

SERA GAZI SALIMININ AZALTIMINDA ALTERNATİF POLİTİKALARIN EKONOMİK MALİYETLERİNİN İNCELENMESİ: TÜRKİYE İÇİN GENEL DENGE ANALİZİ¹

Mehmet MERCAN*

Etem KARAKAYA**

ÖZ

Sanayileşme süreci ile birlikte 1870'li yıllardan itibaren, fosil yakıtlarının yoğun bir şekilde kullanılmasıyla insanlık küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunuyla karşı karşıya kalmıştır. Bu sorun gelişmişlik düzeyi ne olursa olsun dünya ülkelerinin tamamını etkilemektedir. Bu çalışmanın 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 maliyetlerini analiz etmek ve geleceğe yönelik uygulanması gereken ekonomi politikaları için önerilerde bulunmaktır. Çalışmada öncelikle TÜİK tarafında sınıflandırılan 59 sektörlü en son yayınlanan 2002 Input-Output tablosu, emisyon yoğunluğu fazla olan sektörler baz alınarak toplulaştırılmış ve 10 sektöre indirgenmiştir. Bu sektörler baz alınarak kurulan Genel Denge Analizi sonuçları farklı emisyon kotaları ve uluslararası karbon fiyatı değişimleri senaryoları altında hesaplanmıştır. Genel Denge Analizi sonucunda; emisyon ticareti uygulamasının karbon vergisine göre GSYİH üzerindeki refah kaybının daha az olduğu bulgusu elde edilmiştir.

Anahtar Kavramlar: Genel Denge Modeli, Karbon Vergisi, Emisyon Ticareti, Türkiye.

ANALYSIS OF THE ECONOMIC COSTS OF ALTERNATIVE POLICIES IN THE REDUCTION GREENHOUSE GAS EMISSIONS: GENERAL EQUILIBRIUM ANALYSIS FOR TURKEY

ABSTRACT

Beginning in 1870s with the industrialization process humanity has been faced with the problem of global warming and climate changes by the intensive use of fossil fuels. This problem affects all countries in the world regardless of the development level. The aim of this study is to analyse the economic costs of emission trade which is one of the methods implemented to control the carbon dioxide emission that is the main reason of global warming that came to order with Kyoto Protocol in 2008 in terms of Turkish economy and make recommendations for the future economy policies that have to be implemented with the help of general equilibrium analysis. Firstly in the study the most recently published 2002 Input-Output table with 59 sectors categorized by Turkish Statistics Institution (TSI) was consolidated by basing upon the sectors with higher emission intensity and it was reduced to 10 sectors. General equilibrium analysis results

¹ Bu çalışma, yazarın doktora tezinden üretilmiştir ve 19-21 Haziran 2013 tarihleri arasında Anadolu Üniversitesinde düzenlenen uluslararası "Anadolu International Conference In Economics-EconAnadolu 2013" kongresinde sunulan bildirinin büyük ölçüde genişletilmiş ve gözden geçirilmiş halidir.

* Yrd. Doç. Dr., Hakkari Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü.

** Doç. Dr., Adnan Menderes Üniversitesi, Nazilli İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü.

Makalenin kabul tarihi: Ocak 2014.

were calculated under the different emission quotas and the scenarios of international carbon price changes. As a result of general equilibrium analysis, it was found the evidence that the welfare loss of the practice of emission trade on Gross Domestic Product (GDP) was lower than the carbon tax.

Keywords: General Equilibrium Model, Carbon Tax, Emission Trade, Turkey.

GİRİŞ

Dünya tarihi boyunca insanlık birçok sorunla karşı karşıya kalmış ve çözümler üretmiştir. Sanayileşme süreci ile birlikte 1870’li yıllardan itibaren, fosil yakıtlarının yoğun bir şekilde kullanılmasıyla insanlık iklim değişikliği sorunuyla karşı karşıya kalmıştır. Bu sorun sadece çevreyi kirleten gelişmiş ülkeleri değil gelişmişlik düzeyi ne olursa olsun dünya ülkelerinin tamamını etkilemektedir. Tüm dünya ülkelerini ilgilendiren iklim değişikliğine, doğrudan üretim sürecinde kullanılan fosil yakıtların kullanılmasıyla ortaya çıkan sera gazlarının atmosferdeki miktarının artması sebep olmaktadır.

Sanayi Devrimi’nden itibaren atmosferde belli oranlara sahip olan sera gazlarının miktarı ve bileşimi değişmeye başlamıştır. Üretim 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 aşikardır.

İklim değişikliğinin dünya gündemine girmesiyle ile birlikte 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. Bu sürecin başlamasındaki ilk adım, 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Meteoroloji Örgütü’nün desteğiyle “Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli” nin (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC)” 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.

İPCC'nin 1990 yılında yayınladığı rapor, iklim değişikliğini 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 (KP) 14 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girerek sera gazı emisyon artışlarına kısıtlamalar getirmiştir.

Çalışmasının konusu, iklim değişikliğine yol açan karbon emisyonlarının alternatif azaltım maliyetlerinin 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. Analizde, farklı emisyon kotaları ve uluslararası karbon fiyatı değişimleri altında alternatif sera gazı azaltımı enstrümanları olan, karbon vergisi ve emisyon ticaretinin ekonomik maliyetleri incelenecektir. Yapılan çalışmalarda genelde karbon vergisi uygulamasının refah üzerindeki etkileri analiz edilmiştir ve analiz sonuçları uygulamanın ekonomik maliyetlerinin yüksek olacağı yönündedir. Türkiye örneğinde literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak analizde karbon fiyatlandırılmıştır.

I. KÜRESEL ISINMA TRENDİ VE PROJEKSİYONLAR

A. KÜRESEL ISINMANIN BİLİMSEL VERİLERLE ANALİZİ

Atmosferdeki gazların, güneşten gelen ışınları geçirmesi, fakat yeryüzünden yansıyan ışınları daha az geçirmesi nedeniyle yerkürenin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen doğal süreç "Sera Etkisi" olarak adlandırılmaktadır (DPT, 2000, s.3). Atmosferin geçirgenliğini belirleyen en önemli faktör ise, içinde bulundurduğu sera gazlarının yoğunluğudur. Atmosfer içerisinde doğal olarak belirli oranlarda bulunan su buharı, Karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄), Azotoksit (N₂O) ve Ozon (O₃) gazları ile endüstriyel üretim sonucunda ortaya çıkan Hidroflorokarbon (HFC), Perflorokarbon (PFC), Sülfürhekzaflorid (SF₆) 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. 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: 49-51). Su buharı, diğer gaz karışımlarının yutacağından yaklaşık beş kat daha fazla ısınım tutma kapasitesine sahiptir (Kadioğlu, 2007: 68).

Sera etkisinin ortaya çıkmasında birçok gazın etkisi vardır. Fakat karbondioksit gazı (CO₂), 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 CO₂, sera gazları içinde en büyük payı almaktadır. Tablo 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 İDÇS ve Kyoto Protokolü’nce envanteri tutulan sera gazlarının payları verilmiştir.

Tablo 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 ₂ O) ¹	5,49
HidroFloroKarbon (HFC)	
PerFloroKarbon (PFC)	1,72
SülfürHekzaFlorid (SF ₆)	

Kaynak: UNFCCC, 2011. “Summary of GHG Emission for Annex 1”, Internet Adresi: http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/ghg_profiles/items/4625.php, Erişim Tarihi: 21.11.2011.

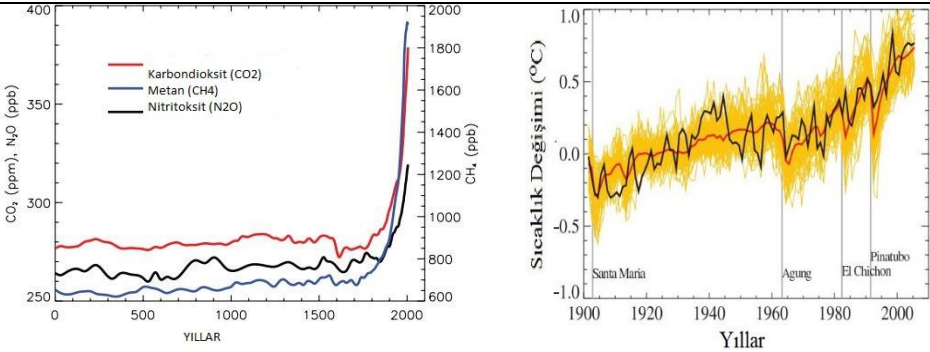
Tablo 1, DPT ve IPCC raporlarından açıkça görüldüğü üzere sera etkisi; atmosferin yapısında doğal olarak belli miktarlarda ve oranlarda bulunan sera gazlarının, özellikle de karbondioksit gazının çeşitli insan faaliyetleri sonucu yoğunluklarının artması nedeniyle ortaya çıkan ve atmosferin ısınmasına sebep olan durumdur. Söz konusu bu durum, yeryüzü sıcaklığını arttırarak küresel ısınmaya 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’de 2000 yıllık süreçte atmosferdeki sera gazları yoğunluğu ve 18 farklı iklim modeli ve 58 farklı simülasyonla elde edilen 100 yıllık küresel sıcaklık anomalileri 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 artışı, karbondioksit ve metan gazlarının son 440.000 yılın en yüksek seviyesine ulaştığı ve atmosferdeki karbondioksit miktarının incelenen dönemden %30 daha fazla olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır (www.esf.org, 2013).

Şekil 1’de sıcaklık değişimleri grafiğinde dikey çizgiler volkanik faaliyetleri göstermektedir ve dünya sıcaklığı 1900-2000 yılları arası 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: 114). 1900’lü yıllardan itibaren sanayileşme ile birlikte CO₂ yoğunluğunda meydana gelen artış önceki dönemin 15 katıdır (IPCC, 2007: 2-3).

Şekil 1: Atmosferde Sera Gazlarının Yoğunluğu ve Sıcaklık Artışları



Kaynak: IPCC 2007. FAQ 2.1: 100 ve FAQ 8.1: 117. (ppb, ppm yoğunluk birimidir.)

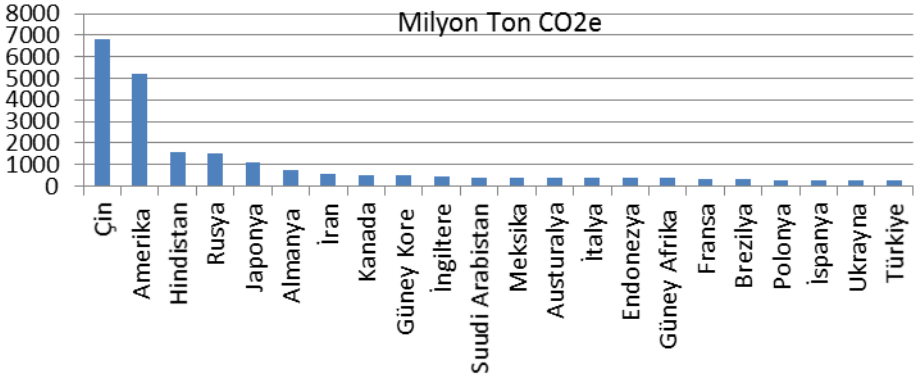
B. SERA GAZLARININ DÜNYA GENELİNDEKİ TRENDİ

Ülkeler nüfus yoğunlukları, gelişmişlik düzeyleri vb. bağlı olarak farklı miktarlarda sera gazı salımı yapmaktadır. Tablo 2’de 2009 yılında insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının ülkelere göre dağılımı ve dünya genelinde meydana gelen toplam miktar verilmiştir. Tablo 2’den 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 2: 2009 Yılında CO₂ Emisyonu Yüksek Olan Ülkeler (MtCO₂e)*

1-Çin	6,831	12-Meksika	399
2-Amerika	5,195	13-Australya	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: 48-57. Tablodaki değerler yazarlar tarafından oluşturulmuştur. *: Arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri ve ormancılık sektörünün sera gazı azaltımı değişiklikleri dahil.

Şekil 2. 2009 Yılında CO₂ Emisyonu Yüksek Olan Ülkeler (MtCO₂e)*

Kaynak: IEA, KWES (Key World Energy Statistics), 2011: 48-57. Şekildeki değerler yazarlar tarafından oluşturulmuştur. *: Arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri ve ormancılık sektörünün sera gazı azaltımı değişiklikleri dahil.

C. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE ENERJİ ARZ TRENDİ VE PROJEKSİYONLAR

Enerji, karbon emisyonlarının temel belirleyicisi konumundadır ve üretim sürecinde en önemli girdilerden birisidir. Üretim yapacak firmalar ve hane halkları gereksinim duyduğu enerjiyi fosil kaynaklı yakıtlardan ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından temin etmek durumundadır. 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 etmeleri 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.

Tablo 3’te Toplam birincil enerji arzındaki değişimler verilmiştir. Enerji arzında, ekonomik büyüme ve nüfus artışlarına paralel olarak sürekli olarak artan bir trendin ortaya çıktığı gözlenmektedir.

Tablo 3: Toplam Birincil Enerji Arzındaki Değişmeler (1975-2009)

Yıllar	TPES (mtoe)
1975	6 230
1985	7 792
1995	9 280
2000	10 108
2005	11435
2009	12150

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

Tablo 3’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 4: 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”, ss.8.

Tablo 4’ten görüldüğü gibi toplam birincil enerji arzı içerisinde fosil kaynaklı yakıtlar önemli bir yer işgal etmektedir. Tablo 4’te, 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 5: Toplam Nihai Enerji Tüketimindeki Değişimler (1971–2009)

Yıllar	TFC (mtoe)
1971	3556
1985	4786
1995	5609
2005	7912
2009	8352

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

Tablo 5'ten izlenebileceği gibi 1970'li yıllarda 3556 mtoe olan toplam nihai enerji tüketimi 2009 yılına gelindiğinde 8352 mtoe seviyesine yükselmiştir.

Tablo 6: Toplam Nihai Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı

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", pp.37.

*Elektrik, Jeotermal, güneş ve rüzgar.

Tablo 6'da 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'u da 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, 2009: 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'si 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, 2009: 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.

Tablo 7: 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 (Mtco2)	15661	27136	28999

Kaynak: IEA, 2011. "Key World Energy Statistics, 2011"; 44.IEA, 2009. "Key World Energy Statistics, 2009", pp.44.

Tablo 7'den izlenebileceği gibi, 1973 yılında 15661 Mtco2 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 geldiğinde yakıt tüketimine bağlı ortaya çıkan karbondioksit emisyonu miktarı 27136 Mtco2 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 Mtco2 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.

D. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TÜRKİYE'NİN KONUMU

1992 yılında Rio'da düzenlenen çevre ve kalkınma konferansında kabul edilen ve 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren BMİDÇS (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi), küresel ısınma çerçevesinde uluslararası alanda atılan adımların köşe taşlarından biridir. 1992 yılında Rio'da 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 gelişmekte olan ülkelere teknolojik ve mali yardımlar yapmakla yükümlü kılınmışlardır, gelişmekte olan ülkeler ise belli oranlarda sera gazı azaltımı hedefi almışlardır.

İDÇS sera gazı azaltımı hedefi verirken ülkeleri gelişmişlik düzeylerine göre iki grubu ayırmıştır. Bu gruplardan EK-2 listesi, 1992 yılında ve öncesinde OECD üyesi olan ülkeler ile AB ülkelerinden ve EK-1 listesi ise, EK-2 listesindeki ülkelere ek olarak pazar ekonomisine geçiş sürecindeki ülkelere oluş-

maktadır. 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 ilkesel olarak İDÇS'ne sıcak baktığı halde, yükümlülüklerini yerine getiremeyeceği gerekçeyle, 1992 Rio Konferansı'nda imzalamamıştır.

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 2000 yılında Lahey'de düzenlenen ve VI. Taraflar Konferansı'nda (COP 6), Ek-2'den çıkarılması şartı ve pazar ekonomisine geçiş ülkeleri olan eski sosyalist ülkelere sağlanan teknik destek, finansal yardım, kapasite geliştirme gibi imkânlardan 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) Türkiye'nin Ek II'den çıkartılması kabul edilmiştir (UNFCCC, 2001: 2). Bu gelişmelerin ardından, Türkiye'nin İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne katılmasının uygun bulunduğu dair kanun 24 Mayıs 2004 tarihinde imzalanarak Türkiye İDÇS'ye 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 ve 2013 sonrası için görüşmeler devam etmektedir (<http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr>, Erişim: 07.12.2011). Tablo 8'de Türkiye'nin 1990-2009 döneminde toplam sera gazı emisyonlarında ortaya çıkan değişimler görülmektedir.

Tablo 8: Türkiye'de Sera Gazı Emisyonlarının Gelişimi*

Yıllar	Sera Gazları (Milyon Ton CO ₂ eşdeğeri)					Toplam
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	SF6	
1990	141,36	33,50	11,57	0	0	187,03
1995	173,90	46,87	16,22	0	0	237,51
2000	225,43	53,30	16,62	0,82	0,32	297,01
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: ss. 9.

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

Tablo 8’den izlenebileceği gibi, Türkiye’nin toplam sera gazı emisyonları, 1990-2009 yıllarını kapsayan dönem boyunca %97 artış göstermiştir. Emisyon artışında, 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 Tarihi: 09.12.2011). Tablo 9’da Türkiye’deki sera gazı emisyonlarının sektörel oranları verilmiştir.

Tablo 9: Türkiye’nin Sektörlere Göre Topplulaştırılmış 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
1995	160,79	24,21	28,68	23,83	237,51	126,99
2000	212,55	24,37	27,37	32,72	297,01	158,80
2005	241,75	28,75	25,84	33,52	329,87	176,37
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.

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 9’da 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.

II. SERA GAZI AZALTIMINA YÖNELİK EKONOMİ POLİTİKALARI

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 mekanizmaların detaylı içeriği, ne şekilde uygulanacağı ve kurumsal yapısına ilişkin düzenlemeler daha sonra 7. Taraflar Konferansı'nda (COP 7) Marakeş Anlaşması ile şekillendirilmiştir².

A. TEMİZ KALKINMA MEKANİZMASI

İnsan kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla Kyoto Protokolü'nün tarafların kullanımına sunduğu proje temelli Esneklik Mekanizmaları'ndan biri, Temiz Kalkınma Mekanizması'dır (CDM). CDM'na göre, Kyoto Protokolü'nün EK-B listesinde bulunan, yani sera gazı emisyon azaltım hedefi almış herhangi bir EK-1 ülkesi, emisyon azaltım hedefi almamış EK-1 dışı az gelişmiş herhangi bir ülke ile projeler yapabilecek ve bu projeler sayesinde ilgili EK-1 dışı ülkede sera gazı emisyon azaltımı sağlanabilecektir. CDM'nın uygulanmasıyla EK-1 ülkesi azaltılan emisyon miktarına göre Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltım Kredisi (Certified Emission Reductions-CER) kazanacak ve kazandığı bu miktarı kendi emisyon azaltım hedefinden düşebilecektir. Ayrıca projeye yatırım yapan EK-B ülkesi, az gelişmiş ülkelerde yatırım maliyetleri daha düşük olduğundan hem maliyet avantajı sağlamış olacak hem de azaltmış olduğu emisyon miktarı kadar kendi azaltım hedefinden düşebilecektir. Ülkesine sera gazı azaltım amacıyla proje doğrultusunda yatırım kabul eden az gelişmiş ülke ise, hem daha yeni teknolojiye sahip olmuş olacak hem de bu sayede önemli miktarda doğrudan yabancı sermaye çekmiş olacaktır (UNDP, 2006: 18, Dolu, 2005: 46).

CDM projelerinin tarafları tek-tarafli (sadece projeye ev sahipliği yapan EK-1 dışı ülke), çift-tarafli (ev sahibi ülke ve yatırımcı EK-B ülkesi) ya da çok-tarafli (ev sahibi ülke ve birden fazla yatırımcı ülke) olabilmektedir. Yani, CDM projelerinde ev sahibi ülke yatırımcı ülke bulmadan kendi başına projeler hazırlayabilecektir (Laseur, 2005: 15). Tek-tarafli (unilateral) CDM olarak isimlendirilen bu yöntemin en önemli avantajı, büyük rakamlara ulaşabilecek işlem maliyetini azaltmasıdır. Tek tarafli CDM projesi hazırlayan ülke, kazandığı CER sertifikasını piyasanın daha elverişli olduğu bir dönemi bekleyip satma olanağı da sahip olmaktadır.

B. ORTAK YÜRÜTME MEKANİZMASI

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 benzetilmektedir. Ortak Yürütme Mekanizması'nda Temiz Kalkınma Mekanizması'nda olduğu gibi, amaç, sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik olarak hazırlanan projelerdir. Her iki Esneklik Mekanizması 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 ev sahipliği yapan EK-B ülkesi sera gazı azaltımında başarılı olursa Emisyon Azaltım Birimi (ERU) Kredisi kazanmaktadır (Dolu, 2005: 55). Marakeş Anlaşması'na göre (2001) ERU kredisinin matbu olarak basımı ve yatırımcı ülkeye geçişi belirli bir süreci gerektirmektedir. JI 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, JI projelerinden kazanılan ERU kredilerinin kullanımı ancak Kyoto dönemi olan 2008 yılından itibaren başlamıştır.

Şekil 3. 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 yazarların çalışması.

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

C. EMİSYON TİCARETİ

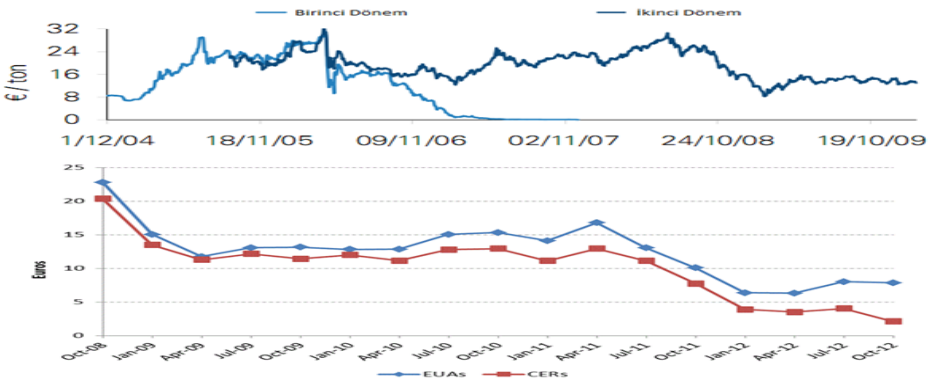
Çevre kirliliğini önlemeye yönelik çevre ekonomistlerince belirtilen üç yöntemden bahsedilebilir. Birincisi *Yönetim ve Kontrol veya Doğrudan Düzenlemeler (Command and Control or Direct Regulations)* olarak isimlendirilen standartların belirlenmesi şeklinde doğrudan düzenlemeler ve mevzuat düzenlemeleri teşkil eder. Diğer ikisi ise *emisyona vergileri ve emisyon ticareti* olarak adlandırılır ve literatürde piyasa temelli mekanizmalar olarak bilinmektedir. Emisyon vergileri ve emisyon ticaretinin her ikisi de piyasa temelli araçlardır (Emisyon ticareti esneklik mekanizması iken emisyon vergileri değildir). 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, Field, 2002: 235). Bu durumda her firma, emisyonları üzerinden ödediği vergi ile marjinal azaltım maliyeti (marginal abatement cost) eşit oluncaya kadar emisyonlarını düşürecektir.

Emisyon ticareti, ilk defa 1970'li yıllarda ABD'de kullanılmaya başlanmış ve yaygın bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. ABD'de uygulanan emisyon ticareti programlarının (özellikle Asit Yağmurları Programının) çok başarılı olması üzerine bu mekanizma Kyoto protokolünde yer almıştır (Damro, Mendes, 2005: 257). 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. Emisyon ticaretinin yapılmasına Kyoto Protokolü'nü imzalamış ve emisyon azaltımı yükümlülüğü alan EK-1 ülkelerinden oluşan EK-B ülkeleri arasında izin verilmektedir. Avrupa Birliği, en etkin sera gazı azaltımı sağlayacak uygulamaların başında emisyon ticareti sisteminin olacağını belirtmiştir (European Commission, 2007: 3).

EU ETS P1, 2 ve 3 (Phase 1) olmak üzere üç dönemde uygulanmaktadır. 3 yıllık P1 (Phase 1-NAP1) dönemi sistemin uygulanarak öğrenilebilmesi, deneyim kazanılması ve diğer dönemlere hazırlık olması itibarıyla 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 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 4, EU ETS'deki EUA işlemlerinde oluşan fiyat değişimlerini göstermektedir³. 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. 2013 Mayıs itibariyle karbon fiyatı 3 Euro civarındadır (pointcarbon.com)

Şekil 4. EU ETS'de NAP1 (2005-2007) ve NAP2 (2008-2012) Dönemine Ait Fiyat Değişimleri



Kaynak: PointCarbon.com, (2010 analizi): pp: 3.

III. LİTERATÜR TARAMASI

A. DÜNYA ÜLKELERİ LİTERATÜRÜ

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 çalışmalar 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, 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.

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.

Böhringer ve Rutherford (2002), karbon azaltımının maliyetlerini uluslararası enerji kullanımı ve ticaret hesaba katılarak GD modeli ile çok ülkeli olarak incelemiştir. Karbon emisyonu azaltımının uluslararası fiyatlara etkisinden dolayı ulusal ekonomilerde azaltım maliyetlerinin değişebileceği bulgusunu elde etmişlerdir. Ayrıca emisyon ticaretinin karbon vergisine göre önemli ölçüde refah kaybını azalttığı ifade edilmiştir.

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 kalite-

tesini arttırdığı, ayrıca ekonomik gelişmeyi de artırabileceği belirtilmiştir. Uygulanan en iyimser senaryoda GSYİH'nın % 0.41 arttıracığı, en kötümser senaryoda ise % 0.03 kayba yol açacağı bulgusu elde edilmiştir.

Kumbaroğlu ve Madlener (2003), İsviçre örneğinde uzun dönemde enerji ve iklim politikalarını 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 belirtmiştir. "Trend" 2000-2020 senaryosunda GSYİH kaybı %38 ve işsizlikteki artışı %9 hesaplamıştır.

Timilsina ve Shrestha (2006), Tayland için Temiz Kalkınma Mekanizmasını 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.

Halıcıoğlu (2009) çalışmasında, Türkiye'nin gelir, dış ticaret ve enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerine etkisini incelediği ekonometrik analizinde, enerji tüketiminde meydana gelen % 100'lük artışın % 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. 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.

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 olduğunu belirtip, emisyon azaltımında karbon vergisinin ve emisyon ticaretinin kullanılabilirliğini belirtmişler, farklı araçların uygulanmasının refah üzerinde farklı etkileri olacağını ifade edip, her iki araçta etkin kullanılabilirliği hibrit model önermişlerdir.

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 potansiyelinde hesaba katıldığı "PERSEUS-RES-E" enerji optimizasyon modelinin emisyon ticareti ile ilişkisini incelemiştir. Analiz sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılmasının karbon emisyonlarının azaltımında düşük bir maliyete sahip olmadığı, bunun yerine nükleer enerji ve doğal gaz kullanımının marjinal azaltım maliyetinin daha düşük olduğu kanısına varmıştır.

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), 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.

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 hareketliliğinde 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 iddaasının desteklenmediği belirtilmiştir.

B. TÜRKİYE LİTERATÜRÜ

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; 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.

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 arttıracağını 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 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 ekonomiyeye 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.

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) çalışmasında, enerji vergisi ve emisyon ticareti uygulamasının etkilerini incelemiştir. Yazarın çalışması Türkiye için emisyon ticareti uygulamasını modelleyen ilk ve tek çalışmadır. Bu çalışmada, 1990 yılı emisyon seviyesine göre 2005-2008 dönemi arasında uygulanan alternatif politikaların etkilerini hesaplanmıştır. 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.

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. Analiz sonuçlarına göre, 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).

Karali, (2006) CO₂ emisyonu üzerine yaptığı genel denge modeli tek sektörlüdür. Analizde, emisyon kısıtları arttıkça tüketiciler fosil yakıtların 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.

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 bulunmuştur.

Türkiye için incelenen modelleme yaklaşımlarında, iklim değişikliğini önlemek amacıyla ülkelerin alacağı emisyon azaltımının maliyetini hesaplarken uluslararası karbon fiyatı hesaba katılmadığı için maliyelerin oldukça büyük

çıkacağı 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.

IV. GENEL DENGE ANALİZİ

Piyasa temelli mekanizmalar olan 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 birçok 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 çalışmanın 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)	6- Çimento Sektörü	(CE-X ₆)
2- Kömür Madenciliği	(CO-X ₂)	7- Kağıt Üretimi	(PA-X ₇)
3- Petrol ve Gaz	(PG-X ₃)	8- Demir Çelik Üretimi	(IS-X ₈)
4- Petrolün Arındırılması	(RP-X ₄)	9- Ulaştırma Sektörü	(TR-X ₉)
5- Elektrik Üretimi	(EL-X ₅)	10- Diğer Ekonomi	(OE-X ₁₀)

A. MODELİN ARZ YAKASI, SEKTÖRLER (ÜRETİCİLER), FAKTÖR PİYASALARI

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 tanımlarsak⁴:

$$X_i = T_i K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i} \quad i = 1 \dots 10 \quad (1)$$

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 vermektedir⁵ 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 hiçbiri 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 yapırsa aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$(1 - \alpha_i) P_i T_i K_i^{\alpha_i} L_i^{-\alpha_i} = w \quad i = 1 \dots 10 \quad (2)$$

$$\alpha_i P_i T_i K_i^{\alpha_i-1} L_i^{1-\alpha_i} = r \quad i = 1 \dots 10 \quad (3)$$

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 miktarına eşit olmalıdır. Modelimizde işgücü arzının sabit ve L olduğunu varsayıyoruz. İşgücü piyasası için "market clearance" (piyasanın dengelenmesi) denklem (4) ile ifade edilebilir. Burada \bar{L} işgücü arzıdır (sektörlerin işgücü talebidir). Benzer şekilde sermaye arzının sabit ve \bar{K} olduğunu varsayıyoruz. Sermaye piyasası için "market clearance" (piyasanın dengelenmesi) denklem (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.⁶

$$\sum_i L_i = \bar{L} \quad i = 1 \dots 10 \quad (4)$$

$$\sum_i K_i = \bar{K} \quad i = 1 \dots 10 \quad (5)$$

B. MODELİN TALEP YAKASI, HANE HALKI (TÜKETİCİLER)

Modelde hane halkı firmaların ürettiği farklı malları tercih ederek faydasını maksimize eden ekonomik birimdir. Hane halkının fayda fonksiyonunu Cobb-Douglas fonksiyonu yardımıyla ifade edersek:

$$U = C_1^{\beta_1} C_2^{\beta_2} C_3^{\beta_3} \dots C_{10}^{\beta_{10}} \text{ ya da kısaca } U = \prod_i C_i^{\beta_i} \quad i = 1 \dots 10 \quad (6)$$

Denklemden θ_i malların tüketiminin ikame esnekliğidir. C_i hane halkının tüketeceği malların miktarıdır. Hane halkının verilen Y bütçe kısıtı altında farklı

malları seçerek faydasını maksimize edeceği varsayılır. Bütçe denklemini yazarsak:

$$Y = P_1 X_1 + P_2 X_2 + \dots + P_{10} X_{10} \text{ ya da } Y = \sum_i P_i X_i \quad (7)$$

Burada P_i ler sırasıyla X_i mallarının fiyatını ifade etmektedir. Hane halkının fayda maksimizasyonu yapılırsa Marshallgil talep fonksiyonu aşağıdaki denklemde ifade edildiği gibi elde edilir:

$$C_i = \frac{x_i(1-t)(1-mps)Y}{P_i} \quad (8)$$

Denklem (8)'de t devletin aldığı vergi oranını, mps ise hane halkının tasarruf oranını göstermektedir. Yani hane halkı harcanabilir Y geliri üzerinden $(1-t)Y$ kadar devlet vergi alacak, $(1-mps)Y$ 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:

$$X_i = C_i + G_i + I_i \quad (9)$$

Denklem (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 edilir:

$$I_1 P_1 + I_2 P_2 + I_3 P_3 + \dots + I_{10} P_{10} = mpsY \text{ ya da } \sum_i I_i P_i = mpsY \quad (10)$$

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:

$$B = tY - \sum_i P_i G_i \quad (11)$$

Genel Denge analizinde modelde “*kapama kuralı*” belirlenmelidir. Analizimizde kapama kuralı olarak bütçe dengesinin sağlanması yani $B=0$ varsayılmıştır:

$$tY - \sum_i P_i G_i = 0 \text{ ya da } tY = \sum_i P_i G_i \quad (12)$$

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 çözülmesiyle sektörlerin işgücü ve sermaye talebi diğer değişkenlere bağlı olarak elde edilebilir. Sektörlerin sermaye talebi denklemlerle ifade edilir-se⁷:

$$\begin{aligned}
K_1 &= \bar{K} / \left[1 + \frac{\alpha_2}{\widehat{\theta}_{1,2}\alpha_1} + \frac{\alpha_3}{\widehat{\theta}_{1,3}\alpha_1} + \frac{\alpha_4}{\widehat{\theta}_{1,4}\alpha_1} + \dots + \frac{\alpha_{10}}{\widehat{\theta}_{1,10}\alpha_1} \right] \\
K_2 &= \bar{K} / \left[1 + \frac{\alpha_1}{\widehat{\theta}_{2,2}\alpha_2} + \frac{\alpha_3}{\widehat{\theta}_{2,3}\alpha_2} + \frac{\alpha_4}{\widehat{\theta}_{2,4}\alpha_2} + \dots + \frac{\alpha_{10}}{\widehat{\theta}_{2,10}\alpha_2} \right] \\
&\vdots \\
K_{10} &= \bar{K} / \left[1 + \frac{\alpha_1}{\widehat{\theta}_{10,2}\alpha_{10}} + \frac{\alpha_3}{\widehat{\theta}_{10,3}\alpha_{10}} + \frac{\alpha_4}{\widehat{\theta}_{10,4}\alpha_{10}} + \dots + \frac{\alpha_9}{\widehat{\theta}_{10,10}\alpha_{10}} \right]
\end{aligned}$$

Benzer şekilde sektörlerin işgücü talebi denklemlerle ifade edilirse:

$$\begin{aligned}
L_1 &= \bar{L} / \left[1 + \frac{(1-\alpha_2)}{\widehat{\theta}_{1,2}(1-\alpha_1)} + \frac{(1-\alpha_3)}{\widehat{\theta}_{1,3}(1-\alpha_1)} + \frac{(1-\alpha_4)}{\widehat{\theta}_{1,4}(1-\alpha_1)} + \dots + \frac{(1-\alpha_{10})}{\widehat{\theta}_{1,10}(1-\alpha_1)} \right] \\
L_2 &= \bar{L} / \left[1 + \frac{(1-\alpha_1)}{\widehat{\theta}_{2,2}(1-\alpha_2)} + \frac{(1-\alpha_3)}{\widehat{\theta}_{2,3}(1-\alpha_2)} + \frac{(1-\alpha_4)}{\widehat{\theta}_{2,4}(1-\alpha_2)} + \dots + \frac{(1-\alpha_{10})}{\widehat{\theta}_{2,10}(1-\alpha_2)} \right] \\
&\vdots \\
L_{10} &= \bar{L} / \left[1 + \frac{(1-\alpha_1)}{\widehat{\theta}_{10,2}(1-\alpha_{10})} + \frac{(1-\alpha_3)}{\widehat{\theta}_{10,3}(1-\alpha_{10})} + \frac{(1-\alpha_4)}{\widehat{\theta}_{10,4}(1-\alpha_{10})} + \dots + \frac{(1-\alpha_9)}{\widehat{\theta}_{10,10}(1-\alpha_{10})} \right]
\end{aligned}$$

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 sağlar⁸ (Yeldan, 2006: 36).

C. MAKROEKONOMİK PROJEKSİYONLAR VE SENARYO UYGULAMALARI

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.

Tablo 10: 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 yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

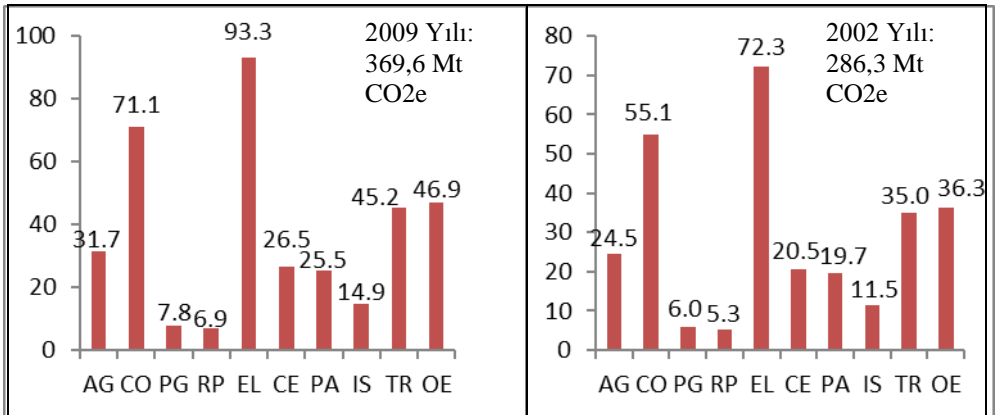
Tablo 10'da sektörler arası Girdi-Çıktı ilişkisini gösteren akım tablosu verilmiştir. Tablo yatay incelendiği zaman ilgili sektörün üretim için diğer sektörlerlere verdiği miktarı, dikey incelendiği zaman ise ilgili sektörlerden aldığı miktarı göstermektedir. Örneğin Demir-Çelik sektörü (IS); en fazla 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 almıştır.

Türkiye'nin 1990 yılında 187 Mtco₂e olan karbon emisyonu %58,8'lik artışla 2000 yılında 297 Mtco₂e olmuştur. 2000 yılından itibaren artış hızı yavaşlamış ve %24,4'lük artışla 2009 yılında 369,7 Mtco₂e 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 döne-

minde oldukça azalmıştır. Bu azalmada enerjinin verimli kullanılması, yenilenebilir enerjilerin kullanılması ve yakıt türü olarak doğalgaz kullanımının etkisi olduğu düşünülebilir.

Şekil 5'te 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 Mtco_{2e} emisyon salımı ile birinci sıradadır ve toplam emisyonların %25'ini oluşturmaktadır. Kömür madenciliği sektörü (CO) 71,1 Mtco_{2e} emisyon salımı ile ikinci sıradadır ve toplam emisyonların %19'unu oluşturmaktadır. Taşımacılık sektörü (TR) ise 45,2 (%12) Mtco_{2e} emisyon salımı gerçekleştirmektedir. Bu sektörleri sırasıyla; Tarım sektörü (AG) 31,7 Mtco_{2e} (%8), Çimento sektörü (CE) 26,5 Mtco_{2e} (%7), Kağıt üretimi sektörü (PA) 25,5 Mtco_{2e} (%6), Petrol ve Gaz üretimi (PG) 7,8 Mtco_{2e} (%2), Petrolün Arındırılması sektörü (RP) 6,9 Mtco_{2e} (%1) takip etmekte, kalan sektörler ise (OE) toplam 46,9 Mtco_{2e} (%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 5: 2009 ve 2002* Yılı Sektörel Emisyonlar (Mtco_{2e})



Kaynak: TÜİK (2011). Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verileri yazarlar 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 5'teki "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

emisyona değerleri üzerinden 1990-2009 yılları arasındaki %5.13'lük artış uygulanırsa Tablo 11'de verilen ve 2020 yılına kadar olan süreçteki sektörel ve genel sera gazı emisyonları elde edilebilir.

Tablo 11: 1990-2009 Dönemi %5.13'lük Emisyon Artımına Göre Sektörel ve Genel Emisyon Tahminleri (Mtco_{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
1995	20,1	45,2	4,9	4,4	59,3	16,9	16,2	9,5	28,8	29,8	235,1
2000	24,3	54,5	5,9	5,2	71,5	20,3	19,5	11,4	34,7	35,9	283,1
2005	28,4	63,7	6,9	6,1	83,6	23,7	22,8	13,3	40,5	42,0	331,2
2010	32,5	72,9	8,0	7,0	95,7	27,2	26,1	15,3	46,4	48,1	379,3
2015	36,6	82,2	9,0	7,9	107,9	30,6	29,4	17,2	52,3	54,2	427,3
2020	40,7	91,4	10,0	8,8	120,0	34,1	32,7	19,1	58,2	60,3	475,4

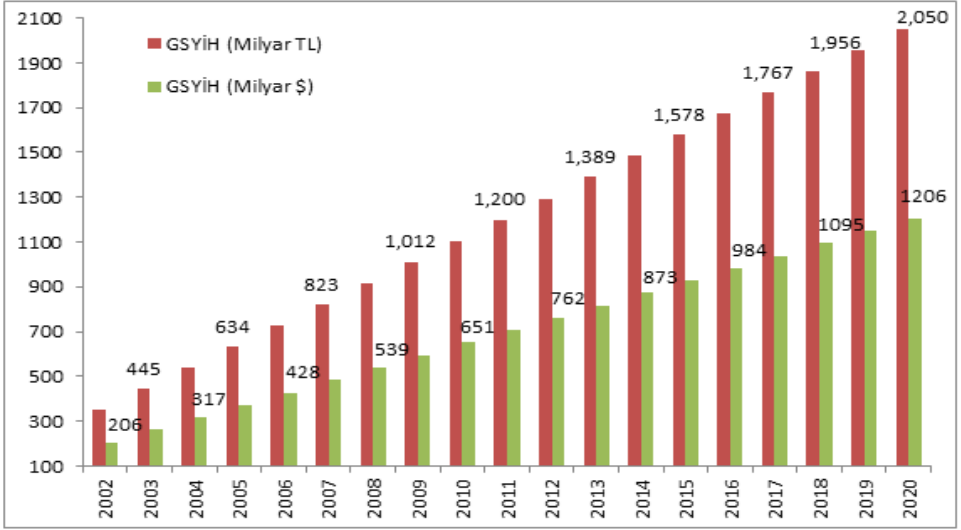
Kaynak: TÜİK (2011) Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verilerinden yazarlar tarafından sektörel emisyonlar hesaplanmış ve simülasyon uygulanmıştır.

* Emisyon değerleri Lulucf hariçtir.

Tablo 11'den izlenebileceği gibi 1990-2009 arası %5.13'lük artış senaryosuna göre 2009 yılı emisyon miktarı 369,7 Mtco_{2e} iken 2020 yılında bu emisyon değerinin 475,4 Mtco_{2e} olması öngörülmüştür. Bu sonuç Çevre ve Orman Bakanlığı'nın (Orman ve Su İşleri Bakanlığı) MAED/ENPEP modeli ile tahmin ettiği 604 Mtco_{2e} tahmininden oldukça azdır fakat, Avrupa Komisyonu'nun PRIMES modeli ile tahmin ettiği 421 Mtco_{2e} sonuçları ile uyumludur. 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.

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 5'te verilmiştir. Şekil 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 6: 2002-2011 Dönemi GSYİH Artışına Göre Türkiye'nin GSYİH Projeksiyonu (2010 sabit fiyatları, milyar TL/\$)



Kaynak: TCMB ve TÜİK verileri kullanılarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

D. FARKLI EMİSYON KOTALARININ SEKTÖRLERE DAĞILIMI

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 yardımıyla 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 12'de verilmiştir.

Türkiye'nin 2002 yılı sera gazı emisyonu 286,3 MtCO_{2e}'dir. Tablo 12'den izlenebileceği gibi Türkiye'nin %5'lik kota alması durumunda emisyon salımı 272 MtCO_{2e}'ye, %10 alması durumunda 257,7 MtCO_{2e}, %20 alması durumunda 229 MtCO_{2e}, %30 alması durumunda 265,8 MtCO_{2e} ve %40 alması durumunda ise 188,8 MtCO_{2e}'ye düşecektir.

Tablo 12: Toplam ve Sektörel Olarak Emisyon Kotaları (Mtco₂e)

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 yazarlar tarafından sektörel emisyonlar hesaplanmış ve simülasyon uygulanmıştır.

* Emisyon değerleri 2002 yılına aittir ve Lulucf hariçtir.

E. ULUSLARARASI PİYASADA KARBON FİYATI VE EMİSYON KOTALARININ DEĞİŞİMİNİN REFAH ETKİLERİ

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 13'te verilmiştir. Örnek olarak Türkiye'nin %10'luk emisyon azaltım yükümlülüğü olduğunu varsayalım. (Tablo 15'in 4. ve 5. sütunu) Tablo 7.6'dan izlenebileceği gibi uluslararası piyasada karbon fiyatı 10 € iken eğer ET (Emisyon Ticareti) uygulanırsa GSYİH kaybı %0.204, KV (Karbon Vergisi) uygulanırsa %0.771, 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 13: Farklı Karbon Fiyatları ve Kotalar Altında Emisyon Ticareti ve Karbon Vergisi Uygulamasının Sonuçları (GSYİH'ya oran olarak)*

Karbon Emisyonu Kotaları								
Karbon Fiyatı	ET**	KV***	ET	KV	ET	KV	ET	KV
	5%****	5%	10%	10%	20%	20%	30%	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

Kaynak: TÜİK (2011). Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu verilerinden yazarlar tarafından sektörel emisyonlar hesaplanmış ve simülasyon uygulanmıştır. *: Kur 2,5 TL olarak alınmıştır. **: Emisyon Ticareti, ***: Karbon Vergisi, ****: Emisyon kotalarının göstermektedir.

Tablo 13'ten izlenebileceği gibi benzer şekilde Türkiye'nin %20'lik emisyon azaltım yükümlülüğü olduğunu varsayalım (Tablo 13'in 6. ve 7. sütünü). 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.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, Türkiye'nin küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede emisyon yükümlülüğü alınması durumunda, alternatif mitigasyon (sera gazı azaltımı) politikaları olan karbon vergisi ve emisyon ticaretinin Türkiye ekonomisi üzerindeki maliyetleri Hesaplanabilir Genel Denge Analizi ile analiz edilmiştir. 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.

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. 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 (Emisyon Ticareti) uygulanırsa GSYİH kayıpları %0.408, %0.490, %0.572, %0.817, %1.225 ve %1.633 olacak, KV (Karbon Vergisi) uygulanırsa GSYİH kayıpları %0.839, %1.007, %1.174, %1.678, %2.517, ve %3.356 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.

NOTLAR

- 1- N₂O gazı diazot monoksit, nitrikoksit ya da nitroksit olarak ta bilinmektedir. Atmosferde bulunan azot oksit bileşikleri; azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), diazot (mono)oksit (N₂O)'dir (www.rshm.saglik.gov.tr/hki/pdf/hava.pdf, Erişim: 21.11.2011).
- 2- Esneklik mekanizmalarının içeriği ile ilgili detaylı bilgiler için UNFCCC'nin resmi web sitesi olan <http://unfccc.int> adresine bakılabilir.
- 3- Karbon fiyatlarının günlük değişimlerini izlemek için bakınız www.pointcarbon.com.
- 4- Literatürde Genel denge Analizlerinde sıklıkla tercih edilmesi ve matematiksel işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesi için Cobb-Douglas fonksiyonu seçilmiştir.

- 5- L_j ve K_j firmaların kar maksimizasyonu için seçtiği üretim faktörleridir.
- 6- *Market clearance* (piyasaların dengelenmesi) şartı aslında burada ifade edilen *sıfır kar şartı*'dir.
- 7- Modelde kullanılan tüm denklemler ve çözümleri yazarlar tarafından yapılmış, denklemlerin çözüm detayları burada verilmemiştir. $\hat{\theta}$ parametreleri t , mps , P_i , I_i , G_i , Y parametreleri yardımıyla elde edilir.
- 8- Modelin çözümünde Yeldan (2006) çalışmasındaki 2003 SHM baz alınmıştır.

KAYNAKÇA

- ARIKAN, Yunus and Gürkan KUMBAROĞLU; (2001), “Endogenising Emission Taxes; A General Equilibrium Type Optimisation Model Applied for Turkey”, **Energy Policy**, 29 (12), pp.1045-1056.
- BERNAND, Alain and March VIELLE; (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**, 88, pp. 2-24.
- BNEF; (2013), “Bloomberg New Energy Finance”, Internet Address: <http://about.bnef.com/>, Date of Access: 09.01.2013.
- BÖHRİNGER, Christoph and Thomas RUTHERFORD; (2002), “Carbon Abatement and International Spillovers A Decomposition of General Equilibrium Effects”, **Environmental and Resource Economics**, 22, pp. 391-417.
- BURNIAUX, Jean March and J. Oliveira MARTINS; (2012), “Carbon Leakages: A General Equilibrium View”, **Economic Theory**, 49, pp. 473-495.
- CHEN, W. T.; LI, Y. P.; HUANG, G. H.; CHEN, X. and LI, Y. F.; (2010), “A Two-Stage Inexact-Stochastic Programming Model for Planning Carbon Dioxide Emission Trading Under Uncertainty”, **Applied Energy**, 87, pp. 1033-1047.
- Çevre ve Orman Bakanlığı**; (2011), **Karbon Piyasalarında Ulusal Deneyim ve Geleceğe Bakış**, Ankara: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları.
- ÇOB**; (2011), “Çevre ve Orman Bakanlığı”, İnternet Adresi: <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr>, Erişim Tarihi: 07.12.2011
- DAMRO, Chad and Pilar Luaces MENDES; (2005), “Emissions Trading at Kyoto: From EU Resistance to Union Innovation”, in Andrew JORDAN (Ed.), **Environmental Policy in the European Union: Actors, Institutions and Process**, Eartscan in the UK and USA: Routledge Publishing, pp. 253-275.
- DELLİNK, Rob and Ekko Van IERLAND; (2006), “Pollution Abatement in the Netherlands: A Dynamic Applied General Equilibrium Assessment”, **Journal of Policy Modelling**, 28, pp. 207-221.
- DESSUS, Sebastien and Maurizio BUSSOLO; (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**, 20(1), pp.11-31.

- DOLU, Ömer; (2005), “Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları ve Kurumsal Kapasite Gelişimi”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- DPT; (2000), **İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu**, Ankara: DPT Yayınları.
- EB; (2011), “Energy Boom”, Internet Adress: <http://www.energyboom.com/emerging/ieas-450-scenario-outlines-energy-actions-needed-mitigate-climate-change>, Date of Access:3 0.11.2011.
- 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”, Internet Address: http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2007/com2007_0002en01.pdf, Date of Access: 02.01.2012.
- EC; (2009), **The EU Emission Trading Scheme**, Belgium: European Commission Publishing.
- EICHNER, Thomas and Rüdiger PETHIG; (2010), “EU-type Carbon Emissions Trade and the Distributional Impact of Overlapping Emissions Taxes”, **Journal of Regulatory Economics**, 37, pp. 287-315.
- EKINS, Paul and Terry BARKER; (2001), “Carbon Taxes and Carbon emission Trading”, **Journal of Economic Surveys**, 15(3), pp. 325-376.
- EPICA; (2013), “European Project for Ice Coring in Antarctica”, Internet Address: <http://www.esf.org/index.php?id=855>, Date of Access: 17.12.2013.
- ERMOLÏEVA, Tatiana; Yuri ERMOLÏEV; Günther FÏSCHER; Matthias JONAS; Marek MAKOWSKI and Fabian WAGNER; (2010), “Carbon Emission Trading and Carbon Taxes Under Uncertainties”, **Climatic Change**, 103, pp. 277-289.
- FIELD, Barry C. and Martha K. FIELD; (2002), **Environmental Economics: An Introduction**, Sixth Edition, New York: McGraw Hill.
- HALICIOĞLU, Ferda; (2009), “An Econometric Study of CO2 Emissions, Energy Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey”, **Energy Policy**, 37, pp. 1156-1164.
- IEA; (2009), **Key World Energy Statistics 2009**, International Energy Agency, Paris: OECD/IEA.
- IEA; (2010), **World Energy Outlook 2010**, International Energy Agency, Paris: OECD/IEA.

- IEA;** (2011), **Key World Energy Statistics 2011**, International Energy Agency, Paris: OECD/IEA.
- IPCC;** (2007), **The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge: Cambridge University Press.
- KADIOĞLU, Mikdat;** (2007), **Küresel İklim Değişimi ve Türkiye–Bildığınız Havaların Sonu**, Üçüncü Baskı, İstanbul: Güncel Yayıncılık.
- KARAKAYA, Etem ve Mustafa ÖZÇAĞ;** (2003), “Türkiye Açısından Kyoto Protokolü'nün Değerlendirilmesi ve Ayrıştırma (Decomposition), Yöntemi İle CO2 Emisyonu Belirleyicilerinin Analizi”, **VII. ODTÜ İktisat Konferansı**, 9 Haziran, Ankara: ODTÜ, İnternet Adresi: http://www.econturk.org/Turkiyeekonomisi/odtu_paper.pdf, Erişim Tarihi: 25.10.2013.
- KARALI, Nihan;** (2006), “An Aggregate Economic Equilibrium Model for Sustainable Energy Policy Analysis and Implications for Turkey, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- KUMBAROĞLU, Gürkan and Reinhard MADLENER;** (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**, 121 (1-4), pp. 181-203.
- KUMBAROĞLU, Gürkan;** (2003), “Environmental Taxation and Economic Effects: A Computable General Equilibrium Analysis for Turkey”, **Journal of Policy Modeling**, 25, pp. 795–810.
- KUMBAROĞLU, Gürkan; Reinhard MADLENER and Mustafa DEMİREL;** (2008), “A Real Options Evaluation Model for The Diffusion Prospects of New Renewable Power Generation Technologies”, **Energy Economics**, 30(4), pp.1882-1908.
- LASEUR, Joris;** (2005) “Unilateral CDM: Addressing the Participation of Developing Countries in CDM Project Development”, Master Thesis, Netherlands: University of Groningen Economics Department.
- LIN, Boqiang and Xuehui LI;** (2011), “The Effect of Carbon Tax on Per Capita CO2 Emissions”, **Energy Policy**, 39, pp.5137-5146.
- LISE, Wietze;** (2006), “Decomposition of CO2 Emissions Over 1980-2003 in Turkey”, **Energy Policy**, 34 (14), pp.1841-1852.
- MCCARL, Bruce A. and Uwe A. SCHNEIDER;** (2000), “U.S. Agriculture’s Role in a Greenhouse Gas Emission Mitigation World: An Economic Perspective”, **Review of Agricultural Economics**, 22(1), pp. 2-48.

- MÖST, Dominik and Wolf FİCHTNER; (2010), “Renewable Energy Sources in European Energy Supply and Interactions With Emission Trading”, **Energy Policy**, 18, pp.2898-2910.
- NORDHAUS, William D.; (2007), “To Tax or Not to Tax: Alternative Approaches to Slowing Global Warming”, **Review of Environmental Economics and Policy**, 1(1), pp.26-44.
- OCAK, Miraç; Zehra OCAK; Selçuk BİLGİN; Sedat KELEŞ; and Kamil KAYGUSUZ; (2004), “Energy Utilization, Environmental Pollution and Renewable Energy Sources in Turkey”, **Energy Conversion and Management**, 45(6), pp. 845–864.
- ÖZÇAĞ, Mustafa; (2011), “İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği ve Ekonomik Büyüme Türkiye Üzerine Bir Analiz”, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- PC; (2012), “Point Carbon”, Internet Address: <http://www.pointcarbon.com>, Date of Access:15.12.2012.
- PROOST, Stefan and Denise Van REGEMORTER; (1992), ”Economic Effects of A Carbon Tax: With a General Equilibrium Illustration for Belgium”, **Energy Economics**, 14(2), pp.136-149.
- RESOSUDARMO, Budy P.; (2003), “Computable General Equilibrium Model on Air Pollution Abatement Policies with Indonesia as a Case Study”, **The Economic Record**, 79, Special Issue, pp. 63-73.
- ŞAHİN, Şebnem; (2004), “An Economic Policy Discussion of the GHG Emission Problem in Turkey From a Sustainable Development Perspective within a Regional General Equilibrium Model: TURCO”, **7th Annual Conference on Global Economic Analysis**, 17-19 June, USA, pp.1-42, Internet Address: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1779.pdf>, Date of Access: 05.02.2013.
- TCMB; (2011), “Elektronik Veri Dağıtım Sistemi”, İnternet Adresi: <http://evds.tcmb.gov.tr>, Erişim Tarihi:09.12.2011
- TIMILSINA, R. Govinda and Ram M. SHRESTHA; (2006), “General Equilibrium Effects of a Supply Side GHG Mitigation Option Under the Clean Development Mechanism”, **Journal of Environmental Management**, 80, pp.327-341.
- UPADHYAYA, Prabhat; (2011), “Is Emission Trading A Possible Policy Option for India?”, **Climate Policy**, 10(5), pp.560-574.

- World Bank;** (2010), *State and the Trends of the Carbon Market 2010*, in Kossoy ALEXANDRE and Ambrosi PHILIPPE (Ed.), USA: Washington DC., Internet Address: <http://www.carbonfinance.org>, Date of Access: 02.01.2012.
- YANG, Hao Yen; (2000), “Carbon-Reducing Taxes and Income Inequality: General Equilibrium Evaluation of Alternative Energy Taxation in Taiwan”, **Applied Economics**, 32, pp.1213-1221.
- YELDAN, Erinç; Kotkut BORATAV and Oktar TÜREL; (1996), “Dilemmas of Structural Adjustment and Environmental Policies under Instability: Post-1980 Turkey”, **World Development**, 24(2), pp. 373-393.
- YELDAN, Erinç; Ebru VOYVODA and Çağatay TELLİ; (2006), “Economics Of Environmental Policy In Turkey: A General Equilibrium Investigation of the Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Policies for Climate Change”, Internet Address: http://www.bilkent.edu.tr/~yeldane/Journal Of Pol Mod_TVY2006, Date of Access: 09.12.2011.
- TÜİK;** (2002), “Girdi-Çıktı Tabloları”, İnternet Adresi: http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?alt_id=58, Erişim Tarihi: 02.01.2011.
- TÜİK;** (2011), **VI. Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu 1990-2009**, Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu.
- UNDP;** (2006), “The Clean Development Mechanism: an Assessment of Progress”, **UNDP Environment and Energy Group 2006-10-31**, Internet Address: <http://www.energyandenvironment.undp.org/undp/indexAction.cfm?>, Date of Access: 10.02.2011.
- UNFCC;** (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, Internet Address: <http://unfccc.int/resource/docs/cop7/11.pdf>, Date of Access: 09.12.2013.
- UNFCC;** (2011), “Draft Decision- Establishment of an Ad Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action, Durban”, Internet Address: http://unfccc.int/files/meetings/durban_nov_2011/decisions/application/pdf/cop17_durban_platform.pdf, Date of Access: 03.02.2011.
- UNFCC;** (2012); “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi”, Internet Address: <http://unfccc.int>, Date of Access: 09.12.2012
- UZMEN, Reşat; (2007), **Küresel Isınma ve İklim Değişikliği**, Birinci Baskı, İstanbul: Bile Kültür Sanat.

