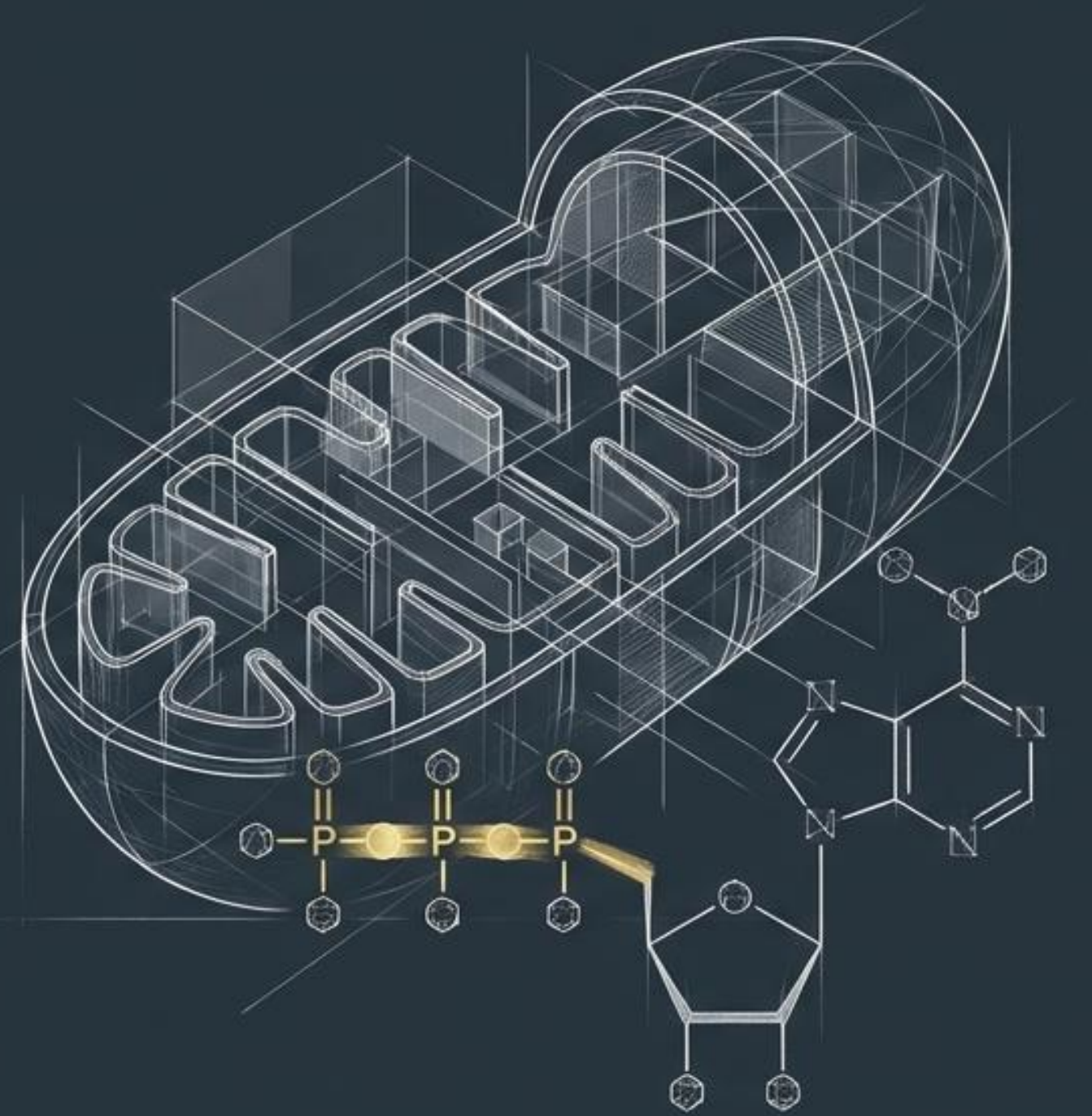
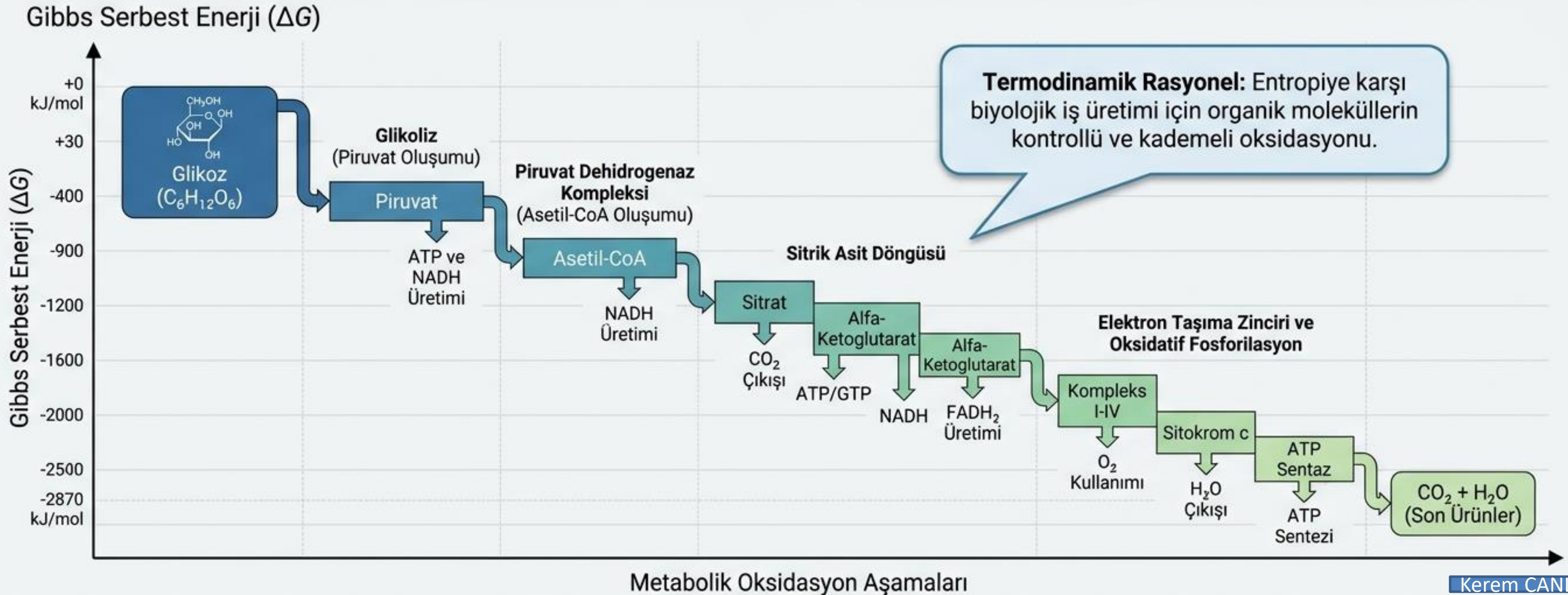
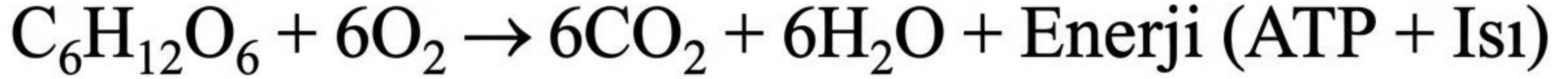


Hücresel Solunum: Biyoenenerjetik ve Termodinamik Dönüşüm

Glikozdan ATP'ye: Moleküler Makineler
ve Elektron Transfer Dinamikleri



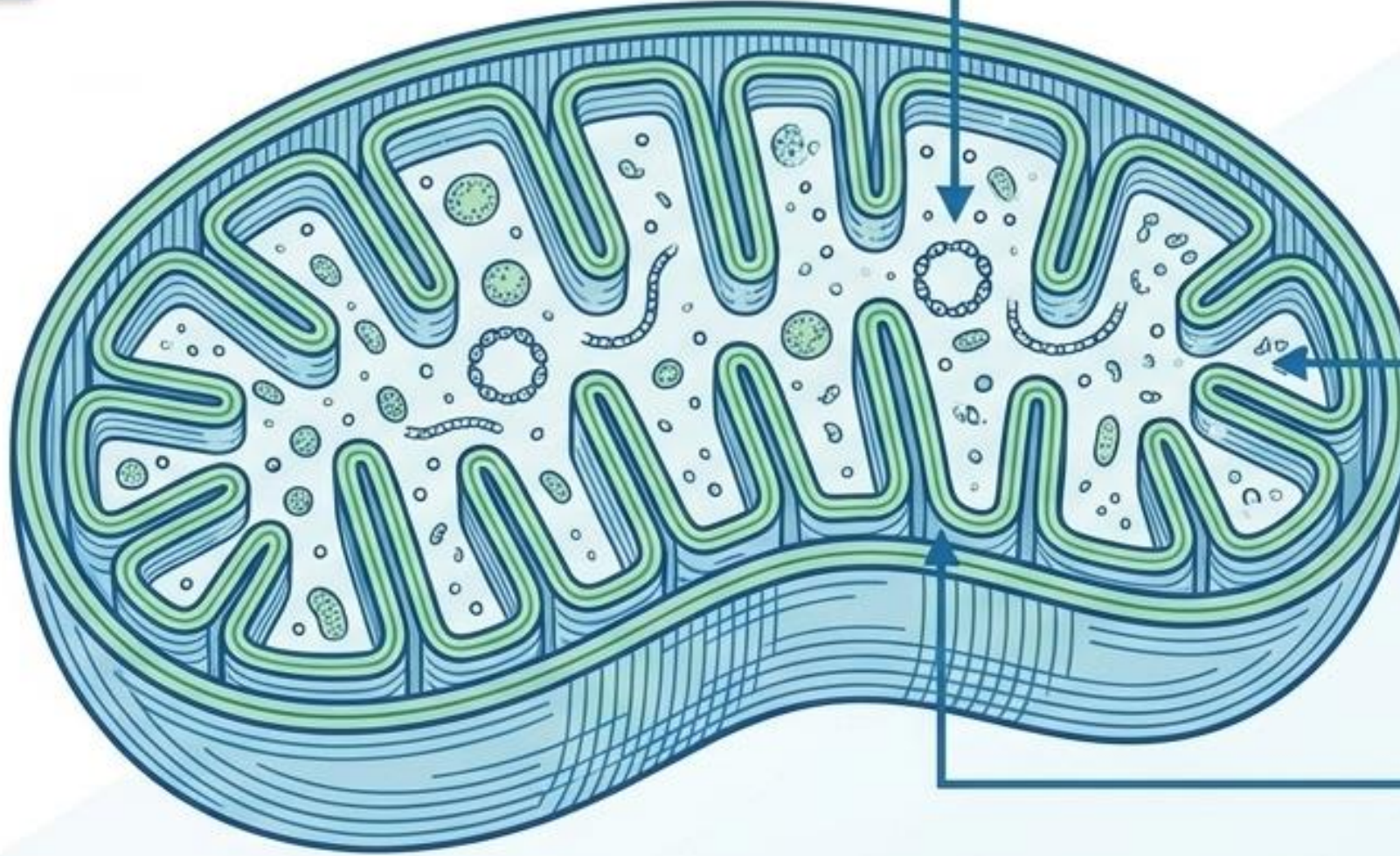
Biyoenenerjetik İlkeler ve Stokiyometrik Şema



Hücresel Kompartımanlaşma Mimarisi

1. Sitoplazma: Glikoliz Evresi
(Hazırlık ve Bölünme)

2. Mitokondriyal Matriks:
Pirüvat Oksidasyonu ve
Krebs Döngüsü



3. İç Zar / Krista:
Elektron Taşıma Sistemi
ve Oksidatif Fosforilasyon

Biyokimyasal Yalıtım: Hücre, elektrokimyasal potansiyel oluşturmak ve reaksiyon özgülüğünü artırmak için **çift zarlı izole reaksiyon odacıkları** kullanır.

Glikoliz Faz I: Heksoz Aktivasyonu ve Moleküler Bölünme

Başlangıç: Glikoz (6C)

Aktivasyon: 2 ATP Harcanır

Ara Form: Fruktoz-1,6-bisfosfat

Bölünme: 2 x PGAL (3C)

Bölünme: 2 x PGAL (3C)

Aktivasyon Enerjisi Bariyeri:
Kararlı heksoz yapısını kırmak için sisteme başlangıç aktivasyon enerjisi (2 ATP) enjekte edilmelidir.

Glikoliz Faz II: Oksidasyon ve Substrat Düzeyinde Fosforilasyon

Girdi: 2 x PGAL (3C)



Dehidrojenasyon: $\text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH}$



Substrat Düzeyinde Fosforilasyon (SDF)

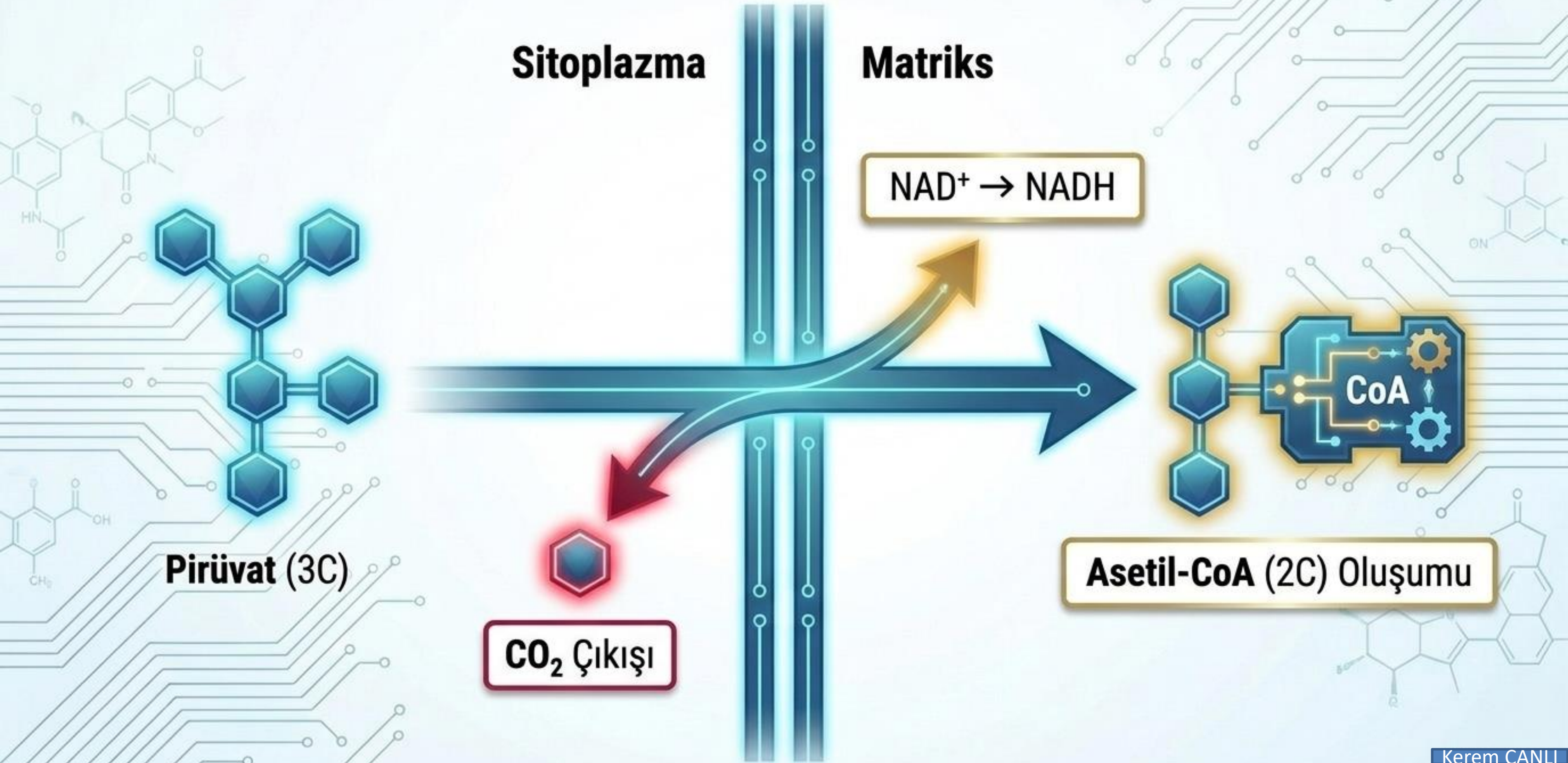


Son Ürün: 2 x Pirüvat (3C)

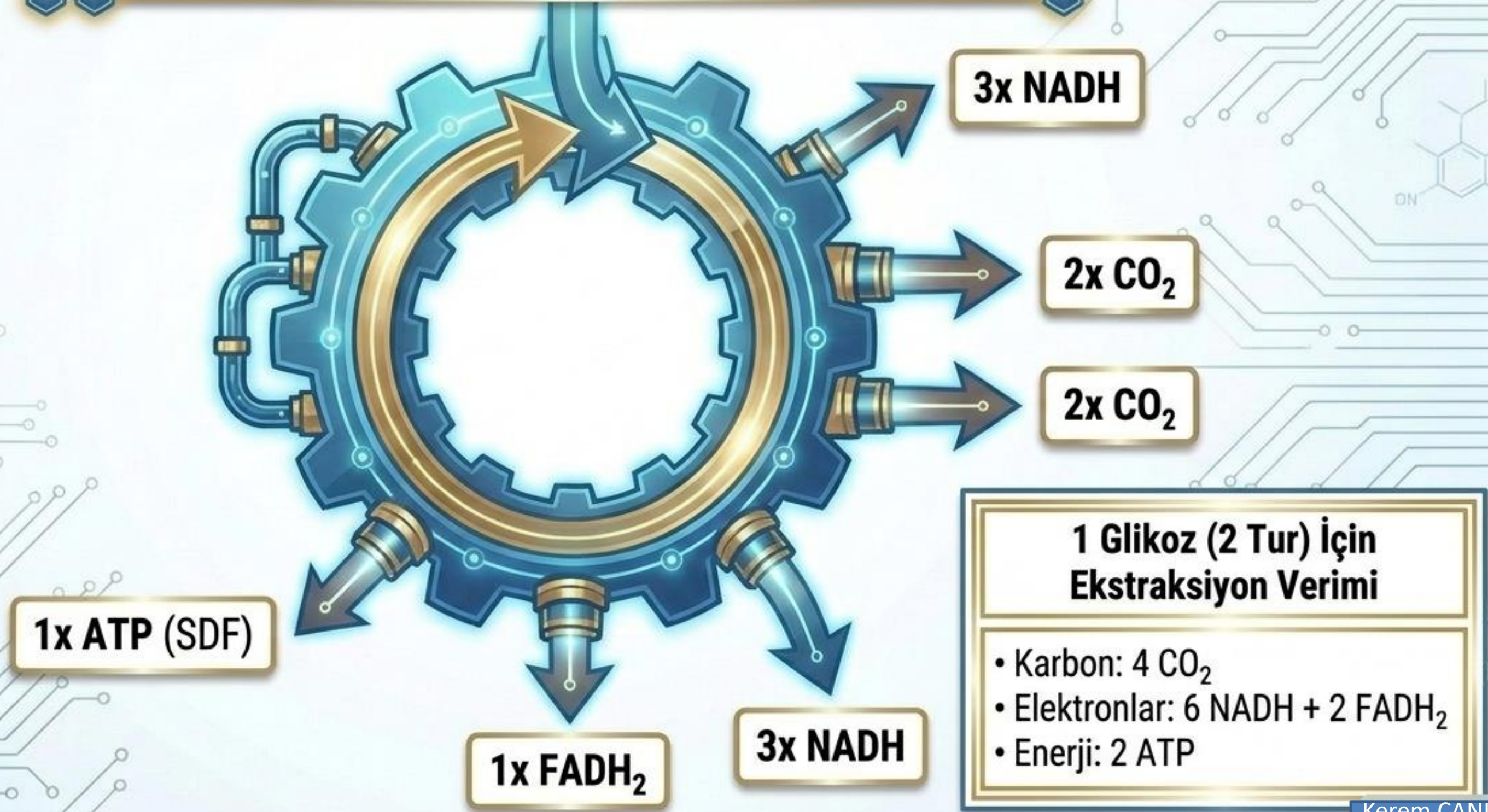
Net Termodinamik Kazanç (Glikoz Başına)

- Net **2 ATP** (SDF ile)
- **2 NADH** (Redükleyici Güç)
- **2 Pirüvat** (Karbon İskeleti)

Köprü Reaksiyonu: Pirüvat Oksidasyonu ve Matrikse Geçiş

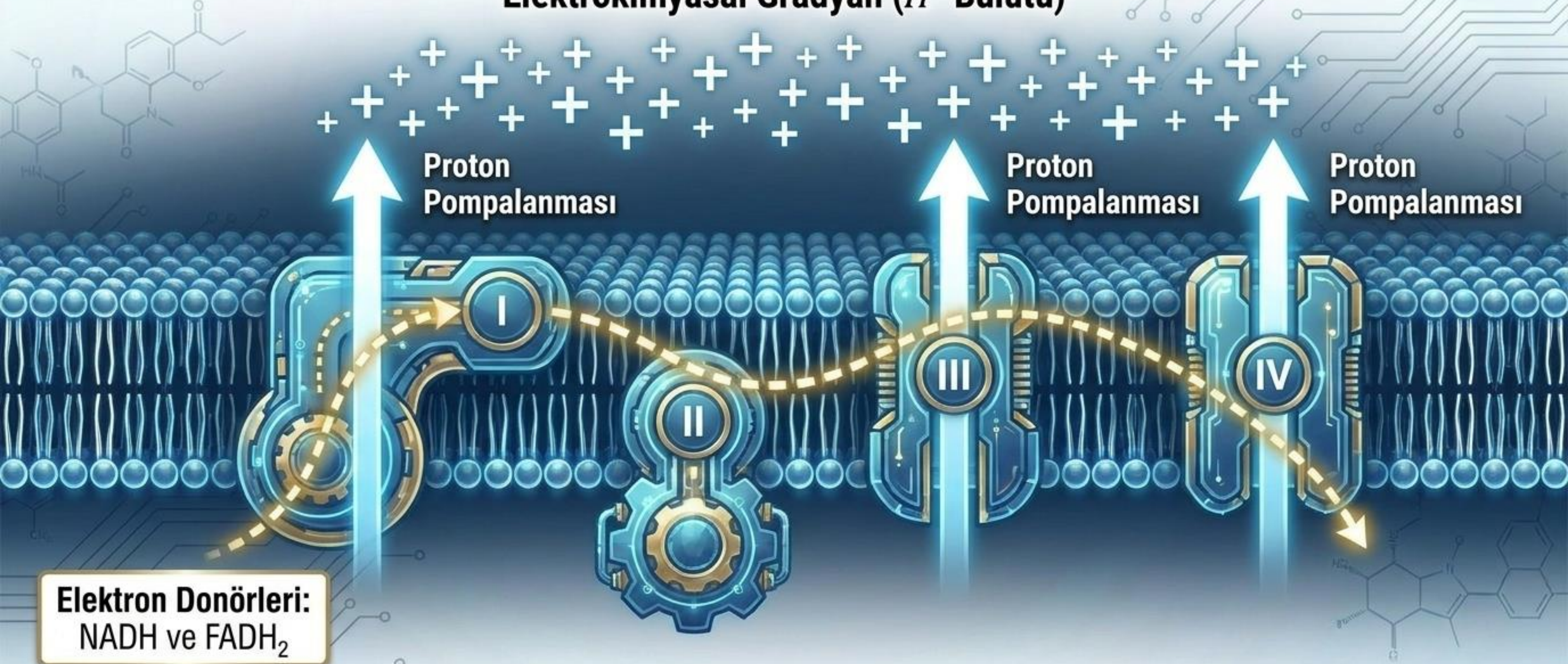


Krebs (Sitrik Asit) Döngüsü: Karbon İskeletinin Yıkımı



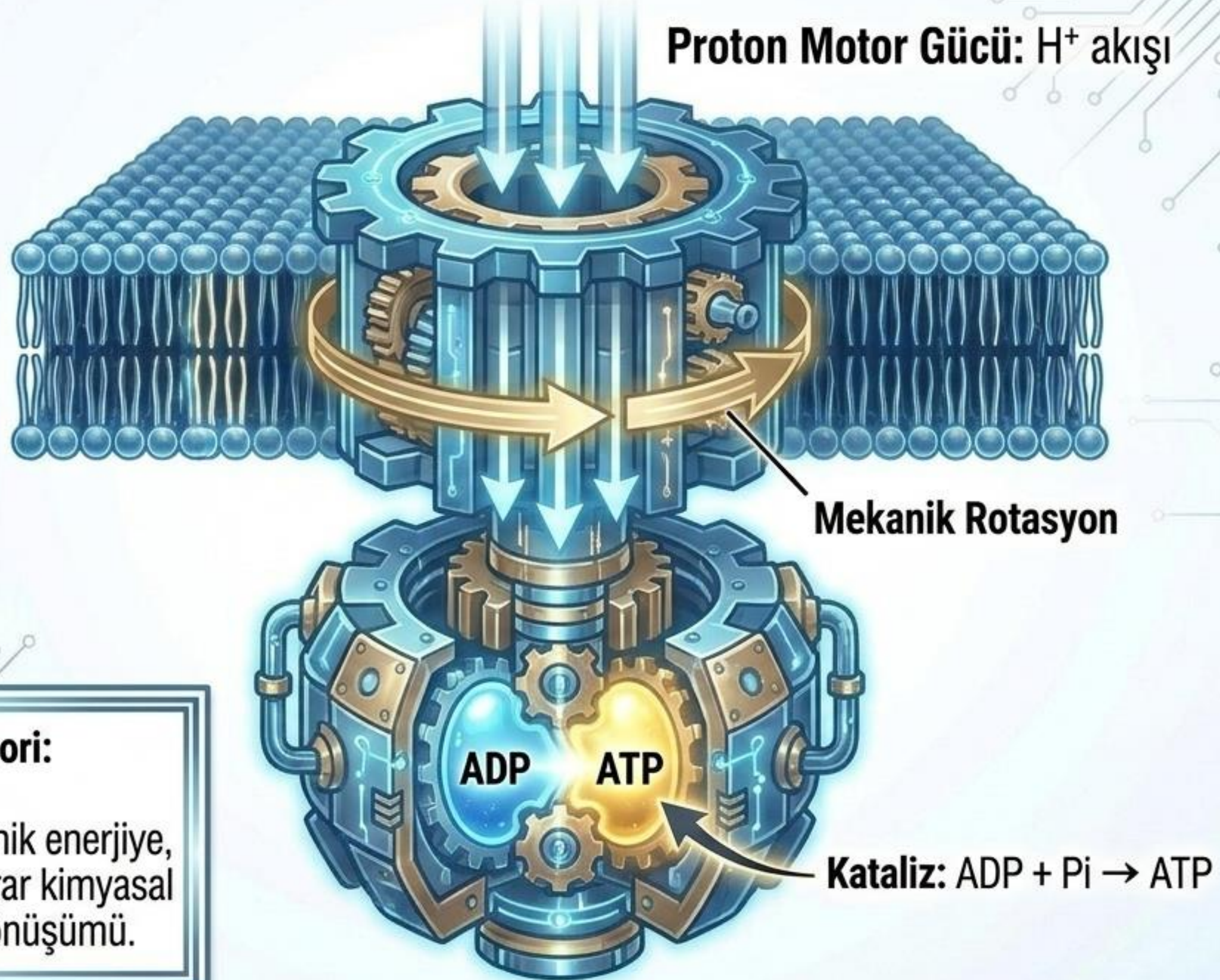
Elektron Taşıma Sistemi (ETS): Termodinamik Düşüş ve Proton Pompaları

Elektrokimyasal Gradyan (H^+ Bulutu)



Elektron Donörleri:
NADH ve $FADH_2$

Oksidatif Fosforilasyon: Kemiosmoz ve Nanomekanik Rotor



Kemiozmotik Teori:

Kimyasal enerjinin mekanik enerjiye, mekanik enerjinin de tekrar kimyasal bağ enerjisine eşsiz dönüşümü.

Terminal Elektron Alıcısı: Oksijenin Oksidatif Rolü



Oksijenin Çekim Gücü

Oksijen, yüksek elektronegatifliği ile elektronları tüm zincir boyunca kendine çeker. Oksijenin yokluğunda elektron akışı durur, proton gradyanı çöker ve ATP Sentaz motoru tamamen kilitlenir.

Anaerobik Alternatifler: Fermantasyon ve Glikolitik Kurtarma



Hayatta Kalma Protokolü: Fermantasyonun asıl amacı ATP üretmek değil, tükenen NAD^+ stoklarını yenileyerek glikolizin devam (2 ATP) etmesini sağlamaktır.

Termodinamik Verim: Oksidatif ve Anaerobik Sistem Kıyaslaması



Enerji Nerede Kaldı?

Fermantasyon süreçlerinde potansiyel enerjinin %90'ından fazlası, laktik asit veya etanol moleküllerinin kovalent bağlarında hapsolmuş halde kalır. Aerobik sistem ise karbon iskeletini tamamen parçalayarak maksimum enerji çıkarımını sağlar.

Sentez: Fotosentez ve Solunumun Biyoenerjetik Döngüsü

Girdi: CO_2 ve H_2O

Çırdı: Glikoz ve O_2



Kloroplast:
Işık Enerjisi
Giriş

Mitokondri:
Hücresel İş
İçin ATP



Çıktı: Glikoz ve O_2

Çıktı: CO_2 ve H_2O

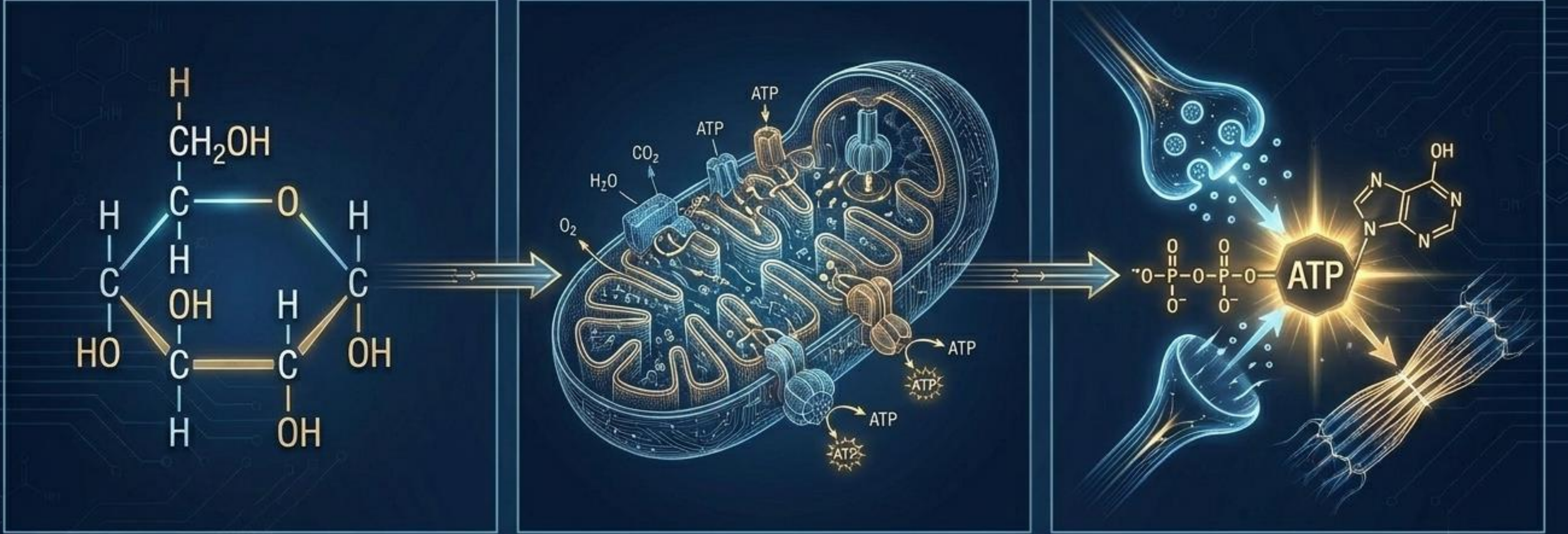
Kütle Döngüseldir, Enerji Doğrusaldır

Karbon, hidrojen ve oksijen kapalı bir sistemde sonsuz kez dönüştürülürken; enerji güneş ışığı formunda girip ısı olarak kaybolarak tek yönlü bir akış sergiler.

Karşılaştırmalı Biyoenerjetik Matrisi

Parametre	Fotosentez	Oksijenli Solunum
Lokasyon	Kloroplast	Sitoplazmada başlar, Mitokondride tamamlanır
Kütle/Enerji Akışı	Biyokütleyi artırır, Işık → Kimyasal Bağ	Biyokütleyi azaltır, Kimyasal Bağ → Serbest ATP
Madde Dengesi	Besin ve O ₂ üretilir, Su ve CO ₂ harcanır	Besin ve O ₂ tüketilir, Su ve CO ₂ açığa çıkar
pH Değişimi	Ortam pH'ını yükseltir	Ortam pH'ını düşürür
Fosforilasyon Tipi	Fotofosforilasyon	Substrat Düzeyinde ve Oksidatif Fosforilasyon
Elektron Taşıyıcılar	NADP ⁺ kullanılır	NAD ⁺ ve FAD görev yapar
Son Elektron Alıcısı	Organiktir (NADP ⁺)	İnorganiktir (O ₂)

Sonuç: Entropiye Karşı Biyolojik Makine



Hücresel solunum, yalnızca bir kimyasal tepkimeler dizisi değil; maddenin oksitlenmesinden doğan termodinamik potansiyeli mekanik bir rotorla ATP'ye dönüştüren evrimsel bir mühendislik harikasıdır. Bu nanometrik santral, yaşamın entropiye (düzensizliğe) karşı koyabilmesi için gereken enerjiyi kusursuz bir kompartımanlaşma ve elektron transfer dinamiği ile sağlar.