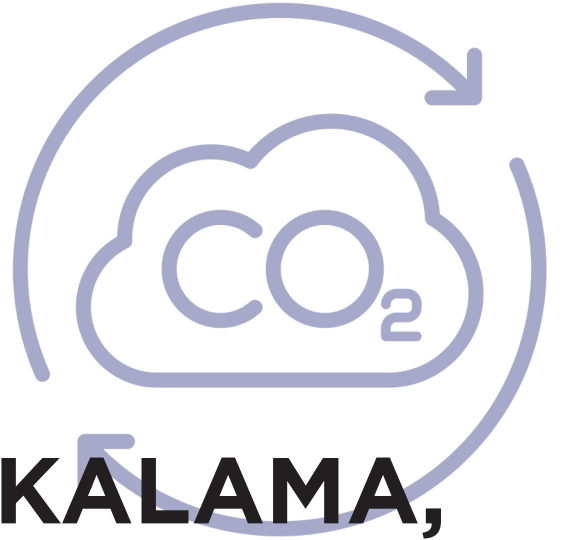




TÜRKÇİMENTO



KARBON YAKALAMA, KULLANMA VE DEPOLAMA

TÜRKÇİMENTO
2022

Hazırlayanlar:

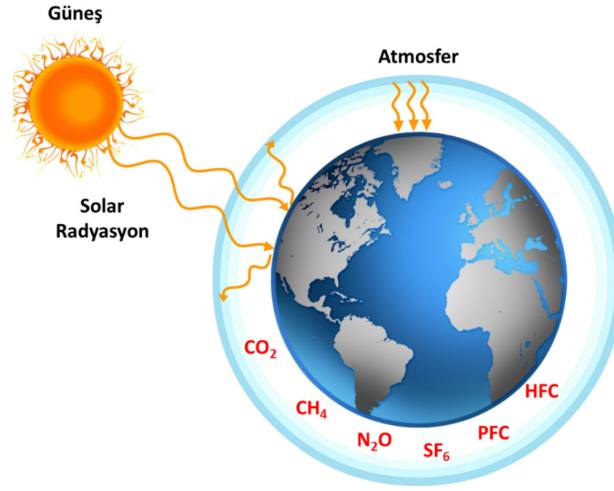
Esra Boran, TÜRKCİMENTO AR-GE İnovasyon Projeleri ve İş Geliştirme Birimi Uzmanı
Gaye Baştürk Ayaz, TÜRKCİMENTO AR-GE Mineraloji ve Mikroskop Lab. Uzman Yrd.
Serkan Türk, TÜRKCİMENTO AR-GE Enstitüsü Müdürü
Yasin Engin, TÜRKCİMENTO Danışmanı

Bu raporun yayın ve dağıtım hakkı TÜRKCİMENTO'ya aittir. Tamamı veya herhangi bir bölümü TÜRKCİMENTO'nun yazılı izni olmadan fotokopi dahil mekanik ve elektronik ortamda transfer edilemez, çoğaltılamaz ve dağıtılamaz



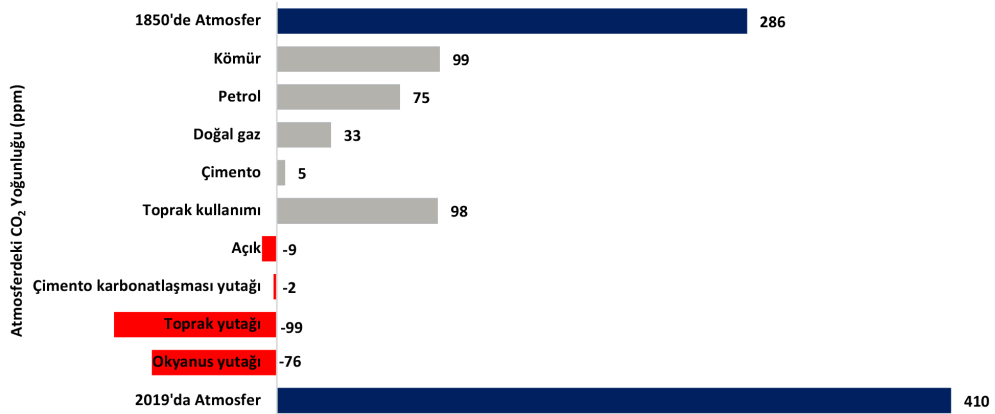
GİRİŞ

Dünyamızı çevreleyen atmosfer tabakası tıpkı bir sera gibi çalışmaktadır. Atmosfer tabakasından geçerek Dünya'ya ulaşan güneş ışınlarının hemen hemen yarısı yeryüzünden yansımaktadır. Metan, karbondioksit, su buharı, ozon, azot oksit vb. gazlardan (sera gazları) oluşan atmosfer tabakası, yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarının bir bölümünü tekrar yeryüzüne yansıtır. Atmosfer tabakasında yer alan sera gazları sayesinde yeryüzündeki ortalama sıcaklık, hayatın sürdürülmesine imkân verecek sıcaklığı (15°C) yakalar. Sera gazlarının bu doğal etkisi "sera gazı etkisi" olarak adlandırılır [1].



Şekil 1. Sera gazı etkisi

1750'li yıllarda başlayan sanayi devrimi ile sera gazlarının atmosferdeki oranı artmaya başlamıştır. Şekil 2'de belirtildiği gibi atmosferdeki karbondioksit oranı 1850'li yıllardan günümüze kadar yaklaşık olarak %43'lük bir artışla 286 ppm'den 410 ppm'e yükselmiştir [2].



Şekil 2. Sanayi devriminden bu yana atmosferde biriken karbondioksitin kaynakları ve yutakları [2]

Karbondioksit miktarındaki bu artışın en önemli sebeplerinden biri kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların kullanımınıdır. Kömür, doğalgaza göre, üretilen bir birim enerji başına 1,7 kat daha fazla CO₂'yi atmosfere salmaktadır.

Bilim dünyası, iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerini en aza indirmek için ortalama sıcaklıklardaki artışın azami 2°C ile sınırlanması gerektiğini belirtmektedir. Bu hedefin tutturulması için atmosferdeki CO₂ oranının 450 ppm seviyesini aşmaması gerekmektedir [1].

Bu bilgiler ve gelişmeler ışığında, 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe giren Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışının 2°C altında ve mümkünse 1,5°C seviyesinde olmasını sağlamaya çalışmaktadır.

Avrupa Birliği (AB), 2019 yılında duyurulan Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın bir parçası olarak ve Avrupa İklim Yasası uyarınca 2050 yılına kadar iklim nötr olmayı hedeflemiştir. Bu hedef, mevcut sera gazı emisyon seviyelerinin önümüzdeki on yıllarda önemli ölçüde düşürülmesini gerektirmektedir. İklim nötr olma hedefine yönelik bir ara adım olarak AB, 2030 yılına kadar emisyonları "Fit for 55" (55'e Uyum Paketi) kapsamında %55 oranında azaltmayı taahhüt etmiştir. Bu hedefleri sağlamak için kurgulanan SKDM (Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması), karbon kaçacağını önlemek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için tasarlanmış bir araçtır. Bu mekanizma, AB sınırları içerisinde üretilen ürünlerin karbon maliyetlerine eşdeğer bir maliyetin, ithal edilen ürünlere de uygulanmasına yönelik düzenleyici bir sistemin oluşturulmasına dayanmaktadır.

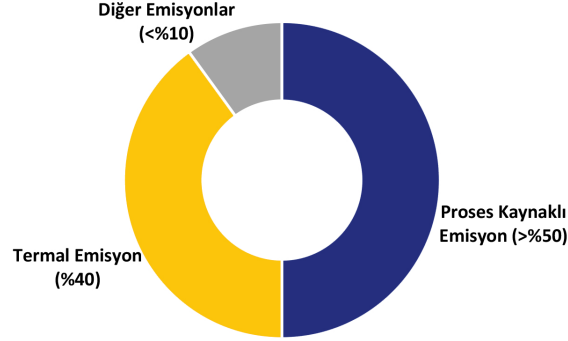
Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 2019'da yayınladığı raporda küresel sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlamak için dört senaryo sunmuştur. Tüm senaryolar karbon yakalamayı içermektedir. Bu nedenle; karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) projeleri son yıllarda önemli bir ivme kazanmıştır.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA); Birleşmiş Milletler'in (BM) emisyonlar, enerji erişimi ve hava için enerji ile ilgili sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden esinlenerek, enerji sektöründen kaynaklanan küresel CO₂ emisyonlarının 2070 yılına kadar net sifıra düşmesini ifade eden Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosunu duyurmuştur. İlgili raporda açıkça, CCUS olmadan net sifıra ulaşmanın neredeyse imkânsız olacağı ve CO₂ yakalama kapasitesinin potansiyel olarak 2050'de yaklaşık 5,6 milyar tona çıkacağı, mevcut yıllık CO₂ yakalama kapasitesinin yaklaşık 40 milyon ton (Mt) olduğu belirtilmektedir. Demir-çelik, çimento, kimyasallar, yakıt dönüşümü ve enerji üretimi sektörlerinden kaynaklanan emisyonların %90'ı, 2070 yılına kadar karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) yoluyla potansiyel olarak azaltılabilecektir [3].

Çimento sektörü klinker üretimi sırasında yüksek ısıya ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle çimento sektörü "enerji yoğun" olarak da tanımlanmaktadır. Gerekli ısıl enerji genel olarak kömür ve petrokoktan sağlanmaktadır. Bir ton çimento üretmek için ortalama 3-3,5 GJ ısıl enerjiye ve 100kWh elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Prosesin kendine has özellikleri ve yüksek miktarda enerjiye gereksinim duyması yüksek oranda karbon emisyonuna neden olmaktadır.

Portland çimentosu (PÇ) üretimi sırasında salınan CO₂ miktarının güçlü bir çevresel etkisi vardır. Bir ton klinker üretiminde yaklaşık 0,83 ton; bir ton çimento üretimi için ise yaklaşık 0,54 ton CO₂ salınmaktadır [4]. Bu miktardaki salım, çimento endüstrisini toplam antropojenik sera gazlarının %5 ila %8'inden sorumlu hale getirmektedir [5, 6]. Çimento üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının iki ana kaynağı bulunmaktadır. Şekil 3'te

görüldüğü üzere çimento üretiminde açığa çıkan karbon emisyonlarının %50'sinden fazlası kireçtaşının kalsinasyonu, %40'ı ise termal kaynaklıdır [6].

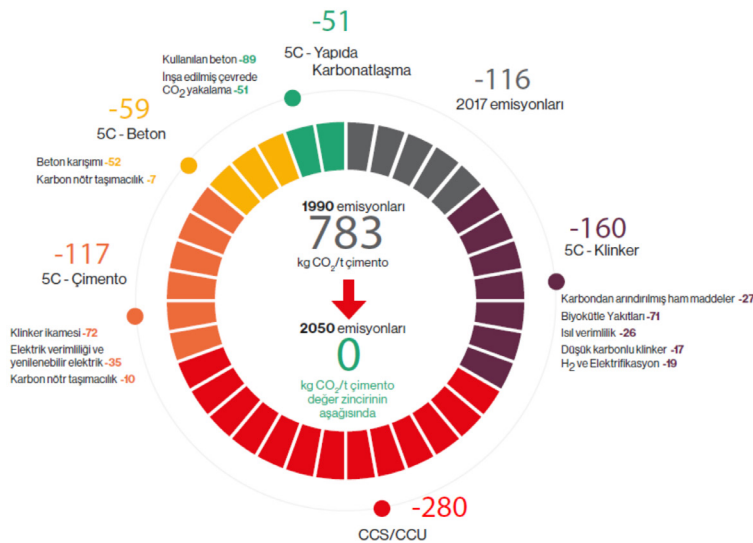


Şekil 3. Çimento üretiminde açığa çıkan karbon emisyonlarının kaynakları [6]

Çimento üretiminde CO₂ emisyonlarının azaltılması için çalışılan yöntemler beş ana başlık altında toplanmaktadır [7]:

1. Çimentomsu malzemeler (cementitious materials) kullanımı ile klinker/çimento oranının azaltılması,
2. Klinker üretiminde biyokütle içeren alternatif yakıtların kullanılması,
3. Düşük CO₂ emisyonlu alternatif klinker teknolojilerinin geliştirilmesi,
4. Karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) teknolojilerinin kullanılması,
5. Yenilenebilir enerji ile üretilen elektrik kullanımı ile klinker üretim sürecinin elektrifikasyonu.

Paris Anlaşması kapsamında yapılması gereken emisyon azaltımı konusunda çimento sektörü de kendi üzerine düşen görevleri yerine getirmek zorundadır. Bu bağlamda, çimento sektörünün “karbon azaltımı” konusunda kullanabileceği alternatif yöntemler mevcuttur. TÜRKÇİMENTO'nun da üyesi olduğu CEMBUREAU tarafından hazırlanan bir raporda Şekil 4'te görüleceği üzere 2050 karbon nötr yol haritasında azaltım yöntemleri ve hedefleri belirtilmiştir. Bu azaltım yöntemleri içinde etki bakımından karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCS/CCU) öne çıkmaktadır [8].

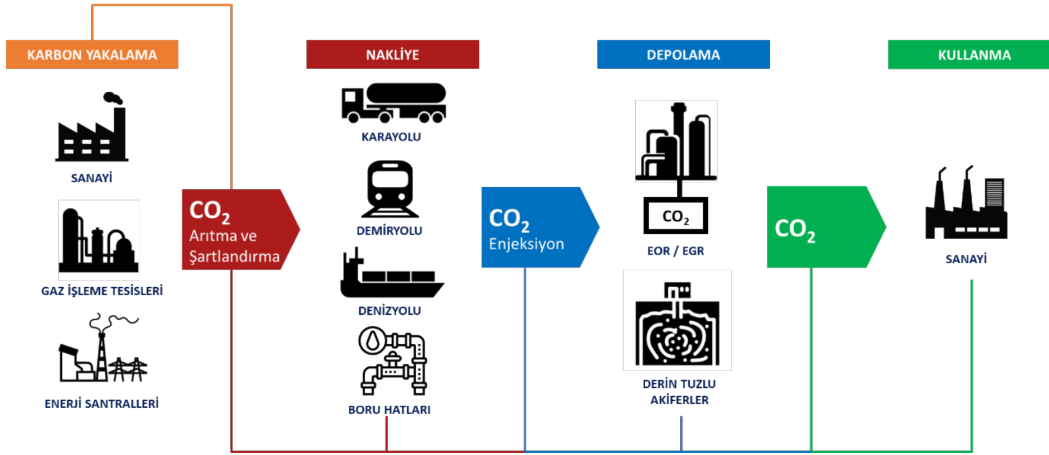


Şekil 4. CEMBUREAU 2050 karbon nötr yol haritası azaltım yöntemleri ve hedefleri [8]

KARBON YAKALAMA, KULLANMA VE DEPOLAMA (CCUS)

Global CCS Enstitüsü tarafından yayınlanan 2020 CCS Küresel Durum Raporuna göre, faaliyette olan 26 tesis ile dünya çapında 65 ticari Karbon Yakalama ve Depolama tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler toplamda yıllık yaklaşık 40 Mt CO₂ yakalayabilmekte ve depolayabilmektedir. Genel operasyonel CO₂ yakalama kapasitesi 2010'dan bu yana istikrarlı bir şekilde artmasına rağmen, karbon yakalamadaki faaliyet düzeyi 2011'den sonra azalmıştır. Bununla birlikte, 2015 Paris Anlaşması ile birlikte birçok hükümet daha güçlü iklim politikaları oluşturmuş ve özel sektöre daha fazla baskı uygulamaya başlamıştır. 2017 yılından bu yana 30'dan fazla yeni entegre tesis duyurulmuştur. Sonuç olarak, açıklanan tüm projelerin tam olarak faaliyete geçmesi durumunda, toplam küresel CO₂ yakalama kapasitesi yılda yaklaşık 130 Mt'a yükselecektir [3].

İlk tesislerin çoğu, yakınlarda CO₂ depolama sahaları bulunan enerji üretim veya gaz işleme tesislerinden doğrudan kaynak yakalamak için geliştirilmiştir. Son zamanlarda, CO₂ için bir endüstriyel merkez olan hub kavramı (Şekil 5), tesis kümelerinden nakliye için CO₂'yi ayrıştırma, kurutma ve sıvılaştırma kabiliyeti nedeniyle popülerlik kazanmıştır. Merkez sistemi, uzun vadede CO₂'nin taşınması ve depolanması için birim maliyeti büyük ölçüde azaltabilirken altyapı inşa etmek için gerekli sermaye finansmanının teminini zorlaştırabilmektedir [3].



Şekil 5. Karbon yakalama, depolama ve kullanma konsepti [9]

Karbon yakalama, önceden yakılmış hidrokarbon yakıtlardan veya yanma sonrası baca gazından CO₂'yi tutmak için çeşitli teknolojilerden oluşmaktadır. Teknolojiler, elektrik üretim tesislerinde, çimento ve çelik yapımı gibi ağır sanayi sektörlerinde ve toplu olarak küresel CO₂ emisyonlarının neredeyse %20'sini üreten kimyasal üretimde uygulanmaktadır. CO₂ ayrıca amonyak, metanol ve doğalgaz için gaz işleme tesislerinde yakıt dönüşümü için tutulabilmektedir.

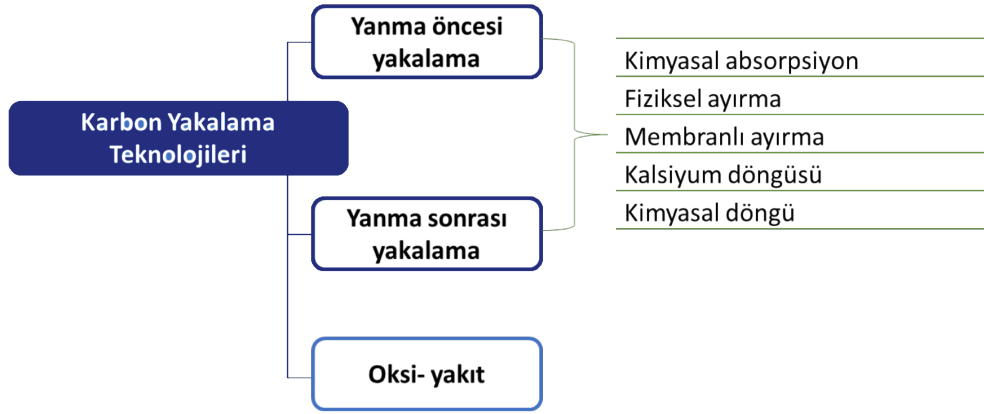
Bazı endüstriyel sektörlerde üretim teknolojisi sınırlaması nedeniyle, karbon emisyonu kaçınılmaz bir yan üründür ve emisyonlarını azaltmak için en etkili yöntem karbon yakalamadır. Karbon yakalama teknolojisinin uygulanması veya mevcut enerji santrallerinin güçlendirilmesi, net sıfır emisyon hedeflerine ulaşmak için ekonomik olarak pratik bir yöntem haline gelmektedir.

Karbon; membranlar, katı emiciler ve çeşitli çözücüler kullanan sıvı emiciler gibi çeşitli yöntemlerle ayrıştırılabilmektedir. Tüm bu yöntemler karada karbon yakalama projelerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır [3].

Hangi karbon yakalama teknolojisinin uygulama için en uygun olduğu belirlenirken; kurulum maliyeti, yakıt ve baca gazı bileşimi ve özellikleri, istenen CO₂ konsantrasyonu ve mevcut tesis uyumluluğu gibi birçok faktör dikkate alınmaktadır.

Karbon yakalama sistemleri incelendiğinde bunların üç ana başlık altında toplandığı görülmektedir [10, 11]:

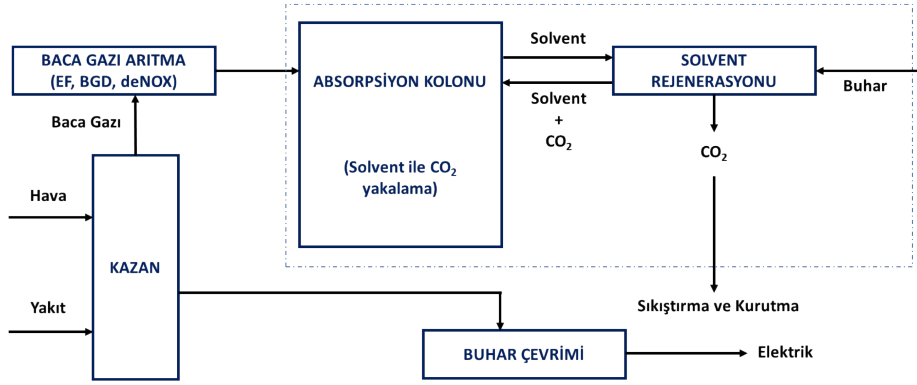
1. Yanma Sonrası Yakalama
2. Oksi-Yakıt Yanmada Yakalama
3. Yanma Öncesi Yakalama



Şekil 6. Karbon yakalama teknolojileri [12]

Yanma Sonrası Yakalama (Post-Combustion Capture)

Biyokütle veya fosil yakıtın yakılması ile üretilen baca gazlarından kirletici emisyonların (SO_x, NO_x vb.) ayrıştırılmasından sonra karbondioksit yakalama gerçekleştirilir. Yanma sonrasında oluşan baca gazları direkt atmosfere salınmadan önce CO₂, büyük oranda ayrıştırılmasının gerçekleştirileceği sistem içerisinden geçirilir. Şekil 7'de görüleceği üzere ilk olarak yakıt bir kazana enjekte edilir. Yakıt, hava ile etkileşime girerek yanma tepkimesi oluşturur. Sonucunda endüstriyel ısıtma veya enerji sektöründe kullanılacak ısı üretilmiş olur. Isının yanında çoğunluğu su, CO₂ ve azottan oluşan bir baca gazı üretilir. Bu baca gazı, kazandan emici kulenin zeminine doğru aktarılır. Kulede yükselen baca gazındaki CO₂, tepeden eklenen çözücü (solvent) ile etkileşime girerek bir çözelti oluşturur ve kulenin dibinden sıyrma kulesine geçer. Kalan baca gazı yukarıdan ayrılır ve atmosfere salınır. Sıyrma kulesindeki çözelti yaklaşık 120°C'ye ısıtılarak CO₂ ve çözücü ayrıştırılır. Daha sonra çözücü, kulenin altından tekrar kullanılmak üzere ayrılırken CO₂ kulenin tepesinden sıkıştırılıp depolanmak üzere tanklara aktarılır.



Şekil 7. Yanma sonrası yakalama yöntemi [13]

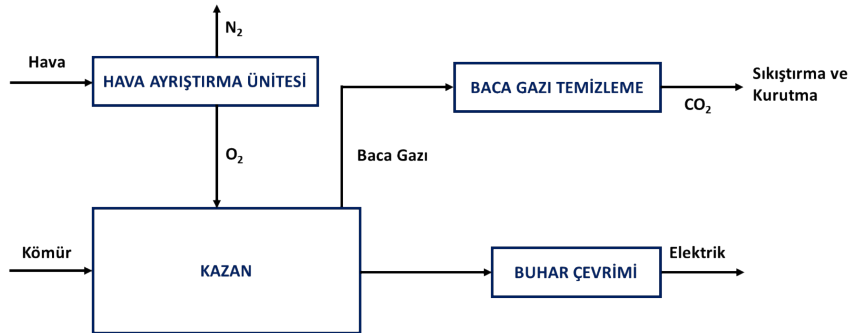
Yanma sonrası CO₂ yakalama için bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar:

- Solvent (çözücü) ile yakalama,
- Sorbent ile yakalama,
- Membran ile yakalama yöntemleridir.

Bu yöntemlerden solvent ile (özellikle monoetanol amin) yakalama; maliyeti ve enerji tüketimi düşük, gelişmiş ve ticarileşmiş bir yöntemdir.

Oksi-Yakıt Yanmada Yakalama (Oxy-Fuel Combustion Capture)

Oksi-yakıt yakalama, yakma işleminin normal hava yerine oksijence zengin hava ya da saf oksijen ile yakılarak baca gazındaki karbondioksit konsantrasyonunun artırılması esasına dayanmaktadır. Bundan dolayı sistemde hava ayrıştırma ünitesi yer almaktadır. Şekil 8'de belirtildiği gibi bu ünite yardımı ile hava içerisinde yüksek miktarda bulunan azot (yaklaşık olarak hacimce %79) ayrıştırılmakta ve yakıt azotun azaltıldığı bir atmosfer ortamında yakılmaktadır. Yakma havası içerisindeki azot ayrıştırıldığından azot oksitler oluşmamakta ve CO₂ açısından zengin baca gazı elde edilmektedir. Baca gazı içerisinde oluşan su buharı sıkıştırılarak ve soğutularak ayrıştırılmaktadır. Bu yöntemin kullanımında düşük miktarda azot içeren baca gazı elde edildiği için CO₂ yakalama teknolojisinde enerji ve yatırım maliyetlerinin önemli derecede düşmesini ve CO₂ yakalama işleminin daha kolay yapılmasını sağlamaktadır.



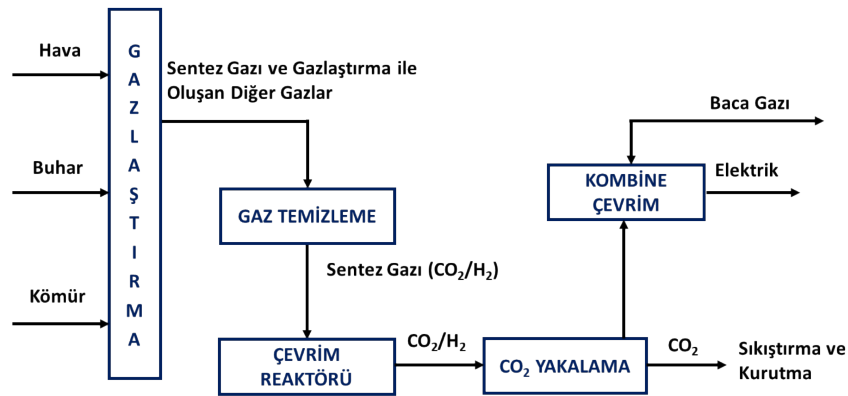
Şekil 8. Oksi-yakıt yanmada yakalama [13]

Bu teknolojiye, diğer teknolojilerden farklı olarak sis ve asit yağmurlarına neden olan NO_x salımı çok daha düşüktür. Ayrıca karbonun yakalanması için yapıya herhangi bir kimyasal eklenmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. CO_2 'nin yaklaşık %100 kadarının tutulmasına imkân sunmaktadır, ancak yüklü miktarda sermaye yatırımı gerektirmektedir. Hava ayrıştırma ünitesi oldukça fazla enerji tüketmektedir ve teknolojinin eski santrallere montajı zor ve maliyetlidir.

Yanma Öncesi Yakalama (Pre-Combustion Capture)

Yanma öncesi yakalama tekniğinde yanma işlemi öncesinde katı yakıt, buhar ve oksijence zengin basınçlı bir ortamda ısıtarak gaz yakıt formuna dönüştürülmektedir. Bu yakıt hidrojen ve karbonmonoksit bileşimli olup sentez gazı (syngas) olarak da adlandırılmaktadır. Bu teknikte karbon, sentez gazı yanmadan önce fiziksel veya kimyasal absorpsiyon yöntemleriyle ayrıştırılmakta ve depolanmaktadır. Kurulum için gerekli yatırımın fazla olması, her tesise uygulanamayışı ve eski santraller ile uyumsuz olması nedeniyle yakma sonrası yakalama yöntemi kadar yaygın değildir.

Uygulama sürecinde ilk olarak hava ayrıştırma ünitesine hava girmekte ve burada oksijen neredeyse saf halde havadan ayrıştırılmaktadır. Daha sonra bu oksijen, Şekil 9'da görüleceği üzere yakıtın da eklendiği gazlaştırıcı tanka aktarılır ve burada çoğunluğu CO_2 , CO, H, H_2O 'dan oluşan bir sentez gazı (syngaz) oluşmaktadır. Bu sentez gazı daha sonra çevrim reaktörüne aktarılır ve burada sisteme buhar eklenerek CO, CO_2 ve H'e dönüştürülmektedir. Daha sonra çevrim reaktöründeki CO_2 kimyasal emilim ile hidrojenlerden ayrıştırılmakta ve depolanmaktadır. Ayrıştırılmış hidrojenler de gaz türbinlerinde elektrik üretimi veya saf hidrojen ihtiyacı duyan kimyasal süreçlerde kullanılmaktadır. Bu yöntem ile üretilen CO_2 'nin yaklaşık %90'ı yakalanabilmektedir. Kurulum maliyetinin azaltılabilmesi için çevrim reaktörü sistemden çıkarılabilir; ancak bu yakalama verimliliğinde %18-30 düşüşe neden olur. Kullanılacağı tesise bağlı olarak enerji üretim verimliliğinde %20'ye kadar kayıp gözlenebilmektedir. Kurulumun tesisin kurulumuyla beraber yapılması gerekmektedir, sonradan montajı yapılamamaktadır.



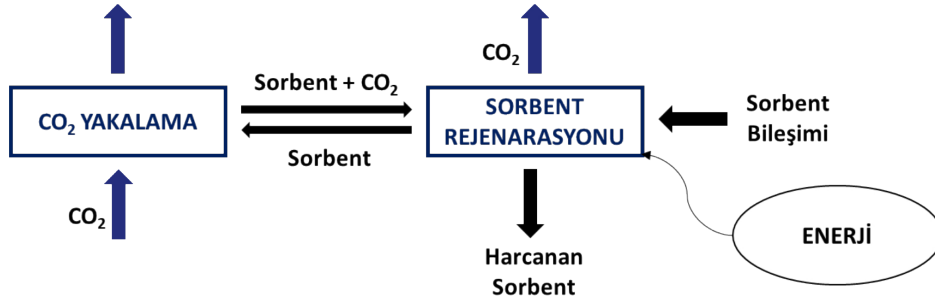
Şekil 9. Yanma öncesi yakalama yöntemi [13]

CO₂ Yakalama Teknolojileri

CO₂ yakalama sistemleri yakma sistemlerinden elde edilen yanma gazlarının ayrıştırılmasında bilinen teknolojileri kullanmaktadırlar. Ayrıştırma yöntemleri aşağıda belirtilmektedir:

Sorbent/solvent ile ayrıştırma:

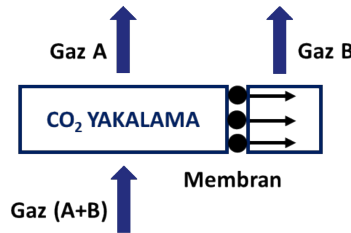
CO₂ içeren gaz likit absorbent veya katı sorbent ile temas ettirilerek ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Karbon yakalama kapasitesi olan sistem karbonu yakalayıp diğer gazların geçmesine izin vermektedir. Sorbent malzeme yardımı ile yakalanan CO₂ ısıtma ile, basınç yardımı ile veya sorbent malzeme üzerindeki koşulların değiştirilmesi ile salınacağı (rejenerasyon) başka bir üniteye aktarılmaktadır. Rejenerasyon sonrasında içerisinden CO₂ ayrıştırılmış olan sorbent malzeme tekrar sistem içerisine alınarak CO₂ işlemi için yeniden kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sorbent malzemenin katı madde olması nedeni ile farklı bölümlere taşınmadığı sistemler de bulunmaktadır. Bu sistemlerde basınç ve sıcaklık değişimleri ile CO₂ sorbent sisteminden ayrıştırılmaktadır. Absorplama işlemi gerçekleştiren sorbent veya solventlerin belli bir yakalama kapasiteleri ve kullanım ömürleri bulunmaktadır. Kullanım ömrü tamamlandığı zaman malzemenin değiştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 10. Sorbent/solvent ile ayrıştırma [10]

Membranlar ile ayrıştırma:

Membran sistemler, yayılan gazın ayrıştırılması amacı ile üretilen malzemelerdir. Membran sistemlerde kullanılan materyalin türüne bağlı olarak farklı gazlar ayrıştırılmaktadır. Membran sistemde ayrıştırma işlemi sırasında gaz akımına sürekli olarak basınç farklılığı uygulanmaktadır. Bundan dolayı membran ayrıştırma işlemleri için yüksek basınç akımları kullanılmaktadır. CO₂ yakalama sistemlerinde polimerik, metalik, seramik gibi farklı membranlar kullanılabilmektedir.

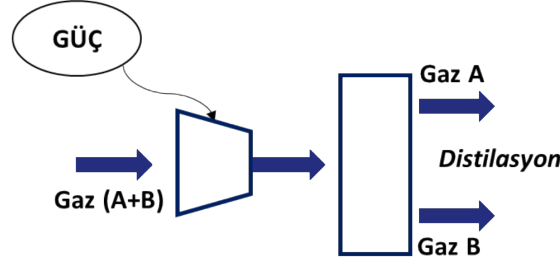


Şekil 11. Membran ile ayrıştırma [10]

Sıvılaştırılmış bir gaz akımının damıtılması ve soğutulmuş olarak ayrıştırılması:

Bu ayrıştırma sisteminde, ayrımı gerçekleştirilecek olan gaz bileşeni sıkıştırma, soğutma ve genleşme aşamaları ile sıvı hale getirilmekte; akışkan formda bulunan gaz karışımındaki gazlar bir damıtma sütunu kullanılarak ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir [10].

Yakalanan CO₂ farklı üretim alanlarında kullanılabilir veya uygun depolama sahalarında depolanarak saklanabilmektedir.



Şekil 12. Krojenik distilasyonla ayrıştırma [10]

CO₂ KULLANIM ALANLARI

Yıllık küresel CO₂ tüketimi 230 Mt civarındadır. 125 Mt tüketen gübre endüstrisi ve yılda yaklaşık 70 ila 80 Mt tüketen petrol ve gaz endüstrileri en büyük kullanıcılarıdır. Açıkçası, CO₂ için mevcut piyasa talebi CCUS yoluyla artacak CO₂ kapasitesini karşılamaktan çok uzak görünmektedir. Bu nedenle özellikle enerji endüstrisi CO₂ kullanımı ve kalıcı depolama seçeneklerini genişletmenin yollarını araştırmaktadır. CO₂'nin açık denizdeki tükenmiş rezervuarlara enjekte edilmesi artan bir ilgi görmektedir. Karada ve özellikle açık denizde kullanım veya depolama için CO₂ taşımacılığı, küresel CO₂ azaltımı için kritik bir rol oynamaya devam edecektir [3].

CO ₂ Kullanım Alanları	Kategori
Gıda	Kimyasal
Kimyasallar	
Plastikler	
Gelişmiş yakıt geri kazanımı	
Gübre	
Soğutucular	
Yangın süspansiyonu	
İnertleştirici maddeler	Mineralizasyon
Mineral karbonizasyon	
Yapı malzemeleri (CO ₂ ile kütleme)	Biyolojik
Biyolojik dönüşüm	

CO₂ DEPOLAMA ALANLARI VE ŞEKİLLER

CO₂ için en verimli taşıma yöntemi, kendine özgü zorlukları ve faktörleri olan boru hattıdır. Petrokimya endüstrisi için geleneksel taşıma yöntemlerinde olduğu gibi, gemilerden yükleme ve boşaltma için terminallere bağlanan boru hatları ile CO₂ için hibrit bir boru hattı-gemi sisteminin ortaya çıkması muhtemeldir. Karada tutulan CO₂'nin taşınması ve gemide tutulan karbondioksitin boşaltılması, limanlarda önemli altyapı yatırımları gerektirmektedir [3].

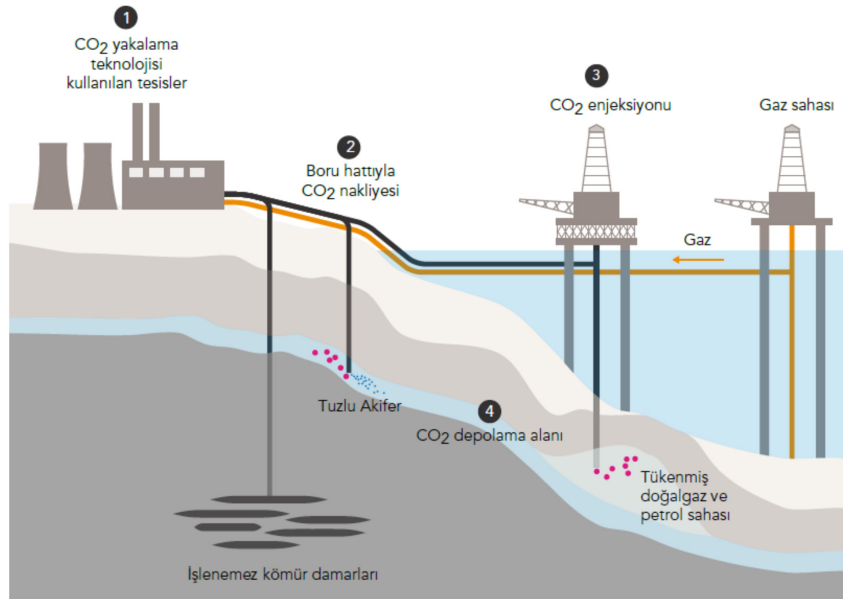
Yakalanan CO₂'nin jeolojik bir formasyona enjeksiyon için bir depolama alanına taşınması gerekmektedir. Büyük miktarlarda CO₂'nin taşınmasının iki yolu vardır [9]:

- Boru hattı taşımacılığı için CO₂'nin yoğun faza (> 74 bar) sıkıştırılması
- Gemi, kamyon veya diğer araçlarla nakliye için CO₂'nin sıvı faza soğutulması

Yakalanan CO₂ genellikle su içerir. Boru hatlarını ve diğer ekipmanları aşındırabilecek CO₂ ve su oluşturan asitleri önlemek için su, taşımadan önce sistemden çıkarılmalıdır. Dehidrasyon tipik olarak sıkıştırma veya soğutma ile birlikte yapılmaktadır [9].

CO₂'nin önde gelen depolama yöntemleri aşağıda belirtilmiştir:

- Petrol kuyularında üretim verimini artırma (Bu yöntem Türkiye de dahil uzun yıllardır petrol üretiminde uygulanmaktadır.)
- Doğalgaz kuyularında üretim verimini artırma
- Tükenmiş petrol ve doğalgaz kuyuları
- Tuz oluşumlarına depolama
- Kömür yataklarında metan çıkışının artırılması
- Okyanus tabanına depolama
- Derin tuzlu akiferler



Şekil 13. Karbonun depolanması [14]

KAYNAKLAR

1. Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF) https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/iklim_degisikligi_ve_enerji/iklim_degisikligi/
2. Türkiye'nin Karbonsuzlaşma Yol Haritası 2050'de Net Sıfır. İPM-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi. 2021. <https://ipc.sabanciuniv.edu/Content/Images/CKeditorImages/20211026-23103436.pdf>
3. Carbon Capture, Utilization and Storage. ABS. 2021. <https://absinfo.eagle.org/acton/media/16130/carbon-capture-whitepaper>
4. Technology Roadmap—Low-Carbon Transition in the Cement Industry. International Energy Agency. Paris, France, 2018
5. Andrew, R.M. Global CO2 Emissions from Cement Production, 1928–2018. *Earth Syst. Sci. Data* 2019, 11, 1675–1710
6. Lehne, J., and Preston, F., 2018, Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete, The Royal Institute of International Affairs
7. Aamar Danish, M.; Usama Salim, T.A. Trends and Developments in Green Cement “A Sustainable Approach”. *Sustain. Struct. Mater.* 2019, 2, 45–60
8. Cementing the European Green Deal. Cembureau. 2020. https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap_final-version_web.pdf
9. Technology Readiness and Costs of CCS. Global CCS Institute. 2021. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/technology-readiness-and-costs-of-ccs/>
10. Carbon Dioxide Capture and Storage, Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change, B. Metz, O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos, L. Meyer, Cambridge University Press, 2005.
11. Carbon Dioxide Capture in Cement Industry, IEA Grenhouse Gas R&D Programme, Technical Report, 2008.
12. Technology Scouting—Carbon Capture: From Today's to Novel Technologie. *Concawe Review*. 2021. Vol:29. No:2
13. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı http://www.yegm.gov.tr/teknoloji/ccs_teknolojileri.aspx
14. Carbon Dioxide Capture and Storage: A Route to Net Zero for Power and Industry. The Royal Society. 2021. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/climate-change-science-solutions/climate-science-solutions-ccs.pdf>



TÜRKCİMENTO

Tepe Prime A Blok Kat: 18-19
Eskişehir Devlet Yolu
(Dumlupınar Bulvarı) 9. km
No: 266 06800 Ankara
T : 444 50 57 - F : 0 (312) 265 09 06-05
www.turkcimento.org.tr - info@turkcimento.org.tr

     /turkcimento