

“Doğrudan Hava Yakalama Teknolojisi”

Dr. Tuncay Baydemir [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Küresel iklim değişikliği
hızlı bir şekilde etkisini artırmaya devam ediyor.
Peki, bu hıza karşılık vermeye
yetecek önlemler alınabiliyor mu?
Önümüzdeki otuz yıllık sürecin bunu
net bir şekilde ortaya koyması bekleniyor.



Atmosferdeki Karbondioksiti Azaltmanın Önemli Bir Yolu

Küresel İklim Değişikliği İle Zorlu Bir Mücadele

Küresel ortalama sıcaklıklar 2020 yılı itibarıyla 1 °C'ı aştı. 2015 yılında imzalanan Paris İklim Anlaşması ile pek çok ülke küresel ortalama sıcaklık artışını sanayileşme öncesi dönemdeki seviyelere göre 2 °C'ın altında tutmayı ve nihai hedef olarak da 1,5 °C'lık sıcaklık artışını yakalamak için gerekli girişimleri yapmayı taahhüt etmiş bulunuyor. Paris İklim Anlaşması'nda uzun dönemli sıcaklık hedefleri olarak da bilinen bu taahhütler iki önemli kontrol noktasını işaret ediyor. Bu noktalardan ilki 2030 yılında küresel karbondioksit (CO₂) emisyonlarının 2020 yılına göre yarı yarıya azaltılmasını, ikincisi ise 2050 yılındaki net karbondioksit emisyonlarının sıfır olmasını hedefliyor.

Böylesine büyük hedefleri gerçekleştirmek için tüm sektörlerde gerekli girişim ve düzenlemelerin yapılması gerekiyor. Önemli oranlarda emisyonlara

sahip bazı teknolojilerin aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması, bunların yerine yeni ve çevre dostu teknolojilerin entegre edilmesi gibi köklü değişimlerin hedeflenen emisyon değerlerine ulaşmayı kolaylaştırması bekleniyor. Sıcaklık hedeflerine ulaşma yolunda tüm yapılan ve yapılması planlanan çalışmaların yanı sıra karbondioksit yakalama ve kullanma teknolojilerinin de bu çabalarda önemli bir paya sahip olacağı düşünülüyor.

İklim hedeflerine ulaşmak için karbonsuzlaşma girişimleri ile azaltılması planlanan emisyonların yanı sıra 2050 yılına kadar her yıl 10 milyar metrik ton, 2050 yılından sonra ise her yıl 20 milyar metrik ton karbondioksitin atmosferden

uzaklaştırılması gerekli görülüyor. Bu da karbondan arındırılması zor sektörlerin dengelenmesi amacıyla çeşitli negatif emisyon teknolojilerinin geliştirilmesi ve kullanılmasını gerektiriyor.

Neden İhtiyaç Duyuluyor?

Fosil yakıtların aşırı kullanımından dolayı atmosfere oldukça fazla miktarda karbondioksit salınıyor. İnsanlık bu yüzden küresel ısınma ve küresel iklim değişikliği problemleriyle yüzleşmek zorunda. Fosil yakıtlara olan bağlılığın azaltılması çalışmalarını karbon salımını azaltmaya yardımcı olsa da çimento, demir-çelik, kâğıt gibi yoğun enerji kullanan pek





çok endüstri ve rafineriler yüksek emisyonlara neden olmaya devam ediyor. Emisyonları azaltmanın tek başına yeterli olmayacağını gösteren çok çeşitli senaryolar, araştırmacıları atmosferdeki karbondioksiti toplayacak şekilde çözümler üretmeye yöneltiyor.

Enerji verimliliği ve yenilenebilir kaynaklar iklim değişikliğinin hafifletilmesi için uzun vadede sürdürülebilir çözümler gibi görünse de bu yöntemlerle Paris Anlaşması'nın küresel sera gazı emisyonları hedeflerine ulaşmak mümkün değil. Bu nedenle önümüzdeki dönemde karbon yakalama, kullanma ve depolama yöntemlerinin yüksek karbon emisyonlarıyla mücadelede kilit rol oynaması bekleniyor.

Emisyonları Azaltmanın Ötesine Geçmek

Sera gazı emisyonlarının azaltılması için pek çok önlem alınıyor. Tüm önlemlerle birlikte, karbon yakalama ve kullanma süreçleri de karbondioksit emisyonlarının azaltılması için son derece büyük önem taşıyor. Bu süreçler karbondioksitin endüstriyel üretime bağlı olarak salındığı noktadan ya da havadan teknolojik yollarla toplanmasını ve daha sonra kullanılmasını içeriyor. Kullanım doğrudan gerçekleştirilebildiği gibi bazen de üretim süreçleri içerisine entegre edilebiliyor. Böylece fosil kaynaklı hammaddelerin yerlerinin belli oranda doldurulması ve geçici bir süre boyunca da olsa karbondioksitin atmosferden uzaklaştırılması yoluyla küresel iklim değişikliğinin yavaşlatılması hedefleniyor. Bu süreçlerin sürdürülebilir bir atık işleme mekanizması ile de birleştirilmesi, üretim sürecini dögüsel ekonominin bir parçası hâline getiriyor.

Salınandan Daha Fazlasını Toplamak Mümkün mü?

Karbondioksitin toplanması, endüstri bölgelerinden gerçekleştirilebildiği gibi doğrudan atmosferden de yapılabilir. Negatif emisyon teknolojilerinden olan “Doğrudan Hava Yakalama (DAC - Direct Air Capture)” teknolojisi ise önemli potansiyel taşıyan ve gelecekte de yaygın kullanım bulması beklenen adaylardan biri olarak öne çıkıyor. Günümüzdeki mevcut uygulamalarıyla bile yılda binlerce ton karbondioksit başarılı bir şekilde atmosferden uzaklaştırılıyor. 2050 yılına kadar gigaton ölçeğinde karbondioksiti atmosferden uzaklaştırmak içinse mevcut uygulamaların



A. CO₂ kaynakları

Endüstriyel tesisler ve enerji santralleri gibi yerlerde enerji elde etmek için kullanılan fosil yakıtlar, yakılan biyokütleler, gerçekleştirilen kimyasal tepkimeler ve atmosferin kendisi başlıca CO₂ kaynakları arasında sayılıyor.

B. CO₂ yakalama

Endüstriyel süreçlerde ortaya çıkan gaz karışımındaki ya da doğrudan atmosferdeki CO₂; çözücüler, emici maddeler, membranlar ve canlı organizmalar kullanılarak yakalanıyor.

C. CO₂ kullanımı

CO₂ çok farklı alanlarda doğrudan veya dolaylı olarak kullanılıyor.

D. Karbon yakalama ve kullanma kategorileri

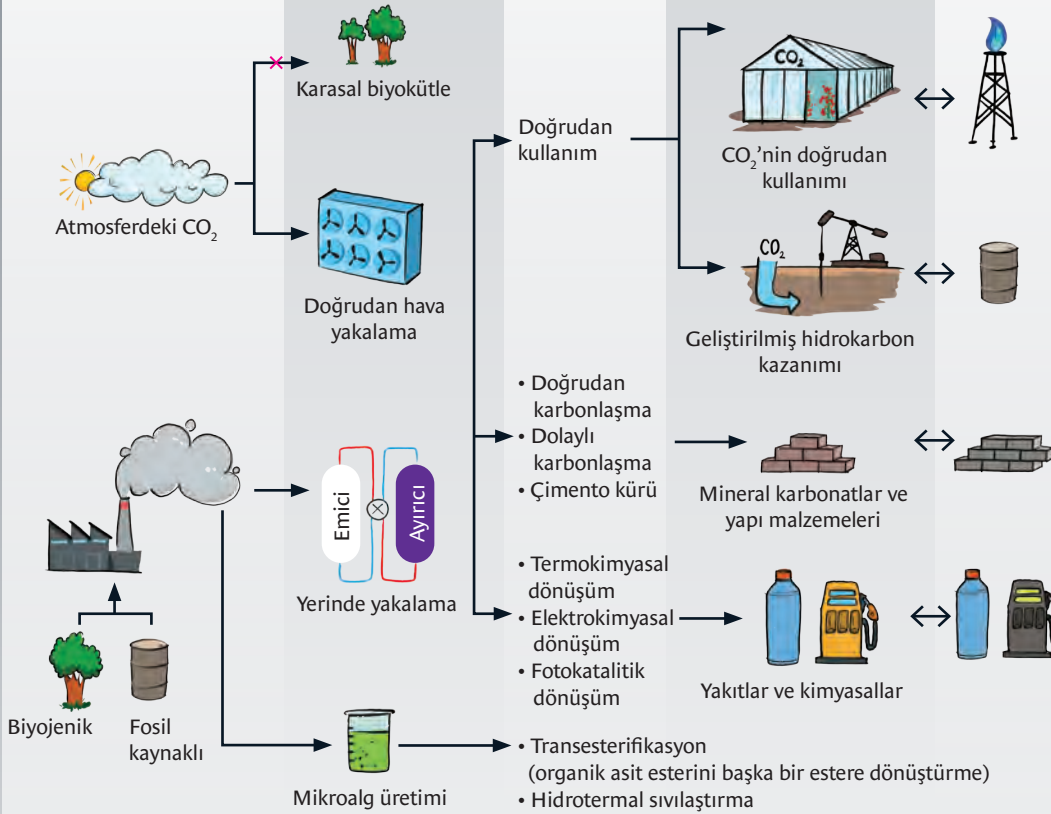
Ayrıştırılan CO₂, doğrudan kullanımların yanında geliştirilmiş hidrokarbon geri kazanımı, mineral karbonatlar ve yapı malzemeleri ile yakıt ve kimyasal madde üretiminde kullanılıyor.

E. Yerine kullanım

Elde edilen ürünlerin fosil yakıtlar kullanarak üretilenlere alternatif sunması amaçlanıyor.

F. Karbon yakalama ve kullanma ömrü

CO₂ yakalandıktan sonra, kullanılacağı yere göre, farklı zaman dilimlerinde yeniden atmosfere salınıyor. Bu süre, kullanım durumuna bağlı olarak, günlerle ifade edilebildiği gibi, bazı durumlarda, yüzyılları da bulabiliyor. Asıl hedeflenen ise yakalanan CO₂'nin atmosfere salımının mümkün olduğunca uzun süre ertelenmesidir.



Karbon yakalama ve kullanma teknolojilerine genel bakış

yıllık %50 büyüme oranına sahip olması gerekli görünüyor. Bu nedenle maliyetin azaltılması, büyük ölçekli uygulamalarda karşılaşılabilecek zorlukların aşılması ve teknolojinin daha verimli hâle getirilmesi gibi konulardaki çalışmalar aralıksız devam ediyor.

Önce Yakala Sonra Kullan

Endüstriyel süreçler sonucunda açığa çıkan karbondioksit, çeşitli işlemler uygulanarak yakalanıyor ve karışımdan ayrılıyor. Bu işlem endüstriyel süreçler sonucunda

baca çıkışındaki karışımlar ve ortaya çıkan yan ürünler üzerinde gerçekleştirilebilir.

Döngüsel ekonomi anlamında da önemli bir süreç olan bu işlem için farklı yöntemler uygulanabiliyor. Karbondioksit, sürece uygunluğuna göre, sıvı bir çözücü içinde veya katı

bir malzeme üzerinde tutulabiliyor. Diğer bir yöntemde ise seçici geçirgenliğe sahip ince filmler kullanılarak karbondioksit gazının karışımdan ayrılması sağlanıyor. Karbondioksit doğrudan havadan da yakalanabilir ancak atmosferdeki yoğunluğunun endüstriyel işlemlerdeki nokta kaynaklara göre çok düşük seviyelerde olması bu işlem için gereken enerji miktarını ve dolayısıyla maliyetleri yükseltir. Doğrudan hava yakalama yönteminin maliyetlerinin makul seviyelere düşürülmesi için araştırmalar yapılmaya devam ediliyor.

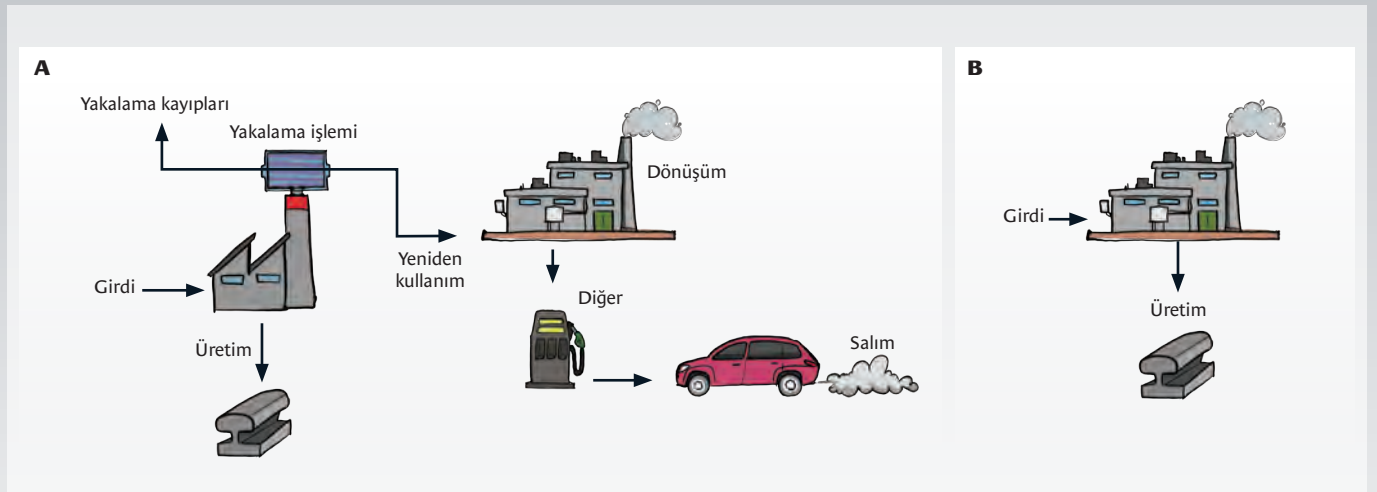
Karbon yakalama ve kullanma üretim zinciri, doğası gereği çok işlevli bir yapıya sahip. Bir endüstriyel tesis ya da elektrik santralinde birincil ürünle birlikte

karbondioksit de açığa çıkar. Ortaya çıkan karbondioksit ikinci bir üretim sürecinde hammadde olarak kullanılır. Doğrudan hava yakalama yönteminde ise birincil ürün olmadığı için çok işlevlilikten söz edilemez.

Karbon yakalama ve kullanma sürecinin etkililiği kullanılan karbondioksitin kaynağına bağlıdır. Birincil ürünler elde edilirken açığa çıkan karbondioksitin yeniden değerlendirilip kullanılması, emisyonların azaltılması adına önemli bir adım olarak görülüyor. Diğer yandan doğrudan hava yakalama yöntemi, atmosferden toplanan karbondioksitin uzun süreler boyunca depolanmasını sağlayarak negatif salım değerlerine ulaşmaya daha fazla yardımcı olabilir.

Doğrudan Hava Yakalama Teknolojileri Neden Önemli?

Doğrudan hava yakalama teknolojileri, büyük potansiyele sahip karbondioksit azaltma stratejilerinden biri olarak öne çıkıyor. Bunun en önemli nedenlerinden biri; kullanılan yöntemlerin enerji, su ve gıda altyapısını olumsuz etkilemeden atmosferdeki karbondioksiti uzaklaştırma ve atmosferik sera gazı konsantrasyonlarındaki



Yeniden kullanım yaklaşımı ile sera gazı yoğunluğu, çok işlevli sistem (A) ile normal üretim sistemi (B) emisyonları arasındaki fark kullanılarak (A-B) hesaplanıyor.

artışı tersine çevirme kabiliyeti taşıması. Ayrıca teknolojinin istenilen bölgeye uygulanabilmesi de önemli bir avantaj sayılıyor. Bunlarla birlikte enerji ihtiyacını karşılamak için güneş ve rüzgâr gibi temiz enerji kaynaklarının kullanılması verimlilik ve etki değerini artırabilir.

Hangi Yöntemler Kullanılıyor?

Doğrudan hava yakalama teknolojisinin birinci aşamasında havadaki karbondioksit farklı yollarla tutuluyor. Atmosferdeki karbondioksiti yakalamak için kullanılan yöntem, öncelikle tesisin tasarlanmasında belirleyici rol oynuyor. Çünkü yakalama işlemi ya katı bir bağlayıcı malzeme ya da sıvı bir çözücü kullanılarak gerçekleştiriliyor ve kurulacak tesis de buna göre tasarlanıyor.

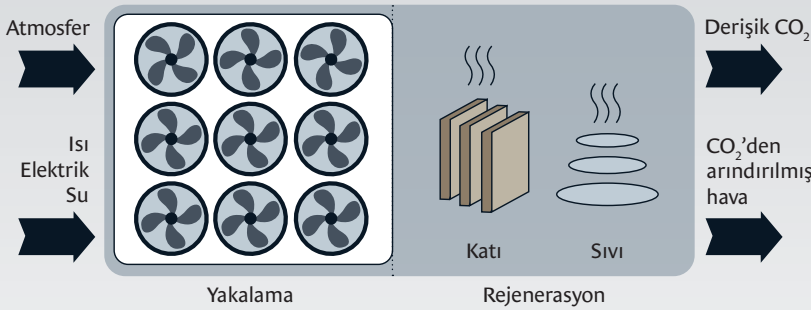


Rejenerasyon olarak adlandırılan ikinci aşamada ise yakalanan karbondioksit çeşitli tekniklerle bağlayıcılardan ayrılıyor. Bu işlem, yakalamada kullanılan malzemenin türüne bağlı olarak önemli miktarda enerji gerektiriyor. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının doğrudan hava yakalama teknolojilerine entegrasyonu büyük önem taşıyor. Son olarak yakalamada kullanılan malzeme tekrar kullanıma hazır hâle getirilirken elde edilen karbondioksit ise depolama ve yeniden kullanım için taşıyor.

Sıvı Çözücü Sistemleri

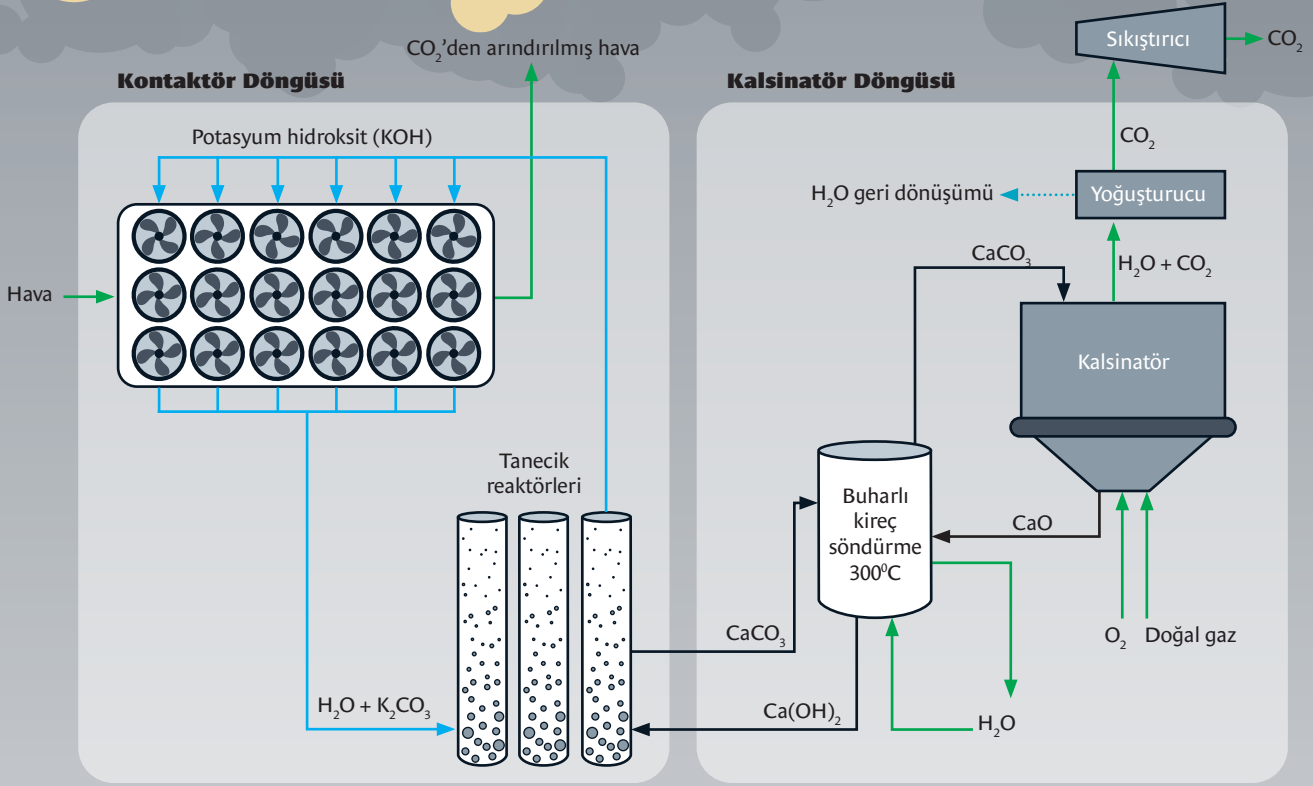
Sıvı çözücü sisteminde yüksek oranda bağlayıcı özellik taşıyan sodyum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH) bazları kullanılıyor. Bu bazlar havadaki karbondioksit ile hızlı bir şekilde tepkimeye girerek su ve karbonata dönüşüyor. Rejenerasyon bölümünde ise elde edilen karbonat yaklaşık 900 °C'a ısıtılarak yüksek saflukta karbondioksit elde ediliyor. Bu işlem için daha düşük maliyetli malzemeler ve daha az enerji gerektiren yöntemler bulmak üzere çalışmalar devam ediyor.

Sıvı çözücü sistemler temel olarak iki döngüden oluşur: Birinci döngüde yatay olarak geçmeye zorlanan havadaki karbondioksit, potasyum hidroksit (KOH) ile tepkimeye girerek potasyum karbonat (K_2CO_3) çözeltisi elde ediliyor. Daha sonra bu çözelti tanecek reaktörleri içerisine pompalanıyor ve burada bulunan kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) ile gerçekleşen tepkime sonucunda potasyum hidroksit (KOH) tekrar kullanım için yeniden elde ediliyor. Bu sırada, diğer bir ürün olan kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) ise önce buharlı kireç söndürme bölümüne alınıyor. Kurutulan



Şematik bir doğrudan hava yakalama tesisi iki ana aşamadan oluşur: CO₂'yi ortam havasından yakalamak ve ardından rejenerasyon süreci yoluyla serbest bırakmak.

Shayegh, S. ve ark., "Future Prospects of Direct Air Capture Technologies: Insights From an Expert Elicitation Survey", *Frontiers in Climate*, 3:630893, 2021.



Sıvı çözücüler kullanılarak gerçekleştirilen doğrudan hava yakalama işleminin akış şeması. Yeşil çizgiler gaz, mavi çizgiler sıvı, siyah çizgiler de katı akışlarını temsil ediyor.

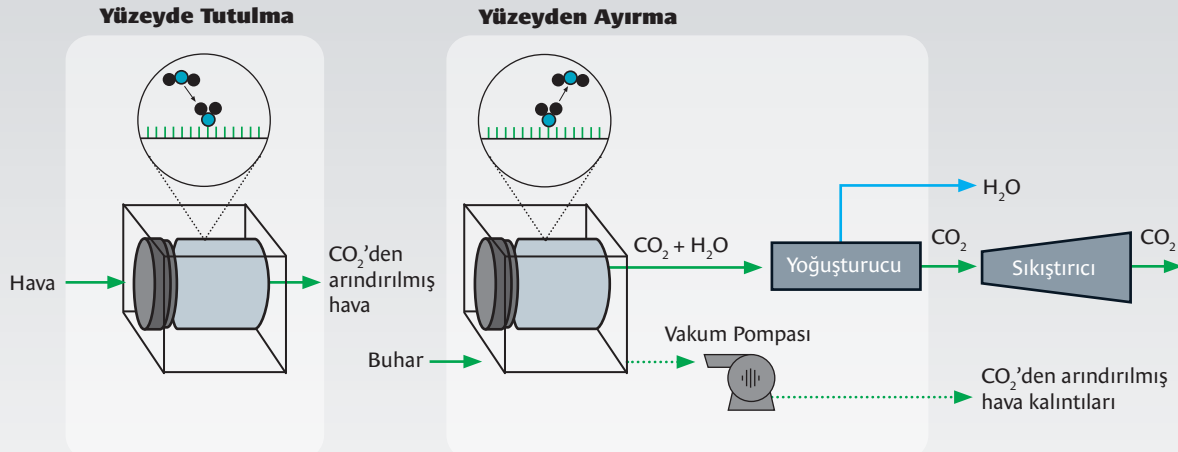
McQueen, N. ve ark. "A review of direct air capture (DAC): scaling up commercial technologies and innovating for the future", *Progress in Energy*, 3, 032001, 2021.

malzeme daha sonra kalsinatöre gönderiliyor. Burada 900 °C gibi yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen tepkime sonucunda elde edilen su buharı ve karbondioksit karışımı daha sonra birbirinden ayrılıyor ve yüksek saflıkta elde edilen karbondioksit sıkıştırılıyor.

Katı Emici Malzeme Sistemleri

Katı malzemeler gelen gaz karışımındaki karbondioksit moleküllerini farklı şekillerde

tutabiliyor. Bu malzemeler, zayıf moleküller arası kuvvetler yoluyla fiziksel olarak karbondioksiti tutabildiği gibi güçlü kimyasal bağlar oluşturarak da karbondioksiti gaz karışımından ayırabiliyor. Katı sistemler için pek çok malzeme üzerinde araştırmalar devam



Katı emici malzemeler kullanılarak gerçekleştirilen doğrudan hava yakalama işleminin akış şeması. Yeşil çizgiler gaz, mavi çizgiler de sıvı akışını temsil ediyor. Vakum pompasına giden kesikli yeşil çizgi ise üretilen CO2'nin seyreltilmesini önlemek için kalan havanın çıkarıldığı aşamayı gösteriyor.

McQueen, N. ve ark. "A review of direct air capture (DAC): scaling up commercial technologies and innovating for the future", *Progress in Energy*, 3, 032001, 2021.

ediyor. Bunlar arasında metal-organik kafesler, zeolitler, aktif karbon ve silika malzemeler, karbon nanotüpler, gözenekli yapıdaki organik polimerler ile karbon moleküler elekler öne çıkıyor.

Katı emici malzeme sistemlerinde, ilk aşamada, kullanılan katı malzeme havadaki karbondioksit ile doyuruluyor ve karbondioksitten arıtılmış hava vakum pompası yardımıyla uzaklaştırılıyor. İkinci aşamada ise tutulan karbondioksit molekülleri katı malzemeden ayrıştırılıyor. Vakumlama aşamasını takiben malzemeyi ısıtmak için buhar kullanılıyor ve sıcaklığı 80-120 °C arasına yükseltiyor. Karbondioksit, su buharından yoğunlaştırıcı ile ayrılıyor ve son olarak nakliye, depolama ve kullanım amaçlarına uygun şekilde sıkıştırma işlemi gerçekleştiriliyor. Sıvı sistemlere göre, katı malzeme kullanan sistemlerin rejenerasyon sürecinde daha düşük sıcaklıklar gerektirmesi önemli bir avantaj

olarak görülüyor. Diğer bir olumlu yönü de katı sistem tesislerinin büyük ölçeklerde kurulmasının daha kolay olmasıdır.

Bazı Önemli Girişimler

Doğrudan hava yakalama teknolojilerinin başlıca endüstri geliştiricileri arasında Carbon Engineering (Kanada), Climeworks (İsviçre) ve Global Thermostat (ABD) şirketleri sayılabilir. Bu girişimlerin sayısı sürekli bir şekilde artmaya devam ediyor. Günümüzde faaliyet gösteren ve yılda 0,01 megatondan fazla karbondioksit yakalayabilen 19 tesis bulunuyor. ABD’de yıllık kapasitesi 1 megaton olan bir tesis ise geliştirilme aşamasında ve bu tesisin 2024 yılında faaliyete geçirilmesi bekleniyor.

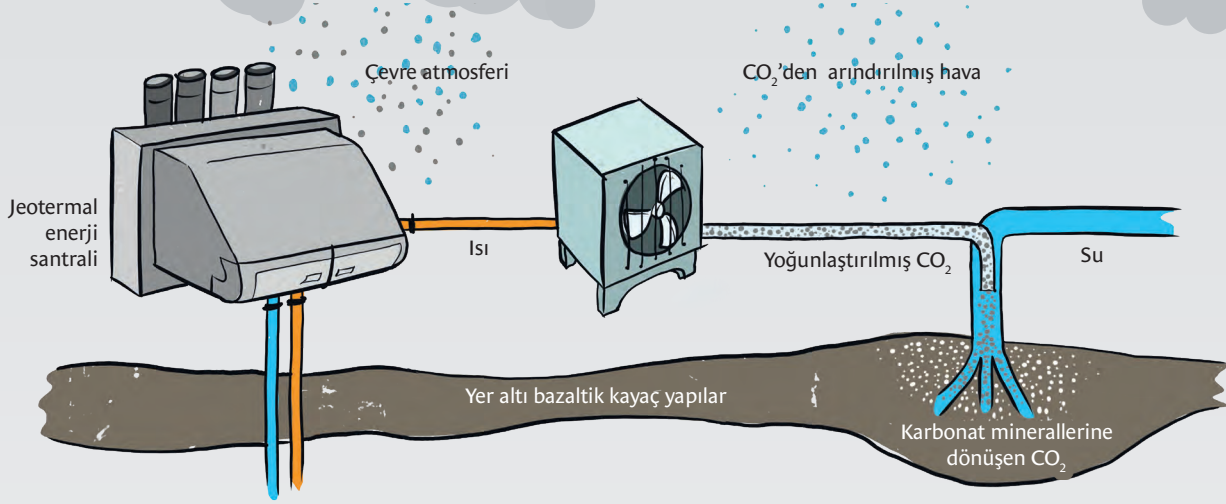
2050 yılına kadar gerçekleştirilmesi planlanan sıfır emisyon senaryosunda; doğrudan hava

yakalama sistemleri kullanılarak 2030 yılına kadar en az 85 megaton, 2050 yılına kadar ise en az 980 megaton karbondioksit yakalanması hedefleniyor. Bu hedefi gerçekleştirmek ve benzer uygulamaları yaygınlaştırmak içinse geliştirilecek yeni teknolojilerle maliyetlerin aşağı çekilmesi gerekiyor.

İsviçre’de bulunan temiz teknoloji firması Climeworks, doğrudan hava yakalama teknolojisi ile karbondioksiti havadan izole etme çalışmaları yürütüyor. Atmosferden karbondioksiti kalıcı bir şekilde uzaklaştırmak içinse dikkatle seçilen jeolojik bölgelerde depolanması yaklaşımını benimsiyorlar. 2007 yılında İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsünde doğrudan hava yakalama teknolojisi geliştirilmesi fikri ortaya atıldıktan sonra, 2009’da, Climeworks şirketi kuruldu. Şirket bünyesinde ilk sistem tasarımları ile çalışan prototipler geliştirildi. 2011’de bu prototiplerin 1.000 kat büyütülmüş hâli geliştirildi ve sergilendi. 2015’te atmosferdeki karbondioksit ile yenilenebilir metan sentezi gerçekleştirildi. 2017’de ise İsviçre’nin Hinwil kentinde dünyanın ilk ticari doğrudan hava yakalama tesisi açıldı. Bu tesis, yılda 900 ton karbondioksit yakalama kapasitesine sahipti. Climeworks, aynı yıl içinde Carbfix ile iş birliği yaparak doğrudan hava yakalama teknolojisini jeolojik depolama ile birleştirme çalışmalarına başladı.



Climeworks Doğrudan Hava Yakalama Tesisi, Hinwil, İsviçre



Climeworks-CarbFix ortak çalışmasının şematik gösterimi, Hellsheidi, İzlanda.

Gurtknecht, V. ve ark., "Creating a carbon dioxide removal solution by combining rapid mineralization of CO₂ with direct air capture", *Energy Procedia*, 146, 129-134, 2018.

Carbfix projesi, Reykyavik Enerji, İzlanda Üniversitesi, CNRS ve Columbia Üniversitesi tarafından 2007'de hayata geçirildi. Bu tarihten sonra da pek çok üniversite ve araştırma enstitüsü projede yer aldı. Projenin amacı karbondioksitin mineral depolamasını kalıcı, güvenli, basit ve ekonomik şekilde uygulamaktı. İlk pilot çalışmalar 2012 yılında İzlanda'da yerin 500 m altında gerçekleştirildi. Pilot çalışmaların başarısının ardından proje 2014'te endüstriyel ölçeğe yükseltildi ve Hellsheidi bölgesindeki jeotermal enerji santraline entegre edildi. Santralin karbondioksit emisyonunun üçte birlik miktarı, diğer bir ifadeyle yaklaşık olarak yıllık 10.000 tonu, yer altına gönderiliyor ve burada kararlı karbonat minerallerine dönüştürülüyor.

Devam eden karbon depolama projelerinin büyük bir kısmı toplanan karbondioksitin yerin altına hapsedilmesini içeriyor.

Climeworks ve Carbfix şirketleri tarafından İzlanda'daki projede geliştirilen yöntemle toplanan karbondioksit suda çözülerek yer altına enjekte ediliyor. Burada kullanılan su, kayalardaki kalsiyum, magnezyum ve demir gibi metallerin salınımını hızlandırıyor. Bu metaller ise karbondioksit ile tepkimeye girerek çeşitli katı karbonat mineralleri oluşturuyorlar ve bu sayede kalıcı bir depolama sağlanıyor.

Günümüzde yalnızca küçük ölçekli doğrudan hava yakalama tesisleri faaliyet gösteriyor. Climeworks ve Carbfix ortaklığında açılan "Orca" adlı tesis, yıllık 4.000 ton karbondioksit yakalayacak şekilde genişletilerek alanda faaliyet gösteren en büyük tesis hâline getirildi. ABD'deki ilk büyük ölçekli tesisin ise Carbon Engineering ve Occidental Petroleum ortaklığı ile 2024 yılı içerisinde faaliyete geçirilmesi hedefleniyor.

Etkili ve Düşük Maliyetli Sistemler Gerekli

Doğadaki tüm emisyonlar endüstrilerdeki gibi nokta kaynaklarda gerçekleşmiyor. Çok çeşitli küçük kaynaklarda da karbondioksit salımı meydana geliyor. Salınan karbondioksit havaya çok hızlı karıştığından doğrudan hava yakalama sistemleri kullanılarak toplanan karbondioksit dünya genelini etkiliyor. Bu da doğrudan hava yakalama tesislerini istenilen yere kurma esnekliğini sağlıyor. Küresel enerji tüketiminin her yıl arttığı düşünüldüğünde olumlu etkilerin net olarak görülebilmesi için toplanan karbondioksitin doğaya geri salınmasının mümkün olduğunca geciktirilmesi gerekiyor.

Karbon yakalama, kullanma ve depolama yöntemlerinin

maliyetleri; karbondioksitin kaynağına ve yoğunluğuna, hava toplama mekanizmasına, işleme ve dönüştürme süreçlerinin gerektirdiği enerji miktarına ve dönüşümde kullanılan maddeler ve malzemelere göre değişiyor. Bu noktada maliyetlerin düşürülmesi adına yapılacak araştırmalar son derece önemli hâle geliyor. Çeşitli firma ve girişimler geliştirdikleri yeni teknolojilerle doğrudan hava yakalama yöntemlerinin maliyetlerini daha makul seviyelere çekmeye çalışıyor. Sistem malzemelerinin defalarca kullanılabilirliği, enerji ihtiyacının düşük seviyelerde tutulması ve bu ihtiyacın sürdürülebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanması maliyetleri azaltmak adına gerekli görülüyor.

Doğrudan Hava Yakalamaya Gösterilen İlgil ve Destek Artıyor

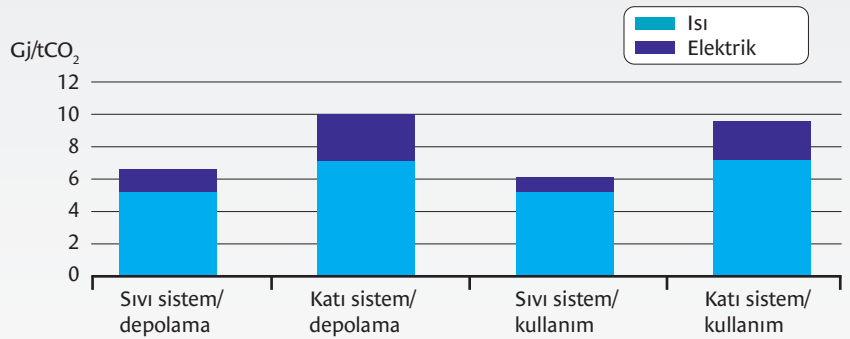
Hem kamu hem de özel sektörden her geçen gün daha fazla ilgi ve destek gören doğrudan hava yakalama girişimleri önümüzdeki yıllarda adından fazlaca söz ettirecek gibi görünüyor. Bazı büyük şirketler, neden oldukları emisyonları dengelemek için attıkları somut



adımların yanında doğrudan hava yakalama tesislerinden karbondioksit toplama ve yer altında güvenli bir şekilde depolama işlemleri için hizmet satın alıyor. Küçük ölçekli şirketler de farklı ücretlendirme seçenekleriyle daha küçük tesislere abone olabiliyor. Hatta bazı şirketler karbon nötr olma taahhütlerine uygun olarak doğrudan hava yakalama tesislerinin kurulum ve geliştirilmesine yönelik oldukça büyük yatırımlarda bulunuyor.

Teknolojiye olan kamu yatırımları da önemli miktarlara ulaştı. ABD Enerji Bakanlığı doğrudan hava

yakalama teknolojilerine son iki yılda 46 milyon dolar finansman sağladığını duyurdu. Ayrıca senato tarafından kabul edilen yasa ile de karbon yakalama teknolojilerine genel olarak 9 milyar dolarlık bütçe ayrıldı. Birleşik Krallık ise Haziran 2020'de karbon giderilmesine yönelik çalışmalara yaklaşık 123 milyon dolarlık destek sağlanacağını açıkladı. Bununla birlikte, Avrupa Birliği ve çeşitli ülkeler farklı destek mekanizmaları ile doğrudan hava yakalama teknolojisinin geliştirilmesi ve uygulanmasını teşvik etmeye yönelik girişimleri hayata geçiriyor.



Doğrudan hava yakalamada kullanılan farklı yöntemler için harcanan enerji miktarları (2021) (1 ton CO₂ yakalama/kullanma/depolama için gereken toplam enerji miktarı gigajoule cinsinden gösteriliyor.)

<https://www.iea.org/reports/direct-air-capture>

Yaygınlaşmanın Önündeki En Büyük Engel “Maliyet”

Atmosferdeki karbondioksit bir elektrik santrali veya bir fabrika bacasındakinden çok daha seyreklidir. Bu da toplama sürecinde daha yüksek enerji gereksinimlerine ve maliyetlerin artmasına neden olur. Ayrıca doğrudan hava yakalama sistemlerinde kullanılan teknoloji türü ve sonrasında elde edilen karbondioksitin kullanılması veya depolanması enerji ihtiyacının farklılaşmasına yol açıyor. Karbondioksitin jeolojik yapılara enjeksiyonu için de yüksek basınç altında sıkıştırılmasına, kompresör gibi çeşitli ekipmanların çalıştırılmasına ve dolayısıyla fazladan enerjiye ihtiyaç duyuluyor.

Doğrudan hava yakalama teknolojisi maliyetleri henüz çok büyük ölçekli bir tesis üzerinden tam olarak ortaya konmadı. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar, 1 ton karbondioksit yakalama maliyetinin yöntemine bağlı olarak yaklaşık 100 dolar ile 1.000

dolar arasında değişebileceğini gösteriyor. 2018 yılında Carbon Engineering tarafından yayımlanan bir çalışmada maliyetin 94 dolar ile 232 dolar arasına düşürüldüğü bildirildi.

Çok sayıda firma ve araştırma grubu tarafından sistem geliştirme çalışmalarına devam ediliyor. Doğrudan hava yakalama sistemlerinin enerji ihtiyacının temel olarak havayı toplamak için fan kullanımına ve daha sonra toplanan karbondioksitin yeniden elde edilmesi için ısı ihtiyacını karşılamaya yönelik olduğu söylenebilir. Söz konusu çalışmalarda, bu aşamalarda enerji ihtiyacının azaltılmasına yönelik araştırmalar yapılıyor. Örneğin, havayı toplamak için havanın hareketinden faydalanan pasif fanların kullanılması ve kuruyken karbondioksiti toplayabilen, ıslatıldığında ise topladığı karbondioksiti bırakan malzemelerin geliştirilmesi gibi yeni yaklaşımların maliyetlerin azaltılmasına ve dolayısıyla doğrudan hava yakalama tesislerinin yaygınlaşmasına yol açması bekleniyor. Sistemdeki diğer enerji gereksinimlerinin

de sürdürülebilir ve doğa dostu kaynaklardan sağlanmasının da olumlu etkileri olacaktır.

Genel Bir Değerlendirme

Pek çok bilimsel çalışma iklim değişikliğinin kötü sonuçlarından kaçınmak için önemli miktarlarda karbondioksitin sürekli bir şekilde atmosferden uzaklaştırıldığı negatif emisyon teknolojilerinin uygulanmasının gerekli olduğunu ortaya koyuyor. Bu sınıfta değerlendirilen doğrudan hava yakalama teknolojileri, jeolojik depolama ile birleştirildiğinde büyük miktarlardaki karbondioksiti atmosferden uzaklaştırma potansiyeli taşıyor. Yapılan yatırımlar ve destekleyici politikalarla birlikte maliyetlerin düşmesi ve bu sayede büyük ölçekli tesislerin tüm dünyada daha fazla yaygınlaşması bekleniyor. Sonuç olarak, doğrudan hava yakalama teknolojilerinin küresel iklim hedeflerinin gerçekleştirilmesine önemli bir katkı sağlayacağı düşünülüyor. ■

Kaynaklar

- Shayegh, S., Bosetti, V. Ve Tavoni, M., “Future Prospects of Direct Air Capture Technologies: Insights From an Expert Elicitation Survey”, *Frontiers in Climate*, 3:630893, 2021.
- De Kleijne, K., Hanssen, S.V., ve ark, “Limits to Paris compatibility of CO₂ capture and utilization”, *One Earth*, 5, 168-185, 2022.
- McQueen, N., Vaz Gomes, K., McCormick, C. ve ark, “A review of direct air capture (DAC): scaling up commercial technologies and innovating for the future”, *Progress in Energy*, 3, 032001, 2021.
- Gutknecht, V., Ósk Snæbjörnsdóttir, S., Sigfússon, B. ve ark., “Creating a carbon dioxide removal solution by combining rapid mineralization of CO₂ with direct air capture”, *Energy Procedia*, 146, 129-134, 2018.
- Marchese, M., Buffo, G., Santarelli, M., Lanzini, A., “CO₂ from direct air capture as carbon feedstock for Fischer-Tropsch chemicals and fuels: Energy and economic analysis”, *Journal of CO₂ Utilization*, 46, 101487, 2021.
- <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture>
- https://ec.europa.eu/clima/eu-action/carbon-capture-use-and-storage_en
- <https://www.wri.org/insights/direct-air-capture-resource-considerations-and-costs-carbon-removal>
- <https://theconversation.com/these-machines-scrub-greenhouse-gases-from-the-air-an-inventor-of-direct-air-capture-technology-shows-how-it-works-172306>
- <https://carbonengineering.com/direct-air-capture-and-storage/>