

PAPER DETAILS

TITLE: Enerji Bagimsizligi İçin Temiz Kömür Teknolojileri: Türkiye Üzerine Bir Uygulama

AUTHORS: Turgut BAYRAMOGLU

PAGES: 149-159

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/792846>

Enerji Bağımsızlığı İçin Temiz Kömür Teknolojileri: Türkiye Üzerine Bir Uygulama*

Clean Coal Technologies for Energy Independence: An Application on Turkey

Turgut BAYRAMOĞLU

Yrd. Doç. Dr., Bayburt Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, tbayramoglu@bayburt.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Geliş 28 Mayıs 2017
Düzeltilme Geliş 12 Haziran 2017
Kabul 16 Haziran 2017

Anahtar Kelimeler:

Temiz Kömür Teknolojileri, Enerji Bağımlılığı, Yerli Kömür Üretimi, ARDL Modeli

© 2017 PESA Tüm hakları saklıdır

ÖZET

Enerji kullanımı üretim, nüfus ve kentleşme gibi faktörlerin artışı ile beraber artmaktadır. Ancak enerjisinin çoğunu dışarıdan karşılayan Türkiye gibi ülkeler büyümelerini gerçekleştirmek için enerji kaynaklarını artırdıkça enerji bağımlılıkları da artmaktadır. Bu sorunu bertaraf etmek için ülkeler yerli enerji kaynaklarına yönelmek zorundadır. Fosil yakıtlara sahiplik yönünden Türkiye sadece kömüre yeterince sahiptir. Ancak zamanla elektrik üretiminde daha az bu kaynaktan faydalanmak yoluna gitmiştir. Diğer yandan Türkiye elektrik üretimi için kömür kullanımında dünya ortalamasının altındadır. 1985'te yerli kömür kullanım miktarı en yüksek seviyeye çıkarak % 35,4 düzeyinden 2015 yılında % 11,5 seviyelerine gerilemiştir. Kömürün elektrik üretiminde kullanımının azaltılmasının bir sebebi de fosil yakıt olması ve çevresel maliyetidir. Yerli kaynak olan kömür, temiz kömür teknolojilerinde ki gelişmeler, enerji fiyatlarının istikrarsız olması, Türkiye'nin gelişen bir ülke olması ve enerji talebinin çok hızlı artması gibi sebeplerle resmi otoritelerce elektrik üretimindeki payı % 30 seviyesine çıkarılmak istenmektedir. Bununla birlikte sürekli büyüyen, nüfusu artan ve dolayısı ile enerji talebi artan, uluslararası anlaşmalarla karbon salım miktarları konusunda verdiği taahhütleri olan Türkiye'nin sadece kömürü % 30'lara çıkarması onu enerji bağımlılığından kurtaracak mıdır? Yapılan çalışma ile yerli kömür kullanım oranları ile enerji bağımlılığı arasındaki ilişki Türkiye için 1970-2015 aralığını kapsayacak şekilde elektrik üretimi, enerji bağımlılığı, GSYİH, nüfus ve elektrik üretimi için yerli kömür kullanımı değişkenlerine ait yıllık veriler otoregresif dağıtılmış gecikmeler (ARDL) modeli ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucu uzun dönemde enerji bağımlılığı ile elektrik üretimi arasında pozitif yönlü 0,505 [4,278], yerli kömüre dayalı elektrik üretimi arasında negatif -0,319[-3,053] yönlü, gayrisafi yurt içi hâsıla arasında negatif -0,408[-6,491] yönlü ve nüfus arasında pozitif 4,377[5,576] yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Sonuç olarak elektrik üretiminde yerli kömür katkı oranının artırılması enerji bağımlılığını azaltacaktır. Bununla birlikte Türkiye'nin yine yerli kaynak olan yenilenebilir enerjilere geçmesi, enerji tasarrufu ve verimliliği konularında daha fazla çalışma yapması gerekmektedir.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 28 May 2017
Received in revised form 12 June 2017
Accepted 16 June 2017

Keywords:

Clean Coal Technologies, Energy Dependence, Domestic Coal Production, ARDL Model

© 2017 PESA All rights reserved

ABSTRACT

Energy use is accompanied by increases in factors such as production, population and urbanization. However, energy dependency is also increasing as energy use is increased to achieve country growth, such as Turkey, where most of the energy is received from outside. To overcome this problem, countries will have to turn to domestic energy sources. Turkey has only enough coal to own fossil fuels. However, in time, Turkey has become less able to benefit from this source of electricity generation. On the other hand, Turkey is below the world average for the use of coal for electricity generation. In 1985, domestic coal usage peaked at the highest level, decreasing from 35.4% to 11.5% in 2015. One of the reasons for the reduction in the use of coke in electricity generation is fossil fuel and environmental cost. It is aimed to raise the share of electricity production to 30% of the official authorities, such as the developments of domestic coal, clean coal technology, unstable energy prices, Turkey being a developing country and energy demand increasing very rapidly. Along with this, there is a constantly growing population, increasing population demand, Turkey, which has commitments on carbon emission quantities through international agreements, will it only save 30% of coal from energy dependency? In this study, the relationship between domestic coal usage rates and energy dependence is analyzed with the annualized autoregressive distributed delay (ARDL) model for domestic coal use variables for electricity generation, energy dependency, GDP, population and electricity generation, including 1970-2015 for Turkey. It was found that the relationship between domestic coal usage rates and energy dependency in the long run after analysis, Negative -0.319 [-3,053] direction between electricity production based on indigenous communities, a negative correlation of -0,408 [-6,491] between the gross domestic product and a positive 4,377 [5,576] relationship between the population was found. All coefficients were found to be statistically significant. As a result, increasing the domestic coal additive ratio in electricity generation will reduce energy dependency. In the meantime, it is necessary for Turkey to do more research on energy efficiency and efficiency as well as pass on domestic renewable energy.

* Bu çalışma, Mayıs 2017 yılında International Congress on Political, Economic and Social Studies (ICPESS), Bosna Hersek, Saraybosna'da özet bildirinin sunulduğu halidir.

GİRİŞ

Enerji hem üretim hem de tüketim tarafı ile ekonominin en önemli girdisi durumundadır. Ülkeler için büyüme, nüfus, kentleşme ve tüketim seviyesi gibi unsurlar arttıkça enerji daha önemli hale gelmektedir. Ülkelerin refah seviyelerini artırmak ve bu seviyeyi korumak için enerji akışının ve üretiminin istikrarlı ve güvenli bir şekilde sağlanması gerekmektedir. Neo-klasik iktisatçılar büyümenin enerji kullanımını artıracığını buna karşın ekolojik iktisatçılar ise enerji kullanımının ekonomik büyümeyi gerçekleştirdiğini iddia etmişlerdir. Sektörler arasında enerjinin en fazla sanayi sektörünün girdisi olduğu düşünüldüğünde enerji bağımlılığı ile büyüme arasında bir bağ olduğu kolaylıkla kurulabilir. Bu durum Türkiye'nin büyümesini tamamlamak için her geçen gün daha fazla enerji ihtiyacını artıracak ve daha fazla dışarıya bağımlı kılacaktır. Yerli kaynakların önemi burada daha iyi anlaşılmaktadır.

Bütçe gelirlerinin hatırı sayılır payı enerji harcamalarına giden ülkenin ithalata bağımlılığının azaltılması ancak yerli kaynaklara geçişle mümkün olabilecektir. Enerji sektörü çok hızlı değişen bir sektördür. Kaya gazı ya da petrolü gibi yeni bulunan kaynaklar ve yeni teknolojilerle enerji ithalatçısı olan ülkeler ihracatçı, ihracatçı olan ülkeler ise ithalatçı olabilmekte, enerji bağımlılığını azaltma şansları olabilmektedir (Bayramoğlu, Ari, 2015:7). Enerji fiyatlarının istikrarlı olmaması ise başka bir sorunu teşkil etmektedir.

Çevre konusundaki hassasiyetlerin arttığı bir dönemde Türkiye yerli kaynak olarak sahip olduğu kömür ve kömüre dayalı elektrik üretimini yıllar itibariyle sürekli azaltma yoluna gitmiştir. O kadarki 1990'lı yıllarda yerli kömürün elektrik üretimi içerisindeki payı % 35,1'lerden 2014 te % 12,5'e geriledikten sonra ancak bu tarihten sonra artışa geçmiştir. Dünyada enerji üretimi konusunda yaşanan teknolojik gelişmeler ve özellikle kömür üretim ve kömürden elektrik üretim teknolojisindeki gelişmeler Türkiye için kömür seçeneğini tekrar gündeme getirmiştir. Üstelik dünya ölçeğinde kömür üretim miktarı yıllar itibariyle sürekli artarken Türkiye'de sürekli azalma göstermiştir.

Geleceğe doğru Türkiye'nin enerji konusunda yerli kaynaklara geçmesi bir tercih değil zorunluluk olarak görülmekte, temiz kömür teknolojileri ve yenilenebilir enerji teknolojisindeki gelişmeler ve çevresel hassasiyetler ise buna zemin hazırlamış görünmektedir (Yakıcı Ayan ve Pabuçcu, 2013: 90). Dünyada kömürün enerji arzındaki payı diğer kaynaklara göre en yüksek artışı gösterirken Türkiye'de azalması düşünülemez. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan tahminlere göre mevcut eğilimlerin devam etmesi durumunda 2030'lu yıllardan sonra kömür, enerji arzında önemli bir aktör olmaya devam edecektir (Kömür Sektör Raporu, 2015, 4-5).

Dünya, enerjisinin %70 gibi büyük bir oranını halen fosil yakıtlara dayalı bir şekilde karşıladığı için sera gazı salım miktarları da yüksek seviyelerde seyretmektedir. Sera gazı emisyonunun ortak bir gösterimi olarak CO₂ miktarları daha ziyade enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Dünya ölçeğinde artış gösteren emisyon miktarları özellikle gelişmekte olan ülkelerin son zamanlarda yaptıkları katkılarla eşik değerlerinin üzerine çıkmıştır. Yapılan çalışmalar Türkiye'nin geleceğe doğru salım değerlerinin arttığını, Türkiye tarafından Paris İklim Zirvesinde taahhüt edilen (929 Mt CO₂) miktarın çok üzerinde olduğunu (1244,13 Mt CO₂) göstermektedir (Pabuçcu, Bayramoğlu, 2016: 775; Çelebi Boz ve Bayramoğlu, 2016:68). Bu artış değerlerinde enerji talebinin çok büyük bir payı vardır. Diğer yandan enerji üretimi teknolojisindeki mevcut gelişmeler, özellikle makalenin konusu olan temiz kömür teknolojilerindeki gelişmeler sera gazı salımını artırmadan da kömür üretilebileceğini göstermektedir.

Türkiye kanıtlanmış kömür rezervinde dünya rezervinin %1'lik payına sahip olan bir ülke olarak kömür üretim değerleri dünya ortalamasının çok altında seyretmektedir. Türkiye mevcut büyüme, nüfus, enerji talebi artışı ve enerji fiyatları konusundaki gelişmeler ile temiz kömür enerjilerine dayalı olarak çevreyi kirletmeden 2023 yılında kömürün payını elektrik üretiminde % 30'lara çıkararak enerji bağımlılığını azaltmayı başarabilecek midir? Bu çalışma bu konuyu Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı'nın hedefleri doğrultusunda istatistiki yöntemlere başvurarak 2023 yılı için ne kadar azaltmayı başarabilir bunu incelemektedir.

1.Dünya Enerji Görünümü ve Enerjide Kömürün Yeri

Nüfusun, büyümenin, kentleşmenin ve ulaşımın artması gibi nedenlerle enerji talebi hızlı bir şekilde artmaktadır. Enerji üretimi ise bu artışa göre düşük seviyelerde kalmaktadır. Diğer yandan ülkeler halen enerjilerinin büyük bir kısmını fosil yakıtlardan karşılamakta, yenilenebilir enerji üretimi hızlı bir artış gösterse de oran olarak düşük seviyelerde kalmaktadır. Enerji artışı hızlı nüfus ve büyüme artışlarından

dolayı gelişmekte olan ülkelerde daha fazladır. 2016 yılında 13,5 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) olan birincil enerji talebi % 45 artışla 2040' larda 19,6 milyar TEP'e yükselecektir (ETKB, 2016: 3). Gelecekte fosil yakıtların ağırlığı biraz azalma gösterse de halen üstünlüğünü koruyacak, yenilenebilir enerjilerin payı şimdikinden daha yüksek seviyelere çıkacak ve ortalama % 17 seviyelerinde artış gösterecektir. 2040'lara doğru kömürün payının farklı senaryolar göz önünde bulundurularak ortalama % 22 oranında artması beklenmektedir. Nükleer enerjinin ortalamada %1-2 oranında artması beklenmekte ve stratejik önemi ve enerji yelpazesindeki yeri her geçen gün artmaktadır (Develi, Ari ve Durmaz, 2011).

Tablo1: Dünya Birincil Enerji Tüketimi (2016) (Milyon TEP)

Sıra	Ülke	2013	2014	2015	Oranları %
1	Çin	2.903,9	2.970,3	3014,0	22,9
2	ABD	2.271,7	2.300,5	2.280,6	17,3
3	Hindistan	626,0	666,2	700,5	5,3
4	Rusya	688,0	689,8	666,8	5,1
5	Japonya	465,8	453,9	448,5	3,4
6	Kanada	335,0	335,5	329,9	2,5
7	Almanya	325,8	311,9	320,6	2,4
8	Brezilya	290,0	297,6	292,8	2,2
9	Güney Kore	270,9	273,1	276,9	2,1
19	Türkiye	120,3	123,9	129,3	1,0
TOPLAM		12.873,1	13.020,6	13.147,3	100,0

Kaynak: BP Dünya Enerji İstatistikleri, 2016

Enerji talebindeki artışın büyük oranda gelişmekte olan ülkelere gelmesi beklenmektedir. Dünya birincil enerji talebine bakıldığında Amerika'yı saymazsak ilk üç ülkenin gelişmekte olan ülkeler olduğu görülecektir. Toplam talebin % 33,3'ü bu üç ülkeye aittir. Türkiye ise birincil enerji talebinde % 1'lik bir paya sahiptir.

Petrol ve doğal gaz rezervleri belirli bölgelerde toplanan fosil yakıtlar olmalarına karşın nispeten kömür daha dengeli bir dağılım göstermiştir. Dünya yüzeyinde kanıtlanmış kömür rezervleri (891,531 milyar ton) kullanım açısından 122 yıl yetecek düzeydedir. Kömür rezervi bakımından ABD (237,3 milyar ton) birinci, Rusya (157 milyar ton) ikinci ve Çin (114,5 milyar ton) üçüncü sırada gelmektedir. Türkiye ise %1'lik pay ile (8,702) ile on dokuzuncu sıradadır.

Tablo 2: Seçilmiş Bazı Ülkelerin Elektrik Üretim Miktarları, (2015) (TWh)

Sıra	Ülke	Miktar	%
1	Çin	5.810,6	24,1
2	ABD	4.303,0	17,9
3	Hindistan	1.304,8	5,4
4	Rusya	1.063,4	4,4
5	Japonya	1.035,5	4,3
6	Almanya	647,1	2,7
7	Kanada	633,3	2,6
8	Brezilya	579,8	2,4
9	Fransa	568,8	2,4
17	Türkiye	261,7	1,1
TOPLAM		24.097,7	100

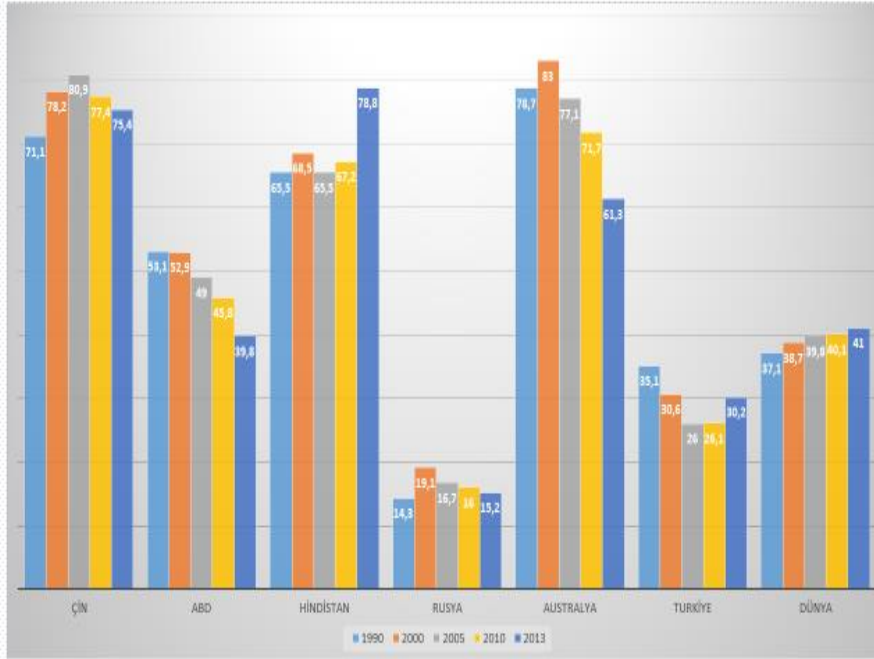
Kaynak: BP Dünya Enerji İstatistikleri, 2016

Tablo 2'de ülkelerin elektrik üretim miktarlarına bakıldığında Çin % 24,1 lik bir oranla ilk sırada gelmektedir. ABD ikinci sırada Hindistan ise üçüncü sırada gelmektedir. Türkiye'nin üretim miktarı ise toplam elektrik üretiminin % 1'i seviyesinde olup toplamda on yedinci sıradadır.

Elektrik üretiminde kömürün payına Şekil 1’den bakıldığında Çin başta olmak üzere ABD, Hindistan ve Avustralya’nın % 40 ile % 80 arasında elektrik üretmek için kömürden faydalandıkları anlaşılmaktadır. 2014 yılı verilerine göre elektrik üretiminde oran olarak en fazla kömür kullanan ülke %92,6 ile Güney Afrika, % 83,7 ile Polonya ve % 81 ile Kazakistan gelmektedir. Rusya’nın ise büyük potansiyeline rağmen kömürün payı düşük seviyede kalmıştır.

Sera gazı salım değerlerine bakıldığında ise diğer sektörler düşünüldüğünde enerjinin payının %82’lerde olduğu bu oranın yaklaşık %80’inin ise fosil yakıtlardan kaynaklandığı görülmektedir (IEA, 2016). Şekilden de anlaşıldığı üzere gelişmekte olan ülkelerin elektrik üretimlerinin büyük bir kısmını yerel kaynakları olan kömürden karşıladıkları anlaşılmaktadır.

Şekil1: Seçilmiş Bazı Ülkeler İçin Elektrik Üretiminde Kömürün Payı, 2013 (GWh)*



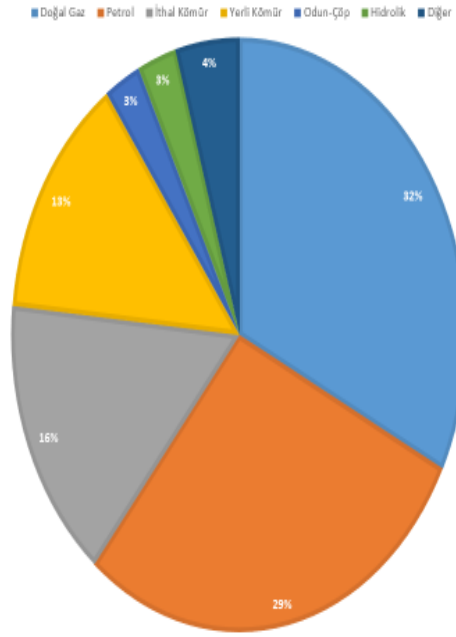
Kaynak: Dünya Bankası, <http://databank.worldbank.org/data>, E.T. 26.01.2017

*Dünya Bankası verilerinden yazar tarafından oluşturulmuştur.

2.Türkiye’nin Enerji Görünümü

Türkiye artan nüfusu, büyüyen ekonomisi ve kalkınmasını tamamlamak isteyen bir ülke olarak sürekli enerji talebini artırmakta, ayrıca enerji konusunda büyük oranda dışarıya bağımlı bir ülkedir. Türkiye dışarıdan petrol ve doğal gaz gibi birincil kaynakları satın almakta ve bunları elektrik üretiminde, sanayide ve konutlarda kullanmaktadır. Ancak dış açık veren bir ülke olan Türkiye’nin dış açığının en büyük sebebi yine enerji harcamalarıdır.

Şekil 2’den anlaşıldığı üzere enerji tüketiminin en yüksek oranını doğal gaz ve petrol oluşturmakta, daha sonra kömür ve diğer enerji kaynakları gelmektedir. Türkiye 2023 hedefleri doğrultusunda yerli kaynaklarını harekete geçirmeyi istemekte, başta kömür olmak üzere, yeni sondajlarla petrol ve doğal gaz üretimini artırmayı düşünmektedir. Bu bağlamda Türkiye’nin kaya gaz kaynaklarına vurgu yapmak yerinde olacaktır (Bayramoğlu ve Ari, 2015, 4).

Şekil 2: Türkiye Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Dağılımı, 2014

Kaynak: ETKB, 2017,

Türkiye 2014 yılında birincil enerji kaynağı olarak % 32’lik değer ile en fazla doğal gaz, % 29 ile petrol, % 16 ile ithal kömür, % 13 ile yerli kömür, % 10 ile diğer kaynaklardan tüketimini karşılamıştır. Enerji yelpazesine bakıldığında Türkiye’nin enerjisinin büyük bir kısmını ithalatla karşıladığı anlaşılmaktadır. Yerli kömürün payı ise çok düşük seviyededir.

Tablo 3: Türkiye’nin Elektrik Enerjisi Görünümü, (2016), (GWh)

Yıl	Üretim	İthalat	İhracat	Tüketim	Üretim Artış Oranı	Tüketim Artış Oranı
2005	161.956	636	1.798	160.794	7,5	7,2
2010	211.208	1.144	1.918	210.434	8,4%	8,4%
2011	229.395	4.556	3.645	230.306	8,6	9,4
2012	239.497	5.826	2.954	242.370	4,4	5,2
2013	240.154	7.429	1.227	246.357	0,3	1,6
2014	251.963	7.953	2.696	257.220	4,9	4,4
2015	261.783	7.135	3.194	265.724	3,9	3,3

Kaynak: ETKB, Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, 2016, s.15

Tablo 3’e bakıldığında elektrik üretiminin yıllar itibariyle arttığı ithalat değerlerinin çok hızlı bir artış gösterdiği ihracat değerlerinin ise dalgalı bir seyir izlediği anlaşılmaktadır.

Türkiye 2023 hedefleri doğrultusunda elektrik üretiminde kömürün ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payını ayrı ayrı %30’a çıkarmayı, doğal gazı payını ise % 30’a düşürmeyi geriye kalan % 10’luk payı ise diğer kaynaklardan sağlamayı hedeflemektedir (ETKB, 2016:70). Buna Türkiye’nin 2023 enerji hedefleri bağlamında elektrik üretiminde 30/30/30+10 hedefi denebilir. Bu oranlar elektrik üretimi için yerli linyit ve taş kömürü kaynaklarının tamamının kullanılmasını içermektedir (ETKB, 2013: 25). En iyimser senaryolara göre Türkiye’nin 2023 yılına doğru enerji talebi iki katına çıkmaktadır.

3. Temiz Kömür Teknolojileri

Enerji ve çevre konuları dünyanın gündemine iyice oturmuş durumdadır. Fosil yakıtlardan birisi olan kömür varlığı dünya ölçeğine diğer fosil yakıtlara göre daha dengeli dağıldığı için kömür kaynaklı elektrik üretimi de önemli hale gelmektedir. Ancak sera gazı salımının büyük bir kısmı kömür kaynaklı

olmaktadır. Türkiye için 1990 yılında kömürün yol açtığı sera gazı miktarı 22 milyon ton CO₂ iken, 2014 yılında bu rakam 76 milyon ton CO₂ olmuştur. Türkiye’de toplam sera gazı miktarının üçte biri kömür kaynaklıdır (Algedik, 2016:4). İthal kömür dahil kömür tüketimi de yıllar itibariyle artış göstermiş ve 1990 yılında 54,5 milyon iken, 2014 yılında 97 milyon tona çıkmıştır. Kömür ithalatı da 1990 yılında 5,5 milyon tondan 2014 yılında 30,2 milyon tona çıkmıştır.

Türkiye için önemli bir kaynak olan kömürün üretimi, tüketimi ve ithalatı sürekli artarken sera gazı salım değerleri de artmıştır. Acaba Türkiye kendi kaynakları olan yerli kömürü, CO₂ değerlerini artırmadan temiz kömür teknolojilerine dayalı bir şekilde kullanabilir mi? Bunun, gelişmekte olan temiz kömür teknolojileri ile olabileceği tartışılmaktadır. Temiz kömür teknolojileri; kömürün üretim, hazırlanma ve kullanım süreçlerinde çevre ile beraber verimlilik ön planda tutularak değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu teknoloji ile hem emisyon ve atıkların azaltılması hem de kömürden elde edilecek enerjinin artırılması hedeflenmektedir. Bu teknoloji en fazla kömürden elektrik üretimi için kullanılmaktadır (TKİ, 2016).

Türkiye enerji bağımlısı bir ülke olarak elinde olan kaynaklarını en etkin bir şekilde kullanmak zorunda olan bir ülkedir. Türkiye, “Yerli Kömür Santrallerinin Teşvik” edilmesi için arz güvenliğinin sağlanması, istihdamın sağlanması, güvenilir üretim ve enerji ithalatının azaltılması gibi makul gerekçelere sahiptir (Türkiye Enerji Vakfı, 2016: 25).

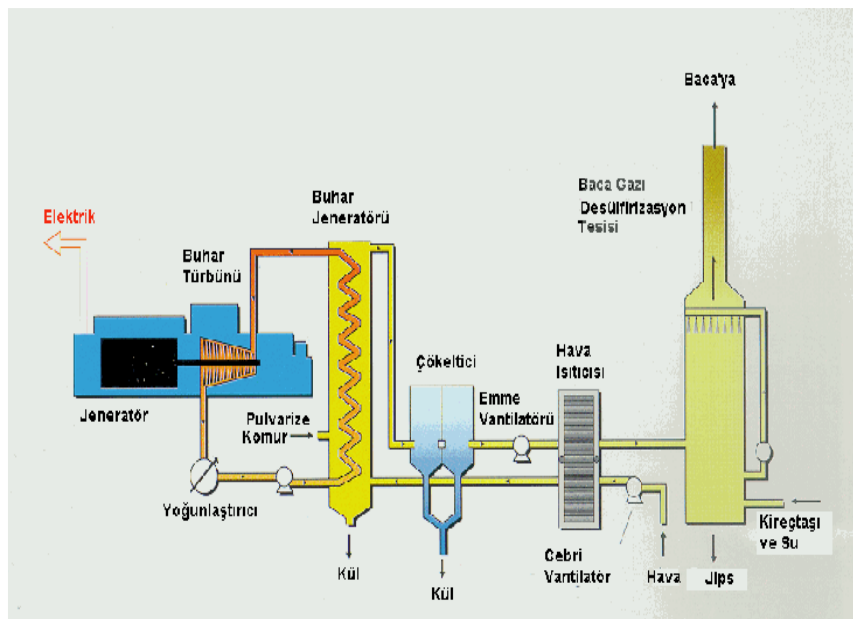
Gelişmiş ülkelerin de çokça üzerinde durduğu temiz kömür teknolojileri öncelikli olarak mevcut santrallerin son teknolojilerle kullanımını sağlamakta, bu teknolojileri ilerletmekte ve CO₂ tutma ve depolama teknolojilerinin kullanımını sağlamaktadır (TKİ, 2016:21). Bunun için bir yol haritası gerektiği, bunun ise aşamalarının şu şekilde olduğu belirtilmektedir (ETKB, 2016, 19-21);

“- Mevcut ya da yeni tesis edilecek kömür santrallerinde, sahip olunan en son teknolojilerin (süperkritik, ultrasüperkritik) kullanımının sağlanması ile %44-45 verimlilik düzeyine ulaşılması ve CO₂ emisyonunun 1/3 oranında düşürülmesi,

- Termik santral teknolojilerinde daha ileri gelişmelerin elde edilerek %50-55 verimlilik düzeyine ulaşılması ve CO₂ emisyonunun –bu aşamada da- 1/3 oranında düşürülmesi,

- CO₂ tutma ve depolama (CCS) teknolojilerinin devreye alınması ile %52-55 verimlilik düzeyine ulaşılması ve CO₂ emisyonunun sıfırlanması.” olarak sıralanmaktadır.”

Şekil 3: Temiz Kömür Teknolojileri Çizelgesi



Kaynak: TKİ, http://www.tki.gov.tr/Dosyalar/Dosya/Temiz_Komur_Stratejileri.pdf

Temiz kömür teknolojilerine geçiş nedenleri ise şu şekilde sıralanabilir:

- Enerji kullanımının çevresel maliyetinin azaltılması açısından birim enerji üretimi için CO₂ emisyonunun azaltılması ve CO₂ tutma ve depolama kapasitesinin artırılması,
- Enerji verimliliğinin sağlanması açısından kömürle çalışan termik santrallerde verimin artırılması, böylece kömürün diğer alternatif yakıtlara göre rekabet gücünü kuvvetlendirmek,
- Petrol ve doğalgazın ikamesi açısından, fiyatlarının yüksekliği ve istikrarsızlığı, tükenen rezervlere alternatif oluşturmak, üretim yapan ülkelerin jeopolitik belirsizliği ve siyasi istikrarsızlığı (WEC, 2010, 4-6).

Tablo 4: Türkiye'nin Elektrik Üretiminde Yerli Kömür ve İthal Kömür Miktar ve Payları, (2016, MW).

Yıllar	Linyit	%	Taş kömürü	%	İthal Kömür	%
			asfaltit			
1985	2864,3	31,4	219,9	2,4	0	0
1990	4874,1	29,9	331,1	2	0	0
2000	6508,9	23,9	335	1,2	145	0,5
2005	7130,8	18,4	335	0,9	1651	4,3
2010	8199,3	16,6	470	0,9	3281	6,6
2015	8761	11,5	1750	2,3	6063	8
2016	8761	11,1	1750	2,2	6063	7,7
2017	8761	10,4	1750	2,1	6063	7,2
2018	9961	11,3	1885	2,1	6063	6,9
2019	9961	10,9	1885	2,1	6063	6,7

Kaynak: Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2015 – 2019)

4. Uygulama

Enerjinin ve kömürün öneminden dolayı yapılan bu çalışmada, enerji bağımlılığının belirleyicisi olan bazı faktörlerin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla Türkiye için 1970-2015 aralığını kapsayacak şekilde elektrik üretimi, enerji bağımlılığı, GSYİH, nüfus ve elektrik üretimi için yerli kömür kullanımı değişkenlerine ait yıllık veriler otoregresif dağıtılmış gecikmeler (ARDL) modeli ile analiz edilmiştir. ARDL modelinin uygulanabilmesi için değişkenlerin seviyesinde veya birinci farkında durağan olması gerekmektedir. Bu sebeple Augmented Dickey Fuller (ADF) birim kök testi değişkenlere uygulanmış ve Tablo 5 deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5: ADF Birim Kök Testleri

Değişkenler	ADF Test istatistiği	
	Düzy	1. Fark
LNELKURT	-1,496	-4,914
LNENRBĞ	-4,106	-6,120
LNGDP	-2,147	-6,471
LNNFS	-2,153	-5,758
LNRYL	-1,657	-4,150

Test kritik değerleri:

- 4,181(%1); -3,515(%5); -3,188(%10)

ADF test sonuçlarına göre bütün değişkenler seviyesinde veya birinci farkında durağan olarak tespit edilmiştir. Dolayısı ile ARDL modelinin uygulanmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır. Çalışmada değişkenler arasındaki ilişkiler uzun ve kısa dönemli olmak üzere incelenmiştir. Pesaran tarafından geliştirilen Sınır Testi (Bound Testing) yaklaşımı ile seriler arasında uzun dönemli ilişkinin varlığı tespit edilebilmekte ve serilerin aynı düzeyde durağan olmaları gerekmemektedir. Ayrıca küçük örnekler üzerinde etkili sonuçlar üretebilmesiyle, hata düzeltme modeli ile de bilgi kaybına sebebiyet

vermeden tahminler üretebilmesi önemli artılarından bazıları olarak öne çıkmaktadır. Bu amaçla Pesaran vd. (2001) çalışmasından hareketle sınır testi yaklaşımı ve hata düzeltme modeli çalışmaya uyarlanmıştır. Tahmin edilen model eşitlik 1 de verilmiştir.

$$\Delta \ln enbağ_t = a + \sum_{j=1}^{n_1} b_j \Delta \ln enbağ_{t-j} + \sum_{j=0}^{n_2} c_j \Delta \ln elkürt_{t-j} + \sum_{j=0}^{n_3} d_j \Delta \ln gdp_{t-j} + \sum_{j=1}^{n_4} b_j \Delta \ln nüfus_{t-j} + \sum_{j=1}^{n_1} b_j \Delta \ln yerel_{t-j} + \theta_1 \ln enbağ_{t-1} + \theta_2 \ln elkürt_{t-1} + \theta_3 \ln gdp_{t-1} + \theta_4 \ln nüfus_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Sınır testi yaklaşımı ile değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Sınır testine ait F istatistiği 7,719 olarak hesaplanmıştır. F istatistiği Pesaran vd (2001) tarafından hazırlanan kritik değerler tablosu kullanılarak değerlendirilir. Hesaplanan F istatistiği kritik üst sınır değerinden büyük olursa uzun dönem ilişkinin varlığına karar verilir. Sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6: Sınır Testi Sonuçları

F: 7,719136 (k=4)	Kritik değerler	
	Alt sınır	Üst sınır
%10	2,68	3,53
%5	3,05	3,94
%1	3,81	4,92

Sınır testi sonucu uzun dönem ilişki tespit edilmiştir. Uzun dönem katsayılar Tablo 6’ te sunulmuştur. Modele ayrıca trend değişkeni de eklenmiştir. Tüm değişkenler %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 7: Uzun Dönem Katsayılar

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
LNELKURT*	0.505213	0.118082	4.278499
LNGDP*	-0.408568	0.062941	-6.491315
LNNFS*	4.376859	0.784943	5.576022
LNRYL*	-0.319286	0.104576	-3.053134
@TREND*	-0.062271	0.010264	-6.066980

* %1, ** %5, *** %10

Kısa dönem katsayılar yorumlanırken hata düzeltme terimi katsayısı negatif ve anlamlı olmalıdır. Kısa dönem katsayılar fark operatörünü içeren denklemlerin olduğu katsayılarıdır. Parantez içindeki değerler ilgili değişkene ait gecikme sayılarını göstermektedir. Optimal gecikme uzunlukları belirlenirken Akaike bilgi kriteri kullanılmıştır.

Tablo 8: Kısa Dönem Katsayılar

Variable	Coefficient	t-Statistic
D(LNELKURT)	0.051197	0.361795
D(LNELKURT(-1))*	-0.489485	-3.307477
D(LNELKURT(-2))**	-0.327348	-2.209014
D(LNELKURT(-3))*	-0.576672	-4.083219
D(LNELKURT(-4))**	-0.269682	-2.023004
D(LNGDP)	0.123895	1.548078
D(LNGDP(-1))*	0.465422	4.823901
D(LNGDP(-2))*	0.285489	3.405669
D(LNGDP(-3))*	0.447645	5.326720
D(LNGDP(-4))*	0.268089	3.577689
D(LNNFS)	1.964402	1.119050
D(LNNFS(-1))	-3.292112	-1.339944
D(LNNFS(-2))	0.613457	0.190252

D(LNNFS(-3))*	8.391518	2.970407
D(LNYRL)***	-0.127783	-2.040384
D(LNYRL(-1))**	0.231277	2.615070
D(LNYRL(-2))**	0.231465	2.762297
D(LNYRL(-3))**	0.262314	2.643394
C*	-16.244204	-7.812033
CointEq(-1)*	-1.277006	-7.796678
* %1, ** %5, *** %10		

Tahmin edilen modellerin geçerli ve güvenilir sonuçlar üretebilmeleri için bazı model iyiliği testleri yapılmıştır.

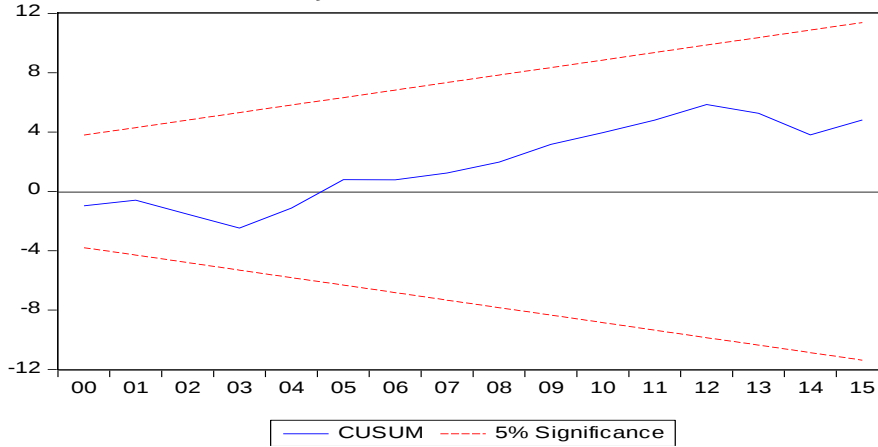
Tablo 9: Uyum İyiliği Testleri

Model	Hata düzeltme terimi	LM	Jarque Bera	BPG	CUSUM	CUSUMSQ
1	-1,277(-7,797)	0,679	3,251	0,922	Kırılma yok	Kırılma yok

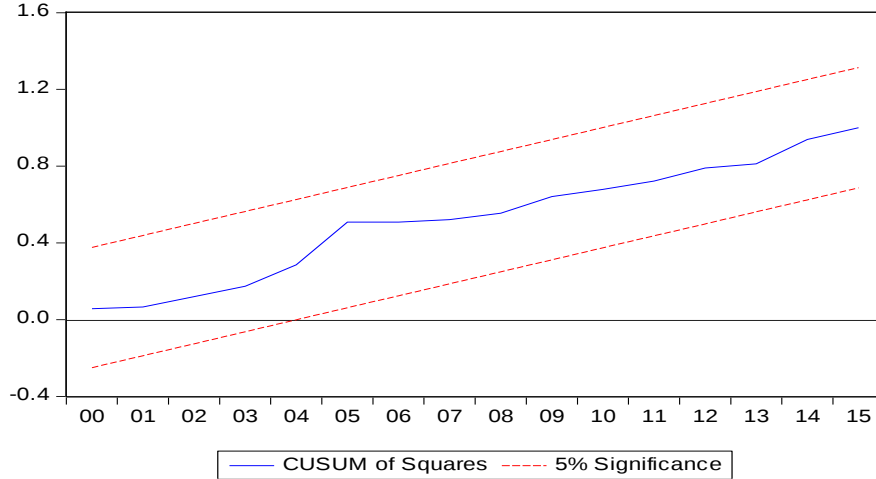
Hata terimleri arasındaki otokorelasyon için Breusch-Godfrey LM otokorelasyon testi, hataların normal dağılım tespiti için Jarque Bera testi, değişen varyans sorunu olup olmadığının tespiti için Breusch-Pagan-Godfrey (BPG) testi ve yapısal kırılmaların tespiti için de CUSUM ve CUSUM square testleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 9’da sunulmuştur.

Yapılan uyum iyiliği testleri sonuçlarına göre hata terimleri arasında otokorelasyon olmadığı LM testi (0,679) ile tespit edilmiştir. Jarque Bera testi hata terimlerinin normal dağıldığını, BPG testi ise sabit varyans varsayımının geçerli olduğunu göstermektedir. CUSUM ve CUSUMSQ testlerine göre yapısal kırılma söz konusu değildir (Şekil 4-5).

Şekil 4: CUSUM Testi



Şekil 5: CUSUMSQ Testi



SONUÇ

Ekonomik ve sosyal gerekçelerle ülkeler için önemli bir kaynak olan enerji, Türkiye gibi hızlı gelişen ve yeterince yerli kaynağa sahip olmayan ülkeler için sorun oluşturmaktadır. Türkiye uzun zamandır enerji bağımlısı bir ülkedir ve bu bağımlılığı da gün geçtikçe artmaktadır. Diğer yandan Türkiye fosil yakıtlardan sadece kömüre yeterince sahiptir. Ancak ülkemiz kömür kullanım miktarlarını artırdıkça sera gazı salım miktarını da artırmakta ve altına imza koyduğu uluslararası anlaşma taahhütlerini yerine getirmeyi zorlaştırmaktadır.

Son zamanlarda daha sık duymaya başladığımız temiz kömür teknolojileri çevreyi kirletmeden kömürden daha fazla faydalanma imkânı sunmaktadır. Türkiye sahip olduğu kömür potansiyelini farklı gerekçelerle kullanmayarak, diğer ülkelere bağımlı hale gelmiştir. Üstelik kömür rezervleri çok olan diğer ülkeler bu kaynaktan daha fazla istifade etmektedirler. 1985 yılında elektrik üretiminde kömürün payı % 35.4 iken 2015 yılında % 11,5 seviyesine gerilemiştir. Her ne kadar diğer kaynaklardan üretim miktarlarının artışı bu değeri etkilese dahi yine bir azalma olduğu muhakkaktır.

Bu çalışma ile enerji konusunda vuku bulan gelişmeler ülkeleri yerli kaynaklara sevk etmektedir. Türkiye'nin resmi makamlarının elektrik üretimi için yerli kömürün payını % 30 seviyelerine çıkarmayı istemesi acaba Türkiye'nin enerji bağımlılığını azaltacak mıdır? Yapılan çalışma ile Türkiye için 1970 yılından 2015 yılına kadar yıllık olmak üzere zaman serisi verileri kullanılarak enerji bağımlılığı ile yerli kömüre dayalı elektrik üretimi arasındaki ilişki ARDL analizi ile test edilmiştir. Enerji bağımlılığı bağımlı değişken olmak üzere GSYİH, nüfus, elektrik üretimi ve elektrik üretimi için yerli kömür kullanımı değişkenleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda uzun dönemde enerji bağımlılığı ile elektrik üretimi arasında pozitif yönlü 0,505 [4,278], yerli kömüre dayalı elektrik üretimi arasında negatif -0,319[-3,053] yönlü, gayrisafi yurt içi hâsıla arasında negatif -0,408[-6,491] yönlü ve nüfus arasında pozitif 4,377[5,576] yönlü bir ilişki tespit edilmiştir.

Sonuç olarak Türkiye büyüyen ve kalkınmasını tamamlamak zorunda olan bir ülkedir. Bu sebeple enerjiye her geçen gün daha da fazla ihtiyaç duymaktadır. Ülkemiz kendisinde olan tüm kaynakları kullanmak zorundadır. Kömürde bunlardan biridir. Temiz kömür teknolojileri sayesinde çevreyi kirletmeden kullanılabilir hale gelen kömürden sonuna kadar istifade etmelidir. Bu kaynağın enerji bağımlılığını azalttığı tespit edilmiştir. Bununla beraber Türkiye yeni ilerlemelere sahne olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeli, enerji verimliliği konusunda daha fazla çalışma yapmalıdır.

KAYNAKÇA

Algedik, Önder. (2016), Kömür ve İklim Değişikliği.

Bayramoğlu, Turgut ve Ari, Yılmaz Onur (2015), “The Advantages And Disadvantages Of The Production Of Shale Gas Potential: The Case Of Turkey”, *Global Economic Observer*, 2015, vol. 3, issue 2, pages 4-11.

BP Dünya Enerji İstatistikleri, 2016.

Çelebi Boz, Füsun and Bayramoğlu, Turgut (2016), “Paris Climate Summit and Turkey's Renewable Energy Policies” *Applied Research In Health And Social Sciences: Interface And Interaction*, Vol. 13, No. 1, 2016.

Develi, Abdulkadir, Ari, Yılmaz Onur And Durmaz Atakan, (2011), “The importance of nuclear energy for Turkey’s sustainable development”, *Economic and Environmental Studies* Vol. 11, No.3 (19/2011), 249-263.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı(ETKB), “2015 Kömür Sektör (Linyit) Raporu”, *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu* (TKİ), s.4-5.

ETKB, (2013), 2014 Yılı Bütçe Sunumu, Strateji Geliştirme Başkanlığı.

ETKB, (2016), 2015 Kömür (Linyit) Sektör Raporu, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu.

ETKB, (2016), Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Strateji Geliştirme Başkanlığı.

IEA, (2016), The Use of Energy Statistics to Estimate CO2 Emissions.

Pabuçcu, Hakan ve Bayramoğlu, Turgut (2016), “Yapay Sınır Ağları İle CO₂ Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği”, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18/3, 762-778.

Pesaran, M.Hashem vd. (2001). “Bounds testing approaches to the analysis of level relationships”, *Journal of Applied Econometrics*, 16, pp.289-326.

Türkiye Enerji Vakfı (TENVA), “Yerli kömür Santralleri ve Teşvikler”, *Yayın No:7*, s.25.

Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ), (2016), http://www.tki.gov.tr/Dosyalar/Dosya/Temiz_Komur_Stratejileri.pdf

Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2015 – 2019), www.epdk.org.tr/TR/Dokuman/2457

World Energy Council (WEC), Temiz Kömür Teknolojileri, Dek Tmk Temiz Kömür Teknolojileri Çalışma Grubu, 16 Mart 2010, Ankara

Yakıcı Ayan, Tuba ve Pabuçcu, Hakan (2013), “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Değerlendirilmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:18, Sayı: 3, Sayfa: 89-110.