

Karbondioksit (CO₂) Depolama: Yenilenebilir Enerji İçin Karbonun Jeolojik Depolanması

CARBONDIOXIDE (CO₂) STORAGE: GEOLOGICAL SEQUESTRATION FOR RENEWABLE ENERGY

Ahmet Alptekin YILMAZ¹, Mehmet Rifat KAHYAOGU²,
Altuğ Saygılı³, Yeliz Yükselen Aksoy⁴

ÖZET

Bu bildiri, karbon yakalama ve depolama (KYKD) teknolojisinin geoteknik analizlerine odaklanarak, CO₂'nin jeolojik formasyonlarda güvenli ve kalıcı bir şekilde depolanmasını incelemektedir. Çalışmanın amacı, CO₂'nin geoteknik açıdan analiz edilmesi, enjeksiyon ve depolama tekniklerinin detaylandırılması, depolama alanlarının izleme ve doğrulama yöntemlerinin değerlendirilmesi ve risk yönetimi ile mühendislik uygulamalarının araştırılmasıdır. Türkiye odaklı olarak gerçekleştirilen bu çalışma, KYKD'nin uygulanabilirliğini değerlendirmeyi ve potansiyel araştırma ve geliştirme alanlarını belirlemeyi hedeflemektedir.

Bildiri, CO₂'nin jeolojik formasyonlar içinde nasıl güvenli bir şekilde depolanabileceğini ve bu depolamanın uzun vadede nasıl izlenip doğrulanabileceğini ele almaktadır. Depolama kapasitesi, enjeksiyon süreçleri ve potansiyel riskler üzerinde durulmuştur. KYKD teknolojisinin mühendislik uygulamaları detaylı bir şekilde incelenmiş, Türkiye'deki uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Bulgular, KYKD teknolojisinin geoteknik yönlerine dair kapsamlı bilgiler sunmakta ve Türkiye'deki uygulamalar için önemli bir referans niteliği taşımaktadır. Elde edilen sonuçlar, gelecekteki araştırmalar ve projeler için yol gösterici olup, bu alandaki bilgi ve anlayışın derinleştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Karbon Yakalama ve Depolama (KYKD), CO₂ jeolojik depolama, geoteknik analiz, sismik analiz, depolama kapasitesi, CO₂ enjeksiyonu.

¹ Ahmet Alptekin YILMAZ, MSc., GE, SCS Engineers, alptekinyilmaz1@gmail.com

² Doç.Dr. Mehmet Rifat Kahyaoglu, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, rkahyaoglu@mu.edu.tr

³ Doç.Dr. Altuğ Saygılı, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, saygili@mu.edu.tr

⁴ Prof.Dr. Yeliz Yükselen Aksoy, Dokuz Eylül Üniversitesi, yeliz.yukselen@deu.edu.tr



ABSTRACT

This paper focuses on the geotechnical analyses of carbon capture and storage (CCS) technology, examining the safe and permanent sequestration of CO₂ in geological formations. The objective is to analyze CO₂ from a geotechnical perspective, detail injection and storage techniques, evaluate monitoring and verification methods for storage sites, and investigate risk management and engineering applications. Conducted with a focus on Türkiye, this paper aims to assess the feasibility of CCS and identify potential areas for research and development.

The paper addresses how CO₂ can be securely stored within geological formations and how this storage can be monitored and verified over the long term. Emphasis is placed on storage capacity, injection processes, and potential risks, with an additional focus on the suitability of geological formations in Türkiye for CCS technology. The engineering and regulatory frameworks for CCS are examined in detail to discuss the feasibility and challenges of implementing CCS in Türkiye.

The findings provide comprehensive information on the geotechnical aspects of CCS technology and aim to serve as a significant reference for applications in Türkiye. The results are intended to guide future research and projects, thereby deepening our understanding and knowledge in this field.

Keywords: Carbon Capture and Storage (CCS), CO₂ geological storage, geotechnical analysis, seismic analysis, storage capacity, CO₂ injection.



1. GİRİŞ

Karbon yakalama ve depolama (KYKD) teknolojisi, yenilenebilir enerji sistemlerinin karbon emisyonlarını azaltma ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu teknoloji, karbon dioksit (CO₂) emisyonlarını kaynağında yakalayıp, güvenli bir şekilde taşınmasını ve jeolojik formasyonlarda uzun vadeli depolanmasını sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasıyla birlikte, mevcut fosil yakıt kaynaklı enerji üretim tesislerinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılması ihtiyacı kritik bir önem kazanmaktadır.

Bu bildiri, KYKD teknolojisinin geoteknik analizlerine odaklanarak, CO₂'nin jeolojik formasyonlarda güvenli ve kalıcı bir şekilde depolanmasını ele almaktadır. Çalışmanın amacı, CO₂'nin geoteknik açıdan analiz edilmesi, enjeksiyon ve depolama tekniklerinin detaylandırılması, depolama alanlarının izleme ve doğrulama yöntemlerinin değerlendirilmesi ve risk yönetimi ile mühendislik uygulamalarının araştırılmasıdır. Bu bağlamda, KYKD'nin uygulanabilirliğini değerlendirmeyi ve potansiyel araştırma ve geliştirme alanlarını belirlemeyi amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Karbon yakalama ve depolama (KYKD) teknolojisi, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan karbon dioksit (CO₂) emisyonlarını azaltma çabalarının önemli bir parçası olarak öne çıkmaktadır. KYKD'nin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi, geoteknik mühendisliğinin çeşitli alanlarındaki bilgi ve yöntemlerin etkin bir şekilde kullanılmasıyla mümkündür. Bu bölümde, KYKD teknolojisinin geoteknik mühendislik perspektifinden literatürde nasıl ele alındığı özetlenmiştir.

2.1 CO₂ Yakalama ve Geoteknik Mühendisliği

CO₂'nin kaynağında yakalanması, KYKD sürecinin ilk adımıdır ve bu süreçte kullanılan yöntemler, depolama alanlarının seçimi ve bu alanların geoteknik özelliklerinin belirlenmesi açısından büyük önem taşır. Literatürde, CO₂ yakalama teknolojileri genellikle post-kombustiyon, pre-kombustiyon ve oksijen yakma yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu yakalama yöntemleri, CO₂'nin daha sonra güvenli bir şekilde depolanabileceği jeolojik formasyonlara enjekte edilmesi için uygun koşulları sağlamalıdır. Geoteknik mühendisliği, bu süreçte yakalanan CO₂'nin depolanacağı yer altı formasyonlarının fiziksel özelliklerini, stabilitesini ve kapasitesini değerlendirme görevini üstlenir.

2.2 CO₂ Depolama Alanlarının Geoteknik Analizi

KYKD'nin en kritik aşamalarından biri, CO₂'nin güvenli bir şekilde depolanmasıdır. Geoteknik mühendisliği, bu aşamada depolama alanlarının seçiminde, depolama kapasitelerinin belirlenmesinde ve uzun vadeli stabilitelerinin sağlanmasında hayati bir rol oynar. Literatürde, CO₂'nin depolanabileceği jeolojik formasyonlar arasında tükenmiş petrol ve gaz sahaları, derin tuzlu akiferler ve kömür yatakları öne çıkmaktadır. Bu



formasyonların sızdırmazlık özellikleri, gözeneklilik ve geçirgenlik gibi Geoteknik parametreler, depolama alanlarının etkinliği ve güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Geoteknik analizler, bu parametrelerin detaylı bir şekilde incelenmesi ve depolama için en uygun alanların belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

2.3 CO2 Enjeksiyonu ve Depolama Süreçleri

CO2'nin yer altı formasyonlarına enjekte edilmesi ve burada uzun vadeli olarak depolanması, geoteknik mühendisliğinin odaklandığı temel konulardan biridir. Enjeksiyon süreçlerinde, CO2'nin depolanacağı formasyonların basınç koşulları, sızdırmazlık özellikleri ve mekanik davranışları incelenir. Literatürde, CO2 enjeksiyonunun formasyonlar üzerindeki etkileri, bu formasyonların uzun vadeli stabilitelerini nasıl etkilediği ve olası riskler kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Geoteknik mühendisliği, bu süreçlerin güvenli ve etkili bir şekilde yönetilmesi için gerekli olan analiz ve modellemeleri sağlar.

3. Metodoloji (Methodology)

Bu çalışmanın metodolojisi, Türkiye'deki karbon yakalama ve depolama (KYKD) potansiyelini değerlendirmek amacıyla, Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleştirilen kapsamlı projelerden elde edilen deneyim ve yöntemleri temel alarak geliştirilmiştir. Özellikle, ABD'deki çeşitli KYKD projelerinde uygulanan depolama tahmin yöntemleri, saha karakterizasyon teknikleri ve Geoteknik modelleme süreçleri Türkiye'deki potansiyel alanların değerlendirilmesi için kullanılacaktır.

3.1 Araştırma ve Saha Verilerinin Toplanması

Bu çalışmada, araştırmanın ilk aşaması olarak ABD'deki kapsamlı karbon yakalama ve depolama (KYKD) projelerinden elde edilen saha verileri ve teknik parametreler toplanacaktır. Toplanan veriler, gözeneklilik, geçirgenlik, sızdırmazlık gibi geoteknik parametreler ve CO2 enjeksiyonu sırasında oluşan diğer kritik faktörleri içermektedir. Bu veriler, Türkiye'deki Batı Raman petrol sahası ve diğer potansiyel karbon depolama alanları için gelecek potansiyel çalışmaları yürütmek amacıyla bir referans olarak kullanılacaktır. ABD'deki projelerden elde edilen bu saha verileri ve deneyimler, Türkiye'deki mevcut ve potansiyel karbon depolama alanlarına uyarlanarak, bu alanların KYKD projeleri için uygunluğunu değerlendirmeye yönelik kapsamlı bir analiz yapılacaktır.

3.2 Geoteknik Modelleme ve Analiz

Toplanan saha verileri, ABD'de gerçekleştirilen kapsamlı KYKD projelerinden elde edilen yöntemler ve deneyimler kullanılarak analiz edilecektir. Geoteknik modelleme çalışmaları, CO2 enjeksiyonunun yer altı formasyonlarına etkilerini, basınç koşullarını ve uzun vadeli stabiliteleri değerlendirmek için kullanılacaktır. Bu süreç, Türkiye'deki depolama alanlarının güvenliğini ve etkinliğini belirlemeye yönelik detaylı bir değerlendirme sunacaktır.



3.3 Karşılaştırmalı Analiz

Batı Raman petrol sahasında yürütülen çalışmalar, ABD'deki KYKD projelerinde kullanılan saha karakterizasyonu ve depolama tahmin metodolojileriyle karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırmalı analiz, Türkiye'deki projelerde hangi uluslararası en iyi uygulamaların uyarlanabileceğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, ABD projelerinden elde edilen deneyimlerin, Karadeniz ve Akdeniz'deki potansiyel karbon depolama alanlarına nasıl uygulanabileceği de değerlendirilecektir.

4. Karbon Yakalama ve Geoteknik Mühendisliği

Karbon yakalama ve depolama (KYKD) projelerinde, enjeksiyon operasyonları, Geoteknik mühendislik ve saha yönetimi kritik öneme sahiptir. Bu süreçler, CO₂'nin yer altı formasyonlarına güvenli bir şekilde enjekte edilmesi için gerekli zemin araştırmalarını yapar, enjeksiyon bölgelerini belirler, zemin davranışını modeller ve oluşabilecek yerleşimler, çatlaklar gibi jeoteknik riskleri değerlendirir. Bu sayede, formasyonların stabilitesi korunur ve çevresel etkiler minimize edilir. Bu bölümde, Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleştirilen projelerden elde edilen deneyimler ve geoteknik mühendislik süreçleri incelenecek, bu bilgilerin Türkiye'deki potansiyel projelere nasıl uygulanabileceği ele alınacaktır.

4.1 Enjeksiyon Operasyonları ve Teknikleri

CO₂'nin yer altı formasyonlarına güvenli bir şekilde enjekte edilmesi, kuyuların doğru tasarımı ve operasyonlarının dikkatli bir şekilde yönetilmesini gerektirir. ABD'deki projelerde kullanılan çeşitli teknikler, bu süreçlerin verimliliğini ve güvenliğini artırmak amacıyla geliştirilmiştir:

- Enjeksiyon Kuyusu Tasarımı: Enjeksiyon kuyuları, rezervuarın özelliklerine göre tasarlanır ve inşa edilir. Kuyuların tasarımında, CO₂'nin ve sıvıların istenmeyen hareketini önlemek için uygun malzemeler ve teknikler kullanılır.
- Enjeksiyon Basıncı ve Hızı: CO₂'nin yer altına enjekte edilmesi sırasında enjeksiyon basıncı ve hızının optimize edilmesi büyük önem taşır. Yüksek basınçlar formasyonların stabilitesini tehlikeye atabilir.

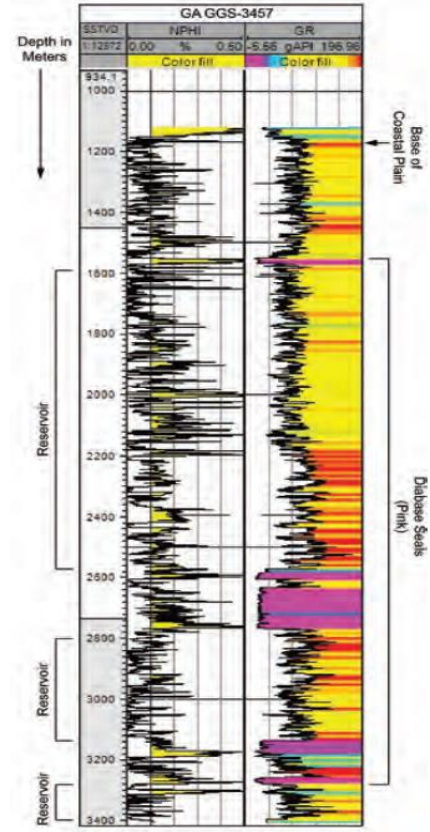


4.2 Enjeksiyon Öncesi Testler ve Modelleme

Enjeksiyon operasyonlarından önce, sahaların uygunluğunu değerlendirmek ve enjeksiyonun potansiyel etkilerini modellemek için çeşitli testler ve modelleme teknikleri uygulanır:

- Rezervuar Testleri ve Geoteknik Modelleme: Rezervuar testleri, formasyonun gözeneklilik, geçirgenlik ve sızdırmazlık gibi özelliklerini değerlendirmek için yapılır. Bu testler, formasyonların CO₂'yi depolama kapasitesini ve güvenliğini belirler.
- Mekanik Bütünlük Testleri: Enjeksiyon kuyularının ve çevresel formasyonların bütünlüğü, enjeksiyon öncesinde ve sırasında test edilir.

CO₂ depolama kaynaklarını tahmin etmek için kullanılan farklı yöntemleri kullanılmaktadır. Petrol ve doğal gaz rezervuarları için üretim ve hacimsel yöntemler, tuzlu formasyonlar için ise hacimsel yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde, rezervuarın geometrik özellikleri (alan, kalınlık), gözeneklilik, su doygunluğu gibi parametreler ve CO₂ depolama verimliliği faktörü gibi empirik parametreler kullanılmaktadır.



Şekil 1. Georgia GGS-3457 Enjeksiyon Kuyu Logu. Bu şekil, gözeneklilik (sol) ve doğal gama (sağ) içeren jeoloji kaydını göstermektedir. Sarı ile vurgulanan bölgelerin gözeneklilik değerleri yüzde 10'dan büyüktür.

Petrol ve Doğal Gaz Rezervuarları için Hacimsel Yöntem:

$$G_{CO_2} = A \cdot h_n \cdot f_e \cdot (1 - S_w) \cdot B \cdot p \cdot E_{oil/gas} \quad (1)$$

Bir petrol veya doğal gaz rezervuarında ne kadar CO₂ depolayabileceğimizi hesaplamak için kullanılır. Rezervuarın büyüklüğü, gözenekliliği, su içeriği gibi faktörleri dikkate alır.

Tuzlu Formasyonlar için Hacimsel Yöntem:

$$G_{CO_2} = A_t \cdot h_g \cdot f_{tot} \cdot p \cdot E_{saline} \quad (2)$$

Tuzlu kayalarda ne kadar CO₂ depolayabileceğimizi hesaplamak için kullanılır. Tuzlu kayalar, CO₂'yi depolamak için uygun bir ortam olabilir.

Kömür Yatakları Formasyonlar için Hacimsel Yöntem:

$$G_{CO_2} = A_t \cdot h_g \cdot C_{ss,max} \cdot E_{coal} \quad (3)$$

Kömürün CO₂ adsorpsiyon kapasitesini kullanarak depolama potansiyelini hesaplar.

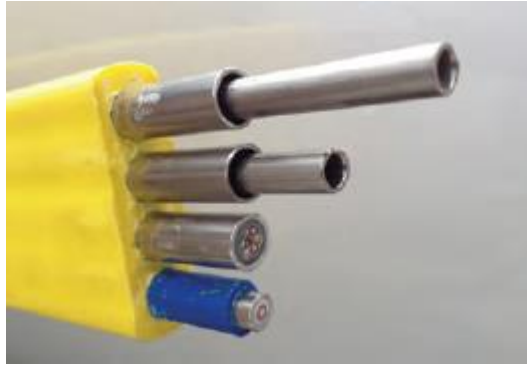


- Mikrosismik izleme: Enjeksiyon sırasında küçük ölçekli sismik olaylar meydana gelebilir. Bu mikrosismik olaylar, yer altındaki jeolojik değişiklikleri tespit etmek ve depolama alanının güvenliğini sağlamak için izlenir.
- Yeraltı Suyu izlemesi: CO2 enjeksiyonu sırasında yeraltı sularının korunması için düzenli izleme yapılır. Bu izleme, su kaynaklarının CO2 ile kontamine olmadığını garanti eder.

4.4 Enjeksiyon Sonrası Alan Bakımı ve Kapanış

CO2 enjeksiyonu tamamlandıktan sonra, sahaların uzun vadeli güvenliği ve çevresel etkilerini izlemek için çeşitli bakım ve kapanış süreçleri yürütülür:

- Enjeksiyon Kuyusu Tıkanması: Enjeksiyon kuyuları, planlanan kapanış sürecine uygun olarak güvenli bir şekilde kapatılmalıdır. Bu süreçte, kuyu tıkanması ve sahadaki diğer yapısal unsurların güvenliği için geoteknik değerlendirmeler yapılır. Bu süreçte, Modüler Kuyu İzleme (MBM) gibi gelişmiş izleme sistemleri kullanılarak, enjeksiyon kuyusunun ve çevresindeki alanın uzun vadeli davranışı sürekli olarak takip edilir. Bu sayede, potansiyel riskler erken teşhis edilerek gerekli önlemler alınabilir.



Şekil 4. Modüler Kuyu İzleme (MBM) Cihazı

- Saha Kapanışı ve Uzun Vadeli İzleme: Enjeksiyon sonrası sahaların uzun vadeli izlenmesi, CO2'nin güvenli bir şekilde yer altında kalmasını sağlamak amacıyla düzenli olarak yapılır.

5. Türkiye'deki Uygulamalar ve Potansiyel

Türkiye, karbon yakalama ve depolama (KYKD) teknolojisinin uygulanabilirliği açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkenin jeolojik yapısı, özellikle Batı Raman petrol sahası ve Karadeniz ile Akdeniz'deki doğal gaz rezervleri, KYKD projeleri için uygun alanlar sunmaktadır. Türkiye'nin bu alanlardaki potansiyelini değerlendirmek ve mevcut uygulamaları genişletmek için ABD'deki KYKD projelerinden elde edilen deneyimlerden yararlanmak stratejik bir yaklaşım olacaktır.



5.1 Batı Raman Petrol Sahası Projesi

Batı Raman petrol sahası, Türkiye'deki en önemli karbon depolama projelerinden biridir. Bu saha, CO₂ enjeksiyonu yoluyla hem petrol üretimini artırmak hem de karbon depolamak için aktif olarak kullanılmaktadır. Sahanın jeolojik yapısı, CO₂ depolama için ideal koşulları sağlamaktadır. Gözeneklilik, geçirgenlik ve sızdırmazlık gibi geoteknik parametreler, CO₂'nin güvenli bir şekilde depolanmasına olanak tanır. ABD projelerinden elde edilen yöntemler, Batı Raman sahasında uygulanan tekniklerin etkinliğini artırmak için kullanılabilir.

5.2 Karadeniz ve Akdeniz'deki Potansiyel Alanlar

Karadeniz ve Akdeniz'deki yeni keşfedilen doğal gaz rezervleri, Türkiye'nin KYKD stratejisi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle Karadeniz'deki tükenmiş doğal gaz rezervlerinin ve potansiyel tuzlu akiferlerin karbon depolama için değerlendirilmesi, Türkiye'nin iklim hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilir. Bu alanlarda ABD'deki projelerde kullanılan saha karakterizasyonu, enjeksiyon öncesi testler, izleme ve modelleme teknikleri uygulanarak, depolama potansiyeli en üst düzeye çıkarılabilir.

6. Geleceğe Yönelik Yol Haritası

KYKD teknolojisinin Türkiye'de başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için stratejik adımlar atılması gerekmektedir. Bu yol haritası, Türkiye'nin karbon emisyonlarını azaltma ve iklim hedeflerine ulaşma yolunda KYKD teknolojilerini nasıl entegre edebileceğini göstermektedir.

6.1 Araştırma ve Geliştirme

Türkiye'nin KYKD alanında ileri düzeyde bilgi ve teknolojiye sahip olabilmesi için araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerinin desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Batı Raman petrol sahası gibi mevcut projelerin yanı sıra, Karadeniz ve Akdeniz'deki potansiyel alanlarda saha çalışmaları, sondaj verileri ve geoteknik modellemeler yapılmalıdır. ABD'deki projelerde kullanılan Ar-Ge yöntemleri, Türkiye'de de benzer şekilde uygulanarak bu alanda ilerleme kaydedilebilir.

6.2 Düzenleyici Çerçevenin Geliştirilmesi

KYKD teknolojisinin Türkiye'de yaygınlaştırılabilmesi için uygun bir yasal ve düzenleyici çerçeve oluşturulmalıdır. Bu çerçeve, depolama alanlarının güvenliğini, çevresel etkilerini ve uzun vadeli izleme süreçlerini kapsayacak şekilde geliştirilmelidir. Ayrıca, kamu-özel sektör işbirlikleri ve uluslararası fonlardan yararlanmak, projelerin finansmanını sağlamak ve yaygınlaştırmak açısından kritik öneme sahiptir.



7. Tartışma ve Sonuç

Karbon yakalama ve depolama (KYKD) teknolojisi, Türkiye'nin sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmasında ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç olabilir. Ancak, bu teknolojinin sunduğu fırsatlar yalnızca karbon emisyonlarının azaltılmasıyla sınırlı değildir. CO₂'nin yakalanması ve depolanmasının yanı sıra, sanayi ve inşaat sektörlerinde geri dönüştürülmesi de ekonomik değer yaratabilir. Örneğin, CO₂'nin petrol üretimini artırmak için kullanılması veya inşaat malzemeleri ve diğer sanayi ürünlerinde hammadde olarak değerlendirilmesi, bu teknolojiyi daha da değerli hale getirir.

Bu hedeflere ulaşmak için, geoteknik mühendislerinin rolü kritik bir öneme sahiptir. Geoteknik mühendisleri, KYKD projelerinin her aşamasında—depolama sahalarının seçiminden enjeksiyon operasyonlarına, izleme ve modelleme süreçlerinden saha kapanışı ve uzun vadeli izlemeye kadar—temel sorumluluklar üstlenir. Özellikle Karadeniz ve Akdeniz'deki yeni keşfedilen doğal gaz rezervleri ve potansiyel tuzlu akiferler, karbon depolama için büyük bir potansiyel taşır. Geoteknik mühendislerinin bu sahaların uygunluğunu değerlendirmesi ve güvenli, verimli depolama sistemleri tasarlaması hayati önem taşır.

Karadeniz ve Akdeniz'deki rezervler ve tuzlu akiferler karbon depolama alanları olarak değerlendirildiğinde, bu karbonun geri dönüşüm potansiyeli de önem kazanır. CO₂'nin inşaat malzemeleri, beton katkıları ve diğer sanayi ürünlerinde hammadde olarak kullanılması, Türkiye'nin inşaat ve sanayi sektörlerinde sürdürülebilir ve yenilikçi çözümler geliştirmesine olanak tanır.

Sonuç olarak, Türkiye, KYKD teknolojisini uygulama ve karbonun ekonomik geri dönüşümleri için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyeli hayata geçirmek için stratejik adımlar atılması, düzenleyici çerçevelerin geliştirilmesi ve eğitim programlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Geoteknik mühendisleri bu süreçte, sadece güvenli depolama alanları oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda karbonun sanayi ve inşaat sektörlerinde yenilikçi kullanımını teşvik eden çözümler geliştirmede de önemli bir rol oynayacaktır. ABD projelerinden elde edilen deneyimler, Türkiye'nin bu alandaki stratejilerini şekillendirmede önemli katkılar sağlayabilir ve ülkenin karbon emisyonlarını azaltma ve ekonomik kazanç elde etme hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilir.



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında değerli katkıları ve destekleri için öncelikle Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi'nden Doç. Dr. Mehmet Rifat Kahyaoğlu ve Doç. Dr. Altuğ Saygılı'ya, ayrıca Dokuz Eylül Üniversitesi'nden Prof. Dr. Yeliz Yükselen Aksoy'a içtenlikle teşekkür ederim. Bilgi ve deneyimlerini paylaşarak, araştırmamın her aşamasında rehberlik eden hocalarım, çalışmamın şekillenmesinde önemli bir rol oynamışlardır.

Ayrıca, çalışmam sırasında SCS Engineers şirketindeki görev arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunmak isterim. Candy Elliott, PG, Environmental Justice konusunda ulusal uzman olarak sunduğu değerli öneriler ve yol gösterici katkılarıyla bu çalışmaya büyük destek sağlamıştır. Aynı zamanda, geolog ve proje direktörü olarak Mr. Gary Vancil Jr., Amerika'daki projeler hakkında sağladığı bilgi ve rehberlik ile çalışmanın gelişimine önemli katkılar sunmuştur. Bu destekler, araştırmamın başarısı için kritik öneme sahip olmuştur.

Ahmet Alptekin YILMAZ

KAYNAKLAR

- IPCC (2005), "Karbondiyoksit Yakalama ve Depolama Özel Raporu," Cambridge University Press, 431 sayfa.
- Bachu, S., Bonijoly, D., Bradshaw, J., Burruss, R., Holloway, S., Christensen, N.P., & Mathiassen, O.M. (2007), "CO₂ Depolama Kapasitesi Tahmini: Metodoloji ve Eksiklikler," Uluslararası Sera Gazı Kontrol Dergisi, Cilt 1, Sayı 4, 430-443.
- NETL (2015), "Karbon Depolama Atlası," 5. Baskı, Ulusal Enerji Teknoloji Laboratuvarı (NETL).
- Zoback, M.D., & Gorelick, S.M. (2012), "Deprem Tetikleme ve Büyük Ölçekli Jeolojik Karbon Depolama," Ulusal Bilimler Akademisi Bildirileri, Cilt 109, Sayı 26, 10164-10168.
- DOE/NETL (2011), "Karbondiyoksit Geliştirilmiş Petrol Üretimi (CO₂-EOR)," ABD Enerji Bakanlığı.
- Chadwick, A., Arts, R., & Eiken, O. (2009), "Enjekte Edilen Bir CO₂ Kütlesinin 4D Sismik Görüntülemesi: Sleipner ve Snøhvit Projelerinden Örnekler," Enerji Prosedia, Cilt 1, Sayı 1, 2103-2110.
- Stevens, S.H., Pearce, J.M., & Rigg, A.A. (2001), "CO₂'nin Derin, Çıkarılamaz Kömür Yataklarında Jeolojik Olarak Hapsedilmesi: Entegre Bir Araştırma ve Ticari Ölçekli Saha Gösterimi Projesi," SPE/EPA/DOE Arama ve Üretim Çevre Konferansı.



SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama
G_{CO_2}	Depolanabilecek toplam CO2 kütlesi (ton)
A	Rezervuar alanı (km ²)
h_n	Net kalınlık (metre)
f_e	Etkin gözeneklilik (boyutsuz)
S_w	Su doygunluğu (boyutsuz)
B	Formasyon hacim faktörü (m ³ /m ³)
ρ	CO2 yoğunluğu (ton/m ³)
$E_{oil/gas}$	Petrol&Gaz rezervuarı CO2 depolama verimlilik faktörü
A_t	Toplam alan (km ²)
h_g	Brüt formasyon kalınlığı (metre)
f_{tot}	Toplam gözeneklilik (boyutsuz)
ρ	CO2 yoğunluğu (ton/m ³)
E_{saline}	Tuzlu formasyon için CO2 depolama verimlilik faktörü
$C_{ss,max}$	Kömürün maksimum CO2 adsorpsiyon kapasitesi
E_{coal}	Kömürün gözenek hacminin depolama faktörü

