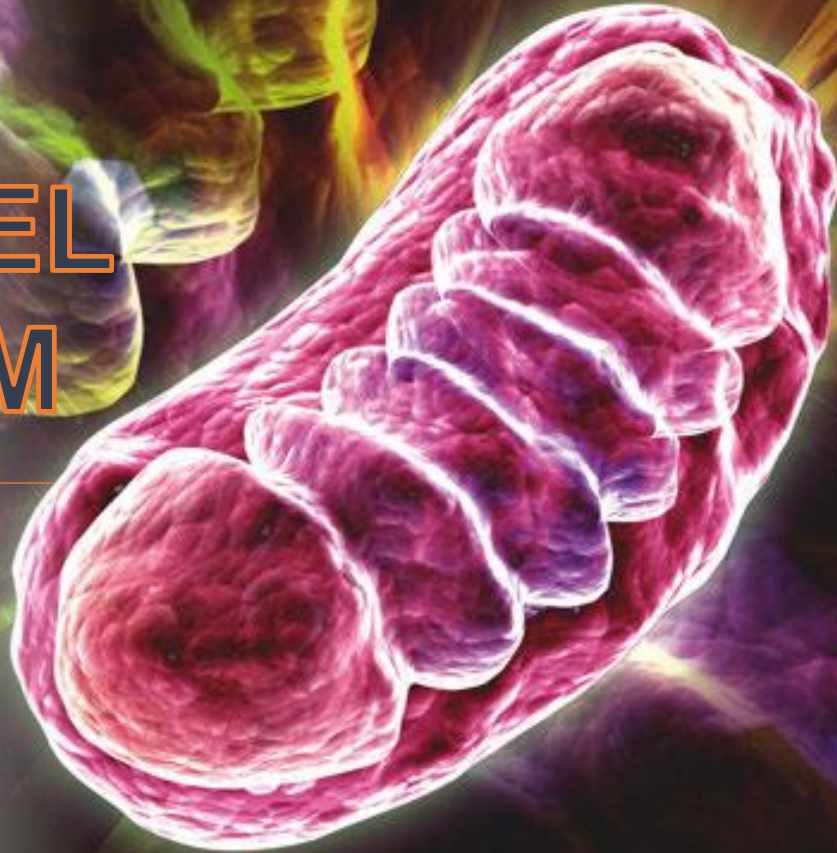


HÜCRESEL SOLUNUM



Hücresel Solunum

Organik moleküllerin
yapısındaki
**kimyasal bağ
enerjisi**

ATP sentezi

Oksijenli Solunum

Oksijensiz Solunum

Fermantasyon

OKSİJENLİ SOLUNUM

Enerji verici
organik besin
monomerlerinin

İnorganik moleküllere
(CO_2 , H_2O , NH_3 ...)

Parçalanması ile açığa çıkan enerjiyle
ATP sentezlenmesine
oksijenli solunum denir.

Oksijenli Solunum Gerçekleştiği Yapılar

Prokaryot canlılarda

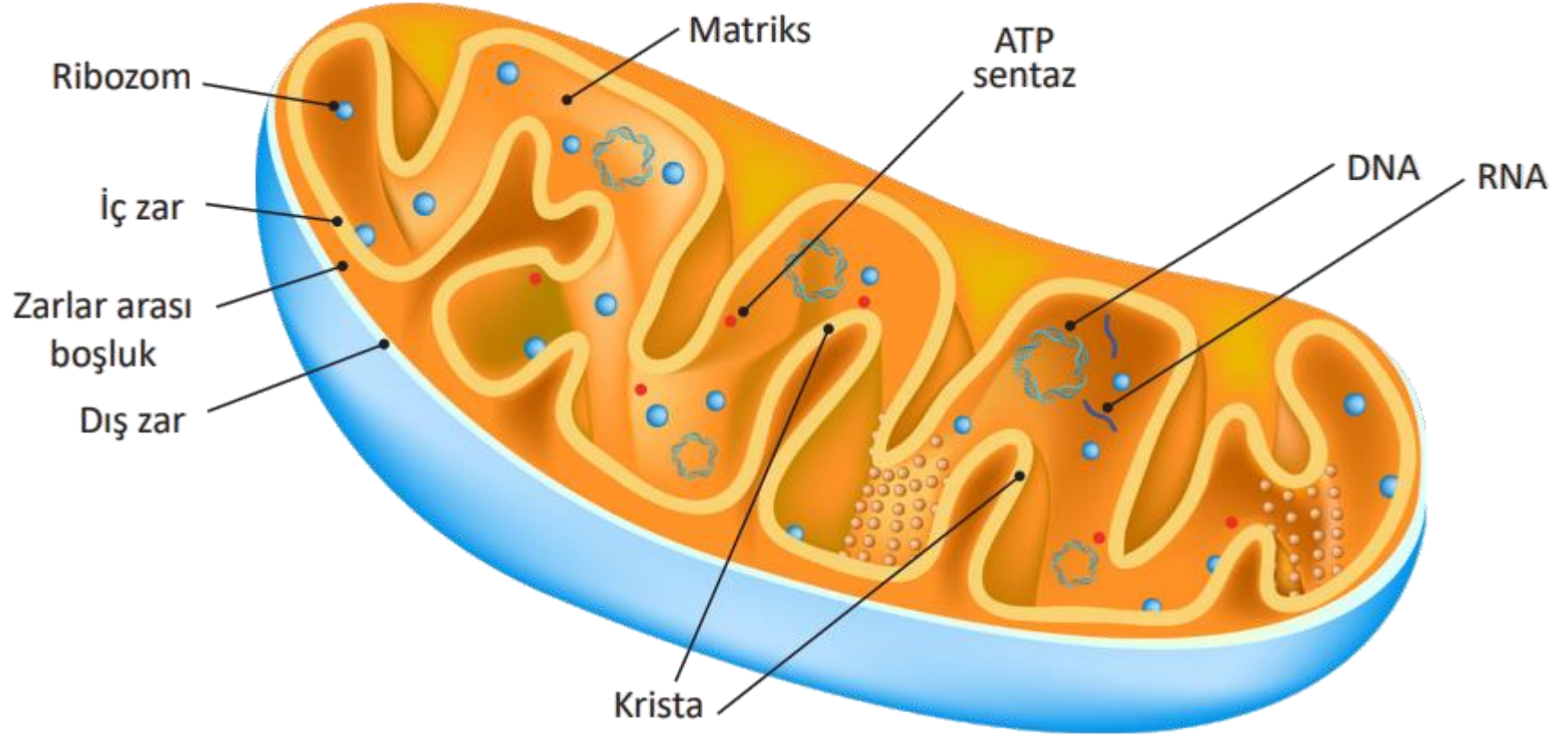
Sitoplazmalarında başlar hücre zarı kıvrımlarında devam eder.

Ökaryot canlılarda

Sitoplazmada başlar mitokondride devam eder.

Oksijenli solunumun genel denklemi





-Prokaryot canlılar ve memeli olgun alyuvarlarının dışında oksijenli solunum yapan tüm hücrelerde bulunur.

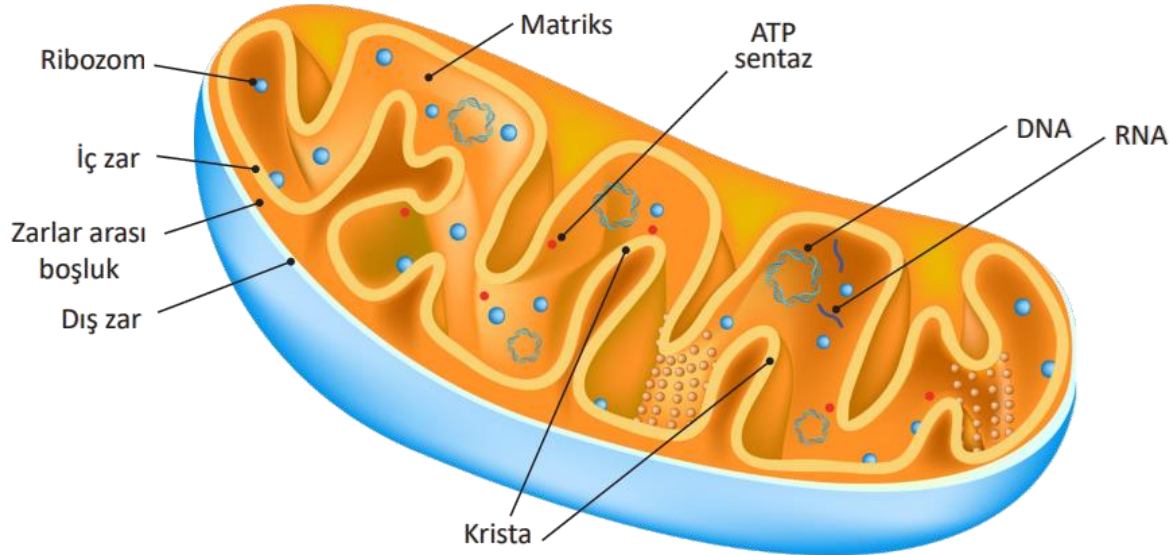
-Çift zarlıdır.

-Dış zar düz, iç zar kıvrımlıdır. Kıvrımlı bu yapıya **krista** denir.

-Krista üzerinde ETS molekülleri vardır.

-Kendisine ait DNA, RNA ve ribozomu vardır.

-Kıvrımların arasını matriks adı verilen sıvı doldurur.
DNA, RNA, ribozom ve solunum enzimleri matriks içinde bulunur



Mitokondri etkinliđi artan bir hücrede;

- ❖ O_2 tüketimi artar.
- ❖ Enerji verici olarak kullanılan glikoz, yağ asidi ve gliserol gibi monomerlerin miktarı azalır.
- ❖ CO_2 artar. pH düşer. Asitlik artar.
- ❖ Üretilen ATP artar. Isı artışı olur.
- ❖ H_2O miktarı artar.
- ❖ Ozmotik basınç azalır. Turgor basıncı artar.



**NASIL
SORDULAR
2020 AYT**

Glikoz molekülünün oksijenli solunumda yıkılarak enerji elde edildiği bilinmektedir. Bu süreç genel bir denklemle aşağıdaki gibi özetlenmektedir.



Oksijenli solunum yapan bir canlıya işaretli oksijen molekülleri verilecek olursa hücresel solunum sırasında bu işaretli oksijene;

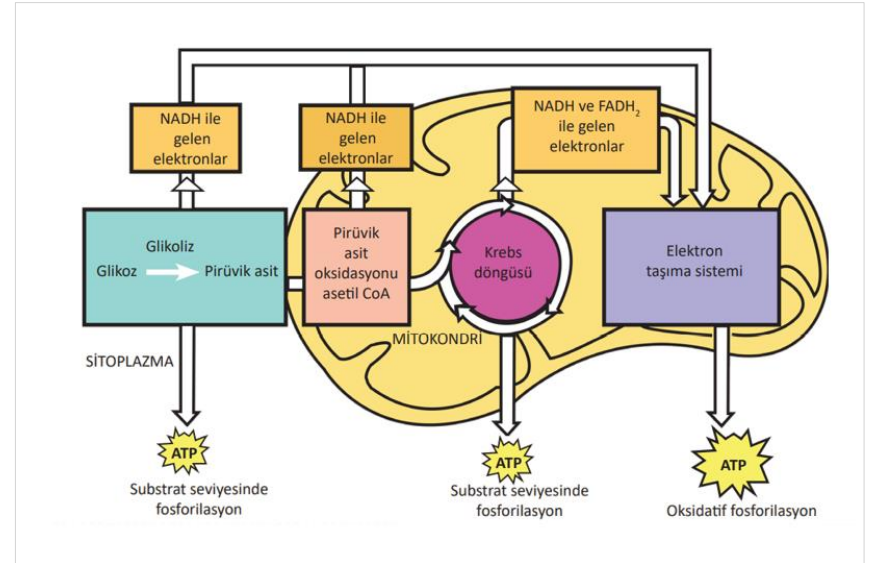
- I. pirüvik asitten asetil CoA oluşumu sırasında açığa çıkan CO_2 ,
- II. Krebs döngüsünde açığa çıkan CO_2 ,
- III. elektron taşıma sisteminde oluşan H_2O

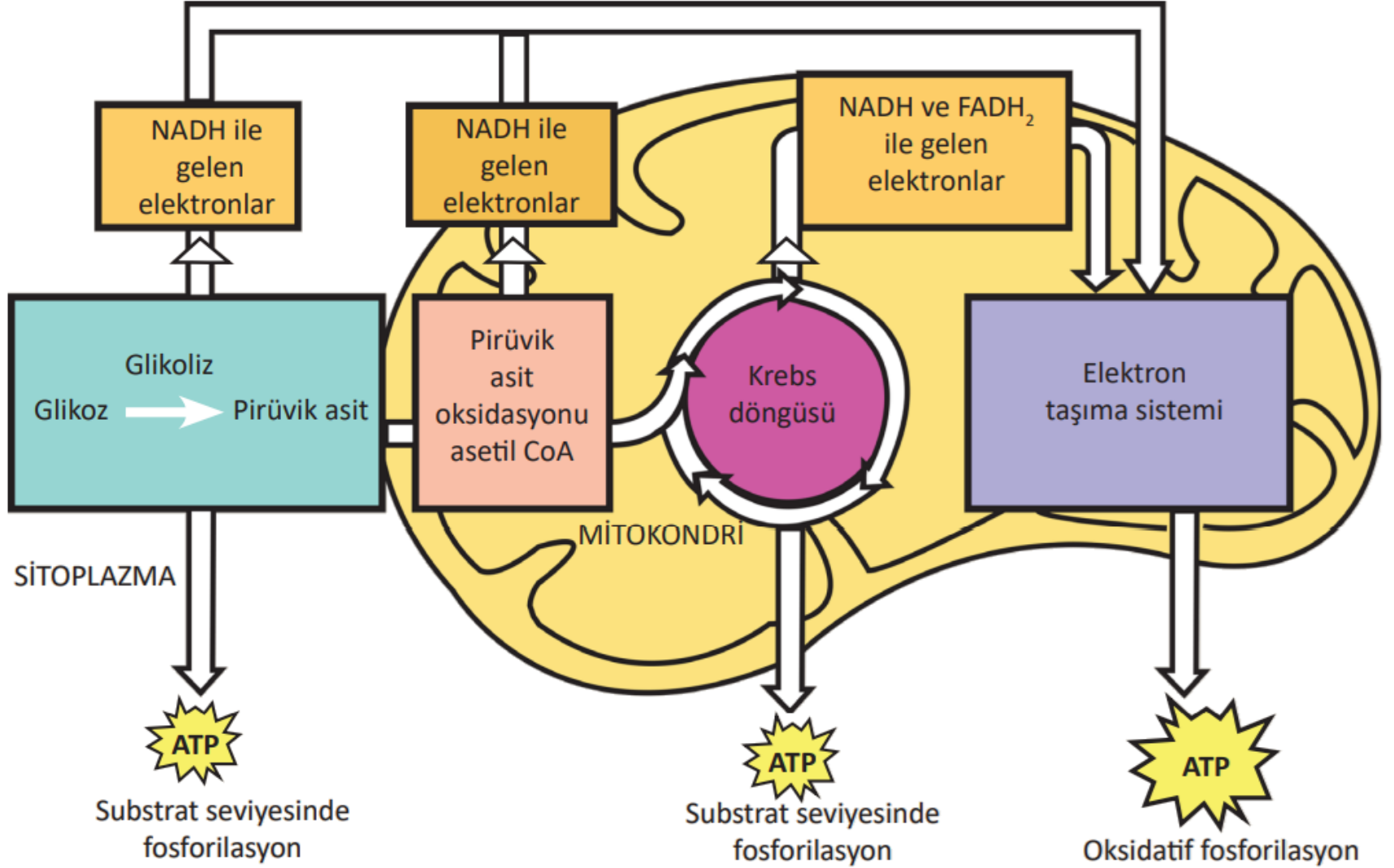
moleküllerinin hangilerinde rastlanması beklenir?

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

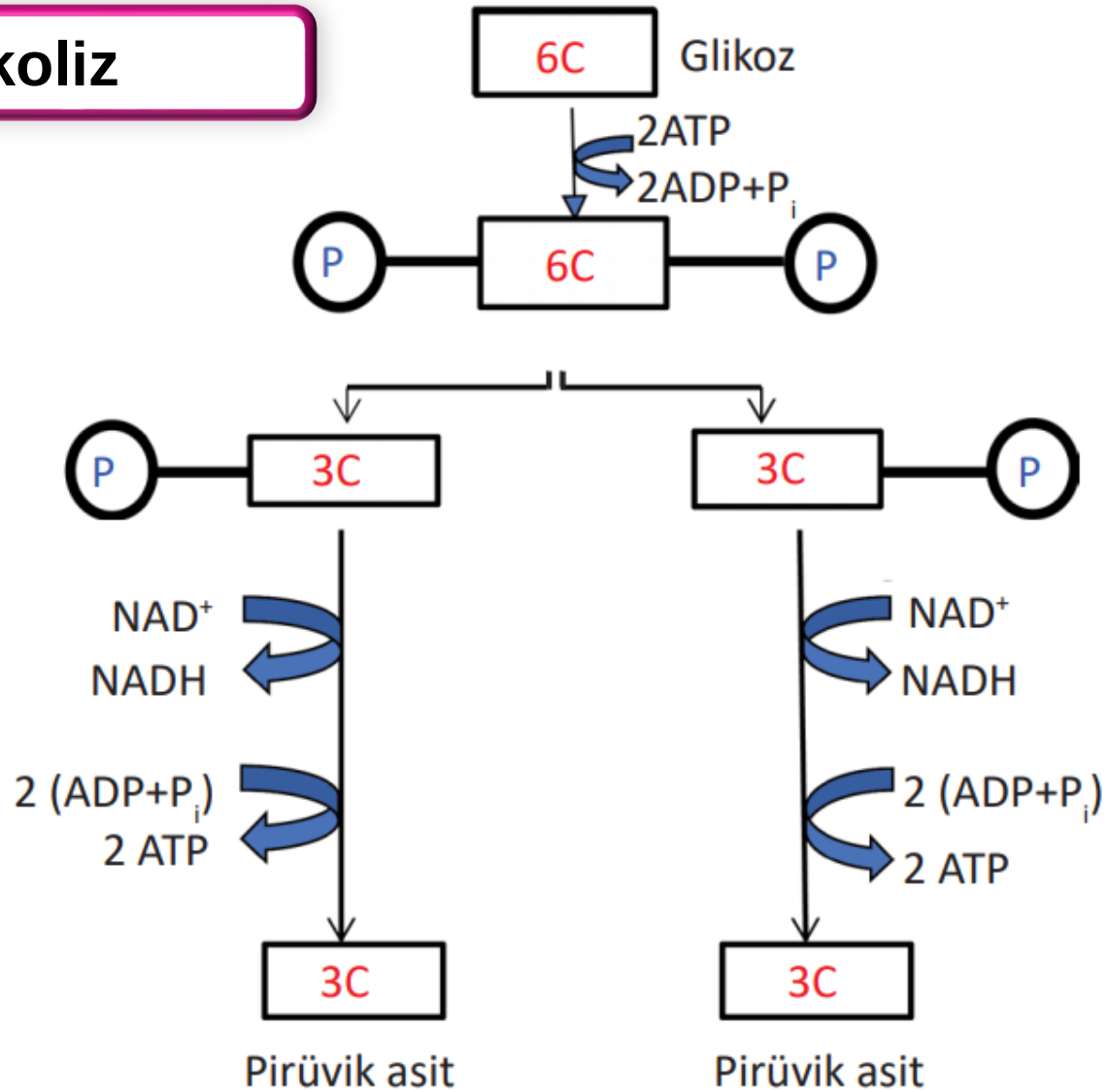
Oksijenli solunum;

1. GLİKOLİZ,
2. KREBS DÖNGÜSÜ
3. ETS





Glikoliz





Bütün hücresel solunum tepkimeleri glikoliz ile başlar.

Glikoliz olayını kontrol eden enzimler, tüm canlılarda ortaktır.

Sitoplazmada gerçekleşir.



NASIL
SORDULAR
2018 AYT

Ökaryotik bir hücrede aşağıdaki metabolik olaylardan hangisi zarla kuşatılmış bir organel içerisinde gerçekleşmez?

A) Glikoliz

B) Krebs döngüsü

C) Fotosentez

D) mRNA sentezi

E) Hücre içi sindirim



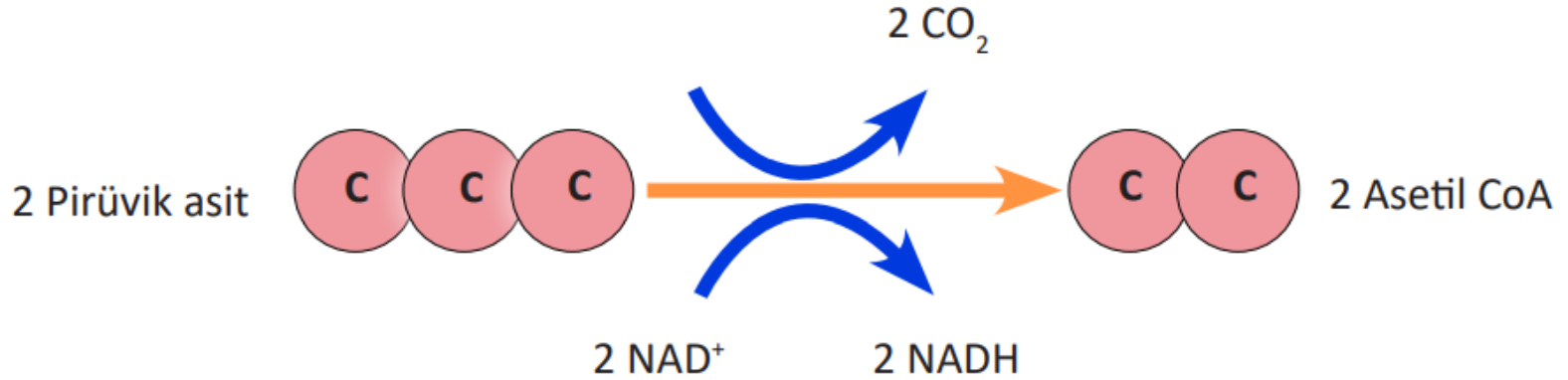
- ✓ Glikozun aktifleşmesi ve reaksiyonun başlayabilmesi için aktivasyon enerjisi olarak 2 ATP harcanır.
- ✓ Bir glikoz molekülü başına, substrat düzeyinde fosforilasyon ile toplam 4 ATP üretilir. Net kazanç 2 ATP'dir.
- ✓ 2 NAD⁺ indirgenir yani 2 NADH+H⁺ oluşur.

Pirüvik Asitten Asetil - CoA Oluşumu

Dikkat !

Oksijenli solunum sırasında glikoz mitokondri içine girmez. Glikolizde 2 molekül piruvata parçalanır ve piruvatlar mitokondri içine alınır.

Ancak piruvatlar krebs döngüsüne girmek için tam hazır değildirler. Önce Krebs döngüsüne hazırlık aşaması gerçekleşir.



Asetil Co A, krebs döngüsünü başlatan temel moleküldür.

-Piruvatın asetil Co A'ya dönüşümü ortamda oksijen olduğunu gösterir.

MİTOKONDİRİ

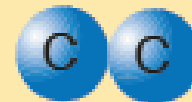
SİTOPLAZMA



2 Pirüvik asit

2CO_2

2 Asetil - CoA

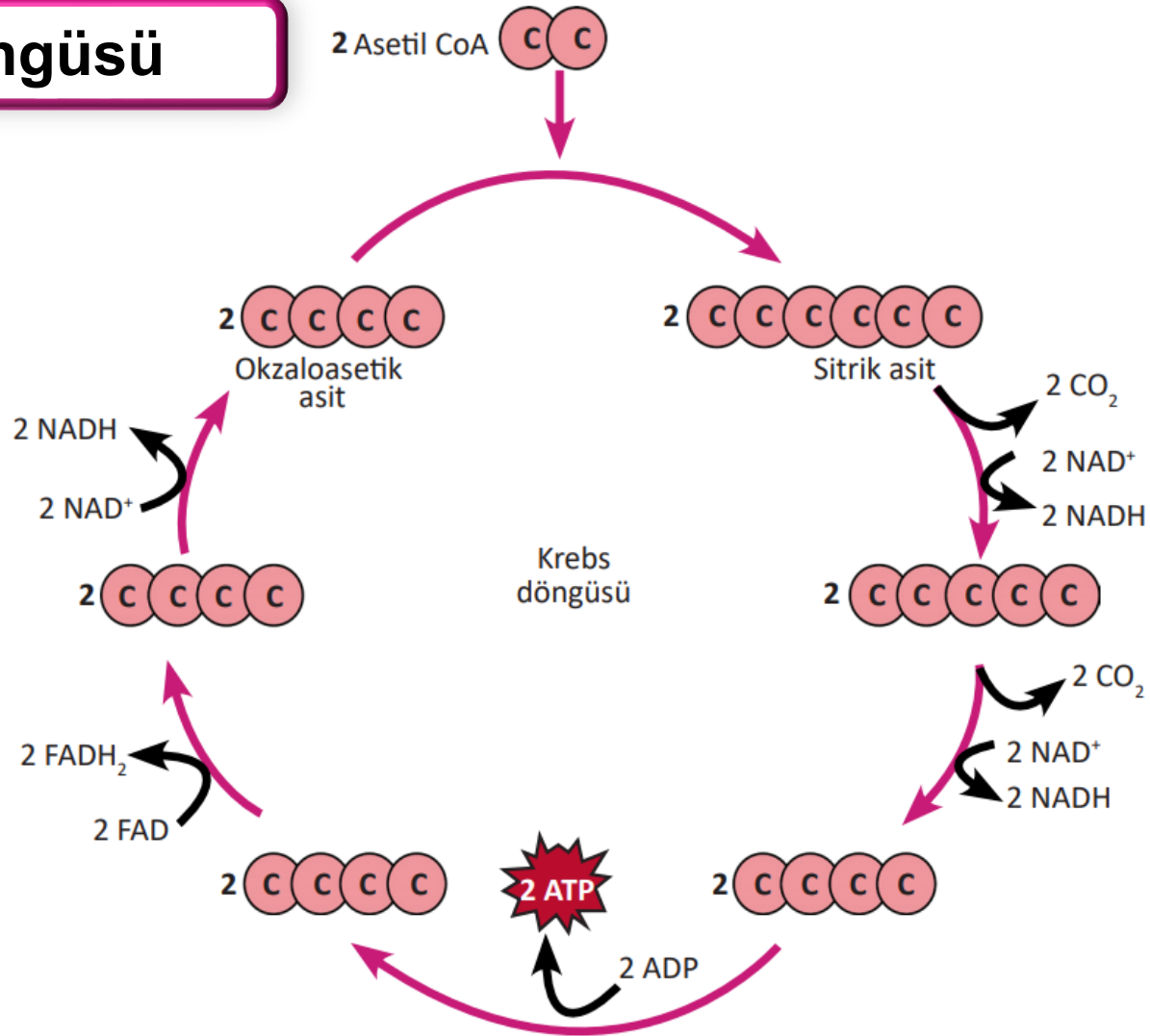


2NAD^+

2NADH



Krebs Döngüsü



Sonuç olarak krebste 1 glikoz (2 asetil Co A) kullanılarak;

- 6 NADH ve 2 FADH₂,
 - Substrat düzeyinde fosforilasyon ile 2 ATP,
 - 4 CO₂ üretilir.
-
- 6 Molekül H₂O harcanır.



**NASIL
SORDULAR**

2015 LYS

Glikolizde ve Krebs döngüsünde;

I. $\text{NADH} + \text{H}^+$ oluşumu,

II. CO_2 oluşumu,

III. FADH_2 oluşumu

olaylarından hangilerinin ortak olduğu görülür?

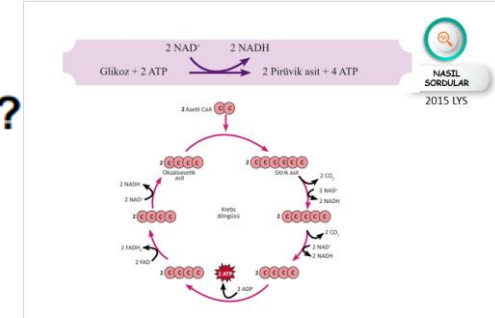
A) Yalnız I

B) Yalnız II

C) I ve II

D) I ve III

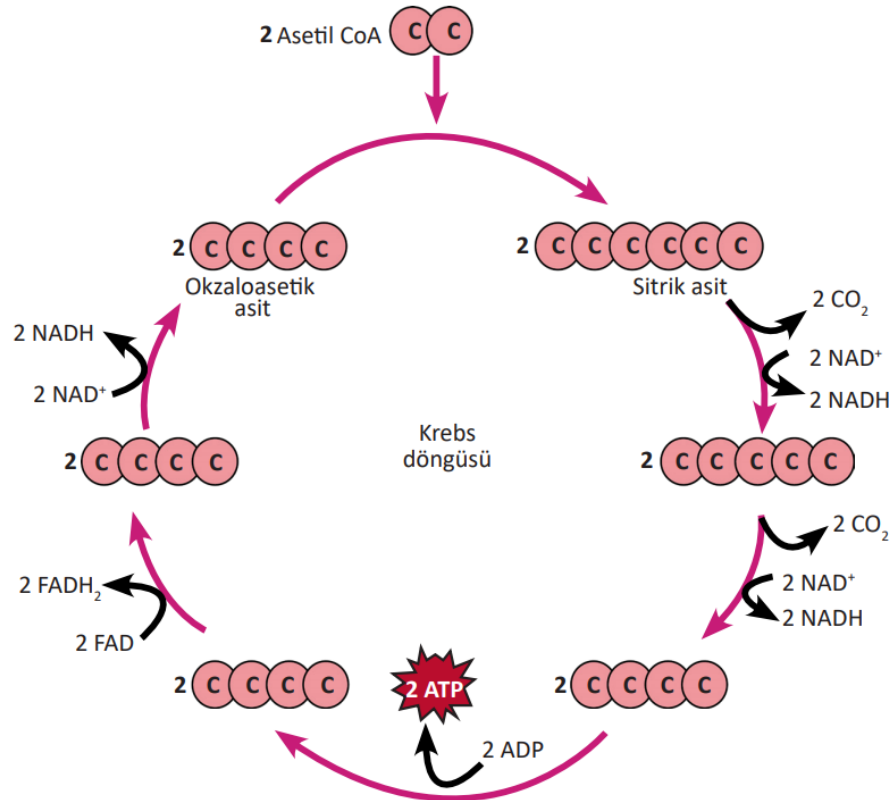
E) II ve III





**NASIL
SORDULAR**

2015 LYS





**NASIL
SORDULAR**

2015 LYS

Glikolizde ve Krebs döngüsünde;

- I. $\text{NADH} + \text{H}^+$ oluşumu,
- II. CO_2 oluşumu,
- III. FADH_2 oluşumu

olaylarından hangilerinin ortak olduğu görülür?

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



NASIL
SORDULAR

2011 LYS

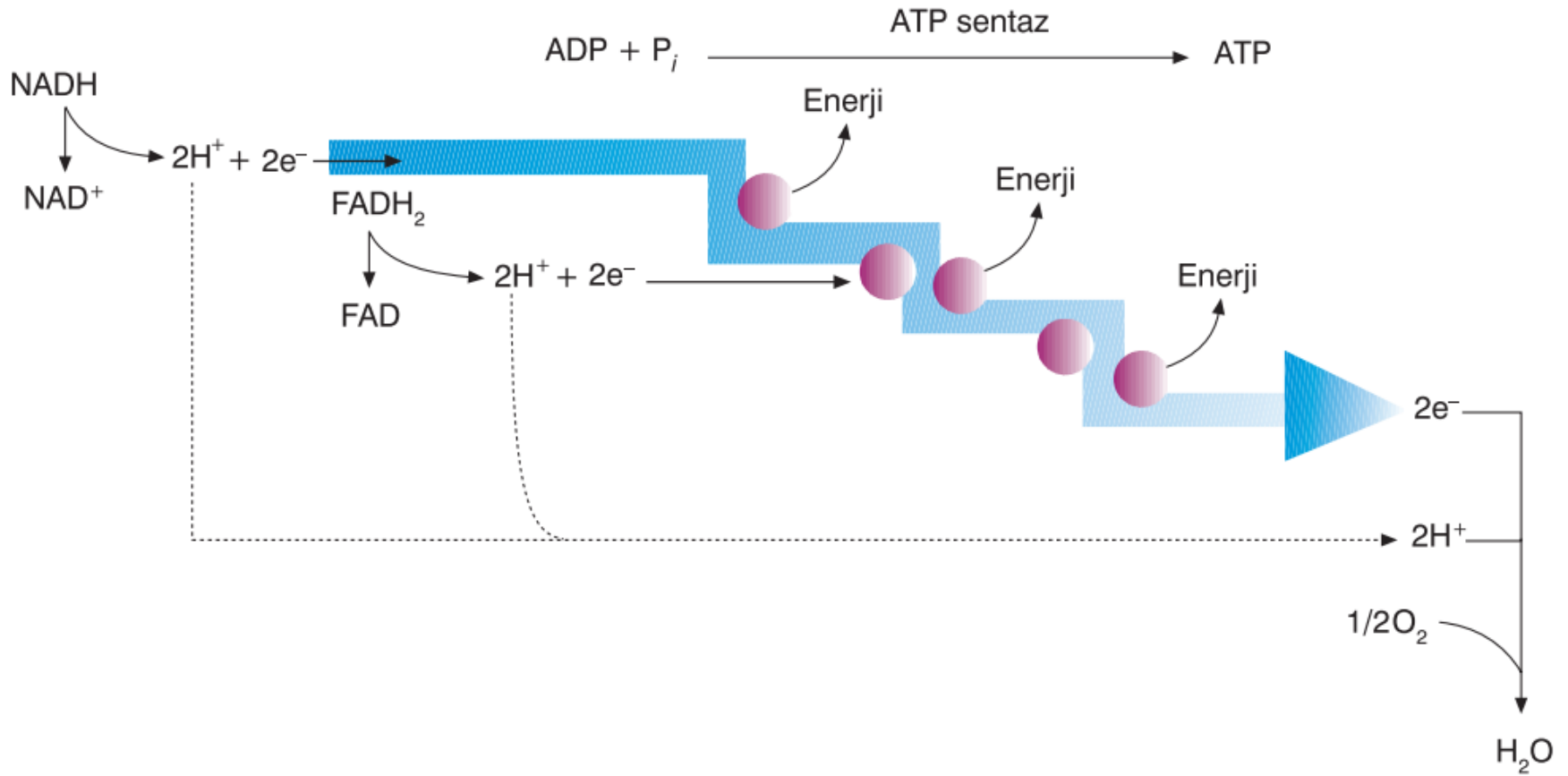
Krebs çemberinde gerçekleşen olaylar göz önüne alındığında aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- 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.

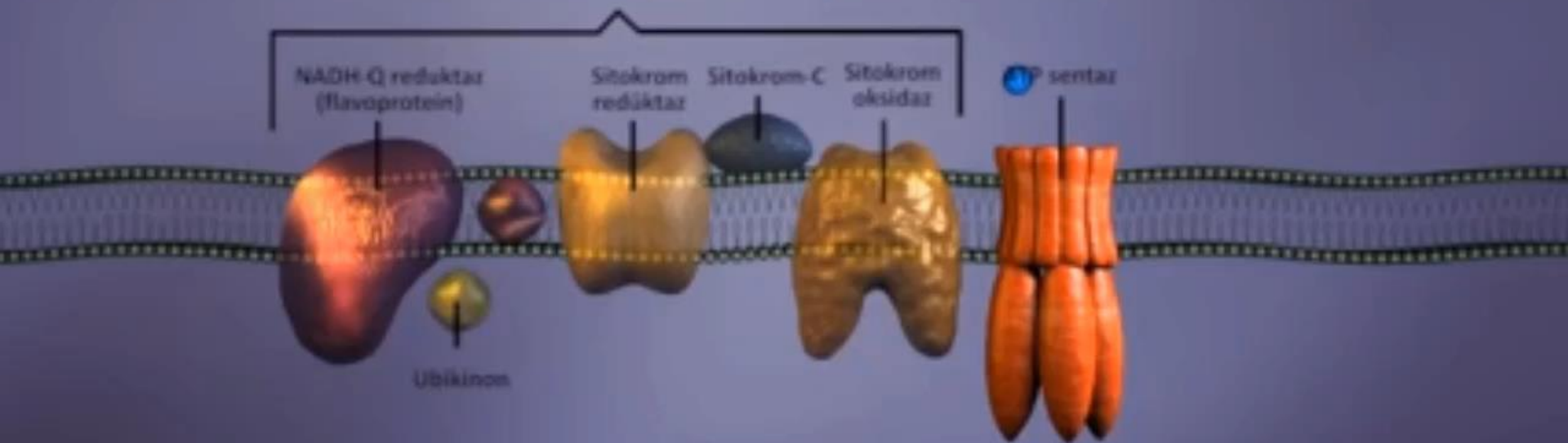
Elektron Taşıma Sistemi (ETS)

NADH ve FADH_2 tarafından alınan elektronların bir molekülden diğerine aktarılarak taşındığı indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarına **elektron taşıma sistemi (ETS)** denir.

ETS, oksijenli solunumda en fazla enerji elde edilen aşamadır

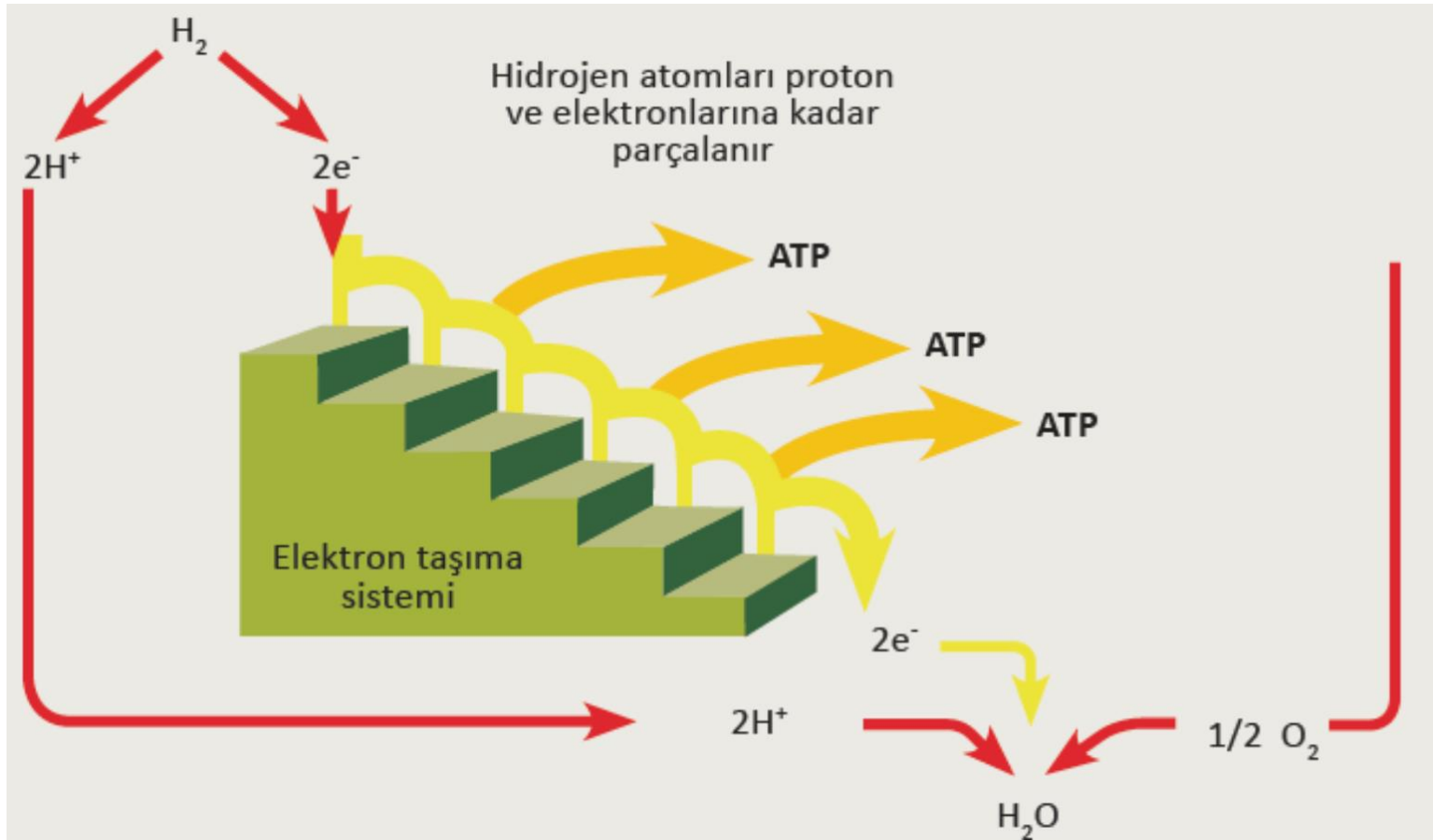


ELEKTRON TAŞIMA SİSTEMİ (ETS)



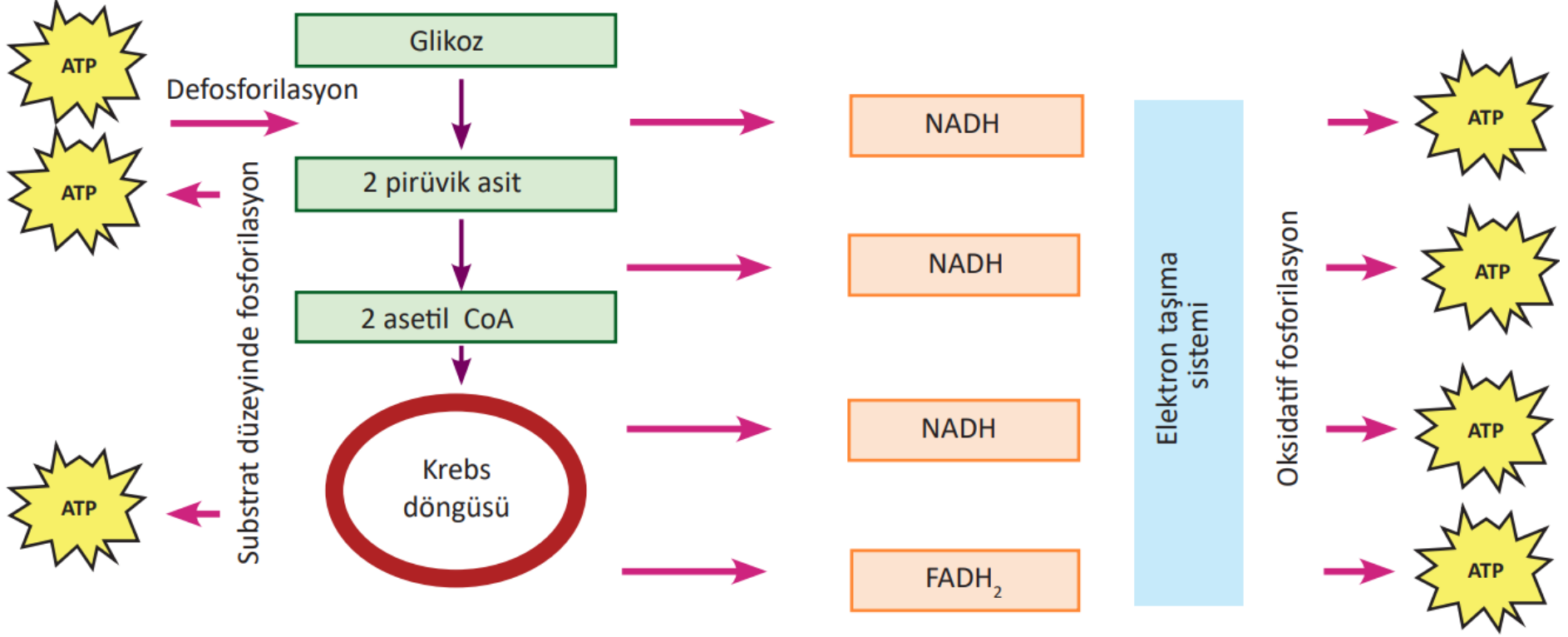
NADH+H

FADH₂



Elektron taşıma sisteminin elektron taşıyıcı molekülleri ve ATP sentaz enzimi

Ökaryot hücrelerde mitokondrinin kıvrımlı iç zarında (krista); prokaryot hücrelerde ise hücre zarında bulunur.



Oksijenli solunumda suyun oluşumu

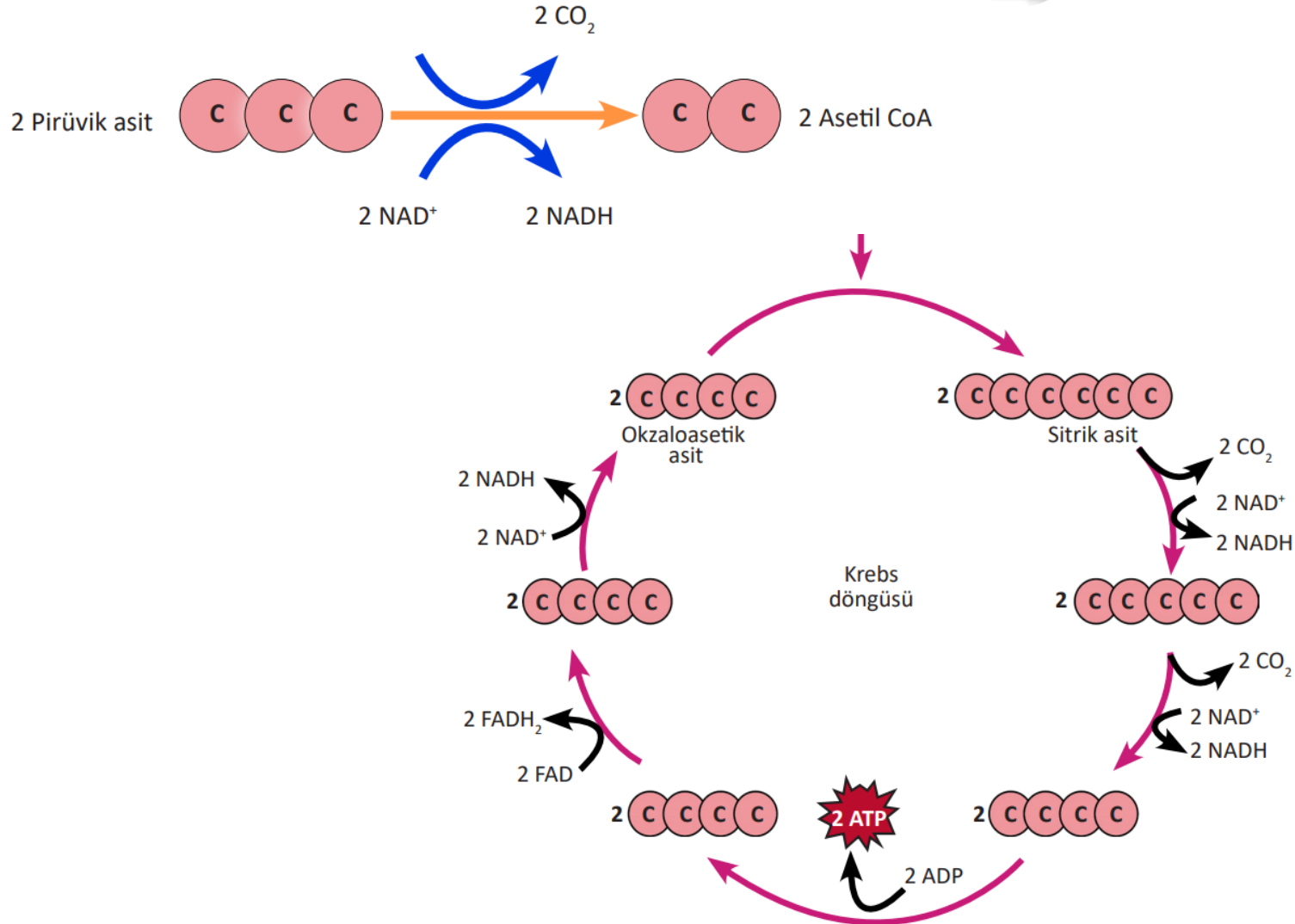
Bir çift hidrojen atomunun ETS'de son elektron tutucu molekül olan O₂ ile birleşmesi sonucu bir molekül su oluşur.

Glikolizden başlayarak krebs sonuna kadar 10 NADH ve 2 FADH₂'nin getirdiği H'lerin elektron ve protonları ile birleşen O₂, 12 molekül su oluşturur.

Bunların 6 tanesi krebste harcandığından kalan 6 molekül su ortama verilir.



Oksijenli solunumda CO₂ oluşumu



Oksijenli solunumda ATP oluşumu

- Oksijenli solunumda tüketilen bir glikoz molekülden

Substrat düzeyinde fosforilasyonla 4 ATP

Oksidatif fosforilasyon ile 26 ya da 28 ATP (NADH'tan gelen elektronları ETS'de hangi molekülün aldığına bağlı olarak da sentezlenir.)

- Böylece glikoz başına 30 ya da 32 ATP üretilir.

FERMANTASYON

Glikozun oksijen kullanılmadan enzimatik tepkimelerle etil alkol veya laktik asit gibi organik moleküllere dönüştürülmesine fermantasyon denir.

Fermantasyon, hücrelerin sitoplazmasında gerçekleşir.

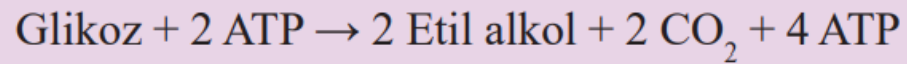
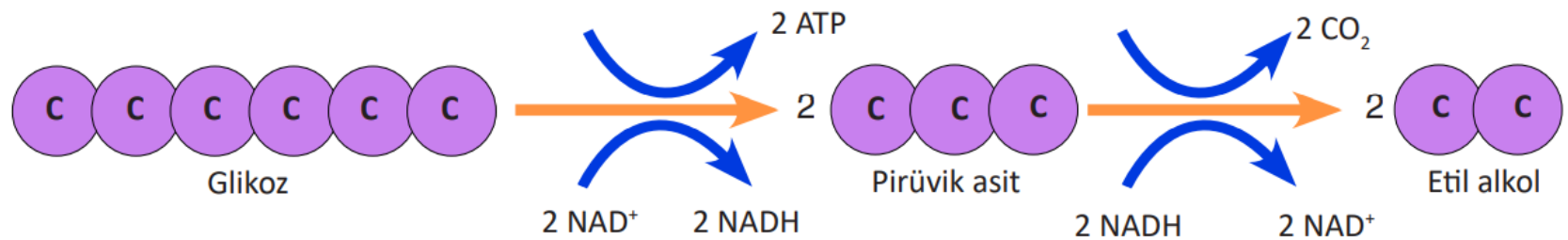
Bazı maya mantarlarında, bazı bakterilerde, omurgalıların çizgili kaslarında ve bazı bitkilerin tohumlarında görülür.

Günümüzde sütten yoğurt ve peynir yapılması, hamurun mayalanması, üzüm suyundan sirke elde edilmesi, boza üretilmesi, turęu yapılması vb. olaylar fermantasyon ile ger ekleğtirilir.

- Fermantasyon, tepkime sonucu oluşan son ürüne göre isimlendirilir.
- Fermantasyon tepkimelerinde kullanılan enzim çeşidi son ürün farklılığına neden olur.
- Canlılarda gerçekleşen en önemli fermantasyon çeşitleri **etil alkol** ve **laktik asit** fermantasyonudur.

Etil Alkol Fermantasyonu

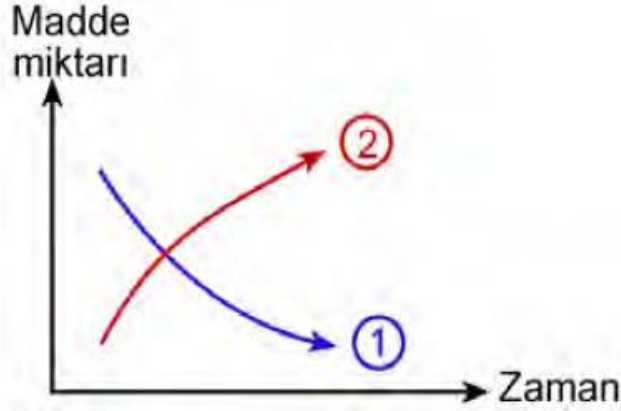
- Etil alkol fermantasyonu
 - bazı bakterilerde,
 - maya hücrelerinde ve
 - bazı bitki tohumlarında görülür.
- Glikolizden başlayarak etil alkol oluşumunu sağlayan kimyasal tepkimeler dizisine etil alkol fermantasyonu denir.



- Hamurun mayalanması, etil alkol fermantasyonuna örnektir.
- Hamurun kabarması oluşan CO_2 sayesinde gerçekleşir ve ortamdaki gaz basıncı artar.



Bir miktar üzüm suyu içerisine yeterli miktarda bira mayası eklenip ortam oksijensiz bırakıldığında, bazı moleküllerin miktarlarındaki değişimler aşağıdaki grafikte 1 ve 2 numaralı eğrilerle gösterilmiştir.



**NASIL
SORDULAR**

2016 LYS

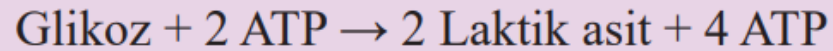
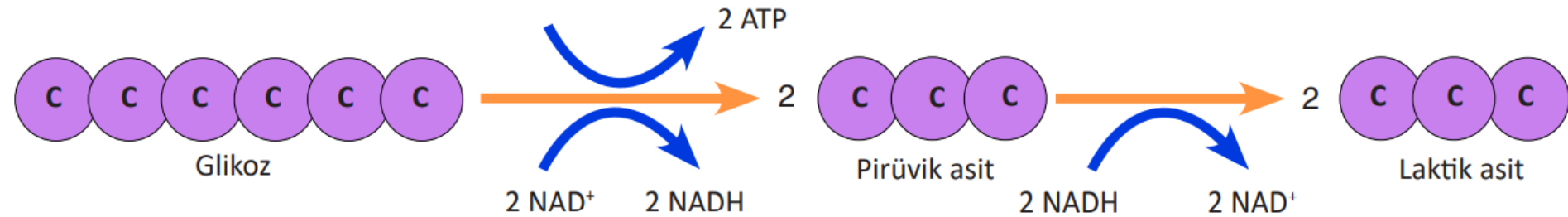
Bu grafikteki 1 ve 2 numaralı eğriler aşağıdaki moleküllerden hangilerine ait olabilir?

	<u>1</u>	<u>2</u>
A)	CO ₂	Etil alkol
B)	CO ₂	Enzim
C)	Etil alkol	CO ₂
D)	Enzim	Glikoz
E)	Glikoz	CO ₂

Laktik Asit Fermantasyonu

- ✓ Bazı bakterilerde,
 - ✓ Bazı mantarlarda,
 - ✓ Omurgalıların çizgili kaslarında
 - ✓ Memelilerin olgun alyuvar hücrelerinde görülür.
-
- Glikoliz sonucu oluşan pirüvik asitin enzimler kullanılarak laktik asite dönüşmesini sağlayan kimyasal tepkimeler dizisine laktik asit fermantasyonu denir.

Laktik asit fermantasyonunda etil alkol fermantasyonundan farklı olarak karbondioksit (CO₂) meydana gelmez.



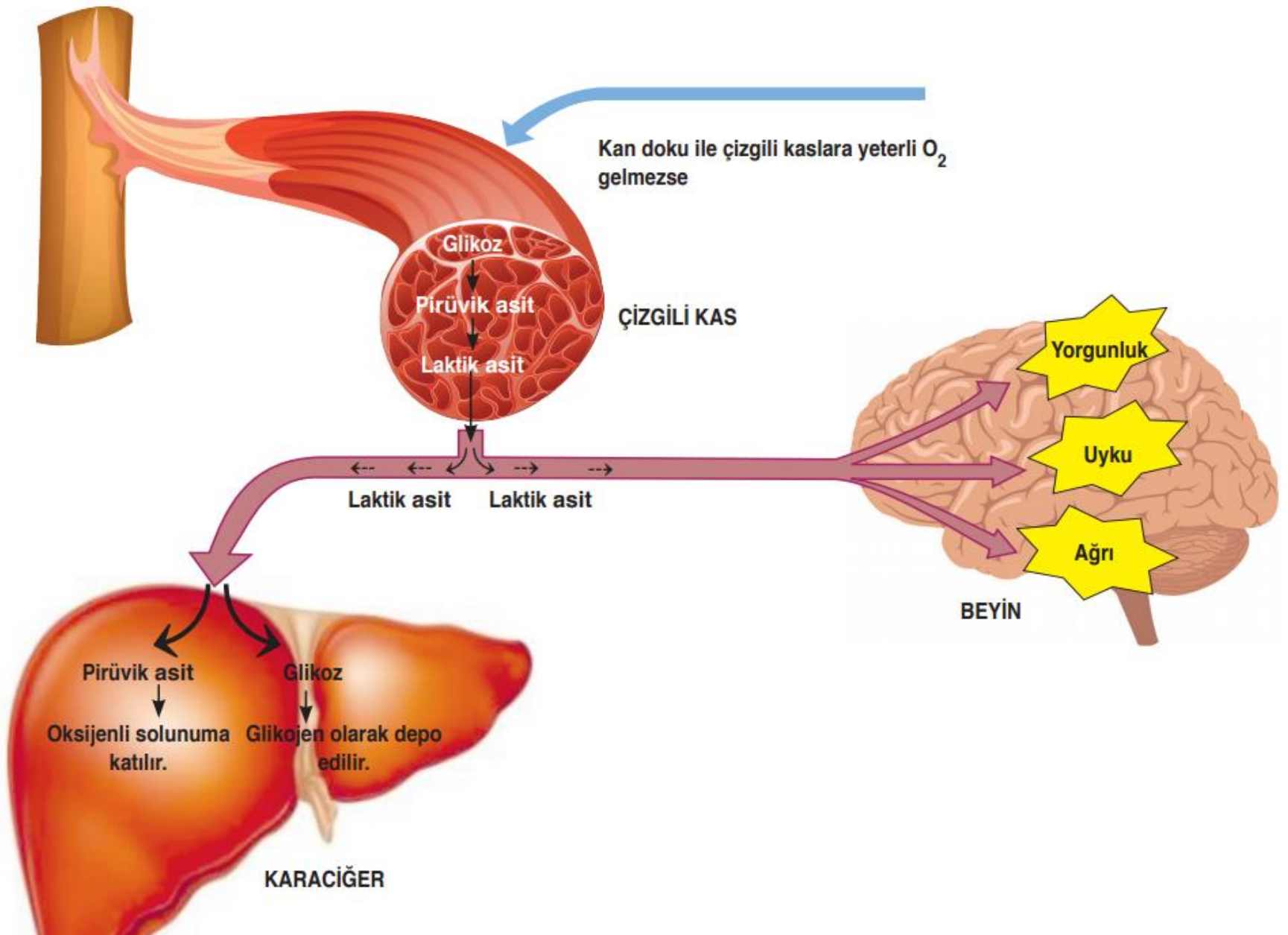


NASIL
SORDULAR

2015 LYS

Laktik asit fermantasyonu için aşağıdakilerden hangisi söylenemez?

- A) İnsanda, iskelet kaslarında gerçekleşir.
- B) Amacı, pirüvattan daha fazla ATP üretmektir.
- C) Bu olayda, pirüvat indirgenmektedir.
- D) Son ürün ile birlikte NAD^+ oluşur.
- E) CO_2 çıkışı olmaz.



- Bazı bakteriler tarafından gerçekleştirilen laktik asit fermantasyonu; süt endüstrisinde yoğurt ve peynir yapımında, boza üretiminde kullanılır.



- Yoğurt, sütün özel koşullar altında *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus*' un fermantasyonuyla elde edilen bir üründür.
- Yoğurt yendiğinde de uykunun gelmesinin sebebi yoğurtta bulunan laktik asittir.



- Glikolizde organik molekülün yapısındaki enerjinin çok az bir kısmı açığa çıkarken büyük bir kısmı pirüvik asit molekülünün yapısında kalır.
- Glikoliz sonucunda oluşan pirüvik asit, oksijensiz ortamda etil alkol veya laktik aside kadar dönüştürülür.
- Bu tepkimelerde farklı enzimlerin kullanılması farklı son ürünlerin oluşmasına neden olur.

Oksijensiz Solunum

Glikozun oksijen kullanılmadan yıkılması sırasında ETS yardımıyla ATP üretilmesine **oksijensiz solunum** denir.

Oksijensiz solunumda son elektron alıcısı, O_2 dışında bir inorganik moleküldür.

Oksijensiz solunumda ETS'deki son elektron alıcısı olan inorganik maddelerin elektron çekim güçleri zayıftır.

Bu nedenle oksijensiz solunumda üretilen ATP miktarı azdır.

Bazı bakteriler, besin moleküllerinden kopardıkları elektronları,

- . SO_4 (sülfat) ,
- . S (kükürt),
- . NO_3 (nitrat) ,
- . CO_2 (karbondioksit)
- . Fe (demir)

gibi inorganik yapıli son elektron alıcılarına aktarır ve enerji elde eder.

Bataklık gibi oksijensiz ortamda yaşayan bazı bakteriler, besin moleküllerinden kopardıkları elektronları ETS üzerinden SO_4 iyonuna aktarır.

Elektronların ETS'de taşınması sırasında açığa çıkan enerji ile de ATP sentezlenir.

Toprak ve suda bulunan NO_3 oksijensiz solunum yapan bakteriler tarafından N_2 'ye (moleküler azot) dönüştürülür.

Bu bakteriler oksijensiz ortamda ETS'lerinde son elektron alıcısı olarak NO_3 'ü kullanır.

NO_3 elektron alarak birkaç basamakta moleküler azota dönüşür.

Denitrifikasyon adı verilen bu olay, biyosferdeki azot döngüsünün korunmasına katkı sağlar.

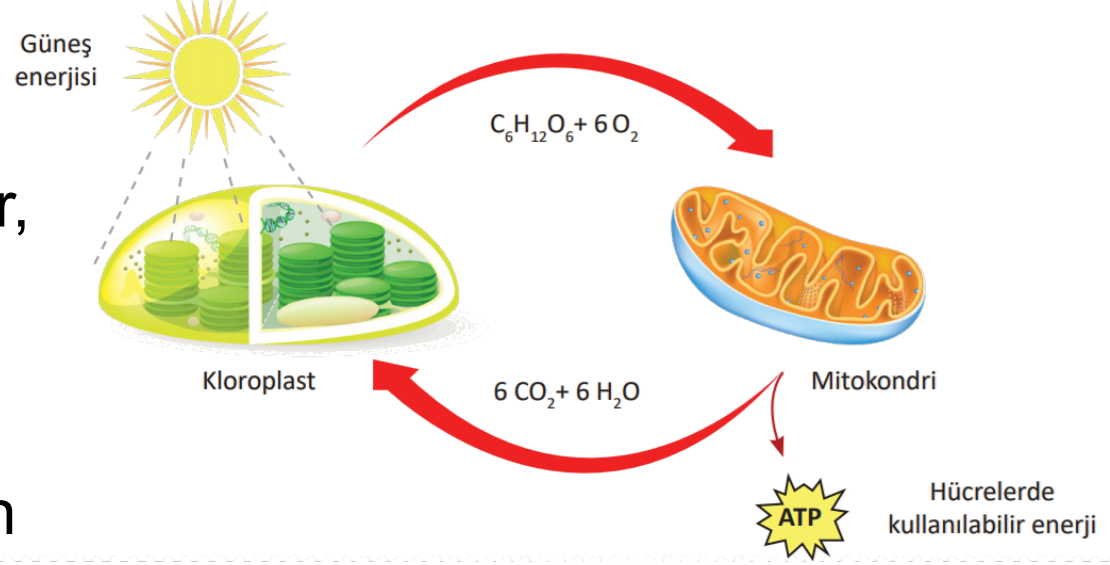
Hücresel Solunumda Enerji Verimi

- Fermantasyonda enerji verimi oksijenli solunuma göre daha azdır. Çünkü fermantasyon sırasında glikozun CO_2 ve H_2O 'ya kadar yıkımı tam olarak gerçekleşmez.
- Enerjinin büyük bir kısmı, fermantasyon sonucu oluşan son ürünlerde kalır.
- Aynı zamanda fermantasyonda ETS'nin olmayışı enerji verimini düşürür.

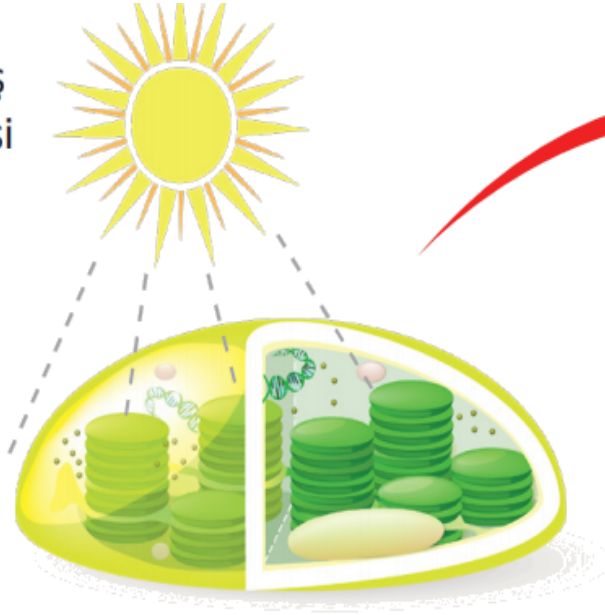
- Oksijenli solunumda ise glikoz, H_2O ve CO_2 gibi inorganik bileşiklere kadar yıkılır.
- NADH ve $FADH_2$ moleküllerinin taşıdıkları elektronların ETS'ye aktarılmasıyla en yüksek seviyede ATP üretilmiş olur.
- Oksijensiz solunumda oksijenli solunuma göre daha az sayıda ATP, fermantasyona göre ise daha fazla sayıda ATP açığa çıkar.
- Her üç yöntem karşılaştırıldığında NADH moleküllerinin oksitlenme (yükseltgenme) yolları farklıdır.

Fotosentez ve Solunum Arasındaki İlişki

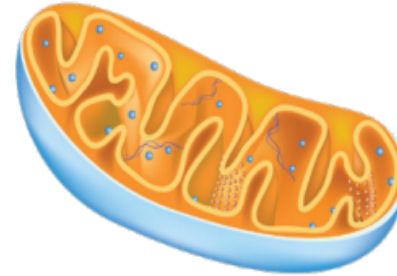
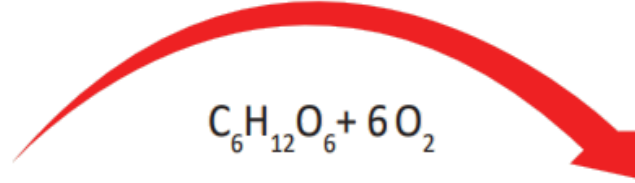
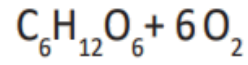
- Ekosistemdeki fotosentetik canlılar, güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye çevirerek besinlerin yapısında depo eder.



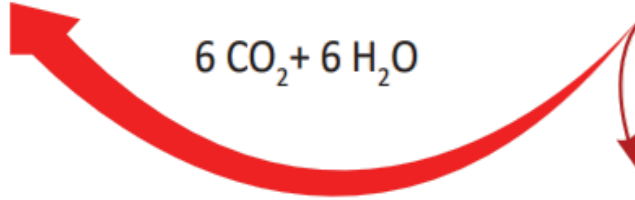
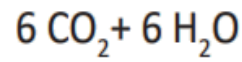
Güneş
enerjisi



Kloroplast



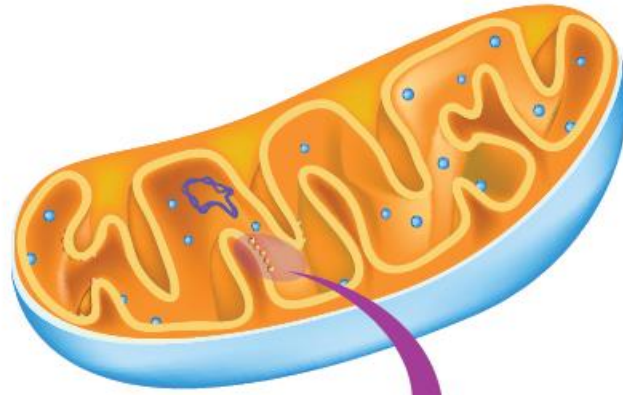
Mitokondri



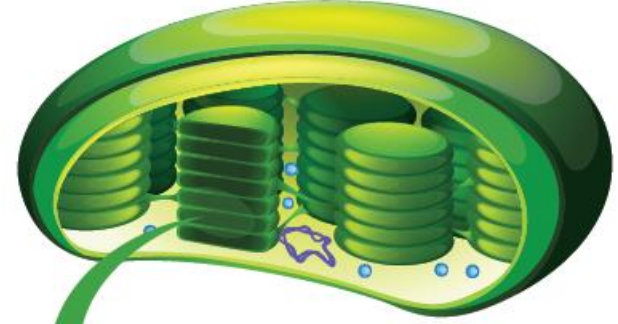
Hücrelerde
kullanılabilir enerji

Kemiosmotik Görüş

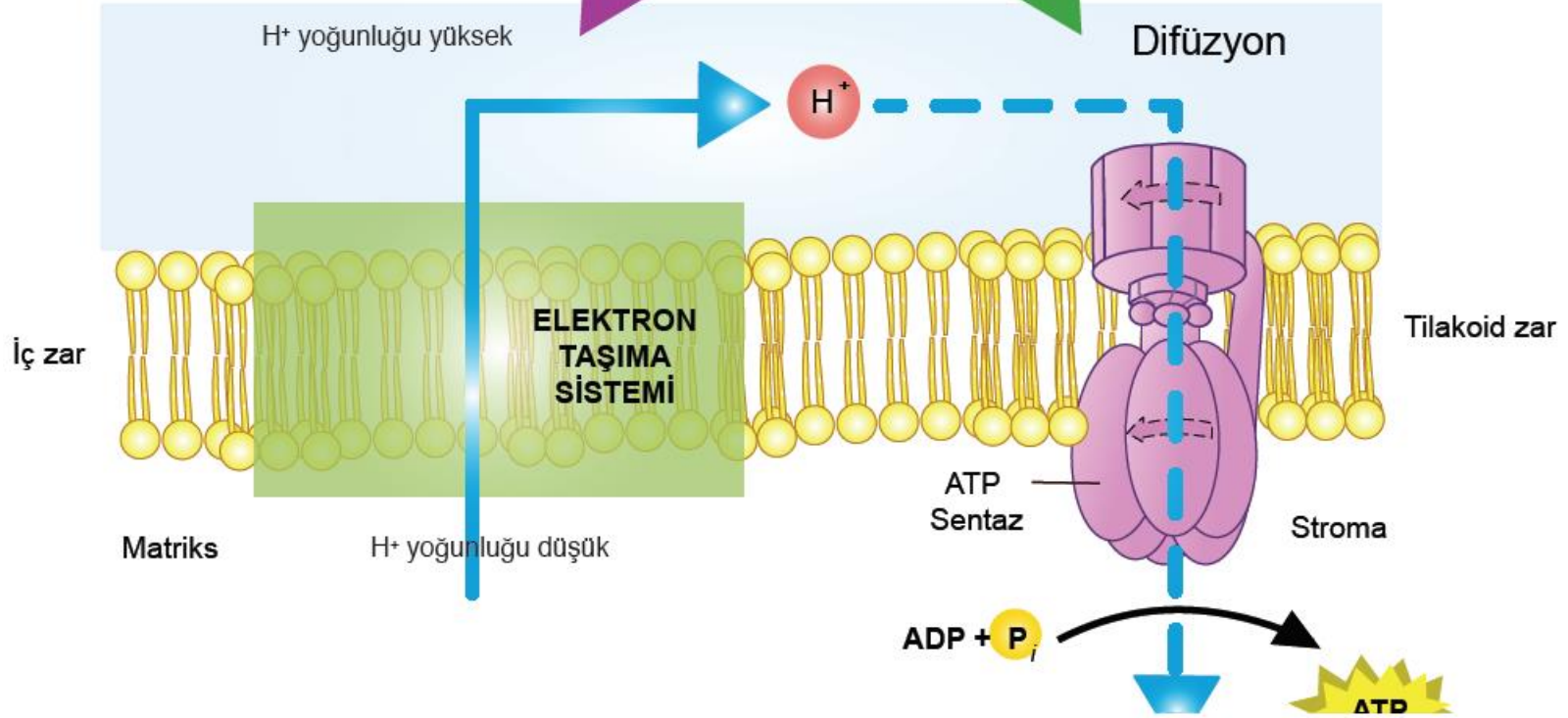
- Mitokondri ve kloroplastlarda, zarın iki tarafındaki proton konsantrasyonu (yoğunluk) farkına bağlı olarak ortaya çıkan proton itici gücünün ATP sentezlenmesinde kullanılması kemiosmotik görüş ile açıklanır.



MİTOKONDİRİ



KLOROPLAST





NASIL
SORDULAR

2019 AYT

Oksijenli solunum ve laktik asit fermantasyonunda;

- I. kemiozmotik mekanizma ile ATP üretilmesi,
- II. NADH molekülünün, NAD^+ ya yükseltgenmesi,
- III. elektronların, elektron taşıma zinciri elemanlarınca taşınması

olaylarından hangileri ortak olarak gerçekleşir?

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



NASIL
SORDULAR

2013 LYS

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

	<u>Oksijenli solunum</u>	<u>Fermantasyon</u>
A)	Oksijen	Asetaldehit
B)	Etil alkol	Laktik asit
C)	Oksijen	Pirüvat
D)	Su	NAD ⁺
E)	Oksijen	Laktik asit

