

# Kimya Endüstrisinin Karbon Yakalama ve Depolamaya (CCS) erişimi

Karbon Yakalama ve Depolama (CCS), AB iklim hedeflerine katkıda bulunarak kısa vadede CO<sub>2</sub> endüstriyel emisyonlarını önemli ölçüde azaltmak için bir yol sunan kimya endüstrisi için önemli bir net sıfır teknolojisidir. Karbondioksiti kaynağında, en yoğun olduğu yerde yakalayıp ve yer altında tutarak CCS, kimya endüstrisinin azaltım potansiyelini ortaya çıkarmanın yolunu açmaktadır. Özellikle bu potansiyel, endüstrinin doğasında olan ve 2050 yılına kadar hala mevcut olacak kimyasal süreçlerden kaynaklanan kaçınılmaz emisyonların ele alınmasında yatmaktadır. Bununla birlikte, kimya endüstrisinin CCS'ye erişimi, yatırımlar için destekleyici bir ortam yaratarak önceliklendirilmesi ve ele alınması gereken bir dizi faktör tarafından zorlanmaktadır.

## Kimya Endüstrisi için CCS'nin Önemi

Net Sıfır Sanayi Yasası yakın zamanda AB'de 2030 yılına kadar yıllık 50 Mt CO<sub>2</sub> enjeksiyon kapasitesi CCS hedefi getirmiştir. Buna paralel olarak, Avrupa Komisyonu 2040 İklim Hedefi ve Endüstriyel Karbon Yönetimi İletişimleri, karbon yakalama ve depolama teknolojileri için önemli bir rol öngörmekte ve 2040 yılına kadar 243 Mt endüstriyel CO<sub>2</sub>'nin yakalanması ve depolanması gerekeceğini vurgulamaktadır<sup>1</sup>. Avrupa Komisyonu'nun iklim nötrlüğü için uzun vadeli stratejik vizyonunda<sup>2</sup> belirtildiği gibi, kimya endüstrisi, geçiş için yanma emisyonlarını ve özellikle kaçınılmaz proses emisyonlarını ele almak için mevcut tüm teknolojilere erişmesi gereken, ortadan kaldırılması zor bir sektördür<sup>3</sup>. 2021 yılında proses emisyonları, kimya endüstrisinin toplam emisyonlarının %42'sini temsil etmekteydi<sup>4</sup> ve üretim süreçlerinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanıyordu ve bu nedenle kasıtlı olarak üretilmeyen veya mevcut süreçlerde önlenemeyen bir yan ürünü temsil ediyordu (örneğin petrokimyasallar, amonyak, karbon siyahı, soda külü üretimi<sup>5</sup>). Sektörün, bu tür emisyonları büyük ölçekte azaltmak üzere CCS'ye erişebilmesi için gerekli koşulları sağlaması gerekmektedir.

<sup>1</sup> Scenario 3 – at least 90% emissions reduction by 2040.

<sup>2</sup> European Commission, *In-depth analysis in support of the Commission Communication COM(2018) 773 A Clean Planet for all*, November 2018.

<sup>3</sup> The 2040 climate target Communication clearly shows that fossil-based feedstock will play a considerable role up to 2050. European Commission, *Securing our future. Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society*, February 2024.

<sup>4</sup> Cefic, *Facts and Figures of the European Chemical Industry*, available at <https://cefic.org/a-pillar-of-the-european-economy/facts-and-figures-of-the-european-chemical-industry/environmental-performance/>.

CCS, CCU gibi diğer emisyon azaltma seçeneklerini tamamlayıcı bir teknoloji olarak kabul edilmelidir; bu seçenekler de CO<sub>2</sub> altyapısının hızlı bir şekilde devreye alınmasından fayda sağlayacaktır. Bununla birlikte, endüstrinin dönüşümü alternatif (CO<sub>2</sub> bazlı, biyo-bazlı ve geri dönüştürülmüş) karbon hammaddesine sürekli erişim gerektirirken, bu teknolojilere yapılan yatırımlar büyük olasılıkla birbirini dışlayacaktır. Ayrıca, CO<sub>2</sub> bazlı hammadde ile ilgili olarak, yakalanan tüm karbon, pratik ve ekonomik nedenlerden dolayı döngüsel kimyasalların üretimi için kullanılamaz (CCU).

## Engeller

Şu anda, karbon yakalama teknolojilerinin endüstriyel kimya tesislerinde kullanılması, net sıfırdan yolda küçümsenmemesi gereken sınırlamalarla karşı karşıyadır. CCS maliyetleri ve yayılımı büyük ölçüde (1) CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ve yakalanan emisyon akışının spesifikasyonu ve (2) nakliyesi ve yeraltı depolaması için altyapının mevcudiyeti ve finansmanından etkilenen bir iş vakasının oluşturulmasına bağlıdır.

### 1. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ve spesifikasyonu

Kimya endüstrisinde, tesisler genellikle çok sayıda emisyon noktasına sahiptir ve emisyon akışlarındaki karbondioksit konsantrasyon seviyeleri büyük ölçüde değişebilir. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu düşük olduğunda, arıtma maliyetleri büyük ölçüde artar. Bu nedenle, karbondioksiti en yüksek konsantrasyona sahip noktasal kaynaklarda yakalamak, hem emisyonları hem de yakalama ve arıtma aşamaları için gereken enerjiyi sınırlandırmak için en verimli yaklaşımdır<sup>6</sup>.

CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, endüstriyel sürecin verimliliği ve kullanılan hammaddenin saflığı dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Kimya endüstrisinde yüksek karbondioksit konsantrasyonuna (>80) sahip teknoloji örnekleri Tablo 1'de yer almaktadır.

| Yüksek CO <sub>2</sub> konsantrasyonu        | Ürün (NACE kodu)                      |
|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| Steam methane reforming (SMR)                | Hydrogen (20.11)                      |
| Autothermal reforming (ATR) from natural gas | Hydrogen (20.11)                      |
| Autothermal reforming (ATR) from fuel gas    | Hydrogen (20.11)                      |
| Partial Oxidation (POx) from fuel gas        | Hydrogen (20.11)                      |
| SMR with catalytic methanol synthesis        | Hydrogen (20.11) and methanol (20.14) |
| Enzymatic hydrolysis and fermentation        | Bioethanol (20.14)                    |
| Fermentation-based ethanol production        | Bioethanol (20.14)                    |

<sup>5</sup> The European Environmental Agency (EEA) publishes process emissions data for ammonia, adipic acid, caprolactam, glyoxal and glyoxylic acid, carbide, titanium dioxide, soda ash, petrochemicals and carbon black production. An additional entry named "Other chemical industry" is featured.

<sup>6</sup> Capturing carbon directly from the air is for example way less efficient considering that the CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere is 0.04%. NASA, *Carbon Dioxide measurement* available at: [Carbon Dioxide | Vital Signs – Climate Change: Vital Signs of the Planet \(nasa.gov\)](https://climate.nasa.gov/evidence/).

|                               |                        |
|-------------------------------|------------------------|
| Catalytic ethylene oxidation  | Ethylene oxide (20.14) |
| Haber-Bosch ammonia synthesis | Ammonia (20.15)        |

Tablo 1: Bu tablo kapsamlı değildir ve kimya endüstrisindeki yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonlu proseslere örnekler vermeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, bu çalışma öncelikle AB'nin iklim-nötr yaklaşımı ışığında CCS'nin güçlendirme potansiyeline sahip bir teknoloji seçeneği olabileceği mevcut varlıklara odaklanmaktadır.

Tablo 1'deki emisyon akışlarının CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna dayalı olarak, CCS teknolojilerinin uygulanması için en fazla potansiyele sahip prosesler hidrojen (NACE 20. 11 endüstriyel gazlar), metanol, biyoetanol ve etilen oksit (NACE 20.14 organik temel kimyasallar) ve amonyak (NACE 20.15 gübreler ve azot bileşikleri) üreten proseslerdir. Bu nedenle, bu çalışmanın bir sonraki bölümünde, NACE 20.13, 20.14 ve 20.15 kodları kapsamındaki tesisler için CCS altyapısına erişim değerlendirilecektir.

**42%**

Unavoidable process emissions  
in the chemical industry  
Source: European Environment Agency

**>80%**

CO<sub>2</sub> in high concentration chemical  
processes' emissions streams  
Source: Cefic IC2050

**90%**

CCS emissions abatement  
potential  
Source: International Energy Agency

**0.4-2 GJ/tCO<sub>2</sub>**

Energy consumption for CO<sub>2</sub>  
capture technology  
Source: Global CCS Institute

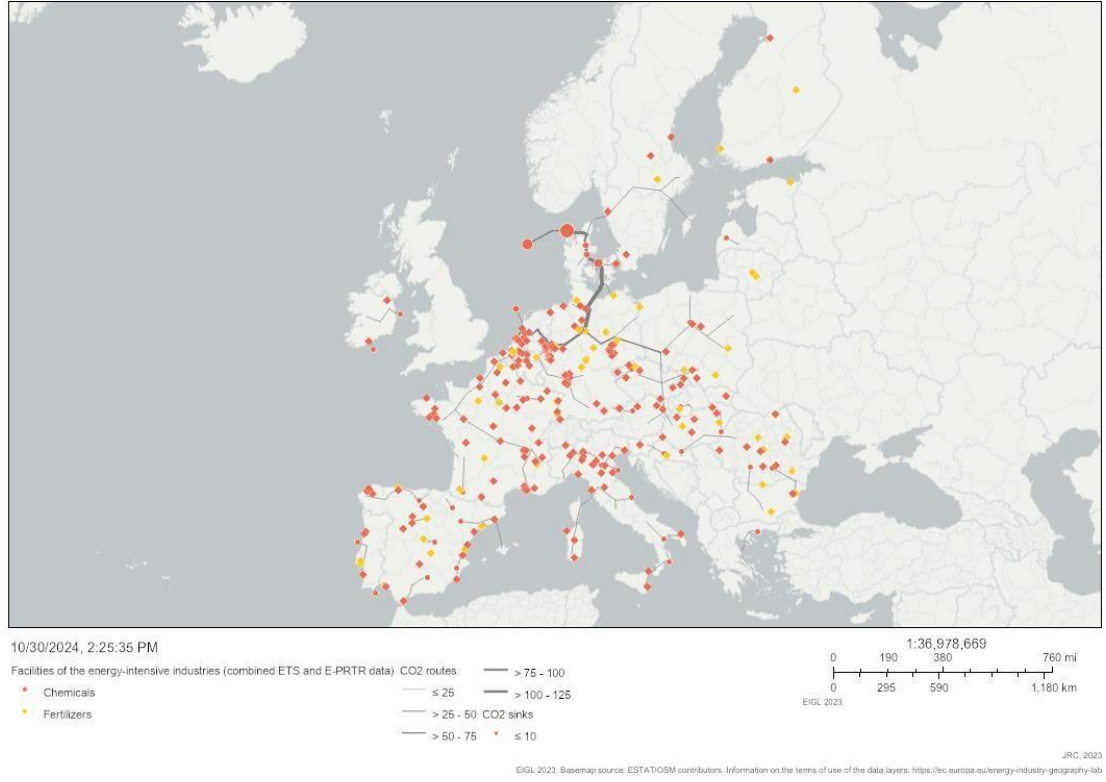
## 2. Altyapının mevcudiyeti ve finansmanı

Proje planlama ve fizibilite değerlendirme aşamalarında, emisyon salan şirketler CO<sub>2</sub>'nin taşınması (yurt içinde ve sınır ötesinde) ve yeraltında depolanması için gerekli altyapının mevcudiyetini araştırır. Eğer altyapı yetersizse, proje uygulanabilir olarak kabul edilemez. Buna paralel olarak, altyapı geliştiricileri, taşıma ağına yatırım yapmadan önce yakalanacak, taşınacak ve depolanacak potansiyel CO<sub>2</sub> hacimlerine bakacaktır. Bu tavuk-yumurta durumu, AB genelinde uyumlu bir CCS değer zincirinin hızla geliştirilmesi ve uygulamaya konulmasıyla önlenmelidir. Ayrıca, kimya tesislerinde CO<sub>2</sub> saflık seviyeleri varlıklar arasında farklılık gösterebilir, aynı zamanda altyapı projelerindeki karbondioksit özellikleri de büyük ölçüde değişebilir. Bu nedenle, CO<sub>2</sub> taşıma ve depolama altyapısı için entegre spesifikasyonlara sahip olmak çok önemlidir. Kimya endüstrisinin CCS altyapısına erişimini değerlendirmek için Avrupa Komisyonu'nun Enerji ve Sanayi Coğrafyası Laboratuvarı'ndan alınan veriler referans olarak kullanılmıştır. Analiz edilen ve Şekil 1'de gösterilen CO<sub>2</sub> altyapısı, 2035'ten önce AB'de ilan edilen CCS projelerinin toplam yakalama kapasitesine ve 2035'ten sonraki dönem için öngörülen yakalama kapasitelerine dayanan JRC senaryosu A17'nin sonucudur. Bu senaryo, Net-Sıfır Sanayi Yasası'nda öngörüldüğü üzere AB dışındaki depolama sahalarının kullanımını öngörmemektedir.

Şekil 1'de inorganik temel kimyasallar (NACE 20.13), organik temel kimyasallar (NACE 20.14) ve gübre ve azot bileşikleri (NACE 20.15) üreten sanayi tesislerinin ve 2040 yılına kadar geliştirilmesi beklenen CO<sub>2</sub> altyapısının haritası yer almaktadır. Ekte (sayfa 6), NACE koduna göre ayrılmış sanayi tesislerini birbirine bağlaması planlanan CO<sub>2</sub> altyapısı yer almaktadır. Bu rakamlar, 2040 yılına kadar faaliyete geçmesi öngörülen sınırlı CO<sub>2</sub> altyapısını ve yutaklarını ve bu tür bir ağa bağlı olmayan en fazla yakalama potansiyeline sahip endüstriyel tesislerin sayısını göstermektedir. Bölgesel farklılıklar da ortaya çıkmakta ve AB içinde yetersiz ya da hiç ulaşım altyapısı ve yutağı olmayan geniş alanları vurgulamaktadır. Bu durum, bu bölgelerden depolama için CO<sub>2</sub> taşınmasını çok daha maliyetli hale getirmekte ve projelerin fizibilitesini engellemektedir.

<sup>7</sup> European Commission, Joint Research Center (JRC), Tumara, D., Uihlein, A. and Hidalgo Gonzalez, I., *Shaping the future CO<sub>2</sub> transport network for Europe*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2024; <https://data.europa.eu/doi/10.2760/582433>, JRC136709.

Figure 1 – Endüstriyel tesisler ve 2040 yılında öngörülen CO2 altyapısı<sup>8</sup>



Mevcut ve öngörülen durum, büyük CO2 hacimlerinin taşınması ve ticareti için yeterli bir AB altyapı ağına duyulan acil ihtiyacı vurgulamaktadır. Etkin bir CO2 ağı doğası gereği sınır ötesidir ve boru hatları, mavnalar ve trenler dahil olmak üzere tüm farklı taşıma araçlarını kapsar.

## CCS için Bir İş Vakası

CO2 konsantrasyonu ve altyapının mevcudiyeti ile bağlantılı olarak, CCS teknolojilerinin ekonomik uygulanabilirliği, potansiyel olarak daha yüksek üretim maliyetlerine ve daha pahalı ürünlere yol açarak sektörün rekabet gücünü etkilediği için zorlanmaktadır. Yüksek CO2 konsantrasyonlu akışlar için bile CCS'nin pazar gelişimi şu nedenlerle engellenmektedir:

- Uygulanabilir bir iş modelinin olmaması. Sürdürülebilir CCS konuşlandırması uzun vadeli planlama, izleme, yönetim planları ve mali hükümler gerektirir. CO2 yakalama teknolojileri, taşıma ve depolama tesisleri sadece sermaye yoğun olmakla kalmayıp aynı zamanda şu anda mevcut olmayan önemli miktarda uygun fiyatlı yenilenebilir veya düşük karbonlu enerji gerektirdiğinden, bu tür hükümler hem CAPEX hem de OPEX için mevcut olmalıdır.

<sup>8</sup> Source: Energy and Industry Geography Lab – Mapping Europe's Energy Future, JRC and European Commission. Figures are expressed in **Mtpa** (Million tons per annum).

It should be noted that while policies and scientific reports refer to CCS potential in Mtpa, they fall short in providing information on the effective total storage capacities of identified sinks. Such piece of information is crucial to assess the actual carbon storage potential.

- Net sıfır ve düşük karbon ayak izine sahip ürünler için bir pazar oluşturulması, sürdürülebilir bir iş durumu için bir ön koşuldur. Buna paralel olarak, teknoloji geliştirme, maliyet düşürme ve CCS'nin tüm potansiyelini ortaya çıkarmaya yönelik finansman tedbirlerinin rolü kilit önem taşımaktadır.
- Kısa vadede gerekli ulaşım ve depolama altyapı ağının mevcut olmaması. Kimya endüstrisi gibi uzun yatırım döngülerine sahip endüstriler için, endüstrimizin AB iklim hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olabildiğini sağlamak üzere yatırım kararları şimdi alınmalıdır.
  - CCS altyapısı ve depolama dağıtımının hızlandırılması ve kaçınılmaz emisyonları olan ancak alternatif azaltım çözümleri bulunmayan daha küçük emisyon sahiplerine de daha büyük endüstriyel merkezlere bağlanarak hizmet verilmesi gerekmektedir.
- Mevzuat engelleri. Sınır ötesi anlaşmaların sayısının yetersiz olması, CO2'nin emisyon noktalarından belirlenen depolama alanlarına akmasına izin vermediği için projelerin geliştirilmesini engellemektedir. CO2 saflık seviyeleri standartları ve spesifikasyonlarındaki boşluklar, endüstri ve şebeke operatörlerinin aynı parametreleri paylaşmadığı, projeleri engelleyen veya endüstri için beklenmedik yüksek maliyetlere yol açan birlikte çalışabilir bir değer zincirinin oluşturulmasını engellemektedir. Son olarak, depolama ve taşıma hizmetlerine ilişkin ayrıştırma kurallarının eksikliğinin giderilmesi, adil erişim kuralları ve şeffaf bir tarife sistemi ile rekabetçi bir CCS piyasası yaratacaktır.
  - Sistemik ve iyi koordine edilmiş bir CCS geliştirme sürecine izin veren ve diğer mevzuat parçaları ile mevzuat çatışmalarını önleyen bir düzenleyici çerçeve çok önemlidir.
- Düşük kamuoyu kabulü ve siyasi destek. CCS için halkın kabulünü kazanmak, CCS projelerinin başarılı bir şekilde yaygınlaştırılması için kilit unsurlardan biridir, çünkü güçlü bir Not in My Back Yard (NIMBY) yaklaşımı vardır.
  - CCS Direktifinin uygulanması, CO2'nin çevresel açıdan güvenli jeolojik depolanmasını sağlar.
  - Pilot projelere destek verilmesi ve geniş kamu bilincinin artırılması, teknolojinin emisyonları azaltmadaki avantajlarını sergileyerek sosyal kabulü geliştirmeye yardımcı olabilir.

## İleriye Doğru: Teknoloji Odaklı Bir Yaklaşım

AB'de teknoloji-odaklı bir çerçeve oluşturmak, emisyon azaltımına katkı sağlayan tüm teknolojilere izin vermeyi gerektirir. Bunlar arasında, kimya endüstrisinin doğasında bulunan süreçlerden kaynaklanan kaçınılmaz emisyonları ele almak ve AB'nin iklim hedeflerine katkıda bulunmak için gerekli bir teknoloji olan CCS (Karbon Yakalama ve Depolama) yer almaktadır. Bu nedenle, karbon yakalama ve depolama kapasitesinin ve altyapısının acilen devreye alınması gerekmektedir. Avrupa kimya endüstrisinin, başarılı bir şekilde geçiş yaparken Avrupa'daki rekabetçiliğini yeniden kazanabilmesi için teknoloji-odaklı ve destekleyici bir ortamdan faydalanması önemlidir.

Cefic'in Endüstriyel Karbon Yönetimi konusundaki politika önerilerini, Cefic'in [Industrial Carbon Management](#) başlıklı raporunda görebilirsiniz.

Ek: NACE koduna göre endüstriyel tesisler ve 2040 yılına kadar devreye girmesi beklenen CO2 altyapısı<sup>9</sup>

Figure 2 – Endüstriyel gazların üretimi için endüstriyel tesisler (NACE 20.11) ve 2040 yılında CO2 altyapısı

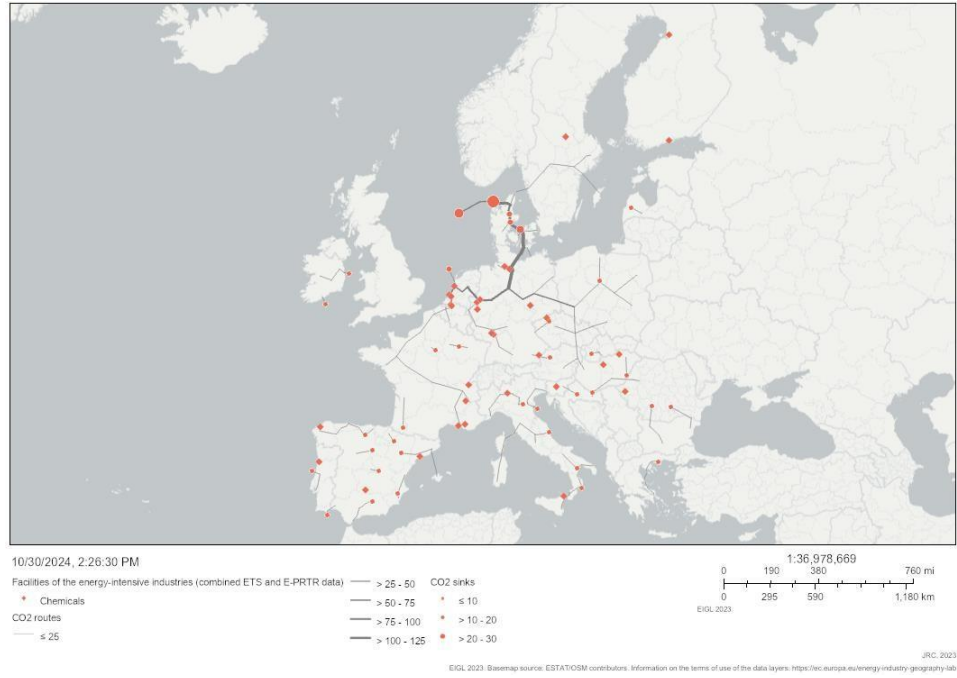
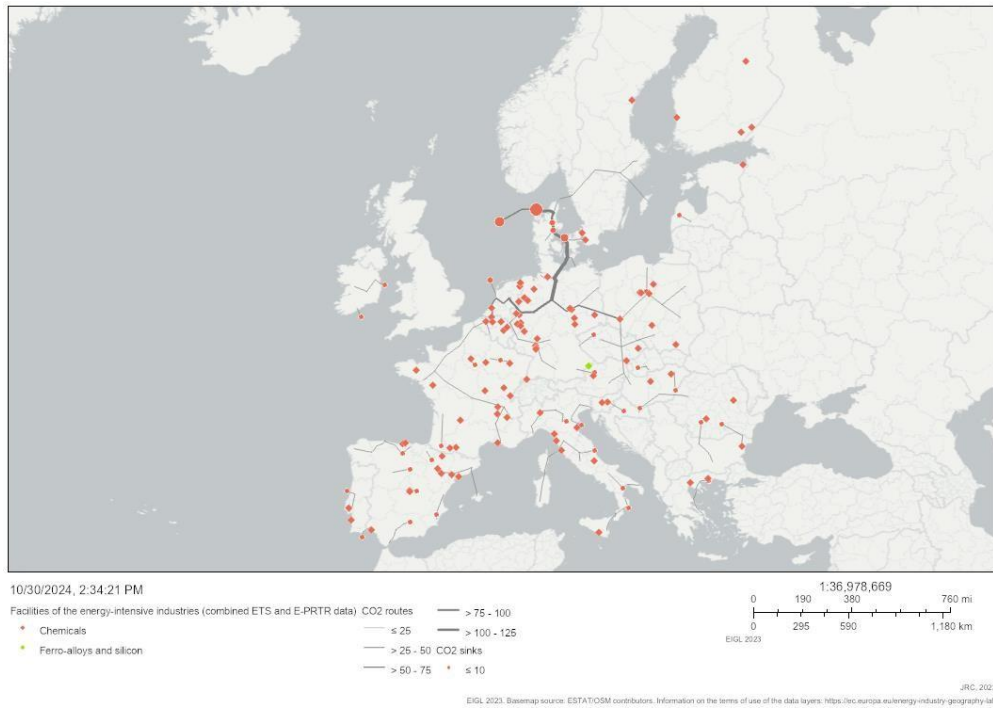


Figure 3 –İnorganik temel kimyasalların üretimi için endüstriyel tesisler (NACE 20.13) ve 2040 yılında CO2 altyapısı



<sup>9</sup> Source: Energy and Industry Geography Lab – Mapping Europe’s Energy Future, JRC and European Commission. **Figures are expressed in Mtpa (Million tons per annum).**

Figure 4 –Organik temel kimyasalların üretimi için endüstriyel tesisler (NACE 20.14) ve 2040 yılında CO2 altyapısı

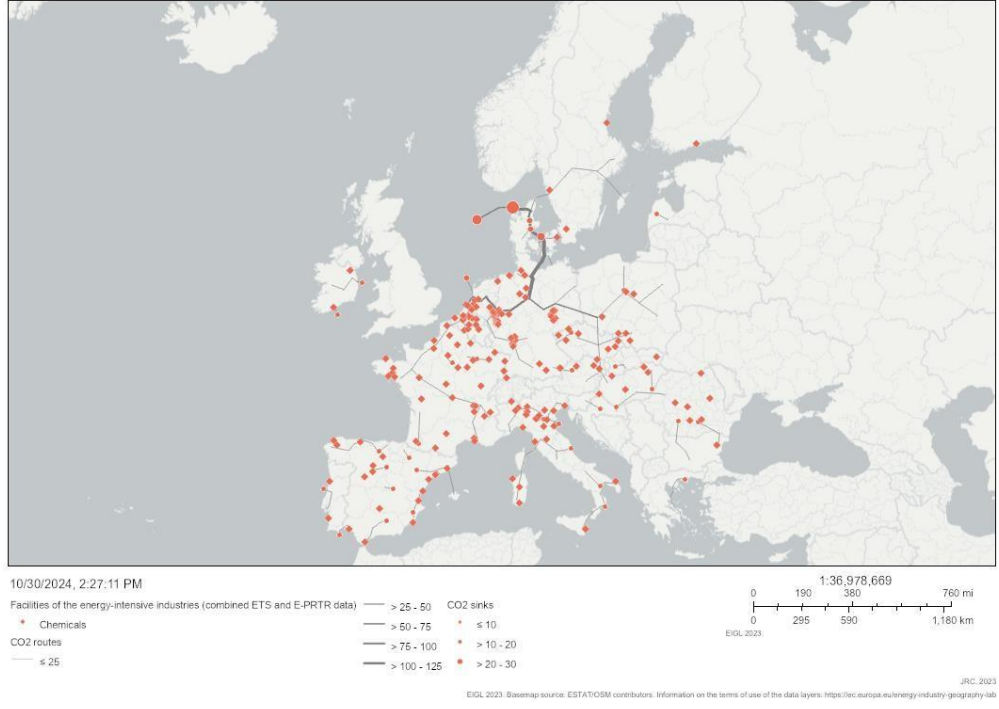
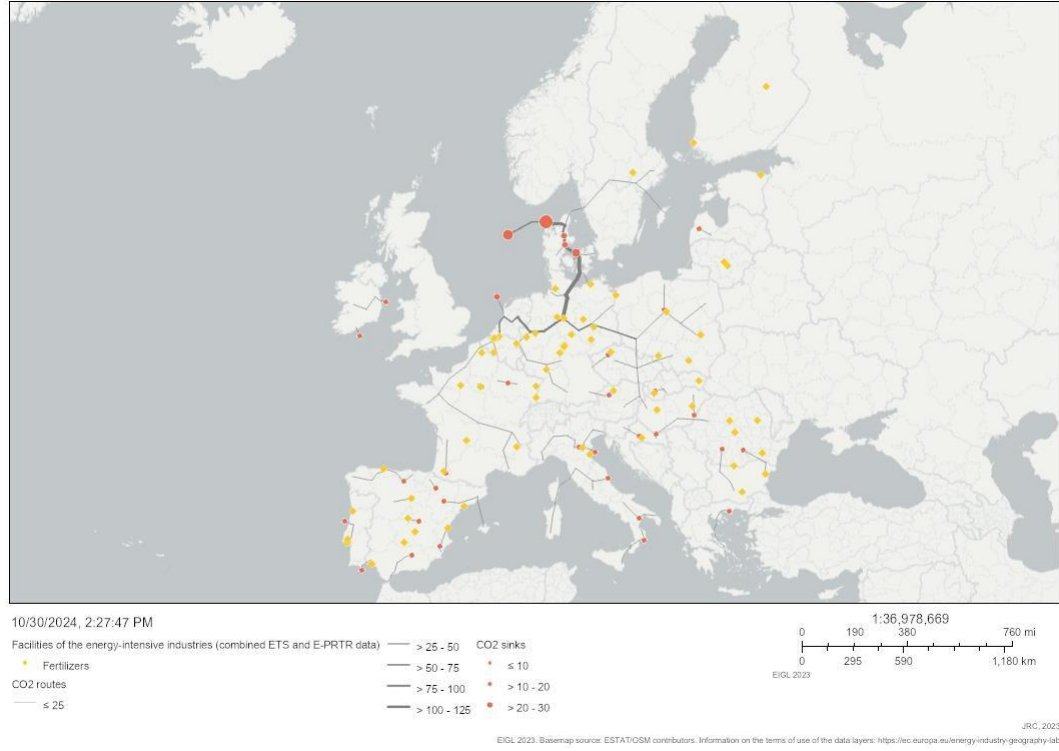


Figure 5 – Gübre ve azot bileşenlerinin üretimi için endüstriyel tesisler (NACE 20.15) ve 2040 yılında CO2 altyapısı



\*\*\*\*

Daha fazla bilgi için lütfen iletişime geçin:  
Elena Leonardi, Enerji ve İklim Yöneticisi  
[ele@cefic.be](mailto:ele@cefic.be)

#### Cefic Hakkında

Cefic, Avrupa Kimya Endüstrisi Konseyi, Avrupa çapında büyük, orta ve küçük kimya şirketlerinin oluşturduğu bir forumdur ve 1,2 milyon istihdam ile dünya kimya üretiminin %14'ünü temsil etmektedir. Üyeleri adına, Cefic'in uzmanları endüstri içgörülerini ve trendlerini paylaşır, AB gündemine görüş ve katkılar sunar. Cefic ayrıca üyelerine düzenleyici ve teknik konularda rehberlik ve eğitim gibi hizmetler sağlar ve bilimsel bilginin ilerlemesine katkıda bulunur.