

YÜKSEK VE ORTA GELİRLİ ÜLKELERDE TEKNOLOJİK GELİŞMENİN ENERJİ YOĞUNLUĞU ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Affan Hakan ÇERMİKLİ

Gazi Üniversitesi İİBF İktisat Bölümü, cermikli@gazi.edu.tr

İbrahim TOKATLIOĞLU

Gazi Üniversitesi İİBF İktisat Bölümü, tokatli@gazi.edu.tr

Özet

Çalışmada, teknolojinin gelişme hızı ile enerji yoğunluğu arasındaki ilişki, yüksek ve orta gelir grubundaki ülkeler için ayrı ayrı olarak üç değişkenli (sermaye, işgücü ve enerji) Cobb-Douglas tipi bir üretim fonksiyonu kullanılarak incelenmiştir. Teknolojinin gelişme hızı ile üretimde enerji kullanımı arasında pozitif korelasyonlu bir ilişki olduğu varsayımından hareketle 27 yüksek gelir grubu, 17 orta gelir grubundaki ülkeler için tahminler yapılmıştır. Yüksek ve orta gelir grubundaki ülkelerde hem teknoloji düzeyi hem de teknolojinin gelişme hızı birbirinden farklıdır. Çalışmada da bu farklılık ortaya çıkmıştır. Buna göre yüksek gelirli ülkelerde 1990-2011 döneminde teknolojinin gelişme hızı %0,9, orta gelirli ülkelerde ise %1,4 olarak tahmin edilmiştir. Teknolojideki bu gelişme hızları yüksek gelirli ülkelerde %1,25, orta gelirli ülkelerde ise %1,65 düzeyinde bir enerji tasarrufu sağladığı tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Yoğunluğu, Teknolojik Gelişme, Enerji Tasarrufu.

THE EFFECTS OF TECHNOLOGICAL GROWTH ON ENERGY INTENSITY IN HIGH AND MIDDLE INCOME COUNTRIES

Abstract

In this study, the relationship between technological growth and energy intensity are investigated by using three variable (capital, labor and energy) Cobb-Douglas production function for high and middle-income countries separately. For 27 high income and 17 middle income countries, estimates were made in prospect of there are positive correlation between technological growth rate and energy use in production. There is a difference in technological growth rate and technology level between high and middle income countries. These differences also emerged in this study. Accordingly to result, in 1990-2011 period, technological growth rate was estimated as a 0,9% in high income countries and 1,4% in middle income countries. In like manner, it was estimated that these technological growth rates lead to 1,25% energy saving in high income countries and 1,65% in middle income countries.

Key Words: Energy Intensity, Technological Growth, Energy Saving.

Giriş

Enerji, literatürdeki çalışmaların da gösterdiği gibi, diğer üretim faktörleri ile birlikte iktisadi büyümenin sürdürülebilirliği açısından gerekli temel girdilerden birisidir (Wie2007, Stresing ve diğerleri 2008, Sarı & Soytaş 2007). Bu özellik enerjiyi, gelişme aşamasında ve enerji ithalatçısı olan ekonomiler açısından görece olarak daha büyük bir öneme sahip hale getirmektedir. Enerjinin bu özelliğinin yanı sıra fiyatlarındaki istikrarsızlık, yüksek gelirli ekonomileri olduğu gibi özellikle orta gelirli ekonomileri de belki de daha fazla etkilemektedir. Bu açıdan ülke ekonomileri, enerjiye olan bağımlılığı ve beraberinde fiyatlarındaki dalgalanmaların etkilerini azaltmak amacıyla, çeşitli politikalar izlemektedirler. Bu politikalar çerçevesinde, bir taraftan fosil yakıtlara olan bağımlılık azaltılmaya çalışılırken diğer taraftan enerji verimliliğinde sağlanan gelişmeler yoluyla mal ve hizmet üretiminde daha az enerji kullanılır hale gelmesi amaçlanmaktadır.

Enerji kaynakları sınırlı olan ülkelerin üretim süreçlerinin enerji bağımlılığı sorunu yaşaması, özellikle de bazı yüksek gelirli ülkelerde bu sorunun daha belirgin olması, son yıllarda teknolojik gelişmelerin enerji tasarrufu sağlayan nitelikte gerçekleşmesine yol açmaktadır. İkinci Dünya Savaşı'nın ardından ve özellikle de I. Petrol Krizi sonrası dönemde Avrupa Ülkeleri ve ABD de desteklenen teknolojik gelişmelerin ortak özelliği, enerji tasarrufu sağlaması olmuştur. Buna karşın, Orta Gelirli ülkelerin teknolojilerini yüksek gelirli ülkelere satın alması ve dünya tedarik zincirinde orta gelirli ülkelerin hammadde tedarikçisi ve nihai mal satın alan ülkeler konumunda olması, bu grup ülkelerde teknolojik gelişmelerin enerji tasarrufu sağlama özelliğini de zaman zaman aşındırmıştır.

Çalışmanın temel amacı, teknolojik gelişme hızının enerji kullanımına olan etkisini bulmaktır. Genel olarak teknolojik süreç birkaç yolla enerji tüketimini etkiler (Yuan ve diğerleri; 2009). Teknolojik bir gelişme, gerek nihai tüketim mallarında gerekse ara mallarında, enerji tüketimini azaltıcı etkiye sahiptir. Bunun yanı sıra yeni tekniklerin ortaya çıkması ve beraberinde yeni araçların kullanıma sunulması, enerji tüketimini azaltıcı etkiye neden olur. Enerji tüketiminin bu şekilde azalmasına etki eden teknolojik süreç, beraberinde iktisadi büyümeyi uyararak enerji tüketiminin artmasına yol açar. Dolayısıyla enerji tüketimi ile teknolojik süreç arasında çok karmaşık bir ilişki bulunmaktadır. Bununla beraber daha iyi ve yeni teknolojilerin kullanılması sonrası enerji tüketiminin daha düşük olması beklenir. Bu haliyle bir teknolojik değişim, enerji etkinliğinde iyileşmeler yaratarak enerji tasarrufu sağlar. Bunu destekleyen önemli bir çalışma, Welsch ve Ochs (2005)dir. Araştırmacılar, enerji etkinliğindeki iyileşmelerin, faktör ikamesi ve/veya yanlış teknolojik değişim sonucu ortaya çıktığını göstermişlerdir.

Çalışmamızda, teknolojinin gelişme hızı ile enerji yoğunluğu arasındaki ilişki ele alınmıştır. Bu ilişkiyi ortaya koyabilmek için Yuan vd. (2009) çalışmasının metodolojisi takip edilmiştir. Ancak Yuan vd. (2009) çalışması sadece Çin'in iktisadi büyümesinde önemli yeri olan sanayi sektörünü kapsamaktadır ve üç değişkenli

(sermaye, işgücü ve enerji) Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonu zaman serisi analizi ile tahmin edilmiştir. Bu çalışmada ise, bu üç değişkenli Cobb-Douglas üretim fonksiyonu toplam 44 ülke için ve panel veri analizi ile tahmin edilmiştir. Çalışmada, Cobb-Douglas üretim fonksiyonunda tahmin edilen sabit terim, teknolojik gelişme hızının ölçülmesinde kullanılmıştır.

Çalışmanın izleyen alt bölümünde literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra çalışmada kullanılan veriler açıklanmıştır. Çalışmanın izleyen alt başlıklarında ise, tahmin sonuçları ve sonuç ve değerlendirme bölümleri bulunmaktadır.

Literatür Taraması

Enerji verimliliğindeki değişmelerin temel kaynağı, teknolojik gelişme olarak görülebilir. Teknolojik süreç ile enerji tüketimi arasında var olan bu ilişki, karmaşık olmakla beraber teknolojik iyileşmelerin enerji tasarrufu sağladığı söylenebilir. Bu açıdan gerek sanayi gerekse ülke ekonomisi açısından teknolojik süreç ile enerji tüketimi arasındaki tarihsel ilişkinin incelenmesi, o dönem itibarıyla gerçekleşen enerji tasarrufunun seyri hakkında bilgi verir. Bu çerçevede enerjiyi ilgi alanı haline getirenlerin izledikleri temel göstergelerden biri, bir birimlik çıktı elde edebilmek için ne kadar enerji kullanıldığını gösteren, enerji yoğunluğu göstergesidir. Bu değer hesaplanırken kullanılan değişkenlerin nasıl belirleneceği ile ilgili literatürde tartışmalar olmakla beraber (Freeman ve diğerleri 1997) enerji yoğunluğu, gerek sanayi düzeyinde gerekse ülke düzeyinde enerji girdisinin kullanımındaki etkinliği ölçmek amacıyla kullanılan basit bir gösterge olarak kabul edilir. Genel olarak, gelir düzeyi ile enerji yoğunluğu arasında ters yönlü bir ilişki vardır. Bir başka ifade ile iktisadi gelişmişlik düzeyi arttıkça enerji yoğunluğu azalır. Bununla beraber, Galli'nin (1998) geliştirmekte olan Asya ekonomileri için yapmış olduğu çalışmasında da ifade edildiği gibi, düşük gelir seviyelerinde gelir ile enerji yoğunluğu arasında aynı yönlü ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yani, belli bir kritik gelir düzeyine kadar gelir artışları enerji yoğunluğunu artırırken gelir azalışı, enerji yoğunluğunun azalmasına neden olabilmektedir. Böylece, ülkeler arasındaki gelir farklılıkları, enerji yoğunluğunun seyrini de farklılaştırmaktadır.

Yüksek gelirli ülkelerle düşük gelirli ülkelerde enerji yoğunluğunun seyrinin farklı olması, gelişmişlik düzeyleri ile açıklanabilir. Yüksek gelirli ülkeler, kalkınmanın ileri aşamalarında olmalarından dolayı alt yapı yatırımlarını tamamlamış, sanayi üretiminden hizmet üretimine geçmiş bir iktisadi yapıya sahip olmalarının yanı sıra ileri teknolojilere sahip olmaları sonucu, enerji yoğunluklarının değeri düşük olmanın yanı sıra azalmaktadır da. Düşük gelirli ülkelerde ise, alt yapı yatırımları zorunluluğunun devam etmesiyle beraber görece olarak daha düşük teknolojilere sahip olunması ve iktisadi yapıda sanayi kesimi payının nispeten yüksek olması, enerji yoğunluk değerinin yüksek ve belli bir gelir düzeyini elde edinceye kadar artmasına yol açmaktadır. Söz konusu gelir düzeyi yakalanıp geçildikten sonra ise enerji yoğunluğu yüksek gelirli ülkeler gibi azalmaya başlamakta ve hatta azalma hızı yüksek gelirli ekonomilerdeki enerji yoğunluğundaki azalmadan daha büyük olmaktadır.

Diğer taraftan, gelir düzeyi ile enerji yoğunluğu arasındaki bu ilişki, enerji fiyatlarındaki değişimlerden de direkt olarak etkilenir. Hannesson'un (2002) 1950-1997 dönemini kapsayan çalışması göstermektedir ki, yüksek petrol fiyatları döneminde, düşük ve yüksek gelirli ekonomilerde, belli bir GDP büyüme oranı için gerekli enerji kullanımı büyüme oranı, düşük petrol fiyatlarının geçerli olduğu 1960-1974 dönemine göre daha düşüktür. Benzer bir ilişki, 1986'dan sonraki dönemde zengin ülkeler içinde bulunmuş olup veri bir GDP büyüme oranı için enerji kullanımındaki büyüme, 1974 öncesi kadar olmasa bile artmıştır.

Teknoloji-GDP-enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi inceleyen literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmı, enerji tüketimi ile GDP arasındaki nedenselliği ortaya koymaya çalışırken, neoklasik üretim fonksiyonuna analizlerinde yer vermişlerdir. Önemli bir literatür taramasının da yer aldığı Sarı ve Soytaş'ın (2007) çalışmasında, enerji tüketimi ile gelir arasındaki ilişki, altı gelişmekte olan ülke için incelenmiştir. Son dönemde yapılan bazı çalışmalarda kullanıldığı gibi Sarı ve Soytaş' da, farklı üretim faktörleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için bir üretim fonksiyonu (neoklasik üretim fonksiyonu, değişkenlerin büyüme oranları biçiminde tanımlanmıştır) çerçevesinde, varyans ayrıştırma ve etki-tepki fonksiyonları yöntemini kullanmışlardır. Ele alınan ülkelerin bazıları itibarıyla enerji, sermaye ve işgücüne göre daha önemli bir üretim faktörü olarak ortaya çıkmıştır. Wei (2007), Cobb-Douglas (CD) üretim fonksiyonunu, kısmi ve genel denge analizi çerçevesinde, enerji etkinliğinin, üretim miktarı ve enerji kullanımı üzerine olan etkilerini analiz etmek için kullanmıştır. Kısmi denge analizlerinde, enerji kullanımındaki etkinliklerin, üretim sürecinde daha fazla enerji kullanılmasına ve daha büyük çıktı düzeylerinin gerçekleşmesine öncülük ettiği sonucuna ulaşmışlardır. Stresing ve diğerleri (2008), ölçeğe göre sabit getirinin geçerli olduğu CD üretim fonksiyonunu zamana göre fark denklemleri şeklinde, basit Solow büyüme modeli ile eşbütünleşme analizi yapmış ve enerjinin işgücüne göre daha büyük maliyet payına sahip olduğunu bulmuşlardır. Öztürk ve diğerleri (2010), 1971-2005 Dünya Bankası verilerinden hareketle 51 ülke için büyüme ile enerji tüketimi arasındaki nedensellik ilişkisini belirlemeye çalışmışlardır. Ele alınan ülkelerde GDP ve enerji tüketimi arasında eşbütünleşme olduğunu, panel nedensellik testi ile düşük gelirli ekonomilerde GDP'den enerji tüketimine doğru bir Granger nedensellik ilişkisinin varlığını (orta gelirli ekonomilerde iki yönlü) ve tüm ülke gruplarında enerji tüketimi ile iktisadi büyüme arasında kuvvetli bir ilişkinin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Lee ve Chang (2007), kişi başına gelir ve kişi başına enerji tüketimini 22 gelişmiş ve 18 gelişmekte olan ülke için panel veri modelleri kullanarak yapmışlar ve dinamik etkileri incelemek için de panel VAR ve GMM tekniklerini uygulamışlardır. Yüksek Gelirli ekonomilerde kişi başına gelir ile kişi başına enerji tüketimi arasında iki yönlü ilişkinin olduğunu buna karşılık gelişmekte olan ekonomilerde, kişi başına gelirden kişi başına enerji tüketimine doğru tek yönlü bir ilişkinin olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Lise ve Montfort (2007), 1970-2003 dönemi yıllık verilerden hareketle Türkiye için GDP ve enerji tüketimi arasındaki Granger nedensellik ilişkisini incelemişler ve GDP'den enerji tüketimine

doğru tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğunu bulmuşlardır. Diğer taraftan, Lee ve Chang (2008), 1971-2002 dönemi için toplulaştırılmış üretim fonksiyonunu, 16 Asya ülkesi için tahmin etmişlerdir. Modelde, Dünya Bankası verilerinden hareketle, işgücü, GDP, enerji kullanımı ve reel brüt sermaye oluşumu olmak üzere dört değişkene yer vermişlerdir. Elde edilen ampirik bulgular, enerji tüketimi ile GDP arasında uzun dönemde pozitif bir eşbütünleşme olduğunu desteklemektedir.

Vanden ve diğerleri (2006), 1997-1999 döneminde Çin’de büyük ve orta ölçekli sanayi sektöründe enerji yoğunluğundaki azalmanın nedenlerini araştıran çalışmasında, teknolojik gelişmeyle açıklanan enerji etkinliğindeki kazançların, enerji yoğunluğundaki azalmanın nedenlerinden biri olarak bulmuşlardır. Ayrıca, enerji fiyatlarındaki nispi değişme ve Ar-Ge faaliyetlerinin, firma düzeyinde enerji yoğunluğunun azalmasında önemli katkı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Ma ve Stern (2008), 1980-2003 döneminde Çin’in enerji yoğunluğundaki değişimin ayrıştırılmasını, logaritmik ortalama Divisia Index (LMDI) yöntemi ile yapmış ve teknolojik gelişmenin, enerji yoğunluğundaki azalmanın ana nedeni olarak ortaya koymuştur. Bunu destekleyen bir başka bulgu da 2000 yılından sonraki enerji yoğunluğundaki artışın, negatif teknolojik sürece bağlanmış olmasıdır. Şimdiye kadar literatürde az sayıda olan ve bu çalışmaya da konu olan teknolojinin gelişme hızı ile enerji yoğunluğu arasındaki ilişkiyi, Yuan ve diğerleri (2009), CD üretim fonksiyonu aracılığı ile analiz etmiştir. İktisadi büyüme modeli biçiminde tanımlanan üretim fonksiyonunda, $0 < \alpha, \beta, \gamma < 1$ olacak şekilde (çıktı esneklikleri) kısıtlayıcı model kurgulanmıştır. Çin endüstrisi için yapılan çalışma, işgücü başına çıktı ile sermaye başına çıktı artışının enerji yoğunluğunu artırdığını, teknolojik gelişmenin ise enerji yoğunluğunu azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Veriler

Çalışmamızda, Dünya Bankası sınıflandırmasına göre 17 orta gelirli ve 27 yüksek gelirli¹ olmak üzere toplam 44 ülke yer almaktadır. Ülke seçiminde verilerin elde edilebilirliği, genel ölçüt olmakla beraber analize dâhil edilen ekonomilerin gerek GDP ve gerekse enerji kullanımları açısından grup içinde önemli bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. 2011 yılı itibariyle, çalışmada yer verilen yüksek gelir

¹ Dünya Bankası Sınıflamasında kişi başına ulusal geliri (GNI), 12.735 ABD \$’ın üstünde olan ülkeler “yüksek gelirli ülkeler” olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada da bu ülkeler “yüksek gelirli ülkeler” olarak adlandırılmakta olup şu ülkelerden oluşmaktadır: Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, İsviçre, Şili, Almanya, Danimarka, İspanya, Finlandiya, Fransa, Birleşik Krallık, Yunanistan, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Rusya, İsveç, Uruguay, Amerika Birleşik Devletleri ve Singapur.

Yine dünya Bankası sınıflandırmasına göre kişi başına ulusal geliri 1.046-4.125 ABD \$ arasında olan ülkeler “alt-orta gelirli ülkeler”, kişi başına ulusal geliri 4.126-12.735 ABD \$’ı olan ülkeler ise “üst-orta gelir grubu ülkeler” olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada ise bu iki ülke grubu toplulaştırılarak “orta gelirli ülkeler” olarak adlandırılmış olup; Arjantin, Bulgaristan, Brezilya, Çin, Kamerun, Kolombiya, Macaristan, Endonezya, Hindistan, Meksika, Malezya, Nijerya, Peru, Filipinler, Romanya, Türkiye ve Güney Afrika ülkelerinden oluşmaktadır.

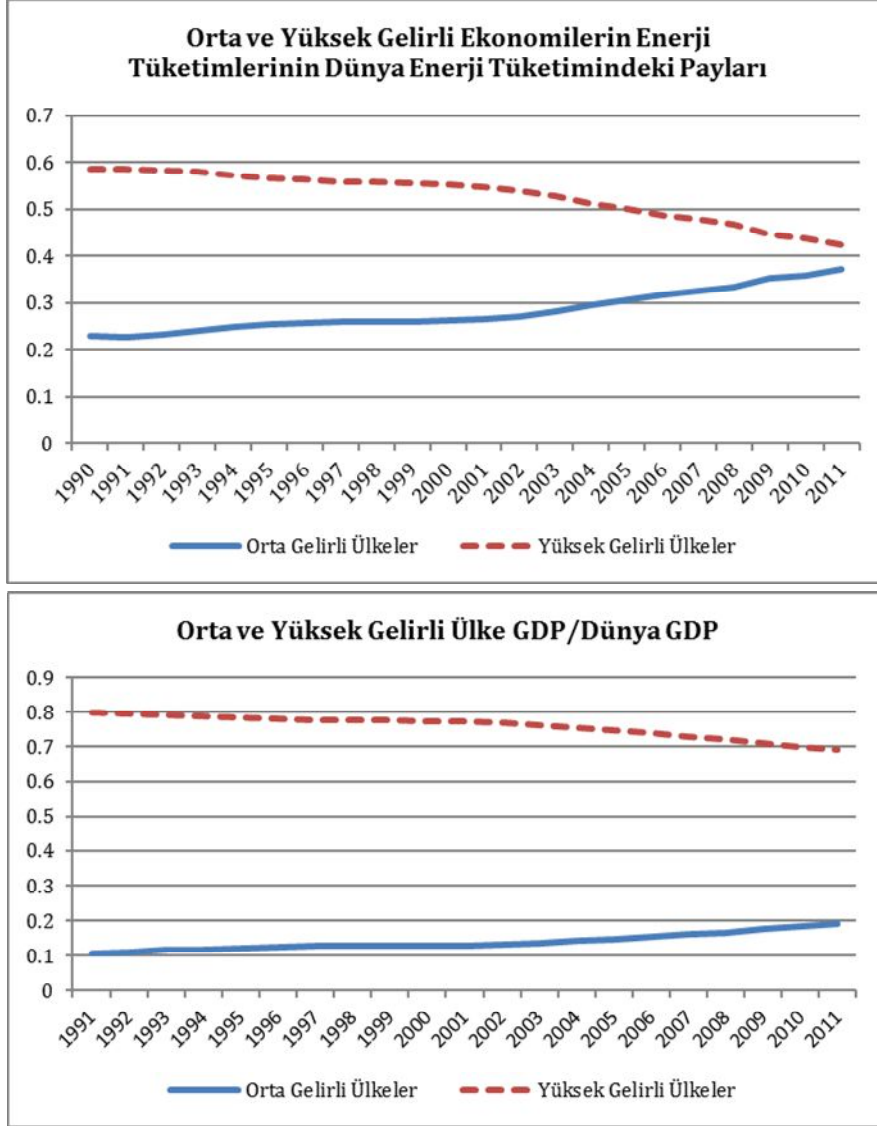
grubu ülkelerin, toplam dünya yüksek gelirli ülkelerin GDP si (2005 ABD Doları) içindeki payı, yaklaşık %92'dir. Çalışmada yer alan yine aynı ülke grubunun enerji kullanımının (petrol eşdeğeri kiloton) dünya yüksek gelirli ülkelerinin enerji kullanımları içindeki payı ise, yaklaşık %87'dir. Çalışmada yer alan orta gelir grubu ülkeler için bu paylar yaklaşık olarak sırasıyla (2011 yılı için) %82 ve %79'dur.

Çalışmada iki tür veri seti kullanılmıştır: yüksek gelirli ülkeler ve orta gelirli ülkeler için hazırlanmış veri setleri. Tüm ülkelere ait üretim, sermaye ve işgücü verileri Penn World Table version 8.0'den elde edilmiştir. Üretim ve sermaye stoku rakamları, 2005 baz yıllık ulusal para cinsinden hesaplanmış reel değerlerdir. Tüm ülkeler için ulusal para cinsinden hesaplanmış bu üretim ve sermaye stoku değerleri, 2005 yılı kuru üzerinden milyon ABD dolarına çevrilmiştir. İstihdam rakamları da milyon kişi cinsindedir. Enerji kullanımları, Dünya Bankası (WB) veri setinden alınmış olup petrol kullanımına eşitlenmiş kiloton cinsindedir. Dengeli panel verisi oluşturabilmek için veriler 1990-2011 yılları arası için yıllık olarak seçilmiştir.

Ülke Grubu Profili

İncelemeye konu olan iki ülke grubunun yarattıkları GDP ile kullandıkları enerji büyüklüklerinin toplam dünya GDP ve enerji tüketimi içindeki seyri, dönem itibarıyla Grafik 1'de verilmiştir.

Grafik 1:Yüksek ve Orta Gelirli Ülkelerin Dünya Enerji Tüketim ve GDP'si İçindeki Payları



Kaynak: Penn World Table Version8.0 ve Dünya Bankası Veri Seti

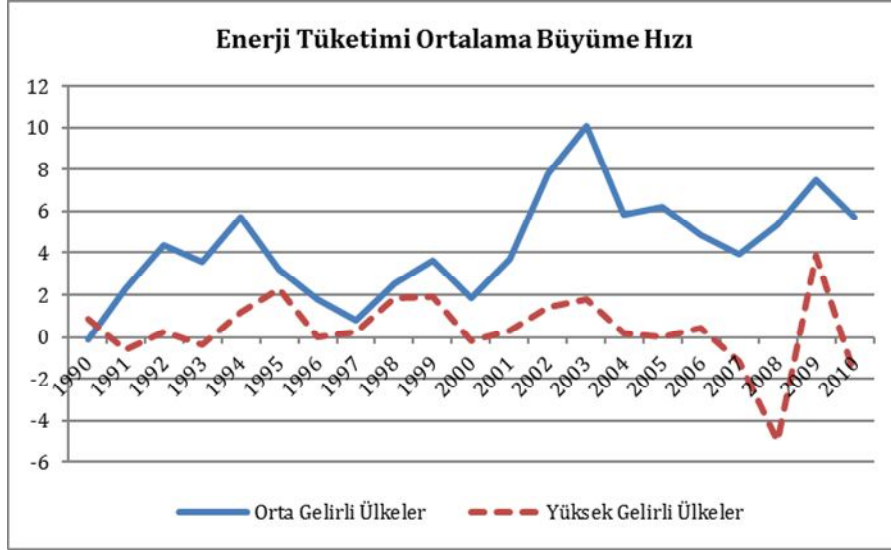
Buna göre, analize dâhil edilen ülkelerin, gerek yarattıkları GDP açısından gerekse kullandıkları enerji büyüklüğü açısından, yüksek gelirli ülke grubunun, tüm dünya GDP' si içindeki payı azalırken, orta gelir grubu ülkelerin payı ise sürekli olarak artmaktadır. Bununla beraber orta gelir grubu ülkeler, dönem sonu itibariyle dünya GDP'sinin yaklaşık %20'lik payını yaratırken bunu gerçekleştirebilmek için

dünya enerji tüketimindeki paylarını, %40'lara çıkarmak durumunda kalmışlardır. Buna karşılık yüksek gelirli ekonomiler, ele alınan dönem sonu itibariyle dünya GDP'sinin yaklaşık %70'ini, dünya toplam enerji kullanımının yaklaşık olarak %42'sini alarak gerçekleştirmişlerdir.

Orta gelirli ülkelerin dünya enerji tüketim payındaki bu artış, enerji tüketimlerinin ortalama büyüme hızının, yüksek gelir grubu ülkelerden daha büyük olmasıyla açıklanabilir. Grafik 2'de de görüldüğü gibi dönem itibariyle orta gelirli ülkelerin enerji tüketimlerinin ortalama büyüme hızı, yüksek gelirli grubun sürekli olarak üzerinde seyretmiştir. 2004 yılında bu rakam dönemin en yüksek düzeyine ulaşarak yaklaşık %10 olarak gerçekleşmiştir.

Diğer taraftan, 2008 krizinin enerji kullanımı üzerinde yarattığı etki de Grafik 2'de izlenebilir. Özellikle yüksek gelirli ülkeler için bu etki daha belirgin görünmektedir. Yüksek gelirli ülkelerin enerji kullanımının büyüme oranı 2008 yılında -%1,13 olarak gerçekleşmişken bu rakam 2009 yılında daha da belirginleşmiş ve -%4,93 olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıllar itibariyle orta gelirli ülkeler enerji kullanımlarını sırasıyla, %3,94 ve %5,37 büyüklüğünde artırmaya devam etmişlerdir.

Grafik 2: Yüksek ve Orta Gelirli Ülkeler Enerji Tüketimi Ortalama Büyüme Hızı

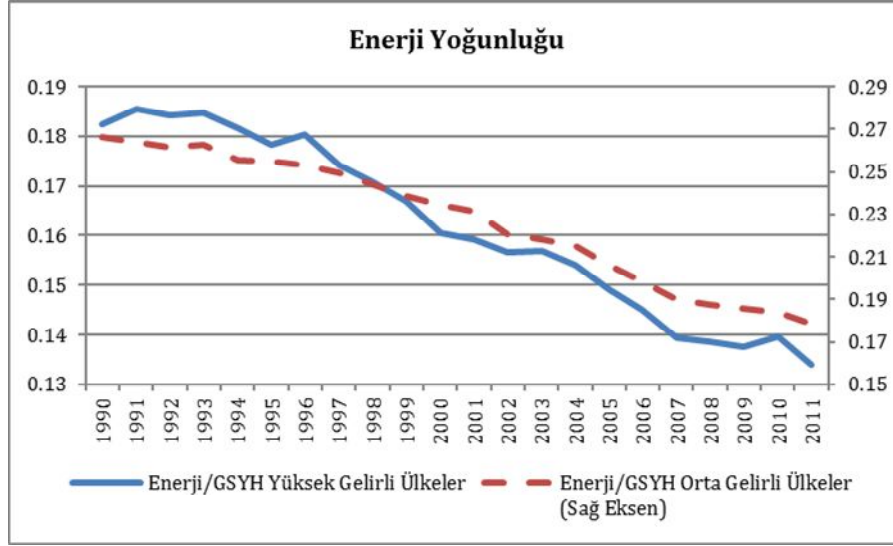


Kaynak: Penn World Table Version8.0 ve Dünya Bankası Veri Seti

İki ülke grubu için enerji yoğunluklarının seyri de Grafik 3'de görüldüğü gibi benzerdir. Bununla beraber iki ülke grubunun 1 milyon US\$ (2005 US \$) GDP yaratabilmek için kullandıkları enerji büyüklükleri birbirinden farklı olmasının yanı sıra dönem içindeki enerji yoğunluğunun azalma hızı da birbirinden farklılık göstermektedir. Yüksek Gelirli ekonomilerde dönem başı enerji yoğunluğunun büyüklüğü yaklaşık olarak 0,18 ktoe değerinin biraz üzerindeyken Orta Gelirli

ekonomilerin bu rakamı, dönem sonu itibariyle yakaladığı görülebilir. 1990 yılında orta gelirli ülkelerin 1 milyon US\$ GDP yaratabilmek için yaklaşık 0,27 ktoe enerji kullandıkları kabul edilirse bu grup ülkelerin dönem boyunca 0,09 ktoe kadar enerji yoğunluğunu azalttıkları sonucuna ulaşılabilir. Buna karşın, yüksek gelirli ülkelerin, aynı büyüklükte GDP yaratabilmek için kullandıkları enerji, dönem sonunda yaklaşık olarak 0,13 ktoe değerine düşmüştür. Dolayısıyla benzer bir eğilim izlemekle beraber yüksek gelirli ekonomilerde meydana gelen enerji yoğunluğundaki azalma, 0,05 ktoe değerine eşittir. Her iki ülke grubu için enerji yoğunluğundaki bu azalma, enerji etkinliğindeki iyileşmelerden kaynaklanabileceği gibi ülke ekonomilerindeki yapısal değişimlerden de kaynaklanmış olabilir (Geller, et.al:2006).

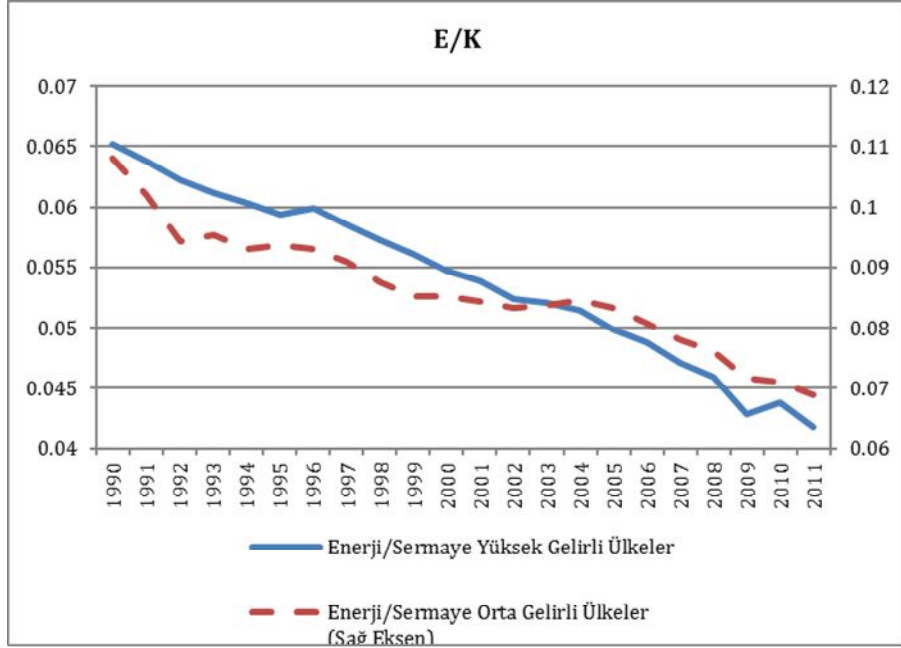
Grafik 3: Yüksek ve Orta Gelirli Ülkeler Enerji Yoğunluğu



Kaynak: Penn World Table Version8.0 ve Dünya Bankası Veri Seti

Benzer analiz, sermaye stoku ile işgücü açısından da yapılabilir. E/K oranı, \$1.000.000 (2005 US\$) sermaye stokunu çalıştırabilmek için ne kadar enerji kullanılması gerektiğini gösterir. Aynı şekilde E/L oranı da, istihdam edilen 1.000.000 işçiyi çalıştırabilmek için ne kadar birincil enerji kullanılması gerektiğini söyler. Her iki ülke grubu içinde E/K oranı, Grafik 4'de görüldüğü gibi dönem itibariyle azalmaktadır. Bununla beraber yüksek gelirli ülkelerin orta gelirli ekonomilere nazaran aynı değerde (1.000.000 US\$) sermaye stokunu çalıştırabilmek için daha az enerjiye ihtiyaç duydukları görülmektedir.

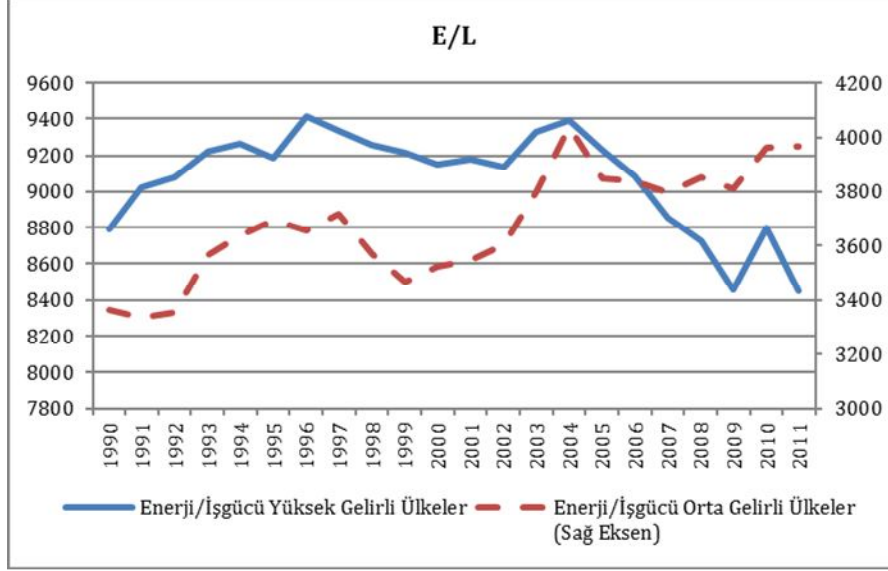
Grafik 4: Yüksek ve Orta Gelirli Ülkeler E/K Oranı



Kaynak: Penn World Table Version8.0 ve Dünya Bankası Veri Seti

Dönem başı itibariyle Yüksek Gelirli ekonomiler için E/K oranı, 0,065ktoe iken orta gelirli ekonomiler için yaklaşık olarak 0,11 ktoe'dir. Dönem sonu itibariyle aynı değerler sırasıyla, 0,04ktoe ve 0,07ktoe civarındadır. Sermaye stokunun kullandığı enerjinin yüksek gelirli ekonomilerde daha düşük olduğu ve dönem boyunca da bu konumunu sürdürdüğü görülmektedir. Temelde bu durumun altında yatan neden olarak, yüksek gelirli ekonomilerin diğer grup ülkelere nazaran daha fazla sermaye girdisi kullandığı söylenebilmekle beraber sermaye girdisinin enerji girdisi açısından daha verimli olabileceği kabul edilebilir. Kuşkusuz grafikten görülebilecek bir başka nokta, E/K oranında meydana gelen azalma büyüklüğünün her iki ülke grubu için farklılık göstermesidir. Buna göre, yüksek gelirli ekonomilerde E/K oranı 0,065ktoe'den 0,04ktoe'e inerken (0,025ktoe) orta gelir grubu ülkelerde 0,11ktoe'den 0,07ktoe'e (0,04ktoe) düşmüştür. Dolayısıyla dönem itibariyle sermaye stokunun verimliliğindeki artış açısından bakıldığında, orta gelir ülke grubundaki verimlilik artışının daha yüksek olduğu söylenebilir.

Grafik 5: Yüksek ve Orta Gelirli Ülkeler E/L Oranı



Kaynak:Penn World Tableversion8.0 ve Dünya Bankası Veri Seti

Grafik 5, istihdam edilen 1.000.000 işçiyi çalıştırabilmek için ne kadar enerjiye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Grafikte, E/L oranı açısından ülke grupları arasında bir paralellik görülmediği söylenebilir. Orta gelirli ülke grubu için E/K oranının tersi olarak E/L oranı sürekli olarak artmaktadır. Yani dönem itibariyle bu grup ülkeler, 1.000.000 işgücü çalıştırabilmek için sürekli olarak daha fazla enerji girdisine ihtiyaç duymaktadır. Dönem başında yaklaşık olarak 3000ktoe ile 1.000.000 işgücü/yıl çalıştırabilen orta gelirli ülkeler, dönem sonu olan 2011 yılında yaklaşık olarak 3600ktoe kullanmak durumunda kalmışlardır. Bu, enerji girdisi açısından bakıldığında, işgücünün çalışabilmesi için daha fazla enerji girdisine ihtiyaç duyduğunu ve böylece işgücü verimliliğinin azaldığını gösterebilir. Buna karşın yüksek gelirli ülkelerde durum farklıdır. Bu ülke grubunda ele alınan dönem itibariyle E/L oranı, önce artan daha sonra azalan bir seyir göstermektedir. Ayrıca, Yüksek Gelirli ekonomiler, 1.000.000 işgücü/yıl çalıştırabilmek için dönem başında yaklaşık 8800ktoe enerji kullanımına ihtiyaç duymaktadır. Dönem içinde bu rakam 9600ktoe değerine yükseldikten sonra dönem sonu 8600ktoe değerine düşmektedir. Bu haliyle yüksek gelirli ülke grubu için ele alınan dönemde işgücü verimliliği ile ilgili net bir ifade kullanabilmek mümkün görülmemektedir. Ancak, yukarıda hesaplanan değerlerden anlaşılacağı üzere, aynı işgücü sayısını çalıştırabilmek için yüksek gelirli ülkelerin, orta gelirli ekonomilere nazaran daha fazla enerji kullandıkları söylenebilir.

Model

Toplulaştırılmış Cobb-Douglas (CD) üretim fonksiyonu, bazı problemleri içinde barındırır da (Felipe ve McCombie, 2001) neoklasik teoremin ülke ekonomisinin arz yönlü performansının analizinde sıkça kullanılan temel araçlarından biri olmaya devam etmektedir. Basit $Q=A.K^\alpha L^\beta$ biçimindeki CD üretim fonksiyonu, veri teknoloji altında teknik açıdan etkinliğin sağlandığı ve böylece maksimum üretimin gerçekleştirilmesi için ne kadar girdiye ihtiyaç duyulduğunu açıklamaktadır. Bu açıdan üretim fonksiyonu, girdi ile çıktı arasındaki fiziki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Girdi olarak enerjinin de dâhil edildiği CD tipi bir üretim fonksiyonu, $Q = AK^\alpha L^\beta E^\gamma$ şeklinde yazılabilir. Bu şekilde bir CD fonksiyonunu, iktisadi büyümeyi gösterecek şekilde doğrusal formda ifade edersek,

$$G_Q = G_A + \alpha G_K + \beta G_L + \gamma G_E$$

biçimini alır ki, bu haliyle iktisadi büyümenin, girdilerdeki (K,L,E) ve teknolojideki (A) büyüme olmak üzere iki kısımdan kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Çalışmamızda, üretimin (Y), sermaye (K), işgücü (L), enerji (E) ve teknolojik gelişmenin (T) bir fonksiyonu olduğu varsayılmıştır.

$$Y = f(K, L, E, T) \quad (1)$$

Üretim fonksiyonunun Cobb-Douglas tipi bir üretim fonksiyonu olduğu ve teknolojik gelişmenin zaman içinde dışsal ve sabit hızlı nötr bir teknolojik gelişme olduğu varsayılırsa,

$$Y_t = A e^{ct} K_t^\alpha L_t^\beta E_t^\gamma \quad (2)$$

yazılabilir (Yuan ve diğerleri: 2009). Burada,

$$T_t = A e^{ct} \quad (3)$$

dir ve α , β ve γ sırasıyla sermayenin, işgücünün ve enerjinin çıktı esnekliklerini göstermektedir. Çıktı esnekliklerinin toplamı ise bize ölçeğe göre getiri durumunu verir. (2) numaralı denklemi gerekli düzenlemeleri yaparsak aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\left(\frac{E}{Y}\right)^\gamma A e^{ct} = \left(\frac{K}{Y}\right)^\alpha \left(\frac{L}{Y}\right)^\beta \quad (4)$$

$$\frac{E}{Y} = e_\gamma, \quad \frac{K}{Y} = \gamma_K \text{ ve } \frac{L}{Y} = \gamma_L \text{ olmak üzere}$$

$$e_\gamma^\gamma A e^{ct} = \gamma_K^\alpha \gamma_L^\beta \quad (5)$$

yazılabilir. (5) numaralı denklemin her iki tarafının doğal logaritması alınır,

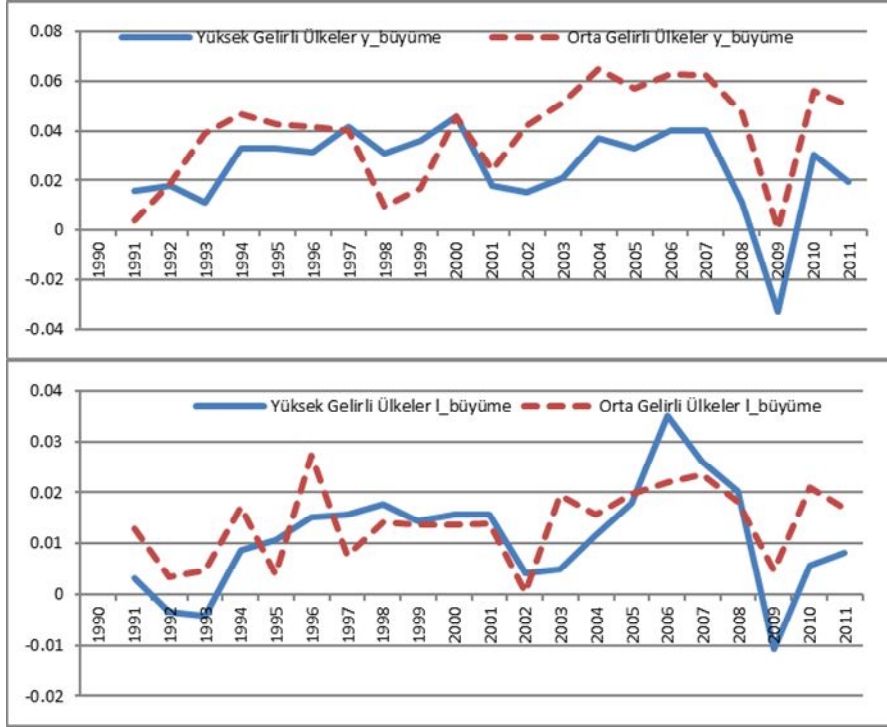
$$\gamma \ln(e_\gamma) + ct + \ln(A) = \alpha \ln(\gamma_K) + \beta \ln(\gamma_L) \quad (6)$$

elde edilir. (6) numaralı denklemin zamana göre (t) türevi ise,

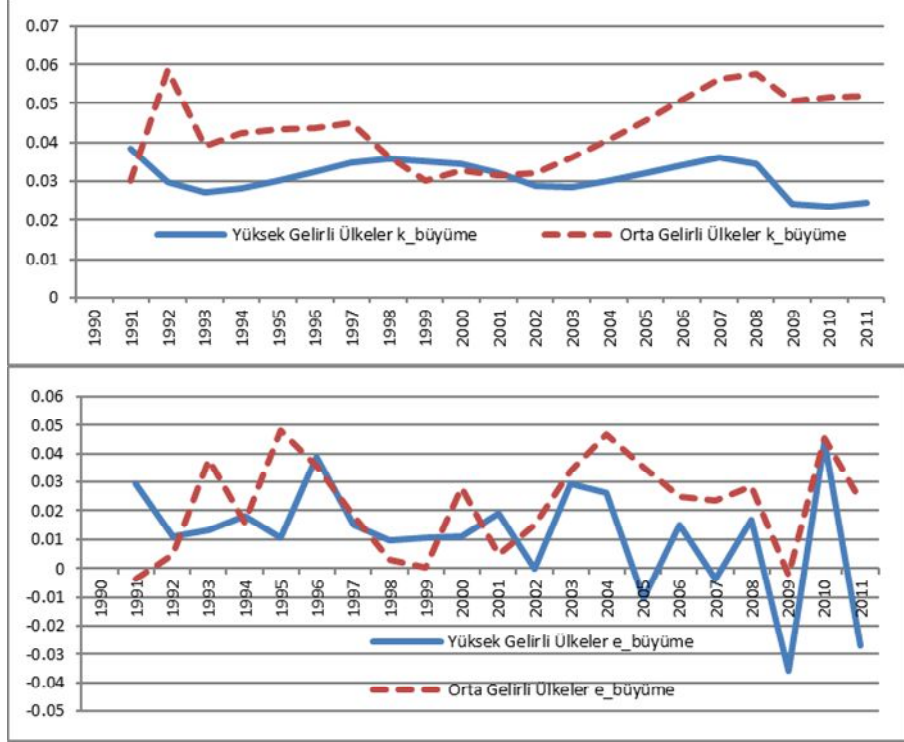
$$\gamma \frac{e_\gamma}{e_\gamma} = \alpha \frac{\gamma_K}{\gamma_K} + \beta \frac{\gamma_L}{\gamma_L} - c \quad (7)$$

biçiminde elde edilebilir. (7) numaralı denklem bize, enerji yoğunluğundaki yüzde değişimin, sermaye başına üretimdeki yüzde değişimin, işgücü başına üretimin yüzde değişimin ve teknolojiye yüzde değişimlerin bir sonucu olarak ortaya çıktığını göstermektedir. Teknolojik gelişimdeki yüzde değişim enerji kullanımında tasarruf sağlarken, sermaye ve işgücü başına üretimdeki artışlar enerji yoğunluğunu artırmaktadır. Eğer teknolojik gelişim, nötr bir nitelik taşıyorsa, hem işgücü hem de sermayenin marjinal verimliliğini aynı şekilde etkileyecek ve zaman içinde sermaye başına üretim ile işgücü başına üretimdeki artışlar teknolojik gelişme hızı kadar olacaktır.

Grafik 6: Ülke Gruplarına Göre GDP (y), Sermaye (k), İşgücü (l) ve Enerji (e) Büyüme Oranları



Grafik 6(Devamı): Ülke Gruplarına Göre GDP (y), Sermaye (k), İşgücü (l) ve Enerji (e) Büyüme Oranları



Kaynak: Penn World Table Version8.0 ve Dünya Bankası Veri Seti

Ülke gruplarına göre değişkenlerin değişim hızlarına bakıldığında (Grafik 6) orta gelirli ülkelerin GDP, sermaye ve enerji kullanımı büyüme hızlarının, yüksek gelirli ülkelerdekenden daha hızlı olduğu görülmektedir. Özellikle sermaye stoku açısından orta gelirli ülkeler 2001 yılından itibaren daha hızlı bir sermaye stoku artışına yönelmişlerdir. Sermaye stokundaki bu artış orta gelirli ülkelerin GDP büyüme oranlarını da etkilemiştir. Yine sermaye stokundaki artış orta gelirli ülkelerin enerji kullanımlarını da artırmıştır.

Çalışmada kullanılan serilerin durağan olup olmadıkları hem ortak hem de bireysel birim kök testleri ile sınanmıştır. Birim kök testleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Yüksek ve Orta Gelirli Ülkelerde Teknolojik Gelişmenin Enerji Yoğunluğu Üzerindeki Etkisi

Tablo 1: Durağanlık Testleri

Değişken*	Ortak Birim Kök Testleri				Bireysel Birim Kök Testleri						
	Levin, Lin ve Chu		Breitung t istatistiği		Im, Pesaran ve Shin w istatistiği		ADF, Fisher Chi ² istatistiği		PP, Fisher Chi ² istatistiği		
	İst.	Olasılık	İst.	Olasılık	İst.	Olasılık	İst.	Olasılık	İst.	Olasılık	
Yüksek Gelirli Ülkeler	Y	1,46	0,92	2,31	0,98	1,88	0,97	40,71	0,87	36,71	0,94
	ΔY	-5,27	0,00	2,96	0,00	4,13	0,00	101,05	0,00	192,67	0,00
	K	3,60	0,99	2,76	0,99	2,59	0,99	10,37	1,00	0,17	1,00
	ΔK	-1,40	0,07	2,21	0,01	2,48	0,00	76,14	0,01	96,27	0,00
	L	0,249	0,59	0,04	0,51	4,16	1,00	27,52	0,99	18,08	1,00
	ΔL	-3,33	0,00	1,98	0,02	3,95	0,00	99,35	0,00	118,17	0,00
	E	3,13	0,99	5,06	1,00	5,31	1,00	21,76	0,99	47,59	0,64
	ΔE	-1,51	0,06	3,35	0,00	6,37	0,00	133,80	0,00	431,62	0,00
	Orta Gelirli Ülkeler	Y	-1,50	0,06	0,61	0,27	0,79	0,21	44,04	0,16	44,57
ΔY		-4,18	0,00	3,17	0,00	3,56	0,00	66,31	0,00	106,12	0,00
K		-2,04	0,02	0,48	0,31	0,36	0,64	43,00	0,19	11,32	1,00
ΔK		-4,76	0,00	0,60	0,72	2,70	0,00	59,60	0,00	36,64	0,43
L		1,06	0,85	2,86	0,99	2,41	0,99	36,9	0,42	41,8	0,23
ΔL		-1,57	0,05	2,65	0,00	3,38	0,00	68,41	0,00	159,16	0,00
E		0,44	0,67	0,46	0,67	0,33	0,63	32,68	0,62	45,52	0,13
ΔE		-5,11	0,00	4,40	0,00	5,90	0,00	97,8	0,00	208,7	0,00

* Değişkenler logaritma olarak tanımlanmıştır.

Tablodan da görülebileceği gibi seriler düzeyde birim kök taşıırken I(1) düzeyinde durağan hale gelmektedirler. Serilerin logaritmik olduğu ve birinci dereceden farkları büyümeyi göstereceğinden çalışmada serilerin birinci derece farkları yani büyüme oranları kullanılmıştır.

Çalışmada 2 farklı ülke grubu için iki farklı denklem tahmin edilmiştir. Model 1 olarak adlandırılan model kısıtsız modeldir ve aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\ln y_{i,t} = \ln A + c * t + \alpha \ln k_{i,t} + \beta \ln l_{i,t} + \gamma \ln e_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (8)$$

Bu modelde $y_{i,t}$ i. ülkenin t dönemindeki reel GDP'sini, $k_{i,t}$ i. ülkenin t dönemindeki sermaye stokunu, $l_{i,t}$ i. ülkenin t dönemindeki istihdamını, $e_{i,t}$ i. ülkenin t dönemindeki enerji kullanımını, $\ln A$ sabiti, c teknolojinin yıllık büyüme hızını, t yılı ve $\varepsilon_{i,t}$ i. ülkenin t dönemindeki hata terimini göstermektedir. Modelde girdi esneklik katsayılarını gösteren α , β ve γ üzerinde herhangi bir kısıtlama oluşturulmamıştır. Modelde tanımlanan değişkenler düzeyde birim kök taşıdıkları için birinci dereceden farkları alınmıştır. Dolayısıyla model:

$$\ln y_{i,t} = \ln A + c * t + \alpha \ln k_{i,t} + \beta \ln l_{i,t} + \gamma \ln e_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (8)$$

$$\ln y_{i,t-1} = \ln A + c * (t - 1) + \alpha \ln k_{i,t-1} + \beta \ln l_{i,t-1} + \gamma \ln e_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t-1} \quad (9)$$

olarak yazıldıktan sonra (9) nolu denklem (8) nolu denklemden çıkartıldığında:

$$dy = c + \alpha(dk) + \beta(dl) + \gamma(de) + \varepsilon \quad (10)$$

elde edilmektedir. Buradaki d , fark operatörünü göstermektedir. (10) nolu denklemin tahmininden elde edilen c sabiti, teknolojik değişim hızını vermektedir.

Model 2 olarak adlandırılan modelde ise, girdi esneklik katsayıları toplamı bire eşitlenmiş yani ölçüğe göre getiri sabit getiri varsayımı yapılmıştır. Buna göre tahmin edilen denklem aşağıdaki gibidir.

$$(\ln y_{i,t} - \ln l_{i,t}) = \ln A + c * t + \alpha (\ln k_{i,t} - \ln l_{i,t}) + \gamma (\ln e_{i,t} - \ln l_{i,t}) + v_{i,t} \quad (11)$$

Bu denklemde $\beta=1-\alpha+\gamma$ olarak belirlenmiştir. Bu denklemde de değişkenlerin birinci derece farkları kullanıldığında tahmin edilecek denklem:

$$(dy - dl) = c + \alpha(dk - dl) + \gamma(de - dl) + \varphi \quad (12)$$

şeklinde olmaktadır.

Regresyon tahminlerine geçmeden önce ülke grupları açısından yatay kesit bağımlılığı olup olmadığı test edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı testleri, Pesaran (2004), Friedman (1937) ve Frees (1995)'in çalışmalarında tanımladıkları testlere göre yapılmıştır. Yatay kesit bağımlılığı testlerinin boş hipotezi, yatay kesit bağımlılığının olmadığı yönündedir. Test sonuçları Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2: Yatay Kesit Bağımlılığı Testleri

	Yüksek Gelirli Ülkeler		Orta Gelirli Ülkeler	
	İstatistik	Olasılık	İstatistik	Olasılık
Pesaran CD Testi	32,13	0,00	7,89	0,00
Friedman Testi	183,27	0,00	60,00	0,00
Frees Testi	3,258	%1 kritik değer 0,233	0,383	%1 kritik değer 0,233

Tablodan da görülebileceği gibi hem yüksek gelirli hem de orta gelirli ülke grupları için test istatistikleri boş hipotezi reddetmemizi gerektirdiğinden, yatay kesit bağımlılığı bulunmaktadır. Yatay kesit bağımlılığının olduğu panel verilerde literatürde en yaygın kullanılan model, Driscoll-Kraay (1998) tahmincileridir. Driscoll-Kraay metodolojisi, moment koşullarının yatay kesit ortalamalarının dizilişine, Newey-West tipi bir düzeltme uygulamaktadır. Böylece, robust standart hatalar elde edilmektedir. Bu çalışmada da, (10) ve (12) nolu denklemler tahmin edilirken, Driscoll-Kraay metodunu kullanılacaktır.

(10) ve (12) nolu denklemlerin, hem yüksek gelirli hem de orta gelirli ülkeler için yapılan tahminleri, Tablo 3’de gösterilmektedir.

Tablo 3: Regresyon Sonuçları (Driscoll/Kraay)²

	Yüksek Gelirli Ülkeler						Orta Gelirli Ülkeler					
	Model 1			Model 2			Model 1			Model 2		
	Katsayı	t-ist. a.	olasılık	Katsayı	t-ist. a.	olasılık	Katsayı	t-ist. a.	olasılık	Katsayı	t-ist. a.	olasılık
α	0,256	2,09	0,04	0,30	2,16	0,04	0,271	2,36	0,03	0,302	3,16	0,00
β	0,512	4,11	0,00	0,534	2,85	_*	0,202	2,12	0,05	0,260	1,66	_*
γ	0,164	3,19	0,00	0,166	3,44	0,00	0,444	7,72	0,00	0,447	7,37	0,00
c	0,009	2,73	0,01	0,0079	2,75	0,01	0,014	3,36	0,00	0,012	3,61	0,00
R ²	0,38			0,19			0,39			0,43		
F	27,97			23,13			191,65			93,29		
D-	1,45			1,56			1,90			1,91		

²t-istatistikleri, Driscoll-Kraay standart hatalar kullanılarak elde edilmiştir.

W			
---	--	--	--

* Bu parametrelerin olasılık değerleri model kısıtlanmış model olduğundan hesaplanmamıştır.

Yüksek Gelirli ülkeler grubu için yapılan kısıtlanmamış tahminden girdi esneklik katsayıları toplamı, $\alpha+\beta+\gamma=0,93$ bulunmuştur. Yani, kısıtlanmamış denklem tahmininde ölçeğe göre azalan getiri elde edilmektedir. Denklemde, teknolojik değişim hızını veren c katsayısı % 0,9 olarak tahmin edilmiştir. Elde edilen bu tahminden yola çıkarak yıllık ortalama teknolojik değişim hızı ($e^{0,009}-1$)=0,00904 olarak bulunmaktadır. (7) nolu denklem kullanılarak,

$$\frac{\gamma_k}{\gamma_l} = \frac{\gamma_l}{\gamma_l} = 0,00904$$

olarak belirlenebilir. Bu eşitlik, nötr teknolojik gelişme sonucunda, işçi başına GDP ve sermaye başına GDP yıllık ortalama artış hızının, % 0,9 olacağını göstermektedir. Böylece, (7) numaralı eşitlikten yola çıkarak, teknolojik gelişmenin enerji tasarrufu etkisi, hesap edilebilmektedir.

$$0,164 \frac{e_y}{e_y} = 0,256 \frac{\gamma_k}{\gamma_k} + 0,512 \frac{\gamma_l}{\gamma_l} - 0,009$$

$$0,164 \frac{e_y}{e_y} = 0,256(0,00904) + 0,512(0,00904) - 0,009$$

$$\frac{e_y}{e_y} = -9\%1,25$$

Model 1'e göre yüksek gelirli ekonomilerde teknolojik büyüme hızı, yıllık ortalama %0,9 düzeyindedir ve bu teknolojik gelişme enerji kullanımında %1,25 oranında bir tasarruf sağlamaktadır.

Yüksek gelirli ülkeler için kısıtlanmış model olarak tanımladığımız Model 2'de ölçeğe göre sabit getiri varsayımı yapılmıştır. Buna göre, teknolojik gelişme büyüme hızı yıllık ortalama %0,79 olarak tahmin edilmiştir. Bu teknolojik gelişim hızı ise bu ülkelerde yıllık ortalama %0,77'lik bir enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Tablo 4: Ülke Gruplarına Göre Yıllık Ortalama Teknolojik Değişim Hızı ve Enerji Tasarruf Etkisi

	Yüksek Gelirli Ülkeler		Orta Gelirli Ülkeler	
	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
Yıllık Ortalama Teknolojik Değişim Hızı	%0,9	%0,79	%1,40	%1,20
Teknolojik Gelişmenin Yarattığı Enerji Yoğunluğu Tasarrufu	%1,25	%0,77	%1,65	%1,19

Benzer şekilde, orta gelirli ülkeler için kısıtsız model olarak tanımlanan Model 1'in tahmin sonuçlarına göre, ölçeğe göre azalan getiri mevcuttur ($\alpha+\beta+\gamma=0,91$). Beklentilerimiz doğrultusunda orta gelirli ülkelerde sermayenin girdi

esnekliği, yüksek gelirli ülkelerdeki sermaye girdi esnekliğinden büyük, işgücü girdi esnekliği ise yüksek gelirli ülkelerdekenden düşük çıkmıştır. Yine beklentilerimiz doğrultusunda orta gelirli ülkelerde enerji girdi esnekliği, yüksek gelirli ülkelerdeki enerji girdi esnekliğinden yüksek çıkmıştır. Bunun temel sebebi, yüksek gelirli ülkelerde üretimde, sermaye ve enerji kullanımının daha yoğun olması nedeni ile marjinal fiziki verimliliklerinin düşük ancak ortalama fiziksel verimliliklerinin yüksek olmasıdır. Yine orta gelirli ülkeler için kurgulanan Model 1'in tahmin sonuçlarına göre, bu ülkelerde teknolojik gelişme hızı, yıllık ortalama %1,4'dür. (7) numaralı eşitlik çerçevesinde yıllık ortalama %1,4'lük teknolojik gelişim hızı, bu ülkelerde yıllık ortalama %1,65 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Orta Gelirli ülkeler için ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında yapılan tahminler için Model 2 kullanılmıştır. Orta gelirli ülkeler için yapılan Model 2'ye göre, bu ülkelerde yıllık ortalama teknolojik gelişim hızı, %1,20 olarak tahmin edilmiştir. Bu teknolojik gelişim hızının yaratacağı enerji tasarrufu ise bu ülkelerde yıllık ortalama %1,19 olarak hesap edilmiştir.

Sonuç ve Tartışma

Çalışmada, teknolojinin gelişme hızı ile enerji yoğunluğu arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. İlişkiyi ortaya koyabilmek amacıyla, üç değişkenli (sermaye, işgücü ve enerji) Cobb-Douglas tipi bir üretim fonksiyonu oluşturulmuştur. Tahmin edilen Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun her bir değişkene ait üretim faktör esneklik katsayı değeri, pozitif ve 1'den küçüktür. Bu bize her bir girdinin marjinal verimliliklerinin azalan olduğunu yani, azalan verimler yasasının çalıştığını gösterir. Ayrıca yine esneklik katsayılarından hareketle, faktör esneklik katsayılarından herhangi biri sıfır değerini almadığı için, girdiler arasında işlevsel olarak bir tamamlayıcılık ilişkisi olduğunu söyleyebiliriz. Bir başka ifade ile girdilerden birinin kullanım miktarı arttığında, diğer girdinin marjinal verimliliği artmaktadır. Bu haliyle, tahmin edilen CD üretim fonksiyonunun, teoriyi desteklediği kabul edilebilir.

Diğer taraftan, teknolojik bir gelişmenin, enerji tasarrufu sağlaması beklenir. Ayrıca, ülkelerin gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak teknoloji düzeyi ile teknolojinin gelişme hızı da farklıdır. Yüksek gelirli ekonomilerin, orta gelirli ülkelere göre daha ileri teknolojilere sahip olduğu fakat bununla beraber orta gelir grubu ülkelerdeki teknoloji gelişme hızının, daha yüksek olduğu kabul edilebilir. Ayrıca, orta gelir grubunda yer alan ülkeler tarafından kullanılan teknolojinin de yüksek gelirli ekonomilerden farklı yollarla (Hoekman ve diğerleri 2005) transfer edildiği de söylenebilir. Bu bizi, teknoloji transfer kanallarında ortaya çıkabilecek problemlerin yanı sıra yüksek gelirli ekonomilerin son teknolojileri orta gelirli ülkelere transfer etmedeki isteksizliklerinin, yüksek ve orta gelirli ekonomiler arasında teknoloji düzeyinin farklı olacağı sonucuna götürmektedir. Buradan hareketle, teknolojinin gelişme hızındaki farklılıkların enerji tasarrufu üzerine olan etkisinin de farklı olabileceği söylenebilir.

Tahmin edilen CD üretim fonksiyonundan hareketle, yüksek ve orta gelirli ekonomilerin teknolojik gelişme hızlarının farklı olduğu bulunmuştur (yüksek gelirli ülkelerde %0,9 orta gelirli ülkelerde, %1,4). Bunun sonucu, enerji yoğunluklarında farklı tasarruf büyüklükleri ortaya çıkmaktadır (yüksek gelirli ülkelerde, %1,25 orta gelirli ülkelerde, %1,65). Bir başka ifade ile orta gelirli ülkelerde teknoloji gelişme hızının yüksek olması neticesi, enerji tasarruf büyüklüğü daha yüksektir. Bununla beraber teknolojinin gelişme yönü ve hızının bu şekilde devam etmesi halinde, enerji yoğunluğu açısından orta gelirli ekonomilerin yüksek gelirli ekonomileri yakalayabilmesi mümkün görülmemektedir. Bunun bir nedeni, teknolojik gelişmenin niteliği ile ilgiliyken diğeri, teknoloji transferidir. Genel olarak, orta gelirli ekonomiler teknolojiyi, yukarıda ifade edildiği gibi yüksek gelirli ekonomilerden transfer ederler. Bu ise, yüksek gelirli ekonomilerin, nispeten daha düşük enerji tasarrufu sağlayan teknolojileri ihraç etmeleri sonucu, orta gelirli ekonomilerin enerji tasarrufunda, yüksek gelirli ekonomilerde olduğu kadar bir gelişme sağlamasını engellemektedir. Dolayısıyla, yüksek gelirli ve orta gelirli ekonomilerdeki enerji yoğunlukları arasındaki fark, artmaktadır. Bir başka ifade ile ekonomideki enerji yoğunluğunun azalmasına katkı niteliğindeki yapısal değişim (structural change) gibi etkiler olmasaydı, sadece teknolojik gelişmenin etkisiyle, orta gelirli ülkelerin yüksek gelirli ülkeleri yakalayabilmesi olanaksız görünmektedir.

Bunun giderilmesi için önerilebilecek yollardan biri, orta gelir grubu ülkelerin teknoloji transferinin yanı sıra, kendi teknoloji yatırımlarını gerçekleştirmeleridir. İktisadi büyümelerini dışa bağımlı olmaktan kurtaracakları anlamına gelen bu durum, ekonomideki yapısal dönüşümle birlikte ele alındığında orta gelirli ekonomilerin daha fazla enerji tasarrufu sağlamalarına neden olabilecektir.

Tüm bunların yanında enerji girdisinin yarattığı bağımlılığı azaltmak tüm ekonomiler için önemli görünmektedir. Girdi olarak enerjinin üretim sürecindeki nispi öneminin azaltılması, üretim sürecinde enerji olarak kullanılan unsurların artırılması ile olanaklı görünmektedir. Alternatif enerji kaynaklarının yaygınlaşması ve fiyatlarının düşürülmesi ve bunun sonucunda da üretim süreçlerinde alternatif enerji kaynaklarının daha çok yer alması, enerji bağımlılığı sorunun aşılmasında en önemli politikalardan bir tanesidir. Dolayısıyla, özellikle orta gelirli ülkelerin teknolojik gelişmelerden daha fazla yararlanabilmesi için alternatif enerji kaynaklarının yaygınlaşmasına yatırım yapmaları uzun dönem için rasyonel görünmektedir.

Kaynakça

- Driscoll, J. & Kraay A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent data. *Review of Economics and Statistics*, 80, 549–560.
- Felipe, J. & McCombie, J. S. L. (2005). How sound are the foundations of aggregate production function? *Eastern Economic Journal*, 31 (3), 467-488.
- Felipe, J. & Adams, F.G. (2005). The estimation of the Cobb-Douglas function: a retrospective view. *Eastern Economic Journal*, 31 (3), 427-445.
- Freeman, S.L. ve diğerleri. (1997). Measuring industrial energy intensity: practical issues and problems. *Energy Policy*, 25, 703-714.
- Frees, E. W. (1995). Assessing cross-sectional correlation in panel data. *Journal of Econometrics*, 69, 393–414.
- Friedman, M. (1937). The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. *Journal of the American Statistical Association*, 32, 675–701.
- Galli, R. (1998). The relationship between energy intensity and income levels: forecasting long term energy demand in Asian emerging countries. *The Energy Journal*, 19 (4), 85-105.
- Geller, H. et.al. (2006). Policies for increasing energy efficiency: thirty years of experience in OECD countries. *Energy Policy* 34, 556-573.
- Hannesson, R. (2002). Energy use and GDP growth, 1950-1997. *OPEC Review*, September: 205-233.
- Hoekman, B.M. & Maskus, K. E. & Saggi, K. (2005). Transfer of technology to developing countries: unilateral and multilateral policy options. *World Development*, 33(10), 1587-1602.
- Jacob, V. & Sharma, S.C. & Grabowski R. (1997). Capital stock estimates for major sectors and disaggregated manufacturing in selected OECD countries. *Applied Economics*, 29, 563-579.
- Lee, Chien-Chiang & Chang, C. P. (2007). Energy consumption and GDP revisited: a panel analysis of developed and developing countries. *Energy Economics* 29, 1206-1223.
- _____ (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: a more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics* 30, 50-65.

Lise, W. & Montfort, K. V. (2007). Energy consumption and GDP in Turkey: is there a co-integration relationship?" *Energy Economics* 29, 1166-1178.

Löschel, A. (2002). Technological change in economic models of environmental policy: a survey. *Ecological Economics*, 43 (2-3), 105-126.

Ma, C. & Stern, D.I. (2008). China's changing energy intensity trend: a decomposition analysis. *Energy Economics*, 30(3), 1037-1053.

Mishra, S. K. (2007). A Brief History of Production Functions, *MPRA Paper* No: 5254.

Öztürk, İ. Aslan, A. ve Kalyoncu, H. (2010). Energy consumption and economic growth relationship: evidence from panel data for low and middle income countries. *Energy Policy*, 38, 4422-4428.

Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. *Cambridge Working Papers in Economics*, No. 0435.

Sarı, R. ve Soytaş, U. (2007). The growth of income and energy consumption in six developing countries. *Energy Policy*, 35, 889-898.

Stresing, R & Lindenberger, D. & Kümmel, R. (2008). Co-integration of output, capital, labour and energy. *EWI Working Paper*, No: 08-04, Institute of Energy Economics at the University of Cologne.

Vanden, K.F. et al (2006). Technology development and energy productivity in China. *Energy Economics*, 28(5-6), 690-705.

Wei, T. (2007). Impact of energy efficiency gains on output and energy use with Cobb-Douglas production function. *Energy Policy*, 35, 2023-2030.

Welsch, H. & Ochs, C. (2005). The Determinants of Aggregate Energy Use in West Germany: Factor Substitution, Technological Change, and Trade. *Energy Economics* 27, 93-111.

Yuan, C. et.al. (2009). Research on energy saving effect of technological progress based on Cobb-Douglas production function. *Energy Policy*, 37, 2842-2846.