



KÜRESEL ISINMAYA KARŞI SOMUT ÖNLEMLER

KARBONDİOKSİTİ HAPSETMENİN YOLLARI

IKLİM DEĞİŞİMİ endişeleri, bizi çok yakınlarda CO₂ yayımını ciddi biçimde sınırlamaya zorlayacak gibi görünüyor. Bu zorlama karşısında daha ucuz, temiz ve verimli teknolojiler devreye girene kadar, CO₂'yi yakalayıp hapsedmek yoluyla, fosil yakıtları çevre açısından daha uygun hale getirmek gerekebilir.

Günümüzde fosil yakıt kaynakları, 5 trilyon tonun üzerinde karbon içeriyor. Dünyadaki tüketimin yılda 6 milyar ton olduğu düşünülürse, geçiş için yeterince süre olduğu ortaya çıkıyor. Hedef, sağlıklı ekonomik büyümeye sekte vurmadan atmosferdeki CO₂ derişimini kararlı halde tutmak. Ancak bu, 2050 yılına gelindiğinde bugünün toplam enerji tüketiminin üzerinde "karbonsuz enerji" gerektirebilir. Dünyadaki CO₂ salımını yılda 2 milyar tona indirmekle, 10 milyar olacağı tahmin edilen dünya nüfusu için kişi başına düşen salım payının, ABD'de şu anda geçerli oranın % 3'üne düşeceği hesaplanmış.

Bu hedefi gerçekleştirmenin yolu yalıtım ve hapsedmekten geçiyorsa, üretilen tüm CO₂'nin hapsedilebilmesi için, sistemin trilyonlarca watt ölçeğinde çalışması, üstelik emniyetli, çevre açısından sakıncasız ve kararlı olması gerekli. Küçük miktarlarda depolama için gereken depolama süresi en azda tutulabilecekken, depolar doldukça, sızıntı salımdan kaynaklanacak ek sürelerle bağlı olarak depolama süresi, tüm karbon stoğu için binlerce yılı bulabilir. Karbon salımını azaltmanın temel yolu hapsedme olacaktır, 21. yüzyılda depolanan toplam karbon, olasılıkla 600 milyar tonu aşacak. Yılda yalnızca 2 milyar ton sızıntıysa, gelecek nesilleri karbon kısıtlaması ya da 'yeniden yakalama' programlarına zorlayacağı için, başlangıç depolama süreleri bile yüzyıllarla ölçülmek zorunda.

Depolama süresi ve kapasitesi gibi sınırlamalar, birçok hapsedme yöntemini (biyokütlede hapis ve CO₂ kullanımını gibi) 21. yüzyıl karbon bütçesi

açısından verimsiz ya da geçersiz kılıyor. Okyanusların karbonik asit emme kapasiteleri bile, fosil karbon kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, sınırlı. Dahası, okyanus karbon döngüsünün yüzyıllar alması, depolanma süresini de görece kısa hale getiriyor. Hapsedme işleminin okyanuslar gibi, çevresel etkinliklerin çok olduğu karbon havuzlarında yapılması da pek elverişli görünmüyor. Çünkü, bir sorunun elenmesiyle başka bir sorunun ortaya çıkması tehlikesi söz konusu.

Yeraltına enjeksiyon, hapsedmenin belki de en kolay yolu; en azından geniş ölçekli yalıtım için kanıtlanmış bir teknoloji. Yeraltındaki bir petrol rezervine CO₂ pompalanarak petrol ya da gazın yüzeye çıkarılması, işlemin maliyetini kısmen de olsa düşürecek ekonomik kazançlar sağlayabilir. Halen yılda yaklaşık 20 milyon ton CO₂'nin bu şekilde işlem gördüğü Texas'ta, ton başına 15-20 dolar harcıyor. Ancak bu işlemin hapsedmek olduğunu söyle-

mek zor; çünkü işlemde kullanılan CO₂'nin çoğu, yeraltı kuyularından elde ediliyor. Yani, daha önce doğal olarak hapsedilmiş karbon önce "tahlile ediliyor", sonra yeniden hapse gönderiliyor.

Petrol ve gaz rezervleri, sınırlı kapasiteye sahip. Bunlar dolduktan sonra, sırada tuz rezervleri var. Doğalgazdan ayrıştırılmış CO₂'yi hapsedmek için Kuzey Denizi rezervlerinden yararlanan Norveç firması Statoil, uygulayıcılardan bir örnek. Tuz rezervleri, halen büyük kapasiteye sahip. Ancak depolama ömrü, deprem riski ve yüzer durumdaki CO₂'nin yer değiştirme olasılığındaki belirsizlikler, bu tür alanlarla ilgili değerlendirme ve çalışmaların uzun dönemi hesaba katması gereğini doğuruyor.

CO₂ salımını azaltmanın daha pahalı, ancak daha güvenli ve kalıcı bir yöntemi, karbonik asidi nötrleştirerek karbonat ve bikarbonat oluşturmak. Nötrleştirmeye dayalı hapsedme, ısı açığa çıkaran ve termodinamik açıdan yeglenen doğal aşınma süreçlerini hızlandırarak, doğada daha sık olarak bulunan kararlı ürünlerle sonuçlanır. Fosil kaynaklardan daha büyük olan mineral tabakaları, çoğunlukla magnezyum ve kalsiyum olmak üzere, sınırsız miktarda baz iyonu sağlar.

Olası Yöntemler

CO₂'yi nötrleştirmenin en ekonomik yolu, onu alkalın mineral katmanına enjekte etmek gibi görünüyor. CO₂, bu şekilde gözeneklerdeki suda yavaş yavaş çözünecek ve asit özellikte olduğu için de mineral bazı kayadan süzerek, karbonat ya da bikarbo-



CO₂'nin orman toprağına hapsedilmesinin mineral yıpranma tepkimelerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, toprak yüzeyinden 2 metre derinliğe kadar toplanan su örnekleri analiz ediliyor.

nat oluşturacak. Bu da, uzun dönemde sızıntıyla ilgili kaygıların sonu demek. Karbonik asidi karbonatla nötrleştirmek, sulu bikarbonat çözeltileri oluşturur. Bunlar yeraltına enjekte edilmediği sürece, okyanusa ulaşma olasılıkları büyük. Okyanusların aldığı bikarbonat miktarıysa, karbonik asit miktarından çok daha fazla.

Ancak daha iyi bir yöntem de olabilir: suda çözünen bikarbonatlar oluşturmak yerine çözünmeyen karbonat oluşturmak. Çünkü, bunlar mineral ta-

banında depolanacak, çevresel faktörler de böylelikle ancak belirli bir bölgede etki gösterebilecek. Bu amaca yönelik olarak, magnezyum silikatlarca zengin serpentin ya da olivin kayalar kazılır, ezilir ve öğütülerek CO₂'yle tepkimeye sokulabilir. Bu işlemler için tahmini harcama, CO₂'nin tonu başına 10 dolar civarında ki, bu oldukça uygun bir tutar.

Karbonlaştırmayı hızlandıracak yöntemlere yine de gereksinim var. Şimdilik var olan en iyi yaklaşım (peridotit ve serpentinin sulu bir tepkimeyle karbonlaştırılması) fazla pahalı. Ancak, yoğun enerji harcanımı gerektiren ısıyla işlem aşaması süreçten dışlanabilirse, yöntem daha ekonomik ve uygulanabilir duruma gelebilir. Mineral hapsedme işleminin yer yüzeyinde gerçekleştirilmesi, ortaya çıkabilecek tüm CO₂'nin bağlanmasını ve çevresel etkilerin görece dar bölgelerle sınırlı kalmasını sağlayabilir.

Hapsedme yöntemlerinin çoğu, yoğunlaşmış CO₂'yle uygulanabilirlik kazanır. Bu CO₂'yi hapsedecek en uygun yerlerse elektrik ve hidrojen gibi temiz, karbonsuz enerji taşıyıcıları

Beklentilerin aksine okyanusların atmosferdeki CO₂'yi kısa sürelerle hapis tutabileceği ortaya çıktı.





Atmosferde artan CO₂ derişimine ağaçların tepkisini ölçen bir düzenek

reten büyük santraller. Ancak mevcut santrallerde bu hedefe yönelik değişiklikler yapmanın oldukça pahalıya malolacağı, yeni santrallerin CO₂ yakalamaya uygun tasarlanmalarının daha verimli olacağı düşünülüyor. CO₂'yi tümüyle hapsedme hedefi, öteki tüm atık salımlarını da ortadan kaldıran yepyeni santrallerin tasarımlarına kapı açıyor. Bugün, oksijen püskürtmeli gazlaştırma yöntemi, bu hedefe yaklaşır görünüyor. Daha da ileri tasarımlar, CO₂ hapsinin verimden götürdüğü payı da rahatlıkla karşılayabilir.

Sözgelimi, kömürün gazlaştırma ürünlerini, buharla birlikte sıvılaştırılmış bir kireç yatağına göndermek, oksijenin sudan karbona geçmesine neden olur. CO₂'nin kireçten yakalanması, hidrojen üretimini tetikleyerek gerekli miktarda ısı açığa çıkmasıyla sonuçlanır. Hidrojence zengin çıktının yarısı kömürü gazlaştırmada kullanılırken, diğer yarısı da yüksek sıcaklık

ta katı oksit yakıt hücresinde oksitlendirilebilir. Yoğun su içeren yakıt gazı atığı, döngüyü yinelemek üzere kireç yatağına döner. Bu durumda tesisi terkedecek olanlar, fazla su, kül ve temizleme aşamalarında yakalanan çeşitli atıklardan ibaret. Kireç, tümüyle karbonatlı kireçtaşı durumuna geldikten sonra, CO₂ yoğunlaşmış bir gaz akışı biçiminde yeniden üretilirken, kireçtaşı da yakıt hücresindeki atık suyla yeniden kirece dönüşür. Isı, gerektiği gibi kullanılabilirse, g santralinin verimi, sonuçta % 70'e çıkabilir. (Bu oran, geleneksel, kömür yakan güç santralleri için % 30 - 35, gaz kullananları içinse % 50 dolaylarında.)

CO₂, yakıttan üç kat ağır olduğu için araba ya da uçaklarda depolanamaz. Bu araçlardan çıkan CO₂, bu nedenle atmosfere salınıp yeniden yakalanmak zorunda. Halen CO₂ yakalamanın en pratik yntemiyse fotosentez. Kimyasal tutucular (güçlü alkali

Çözeltiler ya da aktif karbondan tabanlar) zerindeki havadan da CO₂ yakalamak mümkün görünüyor; ancak henüz denenmiş değil. Etkili bir CO₂ taşıyıcısı da rüzgar. Normal yakalama donanımının % 1'i boyutlarındaki yeldeğirmenleri, diğerleriyle aynı oranda CO₂ hapsederek işlemi oldukça ucuza maledebilir. Gereken tutucu madde döngüsü için yapılacak ek harcamaysa, göze alınabilir miktarlarda olsa gerek.

Atmosfer oldukça hızlı karıştığı için, herhangi bir bölgeden CO₂ çekilmesi, ne kadar uzak olursa olsun başka bir bölgedeki salımın etkisini sıfırlayabilir. G retiminde CO₂ hapsisrelerinin birbirinden ayrılmasıyla, havadan yakalama işlemi, mevcut fosil temelli enerji altyapısından da, ömrü yettiğince yararlanmayı olanaklı kılar. Böylelikle uzak bölgelerde atık alanları açılarak, atmosferdeki CO₂ derişiminin düşmesi bile sağlanabilir.

CO₂'yi hapsedme işlemlerinin maliyeti, şimdilik belirsiz. Ancak, CO₂'nin tonu başına 30 dolar (petrol varili başına 13 dolar maliyete karşılık geliyor), uzun dönem için, abartılı bir tutar gibi görünmüyor. Petrol gibi yan ürünlerle artacak talep, depolama maliyetini düşük tutacak. Bu aşamada en büyük harcama kalemini, mevcut santral donanımlarının, CO₂ hapsine uygun hale getirilmesi oluşturacak. Ancak zamanla, yeni santral tasarımlarıyla CO₂ hapsi için gereken harcama azalırken, ucuz alanların dolmaya başlaması, sürekli ve güvenliğin gerektirdiği ek önlemler, depolama harcamalarını artırabilir. Sözgelimi, kara araçları ve uçaklarda CO₂ kullanımını sağlayacak bazı değişiklikler, nakil ve yeni alan açma sorunlarını ortadan kaldırıp, CO₂'yi havadan yakalamanın yüksek maliyetini telafi edebilir.

Günümüzde CO₂ salımının acil olarak düşürülme gerekliliği, nükleer enerji, rüzgar ya da güneş enerjisinin hızlı bir geçişten çok, mevcut yalıtma ve hapsedme teknolojileriyle daha ucuza karşılanabilir. Tekniklerin daha da geliştirilmesiyle yüzyılımız için bol ve düşük maliyetli enerji sağlamakla kalmayıp, daha iyi seçeneklerin olgunlaşması için yeterli süreyi de tanyacak.

Lackner, K. S. "A Guide to CO2 Sequestration" Science, 13 Haziran 2003

Çeviri: Banu B. Tüysüzoğlu

