

PAPER DETAILS

TITLE: Türkiye Sanayi Sektörü Enerji Verimliliği: Genisletilmiş Logaritmik Ortalama Divisia Endeks
Ayrıştırma Yöntemi Uygulaması

AUTHORS: Isil Sirin SELÇUK

PAGES: 127-145

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/510371>

Türkiye Sanayi Sektörü Enerji Verimliliği: Genişletilmiş Logaritmik Ortalama Divisia Endeks Ayırıştırma Yöntemi Uygulaması¹

Işıl Şirin SELÇUK (<https://orcid.org/0000-0001-9556-2396>), Department of Economics, Bolu Abant İzzet Baysal University, Turkey; e-mail: isilselcuk@ibu.edu.tr

Energy Efficiency of Turkish Energy Sector: Extended Analysis of Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition²

Abstract

In this paper, energy efficiency was examined within the context of the Turkish industry. With the help of the Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition Method, the total energy intensity of the industrial sector was divided into the real energy intensity effect and the structural change of the sector for the period from 2003 to 2011. Afterwards, the total contribution to the real energy intensity of each sub-sector was calculated by the attribution analysis by extending the decomposition. Thus, it can be possible to learn detailed information on the contribution of each subsector to change in energy intensity.

Keywords : Energy Efficiency, Energy Intensity, Decomposition Analysis, Divisia Index.

JEL Classification Codes : Q40, Q43, C43.

Öz

Bu çalışmada enerji verimliliği kavramı, Türkiye sanayisi kapsamında incelenmiştir. Logaritmik Ortalama Divisia Endeks ayırıştırma yöntemi yardımıyla 2003-2011 yılları kapsamında sanayi sektörü için toplam enerji yoğunluğu reel enerji yoğunluğu etkisi ve sektör yapısı değişim etkisi olarak ikiye ayrıştırılmıştır. Daha sonra ayırıştırma genişletilerek niteliklendirme analizi ile her bir alt sektörün reel enerji yoğunluğuna olan toplam katkısı hesaplanmıştır. Böylelikle her bir alt sektörün enerji yoğunluğuna olan katkısı hakkında daha detaylı bir bilgi edinmek mümkün olmuştur.

Anahtar Sözcükler : Enerji Verimliliği, Enerji Yoğunluğu, Ayırıştırma Analizi, Divisia Endeksi.

¹ Çalışma, yazarın Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalında hazırladığı “Enerji Piyasası Düzenlemeleri ve Dönüşümü Üzerine Üç Makale” başlıklı doktora tezindeki ilgili bölümden türetilmiştir.

² This study is derived from the related section of the dissertation of author which is titled as “Three Essays on Energy Market Regulations and the Transformation of Energy Markets” at Ankara University, Institute of Social Sciences, Department of Economics.

1. Giriş

Günümüzde pek çok ülke enerji kaynaklarından daha iyi yararlanmanın yolunu aramaktadır. Temel nedeni ise enerji piyasalarında fosil yakıt kullanımının baskın olmasından dolayı kıt kaynak sorunun olduğunun düşünülmesidir. Buna ek olarak, son yıllarda yaşanan jeopolitik olaylardan enerji üretimi etkilenebilmekte ve artan nüfus ve gelir ile birlikte enerji talebi de giderek artmaktadır.

Türkiye ise doğusunda Hazar Denizi ve Ortadoğu, batısında Avrupa Birliği bulunması sebebiyle doğal bir enerji koridoru işlevine sahiptir. Ancak, Türkiye her ne kadar bir köprü görevi görse de artan enerji talebinin de etkisiyle enerji ithalatçısı ve enerji arzında dışa bağımlı bir ülke konumundadır. Bu bakımdan enerji güvenliğini sağlayabilmenin yollarından bir tanesi de enerji verimliliğini arttırmak olacaktır. İlk sırada enerji tüketen sektör olan sanayi sektöründe enerji verimliliği ise enerji güvenliği hedefini gerçekleştirebilmek için gerekli olmaktadır.

Bu doğrultuda, Türkiye’nin sanayi enerji verimliliğini inceleyen bu çalışmanın yapısı şu şekildedir: Bu bölümü izleyen iki bölümde sırasıyla Dünya’da ve Türkiye’de enerji kullanımı ile enerji verimliliği incelenecektir. Dördüncü kısımda literatür taramasına, son iki bölümde metodolojiye ve analize, son bölümde ise sonuçlara yer verilmiştir.

2. Dünya’da Enerji Kullanımı ve Sanayi’de Enerji Verimliliği

Sanayi sektörü bir dizi birbirinden farklı yapısal özelliklere sahip alt sektörden oluşmaktadır. Bu bakımdan sanayi sektörünün enerji tüketimi gıda ürünleri üretimi için gerekli olan enerji tüketiminden madencilğe, madencilikten mobilya üretimine oldukça geniş bir aralığı kapsamaktadır. Sektörün toplam enerji kullanımını daha detaylı incelemek gerekirse Uluslararası Enerji Ajansı’na göre, sadece 2000-2011 yılları için sanayide enerji kullanımı %36 artmış, aynı yıllar için dünya sanayi enerji yoğunluğu ise %10 azalmıştır. Enerji yoğunluğunda meydana gelen bu düşüşe rağmen, 2007-2011 yılları arasında CO₂ salımı ise %17 artmıştır. Sanayi sektörü içinde en çok enerji kullanan alt sektörler incelendiğinde ise dünya toplam sanayi enerji kullanımının %28’ini gerçekleştiren kimyasal ve petrokimyasal ürün sanayi ilk sırayı almaktadır. Bu sektörü %22’lik payla demir-çelik sektörü izlemektedir (IEA, 2014d).

Karbon salımında bir azalma meydana gelmemesinin temel nedeni ise kaynak bazında dünya sanayi enerji tüketim tercihinin fosil yakıtlar, özellikle de kömürden yana olmasıdır. Buna ek olarak, Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre sanayi sektörü için küresel enerji kullanımı 1990 yılından itibaren %40 artmış olup, bu artışın büyük bir kısmı OECD üyesi olmayan ülkelerden kaynaklanmaktadır. 1990 yılında OECD üyesi ülkelerin sanayi enerji tüketim payı küresel olarak %46 iken 2011 yılında bu oran %33’e kadar düşmüştür. Bu düşüş ise küresel ekonomik yapıda bir değişikliği yansıttığı kadar daha enerji yoğun süreçlerin gelişmekte olan ülkelere kaydığını da göstermektedir (IEA, 2014a).

Enerji kullanımının artan bir eğilime sahip olması dolayısıyla ülkeler için enerji verimliliği hem maliyetleri azaltması bakımından hem enerji güvenliği açısından hem de çevreye duyarlılığın sağlanması açısından bir fırsat olarak değerlendirilmektedir. Bu bakımdan pek çok ülke enerji verimliliği ile ilgili politikalar geliştirmekte ve uygulamaktadır.

Dünya Enerji Konseyi'nin 72 ülke ile yaptığı ankete³ göre ülkelerin %86'sının enerji verimliliği ile ilgili niceliksel hedefleri vardır ancak bu hedefler farklı şekillerde olabilmektedir. En yaygın hedef 2012 yılında 62 ülke ile (ki bu sayı 2006 yılında 30'dur) enerji tasarruf oranında veya enerji verimliliğinde bir artış sağlamak iken ikinci sıradaki nicel hedef ise 59 ülke ile akkor ampulleri aşamalı olarak kaldırmaktır (World Energy Council, 2013).

1970 yılından itibaren yapılan enerji verimliliği hamleleri sonucunda 2011 yılında sadece 11 ülke⁴ 56 egzajoule (1337 milyon ton eşdeğer petrol) kadar kazanım sağlamıştır ki bunun parasal değeri 746 milyar ABD dolarıdır. Buna ek olarak, sadece 2012 yılında dünyada enerji verimliliği piyasasına yapılan yatırımların miktarı 310 milyar dolar ile 360 milyar dolar arasında gerçekleşmiştir (IEA, 2014c).

Enerjinin ilk sıradaki tüketicisi olan sanayi sektöründe de enerji verimliliğini arttırmak için çeşitli önlemler alınmakta ve programlar uygulanmaktadır. Bununla birlikte, sanayide enerji verimliliği açısından ise yine WEC-ADAME anketine göre ülkelerin sadece %20'sinin niceliksel hedefi vardır. Şekil 2'den de görüleceği gibi ülkeler sanayi sektöründe enerji verimliliğini mali ve finansal uygulamalar, düzenlemeler ve gönüllü anlaşmalar yoluyla sağlamaktadırlar. Bu uygulamalar ise sanayide enerji verimliliğinin daha agresif hedef ve politikalar yerine daha esnek temelde sağlanmaya çalışıldığına işaret etmektedir. Daha esnek politikalar geliştirmelerinin temelinde ise sanayinin pek çok alt sektörden oluşması nedeniyle farklı enerji tüketim profillerine sahip olması ve bu alt sektörlerinin pek çoğunun uluslararası rekabete açık olması etkilidir.

Enerji kullanımının tarihini incelendiğinde ise bu çalışmalar arasında enerji yoğunluğunun çan veya ters-U şeklinde bir seyir izlediğini dair görüşler vardır (Rühl & Appleby & Fennema & Naumov & Schaffer, 2012) (Reddy & Goldemberg, 1990). Bu görüşe göre ülkeler sanayileşirken ve kişi başına düşen gelir yükselirken enerji yoğunluğu artacak, kişi başına düşen gelir belli bir düzeye ulaştığında ve hizmet sektörüne doğru kaymalar gerçekleştiğinde ise enerji yoğunluğu azalacaktır. Genellikle de düşüş ilk artıştan daha az olmaktadır. Ancak bu görüşün geleneksel enerji formlarını dikkate almadığını ve analize geleneksel kaynaklar dahil edildiğinde ters-U eğrisinin olmadığını söyleyen

³ WEC (World Energy Council)-ADAME (French Environment and Energy Management Agency) Survey 2012-2013.

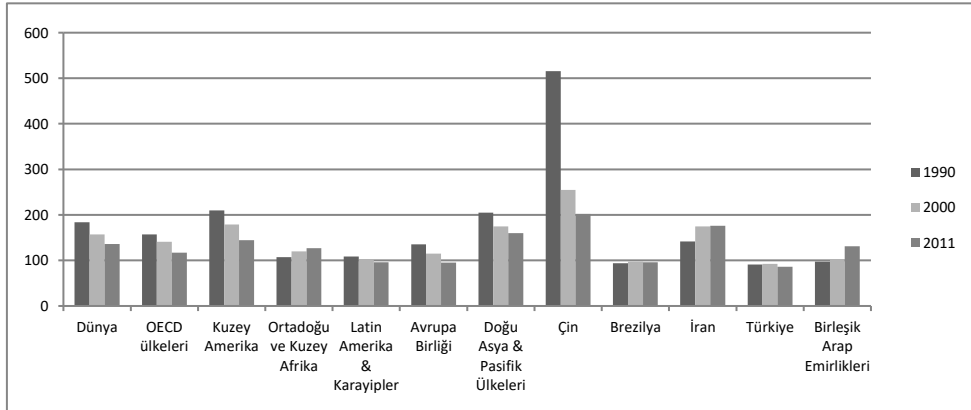
⁴ Bu ülkeler şu şekildedir: ABD, Almanya, Avustralya, Birleşik Krallık, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İtalya, İsveç ve Japonya.

çalışmalar da vardır. Örneğin Gales et al. (2007) Kuzey Avrupa (Hollanda, İsveç) ve Güney Avrupa'nın (İspanya, İtalya) 200 yıllık enerji tüketimini hem modern hem de geleneksel kaynakları da içeren şekilde ayırıştırma yöntemi kullanarak incelediklerinde enerji yoğunluğu için ters-U şeklinin varlığını teyit edememişlerdir. Ek olarak, teknolojik değişimlerin servis sektörüne kaymalara nazaran enerji yoğunluğunun azalması üzerinde daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Son dönemdeki eğilimlere göre; Dünya Bankası verileri incelendiğinde son yirmi yıllık sürede, dünya genelinde 1000 dolarlık GSYİH üretmek için gereken enerji miktarı giderek azalmaktadır (Şekil 1). Dünyada 1990 yılında her bir 1000 dolar için 183,6 kg eşdeğer petrol kullanırken, bu miktar 2000 yılında 157,3 2011 yılında ise 136,2 kg eşdeğer petrol olmuştur. Bu yirmi yıllık süreçte özellikle Çin'de meydana gelen azalış göze çarpmaktadır. 1990 yılında 515,4 kg eşdeğer petrol ile 1000 dolarlık GSYİH sağlanırken 2011 yılında bu miktar 202,1'e kadar düşmüştür. Bu düşüşe rağmen Çin'in 1000 dolarlık GSYİH üretmek için kullandığı enerji miktarı halen dünya ortalamasının üstündedir. Türkiye için de yirmi yıllık süreçte az da olsa bir azalış meydana gelmiş ve 1990 yılında her bir 1000 dolar için 91,1 kg eşdeğer petrol kullanırken bu oran 2011 yılında 86 kg eşdeğer petrol olarak gerçekleşmiştir.

Ancak dünyadaki azalma eğilimine rağmen Brezilya, Birleşik Arap Emirlikleri, İran gibi bazı ülkelerde bu eğilimin tam tersine enerji yoğunluğunda artış gözlemlenmektedir. Brezilya'da 1990 yılında her bir 1000 dolar için 93,7 kg eşdeğer petrol kullanırken, bu miktar 2011 yılında 96 kg eşdeğer petrol olmuştur. İran ise 1990 yılında her bir 1000 dolar için 141,7 kg eşdeğer petrol kullanırken, bu miktar 2000 yılında 174,5 olmuş ve 2011 yılında artış hızı azalarak 176 kg eşdeğer petrol olmuştur. Birleşik Arap Emirlikleri için bu değerler sırasıyla 1990 yılı için 97,7; 2000 yılı için 109,7 ve 2011 yılı için ise 131 kg eşdeğer petrol olarak gerçekleşmiştir.

Şekil: 1
Ülkelerin 1000 GSYİH Üretmesi İçine Gereken Enerji Miktarları



Kaynak: The World Bank Veri Tabanı Kullanılarak Hazırlanmıştır.

Verilerin de işaret ettiği üzere ülkelerin kendine has ekonomik, sektörel, yapısal özellikleri farklı enerji yoğunluklarına sahip olmalarına neden olabilmektedir. Bu bakımdan bir ülkenin enerji yoğunluğunu araştırırken genel eğilimlerin yanı sıra incelenen her bir ülkenin kendi özelinde değerlendirilmesi daha doğru olacaktır.

3. Türkiye’de Sanayi Sektörü Enerji Kullanımı ve Enerji Verimliliği

Son yıllarda artan enerji tüketimi ve sürdürülebilir enerji politikaları çerçevesi ile birlikte Türkiye’de de tüm dünyada olduğu gibi enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik politikalar izlenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansına göre Türkiye’nin 2009 yılı ile 2000 yılı karşılaştırıldığında toplam enerji tasarrufu 25,4 milyon ton eşdeğer petrol kadar gerçekleşmiştir. Tasarruf edilen miktarı sektörlere ayırmak gerekirse, bu miktarın 6,4 milyon tonu imalat sektöründen, 10,7 milyon tonu ulaştırmadan 8,3 milyon tonu ise meskenlerden meydana gelmektedir (IEA, 2014b).

Türkiye’nin enerji tasarrufuna yönelik attığı ilk adım ise 1981 yılında toplumun enerji tasarrufu konusunda bilinçlendirilmesini sağlamak, bu yönde çalışmalar yapmak ile tasarruf tedbirlerinin uygulamaya konulmasını sağlamak için 10/01282 sayılı Başbakanlık yönergesiyle Enerji Tasarrufu Koordinasyon Kurulu’nun kurulması olmuştur. 1992 yılına gelindiğinde ise Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü’ne bağlı olarak Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi kurulmuştur.

1995 yılında çıkan 22460 sayılı Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılması İçin Alacakları Önlemler Hakkında Yönetmelik ile sanayi sektöründeki enerji verimliliğinin artırılması için gerekli düzenlemelerin sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, belirli kategorilerde verilen miktarlarda ve bu miktarın üzerinde enerji tüketen fabrikalar için bir “Enerji Yöneticisi” görevlendirilmesi söz konusu olmuştur.

04.10.2000 tarihinde çıkan 2000/27 sayılı Başbakanlık Genelgesine göre Ulusal Enerji Tasarruf Kampanyası başlatılmıştır. Bu kampanyanın başlatılma nedeni elektrik arzı düşüklüğüdür. Genelgeyle birlikte, enerji tasarrufların kamu kesimindeki uygulamalarını izlemek ve değerlendirmek amacıyla da “Enerji Tasarrufu İzleme ve Değerlendirme Komisyonu” kurulmuştur.

Enerji verimliliği alanında atılan en önemli adım ise 2007 yılında çıkarılan 5627 sayılı enerji verimliliği kanunudur. Kanunla enerji verimliliği çalışmalarının ülke genelinde ve ilgili kuruluşlarca etkin olarak yürütülmesi, bu çalışmaların sonuçlarının izlenmesi ve koordinasyonu amacıyla Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu kurulmuştur. Bu kurul; ulusal düzeyde enerji verimliliği stratejileri, planları ve programları hazırlamak, bunların etkinliğini değerlendirmek, gerektiğinde revize edilmelerini, yeni önlemlerin alınmasını ve uygulanmasını koordine etmek ile sorumludur.

Kanunla birlikte 1995 yılında çıkarılan 22460 sayılı yönetmelik ile gündeme getirilen enerji görevlisi, tüm endüstriyel işletmeler için zorunlu hale getirilmiş ve organize sanayi bölgelerinde, bölgedeki bin ton eşdeğer petrolden daha az enerji tüketen işletmelere hizmet

vermek için enerji yönetim birimi kurulması zorunlu kılınmıştır. Benzer şekilde kanunla birlikte sanayide enerji yoğunluğunun azaltılmasına yönelik uygulamalar sıralanmış ve gönüllü anlaşmaların enerji verimliliği açısından önemi vurgulanmıştır.

2008 yılı ise 2008/2 sayılı başbakanlık genelgesi ile Enerji Verimliliği Yılı olarak ilan edilmiş ve bu doğrultuda tüm kamu kurum ve kuruluşlarının kendi sorumluluklarında bulunan alanlardaki mevcut akkor flamanlı lambaları tasarruflu ampullerle değiştirme zorunluluğu getirilmiştir. 2011 yılında yürürlüğe konulan 28097sayılı Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmeliğe 2014 yılında yapılan ek ile tüzel kişilerin gönüllü anlaşmalara başvurularında önceki yıllara ait enerji yoğunluğu değeri bir formül yardımıyla istenmiştir. Bu formüle göre hesaplanan enerji yoğunluğu ile taahhüt edilen enerji yoğunluğu değerinin azaltma oranının yüksek olmasının gönüllü anlaşma yapmak açısından dikkate alınacağı belirtilmiştir. Yönetmelikte yer alan formüle göre enerji yoğunluğu TEP cinsinden işletmenin yıllık toplam enerji tüketiminin 2000 yılı fiyatları ile bin (1000) Türk Lirası cinsinden, yıllık mal üretiminin ekonomik değerine bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

2012 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı koordinatörlüğünde kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımı ile “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023” hazırlanmıştır. Bu belge ile 2023 yılında Türkiye’nin enerji yoğunluğunun 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmiş ve enerji yoğunluğunun azaltılmasının önemi üzerinde durulmuştur. Sanayi sektörü özelinde ise belgenin yayımlanma tarihi olan 2012 yılı itibariyle 10 yıl içerisinde, her bir sanayi alt sektörünün indirgenmiş enerji yoğunluğunun, her bir alt sektör için %10’dan az olmamak şartıyla sektör işbirlikleri ile belirlenecek olan oranlarda azaltılması hedeflenmiştir.

2013 yılı itibariyle 2000 yılında ETKB ile gönüllü anlaşma imzalayan üç sanayi kuruluşundan ikisi referans enerji yoğunluğunu taahhüt ettikleri oranda düşürdüğü için destek ödemesi yapılmıştır (ETKB 2014). 2014 yılında ise destek ödemesi yapılan sanayi kuruluşu sayısı 2009 yılında gönüllü anlaşma yapılan bir işletme ve 2010 yılında gönüllü anlaşma yapılan dört işletme olmak üzere beşe çıkmıştır. Bununla birlikte 2014 yılı itibariyle yeni gönüllü anlaşma sayısı 2012 yılında iki ve 2013 yılında bir olmak üzere üç olmuştur (ETKB 2015).

Sanayi sektörü dünyada olduğu gibi Türkiye’de de enerji tüketiminin en yüksek olduğu sektör olduğu için ülkenin enerji tüketimi üzerindeki en önemli belirleyicilerden biridir. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre 2012 yılında sanayi sektörü toplam 159.207.541.038 kiloton eşdeğer petrol enerji tüketmiştir. 1963’ten 2012’ye kadar olan dönemde on yıllık ortalamalara bakıldığında ise en çok tüketimi IEA’nın sınıflamasında diğer⁵ olarak adlandırılan kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı, mobilya imalatı ve diğer

⁵ ISIC Rev. 4 sınıflandırmasına göre 22, 31 ve 32 numaralı alt sektörler.

imalatların toplamı almaktadır. Diğer imalat sektörünü ana metal sanayi izlemektedir ve bu iki sektör diğer sektörlerle nazaran açık bir şekilde daha fazla enerji tüketmektedir (Tablo 1).

Tablo: 1
Türkiye Sanayi Sektörü On Yıllık Ortalama Enerji Tüketimi (ktoe)

	1963-1972	1973-1982	1983-1992	1993-2002	2003-2012
Ana Metal Sanayi	315,6384	961,1639	1984,835	2731,495	3992,169
Kimyasallar ve Eczacılık Ürünleri	216,2726	556,2317	997,6678	1245,49	1822,918
Diğer Metalik Olmayan Ürünler	-	161,9021	406,6362	921,427	1708,562
Ulaşım Araçları	-	-	2,884	18,8639	71,1555
Makine ve Ekipmanlar	0,159	45,0627	109,3331	195,9709	365,9747
Madencilik ve Taş Ocakçılığı	-	15,5058	27,7264	50,697	105,2858
Yiyecek, İçecek ve Tütün	14,9881	363,086	844,2124	1040,621	1308,329
Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri ve Baskı	-	115,6969	219,4071	319,936	392,3667
Ağaç ve ağaç ürünleri	-	78,3202	141,9258	118,723	188,6972
İnşaat	17,8239	291,9143	1080,468	1381,008	2412,108
Tekstil ve Deri	15,7004	453,6558	757,3129	1219,221	1636,522
Diğer İmalatlar	1266,7399	2418,4587	2637,088	5891,49	8120,133
Toplam (Sanayi)	1847,3223	5460,999	9209,498	15134,94	22124,22

Kaynak: (IEA Veritabanı, 2014)Veri Tabanı Kullanılarak Hazırlanmıştır.

Tablo incelendiğinde sanayi sektörünün enerji kullanımını 3 gruba ayırmak mümkündür. Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı, mobilya imalatı ve diğer imalatların toplamı ile ana metal sanayi en çok enerji tüketen grup olurken, orta grup olarak değerlendirilebilecek sektörler inşaat, diğer metalik olmayan ürünler, kimyasallar, tekstil ve deri, yiyecek içecek ve tütün sektörü olmaktadır. Son olarak da kendi içinde zamanla değişiklikler olan üçüncü ve en az enerji kullanan grup içerisinde yer alan sektörler kâğıt, kâğıt ürünleri ve baskı sektörü, makine ve ekipmanlar, ağaç ve ağaç ürünleri, madencilik ve taş ocakçılığı ile ulaşım sektörüdür.

Veriler incelendiğinde enerji yoğun sektörlerden olan ana metal sanayi, diğer metalik olmayan ürünler, kimyasal ürünler gibi alt sektörlerin Türkiye sanayi sektörü enerji kullanımında büyük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bu sektörlerin üretim maliyetlerinde de enerji maliyetleri ciddi bir konuma sahiptir. Örneğin ana metal sanayinin bir alt kolu olan demir çelik sektörü %22 ile en büyük paya sahipken kimyasal sektörünün toplam maliyeti içinde enerjinin payı %12 civarındadır (Keskin & Ünlü, 2010).

Veriler ışığında diğer göze çarpan husus ise son dönemde inşaat sektörünün enerji kullanımı da yüksek bir oranda artmış olmasıdır. 2011 yılı itibarıyla kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı, mobilya imalatı ve diğer imalatların toplamı ile ana metal sanayi alt sektörlerini takip ederek en çok enerji tüketen üçüncü sektör durumuna gelmiştir. İnşaat sektörün incelenen dönemdeki büyümesi de dikkate alındığında bu artışın beklen bir artış olduğunu söylemek mümkündür.

Dünya Bankası’nın “Türkiye’de Enerji Tasarrufu Potansiyelini Kullanmak” başlıklı raporuna (2011) göre EİE verileri ışığında Türkiye sanayisinde ortalama enerji tasarrufu potansiyelinin en azından %20 olmakla beraber tekstil sektöründe elektrikte %57’lik, yakıt tüketiminde ise %30’luk bir tasarruf potansiyeli hesaplanmıştır.

4. Literatürde Enerji Yoğunluğu

Enerji yoğunluğu çalışmaları incelendiğinde enerji yoğunluğunu hesaplamak için endeks ayırıştırma yönteminin sıklıkla kullanıldığı göze çarpmaktadır. Bu konuda yapılan ilk çalışmalar 1990’lu yıllarda başlamakla birlikte literatürde 2000’li yıllarla birlikte daha fazla yer kaplamaya başlamıştır.

Enerji yoğunluğu hesaplamada ilk yapılan çalışmalardan birisi olan Ang ve Lee (1994), enerji tüketimine dayalı Divisia ayırıştırma yönteminin çeşitli metodolojik ve uygulamaya yönelik yanlarını beş ayrı yöntem kullanarak tartışmış ve ayırıştırma analizinin tek bir doğru yolu olmadığını belirtmişlerdir. Ang ise (1994) bu çalışmayı enerji yoğunluğuna dayalı ayırıştırma yöntemi kullanarak genişletmiştir. Bu çalışmaya göre eğer amaç sektörel enerji yoğunluğundaki değişikliklerin veya yapısal değişimin etkisini incelemek ise enerji yoğunluğuna dayalı Divisia ayırıştırma yöntemi yaklaşımını kullanmanın tüketime dayalı Divisia ayırıştırma yöntemi yaklaşımına göre daha uygun olduğunu açıklamıştır.

Ang ve Choi (1997) daha önceki çalışmalarda kullanılan Divisia endeks ayırıştırma yöntemini geliştirerek aritmetik ortalamadan oluşan ağırlık fonksiyonunu logaritmik fonksiyonla değiştirmişlerdir. Bu yeni yaklaşımı artırılmış (refined) Divisia endeks yöntemi olarak adlandırmışlar ve güncel çalışmalarda kullanılan logaritmik ortalama Divisia endeks (Logarithmic Mean Divisia Index - LMDI) yönteminin de temelini atmışlardır. Geliştirilen yöntem ile birlikte artık barındırmayan kusursuz (perfect) ayırıştırma elde edilebilmektedir. Çalışmada bu yöntemi Kore sanayisinin enerji ve karbon yoğunluklarını hesaplamak için kullanmışlardır. Benzer şekilde Sun (1998) 1973-1990 arası dünya enerji yoğunluğunu hesaplarken Laspeyres endeksini artırarak artık içermeyen kusursuz ayırıştırma yönteminin kullanılmasını önermiştir. Ang vd. (2003), Sun (1998) tarafından önerilen yöntemin Albrecht, Francois, ve Schoors (2002) tarafından önerilen Shapley ayırıştırma yöntemi eşdeğer olduğunu kanıtlamıştır ve ondan sonra bu yöntem Shapley/Sun yöntemi olarak adlandırılmıştır.

Ang (2004) endeks ayırıştırma yöntemlerini karşılaştırarak yöntem seçimi ile ilgili bir yönerge oluşturmuş ve logaritmik ortalama Divisia endeksi yaklaşımını biçimlendirmiştir. Ang’ın sınıflamasına göre çarpımsal grupta yer alan yöntemler endeks ayırıştırma analiziyle dolayısıyla da endeks sayı teorisiyle (index number theory) alakalı iken toplamsal grup yapısal ayırıştırma analizi yöntemli ile alakalıdır. Ang’a göre Divisia endeksi tabanlı LMDI hem uygulamada hem de teorik açıdan tercih edilen ayırıştırma yöntemi olmalıdır çünkü uyarlanabilirliğe ve kullanım kolaylığına sahiptir, verideki sıfır değerlerini kullanmayı mümkün kılmaktadır ve sonuç yorumlama kolaylığına sahiptir. Bununla birlikte Laspeyres tabanlı bir ayırıştırma kullanılmak istendiğinde ise değiştirilmiş Fisher İdeal endeksi veya Shapley/Sun yönteminin kullanılması gerektiğini eklemiştir.

Bu süreçten itibaren endeks ayırıştırma yöntemi ve özellikle de LMDI yukarıda bahsedilen avantajları nedeniyle enerji yoğunluğu çalışmalarında sıklıkla tercih edilmiştir. Bu eğilime örnek olarak Hollanda imalat sanayi enerji yoğunluğu için Ramirez, Patel ve

Blok, (2005), Çin için Ma ve Stern (2008), Liao ve Wei (2010) ile Hasanbeigi ve diğerleri (2013), Güney Afrika için Inglesi-Lotz ve Pouris (2012), Avustralya için Shahiduzzaman ve Alam'ın (2013) çalışmalarını vermek mümkündür. Benzer şekilde Voigt ve diğerlerinin (2014) LMDI yöntemini kullanarak 40 ülke için Dünya Girdi Çıktı Veri Setinden (World Input Output Database) yararlanarak 1995-2007 yılları için küresel enerji yoğunluğu eğilimini incelemişler ve toplam enerji yoğunluğunun daha çok teknolojik değişme ile arttığını bulmuşlardır. Buna karşın Zhao ve diğerleri (2014) Japonya ve Çin'in imalat sanayini LMDI yöntemi ile karşılaştıran çalışmalarında her iki ülkede de enerji yoğunluğunun azalmasında verimlilik etkisinin önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir.

Choi ve Ang (2012) literatürde yer alan mevcut yöntemlere kıyasla daha derinlemesine analiz yapılmasını sağlayan ve LMDI yöntemine dayalı yeni bir ayırıştırma yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşıma göre, enerji ve çevre literatüründe baskın olan Divisia endeks ayırıştırma analizi yöntemi daha da genişletilerek alt sektörlerin reel enerji yoğunluğu endeksine katkısını görebilmek ve analizindeki değişimlerin niteliğini bulmak mümkün olmaktadır. Choi ve Ang (2012) bu yöntemi geliştirirken toplamsal ayırıştırma (toplamın yüzde değişimini bu değişikliklerle ilgili kaynaklara dağıtmayı) enerji literatürüne sokmayı amaçlamıştır. Ancak toplamsal ayırıştırma terimi literatürde halihazırda kullanıldığı için (toplam enerji yoğunluğunu reel enerji yoğunluğu endeksi ile sanayi yapısı endeksine dağıtmak için) olası karışıklıkları önlemek için geliştirdikleri bu yöntemde endeks ayırıştırma analizi ile enerji çalışmalarını niteliklendirme analizi olarak adlandırılmıştır. Yaklaşım ilk aşamada standart hesaplamaları yaparken bu hesaplamaları temelinde geometrik ortalama ve zincir hesaplamaya dayalı olan Divisia endeksini Reisendorf, Diewert ve Ehemann'nın (2002) tekniğinden yararlanarak aritmetik ortalama endeksine dönüştürerek bir adım ileriye götürmektedir. Böylelikle Divisia endeksi ile ölçülen reel enerji yoğunluğunun yüzdesel değişimine her alt birimin katkısını bulmak mümkün olmakta ve literatürde kullanılan mevcut yöntemlere kıyasla daha derin bir analiz yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu yaklaşım görece yeni bir yaklaşım olmasına rağmen literatürde kendine yer bulmaya başlamıştır. Gonzalez ve diğerleri (2013) 20 Avrupa ülkesi için 1995 ile 2010 yılları arasında toplam enerji yoğunluğunu hesaplayarak her bir sektörün katkısını da bulmuşlardır. Choi ve Oh (2014) ise Kore imalat sanayi için genişletilmiş Divisia ayırıştırma analizi yöntemini kullanmış ve on alt sektörün imalat sanayi reel enerji yoğunluğuna katkılarını hesaplamışlardır.

Enerji yoğunluğu çalışmalarında endeks ayırıştırma analizi yöntemi sıklıkla kullanılsa da başka yöntemler de literatürde kendine yer bulmaktadır. Su ve Ang (2012) endeks ayırıştırma analizi ile yapısal ayırıştırma analizini karşılaştırdığı çalışmasında 2000-2010 yılları arasında formülasyonda ve uygulamada esneklik sağlayan endeks ayırıştırma analizi yönteminin enerji ve karbon salımı ile ilgili yaklaşık 200 dergi makalesine konu olduğunu buna karşın yapısal ayırıştırma yönteminin ise aynı yıllar içinde 40 dergi makalesine konu olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte sadece parasal değişkenlerle değil fiziksel değişkenleri kullanarak da enerji yoğunluğunu hesaplayan çalışmalar vardır. Örneğin Reddy ve Ray (2011) Shapley/Sun yöntemini fiziksel değişkenlere uygulayarak Hindistan'ın sanayi sektörünün enerji yoğunluğundaki değişimleri hesaplamıştır. Okajima ve Okajima (2013)

Japonya’nın ulusal ve bölgesel boyutta enerji yoğunluğunu inceledikleri çalışmasında Fisher Ideal Endeksini kullanmıştır.

Türkiye için ayırıştırma yöntemi kullanılarak enerji yoğunluğunun hesaplandığı çalışmalar görece az olsa da yapılan çalışmaların sayısı son yıllarda artmaktadır. Ediger ve Huvaz (2006) toplamsal LMDI yöntemini kullanarak Türkiye’nin sektörel enerji kullanımını üç sektör (tarım, sanayi ve hizmet sektörü) verisiyle 1980-2000 yılları için analiz etmiştir. Çalışmanın sonucuna göre uygulanan ekonomi politikaları doğrultusunda yıllar arasında farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir. Aşık, Tunç ve Akbostancı (2008) Türkiye imalat sanayinde enerji kullanımını incelemiş ve toplamsal LMDI ayırıştırma yöntemini kullanmış, 1992-2001 yılları için imalat sanayi anketlerinden faydalanan enerji yoğunluğunu hesaplamışlardır. Hesaplamalar sonucunda 1993-1996 yılları arasında enerji yoğunluğunun arttığını, 1997-2001 yılları arasında ise enerji yoğunluğu serisinin daha durağan seyrettiğini bulmuşlardır. Ertuğrul (2010) 1975-2010 dönemi için LMDI yöntemi kullanmış ve tarım, sanayi, hizmet sektörü verisinden faydalanan enerji verimliliği serisi hesaplamıştır. Yılmaz ve Atak (2010) dört sektör (tarım, ulaştırma, sanayi ve servis sektörü) verisi kullanarak 1980-2005 yılları için ayırıştırma yöntemi kullanarak beşer yıllık dönemler için Türkiye’nin enerji kullanımını incelemiştir. Çalışmanın sonucunda enerji yoğunluğu etkisinin dönemler boyunca negatif artan eğilim izlediğini ancak son beş yıllık dönemde pozitif bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Yılmaz, Kelleci ve Bostan (2016), 1970-2013 yılları için sektörel enerji tüketimini ayırıştırma analizi kullanarak incelemiştir. Akbostancı, Tunç ve Türüt-Aşık (2018) ise 1990-2013 yılları için beş sektörün karbon emisyonlarını LMDI yöntemiyle analiz etmiştir.

5. Metodoloji ve Ampirik Analiz

Bu bölümde Türkiye 2003-2011 yılları verilerini kullanarak Türkiye sanayi enerji yoğunluğu hesaplanacaktır. Türkiye sanayi enerji yoğunluğuna alt sektörlerin de katkısını gözlemleyebilmek için Choi ve Ang (2012) tarafından geliştirilen “Genişletilmiş LMDI Ayırıştırma Analizi Yöntemi” kullanılacaktır. Alt sektörlerin katkısını bulmadan önce Ang (1994), Ang ve Choi (1997) tarafından önerilen LMDI ayırıştırma analizi yöntemi ile sektörün toplam enerji yoğunluğu bulunacaktır. Bu noktada öncelikle enerji yoğunluğundaki değişim hem tek dönem (single period) olarak hem de çoklu dönem (multi-period) için hesaplanacak ve yapısal etki ve reel enerji yoğunluğu etkisi olarak ikiye ayrıştırılacaktır.

Bu noktada parantez açmak gerekirse LMDI ayırıştırma analizi yönteminin ağırlık fonksiyonuna bağlı olarak Montgomery-Vartia veya LMDI-I ve Sato-Vartia veya LMDI-II olarak adlandırılan iki ayrı yorumu bulunmaktadır. Bu çalışmada LMDI-II olarak da adlandırılan Sato-Vartia yaklaşımından yararlanılacaktır. Bunun temel nedeni genişletilmiş analiz için geometrik ortalamanın gerekmesidir. LMDI-I için endeksin ağırlıklarının toplamı bire yakın olsa da, her zaman bir olmamakta bu bakımdan da tam bir geometrik ortalama olarak adlandıramamaktadır. Bu sorun LMDI-II endeksi için ise olmadığından uygulamada tercih edilmiştir.

Sanayi sektörünün ve alt sektörlerinin enerji tüketim verileri Uluslararası Enerji Ajansı veri tabanından alınmıştır. Sanayi üretimi alt sektörlerin verisi ise TÜİK’ten alınmıştır. Veri setinde enerji tüketimi kiloton eşdeğer petrol (ktoe) olmak üzere enerji terimiyle ifade edilirken sanayi üretimi ise reel katma değer ile ölçülmüştür. Katma değer kullanılmasının temel nedeni tüm sektörler ve alt sektörler için uygulanabilir olması ve bunun sonucunda da etkinlik aktivite düzeyi ile etkinlik yapısının kolaylıkla hesaplanabilir olmasındandır (Ang & Xu, 2013). Sanayi sektörünün alt sektörleri olarak ise şu sektörler kullanılmıştır: Ana Metal Sanayi, Kimyasallar ve Eczacılık Ürünleri, Diğer Metalik Olmayan Ürünler, Ulaşım Araçları, Makine ve Ekipmanlar, Madencilik ve Taş Ocakçılığı, Yiyecek, İçecek ve Tütün, Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri ile Baskı, Ağaç ve Ağaç ürünleri, İnşaat, Tekstil ve Deri, Diğer İmalatlar (Kauçuk ve Plastik Ürünlerin İmalatı, Mobilya İmalatı ile Diğer İmalatların toplamı).

Veriler incelendiğinde 2003-2011 yılları arasında toplam sanayi enerji tüketimi (E) %19 artarken, toplam sanayi reel katma değeri (Y) %33 artmıştır. Toplam enerji yoğunluğu ise (E/Y) ise 2003 yılına göre 2011 yılında %11 azalmıştır. Toplam enerji yoğunluğunun logaritmik ortalama Divisia Endeksi’nin Sato-Vartia ağırlıklandırmasına göre ayrıştırılması ile elde edilen tek dönemlik (taban yıl bir önceki yıl) ve çoklu dönem (taban yıl 2003) ayrıştırma sonuçları ise Tablo 2’de verilmiştir. Tabloda toplam enerji yoğunluğu endeksinde düşüş meydana gelmesi enerji verimliliğinde artış anlamına gelmektedir.

Tablo: 2
LMDI Ayrıştırma Analizine Göre Toplam Enerji Yoğunluğundaki Değişim

Yıllar	Tek Dönem Analizi			Çoklu Dönem Analizi		
	Reel Enerji Yoğunluğu Etkisi	Yapısal Etki	Toplam Enerji Yoğunluğu	Reel Enerji Yoğunluğu Etkisi	Yapısal Etki	Toplam Enerji Yoğunluğu
2003	1	1	1	1	1	1
2004	0,9130804	1,017843	0,9293728	0,9130804	1,017843	0,9293728
2005	1,2592044	0,936292	1,17898319	1,149754948	0,952999	1,095714905
2006	0,8930088	1,026902	0,91703208	1,026741248	0,978636	1,00480572
2007	1,0509256	1,002881	1,05395358	1,079028653	0,981455	1,059018588
2008	0,6642156	1,04732	0,69564649	0,716707714	1,027898	0,736702565
2009	1,3140227	0,910779	1,19678401	0,94177024	0,936188	0,881673851
2010	1,0670294	1,060551	1,13163961	1,004896575	0,992875	0,997737057
2011	0,8857917	1,009466	0,89417669	0,890129057	1,002274	0,892153214

Tablo 2 incelendiğinde göze çarpan ilk bulgulardan birisi tek dönem de hem de çoklu dönemde 2007 yılında yürürlüğe giren enerji verimliliği kanunun da etkisiyle 2008 yılında toplam enerji yoğunluğunda hızlı bir düşüş meydana gelmiştir. Ancak, bu hızlı düşüşten sonra 2009 yılında küresel krizin de etkisiyle enerji yoğunluğu artmış, 2010 ve 2011 yıllarında ise toplam enerji yoğunluğu tekrar azalmaya başlamıştır. Bunun yanı sıra, hem tek dönemde hem de çoklu dönemde reel enerji yoğunluğu etkisi ile toplam enerji yoğunluğu paralel hareket ederken, yapısal etkideki dalgalanmanın daha az olduğu göze çarpmaktadır. Bu bakımdan sanayi sektörünün 2003-2011 yılları boyunca enerji verimliliğinde meydana gelen artışın sektörün yapısından kaynaklı etki yerine daha çok reel enerji etkisinden kaynaklandığını söylemek mümkündür.

2003 yılı baz alındığında 2011 yılı itibariyle toplam enerji yoğunluğu endeksi 1’den 0,89’a düşmüş, yani enerji verimliliği 2003 yılına göre %11 artmıştır. Bu verimlilik artışının

tamamı ise sektör yapısından değil, reel enerji yoğunluğundan kaynaklanmıştır. Benzer şekilde 2010 yılına göre de veri setindeki son yıl olan 2011 yılında yaklaşık %21’lik artış ile toplam enerji verimliliği hızlı bir şekilde artmış ve bu artış hem yapısal etkiden hem de reel enerji yoğunluğu etkisinden kaynaklansa da artışın büyük bir kısmı reel enerji yoğunluğu etkisinden kaynaklanmıştır.

Yapısal değişim etkisi değerlendirildiği 2003 yılında 1 olan endeks 2011 yılında çok az da olsa artarak 1,002 olmuştur. Bu durum ise sanayi sektörünün yapısal değişiminin enerji verimliliğini çok düşük bir seviyede de olsa olumsuz olarak etkilediğini ortaya koymaktadır. Küresel kriz ertesinde de 2010 ve 2011 yıllarında sektörel yapının bir önceki yıla göre olumsuz etkilediği de tablodan görülmektedir.

2008 yılında enerji verimliliğinde meydana gelen artıştan hemen sonra 2009 yılında yaşanan keskin bir düşüş tablo incelendiğinde ortaya çıkan sonuçlardan bir diğeridir. 2008 yılında meydana gelen keskin düşüşün temel nedeni sanayi sektörünün enerji kullanımı düşerken katma değer bu yıl için artmasıdır. Böylelikle katma değer başına kullanılan enerji ciddi bir oranda azalmıştır. Enerji düşüşünde meydana gelmesindeki temel neden ise hiç kuşkusuz küresel krizin etkisiyle sanayi şirketlerinin enerji kullanımını azaltmasıdır.

IEA’nın 2009 tarihli finansal ve ekonomik krizin enerji yatırımları üzerine yayımladığı rapora göre 2009 yılında enerji yatırımları keskin bir biçimde düşmüştür. Özellikle düşük fiyatlar ve sıkı krediler enerji yatırımlarının cazibesine yitirmesine neden olmuş ve yatırımlardaki bu azalma enerji verimliliği yatırımlarını da etkilediğinden enerji verimliliğinin de azalmasına sebep olmuştur. Buna karşın finansal kriz ertesinde, krize önlem olarak açıklanan teşvik paketlerinin enerji, verimliliği ve temiz enerjiyi desteklemesi, kamu kesiminin enerji verimliliğine yatırımları arttırması ile enerji yoğun sektörlerde enerji verimliliğini arttırıcı sanayi politikalarına yönelmesi sonucunda küresel finansal krizin enerji verimliliği üzerinde olumlu etkileri de olmaktadır (IEA, 2009a).

Tüm bu etmenler birlikte değerlendirildiğinde, enerji sektörüne olan yatırımların düştüğü 2009 yılında enerji verimliliğinde meydana gelen düşüş küresel eğilimler ile paralellik göstermektedir. Benzer şekilde 2009 yılından sonra 2010 ve 2011 yıllarında enerji verimliliğinde meydana gelen artışın da uluslararası değerlendirmeler göz önüne alınırsa, beklenen doğrultuda gerçekleşmiş olduğunu söylemek mümkün olmaktadır.

Tek dönem analizinde 2011 yılı haricinde tüm yıllarda, çoklu dönem analizinde ise 2010 yılı haricinde tüm yıllarda reel enerji etkisi ile yapısal etki ters yönlü hareket etmektedir. Bu sonuç, Aşık, Tunç ve Akbostancı (2008) çalışmasının sonuçlarından birisi olan 1994 yılı sonrasında iki etkinin birbirine ters olduğu sonucu ile de uyumludur. Tüm bunlara ek olarak, LMDI ayırıştırma analizi sonucunda reel enerji etkisinin yapısal etkiye göre toplam enerji yoğunluğunu belirlemede daha baskın olduğunu söylemek mümkündür. Toplam enerji yoğunluğu reel enerji yoğunluğuyla aynı doğrultuda değişmektedir. Bu sonuç ise Gonzalez ve diğerleri (2013)’nin çalışmasında belirttiği gibi OECD ülkeleri için elde edilebilen bir sonuçtur.

Yukarıda gerçekleştirilen LMDI ayırıştırma analizini derinleştirerek toplam enerji yoğunluğunun bir parçası olan reel enerji yoğunluğu etkisinin değişimlerinin niteliğini, yani 2003-2011 yılları arasında hangi alt sektörlerin bu değişime ne kadar katkı sağladığını bulmak mümkündür.

Tek dönemlik analizi baz alarak, reel enerji yoğunluğu etkisi için yapılan genişletilmiş LMDI analizinin sonuçlarını Tablo 3 yardımıyla aşağıda gösterilmiştir. Tabloda her bir yıl için her bir alt sektörün sunduğu katkının toplamı o yıl için reel enerji yoğunluğunda meydana gelen değişimi vermektedir. Böylelikle enerji yoğunluğunun belirleyicilerinden biri olan reel enerji yoğunluğundaki değişimlerin niteliğini gözlemlemek mümkün hale gelmiştir.

Tablo: 3
Reel Enerji Yoğunluğu Değişimlerinin Niteliği (Yüzdelik-Tek Dönem)

Yıllar	Ana Metal Sanayii	Kimyasallar ve Eczacılık Ürünleri	Diğer Metalik Olmayan Ürünler	Ulaşım Araçları	Makine ve Ekipmanlar	Madencilik ve Taş Ocaklığı	Yiyecek, İçecek ve Tütün	Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri ve Baskı	Ağaç ve Ağaç Ürünleri	İnşaat	Tekstil ve Deri	Diğer İmalatlar	TOPLAM (SANAYİ)
2004	-3,902	2,852	-0,537	0,086	-0,283	-0,023	-0,406	-0,481	0,020	1,703	-0,526	-7,197	-8,692
2005	9,404	6,349	0,420	0,075	0,124	0,151	1,003	-0,227	-0,011	0,062	1,898	6,673	25,920
2006	-6,500	-1,843	-1,104	-0,087	-0,180	-0,138	-0,208	0,114	0,046	-2,452	-0,405	2,058	-10,699
2007	3,855	-1,828	0,686	-0,042	0,158	0,090	0,421	0,006	0,004	1,186	0,499	0,058	5,093
2008	-7,074	-3,170	3,872	0,040	0,460	-0,237	-1,085	-0,048	0,110	1,219	-1,329	-26,337	-33,578
2009	20,175	0,958	2,428	0,154	-0,176	0,000	0,373	-0,046	2,288	-3,089	2,889	5,449	31,402
2010	-3,774	0,600	-0,537	-0,100	0,498	0,267	1,963	-0,097	-0,261	1,401	0,492	6,251	6,703
2011	-4,155	1,675	-1,717	0,715	-0,256	0,044	1,605	0,158	-1,158	-0,685	-1,377	-6,267	-11,421

Tablodaki son sütun yani sanayide meydana gelen toplam değişimi gösteren kısım ise bir önceki tabloda hesaplanan reel enerji yoğunluğu endeks değerinin yüzde olarak değişimini vermektedir. İncelenen dönemde, detaylı olarak ayırıştırılmış alt-sektör verileri yardımıyla reel enerji yoğunluğuna her bir alt sektörün yüzdesel olarak katkısını görebilmek mümkün olmaktadır.

Reel enerji yoğunluğunu niteliklendirme sonuçlarından da net bir şekilde görüldüğü üzere reel enerji yoğunluğunun dalgalı bir seyir izlemektedir. İncelenen dokuz yıllık dönemde toplam sanayi reel enerji yoğunluğu 2004, 2006, 2008 ve 2011 yıllarında azalırken diğer yıllarda artmış ve bu değişimlere her bir alt sektör farklı katkılar sunmuştur.

Öncelikle reel enerji yoğunluğunun arttığı yılları incelemek gerekirse 2005 yılında bu artışa ilk sırada ana metal sanayi, kimyasallar ve eczacılık ürünleri sanayi ile birden fazla alt sektörü bünyesinde barındıran diğer imalat sanayini olmak üzere üç temel sektörün büyük oranda katkı yaptığını söylemek mümkündür. Benzer şekilde artışın olduğu diğer yıllar olan 2007 ve 2009 yıllarında da reel enerji yoğunluğunda meydana gelen artıştaki en büyük katkı ana metal sanayinden kaynaklanmıştır. Ancak bu yıldan sonra ana metal sanayi reel enerji yoğunluğunu azaltıcı katkı sağlamaya başlamıştır. Artışın gerçekleştiği son yıl olan 2010 yılında ise diğer imalat sektörü en yüksek katkıyı sunmuştur.

Reel enerji yoğunluğunun azaldığı yıllar olan 2004, 2008 ve 2011 yıllarında yine azalıştaki en büyük katkısı tıpkı artış yıllarında olduğu gibi ana metal sanayi ile diğer imalat sektörü sunmuştur. Azalışın olduğu diğer yıl olan 2006 yılında ise ana metal sanayi reel enerji yoğunluğunu artırıcı etki yapmışken diğer imalat sanayi ise azaltıcı etki sunmuştur ancak ana metal sanayi daha baskındır. Dolayısıyla mutlak değer olarak bakıldığında da sanayi sektörü reel enerji yoğunluğuna en çok katkıyı sunan alt sektörler ana metal sanayi ile diğer imalat sektörü olmaktadır. Özellikle ana metal sanayinin enerji yoğun bir sektör olması bu sonucu beklenir kılmaktadır.

Tablo: 4

Reel Enerji Yoğunluğu Değişimlerinin Niteliği (Yüzdelik-Çoklu Dönem)

Yıllar	Ana Metal Sanayi	Kimyasallar ve Eczacılık Ürünleri	Diğer Metalik Olmayan Ürünler	Ulaşım Araçları	Makine ve Ekipmanlar	Madencilik ve Taş Ocaklığı	Yiyecek, İçecek ve Tütün	Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri ve Baskı	Ağaç ve Ağaç Ürünleri	İnşaat	Tekstil ve Deri	Diğer İmalatlar	TOPLAM (SANAYİ)
2004	-3,902	2,852	-0,537	0,086	-0,283	-0,023	-0,406	-0,481	0,020	1,703	-0,526	-7,197	-8,692
2005	4,685	8,649	-0,154	0,155	-0,169	0,115	0,510	-0,688	0,011	1,760	1,206	-1,103	14,976
2006	-2,789	6,530	-1,424	0,055	-0,376	-0,044	0,271	-0,557	0,063	-1,059	0,740	1,263	2,674
2007	1,170	4,653	-0,720	0,013	-0,213	0,048	0,703	-0,551	0,067	0,159	1,253	1,323	7,903
2008	-6,464	1,233	3,459	0,055	0,283	-0,207	-0,467	-0,603	0,186	1,474	-0,182	-27,096	-28,329
2009	7,996	1,919	5,199	0,166	0,157	-0,207	-0,200	-0,636	1,826	-0,740	1,889	-23,190	-5,823
2010	4,441	2,485	4,693	0,071	0,626	0,044	1,649	-0,727	1,580	0,579	2,352	-17,304	0,490
2011	0,266	4,167	2,967	0,789	0,369	0,088	3,261	-0,568	0,416	-0,109	0,968	-23,601	-10,987

Zincir endeks yoluyla oluşturulan çoklu dönem genişletilmiş reel enerji yoğunluğu LMDI ayırıştırma yöntemi sonuçları ise Tablo 4’de sunulmuştur. 2003 yılından itibaren kümülatif yüzde değişimi veren bu tablo incelendiğinde 2007 yılından itibaren kümülatif enerji verimliliğinde, küresel kriz sonucunda yatırımlardaki düşüşü de içeren 2010 yılındaki ufak artış göz ardı edildiğinde, düşüş eğilimi olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 4 incelendiğinde dikkat çeken bir diğer husus ise makine ve ekipman alt sektörü ile diğer metalik olmayan ürünler alt sektörünün 2007 yılından önce reel enerji yoğunluğunu azaltıcı etki yapmasına rağmen bu yıldan itibaren reel enerji yoğunluğunu arttırmaktadırlar. Diğer imalat sanayi ise 2006 ve 2007 yılları haricinde kümülatif olarak reel enerji yoğunluğunu azaltıcı etki yapmıştır. Bir önceki tablonun aksine ana metal sanayi de kümülatif yüzde değişimde reel enerji yoğunluğuna ortalamada daha düşük bir katkı sağlamaktadır.

Tıpkı tek dönemin baz alındığı analiz gibi çoklu dönemin baz alındığı genişletilmiş analizde de olduğu gibi enerji verimliliği yılı ilan edilen ve enerji verimliliği kanunun yürürlüğe girdiği yılın ertesi yıl olan 2008 yılında reel enerji yoğunluğunda ciddi bir düşüş olduğu göze çarpmaktadır. 2008 yılını takiben, finansal krizin de olumsuz etkilerini gösterdiği 2009 yılında da reel enerji yoğunluğunda azalış devam etmiştir ki bu artış tek dönemin baz alındığı durumda gözükmemektedir.

Reel enerji yoğunluğuna uygulandığı gibi toplam enerji yoğunluğu endeksinin bir diğer bileşimi olan yapısal değişim etkisine de genişletilmiş analiz uygulanarak, her bir sektörün katkısının niteliğini gözlemlemek mümkün olmaktadır. Tablo 5’de tek dönem

analizi için yapısal etki endeksinin değişimlerin niteliği yüzdelik olarak verilmiştir. Reel enerji yoğunluğu etkisinin ayırıştırmasında olduğu gibi yapısal değişim etkisinin ayırıştırılmasında da tablodaki son sütun yani sanayide meydana gelen toplam değişimi gösteren kısım en başta hesaplanan yapısal etki endeks değerinin yüzde olarak değişimini vermektedir.

Tablo: 5
Yapısal Etki Değişimlerin Niteliği (Yüzdelik-Tek Dönem)

Yıllar	Ana Metal Sanayii	Kimyasallar ve Eczacılık Ürünleri	Diğer Metalik Olmayan Ürünler	Ulaşım Araçları	Makine ve Ekipmanlar	Madencilik ve Taş Ocaklığı	Yiyecek, İçecek ve Tütün	Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri ve Baskı	Ağaç ve Ağaç Ürünleri	İnşaat	Tekstil ve Deri	Diğer İmalatlar	TOPLAM (SANAYİ)
2004	3,170	-0,833	0,821	0,025	0,071	0,028	-0,591	-0,048	0,010	-0,392	-0,856	0,382	1,784
2005	-4,603	-3,040	0,791	-0,014	0,117	0,002	0,125	0,390	0,136	2,296	-0,863	-1,706	-6,371
2006	4,565	-0,545	0,322	-0,026	-0,003	0,161	-0,714	-0,281	-0,104	1,447	-0,688	-1,444	2,690
2007	-1,302	-0,381	0,105	0,010	0,001	-0,001	0,309	0,029	0,146	-0,224	-0,424	2,018	0,288
2008	5,725	0,232	-1,766	-0,006	0,057	-0,017	-0,171	-0,209	-0,101	0,854	-0,890	1,023	4,732
2009	-14,390	0,738	-0,624	-0,013	0,116	0,014	0,873	0,300	0,049	0,768	0,090	3,156	-8,922
2010	7,452	0,041	0,600	0,003	-0,145	0,093	-0,521	-0,115	0,096	-0,777	0,234	-0,906	6,055
2011	3,619	-0,795	-0,255	0,000	0,024	0,148	-1,147	-0,175	-0,172	0,497	0,202	-0,999	0,947

Yapısal etki değişimlerinin niteliği incelendiğinde enerji yoğun bir sektör olan ana metal sanayinin mutlak değerce yapısal etkiye incelenen diğer alt sektörlerle göre en çok katkı sunan sektör olduğu göze çarpmaktadır. Özellikle krizin etkilerinin yoğun olarak izlendiği 2009 yılında sektörel etki endeksinin %8,9 azalmasına katkısı %14 olarak meydana gelmiştir.

Yapısal etki değişimlerinin niteliğini kümülatif olarak veren Tablo 6’ya göre ise, yine mutlak değerce en çok katkıyı sunan sektör ana metal sanayi olmaktadır. Ancak bu tabloda diğer tablolardan daha belirgin olarak inşaat sektörünün kümülatif olarak her geçen yıl sektörel yapı endeksinde pozitif katkı sağladığını, dolayısıyla da enerji verimliliğinde dolaylı olarak da geriletici bir katkı sağladığı görülmektedir.

Tablo: 6
Yapısal Etki Değişimlerin Niteliği (Yüzdelik-Çoklu Dönem)

Yıllar	Ana Metal Sanayii	Kimyasallar ve Eczacılık Ürünleri	Diğer Metalik Olmayan Ürünler	Ulaşım Araçları	Makine ve Ekipmanlar	Madencilik ve Taş Ocaklığı	Yiyecek, İçecek ve Tütün	Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri ve Baskı	Ağaç ve Ağaç Ürünleri	İnşaat	Tekstil ve Deri	Diğer İmalatlar	TOPLAM (SANAYİ)
2004	3,170	-0,833	0,821	0,025	0,071	0,028	-0,591	-0,048	0,010	-0,392	-0,856	0,382	1,784
2005	-1,516	-3,928	1,626	0,011	0,190	0,029	-0,464	0,349	0,148	1,945	-1,735	-1,355	-4,700
2006	2,834	-4,447	1,932	-0,014	0,187	0,183	-1,144	0,081	0,049	3,323	-2,390	-2,732	-2,136
2007	1,560	-4,820	2,035	-0,004	0,189	0,182	-0,841	0,110	0,192	3,104	-2,806	-0,756	-1,854
2008	7,179	-4,592	0,302	-0,009	0,244	0,165	-1,009	-0,095	0,093	3,942	-3,679	0,248	2,790
2009	-7,612	-3,833	-0,339	-0,022	0,364	0,179	-0,111	0,214	0,143	4,731	-3,586	3,492	-6,381
2010	-0,636	-3,795	0,222	-0,020	0,228	0,266	-0,600	0,106	0,233	4,004	-3,367	2,644	-0,712
2011	2,957	-4,584	-0,031	-0,019	0,252	0,413	-1,739	-0,068	0,063	4,497	-3,166	1,652	0,227

Negatif katkının enerji verimliliğinde bir iyileşme olduğu varsayıldığında bazı alt sanayi kollarının sanayi yapısı endeksinde negatif katkıları göze çarpmaktadır. Özellikle kimyasallar ve eczacılık ürünleri incelenen dönem olan 2003-2011 yılları arasında her yıl

yüksek oranlarda katkı sunmuştur. İncelenen dönemdeki benzer katkıları yiyecek, içecek ve tütün sektöründe ve tekstil ile deri sektöründe gözlemek mümkündür Ulaşım araçları sektörü de 2005 yılından itibaren kümülatif olarak negatif katkı sunmaktadır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada logaritmik ortalama Divisia endeks ayırıştırma yöntemi kullanılarak 2003-2011 yılları için Türkiye sanayi sektörü toplam enerji yoğunluğu hesaplanmış ve toplam enerji yoğunluğu reel enerji yoğunluğu etkisi ve yapısal değişim etkisi olarak ikiye ayrıştırılmıştır. Buna ek olarak, reel enerji yoğunluğunda ve sanayi yapısında meydana gelen değişimlerin niteliği genişletilmiş logaritmik ortalama Divisia endeks ayırıştırma yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve böylelikle her bir alt sektörün reel enerji yoğunluğuna toplam katkısı hesaplanmıştır.

Ayrıştırma sonuçlarına göre enerji verimliliği Türkiye sanayisinin toplam enerji yoğunluğunu azaltmasında ürün bileşimi etkisine göre daha baskın olmaktadır. Bununla birlikte, incelenen dönem olan 2003-2011 yılları arasında toplam enerji verimliliği %11 artmış ve bu artış reel enerji yoğunluğu etkisinden kaynaklanmıştır.

Bununla birlikte enerji yoğunluğunun dalgalı bir seyir izlediğini söylemek mümkündür. Her ne kadar 2003 yılına göre analizin yapıldığı son yıl olan 2011 yılında enerji yoğunluğu azalmış, yani enerji verimliliği artmış gözükse de bu dönem zarfında reel enerji yoğunluğu ve bağlantılı olarak toplam enerji yoğunluğu bir önceki yıla göre bazı yıllar artmış, bazı yıllar da azalmıştır. Benzer bir dalgalı seyir 2003 yılının baz alındığı çoklu dönem analizinde de vardır.

Tek dönem reel enerji yoğunluğunun kullanıldığı genişletilmiş analizde ise sanayi sektörü reel enerji yoğunluğuna en çok katkısı sunan alt sektörlerin enerji yoğun bir sektör olan ana metal sanayi ile diğer imalat sektörü olduğu göze çarpmıştır. Buna karşın, zincir endeks yoluyla oluşturulan çoklu dönem genişletilmiş analizde ana metal sanayinin ortalama katkısı diğer imalat sektörü ile kimyasallar ve eczacılık sektörüne göre daha düşük kalmıştır.

2007 yılında yürürlüğe giren enerji verimliliği kanunun sonrasında enerji verimliliği yılı ilan edilen 2008 yılında toplam enerji yoğunluğunda ve reel enerji yoğunluğunda meydana gelen düşüş göze çarpmaktadır. Ancak, bu hızlı düşüşten sonra enerji yoğunluğunda meydana gelen artış sanayide enerji verimliliğini arttırmaya yönelik önlemlerin etkili olduğunu fakat kalıcı olmadığını da işaret etmektedir.

Reel enerji verimliliğinde meydana gelen dalgalanmaların sadece enerji verimliliği ile açıklanamayacağı açıktır. Bu dalgalanmalar küresel eğilimlerin, ülkelerin ekonomi ve enerji politikaları ile ülkesel ve sektörel büyümenin etkisini de içinde bulunduğu ortak pek çok etmen kapsamında değerlendirmenin daha doğru olduğu analiz ile ortaya çıkan bir diğer sonuç olmuştur.

2011 yılı itibarıyla sanayide enerji verimliliğinde bir artış olduğu gözlemlense de bu artışın kalıcı olup devam edebilmesi için teşvikler, Ar-Ge çalışmaları daha enerji verimli teknolojilerin kullanılması için eylem planları gibi sürdürülebilir enerji verimliliği politikaları ile desteklenmesi faydalı olacaktır. Böylelikle sadece enerjinin verimli kullanılması sağlanmakla kalmayacak bununla birlikte ekonomik kalkınma da desteklenecek ve sera gazı salımının azalmasıyla da çevreye olan zarar azaltılabilecektir.

Bununla birlikte 2003-2011 yılları arasında ana metal sanayi ve kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı, mobilya imalatı ve diğer imalatların toplamını temsil eden diğer imalat sektörünün reel enerji yoğunluğuna olumlu ve olumsuz en çok katkıyı sunan sektörlerdir. Benzer şekilde ana metal sanayi alt sektörü yapısal değişim endeksine de en çok katkıyı sunan sektör olmaktadır. Dolayısıyla bir sonraki aşamada bu sektörlerin kendi dinamiklerinin araştırılması, gelecekte bu sektörlerden kaynaklanabilecek enerji verimliliği kazanımlarının sağlanması için de önemlidir. Bu sektörlerin aynı zamanda en çok enerji tüketen sektörler olması bakımından da politika yapıcılarının enerji verimliliği politikalarının başarısı açısından bu sektörlerle daha fazla önem vermesi gerektiği ise açıktır. Aynı durum yapısal etki endeksine kümülatif olarak yıldan yıla artarak katkı sunan inşaat sektörü için de geçerlidir.

Kaynaklar

- Akbostancı, E. & G.İ. Tunç & S. Türüt-Aşık (2018), "Drivers of Fuel Based Carbon Dioxide Emissions: The Case of Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(P2), 2599-2608.
- Albrecht, J. & D. Francois & K. Schoors (2002), "A Shapley Decomposition of Carbon Emissions without Residuals", *Energy Policy*, 30(9), 727-736.
- Ang, B.W. & X.Y. Xu (2013), "Tracking Industrial Energy Efficiency Trends Using Index Decomposition Analysis", *Energy Economics*, 40(C), 1014-1021.
- Ang, B.W. (1994), "Decomposition of Industrial Energy Consumption: The Energy Intensity Approach", *Energy Economics*, 16(3), 163-174.
- Ang, B.W. (2004), "Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which is the Preferred Method?", *Energy Policy*, 32, 1131-1139.
- Ang, B.W. & K.H. Choi (1997), "Decomposition of Aggregate Energy and Gas Emission Intensities for Industry: A Refined Divisia Index Method", *The Energy Journal*, 18(3), 59-73.
- Ang, B.W. & S. Lee (1994), "Decomposition of Industrial Energy Consumption: Some Methodological and Application Issues", *Energy Economics*, 16(2), 83-92.
- Ang, B.W. & F.L. Liu & H.S. Chung (2003), "Perfect Decomposition Techniques in Energy and Environmental Analysis", *Energy Policy*, 26, 1561-1566.
- Aşık, S.T. & G.İ. Tunç & E. Akbostancı (2008), "Türkiye İmalat Sanayiinde Enerji Kullanımı ve Kirlilik", *İktisat İşletme ve Finans*, 23(262), 5-16.
- Balk, B.M. (2004), "Decompositions of Fisher Indexes", *Economics Letters*, 82(1), 107-113.
- Choi, K.H. & B.W. Ang (2012), "Attribution of changes in Divisia real energy intensity index: An Extension to index decomposition analysis", *Energy Economics*, 34(1), 171-176.
- Choi, K.H. & W. Oh (2014), "Extended Divisia Index Decomposition of Changes in Energy Intensity: A Case of Korean Manufacturing Industry", *Energy Policy*, 65(2), 275-283.

- Dünya Bankası (2011), *Türkiye 'de Enerji Tasarrufu Potansiyelini Kullanmak*, ECSSD - Sürdürülebilir Kalkınma Bölümü, 52210 - TR.
- Ediger, V.Ş. & O. Huvaz (2006), "Examining the sectoral energy use in Turkish Economy (1980-2000) With the Help of Decomposition Analysis", *Energy Conversion and Management*, 47(6), 732-745.
- Ertuğrul, H.M. (2010), "Türkiye'de Enerji Sektöründeki Yapısal Reformların Enerji Verimliliği Üzerine Etkileri", *Enerji, Piyasa ve Düzenleme*, 1(2), 145-171.
- Gales, B. & A. Kander & P. Malanima & M. Rubio (2007), "North versus South: Energy Transition and Energy Intensity in Europe over 200 Years", *European Review of Economic History*, 11(2), 219-253.
- Gonzalez, P.F. & M. Landajo & M.J. Presno (2013), "The Divisia real energy intensity indices: Evolution and attribution of percent changes in 20 European countries from 1995 to 2010", *Energy*, 58, 340-349.
- Hasanbeigi, A. & L. Price & C. Fino-Chen & H. Lu & J. Ke (2013), "Retrospective and prospective decomposition analysis of Chinese manufacturing energy use and policy implications", *Energy Policy*, 63, 562-574.
- IEA (2014a), *Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making*, Paris: OECD/IEA.
- IEA (2014b), *Energy Policy Highlights*, Paris: OECD/IEA.
- IEA (2014c), *The Energy Efficiency Market Report 2014 Executive Summary*, Paris: OECD/IEA.
- IEA (2014d), *Tracking Clean Energy Progress 2014*, Paris: OECD/IEA.
- IEA Veritabanı (2014), "Energy Statistics of OECD countries: Beyond 2020 Documentation", OECD/IEA.
- Inglesi-Lotz, R. & A. Pouris (2012), "Energy efficiency in South Africa: A decomposition exercise", *Energy*, 42(1), 113-120.
- Keskin, T. & H. Ünlü (2010), *Türkiye 'de Enerji Verimliliğinin Durumu ve Yerel Yönetimlerin Rolü*, Heinrich Böll Stiftung.
- Liao, H. & Y.M. Wei (2010), "China's energy consumption: A perspective from Divisia aggregation approach", *Energy*, 35(1), 28-34.
- Ma, C. & D.I. Stern (2008), "China's Changing Energy Intensity Trend: A Decomposition Analysis", *Energy Economics*, 30(3), 1037-1053.
- Okajima, S. & H. Okajima (2013), "Analysis of Energy Intensity in Japan", *Energy Policy*, 61, 574-586.
- Ramirez, C.A. & M. Patel & K. Blok (2005), "The non-energy intensive manufacturing sector: An energy analysis relating to the Netherlands", *Energy*, 30(5), 749-767.
- Reddy, A. & J. Goldemberg (1990), "Energy for the Developing World", *Scientific American*, 263(3), 111-118.
- Reddy, B.S. & B.K. Ray (2011), "Understanding Industrial Energy Use: Physical Energy Intensity Changes in Indian Manufacturing Sector", *Energy Policy*, 39, 7234-7243.
- Reisendorf, M.B. & W.E. Diewert & C. Ehemann (2002), "Additive decompositions for Fisher, Törnqvist and geometric mean indexes", *Journal of Economic and Social Measurement*, 28(1), 51-61.

- Rühl, C. & P. Appleby & J. Fennema & A. Naumov & M. Schaffer (2012), "Economic Development and the Demand for Energy: A Historical Perspective on the Next 20 Years", *Energy Policy*, 50, 109-116.
- Shahiduzzaman, M. & K. Alam (2013), "Changes in energy efficiency in Australia: A decomposition of aggregate energy intensity using logarithmic mean Divisia Approach", *Energy Policy*, 56, 341-351.
- Su, B. & B.W. Ang (2012), "Structural Decomposition Analysis Applied to Energy and Emissions: Some Methodological Developments", *Energy Economics*, 34(1), 177-188.
- Sun, J.W. (1998), "Changes in Energy Consumption and Energy Intensity: A Complete Decomposition Model", *Energy Economics*, 20(1), 85-100.
- The World Bank (2015), *World Development Indicators*.
- Voigt, S. & E. De Chian & M. Schymura & E. Verdolini (2014), "Energy Intensity Developments in 40 Major Economies: Structural Change or Technology Improvement?", *Energy Economics*, 41, 47-62.
- World Energy Council (2013), *World Energy Perspective: Energy Efficiency Policies -What Works and What Does Not*, London: World Energy Council.
- Yilmaz, M. & M. Atak (2010), "Decomposition Analysis of Sectoral Energy Consumption in Turkey", *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 5(2), 224-231.
- Yılmaz, A. & S. Ürüt-Kelleci & A. Bostan (2016), "Türkiye Ekonomisinde Sektörel Enerji Tüketiminin Ayırıştırma Yöntemiyle Analizi", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(2), 1-28.
- Zhao, Y. & J. Ke & C.C. Ni & M. McNeil & N.Z. Khanna & N. Zhou & D. Fridley & Q. Li (2014), "A Comparative Study of Energy Consumption and Efficiency of Japanese and Chinese Manufacturing Industry", *Energy Policy*, 70, 45-56.

