



## Araştırma Makalesi

# Elektrik Üretimine Bağlı Karbondioksit Emisyonunun Bölgesel Olarak Belirlenmesi ve Uzun Dönem Tahmini

S. Yeşer ASLANOĞLU, Merih AYDINALP KÖKSAL✉

Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Beytepe Kampüsü, Beytepe 06800 Ankara

Sunuluş tarihi: 31 Mart 2012, Kabul edilme tarihi: 4 Temmuz 2012

### ÖZET

Türkiye’de sürekli artan nüfus ve gelişen endüstriye paralel olarak hızla artan bir enerji, özellikle de elektrik ihtiyacı söz konusudur. Artan elektrik ihtiyacı sonucu elektrik üretimi ve buna bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu da artmaktadır. Bu çalışmada 2001 - 2020 yılları arası mevcut ve planlanan elektrik üretimi ve buna bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu bölgesel olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında CO<sub>2</sub> emisyonlarının belirlenmesi için mevcut ve planlanan santrallerin elektrik üretimi ve yakıt tüketim verileri, emisyon faktörleri, yakıt alt ısı değerleri, ortalama termodinamik verimleri ve elektrik talep tahmin değerleri kullanılmıştır. Veriler yıllık ve daha sonra adres verileri kullanılarak bölgesel olarak sınıflandırılmıştır. Öncelikle mevcut santrallere ait yakıt tüketimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu ve yakıt bazında özel emisyon faktörleri belirlenmiştir. Daha sonra planlanan santrallere ait CO<sub>2</sub> emisyonu belirlenmiştir. 2020 yılı itibarıyla Türkiye toplam elektrik üretiminin 377 TWh ve buna bağlı CO<sub>2</sub> emisyonunun 194 milyon ton olması beklenmektedir. Adapazarı, İkitelli, İzmir, Keban ve Seyhan bölgelerinden kaynaklanan yüksek CO<sub>2</sub> ve diğer kirlenici emisyonları dolayısıyla bu bölgelerin hassas bölgeler haline gelmesi beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** CO<sub>2</sub> emisyonu, elektrik üretimi, fosil yakıtlı elektrik santralleri

© Tüm yayın hakları Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi’ne aittir.

## 1. Giriş

Türkiye’de 1990’lı yıllardan itibaren sürekli artan nüfus ve gelişen endüstriye paralel olarak hızla artan bir enerji, özellikle de elektrik ihtiyacı söz konusudur. Türkiye’nin toplam kurulu gücü 2009 yılı itibarıyla 44 600 MW’a, toplam elektrik üretimi ise 194 TWh’e ulaşmıştır. Üretilen toplam 194 TWh’lik elektriğin %49’u doğalgazdan, %28’i kömürden, %19’u hidrolikten, %3’ü sıvı yakıtlardan ve %1’i yenilenebilir enerjilerden elde edilmiştir. Toplam kurulu güç 2010 yılında 53 211 MW’a ulaşmış ve bu yılda işletmeye alınan 1479 MW kurulu gücün %2’si jeotermal, %22’si rüzgar, %32’u hidrolik ve %44’ü fosil yakıtlı santrallerden oluşmuştur (ETKB, 2012).

2009 yılında toplam elektrik üretiminin yaklaşık beşte biri linyit yakıtlı santrallerde gerçekleştirilmiştir. Linyit Türkiye’nin en geniş rezerve sahip olduğu fosil yakıttır ve yaklaşık olarak 12 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Bu rezervin üçte biri işletilebilir niteliktedir ve oldukça büyük bir kısmı ortalama 1500 kcal kg<sup>-1</sup> alt ısı değere, yüksek nem ve kükürt içeriğine sahiptir. Bunun yanında yaklaşık 1 milyar ton’luk taşkömürü rezervinin ise yarısı işletilebilir niteliktedir (ETKB, 2010a).

Türkiye enterkonnekte bir elektrik dağıtım sistemine sahiptir. Böylece bir bölgede üretilen elektrik, ihtiyaca göre Türkiye’nin herhangi bir bölgesine iletilebilmektedir. Ülkenin batı kesiminde endüstriyel faaliyetlerin yoğun olması nedeniyle doğu kesimlere göre daha fazla elektrik tüketilmektedir. Fosil yakıtlar ile çalışan elektrik üretim santralleri ülkenin orta ve batı kesimlerinde yoğun dağılım gösterirken, hidrolik santraller ise doğu kesimlerde yoğunluk göstermektedir. Bu nedenle elektrik üretimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonlarının da batı kesimlerde daha yüksek olması beklenmektedir.

Küresel ısınma üzerinde etkili en önemli sera gazı olan CO<sub>2</sub>’in toplam sera gazları içindeki payı %80 civarındadır (TÜİK, 2010). United Nations Statistics Division (UNSD) tarafından Temmuz 2010’da hazırlanan istatistiklere göre 2007 yılında dünya genelinde salınan toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 30 milyar ton’un üzerindedir. Bu emisyonunun %22’si Çin, %20’si ABD ve %14’ü Avrupa Birliği’ne üye olan ülkelerden kaynaklanmaktadır. Türkiye’nin 2007 yılı itibarıyla dünya toplam CO<sub>2</sub> emisyonundaki payı yaklaşık %1’dir (UNSD, 2010).

✉Merih Aydınalp Köksal  
Tel: (312) 297 7800, Faks: (312) 299 2053  
E-posta: aydinalp@hacettepe.edu.tr

## Simgeler ve Kısaltmalar Dizini

AID	Alt Isıl Değer (kcal kg <sup>-1</sup> veya kJ m <sup>-3</sup> )
ÇOB	Çevre ve Orman Bakanlığı
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurulu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
E	CO <sub>2</sub> Emisyonu (kg yıl <sup>-1</sup> )
E*	Tahmini CO <sub>2</sub> Emisyonu (kg yıl <sup>-1</sup> )
EF	Yakıt Tipine Göre Emisyon Faktörü (kg CO <sub>2</sub> TJ <sup>-1</sup> )
EF*	Yakıt Bazında Özel Emisyon Faktörü (kg CO <sub>2</sub> MWh <sup>-1</sup> )
EÜ	Elektrik Üretimi (MWh)
EÜ*	Tahmini Elektrik Üretimi (MWh)
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MYTM	Milli Yük Tevzii Merkezi
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNSD	United Nations Statistics Division
YM	Yakıt Miktarı (kg yıl <sup>-1</sup> veya m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup> )
YT	Yakıt Tüketimi (TJ yıl <sup>-1</sup> )
η	Ortalama Termodinamik Verim (%)

Türkiye’de 1990 - 2008 yılları arasında CO<sub>2</sub> emisyonları iki katından daha fazla artarak 142 milyon ton’dan 298 milyon ton’a ulaşmıştır. Kriz yılları olan 1994, 1998 ve 2001 yılları ile İstanbul depreminin yaşandığı 1999 yılında toplam CO<sub>2</sub> emisyonunda önceki yıllara göre azalma görülmesine rağmen, 1990 - 2008 yılları arasında toplam CO<sub>2</sub> emisyonu yıllık ortalama %4’lük bir hızla artmaya devam etmiştir. Türkiye’nin toplam sera gazı emisyonu 2008 yılı itibarıyla 1990 yılına göre yaklaşık %98 artarak 369,7 milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğerine ulaşmıştır (TÜİK, 2010).

Türkiye’deki sera gazı emisyonlarının en büyük kaynağı enerji, özellikle de elektrik üretim sektörüdür. Elektrik üretimi tek başına toplam sera gazı emisyonlarının üçte birinden sorumludur (TÜİK, 2010). Taşkömürü ve linyitin elektrik üretiminde hayli yoğun kullanılmasına bağlı olarak 1990 - 2004 yılları arasındaki CO<sub>2</sub> emisyonlarında büyük artış görülmektedir.

Dünya genelinde sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik bağlayıcılığa 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü sahiptir. Türkiye’nin de 2009 yılında imzaladığı bu protokole göre taraf ülkeler emisyonlarını 1990’daki emisyon seviyelerinden ortalama %5 aşağı çekeceklerdir. Türkiye ‘ortak farklılaştırılmış sorumluluklar’ ilkesi nedeniyle özel koşullara sahiptir. Bu nedenle ilk yükümlülük dönemi olan 2008 - 2012 yılları arasında herhangi bir salım sınırlama veya azaltım yükümlülüğü bulunmamaktadır. Ulusal İklim Değişikliği Stateji Belgesi’nde de belirtildiği gibi Türkiye gerek OECD ülkeleri ve gerekse de İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi EK-I ve EK-I dışı ülkelerinin sanayileşme seviyeleri, kişi başı birincil enerji tüketimi ve kişi başı sera gazı tarihsel sorumluluk değerleri ile karşılaştırılabilir düzeyde

değildir (DPT, 2010). 2013 yılından itibaren uygulanmaya başlanacak olan ikinci yükümlülük döneminde ise Türkiye’nin ülke menfaatlerini koruyacak şekilde yükümlülükler altına girmesi beklenmektedir. Bu nedenle protokolün imzalanmasından sonra mevcut emisyonların belirlenmesi için envanter çalışmalarının yapılması ve gelecek yıllarda oluşacak emisyonların tahmin edilebilmesi için modellerin geliştirilmesi Türkiye için oldukça önemli hale gelmiştir.

Türkiye’de elektrik üretiminin sera gazı, özellikle de CO<sub>2</sub> emisyonu üretimine büyük katkısı olduğu bilinmektedir. Toplam elektrik üretiminin 2009 yılı itibarıyla %80’i fosil yakıtlı santrallerde gerçekleştirilmiştir (ETKB, 2010a). Bunun yanında kirletici miktarı yüksek linyit ve taşkömürü yakıtlı elektrik santralleri bazı bölgelerde yoğun olarak bulunmaktadır. Buradan hareketle bu çalışmanın ana amacı, Türkiye’de mevcut ve planlanan fosil yakıtlı santrallerden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonunun bölgesel olarak belirlenmesi ve ihtiyaç duyulan yeni tesisler için kurulum bölgelerinin önerilmesidir.

Bu çalışmada 2001 - 2008 yılları arası faaliyet gösteren ve 2009 - 2020 yılları arası faaliyete geçmesi planlanan tüm elektrik üretim santrallerine ait veriler Milli Yük Tevzii Merkezi (MYTM) tarafından belirlenen dokuz yük dağıtım bölgesi bazında incelenmiştir. Bu bölgeler sırasıyla Adapazarı, Çarşamba, Erzurum, Gölbaşı, İkitelli, İzmir, Keban, Kepez ve Seyhan’dır. Ülkemizde, 2008 yılı itibarıyla 265’i fosil yakıtlı ve 147’si yenilenebilir olmak üzere toplam 412 elektrik üretim santrali faaliyet göstermiştir. Tesis sayısının 2020 yılı itibarıyla 343 fosil yakıtlı ve 704 yenilenebilir elektrik üretim santrali olması beklenmektedir. Mevcut santrallere ait ayrıntılı veriler MYTM’nden ancak 2008 yılına kadar temin edilebilmiştir (TEİAŞ, 2009a). 2009 yılında açıklanan lisanslı planlanan santrallere ait veriler ise Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurulu (EPDK)’ndan temin edilmiştir (EPDK, 2009). Yapılan tüm değerlendirme ve belirlemeler santral bazında, bölgesel ve Türkiye toplamında ele alınmıştır.

## 2. Literatür Özeti

Literatürde Türkiye’nin toplam sera gazı emisyonu üzerine birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan Akçasoy vd. (2000) çalışmasında 2010 yılı için Türkiye geneli CO<sub>2</sub> emisyonunun 536 milyon ton olacağı tahmin edilmiştir. Say ve Yucel (2006)’in çalışmasında, toplam enerji tüketimi ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişkiyi regresyon analizi ile incelemiş, 2015 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonu tahmininde bulunmuşlardır. Ymanoğlu (2006) tarafından yapılan çalışmada ise 1990, 2000 ve 2004 yılları için

Türkiye, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) ülkeleri ve dünya genelindeki CO<sub>2</sub> emisyonlarına ilişkin temel göstergeler karşılaştırılmıştır. Ozturk ve Acaravci (2010)'nin çalışmasında CO<sub>2</sub> emisyonları, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiler karşılaştırılmıştır. Lise (2006)'nin çalışmasında ise 1980 - 2003 yılları arası CO<sub>2</sub> emisyonları için çözünme analizi kullanılarak ekonomik büyüme ile arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

Türkiye Sera Gazı Emisyon Envanteri çalışmasında ise enerji, sanayi, tarım ve atık sektörleri için toplam sera gazı emisyonlarının envanteri çıkartılmıştır. Türkiye genelinde 1990 - 2009 yılları arası toplam sera gazı emisyonunun yaklaşık %80'i enerji sektöründen kaynaklanmaktadır (TÜİK, 2010).

Türkiye'de yapılan ilk elektrik üretiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu tahmini çalışmalarından biri Ekinci vd. (1997) gerçekleştirilen Ulusal Çevre Eylem Planı raporudur. Bu çalışmada enerji sektöründen kaynaklanan hava kirliliği incelenerek 1970 - 1993 yılları arasındaki mevcut durum ortaya konmuş ve 2010 yılına kadar olan süreç için tahmin çalışmaları yapılmıştır. Çalışmaya göre 2010 yılı için Türkiye'nin toplam kurulu gücü 59 408 MW ve elektrik üretimi 312 TWh olarak tahmin edilmiştir. Yine yapılan tahminlerde toplam kurulu gücün % 61'inin fosil yakıtlı santrallere ait olacağı ve enerji tüketiminden kaynaklanacak olan toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun 608 milyon ton olacağı belirlenmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve diğer resmi birimler tarafından yayımlanan envanter çalışmalarında Can (2006)'nin doktora tez çalışması kaynak olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, emisyon kaynaklarına göre yakıt tüketimleri kullanılarak il ve ilçe düzeyinde CO<sub>2</sub> emisyon envanteri hazırlanmış, ormanların CO<sub>2</sub> soğurması bulunmuş ve yer seviyesi CO<sub>2</sub> konsantrasyonu tahmin edilmiştir. 1990 - 2003 yılları arasına ait CO<sub>2</sub> emisyon envanter sonuçları, en düşük CO<sub>2</sub> emisyon değerinin 143 milyon ton ile 1990 yılında ve en yüksek değer ise 208 milyon ton ile 2000 yılında olduğunu göstermiştir. Yıllar itibariyle en yüksek bölgesel CO<sub>2</sub> emisyonunun, Marmara Bölgesinden ortalama 55 milyon ton yıl<sup>-1</sup> olarak yayıldığı ve Türkiye'nin toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun yarısının Marmara ile Ege Bölgelerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. 2003 yılı itibariyle toplam CO<sub>2</sub> emisyonu yaklaşık 208 milyon ton olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada elektrik santrallerinden kaynaklanan emisyonlar ise toplam değer yaklaşık %20'si olarak elde edilmiştir. Çalışmada sadece Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ)'ne bağlı 24 adet fosil yakıtlı

santralden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyon miktarları dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında, 1990 - 2003 yılları arasında bu 24 fosil yakıtlı santralden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyon miktarı, yakıt tüketiminin emisyon faktörleri ile çarpılması yöntemiyle hesaplanmış ve 2010 yılına kadar olan CO<sub>2</sub> emisyonları ise T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)'nin yakıt tüketimi tahminleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmada, Türkiye genelinde elektrik üretiminde son beş yıldır yaklaşık %48 paya sahip olan özel şirketlere ait olan santraller dikkate alınmamıştır.

Elektrik sektörü bazında yapılan diğer emisyon tahmini çalışması da ETKB tarafından 2006 yılında yapılmıştır (ETKB, 2006). Bu çalışmada, Türkiye'nin toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun 2010 yılında 350 milyon ton, 2020 yılında ise % 73 artış ile 605 milyon ton olacağı öngörülmüştür. Sektörel bazda en yüksek artışın 2010 - 2020 yılları arasında % 90 oranında elektrik sektöründe olacağı tahmin edilmiştir.

Yapay sinir ağları yaklaşımı kullanılarak sektörel CO<sub>2</sub> emisyonlarının tahmini Sozen vd. (2007) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, sektörel bazda sera gazı emisyonunu tanımlayan denklemler türetilmiştir. Arı ve Aydınalp Köksal (2011) tarafından elektrik üretimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu 2019 yılına kadar yakıt dağılımına bağlı olarak üretilen üç senaryo bazında incelenmiştir. Bu senaryolara göre elektrik üretimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonunun 2011 - 2019 yılları arasında seçilen senaryolar bazında 192 milyon ton farklılık gösterebileceği tahmin edilmiştir.

Yapılan çalışmalardan da görülebileceği gibi, Türkiye için devlet ve özel sektöre ait tüm elektrik üretim santral verileri kullanılarak CO<sub>2</sub> emisyonunun yük dağıtım bölgeleri özelinde mevcut ve planlanan santraller bazında belirlendiği bir çalışma yoktur.

### 3. Veriler

Bu bölümde çalışmada kullanılan mevcut ve planlanan elektrik üretim santrallerine ait veriler, yakıt bazında emisyon faktörü değerleri, yakıt alt ısı değerleri, ortalama termodinamik verim değerleri ve elektrik talep tahmin değerleri verilmektedir.

#### 3.1. Elektrik Üretim Santrallerine Ait Veriler

Bu kısımda mevcut ve planlanan elektrik üretim santrallerine ait veriler anlatılmaktadır.

##### 3.1.1. Mevcut Santral Verileri

2001 - 2008 yılları arası faaliyet gösteren elektrik üretim santrallerine ait veriler Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)'ne bağlı MYTM'nden temin edilmiştir (TEİAŞ, 2009a). Mevcut santrallere ait 2008 yılı sonrası verileri TEİAŞ'ın özel teşebbüs verilerini paylaşmama kararından dolayı temin edilememiştir.

Toplam sekiz yıllık veri setinde tüm Türkiye’de faaliyet gösteren özel teşebbüs ve devlete ait, yenilenebilir ve fosil yakıtlı santral verileri bulunmaktadır. Yenilenebilir santraller hidrolik, jeotermal ve rüzgar santrallerini, fosil yakıtlı santraller ise doğalgaz, fuel oil, linyit ve taşkömürü yakıtlı santralleri kapsamaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler aşağıdaki bilgileri içermektedir.

1. Devlete Ait Santral Verileri:
  - (a) Yenilenebilir Santraller: Elektrik üretimi (MWh gün<sup>-1</sup>), (b) Fosil Yakıtlı Santraller: Elektrik üretimi (MWh gün<sup>-1</sup>) ve yakıt miktarı (ton gün<sup>-1</sup> veya m<sup>3</sup> gün<sup>-1</sup>)
2. Özel Santral Verileri:
  - (a) Yenilenebilir Santraller: Elektrik üretimi (MWh gün<sup>-1</sup>), (b) Fosil Yakıtlı Santraller: Elektrik Üretimi (MWh gün<sup>-1</sup>).

### 3.1.2. Planlanan Santral Verileri

Lisans almış ve ileriki yıllarda faaliyete geçmesi planlanan elektrik üretim santrallerine ait veriler EPDK’ndan temin edilmiştir (EPDK, 2009). Bu çalışmada kullanılan veriler

1. Firma Adı, Tesis Adı, Tesis Yeri ve Yakıt Tipi,
2. Lisans Kurulu Gücü (MW), Tahmini Elektrik Üretimi (kWh yıl<sup>-1</sup>) ve Fiili Gerçekleşme (%).

bilgilerini içermektedir.

Planlanan elektrik üretim santralleri, fiili gerçekleşme (%) verileri kullanılarak 2009 - 2020 yılları arasında tahmini işletmeye alınma tarihlerine tasnif edilmiştir. En yüksek fiili gerçekleşme oranı 2009 yılı ile ve en düşük fiili gerçekleşme oranı 2020 yılı ile eşleştirilmiştir.

### 3.1.3. Adres Verileri

Planlanan santrallere ait veriler tesis yeri verilerini barındırmaktadırlar. Mevcut santral verilerinde ise santrallerin adresleri ile ilgili hiçbir bilgi bulunmamaktadır. 2008 yılı itibariyle 147’si yenilenebilir ve 265’i fosil yakıtlı olmak üzere toplam 412 elektrik üretim santrali faaliyet göstermiştir. Geçmiş yıllarda faaliyet gösteren ve 2008 yılında artık faaliyette olmayan santralleri de hesaba kattığımızda bu sayı 450’ye yaklaşmaktadır. 450’ye yakın elektrik üretim santralinin adres bilgilerini temin etmek için internet arama motorları ve telefon rehberleri kullanılmıştır. Şirketlere ait internet sitelerine ve telefon bilgilerine ulaşıldıktan sonra adres teyidi için her şirket ile telefon görüşmeleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.2. Emisyon Faktörleri, Yakıt Alt Isıl Değerleri ve Ortalama Termodinamik Verim

Çalışmada mevcut fosil yakıtlı elektrik üretim santrallerine ait CO<sub>2</sub> emisyon değerleri hesaplanırken Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Tier 1 yaklaşımındaki verilen emisyon faktörleri kullanılmıştır (IPCC, 2006). Özellikle Kyoto

Protokolü gibi bağlayıcı anlaşmalar göz önüne alındığında IPCC emisyon faktörlerinin genel yakıt tiplerini kapsadığı kabul edilmiştir. Yakıtların alt ısı değerleri olarak EÜAŞ’a bağlı santrallerin web sitelerinde verilen alt ısı değerler (EÜAŞ, 2011) kabul edilmiştir. Santrallerde kullanılan doğalgaz ve fuel oilin alt ısı değerinde de çok büyük bir fark olmadığından dolayı, IPCC’nin Tier 1 yaklaşımında verilen ortalama değerler kullanılmıştır. Türk linyitlerine ait emisyon faktörü belirlenirken en düşük alt ısı değere sahip linyit en yüksek emisyon faktörü ile ve en düşük alt ısı değere sahip linyit en yüksek emisyon faktörü ile eşleştirilerek ortalama değer edilmiştir. Elde edilen bu emisyon faktörü aralığının Türk linyit özelliklerini yansıttığı düşünülmektedir. Taşkömürü için de buna benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. Yakıt tüketim verileri temin edilen mevcut fosil yakıtlı santrallerden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarını hesaplamak için her tesiste kullanılan yakıtın alt ısı değerleri de temin edilmiştir. Daha sonra bu iki değer kullanılması ile santrallerin CO<sub>2</sub> emisyonlarını hesaplanmıştır.

Özel santrallere ait verilerde ise, tesislerde kullanılan yakıt miktarı verileri bulunmamaktadır. Yakıt miktarı bilinmeyen santrallerin yakıt tüketimi (YT) değerlerinin hesaplanabilmesi için Eşitlik 2’de verildiği üzere ortalama termodinamik verim ( $\eta$ ) değeri kullanılmaktadır. Tablo 1’de çalışmadaki hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri, yakıt alt ısı değerleri ve literatürdeki çeşitli kaynaklardan elde edilen ortalama termodinamik verim değerleri verilmektedir (Keskinel, 2006; Kincay ve Ozturk, 2003; Oktay, 2009).

## 4. Yöntem

Çalışmada ilk olarak 2001 - 2008 yılları arası faaliyet göstermiş olan elektrik üretim santrallerine ait yakıt tüketimleri, CO<sub>2</sub> emisyonları ve yakıt bazında özel emisyon faktörleri, daha sonra ise 2009 - 2020 yılları arası faaliyete geçmesi planlanan santrallere ait tahmini CO<sub>2</sub> emisyonları hesaplanmıştır. Bu kısımda hesaplamalarda kullanılan yöntem anlatılmaktadır.

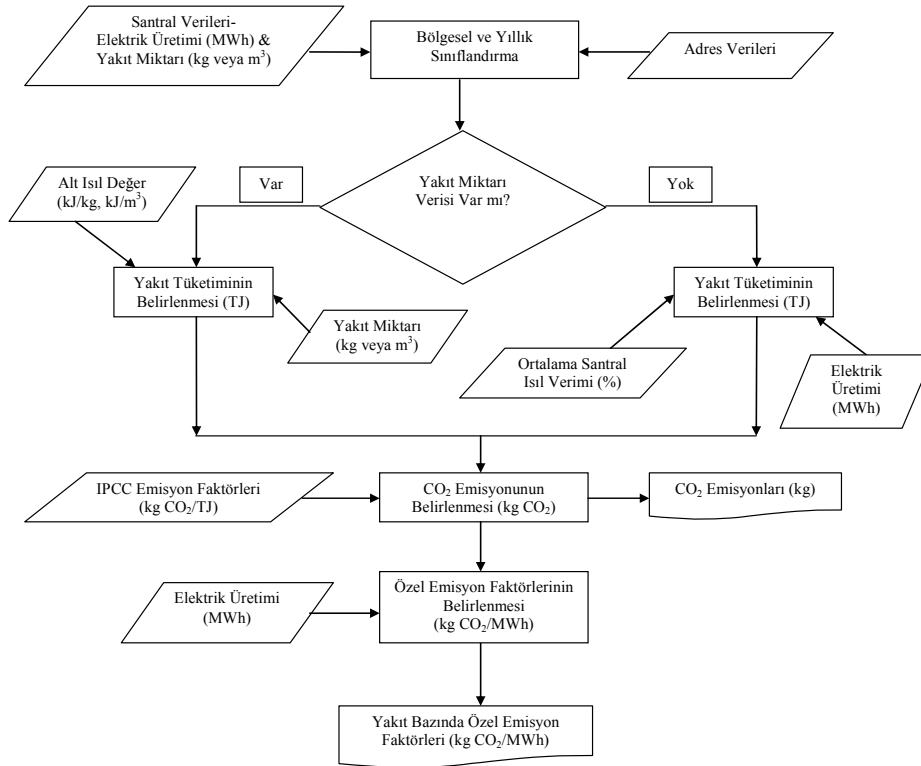
### 4.1. Mevcut Elektrik Üretim Santrallerine Ait Hesaplamalar

2001 - 2008 yılları arası faaliyet gösteren mevcut fosil yakıtlı santrallere ait hesaplamalar yapılırken izlenen yöntemler Şekil 1’deki akım şemasında verilmektedir. Öncelikle MYTM’den temin edilen santral verileri düzenlenerek, santral bazında yakıt tüketimleri belirlenmiştir. Yakıt tüketimleri ve CO<sub>2</sub> emisyon faktörleri kullanılarak santral bazında, bölgesel bazda ve Türkiye toplamında CO<sub>2</sub> emisyonları hesaplanmıştır. Elektrik üretim verileri ve CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri ile yakıt bazında özel emisyon faktörleri oluşturulmuştur.

**Tablo 1.** Yakıt tipine göre ortalama emisyon faktörü, alt ısıl değerleri ve ortalama termodinamik verim değerleri

Yakıt Tipi	Emisyon Faktörü <sup>a</sup> (kg CO <sub>2</sub> TJ <sup>-1</sup> )	Alt Isıl Değer <sup>b</sup> (kcal kg <sup>-1</sup> veya kJ m <sup>-3</sup> )	Ortalama Termodinamik Verim <sup>c</sup> (%)
Doğalgaz	56 100	34 900 - 34 960 kJ m <sup>-3</sup>	55,0
Fuel Oil	74 100	9 560 - 10 300 kcal kg <sup>-1</sup>	37,0
Linyit	90 900 - 115 000	950 - 2 400 kcal kg <sup>-1</sup>	33,0
Taşkömürü	89 500 - 99 700	3 200 - 6 000 kcal kg <sup>-1</sup>	33,6

<sup>a</sup>(IPCC, 2006), <sup>b</sup>(EUAŞ, 2011; Kincay ve Ozturk, 2003), <sup>c</sup>(Keskinel, 2006; Kincay ve Ozturk, 2003; Oktay, 2009)



**Şekil 1.** 2001 - 2008 yılları arası faaliyet gösteren mevcut fosil yakıtlı santrallere ait CO<sub>2</sub> emisyonu ve yakıt bazında özel emisyon faktörlerini belirlemek için kullanılan yöntemlere ait akım şeması

#### 4.1.1. Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi

Santrallerin yakıt miktarı verilerinin olup olmasına göre santral bazında yakıt tüketimi iki şekilde hesaplanmaktadır.

1. Yakıt miktarı verisi olan santraller için yakıt tüketimi Eşitlik 1'de gösterildiği gibi yakıtta ait alt ısıl değer ile yakıt miktarının çarpılmasıyla elde edilmektedir.

$$YT = AID \times YM \quad (1)$$

Burada;

YT yakıt tüketimi (TJ yıl<sup>-1</sup>)  
YM yakıt miktarı (kg yıl<sup>-1</sup> veya m<sup>3</sup> yıl<sup>-1</sup>)  
AID alt ısıl değeri (kcal kg<sup>-1</sup> veya kJ m<sup>-3</sup>)  
temsil etmektedir.

2. Yakıt miktarı verisi olmayan santraller için yakıt tüketimi Eşitlik 2'de gösterildiği gibi elektrik

üretiminin ortalama termodinamik verime bölünmesiyle elde edilmektedir.

$$YT = EÜ \times \eta^{-1} \quad (2)$$

Burada;

EÜ elektrik üretimi (MWh yıl<sup>-1</sup>)  
 $\eta$  ortalama termodinamik verimi (%)  
temsil etmektedir.

#### 4.1.2. CO<sub>2</sub> Emisyonunun Belirlenmesi

Santrallerde elektrik üretimi sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Eşitlik 3'te gösterildiği gibi santralde kullanılan yakıtta ait emisyon faktörü ile yakıt tüketiminin çarpılmasıyla elde edilmektedir.

$$E = EF \times YT \quad (3)$$

Burada;

E CO<sub>2</sub> emisyonu (kg yıl<sup>-1</sup>)  
EF yakıt tipine göre emisyon faktörünü (kg CO<sub>2</sub> TJ<sup>-1</sup>) temsil etmektedir.



CO<sub>2</sub> emisyonuna bakıldığında 2001 yılında 68 milyon ton olan emisyon 2008 yılında % 55 artışla 106 milyon tona ulaşmış ve 2020 yılında 197 milyon tona ulaşması beklenmektedir.

2001 yılında 222 olan toplam santral sayısı 2008 yılına gelindiğinde 412'ye ulaşmıştır. İşletmeye alınan 171 yeni santralin getirisi 73 TWh'lik elektrik üretimi şeklinde olmuştur. 2020 yılında planlanan santraller itibariyle toplam sayınının 1047'ye ulaşması beklenmektedir. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerjilere ve doğalgaza verilen önem nedeniyle santral sayısı bakımından 2020 yılı itibariyle hidroliğin 604 santral ile lider konumda olması, 227 santral ile onu doğalgazın takip etmesi ve 94 santral ile rüzgarın da önemli bir sayıya ulaşması öngörülmektedir.

2009, 2010 ve 2011 yılları işletmeye alınması planlanan fosil yakıtlı santraller için yapılan yakıt bazında santral sayısı, kurulu güç ve üretim tahminleri bu yıllar için gerçekleşen yeni santral bilgileri ile karşılaştırılmıştır. Yalnızca geçmiş yıllarda faaliyetini durduran linyit yakıtlı 24 MW'lık bir santralin daha işletmeye alındığı, bunun dışında diğerleri için yapılan tahminlerin doğru olduğu görülmüştür. Buna karşın, özellikle planlanandan yüksek sayıda rüzgar ve hidrolik santrallerinin işletmeye alındığı gözlenmiştir (EPDK, 2012). Bu santrallerin elektrik üretiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonuna etkisi olmadığından dolayı bu değişim uzun dönem CO<sub>2</sub> emisyon tahminlerini etkilememektedir. Rüzgar ve hidrolik santral sayılarındaki bu artış, 2011 yılı için tahmin edilen toplam elektrik üretimine yaklaşık 19 TWh'lik bir ek getirmiştir.

### 5.1. Bölgesel Elektrik Üretimi ve CO<sub>2</sub> Emisyonu

Bölgeler bazında Türkiye elektrik üretiminin büyük çoğunluğu Adapazarı, Keban, İzmir ve İkitelli bölgeleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Planlanan santraller dahilinde 2020 yılına gelindiğinde ilk dört bölgenin değişmemesi fakat sıralamada farklılıklar görülmesi beklenmektedir. Bölgesel bazda 2001-2020 yılları arası elektrik üretimi Şekil 3'te verilmektedir.

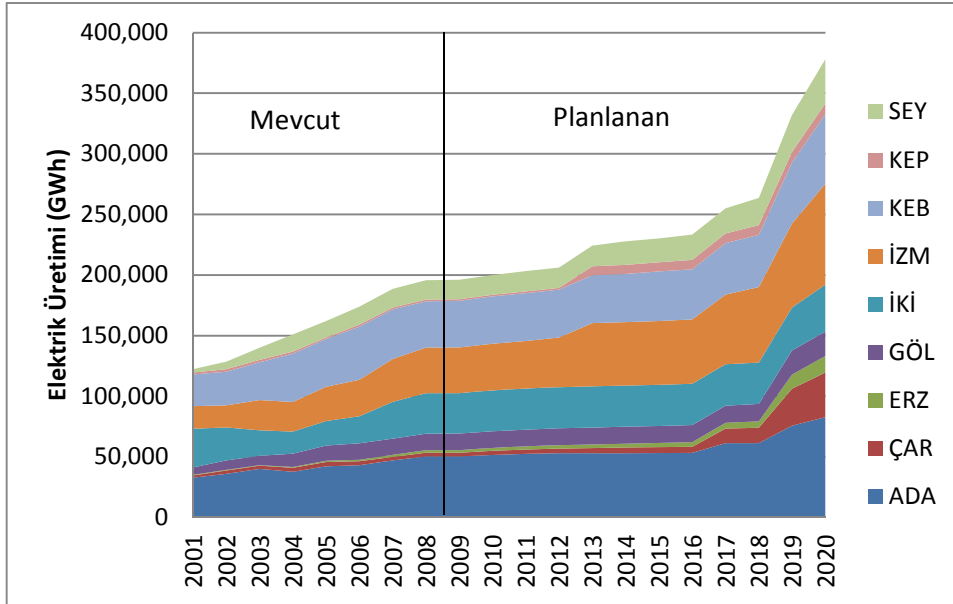
2001 yılı itibariyle en yüksek üretimi % 27 ile Adapazarı bölgesi gerçekleştirmiştir. Adapazarı bölgesini % 26 ile İkitelli, % 21 ile Keban ve % 15 ile İzmir bölgeleri takip etmektedir. 2008 yılında toplam elektrik üretiminin % 26'sı Adapazarı, % 20'si Keban, % 19'u İzmir ve % 17'si İkitelli bölgeleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Ülkenin batı kesiminde yer alan Adapazarı, İzmir ve İkitelli bölgeleri sanayi faaliyetleri nedeniyle elektrik tüketiminin dolayısıyla da elektrik talebinin yüksek olduğu bölgelerdir (Aydınalp Köksal

vd., 2010). Planlanan santraller dahilinde 2020 yılında ise % 22'şer payla Adapazarı ve İzmir, % 15 payla Keban ve % 10'ar payla Seyhan, İkitelli ve Çarşamba bölgelerinde elektrik üretiminin gerçekleştirilmesi beklenmektedir.

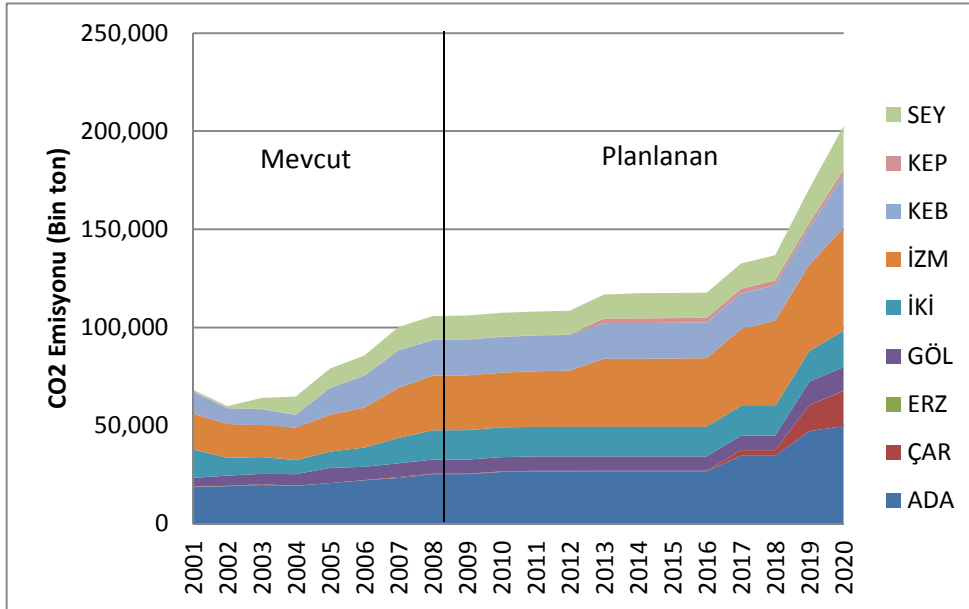
Bölgelerin 2001 yılı yenilenebilir santrallerde elektrik üretimi değerlerine bakıldığında Keban bölgesinin % 14 ile lider konumda olduğu görülmektedir. Türkiye'nin elektrik ihtiyacının karşılanmasında baz yük santralleri olarak kullanılan Güneydoğu Anadolu Projesi bölgesinde yer alan Keban, Karakaya ve Atatürk gibi büyük hidrolik santraller aynı zamanda Keban yük dağıtım bölgesi sınırları içerisinde. Planlanan santraller dahilinde 2020 yılı itibariyle toplam hidrolik potansiyelinin üçte ikisinin kullanımda olacağı göz önünde bulundurulduğunda Çarşamba, Erzurum, Kepez ve Seyhan bölgelerinin yenilenebilir paylarının artması beklenmektedir. İzmir bölgesinin rüzgara dayalı gelişim göstermesi beklenirken, hemen hemen kurulu gücünün tamamı doğalgaza dayalı olan Adapazarı bölgesinde bile hidrolik santrallerin kurulması planlanmaktadır.

Bölgeler bazında 2001 - 2020 yılları arası mevcut ve planlanan elektrik üretimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Buradan Türkiye'nin elektrik üretimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonunun çoğunlukla İzmir, Adapazarı, Keban, İkitelli ve Seyhan bölgelerinden kaynaklandığı görülebilmektedir. Planlanan santraller dahilinde 2020 yılında yine aynı bölgelerin yüksek CO<sub>2</sub> emisyonu oluşmasına neden olacağı beklenmektedir.

2001 yılı itibariyle en yüksek emisyonu % 27'şer payla Adapazarı ve İzmir bölgeleri sahip olmuştur. Adapazarı ve İzmir bölgelerini % 21 ile İkitelli ve % 16 ile Keban bölgeleri takip etmektedir. Adapazarı bölgesi İzmir bölgesinden % 12 daha fazla elektrik üretimi gerçekleştirdiği halde iki bölgenin de neden oldukları emisyon paylarının aynı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Adapazarı bölgesinin büyük oranda doğalgaz yakıtlı santrallere sahip olmasıdır. 2008 yılına gelindiğinde elektrik üretimine bağlı toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun % 26'sı İzmir, % 24'ü Adapazarı, % 14'ü Keban ve % 11'i Seyhan bölgeleri tarafından oluşturulmuştur. Seyhan bölgesinde özellikle 2003 yılından itibaren gözlenen artışın nedeni, bu yılda 1320 MW kurulu güce sahip Türkiye'nin en büyük ithal taşkömürü yakıtlı santralinin bölgede faaliyete geçmiş olmasıdır. Planlanan santraller dahilinde 2020 yılında ise CO<sub>2</sub> emisyonundaki payların % 26 ile İzmir, % 25 ile Adapazarı, % 13 ile Keban ve % 11 ile Seyhan bölgesi şeklinde dağılımı beklenmektedir.



Şekil 3. Türkiye Geneli 2001 - 2020 Yılları Arası Bölgesel Bazda Mevcut ve Planlanan Elektrik Üretimi (GWh)



Şekil 4. Türkiye geneli 2001-2020 yılları arası bölgesel bazda mevcut ve planlanan elektrik üretimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu (bin ton)

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında mevcut santraller incelendiğinde Türkiye'de elektrik üretiminde ağırlıklı olarak Adapazarı, İkitelli, İzmir ve Keban bölgelerinin etkili olduğu görülmektedir. Elektrik üretimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu bakımından da en hassas bölgelerin ise Adapazarı, İkitelli, İzmir, Keban ve Seyhan bölgeleri olduğu ortaya çıkmıştır.

Santral bazlı verilerin temin edildiği son yıl olan 2008 yılında toplam 41 817 MW kurulu güce sahip 412

elektrik santralının 265'i fosil yakıtlıdır. Toplam 196 TWh'lik elektrik üretiminin ise % 49'u doğalgaz yakıtlı santrallerde gerçekleştirilmiştir. Aynı yılda linyit yakıtlı santraller 47 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonuna neden olmuştur. En çok elektrik üretimi Adapazarı bölgesinde gerçekleşirken, elektrik üretimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonuna en çok İzmir bölgesi neden olmuştur. Elektrik üretiminde en yüksek yenilenebilir enerji payına ise Keban bölgesi sahiptir.





**Şekil 5.** Türkiye Geneli 2020 Yılı Fosil Yakıtlı Elektrik Santralleri Haritası  
(Kırmızı Pim: Linyit ve Taşkömürü, Sarı Pim: Doğalgaz ve Yeşil Pim: Fuel Oil; Kırmızı Üçgen: Planlanan Linyit ve Taşkömürü, Sarı Üçgen: Planlanan Doğalgaz ve Yeşil Üçgen: Planlanan Fuel Oil)

Tahmin döneminin son yılı olan 2020 yılında ise 343'ü fosil yakıtlı olmak üzere 76 416 MW toplam kurulu güce sahip 1047 elektrik santralinin faaliyet göstermesi, 377 TWh'lık elektrik üretiminin %39'unun doğalgaz ile gerçekleştirilmesi ve linyit yakıtlı santrallerin 58 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonuna neden olması beklenmektedir. En çok elektrik üretiminin Adapazarı ve İzmir bölgelerinde, elektrik üretimine bağlı en çok CO<sub>2</sub> emisyonunun ise İzmir bölgesinde gerçekleşmesi öngörülmektedir. Ayrıca 2008 yılında olduğu gibi elektrik üretiminde en yüksek yenilenebilir payına yine Keban bölgesinin sahip olması beklenmektedir.

Elektrik talebindeki 2009 - 2019 yılları arasındaki muhtemel açığın öncelikle yeni fosil yakıtlı santraller kurularak karşılanması gerektiği kabul edilirse, yeni kurulacak santrallerin ülkenin batı kesimlerine kurulmaması önerilmektedir. Şekil 5'te 2020 yılında kurulması kesinleşen santraller ile birlikte Türkiye'nin fosil yakıtlı santral haritası verilmektedir. Buradan da görülebileceği gibi özellikle Marmara bölgesinin yeni bir hava kirliliği yükünü kaldıramayacağı açıktır. Hava kalitesi açısından risk taşımayan, daha az kentleşmenin ve sanayi faaliyetlerinin gerçekleştirildiği ve aynı zamanda mevcut linyit rezervlerine yakın özellikle Tuz Gölü havzasının güney ve güney-doğu kesiminden İç Batı Anadolu ve Batı Karadeniz'e uzanan kesim gibi başka bölgelerin tercih edilmesi yerinde olacaktır (TKİ, 2011).

Doğalgaz yanma sonucu düşük CO<sub>2</sub> emisyonu oluşturması ve kömüre göre yüksek santral verimi sağlaması nedeniyle tercih edilmektedir. Türkiye'de elektrik üretimi amaçlı kullanılan doğalgazın neredeyse tamamı boru hatlarıyla Rusya'dan ithal edilmektedir. Tankerler ile denizasıra diğer ülkelerden ithal edilen doğalgaz, Rusya ile yapılan anlaşma yanında ihmal edilebilir ölçülerdedir. Doğalgazda tamamen dışa bağımlı olan Türkiye elektrik arz-talep dengesindeki dalgalanmalardan olumsuz etkilenmekte ve yaptığı anlaşmalar gereği kullanmadığı doğalgazın ücretini ödemek durumunda kalmaktadır. Ayrıca yapılan anlaşmaların süresi uzadıkça doğalgazın birim fiyatı düşmektedir. Anlaşma sürelerini uzatabilmek ve arz-talep dalgalanmalarından olumsuz etkilenmemek amacıyla Türkiye'nin doğalgaz depolama alanları oluşturması şarttır. Halihazırda kullanılmakta olan Hamitabat doğalgaz depolama alanının yanında Tuz Gölü'nün altında başka bir depolama alanı oluşturma projesi devam etmektedir. Elektrik üretiminde oluşan CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltımı hedeflenirken, güvenli elektrik üretimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu amaçla enerji çeşitlendirmesi yapmak şarttır. Ülke ekonomisinin refahı için hem yerli rezervlerin kullanılması hem de düşük hava kirlilik emisyonları amaçlandığında elektrik üretiminde temiz teknolojilerin kullanımı gündeme gelmektedir. Uzun yıllardır faaliyet gösteren santrallerin revizesi ve yeni santral projelerinin entegre gazlaştırma kombine çevrim ve akışkan

yatak gibi temiz yakma teknolojileri ile planlanması önemli ölçüde üretimde verim artışı ve emisyon azaltımı sağlayacaktır. Türkiye’de sadece EÜAŞ’ne bağlı faaliyet gösteren Çan santrali ve özel teşebbüse ait bir santral akışkan yatak teknolojisine sahiptir.

Çalışma sonuçlarının özellikle yeni elektrik üretim santral projelerinin yer seçimi konusunda yetkililere faydalı olacağı düşünülmektedir. Santrallerin yer seçimi aşamasında iletim kayıplarının en aza indirilebilmesi için elektrik talebinin yoğun olduğu bölgelerin seçildiği bilinmektedir. Ekinci vd. (1997) yaptığı çalışma bu görüşü ve zamanın enerji politikasını destekler yöndedir. Fakat günümüzde elektrik talebinin yoğun olduğu bölgeler CO<sub>2</sub> emisyonu dolayısıyla kirlenici emisyonlar bakımından hassas olan bölgeler haline gelmiştir. Buradan hareketle, planlanan fosil yakıtlı santrallerin iç ve doğu bölgelere kaydırılması, iletim hatlarındaki kayıp oranlarının en aza indirilebilmesi için akıllı iletim hattı gibi yeni teknolojilerin kullanılması ve batı bölgelerde yenilenebilir santral projelerinin hayata geçirilmesi önerilmektedir.

## Kaynaklar

Akçasoy, K., Önder, F., Güven, S., 2000. Statistical Evaluation of Greenhouse Gas Emissions of Turkey between the years of 1970 and 2010, <http://www.unescap.org/stat/envstat/stwes-08.pdf>, erişim: 12-09-2010.

Ari, I., Aydınalp Koksall, M., 2011. Carbon Dioxide Emissions From the Turkish Electricity Sector and its Mitigation Options. *Energy Policy* 39, 6120 - 6135.

Aydınalp-Köksall, M., Bilgiç, M., Girep, P., Türker, L., Aslanoğlu, S., Y., 2010. Yük Dağıtım Bölgelerinde Saatlik Kısa ve Uzun Dönem Elektrik İhtiyacının Modellenmesi, 108M001 No’lu TÜBİTAK Projesi, 554 s.

Can, A., 2006. Investigation of Turkey’s Carbon Dioxide Problem by Numerical Modeling, Ph.D. Thesis, ODTÜ, Ankara, 238 pp.

ÇOB, 2007. Türkiye İklim Değişikliği 1. Ulusal Bildirim Raporu, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, 274s.

DPT, 2010. Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi (2010 - 2020), Ankara, [http://www.dpt.gov.tr/DocObjects/Download/8286/Ulusal%C4%B0klimgisikligiStratejisi\(2010-2020\).pdf](http://www.dpt.gov.tr/DocObjects/Download/8286/Ulusal%C4%B0klimgisikligiStratejisi(2010-2020).pdf) erişim: 12-07-2010.

Ekinci, E., Tırıs, M., ve Türe, E., 1997. Ulusal Çevre Eylem Planı: Enerji Sektöründen Kaynaklanan Hava Kirliliği, DPT, Ankara, 23s.

EPDK, 2009. Proje İlerleme Durumu, <http://www.epdk.gov.tr/web/elektrik-piyasasi-dairesi/lisans-islemleri>, erişim: 07-11-2009.

EPDK, 2012. Üretim Kapasite Projeksiyonu (2009, 2010, 2011), [http://www.epdk.gov.tr/web/guest/yayinlar\\_elektrik\\_piyasasi](http://www.epdk.gov.tr/web/guest/yayinlar_elektrik_piyasasi), erişim: 17-03-2012.

ETKB, 2006. Enerji Sektöründe Sera Gazı Azaltımı Çalışma Grubu Raporu, [http://www.enerji.gov.tr/yayinlar\\_raporlar/Enerji\\_Grubu\\_Raporu.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Enerji_Grubu_Raporu.pdf), erişim: 10-11-2010.

ETKB, 2010a. Enerji, Kömür, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=komur&bn=511&hn=&nm=384&id=40692>, erişim: 25-01-2011.

ETKB, 2010b. Enerji, Doğalgaz, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=dogalgaz&bn=221&hn=&nm=384&id=40694>, erişim: 25-01-2011.

ETKB, 2010c. Enerji, Hidrolik, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=hidrolik&bn=232&hn=&nm=384&id=40699>, erişim: 25-01-2011.

ETKB, 2012. Enerji, Elektrik, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=elektrik&bn=219&hn=219&nm=384&id=386>, erişim: 25-01-2012.

EÜAŞ, 2011. Termik Santrallerimiz, Santral Bilgisi, <http://www.euas.gov.tr/>, erişim: 12-05-2011.

IEA, 2009. CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion 2009, OECD, Paris, [http://www.iea.org/publications/free\\_new\\_Desc.asp?PUBS\\_ID=1825](http://www.iea.org/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1825), erişim: 11-10-2011.

IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume.2: Energy, Chapter2: Stationary Combustion, [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf), erişim: 17-09-2010.

Keskinel, F., 2006. Türkiye'deki Elektrik Üretimi ve Doğalgaz Kombine Çevrim Santralleri. *İstanbul Bülteni* 87, 17 – 26, [http://www.imoistanbul.org.tr/ist-bulten/sayi87/fikret\(19-26\).pdf](http://www.imoistanbul.org.tr/ist-bulten/sayi87/fikret(19-26).pdf), erişim: 08-06-2010.

Kincay, O., Ozturk, R., 2003. Thermal Power Plants in Turkey. *Energy Sources* 25, 135 - 151.

Lise, W., 2006. Decomposition of CO<sub>2</sub> Emissions Over 1980 - 2003 in Turkey. *Energy Policy* 34, 1841 - 1852.

Oktay, Z., 2009. Investigation of Coal-Fired Power Plants in Turkey and a Case Study: Can Plant. *Applied Thermal Engineering* 29, 550 - 557.

Ozturk, I., Acaravci, A., 2010. CO<sub>2</sub> Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 3220 - 3225.

Say, N.P., Yucel, M., 2006. Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emission in Turkey: Empirical Analysis and Future Projection Based on Economic Growth. *Energy Policy* 34, 3870 - 3786.

Sozen, A., Gulseven, Z., Arcaklioglu, E., 2007. Forecasting Based on Sectoral Energy Consumption of GHGs in Turkey and Mitigation Policies. *Energy Policy* 35, 6491 - 6505.

TEİAŞ, 2009a. Saatlik Yük ve Santral Verileri, [CD-ROM] formatında, Milli Yük Tevzii Merkezi, Gölbaşı, Ankara.

TEİAŞ, 2009b. Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri, <http://www.teias.gov.tr/istatistik2009/index.htm>, erişim: 08-05-2011.

TEİAŞ, 2012. Türkiye Elektrik İstatistikleri - Elektrik Üretim İstatistikleri, <http://www.teias.gov.tr>, erişim 12-06-2012.

TKİ, 2011. 2001 - 2010 Yıllık Faaliyet Raporları, <http://www.tki.gov.tr/tki/yillikfaaliyet.aspx#>, erişim: 21-04-2011.

TÜİK, 2010. Türkiye Sera Gazı Emisyon Envanteri, [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?tb\\_id=10&ust\\_id=3](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?tb_id=10&ust_id=3), erişim: 13-08-2010.

UNSD, 2010. Environmental Indicators, CO<sub>2</sub> Emissions, [http://unstats.un.org/unsd/environment/air\\_co2\\_emissions.htm](http://unstats.un.org/unsd/environment/air_co2_emissions.htm), erişim: 07-10-2010.

Yamanoglu, 2006. Türkiye’de Küresel Isınmaya Yol Açan Sera Gazı Emisyonlarındaki Artış İle Mücadelede İktisadi Araçların Rolü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 139s.



## Research Article

# Determining Regional Electricity Generation Associated Carbon Dioxide Emissions and Its Long Term Forecast

S. Yeşer ASLANOĞLU, Merih AYDINALP KÖKSAL✉

Hacettepe University, Department of Environmental Engineering, Beytepe Campus, Beytepe 06800 Ankara, Turkey

Received: March 31, 2012; Accepted: July 4, 2012

### ABSTRACT

Turkey has a rapid growing energy, especially electricity demand parallel with increasing population and developing industry. As a result of increase in electricity demand, electricity generation and associated CO<sub>2</sub> emissions are also increasing rapidly. In this study current and planned electricity generation and associated CO<sub>2</sub> emissions have been determined regionally. Within the scope of this study, electricity generation and fuel consumption data of current and planned power plants, emission factors, fuel low heating values, average plant thermal efficiencies, and electricity demand forecasts have been used to determine CO<sub>2</sub> emissions. Data is first classified annually and then it is categorized regionally by using plant location data. First, fuel consumption associated CO<sub>2</sub> emissions and fuel specific emission factors of current power plants have been determined. Then, CO<sub>2</sub> emissions of planned power plants have been determined. As of 2020, it is expected that Turkey's total electricity generation will be 377 TWh and associated CO<sub>2</sub> emissions will be 194 million tons. Adapazari, Ikitelli, Izmir, Keban and Seyhan regions are expected to become sensitive regions due to their high demand associated CO<sub>2</sub> and other pollutant emissions.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emission, electricity generation, fossil fueled power plants

© Turkish National Committee of Air Pollution Research and Control.