

---

# Küresel Isınma ve Nükleer Enerji

Bilge Özgener\*

## Karbon Çevrimi ve Sera Etkisi

Dünyamızda var olan yaşam varlığını, organik (karbon içeren ) moleküllerle ve dolayısı ile karbon çevrimi adını verdiğimiz sürece borçludur. Bitkiler fotosentez yoluyla atmosferdeki gaz halindeki karbon dioksit (CO<sub>2</sub>)'i organizmalarındaki organik moleküllere aktarırlar. Bitkiler ve onları besin olarak kullanan hayvanlar solunum yoluyla karbonun bir kısmını atmosfere CO<sub>2</sub> gazı olarak geriye verirler. Öte yandan ölen canlıların karbon içeren artıkları toprağa karışır ve bunlar uzun bir süreç sonunda fosilleşirler. Bu fosilleşme sonucu fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz vs.) oluşur.

Endüstri devriminden bu yana fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınan CO<sub>2</sub>, antropojenik bir faktör olarak karbon çevrimine girmiştir. Ayrıca çok önemli miktarda CO<sub>2</sub>'nin okyanuslar tarafından soğurulduğu da bilinmektedir. Karbon çevriminin bilânçosunu çıkarmak için petagram (=1 trilyon kilogram) denilen bir birim kullanılmaktadır. Yılda atmosferden biyosfere (canlılar dünyası) yılda yaklaşık 100 petagram karbon geçerken biyosferden atmosfere 100 petagramdan fazla karbon aktarılmaktadır. Öte yandan okyanuslardan atmosfere yılda yaklaşık 100 petagram karbon aktarılırken yine yılda 100 petagramdan daha fazla karbon atmosferden okyanuslara geçmektedir. Öte yandan fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınan karbon miktarı yılda 6.5 petagram civarındadır. Bu sürecin sonucu olarak atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranı 1750 yılından bu yana %31 artmış olup, halen de artmaya devam etmektedir. Şu anda atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranı son 420 000 yılın (büyük olasılıkla da son 20.000.000 yılın) en üst seviyesindedir. Bu artışın başlıca iki nedeni vardır. Birinci neden fosil yakıtların yakılması olup, bunun katkısı % 75 civarındadır. Ormanların yok edilmesi ve toprağın tarım amaçlı kullanımı ikinci neden olup, bu da % 25 kadar katkı sağlamaktadır. Atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranı sanayi devriminden önceki son 10 000 yıl içinde % 10'dan daha az değişim ge-

---

\* İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

çirdiği halde, sanayi devriminden bu yana geçen 200 yıl içinde % 30 artmıştır. Bu günkü koşullarda atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranının her 20 yılda % 10 artması beklenmektedir. Bugün için atmosferdeki CO<sub>2</sub> derişimi 370 ppm'dir. Bu oranın gelecekte ne olacağı büyük çapta antropojenik CO<sub>2</sub> salımları konusunda önlemler alınıp alınmamasına bağlıdır. 2100 yılı için yapılan öngörüler kullanılan senaryoya bağlı olarak 490 ile 1260 ppm arasında değişmektedir. Sera etkisi atmosferin alt tabakasında (troposfer) bulunan bazı gazların etkisiyle dünya ikliminde oluşan değişimlere verilen addır. Bu değişim genelde küresel bir ısınma olarak ortaya çıkmaktadır. Sera etkisine yol açan gazlara sera gazları denmektedir. Sera gazlarının başlıcaları CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (metan) ve N<sub>2</sub>O (nitroz oksit)'tir. CO<sub>2</sub> gibi diğer sera gazlarının da atmosferdeki derişimi insan aktiviteleri sonucu (antropojenik nedenlerle) artmaktadır. Bu artış sera etkisi dediğimiz olayı yaratmaktadır. Kısa dalgalı güneş ışınları dünyanın yüzeyini ısıtırlar. Öte yandan dünya yüzeyi güneş ışınlarının daha uzun dalgalı olan kısmını (kıızılötesi) atmosfere geri yansıtır. Troposferde bulunan sera gazları bu ışınmı soğurarak dünya yüzeyine geri yansıtırlar. Sera gazlarının olmaması halinde uzaya kaçacak olan bu ısı kaynağı böylece dünyada kalır ve iklimin biraz daha sıcak olmasını sağlar. Uygarlığın varlığı bir anlamda sera gazları sayesinde. Sera etkisi olmasa dünyanın ortalama yüzey sıcaklığının tıpkı ay gibi -18°C olacağı tahmin edilmektedir. Buzullardan alınan örneklerle yapılan araştırmalar sera gazlarından CO<sub>2</sub> ve metanın derişiminin son 160.000 yılın en üst düzeyine ulaştığını göstermektedir. Sera gazlarının sera etkisine katkıları küresel ısıtma potansiyeli (global warming potential, GWP) adlı bir faktörle ölçülmektedir. CO<sub>2</sub>'in GWP'si yapay olarak 1 kabul edilmektedir. Tablo 1'de başlıca sera gazlarının bazı özellikleri ile atmosfer içindeki miktarlarının 1800'den 2000'e değişimleri verilmiştir.

**Tablo 1:** Sera gazı derişimlerinin 1800'den 2000'e değişimi ve özellikleri

| Sera gazı                | Derişim<br>1800-2000 | GPA   | Sera etkisine %katkısı |
|--------------------------|----------------------|-------|------------------------|
| CO <sub>2</sub>          | 280-370 ppm          | 1     | 60                     |
| Metan (CH <sub>4</sub> ) | 0.75-1.75 ppm        | 21    | 20                     |
| Halokarbonlar            | 0-0.7 ppb            | >3400 | 14                     |
| N <sub>2</sub> O         | 275-310 ppb          | 310   | 6                      |

Sera etkisinin en belirgin sonucu ortalama yüzey sıcaklığının son dönemde belirgin bir biçimde artışa geçmiş olmasıdır. Yapılan incelemeler son yarıyılıda ortalama yüzey sıcaklığının 0.6°C arttığını göstermektedir. Her ne kadar bu az bir miktar olarak düşünülebilirse de aşağıda sıralanan gözlemler bunun böyle olmadığını göstermektedir:

**1. Deniz seviyesinin yükselmesi:**

20. y.y.'de deniz seviyesi 10-20 cm arasında yükselmiştir. Bunun nedeni buzulların erimesi ve ısınan deniz suyunun genişlemesidir. Önümüzdeki y.y.'de deniz seviyesinde 85 cm. yükselme beklenmektedir. Bu durum kıyıda yaşayan insanlar ve mercan kayaları için bir tehlikedir.

**2. Kutup denizi buzullarının erimesi:**

Kuzey kutbundaki buz dağlarının yaz dönemlerindeki kalınlığı bundan 50 yıl öncesinin yarısına inmiştir. Bu durumun dünyadaki büyük su akıntılarını etkilemesi beklenmektedir.

**3. Deniz yüzey sıcaklığının artması:**

Bunun sonucu olarak bazı canlılar daha sıcak ortamlarda yaşayamadıklarından ölmektedirler. Örneğin son birkaç 10 yılda dünyadaki mercanların yaklaşık %20'si ölmüştür.

**4. Yağışların yol açtığı seller:**

Dünyanın pek çok bölgesinde görülen yüksek sıcaklıklar yağmurlara ve sellere neden olmaktadır. Son 10 yılda sellerin verdiği zararlar önceki 30 yılda verilen zarardan daha fazladır.

**5. Tarım yapılabilen alanların değişmesi:**

Küresel ısınma orta enlemlerdeki (örneğin Avrupa) bölgelerde daha uygun tarım koşulları sağlarken bazı tropik bölgeler tarım yapılamayacak kadar sıcak ve kuru hale gelebilmektedir.

**6. Eko sistemlerin değişimi:**

Sıcaklığın artması bazı türlerin yok olmasına yol açabilmektedir. Mercan kayaları, penguinler, kutup ayıları ve foklar buna örnek olarak verilebilir.

**7. Tayfun, tornado v.b. meteorolojik olayların sıklaşması.**

Sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde bir önlem alınmadığı takdirde 2100 yılına kadar dünyanın ortalama sıcaklığında 1,4 ile 5,8°C arasında bir artış beklenmektedir.

### **İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi**

Günümüz için sera gazlarının atmosferik birikimlerinin iklim üzerindeki olumsuz etkilerini en az indirecek bir düzeyde durdurmayı sağlayabilecek en önemli ve tek uluslararası çaba B.M. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi' (İDÇS) dir. Haziran 1992'de Rio'da düzenlenen B.M. Çevre ve Kalkınma Zirvesi'nde imzaya açılan İDÇS, 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir. İDÇS küresel iklimi korumaya ve sera gazı salımlarını azaltmaya yönelik genel ilkeleri, eylem stratejilerini ve yükümlülükleri düzenlemektedir. Türkiye, İDÇS'nin eklerinde gelişmiş ülkeler arasında değerlendirildiği için ve bu koşullar altında sera gazı salımlarını indirme yolundaki yükümlülüklerini yerine getiremeyeceği gerekçesi ile 1992'de Rio'da İDÇS'yi imzalamamıştır. Ancak 2001 yılında Marakeş'de gerçekleştirilen İDÇS 7. Taraflar Konferansı'nda istediği bazı koşulların kabul görmesi üzerine, 24 Mayıs 2004 tarihinde 189. taraf ülke olarak İDÇS'ye katılmıştır.

Sera gazı salımlarını 2000 sonrasında azaltmaya yönelik yasal yükümlülükler 1997 Aralık'ında yapılan İDÇS 3. Taraflar Konferansında (Kyoto) belirlenmiştir (Kyoto.Protokolu (KP)). KP, sanayileşmiş ülkelerin 1990 yılı toplam CO<sub>2</sub> salımlarının en az %55'ini karşılayan sanayileşmiş ülkeleri de içerecek biçimde, İDÇS'ye taraf en az 55 ülke tarafından onaylanma önkoşulunun yerine gelmesi üzerine 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

ABD Başkanı G.W. Bush, Mart 2001'de ülkesinin ekonomik çıkarlarına olumsuz bir etkide bulunacağını öne sürerek KP'ye taraf olmayacağını açıklamıştır. KP'de belirtilen Ek I ülkelerinin 1990 yılı toplam CO<sub>2</sub> salımları açısından %36.1 gibi çok büyük bir paya sahip olduğu için bu açıklama önemlidir. Ancak uluslararası toplum, belki de ilk kez, ABD'nin tüm engellemelerine ve yokluğuna karşın 16 Şubat 2005'de KP'yi yürürlüğe sokarak önemli bir adım atmıştır.

Türkiye, 1997 yılında KP imzalandığında İDÇS'ye taraf olmadığından KP'ye de taraf değildir. Bu nedenle Türkiye için henüz herhangi bir sayısallaştırılmış salım sınırlandırma veya azaltma yükümlülüğü bulunmamaktadır. Ancak AB üyelik sürecinde Türkiye'nin KP'ye taraf olma gereği ortaya çıkacaktır. KP, gelişmiş ülkelerden oluşan Ek I ülkelerinden sera gazı salım miktarlarını 2008-2012 aralığında ortalamada 1990 salımlarının en az %5.2 altına indirmelerini şart koşmaktadır.

## **Değişik Elektrik Enerjisi Üretim Seçeneklerinin Yol Açtığı Sera Gazı Salımları**

Nükleer güç üretimi C'a bağlı herhangi bir yanma reaksiyonuna dayanmadığından elektrik enerjisi üretimi sırasında sera gazı salımına neden olmaz. Benzer şekilde yenilenebilir enerji seçenekleri de yanma reaksiyonuna dayanmadıklarından sera gazı salımına yol açmazlar. Ancak hidroelektrik dışında kalan güneş ve rüzgar enerjileri ile sürekli üretim mümkün olmadığından bunların baz yük enerji üretiminde düşünülmesi olanağı yoktur. Ayrıca birim güç üretimi başına maliyetleri yüksektir. Bu durum sera gazı salımı artışını önleyebilmek için bize hidroelektrik ya da nükleer seçenekleri bırakmaktadır. Gelişmiş ülkelerde hidroelektrik potansiyelin hemen tamamı kullanılmış bulunduğundan, nükleer enerji tek seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Aşağıdaki tabloda değişik elektrik enerjisi üretim seçeneklerinin yol açtığı toplam sera gazı salımları gram CO<sub>2</sub> eşdeğeri/kWsaat cinsinden verilmiştir. Bu tablodaki değerler hem yanma dolayısıyla oluşan dolaysız salımları hem de kaynağın kullanılması için gereken çevrim sürecinde meydana gelen dolaylı salımları içermektedir. Tabloda görüldüğü gibi değişik elektrik enerjisi üretim seçenekleri içinde en az sera gazı salımına yol açan seçenek nükleer enerjidir. Nükleer yolla enerji üretimi sayesinde milyonlarca ton CO<sub>2</sub>'in salımı engellenmektedir. Tablo 3'de dünyada nükleer yolla elektrik üreten ülkeler hakkında bazı istatistiki bilgiler verildikten sonra her bir ülkede nükleer üretim nedeniyle salımı engellenen CO<sub>2</sub> miktarı verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü gibi nükleer elektrik üretimi sayesinde dünya toplamı olarak yılda 2.6 milyar ton CO<sub>2</sub> salımı engellenmektedir.

**Tablo 2:** Değişik elektrik enerjisi üretim seçeneklerinin yol açtığı toplam sera gazı salımları (gram CO<sub>2</sub> eşdeğeri/kWsaat)

|                     | En düşük | En yüksek |
|---------------------|----------|-----------|
| Kömür               | 966      | 1306      |
| Doğal gaz           | 439      | 688       |
| Hidro               | 4        | 236       |
| Güneş (fotovoltaik) | 100      | 280       |
| Rüzgar              | 10       | 48        |
| Nükleer             | 9        | 21        |

**Tablo 3:** Nükleer enerji üretimi sonucu değişik ülkelerde salımı engellenen yıllık CO<sub>2</sub> miktarı

|              | Nükleer elektrik enerjisi üretimi (2005) |                               | 2006 Mayıs itibarıyla çalışan |           | Yıl başına önlenen CO <sub>2</sub> salımı (yaklaşık) |
|--------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-----------|--|
|              | Milyar kWhaat                            | Ülke elektrik üretiminde %pay | Reaktör sayısı                | Güç (Mwe) | Milyon ton   |
| Almanya      | 154.6                                    | 31                            | 17                            | 20303     | 154  |
| ABD          | 780.5                                    | 19                            | 103                           | 98054     | 780  |
| Arjantin     | 6.9                                      | 6.9                           | 2                             | 935       | 6  |
| Belçika      | 45.3                                     | 56                            | 7                             | 5728      | 45   |
| Brezilya     | 9.9                                      | 2.5                           | 2                             | 1901      | 9  |
| Bulgaristan  | 17.3                                     | 44                            | 4                             | 2722      | 17   |
| Çek Cum.     | 23.3                                     | 31                            | 6                             | 3472      | 23   |
| Çin          | 50.3                                     | 2                             | 10                            | 7587      | 50   |
| Ermenistan   | 2.5                                      | 43                            | 1                             | 376       | 6  |
| Finlandiya   | 22.3                                     | 33                            | 4                             | 2676      | 22   |
| Fransa       | 430.9                                    | 79                            | 59                            | 63473     | 430  |
| Güney Afrika | 12.2                                     | 5.5                           | 2                             | 1842      | 12   |
| Güney Kore   | 139.3                                    | 45                            | 20                            | 16480     | 139  |
| Hindistan    | 15.7                                     | 2.8                           | 15                            | 2993      | 15   |
| Hollanda     | 3.8                                      | 3.9                           | 1                             | 452       | 3  |
| İngiltere    | 75.2                                     | 20                            | 23                            | 11852     | 75   |
| İspanya      | 54.7                                     | 20                            | 8                             | 7442      | 50   |
| İsviçre      | 22.1                                     | 32                            | 5                             | 3220      | 22   |
| İsveç        | 69.5                                     | 45                            | 10                            | 8938      | 69   |
| Japonya      | 280.7                                    | 29                            | 55                            | 47700     | 280  |
| Kanada       | 86.8                                     | 15                            | 18                            | 12595     | 85   |
| Litvanya     | 10.3                                     | 70                            | 1                             | 1185      | 10   |
| Macaristan   | 13                                       | 37                            | 4                             | 1755      | 13   |
| Meksika      | 10.8                                     | 5                             | 2                             | 1310      | 10   |
| Pakistan     | 2.4                                      | 2.8                           | 2                             | 425       | 2  |
| Romanya      | 5.1                                      | 8.6                           | 1                             | 655       | 5  |
| Rusya        | 137.3                                    | 16                            | 31                            | 21743     | 130  |
| Slovakya     | 16.3                                     | 56                            | 6                             | 2472      | 16   |
| Slovenya     | 5.6                                      | 42                            | 1                             | 676       | 5  |
| Tayvan       | 38.4                                     | 20                            | 6                             | 4884      | 36   |
| Ukrayna      | 83.3                                     | 49                            | 15                            | 13168     | 83   |
| DÜNYA        | 2626                                     | 16                            | 441                           | 369374    | 2600   |

### **Küresel Isınmanın Çaresi Olarak Nükleer Enerji**

Sera gazı salımlarını azaltmanın bir numaralı yolunun nükleer enerjiye başvurmak olduğu uzmanlar düzeyinde anlaşılmiş bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak ABD Başkanı Bush ve İngiltere Başbakanı Blair nükleer enerjiyi

küresel ısınmaya çare olarak kullanacaklarını ifade etmişlerdir. Dünya Yeşiller Hareketinin kurucularından Prof. James Lovelock ve Patrick. Moore başta olmak üzere pek çok çevreci uzman küresel ısınmayı aşmanın nükleer enerjiden başka yolu bulunmadığını pek çok kez ifade etmişler ve çevreci kuruluşları küresel bir felaketi engellemek için nükleer enerjiyi desteklemeye çağırılmışlardır. Ancak fosil kaynaklı elektrik üretiminin bugünkü şekliyle tamamen nükleer enerji tarafından ikame edilmesi mümkün değildir. Günümüzdeki nükleer reaktörler, doğal uranyum içinde %1'den az miktarda bulunan U-235 izotopunu enerji kaynağı olarak kullanmaktadırlar. Oysa doğal uranyumun %99'undan fazlasını oluşturan U-238 izotopundan bugünkü reaktörler yeterince yararlanamamaktadırlar. U-238'i reaktör içinde Pu-239'a dönüştürerek enerji üretiminde yararlanılabilecek yakıt miktarını çok büyük ölçüde arttırmak mümkündür. Bunun için ise günümüzde büyük çapta kullanılan termal nükleer reaktörler yerine hızlı üretken nükleer reaktörlerin ikame edilmesi gerekir. Günümüzde Rusya, Hindistan başta olmak üzere çalışan hızlı üretken reaktörler vardır. Bunların geliştirilerek sayılarının artırılması doğada bulunan uranyumun tamamından elektrik enerjisi üretiminde yararlanılmasını sağlayacaktır. Bu da yüzyıllar mertebesinde küresel ısınma sorununu çözebilme potansiyeline sahiptir.