

# Karbon Yakalama, Depolama ve Yararlanma

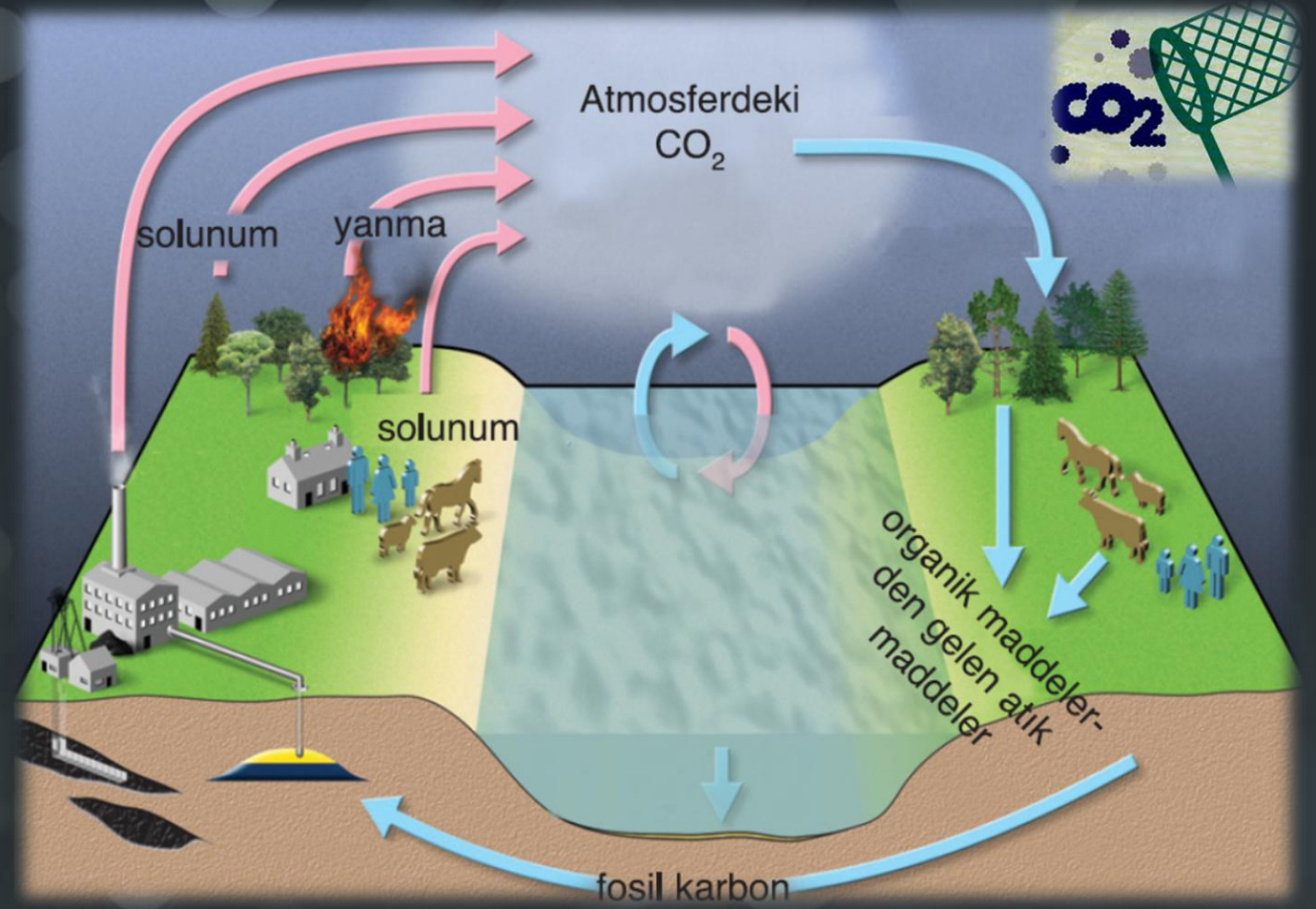


EMRAH TAŞPINAR 2024900397

MAK. MÜH. ENERJİ A.B.D. DOKTORA

# Karbon Yakalama Nedir ?

- Bilindiği üzere bütün fosil yakıtlar karbon içerir ve yanma sırasında oksijenle birleşerek büyük oranda CO<sub>2</sub> gazını oluşturur.
- Karbonun yanma işleminden önce veya sonra ayırmak CO<sub>2</sub> gazının atmosfere yayılımını önler.
- Bunun sonucunda gaz yeraltına depolanır.
- Yakalama ve depolama CO<sub>2</sub> gazını ayırma işlemleriyle başlar ve atmosferden ya da egzoz gazlarından bu gazı ayıklamak için kimyasal reaksiyonlardan faydalanır.



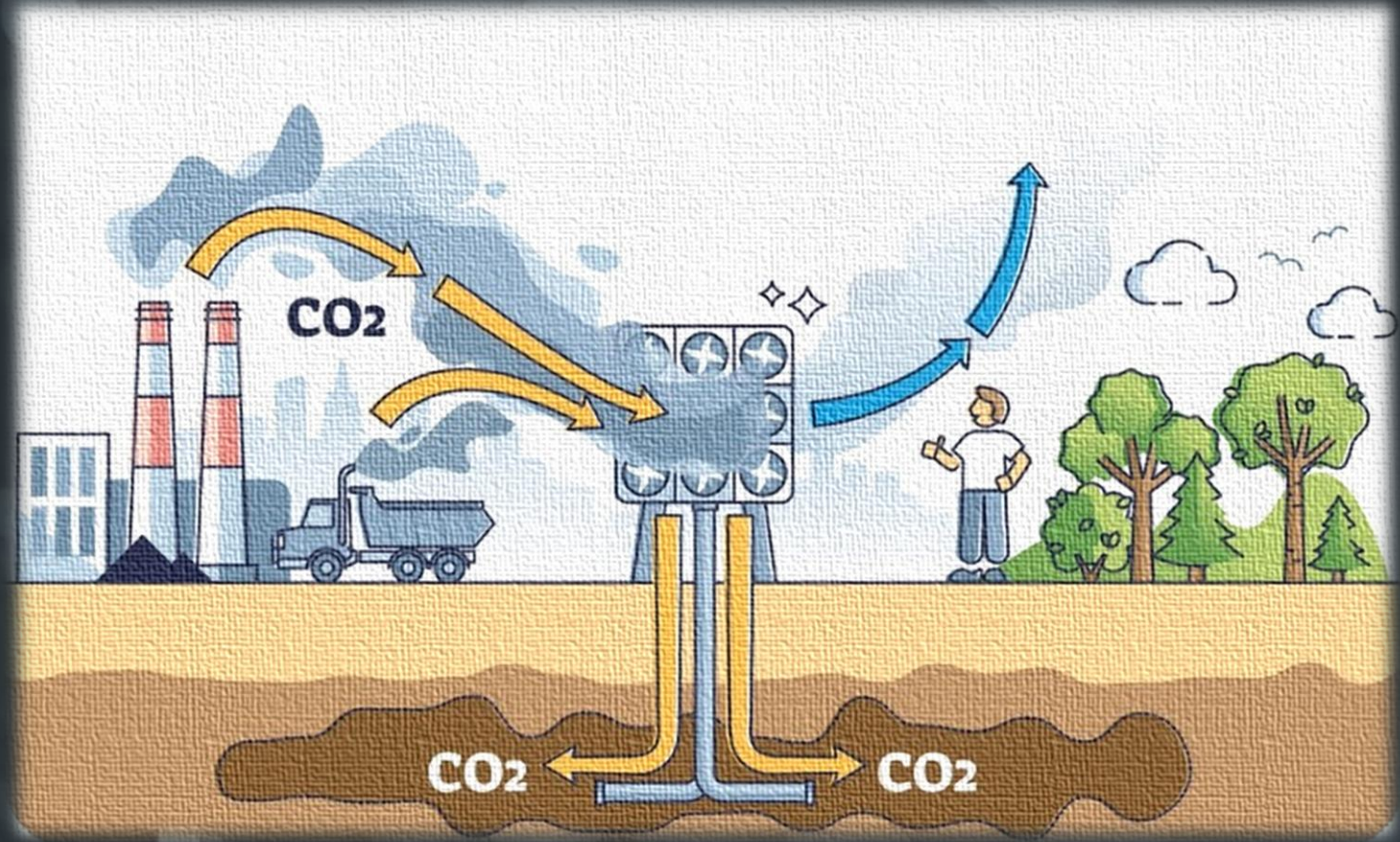
# Karbon Yakalama Nedir ?

- Bilindiği üzere bütün fosil yakıtlar karbon içerir ve yanma sırasında oksijenle birleşerek büyük oranda CO<sub>2</sub> gazını oluşturur.
- Karbonun yanma işleminden önce veya sonra ayırmak CO<sub>2</sub> gazının atmosfere yayılımını önler.
- Bunun sonucunda gaz yeraltına depolanır.
- Yakalama ve depolama her zaman CO<sub>2</sub> gazını ayırma işlemleriyle başlar ve atmosferden ya da egzoz gazlarından bu gazı ayıklamak için kimyasal reaksiyonlardan faydalanır



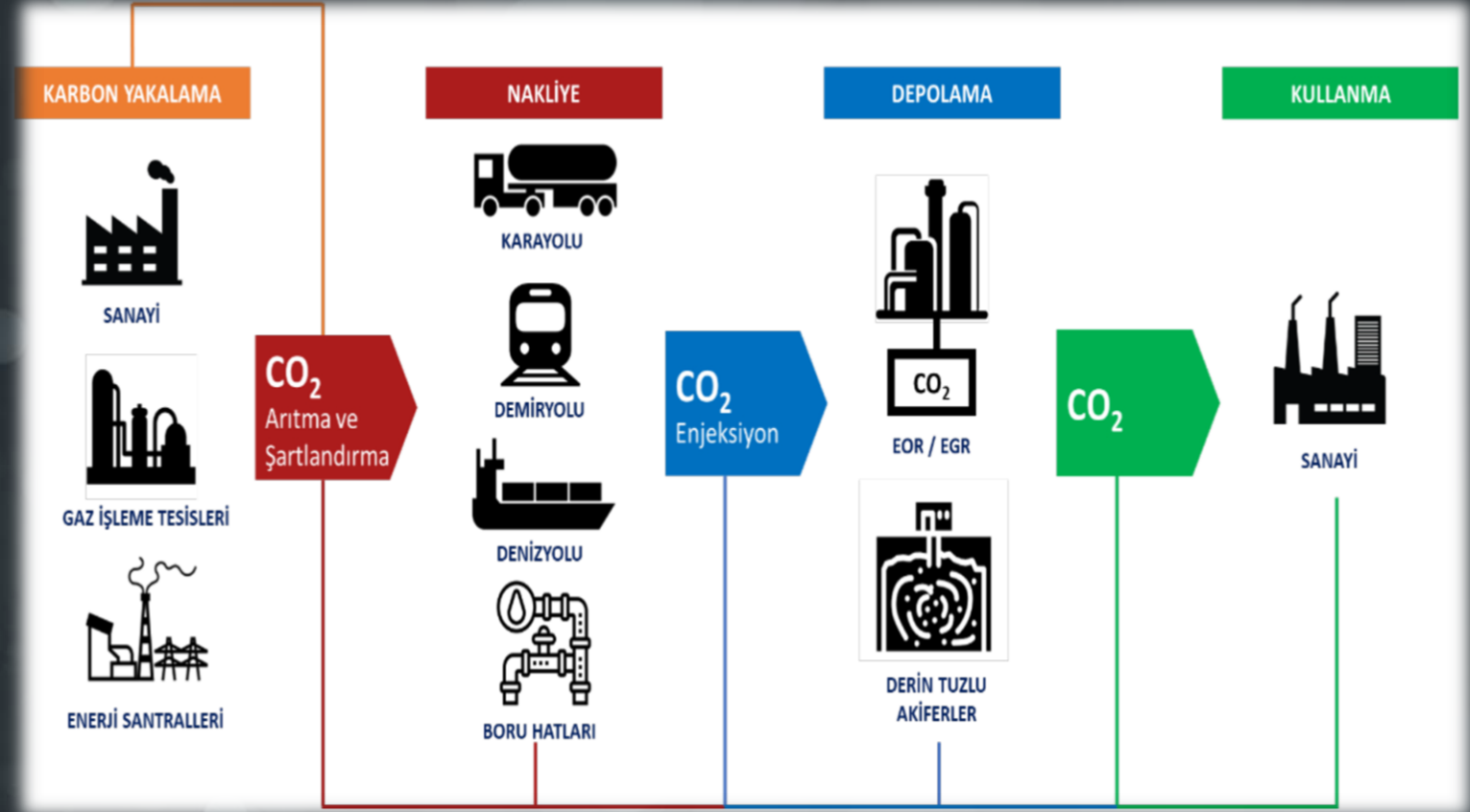
# Karbon Yakalama Nedir ?

- Bilindiği üzere bütün fosil yakıtlar karbon içerir ve yanma sırasında oksijenle birleşerek büyük oranda CO<sub>2</sub> gazını oluşturur.
- Karbonun yanma işleminden önce veya sonra ayırmak CO<sub>2</sub> gazının atmosfere yayılımını önler.
- Bunun sonucunda gaz yeraltına depolanır.
- Yakalama ve depolama her zaman CO<sub>2</sub> gazını ayırma işlemleriyle başlar ve atmosferden ya da egzoz gazlarından bu gazı ayıklamak için kimyasal reaksiyonlardan faydalanır

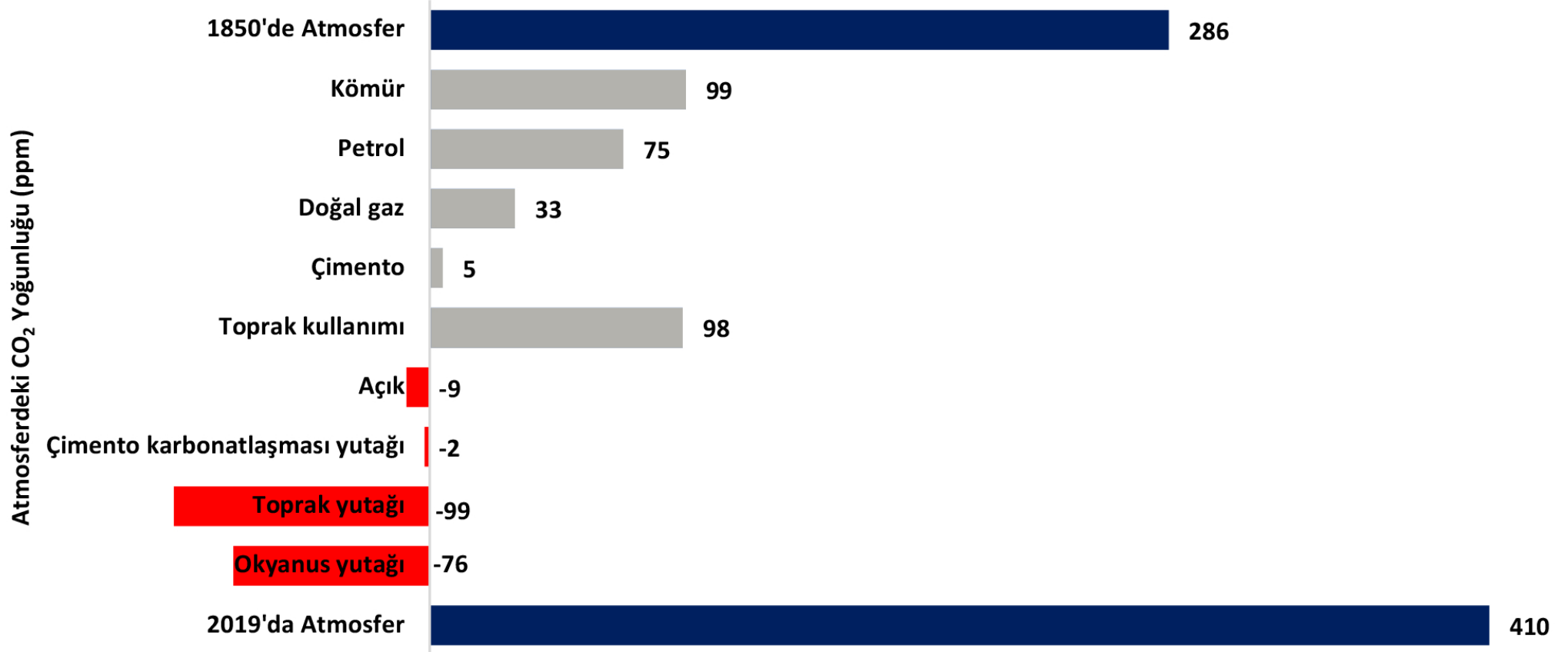


# Karbon Yakalama Nedir ?

- Bilindiği üzere bütün fosil yakıtlar karbon içerir ve yanma sırasında oksijenle birleşerek büyük oranda CO<sub>2</sub> gazını oluşturur.
- Karbonun yanma işleminden önce veya sonra ayırmak CO<sub>2</sub> gazının atmosfere yayılımını önler.
- Bunun sonucunda gaz yeraltına depolanır.
- Yakalama ve depolama her zaman CO<sub>2</sub> gazını ayırma işlemleriyle başlar ve atmosferden ya da egzoz gazlarından bu gazı ayıklamak için kimyasal reaksiyonlardan faydalanır

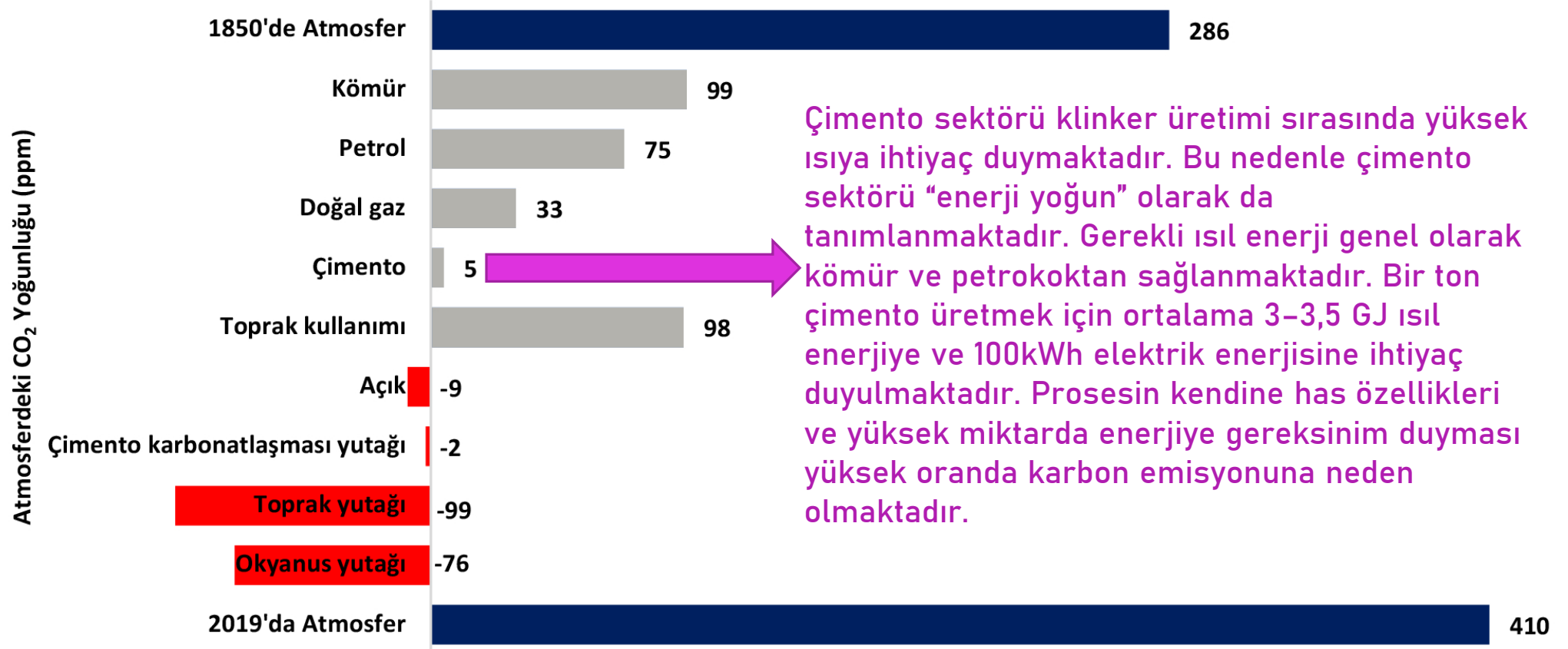


## Sanayi devriminden bu yana atmosferde biriken karbondioksitin kaynakları ve yutakları

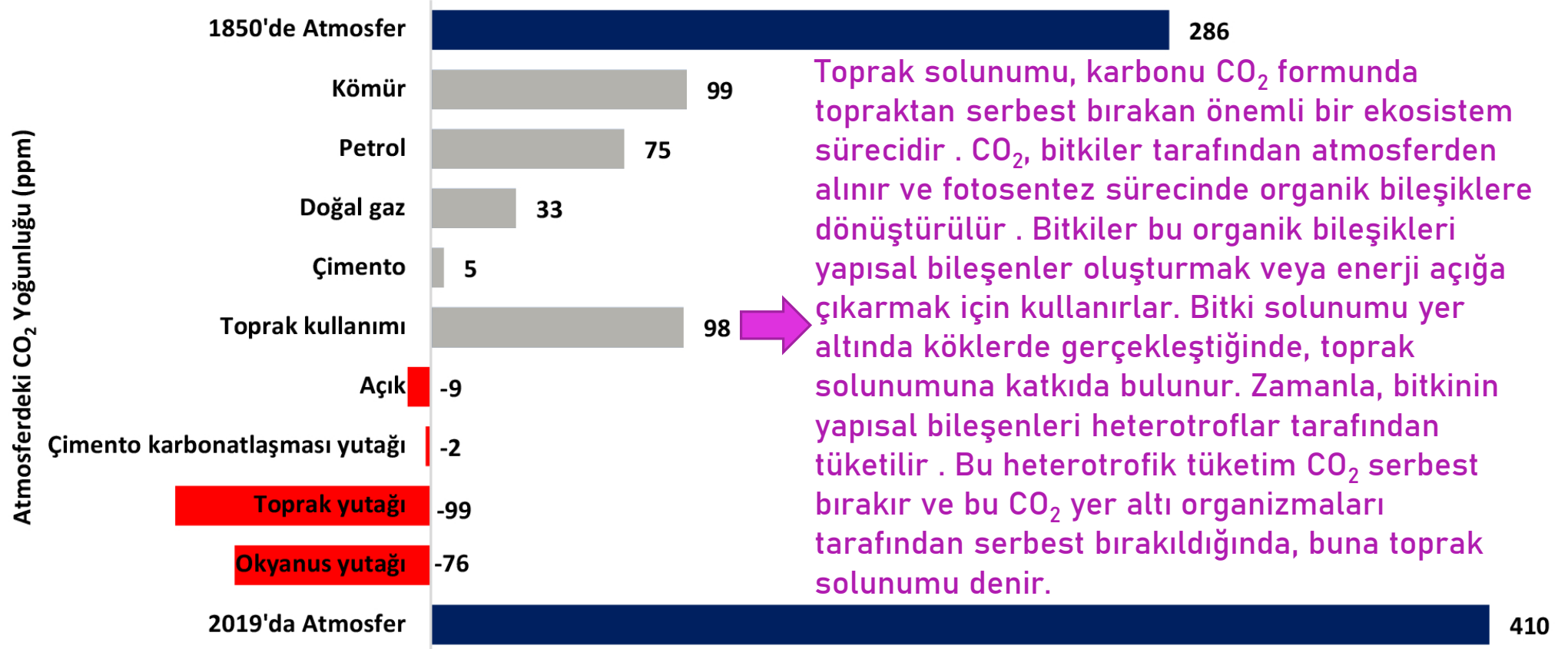


1750'li yıllarda başlayan sanayi devrimi ile sera gazlarının atmosferdeki oranı artmaya başlamıştır. Şekil'de belirtildiği gibi atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranı 1850'li yıllardan günümüze kadar yaklaşık olarak %43'lük bir artışla 286 ppm'den 410 ppm'e yükselmiştir

## Sanayi devriminden bu yana atmosferde biriken karbondioksitin kaynakları ve yutakları



## Sanayi devriminden bu yana atmosferde biriken karbondioksitin kaynakları ve yutakları



# 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 CO<sub>2</sub> yakalayabilmekte ve depolayabilmektedir. Genel operasyonel CO<sub>2</sub> yakalama kapasitesi 2010'dan bu yana istikrarlı bir şekilde artmasına rağmen, karbon yakalamadaki faaliyet düzeyi 2011'den sonra azalmıştır.

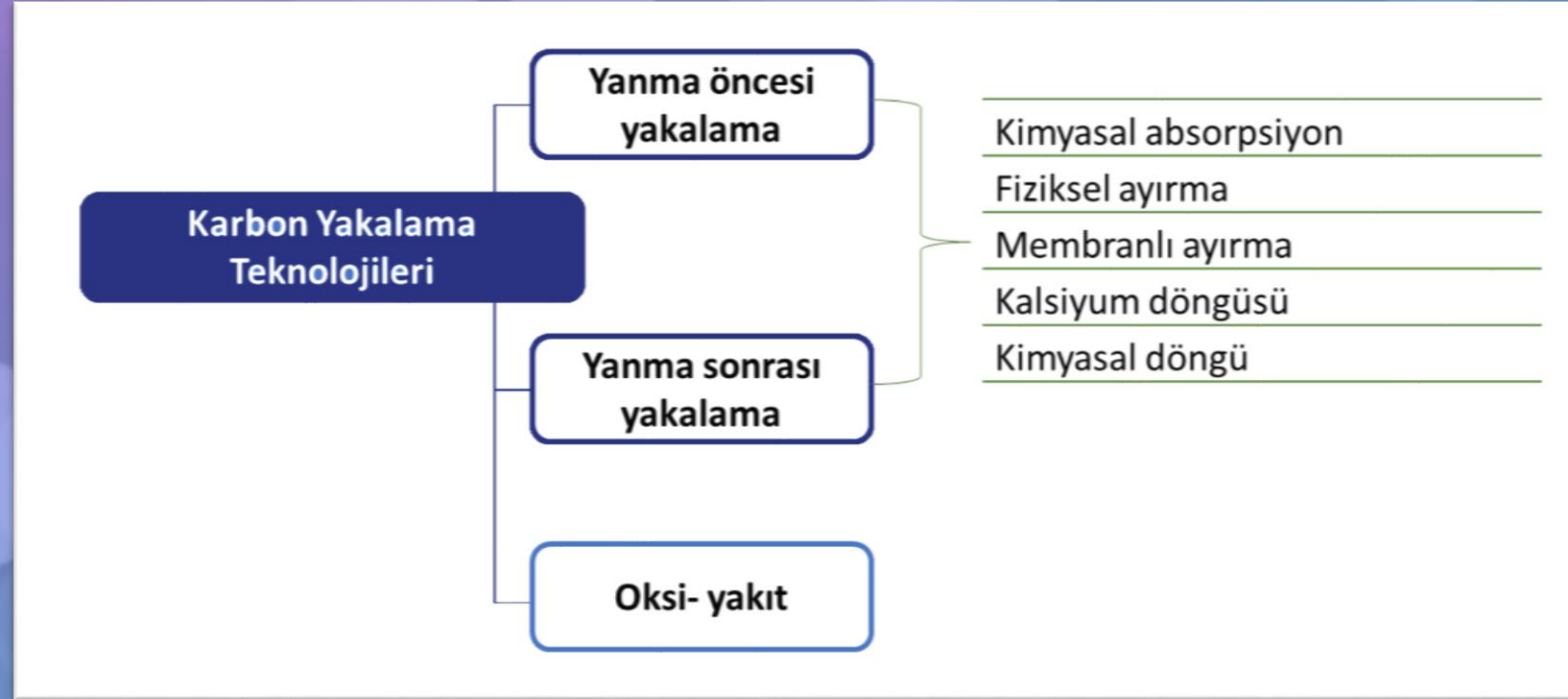


Bununla birlikte, 2015 Paris Anlaşması ile birlikte birçok hükümet daha güçlü iklim politikaları oluşturmuş ve özel sektöre daha fazla baskı uygulamaya başlamıştır. 2017 yılından bu yana 30'dan fazla yeni entegre tesis duyurulmuştur. Sonuç olarak, açıklanan tüm projelerin tam olarak faaliyete geçmesi durumunda, toplam küresel CO<sub>2</sub> yakalama kapasitesi yılda yaklaşık 130 Mt'a yükselecektir.

# Karbon Yakalama Sistemleri

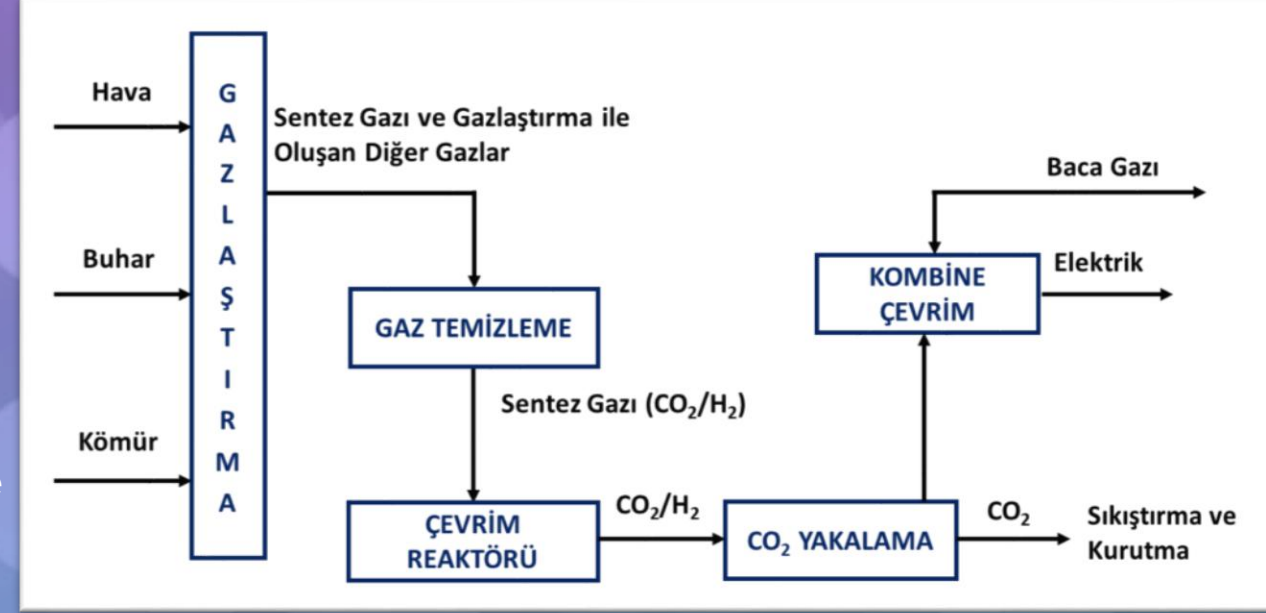
Karbon yakalama sistemleri incelendiğinde bunların üç ana başlık altında toplandığı görülmektedir

- Yanma Öncesi Yakalama
- Yanma Sonrası Yakalama
- Oksi-Yakıt Yanmada Yakalama



# Yanma Öncesi Yakalama

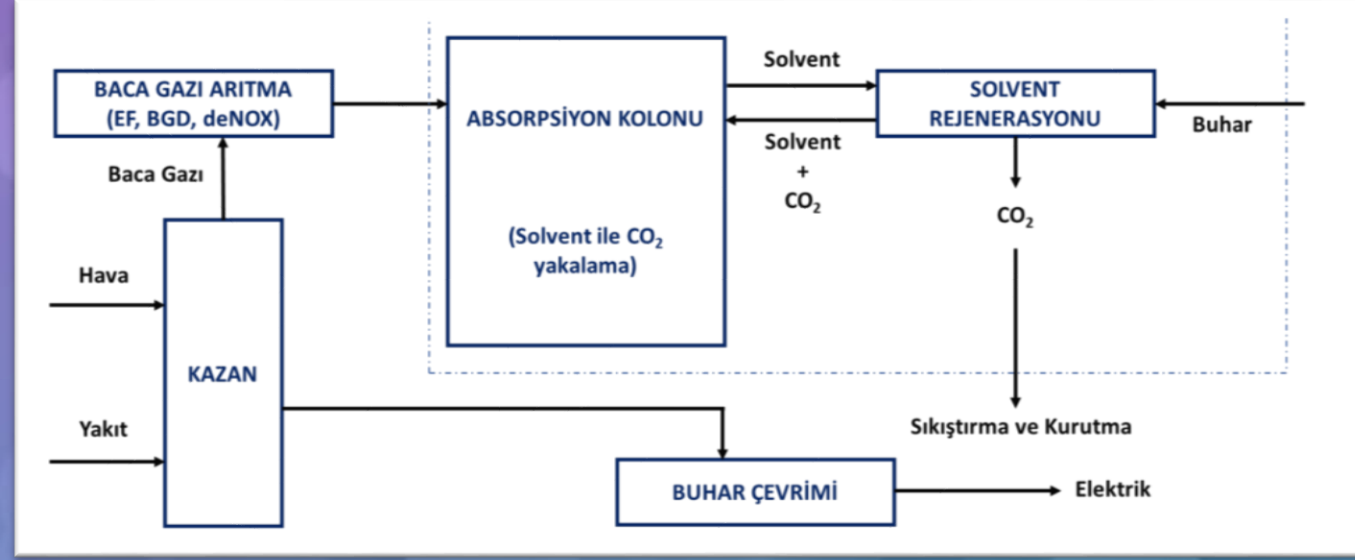
Uygulama sürecinde ilk olarak hava ayrıştırma ünitesine hava girmekte ve burada oksijen neredeyse saf halde havadan ayrıştırılmaktadır. Daha sonra bu oksijen, şekilde görüleceği üzere yakıtın da eklendiği gazlaştırıcı tanka aktarılır ve burada çoğunluğu  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ 'dan oluşan bir sentez gazı (syngaz) oluşmaktadır. Bu sentez gazı daha sonra çevrim reaktörüne aktarılır ve burada sisteme buhar eklenerek  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}$ 'e dönüştürülmektedir. Daha sonra çevrim reaktöründeki  $\text{CO}_2$  kimyasal emilim ile hidrojenden ayrıştırılmakta ve depolanmaktadır.



Ayrıştırılmış hidrojenler de gaz türbinlerinde elektrik üretimi veya saf hidrojen ihtiyacı duyan kimyasal süreçlerde kullanılmaktadır. Bu yöntem ile üretilen  $\text{CO}_2$ '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.

# Yanma Sonrası Yakalama

Biyokütle veya fosil yakıtın yakılması ile üretilen baca gazlarından kirletici emisyonların ( $SO_x$ ,  $NO_x$  vb.) ayrıştırılmasından sonra  $CO_2$  yakalama gerçekleştirilir. Yanma sonrasında oluşan baca gazları direkt atmosfere salınmadan önce  $CO_2$ , büyük oranda ayrıştırılmasının gerçekleştirileceği sistem içerisinden geçirilir. Şekilde 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,  $CO_2$  ve azottan oluşan bir baca gazı üretilir. Bu baca gazı, kazandan emici kulenin zeminine doğru aktarılır. Kulede yükselen baca gazındaki  $CO_2$ , 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  $120^{\circ}C$ 'ye ısıtılarak  $CO_2$  ve çözücü ayrıştırılır. Daha sonra çözücü, kulenin altından tekrar kullanılmak üzere ayrılırken  $CO_2$  kulenin tepesinden sıkıştırılıp depolanmak üzere tanklara aktarılır.

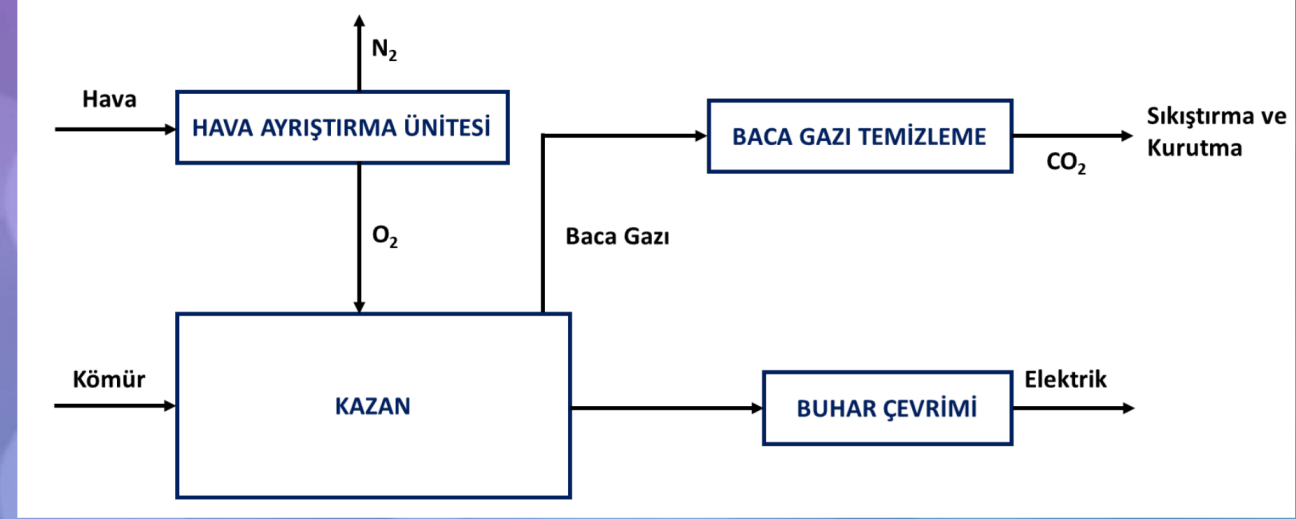
# Oksi-Yakıt Yanmada Yakalama

Oksi-yakıt yakalama, yakma işleminin normal hava yerine oksijence zengin hava ya da saf oksijen ile yakılarak baca gazındaki  $\text{CO}_2$  konsantrasyonunun artırılması esasına dayanmaktadır.

Bundan dolayı sistemde hava ayrıştırma ünitesi yer almaktadır. Şekilde 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  yakalama teknolojisinde enerji ve yatırım maliyetlerinin önemli derecede düşmesini ve  $\text{CO}_2$  yakalama işleminin daha kolay yapılmasını sağlamaktadır.

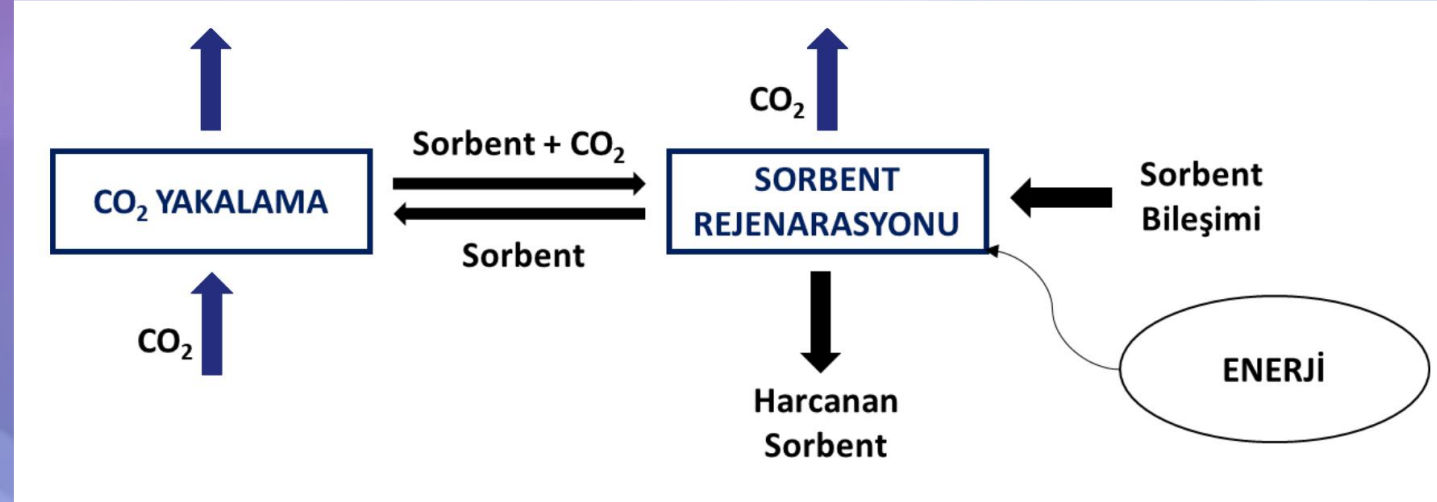


# CO<sub>2</sub> Yakalama Teknolojileri

## Sorbent/solvent ile ayrıştırma:

CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> ısıtma ile, basınç yardımı ile veya sorbent malzeme üzerindeki koşulların değiştirilmesi ile salınacağı (rejenerasyon) başka bir üniteye aktarılmaktadır.

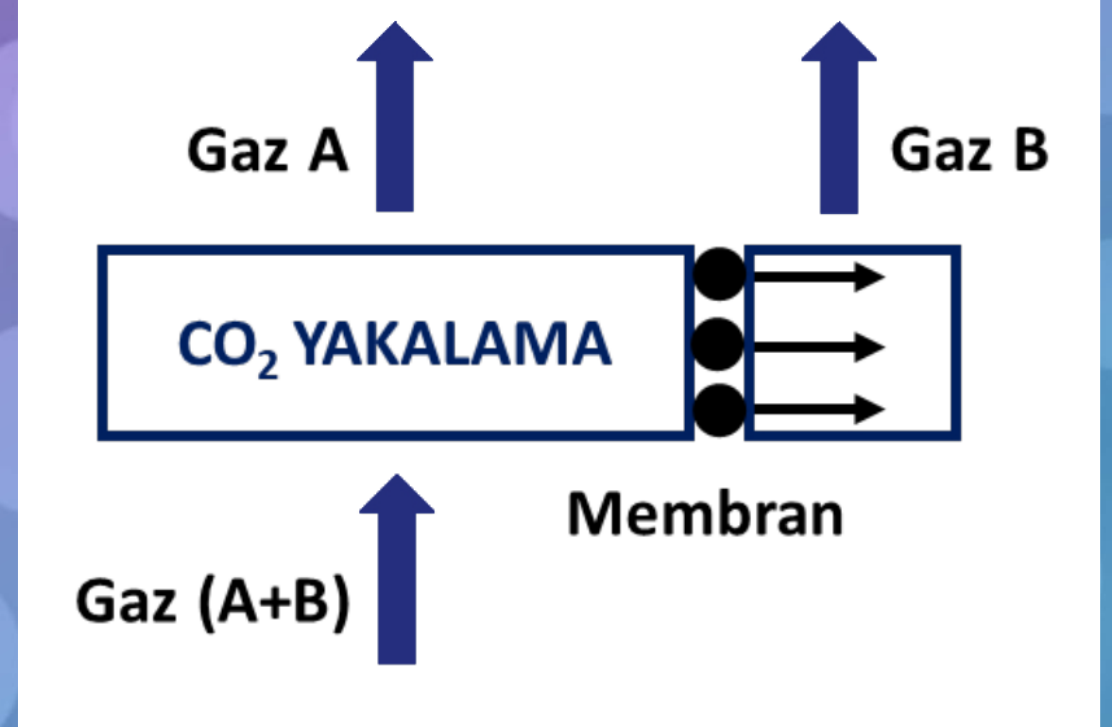
Rejenerasyon sonrasında içerisinde CO<sub>2</sub> ayrıştırılmış olan sorbent malzeme tekrar sistem içerisine alınarak CO<sub>2</sub> işlemi için yeniden kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sorbent malzemenin katı madde olması nedeni ile farklı bölümlere taşınmadığı sistemler de bulunmaktadır. Bu sistemlerde basınç ve sıcaklık değişimleri ile CO<sub>2</sub> sorbent sisteminden ayrıştırılmaktadır.



# CO2 Yakalama Teknolojileri

## 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. CO<sub>2</sub> yakalama sistemlerinde polimerik, metalik, seramik gibi farklı membranlar kullanılabilmektedir.

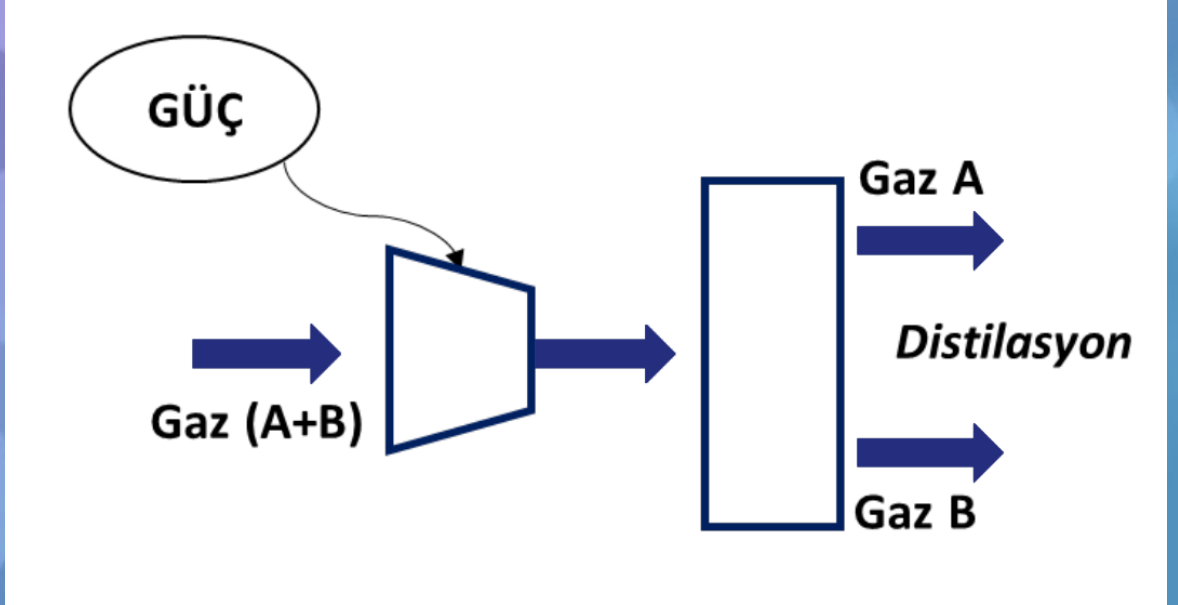


# CO<sub>2</sub> Yakalama Teknolojileri

## Sıvılaştırılmış bir gaz akımının damıtılması ve soğutularak 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.

Yakalanan CO<sub>2</sub> farklı üretim alanlarında kullanılabilir veya uygun depolama sahalarında depolanarak saklanabilir.



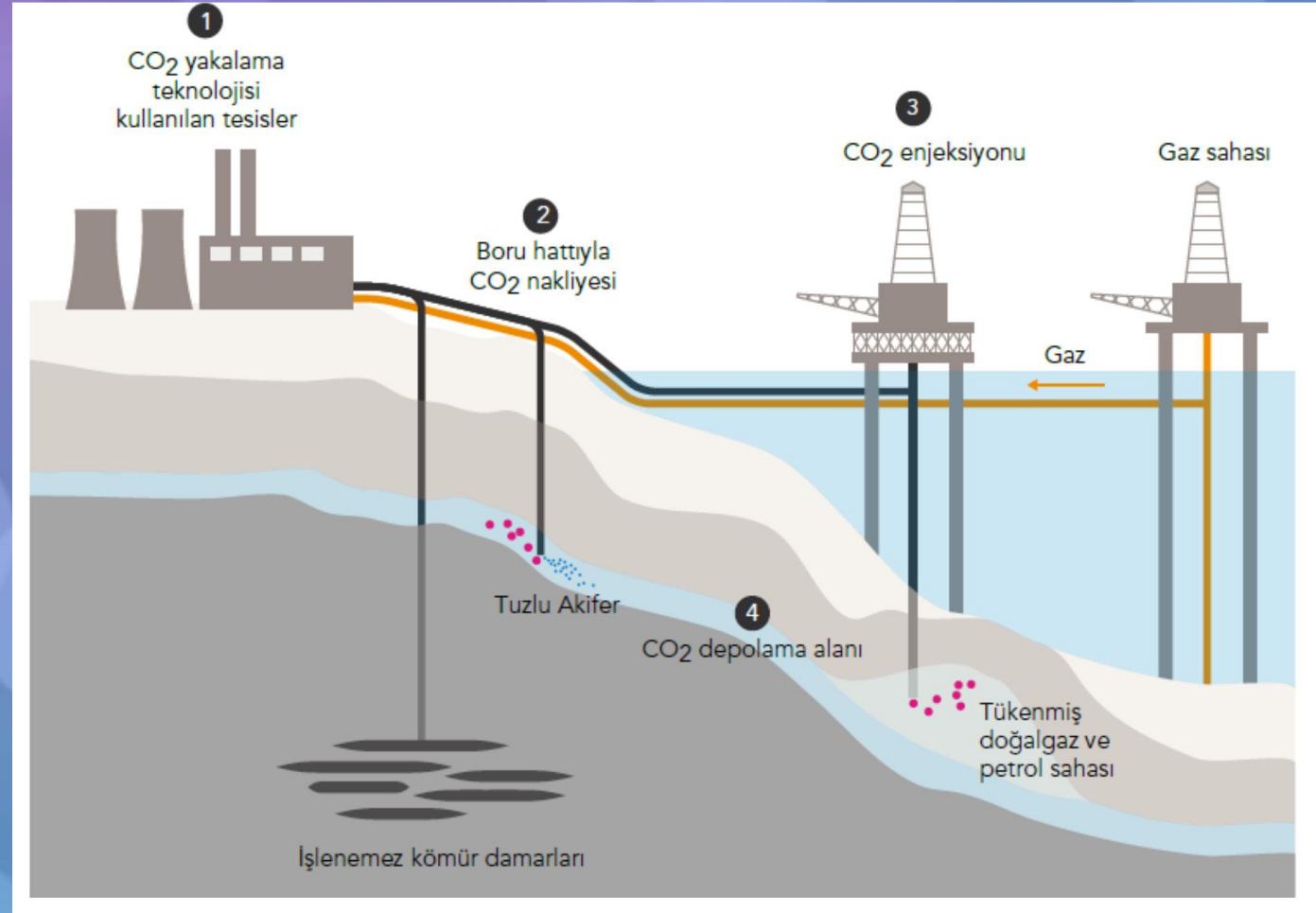
# CO<sub>2</sub> Kullanım Alanları

Yıllık küresel CO<sub>2</sub> 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, CO<sub>2</sub> için mevcut piyasa talebi CCUS yoluyla artacak CO<sub>2</sub> kapasitesini karşılamaktan çok uzak görünmektedir. Bu nedenle özellikle enerji endüstrisi CO<sub>2</sub> kullanımı ve kalıcı depolama seçeneklerini genişletmenin yollarını araştırmaktadır. CO<sub>2</sub>'nin açık denizdeki tükenmiş rezervuarlara enjekte edilmesi artan bir ilgi görmektedir. Karada ve özellikle açık denizde kullanım veya depolama için CO<sub>2</sub> taşımacılığı, küresel CO<sub>2</sub> azaltımı için kritik bir rol oynamaya devam edecektir.

| CO <sub>2</sub> Kullanım Alanları               | Kategori       |
|-------------------------------------------------|----------------|
| Gıda                                            | Kimyasal       |
| Kimyasallar                                     |                |
| Plastikler                                      |                |
| Gelişmiş yakıt geri kazanımı                    |                |
| Gübre                                           |                |
| Soğutucular                                     |                |
| Yangın süspansiyonu                             |                |
| Inertleştirici maddeler                         |                |
| Mineral karbonizasyon                           | Mineralizasyon |
| Yapı malzemeleri (CO <sub>2</sub> ile kürlenme) |                |
| Biyolojik dönüşüm                               | Biyolojik      |

# CO<sub>2</sub> Depolama Alanları Ve Şekiller

CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> için hibrit bir boru hattı-gemi sisteminin ortaya çıkması muhtemeldir. Karada tutulan CO<sub>2</sub>'nin taşınması ve gemide tutulan karbondioksitin boşaltılması, limanlarda önemli altyapı yatırımları gerektirmektedir. Yakalanan CO<sub>2</sub>'nin jeolojik bir formasyona enjeksiyon için bir depolama alanına taşınması gerekmektedir. Büyük miktarlarda

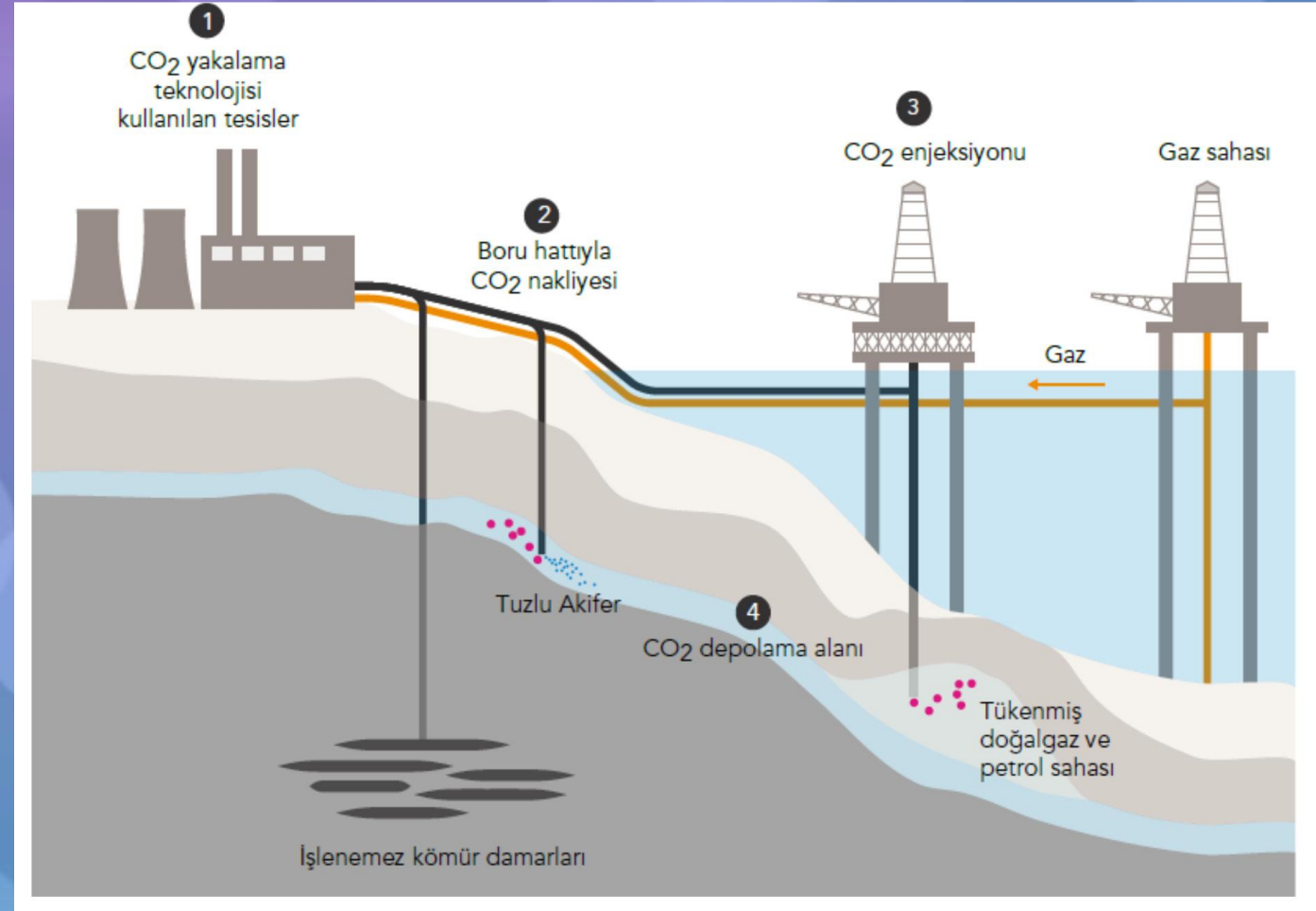


# CO<sub>2</sub> Depolama Alanları Ve Şekiller

CO<sub>2</sub>'nin taşınmasının iki yolu vardır :

- Boru hattı taşımacılığı için CO<sub>2</sub>'nin yoğun faza (> 74 bar) sıkıştırılması
- Gemi, kamyon veya diğer araçlarla nakliye için CO<sub>2</sub>'nin sıvı faza soğutulması

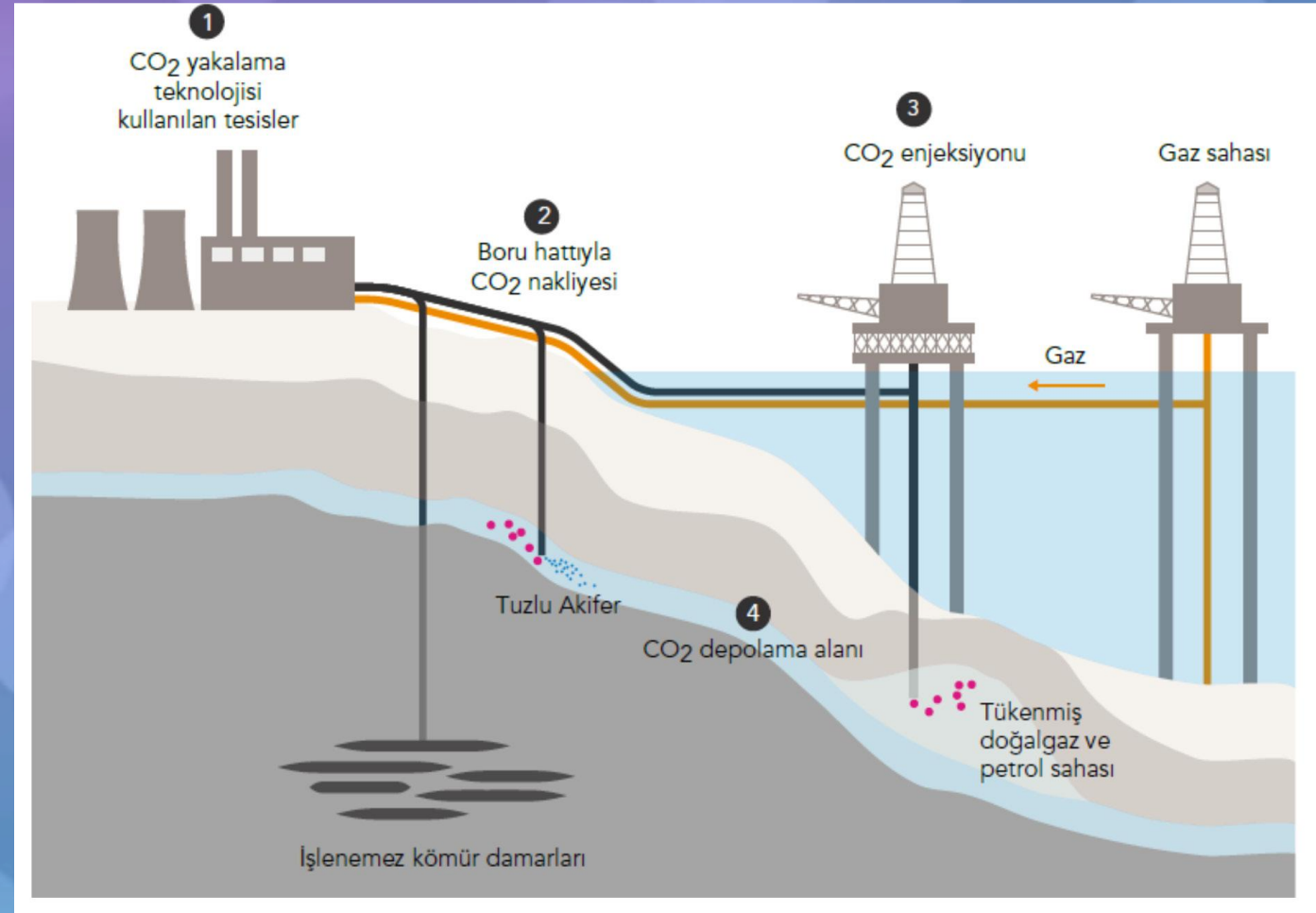
Yakalanan CO<sub>2</sub> genellikle su içerir. Boru hatlarını ve diğer ekipmanları aşındırabilecek CO<sub>2</sub> ve su oluşturan asitleri önlemek için su, taşımadan önce sistemden çıkarılmalıdır. Dehidrasyon tipik olarak sıkıştırma veya soğutma ile birlikte yapılmaktadır.



# CO<sub>2</sub> Depolama Alanları Ve Şekiller

CO<sub>2</sub>'nin önde gelen depolama yöntemleri aşağıda belirtilmiştir:

- Petrol kuyularında üretim verimini artırma
- Doğalgaz kuyularında üretim verimini artırma
- Tükenmiş petrol ve doğalgaz kuyuları
- Tuz oluşumlarına depolama
- Kömür yataklarında metan çıkışının artırılması
- Okyanus tabanına depolama
- Derin tuzlu akiferler



# Teşekkürler

taspinaremrah88@gmail.com

