

CO₂'in Karbon (C) ve Oksijen (O₂) Olarak Ayrıştırılması İklim Krizini Önlemede İşe Yarar Mı? Termodinamik, Teknolojik ve Ekonomik Değerlendirme Analizi

Hazırlayan: Yüksel Atakan Dr.Radyasyon Fizikçisi, ybatakan4@gmail.com, 23.02.2026 /I/

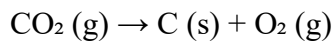
1. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliğinin temel nedeni atmosferde artan karbondioksit (CO₂) ve Metan gibi diğer sera gazlarıdır. Sanayi devrimi öncesi yaklaşık 280 ppm (milyonda bir) olan atmosferik CO₂ düzeyi günümüzde 420 ppm'in üzerine çıkmıştır. Bu artış küresel ortalama sıcaklıkta yaklaşık **1.1–1.3°C** yükselmeye neden olmuştur.

CO₂'nin yalnızca yakalanması (Carbon Capture) değil, karbon (C) ve oksijen (O₂) bileşenlerine ayrıştırılması kuramsal olarak kalıcı karbon uzaklaştırma yöntemlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. **Ancak bu teknik yüksek enerji gerektiren endotermik bir reaksiyonla gerçekleşir ve günümüzde ekonomik değildir.**

2. TERMODİNAMİK ANALİZ

2.1 Temel Reaksiyon



Burada:

- (g): gaz fazı
- (s): katı faz
- C(s): karbonun katı formudur (grafit, amorf karbon veya diğerleri)

2.2 Entalpi ve Endotermik Reaksiyon

Entalpi (ΔH), sabit basınç altında bir sistemin ısı enerjisindeki değişimdir.

Bir reaksiyonun ΔH değeri pozitif ise reaksiyon endotermiktir; yani dışarıdan enerji alınması gerekir.

Bu reaksiyon için:

$$\Delta H^\circ = +393.5 \text{ kJ/mol}$$

Bu değer, CO₂'nin karbon ve oksijene ayrıştırılmasının enerji gerektirdiğini göstermektedir.

2.3 Enerji Hesabı

$$1 \text{ mol CO}_2 = 44 \text{ g}$$

$$1 \text{ ton CO}_2 = 1,000,000 \text{ g}$$

1 Ton'da Mol sayısı:

$$1,000,000 / 44 \approx 22,727 \text{ mol}$$

Toplam kuramsal enerji:

$$22,727 \times 393.5 \approx 8.94 \times 10^9 \text{ J}$$

kWh cinsinden:

$$8.94 \times 10^9 / 3.6 \times 10^6 \approx 2483 \text{ kWh}$$

Sonuç:

- Kuramsal minimum enerji $\approx 2.500 \text{ kWh/ton}$
- **Endüstriyel gerçekçi değer $\approx 3.500\text{--}4.500 \text{ kWh/ton}$**

3. TEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR

3.1 Elektrokimyasal Ayrıştırma

- Eritilmiş karbonat elektrolizi
- Katı oksit elektroliz hücreleri

Enerji: 3.5–4.5 MWh/ton

Maliyet: 500–800 USD/ton

3.2 Plazma Destekli Ayrıştırma

Yüksek enerjili elektron çarpışmaları ile moleküler bağ kırılması sağlanır.

Maliyet: 700–1000 USD/ton

Enerji verimi düşüktür.

3.3 Termokimyasal Döngüler

1500–2000°C sıcaklık gerektirir.

Metal oksit redoks döngüleri kullanılır.

Maliyet: 400–700 USD/ton

4. EKONOMİK ANALİZ

Elektrik fiyatı varsayımı: 0.05 USD/kWh

Enerji ihtiyacı: 4000 kWh

Enerji maliyeti:

$$4000 \times 0.05 = 200 \text{ USD/ton}$$

Toplam sistem maliyeti:

400–1000 USD/ton

Karbon fiyatı ortalaması:

50–150 USD/ton

Sonuç: Ekonomik olarak rekabetçi değildir.

5. TESİS ÖLÇEĞİ

1 milyon ton/yıl kapasiteli tesis için:

Enerji ihtiyacı $\approx$ 4 TWh/yıl

Tahmini yatırım maliyeti:

500 milyon – 1 milyar USD

6. ÜLKELERE GÖRE DURUM

US Amerika Birleşik Devletleri

U.S. Department of Energy karbon yakalama programları yürütmektedir.

EU Avrupa Birliği

CCUS ve termokimyasal araştırmalar desteklenmektedir.

CN Çin

Büyük ölçekli pilot karbon dönüşüm tesisleri bulunmaktadır.

IL İsrail

Doğrudan hava yakalama ve karbon teknolojileri geliştirmektedir.

JP Japonya

Yüksek sıcaklık reaktör araştırmaları yapmaktadır.

7. EK: YÜKSEK ENERJİLİ ELEKTRONLARLA CO₂ AYRIŞTIRMA

Molekül başına bağ kırılması için yaklaşık **4 eV** enerji gereklidir.

Yüksek enerjili elektronlar CO₂ moleküllerine çarptığında bağ kırılması olasıdır. Ancak:

- **Enerjinin büyük bölümü ısı enerjisiyle yitirilir**
- **İyonizasyon ve radyatif kayıplar oluşur**
- **Endüstriyel verim düşüktür**

Reaksiyon endotermiktir ve verilen enerji geri kazanılamaz. Karbon tekrar yakıldığında elde edilen enerji, en fazla verilen enerjiye eşit olabilir; pratikte ise daha düşüktür.

Bu nedenle yöntem net enerji üretmez ve ekonomik değildir.

8. SONUÇ

CO₂'nin karbon ve oksijen olarak ayrıştırılması:

- Termodinamik olarak olasıdır
- Endotermiktir
- Yüksek enerji gerektirir
- Net enerji üretmez
- Günümüz koşullarında ekonomik değildir

9. KAYNAKLAR YZ /I/

1. Atkins & de Paula, Physical Chemistry.
2. Smith & Van Ness, Chemical Engineering Thermodynamics.
3. Centi & Perathoner (2021), Journal of CO₂ Utilization.
4. Marxer et al. (2017), Energy & Environmental Science.
5. Luc et al. (2018), Energy & Environmental Science.
6. International Energy Agency CCUS Reports.
7. IPCC AR6 Report.
8. U.S. Department of Energy Carbon Capture Program.