

dersdeo
öğrenmenin en kolay yolu o!

BİYOLOJİ

CANLILARDA ENERJİ DÖNÜŞÜMLERİ HÜCRESEL SOLUNUM

Hücresel Solunum:

Hücre içindeki enerji verici organik maddelerdeki depolanmış olan kimyasal bağ enerjisinin ATP'ye çevrilmesidir.

Amaç:

- ✓ ATP sentezlemektir.
- ✓ (Ekzotermik)
- ❖ Üretilen bu ATP ile hücrede enerji harcamayı gerektiren (endotermik) reaksiyonlar; biyosentez, sinirsel iletim, kas kasılması vs. olaylar gerçekleştirilir.
- ❖ Solunum kesintisiz olarak devam eder.
- ❖ Solunum bir yadımlama olayıdır, ağırlık kaybettirir.

✓ 2 çeşit solunum olayı vardır.

I. Oksijensiz Solunum (Anaerobik solunum = O_2 'siz)

❖ Fermantasyon:

Organik bileşiklerin enzimatik reaksiyonlarda yıkılarak ATP üretilmesi olayıdır.

✓ O_2 'siz solunumda;

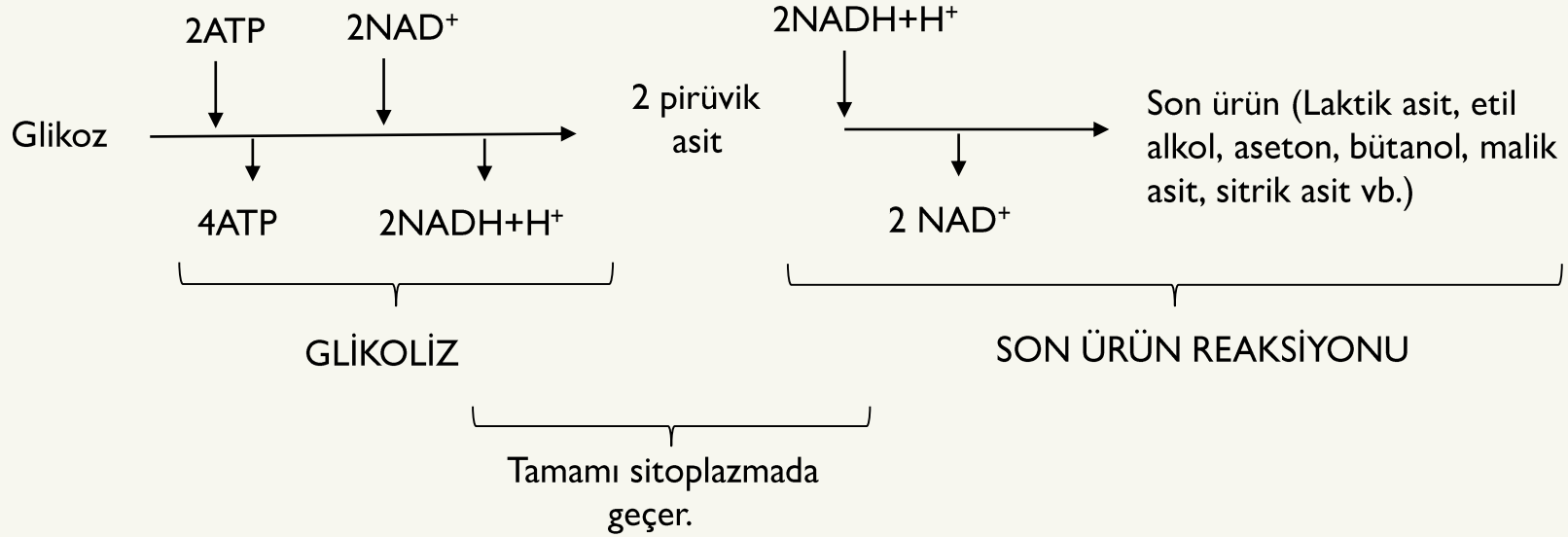
Karbonhidrat kullanılırsa fermantasyon (mayalanma),

Protein kullanılırsa pütrifikasyon (kokuşma) adını alır.

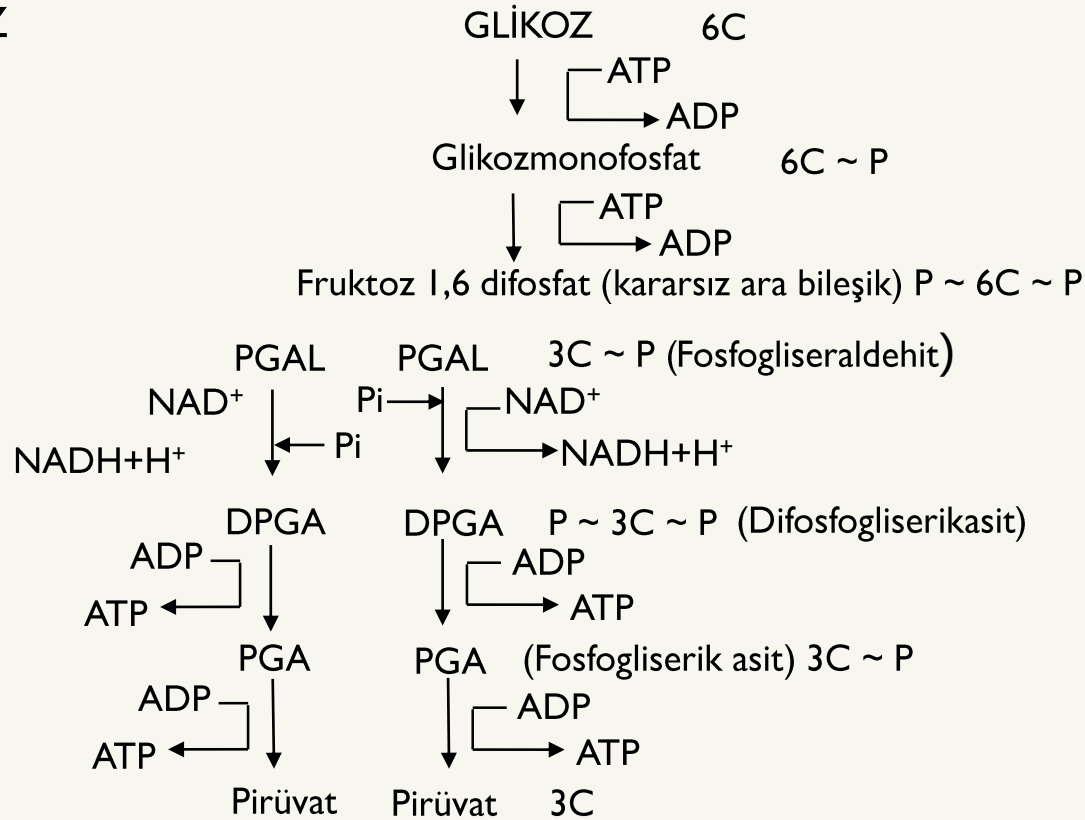
- a) Glikoliz
- b) Son ürün reaksiyonları olarak iki bölümde incelenir.

a) Glikoliz:

- ✓ Glikozun sitoplazmada enzimler yardımıyla O_2 kullanılmadan 3C'lu pirüvik asite (pirüvat) dönüşmesine denir.
- ✓ O_2 'li ve O_2 'siz solunumun başlangıç tepkimesidir.
- ✓ Tüm canlılarda görülen ortak olaylardır.
- ✓ Tüm canlılarda görülen ortak olay olması, canlıların ortak bir atadan geldiğinin kanıtı olarak kullanılabilir.



GLİKOLİZ

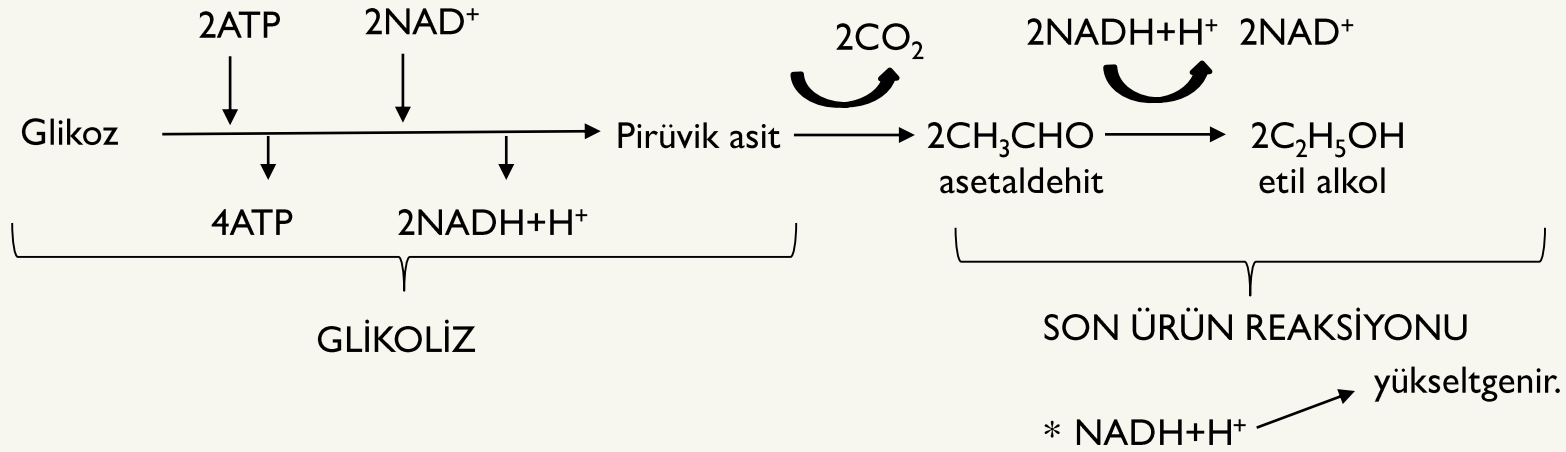


b) Son Ürün Reaksiyonları:

❖ O_2 'siz solunum, oluşan son ürüne göre adlandırılır.

a) Alkolik Fermantasyon = Etil Alkol Fermantasyonu

- ✓ Maya hücreleri,
 - ✓ Bazı bakteriler,
 - ✓ Bazı bitki tohumları yapabilir.
- ❖ Son ürün etil alkol ve CO_2 ' tir.
- ✓ Etil alkol, ortamda %16 – %18 'i geçerse üreme durur.

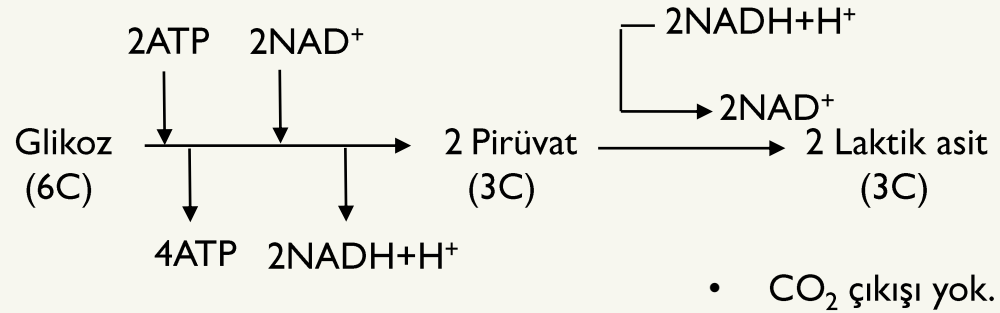


❖ SONUÇ:



b) Laktik Asit Fermantasyonu:

Yoğurt bakterilerinde ve omurgalı hayvanların çizgili kas hücrelerinde görülür.



- ✓ Az miktardaki laktik asit, kasın daha iyi çalışmasını sağlar; çok miktardaki laktik asit, kasın sertleşmesine neden olur.
- ✓ Kasta oluşan laktik asit, kan dolaşımı ile karaciğere ve beyne ulaşır.
- ✓ Beyinde yorgunluk hissi verir.
- ✓ Laktik asit, karaciğere giden pirüvata, oradan da glikoza çevrilebilir. (Glikojenezis)

Fermantasyonu Etkileyen Faktörler:

1. **Ortamdaki glikoz miktarı:** Bir noktaya kadar hızı arttırır.
2. **Ortam sıcaklığı:** Enzimlerin optimum çalıştığı derecelerde fermantasyon hızı da yüksek olur.
3. **Oluşan ürünler:** Son ürünlerin birikimi ortamın pH'ını değiştirdiğinden, enzim etkinliği yavaşlar ve fermantasyon hızı düşer.
4. **O₂ konsantrasyonu:** Zorunlu anaerobik canlıları olumsuz etkiler.

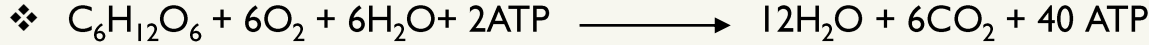
NOT:

Fermantasyonda enerji kazancının az olmasının nedeni; fermantasyonda oluşan son ürünlerin çoğunun organik olmasıdır. Etil alkol (C_2H_5OH), laktik asit ($C_3H_6O_3$) gibi. Enerjinin büyük çoğunluğu bu moleküllerde saklıdır. Bu yüzden enerjinin %2'si açığa çıkar. Bir miktar da ısı kaybı olur.

2) Oksijenli Solunum (Aerobik Solunum)

- ❖ Enerji verici besin maddelerindeki enerjinin O_2 kullanılarak açığa çıkarılmasına denir.

Organik madde $\longrightarrow$ İnorganik bileşikler
(K.B.E)



- ✓ O_2 'li solunumda glikozdaki enerjinin %40'ı açığa çıkarılır. (Moleküllerine parçalandığı için) %60 'ı ısı şeklinde kaybolur.

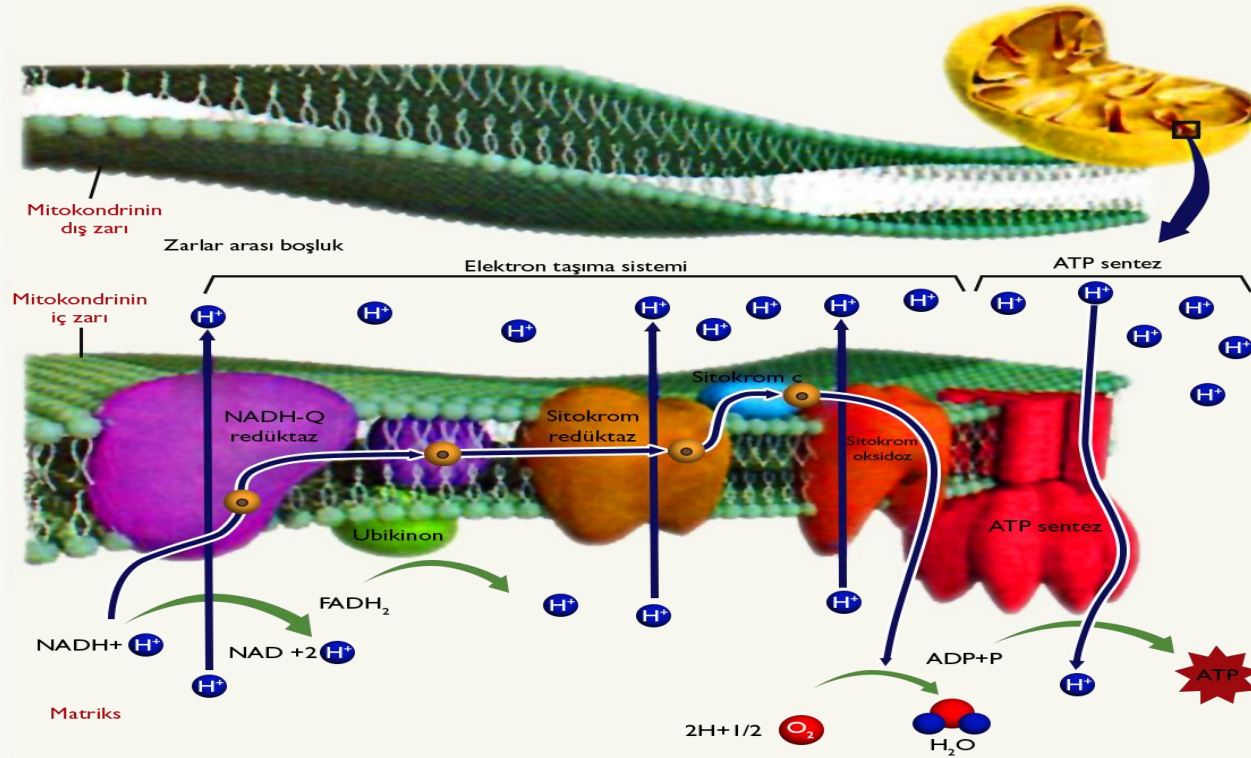
O₂'li Solunum Tepkimeleri;

- a. **Glikoliz:** Sitoplazmada geçer.
- b. **Krebs Devri (Sitrik Asit Çemberi):** Mitokondrinin matriksinde geçer.
- c. **Oksidatif Fosforilasyon:** (Hidrojen yolu = Su yolu) (E.T.S) Mitokondrinin krista zarında gerçekleşir.

NOT: O₂'nin Önemi:

O₂ , doğrudan maddeyi oksitlemez. Elektronlar bir çok koenzim aracılığıyla (E.T.S elemanları) kademeli olarak O₂'ye aktarılır. O₂ ve E.T.S varlığında E.T.S'den aktarılan $\bar{e}$ ların enerjisinden yararlanılarak H⁺ pompalayarak ATP sentezlenmesine **oksidatif fosforilasyon** denir.

E.T.S



Glikoliz ve Krebs Çemberi'nin farklı basamaklarında oluşan ara bileşiklerden ayrılan H^+ atomlarının enerjisi yüksek olanları E.T.S'ye (Elektron taşıma sistemi) iletilir.

❖ Mitokondrinin iç zar kıvrımlarına KRİSTA denir. Kristada E.T.S ve ATP Sentaz enzimi bulunur.

E.T.S, kristada yer alan bir dizi e^- taşıyıcı elemandan oluşur.

NADH-Q redüktaz	}	Protein yapılıdır.
Sitokrom redüktaz		
Sitokrom		
Sitokrom oksidaz		

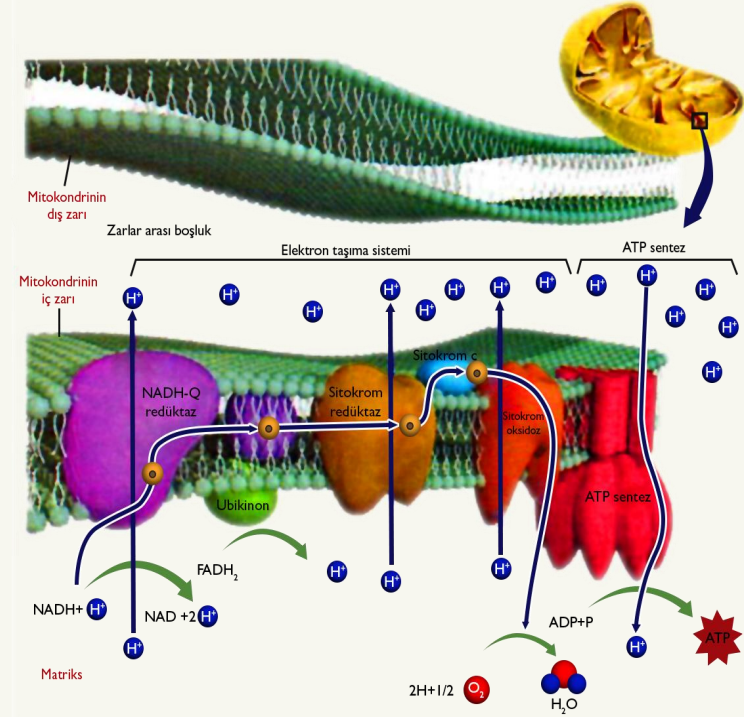
Ubikinon ise koenzim yapılıdır.

❖ Ubikinon (KoenzimQ)

- ❖ Mitokondrinin dış zarı küçük moleküllere ve iyonlara karşı geçirgen olmasına rağmen, iç zarı küçük moleküllere ve iyonlara ve (H^+) protonlara karşı geçirgen değildir.
- ❖ **Kemiozmik Hipotez:** Mitokondrinin zar yüzeyleri arasındaki proton (H^+) yoğunluğu farkı O.F ile ATP üretimini sağlar.

- ❖ **NAD:** NAD^+ ; 1e^- ve bir 2 proton (H^+) aldığında indirgenerek $\text{NADH}+\text{H}^+$ 'ye dönüşür.
- ❖ **FAD:** FAD 2e^- ve 2 proton aldığında indirgenerek FADH_2 'ye dönüşür.
- ❖ $\text{NADH}+\text{H}^+$ ve FADH_2 'nin getirdiği yüksek enerjili e^- 'lar ETS elemanlarına verilir ve bir dizi indirgenme (redüklenme) ve yükseltgenme (oksitleme) reaksiyonu gerçekleşir.

- ❖ e^- , ETS sayesinde taşınırken protonlar (H^+) matrikse bırakılır. $NADH + H^+$ ve $FADH_2$ ise NAD^+ ve FAD formlarına yükseltgenerek tekrar e^- alabilecek duruma gelir.
- ❖ e^- 'lar E.T.S'de bir molekülden diğerine geçerken serbest enerjinin bir kısmı ısı olarak ortama bırakılır ve enerji seviyeleri kademeli olarak düşürülür. e^- 'ların sahip olduğu enerjinin büyük kısmı ise matrikste bulunan H^+ 'lerin mitokondrinin dış ve iç zarı arasında bulunan boşluğa pompalamak için kullanılır. Bu protonların pompalanması sırasında ise E.T.S molekülleri rol alır. Böylece mitokondrinin dış ve iç zarı arasındaki bölge, matrikse göre daha yüksek H^+ derişimine sahip olur. Protonlar sayesinde iç zarın iki yüzü arasında elektriksel yük farkı oluşur.
- ❖ Kristayı oluşturan zar yani iç zar, H^+ 'lere geçirgen değildir. Bu yüzden H^+ 'ler iç ve dış zar arasındaki boşluktan matrikse geçemez.

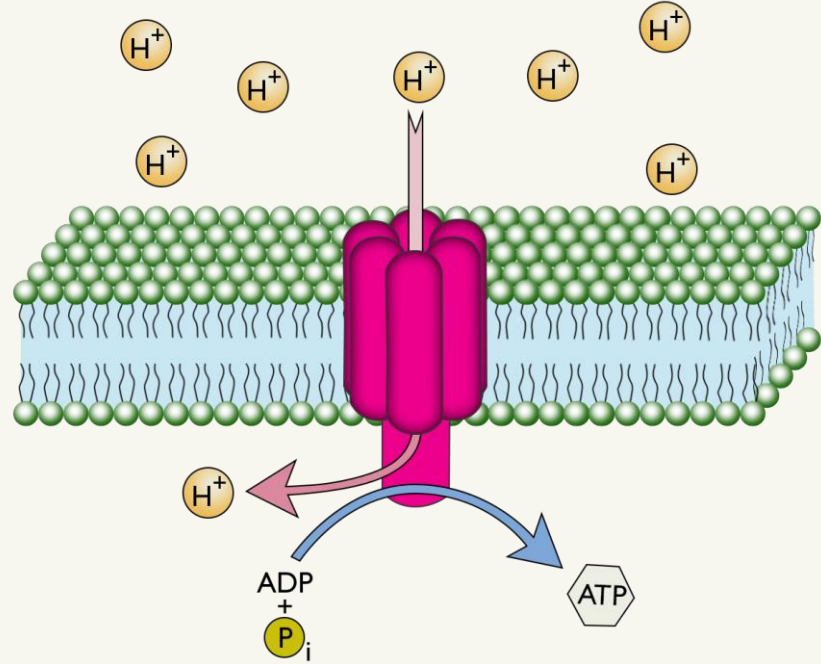


ATP SENTAZ:

İç zardaki ATP Sentaz, H^+ 'lerin matrikse geçişi için bir yol oluşturur.

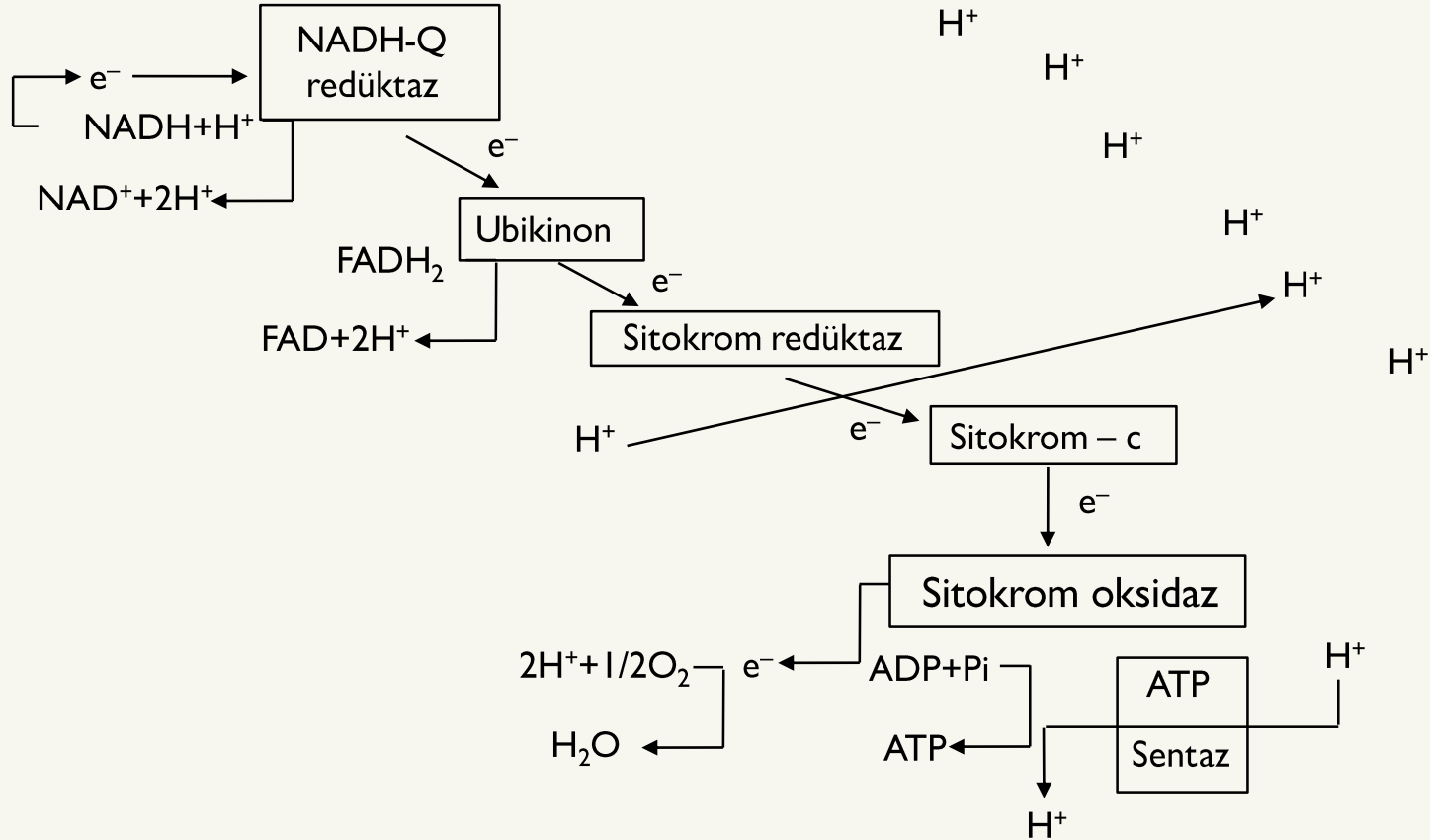
Kompleks bir enzimdir. H^+ 'leri matrikse alışı sırasında aktifleşir ve enzim yapısında bazı değişiklikler gerçekleşir. Bu değişimler sırasında ADP'ye bir $\sim P$ eklenerek ATP sentezlenir.

H^+ 'lerin dış zar ile iç zar arasındaki boşluktan matrikse doğru geçişi sırasında, geçiş devam ettikçe ATP sentezi de devam eder.



- ❖ E.T.S moleküllerinden geçen e^- 'ların son alıcısı oksijendir. Düşük enerjili e^- 'lar, oksijen ve protonlar birleşerek suyu oluşturur.
- ❖ $FADH_2$ 'nin e^- 'ları, ETS'ye $NADH+H^+$ 'ın e^- 'larına göre daha düşük bir enerji seviyesinden giriş yapar. Bu yüzden daha düşük ATP üretimine neden olur. (1/3 oranında)

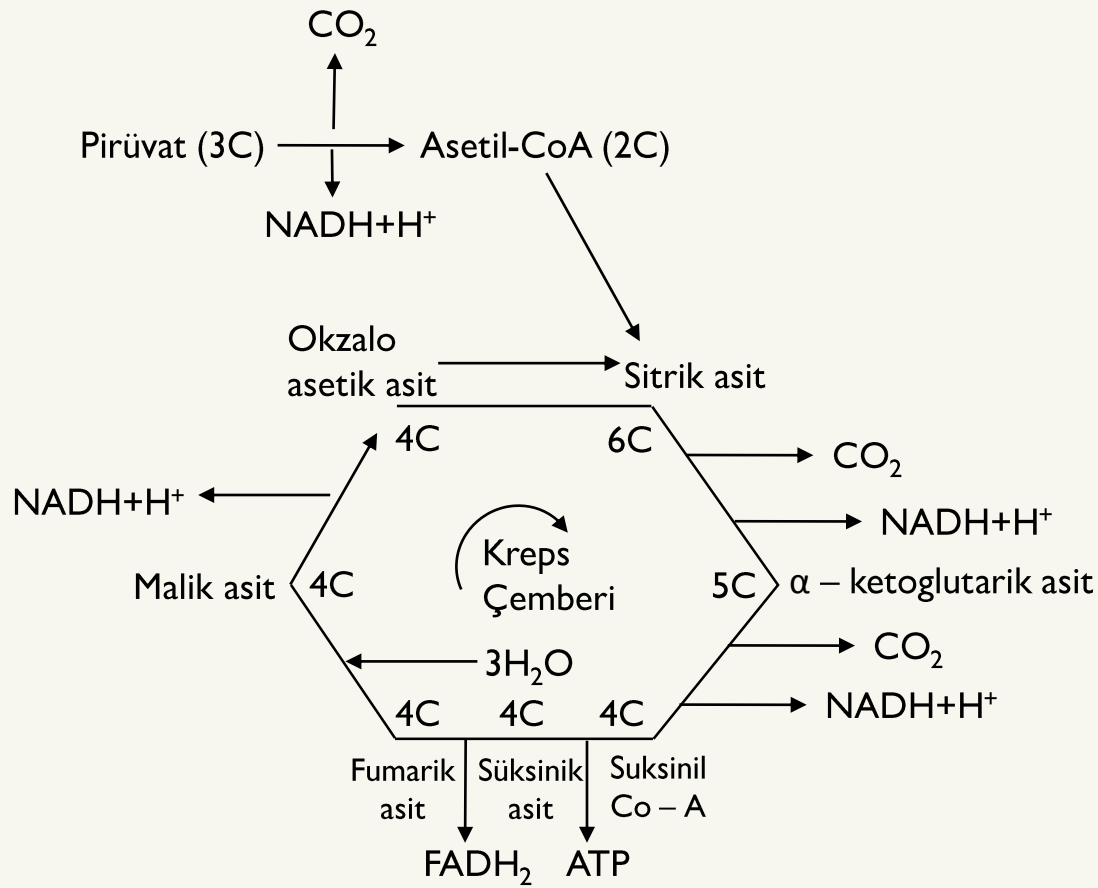




İç zar ile
dış zar arası
boşluk

b) Krebs Devri: T.C.A Devri (Trikarboksilik Asit Devri)

- ❖ Mitokondrinin matriksinde gerçekleşir.
- ✓ Reaksiyon başlamadan önce;
 - 2mol pirüvik asit mitokondriye girer.
 - 2mol pirüvik asit $\xrightarrow{2\text{CO}_2}$ 2mol Asetil-CoA
- ❖ Krebs Çemberi reaksiyonları 2 molekül Asetil-CoA ile başlar.



Sonuç: O₂'li Solunumun Enerji Hesabı

GLİKOLİZDE: 4ATP (SDF) , 2NAD x 3ATP = 6ATP (O.F)

❖ 2 Pirüvat → 2Asetil – coA

2NADH+H⁺ 2NAD x 3 = 6ATP (O.F)

❖ Krebs Çemberi'nin Enerji Hesabı:

2 Krebs için; 6NAD⁺ → 6NADH+H⁺ dönüşür.

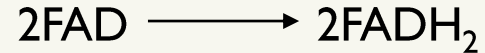


6NAD x 3ATP = 18 ATP (O.F)

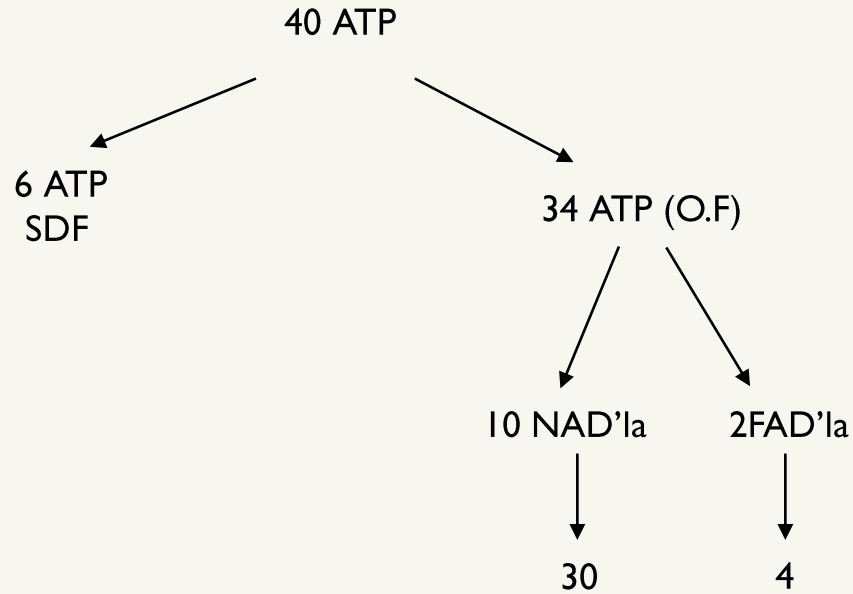
2FAD x 2ATP = 4 ATP (O.F)

+ 2ATP = SDF

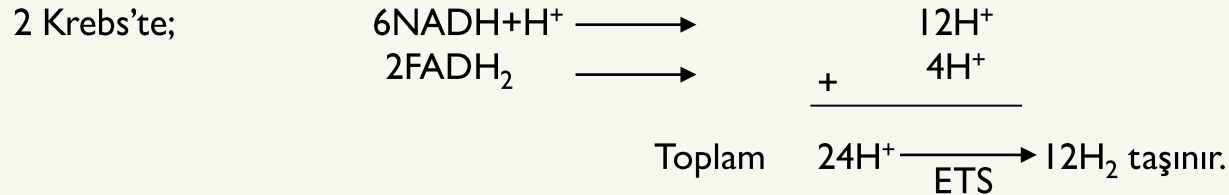
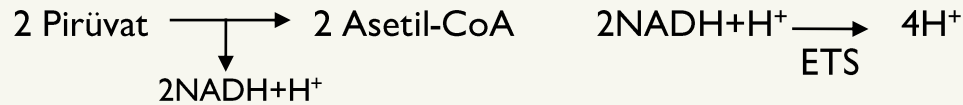
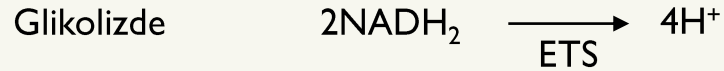
40 ATP



Sonuç:

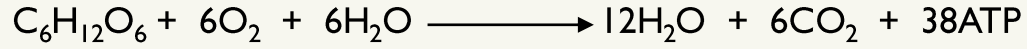


❖ O₂'li Solunumun Su Hesabı



SONUÇ: $12\text{H}_2\text{O}$ oluşur. $\underbrace{6\text{H}_2\text{O}}_{\text{2 Krebs'te harcanır.}} \longrightarrow 6\text{H}_2\text{O}$ oluşur.

ÖNEMLİ:



ÖRNEK

Bir hayvan kas hücresinde toplam 35 mol glikoz bulunmaktadır. 10 mol glikozun parçalanmasından H_2O ve CO_2 oluşurken, geri kalanın tamamı laktik aside kadar yıkılmıştır. Buna göre hücrenin ürettiği net ATP miktarı nedir?

YANIT: 430

ÖRNEK: O_2 'li solunumda Krebs Devri'ne giren 8 mol aktif asetik asitin (Asetil-CoA) tamamından CO_2 ve H_2O açığa çıktığında toplam kaç ATP üretilir?

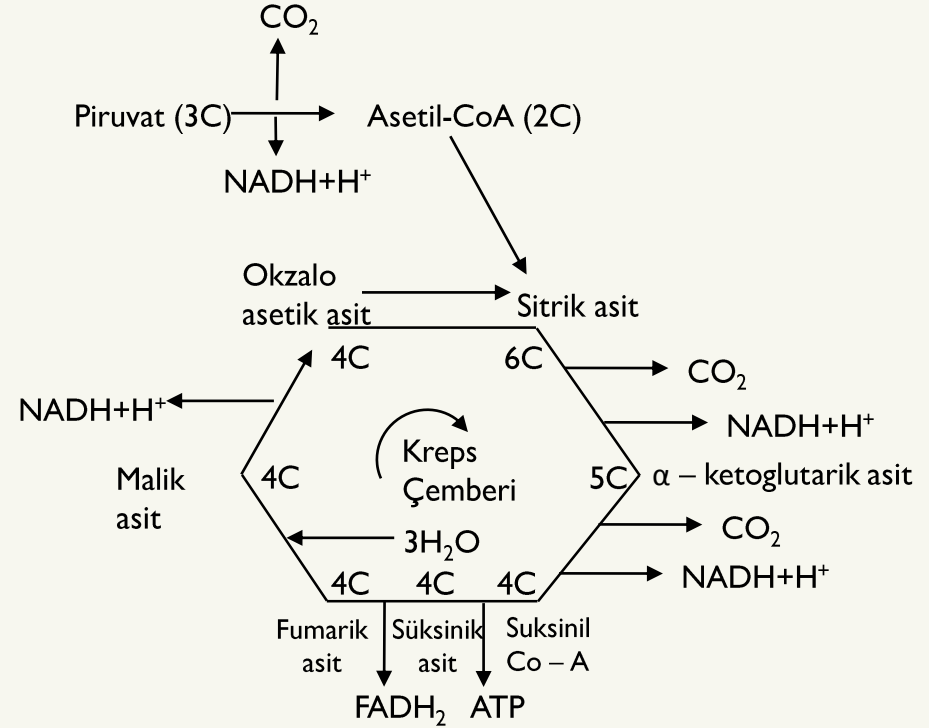
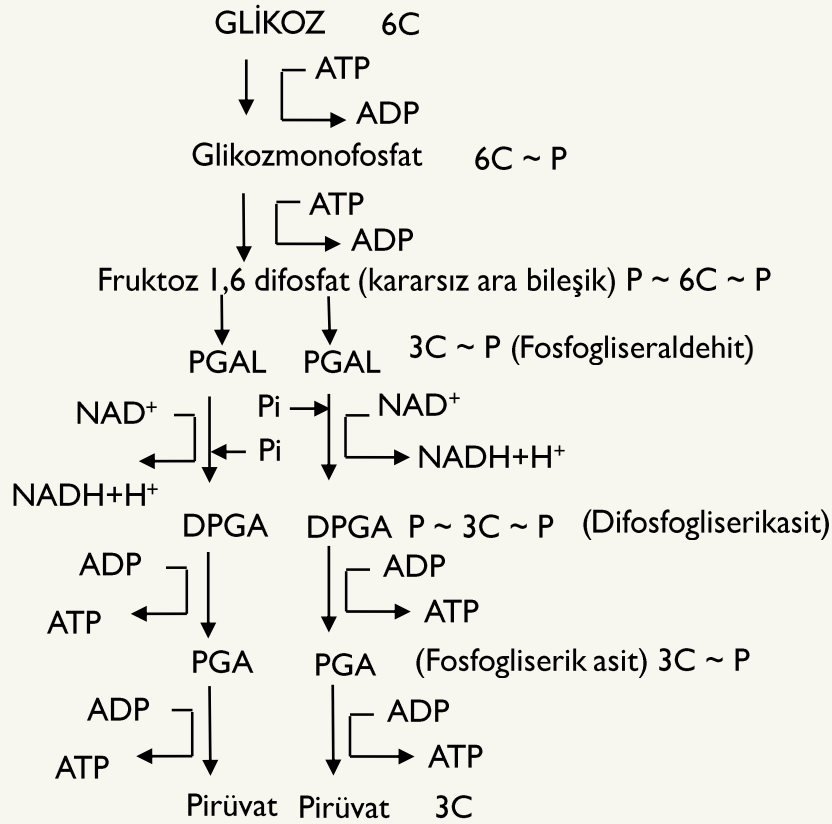
1 Asetil-CoA'dan

$$3NAD \times 3 = 9ATP$$

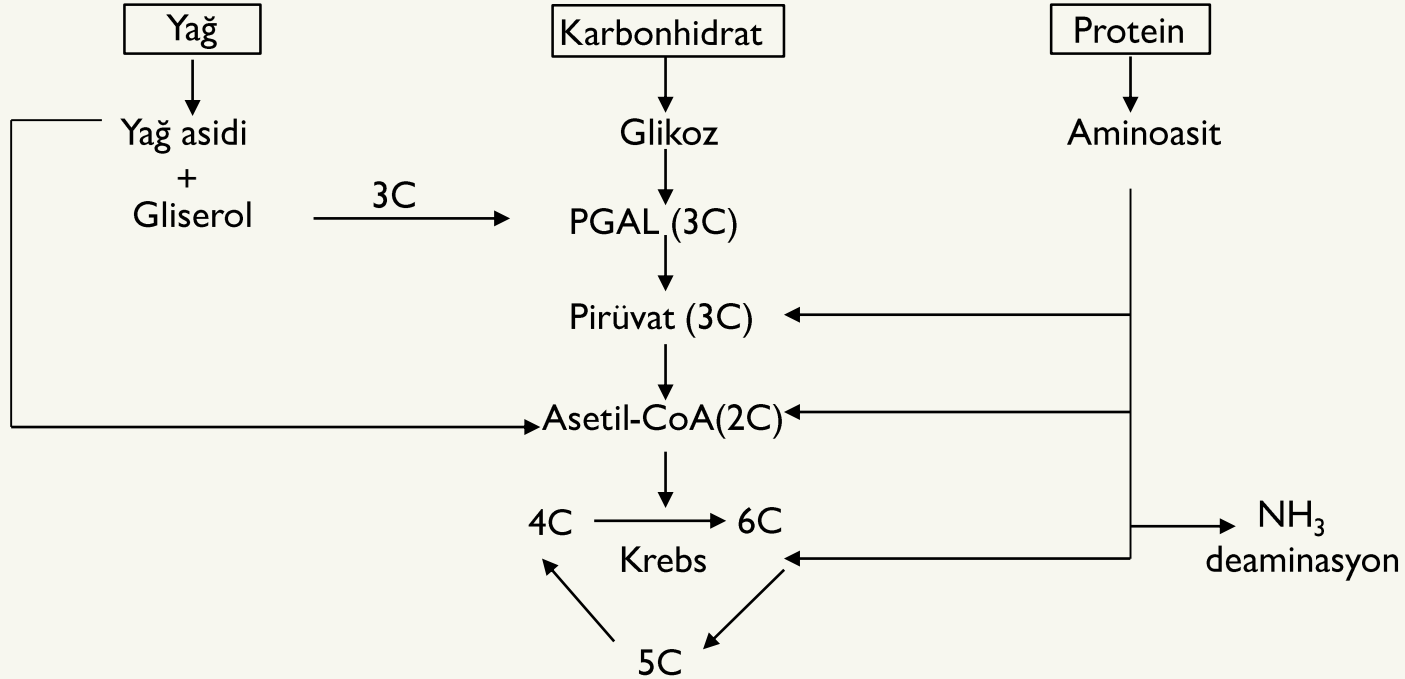
$$1FAD \times 2 = 2ATP$$

$$+ 1ATP$$

$$12ATP \times 8 \text{ Krebs} \rightarrow 96ATP$$



Temel Carbon Yolu



Solunum Katsayısı:

$$Rq = \frac{\text{Birim zamanda üretilen CO}_2}{\text{Birim zamanda tüketilen O}_2}$$

Karbonhidratlar için;

$$Rq = 1$$

Yağlar için;

$$Rq < 1$$

Proteinler için;

$$Rq > 1$$

ÖRNEK

Memelilerde olgun alyuvar hücrelerinde mitokondri bulunmaz.

Buna göre hücreler, yaşamaları için gerekli olan enerjiyi aşağıdaki yollardan hangisiyle sağlar?

- A) Glikozun oksijensiz yıkımıyla
- B) Pirüvatın Asetil CoA molekülüne dönüştürülmesiyle
- C) NADH elektronlarının doğrudan Asetil CoA molekülüne aktarılmasıyla
- D) FADH_2 elektronlarının doğrudan elektron taşıma zincirine aktarılmasıyla
- E) NADH elektronlarının doğrudan elektron taşıma zincirine aktarılmasıyla

LYS 2013

ÖRNEK

İnsanın iskelet kası hücrelerinde, oksijenli solunum ve fermantasyon olayları gerçekleşirken son elektron alıcısı olarak işlev gören moleküller aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir?

Oksijenli solunum

- A) Oksijen
- B) Etil alkol
- C) Oksijen
- D) Su
- E) Oksijen

Fermantasyon

- Asetaldehit
- Laktik asit
- Pirüvat
- NAD⁺
- Laktik asit

LYS 2013

ÖRNEK

Bir hayvan hücresindeki glikoliz, Krebs döngüsü ve elektron taşıma sistemi olayları hücrenin hangi kısımlarında gerçekleşir?

<u>Glikoliz</u>	<u>Krebs Döngüsü</u>	<u>Elektron Taşıma Sistemi</u>
A) Çekirdek	Mitokondri	Hücre zarı
B) Çekirdek	Sitoplazma	Endoplazmik retikulum
C) Sitoplazma	Çekirdek	Mitokondri
D) Sitoplazma	Mitokondri	Mitokondri
E) Hücre zarı	Endoplazmik retikulum	Endoplazmik retikulum

LYS 2012

ÖRNEK

Alkol fermantasyonu, oksijenli solunum ve laktik asit fermantasyonunda aşağıdakilerden hangisi ortak değildir?

- A) Enzimlerin kullanılması
- B) ATP'nin sentezlenmesi
- C) Organik maddelerin yıkılması
- D) $\text{NADH} + \text{H}^+$ oluşumu
- E) CO_2 oluşumu

LYS 2012

ÖRNEK

Krebs çemberinde gerçekleşen olaylar göz önüne alındığında aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) Krebs çemberinde, FADH_2 sentezi gerçekleşir.
- B) Hücre solunumunda ortaya çıkan NADH_2 moleküllerinin çoğu Krebs çemberinde sentezlenir.
- C) Tepkime basamaklarının her birinde farklı bir enzim görev alır.
- D) Krebs çemberinde oluşan bir organik molekül, bir sonraki basamağın substratıdır.
- E) Krebs çemberinde çıkan karbondioksitteki oksijenin kaynağı, solunumla alınan oksijendir.

LYS 2011

ÖRNEK

Aşağıdaki tabloda dört ayrı ortamda bulunan besin molekülleri ve ortamın oksijen durumları verilmiştir.

Ortam	Besin molekülü	Oksijen durumu
I	Glikoz	Yok
II	Glikoz	Var
III	Amino asit	Yok
IV	Amino asit	Var

Yukarıdaki ortamlardan hangilerine maya mantarı eklenmesi sonucu etil alkol açığa çıkar?

A) Yalnız I

B) I ve III

C) II ve III

D) II ve IV

E) III ve IV

YGS 2010

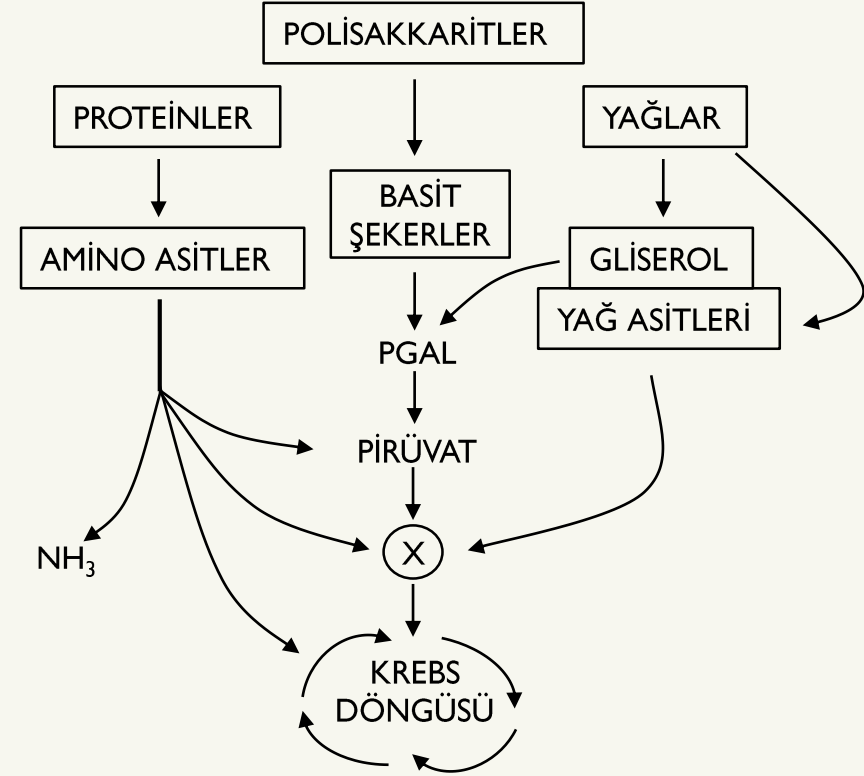
ÖRNEK

Enerji elde etmede kullanılabilircek moleküllerin biyokimyasal yıkım yolları yanda verilmiştir.

Buna göre, şemada X olarak gösterilen madde aşağıdakilerden hangisidir?

- A) NADH_2
- B) FADH_2
- C) Glikoz
- D) Asetil CoA
- E) Sitrik asit

LYS 2010



ÖRNEK

Ökaryot canlıların oksijenli solunumunda,

- I. glikozun sitoplazmada belirli moleküllere kadar yıklması,
- II. enerji elde etmede kullanılacak moleküllerin mitokondrilere geçmesi,
- III. moleküllerin enzimlerle CO_2 ve H_2O 'ya kadar parçalanması

olaylarının gerçekleşme sırası aşağıdakilerin hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) I – II – III B) II – I – III C) II – III – I D) III – I – II E) III – II – I

ÖSS 2008

ÖRNEK

Bir canlı, aşağıdakilerden hangisiyle bir glikoz molekülünden en fazla ATP elde eder?

- A) Glikoliz
- B) Elektron taşıma sistemi (ETS)
- C) Laktik asit fermantasyonu
- D) Etil alkol fermantasyonu
- E) Pirüvattan Asetil Co-A elde edilmesi

ÖSS 2008

ÖRNEK

Hücrenin oksijenli solunumuyla ilgili,

- I. Oksijenli solunum sonucunda çıkan karbondioksitin oksijeni, kullanılan glikozun yapısındaki oksijendir.
- II. Oksijen, glikozun yanmasını sağlar.
- III. Oksijen, oksidatif fosforilasyonun son aşamasında kullanılır.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) I ve III E) II ve III

ÖSS 1998