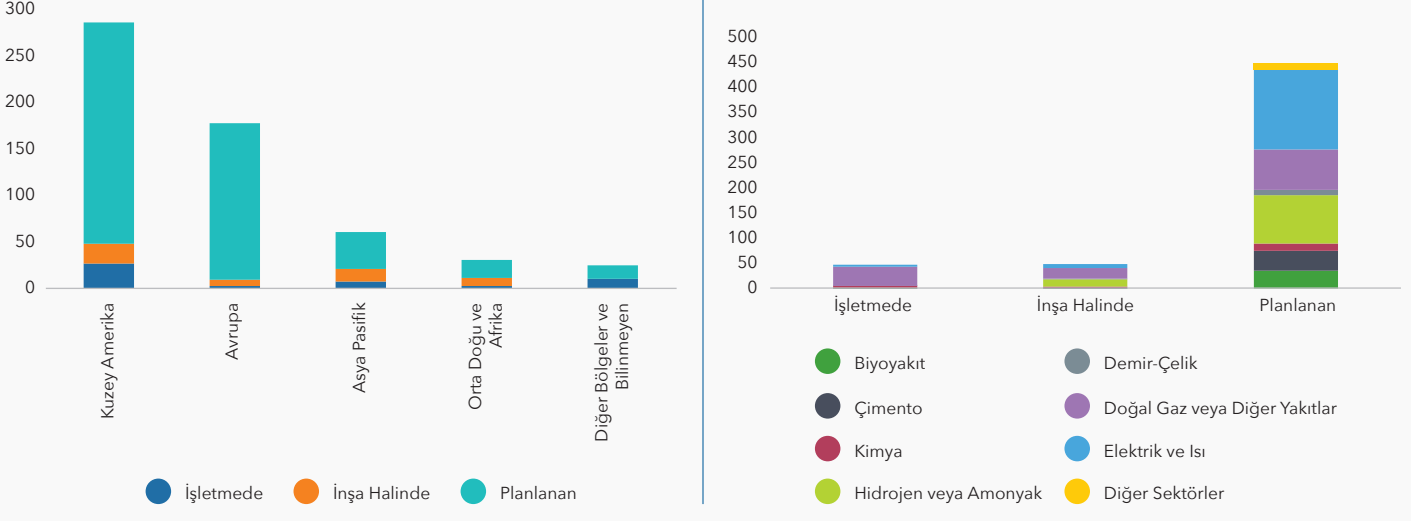


Karbonsuzlaşması zor sektörlerde emisyonları azaltmak için öncelikli olarak enerji verimliliği, doğrudan yenilenebilir enerji kullanımı, elektrifikasyon ve yeşil hidrojen gibi çözümler uygulanıyor. Ancak bu seçeneklerin yetersiz kaldığı durumlarda, karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) öne çıkan bir seçenek olarak gündeme geliyor. Buna karşılık, Kuzey Amerika'da yoğunlaşan mevcut CCUS tesislerinde yakalanan karbon, ağırlıklı olarak doğal gaz ve petrol kuyularının verimini artırmak amacıyla kullanılıyor. İnşa halindeki ve planlanan tesislerde ise sektörler çeşitlenerek ağırlık başta elektrik ve ısı olmak üzere, hidrojen ve amonyak, çimento ve biyoyakıt alanlarına yöneliyor.

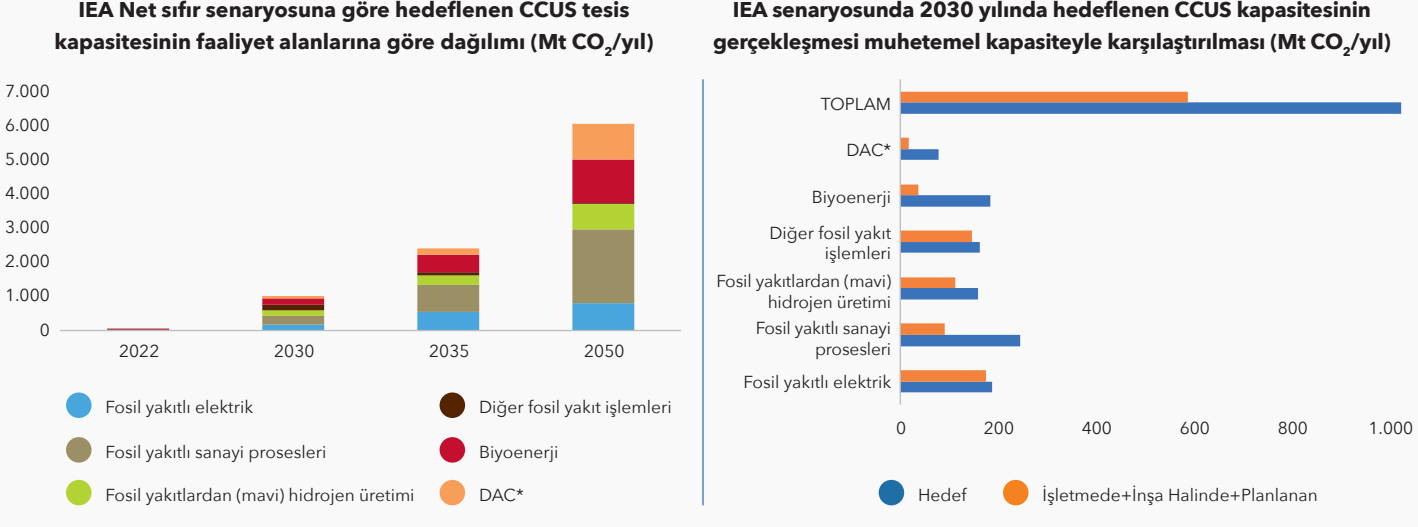
İşletmede, inşa halinde ve planlanan CCUS tesis kapasitesinin bölgesel (solda) ve sektörel (sağda) dağılımı (Mt CO₂/yıl)



Mevcut ve planlanan uygulamaların doğal gaz ve diğer yakıt üretimi gibi karbonsuzlaşma dışı amaçlara yöneldiği ya da alternatif temiz enerji kaynaklarının kullanılabileceği elektrik ve ısı sektöründe yoğunlaştığı görülüyor. Bu durum CCUS'in orta vadede etkin bir karbon azaltımına katkısının sınırlı kalacağına işaret ediyor.

Kaynak: IEA (2025)

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) net sıfır 2050 senaryosuna göre toplam yakalanan karbon miktarının 2030'da 1 milyar ton, 2035'te 2,4 milyar ton, 2050'de ise 6 milyar tona ulaşması hedefleniyor. Bu kapsamda etkin karbonsuzlaşma açısından, CCUS'in öncelikli alanı olarak değerlendirilebilecek fosil yakıtlı sanayi proseslerinin payının 2050 yılına kadar %9'dan %35'e çıkması, petrol ve gaz çıkarımı gibi diğer fosil yakıt işlemlerinin payının ise %86'dan %0,3'e gerilemesi öngörülüyor. Bugün henüz uygulaması olmayan ve karbonsuzlaşmaya etkin katkı sağlayabilecek biyoenerji, hidrojen (fosil yakıt ve CCUS kullanımı) ve doğrudan hava yakalama (DAC) alanlarının gelişerek 2050'deki paylarının sırasıyla %21, %12 ve %17'ye ulaşması hedefleniyor. Öte yandan, fosil yakıtlardan elektrik üretiminde CCUS kullanımı payının 2035'te zirveye ulaştıktan sonra 2050'de %13 seviyesine çekilmesi öngörülüyor.



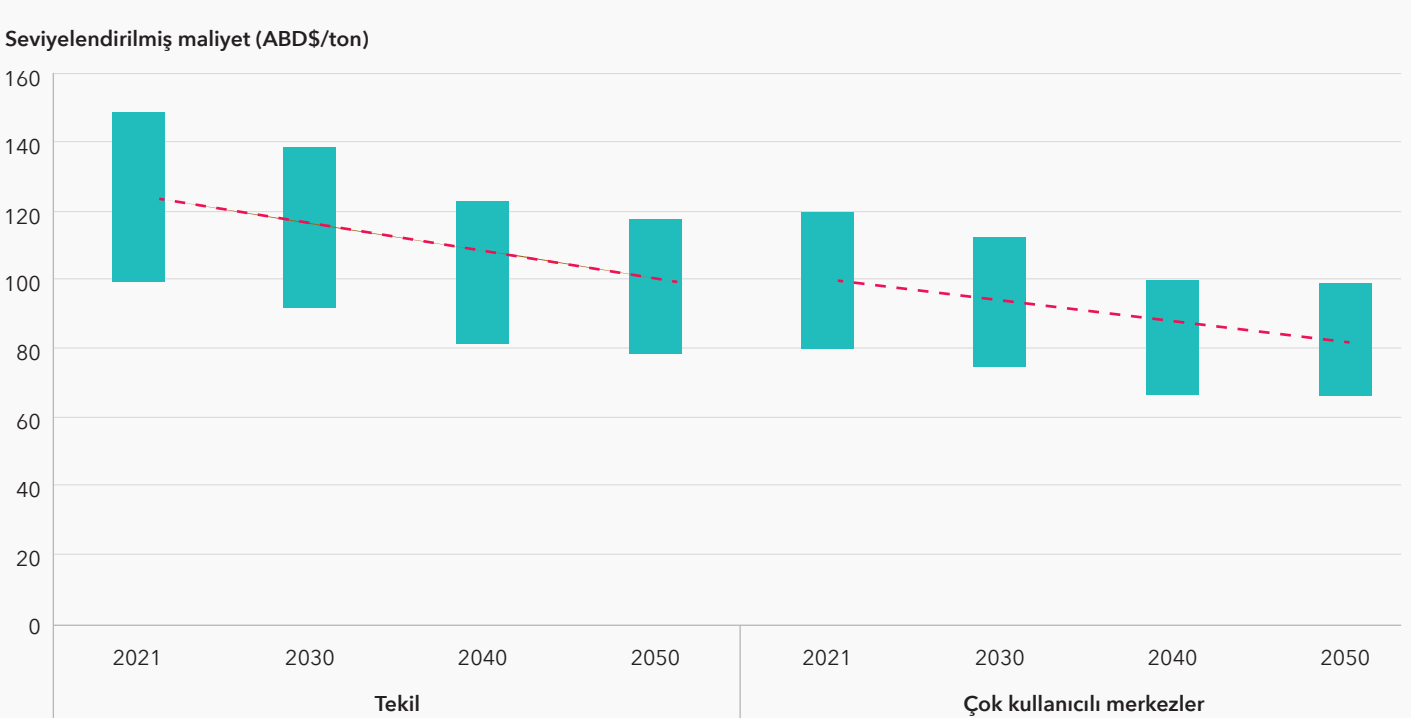
*DAC: Havaya salınan karbondioksitin doğrudan yakalanması yöntemi (Direct Air Capture).

İnşa halindeki ve planlanan projeler değerlendirildiğinde, 2030 yılına gelindiğinde muhtemel gerçekleşmenin IEA'nın öngördüğü hedeflerin yaklaşık %40 altında kalacağı öngörülüyor. Uygulama alanları açısından bakıldığında ise fosil yakıtlı elektrik üretimi, petrol ve gaz çıkarımı ile fosil yakıttan hidrojen üretiminin ağırlık kazandığı; buna karşılık, karbonsuzlaşma açısından kritik önem taşıyan fosil yakıtlı sanayi proseslerinin hedeflenen seviyenin ancak üçte birine ulaşabileceği görülüyor.

Kaynak: IEA (2025)

Depolamaya ilişkin teknik zorluklar ve çevresel kaygıların yanı sıra yüksek maliyetler, CCUS projelerinin ölçeklenmesini önemli ölçüde sınırlıyor. Seviyelendirilmiş karbon yakalama maliyetleri, karbon piyasasalarındaki mevcut karbon fiyatlarının oldukça üzerinde seyrediyor. Araştırmalar, maliyetlerin saha ve teknolojiye bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebildiğini, ortalama maliyetlerde ise 2050'ye kadar ancak %20 civarında bir düşüş sağlanabileceğini ortaya koyuyor.

Seviyelendirilmiş CCS maliyeti: Tekil projelerin çok kullanıcıli merkezlerdeki projelerle karşılaştırılması



Kaynak: Wood Mackenzie, 2021.

- CCUS projelerinin neredeyse tamamı, yakalama maliyetlerinin yanı sıra depolama ve taşıma için kapsamlı altyapı yatırımları gerektiriyor.
- Yakalanan karbonun yeniden kullanımı, çimento, kimya ve gıda/içecek sektörlerinde sınırlı alanlarla mümkün olabiliyor ve bu kullanım potansiyeli, yakalanan toplam miktara kıyasla oldukça düşük. Dolayısıyla yakalanan karbonun büyük bir bölümünün depolama alanlarında saklanması ve olası sızmalara karşı korunması gerekiyor.
- CCUS projelerinde kullanıcıları birleştiren ve döngüsel yaklaşımla çalışan yakalama-depolama-kullanım merkezleri oluşturulması, maliyetlerin düşürülmesine, etkinliğin artırılmasına ve çevresel etkilerin en aza indirilmesine katkı sağlayabilir.

- CCUS, yüksek maliyetler, depolama ve diğer teknik zorluklar ile çevresel kaygılar nedeniyle yaygın olarak uygulanamıyor. Etkin bir karbonsuzlaşma için CCUS'in, yalnızca fosil yakıtların yerini alabilecek daha ekonomik alternatiflerin bulunmadığı durumlarda devreye alınması gerekiyor.
- Bununla beraber, geçtiğimiz birkaç yıl içinde inşa halinde ve planlanan projelerde büyük bir artış gözleniyor. Karbonsuzlaşması zor sektörlerin yükümlülükleri, karbon fiyatlarındaki yükselişler ve yeni karbon denkleştirme mekanizmaları, diğer karbonsuzlaşma yöntemleriyle birlikte CCUS projelerine de ilgiyi artırıyor.
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) tarafından yapılan çalışmalar, CCUS'in etkili olabilmesi için depolama atlası ve sektörel fizibilitelemlerin oluşturulması, hukuki altyapı ve karbon piyasasının geliştirilmesi, ayrıca sanayi kümelenmeleri ve işbirliklerinin teşvik edilmesi gerektiğini ortaya koyuyor. Özellikle çimento ve demir-çelik sektörlerinde öncelik verilmesi ve yakalanan karbonun sanayi atıklarıyla birleştirilip yeniden kullanımının artırılması, CCUS'in iklim hedeflerine anlamlı katkı sağlanabilmesi açısından önem taşıyor.