

CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması gerçekte ne anlama geliyor?

Fosil yakıtların
bilinçli kullanımı

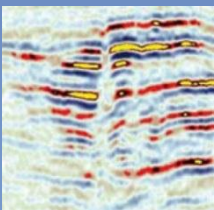
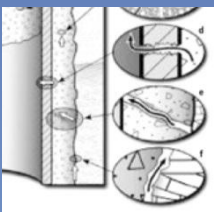
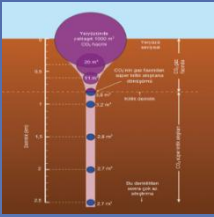
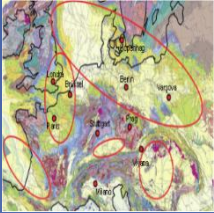
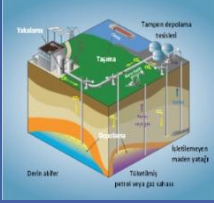
Sera gazlarının ana
kaynağı olan CO₂'nin
uzaklaştırılması

Karbonun yeraltına
geri gönderilmesi

İklim dostu enerji kaynakları geliştirmek
için gerekli olan zamanın kazanılması



CO₂GeoNet Avrupa Mükemmeliyet Ağı



İklim değişikliği ve CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolama ihtiyacı

1. Yeraltında nerede ve ne kadar CO₂ depolayabiliriz?

2. Büyük miktardaki CO₂'yi nasıl taşır ve enjekte edebiliriz?

3. Depolama rezervuarında CO₂'ye ne olur?

4. CO₂ rezervuardan sızabilir mi, sızarsa sonuçları neler olabilir?

5. Depolama sahalarını yüzeyde ve yeraltında nasıl izleriz?

6. Hangi güvenlik kriterleri belirlenmeli ve uygulanmalı?

Terimler Sözlüğü

CO₂GeoNet nedir?

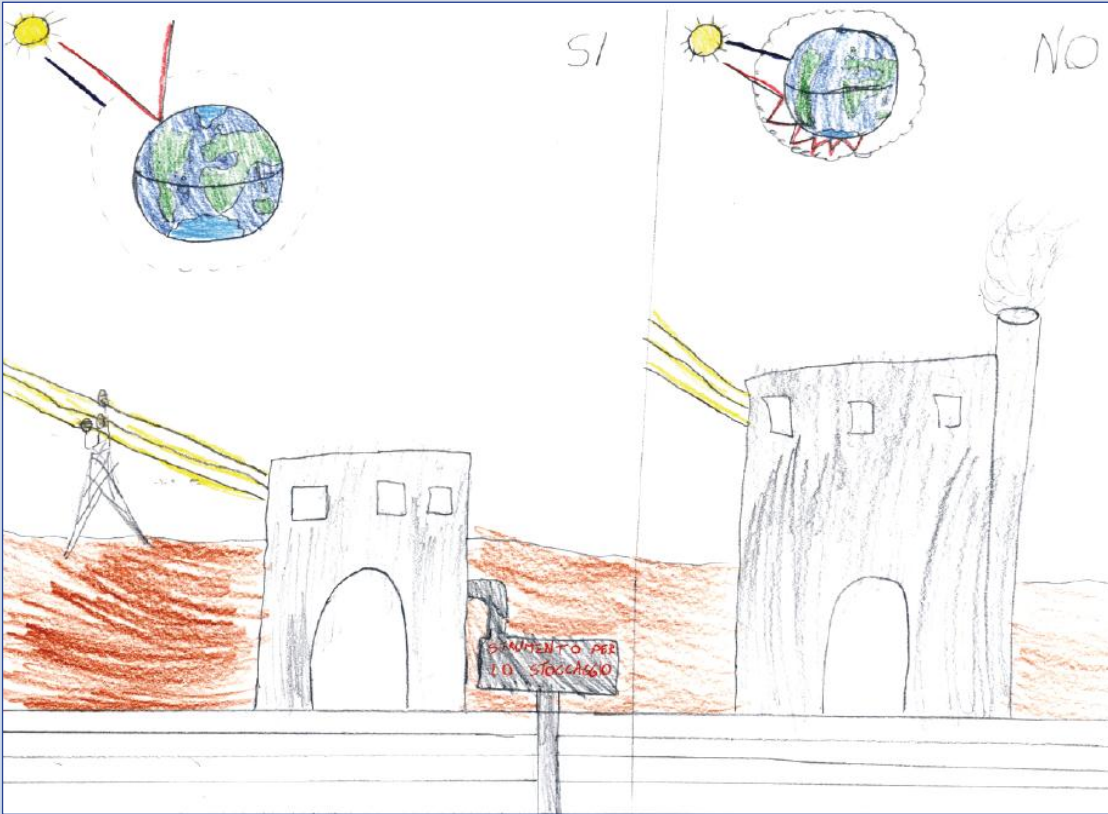
Bu broşür aşağıda ismi geçen kişilerin katkılarıyla hazırlanmıştır:

Rob Arts, Stanley Beaubien, Tjirk Benedictus, Isabelle Czernichowski-Lauriol, Hubert Fabriol, Marie Gastine, Ozgur Gundogan, Gary Kirby, Salvatore Lombardi, Franz May, Jonathan Pearce, Sergio Persoglia, Gijls Remmelts, Nick Riley, Mehran Sohrabi, Rowena Stead, Samuela Vercelli, Olga Vizika-Kavvadias.

Türkçe sürümün çevirisi Ender Okandan, İlhan Topkaya, Mahmut Parlaktuna, Çağlar Sınayuç, Sevtaç Bülbül, Oytun Örs ve Gizem Gül tarafından yapılmıştır.

Bir gelecek vizyonu

Tüten Bacalara Son
Boru hattı CO₂'yi alır ve yeraltına depolar
Bu dünya için yararlıdır



© Sapienza URS

Massimo, yaş 10, Roma-İtalya

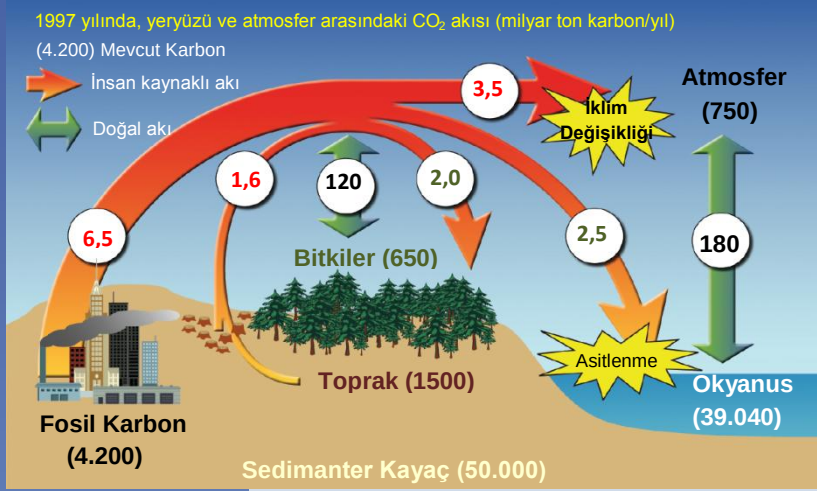
CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması
çocuklarımız için
anlam ifade etmektedir

İklim değişikliği ve CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolama ihtiyacı

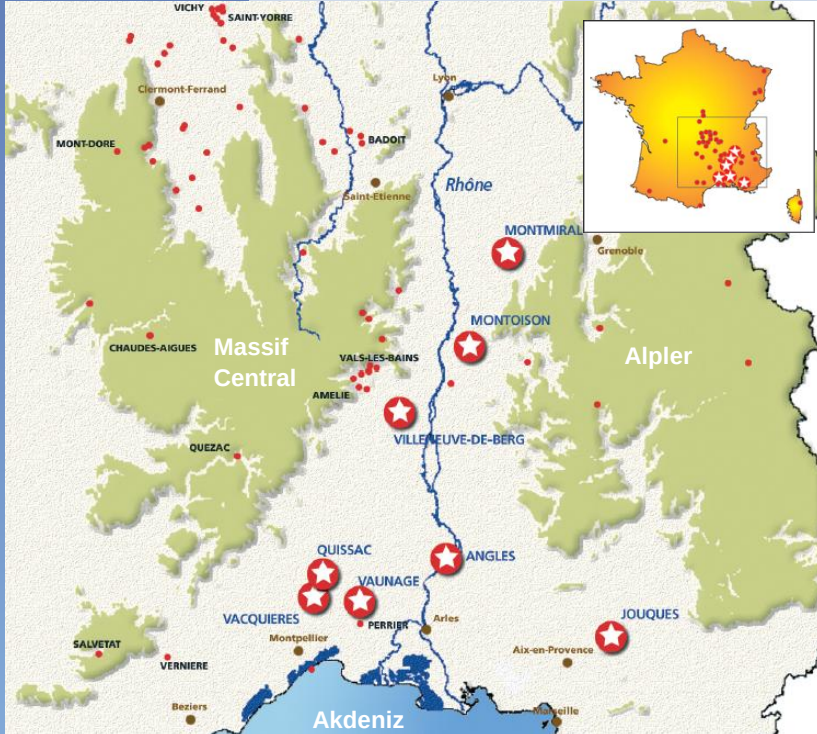
Şekil 1
İnsanların faaliyetlerine bağlı olan küresel CO₂ salınımı yıllık 30 milyar tona ulaşmıştır. Bu rakam, 6,5 milyar fosil yakıtların yanmasından ve 1,6 milyar ağaçların yok edilmesi ve tarımsal uygulamalardan oluşan 8,1 milyar ton karbona karşılık gelmektedir.

İnsanoğlu atmosfere aşırı miktarda CO₂ bırakıyor

Artık insan faaliyetlerinin gezegenimizdeki karbon döngüsünü bozduğu kabul edilmektedir. Sanayi devriminden 10.000 yıl öncesine kadar, bu hassas döngüde (jeosfer, biyosfer, okyanus, atmosfer arasındaki doğal döngü) atmosferdeki CO₂ derişimi düşük kalmıştır (yaklaşık 280 ppm ya da %0,028). Geçtiğimiz 250 yıl içinde, enerji üretimi,



Şekil 2
Fransa'nın karbondioksitli gazlar üretim alanları



ısınma, sanayi, ulaşım için hızla artan fosil yakıt tüketimi atmosfere salınan CO₂ miktarını artırmıştır (Şekil 1). İnsanların yol açtığı bu artışın yarısı bitkiler tarafından geri emilmiş ve okyanuslarda çözünmüştür. Okyanuslardaki çözünme asitlenmeye ve deniz canlıları üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmuştur. Geriye kalan kısmı atmosferde birikip iklim değişikliğine katkıda bulunmuştur. Çünkü CO₂ güneş ışınlarını tutarak dünya yüzeyinin daha fazla ısınmasına neden olan bir sera gazıdır. Bugünün atmosferik CO₂ derişimi olan 387 ppm (hâlihazırda sanayi öncesine göre +%38 yüksek) değerinin gelecek yıllarda 450 ppm'e yükselmesini engellemek için acil köklü önlemlerin alınması gerekmektedir. Uzmanlar bu seviyenin üzerinde meydana gelebilecek ciddi sonuçları önlemenin mümkün olamayacağını kabul etmektedirler.

Karbonun yeraltına geri gönderilmesi

Sanayi çağının 1750'lerde başlamasıyla dünyamız ağırlıklı olarak fosil yakıtlara bağımlı hale gelmiştir. Bu bağımlılığın iklim dostu enerji kaynağıyla değiştirilmesi para ve uzun zaman gerektirmektedir. Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için ilk ve geçici bir çözüm, onları doğayı kirlilemeyecek şekilde kullanmamız ve bu sayede yenilenebilir enerji geleceği için gerekli altyapıyı ve teknolojiyi geliştirmemizdir. Bir seçenek yerden petrol, gaz ve kömür olarak çıkarılan karbonun yeraltına CO₂ olarak geri döndürülmesiyle enerjide kapalı bir sistem oluşturmaktır. İlginç olan CO₂'nin binlerce hatta milyonlarca yıldır doğal ve yaygın olarak yeraltında depolanmış olmasıdır, başka bir deyişle CO₂ depolama yeni bir buluş değildir. Buna örnek olarak Fransa'nın güney batısında 1960'larda petrol aranırken bulunan sekiz tane doğal CO₂ rezervuarı* verilebilir (Şekil 2). Bu ve diğer doğal sahalar, yeraltı katmanlarının CO₂'yi verimli ve güvenli bir şekilde uzun süre depolamaya uygun olduğunu göstermektedir.

CO₂ Yakalama ve Depolama: azaltma için ümit verici bir yol

İklim değişikliği ve okyanus asitlenmesinin azaltılması için acil olarak tamamlanması gereken önlemler listesi içinde CO₂ yakalama ve depolama (CCS*), 2050 yılına kadar yapılması gereken CO₂ azaltılmasının %33'üne karşılık gelecek karar verici bir rol oynayabilir. CCS, CO₂'nin kömür ve gaz yakıtlı güç santralleri ve endüstriyel tesislerden (çelik fabrikaları, çimento fabrikaları, rafineriler v.b.)

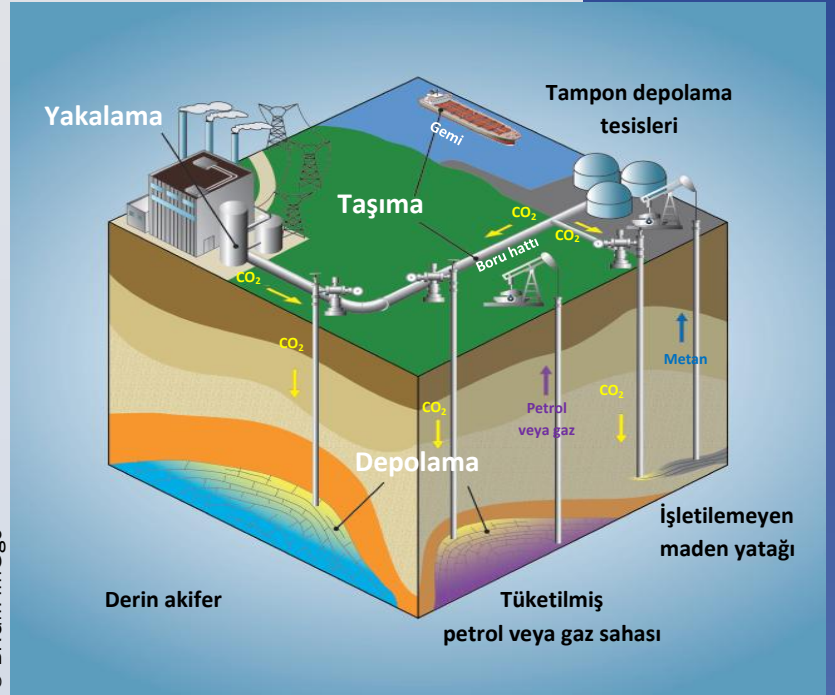
yakalanması, boru hatları veya gemilerle depolama yerine taşınması ve bir kuyu* vasıtasıyla uygun jeolojik formasyonlarda uzun vadeli depolanmasını içermektedir (**Şekil 3**). Artan dünya nüfusu ve gelişmekte olan ülkelerdeki yükselen enerji talebine, aynı zamanda şu anki geniş ölçekli alternatif “temiz” enerji kaynaklarının eksikliğine bakıldığında, fosil yakıtların sürekli kullanımı kısa vadede kaçınılmazdır. Buna rağmen insanlık CCS ile birlikte çevre dostu bir yolda ilerlerken, aynı zamanda sürdürülebilir enerji üretimine dayanan bir dünya ekonomisine olanak sağlayabilir.

CCS'nin dünya çapındaki gelişimi

CCS ile ilgili büyük araştırma projeleri Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya ve Japonya'da 1990'lardan beri yapılmaktadır. Daha fazla bilgi CO₂'nin birkaç yıldır derin yeraltı katmanlarına enjekte edildiği dünyanın ilk büyük ölçekli projelerinden elde edilmiştir: Norveç'te Sleipner (1996'dan beri yaklaşık 1 milyon ton/yıl) (**Şekil 4**). Kanada'da Weyburn (2000'den beri yaklaşık 1.8 milyon ton/yıl) ve Cezayir'de In Salah (2004'den beri 1 milyon ton/yıl). Bu sahalar ve diğer sahalarda IEAGHG* ve CSLF* tarafından teşvik edilen CO₂ araştırmalarındaki uluslararası işbirliği, bu konudaki anlayışımızın genişlemesinde ve dünya çapında bilimsel bir topluluk oluşmasında özellikle önem arz etmektedir. Mükemmel bir örnek, şu anki bilgi ve dünya çapında bu teknolojinin gerçekleştirilmesini sağlamak için aşılması gereken engelleri açıklayan IPCC*'nin CO₂ yakalama ve depolama ile ilgili özel raporudur (2005). Sağlam teknik uzmanlık şimdiden bulunmaktadır, dünya emin adımlarla uygulama aşamasına geçmektedir. Teknik gelişmelerle birlikte kanun koyucu, düzenleyici, ekonomik ve politik çerçeveler düzenlenmekte, sosyal algı ve destek değerlendirilmektedir. Avrupa'da, amaç 2020'ye kadar genel ticari yayılmanın sağlanması için 2015'e kadar yaklaşık 12 kadar büyük ölçekli uygulama projesinin yapılmasıdır. Bu amaçla, Ocak 2008'de Avrupa Komisyonu CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması, CCS'nin geliştirilmesi ve güvenli kullanımını sağlamak için gerekli diğer tedbirler hakkında bir yönergeyi içeren “İklim hareketi ve yenilenebilir enerji paketi”ni yayımlamıştır.

CO₂'nin yeraltında depolanması hakkında önemli sorular

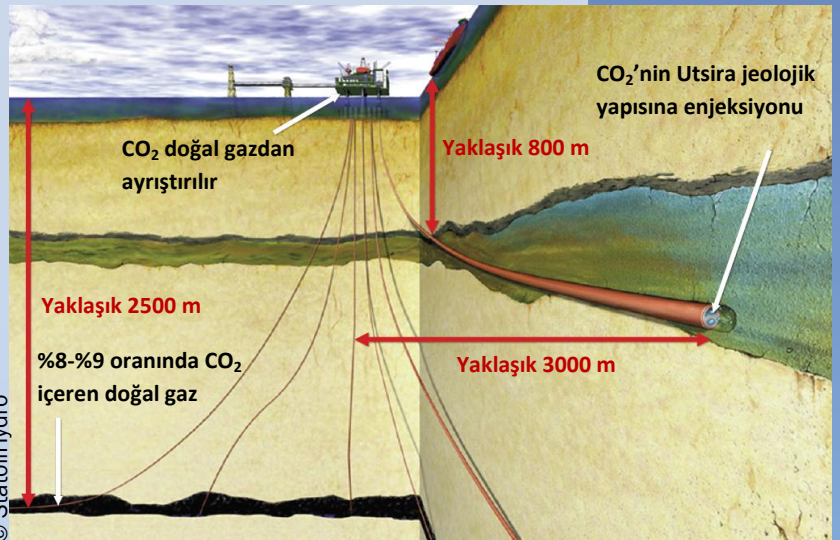
CO₂GeoNet Mükemmeliyet Ağı, Avrupa Komisyonu'nun yardımlarıyla, geniş kapsamlı uluslararası araştırmalarda Avrupa'yı ön planda tutabilecek araştırma kurumu grupları olarak kurulmuştur.



Şekil 3
Elektrik santrallerinde CO₂ diğer gazlardan ayrıştırılarak yakalanır. Daha sonra, sıkıştırılır ve boru hattı ya da gemi ile derin akiferler, tüketilmiş petrol ve gaz sahaları, işletilemeyen maden yatakları gibi jeolojik depolama alanlarına taşınır.

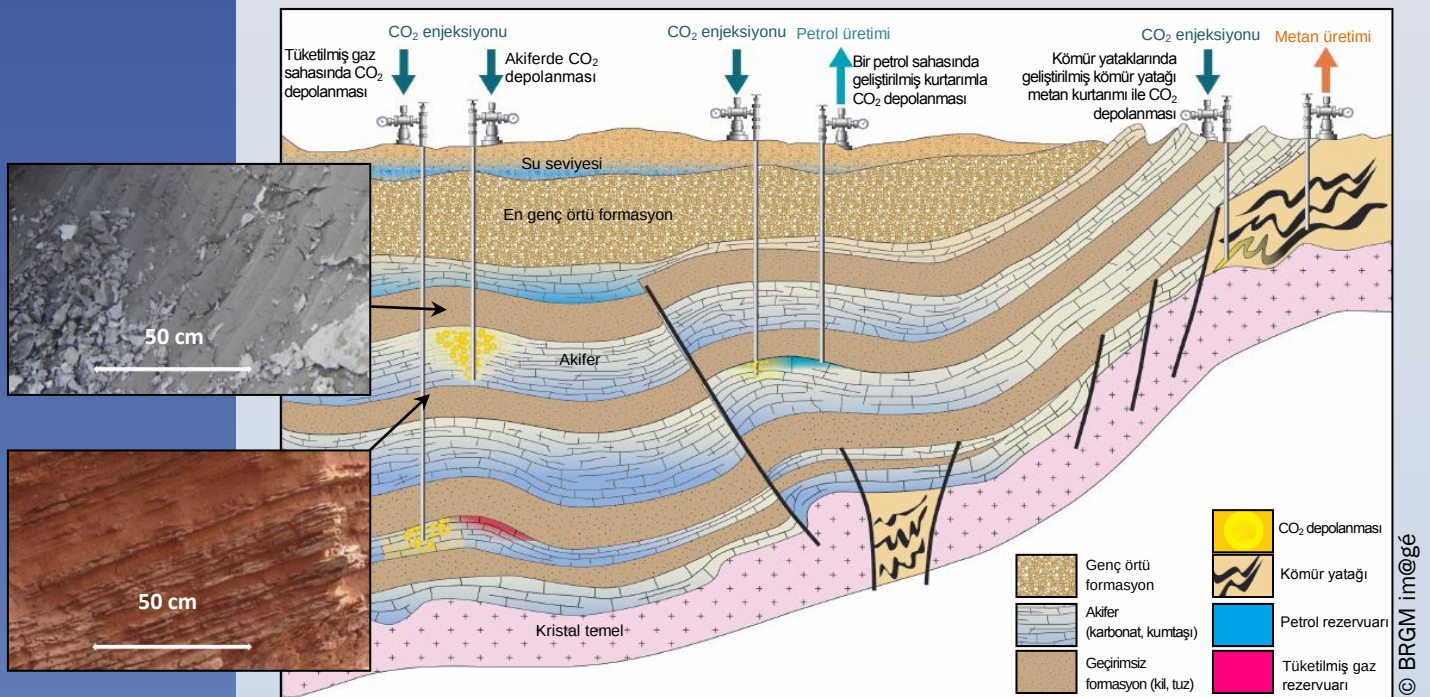
CO₂GeoNet'in amaçlarından birisi, jeolojik CO₂ depolanmasıyla ilgili teknik konularda kesin bilimsel bilginin akışını sağlamaktır. Hayati önem taşıyan bu konunun temel yönleri hakkında bilgi akışını teşvik etmek amacıyla CO₂GeoNet araştırmacıları bazı sık sorulan sorulara temel cevaplar hazırlamıştır. Takip eden sayfalarda CO₂'nin yeraltında depolanmasının nasıl uygulanabileceği, hangi koşullar altında mümkün olduğu ve depolamanın güvenli ve etkili uygulamasının hangi şartlara bağlı olduğu konularında açıklamalar bulacaksınız.

Şekil 4
Norveç Sleipner sahasından alınan dikey kesit. Bu sahadaki doğal gaz, 2500 m derinlikten çıkarılmakta ve ticari standartlara uygun olması için içeriğinde bulunan bir miktar CO₂'nin ayrıştırılması gerekmektedir. Yakalanan CO₂ atmosfere salınmak yerine, yaklaşık 1000 m derinlikteki kumlu Utsira akiferine* enjekte edilmektedir.



Yeraltında neredede ve ne kadar CO₂ depolayabiliriz?

CO₂ yeraltında herhangi bir yere enjekte edilemez, öncelikle uygun formasyonların bulunması gereklidir. Dünyada CO₂'nin depolanabileceği potansiyel rezervuarlar bulunmakta olup, mevcut kapasite, insanoğlunun yol açtığı iklim değişikliğinin nedenlerini azaltmak için önemli katkı sağlayacaktır.



Şekil 1
CO₂ yüzeye kaçmasını engelleyecek geçirimsiz kayaçlarla (üstteki ek: kilitaşı) kaplanmış gözenekli ve geçirgen derin jeolojik formasyonlara enjekte edilir (alttaki ek: kumtaşı). Önemli depolama seçenekleri
1. Üretimi tamamlanmış petrol/doğal gaz sahalarında üretimi artırıcı yöntem olarak
2. Kullanıma uygun olmayan tuzlu su akiferleri
3. Derin madencilik yöntemleri ile üretilmeyen kömür yataklarından geliştirilmiş metan üretimi.

CO₂ depolamak için üç seçenek bulunmaktadır (**Şekil 1**):

1. Üretimi tamamlanmış doğal gaz ve petrol sahaları – petrol arama ve üretim faaliyetleri nedeniyle CO₂ depolama için mevcut bir olanaktır.
2. Tuzlu akiferler – büyük depolama potansiyeli olmakla beraber genelde özellikleri bilinmemektedir.
3. Madencilik yöntemi ile üretilmeyen kömür yatakları – geçirgenliği* düşük kömür katmanlarına yüksek miktarda CO₂'yi enjekte etme sorunu çözüldüğü takdirde gelecek için bir seçenek olacaktır.

Rezervuarlar

CO₂, yeraltında uygun bir rezervuar kayacına enjekte edildiği zaman gözeneklerde ve çatlaklarda birikecek ve mevcut gaz, su veya petrol ile yer değiştirecek ve bunları süpürecektir. Bu nedenle CO₂'nin depolanacağı formasyonlar yüksek gözenekli* ve geçirgen olmalıdır. Bu formasyonlar jeolojik geçmişte sedimanların çökmesi sonucu olduğu için genellikle “sedimanter basen” olarak tanımlanan yerlerde bulunur. Bazı yerlerde bu geçirgen formasyonlar geçirimsiz formasyonlarla ardalanabilir ve bu kayalar kapan olarak işlev görürler.

Sedimanter basenlerde çoğunlukla petrol, doğal gaz ve hatta doğal CO₂ sahaları bulunur, bu da kayaçların bünyelerindeki sıvıları çok uzun süre, milyonlarca yıl kapanlanmış olarak tuttuğunu göstermektedir.

Çizimlerde CO₂'nin depolanabileceği jeolojik seçenekler ideal, homojen, kek katmanları gibi yapısı olan formasyonlar olarak gösterilmektedir. Gerçekte bunlar düzenli dağılımı olmayan lokal çatlaklı kayalar olup, rezervuar ve örtü kayaç* bileşeni olarak karmaşık heterojen yapılar oluştururlar. Yeraltı yapılarının uzun süreli CO₂ depolamaya uygunluğunun belirlenmesi, teklif edilen depolanacak alanı derinlemesine incelemiş ve yerbilimleri konusunda deneyimli kişilerce yapılmalıdır.

CO₂ depolamaya aday olan rezervuarların pek çok kritere mutlaka uyması beklenir, bunlar arasında önemli olanlar,

- Yeterli gözeneklilik, geçirgenlik ve depolama kapasitesi;
- Üzerinde “örtü kayaç”, (örneğin kil, kil taşı, marn, tuz kayası) olarak tanımlanan geçirimsiz kayacın mevcudiyeti,
- CO₂'nin depolama formasyonlarındaki alansal dağılımını kontrol edebilecek kapan yapılarının varlığı.

- CO₂'nin basınçlandırılmış sıvı olarak enjekte edilebilmesi için yüksek basınç ve sıcaklık şartlarını sağlayabilmek üzere 800 metreden derin lokasyonlar,
- İçme suyu formasyonu olmaması: CO₂, insan kullanımı ve aktiviteleri için uygun sulara enjekte edilmeyecektir.

Avrupa'da depolama sahaları nerededir?

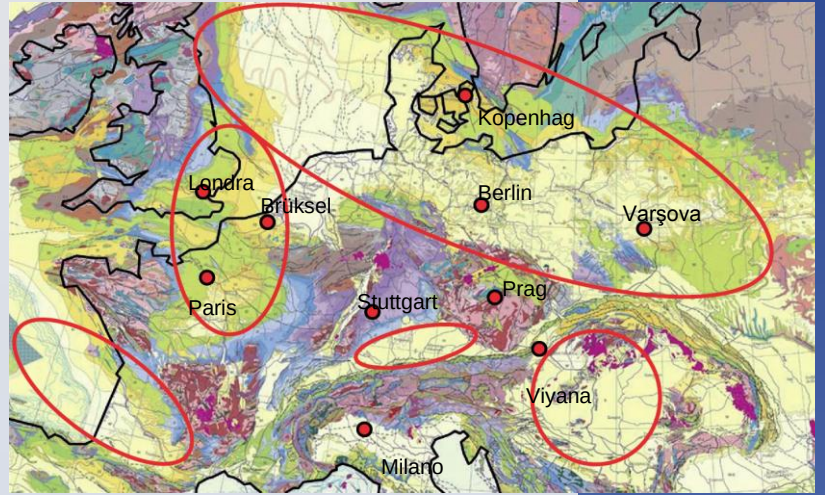
Sedimanter basenler Avrupa'nın geneline dağılmıştır, örneğin Kuzey Denizi'nde, Alp Sıradağları çevresinde (**Şekil 2**). Avrupa basenlerinin birçok formasyonu yer altı katmanlarında depolamanın şartlarını yerine getirmekte olup, halen haritalanması ve karakterizasyonu araştırmacılar tarafından yürütülmektedir. Avrupa'nın diğer alanları ise İskandinavya'nın büyük bir kısmında olduğu gibi yaşlı konsolide kabuktan oluşmaktadır ve CO₂ depolama için uygun olmayacak kayaçları barındırmaktadır.

Depolama için uygun olan alanlara örnek olarak İngiltere'den Polonya'ya kadar uzanan Güney Permian Baseni (**Şekil 2**'de büyük elips içinde gösterilen alan) vardır. Bu sedimanlar, kayaç oluşum sürecinden etkilenmiş, bazı gözenekler tuzlu su, petrol veya doğal gaz ile dolmuştur. Gözenekli kumtaşları arasında bulunan kil katmanları sıvının akışını engelleyici şekilde geçirgenliği düşük formasyonlar olarak oluşmuştur. Kumtaşı formasyonlar çoğunlukla 1 km ile 4 km derinliklerde bulunmakta ve basınçlar CO₂'nin yoğun faz olarak depolanmasına imkân vermektedir. Formasyon sularının tuzluluğu bu derinlik aralığında 100 g/l ile 400 g/l arasında değişir ve tuzluluğu ortalama 35 g/l olan deniz suyundan daha tuzludur. Sedimanter basendeki hareketler kaya tuzunun plastik deformasyonuna ve çan şeklinde sayısız yapının oluşmasına neden olmuş, buralarda doğal gazın depolanmasına olanak sağlamıştır. CO₂ depolaması için çalışılan ve daha sonra pilot uygulamaların yapılabileceği sahalar olarak çalışılmaktadır.

Depolama kapasitesi

CO₂ depolama kapasitelerinin ne olduğunun politikacılar, yasa yapıcılar ve depolamayı yapacak operatörler tarafından bilinmesi gerekecektir. Depolama kapasite tahminleri genelde ortalama tahminler olup, olası yapıların tahmini büyüklükleri şeklindedir. Kapasiteler farklı ölçeklerde değerlendirmeler olup, örneğin ulusal ölçekte kaba tahminlerden basen ve rezervuar ölçeğinde daha kesin hesaplara dayanan ve rezervuar kayacının heterojen yapısını ve jeolojik karmaşıklığını dikkate alan tahminlerdir.

Hacimsel kapasite: Yayınlanmış ulusal kapasiteler formasyonların gözenek hacmine göre hesaplanmıştır. Teorik olarak bir formasyondaki depolama kapasitesi alan, kalınlık, ortalama gözeneklilik ve rezervuar derinlik şartlarındaki CO₂ yoğunluğunun çarpımı olarak hesaplanır.



Ancak formasyon gözeneklerinin su ile dolu olması, CO₂'nin girebileceği hacmi azaltacaktır, genelde bu faktörün %1-3 arasında olduğu kabul edilmektedir. Bu değer hacimsel depolama kapasitesini belirlerken kapasite faktörü olarak kullanılır.

Gerçekçi kapasite: Daha gerçekçi kapasite hesaplamaları, detaylı verilerin incelenmesi ile seçilecek formasyonlar için yapılabilir. Formasyon kalınlıkları sabit olmayıp rezervuar özellikleri kısa mesafelerde değişebilir. Büyüklük, geometrik şekil ve jeolojik özelliklerin bilinmesi hacim hesaplamalarındaki belirsizlikleri azaltır. Bu bilgiler ışığında kullanılacak sayısal modeller ile CO₂'nin enjeksiyonu ve hareketini tahmin etmek ve gerçekçi kapasiteyi belirlemek mümkün olacaktır.

Gerçekleşebilir kapasite: Kapasite sadece kayaç fizikine bağlı olan bir sorun değildir. Sosyo-ekonomik faktörler seçilen uygun bir lokasyonun kullanıp kullanılmayacağına etki eder. Örneğin, taşıma maliyetleri CO₂'nin kaynaktan depolama alanına getirilmesini doğrudan etkiler. Diğer varlığı rezervuar gözeneklerinde CO₂'nin girebileceği hacmi azaltacağından; kapasite, CO₂'nin saflığına da bağlı olacaktır. Politik karar ve toplumun kabulü, seçilen bir alanda depolamanın mümkün olup olmayacağına son sözü söyleyecektir.



Sonuç olarak rezervuarın karmaşıklığı, heterojenliği ve sosyo-ekonomik faktörlere bağlı belirsizlikler olmasına rağmen, Avrupa'nın CO₂ depolama kapasitesinin yüksek olduğunu biliyoruz. Avrupa Birliği'nin GESTCO* projesinde Kuzey Denizi'nde bulunan petrol ve doğal gaz sahalarının CO₂ depolama kapasitesi 37 Gt olarak belirlenmiş ve bu bölgede uzun yıllar CO₂ depolanması için uygulamaların yapılabileceği öngörülmüştür. Avrupa'nın CO₂ depolama kapasitesinin güncellenmesi ve haritaların çıkarılması üye ülkelerde ve EU Geocapacity* projesi kapsamında yürütülen bir araştırmadır.

Şekil 2
Avrupa'da uygun CO₂ depolama rezervuarlarının bulunabileceği ana sedimanter basenleri gösteren (kırmızı elipsler), jeolojik harita (Avrupa'nın 1:5.000.000 ölçekli haritası temel alınmıştır).

Büyük miktardaki CO₂'yi nasıl taşır ve enjekte edebiliriz?

CO₂ endüstriyel tesiste yakalandıktan sonra basınçlandırılmakta, taşınmakta ve sonrasında bir veya birçok kuyu vasıtasıyla rezervuar katmanına enjekte edilmektedir. Yıl boyunca milyonlarca ton CO₂'nin depolanmasını mümkün kılmak amacıyla tüm bu zincir optimize edilmelidir.

Basınçlandırma

Yoğun akışkan formuna basınçlandırılan CO₂, gaz fazından oldukça düşük bir hacim kaplamaktadır. Güç santrali veya endüstriyel tesisin atık gazından ayrıştırılmasıyla elde edilen yüksek CO₂ derişimli gaz, suyundan arındırılmakta ve basınçlandırılmakta, böylece taşıma ve depolama daha etken hale gelmektedir (**Şekil 1**). Sudan arındırma, ekipman ve alt yapıdaki olası korozyondan kaçınmak ve yüksek basınç şartlarında karşılaşılacak hidrat (ekipman ve boruları tıkayabilen buz benzeri katı kristal yapılar) oluşumunu engellemek için gereklidir. Basınçlandırma, sudan arındırma ile aynı anda birden çok kademede ve basınçlandırma-soğutma- su ayrıştırma döngüleri şeklindeki bir süreçte gerçekleştirilmektedir. Sürecin basınç, sıcaklık ve su içerikleri taşıma yöntemine ve depolama alanının basınç gereksinimine uygun olmalıdır. Kompresör istasyonunun tasarımındaki anahtar faktörler gazın debisi, emiş ve çıkış basınçları, gazın ısıl kapasitesi ve kompresörün verimliliğidir. Basınçlandırma teknolojisi mevcut olup, halen birçok endüstriyel alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Taşıma

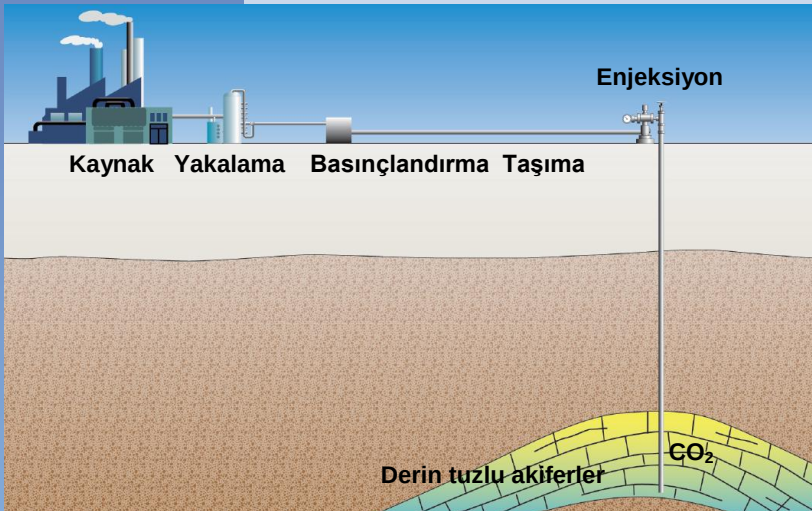
CO₂ gemilerle veya boru hatları ile taşınabilir. CO₂'nin gemi ile taşımacılığı halen oldukça düşük ölçeklerde (10.000 – 15.000 m³)

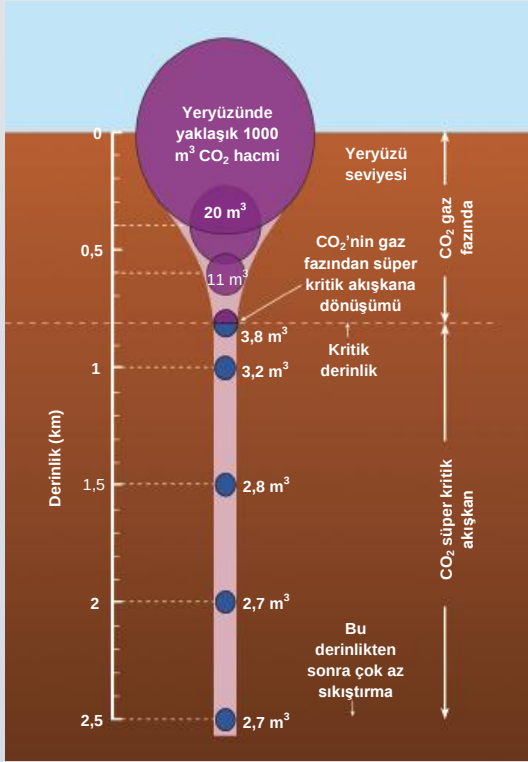
endüstriyel amaçla yapılmaktadır, ancak bu yöntem gelecekte CO₂ kaynağının kıyı yakınlarında ve uygun rezervuarın oldukça uzak olduğu CCS projelerinde çekici bir yöntem olabilir. Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) taşımakta kullanılan araçlar CO₂ taşımacılığı için uygundur. Özellikle, basınçlandırılan ve soğutulan CO₂ sıvı fazda taşınabilir. 200.000 m³ hacmi olan yeni nesil LPG gemileri 230.000 ton CO₂ taşıma kapasitesine sahiptirler. Ancak, gemi ile taşımacılık sürekli akış lojistiğine sahip olmamakta ve limanda CO₂'nin yeniden yüklenmesi için ara depolama tesislerini gerektirmektedir. Boru hatları ile taşımacılık günümüzde petrol şirketlerince geliştirilmiş Petrol Kurtarımı* amaçlı kullanılan büyük miktardaki CO₂'nin taşınmasında kullanılır (çoğunluğu Amerika Birleşik Devletleri'nde olmak üzere tüm dünyada yaklaşık 3000 km uzunluğunda CO₂ boru hattı vardır). Boru hattı taşımacılığı gemi ile taşımacılığa göre daha ekonomik olmakta, ayrıca gazın yakalama noktasından depolama alanına kadar kesintisiz akış avantajını sunmaktadır. Mevcut tüm CO₂ boru hatları yüksek basınç koşullarında, CO₂'nin sıvı yoğunluğuna sahip, ancak gaz gibi davrandığı süper kritik şartlar altında çalışmaktadır. Herhangi bir boru hattının taşıyabileceği miktarı belirleyen üç temel faktör, boru hattının çapı, hat boyunca basınç ve borunun et kalınlığıdır.

Enjeksiyon

CO₂, depolama alanına ulaştığında rezervuara basınç altında enjekte edilmektedir (**Şekil 2**). Enjeksiyon basıncı, rezervuar akışkanını enjeksiyon noktasından uzaklaştırabilmeye yetecek kadar yüksek olmalıdır. Enjeksiyon kuyularının sayısı, depolanacak CO₂ miktarına, enjeksiyon debisine (saatte basılan CO₂ hacmi), rezervuarın geçirgenlik ve kalınlığına, emniyetli en yüksek enjeksiyon basıncına ve kuyu tipine bağlıdır. Temel hedefin CO₂'nin uzun soluklu depolanması olması nedeniyle formasyonun hidrolik bütünlüğünden emin olunmalıdır. Özellikle düşük geçirgenlikli formasyonlarda yüksek enjeksiyon debileri, enjeksiyon noktalarında basınç yükselmesine neden olabilir. Enjeksiyon basıncı, genellikle rezervuarı veya üstündeki örtü kayacı tahrir edebilecek olan kayacın çatlatma basıncını geçmemelidir. Jeomekanik analizler ve modeller, formasyon çatlatma basıncından kaçınılabilecek en yüksek enjeksiyon basıncının tanımlanmasında kullanılmaktadır.

Şekil 1
CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanmasının salınım noktasından emniyetli, uzun süreli depolama noktasına kadar olan adımları. CO₂, bu süreçte yakalama, basınçlandırma, taşıma ve enjeksiyon adımlarının tümünden geçer.





Şekil 2
Yeraltına enjekte edildiğinde, CO₂ yaklaşık 0,8 km derinlikte daha yoğun süper kritik* bir akışkan olmaktadır. CO₂ hacmi, dramatik bir şekilde, yüzey koşullarındaki 1000 m³'ten, 2 km derinlikteki 2,7 m³ hacme düşmektedir. Bu özellik, CO₂'nin yeraltında depolanmasını çekici kılan en önemli faktörlerden birisidir.

Kimyasal süreçler, CO₂'nin formasyona enjeksiyon debisini etkileyebilir. Rezervuar kayaç türü, rezervuar akışkan kompozisyonu ve rezervuar koşullarına (basınç, sıcaklık, hacim, derişim vb. gibi) bağlı olarak, kuyu civarında mineral çözünmesi ve çökmesi süreçleri oluşabilir. Bu durum enjeksiyon debisinde artma veya azalma ile sonuçlanabilir. CO₂ enjekte edilir edilmez, bir kısmı tuzlu rezervuar suyunda çözünür ve pH*, ev sahibi kayacın yapısında bulunan karbonat minerallerinin çözünmesiyle bir miktar azalır. Yüksek reaksiyon hızlarıyla karbonatlar ilk çözünen minerallerdir ve çözünme enjeksiyonun başlamasıyla birlikte başlar. Çözünme süreci, kayacın gözenekliliğini ve enjektivitesini* artırabilir. Öte yandan, çözünmeden sonra, karbonat mineralleri yeniden çökebilir ve kuyu civarında formasyonun geçirgenliğini düşürebilir. Kuyu civarındaki geçirgenlik azalmasını sınırlayabilmek ve çökmenin oluştuğu jeokimyasal denge alanını kuyudan uzaklara taşıyabilmek için yüksek debiler kullanılabilir.

Enjeksiyon etkisiyle oluşan diğer bir olay ise kurumadır. Asitleşme fazı sonrası, enjeksiyon kuyusu civarında kalan formasyon suyu, enjekte edilen kuru gaz içinde çözünür ve sonuç olarak kimyasal bileşenlerin su içindeki derişimlerinde artışa neden olur.

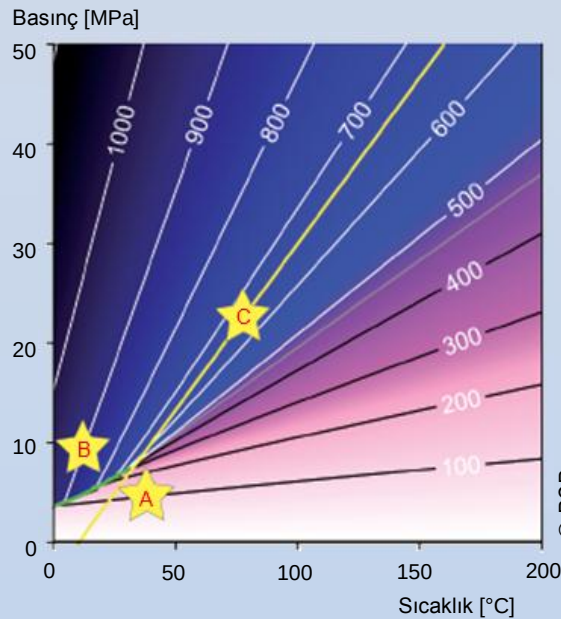
Tuz gibi mineraller tuzlu su* içinde yeterli derişime ulaştıklarında çökebilir ve kuyu civarında geçirgenlik düşmesine neden olur.

Bu enjeksiyon sorunları enjeksiyon kuyusu civarında lokal olarak oluşan birbirleriyle ilintili karmaşık süreçlere bağlı olmakla birlikte, yüksek oranda zamanın ve enjeksiyon kuyusuna olan uzaklığın da fonksiyonudur. Bu tür etkileri değerlendirmek için sayısal modelleme çalışmaları kullanılmaktadır. Arzu edilen miktarda CO₂ enjeksiyonunu sınırlayabilecek süreçlerin üstesinden gelebilmek için enjeksiyon debisi çok dikkatli ele alınmalıdır.

CO₂ akımının bileşimi

Yakalama süreci ile elde edilen CO₂ akımının bileşimi ve saflığı, takip eden CO₂ depolama projesi üzerinde çok etkindir. Su, hidrojen sülfür (H₂S), sülfür ve nitrojen oksitler (SO_x, NO_x), nitrojen (N₂) ve oksijen (O₂) gibi diğer bileşenlerin ortamda düşük oranda (yüzde birkaç) olmaları bile CO₂'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve bunlara bağlı davranış ve etkilerini değiştirmektedir. Dolayısıyla, bu tür bileşenlerin varlığı sıkıştırma, taşıma ve enjeksiyon süreçlerinin tasarımında, ayrıca operasyon koşullarının ayarlanması ve ekipman seçimlerinde dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak, büyük miktarlarda CO₂'nin taşınması ve enjeksiyonu hâlihazırda mümkündür. Ancak, CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanmasının yaygın olarak hayata geçirilmesinde, depolamanın tüm adımları, her bir depolama projesi için özel olarak değerlendirilmelidir. Temel parametreler ise, CO₂ akımının termodinamik özellikleri (Şekil 3), debi, enjeksiyon ve rezervuar koşullarıdır.



Şekil 3
Saf CO₂'nin basınç ve sıcaklığın fonksiyonu olarak yoğunluğu (kg/m³ cinsinden). Sarı çizgi, tipik bir sedimanter baseninin basınç ve sıcaklık gradyanına karşılık gelmektedir. 800 m den derin noktalarda (= 8 MPa) rezervuar koşulları yüksek yoğunluğa neden olur (mavi taralı alan). Yeşil eğri, gaz ve sıvı CO₂ fazlarının sınır eğrisidir. Yakalama, taşıma ve depolama süreçlerinin tipik basınç ve sıcaklık koşulları, sırasıyla A, B ve C noktalarıyla belirtilmiştir.

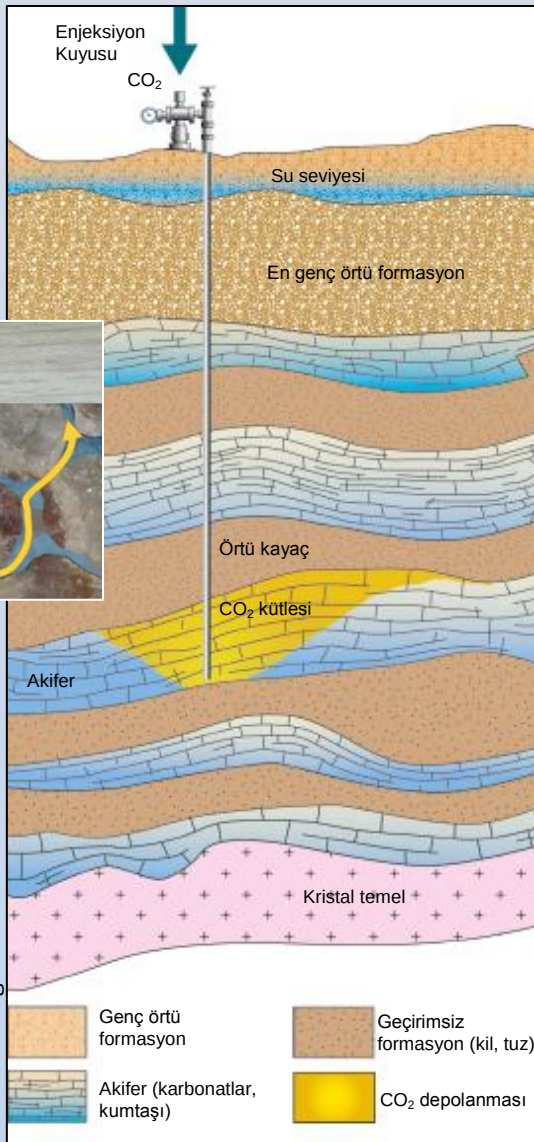
Depolama rezervuarında CO₂'ye ne olur?

Rezervuara enjekte edildikten sonra, CO₂, yükselerek örtü kayaç altındaki gözenek hacmini doldurur. Zamanla, CO₂'nin bir kısmı çözünür ve sonunda minerallere dönüşür. Bu işlemler, farklı sürelerde gerçekleşir ve CO₂'nin rezervuarda kalıcı olarak kapanlanmasına katkıda bulunur.

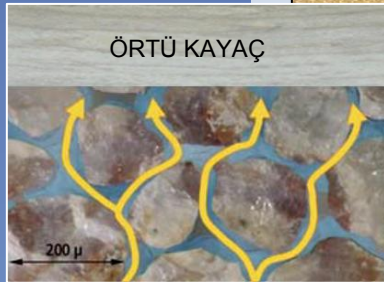
Kapanlanma mekanizmaları

Rezervuara enjekte edildikten sonra CO₂, kayacın gözenek hacmini doldurur, birçok durumda bu gözenekler zaten tuzlu su ile doludur.

CO₂ enjekte edildikçe, aşağıdaki mekanizmalar işlemeye başlar. Bu mekanizmalardan ilki ve en önemlisi CO₂'nin yüzeye çıkmasını önler iken diğer üçü depolamanın zamanla etkinliğini ve emniyetini artırır.



Mikroskopik görünüm:



Şekil 1
Enjekte edilen CO₂, sudan hafif olduğundan yukarıya hareket eder ve üstteki geçirimsiz kayaç tarafından durdurulur.

1. Örtü kayaç altında birikmesi (Yapısal kapanlanma)

Yoğun CO₂ sudan hafif olduğundan, yukarıya doğru yükselmeye başlar. Bu ilerleme CO₂'nin geçirimsiz bir kayaç tabakasına, örtü kayaca, rastlaması ile durur. Örtü kayaç genellikle kil veya tuzdan oluşur, CO₂'nin daha yukarıya gitmesini önleyen bir kapan gibi davranır ve hemen altında birikmesini sağlar. **Şekil 1** CO₂'nin örtü kayaca ulaşmaya kadar kayacın (mavi) gözeneklerinde yukarıya doğru olan hareketini göstermektedir.

2. Küçük gözeneklerde hareketsizleşme (Arta kalan kapanlanma)

Rezervuar kayacındaki gözeneklerin çok dar olması durumunda CO₂, etrafındaki su ile yoğunluk farkına rağmen yukarıya doğru hareket edemez. Bu süreç, CO₂'nin göçü sırasında olur ve rezervuar kayacının özelliklerine bağlı olarak enjekte edilen CO₂'nin az bir yüzdesi hareketsiz kalır.

3. Çözünme (Çözünme ile kapanlanma)

Enjekte edilen CO₂'nin küçük bir kısmı, rezervuarın gözeneklerinde bulunan tuzlu su içerisinde çözünür veya çözeltiye geçer. Bu çözünmenin sonucu olarak, içerisinde çözünmüş CO₂ bulunan su, içerisinde CO₂ olmayan suya göre daha ağır olacağından rezervuarın tabanına doğru hareket eder. Çözünme hızı CO₂ ve tuzlu su arasındaki temasa bağlıdır. Çözünmeyecek CO₂ miktarı, ulaşabileceği en yüksek çözünürlükle sınırlıdır. Buna rağmen, enjekte edilen CO₂'nin yukarıya doğru hareketi ve içerisinde çözünmüş CO₂ bulunan suyun aşağıya hareketi dolayısıyla CO₂ ve tuzlu suyun temas yüzeyinde sürekli bir yenilenme olmakta ve çözünmeyecek miktarı artırmaktadır. Bu işlemler dar olan gözeneklerde olduğu için nispeten yavaştır. Sleipner projesinde yapılan kaba hesaplar, 10 yıl sonra enjekte edilen CO₂'nin %15 kadarının çözündüğünü göstermektedir.

4. Mineralleşme (Mineral kapanlanma)

CO₂, özellikle de rezervardaki tuzlu su ile birlikte, kayacı oluşturan minerallerle reaksiyona girebilir.



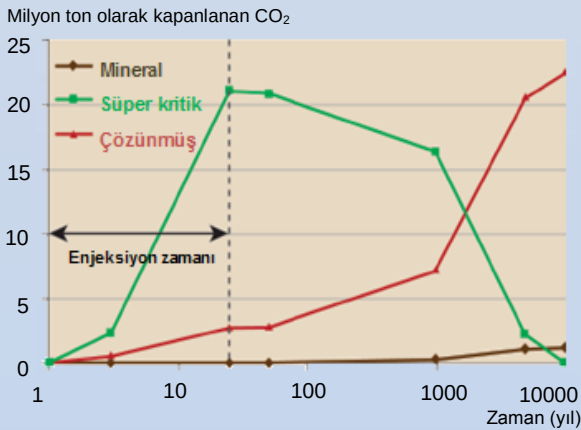
Şekil 2

Yukarıya göç eden yoğun CO₂ (açık mavi kabarcıklar), çözünerek ve kayacın taneleri ile etkileşime girerek, tanelerin çeperlerinde karbonat minerallerinin çökmesine neden olur

Rezervuar kayacını oluşturan minerallere ve pH'a bağlı olarak bazı mineraller çözünebilir, bazıları da çökebilir (**Şekil 2**). Sleipner'daki tahminler, çok uzun bir zaman sonra CO₂'nin mineralleşme ile tutulan miktarının çok az olduğunu göstermiştir. 10.000 yıl sonra, enjekte edilen CO₂'nin %5'i mineralleşmiş olacak, %95'i çözünecek ve CO₂ ayrı yoğun bir faz olarak bulunmayacaktır.

Buradaki kapanlanma mekanizmalarının göreceli olarak önemi rezervuarların özelliklerine bağlıdır. Örneğin çan biçimindeki rezervuarlarda CO₂ uzun yıllar çoğunlukla yoğun faz olarak, Sleipner gibi düz rezervuarlarda ise çözülmüş veya mineralleşmiş olarak kalacaktır.

Sleipner sahası için farklı mekanizmalar ile kapanlanacak CO₂'nin zamanla değişimi **Şekil 3**'de gösterilmiştir.



Şekil 3

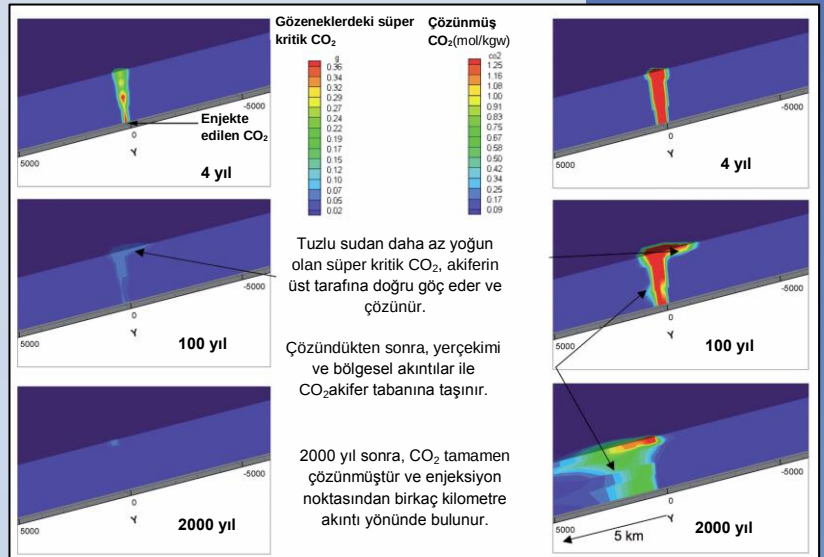
Akış hesaplarına göre, Sleipner rezervuarında CO₂'nin yayılması. CO₂; 1. ve 2. Mekanizmalara göre süper kritik halde, 3. Mekanizma ile çözülmüş halde ve 4. Mekanizmaya göre mineral halde tutulur.

Bütün bunları nasıl biliyoruz?

Bu süreçler ile ilgili bilgiler dört kaynaktan elde edilmektedir:

- **Laboratuvar ölçümleri:** Kayaç numuneleri ile yapılan küçük ölçekli mineralleşme, akış ve çözünme deneyleri kısa-vade ve küçük-ölçek işlemlerine ışık tutar.
- **Sayısal modelleme:** CO₂'nin çok uzun zaman ölçeğinde hareketini öngören bilgisayar yazılımları geliştirilmektedir (**Şekil 4**). Sayısal modelleri kalibre etmek için laboratuvar deneyleri kullanılmaktadır.
- **Doğal CO₂ rezervuarların incelenmesi:** Buralarda CO₂ (genellikle volkanik orijinli) yeraltında çok uzun zaman, milyonlarca yıl tutulmaktadır. Böyle bir zaman ve ortam 'doğal analog*' olarak kabul edilir. Bu sahalar bize CO₂'nin davranışı ve yeraltında çok uzun süre bulunmasının sonuçları hakkında bilgi verir.
- **Mevcut CO₂ yeraltında depolama uygulama projelerinin izlenmesi:** Örneğin, Sleipner (Kuzey Denizi, Norveç), In Salah (Cezayir) ve K12-B (Hollanda, deniz). Kısa vadedeki sonuçlar ile gerçek saha verileri karşılaştırılarak modellerin geliştirilmesi sağlanabilir.

Şekil 4
Fransa'da Dogger akiferinde 4 yıldan fazla sürede 150.000 ton CO₂'nin enjekte edilmesinden sonra akiferde yayılımın 3 boyutlu modellemesi. Burada, süper kritik CO₂ (sol) ve tuzlu suda çözülmüş CO₂'nin (sağ) enjeksiyon başlangıcından 4 yıl 100 yıl ve 2000 yıl sonraki durumları gösterilmiştir. Bu çalışma saha verilerine dayanmaktadır.



Yerin 1000 metre derinliğinde olan prosesler hakkında güvenilir bilgiler edinmek buradaki dört bilgi kaynağının sürekli olarak birbirleri ile karşılaştırılarak kontrol edilmesi ile mümkündür.

Sonuç olarak, CO₂ depolama sahalarının güvenliğinin zaman geçtikçe artma eğiliminde olduğunu biliyoruz. En kritik nokta CO₂'yi tutacak uygun bir örtü kayacın olduğu bir rezervuarın bulunmasıdır (yapısal kapanlanma). Çözünme, mineralleşme ve arta kalan kapanlanma işlemlerinin hepsi CO₂'nin yüzeye göç etmesinin önlenmesine katkıda bulunur.

CO₂ rezervuardan sızabilir mi, sızarsa sonuçları neler olabilir?

Doğal sistemlerdeki çalışmalar esas alındığında, dikkatlice seçilen depolama alanlarından önemli miktarda sızıntının olması beklenmemektedir. Gaz içeren doğal rezervuarlar, gazın kapanlandığı ve serbest kaldığı durumdaki koşulları anlamamıza yardım eder. Bunun yanında, sızıntı olan depolama alanları CO₂ sızıntısının muhtemel etkilerini anlamamızı sağlar.

Sızıntı yolları

Genel olarak, olası sızıntı yolları ya insan yapımı (örneğin derin kuyular) ya da doğaldır (örneğin çatlak sistemleri ve faylar).

Hem aktif hem de terk edilmiş kuyular göç yolları oluşturabilir. Bunun ilk nedeni, yüzey ve rezervuar arasında doğrudan bir bağlantı kurmaları, ikinci nedeni ise, uzun zaman aralığında korozyona uğrayabilen malzemeden yapılmış olmalarıdır (**Şekil 1**). Buna ek olarak tüm kuyuların açılmasında aynı tekniklerin kullanılmaması nedeniyle genellikle yeni kuyular eskilere nazaran daha güvenlidir. Yine de, kuyulardan olabilecek bir sızıntı riskinin düşük olması beklenir çünkü hem yeni hem de eski kuyular hassas jeo-kimyasal ve jeo-fiziksel yöntemler ile çok etkili olarak gözetim altında tutulabilirler. İhtiyaç duyulabilecek herhangi bir düzeltici tedbir için teknoloji hâlihazırda petrol endüstrisinde vardır.

Örtü kayaç veya üst katman* içerisinde bulunması muhtemel doğal faylar ve çatlaklar boyunca akış daha karmaşıktır. Buralarda değişken geçirgenliğe sahip düzensiz, düzlemsel yapılar vardır. Sızıntı yapan veya yapmayan doğal sistemlerin bilimsel ve teknik olarak doğru bir şekilde anlaşılması, doğal olarak bulunan, CO₂ ve metanı binlerce ya da

milyonlarca yıldır hapseden rezervuarlar ile aynı karakterde CO₂ depolama projeleri geliştirmemize olanak tanıyacaktır.

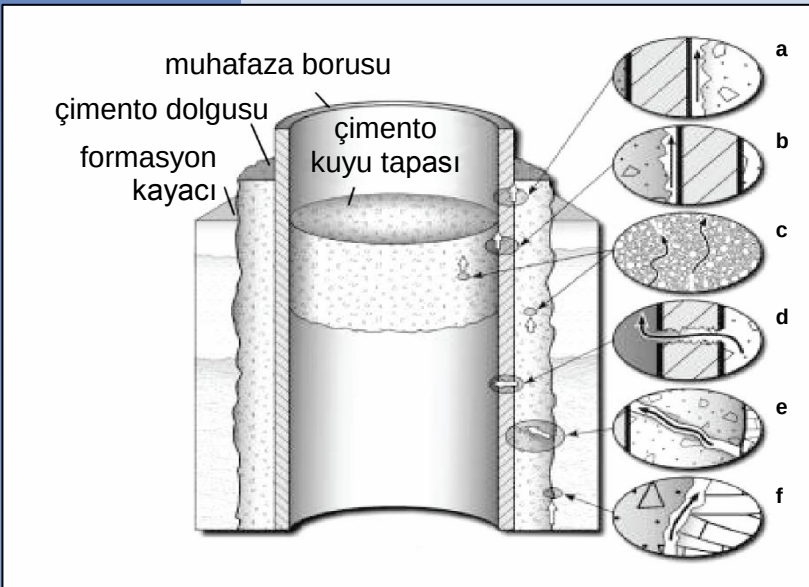
Doğal analoglar: alınan dersler

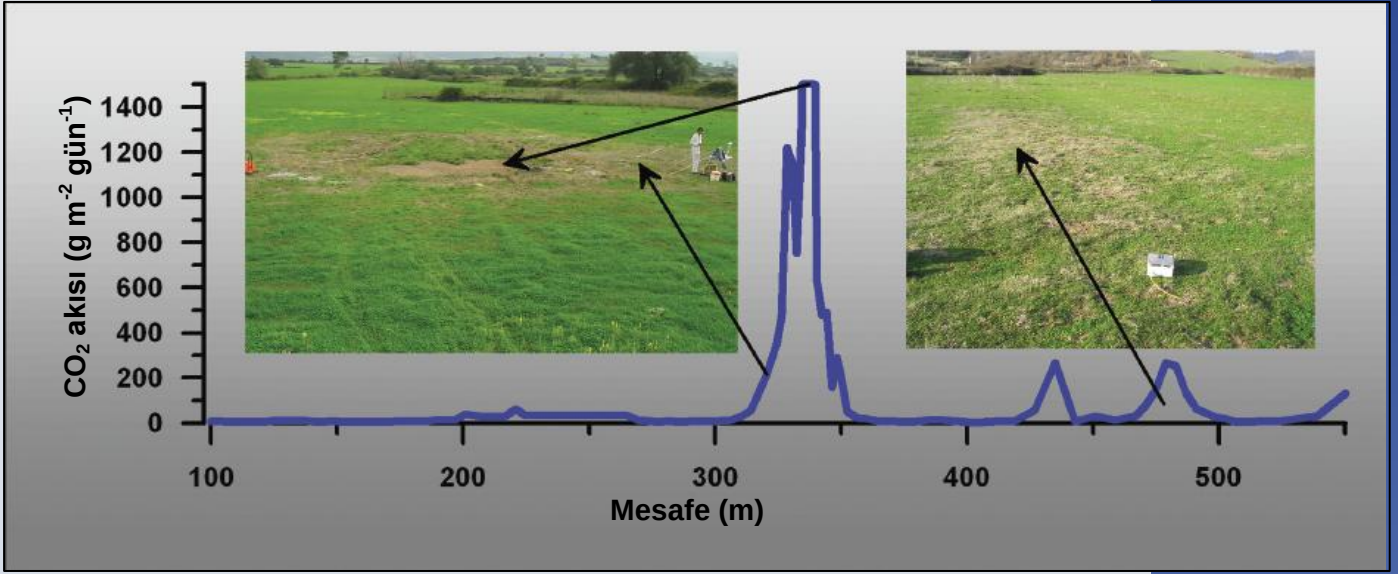
Doğal sistemler ("analoglar" olarak adlandırılır), yeraltı gaz göçleri ve yerkrü ile atmosfer arasındaki gaz alışverişi hakkındaki anlayışımızı geliştirmek açısından çok faydalı bilgi kaynaklarıdır. Sızıntı yapan ve yapmayan doğal gaz rezervuarlarında yapılmış sayısız çalışmalardan elde edilen temel çıkarımlar şunlardır:

- uygun jeolojik şartlar altında, doğal olarak oluşan gaz yüzlerce, binlerce ya da milyonlarca yıl yeraltında tutulabilir;
- izole olmuş gaz rezervuarları veya paketler halinde gaz en elverişsiz jeolojik koşullarda (volkanik bölgeler) bile bulunur;
- önemli miktarda gazın göç etmesi için adveksiyon (yani basınç-ötelemeli akış) gerekir çünkü difüzyon çok yavaş bir işlemdir;
- adveksiyonun oluşması için, rezervuardaki akışkanın basıncının üst katman* basıncına yakın olması gerekir ki, fay ve çatlaklar açık kalsın veya mekanik olarak yeni yollar oluşsun;
- doğal olarak oluşan gazların yer yüzeyine sızdığı alanlar, hemen hemen sadece çok çatlaklı volkanik ve sismik bölgelerde olup, gaz kanalları etkin veya son zamanlarda etkin hale gelmiş faylar boyunca;
- önemli miktarda gaz sızıntıları çok seyrek olur ve CO₂'nin doğal yollarla sürekli olarak oluştuğu çok faylı volkanik ve jeotermal alanlarla sınırlı olmaya eğilimlidir;
- yüzeydeki gaz anomalileri, genellikle yüzeye yakın çevreye alansal etkisi sınırlı olan lokal noktalarda görülür.

Bu nedenle, sızıntı olması için bazı özel şartların bir arada oluşması gereklidir. Sonuç olarak, iyi seçilmiş ve dikkatlice etüt edilmiş bir yeraltı depolama sahasında, CO₂'nin sızıntı yapması çok düşük bir olasılıktır. Sızıntı olma olasılığı düşük bile olsa, birbirleri ile ilişkili işlemlerin ve olası etkilerin tam olarak anlaşılması en güvenli CO₂ yeraltı depolama sahasının seçimi, tasarlanması ve işletilmesi için gereklidir.

Şekil 1
CO₂ için bir kuyudaki olası yollar. Değişen malzeme dolayısıyla (c, d, e) veya ara yüzey boyunca (a, b, f) kaçış.





İnsanlara etkisi

CO₂'yi sürekli soluyoruz. CO₂ insan sağlığı için yalnızca çok yüksek konsantrasyonlarda tehlikelidir; 50.000 ppm'e (%5) kadar olan değerler baş ağrısı, baş dönmesi ve bulantıya neden olur. Bu değerlerin üzerindeki seviyelere çok uzun süre maruz kalınması, özellikle oksijensizlikten boğulmaya neden olabilir çünkü yaşam için havadaki oksijen seviyesinin en az %16 olması gerekir. Ancak, CO₂ açık veya düz bir alana sızarsa, hafif bir rüzgâr olsa bile hızla hava içerisinde dağılır. Bu nedenle, topluma olan olası risk, kapalı ortama veya CO₂'nin havadan yoğun olmasından dolayı topografik çöküntülere sızma olması ile sınırlıdır. Gazdan arındırma alanlarının niteliklerinin bilinmesi risk önlemede ve yönetmede faydalıdır. Gerçekte, birçok insan doğal yolla günlük gaz çıkışlarının olduğu alanlarda yaşamaktadır. Örneğin, İtalya'da bulunan Roma yakınlarındaki Ciampino'da evler gaz çıkışlarının yalnızca 30 metre uzağında bulunurlar, burada CO₂ konsantrasyonu toprakta %90'a ulaşır ve günlük yaklaşık 7 ton CO₂ atmosfere salınır. Yerleşik halk, bodrum katında uyumamak ve evleri iyice havalandırmak gibi basit önlemler ile olası tehlikelerin önüne geçerler.

Çevreye etkisi

Ekosisteme olan olası etkileri depolama sahasının kıydan uzakta veya karada olup olmamasına göre değişir.

Deniz ekosistemlerinde, CO₂ sızıntısının temel sonucu pH değerinin lokal olarak düşmesi ve buna bağlı olarak özellikle deniz tabanında yaşayan ve uzaklaşamayan hayvanlara olan etkileridir. Yine de, sonuçlar dar bir alan ile sınırlıdır ve CO₂'nin azalmasından hemen sonra ekosistem, düzelme belirtileri gösterir.

Karasal ekosistemlerde etkiler genel olarak yandaki şekilde özetlenebilir:

- **Bitki örtüsü** – Her ne kadar topraktaki CO₂ derişimi yaklaşık %20-30 düzeyine kadar bitki verimliliğinin artmasını sağlasa ve bazı türlerin büyüme hızını artırsa da bu eşiğin üzerindeki değerler tüm türler için olmasa bile bazıları için ölümcüldür. Bu etki gaz çıkışının etrafındaki bölge ile büyük oranda sınırlı olup yalnız birkaç metre ötede bitki örtüsü sağlam ve sağlıklı olarak kalır. (**Şekil 2**).
- **Yeraltı suyu kalitesi** – CO₂ eklenince su daha asidik olduğundan su tabakasındaki kayalardan ve minerallerden elementler açığa çıkabilir ve böylece yeraltı sularının kimyasal kompozisyonunda değişiklik olabilir. CO₂, içilebilir su katmanına sızsa dahi, etkileri yerel boyutta kalacaktır. Bu etkilerin boyutu araştırmacılar tarafından belirlenmeye çalışılmaktadır. İlginçtir ki, Avrupa'daki pek çok su tabakası doğal CO₂ açısından zengindir ve bu su fiilen "gazlı mineral su" olarak şişelenerek satılmaktadır.
- **Kayaç bütünlüğü** – Yeraltı sularının asitlenmesi, kaya çözünmesine, yapısal bütünlüğün azalmasına ve çökme çukurlarının oluşmasına neden olur. Ancak, bu tür bir etki yalnızca çok özel jeolojik ve hidro-jeolojik koşullarda (tektonik olarak canlı, yüksek akış hızlı su tabakaları, karbonatça zengin mineraloji) olur ki, insan yapımı bir yeraltı depolama sahasının üzerinde olması çok olası değildir.

Sonuç olarak, varsayılan bir CO₂ sızıntısının etkileri sahaya özgü olduğundan, altta bulunan jeolojik ve yapısal özellikler hakkındaki detaylı bilgi, olası gaz göç yollarının belirlenmesinde, en az CO₂ sızıntısı olma olasılığı olan sahaların seçiminde, gaz davranışının tahmin edilmesinde ve dolayısıyla insanlara ve ekosisteme belirgin bir etkinin değerlendirilmesinde ve önlenmesinde bize yardımcı olur.

Şekil 2
Yüksek (sol) ve düşük (sağ) miktarda CO₂ sızıntısının bitki örtüsüne etkisi. Etki CO₂'nin kaçtığı alan ile sınırlı.

Depolama sahalarını yüzeyde ve yeraltında nasıl izleriz?

Bütün CO₂ depolama sahalarının işletimsel, güvenlik, çevresel, toplumsal ve ekonomik nedenlerden dolayı izlenmesi gerekmektedir. Neyin nasıl izleneceğini tanımlamak için bir strateji belirlenmelidir.

Neden izleme gerekli?

Saha performansının izlenmesi, ana hedef olan CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması yani insan kaynaklı CO₂'nin atmosferden uzun süre izolasyonun sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Depolama sahalarının izlenme nedenleri çok fazladır. Bu nedenler şöyle sıralanabilir:

- **İşletimsel:** enjeksiyon işlemini kontrol ve optimize etmek
- **Güvenlik ve çevresel:** depolama sahasının çevresindeki insanlar, hayvanlar ve ekosistemler üzerindeki etkiyi önlemek veya en aza indirmek ve küresel iklim değişikliğinin azalmasını sağlamak
- **Sosyal:** depolama sahasının güvenliğini anlamak için gerekli bilgileri kamuoyuna sunmak ve kamuoyu güvenini kazanmaya yardımcı olmak
- **Finansal:** CCS teknolojisine piyasa güvenini inşa etmek ve depolanan CO₂ hacimlerini doğrulamak, bu sayede onların Avrupa Birliği Salınım Ticaret Tasarısında "azaltılan salınımlar" olarak değerlendirilmesini sağlamak.

Çevrenin mevcut durumu ve sahanın daha sonraki performansının izlenmesi, 23 Nisan 2009'da CCS'de taslak halinde yayınlanan EC yönergesine göre önemli idari bir gerekliliktir. Operatörlerin, depolama performansının düzenlemelere uygun olduğunu ve uzun vadede böyle devam edeceğini göstermeleri gerekmektedir. İzleme, saha performansındaki belirsizlikleri azaltacak önemli bir bileşen olup, güvenlik yönetim faaliyetleriyle ilişkilendirilmelidir.

İzleme hedefleri nelerdir?

İzleme, sahanın farklı yerlerinde çeşitli hedefler ve işlemlere odaklı olarak yürütülebilir. Örneğin;

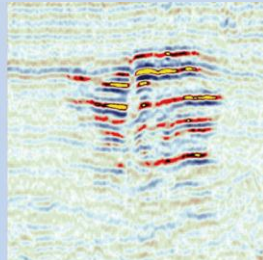
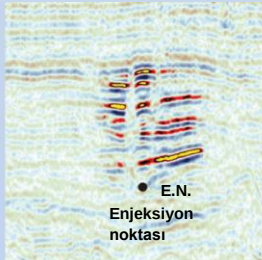
- CO₂ yayılımını görüntüleme – CO₂'yi enjeksiyon noktasından uzaklaşırken izlemek. Bu, gelecekte sahada CO₂ dağılımının tahmin edilebilmesi için anahtar veriler sağlar. Birçok gelişmiş teknik mevcuttur. Bunlardan en önemlisi, çeşitli örnek uygulama ve pilot ölçekli projelerde başarılı bir şekilde uygulanan sismik araştırmalardır. (**Şekil 1**)
- Örtü kayaç bütünlüğü – CO₂'nin depolama rezervuarının içinde izole olup olmadığını değerlendirmek ve CO₂'nin yukarı doğru beklenmedik göçünde erken uyarı olanağı sağlamak. Bu durum, enjeksiyon sırasında rezervuar basıncı belirgin olarak arttığında önemli olabilir.
- Kuyu bütünlüğü – Derin kuyuların, CO₂'nin yüzeye doğrudan göçü için potansiyel bir yol sağlaması önemli bir konudur. CO₂ enjeksiyon kuyularının, gözlem kuyularının veya mevcut terk edilmiş kuyuların enjeksiyon aşamasında ve daha sonrasında CO₂'nin ani kaçışını önlemek için dikkatlice izlenmesi gerekir. İzleme, artık kullanılmayan bütün kuyuların etkili olarak kapatıldığını doğrulamak için de kullanılır. Petrol ve gaz endüstrisinde standart mevcut bir uygulama olan jeofizik ve jeokimyasal izleme sistemleri, erken uyarı ve güvenlik sağlanması için kuyu içinde veya yüzeyde kurulabilir.
- Üst katmanlara göç – Örtü kayaç ile benzer özellikleri olan sığ kaya birimlerine sahip depolama sahalarında üst katman, atmosfere ve denize CO₂ kaçışını önlemede önemli bir bileşen oluşturabilir. Rezervuar ve örtü kayaç etrafı izlendiğinde örtü kayaktan beklenmedik bir göç olduğu gözlemlenirse üst katmanın da izlenmesi gerekli olacaktır. CO₂ yayılımını görüntüleme ve örtü kayaç bütünlüğünü izlemede kullanılan birçok teknik üst katman için de kullanılabilir.
- Yüzey kaçağı, atmosferde tespit ve ölçüm – Enjekte edilen CO₂'nin yüzeye göç etmediğinden emin olmak amacıyla, kaçaqları belirlemek, karada, atmosferde ve denizde CO₂ dağılımını izlemek ve değerlendirmek için bir dizi jeokimyasal, biyokimyasal ve uzaktan algılama teknikleri mevcuttur. (**Şekil 2**)

Şekil 1
Sleipner pilot sahasında enjeksiyon öncesinde (1996'da başladı) ve sonrasında (yaklaşık 3-5 yıl sonra) CO₂ yayılımını* izlemek için sismik görüntüleme.

Enjeksiyon öncesi (1994)

2,35 Mt CO₂ (1999)

4,36 Mt CO₂ (2001)



© StatoilHydro

- Depolanan CO₂ miktarının mevzuat ve finansal amaçlar için belirlenmesi- Enjekte edilen CO₂ miktarı kuyu başında kolayca ölçülmesine rağmen, rezervuarda ölçümü teknik olarak oldukça zordur. Eğer yüzeye yakın bir yerde sızıntı varsa kaçak miktarı finansal amaçlarla ulusal sera gazı envanteri ve gelecekteki Avrupa Birliği Salınım Ticaret Tasarısı planları kapsamında hesaplanmalıdır.
- Yüzey hareketleri ve mikrosismisite*: Bazı özel durumlarda CO₂ enjeksiyonu nedeniyle artan rezervuar basıncı, mikrosismisite potansiyelini ve küçük-ölçekli zemin hareketlerini artırabilir. Mikrosismik izleme teknikleri ve uzaktan algılama metotları (uçaktan ya da uydulardan gözlem) ile yüzeydeki küçük deformasyonlar ölçülebilmektedir.

İzleme nasıl yapılır?

Mevcut uygulama ve araştırma projelerinde çok sayıda izleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler ile doğrudan CO₂ ve dolaylı olarak CO₂ gazının, kayalar, sıvılar ve çevre üzerindeki etkileri izlenmektedir. Doğrudan ölçümler derin kuyulardan alınan sıvıların analizlerini ya da toprak ve havadaki gaz değişim ölçümünü içerir. Dolaylı metotlar ise jeofiziksel gözlemleri, kuyudaki basınç değişimlerinin ve yeraltı sularındaki pH değişimlerinin izlenmesini kapsar.

İzleme, hem açık denizdeki hem de karadaki depolama alanları için gerekli olan bir çalışmadır. Uygun izleme tekniklerinin seçimi, depolama alanının teknik ve jeolojik karakterine, ayrıca izleme amaçlarına bağlıdır. Petrol ve gaz sektöründe de kullanılmakta olan çok çeşitli sayıda izleme tekniği vardır (**Şekil 3**). Bu tekniklerin CO₂ ortamına da uygulanması için çalışmalar, mevcut metotların optimizasyonu ya da yenilikçi tekniklerin geliştirilmesi konusundaki araştırmalar devam etmektedir. Bu çalışmaların amacı, ölçümlerde güvenilirlik ve hassasiyeti artırmak, maliyeti

düşürmek operasyonları otomatikleştirmek ve bu uygulamaların etkinliğini geliştirmektir.

İzleme stratejisi

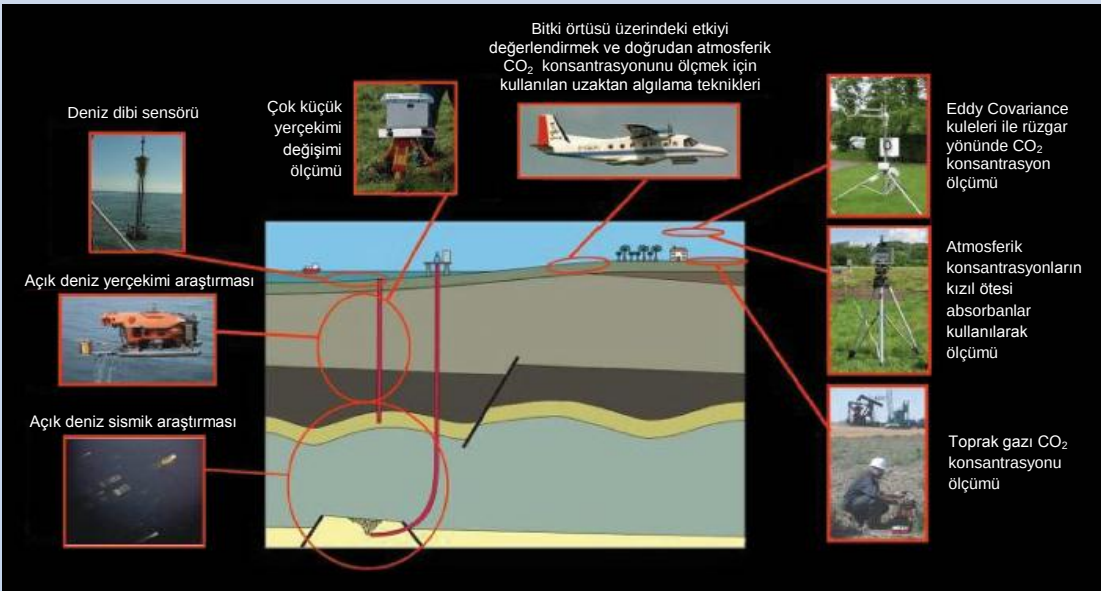
Bir izleme stratejisi tasarlanırken sahaya özel jeolojik ve mühendislik koşullarına (rezervuar geometrisi ve derinliği, CO₂ gazının beklenen yayılımı, potansiyel sızıntı yolları, üst katman jeolojisi, enjeksiyon zamanı ve akış hızı, topoğrafya, üst katman jeolojisi, enjeksiyon zamanı ve debi, topoğrafya, nüfus yoğunluğu, altyapı ve ekosistem gibi yüzey karakteristikleri) bağlı olarak kararlar alınmalıdır. Uygun ölçüm tekniklerinin ve lokasyonlarının seçilmesinden sonra, gelecekte yapılacak bütün ölçümlere referans teşkil etmesi amacıyla enjeksiyon operasyonlarından hemen önce temel araştırma yapılmalıdır. Son olarak, her bir izleme programı esnek bir yapıda ve depolama projesindeki değişikliklere göre kolayca değiştirilebilir olmalıdır. Bahsedilen bütün bu durumları kapsayan, aynı zamanda maliyet verimliliğini artıran bir izleme stratejisi, saha güvenliğinin ve verimliliğinin doğrulanmasında kritik bir rol oynar.

Sonuç olarak, CO₂ depolama alanının izlenmesinin, kullanılan ve gelişmekte olan tekniklerle uygulanabilir olduğunu biliyoruz. Bu konudaki araştırmalar hızla devam etmekte, sadece yeni araçlar (özellikle deniz tabanı kullanımı için) geliştirmekle sınırlı kalmamakta, ayrıca izleme performansının optimizasyonu ve harcamaların azaltılması konularında da çalışılmaktadır.



© CO₂GeoNet

Şekil 2
Enerji temini için güneş panelleri olan, deniz yüzeyi ve deniz dibinden gaz örneği alan izleme cihazı



Şekil 3
CO₂ depolama sistemlerinin izlenmesinde kullanılan farklı teknikler.

Hangi güvenlik kriterleri belirlenmeli ve uygulanmalı?

Depolama güvenliğini ve etkinliğini sağlayabilmek için düzenleyici otoriteler tarafından proje tasarım ve uygulama koşulları belirlenmeli ve bu koşullara operatörler uymalıdır.

CO₂'nin yeraltında depolanması iklim değişikliğinin azaltılmasında etkin seçeneklerden biri olarak kabul görmüş olsa da, endüstri ölçekli operasyonların yaygınlaşmasından önce insan sağlığı ve yerel çevre için güvenlik kriterleri belirlenmelidir. Bu kriterler, düzenleyici otoriteler tarafından yerel sağlık, güvenlik ve çevre (yeraltı su kaynaklarını da kapsayan) üzerindeki etkilerin kısa, orta ve uzun vadede ihmal edilebilir olmasını sağlamak üzere operatörlerden beklenen yükümlülükler olarak tanımlanabilir.

CO₂'nin yeraltında depolanmasının anahtar özelliklerinden biri kalıcı olması gerekliliğidir. Bundan dolayı, depolama alanlarında kaçak olması beklenmemektedir. Ancak, olasılık senaryosuna göre riskler belirlenmeli ve operatörler herhangi bir kaçağın veya uygulama alanlarındaki anormal bir davranışın engellenmesi için gerekli önlemleri almalıdır. IPCC'ye göre, enjekte edilen CO₂'nin yer altında en az 1000 yıl kalması gerekmektedir. Bu sayede atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının okyanus suları ile doğal değişim yoluyla sabitlenmesi veya azalması, böylece iklim değişikliğine neden olan yüzey sıcaklık artışının en aza indirilmesi sağlanacaktır. Ancak, yerel etkiler birkaç günden binlerce yıla uzanan bir zaman aralığı için belirlenmelidir.

Bir CO₂ depolama projesi ömrü boyunca, çeşitli temel aşamalardan geçer (**Şekil 1**). Güvenliğin sağlandığından aşağıdaki unsurlar ile emin olunabilir:

- CO₂ akımının içeriğini değerlendirmek, yakalama işlemi sırasında uzaklaştırmayacak herhangi bir safsızlığa özellikle dikkat etmek. Bu durum, kuyu, rezervuar, örtü kayaç ve olası kaçak anında, yukarıda bulunan bir yeraltı suyu ile herhangi bir olumsuz etkileşimden kaçınmak için önemlidir.

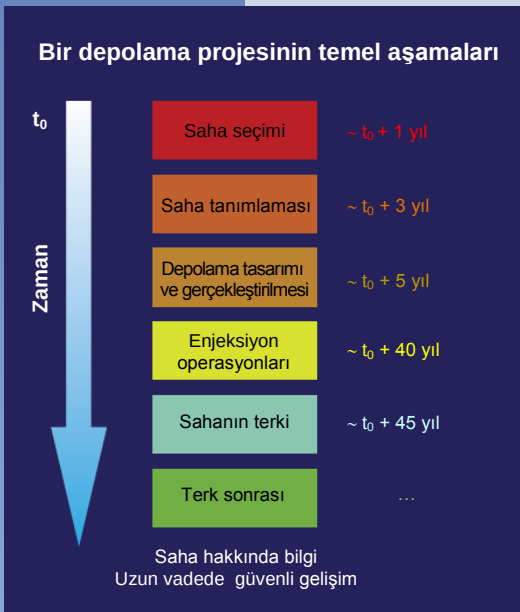
Proje tasarımı için güvenlik kriterleri

Güvenlik kriterleri, operasyon başlamadan önce mutlaka belirlenmelidir. Saha seçimine bağlı olarak incelenmesi gereken temel bileşenler şunları içermektedir:

- rezervuar ve örtü kayaç;
- üst katman basıncı ve özellikle ikincil sızdırmazlık sağlayabilecek geçirimsiz tabakalar;
- yüzeye uzanan çıkış yolu gibi davranabilecek geçirimli fayların veya kuyuların varlığı;
- içme suyu akiferleri;
- nüfus ve yüzeydeki çevresel kısıtlamalar.

Petrol ve gaz keşif teknikleri depolama sahalarının jeolojisinin ve geometrisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. CO₂'nin rezervuardaki akışı, kimyasal ve jeomekanik modellemesi, CO₂'nin davranışının ve uzun vadedeki durumunun öngörülmesine ve etkin enjeksiyon parametrelerinin tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Sonuç olarak, dikkatli saha tanımlaması ile CO₂'nin rezervuarda kaldığından emin olduğumuz depolama sahaları "normal" depolama davranış senaryosu olarak tanımlanmaktadır. Risk değerlendirmesi, beklenmeyen olayların gerçekleşmesi de dâhil olmak üzere daha az akla yatkın senaryoları da dikkate almalıdır. Özellikle, potansiyel sızıntı yollarını ve yüzeydeki etkilerini öngörmek önemlidir (**Şekil 2**). Meydana gelme olasılığının ve potansiyel şiddetin belirlenmesi için her bir kaçak senaryosu uzmanlar tarafından analiz edilmeli ve uygun ise sayısal modelleme yapılmalıdır. Örnek olarak, faylı bir bölge ile herhangi bir bağlantının belirlenmesi için CO₂ yayılımının genişlemesi dikkatlice izlenmelidir. Girdi parametrelerindeki değişimlere olan hassasiyet ve belirsizlikler risk değerlendirmesinde dikkatli bir şekilde araştırılmalıdır.

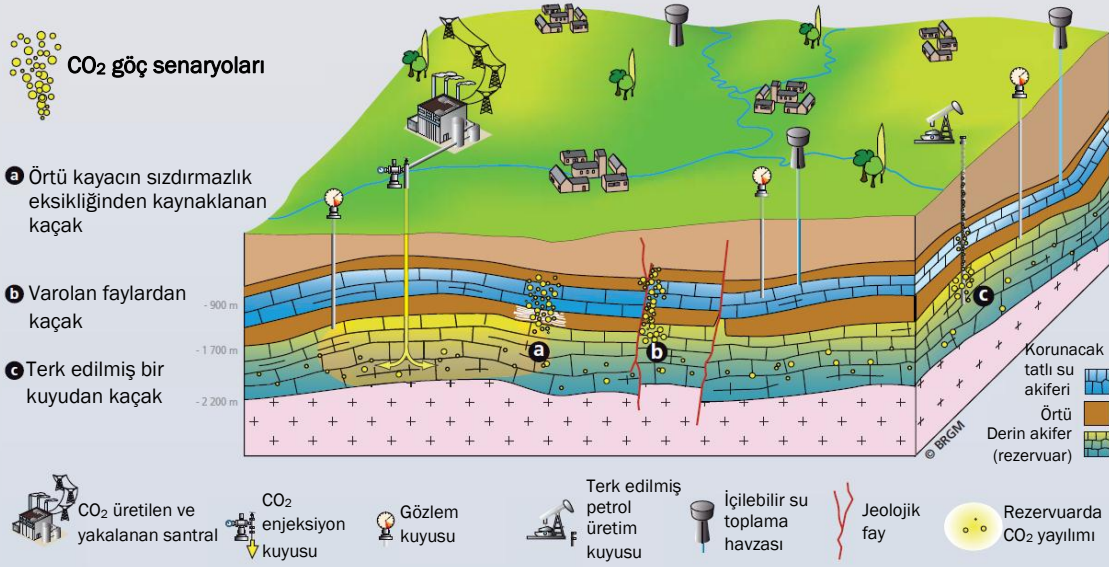
Şekil 1
Depolama projelerinin farklı aşamaları



- dikkatli saha seçimi ve tanımlanması;
- güvenlik araştırması;
- doğru operasyon;
- uygun bir izleme planı;
- uygun bir iyileştirme planı.

Bağılantılı kritik amaçlar:

- CO₂'nin rezervuarda kaldığından emin olmak;
- Kuyu bütünlüğünü sağlamak;
- Rezervuarın fiziksel özelliklerini (gözeneklilik, geçirgenlik, enjektivite dâhil olmak üzere) ve örtü kayacın geçirimsizlik niteliğini korumak;



Şekil 2
Potansiyel kaçak
senaryoları örneği

İzleme programı, kısa vadeden uzun vadeye risk değerlendirme analizine göre yapılmalı ve farklı senaryolarda belirlenen kritik parametreleri kontrol etmelidir. Bunun en önemli hedefleri, CO₂ yayılımını belirlemek, kuyu ve örtü kayaç bütünlüğünü kontrol etmek, herhangi bir CO₂ kaçağını tespit etmek, yeraltı suyu kalitesini değerlendirmek ve CO₂'nin yüzeye ulaşmadığından emin olmaktır. İyileştirme ve etkileri azaltma planı, güvenlik değerlendirmesinin en son bileşeni olup, bir kaçak veya anormal davranış durumunda yapılması gereken düzeltici hareket listelerinin detaylandırılmasını amaçlamaktadır. Bu plan, örtü kayaç bütünlüğü ve kuyu yıkılmalarını, enjeksiyon sırasındaki ve sonrasındaki dönemleri kapsamakta ve depolamadan vazgeçilmesi gibi olağanüstü iyileştirme çözümlerini değerlendirmektedir. Mevcut bilgi birikimi, kuyu tamamlama, enjeksiyon basıncının düşürülmesi, gazın kısmen veya tamamen üretilmesi, basıncın azaltılması için su üretilmesi vb. gibi standart petrol ve gaz tekniklerini içermektedir.

Operasyon sırasındaki ve terk sonrası güvenlik kriterleri

En önemli güvenlik konusu operasyon aşaması ile ilişkilidir. Enjeksiyon bittikten sonra basıncı azaltma sahayı daha emniyetli hale getirmektedir. CO₂'nin güvenli bir şekilde enjekte edilmesi ve depolanmasına olan güven, endüstri şirketlerinin deneyimine bağlıdır. CO₂ çeşitli endüstrilerde oldukça sık kullanılan bir üründür. Bu nedenle CO₂'nin kullanılması yeni problemlere neden olmaz. Operasyonların tasarım ve kontrolü temel olarak petrol ve gaz endüstrisinin bilgi birikimine özellikle de mevsimsel doğal gaz depolama veya geliştirilmiş petrol kurtarımı (EOR) uygulamalarına bağlıdır. Kontrol edilecek temel parametreler:

- enjeksiyon basıncı ve debi- enjeksiyon basıncı çatlatma basıncının altında tutulmalıdır, yani örtü kayacın içinde çatlak oluşturma basıncının altında kalmalıdır;
- enjekte edilen hacim - modellemedeki öngörülerini karşılamalıdır;

- enjekte edilen CO₂ akımının içeriği;
- enjeksiyon kuyularının ve CO₂ yayılımı içerisinde veya yakınında bulunan herhangi bir kuyunun bütünlüğü;
- CO₂ yayılımı ve herhangi bir kaçak tespiti;
- yer hareketliliği;

Enjeksiyon sırasında, CO₂ davranışının sürekli olarak öngörülerle karşılaştırılması gerekecektir. Bu durum, sürekli olarak saha hakkındaki bilgimizi geliştirecektir. Anormal bir davranış tespit edildiğinde, izleme programı güncellenmeli ve gerekiyorsa düzeltici önlemler alınmalıdır. Kaçak şüphesi durumunda, uygun izleme aletleri rezervuardan yüzeye kadar depolama alanındaki belirli bir bölgeye odaklanmalıdır. Bu ölçümler, CO₂ sızıntısını tespit edecek ve bunun yanında içme suyu akiferlerine, çevreye ve bunun sonucu olarak insanlara zararlı olabilecek olumsuz etkilerin belirlenmesini sağlayacaktır.

Enjeksiyon tamamlandığında, terk aşaması başlar; kuyular uygun şekilde kapatılmalı ve terk edilmeli, modelleme ve izleme programı güncellenmeli ve gerekiyorsa riskleri azaltmak için düzeltici önlemler alınmalıdır. Risk seviyesi yeterli derecede düşük olarak değerlendirildiği zaman, depolama sorumluluğu ulusal otoritelere devredilir, bu aşamada izleme planı sonlandırılabilir veya en aza indirilebilir.

Önerilen Avrupa Yönergesi, CO₂ yakalama ve depolamanın uygun bir azaltma seçeneği olduğundan ve bunun güvenli ve sorumlu bir şekilde yapılabileceğinden emin olmak amacıyla yasal bir çerçeve belirlemektedir.

Sonuç olarak, güvenlik kriterleri CO₂ depolamanın başarılı bir şekilde endüstriyel uygulamaları için zorunludur. Kriterler her bir depolama sahası için uyarlanmak zorundadır. Bu kriterler, halkın benimsemesi için özellikle önemlidir. Ayrıca lisans verme sürecinde düzenleyici birimlerin karar vermesi gereken güvenlik gereksinimlerinin ayrıntı düzeyi için esastır.

Terimler Sözlüğü

Akifer: Su içeren geçirimli yeraltı katmanı. En sığ olan akiferler insan tüketimi için kullanılan tatlı suyu içermektedir. Daha derinde olanlar ise, insan ihtiyaçları için uygun olmayan tuzlu su ile doludur. Bu akiferler tuzlu su akiferi olarak adlandırılır.

CCS: CO₂ yakalama ve depolama

CO₂ yayılımı: Süper kritik CO₂'nin kayaç birimleri içerisinde hacimsel dağılımı.

CSLF: Carbon Sequestration Leadership Forum. Karbondioksit ayrıştırma, yakalama, taşıma ve uzun vadede güvenli depolama konularında gelişmiş ve uygun maliyetli teknolojilerin oluşturulmasına odaklanan uluslararası bir iklim değişikliği sivil toplum kuruluşu.

Doğal Analog: Doğal olarak oluşan CO₂ rezervuarı. Sızdıran ve sızdırmayan bölümleri içeren bu rezervuarlar üzerinde yapılan çalışmalar, CO₂'nin derin jeolojik sistemlerde uzun vadedeki akıbeti hakkında fikir verebilir.

Enjektivite: CO₂ gibi akışkanların jeolojik formasyonlara enjeksiyon kolaylığını tanımlamaktadır. Enjeksiyon debisinin kuyu dibi basıncı ve formasyon basıncı arasındaki farka olan oranı olarak tarif edilir.

EU Geocapacity: İnsan kaynaklı CO₂ salınımı için Avrupa'daki toplam jeolojik depolama kapasitesini değerlendiren, tamamlanmış bir Avrupa araştırma projesi.

Geçirgenlik: Gözenekli kayacın akışkanları iletme özelliği ya da kapasitesi.

Geliştirilmiş Petrol Kurtarımı (EOR): Buhar veya CO₂ gibi rezervardaki petrolün harekete geçmesine yardımcı olan akışkanların enjeksiyonu vasıtasıyla petrol üretimini artırma teknikleri.

GESTCO: 8 ülkedeki (Norveç, Danimarka, Birleşik Krallık, Belçika, Hollanda, Almanya, Fransa ve Yunanistan) yeraltında depolama olanaklarını değerlendiren tamamlanmış bir Avrupa araştırma projesi.

Gözeneklilik: Kayacın minerallerle dolu olmayan kısımlarının bütün hacmine oranıdır. Bu boşluklar gözenek olarak adlandırılır ve çeşitli akışkanlar ile doldurulabilir.

Daha fazla bilgi için:

İklim Değişikliği Üzerine Devletlerarası Panel (IPCC) CCS üzerine önemli raporlar:

http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf

Avrupa Komisyonu'nun CCS üzerine iklim hareketi sayfası

Yasal Düzenlemeler ve CCS Yönergesinin

uygulanması hakkında bilgi içermektedir:

http://ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ccs_en.htm

IEAGHG izleme araçları web sayfası:

http://www.co2captureandstorage.info/co2tool_v2.1beta/introduction.html

Genellikle derin kayaçlarda bu akışkan tuzlu sudur,ama petrol veya metan ya da doğal yollardan oluşmuş CO₂ de olabilir.

IEAGHG: International Energy Agency – Greenhouse Gas R&D programme. Sera gazlarının salınımını azaltmak için gerekli teknolojilerin değerlendirilmesini, bu çalışmaların sonuçlarının yaygınlaşmasını, araştırma, geliştirme, uygulama için hedeflerin belirlenmesini ve uygun çalışmaların iletilmesini amaçlayan uluslararası işbirliği. IPCC ve Al Gore 2007 yılında Nobel Barış Ödülü almışlardır.

IPCC: International Panel on Climate Change. Bu organizasyon 1988 yılında WMO (Dünya Meteoroloji Organizasyonu) ve UNEP (Birleşmiş Milletler Çevre Programı) tarafından iklim değişikliği, muhtemel etkileri, uyum ve hafifletme seçenekleri ile ilgili bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgilerin değerlendirilmesi amacıyla kurulmuştur.

Kuyu (Sondaj Kuyusu): Matkapla delinen dairesel kuyular, özellikle petrol kuyusu gibi küçük çaplı derin kuyular.

Örtü Kayaç: Rezervuarın üzerini örttüğü zaman kapan oluşturan, akışkanların ve gazların hareketini engelleyen geçirimsiz kaya tabakaları.

Mikrosismisite: Yerkürenin kabuğunda depremlerle ilgili olmayan çeşitli doğal ve yapay etkenlerden kaynaklanabilen hafif titreme veya sallanma.

pH: Çözeltinin asitlik ölçüsü, pH 7 nötrün karşılığıdır.

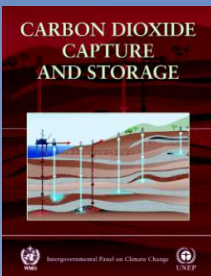
Rezervuar: CO₂ barındırmak ve depolamak için yeterli derecede gözenekli ve geçirgen olan kayaç ya da sediman. Kumtaşı ve kireçtaşı en yaygın rezervuar kayaçlarıdır.

Süper kritik: Akışkanların, kritik değerlerin üzerindeki basınç ve sıcaklıktaki durumları. (CO₂ için, 31.03 °C ve 7.38 MPa) Bu tür akışkanlar düşük basınçta gaz benzeri, yüksek basınçlarda ise sıvı benzeri özellikler gösterir.

Tuzlu su: Yüksek oranda çözünmüş tuz içeren su.

Üst katman: Rezervuar örtü kayaç ve yeryüzü (veya deniz tabanı) arasında bulunan jeolojik tabakalar.

Üst katman basıncı: Üst katmanların aşağıda bulunan kayaç yüzeyine uyguladığı basınçtır. Üst katman basıncı derinlik arttıkça artmaktadır.



CO₂GeoNet nedir?



CO₂GeoNet, yenilikçi ve önemli bir iklim değişikliği azaltma metodu olan, CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması konusunda, insanlara kesin ve kapsamlı bilgi aktaran Avrupa'nın bilimsel topluluğudur. CO₂GeoNet, Avrupa Komisyonu tarafından 6. Taslak Programı (EC FP6 anlaşması 2004-2009) altında Mükemmeliyet Ağı olarak başlatılmıştır. CO₂GeoNet, uluslararası alanda ün yapmış ve CO₂'nin yeraltında depolanması konusundaki araştırmalarda önemli etkileri olan, Avrupa'nın 7 ülkesinden 13 bilimsel kurumu bir araya getirmektedir. CO₂GeoNet, Avrupa Komisyonu'nun desteği bittikten sonra da faaliyetlerine devam etmesi amacıyla, Fransız Kanunu altında kamu yararına çalışan bir dernek olarak 2008 yılında kayıtlara geçmiştir.

CO₂GeoNet, rezervuar, örtü kayaç, CO₂'nin yüzeye ulaşması için olası sızıntı yolları, izleme araçları, sızması durumunda insanlara ve bölgesel ekosisteme muhtemel etkileri, halka ulaşılması ve haberleşmenin sağlanması gibi araştırma konularında yaygın deneyime sahiptir. CO₂GeoNet dört temel alanda çeşitli hizmetler önermektedir: 1) ortak araştırma; 2) eğitim ve yetenek geliştirme; 3) bilimsel danışmanlık; 4) bilgi akışı ve iletişim.

CO₂GeoNet, zaman içinde güç kazanarak, CO₂'nin yeraltında güvenli ve yaygın olarak depolanması konusunda ihtiyaç duyulan bilimsel desteği sağlayabilecek, Avrupa'nın kalıcı bilimsel kaynak kurumu ve otoritesi olmuştur. Bu topluluğun Pan-Avrupa'ya hitap etmesi için büyütülmesi planı, CGS Europe projesi aracılığıyla uygulamaya konulmuştur. CGS Europe projesi EC FP7 (2010-2013) tarafından finanse edilen bir koordinasyon çalışmasıdır. CGS Europe, CO₂GeoNet Derneği'nin çekirdek yapısı ile diğer 21 araştırma kurumunu bir araya getirmektedir. Böylece, CGS Europe 28 Avrupa ülkesini (24 Üye Devlet ve 4 Ortak Ülke) kapsamaktadır. Sonuç olarak, birçok bilim dalının bütünleşmesi ile CO₂'nin yeraltında depolanması konusunun tüm yönleriyle ilgilenebilecek birkaç yüz bilim adamından oluşan bir havuz mevcuttur. Bizim amacımız, ilgili taraflara ve halka CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması konusunda bağımsız ve bilimsel olarak kesin bilgi sağlamaktır.



CO₂GeoNet: CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması konusunda Avrupa Mükemmeliyet Ağı

BGR (Almanya); **BGS** (Birleşik Krallık); **BRGM** (Fransa); **GEUS** (Danimarka); **HWU** (Birleşik Krallık); **IFPEN** (Fransa);



IMPERIAL (Birleşik Krallık); **NIVA** (Norveç); **OGS** (İtalya); **IRIS** (Norveç); **SPR** Sintef (Norveç); **TNO** (Hollanda); **URS** (İtalya)

CGS Europe: CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması konusunda Pan-Avrupa Koordinasyon ve Faaliyet birimi

CO₂GeoNet (13 üye yukarıda listelenmiştir); **CzGS** (Çek Cumhuriyeti); **GBA** (Avusturya);



GEOECOMAR (Romanya); **GEO- INZ** (Slovenya); **G-IGME** (Yunanistan); **GSI** (İrlanda); **GTC** (Litvanya); **GTK** (Finlandiya); **LEGMC** (Letonya); **ELGI** (Macaristan); **LNEG** (Portekiz); **METU-PAL** (Türkiye); **PGI-NRI** (Polonya); **RBINS-GSB** (Belçika); **SGU** (İsveç); **SGUDS** (Slovakya); **S-IGME** (İspanya); **SU** (Bulgaristan); **TTUGI** (Estonya); **UB** (Sırbistan); **UNIZG-RGNF** (Hırvatistan)

CO₂GeoNet Avrupa'da ve uluslararası alanda yaygın kabul kazanmıştır

CO₂GeoNet Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) tarafından onaylanmıştır.



CO₂GeoNet Uluslararası Enerji Ajansı'nın Sera Gazları Programı (IEAGHG) ile yakın iş birliği içerisinde bulunmaktadır.



Broşürün Geri Planı

CO₂GeoNet iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için CO₂'nin yeraltında depolanmasının geçerli bir seçenek olması konusunda halkı bilinçlendirmek amacıyla "CO₂'nin yer altı katmanlarında depolanması gerçekte ne anlama geliyor?" sorusuyla ilgilenmektedir. CO₂GeoNet'in seçkin bilim adamlarından oluşan kurulu, on yılı aşkın süredir Avrupa'da yapılan araştırmalara ve dünya çapında uygulanan projelerdeki deneyimlerine dayanarak altı önemli soruya son gelişmeleri yansıtan cevaplar hazırlamıştır. Bu çalışmanın amacı geniş kitlelere açık ve tarafsız bilimsel bilgilerin aktarılması ve CO₂'nin yeraltında depolanmasının teknik yönleriyle ilgili karşılıklı bilgi alışverişinin teşvik edilmesidir. Bu broşürde özetlenen çalışma 3 Kasım 2007 tarihinde Paris'te düzenlenen, Eğitim ve Diyalog çalıştayında sunulmuştur.

"CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması gerçekte ne anlama geliyor?" Bu broşürün farklı dillerdeki çevirileri www.co2geonet.com/brochure sitesinden indirilebilir.

CO₂GeoNet yeraltı katmanlarında CO₂ depolanması üzerine Avrupa Mükemmeliyet Ağı



www.co2geonet.eu
Sekreteryä: info@co2geonet.com

BGS Natural Environment Research Council-British Geological Survey, **BGR** Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, **BRGM** Bureau de Recherches Géologiques et Minières, **GEUS** Geological Survey of Denmark and Greenland, **HWU** Heriot-Watt University, **IFPEN** IFP Energies nouvelles, **IMPERIAL** Imperial College of Science, Technology and Medicine, **NIVA** Norwegian Institute for Water Research, **OGS** Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, **IRIS** International Research Institute of Stavanger, **SPR SINTEF** Petroleumsforskning AS, **TNO** Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, **URS** Università di Roma La Sapienza-CERI



Türkçe sürümün çevirisi FP7 Projesi “CGS Europe – CO₂'nin yeraltı katmanlarında depolanması konusunda Pan-Avrupa Koordinasyon ve Faaliyet birimi” çerçevesinde Orta Doğu Teknik Üniversitesi Petrol Araştırma Merkezi tarafından yapılmıştır.

