

# İklim Deęiřiklięiyle M¼cadelede Karbondiyksit Depolama

Kopenhag'da yapılan BM İklim Zirvesi'nde, küresel ısınmaya etkisi olan karbondiyksit salınımının önemli oranda azaltılması gerekliliği üzerinde mutabakata varılarak, küresel sıcaklık artışının 2 dereceden az olmasının sağlanması konusunda karara varıldı.



**K**arbondiyoksit emisyonlarının azaltılmasında etkili seçenekler;

- (1) Enerji verimliliğinin artırılması,
- (2) Kömür yerine doğalgaz kullanımı gibi daha az karbon içerikli yakıtlara geçiş,
- (3) Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması,
- (4) Doğal sistemlerle (örneğin ormanlaştırma) karbondiyoksit emiliminin artırılması ve
- (5) Karbondiyoksit tutum ve depolamasıdır.

Atmosferde hedeflenen karbondiyoksit azalımı ancak tüm bu seçeneklerin beraber yürütülmesiyle sağlanabilir. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin gelecek tahminlerine göre bu yılın sonlarına kadar fosil yakıt kullanımının devam etmesi bekleniyor. İlk dört seçeneğin uzun zaman gerektirmesi nedeniyle, beşinci seçeneğe, yani "karbondiyoksit tutum ve depolaması" yoluna öncelik vererek, devam eden fosil yakıt kullanımının zararlarını en aza indirmek için potansiyel sağlanması bekleniyor. Yeraltına karbondiyoksit depolamasının önemli avantajı, gelişen endüstrilerin iş-

leyişine engel olmamasıdır. Uygulamanın yürütülmesi için gereken teknolojik imkânlar farklı sektörlerde hâlihazırda bulunuyor. Bu uygulama, hızla gerçekleştirilmesi mümkün olduğu için diğer seçeneklere oranla daha cazip hale geliyor.

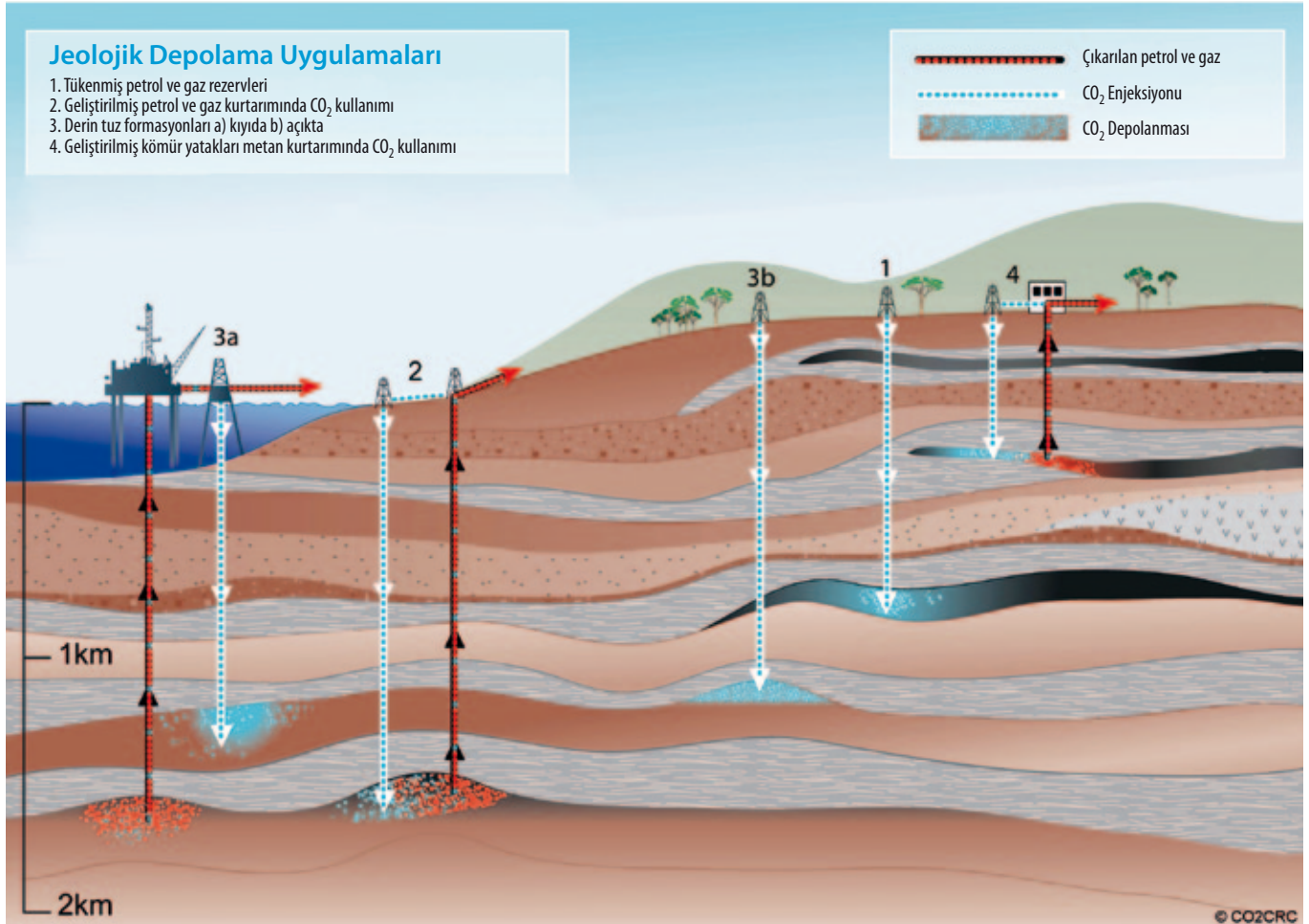
## Karbondiyoksit Tutum ve Depolaması (KTD) Nedir?

Karbondiyoksitin, salınım yapılan santral ya da fabrika bacaları gibi kaynaklardan ayrıştırılması işlemi karbondiyoksit tutumu olarak tanımlanır. Bu işlemle iklim değişikliğinde önemli rol oynayan karbondiyoksitin baca gazlarından ayrıştırılarak atmosfere salınması önlenmiş olur. İşlem farklı amaçlarla bugün birçok faaliyette (örneğin doğalgaz sektöründe) uygulanmaktadır. Ayrıştırılarak tutulan karbondiyoksitin, bu aşamadan sonra uygun jeolojik ortamın bulunduğu bölgeye nakledilmesi ve burada yeraltına pompalanması gerekir. Nakil ve enjeksiyon için de günümüz teknolojisi yeterlidir.



Ender Ragıp Arslan  
1980'de Frankfurt'ta doğdu.  
2008'de Pamukkale  
Üniversitesi Mühendislik  
Fakültesi Jeoloji  
Mühendisliği Bölümü'nü  
bitirdi. Bitirme tezi olarak  
çalışmaya başladığı iklim  
değişikliği önlem çalışması  
"Karbondiyoksit Tutum  
ve Depolaması" konusu  
üzerine halen çalışma ve  
araştırmalarını sürdürüyor.

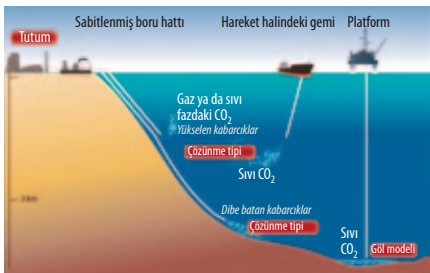
Karbondiyoksit depolaması için  
uygun jeolojik ortamlar



Karbondioksitin ayrıştırılması, fosil yakıtların yakılmasından hemen önce, yakılmasından sonra ve oksitleyerek yakılması sırasında yapılabilmektedir. Yakım öncesi, yakım sonrası ve oksitleyerek tutum, günümüzde yapılan ayrıştırma yöntemleridir. Büyük santrallerin ve fabrikaların bulunduğu sanayi bölgelerinde merkezleştirilmiş bir tutum tesisiyle, ayrıştırma işlemi daha ekonomik ve uygulanabilir hale getirilebilir.

Tutulmuş karbondioksit gaz, sıvı ya da katı halde depolama sahasına taşınabilir. CO<sub>2</sub> nakli için tanker, boru hatları ve hatta gemiler kullanılabilir. LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) ve LNG (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz) taşımacılığında günümüzde kullanılan tankerler ve boru hatları aynı şekilde CO<sub>2</sub> nakli için kullanılabilir. Ayrıca CO<sub>2</sub> nakli, doğal gaz ve petrol naklindeki riskleri taşımayacaktır. Karbondioksit yanıcı değildir, alev almaz.

Karbondioksit jeolojik depolamadan önce sıkıştırılarak sıvı hale yaklaştırılır. Süperkritik olarak adlandırılan bu fazda karbondioksitin taşınması ve depolanması kolaylaşacaktır. Süperkritik karbondioksit, gaz halinden daha az hacim kaplar. Yeraltına pompalandığında derinlikle beraber hacim daha da azalır. Bu da karbondioksitin jeolojik depolanmasında avantaj sağlar.



Okyanusal depolamada çözünme modeli ile göl modeline genel bir bakış.

Karbondioksitin yeraltında depolanması, belirli jeolojik özellikleri olan sahalarda gerçekleştirilebilir. Depolama yapılacak jeolojik oluşum, büyük miktarda karbondioksiti hapsedmeye elverişli genişlikte olmalı, enjeksiyonun yürütülmesi ve karbondioksitin oluşumda yayılması için gözenekli ve geçirgen olmalı, karbondioksitin tekrar yüzeye çıkmasına engel oluşturacak geçirimsiz bir örtü tabaka ile kaplanmış olmalıdır. Sıvı haldeki karbondioksitin yeraltında

petrolün davranışına benzer şekilde hareket etmesi beklenir. Bundan dolayı tüketilmiş petrol ve gaz hazneleri karbondioksit depolamasına elverişlidir. Bu sahalarda tuzlu su ile doygun kaynaç formasyonları ve işletilmeyen kömür tabakaları da uygun sahalardır.

Karbondioksit depolamasına uygun sahalarda belirli özellikleri ve karbondioksiti hapsedecek bazı mekanizmaları barındırır. Bu mekanizmalara "kapan mekanizmaları" denir. Karbondioksitin yeraltında kalıp kalmayacağı kapan mekanizmalarının işlevine bağlı olacaktır. Bundan dolayı bu mekanizmaların depolamadan önce bilinmesi ve enjeksiyonun buna göre yapılması gerekmektedir. Karbondioksitin güvenli bir şekilde tecrit edilmesi, bu mekanizmaların bir arada bulunma şekline bağlıdır. Bunlar, (1) stratigrafik/yapısal kapan, (2) atık (reziduel) kapan, (3) çözünürlülük kapanı, (4) mineral kapan mekanizmalarıdır. Stratigrafik/yapısal kapan mekanizması, karbondioksiti yeraltında hapsedmeye uygun tabaka özellikleridir. Bu tabaka özellikleri örneğin, dom şeklinde iki ucu derinlere doğru uzanan bir tabakada (antiklinal tabaka) görüleceği gibi karbondioksitin sızıntı yapmasına engel oluşturabilir. Atık kapan mekanizmasında karbondioksit, yeraltındaki kullanışsız suyun yerini alarak, kayacın boşluklarında atık olarak kalmış damlacıklar şeklinde hareketsiz kalabilir. Bu olay petrolün yeraltında milyonlarca yıl tutulmasına benzemektedir. Çözünürlülük kapanı, şekerin çay içerisinde çözünmesi gibi karbondioksitin tuzlu su ya da diğer sıvılar içerisinde çözünmesidir. İçerisinde karbondioksit çözünmüş sıvı, daha yoğun hale gelerek dibine doğru batacak ve karbondioksiti daha güvenli bir şekilde tutmuş olacaktır.

Jeolojik depolamada en son ve zamanla gerçekleşen olay mineral kapan mekanizmasıdır. Yeraltına depolanan karbondioksit, çevre kaynaç ve sıvılarla tepkimeye girecek, sonunda karbonat minerallerine dönüşecek ve katı durağan madde olarak at-



Karbondioksit tutumu günümüzde birçok alanda mevcut teknoloji ile yapılmaktadır. Amerika, Kuzey Dakota'daki santralde karbondioksit ayrıştırma tesisi (sağda). Malezya'daki bir santralde karbondioksit tutum tesisi (solda).

mosferden yalıtılmış olacaktır. Ancak bu olayın gerçekleşmesi binlerce yıldan milyonlarca yıla kadar sürebilir. Jeolojik depolamada amaç, mineral kapan gerçekleşinceye kadar sızıntının en düşük düzeyde kalmasıdır. Diğer kapan mekanizmalarının depolama sahasında etkili olması karbondioksit sızıntısını engellemektedir.

## Mevcut KTD Projeleri

Kuzey Denizi'nde, Norveç'in 250 km açıklarında yürütülen Sleipner Projesi'yle, deniz tabanının 800 m altındaki kumtaşlarına karbondioksit pompalanmaktadır. 1996 Ekim'inde başlayan projeye, günde yaklaşık 2700 ton karbondioksit depolanması gerçekleştirilmektedir.

Cezayir'in Sharan bölgesinde yürütülen In Salah Gaz Projesi, hem doğal gazın çıkarıldığı hem de doğal gazdan ayrıştırılan karbondioksitin tekrar yeraltına depolandığı başarılı bir projedir. Krechba Sahası'ndan çıkarılan doğal gaz, yaklaşık %10 CO<sub>2</sub> içermektedir. 1800 m derinlikteki kumtaşlarına yılda 1,2 milyon ton karbondioksit depolanmaktadır.

Bir diğer proje de Weyburn CO<sub>2</sub>-Gelişmiş Petrol Kurtarım Projesi'dir. Kuzey Dakota'daki (ABD) projede karbondioksit iki amaçla yeraltına pompalanmaktadır: (1) Karbondioksitin atmosfere salınmasını önlemek, (2) Petrol çıkarılan havzanın gözeneklerinde kalmış olan petrolü kazanmak. Yeraltına pompalanan karbondioksit, petrol havzası içerisindeki gözeneklerden çıkarılmayan petrolün kurtarılmasını sağlamaktadır. Aynı yöntem bugün Türkiye'de Batı Raman petrol sahasında da uygulanmaktadır.

## Çevresel Tehlikeler

Depolama sahasında meydana gelebilecek sızıntılar, kullanışlı yeraltı suyunun kimyasını değiştirebilir. Karbondioksitin yeraltı suyuna ve sığ içme suyuna sızması sonucunda yabani hayvan ve bitki yaşamı etkilenebilir, toprağın tarımsal kullanımını kısıtlanabilir ve yüzey suları kirlenebilir. Bunun dışında derin yer kabuğundaki mikroplar, sığ toprakta ve yüzeydeki bitkiler ile canlılar üzerinde de bazı etkilerin olması beklenebilir. Mevcut depolama projelerinde karasal canlılar üzerindeki etkileri gösteren hiçbir bilgi edinilmemiştir. Ancak bu projelerde henüz önemli derecede bir sızıntı da saptanmamıştır.

Karbondioksitin, depolama sahasına boru hatlarıyla taşınması petrolün boru hatlarıyla taşınmasından daha az risk taşımaktadır. Ancak nakil ile depolama sırasında ve hatta depolamanın sona ermesinin ardından depolama yapılan sahanın bir süre daha gözlemlenerek karşılaşılabilecek sızıntılarda iyileştirme çalışmaları yapılması, karbondioksitten doğabilecek tehlikeleri önleyebilecektir.

## Okyanusal Depolama

Diğer bir karbondioksit depolama yöntemi, karbondioksitin okyanusun 1000 metreden fazla derinliklerine bırakılmasıyla yapılan depolamadır. Boru hattıyla karadan denize, hareket halindeki bir gemiden okyanusa veya sabit bir platformdan derin denizlere yapılan enjeksiyon ile karbondioksitin okyanuslarda tecrit edilmesi iki modelle açıklanabilir. Çözünme modelinde karbondioksit, boru hattıyla ya da hareket halindeki gemiden okyanus derinliklerine bırakılır. Göl modelinde ise sabit bir platformdan 3000 metreden daha fazla derinliğe bırakılan karbondioksit, deniz tabanında sudan yoğun bir birikim oluşturarak atmosferden uzaklaştırılmış olur.

Okyanusal depolama, ayrıştırılıp sıkıştırılan karbondioksitin okyanus derinliklerine ya da tabanına salınması yoluyla yapılabilecek bir yöntemdir. Derinliklere bırakılan karbondioksit, deniz suyuyla çözünecek, dağılacak ve okyanusun karbon döngüsüne katılacaktır. Yapılan depolamanın etkinliği salınan derinlikle orantılı olarak artacaktır.

Yapılan deneyler, okyanusal depolamayla deniz suyuna bırakılan karbondioksitin deniz canlılarına zarar verebileceğini göstermektedir. Okyanus yüzeyine yakın yaşayan canlılar üzerinde yapılan deneyler, bu organizmalarda kireçlenme (kal-

sifikasyon), üreme ve gelişim sorunları, oksijen tedarikinde ve hareket yeteneğinde azalma ile ölüm oranının artması gibi sonuçlar meydana geleceğini göstermektedir. Ancak bu çalışmalar, okyanus yüzeyine yakın yerlerde yapılmıştır. Derin okyanus ekosistemleri üzerindeki etkiler henüz tam olarak bilinmemektedir.

Sleipner Projesi'yle, doğal gaz üretiminde ayrıştırılan karbondioksit yeraltına pompalanmaktadır.



## Türkiye'de Karbondioksit Depolama Çalışmaları

Türkiye'de karbondioksit depolaması, petrol üretilen Batı Raman'da daha fazla petrol elde etmek amacıyla yapılmaktadır. Gelişmiş Petrol Kurtarım Projesi'yle yürütülen depolamada haznenin gözleklerinde kalan petrol için karbondioksit itici ve yüzeye çıkarıcı bir araç olarak kullanılmaktadır.

İklim değişikliğine karşı önlem çalışması olarak karbondioksit tutum ve depolamasının henüz Türkiye'de uygulandığı bir tesis bulunmuyor. Ancak ODTÜ, TPAO ve Enerji Bakanlığı tarafından planlamalar yapılmakta ve araştırmalar yürütülmektedir.

Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayımlanan "Karbondioksit Tutum ve Depolaması Özel Raporu" nun Türkçe çevirisine kurumun kendi web sitesinden ([http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.htm#2](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm#2)) ve TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası web sitesinden ulaşılabilir. (<http://www.jmo.org.tr/>)

### Kaynaklar

IPCC "Karbondioksit Tutum ve Depolaması Özel Raporu", 2005  
<http://www.co2captureproject.org/>

<http://www.enerji.gov.tr/>  
[http://www.co2captureproject.org/co2\\_trapping.html](http://www.co2captureproject.org/co2_trapping.html)