w}{3.530 \frac{0.700w}{0.300r}^{0.700}} + \frac{r}{3.530 \frac{0.300r}{0.700w}^{0.300}}$$

Y malı için sıfır kar şartı (Y):

$$P_Y \leq \frac{w}{4.343 \frac{0.728w}{0.272r}} + \frac{r}{4.343 \frac{0.272r}{0.728w}}$$

Tüketicinin geliri (B): $B = 223,436,010r + 92,431,093w + D_Y P_Y Q_Y$

Modelde kullanılan GAMS kodları Ek-1’de verilmiştir. Kullanılan GAMS kodları genellikle kullandığımız denklemlerin programa uyarlamasıdır ve kolayca yorumlanabilir. Model yazıldığı zaman tamamlayıcı değişkenler her bir denkleme karşılık gelen tamamlayıcı değişkenler takip eden periyotlarda listelenir.

Enerji kullanılan Y malının tüketiminde vergi uygulaması senaryomuzda modellenmiştir. Üç farklı vergi oranı ve verginin kullanılmadığı durumun sonuçları Tablo 6.2.’da noktada gösterilmiştir. Beklenildiği gibi Y malının tüketim üzerindeki vergi uygulaması hem Y malının üretimini azaltmış hem de refahı azaltmıştır. Örnek olarak % 25’lik vergi uygulaması Y malının üretimini 210,710,000’den 194,120,000’a düşürmüştür, refahta da yüzde 0.24’lük azalma olmuştur. Y malının tüketiminde vergi oranlarındaki daha fazla artışların etkisi nispeten daha az olmuştur. Çünkü Y malının marjinal faydası daha düşük tüketim düzeyinde daha fazladır.

Tablo 6.2: 2X2 HGD Modelinin Sonuçları

	Q_X	Q_Y	w/r	Refah Kaybı (%)	B (Bütçe)
0%	438,880,000	210,710,000	0.994	0	605,820,000
25%	452,030,000	194,120,000	1	-0.2483	644,250,000
50%	462,250,000	181,220,000	1	-0.5705	677,570,000
100%	477,400,000	162,090,000	1.005	-1.5627	734,160,000

Not: w/r işgücü ücretinin sermaye ücretine oranıdır.

Bununla birlikte en ilginç sonuçlar genel denge ile ilgilidir. Vergi uygulamasıyla birlikte Y malının tüketimindeki azalmalar X malının nispi fiyatı Y malına göre daha düşük kaldığı için X malının tüketimindeki artışlar ile dengelenmiştir. Üretiminde enerji kullanılan Y malının tüketimindeki yaklaşık % 22’lik azalış (210,710,000’den 162,090,000’e düşmüştür.) yaklaşık % 1.5’lik refah kaybına sebep olmuştur.

Senaryo uyguladığımız model 2x2 olmasına rağmen analiz bakımından diğer modellerle benzerdir. Örneğin benzer senaryo karbon emisyonlarının % 40 azaltılması sonucunda refah kaybını da analiz edebilir. Son olarak Tablo 6.2.’den ücret oranlarındaki değişimler modelde sermaye artışı olarak dönüyor. Vergiler seviyesi

arttıkça ücret oranı artmakta ve bu artış sermayeye yansımaktadır. Tablo 6.2.'den Y sektörünün X sektörüne göre sermaye yoğun mal olduğu, Y malındaki vergi artışının üretimini azalttığı ve böylece sermaye talebinin azaldığı görülmüştür. Üretim faktörlerinin nispi gelirleri verginin etkisini belirlemede önemlidir. Benzer tüketim örnekleri uygulayarak enerji tüketimindeki vergilerin sonucu olarak sermaye sahiplerin işçilere göre daha fazla etkilenme eğilimde olduğu söylenebilir. Bu çalışmamızdaki önemli sonuçlardan biridir.

6.7. Özet

Çalışmamızın bu kısmında HGD modelinin üstünlükleri, zayıf yönleri, uygulanabilirliği ve varsayımları anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde HGD modelin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla modelin aşamaları anlatılmış, basit bir ekonomi yardımıyla ekonomik aktörlerin davranışlarını tasvir eden modelin denklemleri oluşturulmuştur. Sonraki aşamada modelin kalibrasyonu, nümerik çözümü ve senaryo uygulaması ve sonuçların yorumlanması yapılmıştır.

YEDİNCİ BÖLÜM

EMİSYON TİCARETİ VE KARBON VERGİSİ UYGULAMASININ TÜRKİYE EKONOMİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN GENEL DENGE ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Kyoto Protokolü ile birlikte ülkelerin gündemine giren piyasa temelli esneklik mekanizmaları, (emisyon ticareti ve karbon vergisi) emisyon yükümlülüğü olan ve sonraki yıllarda yükümlülük alacak olan tüm ülkeler için sera gazı emisyonları azaltımında önemli birer araçtır. Emisyon azaltımında uygulanacak politikaların işsizlik, ithalat, ihracat vb. gibi bir çok makroekonomik değişken üzerinde doğrudan ya da dolaylı olarak etkisi olacağı muhakkaktır. Ülkeler bir taraftan sera gazı azaltım hedeflerini tutturmak diğer taraftan da sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilmek için uygulayacağı emisyon azaltım politikalarının etkilerini öngörebilmeleri oldukça önemlidir bundan dolayı, emisyon ticareti ve karbon vergisi çalışmaları önem kazanmaktadır. Bu noktadan hareketle tezin bu kısmında Türkiye için sera gazı emisyonu azaltımında uygulanacak emisyon ticareti ve karbon vergisinin etkileri genel denge analizi yardımıyla incelenecektir.

Analizde kullanılacak alternatif politika senaryolarının incelenebilmesi için kurulacak modelde öncelikle “temel patika” belirlenecektir. Temel patika için sektörel sınıflamaları ve sektörler arası tüm alışveriş faaliyetlerini gösteren, ekonominin bir bütün olarak incelendiği Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) en son yayımladığı 2002 Yılı Girdi-Çıktı (G-Ç) tablosu kullanılacaktır.

59 sektörlü 2002 yılı G-Ç tablosu sektörlerin sera gazı emisyonu salımı ve enerji tüketimleri göz önünde bulundurularak Yeldan vd. (2006) çalışması doğrultusunda 10 sektör olacak şekilde toplulaştırılmıştır. Bu sektörler aşağıda belirtildiği şekilde sınıflandırılmıştır.

1. Tarım Sektörü (AG- X_1)
2. Kömür Madenciliği (CO- X_2)
3. Petrol ve Gaz (PG- X_3)
4. Petrolün Arındırılması (RP- X_4)
5. Elektrik Üretimi (EL- X_5)

- 6. Çimento Sektörü (CE- X_6)
- 7. Kağıt Üretimi (PA- X_7)
- 8. Demir Çelik Üretimi (IS- X_8)
- 9. Ulaştırma Sektörü (TR- X_9)
- 10. Diğer Ekonomi (OE- X_{10})

7.1. Modelin Arz Yakası, Sektörler (Üreticiler), Faktör Piyasaları

Modelin arz yakasında sektörler hane halkının tüketeceği kadar girdileri ürüne dönüştüren ekonomik birimlerdir. Analizimizde sektörlerin üretim için işgücü ve sermaye girdisi kullandığını varsayıyoruz. Firmaların üretim miktarı ve üretim faktörleri arasındaki ilişkiyi Cobb–Douglas fonksiyonu yardımıyla tanımlarsak:

$$X_i = T_i K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i} \quad i = 1 \dots 10 \quad (7.1)$$

Denklemden X_i temsili i sektörünün üretim miktarını, T_i sektörün teknoloji düzeyini K_i sektörün kullandığı sermaye miktarını, L_i ise sektörün kullandığı işgücü miktarını vermektedir³⁵ ve denklemden α_i ise parametredir. Analizimizde on sektörün olduğunu ve farklı mallar ürettiğini varsayıyoruz.

Her bir sektörün girdi ve üretim miktarını belirlerken kar maksimizasyonu yaptığını varsayıyoruz. Ayrıca sektörlerin hiçbir girdi ve çıktı fiyatlarından etkilenmeyen çok sayıda küçük sektörü temsil etmektedir ve piyasa fiyatını değiştirememektedir yani fiyatı veri olarak almaktadır. Verilen bu varsayımlar altında sektörlerin talep edeceği girdi miktarını belirlemek mümkündür. Sektörlerin kar maksimizasyonu altıncı bölümde anlatılan şekilde yapılırsa aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$(1 - \alpha_i) P_i T_i K_i^{\alpha_i} L_i^{-\alpha_i} = w \quad i = 1 \dots 10 \quad (7.2)$$

$$\alpha_i P_i T_i K_i^{\alpha_i-1} L_i^{1-\alpha_i} = r \quad i = 1 \dots 10 \quad (7.3)$$

Burada P_i 'ler sırasıyla X_i mallarının fiyatını, w sektörlerin işgücüne ödenen ücreti, r sektörlerin sermaye kullanımı için ödediği kira miktarını belirtir. Sektörlerin kullandıkları işgücü ve sermaye miktarının toplamı, toplam işgücü ve sermaye

³⁵ L_i ve K_i firmaların kar maksimizasyonu için seçtiği üretim faktörleridir.

miktarına eşit olmalıdır. Modelimizde işgücü arzının sabit ve L olduğunu varsayıyoruz. İşgücü piyasası için “market clearance” (piyasanın dengelenmesi) denklem (7.4) ile ifade edilebilir. Burada L işgücü arzıdır (sektörlerin işgücü talebidir). Benzer şekilde sermaye arzının sabit ve K olduğunu varsayıyoruz. Sermaye piyasası için “market clearance” (piyasanın dengelenmesi) denklem (7.5) ile ifade edilebilir.

Ekonomide denge için sektörlerin sıfır kar şartı sağlanmalıdır (Hiçbir sektör pozitif kar elde etmemelidir). Eğer bir sektör pozitif kar elde ederse, başka sektörler, üretimi arttıracak, fiyatları aşağı çekecek ve sıfır kar şartı sağlanacaktır.³⁶

$${}_i L_i = L \quad i = 1 \dots 10 \quad (7.4)$$

$${}_i K_i = K \quad i = 1 \dots 10 \quad (7.5)$$

7.2. Modelin Talep Yakası, Hane Halkı (Tüketiciler)

Modelde hane halkı firmaların ürettiği farklı malları tercih ederek faydasını maksimize eden ekonomik birimdir. Hane halkının fayda fonksiyonunu Cobb-Douglas fonksiyonu yardımıyla ifade edersek:

$$U = C_1^{\theta_1} C_2^{\theta_2} C_3^{\theta_3} \dots C_{10}^{\theta_{10}} \text{ ya da kısaca } U = \prod_i C_i^{\theta_i} \quad i = 1 \dots 10 \quad (7.6)$$

Denklemde θ_i malların tüketiminin ikame esnekliğidir. C_i hane halkının tüketileceği malların miktarıdır. Hane halkının verilen Y bütçe kısıtı altında farklı malları seçerek faydasını maksimize edeceği varsayılır. Bütçe denklemini yazarsak:

$$Y = P_1 X_1 + P_2 X_2 + \dots + P_{10} X_{10} \text{ ya da } Y = \sum_i P_i X_i \quad (7.7)$$

Burada P_i ler sırasıyla X_i mallarının fiyatını ifade etmektedir. Hane halkının fayda maksimizasyonu altıncı bölümde anlatılan şekilde yapılırsa Marshalgil talep fonksiyonu aşağıdaki denklemde ifade edildiği gibi elde edilir:

$$C_i = \frac{X_i^{1-t} (1-mps) Y}{P_i} \quad (7.8)$$

Elde edilir. Denklem (7.8)'de t devletin aldığı vergi oranını, mps ise hane halkının tasarruf oranını göstermektedir. Yani hane halkı harcanabilir Y geliri üzerinden $(1-t)Y$

³⁶ Market clearance (piyasaların dengelenmesi) şartı aslında burada ifade edilen sıfır kar şartı'dır.

kadar devlet vergi alacak, $(I-mps)Y$ kadar hane halkı kendisi tasarruf edecek, kalan miktarı ise P_I fiyatı ile C_I malı satın alıp tüketerek fayda elde edecektir.

Modelde dengenin sağlanabilmesi için herhangi bir sektörün ürettiği mal miktarının tüketilen mal miktarına eşit olması gerekmektedir. Denklem olarak ifade edilirse:

$$X_i = C_i + G_i + I_i \quad (7.9)$$

Denklem (7.9)'da X_i , i. sektörün üretimi, C_i hane halkının tüketimi, G_i devletin tüketimi ve I_i ise harcanabilir gelirden tasarruf edilen miktardan i. sektörün üretimine yapılan harcamadır. Modelde dengenin sağlanabilmesi için yatırım-tasarruf eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu eşitlik denklem ile ifade edilirse :

$$I_1P_1 + I_2P_2 + I_3P_3 + \dots + I_{10}P_{10} = mpsY \quad ya \ da \quad \sum_i I_i P_i = mpsY \quad (7.10)$$

Ekonomide kamu harcamaları toplanan vergilerle gerçekleştirilmektedir. Eğer toplanan vergi harcamalardan büyükse bütçe fazla verecek, aksi durumda ise bütçe açık verecektir. Bütçe dengesini denklem olarak ifade edersek:

$$B = tY - \sum_i P_i G_i \quad (7.11)$$

Genel Denge analizinde modelde “*kapama kuralı*” belirlenmelidir. Analizimizde kapama kuralı olarak bütçe dengesinin sağlanması yani $B=0$ varsayılmıştır:

$$tY - \sum_i P_i G_i = 0 \quad ya \ da \quad tY = \sum_i P_i G_i \quad (7.12)$$

Modelde $X_i, K_i, L_i, C_i, P_i, w, r, Y, G, I, B$ ($i=1\dots 10$) olmak üzere 56 bilinmeyen ve 55 denklem vardır. Çözüm için fiyatlardan birisi 1 alınarak denklem ve bilinmeyen sayısı eşitlenebilir (numeraire). Böylece diğer fiyatlar nispi fiyat cinsinden ifade edilmiş olur. Denklem ve bilinmeyen sayısı eşitlendikten sonra modelin altıncı bölümde anlatıldığı şekliyle çözülmesiyle sektörlerin işgücü ve sermaye talebi diğer değişkenlere bağlı olarak elde edilebilir. Sektörlerin sermaye talebi denklemlerle ifade edilirse:³⁷

$$K_1 = K \left[1 + \frac{\alpha_2}{\theta_{1,2}\alpha_1} + \frac{\alpha_3}{\theta_{1,3}\alpha_1} + \frac{\alpha_4}{\theta_{1,4}\alpha_1} + \dots + \frac{\alpha_{10}}{\theta_{1,10}\alpha_1} \right]$$

³⁷ Modelde kullanılan tüm denklemler ve çözümleri yazar tarafından yapılmış, denklemlerin çözüm detayları burada verilmemiştir. θ parametreleri t, mps, P_i, I_i, G_i, Y parametreleri yardımıyla elde edilir.

$$\begin{aligned}
K_2 &= K \left(1 + \frac{\alpha_1}{\theta_{2,2}\alpha_2} + \frac{\alpha_3}{\theta_{2,3}\alpha_2} + \frac{\alpha_4}{\theta_{2,4}\alpha_2} + \dots + \frac{\alpha_{10}}{\theta_{2,10}\alpha_2} \right) \\
&\vdots \\
K_{10} &= K \left(1 + \frac{\alpha_1}{\theta_{10,2}\alpha_{10}} + \frac{\alpha_3}{\theta_{10,3}\alpha_{10}} + \frac{\alpha_4}{\theta_{10,4}\alpha_{10}} + \dots + \frac{\alpha_9}{\theta_{10,10}\alpha_{10}} \right)
\end{aligned}$$

Benzer şekilde sektörlerin işgücü talebi denklemlerle ifade edilirse:

$$\begin{aligned}
L_1 &= L \left(1 + \frac{(1-\alpha_2)}{\theta_{1,2}(1-\alpha_1)} + \frac{(1-\alpha_3)}{\theta_{1,3}(1-\alpha_1)} + \frac{(1-\alpha_4)}{\theta_{1,4}(1-\alpha_1)} + \dots + \frac{(1-\alpha_{10})}{\theta_{1,10}(1-\alpha_1)} \right) \\
L_2 &= L \left(1 + \frac{(1-\alpha_1)}{\theta_{2,2}(1-\alpha_2)} + \frac{(1-\alpha_3)}{\theta_{2,3}(1-\alpha_2)} + \frac{(1-\alpha_4)}{\theta_{2,4}(1-\alpha_2)} + \dots + \frac{(1-\alpha_{10})}{\theta_{2,10}(1-\alpha_2)} \right) \\
&\vdots \\
L_{10} &= L \left(1 + \frac{(1-\alpha_1)}{\theta_{10,2}(1-\alpha_{10})} + \frac{(1-\alpha_3)}{\theta_{10,3}(1-\alpha_{10})} + \frac{(1-\alpha_4)}{\theta_{10,4}(1-\alpha_{10})} + \dots + \frac{(1-\alpha_9)}{\theta_{10,10}(1-\alpha_{10})} \right)
\end{aligned}$$

Modelimizde bu aşamadan sonra modelin kalibrasyonu ve çözümü yapılacaktır, şoklar verilerek uygulanacak politikaların refah üzerindeki etkileri analiz edilecektir. Ekonomideki farklı birimlerin davranışlarını analiz etmeye yardımcı olan denklemler uygulamalı politika analizinde kullanılmadan önce, ilk olarak parametre şeklinde ifade edilmelidir. Modelin parametrelerinin elde edilmesi genellikle ekonomide dengeyi temsil ettiği varsayılan referans (Benchmark) veri setine göre yapılır. Sosyal Hesaplamalar Matrisi (SHM) (Social Accounting Matrix SAM), HGD modelinin temelini oluşturan veriyi tanımlamada oldukça kolaylık sağlar³⁸.

7.3. Makroekonomik Projeksiyonlar ve Senaryo Uygulamaları

Analizimizin bu kısmında senaryo uygulamalarına geçmeden önce Türkiye ekonomisi için 2011 yılı makroekonomik değişkenlere ait veriler ve karbon emisyonlarına ait genel ve sektörel 2011-2020 yılı projeksiyonları verilecektir.

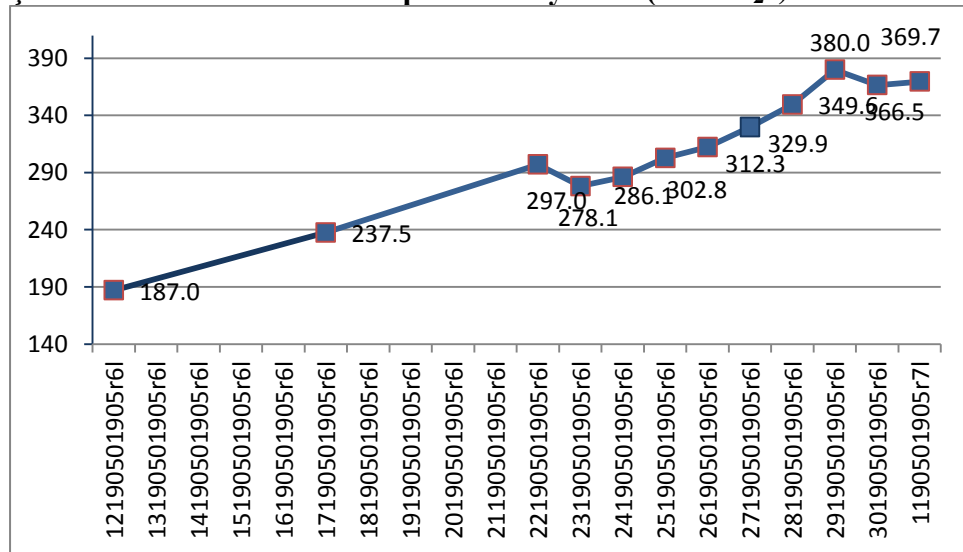
³⁸ Modelin çözümünde Yeldan (2006) çalışmasındaki 2003 SHM baz alınmıştır.

Tablo 7.1: Sektörler Arası Ara Girdi Akımları (Bin TL) (2003 SAM)

	AG	CO	PG	PA	RP	CE	IS	EL	TR	OE	Toplam
AG	7.330.347	19.311	257	189.416	12.506	4.481	59.113	7.430	26.597	22.325.008	29.974.467
CO	14.163	23.451	1	1.797	477	146.904	62.849	508.961	14.969	807.020	1.580.592
PG	111	0	12.715	59.889	4.337.642	99.330	128.279	2.744.661	0	1.039.352	8.421.979
PA	19.133	3.293	643	2.217.373	5.379	242.037	467.830	11.767	429.858	5.553.704	8.951.016
RP	860.725	54.962	2.829	77.869	599.450	297.753	271.893	68.387	3.217.197	3.742.441	9.193.505
CE	57.161	4.445	1.116	19.492	36.049	1.434.515	999.876	3.205	2.780	6.511.216	9.069.854
IS	753.113	181.125	32.824	192.718	117.260	364.740	25.657.125	777.674	3.701.668	15.562.278	47.340.524
EL	235.785	70.319	27.476	300.940	64.495	312.640	1.391.139	7.687.350	235.466	4.729.063	15.054.673
TR	812.638	43.019	10.492	425.136	562.529	559.979	3.128.131	392.681	15.365.537	19.635.798	40.935.940
OE	7.091.317	212.413	101.683	2.202.661	825.576	2.954.954	13.147.064	586.450	12.921.554	119.352.294	159.395.966
Top	17.174.491	612.338	190.035	5.687.292	6.561.362	6.417.334	45.313.301	12.788.566	35.915.626	199.258.172	329.918.517

Kaynak: TÜİK 2002 Girdi-Çıktı tablosu kullanılarak 59 sektörlük matris analizin amacına uygun olarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 7.1’de sektörler arası Girdi-Çıktı ilişkisini gösteren akım tablosu verilmiştir. Tablo yatay incelendiği zaman ilgili sektörün üretim için diğer sektörlerden aldığı miktarı, dikey incelendiği zaman ise ilgili sektörlerden aldığı miktarı göstermektedir. Örneğin Demir-Çelik sektörü (IS); en fazla girdiyi 25.657.125 TL ile kendisine, en az girdiyi ise 32.824 TL ile Petrol ve Gaz üretimine (PG) vermiş, toplamda ise diğer sektörler 47.340.524 TL girdi sağlamıştır. Demir-Çelik sektörü (IS) üretim yaparken en fazla girdiyi 25.657.125 TL ile kendisinden, en az girdiyi ise 59.113 TL Tarım (AG) sektöründen almıştır ve toplamda ise 45.313.301 TL girdi alımı yapmıştır.

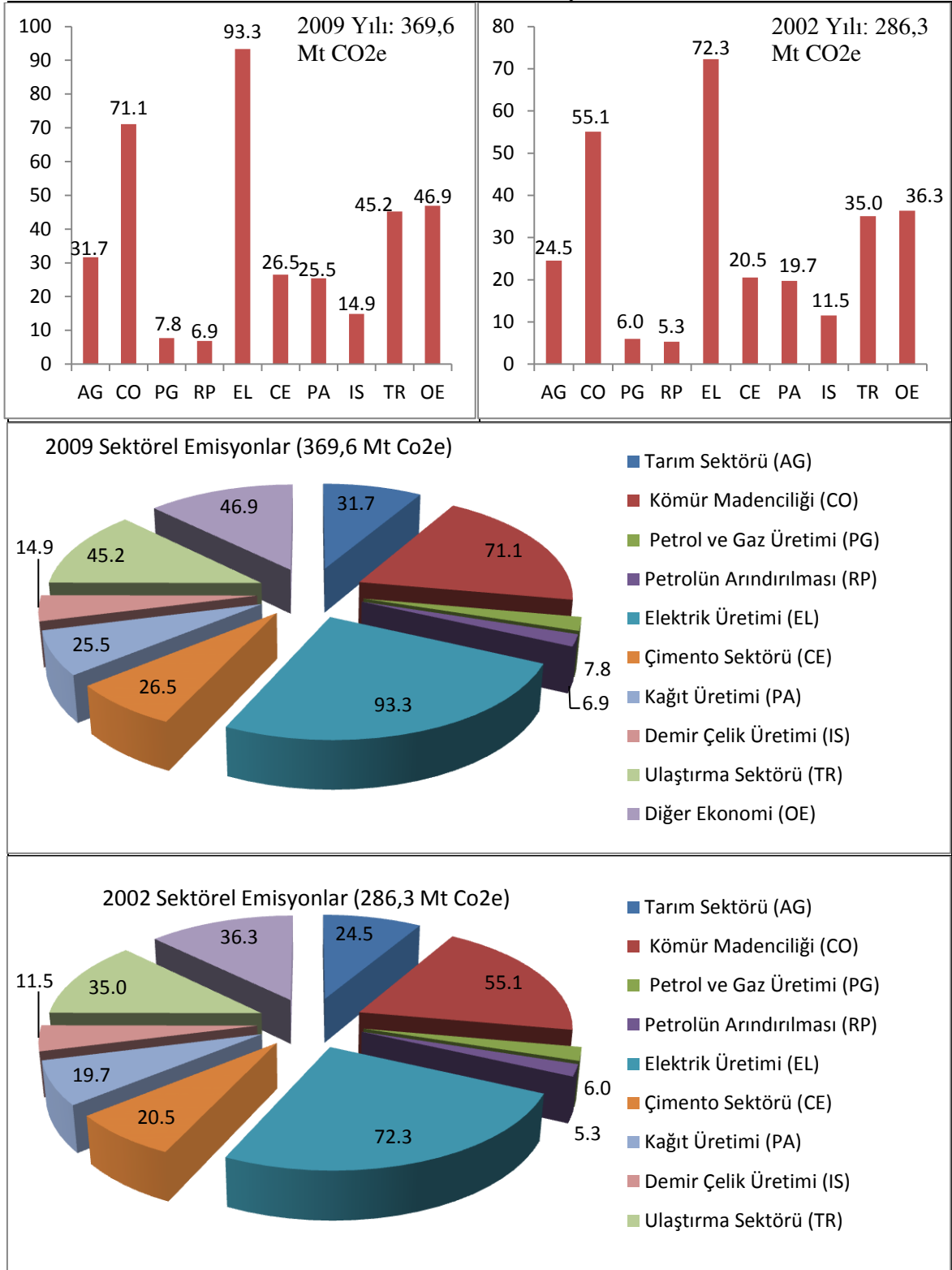
Şekil 7.1: 1990-2009* Yılı Toplam Emisyonlar (Mt CO₂e)

Kaynak: TÜİK (2011). Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verileri yazar tarafından toplulaştırılmıştır.

*: Emisyon değerleri Lulucf hariçtir. Mayıs 2012 yılı itibariyle en son 2009 yılı emisyon verileri yayımlanmıştır.

Şekil 7.1’den izlenebileceği gibi Türkiye’nin 1990 yılında 187 Mt CO₂e olan karbon emisyonu % 58,8’lik artışla 2000 yılında 297 Mt CO₂e olmuştur. 2000 yılından itibaren artış hızı yavaşlamış ve % 24,4’lük artışla 2009 yılında 369,7 Mt CO₂e değerine ulaşmıştır. 2000’li yıllardan itibaren “güçlü ekonomiye geçiş” programı ile birlikte GSYİH, ihracat ve ithalatta çok büyük artışlar olmasına rağmen (örneğin; ihracat ilgili dönemde % 255, ithalat % 154 ve GSYİH cari olarak % 471, sabit olarak % 34 artış kaydetmiştir) emisyon artımı 1990-2000 dönemine göre, 2000-2009 döneminde oldukça azalmıştır. Bu azalmada enerjinin verimli kullanılması, yenilenebilir enerjilerin kullanılması ve yakıt türü olarak doğalgaz kullanımının etkisi olduğu düşünülebilir.

Şekil 7.2’de TÜİK (2011) tarafından yayınlanan “Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu” verilerinden en son 2009 yılı için oluşturulan analizde kullanılacak sektörlerin sera gazı emisyonları verilmiştir. Elektrik üretimi sektörü (EL) 93,3 Mt CO₂e emisyon salımı ile birinci sıradadır ve toplam emisyonların % 25’ini oluşturmaktadır. Kömür madenciliği sektörü (CO) 71,1 Mt CO₂e emisyon salımı ile ikinci sıradadır ve toplam emisyonların % 19’unu oluşturmaktadır. Taşımacılık sektörü (TR) ise 45,2 (% 12) Mt CO₂e emisyon salımı gerçekleştirmektedir. Bu sektörleri sırasıyla; Tarım sektörü (AG) 31,7 Mt CO₂e (% 8), Çimento sektörü (CE) 26,5 Mt CO₂e (% 7), Kağıt üretimi sektörü (PA) 25,5 Mt CO₂e (% 6), Petrol ve Gaz üretimi (PG) 7,8 Mt CO₂e (% 2), Petrolün Arındırılması sektörü (RP) 6,9 Mt CO₂e (% 1) takip etmekte, kalan sektörler ise (OE) toplam 46,9 Mt CO₂e (% 12) emisyon salımı gerçekleştirmektedirler. İlk üç sektör göz önüne alındığı zaman; Elektrik üretimi, Kömür madenciliği ve Taşımacılık sektörleri toplam emisyonların % 57’sini üretmektedir. 2002 yılı verileri incelendiği zaman Elektrik üretimi, Kömür madenciliği ve Taşımacılık sektörleri yine emisyon salımında ilk üç sıradadır.

Şekil 7.2: 2009 ve 2002* Yılı Sektörel Emisyonlar (Mt CO₂e)

Kaynak: TÜİK (2011). Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verileri yazar tarafından sektörel olarak sınıflandırılmış ve toplulaştırılmıştır. *: Emisyon değerleri Lulucf hariçtir.

Türkiye'nin TÜİK (2011) Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu dikkate alındığı zaman 1990-2009 yılları arasında ortalama sera gazı artışı % 97.64 ve yıllık % 5.13'tür. Şekil 7.2'deki "Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu"ndan hesaplanan

2002 ve 2009 yılları sektörel sera gazı dağılımları yardımıyla 1990 yılı sektörel sera gazı dağılımları hesaplanabilir. Hesaplanan emisyon değerleri üzerinden 1990-2009 yılları arasındaki % 5.13'lük artış uygulanırsa Tablo 7.2'de verilen ve 2020 yılına kadar olan süreçteki sektörel ve genel sera gazı emisyonları elde edilebilir.

Tablo 7.2: 1990-2009 Dönemi % 5.13'lük Emisyon Artımına Göre Sektörel ve Genel Emisyon Tahminleri (Mt CO_{2e})*

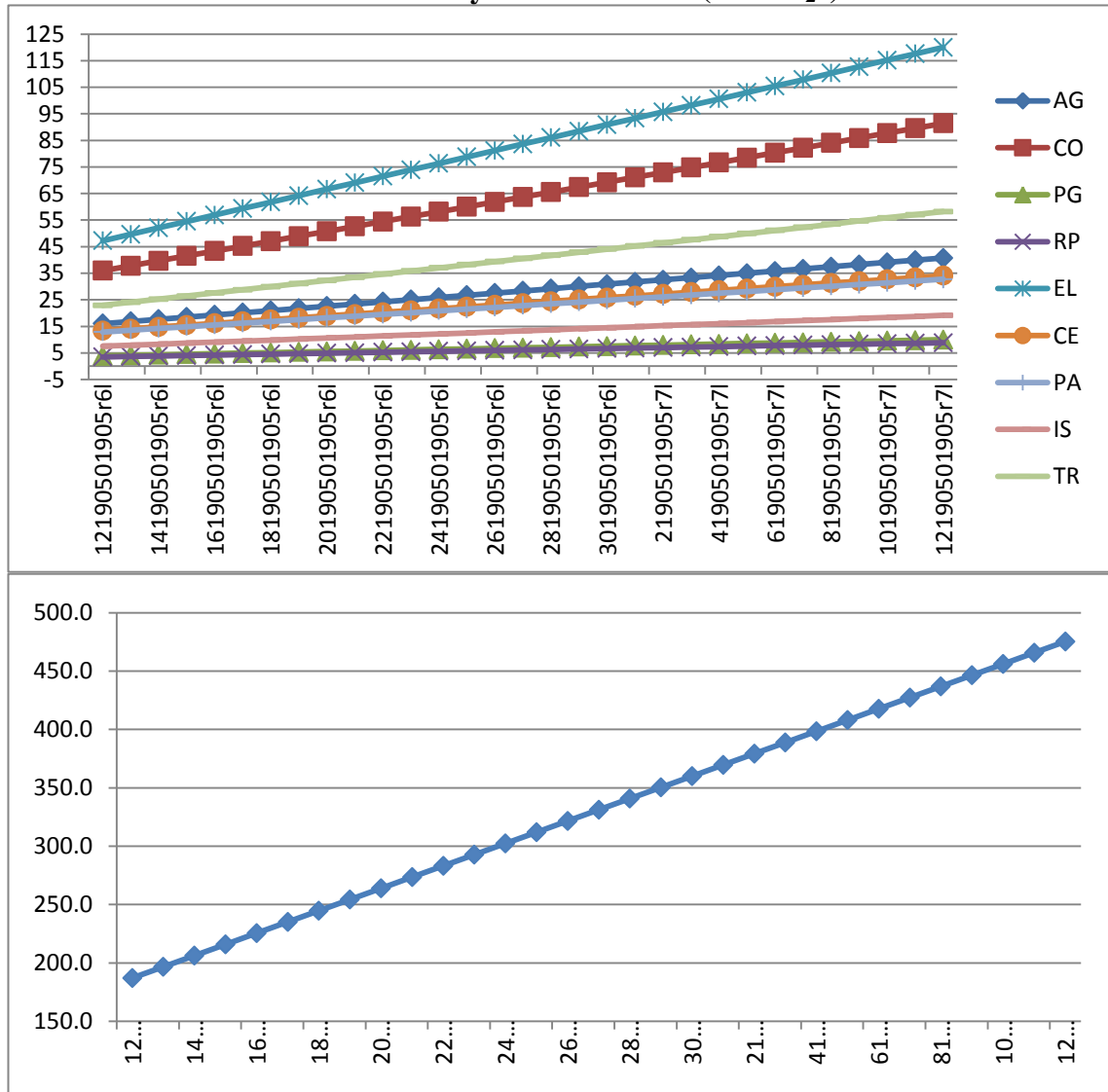
	AG	CO	PG	RP	EL	CE	PA	IS	TR	OE	Toplam
1990	16,0	36,0	3,9	3,5	47,2	13,4	12,9	7,5	22,9	23,7	187,0
1991	16,8	37,8	4,1	3,6	49,6	14,1	13,5	7,9	24,1	25,0	196,6
1992	17,7	39,7	4,3	3,8	52,1	14,8	14,2	8,3	25,2	26,2	206,3
1993	18,5	41,5	4,5	4,0	54,5	15,5	14,9	8,7	26,4	27,4	215,9
1994	19,3	43,4	4,7	4,2	56,9	16,2	15,5	9,1	27,6	28,6	225,5
1995	20,1	45,2	4,9	4,4	59,3	16,9	16,2	9,5	28,8	29,8	235,1
1996	21,0	47,1	5,1	4,5	61,8	17,5	16,9	9,8	29,9	31,1	244,7
1997	21,8	48,9	5,3	4,7	64,2	18,2	17,5	10,2	31,1	32,3	254,3
1998	22,6	50,8	5,5	4,9	66,6	18,9	18,2	10,6	32,3	33,5	263,9
1999	23,4	52,6	5,7	5,1	69,1	19,6	18,8	11,0	33,5	34,7	273,5
2000	24,3	54,5	5,9	5,2	71,5	20,3	19,5	11,4	34,7	35,9	283,1
2001	25,1	56,3	6,1	5,4	73,9	21,0	20,2	11,8	35,8	37,2	292,8
2002	25,9	58,1	6,3	5,6	76,3	21,7	20,8	12,2	37,0	38,4	302,4
2003	26,7	60,0	6,5	5,8	78,8	22,4	21,5	12,5	38,2	39,6	312,0
2004	27,5	61,8	6,7	6,0	81,2	23,1	22,2	12,9	39,4	40,8	321,6
2005	28,4	63,7	6,9	6,1	83,6	23,7	22,8	13,3	40,5	42,0	331,2
2006	29,2	65,5	7,1	6,3	86,0	24,4	23,5	13,7	41,7	43,3	340,8
2007	30,0	67,4	7,4	6,5	88,5	25,1	24,1	14,1	42,9	44,5	350,4
2008	30,8	69,2	7,6	6,7	90,9	25,8	24,8	14,5	44,1	45,7	360,0
2009	31,7	71,1	7,8	6,9	93,3	26,5	25,5	14,9	45,2	46,9	369,7
2010	32,5	72,9	8,0	7,0	95,7	27,2	26,1	15,3	46,4	48,1	379,3
2011	33,3	74,8	8,2	7,2	98,2	27,9	26,8	15,6	47,6	49,4	388,9
2012	34,1	76,6	8,4	7,4	100,6	28,6	27,4	16,0	48,8	50,6	398,5
2013	35,0	78,5	8,6	7,6	103,0	29,3	28,1	16,4	49,9	51,8	408,1
2014	35,8	80,3	8,8	7,7	105,4	29,9	28,8	16,8	51,1	53,0	417,7
2015	36,6	82,2	9,0	7,9	107,9	30,6	29,4	17,2	52,3	54,2	427,3
2016	37,4	84,0	9,2	8,1	110,3	31,3	30,1	17,6	53,5	55,5	436,9
2017	38,3	85,9	9,4	8,3	112,7	32,0	30,8	18,0	54,6	56,7	446,5
2018	39,1	87,7	9,6	8,5	115,2	32,7	31,4	18,3	55,8	57,9	456,2
2019	39,9	89,6	9,8	8,6	117,6	33,4	32,1	18,7	57,0	59,1	465,8
2020	40,7	91,4	10,0	8,8	120,0	34,1	32,7	19,1	58,2	60,3	475,4

Kaynak: TÜİK (2011) Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verilerinden yazar tarafından sektörel emisyonlar hesaplanmış ve simülasyon uygulanmıştır. *: Emisyon değerleri Lulucf hariçtir.

Tablo 7.2'den izlenebileceği gibi 1990-2009 arası % 5.13'lük artış senaryosuna göre (Mayıs-2012 yılı itibarıyla en son emisyon değeri 2009 yılı için verilmiştir) 2009

yılı emisyon miktarı 369,7 Mt CO₂e iken 2020 yılında bu emisyon değerinin 475,4 Mt CO₂e olması öngörülmüştür. Bu sonuç Çevre ve Orman Bakanlığı'nın (Orman ve Su İşleri Bakanlığı) MAED/ENPEP modeli ile tahmin ettiği 604 Mt CO₂e tahmininden oldukça azdır fakat, Avrupa Komisyonu'nun PRIMES modeli ile tahmin ettiği 421 Mt CO₂e sonuçları ile uyumludur. Beşinci bölümde de belirtildiği gibi MAED/ENPEP modelinin enerji varsayımları gerçeği yansıtmadığı ve model sonuçlarının gerçekleşen değerlerden farklı olduğu göz önüne alınırsa, Avrupa Komisyonu'nu PRIMES modelinin baz alınması daha gerçekçi olacaktır.

Şekil 7.3: 1990-2009 Dönemi % 5.13'lük Emisyon Artımına Göre Sektörel ve Genel Emisyon Tahminleri* (Mt CO₂e)



Kaynak: TÜİK (2011) Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verileri yazar tarafından yazar tarafından sektörel olarak sınıflandırılmış ve toplulaştırılmıştır. *: Emisyon değerleri Lulucf hariçtir.

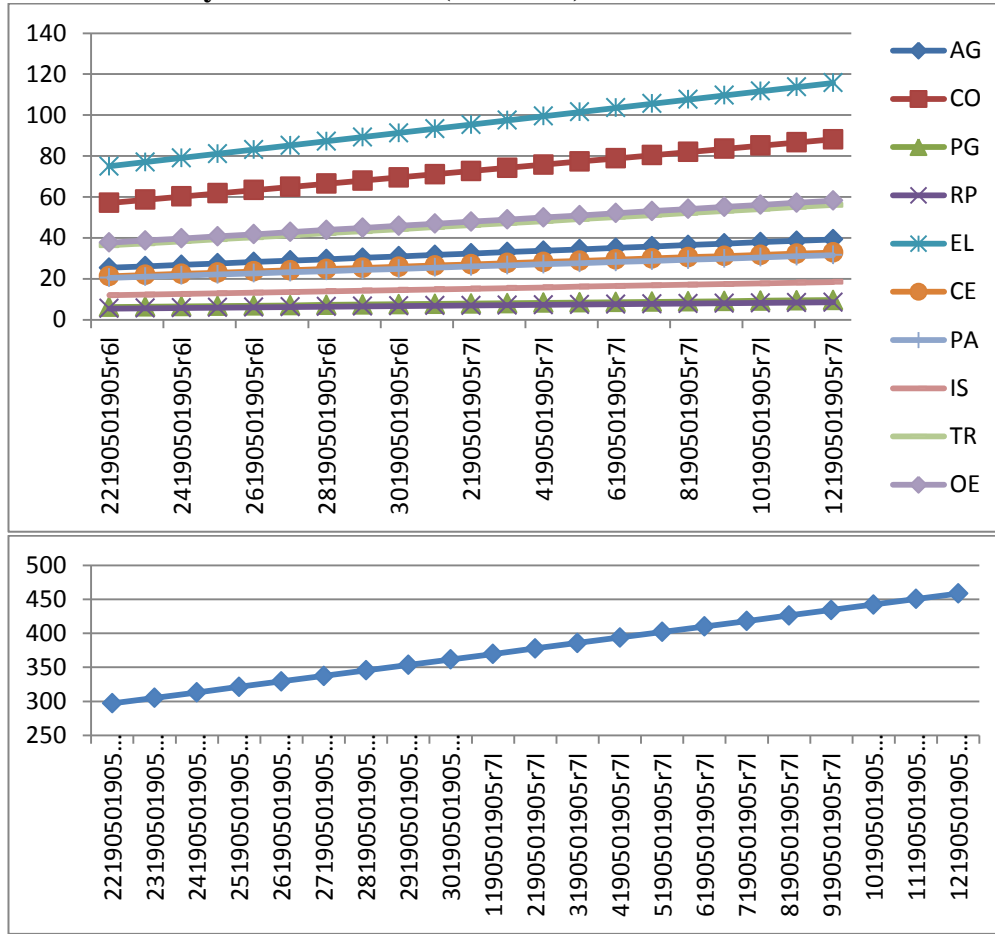
2000-2009 döneminde sera gazı artışı, 1990-2000 dönemine göre daha yavaştır. 2000-2009 döneminde sera gazı artış miktarı % 24,45, yıllık artış hızı ise % 2,71'dir. Yıllık % 2,71 artış hızına göre 2020 yılı emisyonları tahmin edilirse Tablo 7.3'teki bulgular elde edilir. Tablo 7.3'den izlenebileceği gibi 2000-2009 yılları arası % 2.71'lik artış senaryosuna göre 2009 yılı emisyon miktarı 369,7 Mt CO₂e iken 2020 yılında bu emisyon değerinin 458,4 Mt CO₂e olması öngörülmüştür.

Tablo 7.3: 2000-2009 Dönemi % 2.71'lik Emisyon Artımına Göre Sektörel ve Genel Karbon Emisyonları Tahmini (Mt CO₂e)*

	AG	CO	PG	RP	EL	CE	PA	IS	TR	OE	Toplam
2000	25,4	57,1	6,2	5,5	75,0	21,3	20,5	11,9	36,3	37,7	297,0
2001	26,1	58,7	6,4	5,7	77,0	21,9	21,0	12,3	37,3	38,7	305,1
2002	26,8	60,2	6,6	5,8	79,1	22,4	21,6	12,6	38,3	39,7	313,2
2003	27,5	61,8	6,7	6,0	81,1	23,0	22,1	12,9	39,3	40,8	321,2
2004	28,2	63,3	6,9	6,1	83,1	23,6	22,7	13,2	40,3	41,8	329,3
2005	28,9	64,9	7,1	6,3	85,2	24,2	23,2	13,6	41,3	42,8	337,4
2006	29,6	66,4	7,2	6,4	87,2	24,8	23,8	13,9	42,3	43,8	345,4
2007	30,3	68,0	7,4	6,6	89,2	25,3	24,4	14,2	43,3	44,9	353,5
2008	31,0	69,5	7,6	6,7	91,3	25,9	24,9	14,5	44,2	45,9	361,6
2009	31,7	71,1	7,8	6,9	93,3	26,5	25,5	14,9	45,2	46,9	369,7
2010	32,4	72,6	7,9	7,0	95,4	27,1	26,0	15,2	46,2	47,9	377,7
2011	33,0	74,2	8,1	7,1	97,4	27,7	26,6	15,5	47,2	49,0	385,8
2012	33,7	75,7	8,3	7,3	99,4	28,2	27,1	15,8	48,2	50,0	393,9
2013	34,4	77,3	8,4	7,4	101,5	28,8	27,7	16,2	49,2	51,0	401,9
2014	35,1	78,8	8,6	7,6	103,5	29,4	28,2	16,5	50,2	52,0	410,0
2015	35,8	80,4	8,8	7,7	105,5	30,0	28,8	16,8	51,2	53,1	418,1
2016	36,5	82,0	8,9	7,9	107,6	30,5	29,4	17,1	52,2	54,1	426,2
2017	37,2	83,5	9,1	8,0	109,6	31,1	29,9	17,5	53,1	55,1	434,2
2018	37,9	85,1	9,3	8,2	111,7	31,7	30,5	17,8	54,1	56,1	442,3
2019	38,6	86,6	9,4	8,3	113,7	32,3	31,0	18,1	55,1	57,2	450,4
2020	39,3	88,2	9,6	8,5	115,7	32,9	31,6	18,4	56,1	58,2	458,4

Kaynak: TÜİK (2011) Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verilerinden yazar tarafından sektörel emisyonlar hesaplanmış ve simülasyon uygulanmıştır. *: Emisyon değerleri Lulucf hariçtir.

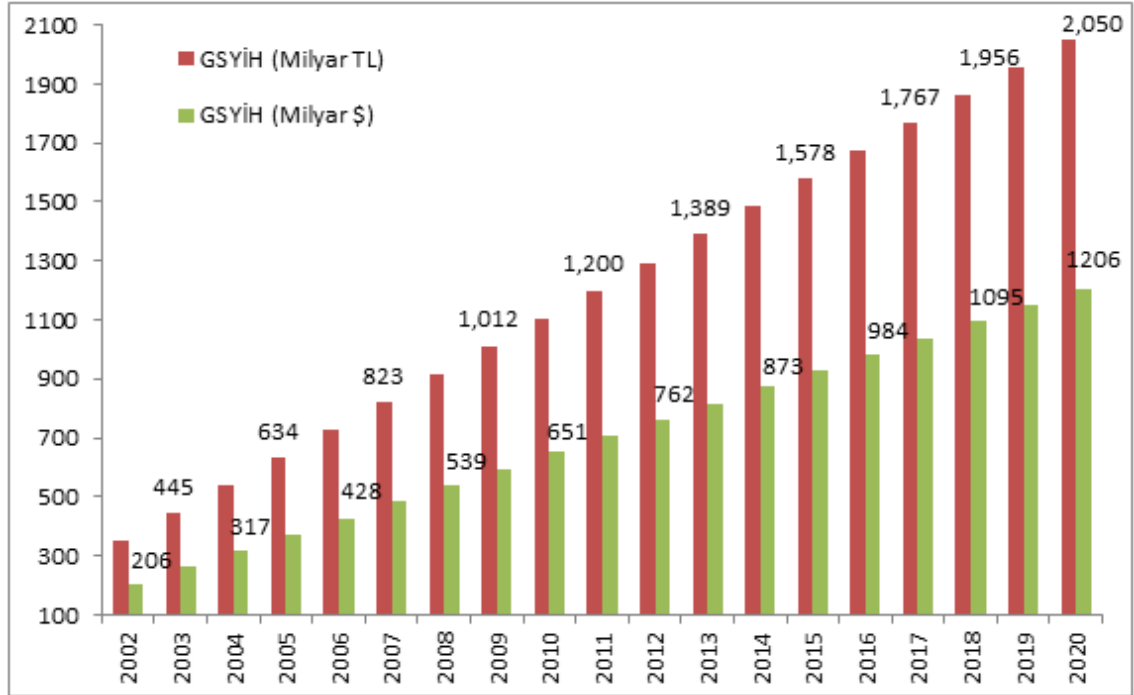
Şekil 7.4: 2000-2009 Dönemi % 2.71’lik Emisyon Artımına Göre Sektörel ve Genel Emisyon Tahminleri* (Mt CO₂e)



Kaynak: TÜİK (2011) Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verileri yazar tarafından sektörel olarak sınıflandırılmış ve toplulaştırılmıştır. *: Emisyon değerleri Lulucf hariçtir.

Türkiye ekonomisi 1998-2011 yılları arasında cari olarak yıllık % 124,6 sabit fiyatlarla ise yıllık % 3,87’lik büyüme kaydetmiş, 2002-2011 yılları arasında ise cari olarak yıllık % 26,9 sabit fiyatlarla ise yıllık % 5,4 büyüme kaydetmiştir. Türkiye’nin 2000 Kasım ve 2001 Şubat döneminde yaşadığı ekonomik krizler ve 2002 yılından itibaren güçlü ekonomiye geçiş programı göz önüne alınarak 2002-2011 dönemi büyüme rakamları kullanılarak 2020 yılı ekonominin büyüklüğü hakkında tahmin yapılarak Şekil 7.5’te verilmiştir. Şekil 7.5’ten izlenebileceği gibi cari olarak Türkiye ekonomisi 2002-2011 yılları arasındaki büyüme hızını sürdürdüğü takdirde 2015 yılında 1.578 milyar TL, 2020 yılında 2.050 milyar TL büyüklüğe ulaşması beklenmektedir. Döviz kuru 1,7 TL/\$ olduğu varsayılırsa \$ cinsinden ekonomik büyüklük; 2015 ve 2020 yıllarında sırasıyla 928 milyar \$ ve 1.206 milyar \$ olacaktır. Ekonomik büyüklüğün bilinmesi karbon emisyonları ile ilgili analizlerde yardımcı olacaktır.

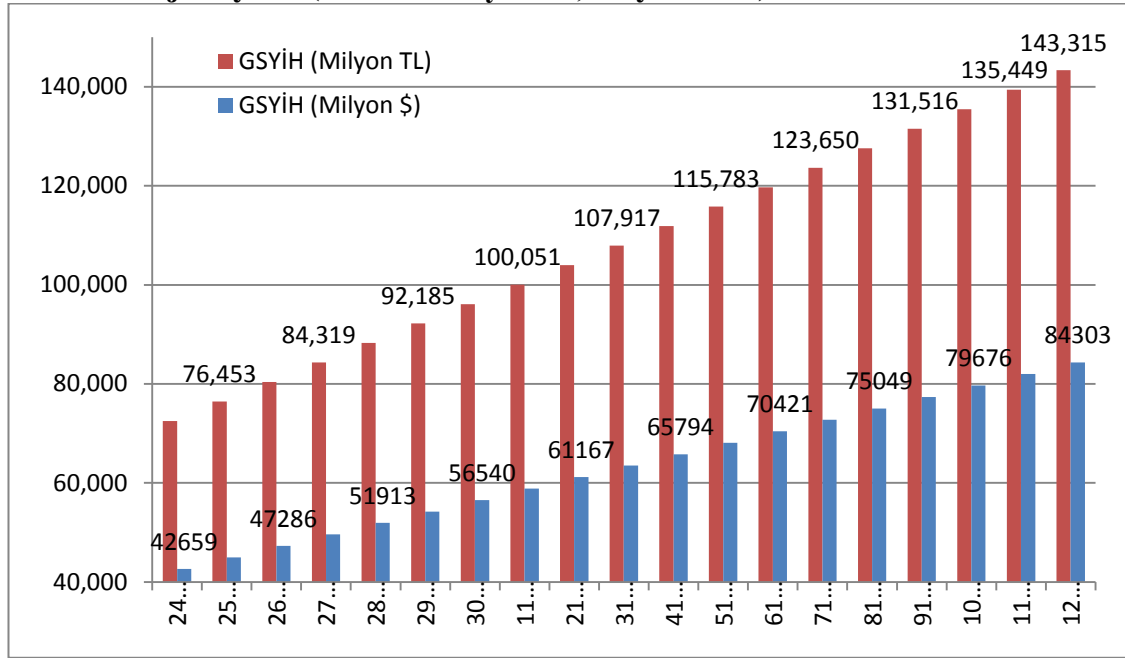
Şekil 7.5: 2002-2011 Dönemi % 26.9'luk Cari GSYİH Artışına Göre Türkiye'nin GSYİH Projeksiyonu (2010 sabit fiyatları, milyar TL/\$)



Kaynak: TCMB ve TÜİK verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 7.6'da Türkiye Ekonomisi için 2002-2011 döneminde sabit fiyatlarla yıllık % 5,4 büyüme hızı kullanılarak 2020 yılı büyüme tahmini yapılmıştır. Şekil 7.6'dan izlenebileceği gibi sabit fiyatlarla Türkiye ekonomisi 2002-2011 yılları arasındaki büyüme hızını sürdürdüğü takdirde 2015 yılında 123.650 milyon TL, 2020 yılında 143.315 milyon TL büyüklüğe ulaşması beklenmektedir. Döviz kuru 1,7 TL/\$ olduğu varsayılırsa \$ cinsinden ekonomik 2020 yılında beklenen ekonomik büyüklük 84.303 milyon \$ olacaktır.

Şekil 7.6: 2002-2011 Dönemi % 5.42’lik Sabit GSYİH Artışına Göre Türkiye’nin GSYİH Projeksiyonu (1998 sabit fiyatları, milyar TL/\$)



Kaynak: TCMB ve TÜİK verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Sektörel ve genel emisyon değerleri ve GSYİH projeksiyonları incelendikten sonra analize geçilebilir.

7.3.1. Farklı Emisyon Kotalarının Sektörlere Dağılımı

Çalışmanın bu bölümünde Kyoto sonrası dönemde (2013-2020) Türkiye’nin emisyon azaltımı yükümlülüğü alması durumunda, farklı emisyon kotalarının GSYİH üzerindeki etkileri analiz edilecektir. Analiz sonuçları kurulan Genel Denge Modeli ve GAMS programından elde edilmiştir. Analizde TÜİK tarafından yayınlanan son Girdi-Çıktı tablosu 2002 yılında olduğu için, bu yılın emisyon verileri baz alınarak programa aktarılmıştır. TÜİK tarafından yayınlanan “Ulusal Envanter Raporu 2011” de yer alan 2009 yılı emisyonları analize uygun olarak sektörel sınıflandırılmış ve 2002 yılı sektörel emisyon değerleri simülasyonla elde edilerek Tablo 7.4’te verilmiştir.

Türkiye’nin 2002 yılı sera gazı emisyonu 286,3 Mt CO₂e’dir. Tablo 7.4’ten izlenebileceği gibi Türkiye’nin % 5’lik kota alması durumunda emisyon salımı 272 Mt CO₂e’ye, % 10 alması durumunda 257,7 Mt CO₂e, % 20 alması durumunda 229 Mt CO₂e, % 30 alması durumunda 265,8 Mt CO₂e ve % 40 alması durumunda ise 188,8 Mt CO₂e’ye düşecektir.

Tablo 7.4: Toplam ve Sektörel Olarak Emisyon Kotaları (Mt CO₂e)

Sektörler	Emisyonlar	Karbon Emisyonu Kotaları									
		5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
AG	24,5	23,3	22,1	19,6	17,2	14,7	12,3	9,8	7,4	4,9	2,5
CO	55,1	52,3	49,5	44,0	52,3	36,6	27,5	22,0	16,5	11,0	5,5
PG	6,0	5,7	5,4	4,8	5,7	4,0	3,0	2,4	1,8	1,2	0,6
RP	5,3	5,0	4,8	4,2	5,0	3,5	2,7	2,1	1,6	1,1	0,5
EL	72,3	68,7	65,0	57,8	68,7	48,1	36,1	28,9	21,7	14,5	7,2
CE	20,5	19,5	18,5	16,4	19,5	13,6	10,3	8,2	6,2	4,1	2,1
PA	19,7	18,7	17,7	15,8	18,7	13,1	9,9	7,9	5,9	3,9	2,0
IS	11,5	10,9	10,4	9,2	10,9	7,7	5,8	4,6	3,5	2,3	1,2
TR	35,0	33,3	31,5	28,0	33,3	23,3	17,5	14,0	10,5	7,0	3,5
OE	36,3	34,5	32,7	29,1	34,5	24,2	18,2	14,5	10,9	7,3	3,6
TOPLAM	286,3*	272,0	257,7	229,0	265,8	188,8	143,1	114,5	85,9	57,3	28,6

Kaynak: TÜİK (2011). Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verilerinden yazar tarafından sektörel emisyonlar hesaplanmış ve simülasyon uygulanmıştır. *: Emisyon değerleri 2002 yılına aittir ve Lulucf hariçtir.

7.3.2. Uluslararası Piyasada Karbon Fiyatının ve Emisyon Kotalarının Değişiminin Refah Etkileri

Emisyon azaltımı yükümlülüğü olan ülkelerin, karbon emisyonu azaltım maliyetleri uluslararası piyasada oluşan karbon fiyatını aştığı zaman ulusal ölçekte azaltıma gitmekten ziyade uluslararası piyasadaki alım yapmaları rasyonel olacaktır. Ülkelerin uluslararası piyasadaki karbon arz ve talepleri karbon fiyatını etkileyecektir.

Analizin bu bölümünde Kyoto sonrası dönemde (2013-2020) Türkiye'nin emisyon azaltımı yükümlülüğü alması durumunda, uluslararası piyasada oluşan farklı karbon fiyatlarının, emisyon kotaları varsayımı altında GSYİH üzerindeki etkileri incelenecektir. Analiz sonuçları Tablo 7.6'te verilmiştir. Örnek olarak Türkiye'nin % 10'luk emisyon azaltım yükümlülüğü olduğunu varsayalım. (Tablo 7.6'nın 4. ve 5. sütunu) Tablo 7.6'dan izlenebileceği gibi uluslararası piyasada karbon fiyatı 10 € iken eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.204, KV uygulanırsa % 0.771, karbon fiyatı 12 € iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.245, KV uygulanırsa % 0.926, karbon fiyatı 14 € iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.286, KV uygulanırsa % 1.080, karbon fiyatı 20 € iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.408, KV uygulanırsa % 1.543, karbon fiyatı 30 € iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.612, KV uygulanırsa % 2.314, ve karbon fiyatı 40 € olması durumunda ise, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.817, KV uygulanırsa % 3.086 olacaktır.

Tablo 7.6: Farklı Karbon Fiyatları ve Kotalar Altında Emisyon Ticareti ve Karbon Vergisi Uygulamasının Sonuçları (GSYİH'ya oran olarak)*

Karbon Emisyonu Kotaları								
Karbon Fiyatı	ET 5%**	KV 5%	ET 10%	KV 10%	ET 20%	KV 20%	ET 30%	KV 30%
10 €	-0.102	-0.771	-0.204	-0.793	-0.408	-0.839	-0.612	-0.884
12 €	-0.122	-0.926	-0.245	-0.926	-0.490	-1.007	-0.735	-1.061
14 €	-0.143	-1.080	-0.286	-1.080	-0.572	-1.174	-0.857	-1.237
16 €	-0.163	-1.234	-0.327	-1.234	-0.653	-1.342	-0.980	-1.414
18 €	-0.184	-1.389	-0.367	-1.389	-0.735	-1.510	-1.102	-1.591
20 €	-0.204	-1.543	-0.408	-1.543	-0.817	-1.678	-1.225	-1.768
25 €	-0.255	-1.929	-0.510	-1.929	-1.021	-2.097	-1.531	-2.210
30 €	-0.306	-2.314	-0.612	-2.314	-1.225	-2.517	-1.837	-2.652
35 €	-0.357	-2.700	-0.715	-2.700	-1.429	-2.936	-2.144	-3.093
40 €	-0.408	-3.086	-0.817	-3.086	-1.633	-3.356	-2.450	-3.535
45 €	-0.459	-3.472	-0.919	-3.472	-1.837	-3.775	-2.756	-3.977
50 €	-0.510	-3.857	-1.021	-3.857	-2.042	-4.195	-3.062	-4.419
Karbon Fiyatı	ET 40%	KV 40%	ET 50%	KV 50%	ET 60%	KV 60%	ET 70%	KV 70%
10 €	-0.817	-0.943	-1.021	-1.071	-1.225	-1.227	-1.225	-1.227
12 €	-0.980	-1.132	-1.225	-1.286	-1.470	-1.473	-1.470	-1.473
14 €	-1.143	-1.321	-1.429	-1.500	-1.715	-1.718	-1.715	-1.718
16 €	-1.307	-1.509	-1.633	-1.714	-1.960	-1.963	-1.960	-1.963
18 €	-1.470	-1.698	-1.837	-1.929	-2.205	-2.209	-2.205	-2.209
20 €	-1.633	-1.887	-2.042	-2.143	-2.450	-2.454	-2.450	-2.454
25 €	-2.042	-2.358	-2.552	-2.679	-3.062	-3.068	-3.062	-3.068
30 €	-2.450	-2.830	-3.062	-3.214	-3.675	-3.681	-3.675	-3.681
35 €	-2.858	-3.302	-3.573	-3.750	-4.287	-4.295	-4.287	-4.295
40 €	-3.267	-3.773	-4.083	-4.286	-4.900	-4.908	-4.900	-4.908
45 €	-3.675	-4.245	-4.594	-4.822	-5.512	-5.522	-5.512	-5.522
50 €	-4.083	-4.717	-5.104	-5.357	-6.125	-6.136	-6.125	-6.136

Kaynak: TÜİK (2011). Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verilerinden yazar tarafından sektörel emisyonlar hesaplanmış ve simülasyon uygulanmıştır. *: Kur 2,5 TL olarak alınmıştır. **: Emisyon kotalarının göstermektedir.

Tablo 7.6'dan izlenebileceği gibi benzer şekilde Türkiye'nin % 20'lik emisyon azaltım yükümlülüğü olduğunu varsayalım (Tablo 7.6'nın 6. ve 7. sütunu). Uluslararası piyasada karbon fiyatı sırasıyla 10, 12, 14, 20, 30, 40 € iken eğer ET uygulanırsa GSYİH kayıpları % 0.408, % 0.490, % 0.572, % 0.817, % 1.225 ve % 1.633 olacak, KV uygulanırsa GSYİH kayıpları % 0.839, % 1.007, % 1.174, % 1.678, % 2.517, ve % 3.356 olacaktır.

7.3.3. Döviz Kuru Değişiminin Refah Etkileri

Emisyon azaltım yükümlülüğünü uluslararası piyasalardan karbon satın alarak tamamlayan emisyon azaltımı yükümlülüğü olan ülkeler için, döviz kurlarındaki değişimler azaltım maliyetlerini önemli ölçüde etkileyecektir. Döviz kurlarında meydana gelen artışlar, ülkelerin karbon emisyonu azaltım maliyetlerini arttıracak, ülkelerin yurtiçi piyasalarından döviz çıkışını arttırarak cari dengelerini bozacaktır.

Çalışmanın bu bölümünde Kyoto sonrası dönemde (2013-2020) Türkiye'nin emisyon azaltımı yükümlülüğü alması durumunda, uluslararası piyasada oluşan farklı döviz kurlarının, GSYİH üzerindeki etkileri incelenecektir. Türkiye'nin % 10'luk emisyon azaltımı yükümlülüğü olduğunu varsayalım. Tablo 7.7'de Türkiye için % 10 emisyon kotası altında €/TL paritesindeki değişimlerinin sonuçları verilmiştir. Tablo 7.7'den izlenebileceği gibi % 10 emisyon kotası altında uluslararası piyasalarda €/TL paritesi 2.0 iken eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.163, KV uygulanırsa % 0.617, €/TL paritesi 2.1 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.171, KV uygulanırsa % 0.648, €/TL paritesi 2.2 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.180, KV uygulanırsa % 0.679, €/TL paritesi 2.5 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.204, KV uygulanırsa % 0.771, €/TL paritesi 3.0 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.245, KV uygulanırsa % 0.926 olacaktır.

Tablo 7.7: Farklı Döviz Kurları Altında Emisyon Ticareti ve Karbon Vergisi Uygulamasının Sonuçları (GSYİH'ya oran olarak)*

Karbon Emisyonu Kotaları								
Kurlar (€/TL)	ET 10%**	KV 10%	ET 20%	KV 20%	ET 30%	KV 30%	ET 40%	KV 40%
2.0	-0.163	-0.617	-0.327	-0.671	-0.490	-0.707	-0.653	-0.755
2.1	-0.171	-0.648	-0.343	-0.705	-0.514	-0.742	-0.686	-0.792
2.2	-0.180	-0.679	-0.359	-0.738	-0.539	-0.778	-0.719	-0.830
2.3	-0.188	-0.710	-0.376	-0.772	-0.563	-0.813	-0.751	-0.868
2.4	-0.196	-0.741	-0.392	-0.805	-0.588	-0.848	-0.784	-0.906
2.5	-0.204	-0.771	-0.408	-0.839	-0.612	-0.884	-0.817	-0.943
2.6	-0.212	-0.802	-0.425	-0.872	-0.637	-0.919	-0.849	-0.981
2.7	-0.220	-0.833	-0.441	-0.906	-0.661	-0.955	-0.882	-1.019
2.8	-0.229	-0.864	-0.457	-0.940	-0.686	-0.990	-0.915	-1.057
2.9	-0.237	-0.895	-0.474	-0.973	-0.710	-1.025	-0.947	-1.094
3.0	-0.245	-0.926	-0.490	-1.007	-0.735	-1.061	-0.980	-1.132

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur. *: Karbon iyatı 10 € alınmıştır. **: Emisyon kotalarının göstermektedir.

Benzer şekilde % 20 emisyon kotası altında uluslararası piyasalarda €/TL paritesi sırasıyla 2.0, 2.1, 2.2, 2.5 ve 3.0 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.327, % 0.343, % 0.359, % 0.408 ve % 0.490 olacak, KV uygulanırsa % 0.671, % 0.705, % 0.738, % 0.839 ve % 1.007 olacaktır.

Türkiye'nin % 30'lik emisyon azaltımı yükümlülüğü olduğu durumda, Tablo 7.7'den izlenebileceği gibi (6. ve 7. sütun) uluslararası piyasalarda €/TL paritesi 2.0 iken eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.490, KV uygulanırsa % 0.707, €/TL paritesi 2.1 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.514, KV uygulanırsa % 0.742, €/TL paritesi 2.2 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.539, KV uygulanırsa % 0.778, €/TL paritesi 2.5 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.612, KV uygulanırsa % 0.884, €/TL paritesi 3.0 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.735, KV uygulanırsa % 1.061 olacaktır.

SONUÇ

Tarih boyunca yerküre, IPCC raporlarında da belirtildiği gibi, çeşitli sebeplerden dolayı doğal süreç içerisinde çok defa değişimlere uğramış, çevre ve iklim sistemlerindeki değişimler günümüzde birçok bilimsel çalışma tarafından ortaya konulmuştur. Çevre ve iklim sistemlerindeki doğal değişimlerin yanı sıra insanoğlu, özellikle 19. yüzyıldan itibaren iklime ve doğaya olumsuz katkılar yapmaya başlamıştır. Üretim sürecinde makineleşmenin arttığı sanayi devrimi ile başlayan dönem, insanoğlunun doğal dengeye müdahale etmesinin köşe taşı kabul edilmektedir. Artan nüfusun taleplerini temin etmek için üretimin artmasıyla, hammadde ve enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için doğal kaynakların yoğun olarak tüketilmeye başlanması, çevre sorunlarının ortaya çıkmasında önemli bir dönemi temsil etmektedir. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynakların hızla tüketilmesiyle atmosferdeki sera gazlarının yoğunluğu artmış ve bunun sonucunda küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunsalı dünya gündemine girmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, dünyada meydana gelen çevresel sorunları bilimsel verilerle ortaya koymak ve Türkiye örneğinde küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede emisyon yükümlülüğü alınması durumunda, alternatif mitigasyon (sera gazı azaltımı) politikalarının maliyetlerini ekonomik olarak analiz etmektir. Çevre-enerji-ekonomi bağlamında, sera gazlarının azaltımında uygulanan mitigasyon politikaları olan karbon vergisi ve emisyon ticaretinin Türkiye ekonomisi üzerindeki maliyetleri Hesaplanabilir Genel Denge Analizi ile incelenmiştir. Emisyon ticaretinin Türkiye örneği yapılan analizlerde ilk kez kullanılması, uluslararası karbon fiyatının modele dahil edilmesi açısından literatüre önemli katkılar yapmakta ve iklim değişikliği çalışmalarının oldukça az olması nedeniyle karar vericiler için yol haritası olma niteliğindedir.

Bu çerçevede, çalışmanın birinci bölümü, insan kaynaklı iklim değişikliğinin sebeplerinin, sonuçlarının incelenmesine, çevresel ve ekonomik sonuçlarının değerlendirilmesine ayrılmıştır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği, insan kaynaklı faaliyetler sonucunda açığa çıkan sera gazlarının atmosfer içerisindeki yoğunluğunun artarak yeryüzü ile atmosfer arasında ısı artışının yaşanması olarak tanımlanabilir ve bu süreçte karbondioksit emisyonu önemli yer tutmaktadır. Çalışmada, başta karbondioksit olmak üzere, atmosferde sera gazları emisyonunun değişiminin tarihsel süreci ve

küresel olarak emisyon trendlerinin değerlendirilmesi yer almaktadır. İklim değişikliği sonucu sıra dışı hava olaylarının görülmesi, buzulların erimesiyle ortaya çıkan deniz seviyesindeki yükselmeler, yağış rejimlerinde değişikliklerin yaşanması, deniz ve okyanus sularının ısınması gibi birçok çevresel olaylara bu kısımda örnekler verilmiştir. Özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çok daha büyük sonuçlar yaratan, su kıtlığı ve hava şartlarının değişmesine bağlı olarak oluşan ürün arzındaki daralmalar, geleceğe yönelik beklentilerin sigortacılık sektöründe oluşturmaya başladığı değişimler, turizm sektörünü bekleyen olumsuz gelecek gibi ekonomik etkilerde bu kısımda incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, insan kaynaklı iklim değişikliği çerçevesinde Türkiye'nin durumunun analiz edilmesine ayrılmıştır. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni 24 Mayıs 2004 yılında 189. ülke olarak imzalamış olması nedeniyle, her yıl Ulusal Sera Gazı Envanterini hazırlamak İDÇS sekreteryasına sunmak zorunluluğu olan Türkiye'nin sera gazı emisyonlarının detaylı bir incelemesi, TÜİK 2011 Sera Gazı Envanteri raporunda yer alan 2009 yılı baz alınarak yapılmıştır. Türkiye'nin küresel sera gazı emisyonlarında payı % 0,8 (binde sekiz) olmasına rağmen, 1990-2009 yılları arasında toplam sera gazı emisyonu % 97,64 gibi çok yüksek bir oranda artış göstermiştir. 1990 yılında 187,03 milyon ton CO₂ eşdeğeri olan toplam sera gazı emisyonu 2009 yılına gelindiğinde 369,65 milyon ton CO₂ eşdeğeri seviyesine ulaşmıştır. İncelenen dönem boyunca Türkiye'de, sera gazı emisyonu salımında en önemli faaliyet olan enerji üretiminin yaklaşık % 80'lik kısmı, kömür, petrol ve doğalgaz gibi önemli miktarlarda sera gazı salımı yapan fosil kaynaklardan oluşmaktadır. Bu durum, insan kaynaklı iklim değişikliği açısından büyük sakıncalar taşımaktadır. Türkiye'nin son yıllarda ekonomik büyümede kayda değer artışların olması, yaşanan nüfus artışları ve her iki olgunun etkisiyle, özellikle kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtların kullanılması sonucunda önemli miktarlarda sera gazı emisyonu açığa çıkmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde ekonomik büyümeden vazgeçilemeyeceğine göre emisyon azaltım maliyetleri önem arz etmektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, iklim değişikliğine neden olan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik en önemli adım niteliğindeki Kyoto Protokolü ile uygulamaya konulan proje temelli esneklik mekanizmaları olan “Temiz Kalkınma Mekanizması”, “Ortak Yürütme” ve piyasa temelli esneklik mekanizması olan “Emisyon Ticareti” incelenmiştir. Bu mekanizmalar ilk Kyoto Protokolü ile

tanıtılmış, bu mekanizmaların detaylı içeriği, ne şekilde uygulanacağı ve kurumsal yapısına ilişkin düzenlenmeler daha sonra 2001 yılında düzenlenen 7. Taraflar Konferansı'nda (COP 7) Marakeş Anlaşması ile şekillendirilmiştir. BMİDÇS ve Kyoto Protokolü'nde ülkeler, sera gazı azaltımı hedefi olan EK-1 ülkeleri, ayrıca diğer ülkelere teknoloji transferi ve mali destek sağlayacak EK-2 ülkeleri ve Ekler-Dışı olmak üzere gruplandırılmıştır. Türkiye küresel emisyon salımında payı % 0.8 (binde sekiz) ve kişi başına GSYİH karşılaştırması yapıldığında OECD ülkeleri arasında, en düşük kişi başı milli gelire sahip olan ülke olmasına rağmen başlangıçta hem EK-1 hem de EK-2 ülkesi olarak sınıflandırılmıştır. Türkiye, 1997 yılında Kyoto'da yapılan III. Taraflar Konferansı (COP3) sürecinde İDÇS'nin her iki ekinden de çıkarılmasını talep etmiş, fakat talebi kabul edilmediği için Kyoto Protokolü'ne taraf olmamıştır. 2000 yılında Lahey'de düzenlenen ve VI. Taraflar Konferansı'nda (COP 6) Türkiye, Ek-2'den çıkarılması şartı ve pazar ekonomisine geçiş ülkeleri olan eski sosyalist ülkelere sağlanan teknik destek, finansal yardım, kapasite geliştirme gibi imkanlardan faydalandırılması durumunda Ek-1 ülkesi olarak İDÇS'ye taraf olabileceğini ifade etmiştir. Lahey Konferansı'nda alınan karara bağlı olarak 2001 yılında VII. Taraflar Konferansı olan Marakeş Konferansı'nda (COP 7) "Sözleşmenin Ek-I listesinde yer alan diğer ülkelerden farklı bir konumda olan Türkiye'nin özel şartları tanınarak, 26/CP.7 sayılı kararlar isminin EK-I'de kalarak EK-2'den silinmesi" kararıyla Türkiye'nin Ek-2'den çıkartılması kabul edilmiştir. Bu gelişmelerin ardından, Türkiye'nin İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne katılmasının uygun bulunduğu kanun 24 Mayıs 2004 tarihinde imzalanarak Türkiye İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne 189. ülke olarak taraf olmuştur. Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ne katılmasına dair kanun 26 Ağustos 2009 tarihinde yürürlüğe girmiş ve Türkiye Protokol'e taraf olmuştur. Protokol'ün 2008-2012 yıllarını kapsayan birinci yükümlülük döneminde Türkiye'nin herhangi bir sayısallaştırılmış emisyon sınırlama veya azaltım yükümlülüğü bulunmamaktadır.

Dördüncü bölümde ise, piyasa ve proje temelli esneklik mekanizmaları uygulamaları ile oluşan karbon piyasaları incelenmiştir. Dünyada ülke grupları, ülkeler ve ülke içerisinde bölgelerde uygulanmakta olan emisyon ticareti sistemleri, hacimleri ve yıllara göre hacimlerinde meydana gelen değişimler anlatılmış ve uluslararası piyasada oluşan karbon fiyatının belirleyicileri üzerinde durulmuştur. 2000 yılında hacmi küçük olan karbon piyasasının işlem hacmi özellikle Kyoto döneminde çok hızlı

bir gelişme kaydetmiş ve 2009 yılında 144.2 milyar \$'a ulaşmıştır. Ayrıca, 2009 küresel krizle birlikte küresel GSYİH % 0.6 düşmesine rağmen karbon piyasasının işlem hacmi önceki yıla göre % 6 artmıştır. 2005 yılında karbon piyasasında yaklaşık 800 milyon ton karbon eşdeğeri (Mt CO₂e) miktarında işlem gerçekleşmiş ve bu işlem hacminin parasal değeri yaklaşık 11 milyar \$'a ulaşmıştır. 2006 yılında 1.6 milyar ton CO₂e takas yapılmış ve gerçekleşen parasal değer yaklaşık üç katına çıkarak 30 milyar \$ olmuştur. 2009 yılı sonunda ise bu piyasalar üzerinden 8.7 milyar ton CO₂ emisyonu azaltımı yapılmıştır. 2009 yılında da karbon piyasasının en büyüğü EU ETS'dir. Birinci ve ikinci ticari dönemlere ait (NAP1 ve NAP2) iki ayrı EUA fiyatının oluştuğu EU ETS, 2009 yılında toplam uluslararası karbon piyasasında, işlem miktarının % 72'sine, parasal değer olarak ise % 82'sinin üzerinde piyasa payına sahiptir. CDM projeleri ile 2009 yılında 1266 Mt CO₂e azaltım gerçekleştirilmiştir. 2008 yılında CDM ile toplam emisyon azaltımının % 30'u gerçekleşmiş iken, 2009 yılında bu oran % 14 olarak gerçekleşmiştir. CDM'nin payının azalmasında temel sebep ETS'nin yaygınlaşması ve 2008 yılına göre payının 2009 yılında payının iki katına çıkmasıdır. Uluslararası karbon piyasası işlem hacmi olarak 2010 yılında 6.8 milyar ton CO₂e, ticari değer olarak ise 124.3 milyar \$'lık hacme ulaşmıştır.

Beşinci bölüm, çevre-enerji-ekonomi modellemesi bağlamında iklim değişikliği modelleri incelenmiş, yukarıdan aşağı ve temelden yukarı modellerin özellikleri örneklerle anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde Türkiye ve Dünya örneğinde yapılan modelleme çalışmalarına ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması sonuçlarına göre; sera gazı emisyonu azaltımında genel olarak, emisyon ticareti uygulamasının, karbon vergisi uygulamasına göre GSYİH üzerinde daha az azaltıcı etkisi olduğu vurgulanmıştır. Türkiye örneğinde ise, genel olarak karbon vergisinin etkileri analiz edilmiş ve GSYİH üzerinde oldukça fazla azaltıcı etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Türkiye örneğinde emisyon ticareti sadece bir çalışmada modellenmiş fakat analizde permi istemi uygulanmadığı için emisyon ticaretinin etkisi düşük kalmıştır.

Altıncı bölüm, çalışmada kullanılacak olan yöntem olan Genel Denge Analizi ile ilgili olarak yöntemin tarihçesi, teorisi anlatılmış, kapalı ve basit bir ekonomi için yöntemin kullanılması senaryo uygulamaları ile yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. İki üretici ve iki tüketicinin olduğu 2x2'lik ekonomide, üreticiler için tanımlanan üretim fonksiyonu yardımıyla kar maksimizasyonu, tüketiciler için tanımlanan fayda fonksiyonu yardımıyla fayda maksimizasyonu varsayımı altında

denklemler elde edilmiş ve TÜİK tarafından yayınlanan son Girdi-Çıktı tablosu olan 2002 yılı baz alınarak hazırlanan basit bir SHM ile kalibrasyon süreci tamamlanmıştır. Genel Denge analizinin basit olarak anlatıldığı bu bölümde enerji yoğun sektör üzerine konulan vergilerin GSYİH üzerindeki etkileri senaryo uygulamalarıyla incelenmiştir.

Çalışmanın son bölümü olan yedinci bölümde ise, Türkiye'nin sera gazı emisyonlarının ve GSYİH'sinin artış trendleri dikkate alınarak geleceğe yönelik projeksiyonlar yapılmış, emisyon ticareti ve karbon vergisi gibi farklı mitigasyon (sera gazı azaltımı) politikalarının GSYİH üzerindeki etkileri farklı emisyon kotaları, uluslararası piyasada karbon fiyatlarındaki değişimler ve döviz kuru değişimleri senaryoları oluşturularak Genel Denge Analizi ile incelenmiştir.

Türkiye'nin 1990 yılında 187 Mt CO₂e olan karbon emisyonu % 58'lik artışla 2000 yılında 297 Mt CO₂e olmuştur. 2000 yılından itibaren artış hızı yavaşlamış ve % 24'lük artışla 2009 yılında 369,7 Mt CO₂e değerine ulaşmıştır. 1990-2009 döneminde % 97.64'lük, yıllık olarak ise % 5.13'lük artış söz konusudur. TÜİK (2011) tarafından yayınlanan "Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu" verilerinden en son 2009 yılı için sektörel sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Elektrik üretimi sektörü (EL) 93,3 Mt CO₂e emisyon salımı ile birinci sıradadır ve toplam emisyonların % 25'ini oluşturmaktadır. Kömür madenciliği sektörü (CO) 71,1 Mt CO₂e emisyon salımı ile ikinci sıradadır ve toplam emisyonların % 19'unu oluşturmaktadır. Sektörel olarak Taşımacılık (TR) ise 45,2 Mt CO₂e emisyon salımı gerçekleştirmektedir (% 12). Bu sektörleri sırasıyla; Tarım sektörü (AG) 31,7 Mt CO₂e (% 8), Çimento sektörü (CE) 26,5 Mt CO₂e (% 7), Kağıt üretimi sektörü (PA) 25,5 Mt CO₂e (% 6), Petrol ve Gaz üretimi (PG) 7,8 Mt CO₂e (% 2), Petrolün Arındırılması sektörü (RP) 6,9 Mt CO₂e (% 1) takip etmekte, kalan sektörler ise (OE) toplam 46,9 Mt CO₂e (% 12) emisyon salımı gerçekleştirmektedirler. İlk üç sektör göz önüne alındığı zaman; Elektrik üretimi, Kömür madenciliği ve Taşımacılık sektörleri toplam emisyonların % 57'sini üretmektedir.

Türkiye'nin 1990-2009 dönemi yıllık karbondioksit emisyonu artışı % 5.13'tür. Bu emisyon artışı dikkate alınarak 2020 yılı için projeksiyon uygulanırsa; 2012 yılında toplam emisyonlar 398,5 Mt CO₂e, 2015 yılında 427,3 Mt CO₂e, 2020 yılında 475,4 Mt CO₂e olması öngörülmektedir. 2000-2009 yılları arasında sera gazı emisyonu artışı azalmış ve yıllık % 2,71 olarak gerçekleşmiştir. Bu emisyon artımı dikkate alınarak

2020 yılı için projeksiyon uygulanırsa; 2012 yılında toplam emisyonlar 393,9 Mt CO₂e, 2015 yılında 418,1 Mt CO₂e, 2020 yılında 448,4 Mt CO₂e olması tahmin edilmektedir. Türkiye ekonomisi 1998-2011 yılları arasında cari olarak yıllık % 124,6 sabit fiyatlarla ise yıllık % 3,87'lik büyüme kaydetmiş, 2002-2011 yılları arasında ise cari olarak yıllık % 26,9 sabit fiyatlarla ise yıllık % 5,9 büyüme kaydetmiştir. Türkiye'nin 2000 Kasım ve 2001 Şubat döneminde yaşadığı ekonomik krizler ve 2001 yılından itibaren güçlü ekonomiye geçiş programı göz önüne alınarak 2001-2011 döneminde yıllık cari olarak yıllık % 26,9 sabit fiyatlarla ise yıllık % 5,4 büyüme oranı kullanılarak 2020 yılı ekonominin büyüklüğü hakkında tahmin yapıldığı zaman, Türkiye ekonomisinin 2015 yılında 1.578 milyar TL, 2020 yılında 2.050 milyar TL büyüklüğe ulaşması beklenmektedir. Döviz kuru 1,7 TL/\$ olduğu varsayılırsa ekonomik büyüklük; 2015 ve 2020 yıllarında sırasıyla 928 milyar \$ ve 1.206 milyar \$ olacaktır.

Emisyon azaltımı yükümlülüğü olan ülkelerin, karbon emisyonu azaltım maliyetleri uluslararası piyasada oluşan karbon fiyatını aştığı zaman ulusal ölçekte azaltıma gitmekten ziyade uluslararası piyasadan alım yapmaları rasyonel olacaktır. Ülkelerin uluslararası piyasadan karbon arz ve talepleri karbon fiyatını etkileyecektir. Analizde Türkiye'nin Kyoto sonrası dönemde (2013-2020) emisyon azaltımı yükümlülüğü alması durumunda, uluslararası piyasada oluşan farklı karbon fiyatlarının GSYİH üzerindeki etkileri Genel Denge Modeli ve GAMS programı yardımıyla elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre örnek olarak; Türkiye için % 20'lik emisyon azaltım yükümlülüğü altında, uluslararası piyasada karbon fiyatı sırasıyla 10, 12, 14, 20, 30, 40 € iken eğer ET uygulanırsa GSYİH kayıpları % 0.408, % 0.490, % 0.572, % 0.817, % 1.225 ve % 1.633 olacak, KV uygulanırsa GSYİH kayıpları % 0.839, % 1.007, % 1.174, % 1.678, % 2.517, ve % 3.356 olacaktır.

Emisyon azaltım yükümlülüğünü uluslararası piyasalardan karbon satın alarak tamamlayan emisyon azaltımı yükümlülüğü olan ülkeler için, döviz kurlarındaki değişimler azaltım maliyetlerini önemli ölçüde etkileyecektir. Döviz kurlarında meydana gelen artışlar, ülkelerin karbon emisyonu azaltım maliyetlerini arttıracak, ülkelerin yurtiçi piyasalarından döviz çıkışını arttırarak cari dengelerini bozacaktır. Analiz sonuçlarına göre örnek olarak; Türkiye için % 20 emisyon kotası altında uluslararası piyasalarda €/TL paritesi sırasıyla 2.0, 2.1, 2.2, 2.5 ve 3.0 iken, eğer ET uygulanırsa GSYİH kaybı % 0.327, % 0.343, % 0.359, % 0.408 ve % 0.490 olacak, KV uygulanırsa % 0.671, % 0.705, % 0.738, % 0.839 ve % 1.007 olacaktır.

Uluslararası piyasada oluşan karbon fiyatını da dikkate alan analiz sonuçları genel olarak incelendiği zaman, sera gazı emisyonlarının azaltımında karbon vergisi uygulamasının emisyon ticaretine göre daha fazla maliyetli olduğu bulgusu elde edilmiştir. Bu sonuçtan hareketle, ilerde emisyon yükümlülüğü alınabileceği göz önüne alınarak Türkiye’de ulusal ölçekte emisyon ticareti sistemi ve karbon borsasının kurulması ile yurt içinde sektörlerin emisyon ticareti yapmalarına olanak sağlanacaktır. Böylece, hem karbon vergisi yerine emisyon ticareti uygulanarak daha az maliyetle emisyon azaltımı sağlanmış olacak, hem de ilerde yükümlülük alınması durumunda ulusal karbon borsası Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemine entegre olabilecektir.

Ülkelerin ekonomik büyüme ve kalkınmadan vazgeçmeleri zordur. Fakat büyüme sürecinde emisyon salımının arttırılarak küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açılması ekonomik ve çevresel anlamda çok daha büyük kayıplara yol açacak, ayrıca gelecek kuşaklar için dünyayı yaşanılmaz kılacaktır. Emisyonların azaltılabilmesi için enerjinin etkin ve verimli kullanılması, üretim ve tüketim sürecinde fosil yakıt kullanımının minimum düzeye indirilmesi, yenilenebilir enerji yatırımlarının arttırılması, zorunlu emisyonları en düşük düzeye indirecek önlemlerin alınması, ormanlık alanların arttırılması sürdürülebilir bir ekonomik büyüme için kaçınılmazdır.

KAYNAKÇA

- Abduvaitov, S. ve Eşrefoğlu, A. (2004) “A Decomposition Analysis on CO2 Emissions from Energy Use in Turkey”, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ahmad Q. K. & Warrick, R. A. (eds.) (2001). “Methods and Tools”, In Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Alcamo, J., Kreileman, E. ve Leemans, R. (1998) “Global Change Scenarios of the 21st Century ; Results from the IMAGE2.1. Model”, Elseviers, London.
- Ansuati, A. ve Escapa, M. (2002) “Economic Growth and Greenhouse Gas Emissions”, *Ecological Economics*, Volume: 40, ss.23-37.
- Arıkan, Y. ve Kumbaroğlu, G. (2001) “Endogenising Emission Taxes; A General Equilibrium Type Optimisation Model Applied for Turkey”, *Energy Policy*, Volume: 29 (12), ss.1045-1056.
- Arrow, K. J. (1974) “General Economic Equilibrium: Purpose, Analytic Techniques, Collective Choice,” *The American Economic Review*, June 1974, ss. 253-272.
- Arrow, K. J, and G. Debreu (1954) “Existence of An Equilibrium for A Competitive Economy,” *Econometrica* 22, ss: 265-290.
- Arnell, N. (2004) “Climate Change and Global Water Resources: SRES Emissions and Socio-Economic Scenarios”, *Global Environment Change*, Volume: 14, ss: 31-52.
- Aydın, L. (2007) “Enerji Politikalarının Türkiye Ekonomisi Üzerine Etkileri: Türkiye İçin Genel Denge Analizi”, Ankara Üniversitesi Sosyal Bil. Ens. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Ankara, ss: 8-13.
- Barker, T. (2004) “The Transition to Sustainability: A Comparison of Economics Approaches”, Tyndall Centre Working Paper 62.

- Barker T., Haoran P., Kohler J., Warren R. and Winne S. (2006) “Decarbonising the Global Economy with Induced Technological Change: Scenarios to 2100 Using E3MG”, *The Energy Journal* (Special Issue: Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilization), ss: 143-160.
- Barrios, S., Ouattara, B. ve Strobl, E. (2008) “The Impact of Climatic Change on Agricultural Production: Is it Different for Africa?”, *Food Policy*, Volume: 33, Issue: 4, ss: 287-298.
- Baumol, W. J. ve Oates, W. E. (1971). “The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment”, *Swedish Journal of Economics*, Vol:73. ss. 42-54.
- Bayon, R., Hawn, A. ve Hamilton, K. (2007) “Voluntary Carbon Markets: An International Business Guide to What They Are and How They Work”, London, England: Earthscan.
- Bergman, L. (1991) “General Equilibrium Effects Of Environmental Policy: A Cge-Modeling Approach”, *Environmental and Resource Economics*, c. 1, s. 1, ss. 43-61.
- Bernand, A. L. ve Vielle, M. (1997) “An Appraisal Of The French Nuclear Program With Respect To The Kyoto Protocol Through A World, Dynamic, General Equilibrium Model”, *International Energy Markets, Competition and Policy*, Volume: 88, ss: 2-24.
- Birdsall, N. (1992) “Another Look at Population and Global Warming”, World Bank Country Economics Department, November 1992, Working Paper Series Nu: 1020, New York.
- Böhringer, C. (1998) “The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling”, *Energy Economics*, c: 20(3), ss: 233-248.
- Böhringer, C. And Rutherford, T. F. (2002) “Carbon Abatement and International Spillovers A Decomposition of General Equilibrium Effects”, *Environmental and Resource Economics*”, Volume: 22, ss: 391-417.
- Böhringer, C., Conrad, K. and Löschel, A. (2003) “Carbon Taxes and Joint Implementation An Applied General Equilibrium Analysis for Germany and India”, *Environmental and Resource Economics*”, Volume: 24, ss: 49-76.
- Böhringer C. and Rutherford, T. (2006) “Combining Top-Down and Bottom-up in

- Energy Policy Analysis: A Decomposition Approach”, ZEW Discussion Paper No. 06-007, Mannheim.
- Brady, J. (2005) “Environmental Management in Organizations”: The IEMA Handbook, Earthscan, Canada.
- Brittella et al. (2006) “A General Equilibrium Analysis of Climate Change Impacts on Tourism”, *Tourism Management*, Volume: 27, ss: 913-924.
- Brown, L. (2003) “Eko-Ekonomi”, Çeviren: A. Yeşim Erkan, Tema Vakfı Yayınları Nu: 42, İstanbul.
- Buchner, B. ve Galeotti, M. (2003) „Climate Policy and Economic Growth in Developing Countries”, Working Papers 2003.91, Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Bulutay, T. (1979) Genel Denge Kuramı, Ankara: Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları No:434.
- Burniaux, J.M., Martin, J.P., Nicoletti, G., and Oliveria-Martins, J. (1992), “GREEN- A Multi-sector, Multi-region Dynamic general Equilibrium Model for Quantifying the Costs of Curbing CO₂”, Working Paper No. 104, OECD Department of Economics and Statistics, Paris.
- Burniaux, J. M. and Truong, T.P. (2002) “GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model”, GTAP Technical Paper No.16, 2002.
- Burniaux, J. M., ve Martins, J. O. (2012), “Carbon Leakages: A General Equilibrium View”, *Economic Theory*, Volume: 49, ss: 473-495.
- Canes, M. (2002) “Economic Modeling of Climate Change Policy”, Background Paper for International Council for Capital Formation, Brussels.
- Cao, X. (2003) “Climate Change and Energy Development: Implications for Developing Countries”, *Resources Policy*, Volume: 29, ss.61-67.
- Capros, P. (2003) “ The GEM-E3 Model For The European Union”, NTUA University, Athens, <http://www.e3mlab.ntua.gr/manuals/GEMref.PDF>

- Capros P. and Mantzos, L. (2005) "The PRIMES Energy System Model: Reference Manual", NTAU, Athens. <http://www.e3mlab.ntua.gr/manuals/PRIMREFM.pdf>
- Carraro, C. and M. Galeotti (1997), "Economic Growth, International Competitiveness and Environmental Protection, R&D and Innovation Strategies with the WARM Model", *Energy Economics*, 19(1), p. 2-28.
- CBNET (2006) "CDM Alternatives", CDM Investment Newsletter, Nr 3/2006, June 2006.
- CEPS (2007) Centre for European Policy Studies, "Shaping the Global Arena Preparing the EU Emissions Trading Scheme for the Post-2012 Period", CEPS Task Force Report No: 61, March 2007.
- Chen, W. T., Li, Y. P., Huang, G. H., Chen, X. ve Li, Y. F. (2010) "A Two-Stage Inexact-Stochastic Programming Model for Planning Carbon Dioxide Emission Trading Under Uncertainty", *Applied Energy*, Vol. 87, ss: 1033-1047.
- Church, J. A., and N. J. White, (2006) "A 20th Century Acceleration in Global Sea-Level Rise". *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01602, doi: 10.1029/2005GL024826.
- Conzelmann, G. (2001) "Greenhouse Gas Mitigation Analysis Using ENPEP – A Guidebook", Final Report prepared for the International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria (December 2001). http://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/mitigation/Module_5/Module_5_1/b_tools/ENPEP/ENPEP_GHG_Guidebook_Version_9a.pdf
- Cropper, M. ve Griffiths, C. (1994) "The Interaction of Population Growth and Environmental Quality", *The American Economic Review*, Volume: 84, Nu: 2, ss: 250-254.
- COP 17 (2011) "Draft Decision- Establishment of an Ad Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action", Durban. http://unfccc.int/files/meetings/durban_nov_2011/decisions/application/pdf/cop17_durbanplatform.pdf, Erişim: 03.02.2011.

- Çevre ve Orman Bakanlığı (2007), “First National Communication of Turkey on Climate Change”, Submitted to UNFCCC, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara. . http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler4/iklim_degisikligi.pdf
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2011) “Karbon Piyasalarında Ulusal Deneyim ve Geleceğe Bakış”, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ocak 2011, Ankara.
- Dales, J. H. (1968) “Pollution, Property and Prices”, University of Toronto Press, Toronto.
- Damro, C. ve Mendes, P. L. (2005) “Emissions Trading at Kyoto: From EU Resistance to Union Innovation”, *Environmental Policy in the European Union: Actors, Institutions and Process*, Ed.: Jordan, Andrew, Eartscan, ss: 253-275.
- Dasgupta, S. et al. (2007) “The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis”, *World Bank Policy Research Working Paper*, WPS 4136, Washington, USA.
- Decanio, S. (1997) “The Economics of Climate Change”, *Redefining Progress*, San Francisco, USA.
- Dellink, R. ve Ierland, E. V. (2006) “Pollution abatement in the Netherlands: A Dynamic Applied General Equilibrium Assessment”, *Journal of Policy Modelling*, Volume: 28, ss: 207-221.
- Derviş, K., De Melo, J. ve Robinson, S. (1982) “General Equilibrium Models for Development Policy”, Cambridge University Press, Cambridge.
- Dessus, S., Bussolo, M. (1998) “Is There a Trade-off Between Trade Liberalization and Pollution Abatement? A Computable General Equilibrium Assessment Applied to Costa Rica”, *Journal of Policy Modelling*, Volume: 20(1), ss: 11-31.
- Dirkse, S. and Ferris, M. (1995) “The Path Solver: A Nonmonotone Stabilization Scheme For Mixed Complementarity Problems”, *Optimization Methods and Software*, 5(2), 123-156.
- Dolu, Ö. (2005) “Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları ve Kurumsal Kapasite Gelişimi”, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Aydın.

- Dowlatabadi, H. (1998) “Sensitivity of Climate Change Mitigation Estimates to Assumptions About Technical Change”, *Energy Economics*, Volume: 20(5-6), ss: 473-493.
- DPT (2000) İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- DSİ (2011) Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı İklim Değişikliği Birimi, “İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü Ve Türkiye”, ss:1-4
- EC (2007) “Limiting Global Climate Change to 2 Degrees Celsius The Way Ahead for 2020 and Beyond”, Communication from the Commission to the Council and EP and ESCCR, Brussels, 10.1.2007, COM(2007) 2 final. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2007/com2007_0002en01.pdf
- EC (2009) “The EU Emission Trading Scheme”, European Commission, 2009 Edition, Belgium.
- Ecosystem Marketplace, Bloomberg (2010) “Building Bridges: State of the Voluntary Carbon Markets 2010”, Hamilton, K., Peters-Stanley, M. and Marcelle T. (ed.). New York and Washington.
- Ecosystem Marketplace, Bloomberg (2011) “Back to the Future State of the Voluntary Carbon Markets 2011”, Peters-Stanley, M. Hamilton, K., Marcelle T. and Sjardin, M. New York and Washington.
- Ecosystem Marketplace, (2011) “State of the Forest Carbon Markets 2011”, Diaz, D., Hamilton, K., Johnson, E. Forest Trends, New York and Washington.
- Ediger, V. and Akar, S. (2007) “ARIMA Forecasting of Primary Energy Demand by Fuel in Turkey”, *Energy Policy*, Volume: 35, ss: 1701–1708.
- Ediger, V. and Tatlıdil, H. (2002) “Forecasting the Primary Energy Demand in Turkey and Analysis of Cyclic Patterns”. *Energy Conversion and Management* Vol.43, ss: 473–487.
- EEA (2003) “Europe’s Environment: The Third Report”, European Environment Agency, Report No: 10, April, 2003.

- EEA (2005) "Market-Based Instruments for Environmental Policy in Europe", European Environment Agency Technical Report No 8/2005, Denmark
http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2005_8/en
- EEA (2006) "Environmental Statement", European Environment Agency Report No 8/2006, Copenhagen, Denmark.
- EEA (2007) "Greenhouse Gas Emission Trends and Projections in Europe 2007" European Environment Agency Report, October 2007, Denmark, (Forthcoming)
- EEA (2011) "Greenhouse Gas Emission Trends and Projections in Europe 2011: The Fourth Report", European Environment Agency, Report Nu: 4, 2011.
- Eichner, T. ve Pethig, R. (2010) "EU-type Carbon Emissions Trade and the Distributional Impact of Overlapping Emissions Taxes", *Journal of Regulatory Economics*, Volume: 37, ss: 287-315.
- Ekins, P. ve Barker, T. (2001) "Carbon Taxes and Carbon emission Trading", *Journal of Economic Surveys*, Volume: 15(3), ss: 325-376.
- Ellerman, A. D., Joskow, P. L. ve Harrison, D. (2003) "Emissions Trading in the U.S. Experience, Lessons and Considerations for Greenhouse Gases", Pew Center, Global Climate Change.
- Ellerman, A. D. ve Buchner B. (2006) "Overallocation or Abatement? A Preliminary Analysis of the EU ETS Based on the 2005 Emissions Data", Fondazione Eni Enrico Mattei, FEEM Working Paper, 139, Milan.
- Ellerman, A. D. (2004) "The U.S. SO₂ Cap-and-Trade Programme", *Tradeable Permits: Policy Evaluation, Design and Reform*, Ed. OECD, ss:71-94.
- Ellerman, A. D. (2005) "A Note on Tradable Permits", *Environmental & Resource Economics*, 31. ss.123-131.
- Ellis, J. ve Tirpak, D. (2006) "Linking GHG Emission Trading Schemes and Markets", Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), The Annex I Expert Group (AIXG) Report, Paris.
- EPDK (2010) "Doğal Gaz Sektör Raporu 2010", Ankara.

- Ercan, H. (2004) “Avrupa Birliği Enerji Modelleri”, içinde Yavuz Ege (edit) AB'nin Enerji Politikası ve Türkiye, Ulusal Politika Araştırmaları Vakfı, ss.215-239.
- Erdoğan P. (2010) “Turkish Support to Kyoto Protocol: A Reality or Just an Illusion”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume: 11, ss: 1111-1117.
- Ermolieva, T., Ermoliev, Y., Fischer, G., Jonas, M., Makowski, M. ve Wagner, F. (2010) “Carbon Emission Trading and Carbon Taxes Under Uncertainties”, *Climatic Change*, Vol: 103, ss: 277-289.
- European Commission (2006) “European Energy and Transport: Trends to 2030 – Update 2005”, DGTREN, European Communities, 2006. http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030_update_2005/energy_transport_trends_2030_update_2005_en.pdf
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2010) “Global Forest Resources Assessment 2010”, FAO, Rome.
- Fæhn, T. ve Holmøy, E. (2003) “Trade Liberalisation And Effects on Pollutive Emissions to Air and Deposits of Solid Waste. A General Equilibrium Assessment for Norway”, *Economic Modelling*, Volume: 20, ss: 703-727.
- Field, B. C. ve Field, M. K. (2002) “Environmental Economics: An Introduction”, McGraw Hill.
- Frank, T. (2005) “Climate Change Impacts on Building Heating and Cooling Energy Demand in Switzerland”, *Energy and Buildings*, Volume: 37, ss: 1175-1185.
- Gale, D. (1955) “The Law of Supply And Demand,” *Mathematica Scandivica*, Vol: 3, ss: 155-169.
- Gürer, İ. (2007) “Küresel Isınma, Türkiye'nin Su Kaynakları, Olası Etkileşim”, *Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*, 11-13 Nisan 2007, İTÜ, İstanbul, ss: 8-27.
- Halıcıoğlu, F. (2009) “An Econometric Study of CO2 Emissions, Energy Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey”, *Energy Policy*, Volume: 37, ss: 1156-1164.
- Hamilton, J., Maddison, D. ve Tol, R. (2005) “Climate Change and International

- Tourism: A Simulation Study”, *Global Environmental Change*, Volume: 15, ss: 253-266.
- Hamzaçebi, C. (2007) “Forecasting of Turkey’s Net Electricity Energy Consumption on Sectoral Bases”, *Energy Policy*, Forthcoming.
- Harberger, A. (1962) “The Incidence Of The Corporate Income Tax”, *Journal Of Political Economy*, c.70(3), 215-240.
- Holgate, S. J., and P. L. Woodworth, (2004) Evidence for enhanced coastal sea level rise during the 1990s. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L07305, doi:10.1029/2004GL019626.
- Hope, C. (2006) “The marginal impact of CO₂ from PAGE2002: An integrated assessment model incorporating the IPCC’s five reasons for concern”, *Integrated Assessment*, Volume: 6(1), ss: 19–56.
- Hotunluoğlu, H. (2011) “Türkiye’nin Enerji Talebi Projeksiyonlarına Yönelik Ampirik Bir Analiz”, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bil. Ens. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Aydın, s.47.
- Hussen, A. (2004) *Principles of Environmental Economics*, Routledge, London.
- IEA (2003) “Key World Energy Statistics 2003”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IEA (2005b) “Key World Energy Statistics 2005”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IEA (2007a) “Key World Energy Statistics 2007”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IEA (2007b) “World Energy Outlook 2007”, International Energy Agency (IEA), OECD/IEA, Paris.
- IEA (2008) “Key World Energy Statistics 2008”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IEA (2009a) “How the Energy Sector Can Deliver on a Climate Agreement in Copenhagen”.

- IEA (2009b) “Key World Energy Statistics 2009”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IEA (2010) “Key World Energy Statistics 2010”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IEA (2010) “World Energy Outlook 2010”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IEA (2010a) “World Energy Outlook 2010”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IEA (2011) “World Energy Outlook 2010”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IEA (2011) “Key World Energy Statistics 2011”, International Energy Agency, (IEA) OECD/IEA, Paris.
- IPCC (2001) “Climate Change 2001: Synthesis Report”, TAR, Cambridge University Press, UK. ss: 398.
- IPCC (2001b) “Climate Change: The Scientific Basis - Summary for Policy Makers”, Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report, Editors: J.T. Houghton et al., Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2007) “Climate change 2007: Mitigation.”, Contribution of Working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2007a) “The Physical Science Basis”, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- IPCC (2007b) “Climate Change 2007: Mitigation”, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.

- İDKK (2005) “Enerji Sektöründe Sera Gazı Azaltımı Çalışma Grubu Raporu”, İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu Raporları, Ankara.
<http://www.iklim.cevreorman.gov.tr/raporlar/gruprap/Enerji.pdf>
- Jaccard, M., and Rivers, N. (2005) “Combining Top-Down and Bottom-Up Approaches To Energy- Economy Modeling Using Discrete Choice Methods”, *The Energy Journal*, 26(1).
- Jaccard, M., Loulou R., Kanudia A., Nyboer J, Bailie A. and Labriet, M. (2003a) “Methodological contrasts in costing greenhouse gas abatement policies: Optimization and simulation modelling of micro-economic effects in Canada” *European Journal of Operational Research* 145 (2003) 148–164
- Jaccard, M., Nyboer, J., Bataille, C., & Sadownik, B. (2003b). “Modeling the Cost of Climate Policy: Distinguishing between Alternative Cost Definitions and Long-Run Cost Dynamics”. *The Energy Journal*, Vol: 24(1), ss: 49-73.
- Jaeger, C. C., Leimbach, M., Carraro, C., Hasselmann, K., Hourcade, J.-C., Keeler, A., and Klein, R. (2002) “Integrated Assessment Modeling: Modules for Cooperation”, FEEM Nota di la-voro 53-2002, www.european-climate-forum.net/pdf/modulariam.pdf
- Jorgenson, D. and P. Wilcoxon (1990) “Environmental Regulation And Us Economic Growth”, *The Rand Journal of Economics*, Vol: 21(2), ss: 314-340.
- Jones, R. (1965) “The Structure Of Simple General Equilibrium Models”, *The Journal of Political Economy*, c.73, s.6, ss. 557-572.
- Jones, P. ve Thornton, P. (2003) “The Potential Impacts of Climate Change on Maize Production in Africa and Latin America in 2055”, *Global Environmental Change*, Volume: 13, ss: 51-59.
- Kadioğlu, M. (2007) “Küresel İklim Değişimi ve Türkiye – Bildiğiniz Havaaların Sonu”, Güncel Yayıncılık, Yayın Nu: 110, III. Basım, İstanbul.
- Kadioğlu, M. (2007) “99 Sayfada Küresel İklim Değişimi”, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, I. Baskı, Sena Ofset İstanbul.
- Kadioğlu, S. ve Dokumacı, O., anonim. İklim Değişikliği ve Türkiye.

- Kainumaa, M., Matsuoka, Y. and Morita, T. (2000) "AIM/end-use Model and Its Application to Forecast Japanese Carbon Dioxide Emissions", *Feature Issue of European Journal of Operational Research*, Volume: 122, ss: 416-425.
- Karakaya, E. ve Özçağ, M. (2003) "Türkiye Açısından Kyoto Protokolü'nün Değerlendirilmesi ve Ayrıştırma (Decomposition) Yöntemi İle CO2 Emisyonu Belirleyicilerinin Analizi", VII. ODTÜ İktisat Konferansı, Ankara http://www.econturk.org/Turkiyeekonomisi/odtu_paper.pdf
- Karakaya, E. (2007a), "The Economic Costs of Climate Change Impacts and Adaptation", ENVECON07, Applied Environmental Economics Conference, UKNEE, Royal Society, 23rd March 2007, London.
- Karakaya, E. (2007b), "Kyoto Protokolü ve İklim Değişikliği Politikalarının Türkiye Ekonomisi Ve İş Dünyası İçin Önemi", TUSIAD Dış Politika Forumu Yayını, 2007, Baskıda.
- Karakaya, E. (2008), "Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi", Bağlam Yayınları, Ankara.
- Karali, N. (2006) "An Aggregate Economic Equilibrium Model for Sustainable Energy Policy Analysis and Implications for Turkey", Yüksek Lisans tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Keeling, C. D. ve Whorf, T. P. (2005) "Atmospheric CO2 concentration (ppmv) Derived From in Situ Air Samples Collected at Mauna Loa Observatory", Hawaii.
- Keleş, R. ve Hamamcı, C. (2002) "Çevrebilim", İmge Kitabevi, 4. Baskı, Ankara.
- Keleş, R. (1997) Nüfus, Çevre ve Kentleşme, Nüfus, Çevre ve Kalkınma Konferansı Kitabı, TÇSV Yayın Nu: 124, Ankara, ss: 77-96.
- Kemfert, C. and Kuckshinrichs, W. (1995) MIS- A Model - Based Macroeconomic Information System for Energy Analysis in Germany. Oldenburg.
- Kemfert, C. (2002) "Global Economic Implications of Alternative Climate Policy Strategies", *Environmental Science and Policy*, 5(5), page.367-384.

- Kemfert, C. (2003) “Applied Economic- Environment- Energy Modelling for Quantitative Impact Assessment”, In Amelung, Rotmans (edit), Valkering: *Integrated Assessment for Policy Modelling*, 2003.
- Kerr, R. A. (1998) “Acid Rain Control: Success on the Cheap”, *Science*, Vol: 282, ss. 1024-1027
- Klepper, G. ve Peterson, S. (2003) “Marginal Abatement Cost Curves in General Equilibrium: The Influence of World Energy Prices”, *Resource and Energy Economics*, Volume: 28, ss: 1-23.
- Koutsiyannis, A. (1997) *Modern Mikro İktisat*, Gazi Kitabevi, Çev: Muzaffer Sarımeşeli, Ankara.
- Köse, A. H. ve Yeldan, E. (1996) “Çok Sektörlü Hesaplanabilir Genel Denge Modellerinin Veri Tabanı Üzerine Notlar: Türkiye 1990 Sosyal Hesaplamalar Matrisi”, *ODTÜ Gelişme Dergisi*, Vol: 23(1), ss: 59-60.
- Kuik, O., Buchner, B., Catenacci, M., Gorla, A., Karakaya, E., and Richard S. J. Tol (2007) “Methodological Aspects of Recent Climate Change Damage Cost Studies”, *Integrated Assessment Journal*, Forthcoming.
- Kumbaroğlu, Gürkan (2003) “Environmental Taxation and Economic Effects: A Computable General Equilibrium Analysis for Turkey”, *Journal of Policy Modeling*, Volume: (25), ss: 795–810.
- Kumbaroğlu, G. and Madlener, R. (2003) Energy and Climate Policy Analysis with the Hybrid Bottom-Up Computable General Equilibrium Model SCREEN: The Case of the Swiss CO2 Act, *Annals of Operations Research*, Vol: 121 (1-4), ss: 181-203.
- Kumbaroğlu, G., Madlener, R. ve Demirel, M. (2008) “A Real Options Evaluation Model for The Diffusion Prospects of New Renewable Power Generation Technologies”, *Energy Economics*, Volume: 30(4), ss: 1882-1908.
- Kutlu, E. ve Eşkinat, R. (2002) “Dünya Ekonomisi”, Anadolu Üniversitesi, ESBAY Yayın Nu: 150, Eskişehir.
- Lanz, B. ve Rausch, S. (2011) “General Equilibrium, Electricity Generation Technologies and the Cost of Carbon Abatement: A Structural Sensitivity Analysis”, *Energy Economics*, Volume: 33, ss: 1035-1047.

- Leuliette, E. W., R. S. Nerem, and G. T. Mitchum, (2004) Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason Altimeter Data to Construct A Continuous Record of Mean Sea Level Change. *Mar. Geodesy*, 27(1–2), 79–94
- Lin, B. and Li, X. (2011) “The Effect of Carbon Tax on Per Capita CO₂ Emissions”, *Energy Policy*, Volume 39, ss: 5137-5146.
- Lippike, B. and Garcia, J. P. (2008) “Will Either Cap and Trade or A Carbon Emissions Tax be Effective in Monetizing Carbon as An Ecosystem Service”, *Forest Ecology and Management*, Volume 256, ss: 2160-2165.
- Lise, W. (2006) “Decomposition of CO₂ Emissions Over 1980-2003 in Turkey”, *Energy Policy*, Volume 34 (14), September 2006, ss: 1841-1852.
- Loeschel, A. (2002) “Technological Change in Economic Models of Environmental Policy: A Survey”, *Ecological Economics*, Volume: 43, ss: 105-126.
- Madra, Ö. ve Şahin, Ü. (2007) “Küresel Isınma ve İklim Krizi”, İdil Yayıncılık, İstanbul, 2007.
- Manne, A.S. and Richels, R.,G. (2004) “MERGE: An Integrated Assessment Model for Global Climate Change”, Stanford University MERGE Publication, <http://www.stanford.edu/group/MERGE/GERAD1.pdf>
- Mariara, J. ve Karanja, F. (2007) “The Economic Impact of Climate Change on Kenyan Crop Agriculture: A Ricardian Approach”, *Global and Planetary Change*, Volume: 57, ss: 319-330.
- Mas-Colell, A., M. Whinston, and J. Green (1995) “Microeconomic Theory”, Oxford University Press New York.
- Masseti, E. (2011) “Carbon Tax Scenarios for China and India: Exploring Politically Feasible Mitigation Goals”, *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, Volume: 11(3), ss: 209-227.
- McFarland, J. R., Reilly, J., and Herzog, H. J. (2002) “Representing Energy Technologies in Top-down Economic Models Using Bottom-up Information”, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 89, October 2002.
- McKarl, B. A. ve Schneider, U. A. (2000) “U.S. Agriculture’s Role in a Greenhouse Gas Emission Mitigation World: An Economic Perspective,” *Review of*

Agricultural Economics, Vol. 22(1), ss: 2-48.

McKenzie, L. (1954) "On Equilibrium in Graham's Model of World Trade And Other Competitive Systems," *Econometrica*, Volume: 22, ss: 147-161.

McKibbin W. J. and P. J. Wilcoxon (2004) "Estimates of the Costs of Kyoto-Marrakesh Versus The McKibbin-Wilcoxon Blueprint", *Energy Policy*, Vol: 32(4), ss: 467-479.

McKittrick, R. (1998) "The Econometric Critique Of Computable General Equilibrium Mod-Eling: The Role Of Functional Forms", *Economic Modelling*, Vol: 15(4), ss: 543-573

Messner, S., Golodnikov, A. and Gritsevskii, A. (1997) A stochastic version of the dynamic Linear programming model MESSAGE III, *Energy*, Volume: 21(9), ss: 775-784.

Michaelowa A, (2004) "Policy Integration as a Success Factor for Emissions Trading", *Environmental Management*, Vol: 33, ss:765-775.

Miller, R. L., Benjamin, D. K., ve North D. C. (2005). "The Economics of Public Issues", Pearson Addison-Wesley.

Mills, E. ve Lecomte, E. (2006) "From Risk to Opportunity: How Insurers Can Proactively and Profitably Manage Climate Change", *A CERES Report*, August, 2006.

Montgomery, W. D. (1972). "Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs", *Journal of Economic Theory*, Vol: 5. ss.395-418.

Möst, D. ve Fichtner, W. (2010) "Renewable Energy Sources in European Energy Supply and Interactions With Emission Trading", *Energy Policy*, Volume: 18, ss: 2898-2910.

Nadaa, T. (2006) "Exploring the Market for Voluntary Carbon Offsets", International Institute for Environment and Development (IIED)", London.

Nakata, T. (2004) "Energy-Economic Models and the Environment", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol: 30, ss: 417-475.

Neumann, J. V. (1946) "A model of general economic equilibrium," *Review of Economic Studies*, Vol: 13, ss: 1-9.

- Nordhaus, W. (1994) “Managing the Global Commons. The Economics of Climate Change”, Cambridge, MA: MIT Press.
- Nordhaus, W. and Yang, Z. (1996) “A Regional Dynamic General Equilibrium Model of Alternati ve Climate Change Strategies”, *The American Economic Review*, Volume: 86(4), ss: 741-765.
- Nordhaus, W. (2007) “To Tax or Not to Tax: Alternative Approaches to Slowing Global Warming”, *Review of Environmental Economics and Policy*, Volume: 1(1), ss: 26-44.
- Norton, B., R. Costanza, and R. Bishop (1998) “The Evolution Of Preferences:: Why Sovereign'preferences May Not Lead To Sustainable Policies And What To Do About It”, *Eco-logical Economics*, Vol: 24(2-3), ss. 193-211.
- Ocak, M., Ocak, Z., Bilgen, S., Keleş, S., ve Kaygusuz., K. (2004) “Energy Utilization, Environmental Pollution and Renewable Energy Sources in Turkey”. *Energy Conversion and Management*, Volume: 45(6), ss: 845–864.
- OECD, (2005) “Act Locally, Trade Globally, Emissions Trading for Climate Policy”, IEA.
- Olesen, J. ve Bindi, M. (2002) “Consequences of Climate Change for European Agricultural Productivity, Land Use and Policy”, *European Journal of Agronomy*, Volume: 16, ss: 239-262.
- Özçağ, M. (2011) “İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği ve Ekonomik Büyüme Türkiye Üzerine Bir Analiz”, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bil. Ens. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Aydın, s.12.
- Paltsev, S. (2004) “Moving From Static To Dynamic General Equilibrium Economics Models”, *Working paper*, MIT Joint Program on Science and Policy of Global Change.
- Panagariya, A. and Duttagupta R. (2001) “The Gains From Preferential Trade Liberalization In The CGE Models”, *Regionalism and Globalization: Theory Andpractice*, 39.
- Pandey, R. (2002) “Energy Policy Modelling: Agenda for Developing Countries”, *Energy Policy*, Volume: 30, ss: 97–106.

- Pezzey, J. C. V. and Lambie, N. R. (2001) "Computable General Equilibrium Models For Evaluating Domestic Greenhouse Policies in Australia: A Comparative Analysis", Report to the Productivity Commission, AusInfo, Canberra.
- Pickl, S., Kropat, E. ve Hahn, H. (2010) "The Impact of Uncertain Emission Trading Markets on Interactive Source Planning Processes And International Emission Trading Experiments", *Climatic Change*, Volume: 103, ss: 327-338.
- PointCarbon (2004). 'What Determines the Price of Carbon in the European Union?', *Point Carbon Special Issue*, October 2004.
- PointCarbon (2007a). 'Carbon Market Europe', Volume 6 Issue 30, 3 August, 2007.
- PointCarbon (2007b). 'Carbon 2007: A New Climate for Carbon Trading', Annual Report on Carbon Markets, Røine, K. and H. Hasselknippe (eds.), 13 March 2007.
- PointCarbon (2009) "Carbon 2009: Emission Trading Coming Home", Annual Report on Carbon Markets, Røine, K. and H. Hasselknippe (eds.), 17 March 2009.
- Proost, S. ve Regemorter, D. V. (1992) "Economic Effects of A Carbon Tax: With a General Equilibrium Illustration for Belgium", *Energy Economics*, Volume: 14(2), ss: 136-149.
- Rehan, R. ve Nehdi, M. (2005) "Carbon Dioxide Emissions and Climate Change: Policy Implications for the Cement Industry", *Environmental Science and Policy*, Volume: 8, ss: 105-114.
- Reinaud, J. (2007) "CO₂ Allowance & Electricity Price Interaction Impact On Industry's Electricity Purchasing Strategies in Europe", OECD/IEA Publication, Paris.
- Resosudarmo, B. P. (2003) "Computable General Equilibrium Model on Air Pollution Abatement Policies with Indonesia as a Case Study", *The Economic Record*, Volume: 79, Special Issue ss: 63-73.
- Rivers, N. (2011) "Modelling Climate Change Policy: Addressing the Challenges of Policy Effectiveness and Political Acceptability", *Simon Fraser University, Ph. D. Thesis*, 29 March 2011, ss: 20-42.

- Rotmans J, Hulme M, and Downing T. (1994) "Climate Change Implication for Europe: An Application of the ESCAPE Model", *Global Environmental Change*, Vol: 2 ss: 97-124.
- Rutherford, T. (1995) "Extension Of Gams For Complementarity Problems Arising In Applied Economic Analysis", *Journal of Economic Dynamics and Control*, c: 19(8), s.1299-1324.
- Rutherford, T. (1999). Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: An overview of the modeling framework and syntax. *Computational Economics* 14(1), 1-46.
- Rutherford, T. and S. Paltsev (1999) "From An Input-Output Table To A General Equilibrium Model: Assessing The Excess Burden Of Indirect Taxes In Russia", *Working paper*, Univer-sity of Colorado.
- Russ P. and Criqui P. (2007) "Post-Kyoto CO2 Emission Reduction : The Soft Landing Scenario Analysed with POLES and Other World Models", *Energy Policy*, Vol. 35, ss: 786-796.
- Sandor, R, L. (2006) "Creating New Markets: The Chicago Climate Exchange", *The New Public Finance*, Ed.: Kail Inge, Conceição Pedro, UNDP, ss: 389-416
- Sayan, S. (1994) "An Analysis of the Effect of Changes in Saving Rates Using Neoclasical CGE Models:Lessons From Analytical Solutions To Simple Two-Sector Models with Endogenous Interest Rates", *Bilkent University Discussion Paper*, No:94-11, ss: 1-16.
- Scarf, H. (1990) "Mathematical Programming and Economic Theory," *Cowles Foundation Paper*, Vol: 763, ss. 377-385.
- Scheelhaase, J., Girmme, W. and Schaefer, M. (2010) "The inclusion of aviation into the EU emission trading scheme—Impacts on competition between European and non-European network airlines", *Transportation Research Part D*, Vol: 15, ss: 14-25.
- Schleich, J., Betz, R. ve Rogge, K. (2007) "EU Emission Trading – Better Job Second Time Around?", *Working Paper Sustainability and Innovation* Nr. S 2/2007,

Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research Karlsruhe, February 2007.

Shi, A. (2001) "Population Growth and Global Carbon Dioxide Emissions", *IUSSP Conference in Brazil*, June 2001, Session: ss: 4.

Smekens, K., Lako, P., and Seebregts, A. (2003) "Technologies and technology learning, contributions to IEA's Energy Technology Perspectives", ECN Policy Studies, Report No. ECN-C--03-046, Netherlands.

Sönmez, N. (1997) "Çevre, Toprak ve İnsan", İnsan, Çevre, Toplum, İmge Kitabevi, Ankara, ss: 65-98.

Stavins, R. N. (2000) "Market-Based Environmental Policies", Public Policies for Environmental Protection, Ed.: Portney, P.R., Stavins, R.N., RFF, ss.31-76

Stern Review (2006) "The Economics of Climate Change", HM Treasury, London.

Stevenik, E. ve Sundby, S. (2007) "Impacts of Climate Change on Commercial Fish Stock in Norwegian Waters", *Marine Policy*, Volume: 31, ss: 19-30.

Şahin, Ş. (2004), "An Economic Policy Discussion of the GHG Emission Problem in Turkey From a Sustainable Development Perspective within a Regional General Equilibrium Model : TURCO", Presented at the 7th Annual Conference on Global Economic Analysis, Washington DC, USA, <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1779.pdf>

Taşdemiroğlu, E. (1992) "Air Pollutant Emissions Due to Energy Utilization in Turkey, *Energy*, Volume: 17(1), ss: 95-97.

TCES (2006) "A Consumer's Guide to Retail Offset Providers", Clean Air Cool-Planet Report, December 2006.

Teaş (1996) "Elektrik Enerjisi Üretiminde Çevre Faktörünün İncelenmesi (1995-2010)", Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş., Döküman No: TEAŞ-Ç.96-03-01.

Telli, Ç. (2004) "Sosyal Hesaplar Matrisi Üretme Yöntemi Türkiye Uygulaması", Devlet Planlama Teskilati, Planlama Uzmanlığı Tezi, Kasım 2004, Ankara.

Telli, Ç., Voyvoda, E. and Yeldan, E. (2006) "Economics Of Environmental Policy In Turkey: A General Equilibrium Investigation of the Economic Evaluation of

- Sectoral Emission Reduction Policies for Climate Change”, 2006, http://www.bilkent.edu.tr/~yeldane/JournalOfPolMod_TVY2006.
- Tienberg, T. H. (2006) “Emission Trading: Principles and Practice”, RFF, Washington, DC, USA.
- Timilsina, R. G. ve Shrestha, R. M. (2006) “General Equilibrium Effects of a Supply Side GHG Mitigation Option Under the Clean Development Mechanism”, *Journal of Environmental Management*, Volume: 80, ss: 327-341.
- Tol, R. S. J. (2005) “Emission Abatement versus Development as Strategies to Reduce Vulnerability to Climate Change: An Application of FUND”, *Environment and Development Economics*, Vol: 10, ss: 615-629.
- TÜİK (2005) “Türkiye İstatistik Yıllığı, 2004”, Türkiye İstatistik Enstitüsü
- TÜİK (2011a) “VI. Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu 1990-2009”, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, 2011.
- TÜİK (2011b) “Turkey Greenhouse Gas Inventory – National Inventory Report”, Turkish Statistical Institute, Ankara, 2010.
- Türkeş, M. (2007) “Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler”, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*, 11-13 Nisan 2007, İTÜ, İstanbul, ss: 38-53.
- Türkeş, M. ve Kılıç, G. (2003) “Avrupa Birliği’nin İklim Değişikliği Politikaları ve Önlemleri”, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 1-4 Ekim 2003, Ankara.
- UKERC (2006) “Development of the UK MARKAL Energy Systems Model”, 2nd Interim Report, The UK Energy Research Centre, Working Paper, October 2006. http://www.ukerc.ac.uk/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=885
- UNEP (2011) “Processing Towards Post-2012 Carbon Markets”, Perspective Series 2011, Unep Risø Centre, KLS Grafisk Hus A/S, Denmark.
- UNFCCC (2001) “Proposal to Amend the List in Annexes I and II to the Convention by Removing the Name of Turkey”, FCCC/SBI/2001/L.8. Decision 7/CP.7, SBI, Fifteenth Session, Marrakesh, 29 October - 6 November 2001.

- UNFCCC (2005) “Key GHG Data”, Greenhouse Gas Emissions Data for 1990 – 2003, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).
- UNFCCC (2006) “Training Handbook on Mitigation Assessment for Non-Annex I Parties”, UNFCCC Publication on Mitigation Assessment, May 2006. http://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/mitigation/Handbook/MitigationHandbook_11May2006.pdf
- UNFCCC (2007) “Investment and financial flows relevant to the development of effective and appropriate international response to Climate Change”, UNFCCC Background Paper to Convention, Vienna, 27-31 August 2007.
- UNP (2002) “An Emerging Market for the Environment: A Guide to Emission Trading, Denmark.
- UNPD (United Nations Population Division) (2009) “World Population Prospects: The 2008 Revision”, UNPD, New York.
- UNPD (2010) “World Urbanization Prospects: the 2009 Revision”, UNPD, New York.
- Upadhyaya, P. (2011) “Is Emission Trading A Possible Policy Option for India?,” *Climate Policy*, Volume: 10(5), ss: 560-574.
- USDOE/EIA (2004) “NEMS - National Energy Modelling System Documentation”, Energy Information Administration. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/overview/overview.html>
- Uzmen, R. (2007) Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, Bile Kültür Sanat, Yayın Nu: 221, I. Basım, Nisan 2007, İstanbul.
- Ünlükaplan, İ. (2006) “Kamu Borçlanması ve Nesiller Arası Yük Sorunu”, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bil. Ens. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Adana, s.37-69.
- Wald, A. (1951) “On Some Systems of Equations of Mathematical Economics,” *Econometrica*, Volume: 19(4), ss.368-403.
- Warrick, R. ve Farmer, G. (1990) “The Greenhouse Effect, Climatic Change and Rising Sea Level: Implications for Development”, Transactions of the Institute of

British Geographers, New Series, Vol: 25, Nu: 1, ss: 5-20.

Weyant, J. (2003) "Integrated Environmental Assessment: An Overview and Assessment", OECD Workshop on Environment and Economic Modelling, October 9-10, 2003, Ottawa. <http://www.pnl.gov/aisu/pubs/eemw/papers/Integrated%20Environmental%20assessment.pdf>

World Bank (2004) World Development Indicators.

World Bank (2007) "State and Trends of the Carbon Market 2007", Washington. http://carbonfinance.org/docs/Carbon_Trends_2007-_FINAL_-May_2.pdf

World Bank (2010) State and the Trends of the Carbon Market 2010, Kossoy A. ve Ambrosi P. (ed.), Washington DC, USA. <http://www.carbonfinance.org>

Viguier, L., Babiker H. and Reilly J. (2003) "The Costs of the Kyoto Protocol in the European Union", *Energy Policy*, Vol: 31(5), ss: 459-481.

Yang, H. Y. (2000) "Carbon-Reducing Taxes and Income Inequality: General Equilibrium Evaluation of Alternative Energy Taxation in Taiwan", *Applied Economics*, Volume: 32, ss: 1213-1221.

Yang, H. Y. (2001a) "Trade Liberalization and Pollution: A General Equilibrium Analysis of Carbondioxide Emissions in Taiwan", *Economic Modelling*, Volume: 18, ss: 435-454.

Yang, H. Y. (2001b) "Carbon Emissions Control and Trade Liberalization: Coordinated Approaches to Taiwans Trade and Tax Policy", *Energy Policy*, Volume: 29, ss: 725-734.

Yang, H. Y. (2001c) "Social Incidence and Economic Costs of Carbon Limits: A Computable General Equilibrium Analysis For Taiwan", *Economic Modelling*, Volume: 18, ss: 435-454.

Yang, H. Y. ve Wang, T. F. (2002) "Social Incidence and Economic Costs of Carbon Limits: A Computable General Equilibrium Analysis For Taiwan", *Applied Economic Letters*, Volume: 9(3), ss: 185-189.

- Yeldan, E., Boratav, K., and Türel, O. (1996) “Dilemmas of Structural Adjustment and Environmental Policies under Instability: Post-1980 Turkey” *World Development*, Vol: 24(2), ss: 373-393.
- Zhang, F. Q. (2000) “Can China Afford to Commit Itself an Emission Cap? An Econometric and Political Analysis”, *Energy Economics*, Vol. 22, ss: 587-614.
- Zhang, Z. and Baranzini, A. (2004) “What Do We Know About Carbon Taxes? An Inquiry into Their Impacts on Competitiveness and Distribution of Income”, *Energy Policy*, Vol. 32 (4), ss: 507-518.

İnternet Adresleri

- <http://evds.tcmb.gov.tr>, Erişim:09.12.2011
- http://www.tuik.gov.tr/AltKategori.do?ust_id=16, Erişim: 03.04.2012.
- <http://www.e3mlab.ntua.gr/>
- <http://www.dis.anl.gov/ceeesa/programs/enpepwin.html>
- http://ec.europa.eu/europe2020/reaching-the-goals/targets/index_en.htm
- http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/allocation/2008/index_en.htm
- <http://ec.europa.eu/environment/climat/emission.htm>
- http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.html
- http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/raporVeriGir/62173/2
- http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/raporVeriGir/49100/2
- <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr> Erişim: 07.12.2011
- <http://www.energyboom.com/emerging/ieas-450-scenario-outlines-energy-actions-needed-mitigate-climate-change>, Erişim:30.11.2011
- <http://www.brophy.net/weblog/pivot/entry.php?id=10>, Erişim:27.11.2011
- <http://www.licor.com/env/newsline/tag/keeling-curve/>, Erişim: 13.03.2012
- <http://www.akut.org.tr/Default.aspx?tabid=250&ItemID=1958>, Erişim: 08.01.2007
- <http://www.cnnturk.com>, Erişim: 15.03.2007
- <http://www.rshm.saglik.gov.tr/hki/pdf/hava.pdf>, Erişim: 15.03.2012
- <http://www.sanayi.gov.tr>, Erişim: 06.06.2012
- http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=58&ust_id=16
- <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/data/allscen.xls>, Erişim: 27.11.2011.
- http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1355.php
- http://unfccc.int/kyoto_protocol/registry_systems/itl/items/4065.php

<http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a04.pdf>

<http://unfccc.int>

<http://www.pointcarbon.com>

<http://www.climatechange.govt.nz/emissions-trading-scheme/about/international-examples.html>

www.v-c-s.org

<http://arsiv.ntvmsnbc.com/news/401210.asp>, Erişim: 26.11.2011

EKLER³⁹

EK 1 – 2X2’lik analizde Kullanılan GAMS Programı Kodları

positive variables

w isci ucreti,
r sermaye kira ucreti,
px x mali fiyati,
py y mali fiyati,
x x mali uretim duzeyi,
y y mali uretim duzeyi,
m tuketici geliri;

equations

mc_k sermaye piyasasi dengelenmesi,
mc_l isci piyasasi dengelenmesi,
mc_x x mali piyasasi dengelenmesi,
mc_y y mali piyasasi dengelenmesi,
z_x x mali sifir kar,
z_y y mali sifir kar,
bb tuketici butce dengesi;

scalar

dy Y mali uzerindeki vergi /0.5/,
dx X mali uzerindeki vergi /0.9/;

mc_k.. 223436010=g=x/(3.5307*(0.299*r/(0.700*w))**0.299)+y/(4.3439*(0.271*r/(0.728*w))**0.271);
mc_l.. 92431093=g=x/(3.5307*(0.700*w/(0.299*r))**0.700)+y/(4.3439*(0.728*w/(0.271*r))**0.728);
mc_y.. y=g=m/(py*(1+dy)+px*(0.8455*py*(1+dy)/(0.1544*px))**0.5);

mc_y.. y=g=m/(px(1+dx)+py*(0.8455*px*(1+dx)/(0.1544*py))**0.5);

z_x.. px=g=w/(3.5307*(0.700*w/(0.299*r))**0.700)+r/(3.5307*(0.299*r/(0.700*w))**0.299);
z_y.. py=g=w/(4.3439*(0.728*w/(0.271*r))**0.728)+r/(4.3439*(0.271*r/(0.728*w))**0.271);
bb.. m=e=223436010*r+92431093*w+dy*py*y;

model simple /mc_k.r, mc_l.w,mc_y.py, z_x.x, z_y.y, bb.m/;

x.l=452432490; y.l=193353131; px.fx=1; py.l=1; w.l=1; r.l=1; m.l=645785621

solve simple using mcp;

EK 2 – Analizde Kullanılan GAMS Programı Kodları

\$Title A Simple CO2 Emission Trade 10 sector Model MERCAN&KARAKAYA

\$ontext

Sectors using in model

1-Tarım (1-3)
2-Kömür Madenciligi (4)
3-Ham petrol Doğal gaz(5)
4-Kağıt ve ürünleri(15)
5-Rafine petrol ürünleri(17)
6-Çimento(20)
7-Demir çelik(21-31)
8-Elektrik üretimi(32)
9-Ulaşım(39-43)
10-Diğer Ekonomi
\$offtext

³⁹ Analizlerde kullanılan tüm GAMS kodları yazar tarafından oluşturulmuştur.

SETS

i sectors / 1*10 /
j equations / 1*2 /;

PARAMETERS sector emission amount (explain can write here)

*sector emission amount

es(i) each sectors emission amount(milyon ton)

/1 24.5
2 55
3 6
4 19.7
5 5.3
6 20.5
7 11.5
8 72.2
9 35
10 36.3 / ;

*2002 year total emission amount 286 million ton

*es(i) it can write this way /1 150,2 110,3 110,4 110,5 110,6 90,7 90,8 110/ ;

QUOTA

*QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**
QUOTA*

*QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**
QUOTA**QUOTA*

*QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**QUOTA**
QUOTA**QUOTA*

*\$ontext

parameters quota for each sector (milyon ton)

* 286 dan %20 azaltım olsa

*%5

* q(i) /1 272

*%10

* q(i) /1 257.7

*%20

q(i) /1 229

*%30

* q(i) /1 200.4

*%40

* q(i) /1 171.8

*%50

* q(i) /1 143.1

*%60

* q(i) /1 114.5

*%70

* q(i) /1 85.9

*%80

* q(i) /1 57.3

2 0

3 0

4 0

5 0

6 0

7 0

8 0

9 0

10 0 / ;

***when 20% quota not distribute the all sector penalty without ET will decrease.

*\$offtext

*****EACH SECTOR 20% ABATEMENT.....

\$ontext

Parameters quota for each sector (milyon ton)

* 286 dan %20 azaltım olsa

q(i) /1 19.6

2 44

3 4.8

4 15.76

5 4.24

6 16.4

7 9.2

8 57.76

9 28

10 29.04/ ;

***when 20% quota distribute the all sector penalty without ET will decrease.

\$offtext

SCALAR

pceuro emission excess penalty per ton(euro) /10/

ss number of sector /10 /

exr exchange rate /2.5/;

parameter pctl emission excess penalty per ton(tl) ;

pctl=pceuro*exr;

*\$ontext

*This blog is calculating when happen carbon tax and emission trade!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

parameters

x(i) each sectors penalty situation

x99 when emission trade happen penalty situation(uluslararası piyasadan co2 permi alınıyor.

x100 without emission trade total penalty;

$x(i) = (es(i) - q(i)) * 1000000 * pctl$;

$x99 = (\sum(i, es(i)) - \sum(i, q(i))) * 1000000 * pctl$;

table f(i,j) yukarida set te i=10 ve j=2 alındığı için

*satir için (*i=1,2,...,10) ve sutuna (j=1,2) numara veriyoruz. i /satir1*satir10/

*olsaydı satirlarda satir1,2 vb yazardı. Ama denklemde x i cinsinden

*verildiği için g ve fte i cinsinden olmalıdır. (satir1 gibi harf olmaz)

*ayrıca matris en az iki boyutlu olacağı için ikinci sutunu ekliyoruz.

	1	2
1	1	0
2	1	0
3	1	0
4	1	0
5	1	0
6	1	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0 ;

parameter g(i,j) each sectors penalty situation as a table ;

$g(i,j) = f(i,j) * x(i)$;

MODEL emtr

```

* /all/ ;
*solve emtr using mcp;

display x99,g,x,pctl;
*above x is equal x(i)

if (x('1')<=0, x('1')=0);
if (x('2')<=0, x('2')=0);
if (x('3')<=0, x('3')=0);
if (x('4')<=0, x('4')=0);
if (x('5')<=0, x('5')=0);
if (x('6')<=0, x('6')=0);
if (x('7')<=0, x('7')=0);
if (x('8')<=0, x('8')=0);
if (x('9')<=0, x('9')=0);
if (x('10')<=0, x('10')=0);
x100=sum(i,x(i));

display x100;

*$offtext

alias(i,p);
*owing to command alias we can use p in place of i.
*set p sektorel buyuklukler /1*10/;
*above two row make same thing.

parameters sg(p) each sectors greatness baserun 2002

*her degerin yanina virgul konulabilir. /1 50, gibi
/1 150000
2 50000
3 110000
4 11000
5 110000
6 90000
7 90000
8 50000
9 90000
10 50000/ ;
parameters sd(p) sektorel decrease
*suppose: each sector 20% decreased
/1 0.2
2 0.2
3 0.2
4 0.2
5 0.2
6 0.2
7 0.2
8 0.2
9 0.2
10 0.2 /;
variable gdp1,gdp2,gdp3,gdp4;
equation y1,y2,y3,y4;

y1.. gdp1 =e= sum(p,sg(p)) ;
y2.. gdp2 =e=sum(p,sg(p)*0.8);
y3.. gdp3 =e=sg('1')*0.8+sg('2')*0.8+sg('3')*0.8+sg('4')*0.8+sg('5')*0.8
+sg('6')*0.8+sg('7')*0.8+sg('8')*0.8+sg('9')*0.8+sg('10')*0.8 ;

```

*burada gdp3'ü hesaplarken y3 denklemini kendimiz değiştireceğiz.

y4.. gdp4 =e=sum(p,sg(p)*(1-sd(p)));

*burada gdp4'ü parameter sd(p)'ye göre hesapladık.

MODEL emtr1 /all/ ;

SOLVE emtr1 using mcp ;

DISPLAY gdp1.l,gdp2.l,gdp3.l,gdp4.l,x100,x99;

*x99 ve x100 önceki modelden kalma değer deneme amaçlı bu modelde görüntülendi.

parameters models parrameters

teta1,teta2,teta3,teta4,teta5,teta6,teta7,teta8,teta9,teta10,

alfa1,alfa2,alfa3,alfa4,alfa5,alfa6,alfa7,alfa8,alfa9,alfa10,

t1,t2,t3,t4,t5,t6,t7,t8,t9,t10,

e1,e2,e3,e4,e5,e6,e7,e8,e9,e10,

p1g1,p2g2,p3g3,p4g4,p5g5,p6g6,p7g7,p8g8,p9g9,p10g10,

p1i1,p2i2,p3i3,p4i4,p5i5,p6i6,p7i7,p8i8,p9i9,p10i10,

tax,mps,k,l,y,

dogrulamapg,dogrulamapi;

y=329918517000;

* y is GDP.

teta1=0.077; teta2=0.003; teta3=0.001; teta4=0.0025; teta5=0.029;

teta6=0.029; teta7=0.203; teta8=0.057; teta9=0.161; teta10=0.891;

alfa1=0.37; alfa2=0.9; alfa3=0.33; alfa4=0.69; alfa5=0.8;

alfa6=0.91; alfa7=0.68; alfa8=0.8; alfa9=0.51; alfa10=0.42;

e1=1; e2=1; e3=1; e4=1; e5=1; e6=1; e7=1; e8=1; e9=1; e10=1;

t1=6.176668903; t2=2.288434665; t3=3.681392064; t4=8.723113512; t5=26.49120915;

t6=7.631528131; t7=9.552204809; t8=12.02026311; t9=6.68394181; t10=5.510221537;

p1g1=5938533306; p2g2=5938533306; p3g3=5938533306; p4g4=5938533306; p5g5=5938533306;

p6g6=5938533306; p7g7=5938533306; p8g8=5938533306; p9g9=5938533306; p10g10=5938533306;

p1i1=5707590344.1; p2i2=5707590344.1; p3i3=5707590344.1; p4i4=5707590344.1;

p5i5=5707590344.1;

p6i6=5707590344.1; p7i7=5707590344.1; p8i8=5707590344.1; p9i9=5707590344.1;

p10i10=5707590344.1;

tax=0.18;

*tax rate operated by government. Gdp*tax/10=pigi (goverment expenditure)

mps =0.173 ;

*mps marginal propensity to save Gdp*mps/10=pili (goverment investment)

k =25227609000 ;

*capital stock

l =92431093000 ;

if (p1g1+p2g2+p3g3+p4g4+p5g5+p6g6+p7g7+p8g8+p9g9+p10g10=y*tax, dogrulamapg=1 else dogrulamapg=0);

if (p1i1+p2i2+p3i3+p4i4+p5i5+p6i6+p7i7+p8i8+p9i9+p10i10=y*mps, dogrulamapi=1 else dogrulamapi=0);

*are investment equal to savings control?

*are government tax revenue equal to government expenditure control?

parameters

$h1, h2, h3, h4, h5, h6, h7, h8, h9, h10;$

$$h1 = (\text{teta1} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p2g2 + p3g3 + p4g4 + p5g5 + p6g6 + p7g7 + p8g8 + p9g9 + p10g10 + p2i2 + p3i3 + p4i4 + p5i5 + p6i6 + p7i7 + p8i8 + p9i9 + p10i10);$$

$$h2 = (\text{teta2} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p1g1 + p3g3 + p4g4 + p5g5 + p6g6 + p7g7 + p8g8 + p9g9 + p10g10 + p1i1 + p3i3 + p4i4 + p5i5 + p6i6 + p7i7 + p8i8 + p9i9 + p10i10);$$

$$h3 = (\text{teta3} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p1g1 + p2g2 + p4g4 + p5g5 + p6g6 + p7g7 + p8g8 + p9g9 + p10g10 + p1i1 + p2i2 + p4i4 + p5i5 + p6i6 + p7i7 + p8i8 + p9i9 + p10i10);$$

$$h4 = (\text{teta4} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p1g1 + p2g2 + p3g3 + p5g5 + p6g6 + p7g7 + p8g8 + p9g9 + p10g10 + p1i1 + p2i2 + p3i3 + p5i5 + p6i6 + p7i7 + p8i8 + p9i9 + p10i10);$$

$$h5 = (\text{teta5} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p1g1 + p2g2 + p3g3 + p4g4 + p6g6 + p7g7 + p8g8 + p9g9 + p10g10 + p1i1 + p2i2 + p3i3 + p4i4 + p6i6 + p7i7 + p8i8 + p9i9 + p10i10);$$

$$h6 = (\text{teta6} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p1g1 + p2g2 + p3g3 + p4g4 + p5g5 + p7g7 + p8g8 + p9g9 + p10g10 + p1i1 + p2i2 + p3i3 + p4i4 + p5i5 + p7i7 + p8i8 + p9i9 + p10i10);$$

$$h7 = (\text{teta7} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p1g1 + p2g2 + p3g3 + p4g4 + p5g5 + p6g6 + p8g8 + p9g9 + p10g10 + p1i1 + p2i2 + p3i3 + p4i4 + p5i5 + p6i6 + p8i8 + p9i9 + p10i10);$$

$$h8 = (\text{teta8} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p1g1 + p2g2 + p3g3 + p4g4 + p5g5 + p6g6 + p7g7 + p9g9 + p10g10 + p1i1 + p2i2 + p3i3 + p4i4 + p5i5 + p6i6 + p7i7 + p9i9 + p10i10);$$

$$h9 = (\text{teta9} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p1g1 + p2g2 + p3g3 + p4g4 + p5g5 + p6g6 + p7g7 + p8g8 + p10g10 + p1i1 + p2i2 + p3i3 + p4i4 + p5i5 + p6i6 + p7i7 + p8i8 + p10i10);$$

$$h10 = (\text{teta10} * (1 - \text{tax}) * (1 - \text{mps}) + \text{tax} + \text{mps}) * y - (p1g1 + p2g2 + p3g3 + p4g4 + p5g5 + p6g6 + p7g7 + p8g8 + p9g9 + p1i1 + p2i2 + p3i3 + p4i4 + p5i5 + p6i6 + p7i7 + p8i8 + p9i9);$$

parameters

tetahat12, tetahat13, tetahat14, tetahat15, tetahat16, tetahat17, tetahat18, tetahat19, tetahat110, tetahat22, tetahat23, tetahat24, tetahat25, tetahat26, tetahat27, tetahat28, tetahat29, tetahat210, tetahat32, tetahat33, tetahat34, tetahat35, tetahat36, tetahat37, tetahat38, tetahat39, tetahat310, tetahat42, tetahat43, tetahat44, tetahat45, tetahat46, tetahat47, tetahat48, tetahat49, tetahat410, tetahat52, tetahat53, tetahat54, tetahat55, tetahat56, tetahat57, tetahat58, tetahat59, tetahat510, tetahat62, tetahat63, tetahat64, tetahat65, tetahat66, tetahat67, tetahat68, tetahat69, tetahat610, tetahat72, tetahat73, tetahat74, tetahat75, tetahat76, tetahat77, tetahat78, tetahat79, tetahat710, tetahat82, tetahat83, tetahat84, tetahat85, tetahat86, tetahat87, tetahat88, tetahat89, tetahat810, tetahat92, tetahat93, tetahat94, tetahat95, tetahat96, tetahat97, tetahat98, tetahat99, tetahat910, tetahat102, tetahat103, tetahat104, tetahat105, tetahat106, tetahat107, tetahat108, tetahat109, tetahat1010;

tetahat12=h1/h2; tetahat13=h1/h3; tetahat14=h1/h4; tetahat15=h1/h5; tetahat16=h1/h6; tetahat17=h1/h7; tetahat18=h1/h8; tetahat19=h1/h9; tetahat110=h1/h10;
tetahat22=h2/h1; tetahat23=h2/h3; tetahat24=h2/h4; tetahat25=h2/h5; tetahat26=h2/h6; tetahat27=h2/h7; tetahat28=h2/h8; tetahat29=h2/h9; tetahat210=h2/h10;
tetahat32=h3/h1; tetahat33=h3/h2; tetahat34=h3/h4; tetahat35=h3/h5; tetahat36=h3/h6; tetahat37=h3/h7; tetahat38=h3/h8; tetahat39=h3/h9; tetahat310=h3/h10;
tetahat42=h4/h1; tetahat43=h4/h2; tetahat44=h4/h3; tetahat45=h4/h5; tetahat46=h4/h6; tetahat47=h4/h7; tetahat48=h4/h8; tetahat49=h4/h9; tetahat410=h4/h10;
tetahat52=h5/h1; tetahat53=h5/h2; tetahat54=h5/h3; tetahat55=h5/h4; tetahat56=h5/h6; tetahat57=h5/h7; tetahat58=h5/h8; tetahat59=h5/h9; tetahat510=h5/h10;

tetahat62=h6/h1; tetahat63=h6/h2; tetahat64=h6/h3; tetahat65=h6/h4; tetahat66=h6/h5; tetahat67=h6/h7;
tetahat68=h6/h8; tetahat69=h6/h9; tetahat610=h6/h10;
tetahat72=h7/h1; tetahat73=h7/h2; tetahat74=h7/h3; tetahat75=h7/h4; tetahat76=h7/h5; tetahat77=h7/h6;
tetahat78=h7/h8; tetahat79=h7/h9; tetahat710=h7/h10;
tetahat82=h8/h1; tetahat83=h8/h2; tetahat84=h8/h3; tetahat85=h8/h4; tetahat86=h8/h5; tetahat87=h8/h6;
tetahat88=h8/h7; tetahat89=h8/h9; tetahat810=h8/h10;
tetahat92=h9/h1; tetahat93=h9/h2; tetahat94=h9/h3; tetahat95=h9/h4; tetahat96=h9/h5; tetahat97=h9/h6;
tetahat98=h9/h7; tetahat99=h9/h8; tetahat910=h9/h10;
tetahat102=h10/h1; tetahat103=h10/h2; tetahat104=h10/h3; tetahat105=h10/h4; tetahat106=h10/h5;
tetahat107=h10/h6; tetahat108=h10/h7; tetahat109=h10/h8; tetahat1010=h10/h9;

scalar energy sectors change

co1 1. sectors coal change /0.0/
ng1 1. sectors ngas change /0.0/
el1 1. sectors electric change /0.0/
pet1 1. sectors oil change /0.0/

co2 2. sectors coal change /0.0/
ng2 2. sectors ngas change /0.0/
el2 2. sectors electric change /0.0/
pet2 2. sectors oil change /0.0/

co3 3. sectors coal change /0.0/
ng3 3. sectors ngas change /0.0/
el3 3. sectors electric change /0.0/
pet3 3. sectors oil change /0.0/

co4 4. sectors coal change /0.0/
ng4 4. sectors ngas change /0.0/
el4 4. sectors electric change /0.0/
pet4 4. sectors oil change /0.0/

co5 5. sectors coal change /0.0/
ng5 5. sectors ngas change /0.0/
el5 5. sectors electric change /0.0/
pet5 5. sectors oil change /0.0/

co6 6. sectors coal change /0.0/
ng6 6. sectors ngas change /0.0/
el6 6. sectors electric change /0.0/
pet6 6. sectors oil change /0.0/

co7 7. sectors coal change /0.0/
ng7 7. sectors ngas change /0.0/
el7 7. sectors electric change /0.0/
pet7 7. sectors oil change /0.0/

co8 8. sectors coal change /0.0/
ng8 8. sectors ngas change /0.0/
el8 8. sectors electric change /0.0/
pet8 8. sectors oil change /0.0/

co9 9. sectors coal change /0.0/
ng9 9. sectors ngas change /0.0/
el9 9. sectors electric change /0.0/
pet9 9. sectors oil change /0.0/

co10 10. sectors coal change /0.0/
ng10 10. sectors ngas change /0.0/
el10 10. sectors electric change /0.0/

pet10 10. sectors oil change /0.0/ ;

parameters total change in energy sector

s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8,s9,s10;

s1=co1+ng1+el1+pet1;

s2=co2+ng2+el2+pet2;

s3=co3+ng3+el3+pet3;

s4=co4+ng4+el4+pet4;

s5=co5+ng5+el5+pet5;

s6=co6+ng6+el6+pet6;

s7=co7+ng7+el7+pet7;

s8=co8+ng8+el8+pet8;

s9=co9+ng9+el9+pet9;

s10=co10+ng10+el10+pet10;

variables

k1,k2,k3,k4,k5,k6,k7,k8,k9,k10,

*capital demand for each sector

l1,l2,l3,l4,l5,l6,l7,l8,l9,l10,

*labour demand for each sector

x1 x1 goods productlevel,

x2 x2 goods productlevel,

x3 x3 goods productlevel,

x4 x4 goods productlevel,

x5 x5 goods productlevel,

x6 x6 goods productlevel,

x7 x7 goods productlevel,

x8 x8 goods productlevel,

x9 x9 goods productlevel,

x10 x10 goods productlevel,

tp total product,

tk total kapital,

tl total labour ;

equations

kk1,kk2,kk3,kk4,kk5,kk6,kk7,kk8,kk9,kk10,

ll1,ll2,ll3,ll4,ll5,ll6,ll7,ll8,ll9,ll10,

xx1 1. goods product,

xx2 2. goods product,

xx3 3. goods product,

xx4 4. goods product,

xx5 5. goods product,

xx6 6. goods product,

xx7 7. goods product,

xx8 8. goods product,

xx9 9. goods product,

xx10 10. goods product,

top total product,

topk total kapital,

topl total labour;

kk1..

$k1 = e / (1 + \alpha2 / (\text{tetahat12} * \alpha1) + \alpha3 / (\text{tetahat13} * \alpha1) + \alpha4 / (\text{tetahat14} * \alpha1) + \alpha5 / (\text{tetahat15} * \alpha1) + \alpha6 / (\text{tetahat16} * \alpha1) +$

$\alpha7 / (\text{tetahat17} * \alpha1) + \alpha8 / (\text{tetahat18} * \alpha1) + \alpha9 / (\text{tetahat19} * \alpha1) + \alpha10 / (\text{tetahat110} * \alpha1));$

kk2..

$$k2=e=k/(1+\alpha_1/(\text{tetahat}22*\alpha_2)+\alpha_3/(\text{tetahat}23*\alpha_2)+\alpha_4/(\text{tetahat}24*\alpha_2)+\alpha_5/(\text{tetahat}25*\alpha_2)+\alpha_6/(\text{tetahat}26*\alpha_2)+$$

$$\alpha_7/(\text{tetahat}27*\alpha_2)+\alpha_8/(\text{tetahat}28*\alpha_2)+\alpha_9/(\text{tetahat}29*\alpha_2)+\alpha_{10}/(\text{tetahat}210*\alpha_2));$$

kk3..

$$k3=e=k/(1+\alpha_1/(\text{tetahat}32*\alpha_3)+\alpha_2/(\text{tetahat}33*\alpha_3)+\alpha_4/(\text{tetahat}34*\alpha_3)+\alpha_5/(\text{tetahat}35*\alpha_3)+\alpha_6/(\text{tetahat}36*\alpha_3)+$$

$$\alpha_7/(\text{tetahat}37*\alpha_3)+\alpha_8/(\text{tetahat}38*\alpha_3)+\alpha_9/(\text{tetahat}39*\alpha_3)+\alpha_{10}/(\text{tetahat}310*\alpha_3));$$

kk4..

$$k4=e=k/(1+\alpha_1/(\text{tetahat}42*\alpha_4)+\alpha_2/(\text{tetahat}43*\alpha_4)+\alpha_3/(\text{tetahat}44*\alpha_4)+\alpha_5/(\text{tetahat}45*\alpha_4)+\alpha_6/(\text{tetahat}46*\alpha_4)+$$

$$\alpha_7/(\text{tetahat}47*\alpha_4)+\alpha_8/(\text{tetahat}48*\alpha_4)+\alpha_9/(\text{tetahat}49*\alpha_4)+\alpha_{10}/(\text{tetahat}410*\alpha_4));$$

kk5..

$$k5=e=k/(1+\alpha_1/(\text{tetahat}52*\alpha_5)+\alpha_2/(\text{tetahat}53*\alpha_5)+\alpha_3/(\text{tetahat}54*\alpha_5)+\alpha_4/(\text{tetahat}55*\alpha_5)+\alpha_6/(\text{tetahat}56*\alpha_5)+$$

$$\alpha_7/(\text{tetahat}57*\alpha_5)+\alpha_8/(\text{tetahat}58*\alpha_5)+\alpha_9/(\text{tetahat}59*\alpha_5)+\alpha_{10}/(\text{tetahat}510*\alpha_5));$$

kk6..

$$k6=e=k/(1+\alpha_1/(\text{tetahat}62*\alpha_6)+\alpha_2/(\text{tetahat}63*\alpha_6)+\alpha_3/(\text{tetahat}64*\alpha_6)+\alpha_4/(\text{tetahat}65*\alpha_6)+\alpha_5/(\text{tetahat}66*\alpha_6)+$$

$$\alpha_7/(\text{tetahat}67*\alpha_6)+\alpha_8/(\text{tetahat}68*\alpha_6)+\alpha_9/(\text{tetahat}69*\alpha_6)+\alpha_{10}/(\text{tetahat}610*\alpha_6));$$

kk7..

$$k7=e=k/(1+\alpha_1/(\text{tetahat}72*\alpha_7)+\alpha_2/(\text{tetahat}73*\alpha_7)+\alpha_3/(\text{tetahat}74*\alpha_7)+\alpha_4/(\text{tetahat}75*\alpha_7)+\alpha_5/(\text{tetahat}76*\alpha_7)+$$

$$\alpha_6/(\text{tetahat}77*\alpha_7)+\alpha_8/(\text{tetahat}78*\alpha_7)+\alpha_9/(\text{tetahat}79*\alpha_7)+\alpha_{10}/(\text{tetahat}710*\alpha_7));$$

kk8..

$$k8=e=k/(1+\alpha_1/(\text{tetahat}82*\alpha_8)+\alpha_2/(\text{tetahat}83*\alpha_8)+\alpha_3/(\text{tetahat}84*\alpha_8)+\alpha_4/(\text{tetahat}85*\alpha_8)+\alpha_5/(\text{tetahat}86*\alpha_8)+$$

$$\alpha_6/(\text{tetahat}87*\alpha_8)+\alpha_7/(\text{tetahat}88*\alpha_8)+\alpha_9/(\text{tetahat}89*\alpha_8)+\alpha_{10}/(\text{tetahat}810*\alpha_8));$$

kk9..

$$k9=e=k/(1+\alpha_1/(\text{tetahat}92*\alpha_9)+\alpha_2/(\text{tetahat}93*\alpha_9)+\alpha_3/(\text{tetahat}94*\alpha_9)+\alpha_4/(\text{tetahat}95*\alpha_9)+\alpha_5/(\text{tetahat}96*\alpha_9)+$$

$$\alpha_6/(\text{tetahat}97*\alpha_9)+\alpha_7/(\text{tetahat}98*\alpha_9)+\alpha_8/(\text{tetahat}99*\alpha_9)+\alpha_{10}/(\text{tetahat}910*\alpha_9));$$

kk10..

$$k10=e=k/(1+\alpha_1/(\text{tetahat}102*\alpha_{10})+\alpha_2/(\text{tetahat}103*\alpha_{10})+\alpha_3/(\text{tetahat}104*\alpha_{10})+\alpha_4/(\text{tetahat}105*\alpha_{10})+\alpha_5/(\text{tetahat}106*\alpha_{10})+$$

$$\alpha_6/(\text{tetahat}107*\alpha_{10})+\alpha_7/(\text{tetahat}108*\alpha_{10})+\alpha_8/(\text{tetahat}109*\alpha_{10})+\alpha_9/(\text{tetahat}1010*\alpha_{10}));$$

$$\begin{aligned} \text{ll1..} \quad \text{ll1}=l/(1+(1-\alpha_2)/(\text{tetahat}12*(1-\alpha_1))+(1-\alpha_3)/(\text{tetahat}13*(1-\alpha_1))+(1-\alpha_4)/(\text{tetahat}14*(1-\alpha_1)) \\ + (1-\alpha_5)/(\text{tetahat}15*(1-\alpha_1))+(1-\alpha_6)/(\text{tetahat}16*(1-\alpha_1)) \\ + (1-\alpha_7)/(\text{tetahat}17*(1-\alpha_1))+(1-\alpha_8)/(\text{tetahat}18*(1-\alpha_1))+(1-\alpha_9)/(\text{tetahat}19*(1-\alpha_1))+(1-\alpha_{10})/(\text{tetahat}110*(1-\alpha_1))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ll2..} \quad \text{ll2}=l/(1+(1-\alpha_1)/(\text{tetahat}22*(1-\alpha_2))+(1-\alpha_3)/(\text{tetahat}23*(1-\alpha_2))+(1-\alpha_4)/(\text{tetahat}24*(1-\alpha_2)) \\ + (1-\alpha_5)/(\text{tetahat}25*(1-\alpha_2))+(1-\alpha_6)/(\text{tetahat}26*(1-\alpha_2)) \\ + (1-\alpha_7)/(\text{tetahat}27*(1-\alpha_2))+(1-\alpha_8)/(\text{tetahat}28*(1-\alpha_2))+(1-\alpha_9)/(\text{tetahat}29*(1-\alpha_2))+(1-\alpha_{10})/(\text{tetahat}210*(1-\alpha_2))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ll3..} \quad 13 = & l / (1 + (1 - \alpha_1) / (\text{tetahat32} * (1 - \alpha_3)) + (1 - \alpha_2) / (\text{tetahat33} * (1 - \alpha_3)) + (1 - \alpha_4) / (\text{tetahat34} * (1 - \alpha_3)) \\ & + (1 - \alpha_5) / (\text{tetahat35} * (1 - \alpha_3)) + (1 - \alpha_6) / (\text{tetahat36} * (1 - \alpha_3)) + \\ & (1 - \alpha_7) / (\text{tetahat37} * (1 - \alpha_3)) + (1 - \alpha_8) / (\text{tetahat38} * (1 - \alpha_3)) + (1 - \alpha_9) / (\text{tetahat39} * (1 - \alpha_3)) + (1 - \alpha_{10}) / (\text{tetahat310} * (1 - \alpha_3))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ll4..} \quad 14 = & l / (1 + (1 - \alpha_1) / (\text{tetahat42} * (1 - \alpha_4)) + (1 - \alpha_2) / (\text{tetahat43} * (1 - \alpha_4)) + (1 - \alpha_3) / (\text{tetahat44} * (1 - \alpha_4)) \\ & + (1 - \alpha_5) / (\text{tetahat45} * (1 - \alpha_4)) + (1 - \alpha_6) / (\text{tetahat36} * (1 - \alpha_4)) + \\ & (1 - \alpha_7) / (\text{tetahat37} * (1 - \alpha_4)) + (1 - \alpha_8) / (\text{tetahat38} * (1 - \alpha_4)) + (1 - \alpha_9) / (\text{tetahat39} * (1 - \alpha_4)) + (1 - \alpha_{10}) / (\text{tetahat310} * (1 - \alpha_4))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ll5..} \quad 15 = & l / (1 + (1 - \alpha_1) / (\text{tetahat52} * (1 - \alpha_5)) + (1 - \alpha_2) / (\text{tetahat53} * (1 - \alpha_5)) + (1 - \alpha_3) / (\text{tetahat54} * (1 - \alpha_5)) \\ & + (1 - \alpha_4) / (\text{tetahat55} * (1 - \alpha_5)) + (1 - \alpha_6) / (\text{tetahat56} * (1 - \alpha_5)) + \\ & (1 - \alpha_7) / (\text{tetahat57} * (1 - \alpha_5)) + (1 - \alpha_8) / (\text{tetahat58} * (1 - \alpha_5)) + (1 - \alpha_9) / (\text{tetahat59} * (1 - \alpha_5)) + (1 - \alpha_{10}) / (\text{tetahat510} * (1 - \alpha_5))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ll6..} \quad 16 = & l / (1 + (1 - \alpha_1) / (\text{tetahat62} * (1 - \alpha_6)) + (1 - \alpha_2) / (\text{tetahat63} * (1 - \alpha_6)) + (1 - \alpha_3) / (\text{tetahat64} * (1 - \alpha_6)) \\ & + (1 - \alpha_4) / (\text{tetahat65} * (1 - \alpha_6)) + (1 - \alpha_5) / (\text{tetahat66} * (1 - \alpha_6)) + \\ & (1 - \alpha_7) / (\text{tetahat67} * (1 - \alpha_6)) + (1 - \alpha_8) / (\text{tetahat68} * (1 - \alpha_6)) + (1 - \alpha_9) / (\text{tetahat69} * (1 - \alpha_6)) + (1 - \alpha_{10}) / (\text{tetahat610} * (1 - \alpha_6))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ll7..} \quad 17 = & l / (1 + (1 - \alpha_1) / (\text{tetahat72} * (1 - \alpha_7)) + (1 - \alpha_2) / (\text{tetahat73} * (1 - \alpha_7)) + (1 - \alpha_3) / (\text{tetahat74} * (1 - \alpha_7)) \\ & + (1 - \alpha_4) / (\text{tetahat75} * (1 - \alpha_7)) + (1 - \alpha_5) / (\text{tetahat76} * (1 - \alpha_7)) + \\ & (1 - \alpha_6) / (\text{tetahat77} * (1 - \alpha_7)) + (1 - \alpha_8) / (\text{tetahat78} * (1 - \alpha_7)) + (1 - \alpha_9) / (\text{tetahat79} * (1 - \alpha_7)) + (1 - \alpha_{10}) / (\text{tetahat710} * (1 - \alpha_7))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ll8..} \quad 18 = & l / (1 + (1 - \alpha_1) / (\text{tetahat82} * (1 - \alpha_8)) + (1 - \alpha_2) / (\text{tetahat83} * (1 - \alpha_8)) + (1 - \alpha_3) / (\text{tetahat84} * (1 - \alpha_8)) \\ & + (1 - \alpha_4) / (\text{tetahat85} * (1 - \alpha_8)) + (1 - \alpha_5) / (\text{tetahat86} * (1 - \alpha_8)) + \\ & (1 - \alpha_6) / (\text{tetahat87} * (1 - \alpha_8)) + (1 - \alpha_7) / (\text{tetahat88} * (1 - \alpha_8)) + (1 - \alpha_9) / (\text{tetahat89} * (1 - \alpha_8)) + (1 - \alpha_{10}) / (\text{tetahat810} * (1 - \alpha_8))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ll9..} \quad 19 = & l / (1 + (1 - \alpha_1) / (\text{tetahat92} * (1 - \alpha_9)) + (1 - \alpha_2) / (\text{tetahat93} * (1 - \alpha_9)) + (1 - \alpha_3) / (\text{tetahat94} * (1 - \alpha_9)) \\ & + (1 - \alpha_4) / (\text{tetahat95} * (1 - \alpha_9)) + (1 - \alpha_5) / (\text{tetahat96} * (1 - \alpha_9)) + \\ & (1 - \alpha_6) / (\text{tetahat97} * (1 - \alpha_9)) + (1 - \alpha_7) / (\text{tetahat98} * (1 - \alpha_9)) + (1 - \alpha_8) / (\text{tetahat99} * (1 - \alpha_9)) + (1 - \alpha_{10}) / (\text{tetahat910} * (1 - \alpha_9))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ll10..} \quad 110 = & l / (1 + (1 - \alpha_1) / (\text{tetahat102} * (1 - \alpha_{10})) + (1 - \alpha_2) / (\text{tetahat103} * (1 - \alpha_{10})) + (1 - \alpha_3) / (\text{tetahat104} * (1 - \alpha_{10})) \\ & + (1 - \alpha_4) / (\text{tetahat105} * (1 - \alpha_{10})) + (1 - \alpha_5) / (\text{tetahat106} * (1 - \alpha_{10})) + \\ & (1 - \alpha_6) / (\text{tetahat107} * (1 - \alpha_{10})) + (1 - \alpha_7) / (\text{tetahat108} * (1 - \alpha_{10})) + (1 - \alpha_8) / (\text{tetahat109} * (1 - \alpha_{10})) + (1 - \alpha_9) / (\text{tetahat1010} * (1 - \alpha_{10}))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{xx1..} \quad x_1 = & t_1 * e_1 * (1 + s_1) * (k_1 * \alpha_1) * (l_1 * (1 - \alpha_1)); \\ \text{xx2..} \quad x_2 = & t_2 * e_2 * (1 + s_2) * (k_2 * \alpha_2) * (l_2 * (1 - \alpha_2)); \\ \text{xx3..} \quad x_3 = & t_3 * e_3 * (1 + s_3) * (k_3 * \alpha_3) * (l_3 * (1 - \alpha_3)); \\ \text{xx4..} \quad x_4 = & t_4 * e_4 * (1 + s_4) * (k_4 * \alpha_4) * (l_4 * (1 - \alpha_4)); \\ \text{xx5..} \quad x_5 = & t_5 * e_5 * (1 + s_5) * (k_5 * \alpha_5) * (l_5 * (1 - \alpha_5)); \\ \text{xx6..} \quad x_6 = & t_6 * e_6 * (1 + s_6) * (k_6 * \alpha_6) * (l_6 * (1 - \alpha_6)); \\ \text{xx7..} \quad x_7 = & t_7 * e_7 * (1 + s_7) * (k_7 * \alpha_7) * (l_7 * (1 - \alpha_7)); \\ \text{xx8..} \quad x_8 = & t_8 * e_8 * (1 + s_8) * (k_8 * \alpha_8) * (l_8 * (1 - \alpha_8)); \\ \text{xx9..} \quad x_9 = & t_9 * e_9 * (1 + s_9) * (k_9 * \alpha_9) * (l_9 * (1 - \alpha_9)); \\ \text{xx10..} \quad x_{10} = & t_{10} * e_{10} * (1 + s_{10}) * (k_{10} * \alpha_{10}) * (l_{10} * (1 - \alpha_{10})); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top..} \quad \text{tp} = & x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10}; \\ \text{topk..} \quad \text{tk} = & k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6 + k_7 + k_8 + k_9 + k_{10}; \\ \text{topl..} \quad \text{tl} = & l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8 + l_9 + l_{10}; \end{aligned}$$

variables

c1,c2,c3,c4,c5,c6,c7,c8,c9,c10,tc;

*tc=total consumption

equation

cc1,cc2,cc3,cc4,cc5,cc6,cc7,cc8,cc9,cc10,topc;


```

cc1.. c1=e=teta1*(1-tax)*(1-mps)*y ;
cc2.. c2=e=teta2*(1-tax)*(1-mps)*y ;
cc3.. c3=e=teta3*(1-tax)*(1-mps)*y ;
cc4.. c4=e=teta4*(1-tax)*(1-mps)*y ;
cc5.. c5=e=teta5*(1-tax)*(1-mps)*y ;
cc6.. c6=e=teta6*(1-tax)*(1-mps)*y ;
cc7.. c7=e=teta7*(1-tax)*(1-mps)*y ;
cc8.. c8=e=teta8*(1-tax)*(1-mps)*y ;
cc9.. c9=e=teta9*(1-tax)*(1-mps)*y ;
cc10.. c10=e=teta10*(1-tax)*(1-mps)*y ;
topc.. tc=e=c1+c2+c3+c4+c5+c6+c7+c8+c9+c10;
model simplee /all/;

solve simplee using mcp;
display k1.l,k2.l,k3.l,k4.l,k5.l,k6.l,k7.l,k8.l,k9.l,k10.l,
      l1.l,l2.l,l3.l,l4.l,l5.l,l6.l,l7.l,l8.l,l9.l,l10.l,
      tk.l,tl.l;
display mps,tax,k,l,y,
x1.l,x2.l,x3.l,x4.l,x5.l,x6.l,x7.l,x8.l,x9.l,x10.l,tp.l
dogrulamapg,dogrulamapi;

display
c1.l,c2.l,c3.l,c4.l,c5.l,c6.l,c7.l,c8.l,c9.l,c10.l,tc.l;

*****GENERAL LOSTS IN GDP CALCULATING HERE*****
*****

variable
tpl1 uluslararası piyasadan primi alınır ve sektörler kendi arasında ET yaparsa,
tpl2 ET olmazsa ,
ylost1 ET olur ve primi alınırsa gdp deki yüzde kayıp,
ylost2 ET olmazsa gdp deki yüzde kayıp;
equations
lost1,lost2,eylost1,eylost2;

lost1.. tpl1=e=tp-x99 ;
lost2.. tpl2=e=tp-x100 ;
eylost1.. ylost1=e=((tpl1-tp)/tp)*100 ;
eylost2.. ylost2=e=((tpl2-tp)/tp)*100 ;

model sonuc1 /all/;
solve sonuc1 using mcp;
display tp.l,tpl1.l,tpl2.l,ylost1.l,ylost2.l

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet MERCAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Fethiye, 01.01.1981

Eğitim Durumu

Lisans : Trakya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü
Yüksek Lisans : Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı.
Yüksek Lisans : Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı (İntibak-Ders Aşaması)
Doktora : Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Hakkari Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Araştırma Görevlisi (2009 -)
Adnan Menderes Üniversitesi, Enformatik Bölümü, Okutman (2006-2009)
Aydın-İncirliova Ç. P. L. Matematik Öğretmeni (2005-2006)
Bodrum Lisesi Matematik Öğretmeni (2004-2006)
Bodrum-Mumcular Fuat Erten İ. Ö. O. Matematik Öğretmeni (2001-2004)

İletişim

e-posta Adresi : mercan48@gmail.com, mehmet@mehmetmercan.com
mehmetmercan@hakkari.edu.tr
Web adresi : www.mehmetmercan.com
Tarih : 04.01.2013