

KARBONDİOKSİT (CO₂) TUTMA VE DEPOLAMA

Muzaffer Başaran - Makine Yüksek Mühendisi

1. ÖZET

Son yıllarda “küresel ısınma” ve “iklim değişikliği” kavramları Dünya gündemine oturmuş ve bunu önlemek için neler yapılabileceği tüm bilimsel konferanslarda en tartışılan konulardan birisi haline gelmiştir.

Sera gazları içinde en büyük paya sahip CO₂ diğer endüstri kollarında da atmosfere verilse de en büyük pay enerji sektörüne aittir. CO₂ emisyonlarının birim enerji üretiminde miktarını azaltmak için hem kömürlü santrallarda hem de doğal gaz kombine çevrim santrallerinde verimi artırmak için çalışmalar sürdürülmektedir.

Ancak sadece üretim ve tüketimdeki verim artırma iklim değişikliğiyle mücadelede yeterli olmayacağından karbon dioksiti tutma, taşıma ve depolama konusunda yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Bununla beraber bu konuyla ilgili darboğazlar hala tam çözülmüş değildir.

2. CO₂ EMİSYONLARI

Dünya’da son yıllarda gündemdeki en sıcak konu Küresel Isınmadır. Küresel ısınmanın nedeni de Dünyamızda sera etkisi yaratan ve sera gazları diye adlandırılan karbon dioksit (CO₂), su buharı (H₂O), azotoksitler (NO_x), metan (CH₄), kükürt hekzaflorit (SF₆), hidroflorokarbon, perflorokarbon ve kloroflorokarbon (CFC) gazları olduğu artık genel kabul görmüş bir gerçektir. Su buharı dışındaki sera gazlarında CO₂’nin payı %50’nin üzerindedir.

Fosil kaynakların yanması sonucu ortaya çıkan CO₂’in 2000-2004 arasındaki katkı payları aşağıdaki gibidir.

- | | |
|---|-----|
| - Katı yakıtlar (örneğin kömür) | %35 |
| - Sıvı yakıtlar (örneğin motorin) | %36 |
| - Gaz yakıtlar (örneğin doğal gaz) | %20 |
| - Endüstriyel olarak ve kuyularda gaz alevi | <%1 |

TMMOB TÜRKİYE VI. ENERJİ SEMPOZYUMU-KÜRESEL ENERJİ POLİTİKALARI VE TÜRKİYE GERÇEĞİ

- Çimento üretimi %3
- Yakıt olmayan hidrokarbonlar <%1
- Uluslararası gemicilik ve hava taşımacılığı %4

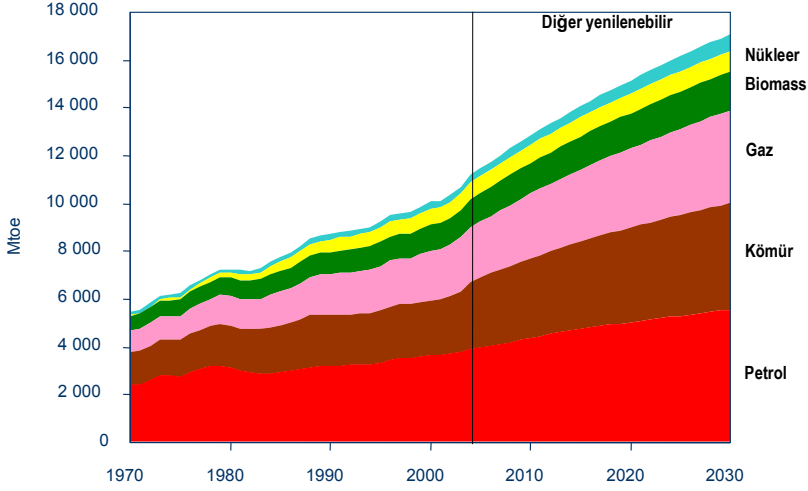
Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu kuruluşunun organize ettiği Devletler Arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) Özel Raporuna göre yılda 0,1 milyon tonun üzerinde emisyon yapan CO₂ kaynaklarının sayısı ve emisyon miktarları aşağıdaki gibidir.

Proses	Emisyon kaynak sayısı	Emisyon (M t CO ₂ /yıl)
Enerji	4.942	10.539
Çimento üretimi	1.175	932
Rafineri	638	798
Demir ve çelik sanayi	269	646
Petrokimyasal	470	379
Petrol ve gaz prosesi	Mevcut değil	50
Biyomass, biyoetanol, biyoenerji	303	91
Diğer kaynaklar	90	33
Toplam	7.887	13.468

3. ENERJİ SEKTÖRÜNDE CO₂ EMİSYONLARI

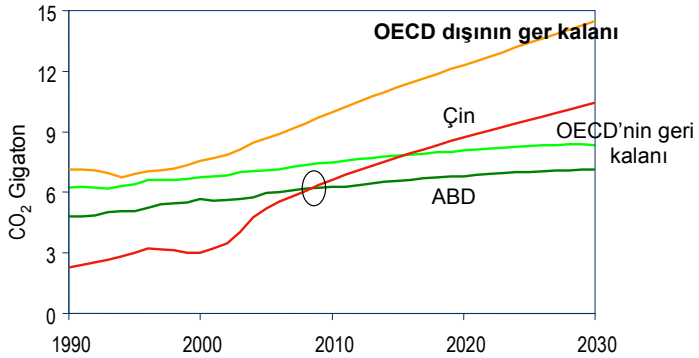
Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre dünya primer enerji talebi gün geçtikçe artmaktadır. 2030'a kadar talebin %50 aratacağı tahmin edilmektedir. Bu talep artışı da önemli ölçüde kömür ve doğal gazla karşılanacaktır. Aşağıdaki grafikte bu talep artışı ve bunun hangi kaynaklarla karşılanacağı gösterilmektedir.

Dünya Primer Enerji Talebi



Son yıllardaki kömürdeki talep artışına bakıldığında talebin büyük ölçüde Çin tarafından sürüklendiği görülmektedir. Bu talep trendi devam ettiği takdirde Çin'in 2010'da, şu anda Dünya'da en fazla CO₂ salınımını gerçekleştiren ABD'yi geçeceği anlaşılmaktadır.

Bölgelere göre Enerji Kaynaklı CO₂ emisyonları



4. CO₂ EMİSYONLARINI AZALTMAK İÇİN TEDBİRLER

Birim kWh elektrik üretimi için CO₂ emisyonunu azaltmak için aşağıdaki alternatifler üzerinde durulmaktadır.

-Enerji üretiminde daha az karbon dioksit çıkaran alternatiflere yönelmek, örneğin kömürden doğal gaz, yenilenebilir enerjiye geçmek veya nükleer enerjinin payını artırmak,

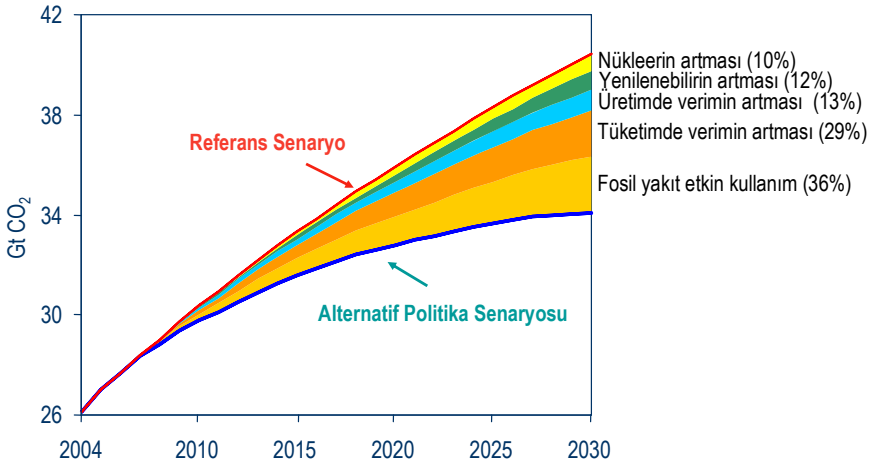
-Enerji üretiminde pulverize kömür santrallerinde süper kritik teknolojilerle ve doğal gaz kombine çevrim santrallerinde gaz sıcaklıklarını yükselterek daha verimli üretim yapılması,

- Daha az enerji tüketen teknolojilerle, tüketiminde verimliliği artırarak enerji talebini azaltmak,

- CO₂ 'in tutulması ve depolanması,

Bu çalışmada CO₂ tutma ve depolama üzerinde durulacaktır.

CO₂ 'yi azaltmak için temel politikalar



5. CO₂ TUTMA VE DEPOLAMA (KTD)

CO₂ tutma ve depolama (KTD), CO₂'i enerji üretimi veya diğer sanayi tesisleri baca gazından ayırma, taşıma ve uzun dönemde atmosferden izole etme işlemidir. Ancak iklim değişikliğine karşı savaşta KTD'yi tek çözüm olarak görmemelidir ve bunu diğer tedbirlerle beraber ele almalıdır.

CO₂'in tutulması büyük kaynaklara uygulanabilir. Büyük kaynaklar kömürden, doğal gazdan ve biyomas'dan elektrik üreten tesisler, CO₂ emisyonu yapan sanayi tesisleridir.

Potansiyel teknik depolama tesisleri:

- petrol ve doğal gaz sahaları,
- kömür çıkarılamayan yer altı kömür ocakları,
- yer altı tuz ocakları gibi jeolojik depolama alternatifleri,
- CO₂'in direk olarak okyanusların dibine pompalanması.

6. CO₂ TUTMA METODLARI

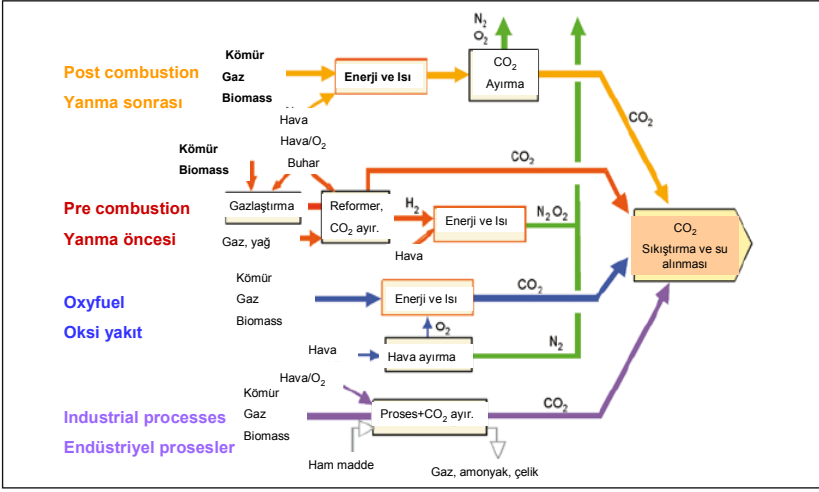
Santrallar ve diğer büyük sanayi tesisleri KTD için temel adaylardır. CO₂ tutmanın amacı yüksek basınçta yüksek konsantrasyonda bir depolama sahasına nakledilebilecek bir CO₂ akışı elde etmektir.

Şu anda da CO₂ ayırma tesisleri bulunmaktadır, ancak bunlarda amaç diğer gazları üretmek amacıyla saflaştırmaktır ve ayrılan CO₂ atmosfere atılmaktadır. Santralların baca gazından CO₂ üretimi yapılan uygulamalarda vardır, ancak bunlar 500 MW'ın altında ki küçük santrallardır. Şu anda kömür, gaz, petrol veya biyomassa dayalı santrallarda CO₂ tutma için üç temel yaklaşım bulunmaktadır.

- Yanma Sonrası (Post-combustion)
- Yanma Öncesi (Pre-combustion)
- Oksi yakıt yanma (Oxyfuel combustion)

Aşağıdaki şemada tüm prosesler bir arada gösterilmektedir.

CO₂ Tutma Prosesleri



6.1 Yanma Sonrası

Bu sistemde normal bir kömür santrali veya doğal gaz kombine çevrim santralının baca gazından CO₂'yi ayırma işlemidir. Ana ögesi azot olan baca gazından sıvı bir solvent kullanarak CO₂'nin belli bir yüzdesi (Hacimsel olarak %3-15) ayrıştırılır. Modern bir pulverize kömür santralında veya doğal gaz kombine çevrim santralında normal olarak bir organik solvent örneğin monoetanolamin (MEA) kullanılır.

6.2 Yanma Öncesi

Primer yakıt bir reaktör içinde buhar, hava veya oksijen'le işleme tabi tutularak büyük ölçüde hidrojen ve karbon monoksitten oluşan bir karışım (Sentetik gaz) elde edilir. Bir başka reaktörde karbonmonoksit, buharla reaksiyona girerek ilave hidrojenle birlikte CO₂ elde edilir. Bu karışımında hidrojen ve CO₂ ayrıştırılır. Eğer CO₂ depolanacaksa karbonsuz bir yakıt olan hidrojen enerji ve ısı elde etmek üzere yakılabilir. Başlangıçtaki adımlar "yanma sonrası" prosesine göre pahalı ve karmaşık olsa da özellikle ikinci reaktördeki daha yüksek basınç ve konsantrasyondaki (%15-60) CO₂, "yanma öncesi" prosesini CO₂ 'yi ayırmak için daha tercih edilir hale getirmektedir. Yanma

öncesi prosesi IGCC -Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santrallerinde kullanılması uygun olacaktır.

6.3 Oksi Yakıt yakma

Oksi yakıt yakmada primer yakıt havayla değilde oksijenle yakılır. Sonuçta baca gazı su buharı ve CO₂'den oluşur. Burada baca gazındaki CO₂ konsantrasyonu oldukça yüksektir ve hacimsel olarak %80'lere ulaşmaktadır. Bacadan çıkan gaz soğutulur ve sıkıştırılarak su buharı ayrıştırılır. Oksi fuel yanmada havadaki oksijenin %95-99 oranında saflıkta ayrıştırılması gerekir. Kazanlarda CO₂ tutma ve oksi yakıt yakma sistemleri hala demonstrasyon safhasındadır. Oksi yakıtın gaz türbinlerinde kullanılması konusu ise hala araştırma ve kavramsal dizayn safhasındadır.

CO₂ tutma sistemleri işletmeleri için önemli ölçüde enerjiye ihtiyaçları vardır. Bu da net santral verimini düşürmektedir, diğer bir deyişle santraller 1 kWh üretmek için daha fazla yakıt kullanmaları gerekir. %90 konsantrasyonda en iyi teknolojiyle CO₂'yi tutmak için gerekli olan yakıt CO₂ tesisi olmayan benzer tesislerle mukayese edildiğinde; yeni bir süperkritik pulverize kömür santralında %24-40, Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralında %11-22 ve Kömüre Dayalı Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santralında %14-15 olmaktadır. Tabii ki artan yakıt tüketimi kWh başına emisyonları ve katı atıkları artırmaktadır. Paralel olarak SO₂ için kullanılan kireç ve NO_x için kullanılan amonyak tüketiminde de artış yaratacaktır. Bu sebeple daha düşük verimdeki eski santrallara KTD tesisi kurmak yerine daha yüksek verime sahip olacak yeni santrallara KTD tesisi kurmak daha mantıklı olacaktır.

7. CO₂'İN TAŞINMASI

Eğer CO₂ üreten tesis jeolojik depolama sahasının hemen üzerinde değilse tutulan CO₂ depolama sahasına taşınmalıdır. CO₂ sıkıştırılmış gaz olarak boru hatlarıyla taşındığı gibi sıvılaştırılmış olarak izole tanklarla gemilerle, karayolu tankerleriyle veya demiryoluyla da taşınabilir.

ABD'de ilk CO₂ boru hattı 1970'lerde devreye girmiş, bugün 2.500 km'yi geçen boru hatlarıyla yılda 40 milyon tonun üzerinde taşıma yapılmaktadır. CO₂ daha çok Texas'ta verimi

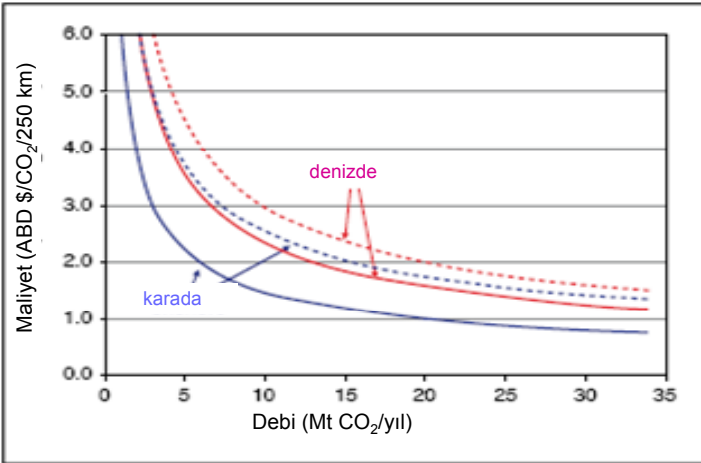
düşen petrol kuyularında verimi artırmak için kullanılmaktadır. Bu boru hatlarında akış, başlangıç noktasındaki kompresörlerle sağlansa da bazılarında arada buster kompresörler bulunmaktadır. Bu taşımada gaz basıncı 8 MPa (80 bar) ve sıcaklık çevre sıcaklığıdır.

CO₂'in uzun mesafelerde veya deniz aşırı taşınma durumunda gemiyle taşıma daha ekonomik olabilir. CO₂'de LNG veya LPG gibi aynı şekilde taşınabilir. Burada genellikle kullanılan basınç 0,7 MPa (7 bar)'dır. Ancak şu anda talep çok olmadığından daha küçük boyutlarda taşıma yapılmaktadır.

Prensip olarak karayolu ve demiryoluyla da taşıma yapılabilir. Bu durumda basınç 2 MPa (20 bar) ve sıcaklık -20 °C olacaktır. Ancak büyük ölçüde KTD için boru hatları ve deniz yolu taşımaya göre karayolu ve demiryolu ekonomik olmayacaktır.

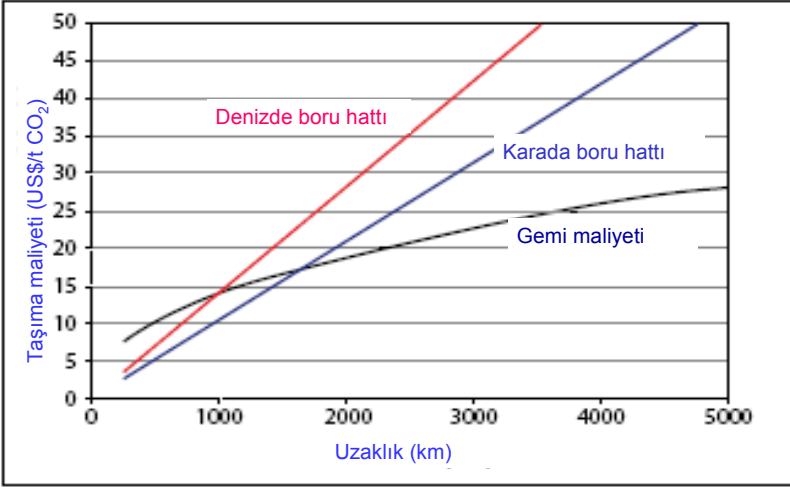
Taşıma maliyeti, taşıma miktarı ve taşınan uzaklığa göre değişmektedir. Boru hatları durumunda da boru hattının denizden mi karadan mı gittiği, kara taşıması durumunda geçilen güzergah kayalık mı, büyük nehir geçişi var mı, yerleşim bölgelerinden geçiyor mu, bölgede alt yapı sıkışık mı sorularının cevapları maliyeti etkilemektedir. Uzun boru hatlarında buster kompresörlerde maliyete eklenmelidir. Aşağıdaki şekilde ABD'de 250 km'lik bir boru hattı için farklı debilere göre maliyetin nasıl değiştiği görülmektedir.

CO₂ Boru Hattı Taşıma Maliyeti



Aşağıdaki grafikte de boru hattı taşımasıyla deniz yolu taşıması maliyeti mukayese edilmektedir. Görüldüğü gibi denizden giden boru hatlarında 1.000 km'den, karadan giden boru hatlarında 1.600 km'den sonra gemiyle taşıma ekonomik olmaktadır.

Gemi, Boru Hattı Maliyet Mukayesesi

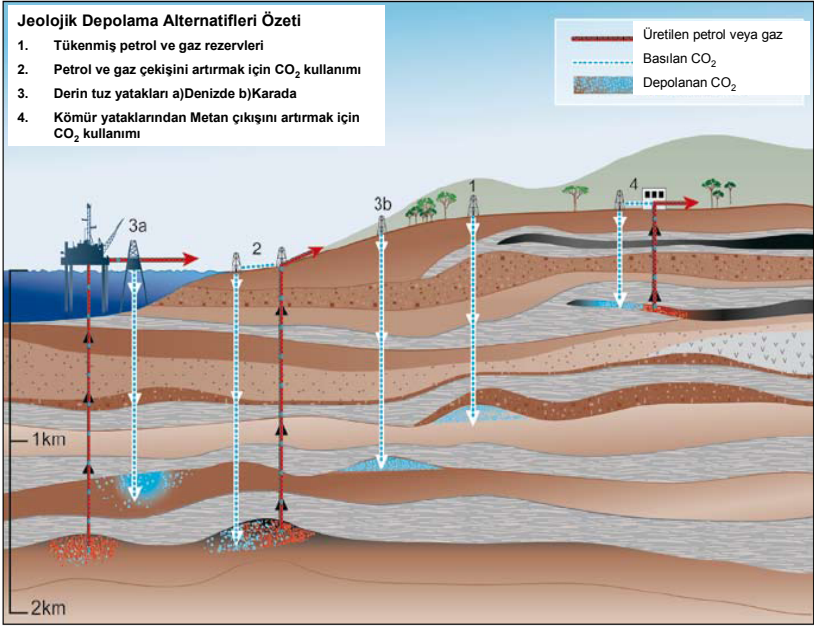


8. JEOLJİK DEPOLAMA

Jeolojik depolama da üç alternatif üzerinde durulmaktadır. Aşağıdaki şemada görüldüğü gibi:

- Petrol ve doğal gaz yatakları,
- Tuz ocakları,
- İşlenemeyen kömür yatakları.

JEOLOJİK DEPOLAMA



Her durumda da CO₂ sıkıştırılmış olarak yer altına bir kaya formasyonuna basılmaktadır. Daha önce veya şu anda bünyesinde petrol, doğal gaz veya deniz suyu olan gözenekli kayalar CO₂ depolaması için potansiyel adaylardır. Uygun formasyonlar karada olduğu gibi deniz yatağında da olabilir. Kömür yatakları da CO₂ depolaması için kullanılabilir. Kömür yataklarına CO₂ basılarak metan üretiminin artırılması hala test safhasındadır. Jeolojik depolamanın 3 örneği Kuzey Buz Denizinde Sleipner Projesi, Kanada'da Weyburn Projesi ve Cezayir'de Salah Projesidir. Bu üç proje de yılda 3-4 Mt CO₂ depolanmaktadır. ABD'de büyük çoğunluğu Teksas'da olmak üzere petrol üretimini artırmak amacıyla yılda 30 Mt CO₂ petrol kuyularına basılmaktadır.

CO₂ 'in yer altına basılmasında büyük ölçüde petrol ve gaz araştırma ve işletmesinde kullanılan teknoloji kullanılmaktadır. Mevcut uygulamalardaki sondaj teknolojisi, enjeksiyon (basma) teknolojisi, depolama rezerv dinamiklerinin bilgisayar simülasyonları ve izleme metodları iyileştirilmekte ve jeolojik depolama için adapte edilmektedir. Bu arada doğal gaz depolanmasıyla oluşmuş bir tecrübe birikimi de vardır.

Hidrokarbon sahalarında ve tuz formasyonlarında depolama, CO₂ 'in sıvı veya süperkritik fazda olacağı şartların

vuku bulduğu 800 m'den daha yüksek derinliklerde gerçekleştirilebilir. Bu şartlarda CO₂ 'in yoğunluğu suyun yoğunluğunun %50-80'i civarındadır. Bu bazı tür ham petrol yoğunluğuna yakındır, dolayısıyla eğer kuyuda ham petrol varsa CO₂ yukarı doğru itilecektir. Bu sebeple CO₂ depolama haznesinin üstünün sızdırmaz olması sağlanmalıdır. Bu da deponun üst kısmına serilen kil veya killi şist tabakasıyla sağlanır.

IPCC raporunda ki tabloya göre farklı depolama alternatiflerindeki potansiyel şöyledir:

Depolama alternatifi	Potansiyel Tahmin (Düşük) (Gt CO ₂)	Potansiyel Tahmin (Yüksek) (Gt CO ₂)
Petrol ve Gaz Sahaları	675	900
İşletilemeyen kömür sahaları	3-15	200
Derin tuz formasyonları	1.000	10.000

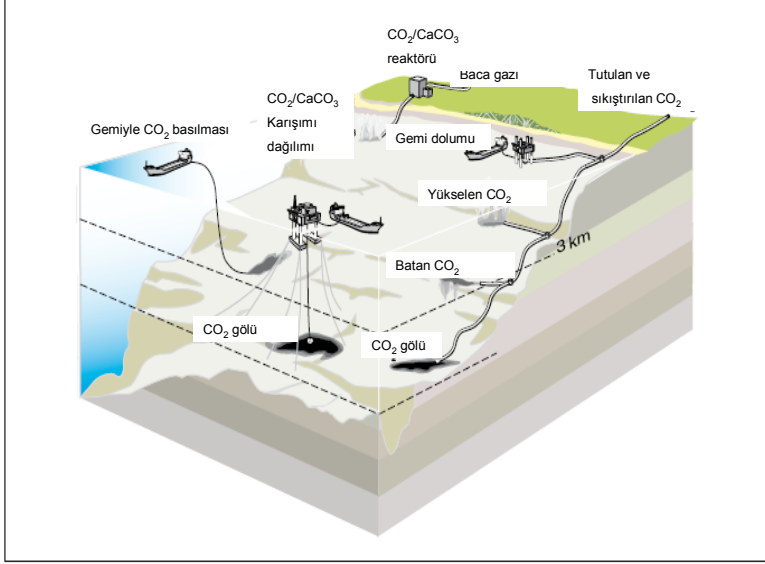
Şu anda CO₂ depolaması yapılan, inşaatı süren ve planlanan tesislerin bir listesi aşağıda verilmektedir.

Proje adı	Ülke	Enjeksiyon başlama yılı	Ort. Günlük enj. (t CO ₂)	Toplam Plan (t CO ₂)	Depolama tipi
Weyburn	Kanada	2000	3.000-5.000	20.000.000	Petrol üretimi artırma
In Salah	Cezayir	2004	3.000-4.000	17.000.000	Doğal Gaz Sahası
Sleipner	Norveç	1996	3.000	20.000.000	Tuz formasyonu
K12B	Hollanda	2004	100 2006'da 1.000	8.000.000	Gaz üretimi artırma
Frio	ABD	2004	177	1600	Tuz formasyonu
Fenn Big Valley	Kanada	1998	50	200	Köm. Oca. Metan üret.
Qinshui Basın	Çin	2003	30	150	Köm. Oca. Metan üret.
Yubari	Japonya	2004	10	200	Köm. Oca. Metan üret.
Recopol	Polonya	2003	1	10	Köm. Oca. Metan üret.
Gorgon (plan)	Avustralya	2009	10.000	Bilinmiyor	Tuz formasyonu
Snohvit (plan)	Norveç	2006	2.000	Bilinmiyor	Tuz formasyonu

9. OKYANUSLARDA DEPOLAMA

Bir diğer depolama alternatifi; tutulan CO₂'in direk olarak derin okyanuslarda 1000 m'nin üzerinde derinliklere basılmasıdır. CO₂ boru hatlarıyla veya gemilerle depolama sahasına getirilir ve su sütununun altına veya deniz tabanına enjekte edilir. Eriyen veya dağılan CO₂, global CO₂ çevriminin parçası haline gelir. Aşağıdaki şemada, kullanılan metodlar gösterilmektedir.

Okyanusta Depolama Metodları



Okyanus depolamasının henüz test amacıyla protip uygulaması bile yapılmamıştır, ancak 25 yıldır devam eden laboratuvar çalışmaları devam etmektedir.

Okyanuslar Dünya yüzeyinin %70'şini kaplarlar ve ortalama derinlik 3.800 m'dir. CO₂ su da eriyebilir olduğundan atmosfer ve okyanus suları arasında denge sağlanana kadar doğal bir alışveriş söz konusudur. Eğer atmosferde CO₂ konsantrasyonu artarsa okyanus yavaş yavaş bu fazlalığı almaktadır. Bu yolla son 200 yılda okyanuslar insandan kaynaklanan emisyonlardan 1.300 Gt'dan 500 Gt'ı almıştır. Okyanuslar şu anda yılda 7 Gt civarında CO₂'yi almaktadırlar. Bu sebeple okyanus yüzeyindeki pH yaklaşık 0,1 puan düşmüştür. Ancak derinliklerde henüz bir değişiklik yoktur.

Okyanus araştırmaları ve oluşturulan modeller CO₂'nin okyanus dibinde yüzyıllarca kalacağını göstermektedir. Ancak ne kadar büyük derinliğe CO₂ gönderilirse okyanus dibinde o kadar uzun kalacaktır. Aşağıdaki tabloda "yedi okyanus" modeline göre 2000 yılında başlamak üzere 3 farklı derinlikte 100 yıllık devamlı

enjeksiyon sonrası okyanusta CO₂'nin kalma oranları aşağıdaki tabloda verilmektedir.

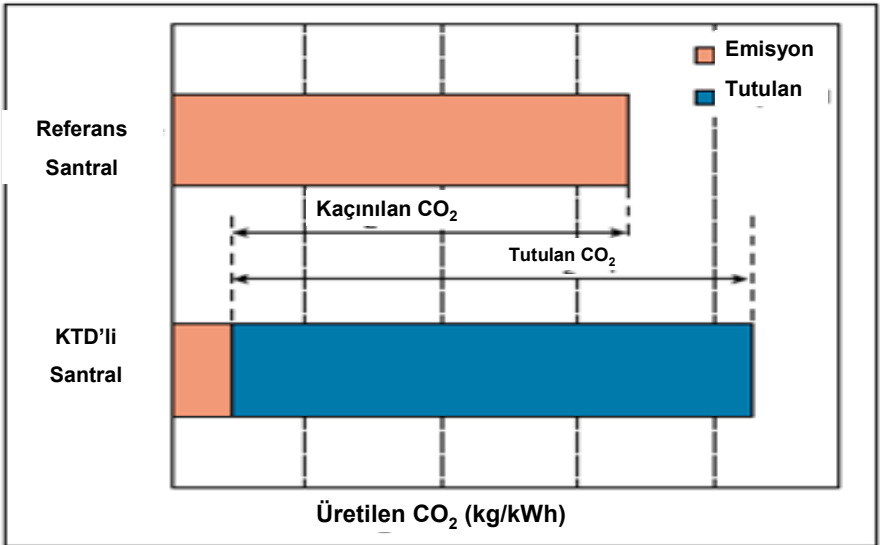
Enjeksiyon derinliği

Yıl	800 m	1.500 m	3.000 m
2100	0,78±0,06	0,91±0,05	0,99±0,01
2200	0,50±0,06	0,74±0,07	0,94±0,06
2300	0,36±0,06	0,60±0,08	0,87±0,10
2400	0,28±0,07	0,49±0,09	0,79±0,12
2500	0,23±0,07	0,42±0,09	0,71±0,14

10. KTD MALİYETLER

Bir santralde CO₂ tutma ve depolama içinde enerji harcanmaktadır. Dolayısıyla santralin verimi düşmekte ve kWh üretim başına daha fazla CO₂ emisyonu olmaktadır. Bu aşağıdaki şemada gösterilmektedir.

ÖNLENEN CO₂ EMİSYONU



IPCC raporunda ABD’de ki girdilerden yola çıkarak hazırlanan KTD’nin çeşitli safhaları için 3 farklı santral alternatifi için maliyet mukayese tablosu aşağıda verilmektedir.

Santral ve maliyet parametreleri	Pulverize Kömür Santrali	Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali	Entegre Kömür Gazlaştırma Kombine Çevrim Santrali
KTD’siz referans santral			
Elektrik maliyeti (US\$/kWh)	0,043-0,052	0,031-0,050	0,041-0,061
KTD’li santral			
Artan yakıt ihtiyacı (%)	24-40	11-22	14-25
Tutulan CO ₂ (kg/kWh)	0,82-0,97	0,36-0,41	0,67-0,94
Önlenen CO ₂ (kg/kWh)	0,62-0,70	0,30-0,32	0,59-0,73
Önlenen CO ₂ (%)	81-88	83-88	81-91
KTD’li santral ve jeolojik depolama			
Elektrik maliyeti (US\$/kWh)	0,063-0,099	0,043-0,077	0,055-0,091
KTD maliyeti (US\$/kWh)	0,019-0,047	0,012-0,029	0,010-0,032
Elektrik maliyetindeki artış (%)	43-91	37-85	21-78
Önlem masrafı (US\$/t CO ₂)	30-71	38-91	14-53

11. DARBOĞAZLAR

KTD’nin temel darboğazları aşağıda özetlenmektedir.

- KTD verimi düşürmektedir.
- KTD pahalıdır, dolayısıyla ekonomik olabilmesi için CO₂ vergisi yüksek olmalıdır.
- KTD’nin çeşitli safhaları için hala bilinmeyenler vardır. Örneğin okyanusta depolama, CO₂’in jeolojik depolama sahasında izlenmesi konuları gibi.
- Jeolojik depolamada kaçakların önlenmesi konusu çalışılmalıdır.
- CO₂ boru hatlarının ülkelerden geçişi, jeolojik ve okyanus depolamada ülkelerin egemenlik hakları konusunda uluslararası mevzuat oluşturulmalıdır.
- KTD konusunda ülkelerden taahhüt alınması gündeme gelirse yer altına enjekte edilen CO₂ miktarı ve depolanan miktarın tespiti için güvenilir ve pratik ölçme sistemleri geliştirilmelidir.

12. SONUÇ

- İklim Değişikliğine karşı olarak CO₂ tutma ve depolama tek başına yeterli tedbir değildir. Ancak üretim ve tüketimde verimin artırılması, yenilenebilir enerji kullanımını artırılması, nükleer enerji kullanımının artırılmasıyla birlikte ancak katkısı olabilir.
- CO₂ tutma konusu bilinen ve kullanılan bir teknoloji olmasına karşın, CO₂'in taşınması, jeolojik ve okyanus altına depolanma konusunda hala araştırmalar sürdürülmektedir. Bazı ülkelerde küçük ölçekli test amaçlı tesisler kurulmuştur.
- Türkiye'nin bu safha da boş durmaması için aday jeolojik depolama sahaları konusunda araştırma yapılmalı ve muhtemel sahalar tespit edilmelidir.

13. KAYNAKLAR

1. World Energy Outlook, International Energy Agency, OECD/IEA, 2006
2. Wikipedia, the free encyclopedia web site
3. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, 2005
4. Lothar Balling, Dr. Georg Rosenbauer, Power Generation Technology to meet European Market Requirements, Powergen Europe 2007, Madrid
5. Dr. Francois Giger, Pietro Di Zanno, How to unlock the Bottlenecks on the path to CCS, Powergen Europe 2007, Madrid
6. Georg Rosenbauer, Bert Rukes, Nicolas Vortmeyer, Marcus Noelke, Siemens PG approach for Carbon Capture and Storage (CCS), Powergen Europe 2007, Madrid
7. R. S. Panesar, G. Sekkappan, Oxyfuel CO₂ Capture for Pulverised Coal, an Evolutionary Approach, Powergen Europe 2007, Madrid
8. www.world-nuclear.org, "Clean Coal" technologies
9. International Energy Agency, Prospects for CO₂ Capture and Storage, OECD 2004