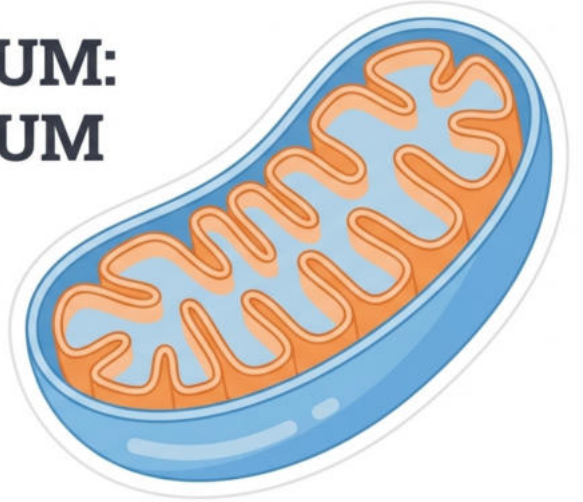


# HÜCRESEL SOLUNUM: OKSİJENLİ SOLUNUM

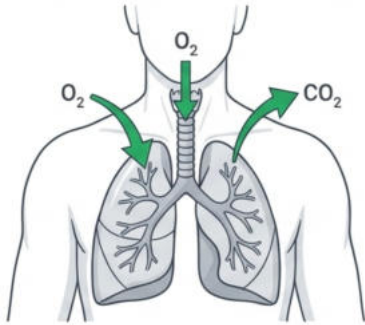
12. Sınıf Biyoloji / AYT Hazırlık

---

- Bu ders notları, hücresel solunum mekanizmalarını, ATP üretim süreçlerini ve metabolik evreleri kapsar.
- Konu: Enerji Dönüşümleri (Canlılık ve Enerji)
- Odak: Aerobik (Oksijenli) Solunumun Evreleri

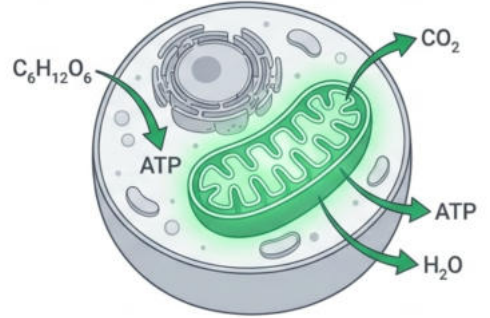


# Nefes Alıp Verme



Solunum organlarında (örneğin akciğerler) gerçekleşen fiziksel gaz değişimidir ( $O_2$  al,  $CO_2$  ver).

# Hücresel Solunum



Organik besin moleküllerinin (glikoz) hücre içinde enzimler yardımıyla parçalanarak kimyasal bağ enerjisinden ATP üretilmesidir.

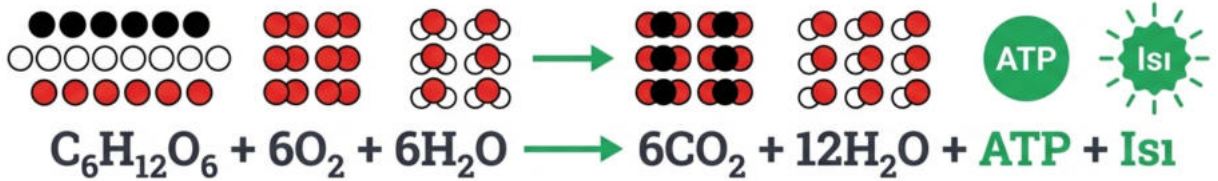
- **Amaç:** Canlının metabolik faaliyetleri için gerekli enerjiyi (ATP) üretmektir.

**[DİKKAT]:** Hücresel solunum bir gaz değişimi işlemi değil, bir enerji üretim ve dönüşüm sürecidir.

# Oksijenli Solunumun Genel Denklemi

Oksijenli solunum; oksijen varlığında besinlerin  $CO_2$  ve  $H_2O$ 'ya kadar tam parçalanmasıdır.

## Genel Tepkime:



Sadeleştirilmiş Denklem

Biyoloji sorularında genellikle su molekülleri sadeleştirilerek şu şekilde gösterilir:



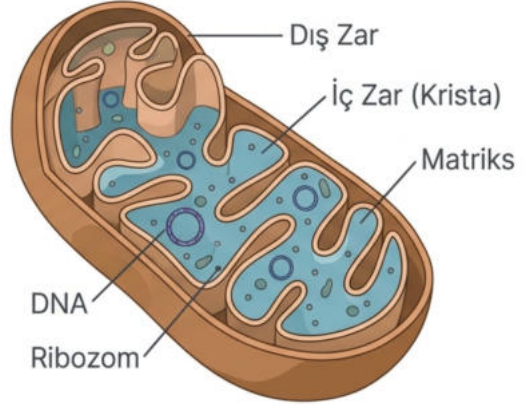
### [UNUTMA]:

Tepkimedede hem su harcanır hem de su üretilir. Net su çıkışı pozitiftir, ancak tepkimeye suyun girdiğini unutmamak gerekir.

# Olayın Merkezi: Mitokondri Yapısı

Ökaryotik canlılarda oksijenli solunum mitokondride tamamlanır.

- **Çift Zar Sistemi:** Dış zar düz, iç zar kıvrımlıdır.
- **Krista:** İç zarın yaptığı kıvrımlardır. Yüzey alanını artırır ve ETS (Elektron Taşıma Sistemi) elemanlarını taşır.
- **Matriks:** İç zarın doldurduğu sıvı kısımdır. Krebs döngüsü enzimleri, kendine özgü DNA, RNA ve ribozomlar burada bulunur.



**[BİLGİ]:** Mitokondri kendi DNA'sına sahip olduğu için ihtiyaç durumunda çekirdek kontrolünde kendini eşleyebilir.

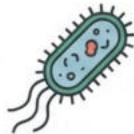
# Canlı Gruplarına Göre Solunumun Yeri

## Ökaryot Canlılar



- İnsan, Bitki, Mantar vb.
- **Glikoliz: Sitoplazma**
- **Krebs ve ETS: Mitokondri**

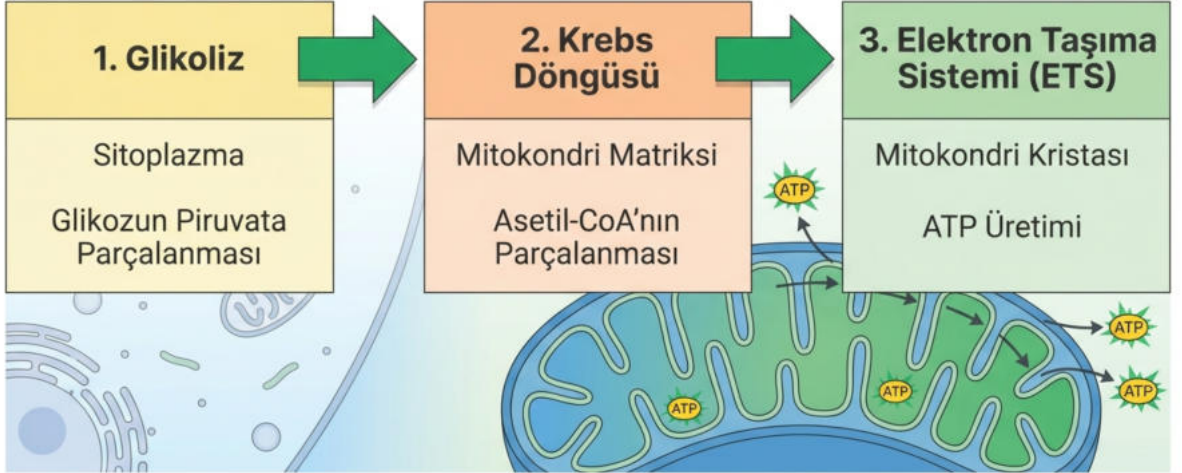
## Prokaryot Canlılar



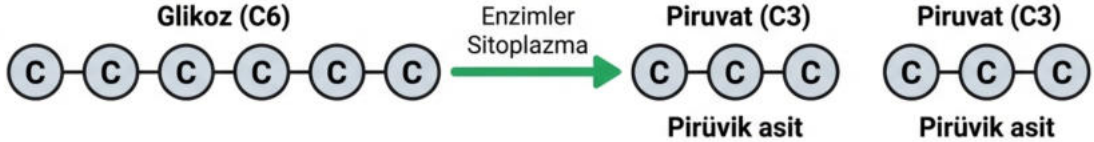
- Bazı Bakteriler
- Mitokondri organeli yoktur.
- **Glikoliz: Sitoplazma**
- **Krebs: Sitoplazma**
- **ETS: Hücre zarı kıvrımları (Zar yüzeyi)**

**[ÖNEMLİ]:** Prokaryotlarda zarlı organel (mitokondri) bulunmaz. ETS elemanları hücre zarının iç yüzeyinde konumlanmıştır.

# Oksijenli Solunumun Evreleri



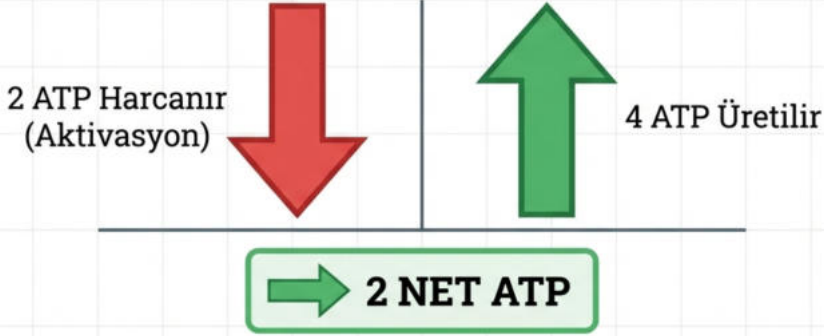
# 1. Evre: Glikoliz (Glikozun Parçalanması)



- **Tanım:** 6 karbonlu glikozun, **sitoplazmada enzimlerle** 3 karbonlu iki molekül **piruvata** (pirüvik asit) parçalanmasıdır.
- **Yer:** Tüm canlılarda Sitoplazmada gerçekleşir.
- **Özellik:** Evrenseldir. Tüm canlılarda kullanılan enzimler ve gerçekleşme mekanizması aynıdır.
- **Amaç:** Glikozu kararsızlaştırıp parçalamak ve sonraki evreler için hazırlamaktır.

**[DİKKAT]:** Glikoliz tepkimeleri oksijene ihtiyaç duymaz. Oksijenli veya oksijensiz tüm solunum çeşitlerinde ve fermantasyonda ortaktır.

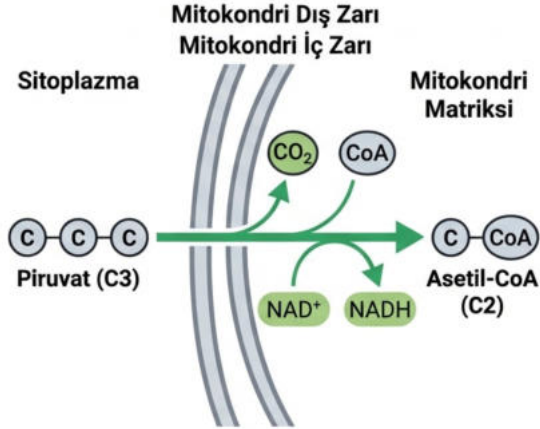
# Glikoliz Evresi: Madde ve Enerji Dengesi



- **Aktivasyon:** Glikozun kararsızlaşp reaksiyona girmesi için başlangıçta 2 ATP harcanır.
- **Üretim:** Tepkimeler sonucunda toplam 4 ATP sentezlenir.
- **Net Kazanç:** 4 Üretilen - 2 Harcanan = 2 Net ATP.
- **NADH Oluşumu:** Hidrojen ve elektron yakalayan NAD<sup>+</sup> koenzimi indirgenerek 2 NADH molekülü oluşturur.

Anahtar Kavram: Üretilen ATP, **Substrat Düzeyinde Fosforilasyon (SDF)** ile sentezlenir.

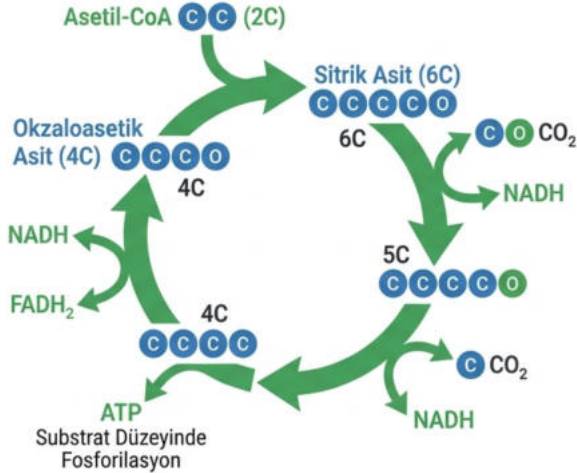
# Ara Basamak: Piruvatın Oksidasyonu



- Glikoliz sonucu oluşan 2 Piruvat, mitokondrinin içine (matrikse) girer.
- Piruvat doğrudan Krebs döngüsüne katılamaz; **Asetil-CoA**'ya (2 karbonlu) dönüşür.
- **Olaylar:**
  1. Her piruvattan 1 molekül  $CO_2$  ayrılır (Dekarboksilasyon).
  2.  $NAD^+$  indirgenerek  $NADH$  oluşur.
- Sonuçta 2 karbonlu Asetil-CoA oluşur ve Krebs döngüsünü başlatır.

**[NOT]:** Bu evre glikoliz ile Krebs arasındaki bağlantıyı kurar.

## 2. Evre: Krebs (Sitrik Asit) Döngüsü



- **Yer:** Mitokondri Matriksi.
- **Keşif:** Hans Krebs (1937) tarafından aydınlatılmıştır.
- **Başlangıç:** 2 karbonlu Asetil-CoA, 4 karbonlu Okzaloasetik asit ile birleşerek 6 karbonlu Sitrik Asit'i oluşturur.
- **Süreç:** Bir dizi enzimsel tepkimeyle karbonlar CO<sub>2</sub> şeklinde yapıdan ayrılır ve döngü tekrar başlangıç maddesine döner.

# Krebs Döngüsü: Ürün Bilançosu



Döngü glikoz başına iki kez çalışır

- Bir glikoz molekülü için döngü **2 kez** gerçekleşir (Çünkü 2 Piruvat oluşmuştu).
- **1 Glikoz İçin Krebs Sonuçları:**
  - **4 Molekül  $CO_2$ :** (Atmosfere verilir).
  - **2 ATP:** (**Substrat Düzeyinde Fosforilasyon** ile üretilir).
  - **6 NADH:** (Hidrojen ve elektron taşıyıcısı).
  - **2  $FADH_2$ :** (Yeni bir elektron taşıyıcısı, sadece **Krebs'te** görev alır).

**[DİKKAT]:** Piruvat oksidasyonunda çıkan 2  $CO_2$  ile birlikte toplam  $CO_2$  çıkışı 6 olur. Glikozdaki tüm karbonlar  $CO_2$  haline gelmiştir.

# Elektron ve Hidrojen Taşıyıcıları: Koenzimler

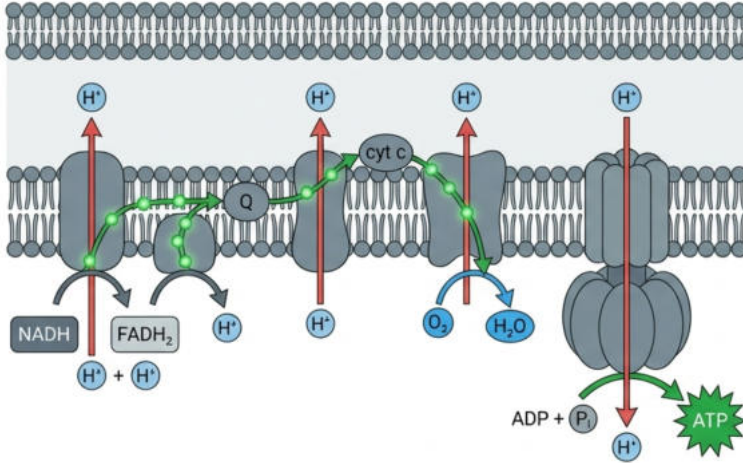


- Hücresel solunumda açığa çıkan **enerji yüklü elektronları** ve **protonları** ( $H^+$ ) yakalayıp ETS'ye taşıyan moleküllerdir.

- **NAD<sup>+</sup>** (Nikotinamid Adenin Dinükleotit): Hem glikoliz hem Krebs'te görev alır. Elektron olarak NADH'a indirgenir.
- **FAD** (Flavin Adenin Dinükleotit): Sadece Krebs döngüsünde görev alır. Elektron olarak  $FADH_2$ 'ye indirgenir.

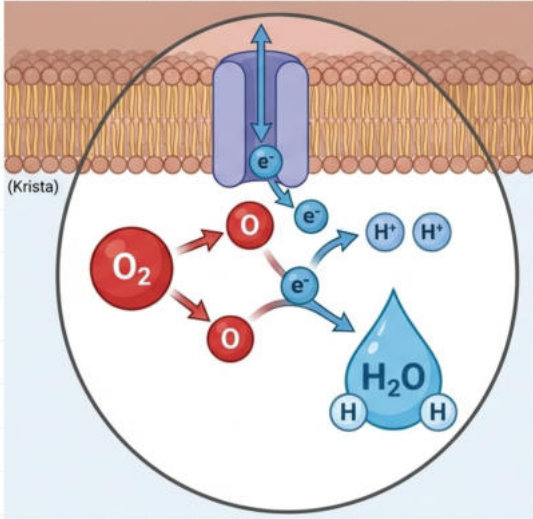
**[BİLGİ]:** Bu moleküller birer 'enerji mekiği' veya 'pil' gibi davranarak, enerjiyi son evreye (ETS) taşırlar.

# 3. Evre: Elektron Taşıma Sistemi (ETS)

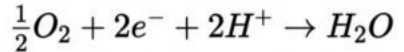


- **Yer:** Mitokondri iç zarı (Krista).
- **Mekanizma:** NADH ve FADH<sub>2</sub> ile getirilen yüksek enerjili elektronlar, zar üzerindeki protein kompleksleri üzerinden aktarılır.
- Elektronlar bir molekülden diğerine aktarılırken (İndirgenme-Yükseltgenme/Redoks) enerji açığa çıkar.
- Bu enerji ile protonlar (H<sup>+</sup>) matriks boşluğundan zarlar arası boşluğa pompalanır.
- **ATP Sentaz:** Geri dönen protonların oluşturduğu enerjiyle ATP sentezler (**Oksidatif Fosforilasyon**).

# Oksijenin Rolü ve Suyun Oluşumu



- ETS'nin en sonunda, elektron ilgisi en yüksek olan molekül **Oksijen** bulunur.
- **Son Elektron Alıcısı:** Oksijen, ETS zincirinden gelen yorgun elektronları ve ortamdaki protonları ( $H^+$ ) alır.
- Bu birleşme sonucunda **Su ( $H_2O$ )** oluşur.



**[KRİTİK]:** Oksijen olmazsa ETS durur,  $NAD^+$  ve  $FAD$  geri dönüştürülemez ve Krebs döngüsü çalışmaz.

# Özet Tablo: Oksijenli Solunum Bilançosu

| Evre                | Yer        | Üretilenler  | ATP Üretim Şekli |
|---------------------|------------|--|------------------|
| Glikoliz            | Sitoplazma | 2 ATP (Net), 2 NADH                                    | SDF              |
| Piruvat Oksidasyonu | Matriks    | 2 NADH, 2 CO <sub>2</sub>                              | Yok              |
| Krebs Döngüsü       | Matriks    | 2 ATP, 6 NADH, 2 FADH <sub>2</sub> , 4 CO <sub>2</sub> | SDF              |
| ETS                 | Krista     | ~28-32 ATP + H <sub>2</sub> O                          | Oksidatif        |

**Sonuç: Enerjinin büyük kısmı ETS evresinde oksidatif fosforilasyon ile kazanılır.**