

**Doğa Dostu Temiz Fosil Yakıtlı Elektrik Santralleri Geliştirilmesi**  
**Kapsamında Karbon Yakalama ve Karbon Tutma (CCS)**  
**Teknolojileri Perspektifleri**

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

Fizik Mühendisleri Odası ([canguzel.taner@gmail.com](mailto:canguzel.taner@gmail.com))

Gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkeler için fosil yakıtlar küresel petrol, doğalgaz, kömür kullanımı, global enerji arz güvenliği ile sürdürülebilir elektrik temini perspektifleri açısından özellikle de dünyada karaelmas sayılan geniş kömür rezervleri yaklaşık 250 yılı aşkın süredir şimdilik insanlığın hizmetine vazgeçilmesi imkansız bir seçenek sunmaktadır. Ancak bunlar arasında örneğin, fosil kaynaklı termik santraller işletilmesi sırasında ortaya çıkan sera gazı emisyonları çoğunlukla karbon ve karbondioksit eskiden olduğu gibi günümüzde de yoğun biçimde atmosfere salınmaktadır. Atmosfere salınan karbondioksit emisyonları ise küresel ısınma ve küresel iklim değışikliklerinin faili olarak bilimsel çevrelerde adı sıkça zikredilmektedir. Küresel iklim değışikliği mücadelesi kapsamında karbon emisyonlarının yakalanması, tutulması, tecrit edilmesi, arıtılması, hapsedilmesi, yutulması, yok edilmesi ve depolanması teknolojileri konularında çok yönlü ciddi araştırmalar yapılmaktadır. Karbon hapsedme ve karbon tecrit etme teknolojileri genellikle karbondioksit yakalama ve karbondioksit depolama teknikleri (carbon capture and storage-CCS) olarak anılmaktadır. “Karbon tutulması teknikleri” (carbon sequestration) şeklinde de adlandırılan karbondioksit yakalama teknolojileri yatırım maliyetleri yüksekliği nedeniyle şimdilik sübvansiyonlar ve ekonomik destekler ile finanse edilmesi gerekmektedir. Öte yandan, bazı bilim insanları tarafından küresel karbondioksit emisyonlarının azaltılması sorunları bağlamında güneş enerjisi elektrik santralleri, fotovoltaiik güç santralleri, rüzgar santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile yeni nesil nükleer teknolojiler içerisinde geliştirilen modern yeni kuşak nükleer güç santralleri gibi karbonsuz enerji kaynakları teknolojileri tesisleri kurulması ve düşük karbon teknolojileri yatırımları yapılması bile, ne yazık

**ki, çözümün önemli aynı zamanda göz ardı edilemez ciddi bir parçası olarak görülmemektedir.**

İnsan kaynaklı karbondioksit emisyonları, küresel ısınma ve küresel iklimsel değişimlerinin faili gösterilmesine rağmen söz konusu emisyonların atmosfere salınmalarının neden önlenemediği sıkça yöneltilen stratejik sorular arasındadır. Küresel ısınma ile küresel iklim değişiklikleri sorunlarının önlenmesi stratejisi bağlamında bilim insanları yoğun bilimsel ve teknolojik araştırmalar yapmaktadır. Karbondioksit emisyonlarının tutulması ve yutulması biçiminde önerilen yeni yaklaşım ise ne ekonomik açıdan ne de teknolojik uygulanabilirlik yönünden fizibilitesi uygun bulunmamaktadır. 1700'lü yılların ortalarında sanayi devriminin başlaması ile birlikte modern yaşantıdan kaynaklanan karbondioksit emisyonları atmosfere kesif şekilde salınmaktadır. Sözü edilen yıllarda atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu milyonda 280 partikül (280 **parts per million-ppm**) idi. Günümüzde bu değer 390 ppm'i aşmış durumdadır. Son yıllarda küresel karbondioksit konsantrasyonları yılda 2 ppm olmak üzere hızlı bir artış göstermektedir. Bazı bilim insanları güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları ile çağdaş nükleer santraller kurulmasının da sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması için kesin bir çare olmadığını belirtmektedir. Yine aynı araştırmacılar yeşil yapraklı bitkiler ve okyanusların bir dereceye kadar atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonları soğurması ya da absorblamasının da sorunun çözümünde yeterli olmayacağını ifade etmektedir. Bu bağlamda atmosferde yoğun şekilde biriken karbondioksit konsantrasyonlarının çok vakit kaybetmeden hızla yok edebilecek teknolojilerin geliştirilmesi mecburiyeti savunulmaktadır. Bir çözüm yolu olarak da sodyum hidroksit, potasyum hidroksit solüsyonlarından veya amonyak bileşimlerinden ibaret kimyasal ortamlar hazırlanması önerilmektedir. Karbondioksit ihtiva eden havanın söz konusu ortamlardan geçirilerek kimyasal solüsyonlarla reaksiyona girmesi sağlanmaktadır. Böylece, karbondioksit içeren hava karbonat zengini bileşikler halinde tutulmakta ve hapsedilmektedir. Meydana gelen karbonat bileşikleri ısıtılmak suretiyle içlerinde hapsedilen karbondioksitin açığa çıkması temin edilmektedir. Oluşan karbondioksit ise yeraltı derinliklerinde bulunan su ve hava geçirmez jeolojik yapılara örneğin, petrol ve doğalgaz

yatakları, tatlı su çıkarılmış akiferler ile eski kömür yatakları havzalarına pompalanabilmektedir. Karbondioksit salımlarının hapsedilmesi stratejileri kapsamında diğer bir karbon yakalama ve karbon tutma teknolojisi yaklaşımı, kömür kaynaklı termik santraller ile fosil yakıt kullanan sanayi tesisleri bacalarından atmosfere salınan karbondioksit emisyonlarının daha önceden tesisler içerisinde yok edilmesidir. Karbon hapsetme ve karbon tecrit etme teknolojileri perspektifleri içeriğinde düşünülen yöntem jeoloji bilim dalındaki mühendislik projeleri kanalıyla araştırılmaktadır. Karbondioksit emisyonlarının yok edilmesi, yutulması ve depolanması metotları üzerinde araştırma yapan bilim insanları bahse konu teknolojiler sayesinde küresel ısınma ile küresel iklimsel değişimler sorunlarının önemli ölçüde önlenebileceğini umut etmektedir. Bazı bilim insanları da denizlerde oluşturulacak çok küçük milyarlarca kabarcıklı ortamlar sayesinde yeryüzüne gelen güneş ışınları ve güneş radyasyonları uzaya geri yansıtılmak suretiyle küresel ısınmanın engellenebileceğini ileri sürmektedir.

Karbondioksit yakalanması ve karbondioksit tutulması teknolojileri konusunda yapılan ilk bilimsel araştırmalar karbondioksitin havadan doğrudan tecrit edilmesi ile arıtılması maliyetlerinin birkaç yüz dolar olduğunu ortaya çıkarmıştır. Metrik ton başına 300 dolardan bir maliyet hesaplandığı takdirde yıllık küresel insan kaynaklı karbondioksit emisyonları miktarı 33.5 milyar ton civarında olduğu göz önüne alınırsa toplam maliyetin 10 trilyon doları aşacağı hesaplanmaktadır. Global karbondioksit salımlarının yok edilmesi maliyetleri konusunda hesaplanan bu tutar ekonomik ve ticari boyutlarda hiç şüphesiz çok büyük bir değer ifade etmektedir. Diğer taraftan, küresel karbondioksit emisyonlarının atmosfere salındıktan sonraki bertaraf edilmesi maliyetlerinin ise gerçekten çok daha pahalı olduğu Kaliforniya Berkeley’de faaliyet gösteren C12 Energy Firması araştırmacılarından Dr Kurt House ve arkadaşları tarafından yapılan bilimsel araştırma sonuçları vasıtasıyla duyurulmuştur. Karbon yakalama ve karbon tutulması (Carbon capture and sequestration-CCS) teknolojisi şeklindeki yöntem ile karbondioksitin fosil yakıt kullanan tesislerden çevreye dağılmasını müteakip atmosferden arıtılması sağlanmaktadır. Uygulanan teknik karbondioksit emisyonlarının jeolojik formasyonlarda depolanmasına karşı alternatif

bir metot olarak düşünölmüştür. Yukarıda belirtilen araştırmanın neticeleri 2011 yılı sonlarında Amerikan Ulusal Bilimler Akademisi (Proceedings of the National Academy of Sciences) raporlarında yayımlanmıştır. Fosil yakıtlı güç santralleri kanalıyla oluşan kükürt oksitleri ve azot oksitleri gibi sera gazı emisyonlarının atmosfere salınmadan önce yapılan temizlenmesi maliyetleri ile karbon yakalama ve karbon tutma teknikleri maliyetleri karşılaştırmaları bilimsel araştırmacılar tarafından titizlikle incelenmektedir. Karbondioksitin çevreye salındıktan sonra temizlenmesi ile oluşturulan tesislerin bacalarında %12 oranında biriken karbondioksit konsantrasyonunun temizlenmesine kıyasla çok daha zor olmasına rağmen teknik olarak mümkün görölmektedir. Sistemin işletimi yanında ekonomik yönden pahalı olmasının da sorun yarattığı Kurt House tarafından ifade edilmektedir. Mr House karbon yakalama ve karbon tutma teknolojileri atmosfer içerisinde uygulandığı takdirde fosil yakıt yakılarak üretilen enerjiye nazaran dört kat daha fazla enerji harcanması gerektiğini vurgulamaktadır. Böylece söz konusu teknolojik yöntem ekonomik ve çevresel perspektifler açısından uygulanabilir olmaktan çıkmaktadır.

Bilim insanları sadece karbondioksit yakalama ve karbondioksit tutma teknolojisi maliyeti olarak ton başına asgari 1100 dolar tahmin etmektedir. Belirtilen maliyet ile küresel karbondioksitin atmosferik konsantrasyonlarının kararlı ve sabit düzeyde tutulabilmesi için en az 33 trilyon dolarlık bir mali kaynak tahsis edilmesi zorunluluk arz etmektedir. Karbondioksit emisyonları yakalandıktan sonra bir sıvı içerisinde tutulan karbondioksit gazının sıkıştırılması suretiyle ancak çok büyük miktarlarda fazla enerji kullanarak ve harcanarak yok edilmesi sağlanabilmektedir. Karbondioksit emisyonlarının bertaraf edilmesi teknolojileri yöntemleri içerisinde yüksek oranlarda enerji kullanımı ise atmosfere yapılan karbondioksit salınımının azaltılması yerine artırılmasına neden olmaktadır. Mevcut koşullarda karbon yakalama ve karbon tutma teknikleri aşırı pahalı yöntemler olmasına karşın küresel temiz enerji kaynakları kullanılması gerekliliği de Princeton Üniversitesinde görevli Fizikçi Robert Socolow tarafından işaret edilmektedir. Günümüz şartlarında düşük maliyetli bir teknoloji bulunmamasına rağmen yapılan yoğun araştırmalar sonucu zamanla maliyetlerin azaltılabileceğini yine aynı kişi ifade etmektedir. Harvard

Üniversitesi fizikçilerinden David Keith “Dr House ve araştırma grubunun mükemmel ölçülerde makul analitik teknikler kullanmalarına karşın uygulanan tekniğin pek çok belirsizliği de beraberinde getirdiğini” belirtmektedir. Mr Keith karbondioksitin atmosfer içerisinde yok edilmesi maliyetinin ton başına 1000 dolar mertebesinde 100 dolara kadar düşürülebileceğini savunmaktadır. Dr Keith aynı zamanda bahse konu tekniklerin ve teknolojilerin geliştirilmesi konularında araştırmalar yapan yeni kurulan bir şirketin başkanlığını da yürütmektedir. Temiz fosil yakıtlı güç santralleri yatırımcıları için maliyetlerin önceden tam olarak bilinmesinin çok önemli olduğunu Dr. David Keith dile getirmektedir.

Öte yandan, Dr House ve arkadaşları karbondioksit üreten tesislerden atmosfere salınımların önlenmesi konusuna öncelikle vurgu yapmaktadır. Bu bağlamda 2050 yıllarına kadar geliştirilmiş yeni nesil karbondioksit yakalama ve karbondioksit tutma teknolojileri kullanılarak fosil yakıtlı termik santraller içerisinde karbondioksitin temizlenmesi maliyetlerinin ton başına 300 dolar seviyesine kadar düşmesi olası görülmektedir. Sonuçta belirtilen gelişmelere rağmen çevreci doğa dostu yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları yapılmasının en iyi çözüm ve küresel karbonsuzlaştırma perspektifleri açısından makul bir yaklaşım olduğu aynı araştırma grubu tarafından ifade edilmektedir.

### **Kaynaklar:**

- İklim Değişiklikleri, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006
- Küresel Isınma, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006
- Küresel İklim Değişikliklerinin Maliyeti, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006
- Karbon Emisyonları ve Karbondioksitin Akiferlerde Depolanması, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006
- Sera Gazı Emisyonları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2007

- Karbondioksit Emisyonları ve Salınımlarının Yok Edilmesi ya da Depolanması, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2009
- Küresel Karbendioksit Konsantrasyonları Ölçümleri Araştırma Uydusu OCO, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2009
- Fosil Yakıtlı Termik Santraller, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2009
- İleri Nükleer Santraller, İklimsel Değişim Mekanizmaları, Küresel Isınma ve İklim Değişiklikleri Bilimsel Raporları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2010
- Karbon Çevrimi (Carbon Cycle) veya Küresel Karbendioksit Döngüsü Araştırmaları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2010
- Kömür Yakan Termik Santraller, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011
- AAAS Science Dergisi Yayınları, 2011.

Fizik Mühendisleri Odası Resmi Web Sitesi:  
[www.fmo.org.tr/\\_yayinlar/faydali-bilgiler](http://www.fmo.org.tr/_yayinlar/faydali-bilgiler)