

1. Tema ENERJİ

HÜCRESEL SOLUNUM

-Günlük yaşamda solunum, canlıların bulundukları ortamdan O₂ alıp dış ortama CO₂ vermeleri olarak bilinmektedir. Oysa bu olay nefes alıp vermeyi (solunum organlarında gaz alışverişini) ifade etmektedir.

-**Hücresel solunum**, organik besinlerin hücre içinde yıkılarak enerji elde edilmesi olayıdır.

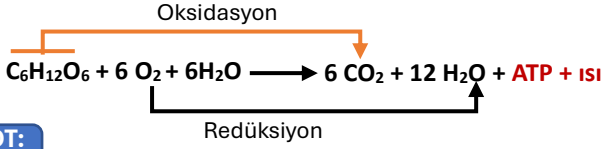
-**Hücresel solunumun amacı enerji (ATP) üretmektir.**

Oksijenli (Aerobik) Solunum

- Enerji verici organik moleküllerin hücre içerisinde oksijen, enzimler ve ETS yardımıyla CO₂ ve H₂O ya kadar parçalanması sırasında açığa çıkan enerji ile ATP sentezlenmesine **oksijenli solunum** denir.

- Oksijenli solunum bazı prokaryotlarda ve tüm ökaryot canlılarda gerçekleşir.

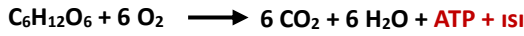
-Prokaryot canlıların sitoplazmalarında başlar hücre zarı kıvrımlarında, ökaryot canlılarda ise yine sitoplazmada başlar mitokondride tamamlanır.



NOT:

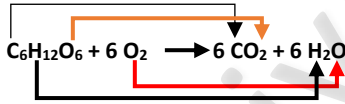
- Glikoz, oksijenli solunumda CO₂ ve H₂O'ya kadar parçalanır. Bu sırada glikoz elektron kaybederek yükseltgenirken, oksijen de elektron alarak indirgenir.
- Kullanılan oksijen, oluşan suyun yapısına katılır.

-Oksijenli solunumun genel denklemindeki H₂O sayıları sadeleştirilerek aşağıdaki gibi yazılır:



-Glikozun yapısına katılan atomların radyoaktif izotopları kullanılarak oksijenli solunum reaksiyonlarında oluşan ürünlerin kaynağı belirlenebilmiştir.

-**Buna göre glikozun atomlarının ve oksijenin oluşan ürünlere geçişini şöyle gösterebiliriz:**



-Aşağıdaki tabloda oksijenli solunum evreleri ve bunların prokaryot ve ökaryot hücrelerde gerçekleştiği hücre bölümleri verilmiştir.

Evreler	Prokaryotlarda gerçekleştiği hücre bölümü	Ökaryotlarda gerçekleştiği hücre bölümü
1. Glikoliz	Sitoplazma	Sitoplazma
2. Piruvatın oksidasyonu	Sitoplazma	Mitokondri matriksi
3. Krebs döngüsü	Sitoplazma	Mitokondri matriksi
4. ETS	Hücre zarı kıvrımları	Mitokondri kristası

1. Glikoliz: Glikozun hücrenin sitoplazmasında enzimlerle 2 molekül piruvata (pirüvik aside) yıkıldığı evredir.

NOT:

Enerji üretim süreçleri olan oksijenli solunum, oksijensiz solunum ve fermantasyon olayları ortak olarak glikoliz tepkimeleri ile başlar. Bu da gösteriyor ki bütün canlılarda glikoliz enzimleri ortak olarak sitoplazmada bulunur.

-Glikozun aktifleşmesi ve reaksiyonun başlayabilmesi için aktivasyon enerjisi olarak 2 ATP harcanır.

-Sitoplazmada gerçekleşir.

-Oksijene gerek duyulmaz. CO₂ kullanılmaz ve de oluşmaz.

SORU 1. (2023-AYT/FEN)

Aşağıdakilerin hangisinde ATP sentezi **gerçekleşmez**?

- A) Kloroplastta protonların tilakoit zardan stromaya geçmeleri sırasında
- B) Mitokondride protonların zarlar arası bölgeden matrikse geçmeleri sırasında
- C) Kemosentezde inorganik maddelerin oksitlenmesi sırasında
- D) Glikolizde glikozdan pirüvik asit oluşumu sırasında
- E) Fermantasyonda pirüvik asitten laktik asit oluşumu sırasında

SORU 2. (2021-AYT/FEN)

Çeşitli ökaryotik hücrelerde gerçekleşen;

- I. glikoliz,
 - II. Krebs döngüsü,
 - III. etil alkol fermantasyonu,
 - IV. laktik asit fermantasyonu
- olaylarının hangilerinde FAD'ın indirgenmesi gerçekleşir?
- A) Yalnız II
 - B) I ve II
 - C) I ve III
 - D) III ve IV
 - E) I, II ve IV

SORU 3. (2020-AYT/FEN)

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 CO₂,
 - II. Krebs döngüsünde açığa çıkan CO₂,
 - III. elektron taşıma sisteminde oluşan H₂O
- moleküllerinin hangilerinde rastlanması beklenir?**
- A) Yalnız I
 - B) Yalnız II
 - C) Yalnız III
 - D) I ve II
 - E) I, II ve III

SORU 4. (2017-LYS2/BİY)

Aşağıdakilerden hangisi enerji kaynağı olarak ATP'nin kullanıldığı **anabolik olaylardan biridir**?

- A) Pirüvik asidin asetil CoA'ya dönüşmesi
- B) Amino asitlerden protein sentezi
- C) Monosakkaritlerin pirüvik aside dönüşmesi
- D) Asetil CoA'nın Krebs döngüsüne katılması

-Bir glikoz molekülü başına toplam 4 ATP üretilir. Başlangıçta 2 ATP harcadığı için net kazanç 2 ATP'dir.

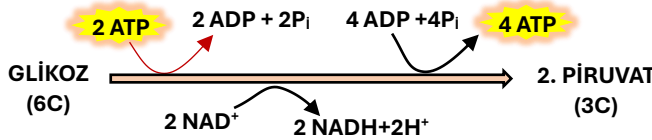
-2 NAD⁺ indirgenir yani 2 NADH oluşur.

NOT:

-NAD (Nikodinamid adenin dinükleotit) elektron taşıyıcı bir koenzimdir. NAD⁺ iki elektron (2e⁻) ve bir proton (H⁺) bağlandığında indirgenerek NADH+H⁺ şekline dönüşür.

-Glikoliz sonunda 6 karbonlu glikoz molekülü, 3 karbonlu 2 adet piruvat molekülüne dönüşür.

-Glikoliz, hemen hemen tüm canlılarda sitoplazmada aynı enzimlerle gerçekleşir. Bunun nedeni her aşamada görev alan enzimlerin tüm canlılarda bulunmasıdır.



Şema: Glikoliz evresi

NOT:

Oluşan NADH'lar ETS'ye aktarılır. Oksijenli solunumda ATP sentezinde kullanılır.

2. Pirüvatın Oksidasyonu: Glikoliz ile Krebs döngüsü arasındaki bağlantıyı kuran aşamadır.

-Ökaryot hücrelerde glikoliz sonucunda oluşan 2 piruvat ve 2 NADH + 2H⁺ ortamda oksijen varsa mitokondrinin matriksine geçer. İki piruvattan her biri iki ayrı krebs çemberine girmek üzere enzimler yardımıyla asetil-CoA (asetil-koenzimA) molekülüne dönüştürülür. Bu sırada;

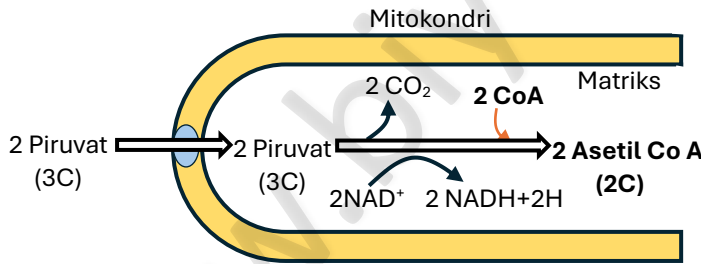
-Piruvatlardan birer molekül CO₂ ayrılır.

-Piruvatlardan ayrılan hidrojenlerin elektron ve protonları NAD⁺ tarafından tutulur.

-Son olarak yapıya birer molekül koenzim A katılarak asetil CoA molekülleri oluşur.

NOT:

Piruvatın oksidasyonunda ATP üretimi (fosforilasyon) ve tüketimi (defosforilasyon) gerçekleşmez.



Şekil: Piruvatın oksidasyonu (Piruvat'ın asetil CoA'ya dönüşümü)

3. Krebs (Sitrik Asit) Döngüsü:

-İlk defa İngiliz bilim insanı Hans Krebs (Hans Krebs) tarafından 1937 yılında açıklandığından bu reaksiyonlara Krebs döngüsü denilmiştir.

-İlk oluşan ürün sitrik asit olduğundan dolayı sitrik asit döngüsü de denilmektedir.

-Krebs döngüsü prokaryotların sitoplazmasında, ökaryotların mitokondri matriksinde gerçekleşir.

-Krebsteki gerçekleşen olaylar: [Rakamlar 1 molekül glikoz (2 asetil Co A içindir. 2 asetil Co A için iki tur döner.)]

1. İlk olarak, Asetil Co A'dan CoA ayrılır, 4 C'lu bir bileşik ile birleşerek 2 molekül 6 C'lu sitrik asit oluşturur.

2. Sitrik asitlerin her birinden birer olmak üzere 2 molekül CO₂ ayrılır. 2 NADH oluşur. Sonuçta 5 C'lu iki bileşik oluşur.

3. 2 molekül 5 C'lu bileşikten birer CO₂ daha ayrılır. 2 NADH daha oluşur. Böylece 2 tane 4 C'lu bileşik oluşur.

E) Krebs döngüsünden CO₂ çıkışı

SORU 5. (2015-LYS2/BİY)

Glikolizde ve Krebs döngüsünde;

- I. NADH+H⁺ oluşumu,
- II. CO₂ oluşumu,
- III. FADH₂ oluşumu

olaylarından hangilerinin ortak olduğu görülür?

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

SORU 6. (2013 - LYS2 / BİY)

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

	Oksijenli solunum	Fermentasyon
A)	Oksijen	Asetaldehit
B)	Etil alkol	Laktik asit
C)	Oksijen	Piruvat
D)	Su	NAD ⁺
E)	Oksijen	Laktik asit

SORU 7. (2012 – LYS2 / BİY)

Bir hayvan hücresindeki glikoliz, Krebs döngüsü ve Elektron Taşıma Sistemi (ETS) olayları hücrenin hangi kısımlarında gerçekleşir?

(ER: endoplazmik retikulum)

	Glikoliz	Krebs	ETS
A)	Çekirdek	Mito-kondri	Hücre zarı
B)	Çekirdek	Sitoplazma	ER
C)	Sitoplazma	Çekirdek	Mito-kondri
D)	Sitoplazma	Mito-kondri	Mito-kondri
E)	Hücre zarı	ER	ER

SORU 8. (2012 – LYS2 / BİY)

Alkol fermentasyonu oksijenli solunum ve laktik asit fermentasyonunda aşağıdakilerden hangisi ortak değildir?

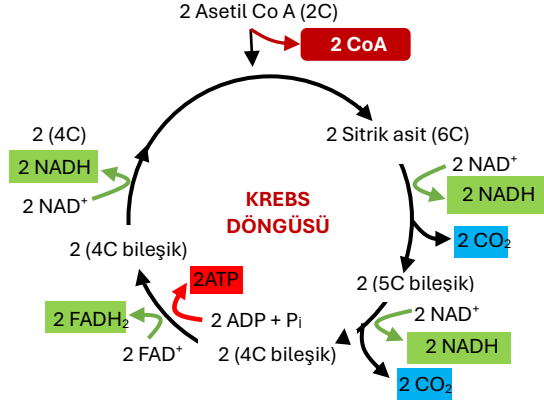
- A) Enzimlerin kullanılması
- B) ATP'nin sentezlenmesi
- C) Organik maddelerin yıkılması
- D) NADH + H⁺ oluşumu
- E) CO₂ oluşumu

SORU 9. (2011 – LYS2 / BİY)

Krebs çemberinde gerçekleşen olaylar göz önüne alındığında aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) Krebs çemberinde FADH₂ sentezlenir.

4. 4C'lu bileşik tekrar oksaloasetik asiti oluşturarak bir krebs tamamlanır. Yeni bir krebs başlar. Bu sırada 2 ATP üretilir. 2 FADH₂, 2 NADH daha oluşur.

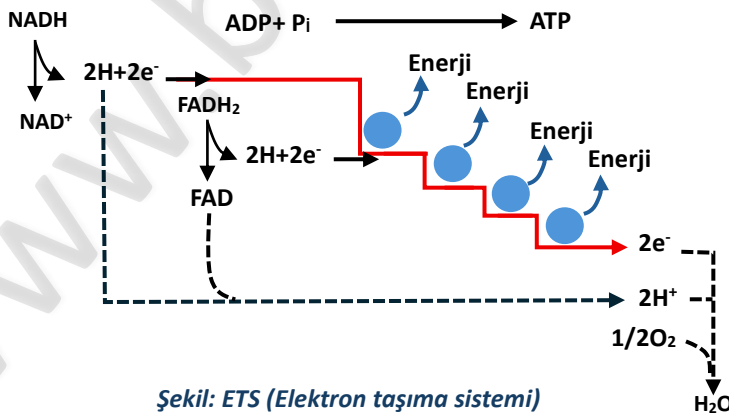


-Krebsi özetlersek;

- Prokaryotların sitoplazmasında, ökaryotların mitokondri matriksinde gerçekleşir.
- Piruvatın oksidasyonu ile oluşan Asetil CoA ile başlar.
- NAD⁺ ve 2 FAD'lar indirgenir. (NAD⁺, NADH'a, FAD, FADH₂'ye dönüşür.
- Fosforilasyon gerçekleşir. (ATP üretilir.
- Ortama CO₂ verilir.
- H₂O harcanır.

4. ETS Evresi:

- Prokaryotların plazma zarı kıvrımlarında, ökaryotların mitokondri kristallerinde gerçekleşir.
- Enerji verici organik moleküllerdeki hidrojenlerin proton (H⁺) ve elektronlarına (e⁻) ayrıldıktan sonra ETS elemanlarının oksijene kadar taşınarak en fazla ATP sentezlediği evredir.
- ETS elemanları, bu aşamaya kadar oluşturulan NADH ve FADH₂ moleküllerinin getirdiği elektronları alır. İndirgenme yükseltgenme tepkimeleri ile son elektron alıcı olan oksijene kadar taşınır. protonlar, mitokondrinin matriks çözeltisine bırakılır. Sonra da zarlar arası boşluğa pompalanır.
- Son elektron tutucu molekül olan oksijen protonlarla birleşerek suyu oluşturur. Bu sırada ADP'ye inorganik fosfat ilave edilerek ATP sentezlenir.
- Neticede; oksijenli solunum reaksiyonları sırasında ve sonunda CO₂ ve H₂O oluşurken metabolik faaliyetler için gerekli olan ATP de üretilmiş olur. Enerjinin bir kısmı ise ısı enerjisi olarak ortama yayılır.



NOT:

-Oksijenli solunumun son elektron tutucu molekülü oksijendir. Enerjisi en az olan en zayıf elektronu ETS'nin son elemanından alır, zarlar arası boşluktan matrikse akan protonlarla birleşerek suyu oluşturur.

Besinlerin Oksijenli Solunuma Katılma Yolları

Canlıların enerji elde etmek için kullandığı organik besinleriyle karbonhidratlar, yağlar ve proteinlerdir.

- Bu besin maddelerinin solunum reaksiyonlarıyla yıkımı (oksidasyonu) sonucu, ortak olarak CO₂, H₂O, ATP ve ısı oluşurken, amonyak (NH₃) sadece proteinlerin yıkımı

- B) Hücre solunumunda ortaya çıkan NADH moleküllerinin çoğu krebs çemberinde sentezlenir.
- D) Kerbs çemberinde oluşan bir organik molekül, bir sonraki basamağın substratıdır.
- E) Kerbs çemberinde çıkan karbondioksitteki oksijenin kaynağı, solunum ile alınan oksijendir.

CEVAPLAR

1.Fermantasyonda pirüvik asitten laktik asit oluşumu sırasında ATP üretilmez. Sadece NAD yükseltgenir.

CEVAP: E

2. FAD indirgenmesi sadece krebste gerçekleşir. CEVAP: A

3. I ve II de çıkan su besin maddesinden ayrılır. Serbest oksijen ETS de oluşan suyun yapısına katılır.

CEVAP: C

4. Oksijenli solunumda sadece glikolizin başlangıcında ATP harcanır. A, C, D ve E seçenekleri oksijenli solunumun glikolizden sonraki basamaklarıdır. Hiçbirinde ATP harcanmaz. Ancak amino asitlerden protein sentezi dehidrasyon olayıdır. ATP harcanır.

CEVAP: B

5. Glikolizde CO₂ çıkışı yoktur. FADH₂ sadece krebste oluşur. NADH+H⁺ hem glikoliz hem de krebste oluşur.

CEVAP: A

6. İnsanın iskelet kası hücrelerinde gerçekleşen fermantasyon laktik asit fermantasyonudur. Son elektron alıcı piruvattır. Oksijenli solunumda ise oksijendir.

CEVAP: C

7. Glikoliz: Sitoplama
Krebs döngüsü: Mitokondri
ETS: Mitokondri

CEVAP: D

8. CO₂, I oksijenli solunum ve etil alkol fermantasyonunda oluşurken laktik asit fermantasyonunda oluşmaz. CEVAP: E

9. Krebs çemberinde oluşan CO₂'nin oksijenleri glikozdan gelir. Solunum ile alınan oksijen ise suyun oluşumuna katılır.

CEVAP: E

sırasında oluşur. Şayet kullanılan amino asit kükürtlü ise kükürtlü bir bileşik de oluşabilir.

-Eğer bir enerji metabolizmasında NH_3 oluşmuş ise besin maddesi kesinlikle protein (amino asit) dir.

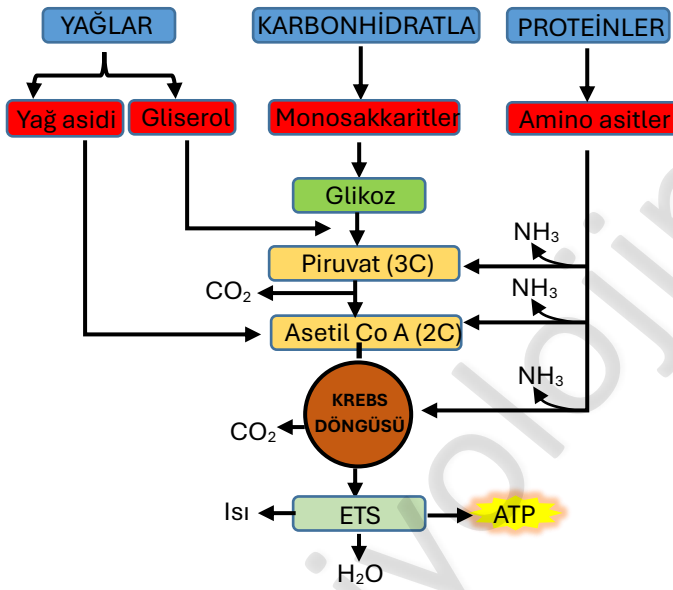
-Enerji verici polimerler enerji metabolizması sırasında öncelikle hidroliz ile yapı birimlerine ayrılırlar.

-Bu besin maddelerinin kimyasal yapılarının farklı olması nedeniyle, oksijenli solunumun farklı veya benzer basamaklarından tepkimeye girebilirler.

-Karbonhidrat monomerleri glikoliz evresinden tepkimeye girer, asetil Co A'ya dönüşür, krebs ve ETS evrelerinden geçer.

-Protein monomerlerinden (amino asitlerden) ilk olarak amino grubu NH_3 olarak ayrılır. Buna deaminasyon da denir. Daha sonra karbon sayılarına göre 2 C'lu amino asitler Asetil Co A'ya, 3C'lu amino asitler piruvata, 4 ve daha fazla C'lu amino asitler ise krebs döngüsündeki ara moleküllere dönüşerek tepkimeye katılırlar.

-Yağların sindirim ürünleri olan gliserol, glikolizin ara basamaklarından (PGAL' e dönüşerek) katılır, yağ asitleri ise mitokondride **beta oksidasyonu** adı verilen tepkimelerle 2C'lu asetil-CoA molekülüne dönüştürüldükten sonra tepkimeye katılır.



Şekil: Besinlerin oksijenli solunum tepkimelerine katılım basamakları

Fotosentez ile Oksijenli Solunumun Farklı yönleri:

Fotosentez	Oksijenli Solunum
Fotosentezin gerçekleştiği organel olan kloroplast çift zarlıdır ve stroma denilen iç sıvıya sahiptir.	Oksijenli solunumun gerçekleştiği organel olan mitokondri çift zarlı olup matriks denilen iç sıvıya sahiptir.
Güneş enerjisi kimyasal bağ enerjisine dönüştürülür.	Kimyasal bağ enerjisi ATP'ye dönüştürülür.
Yeterli ışık enerjisi varlığında gerçekleşir	Oksijen varlığında gerçekleşir.
Reaksiyona giren maddeler CO_2 ve H_2O veya H_2S ' dir.	Reaksiyona giren maddeler organik besinler ve O_2 dir.
İnorganik maddeler kullanılır.	Organik maddeler parçalanır.
Anabolik (yapım) tepkimesidir. Fotosentez sonunda ağırlık artışı olur.	Katabolik (yıkım) tepkimesidir. Solunum sonunda ağırlık azalması olur.
Besin ve oksijen üretilir.	Besin ve oksijen tüketilir
Karbondioksit kullanılır.	Karbondioksit açığa çıkar.
Ortam pH'ı yükseltir.	Ortam pH'ı düşürür.
NADP hem indirgenir hem de yükseltgenir.	NAD hem indirgenir hem de yükseltgenir.
FAD görev yapmaz.	FAD görev yapar.

-FOTOSENTEZ VE OKSİJENLİ SOLUNUMUN ORTAK ÖZELLİKLERİ

-ATP üretimi ve tüketimi vardır.

-ETS elemanları görev alır.

-Enzimatik tepkimeler gerçekleşir.

-Enerji dönüşümü gerçekleşir.

-Su hem kullanılır hem de oluşur.

UNUTMAYALIM:

ATP ÜRETİLEN OLAY	SON ELEKTRON TUTUCU MOLEKÜL
O ₂ 'li solunum	Oksijen
Etil alkol fermentasyonu	Asetaldehit
Laktik asit fermentasyonu	Piruvat

www.biyolojiportalı.com