

Ulaştırma Sektöründe CO₂ Emisyonu ve Enerji Ar-Ge Harcamaları İlişkisi

Nihat IŞIK
nihatis@hotmail.com

Efe Can KILINÇ
kilinc_efe@hotmail.com

The Relationship between CO₂ Emissions and Energy R&D Expenditures in the Transport Sector

Abstract

Harmful gases (such as; carbondioxide, methane and nitrousoxide) which are released as a result of energy activities conducted by primary energy sources lead to emergence of unintended consequences such as global warming and ozone layer depletion and in this sense disruption of the green growth process in terms of countries. Petrol, diesel and gas are used as fuels in the transport sector increases the release of toxic gases. However, in recent years, depending on the development of technological advances and R&D activities, renewable energy sources in the sense of partial provide reduction of the emission of toxic gases such as CO₂. In this study, the relationship between R&D expenditures and CO₂ emissions in the transport sector, on the basis of selected countries for the period 1990-2010 were analyzed by the models of Dynamic Panel Data. According to results of analysis in the selected countries it was seen that R&D expenditures has a positive impact on CO₂ emissions in line with expectations. In addition, there is a long term relationship among R&D expenditures, CO₂ emissions and energy consumption.

Keywords : Energy, CO₂ Emissions, R&D Expenditures.

JEL Classification Codes : Q40, Q50, Q30.

Özet

Birincil enerji kaynakları ile yürütülen enerji faaliyetleri sonucunda açığa çıkan zararlı gazlar (Karbondioksit, Metan ve Nitröz oksit gibi) küresel ısınma ve ozon tabakasının delinmesi ya da incelmeleri gibi istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına ve bu anlamda ülkeler açısından yeşil büyüme sürecinin sektöre uğramasına neden olmaktadır. Petrol, mazot ve gaz gibi yakıtların kullanıldığı ulaştırma sektörü de zehirli gazların salınımını artırmaktadır. Buna karşın, son yıllarda teknolojik gelişmelere ve Ar-Ge faaliyetlerine bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi kısmi anlamda CO₂ gibi zehirli gazların emisyonunun azaltılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, ulaştırma sektöründeki Ar-Ge harcamaları ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişki 1990-2010 döneminde seçilmiş ülkelerde dinamik panel veri yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre seçilmiş ülkelerde enerji Ar-Ge harcamaları CO₂ emisyonunu beklentilere uygun olarak negatif yönde etkilemektedir. Ayrıca; CO₂ emisyonu, Ar-Ge harcamaları ve enerji tüketimi arasında uzun dönemli bir ilişki vardır.

Anahtar Sözcükler : Enerji, CO₂ Emisyonu, Enerji Ar-Ge Harcamaları.

1. Giriş

Ülkelerin iktisadi ve sosyal alanlarda gelişmelerini sağlayan ve bu ülkelerde yaşayan vatandaşların hayat standartlarını yükselten en önemli faktörlerden birisi enerjidir. Günümüzde nüfus artışı, küreselleşme, sanayileşme ve kentleşme ile refah seviyesinin artırılması gibi olgular ülkelerin enerjiye olan taleplerini artırmaktadır. Artan bu enerji talebi enerji bağımlılığının artmasına neden olmakta, bu durum ise ülkelerin yeni enerji kaynakları üzerinde daha fazla durmalarını ve enerji sektörü ile ilgili projeleri hayata geçirmelerini gerekli kılmaktadır. Diğer taraftan, enerji talebinin karşılanması amacıyla hizmet edilirken çevre faktörü göz ardı edilebilmektedir. Birincil enerji kaynaklarının tüketimi beraberinde yüksek oranda zehirli gaz salınımlarını getirmektedir. Bu gazların salınımlarında şüphesiz ki ulaştırma sektörünün payı oldukça fazladır.

Küresel ısınma başta olmak üzere iklim değişiklikleri, uluslararası toplumun karşılaştığı en önemli sorunlardan biridir. İklim değişikliğine neden olan başlıca sera gazları; Karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄), Nitröz oksit (N₂O), Hidroflorokarbon (HFC), Perflorokarbon (PFC) ve Kükürt hekzaflorid (SF₆)'dir. Bunların içinde en önemlisi karbondioksit gazıdır ve toplam sera gazı miktarı içindeki payı %80'i bulmaktadır. Karbondioksit salınımlarının neredeyse yarısını ABD ve Çin yapmaktadır. Dünya genelinde CO₂ emisyonunun sektörel dağılımında ise ilk sırayı %22 ile sanayi, ikinci sırayı da %20 ile ulaştırma sektörü almaktadır (International Energy Agency-IEA, 2012: 9).

Küresel iklim değişikliklerinin etkilerinin minimize edilmesi noktasında sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde yaygın bir kanı söz konusudur. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında küresel girişimler (Kyoto Protokolü, Kopenhag İklim Konferansı vb.) ortaya konulmuştur. Kyoto Protokolü ile alınan önlemlerden bir tanesi 2008-2012 döneminde sera gazı salınımlarının 1990 yılı seviyesinden ortalama %5 aşağıya çekilmesi iken, Kopenhag İklim Konferansında küresel sıcaklığın 2020 yılına kadar 2 dereceden daha fazla artmaması için sera gazı emisyonlarının yeteri kadar azaltılması kararı alınmıştır (Kim, 2010: 1-2).

Karbon salınımlarının azaltılmasında küresel girişimlerin yanı sıra ekonomik araçlardan da faydalanılmaktadır. Bu süreçte, karbon depolama-yakalama teknikleri ile karbon vergisi ve karbon ticareti gibi ekonomik araçların yanı sıra, enerji alanında yürütülen Ar-Ge ve inovasyon faaliyetleri ve bu faaliyetler sonucunda geliştirilen yenilenebilir enerji kaynaklarının rolü oldukça fazladır.

Çevre üzerinde yıkıcı etkilere neden olan CO₂ emisyonundan hareketle bu çalışmada, ulaştırma sektöründe enerji Ar-Ge harcamalarının CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi 1990-2010 döneminde seçilmiş ülkelerde panel veri yöntemiyle analiz edilecektir. Çalışmanın ilk kısmında enerji ve ekonomi ilişkisine yönelik kavramsal çerçeveye yer verilecek, ikinci kısımda CO₂ emisyonu ele alınacaktır. Enerji Ar-Ge harcamaları ile CO₂ emisyonu ilişkisinin ele alındığı üçüncü kısmın ardından, deneysel analize yer verilecektir. Çalışma sonuç ve değerlendirme ile tamamlanacaktır.

2. Enerji ve Ekonomi: Kavramsal Çerçeve

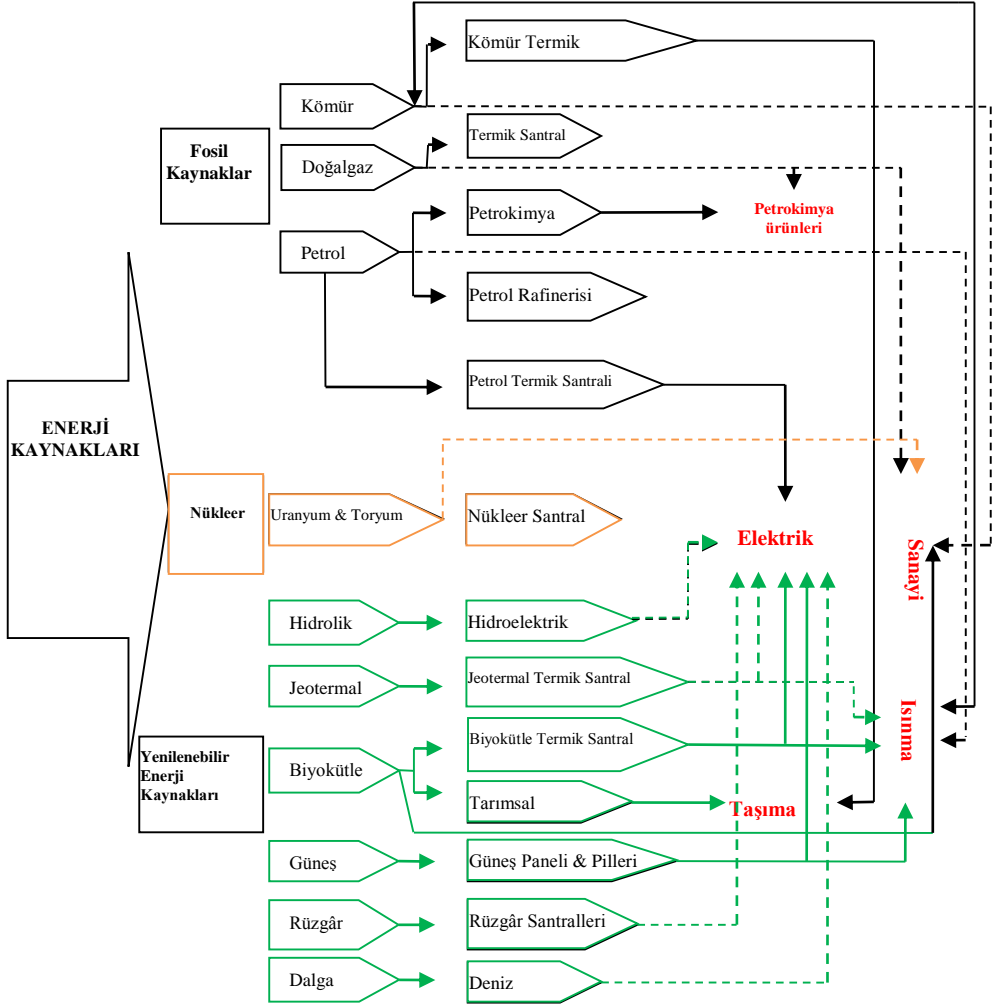
2.1. Enerji, Enerji Kaynakları ve Enerjinin Ekonomideki Yeri ve Önemi

İş yapma kapasitesi olarak tanımlanan enerji; ısı enerjisi, ışık (radyant enerji), mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji gibi çeşitli şekillerde ortaya çıkmaktadır. Enerji kaynakları genel olarak yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen enerjidir. Örneğin güneş enerjisi, güneşten kaynaklanır ve elektrige veya ısı enerjisine dönüştürülebilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, jeotermal, okyanus ve gel-git, biyogaz, hidrolik ve hidrojen enerjisidir. Yenilenemeyen enerji, kullanılan ve fakat kısa zaman aralığında yeniden oluşmayan enerji olarak tanımlanır. Yenilenemeyen enerji kaynakları ise kömür, petrol, linyit, doğal gaz ve nükleer yakıtlar olarak sıralanabilir. Yenilenemeyen enerji kaynakları, yaşamları milyonlarca yıl önce sona ermiş bitki ve hayvan gibi organik kalıntıların yerkürenin içinden gelen ısı ve bu kalıntıların üzerinde bulunan kayalarından kaynaklanan basınç altında oluşmuş fosillerinden kaynaklanmaktadır (Bahar, 2005: 36; İTÜ, 2007: 1).

Enerji üretiminin genel değer zincirinin yer aldığı Şekil 1'den de görülebileceği gibi, enerjinin temel kaynakları (fosil, nükleer ve yenilenebilir) on farklı dala ayrılmakta ve her bir dal da kendi alt sektörünü oluşturmaktadır. Enerji üretim zincirinin birinci ve ikinci halkasını kaynaklar, üçüncü halkasını işletim sistemleri ve son halkasını ise ürünler yani çıktılar oluşturmaktadır. Bu zincirin son halkası; petrokimya ürünleri, elektrik enerjisi, ısınma ve taşıma fonksiyonları şeklinde ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtlardan kömür ve doğalgaz hem doğrudan ısınma aracı olarak kullanılmakta hem de termik santraller aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Petrolden ise, petrokimya tesisi ve rafineriler vasıtası ile sanayi ve ulaştırma sektöründe yararlanılmaktadır. Nükleer kaynaklar ancak santraller yolu ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrolik, güneş, rüzgâr ve dalga enerjisi sayesinde elektrik enerjisi üretilmekte ve biyokütle ve jeotermalde ise ısınma amaçlı faydalanılmaktadır.

Şekil: 1
Temel Enerji Kaynakları



Kaynak: TEVEM, 2010: 36.

2.2. Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği kısaca, üretimdeki miktar ve kaliteyi ve iktisadi kalkınma ve sosyal refahı azaltmaksızın tüketilen enerji miktarının en aza indirilmesi olarak tanımlanabilir. Daha geniş bir ifadeyle enerji verimliliği; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki

enerji kayıplarını önlemek yoluyla, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi veya ileri teknoloji kullanımı sayesinde üretimi düşürmeksizin enerji talebini azaltmayı ve daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırmayı amaçlayan önlemler bütünü olarak nitelendirilebilir (TEVEM, 2010: 33).

Enerji verimliliği, teknolojik gelişme ile de doğru orantılıdır. Nitekim gelişmekte olan ülkelerin ortalama verimlilik düzeyi gelişmiş ülkelerin üçte biri düzeyindedir. Aradaki bu farkın gelişmiş ülkelerin teknolojik avantajından kaynaklandığını söylemek yanıltıcı olmayacaktır (Kınık, 2009: 15).

Türkiye Makine Mühendisleri Odası (2008)'nın da ifade ettiği gibi, enerji sektöründe verimliliğinin artırılması ve sahip olunan potansiyel yenilebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması hem küresel iklim değişikliği politikalarına uyum için hem de ülkenin dış ödemeler açığı, istihdam katkısı, hava kirliliğine bağlı sağlık problemlerinin azalması, hane halkının harcamalarında rahatlatma gibi çok sayıda ve çok yönlü yararlar açısından da oldukça önem arz etmektedir.

Türkiye'nin son yıllarda Enerji Verimliliği Kanunu, eğitim ve farkındalık faaliyetleri, KOBİ'ler ve endüstriyel kuruluşlar için hibe programları gibi konularda başarı elde ettiğini söylemek mümkünse de, hâlâ enerji verimliliği üzerinde daha etkin stratejiler ve politikalar geliştirmeye ve uygulamaya ihtiyaç duyduğu söylenebilir (Keskin ve Ünlü, 2010: 31).

2.3. CO₂ Emisyonu

Karbondioksit; kloroflorokarbonlar, metan ve azotdioksit ile kıyaslandığında insan-yapımı sera gazların en önemlisi olarak kabul edilmektedir. Karbondioksit gazının sera etkisi yaratma ve iklim değişimine yol açmadaki payı %50 ile en fazladır (Kovancılar, 2001: 11-12).

CO₂ emisyonunun temel antropojenik (insan kökenli) kaynakları; fosil yakıt tüketimi, endüstriyel süreçler ve toprak kullanımı değişikliğidir (bkz. Tablo 1). Fosil yakıtlar; doğrudan yakıt tüketimi, dolaylı olarak da ikincil enerji formlarının tüketimi yoluyla CO₂ emisyonuna katkı yapmaktadır. Doğrudan CO₂ emisyonu ile sonuçlanan faaliyetler; elektrik ve ısı üretimi ile karayolu, hava ve su-bazlı ulaştırma gibi elektriksiz ulaştırma sektöründe kullanılan yakıtlar olarak sıralanabilir. İkincil enerji formunda kullanılan enerji faaliyetleri; sanayi sektörü, konut ve ticari sektör ve elektrik-ulaştırma sektörü şeklinde kategorize edilebilir.

Sanayi sektörü genel olarak; imalat, tarım, ormancılık ve madencilik faaliyetlerini içermektedir. Konut ve ticari sektör; binaları ve ticari kuruluşların faaliyetlerini, elektrik ulaştırma sektörü de demiryolu ve kentsel elektrikli toplu taşımayı kapsamaktadır. Kireç,

çimento, alüminyum, kok ve çelik, hidrojen, amonyak ve gübre üretimi gibi endüstriyel süreçler CO₂ emisyonunun doğrudan kaynağını oluşturmaktadır (Dinica, 2002: 3).

Tablo: 1
CO₂ Emisyonunun Antropojenik (İnsan Kökenli) Kaynakları

Doğrudan CO ₂ Emisyonu Üreten Faaliyetler		Tüketim Sektörleri
Fosil Yakıt Kullanımı	Elektrik ve ısı üretimi	Sanayi Sektörü
		Konut ve Ticari sektörü
	Ulaştırma (elektriksiz)	Elektrik-Ulaştırma Sektörü
Endüstriyel Süreçler	Kireç, çimento, alüminyum, kok ve çelik, hidrojen ve amonyak üretimi	
Toprak Kullanımı Değişikliği	Ormanlık alanları yok etme	

Kaynak: Dinica, 2002: 3.

Tablo: 2
Maliyet Etkin Teknolojiler

<p>Elektrik üretimindeki karbonun kapladığı alan (tabanı) üzerinde köklü değişiklikler yapmak. Bunun için,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Üretim verimliliğini artırmak, karbon-bazlı yakıt döngüsündeki önemli gelişmeleri açıklama ve kömür ile doğalgaz üretiminde ve kullanımında karbon yakalama ve depolama tekniklerini göstermek, • Depolama ve elektrik altyapılarını da içeren yenilenebilir elektrik üretiminin gelişimini ve dağıtımını hızlandırmak, • Nükleer atık yönetimini çözmek, nükleer yakıt çevrimini/döngüsünü sonlandırmak, güvenli yeni-nesil nükleer enerji santrallerinin onayı ile ilgili düzenlemeleri kolaylaştırmak ve modernize etmek, • Akıllı elektrik şebekeleri geliştirmek ve elektrik üretim-dağıtımını bu şebekeler kanalıyla yapmak gerekir.
<p>Ulaştırma sektöründe icatlar yapmak. Bunun için,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektrikli enerji araçların yanı sıra enerji depolanmasında gelişmiş bir elektrik şebekesinin gelişimini hızlandırmak (böylece yenilenebilir elektrik teknolojisini etkin bir şekilde kullanmak) • Etkin mühendislik yapılarını, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı güç trenlerini ve sistemlerini içeren alternatif itiş teknolojilerinin gelişiminin hızlandırmak, • Selülozlu etanol, hidrojen yakıt hücreleri, bitkilerden ve diğer alternatif yakıtlardan elde edilen çevresel olarak sürdürülebilir ulaşım yakıtlarını geliştirmek, • Enerji ve çevresel sorunların azaltılmasında sürdürülebilir yaşam döngüsü değişikliklerini benimsemek, • Yük ve insan taşımacılığının artışı sağlarken sera gazı emisyonlarını azaltan ulaşım altyapılarının gelişimini ve dağıtımını kolaylaştırmak gerekir.
<p>Konut sektöründe birtakım dönüşümleri gerçekleştirmek. Bunun için,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bina yapımını/İNŞAATINI teşvik eden standart ve kodların gelişimini, demonstrasyonunu ve dağıtımını kontrol altına almak, sürdürülebilir araçların ve enerji verimliliğini yüksek ekipmanların ve operasyon sistemlerinin kullanımını güçlendirmek, • Yapı işlemlerinde ve yerel enerji altyapısı için (kısmen elektrik şebekesinde) ekipman yapımında enerji verimliliğini artırmak için araştırma ve geliştirme yöntemlerini artırmak, • İnşaat uygulamalarında yenilenebilir enerji ve yerinde birleşik ısı ve güç sistemlerinin daha geniş bir çerçevede uygulanmasının önündeki teknik ve düzenleyici işletme uygulamalarını çözmek,
<p>Daha sürdürülebilir bir endüstriyi teşvik etmek. Bunun için,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Endüstride enerji verimliliğini sağlayan önlemlerin/uygulamaların benimsenmesi için birtakım teşvikler sağlamak, • Saf malzeme işleme malzeme içinde gömülü enerji içeriğini azaltma yoluyla enerji yatırımlarını iyileştirmek ve bu süreç sonunda yeniden üretim ve geri dönüşüm düzeylerini artırmak,
<p>İnovasyonu güçlendirmek. Bunun için,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ar-Ge katılımcılarının işbirliğini ve genişliğini artırmak, • Yeni teknolojilerin geliştirilmesi noktasında özel sektör Ar-Ge faaliyetlerine ilave teşvikler getirmek, • Düşük karbon teknolojilerine yönelik Ar-Ge faaliyetlerini artırmak gerekir.

Kaynak: ASME, 2009: iii.

2.4. CO₂ Emisyonunun Azaltılması

Amerika Makine Mühendisleri Odası'nın (American Society of Mechanical Engineers-ASME) 2009 yılında yayınladığı raporda, sanayi devriminin başlangıcından bu yana karbondioksitin atmosferik düzeylerinin istikrarlı bir şekilde arttığı ifade edilmektedir. Bu düzeylerin, küresel ekonomideki büyümeye paralel olarak gelecekte de hızlı bir şekilde artacağı düşünülmektedir. Önemli iklim değişiklikleri CO₂ gibi belirli gazların atmosferik yoğunluğunun artışı ile ilişkilidir. İklim değişikliğinin insani ve çevresel maliyeti gerekli önlemlerin yokluğunda oldukça büyük olmakta, bu maliyetin minimize edilmesi ise uzun bir zaman gerektirmektedir.

CO₂ emisyonunun azaltılması noktasında maliyet-etkin teknolojilerin zamanında geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Bu amaca hizmet edilmesinde izlenebilecek teknoloji rotaları Tablo 2'de açıklandığı gibidir.

CO₂ emisyonunun azaltılmasını sağlayan önlemler, arz ve talep yanlı önlemler şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Arz yanlı önlemler ilk durumda elektrik ve ısı üretimindeki karbon yoğunluğunun azaltılmasına yöneliktir. İkinci durum ise yakıt karbon yoğunluğunun ve taşıtlardaki enerji kullanımının azaltılması ile ilgilidir. Talep cephesinde CO₂ emisyonunun azaltılması; sanayi, ticaret ve konut uygulamaları için nihai kullanımli teknolojilerin, uygulamaların ve araçların enerji yoğunluğunun azaltılması ve ulaştırma alanında yakıt talebinin düşürülmesi esastır (bkz. Tablo 3).

Tablo: 3
CO₂ Emisyonunun Azaltılmasını Sağlayan Önlemler

Arz Yanlı Önlemler	Talep-Yanlı Önlemler
1. Elektrik ve Isı Üretimi <ul style="list-style-type: none"> Elektrik ve ısı üretimindeki karbon yoğunluğunun azaltılması Geliştirilmiş bir dönüşüm verimliliği ve kojenarasyon Yenilenebilir kaynaklar Nükleer enerji 	Sanayi Sektörü <ul style="list-style-type: none"> Enerji verimlilik teknolojileri Enerji verimliliği ve enerji yönetimi Üretim ve ürün inovasyonları Geri dönüşüm ve malzeme değişimi
	Konut ve ticaret sektörü <ul style="list-style-type: none"> Enerji verimliliği, inovatif nihai-kullanım araçları, uygulamaları ve araçları Yapılarda enerji yönetim sistemleri Mekânsal planlama önlemleri Enerji hizmetlerinde talebin azaltılması
	Elektrikli taşıma <ul style="list-style-type: none"> Elektrikli olmayan taşımadan elektrikli taşımaya geçişin yanı sıra altyapı ve gerekli araçların gelişimi
2. Ulaştırma (elektrik olmayan) <ul style="list-style-type: none"> Yakıtlardaki karbon yoğunluğunun azaltılması Araçlardaki enerji yoğunluğunun azaltılması Daha verimli yakıtlar ve araçlar 	Elektrikli olmayan taşıma <ul style="list-style-type: none"> Elektrikli olmayan araçlara dayalı taşıma hizmetlerindeki talebin düşürülmesi Yakıt tüketiminin azaltılması
	Yük Taşımacılığı <ul style="list-style-type: none"> Firma düzeyinde enerji yönetimi sistemleri Mekânsal planlama önlemleri
	Yolcu Taşımacılığı <ul style="list-style-type: none"> Taşımacılıkta talep yönetimi Taşımacılıkta talebin düşürülmesi
	Havayolu Taşımacılığı <ul style="list-style-type: none"> Taşıma modellerinde değişim Endüstriyel düzeyde enerji yönetimi

Kaynak: Dinica, 2002: 6-12.

CO₂ emisyonunun en büyük kaynağı enerji arz etmek için kullanılan fosil yakıt yanmasıdır. Fosil yakıt yanmasından kaynaklanan emisyonu azaltmada kullanılan yöntemlerden birisi de bu emisyonun yakalanmasıdır. Emisyonun yakalanmasında başvurulan yöntemler ise yanma-sonrası (post-combustion), yanma-öncesi (pre-combustion) ve oksijen-yakıt yanması (oxy-combustion) olarak sınıflandırılmaktadır. Yanma-sonrası yakalama yöntemi enerji santrallerinin bacasından çıkan gazları yakalamak için bir çözücü kullanmaktadır. Yanma-öncesi durumda, buhar ile CO₂ -H₂ (hidrojen) karışımı üretmek için yakıt, hava ya da oksijen ile reaksiyona sokulur. Oksijen-yanması yönteminde ise yanma sırasında oksijen hava yerine kullanıldığı zaman potansiyel olarak depolamaya uygun olan CO₂'yi içeren bir baca gazı ortaya çıkar (IEA, 2007: 1).

Karbon yakalama ve depolama (Carbon Capture and Storage-CCS), antropojenik CO₂ emisyonlarının azaltılması noktasında önemli bir potansiyele sahiptir. Bu işlem; fosil yakıtlar, biyokütle-temelli güç üretimine, petrol ve doğalgaz üretme ve işleme ile hidrokarbon kimyasallar, mineraller (çimento ve cam) ve metallere uygulanabilir. Sözkonusu işlemin bu sektörlerin tümünde uygulanması durumunda dünya genelindeki antropojenik CO₂ emisyonlarının yaklaşık üçte ikisinin azalacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte ulaştırma altyapısında dönüşüme neden olacağı düşünülen elektrik ve hidrojenin karbonsuzlaştırılmasını sağlayan merkezi planların uygulanması durumunda ulaşım sektöründeki CO₂ emisyonlarının da önemli ölçüde azalacağı tahmin edilmektedir (Electric Power Research Institute-EPRI, 2009: 1).

CO₂'nin azaltılmasında ve enerji tasarrufunun sağlanmasında kullanılan araçlardan birisi de karbon vergisidir. Karbon vergisi, fosil yakıtlarının yanması sonucu oluşan karbon emisyonları üzerine uygulanan bir vergidir. Spesifik bir vergi olan karbon vergisi, kömürün tonu, petrolün varili veya emisyon salınımı başına alınan bir tüketim vergisidir. Karbon vergisinin temel amacı; atmosferdeki miktarı her geçen gün artan sera gazlarının yol açtığı küresel ısınma sorununa çözüm bulmak ve yakıt tüketiminin yol açtığı negatif dışsallıkları azaltmaktır. Vergiler, aynı zamanda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için potansiyel bir gelir kaynağı olarak da görülmektedir (Çiçek ve Çiçek, 2012: 97).

Karbon vergisi yaklaşık 20 yıldır küresel olarak uygulanmaktadır. 1990'lı yılların başlarında Avrupa ülkelerinde ortaya çıkmıştır. 1990 yılında karbon vergisini ilk kez uygulayan ülke ise Finlandiya'dır. Bu ülkeyi takiben Hollanda (1990), Norveç (1991), İsveç (1991) ve Danimarka (1992)'de karbon vergisi uygulamaya konulmuştur (Sumner, 2009: 1).

Karbon vergisi, küresel ısınma problemini oluşturan sera gaz emisyonlarının neden olduğu ekonomik dışsallıkların içselleştirilmesini desteklemekte ve negatif dışsallıkların fiyat mekanizması yoluyla içselleştirilmesini savunan Pigocu vergi yaklaşımı altında kategorize edilmektedir. Karbon vergisi iki şekilde uygulanabilir. Gelirlerinin bir bölümü veya tamamının çevreyi koruma amaçlı kullanıldığı çevre vergisi şeklinde olabileceği gibi, çeşitli yönlerden iklim değişikliği hedeflerine etki eden vergiler şeklinde de olabilir. Yenilenebilir teknolojileri geliştirmek amacıyla toplanan vergiler birinci duruma

örnek gösterilebilir. Bireyleri daha az yakıt tüketen araçlar almaya teşvik eden veya özel araçları ile bir yılda yaptıkları ortalama km'yi azaltmaya yönelten vergiler ise ikinci duruma örnektir (Çiçek ve Çiçek, 2012: 100; Kovancılar, 2001: 12).

Karbon ticareti ise karbon emisyonuna üst sınır getiren teknik bir uygulamadır. Karbon vergileri bir politika mekanizması olarak genellikle karbon ticareti (carbon trade) ve karbon üst sınırı (cap) uygulamaları ile karşılaştırılmaktadır. Ekonomik verimlilik açısından karbon vergisinin esnek olmayan ticaret sisteminden daha fazla faydalı olması beklenmektedir. Karbon vergisinin avantajlarından birisi uygulanmasının basit olmasıdır. Verginin bir başka avantajı ise fiyatların bilinmesidir. Buna karşın, karbon ticareti ve üst sınır uygulamasına ilişkin fiyatlar; arz, talep ve düzenleyici koşulların öngörülemez nitelikte olması sebebiyle bilinmemektedir. Diğer taraftan karbon vergisinin de eleştirilecek yanları vardır. Bunlardan bir tanesi de uygulanacak karbon vergisi ile karbon emisyonunun hangi oranda azaltılacağı (karbon üst sınırı ile bu öngörülebilir) tam olarak bilinmemesidir (Sumner, vd., 2009: 1).

3. CO₂ ile Enerji Ar-Ge Harcamaları İlişkisi

CO₂'yi yakalama ve enerji santralleri gibi büyük enerji kaynaklarından ayrıştırma işleminde başarı aralıksız devam eden; araştırma, geliştirme ve uygulama çalışmaları ile mümkündür. Dünya genelinde araştırma faaliyetleri bilimsel toplumun fikir birliğinde küresel iklim değişikliğini (en azından sera gazı emisyonlarını) azaltmak için yürütülmektedir. Genel maliyetleri düşürüp zehirli gazların yakalanmasını sağlayan ve teknoloji ile süreçleri geliştirmede kullanılan Ar-Ge faaliyetleri, sadece enerji santralleri ve sanayi tesisleri değil tüm enerji kaynaklarındaki karbon yakalama-depolama uygulamalarını desteklemek için gerekli altyapıyı sağlayacak uygun bir sera gazı kontrol planının oluşturulmasında oldukça kritik bir öneme sahiptir. Ar-Ge teknolojilerinin geniş bir alanda kullanılması, enerji verimliliği ve talep yönetimi yaklaşımlarına ek olarak sera gazı emisyonlarını azaltmak ve sonuçta dengeyi (stabilization) sağlamak için de gereklidir (Figueroa, 2008: 18).

Son yıllarda Kyoto hedeflerini (örneğin, 2008-2012 döneminde sera gazı salınımlarının 1990 yılı seviyesinden ortalama %5 aşağıya çekilmesi)¹ karşılama noktasında sanayileşmiş ülkelerin enerji kullanımlarını azaltmaları ile birlikte karbondioksit emisyonu ve çevresel etkiler üzerinde artan bir ilgi söz konusudur. Bu hedeflerin (özellikle sera gazı emisyonlarının azaltılması) gerçekleştirilmesinde izlenebilecek rotalardan birisi de yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasıdır. Fosil yakıt tüketimi sonucunda ortaya çıkan sera gazları yenilenebilir enerji üretimine göre oldukça

¹ *Kyoto Protokolü ile ilgili detaylı bilgi için bkz. Birleşmiş Milletler (1998), Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kyoto Protokolü, <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/Mevzuat/kyoto_protokol.pdf>, 11.11.2013.*

fazladır. Yenilenebilir enerji üretimindeki artış zararlı gazların çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkisinin azalmasına katkı sağlamaktadır.

Çevresel ekonomi alanında büyük bir ilgi gören teknolojik inovasyonlar iklim değişikliği gibi ciddi problemler ile karşılaşıldığında gerek kamu otoritesi gerekse de özel sektör için önemli bir politika aracı olarak değerlendirilmektedir. Teknolojik inovasyonların ortaya çıkmasında ise Ar-Ge yatırımlarının katkısı oldukça fazla olmaktadır. 1970’li yılların başında birçok ekonomist güçlü ve sıkı çevresel düzenlemelerin firmalara ek maliyetler getireceğini düşünmüştür. Ancak, 1990’li yıllarda Porter bu tezin aksini savunmuş ve sıkı çevresel düzenlemeler sayesinde firmaların teknolojik inovasyonlar gerçekleştirme potansiyellerinin artacağını ifade etmiştir. Henüz fark edilmemiş ya da keşfedilmemiş inovasyon kaynaklarını arama ve Ar-Ge faaliyetlerine katılma süreçleri yoluyla firmalar uluslararası piyasalarda rekabetçiliği artıracak inovasyonları teşvik edebilir (Aktaran, Inoue, 2013: 4).

EPRI (2009)’da, ticari nitelikteki karbon yakalama ve depolama projelerinin arz edilmesini hızlandırmak ve CO₂ emisyonunun azaltılmasında önemli bir yere sahip olan teknolojik yetkinliği sağlamak amacıyla kurulan Küresel Karbon Yakalama ve Depolama Enstitüsü (Global CCS Institute)’nün, küresel boyutta araştırma-geliştirme projelerine ve bu projeler için bir araya gelen işbirlikçi firmalara odaklandığı vurgulanmaktadır. Enstitü, küresel CO₂ emisyonunun azaltılmasında Ar-Ge faaliyetlerinin önemine değinmekte, bu faaliyetlerin uygulanmasında firmaların işbirliğine gitmesinin altını çizmektedir. Bu anlamda özellikle Ar-Ge şebekelerinin (networklerinin) kurulmasını desteklemektedir.

AB Komisyonu 7. Çevre Araştırma Programı kapsamında hayata geçirilen bir proje olan GHG-TransPoRD, sera gazı emisyonlarının azaltılması noktasında diğer teknolojik önlemlerle birlikte Ar-Ge harcamaları ve ulaştırma politikalarının eşgüdümlü olarak kullanılması amacını taşımaktadır. Burada, Ar-Ge stratejisini geliştirmek ve hedeflenen emisyon düzeylerine ulaşmak için bazı rotalar belirlenmiştir. Ulaştırma sektöründeki Ar-Ge faaliyetlerinin, inovasyonların yayılımının ve inovasyon sisteminin analiz edilmesi bu rotalardan birisidir.

AB bölgesinde 2008 yılında yaklaşık 40 milyar Euro ile ulaştırma sektörü en büyük Ar-Ge yatırımcısı olmuştur. Otomobil endüstrisindeki Ar-Ge faaliyetleri bu yatırımın ciddi bir bölümünü domine etmektedir. GHG-TransPoRD projesinin en önemli tespitlerinden bir tanesi, ticari araçların üretimi ile karşılaştırıldığında otomobil üreticilerinin daha yüksek Ar-Ge yatırım değerlerine ve Ar-Ge yoğunluğuna sahip olduklarıdır. Bu durumun arkasında ise karayolu yük ve yolcu taşımacılığı arasındaki fark yatmaktadır. Yük taşımacılığındaki yüksek rekabet ve bunun bir sonucu olarak yüksek fiyat baskısı bu alanda faaliyet gösteren firmaların daha çok maliyet azaltıcı tedbirlere yönelmesine neden olmaktadır. Ticari araçlar için toplam işlem maliyeti dışında yakıt maliyetlerinin kayda değer bir bölümü ele alındığında, yeni ekipmanların yakıt verimliliği önemli bir satın alma kriteri olmaktadır. Bununla birlikte ulaştırma firmaları yeni ekipmanlar satın alırken oldukça

sıkı hesaplar yapmakta ve inovatif teknolojilerin satın alınmasında da gereken ödemeyi yapma konusunda cesur davranmamaktadırlar. Bu durum yolcu araçlarında farklıdır. Burada tüketicilerin tercihleri değişik faktörlerden etkilenmektedir. Otomobillerin daha farklı ve inovatif teknolojiler ile donatılması gerekmektedir (European Commission-GHG-TransPoRD, 2012: 8).

Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü tarafından 2009 yılında dünya genelindeki 357 Ar-Ge şebekesi üzerine yapılan araştırmada, firmaların daha çok yanma sonrasında (post-combustion) ortaya çıkan CO₂ emisyonlarının yakalanmasına yönelik Ar-Ge faaliyeti yürüttükleri belirtilmektedir. Ayrıca, yanma sırasında ve yanma öncesinde ortaya çıkan emisyonlara ilişkin Ar-Ge faaliyetlerinin nispeten az olduğuna dikkat çekilmektedir. Diğer taraftan, sektörel olarak daha çok güç üretimi sektöründeki CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik Ar-Ge faaliyeti yürütüldüğü, her ne kadar çimento ve cam sektörü CO₂ emisyonuna ciddi bir katkı sağlasa da bu sektörlerdeki Ar-Ge faaliyetlerinin düşük düzeylerde olduğu vurgulanmaktadır (EPRI, 2009: 1-2).

3.1. Ampirik Literatür

Literatürde (örneğin; Arouri vd., 2012, Chebbi ve Boujelbene, 2008, Arı ve Zeren, 2011 ve Kulionis, 2013) genellikle Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) ile enerji tüketimi ve/veya CO₂ emisyonu arasındaki ilişki irdelenmiş, bu noktada Ar-Ge harcamalarının üzerinde yeterince durulmamıştır. Bu kısımda, ulaştırma sektöründe CO₂ emisyonunu konu edinen çalışmalardan bazılarının özetlerine yer verilmiştir.

Cho (2013)'te, Avrupa Birliği (AB)'ne üye ülkelerde 1995-2006 döneminde toplam elektrik tüketimi içerisinde yenilenebilir enerjinin payı; yenilenebilir enerji alanında yapılan Ar-Ge harcamaları, petrol fiyatları ve Gayri Safi Milli Hâsıla değişkenleri kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, gelecekte daha yüksek düzeylerdeki gelir ve petrol fiyatlarının, AB ülkelerinde elektrik tüketimi içerisinde Ar-Ge kaynaklı yenilenebilir elektrik üretiminin artması konusunda büyük katkı sağlayacağını ortaya koymuştur.

Sahu ve Narayanan (2013), 2000-2011 döneminde Hindistan'da imalat sektöründe faaliyet gösteren firmaların fosil yakıt tüketimlerinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını incelemişlerdir. Sonuçlar firma düzeyinde emisyon yoğunluğu konusunda farklılıklar olduğunu ve bu farklılıkların da firmaların kendilerine has özelliklerinden kaynaklandığını göstermektedir. Ayrıca; faaliyet yılı, büyüklük, enerji ve teknoloji yoğunluğunun CO₂ emisyonunun temel belirleyicileri olduğu sonucuna varılmıştır. Firmaların, yakıt tüketimi kaynaklı CO₂ emisyonunun azaltılmasında Ar-Ge faaliyetlerine ve teknoloji araştırmalarına daha fazla kaynak aktarılması gerektiği de çalışmanın bulguları arasındadır.

Lei vd. (2012)'de, 1960-2008 döneminde uluslararası teknoloji yayılımı/taşması (spillover), enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Sonuçlar;

uluslararası teknoloji yayılımı, teknoloji dönüşümü ve yurtiçi Ar-Ge girdisinin CO₂ emisyonunu azalttığını göstermektedir. Ar-Ge girdisinin CO₂ emisyonu üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı yollardan etkileri vardır. Çalışmanın diğer bulguları da; Ar-Ge'nin yurt içi inovasyonu geliştirdiğini, teknolojinin dönüşümünü, emilimini ve kullanımını hızlandırdığını ve son olarak enerji verimliliğini sağlayarak emisyon hacminin azaltılmasına ciddi katkılar yaptığı şeklinde sıralanabilir.

Dinda (2011)'de, ABD ekonomisinde 1963-2007 döneminde üretim teknolojisi (burada patent göstergesi vekil olarak kullanılmıştır) ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişki incelenmiştir. Bulgular, üretim teknolojisinin CO₂ emisyonunu sadece kısa dönemde azalttığına işaret etmektedir. Üretim teknolojisinin etki-tepki analizi de, patent koruma hakkının kısaltılması yoluyla inovatif faaliyetlerin ya da yeniden üretim süreçlerinin teşvik edilerek kısa dönemde emisyonların azalacağını göstermektedir. Bu yüzden politika yapıcıları üretim tasarımına yönelik inovasyon faaliyetlerine ve Ar-Ge faaliyetlerine daha fazla önem vermelidirler.

Yang vd. (2009)'da, Kaliforniya'daki ulaştırma sektörüne ait sera gazı emisyonlarının "Kaya Eşitliği"² ile 2050 yılına kadar nasıl %80 düzeyinin altına düşürüleceği incelenmiştir. Bu çerçevede yapılan senaryo analizleri, her ne kadar tutturulması zor bir hedef olsa da, seyahat davranışının değişmesi ve mobiliteyi sağlayacak araç ve yakıt teknolojilerinin kullanılması ile bu hedefe ulaşılabileceğini göstermiştir.

Krstanoski (2006)'da, Makedonya karayolu sektöründeki CO₂ emisyonu için bir model oluşturulmuş ve şu iki senaryo analiz edilmiştir: Birincisi, herhangi bir politika eyleminin olmadığı durum, ikincisi de sonraki 25 yıl boyunca emisyonu azaltıcı tedbirlerin uygulandığı durum. Analiz sonuçları, herhangi bir politikanın uygulanmadığı duruma kıyasla önerilen politikaların uygulanması durumunda 2030 yılına kadar karayolu sektöründeki CO₂ emisyonunun %32 oranında azalacağını ortaya koymuştur.

3.2. CO₂ Emisyonlarının, Enerji Teknolojisi Ar-Ge ve Demonstrasyon Bütçelerinin ve Enerji Tüketimlerinin Gelişimi

Küresel olarak ulaştırma sektöründeki CO₂ emisyonu fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonunun yaklaşık olarak %23'üne (OECD ülkeleri genelinde bu oran %30'a yükselmektedir) tekabül etmektedir. Bu sektördeki emisyon genel sera gazı emisyonlarının ise %15'ini oluşturmaktadır. 1990-2007 döneminde büyük bir bölümü karayolu ve gemicilik sektörlerine ait olan ulaştırma sektöründeki CO₂ emisyonu %45 artış göstermiştir. Bu trendler ele alındığında, ulaşım sektörü enerji kullanımı ve CO₂

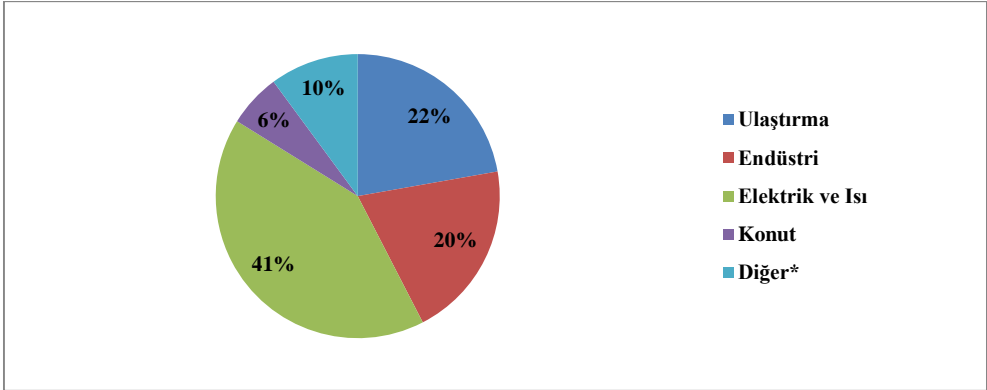
² CO₂ emisyonunun hesaplanmasında kullanılan Kaya Eşitliği şu şekilde formüle edilebilir:

$$\frac{CO_2 \text{ emisyonu}}{Nüfus} = \frac{GSYH}{Nüfus} \times \frac{CO_2 \text{ Emisyonu}}{Enerji Tüketimi} \times \frac{Enerji Tüketimi}{GSYH}$$
(Detaylı bilgi için bkz., Peterson, 2009: 3).

emisyollarının 2030 yılına kadar yaklaşık olarak %50, 2050 yılına kadar da %80 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (The Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) iklim değişikliği ile mücadelede CO₂ emisyonunun 2050 yılına kadar %50 oranında azaltılmasını önermektedir. Diğer taraftan, 2008 Küresel Finans Krizi ekonomik faaliyetlerde durgunluğa, bu durum ise son 40 yıldaki emisyon miktarında keskin bir (%3 ila %10 aralığında) düşüşe neden olmuştur (IEA, 2009: 29; IEA, 2010: 5).

Dünya genelinde sektörel CO₂ emisyonlarının dağılımının yer aldığı Şekil 2'den de görüldüğü gibi, elektrik ve ısı sektörü ile ulaştırma sektöründeki emisyon miktarı küresel emisyon miktarının yaklaşık üçte ikisine denk gelmektedir. Küresel CO₂ emisyonun neredeyse yarısına tekabül eden elektrik ve ısı sektöründeki emisyon büyük ölçekte kömür kaynaklıdır. Avusturalya, Çin, Polonya, Hindistan ve Güney Afrika elektrik ve ısı üretimlerinin %68 ila %94'lük bölümünü kömürden sağlamaktadır.

Şekil: 2
Sektörel CO₂ Emisyonları, Dünya (2010)



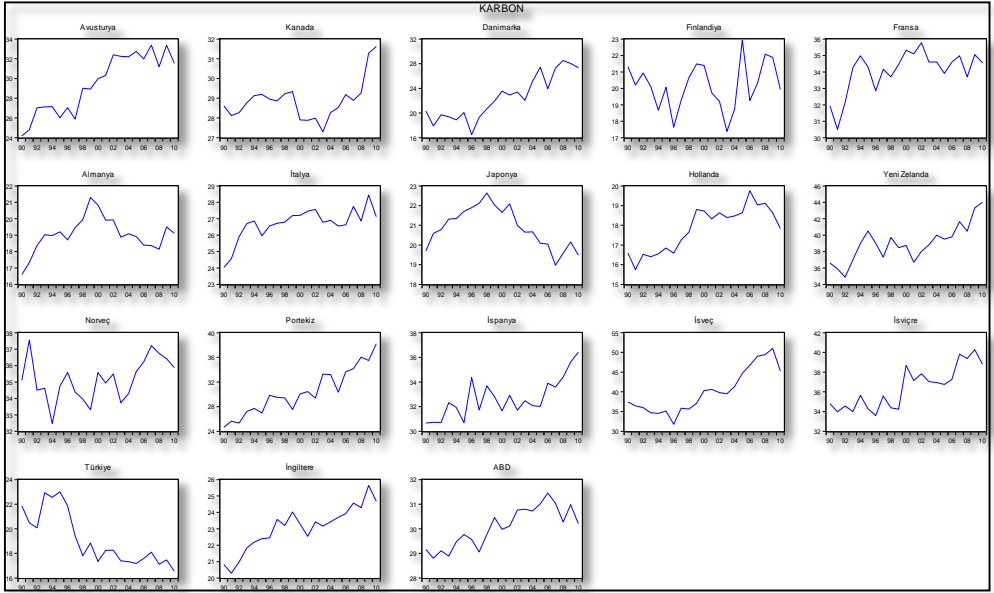
* Ticari/Kamusal hizmetleri, tarım/ormancılık, balıkçılık, elektrik ve ısı üretimi dışındaki enerji endüstrilerini ve herhangi bir alanda konumlandırılmayan emisyonları içerir.

Kaynak: IEA, 2012: 9.

Ulaştırma sektöründeki emisyonun yaklaşık %75'i karayolu sektörüne aittir. ABD, kişi başına düşen yolcu seyahat düzeyi (yaklaşık olarak 25.000 km) bakımından dünyada ilk sırada yer almaktadır. Son zamanlara kadar Avrupa'daki yakıt fiyatlarının yüksekliği bu bölgede yakıt ekonomisinin gelişmesini teşvik ederken, ABD'de daha düşük yakıt fiyatları beraberinde daha büyük araçların kullanımı problemini getirmiştir. Sonuç olarak, OECD bölgesinde yeni hafif-hizmet araçlarının ortalama yakıt tüketiminde %50'den daha fazla bir değişiklik sağlansa da küresel ulaştırma talebinin gelecekte beklenildiği gibi düşmeyeceği düşünülmektedir. Öyle ki 2012 yılındaki Dünya Enerji Görünümü (World

Energy Outlook-WEO) raporunda 2035 yılına kadar ulaştırma sektörü talebinin yaklaşık %40 artacağı belirtilmektedir. Bu sektördeki emisyonların sınırlandırılabilmesi için politika yapımcılarının ABD'nin son zamanlarda yaptığı ve AB ülkelerinin takip ettiği gönüllülük antlaşmalarında olduğu gibi araç verimliliğini artırmaları gerekmektedir. Bu verimliliğin sağlanması ise; elektrikli ve fişli hibrid araçların daha fazla üretilmesi, hidrojenin (örneğin, yakıt-hücreli araçlar) ve biyoyakıtların (örneğin, benzin ve dizel karışımı bir yakıt) daha fazla kullanılması ile mümkündür. Bu politikalar hem ulaşımın çevresel etkilerini azaltacak hem de bazı zamanlarda tedarik kesintileri nedeniyle rahatsız olan yurtiçi yakıt tedarikçilerinin güvencede olmasına katkıda bulunacaktır (IEA, 2012: 10).

Şekil: 3
Ulaştırma Sektöründe CO₂ Emisyonunun Gelişimi (Toplam Yakıt Tüketimi İçerisindeki Payı, %)



Kaynak: World Bank, Data, WDI,

<<http://databank.worldbank.org/data/views/variableSelection/selectvariables.aspx?source=world-development-indicators>>, 12.10.2013.

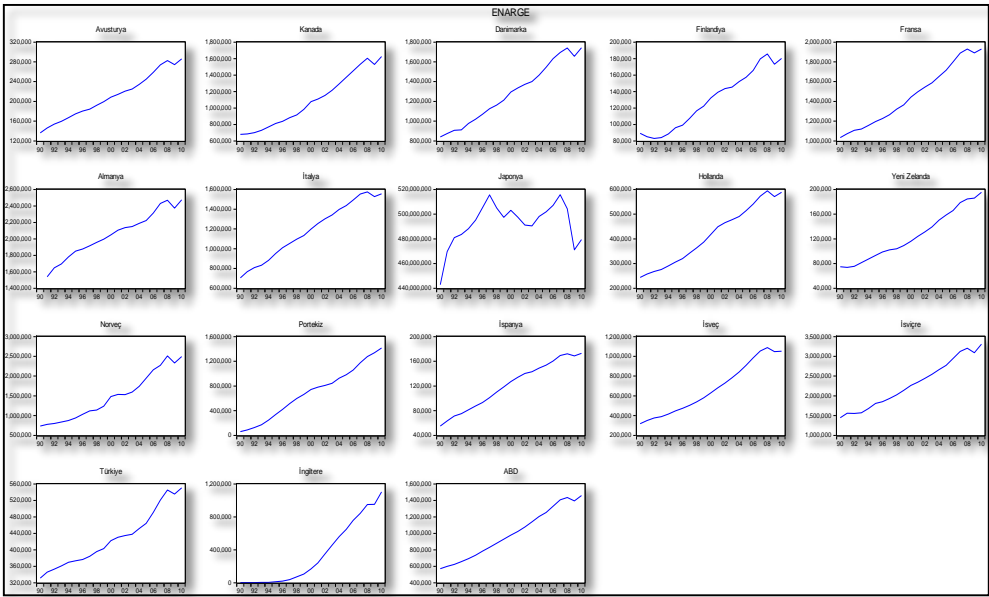
IEA (2012)'de, 1990-2010 döneminde yakıt tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonunun azaltılması bakımından ciddi mesafe kat eden ülkelerin; Almanya (%19,8), İngiltere (%12) ile Geçiş ekonomileri (Ukrayna'da %61,2, Romanya'da %54,8) grubunda yer alan ülkeler olduğu belirtilmektedir. Türkiye'de ise anılan dönemde yakıt tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonu yaklaşık olarak %100 artış göstermiştir. Bu istatistikten

hareketle Türkiye'nin Kyoto hedeflerinin (Uluslar arası Enerji Ajansı'nın hesaplamalarına göre bu hedef emisyonun %4,7 oranında azaltılmasıdır) oldukça uzağında kaldığı söylenebilir.

Ulaştırma sektöründe CO₂ emisyonunun gelişiminin yer aldığı Şekil 3'ten de izlenebileceği gibi; Avusturya, Kanada, Fransa, Yeni Zelanda, Norveç, Portekiz, İsveç, İsviçre ve ABD'de CO₂ emisyonu yüksek düzeylerde seyretmektedir. Diğer taraftan; Almanya, Japonya, Hollanda ve Türkiye'de bu oranın diğer ülkelere kıyasla düşük seviyelerde kaldığı görülmektedir. 2008 ve sonrasında yaşanan büyük durgunluk döneminde iktisadi faaliyetlerdeki durgunluğa paralel olarak CO₂ emisyonlarındaki düşüş göze çarpmaktadır. Türkiye'de bu oranın %20 düzeylerinden %16 düzeyine kadar gerilediği görülmektedir.

Şekil: 4

Enerji Teknolojisi Ar-Ge ve Demonstrasyon Bütçeleri (Yerel Para Birimi Cinsinden)

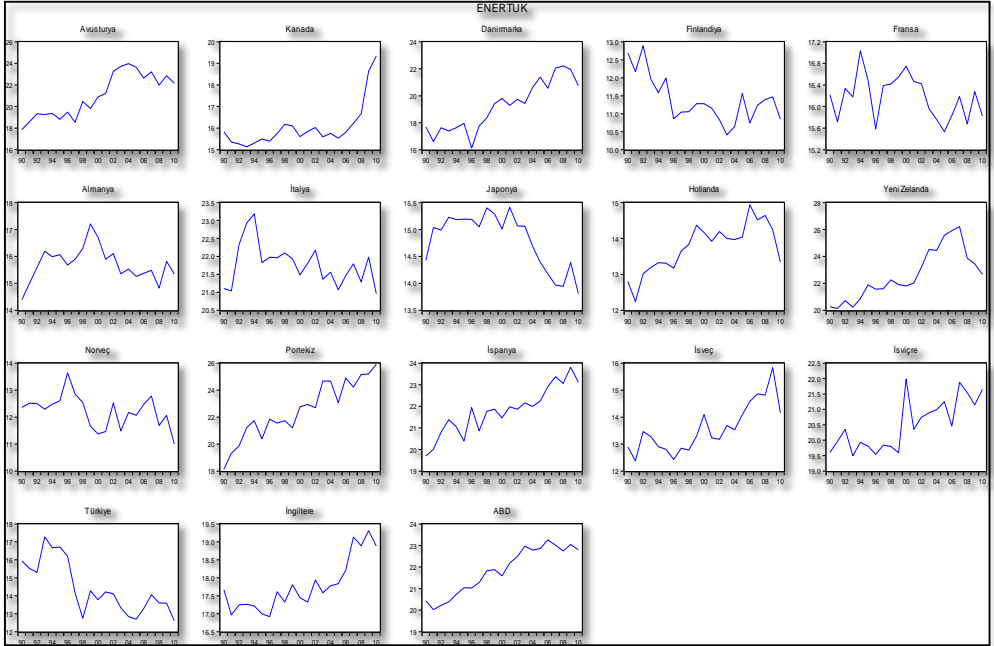


Kaynak: IEA, Online Data Services, RD&D Indicators
<<http://wds.iea.org/WDS/ReportFolders/ReportFolders.aspx>>, 12.10.2013.

Seçilmiş ülkelerde enerji teknolojisi Ar-Ge ve demonstrasyon bütçelerinin (burada demonstrasyon ile kastedilen ulaştırma sektöründe enerji tasarrufuna yönelik yapılan etüdler) gelişimine bakıldığında, Ar-Ge ve demonstrasyon bütçelerinin genel olarak

artış eğiliminde olduğu söylenebilir. Bu ülke grubu içerisinde Japonya'nın söz konusu bütçesinin oldukça dalgalı bir seyir izlediği görülmektedir. Ayrıca şekilden, 2008 Küresel Finans Krizi'nin etkisini açıkça görmek mümkündür. Türkiye'de enerji teknolojisi Ar-Ge ve demonstrasyon bütçesinin 2000-2010 döneminde yaklaşık %40 oranında artış göstermiştir (bkz. Şekil 4).

Şekil: 5
Karayolu Sektöründe Enerji Tüketimi (Toplam Enerji Tüketimi İçerisindeki Payı, %)



Kaynak: World Bank, Data, WDI,

<<http://databank.worldbank.org/data/views/variableSelection/selectvariables.aspx?source=world-development-indicators>>, 12.10.2013.

Karayolu sektöründe enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi içerisindeki payı Şekil 5'ten de görüldüğü gibi 1990-2010 döneminde ele alınan ülke grubunda oldukça dalgalı bir eğilim göstermiştir. Karayolu sektöründe enerji tüketimi açısından Japonya'nın kayda değer bir gelişme kaydettiği, 1990'lı yıllarda yaklaşık %15 olan oranı 2010 yılına gelindiğinde %10 düzeylerine kadar indirmeyi başardığı görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında şüphesiz ki Japon otomotiv teknolojisinde yaşanan gelişmelerin (örneğin Toyota'nın hibrid araç üretmesi gibi) etkisi vardır. Japonya'daki eğilime benzer bir durumun Türkiye için de geçerli olduğu söylenebilir. Türkiye'de bu gelişmenin yaşanmasında enerji

tüketiminin diğer sektörlerde (örneğin konut ve sanayi sektörlerinde) daha fazla artış sağlanmasının etkisi olduğu ifade edilebilir.

4. Veri, Model ve Yöntem

Bu kısımda, seçilmiş ülkelerde³ ulaştırma sektöründeki enerji Ar-Ge harcamaları ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişki 1990-2010 döneminde Panel Vektör Hata Düzeltme Modelleri (Ortalama Grup Tahmincisi-Mean Group Estimator-MGE ve Havuzlanmış Ortalama Grup Tahmincisi-Pooled Mean Group Estimator-PMGE) kullanılarak analiz edilmektedir. Çalışmada kullanılacak modelin oluşturulmasında, Cho (2013), Lei vd. (2012) ve Krstanoski (2006) çalışmalarından faydalanılmıştır. Ulaştırma sektöründe CO₂ emisyonunun azaltılmasında Ar-Ge'nin rolünün incelenmesi, çalışmanın literatüre bir katkısı olarak değerlendirilebilir.

4.1. Veri ve Değişkenlerin Tanımlanması

Çalışmada toplam karbondioksit emisyonu içerisinde ulaştırma sektörünün payı (CO₂) bağımlı değişken, ulaştırma sektöründeki Enerji Teknolojisi Ar-Ge ve *Demonstrasyon* bütçesi (ENARGE&D) ve karayolu sektörü enerji tüketimi (ENTUK) ise açıklayıcı değişkenler olarak ele alınmıştır.

Tablo: 4
Veri Seti

Değişkenler	Değişkenlerin Tanımlanması
Ulaştırma Sektöründe CO₂ Emisyonu (Toplam Yakıt Tüketimi İçerisindeki Payı)	Ulaştırma sektöründeki CO ₂ emisyonu tüm ulaştırma faaliyetlerinden kullanılan yakıtlardan salınan gazların toplamından oluşur
Enerji Teknolojisi Ar-Ge ve Demonstrasyon Bütçesi	Enerji Teknolojisi Ar-Ge ve Demonstrasyon Bütçesi, enerjinin tüm biçimlerinin üretimi, depolanması, ulaşımı, dağıtımı ve rasyonel kullanımı ile ilgili araştırmayı, geliştirmeyi ve enerjiyi ortaya çıkarmak için geliştirilen teknolojileri kapsar.
Karayolu Sektörü Enerji Tüketimi (Toplam Yakıt Tüketimi İçerisindeki Payı)	Karayolu sektöründeki toplam enerji (petrol ürünleri, doğalgaz, elektrik, yanıcı maddeler ve atıklar gibi) kullanımınıdır.

Kaynak: World Bank, World Databank, World Development Indicators & Global Development Finance; IEA (2011), IEA Guide to Reporting Energy RD&D Budget / Expenditure Statistics <<http://www.iea.org/stats/RDD%20Manual.pdf>>; IEA, Statistics, Online Access Services, RD&D Budgets, <http://wds.iea.org/wds/ReportFolders/ReportFolders.aspx?CS_referer=&CS_ChosenLang=en>, 04.10.2013.

³ Bu ülkeler; Avusturya, Kanada, Danimarka, Finlandiya, Almanya, Fransa, İtalya, Japonya, Hollanda, Yeni Zelanda, Norveç, Portekiz, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye, İngiltere ve ABD'dir.

Ar-Ge, yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminde oldukça etkin bir rol oynayarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağladığı için modele dâhil edilmiştir. Ulaştırma sektöründeki CO₂ emisyonu içerisinde karayolu sektöründeki emisyonun payının oldukça yüksek olması, (örneğin, 2008 yılında Türkiye’de bu oran yaklaşık %80’dir. Bkz. Babalık-Sutcliffe, 2010: 7) enerji tüketimi değişkeni olarak karayolu sektörünün analize dâhil edilmesine neden olmuştur. Ulaştırma sektöründe CO₂ emisyonu ile karayolu sektörü enerji tüketimi verileri Dünya Bankası Kalkınma Göstergelerinden, enerji teknolojisi ar-ge ve demonstrasyon bütçesi ise Uluslararası Enerji Ajansı enerji istatistiklerinden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri setinin tanımları Tablo 4’te yer almaktadır.

4.2. Ampirik Sonuçlar

Çalışmanın bu kısmında, seçilmiş ülkelerde CO₂ emisyonu ile enerji Ar-Ge harcamaları arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla yapılan panel veri analizinin sonuçlarına yer verilmektedir.

Kullanılan veri setine ilişkin tanımlayıcı istatistiklerin yer aldığı Tablo 5’ten de takip edilebileceği gibi, 1990-2010 dönemine ilişkin seçilmiş ülkelerde karbon emisyonunun toplam karbon emisyonu içerisindeki payı ortalama %28 olarak gerçekleşmiştir. Aynı dönemde söz konusu ülkelerin ulaştırma sektörlerinde enerji teknolojisi Ar-Ge ve demonstrasyon bütçelerinin ve enerji tüketimlerinin payı ortalama olarak sırasıyla %30 ve %17 düzeyindedir. Veri setine ait çarpıklık değerlerine göre ele alınan değişkenlerin çarpıklık değerleri pozitif olduğu için dağılımlarının sağa çarpık olduğu söylenebilir. Basıklık değerleri incelendiğinde, değişkenlerin dağılımının normale göre dik olmadığı görülmektedir.

Tablo: 5
Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	CO ₂	ENARGE&D	ENTUK
Ortalama	28.17693	17.60217	30.22796
Medyan	28.68803	16.94224	3.767000
Maksimum	51.01449	26.22070	901.1080
Minimum	15.74703	10.41384	0.000000
Std. Hata	7.414251	3.911750	90.17124
Basıklık	0.237684	0.100663	5.766036
Çarpıklık	2.296387	1.848925	44.18737
Jarque-Bera	11.05605	20.93777	28050.62
Olasılık	0.003974	0.000028	0.000000
Toplam	10369.11	6477.598	11123.89
Toplam Hata Kareler	20174.40	5615.756	2984023.
Gözlem	368	368	368

Tablo 6’da çalışma çerçevesinde kullanılan göstergelerin birinci kuşak panel birim kök testleri ile yapılan tahminlerin sonuçları yer almaktadır. Olasılık değerlerinden de anlaşılacağı üzere değişkenler düzeylerinde durağan çıkmamıştır. Bu nedenle değişkenlerin birinci farkları alınmış ve durağan hale geldikleri görülmüştür.

Tablo: 6
Birim Kök Testleri

Birim Kök Testi	Levin, Lin & Chu				Im, Pesaran and Shin W-stat				ADF			
	Sabitli		Sabitli ve Trendli		Sabitli		Sabitli ve Trendli		Sabitli		Sabitli ve Trendli	
	İstatist.	Olasılık	İstatist.	Olasılık	İstatist.	Olasılık	İstatist.	Olasılık	İstatist.	Olasılık	İstatist.	Olasılık
CO ₂	-1.953	0.025	-1.771	0.038	-0.111*	0.455	-1.697	0.046	42.833*	0.201	53.332	0.031
ENARGE&D	6.777*	1.000	10.280*	1.000	-0.907*	0.1821	-0.306*	0.379	62.683	0.002	54.753	0.013
ENTUK	-0.885*	0.188	-4.079	0.000	0.566*	0.714	-4.284	0.000	34.298*	0.549	-4.284	0.000
BİRİNCİ FARKLAR												
CO ₂	-15.766	0.000	-13.935	0.000	-15.268	0.000	-14.516	0.000	251.435	0.000	216.203	0.000
ENARGE&D	-1.853	0.031	-1.767	0.038	-8.361	0.000	-7.865	0.000	140.33	0.000	123.771	0.000
ENTUK	-15.573	0.000	-14.103	0.000	-16.457	0.000	-14.142	0.000	266.65	0.000	211.757	0.000

* İstatistik değerinin anlamsız olduğunu göstermektedir.

Birinci farkları alınarak durağan duruma getirilen seriler arasındaki eşbütünlüşme ilişkisinin sonuçları Tablo 7’de görüldüğü gibidir. Pedroni eşbütünlüşme testinde gerek sabitli gerekse de sabitli ve trendli durumlarda yedi testten altı tanesine göre seriler arasında eşbütünlüşme vardır. Kao testi anlamlı kabul edilmiş ve seriler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu görülmüştür.

Tablo: 7
Panel Eşbütünlüşme (Pedroni) ve Kao Testleri

İstatistikler	Sabitli		Sabitli ve Trendli	
	İstatistik	Olasılık	İstatistik	Olasılık
Panel v-İstatistiği	-0.850209*	0.8024	-1.429575*	0.9236
Panel rho- İstatistiği	-41.96778	0.0000	-39.08417	0.0000
Panel PP- İstatistiği	-16.07814	0.0000	-18.45731	0.0000
Panel ADF- İstatistiği	-16.11620	0.0000	-18.50246	0.0000
Grouprho- İstatistiği	-43.91206	0.0000	-38.02978	0.0000
Group PP- İstatistiği	-19.72967	0.0000	-20.27938	0.0000
Group ADF- İstatistiği	-19.77721	0.0000	-20.32972	0.0000
Kao Testi				
t-istatistiği			Olasılık	
3.374739			0.004**	

*Katsayı anlamsızdır.

Seriler arasında uzun dönemli bir ilişki tespit edildikten sonra hem uzun, hem de kısa dönem ilişkilerinin yönü ve katsayıları Vektör Hata Düzeltme Modeli kapsamında PMGE ve MGE tahmincileri kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Bu amaçla kullanılan panel vektör hata düzeltme modeli şu şekilde yazılabilir:

$$\Delta CO_2 = \phi_i CO_{2it-1} + \beta'_{i1} enarge_{it} + \beta'_{i2} entuk_{it} + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda_{it} \Delta CO_{2it-1} + \sum_{j=0}^{q-1} \delta_{ij1} \Delta enarge_{it-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \delta_{ij1} \Delta entuk_{it-j} + u_{it}$$

Modelde; ϕ_i hata düzeltme parametresini, λ_{ij} gecikmeli bağımlı değişkenin katsayılarını (scalars), $\delta_{i,j}$ ($k \times 1$) katsayı vektörlerini, i indisi ülke sayısını, t zamanı, q optimal gecikme uzunluğunu, u_{it} ise hata terimini göstermektedir. Hata düzeltme parametresinin negatif değerli ve istatistiksel olarak anlamlı olması eşbütünlük seriler arasındaki kısa dönemli sapmaların uzun dönemde ortadan kalkacağını ve serilerin uzun dönemde dengeye geleceklerini göstermektedir.

CO₂ ile ENARGE&D ve ENTUK arasındaki ilişki, hem PMGE, hem de MGE tahmincileri ile test edilmiştir. Bu tahmincilerden hangisinin daha iyi sonuçlar ürettiğini görmek için Hausman testi (uzun dönem homojenliğinin testi) yapılmıştır. Hausman testinin sonuçlarının yer aldığı Tablo 8'den de görüldüğü üzere ki-kare değeri anlamlı değildir ve Ho hipotezi reddedilememiştir. Yani PMGE tahmincisi daha doğru sonuçlar üretmektedir ve uzun dönem parametreleri homojendir, bir başka ifadeyle, bu parametreler birimden birime değişmemektedir. Diğer taraftan, hata düzeltme parametresi (errorcorrection-ec) anlamlıdır-bu parametrenin sıfırdan küçük olması anlamlı olduğunu göstermektedir- ve değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki vardır. Hata düzeltme parametresi aynı zamanda serilerin durağan olmamasından kaynaklanan kısa dönem sapmalarının bir sonraki dönemde dengeye gelme hızını ortaya koymaktadır.

Tablo: 8
PMGE ve Hausman Test Sonuçları

D. CO ₂	KATSAYI	STANDART HATA	z İSTATİSTİĞİ	P > z	%95 GÜVEN ARALIĞI	
Ec ENARGE&D	-.0069496	.0037842	-1.84**	0.066	-.0143665	.0004673
Ec ENTUK	1.912476	.0612366	31.23	0.000	1.792455	2.032497
SR ec	-.2898806	.061079	-4.75	0.000	-.4095932	-.1701679
ENARGE&D DL	.1493567	.0985603	1.52	0.130	-.043818	.3425314
ENTUK DL	.9466581	.1533508	6.17	0.000	.646096	1.24722
constant	-2.05264	.9855573	-2.08*	0.037	-3.984297	-.1209835
HAUSMAN TESTİ						
Katsayılar						
	(b) mg-ortalama	(B) pmg-havuzlanmış	(b-B) fark	Sqrt (diag (V_b-V_B))		
ENARGE&D	-.5014851	-.0069496	-.4945354	.8246668		
ENTUK	1.801281	1.912476	-.1111952	.4218545		
chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B) = 0.43 Prob>chi2 = 0.8082 Log Olabilirlik:-268.7087						

*%5 düzeyinde anlamlıdır. **%10 düzeyinde anlamlı kabul edilmiştir.

B= H_a hipotezi altında tutarsız, H₀ hipotezi altında tutarlı, b= H₀ ve H_a hipotezleri altında tutarlı.

Elde edilen bulgulara göre, bir dönemde oluşan dengesizliklerin yaklaşık %29'u bir sonraki dönemde düzelecek ve uzun dönem dengesine yaklaşması sağlanacaktır. ENARGE&D ve ENTUK değişkenlerinin uzun dönem parametreleri (sırasıyla -0.007 ve 1.91) anlamlı ve işaretleri beklentiler (aynı sırayla negatif ve pozitif) doğrultusundadır. Diğer taraftan, ENARGE&D değişkeninin kısa dönem parametresi anlamsız (0.15) iken, ENTUK değişkeninin katsayısının anlamlı (0.95) olduğu görülmektedir. Uzun dönemde ulaştırma sektöründeki enerji Ar-Ge ve Demonstrasyon bütçesindeki %1'lik artış CO₂'yi yaklaşık olarak %0.007 oranında azaltmaktadır. Buna karşın, enerji tüketiminde yaşanacak aynı orandaki bir artış CO₂'yi %1.91 oranında artıracaktır. Kısa dönemde ise enerji tüketimi için bu rakam %0.95 olarak değişmektedir.

Birim etkileri açısından; uzun dönemde ele alınan ülke grubunda Avusturya, Kanada, İtalya, İsveç ve Yeni Zelanda'nın hata düzeltme parametrelerine ait katsayılar anlamlı değildir. Bu yüzden söz konusu ülkelerde CO₂ ile ulaştırma sektöründe ENARGE&D ve ENTUK arasında uzun dönemli bir ilişki yoktur. Sonuçlar, yüksek gelir grubundaki ülkelerde (Örneğin; Japonya, İngiltere ve ABD) CO₂ emisyonunun azaltılmasında Ar-Ge'nin etkin bir araç olarak kullanıldığını kanıtlamaktadır. Türkiye ele alındığında ise uzun dönem hata parametresinin anlamlı olduğu dolayısıyla değişkenler arasında uzun dönemi bir ilişki gözlemlendiği söylenebilir. (bkz. Tablo 9). Sonuçların, Ar-Ge'nin CO₂ emisyonunu azaltacağı ve enerji tüketiminin ise bu emisyonu artıracığı yönündeki iktisadi beklentiler ile örtüştüğü ifade edilebilir.

Tablo: 9
Uzun Dönemde Birim Etkilerinin Anlamlı Olduğu Ülkeler

Ülkeler/ Değişkenler/ İstatistikler	ec (Hata düzeltme parametresi)			ENARGE&D D1.			ENERTUK D1.			cons		
	Katsayı	(z) ist	Olas.	Katsayı	(z) ist	Olas.	Katsayı	(z) ist	Olas.	Katsayı	(z) ist	Olas.
Avusturya	-1.103	-0.94	0.350	-.045	-1.71	0.086	1.14	5.19	0.000	-.095	-0.80	0.426
Kanada	.011	0.12	0.906	-.007	-0.95	0.343	1.065	3.48	0.001	-.009	-0.06	0.955
Danimarka	-1.168	-3.69	0.000	.138	1.73	0.084	-0.502	-0.73	0.465	-16.68	-3.85	0.000
Finlandiya	-0.310	-2.33	0.020	.026	0.84	0.400	2.181	4.81	0.000	-.341	-0.96	0.338
Fransa	-.255	-2.41	0.016	.017	1.59	0.113	1.155	3.33	0.001	0.921	2.11	0.035
Almanya	-.311	-2.71	0.007	.022	1.60	0.110	.661	3.04	0.002	-3.39	-2.69	0.008
İtalya	-.115	-1.47	0.140	.002	0.17	0.861	.947	0.17	0.861	-1.579	-1.36	0.175
Japonya	-.233	-1.60*	0.109	.002	0.82	0.410	.992	2.72	0.007	-1.642	-1.53	0.125
Hollanda	-0.330	-2.82	0.005	.011	1.95	0.052	.731	3.43	0.001	-2.786	-2.84	0.004
Yeni Zelanda	-.118	-1.10	0.272	1.773	1.08	0.279	.406	1.00	0.317	-.269	-0.45	0.654
Norveç	-.354	-1.74*	0.081	.023	0.34	0.735	.279	0.54	0.590	4.216	2.39	0.078
Portekiz	-.403	-2.72	0.006	.357	0.58	0.562	.912	3.16	0.002	-5.133	-2.70	0.007
İspanya	-.293	-2.25	0.024	.261	1.23	0.220	1.484	4.31	0.000	-2.843	-2.34	0.019
İsveç	-.054	-0.57	0.570	-.007	-0.19	0.848	2.358	3.48	0.001	1.016	0.74	0.460
İsviçre	-.560	-2.75	0.006	.028	0.30	0.766	.413	1.01	0.312	-1.486	-1.57	0.117
Türkiye	-.233	-1.78*	0.076	.083	0.44	0.660	.779	2.82	0.005	-2.061	-1.82	0.068
İngiltere	-.258	-3.41	0.001	-0.002	-0.83	0.406	1.050	5.91	0.000	-2.606	-3.01	0.003
ABD	-.124	-1.70*	0.090	.001	1.58	0.115	.975	3.60	0.000	-1.306	-1.74	0.082

*= Katsayı %10 düzeyinde anlamlı kabul edilmiştir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Sanayi devriminden günümüze kadar olan süreçte; nüfus artışı, küreselleşme, sanayileşme ve kentleşme ile refah seviyesinin artırılması gibi olgular ülkelerin daha fazla enerji talep etmelerine ve birincil enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmalarına neden olmuştur. Ancak, enerji kaynakları açığa çıkartılırken bir taraftan enerji talebi karşılanmış, diğer taraftan ise çevre üzerinde olumsuz etkiler bırakılmıştır. Birincil enerji kaynaklarının gerek üretimi gerekse de tüketimi beraberinde yüksek oranda zehirli gaz salınımlarını getirmektedir. Zehirli gazlar da küresel iklim ve ısınma problemlerine yol açmaktadır. Yaşadığımız bu yüzyılda iklim açısından ciddi problemler yaşanmış, bunların bir sonucu olarak da küresel sıcaklık değerlerinde artışlar yaşanmıştır. Küresel iklim değişikliklerine karşı (Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişimi Çerçeve Sözleşmesi ve Kopenhag Mutabakatı gibi) küresel inisiyatifler ortaya konmuştur.

Karbondioksit salınımının azaltılmasında bir takım ekonomik araçlar (karbon vergisi, karbon ticareti) kullanıldığı gibi, karbon yakalama ve depolama gibi teknikler de uygulanmaktadır. Bununla birlikte özellikle son yıllarda karbon salınımının azaltılması konusunda gerek yenilenebilir enerji kaynaklarının gerekse de inovasyon ve Ar-Ge harcamalarının rolü artmıştır.

Çevreye salınan karbondioksit miktarı sektörel olarak incelendiğinde, en yüksek payın imalat ve ulaştırma sektörlerine ait olduğu görülmektedir. CO₂ emisyonunun azaltılmasında enerji Ar-Ge harcamalarının rolünün incelendiği bu çalışmanın sonuçları, Ar-Ge harcamalarının ve inovatif faaliyetlerin zehirli gaz salınımının azaltılması konusunda tüm ülkeler için istisnasız önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Bununla birlikte, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına izlenebilecek rotalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Düşük karbon salınımı yapan yakıtların (yenilenebilir enerji kaynaklarının) geliştirilmesi,
- Araç yakıt ekonomisinin artırılması (hibrid ve elektrikli araçların üretiminin geliştirilmesi),
- Ulaştırma sisteminde verimliliğin artırılması ve karbon-yoğun seyahat faaliyetlerinin azaltılması,
- Karbon vergisi oranları konusunda küresel bir konsensusun sağlanması,
- Trafik akışının ve sürüş davranışının geliştirilmesi, (Trafik akışı, dur-kalk sayısının azaltılması yoluyla ortalama hız seviyesinin artmasına paralel olarak sağlanabilir. Böylece çevreye daha az karbon salınmış olur. Diğer taraftan sürücülerin taşıt sürüşü konusunda bilinçlendirilmesi de (özellikle

- ekonomik sürüş konusunda) zehirli gaz salınımının azaltılmasında önemli rol oynar.
- Araç satın alma davranışında bir takım değişikliklerinin yapılması (güçlü motorlu taşıtlar yerine daha az yakıt tüketebilecek araçlara yönelmesi),
 - Yenilenebilir enerji üretimini artıracak teknolojik faaliyetlere ağırlık verilmesi,
 - Enerji kültürünün ve bilincinin yaygınlaştırılması amacıyla sivil toplum ve özel sektör kuruluşlarının desteğiyle çeşitli paneller, sempozyumlar ve kongreler düzenlenmesi,
 - Enerji alanındaki Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerine gereken önemin verilmesi,
 - Üniversiteler ile sanayi arasındaki koordinasyonun artırılarak sektörün öncelikli sorun alanlarına çözüm aranması, bu noktada sektörün öncelikli alanlarında verimlilik, uzmanlaşma ve Ar-Ge faaliyetlerinin artırılması,
 - Elektrikte yüksek orandaki kayıp-kaçakların minimum seviyeye indirilmesi,
 - Enerji üretiminde, dağıtımında ve kullanımında çevre faktörünün göz ardı edilmemesi.

Kaynakça

- Arı, A. & F. Zeren (2011), “CO₂ Emisyonu ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi”, *Yönetim ve Ekonomi*, Yıl: 2011, Cilt: 18, Sayı: 2, 37-47.
- ASME (2009), *Technology and Policy Recommendations and Goals for Reducing Carbon Dioxide Emissions In The Energy Sector*, <<http://files.asme.org/asmeorg/NewsPublicPolicy/GovRelations/PositionStatements/17971.pdf>>, 03.10.2013.
- Arouri, M.H. & A.B. Youssef & H. M'henni & C. Rault (2012), “Energy Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions in Middle East and North African Countries”, *Discussion Paper* No. 6412, <<http://ftp.iza.org/dp6412.pdf>>, 13.11.2023.
- Babalık-Sutcliffe, E. (2010), *Ulaştırma Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu*, <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/Ulastirma_Sektoru_Mevcut_Durum_Degerlendirmesi_Raporu.pdf>, 12.11.2013.
- Bahar, O. (2005), “Türkiye’de Enerji Sektörü Üzerine Bir Değerlendirme”, *Muğla Üniversitesi SBE Dergisi*, Bahar 2005, Sayı 14.
- Birleşmiş Milletler (1998), *Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kyoto Protokolü*, <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/Mevzuat/kyoto_protokol.pdf>, 11.11.2013.
- Chebbi, H.E. & Y. Boujelbene (2008), “CO₂ Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Tunisia”, *12th Congress of the European Association of Agricultural Economists*, <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/44016/2/367.pdf>>, 05.11.2023.

- Cho, C.H. & L.J. Yang & Y.P. Chu & H.Y. Yang (2013), “Renewable Energy and Renewable R&D in EU Countries: A Cointegration Analysis”, *Asian Journal of Natural & Applied Sciences*, Vol: 2., No: 1, 10-16.
- Çiçek, H.G. & S. Çiçek (2012), “Karbon Vergisi İle Karbon Ticareti İzinlerinin Karşılaştırılması”, *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, No: 47, 95-119.
- Dinda, S. (2011), “Carbon Emission and Production Technology: Evidence From the US”, *MPRA Paper No. 31935*, <<http://mpra.ub.uni-muenchen.de/31935/>>, 01.11.2013.
- Dinica, V. (2002), “Energy Policies for CO₂ Emission Reduction” in Yatova”, A., (ed)., “Natural System Challenge II- Climate Change, Human Systems and Policy”, *Encyclopedia of Life Support Systems*, EOLSS Publishers Co., Oxford UK.
- EPRI (2009), *Strategic Analysis of the Global Status of Carbon Capture and Storage, Existing Carbon Capture and Storage Research and Development Networks around the World*, <<http://www.canadiancleanpowercoalition.com/pdf/CCS3%20-%20Foundation-Report-4-rev2.pdf>>, 10.11.2013.
- European Commission, GHG-TransPoRD (2012), *Aligned R&D and Transport Policy to Meet EU GHG Reduction Targets, Reducing Greenhouse-Gas Emissions of Transport Beyond 2020: linking R&D, Transport Policies And Reduction Targets*.
- Figueroa, J.D. & T. Fout & S. Plasynski & H. McIlvried & R.D. Srivastava (2008), “Advances in CO₂ Capture Technology-The U.S. Department of Energy’s Carbon Sequestration Program”, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vol. 2, 9-20.
- IEA (2007), “Capturing CO₂”, *Greenhouse Gas R&D Programme*.
- IEA (2009), *Transport, CO₂ and Energy*, <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>>, 10.11.2013.
- IEA (2010), *Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions, Trends & Data*, <<http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/10GHGTrends.pdf>>, 10.11.2013.
- IEA (2011), *IEA Guide to Reporting Energy RD&D Budget/Expenditure Statistics*, <<http://www.iea.org/stats/RDD%20Manual.pdf>>, 08.11.2013.
- IEA (2012), *CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights*, <http://www.iea.org/CO2highlights/CO2_highlights.pdf>, 08.11.2013.
- Inoue, E. (2013), *An Empirical Analysis of The Relationship Between Innovation Activity and Environmental Management Toward Climate Change*, <<http://tokyo2013.earthsystemgovernance.org/wp-content/uploads/2013/01/0201-INOUE.pdf>>, 01.11.2013.
- İstanbul Teknik Üniversitesi (2007), “Türkiye’de Enerji ve Geleceği”, *İTÜ Görüşü*, <<http://www.energy.itu.edu.tr/ITUOnerileri.pdf>>, 09.12.2011.
- Keskin, M.T. & H. Ünlü (2010), “Türkiye’de Enerji Verimliliğinin Durumu ve Yerel Yönetimler Rolü”, *Araştırma Raporu*, Heinrich Böll Stiftung Derneği Türkiye Temsilciliği, <http://www.e-efficiency.org/tl_files/docs/HBSD-EVraporu.pdf>, 01.12.2011.
- Kınık, B. (2009), “Enerji Arzı Güvenliği Açısından Avrupa Birliği-Türkiye İlişkileri”, Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*.
- Kim, D.S. (2010), *Advanced Technology Development Reducing CO₂ Emissions*, <<http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/99.pdf>>, 03.10.2013.

- Kulionis, V. (2013), *The Relationship Between Renewable Energy Consumption, CO₂ Emissions and Economic Growth in Denmark*, <<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=3814694&fileOid=3814695>>, 05.11.2023.
- Kovancılar, B. (2001), “Küresel Isınma Sorununun Çözümünde Karbon Vergisi ve Etkinliği”, *Yönetim ve Ekonomi*, Yıl: 2001, Cilt: 8, Sayı: 2, 7-19.
- Krstanoski, N. (2006), *Defining the Policy For Reduction of CO₂ Emissions from the Road Transport Sector in Republic of Macedonia*, <http://www.infraday.tuberlin.de/fileadmin/fg280/veranstaltungen/infraday/conference_2006/papers_presentations/paper---krstanoski.pdf>, 02.10.2013.
- Lei, R. & Y. Zhang & S. Wei (2012), “International Technology Spillover, Energy Consumption and CO₂ Emissions in China”, *Low Carbon Economy*, 2012(3), 49-53.
- Peterson, K. (2009), *Explaining Human Influences on Carbon Dioxide Emissions across Countries*, <http://digitalcommons.iwu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1099&context=econ_honpr oj>, 03.11.2013.
- Sahu, S.K. & K. Narayanan (2013), “Carbon Dioxide Emissions from Indian Manufacturing Industries: Role of Energy and Technology Intensity”, *Madras School of Economics, Working Paper*, 82.
- Sumner, J. & L. Bird & H. Smith (2009), *Carbon Taxes: A Review of Experience and Policy Design Considerations*, <<http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/47312.pdf>>, 09.11.2013.
- TMMOB Makina Mühendisleri Odası (2008), *Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Verimliliği*, <www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a551829d50f1400_ek.pdf>, 15.12.2011.
- Türkiye Enerji Verimliliği Meclisi (TEVEM) (2010), “Yeşil Ekonomiye Geçiş”, *Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu*, <http://www.enver.org.tr/modules/mastop_publish/files/files_4caeccbad1161.pdf>, 09.12.2011.
- Yang, C. & D. McCollum & R. McCarthy & W. Leighty (2009), “Meeting an 80% Reduction in Greenhouse Gas Emissions From Transportation By 2050: A Case Study in California”, *Transportation Research*, Part D, 1-10.

Veri Kaynakları

- World Bank, Data, WDI, <<http://databank.worldbank.org/data/views/variableSelection/selectvariables.aspx?source=world-development-indicators>>, 12.10.2013.
- IEA, Statistics, Online Access Services, RD&D Budgets, <http://wds.iea.org/wds/ReportFolders/ReportFolders.aspx?CS_referer=&CS_ChosenLang=en>, 04.10.2013.