

# Türkiye Elektrik Arz Eğrisinin Modellenmesi

Barış Sanlı, Mehmet Güler

## Giriş

Enerji sektörüne yatırımcı ilgisi arttıkça, bu yatırımların ekonomik yatırımlar olup olmayacağı konusundaki sorular da artmaktadır. Bu soruların en temeli “elektrik fiyatları”dır. Teoride fiyat, arz ve talebin kesiştiği denge noktasında oluşur. Dolayısıyla fiyat konuşmadan önce bu iki eğrinin çıkarılması gerekir. Elektrikte kısa dönemde, talep eğrisinin elastik olmayan yapısından ve fiyatların talep tarafına doğrudan yansımaması sebebi ile eğriden çok düz bir çizgiye benzeyecektir. Ama arz eğrisi biraz daha karışıktır.

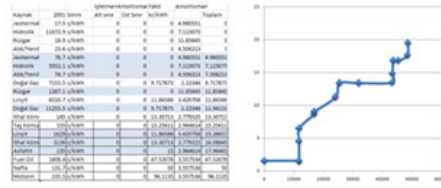
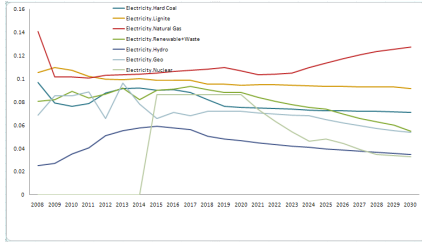
Türkiye’de elektrik sektöründe TEK ve daha sonrasında TEAŞ ve TEİAŞ bu çalışmaları dönem dönem yapmışlar ve sektör tarafından referans olarak kabul edilen raporlar yayınlamışlardır (TEİAŞ, 2004). Bu çalışmada, belirli kabuller ve uluslar arası veriler eşliğinde yapılan bir elektrik arz eğrisi modelleme çalışması anlatılacaktır. Daha sonra bu arz eğrisi üzerinden:

1. Kurak bir yıl
2. Rüzgar santrallerinin etkisi
3. Karbon vergileri

incelenecektir. Bu çalışma sadece teorik bir çerçeve üzerinden hareket etmekte olup, gerçek arz eğrisi Yap-İşlet, Yap-İşlet-Devret ve EÜAŞ santrallerinin satış fiyatları ayrı ayrı değerlendirilerek gerçekleştirilebilir.

## Çalışmanın Altyapısı ve Veriler

Elektrik fiyatları için, planlama dahil bir çok çalışmada kullanıldığı için, dönem dönem değişik fiyatlama modelleri kullanılmıştır. Detaylarına girmeden aşağıdaki şekilde bu çalışmaların sonuç grafikleri sunulmuştur. Bu modelleme çalışmasında ise daha farklı bir yöntem kullanılmıştır.



Şekil 1 – Önceki model çalışmaları

Bir modelleme çalışmasının temelinde veri seti bulunmaktadır. Bu makaleyi okuyan birinin de bu çalışmayı kendi başına tekrar yapabilmesi için açık kaynaklardan veriler kullanılmıştır ki bunların en önemlisi TEİAŞ web sitesinde bulunan istatistiklerdir.

TEİAŞ web sitesi bu konudaki çalışmalarda başvurulabilecek yegâne kaynaklardan biridir. (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, 2011). Uluslararası kurumlardan ise Amerikan Çevre Koruma Kurumu (EPA-Environmental Protection Agency), Enerji Bilgi Yönetimi (Energy Information Administration), Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve ETSAP(Energy Technology Systems Analysis Program) web sayfalarındaki verilere başvurulmuştur.

Türkiye’deki duruma uyması açısından, uzman bir bakış tarzı ile duruma göre hangi verinin hangi kaynaktan alınacağına bakılması gerektiği görülmüştür. Ama çalışmanın başkaları tarafından da tekrar edilebilmesi için TEİAŞ ve Uluslararası Enerji Ajansı yayınları temel referans, diğer kaynaklar da yardımcı referans olarak kullanılmıştır.

Çalışmadaki bazı veri seti, TEİAŞ’ın 2009 yılı istatistiklerinde yer alan “Türkiye Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Yıllar İtibarıyla Gelişimi (1984-2009)” dosyasıdır (TEİAŞ, 2010). Bu dosya’da Türkiye kurulu gücünün 1984 yılından 2009 yılına göre birincil enerji kaynakları (kömür, doğal gaz, hidrolik vs) bazında artışı gözükmektedir. 2010 yılına ait veriler ise TEİAŞ’ın yıllık işletme faaliyetleri raporundan alınmıştır (TEİAŞ, 2011). 2011 yılına ait raporda TEİAŞ Yük Tevzi raporlarından alınmış ve 50406 MW için çalışma yapılmıştır.

## Metodoloji

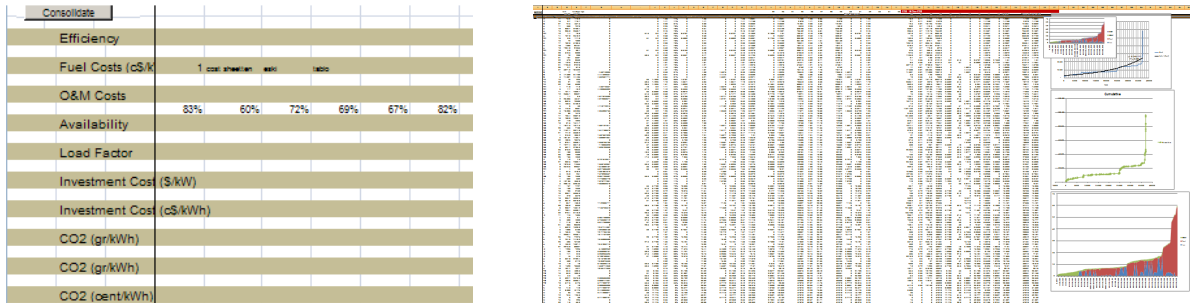
TEİAŞ’ın web sitesinden alınan kurulu güç verileri üzerinden sırasıyla şu işlemler yapılmıştır.

1. 1984 yılı stok kabul edilerek, her yıl yeni eklenen santrallerin birincil enerji kaynakları bazında kurulu güç artışı MW olarak çıkarılmıştır.
2. Yıllar içerisinde hurdaya ayrılan santraller (- MW olanlar) stoktan düşülmüştür.
3. 2010-2011(Mart ayına kadar) yıllarında devreye girenler 1 yaşında, 1984 yılındaki stoğun tamamı da 27 yaşında kabul edilmiştir. Aradaki yıllarda devreye giren santrallerin de bu doğrultuda yaşları belirtilmiştir.

4. Uluslararası Enerji Ajansı'nın Dünya Enerji Görünümü (World Energy Outlook) web sitesindeki yatırım maliyetlerinde kullanılan tablosu kullanılarak, verimlilik, gecelik yatırım maliyeti, işletme ve bakım rakamları alınarak tablolar oluşturulmuştur (Uluslararası Enerji Ajansı, 2011).
5. Emre amadelik, yük faktörleri gibi diğer tablolar da oluşturulmuş. Emre amadelik bir başka tablo yığınınından senaryo bazında(kuraklık, tam rüzgar vs.) değişebilecek şekilde düzenlenmiştir
6. Yakıt verileri TKİ, Bursagaz, BOTAŞ ve Teknik Yayıncılık sitelerinden alınmıştır.
7. Karbon dioksit emisyonları konusunda(gr/kWh), UEA'nın Karbondioksit emisyonları konusundaki yayınındaki veriler kullanılmıştır (Uluslararası Enerji Ajansı, 2011).
8. VBA (Visual Basic for Applications)'da yazılmış iki ayrı program ile, tabloları listelere aktarma ve sıralama fonksiyonları yazılmıştır. Özellikle karbon vergileri ile arz eğrisi ciddi miktarda değiştiği için sıralamalar hem karbon fiyatı olmadan hem de karbon fiyatı ile eş zamanlı yapılacak şekilde tasarlanmıştır.

Yukarıdaki metodolojiye ek olarak, gecelik yatırım maliyetlerinin, yıllık çalışma süresine göre \$cent/kWh olarak hesaplanması gerektiğinde Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası faiz verileri alınmıştır. Ayrıca 10 yıldan eski tüm santrallerin amortismanlarının tamamlandığı kabul edilmiştir.

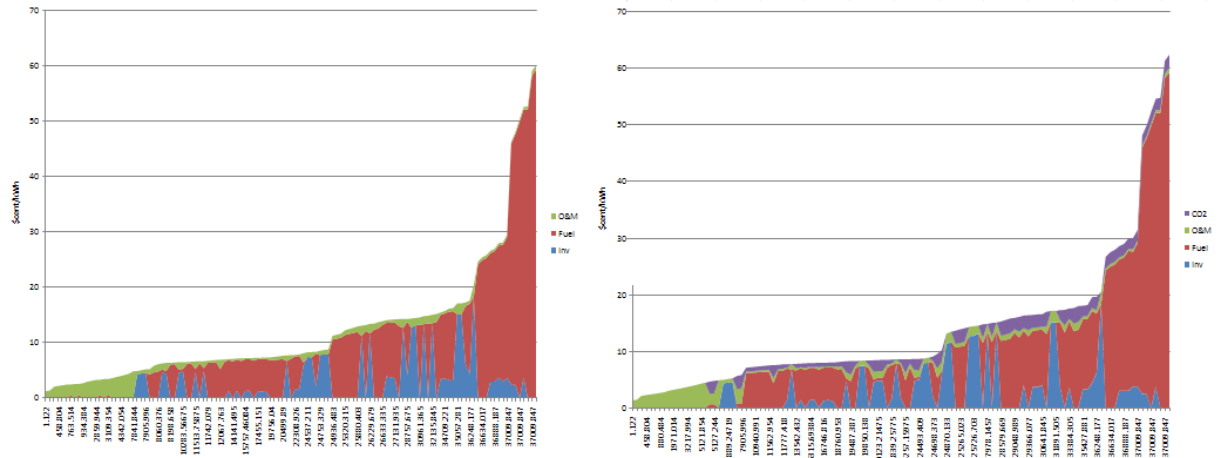
Bunun haricinde karbon dioksit emisyonları, emre amadelik ve işletme ve bakım giderlerinin (O&M)'in santralin yaşı ile doğrusal şekilde arttığı, verimlilik değerinin de aynı şekilde düştüğü kabul edilmiştir. Karbondioksit verileri direkt olarak gr/kWh olarak alınmış, yakıt maliyetleri ise yakıt girdi fiyatının sistem verimliliğine bölünmesi ile bulunmuştur.



Şekil 2 – Arz eğrisi için kurulan tablo başlıkları(solda) ve bunların tek bir listeye konsolide edilmiş hali(sağda)

Konsolide edilen tablolarda sırasıyla; enerji kaynağının türü, yaşı, MW'ı, verimlilik, yakıt maliyeti (fuel), işletme ve bakım maliyeti (O&M), toplam maliyet ve karbon fiyatı bulunmaktadır. Ayrıca arz eğrisini oluşturmak için kurulu güçlerin toplam maliyetlere göre küçükten büyüğe sıralandığı tabloya ek olarak kurulu güçlerin MW cinsinden kümülatif toplandığı bir sütun da hesaplanmıştır.

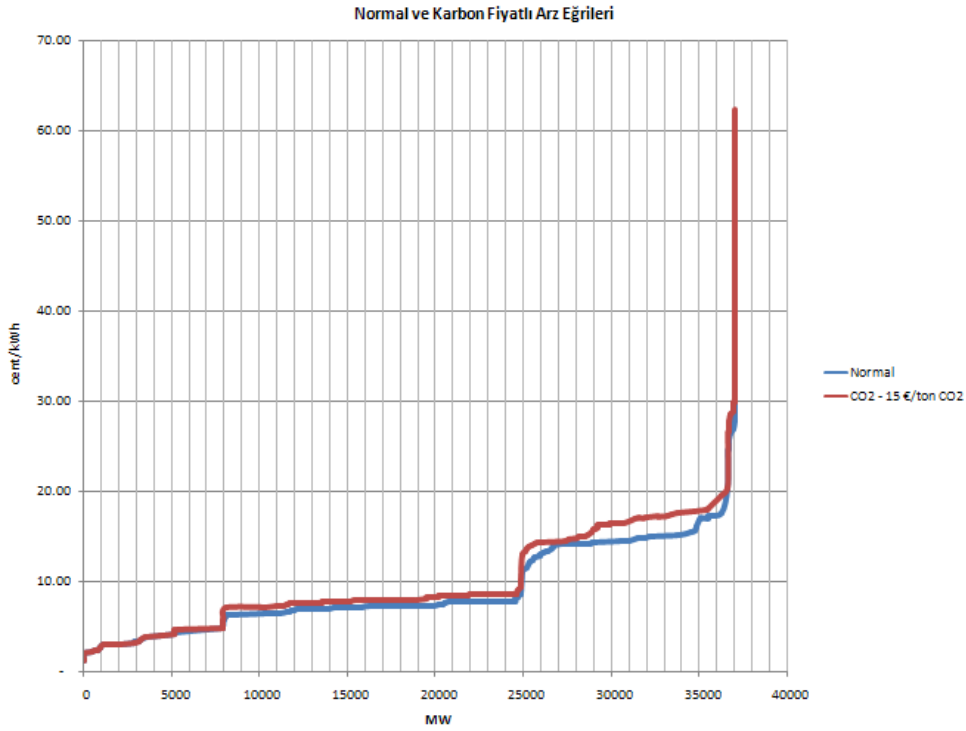
## Toplam Maliyetler ve Alt bileşenleri Bakımından



Şekil 3 – Toplam yatırım, işletme bakım ve yakıt maliyetleri ile arz eğrisi (solda normal, sağda karbon fiyatlı arz eğrisi)

Beklendiği gibi hem karbon fiyatlı hem de karbon fiyatı olmadan yapılan çalışmada, eğrinin en sol tarafında hidroelektrik, jeotermal, amortismanı dolmuş rüzgar santralleri ve biyokütle (land fill'ler dahil) santralleri bulunmaktadır. Ardından bir kısım kömür santralleri ve amortismanını tamamlamış doğal gaz santralleri gelmektedir, eğrinin en ileri ucunda ise Fuel oil ve diğer petrol ürünlerine dayalı santraller bulunmaktadır. Çok yaşlı santraller hariç işletme giderleri çok fazla bir maliyet tutmamaktadır. Genelde iki maliyet kalemi ağırlıktadır: yakıt ve amortisman. Doğal gaz santralleri ise, karbon salınımları açısından da çok avantajlı durumda olduğundan termiklerde en avantajlı olanlar, amortismanını yeni tamamlamış doğal gaz santralleridir.

## Karbon Fiyatı



Şekil 4- Aynı senaryo için normal ve 15€/ton CO2 fiyatı ile oluşturulan arz eğrileri

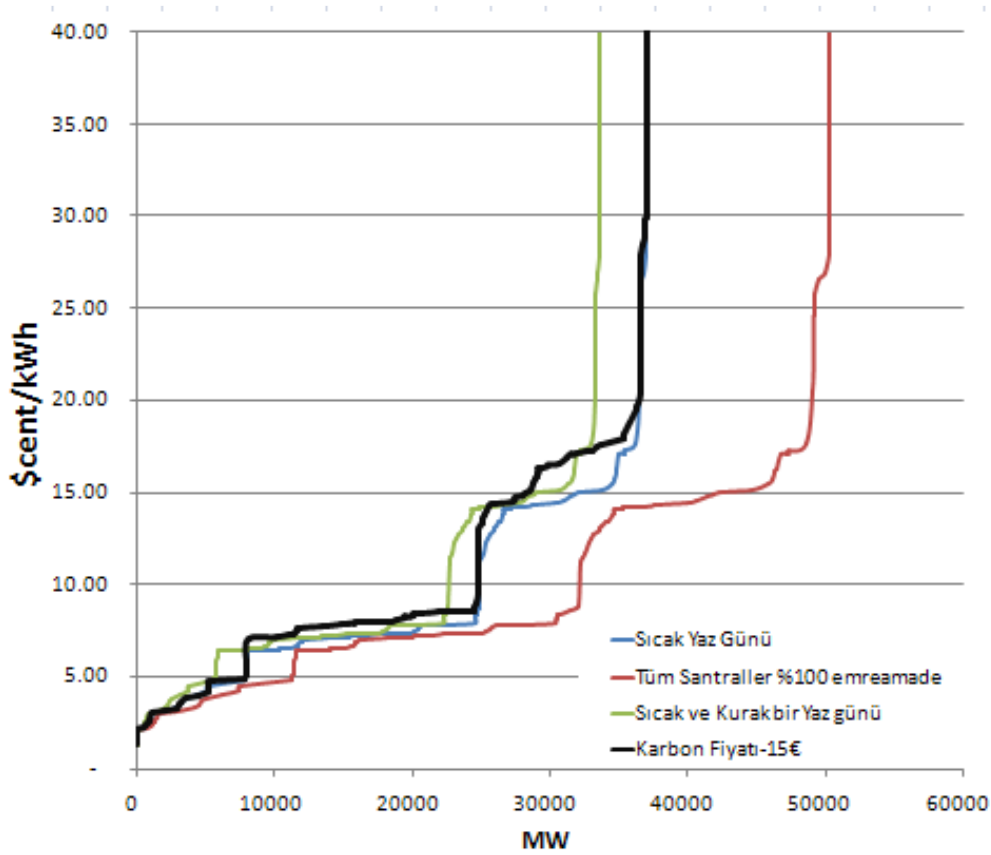
Çalışmada ayrıca, 15€/ton karbondioksit fiyatı üzerinden arz eğrisinde oluşan değişim görülmektedir. Bu rakam \$cent/gr karbondioksit rakamına çevrilerek buradan \$cent/kWh ek maliyetler hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere arz eğrisi soldan sağa doğru gittikçe karbon fiyatının etkisini daha da fazla hissetmektedir. Bu da, kurak yıllarda ve yaz ve kış aylarında karbon fiyatının etkisinin daha da fazla hissedileceğini gösterir.

## Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye için bir arz eğrisi modellemesi anlatılmıştır. Bu modelleme gerçeği %100 yansıtmasa da fikir vermesi açısından yeni bir pencere açmaktadır. Pratikte yapılan sadece yakıt, işletme ve yatırım maliyetlerinin geri ödemesinin \$cent/kWh cinsine çevrilerek bunların toplamından bir arz eğrisi elde edilmesi olmuştur. Daha sonra bu verilere karbon fiyatı da eklenerek fiyatlardaki değişimler incelenmiştir. Bazı MW değerleri için oluşan fiyatlar aşağıdaki tabloda verilmiştir. "Tüm Santraller %100" senaryosu sadece teorik limiti göstermesi açısından önemli olup, pratikte bir geçerliliği yoktur.

		24500 MW	25000 MW	30000 MW
<b>Tüm Santraller %100 emreamade</b>	(\$cent/kWh)	7.318	7.357	7.817
<b>Sıcak Yaz Günü</b>	(\$cent/kWh)	7.817	11.259	14.377
<b>Sıcak Yaz Günü - Rüzgar %100</b>	(\$cent/kWh)	7.817	8.343	14.263
<b>Sıcak ve Kurak bir Yaz günü</b>	(\$cent/kWh)	14.069	14.214	15.051
<b>Karbon vergisi</b>	(\$cent/kWh)	8.647	13.066	16.491

Tablo 1- Değişik senaryolar altında farklı MW değerlerinde oluşan fiyatlar (\$cent/kWh)



Şekil 5- Dört senaryo için ayrı ayrı hesaplanmış arz eğrileri

Kısaca çalışmanın sonuçları:

1. Hidroelektrik santrallerin durumu elektrik fiyatlarını çok ciddi şekilde etkilemektedir.
2. Rüzgar(1400 MW) fiyatlar üzerinde çok etkili olmamakla birlikte fiyatları düşürücü yönde etki yapmaktadır. Rüzgar kapasitesi arttıkça, fiyatlar üzerindeki düşürücü etkisi de artacaktır.
3. Karbon vergisinin fiyatlara etkisi talebin bir fonksiyonudur.
4. Oluşan elektrik fiyatları mevsimsel değişimlerden(kuraklık, yağış vs) önemli miktarda etkilenmektedir.

## Kaynakça

TEİAŞ. (2011). *2010 yılı İşletme Faaliyetleri Raporu*. Retrieved 07 11, 2011, from TEİAŞ:  
[http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/yillik\\_menu.htm](http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/yillik_menu.htm)

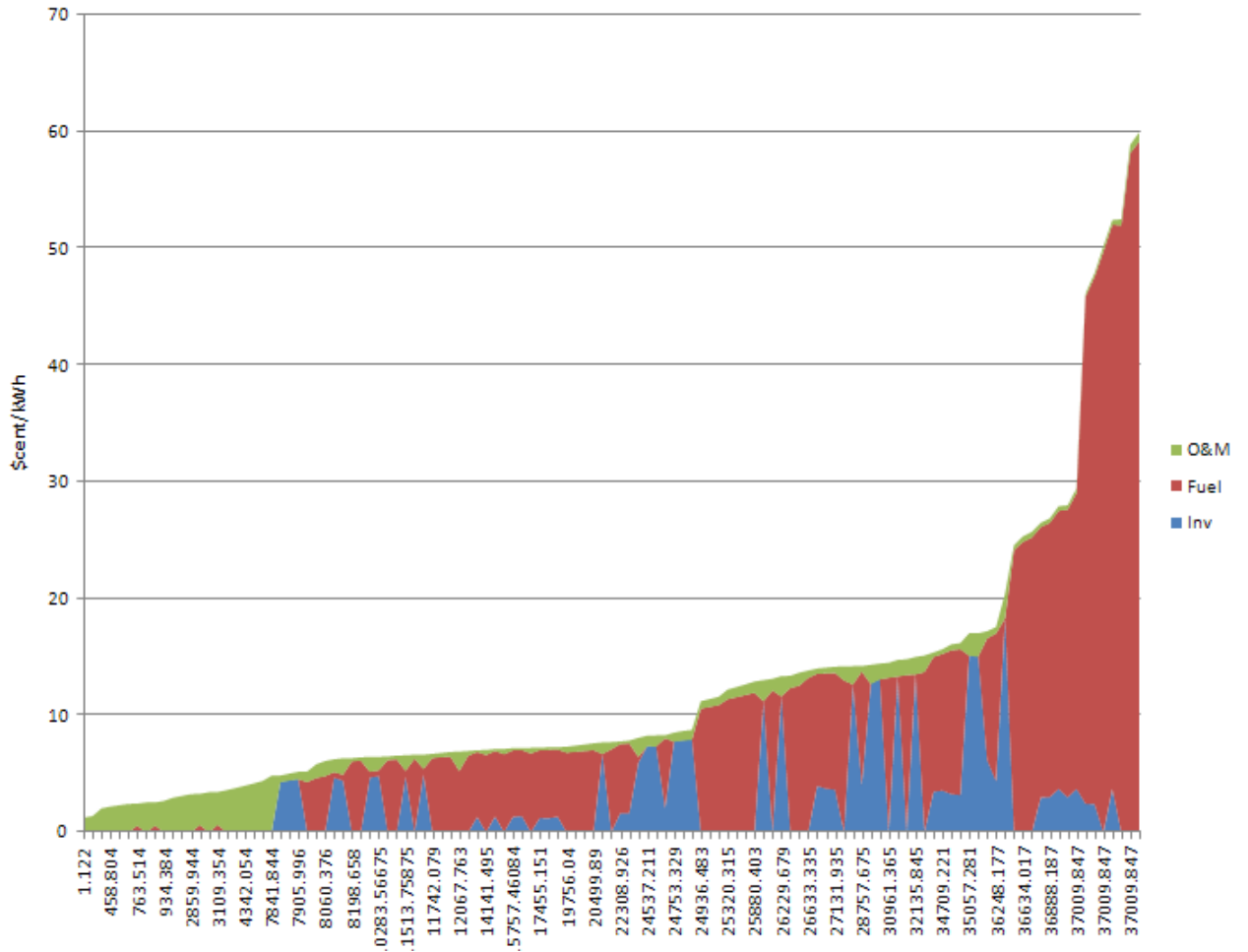
TEİAŞ. (2004). *Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Planlama Çalışması*. Ankara: TEİAŞ.

TEİAŞ. (2010). *Türkiye Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Yıllar İtibariyle Gelişimi (1984-2009)*. Retrieved 7 8, 2011, from TEİAŞ 2009 Yılı İstatistikleri: <http://www.teias.gov.tr/istatistik2009/3.xls>

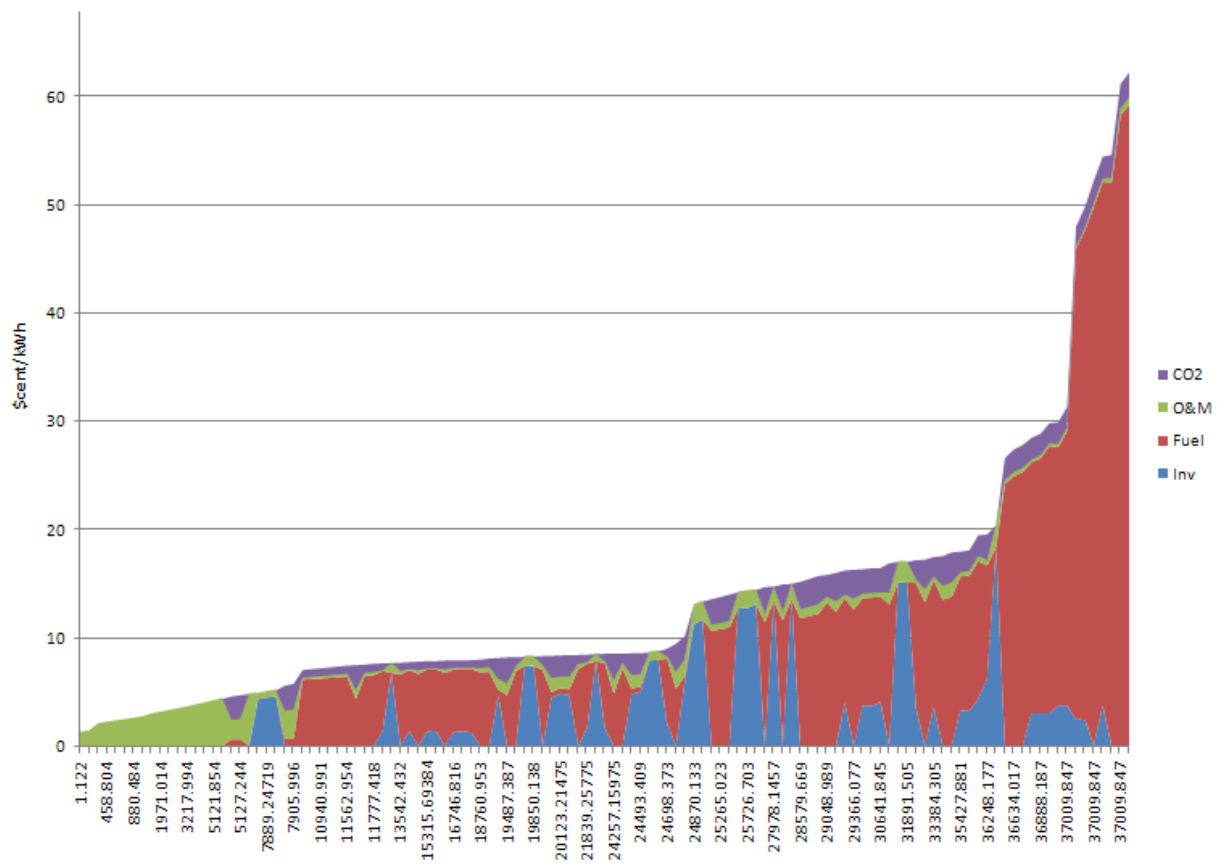
Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi. (2011). *TEİAŞ*. Retrieved 2011, from TEİAŞ: <http://www.teias.gov.tr>

Uluslararası Enerji Ajansı. (2011). *Assumed investment costs, operation and maintenance costs and efficiencies for power generation in the New Policies and 450 Scenarios*. Retrieved 07 11, 2011, from World Energy Outlook in the Energy & Development debate:  
<http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/assumptions.xls>

Uluslararası Enerji Ajansı. (2011). *CO2 Emissions from Fuel Combustion - Highlights*. Retrieved 07 11, 2011, from IEA - CO2 Emissions from Fuel Combustion: Highlights:  
<http://www.iea.org/co2highlights/co2Highlights.XLS>







Normal ve Karbon Fiyatlı Arz Eğrileri

