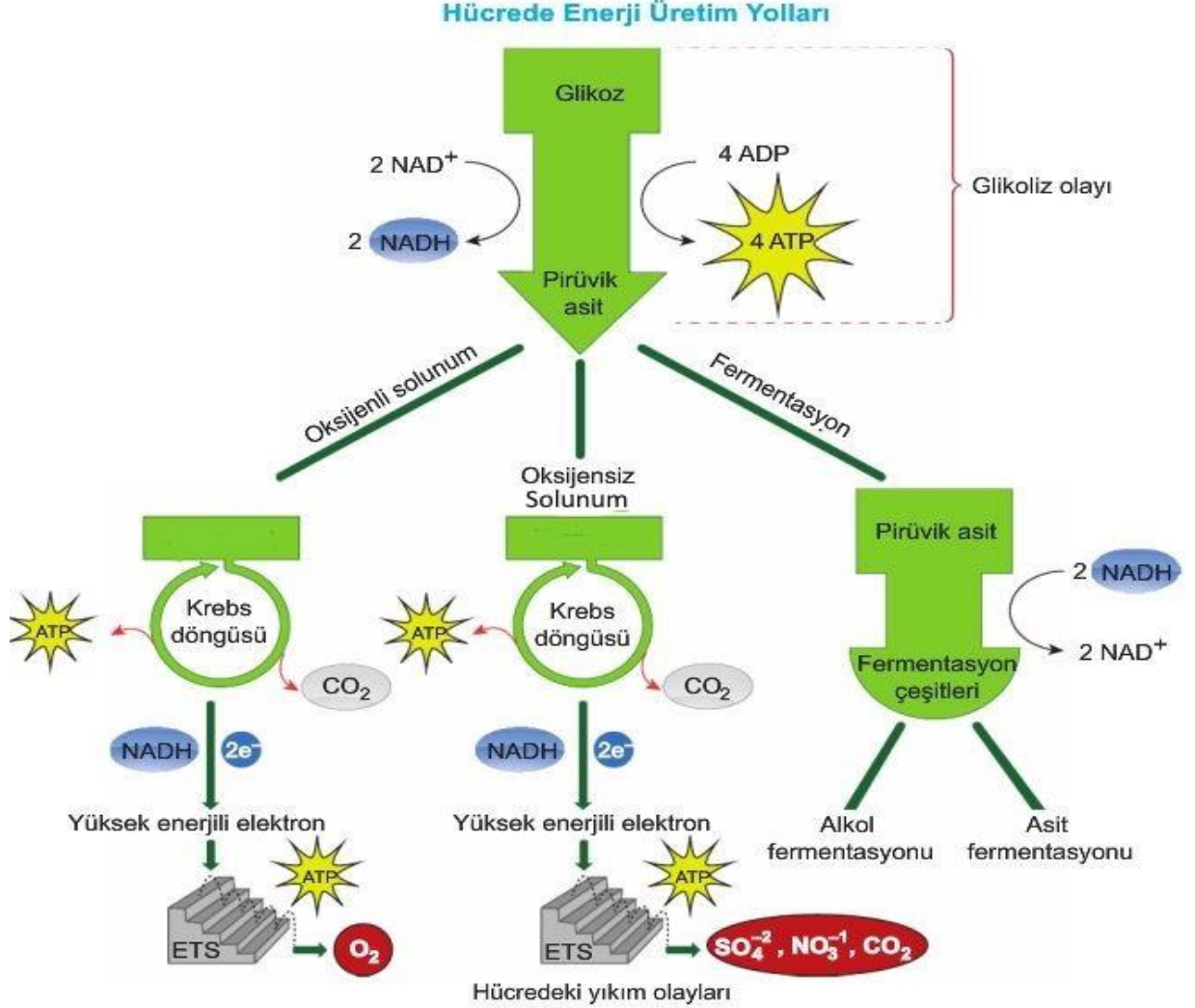


# HÜCRE SOLUNUMU

Hücrelerde; glikoz, yağ asidi, gliserol, amino asit gibi moleküllerin yapısındaki kimyasal bağ enerjisi ile ATP sentezlenmesine **hücre solunumu** denir .

Canlıların enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri için hücre solunumu kesintisiz olarak devam eder.

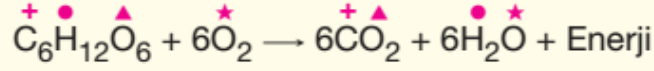


- Hücre solunumu;
  - oksijenli solunum,**
  - oksijensiz solunum ve**
  - Fermentasyon olmak üzere üç şekilde gerçekleşir.**
- Oksijen ve enzimler yardımıyla enerji verici organik moleküllerin H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub>'ye kadar parçalanması sırasında açığa çıkan enerji ile ATP sentezlenmesine **oksijenli solunum** denir. ETS de son elektron alıcı O<sub>2</sub> 'dir.
- Glikozun hücrede oksijensiz olarak yıkılıp enerji elde edilmesine **oksijensiz solunum** denir. **Son elektron alıcı oksijen değil diğer inorganik bileşiklerdir.**
- Fermentasyon** ise besinlerin yapı taşlarının oksijen kullanmadan **kısmi olarak** ( laktik asit (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub> ) veya etil alkol e ( C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH ) kadar yıkılıp ATP elde edilmesi olayıdır.

## OKSİJENLİ SOLUNUM

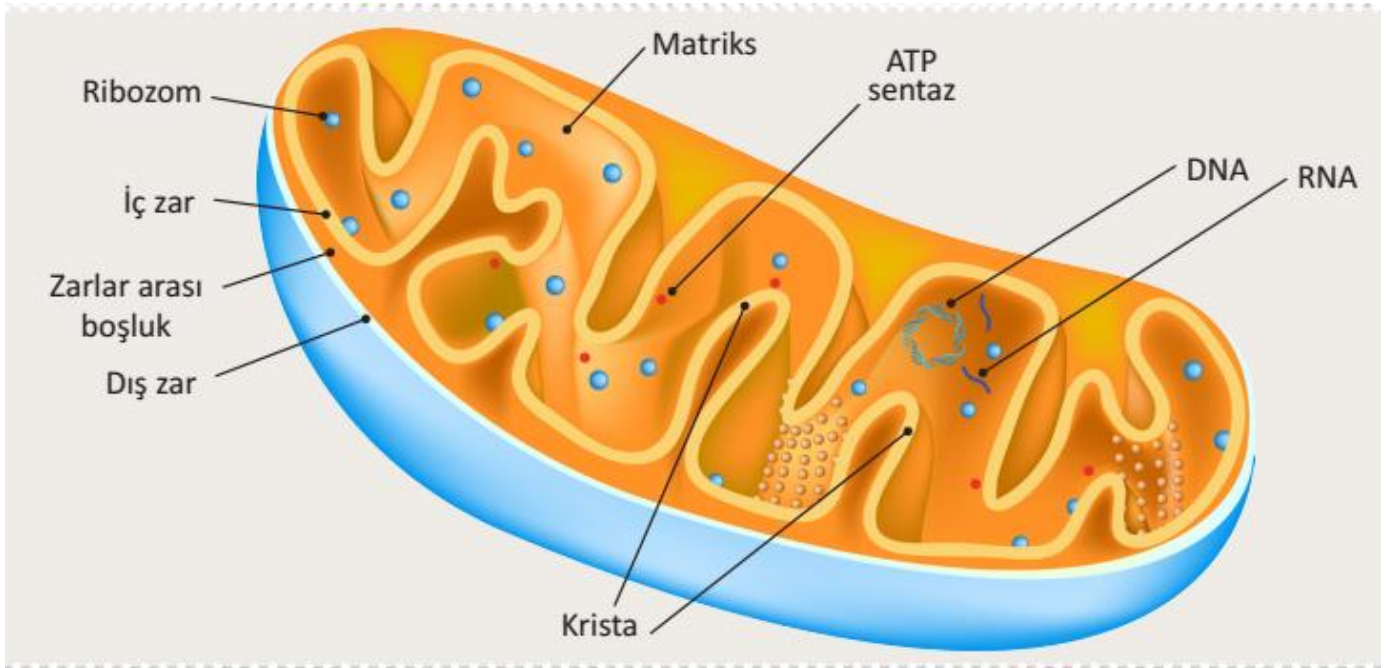
Organik moleküllerin oksijen varlığında bir dizi tepkime ile karbondioksit ve suya parçalanıp ATP elde edilmesine **oksijenli solunum** denir.

- Oksijenli solunumda besin moleküllerinden ayrılan hidrojenler ETS 'de  $O_2$  tarafından tutulur. Bu sayede besin molekülleri  $CO_2$  ve  $H_2O$ 'ya kadar parçalanırlar. Diğer bir deyişle tamamen okside olurlar. Böylece besinlerde depolanmış olan kimyasal enerjinin büyük bir kısmı açığa çıkarılabilir.



- Oluşan  $CO_2$ 'nin yapısına glikozdan karbon (C) ve oksijen (O) atomları;  $H_2O$ 'nun yapısına ise glikozdan hidrojen (H) ve atmosferden oksijen (O) atomları katılır.
- Oksijenli solunumun olabilmesi için özel yapılara gereksinim vardır.
- Prokaryot canlılarda, solunuma yardımcı enzimlerin bulunduğu hücre zarının özel kıvrımlı bölgelerinde (mezozom) gerçekleşir.
- Ökaryot hücrelerde **sitoplazmada başlayıp mitokondride** tamamlanır.

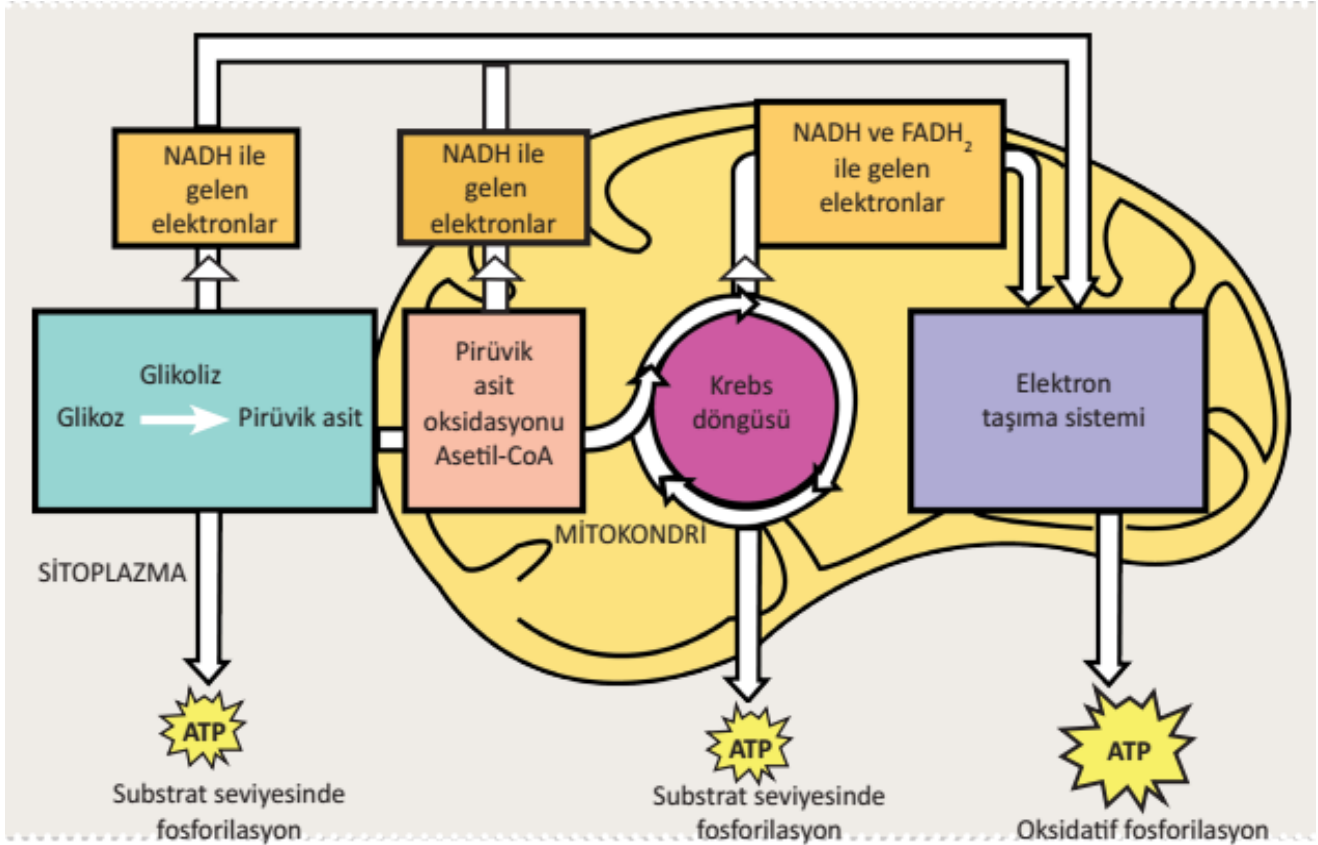
## MİTOKONDRİNİN YAPISI



- Mitokondri, çift katlı zar sistemine sahip bir organeldir.
- Dış zar düz, iç zar kıvrımlı yapıya sahiptir. **Krista** denilen bu kıvrımlar, iç zarın yüzey alanını genişletir ve solunumdaki enerji verimini artırır.
- İç ve dış zarlar arasında kalan bölgeye **zarlar arası boşluk**, iç zarın çevrelediği sıvı ortama da **matriks** denir.

- Matrikste solunumda görevli olan enzimler, ribozomlar, RNA, organik maddeler, inorganik maddeler ve mitokondri DNA'sı bulunur.
- ATP sentezlenmesini sağlayan ATP sentaz enzimi ve ETS elemanları ise iç zarın kıvrımlarında yer alır .
- Mitokondriler çekirdek kontrolünde kendini eşeleyebilir. Enerjiye ihtiyaç duyulan durumlarda mitokondri sayısı artar. Mitokondrilerin hücredeki sayısı, metabolik aktiviteye göre değişir. Örneğin kas hücreleri diğer hücrelere göre daha fazla mitokondri içerir.

## OKSİJENLİ SOLUNUMUN SAFHALARI



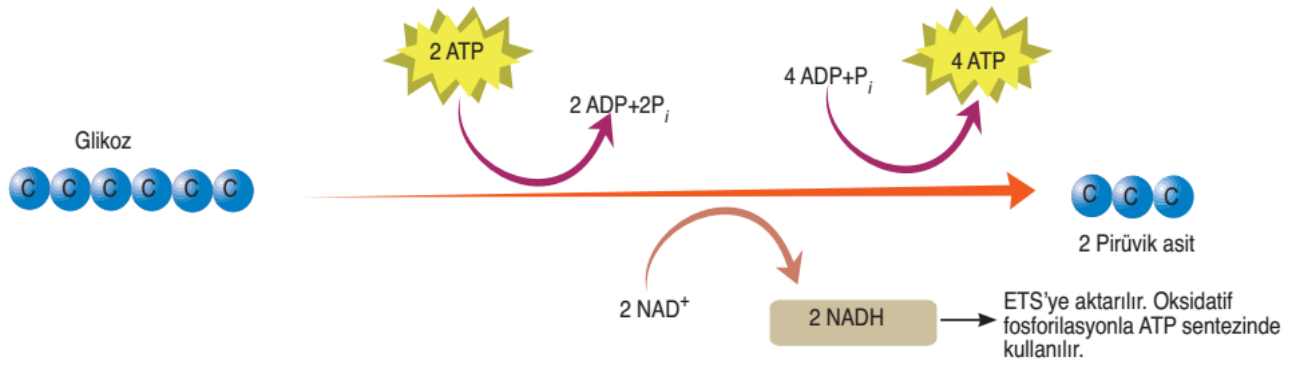
Oksijenli solunum **glikoliz**, **pirüvik asit oksidasyonu**, **Krebs döngüsü** ve **elektron taşıma sistemi (ETS)** olmak üzere dört evrede gerçekleşir.

- Ökaryot hücrelerde,
  - **Glikoliz** → sitoplazmada,
  - **Pirüvik asit oksidasyonu** → mitokondrinin matriks sıvısında,
  - **Krebs döngüsü** → mitokondrinin matriks sıvısında,
  - **Elektron taşıma sistemi** → mitokondrinin krista zarında gerçekleşir.

### Glikoliz :

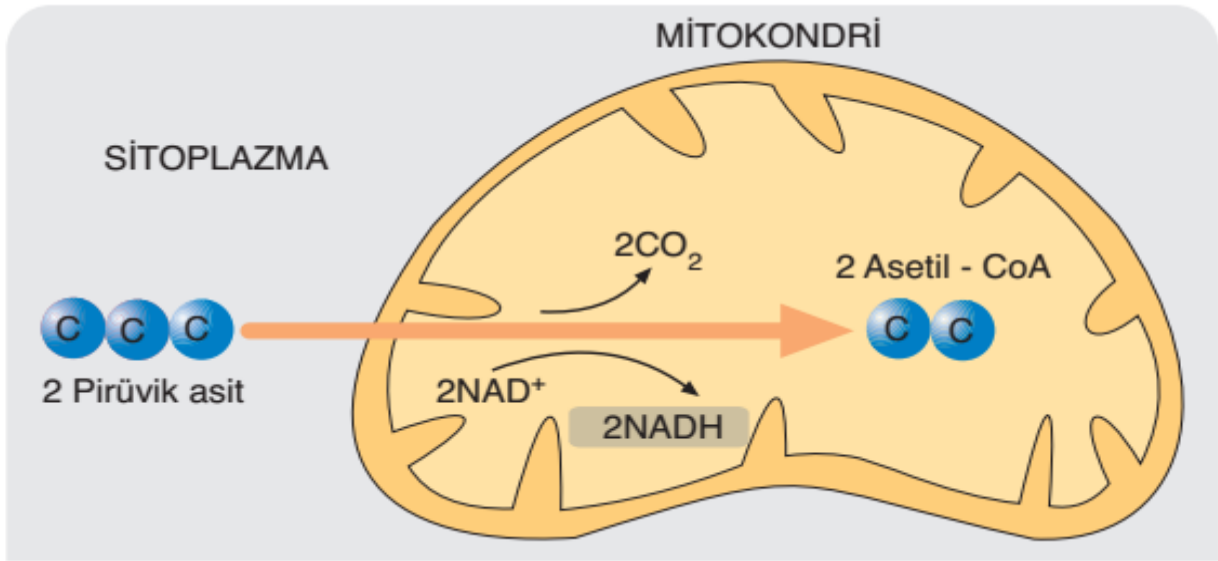
- Bir glukoz molekülünün sitoplazma içinde enzimler kullanılarak iki molekül pirüvik aside (pirüvat) kadar parçalanması olayına **glikoliz** denir .
- Hücresel solunum glikoliz ile başlar.

- Glikoliz olayını kontrol eden enzimler, tüm canlılarda ortaktır. Glikoliz reaksiyonlarının başlayabilmesi için glikoz molekülünün aktifleştirilmesi gerekir. Bunun için 2 molekül ATP harcanır.
- Bir glikoz molekülünün glikoliz yoluyla parçalanması sırasında substrat düzeyinde fosforilasyon ile 4ATP sentezi gerçekleşir. Ancak 2 ATP glikozun aktifleştirilmesi için harcadığından net kazanç 2 ATP'dir.
- Bu sırada NAD koenzimi, organik molekülden hidrojen atomlarını alarak (indirgenerek) NADH oluşturur. İki molekül 3C'lu pirüvik asit meydana gelir.



- Sonuç olarak glikolizde 1 glikoz molekülünden 2 pirüvik asit, 4 ATP, 2 NADH elde edilir. 2 ATP başlangıçta harcadığından net kazanç 2 ATP'dir.

## Pirüvik Asit Oksidasyonu :

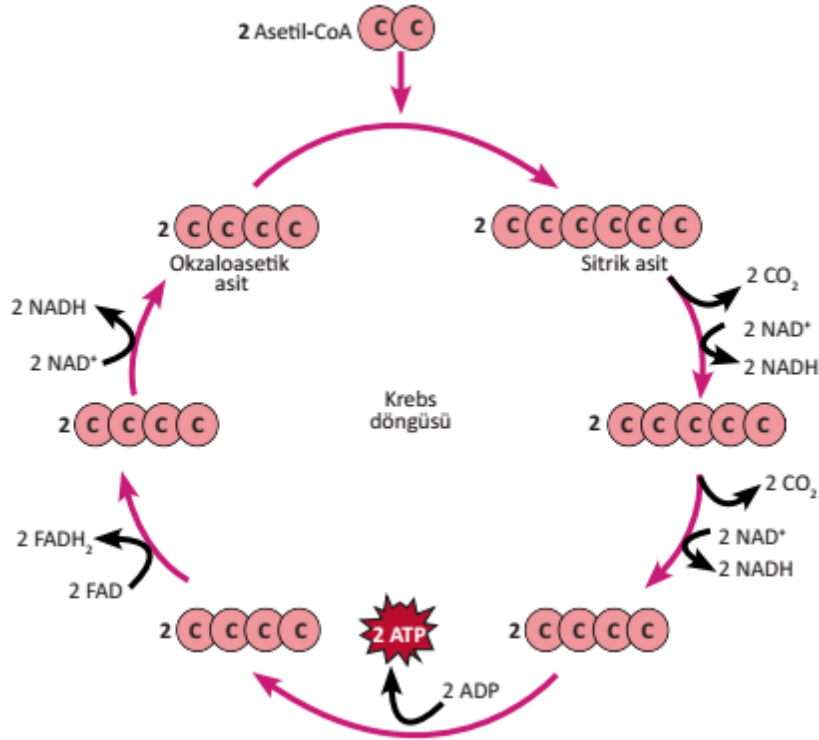


Krebs döngüsü başlamadan önce **mitokondri matriksine** geçen 3C'lu pirüvik asitler, CO<sub>2</sub> çıkışı ve NADH oluşumu ile **asetil - CoA** (asetil koenzimA) adı verilen 2C'lu bileşiğe dönüşür.

2 Pirüvik asitten 2 CO<sub>2</sub>, 2 NADH çıkışı olur 2 Asetil CoA sentezlenir.

Ortamda yeterince oksijen bulunmazsa pirüvik asit; asetil - CoA'ya dönüşemeyeceği için mitokondriye geçemez. Etil alkol ya da laktik asit fermantasyonu tepkimelerine katılır. Bu anlamda asetil - CoA oluşumu, hücre içerisinde yeterli miktarda **oksijen** bulunduğunu gösteren en önemli ölçüttür.

## Krebs Döngüsü (Sitrik Asit Döngüsü) :

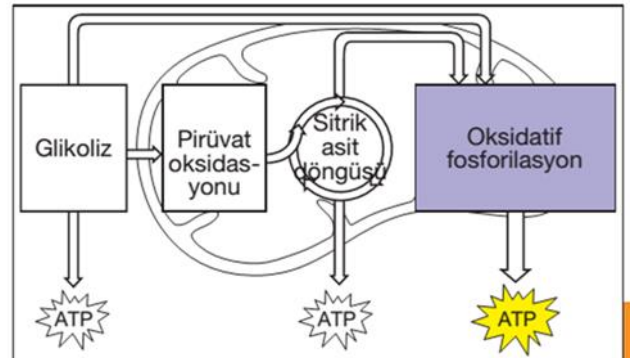


Mitokondrilerin matriksinde gerçekleşir. Krebs döngüsü, 2 karbonlu asetil-CoA ile 4 karbonlu okzaloasetik asidin tepkimeye girmesi sonucunda oluşan 6 karbonlu "sitrik asit oluşumu" ile başlar. Daha sonra devam eden tepkimelerin sonucunda sitrik asitten tekrar okzaloasetik asit oluşur.

- Bir glikoz molekülünden gelen yapıların parçalandığı iki Krebs döngüsünde 2 ATP molekülü, **substrat düzeyinde fosforilasyonla sentezlenir.**
- Elektronların NAD<sup>+</sup> ve FAD koenzimlerine iletilmesiyle **6 NADH ve 2 FADH<sub>2</sub>** molekülleri elektron taşıma sistemine (ETS) aktarılır.
- Bu aşamada açığa çıkan toplam **4** molekül **CO<sub>2</sub>** atmosfere verilir.

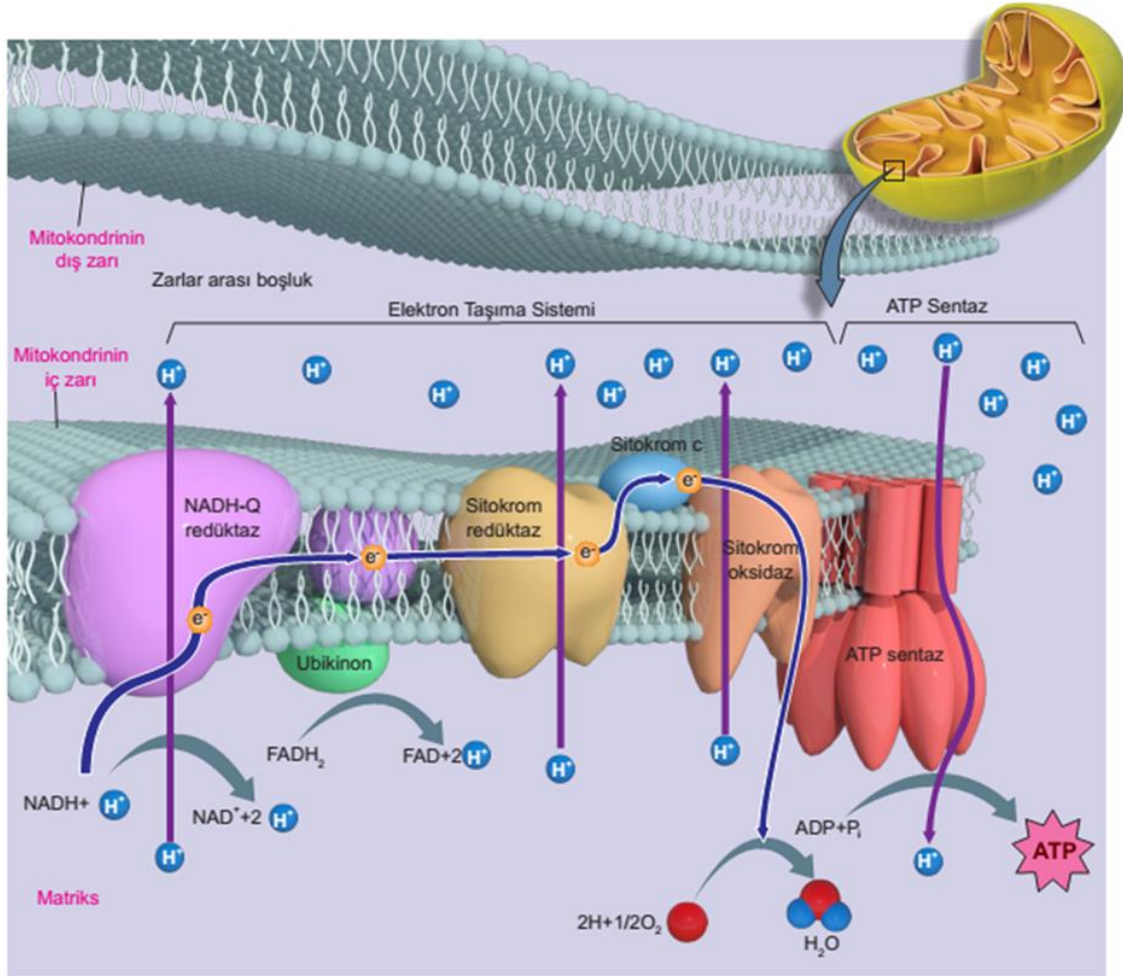
## Elektron Taşıma Sistemi (ETS) :

- Elektron taşıma sistemi bir dizi elektron taşıyıcı molekülden oluşur ve bu moleküller mitokondrinin iç zarında yer alır. Bu moleküller NADH ve FADH<sub>2</sub>'den yüksek enerjili elektronları alır ve bir dizi indirgenme yükseltgenme tepkimesinden geçirerek sistem boyunca taşır. Koenzimlerle taşınan elektronlar taşıyıcı moleküllere aktarılırken **protonlar** matrikse bırakılır.





- Bu sırada NADH ve FADH<sub>2</sub> sırasıyla NAD<sup>+</sup> ve FAD formlarına yükseltgenir. Böylece NAD<sup>+</sup> ve FAD molekülleri tekrar Krebs döngüsündeki elektronları kabul edebilecek hâle gelir.

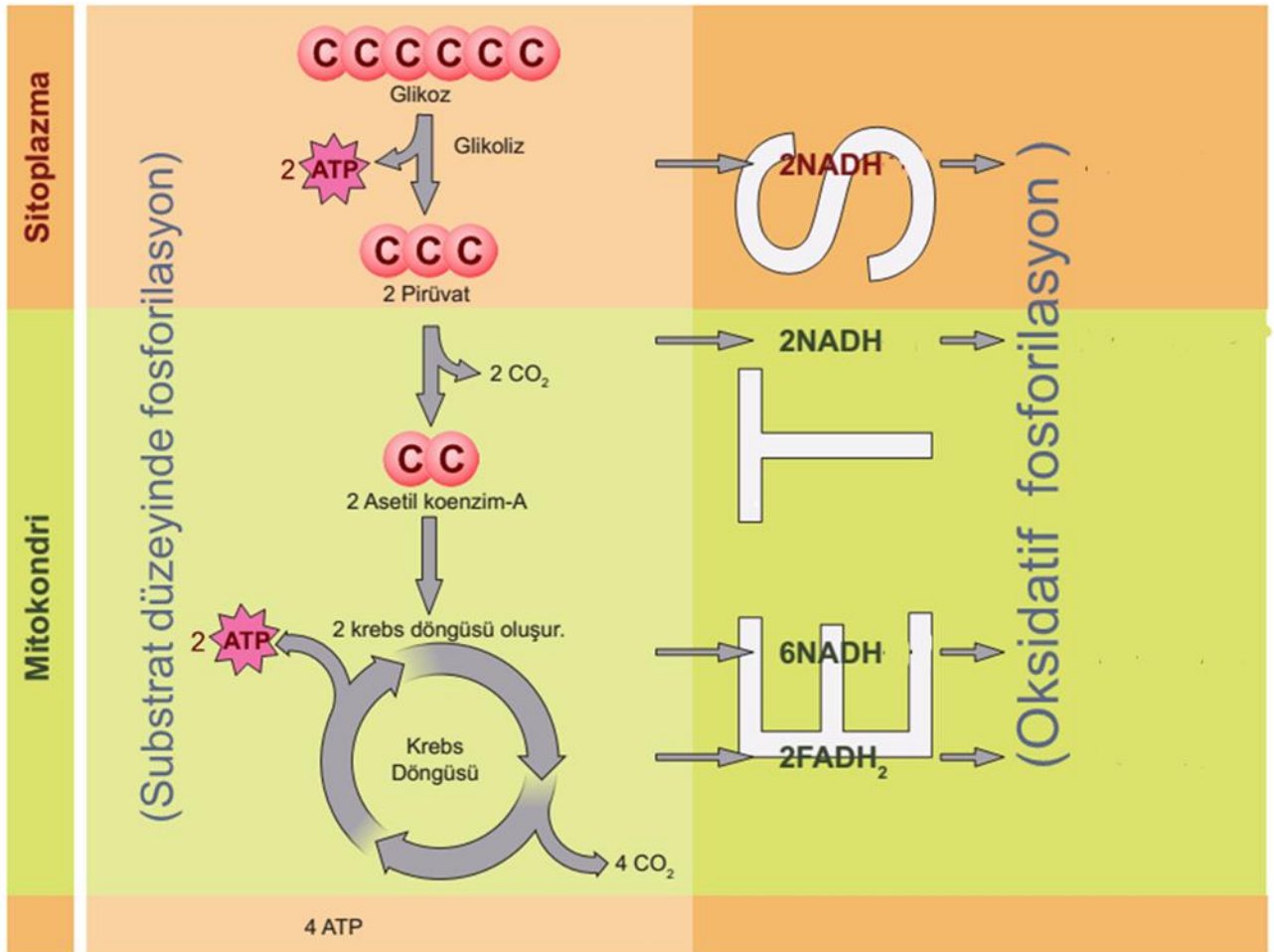
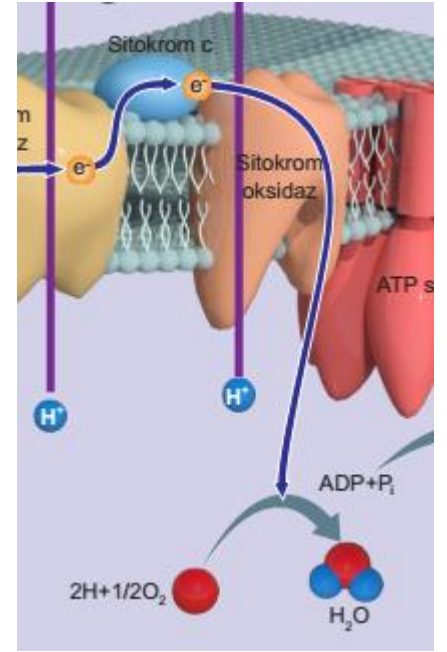


- Taşıma sisteminde elektronların enerji seviyeleri kademeli olarak düşürülür.
- Bu sırada açığa çıkan serbest enerjinin bir kısmı ısı olarak ortama yayılırken **büyük kısmı matriksteki protonları pompalamada** kullanılır. Protonlar (H<sup>+</sup>) matriksten mitokondrinin **iç ve dış zarı arasında bulunan boşluğa doğru ETS molekülleri aracılığıyla pompalanır**. Böylece mitokondrinin iç ve dış zarı arasındaki boşluk matrikse oranla daha yüksek proton derişimine sahip olur. Protonlar elektrik yükü taşıdığından mitokondrinin iç zarının iki yüzü arasında elektriksel yük farkına da yol açar. Bu derişim ve elektriksel yük farkı bir potansiyel enerji oluşturur.
- Solunumun son aşaması olan oksidatif fosforilasyon için bu potansiyel enerji ATP sentaz yardımıyla kullanılır hâle getirilir. Mitokondrinin iç zarı protonları geçirgen olmadığından ATP sentaz, zarlar arası boşluktaki protonların tekrar matrikse geri akışını sağlayan bir yol oluşturur. ATP sentaz kompleks bir enzimdir. Proton akışı sırasında aktifleşir ve enzimde yapısal derişimler olur. Bu derişimler ADP'ye bir fosfat eklenerek ATP sentezlenmesini sağlar. Protonlar matrikse doğru aktıkça ATP sentezi de devam eder.
- Proton yoğunluk farkı sebebiyle ATP oluşumunu açıklayan bu hipoteze kemiozmatik hipotez denir.**
- ETS elemanlarının elektron çekme isteğine elektronegatiflik veya elektron ilgisi denir. ETS elemanlarının elektronegatifliği sonuncuya doğru gidildikçe artar.**

- **ETS'nin son elektron alıcısı oksijendir.** Oksijenin elektronegatifliği ETS elemanlarından yüksektir. Elektron taşınmasının son aşamasında **düşük enerjili hâle gelmiş olan elektronlar, oksijen ve protonlarla ( $H^+$ ) birleşerek suyu oluşturur.** Mitokondrilerin iç zarında bulunan ETS'ler aracılığıyla elektronların oksijene taşınması ve ATP sentezlenmesine **oksidatif fosforilasyon** denir. Solunumda üretilen enerjinin büyük kısmı bu evrede üretilir.

## OKSİJENLİ SOLUNUMDA ATP ÜRETİMİ

- Glikoliz tepkimelerinden 2 NADH
- Asetil Co-A sentezi sırasında 2 NADH
- Krebs döngüsü tepkimelerinden de 6 NADH ve 2  $FADH_2$  ETS'ye aktarılır.
- Bu arada toplam 10 NADH ve 2  $FADH_2$  ETS'ye iletilerek yaklaşık 26- 28 ATP molekülü oksidatif fosforilasyonla sentezlenmiş olur.
- Glikoliz ve Krebs döngüsünden de toplam 6 ATP, substrat seviyesinde fosforilasyonla sentezlenir.



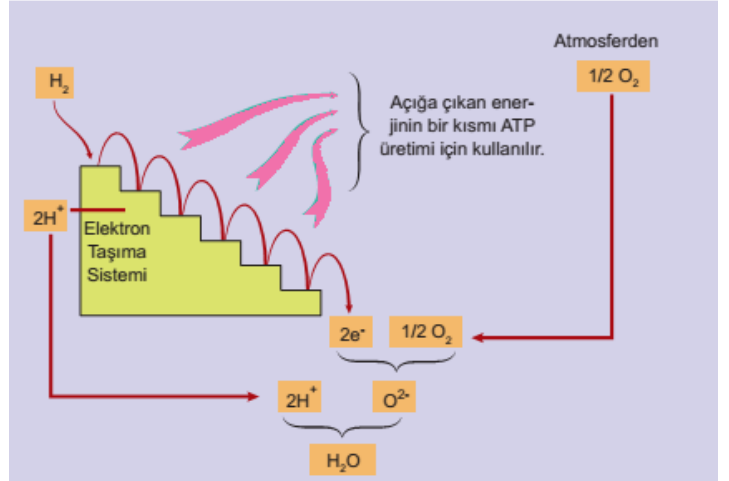
- Böylece bir glikoz molekülünden yaklaşık toplam 32- 34 net 30 - 32 ATP sentezlenmiş olur.

**ATP sayısındaki bu farklılık, sitoplazmada glikolizle oluşturulan NADH moleküllerinin değişik dokularda ETS'ye farklı mekanizmalarla katılmasından kaynaklanır. Örneğin iskelet kası ve beyin hücrelerinde 30, karaciğer, böbrek ve kalp hücrelerinde 32 ATP üretilir.**

- Glikoz molekülünün bağları arasındaki enerjinin yaklaşık % 40'ı ATP sentezinde kullanılır. % 60'ın az bir kısmı ısı olarak yayılırken diğer kısmı oksijenli solunumun son ürünleri olan H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> moleküllerinin bağlarında kalır.

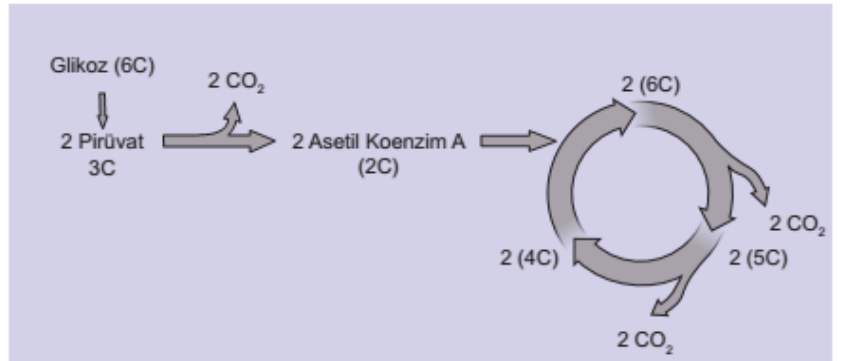
## Suyun Oluşumu

Oksijenli solunumda ETS'ye aktarılan bir çift hidrojen atomunun oksijen ile birleşmesi sonucu 1 molekül H<sub>2</sub>O oluşur. NAD ve FAD molekülleri aracılığıyla taşınan 24 hidrojen atomu oksijenle birleşerek 12 molekül H<sub>2</sub>O'yu oluşturur. 6' sını Krebs çemberinde kullanılır.



## Karbon Dioksitin Oluşumu

- 2 pirüvattan asetil Co A oluşumu sırasında 2 CO<sub>2</sub>,
- Krepste 4 CO<sub>2</sub>, çıkışı olur .



**Bir molekül glikozdan toplam 6 CO<sub>2</sub> oluşur.**

Oksijenli solunumun genel denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

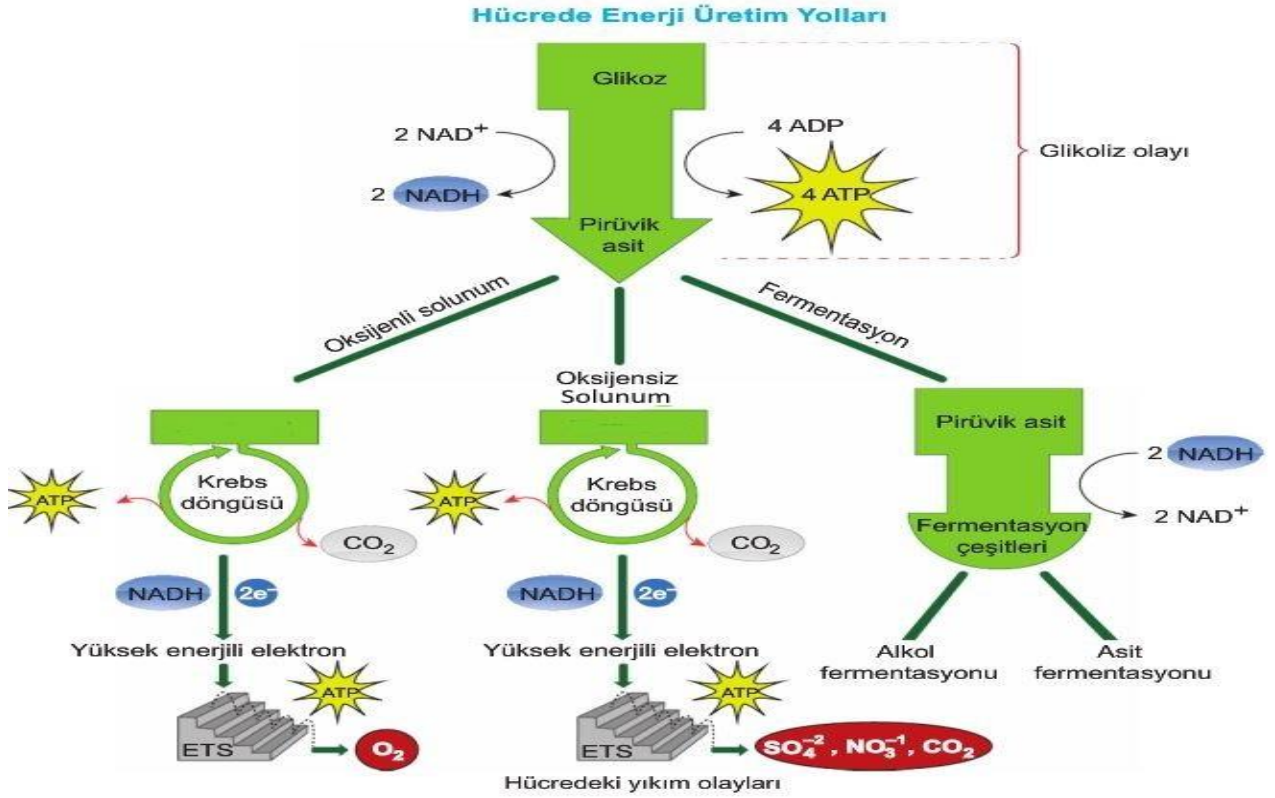


Oksijenli solunumun genel denklemindeki H<sub>2</sub>O sayıları sadeleştirilirse aşağıdaki denklem elde edilir.

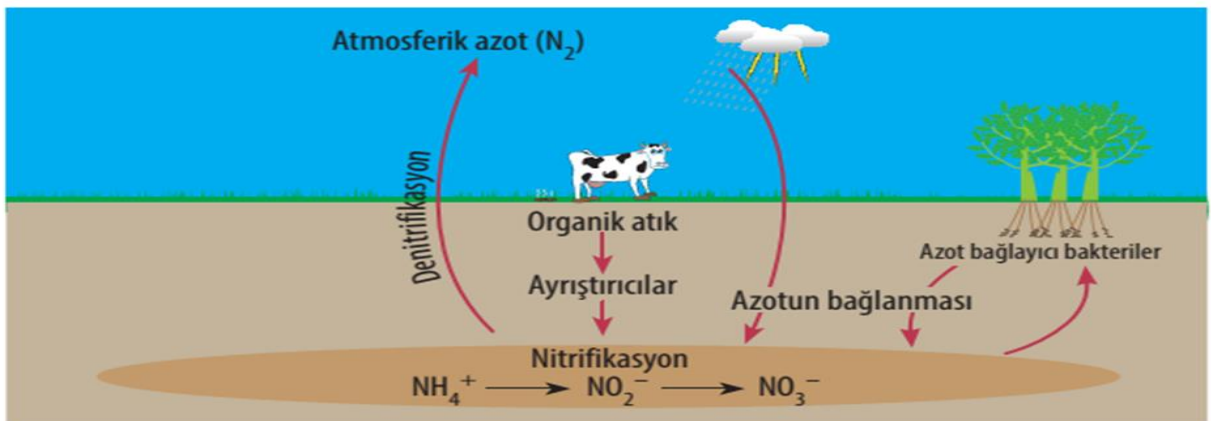




# OKSİJENSİZ SOLUNUM



- Glikozun **oksijen kullanılmadan** yıkılması sırasında **ETS yardımıyla** ATP üretilmesine **oksijensiz solunum** denir. Oksijensiz solunumda son elektron alıcısı, **O<sub>2</sub>** 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<sub>4</sub><sup>2-</sup>**-(sülfat) , **S** (kükürt), **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** (nitrat) , **CO<sub>2</sub>** (karbondioksit) ve **(Fe<sup>3+</sup>)** (demir) gibi inorganik yapıları son elektron alıcılarına aktarır ve enerji elde eder. Bataklık gibi oksijensiz ortamda yaşayan bazı bakteriler, besin moleküllerinden kopardıkları elektronları ETS üzerinden **SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** iyonuna aktarır.
- Elektronların ETS'de taşınması sırasında açığa çıkan enerji ile de ATP sentezlenir. Toprak ve suda bulunan **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** oksijensiz solunum yapan bakteriler tarafından N<sub>2</sub>'ye (moleküler azot) dönüştürülür. Bu bakteriler oksijensiz ortamda ETS'lerinde son elektron alıcısı olarak **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**'ü kullanır. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> elektron alarak birkaç basamakta moleküler azota dönüşür. **Denitrifikasyon** adı verilen bu olay, biyosferdeki azot döngüsünün korunmasına katkı sağlar.



## DİĞER BESİNLERİN HÜCRE SOLUNUMUNDA KULLANIMI

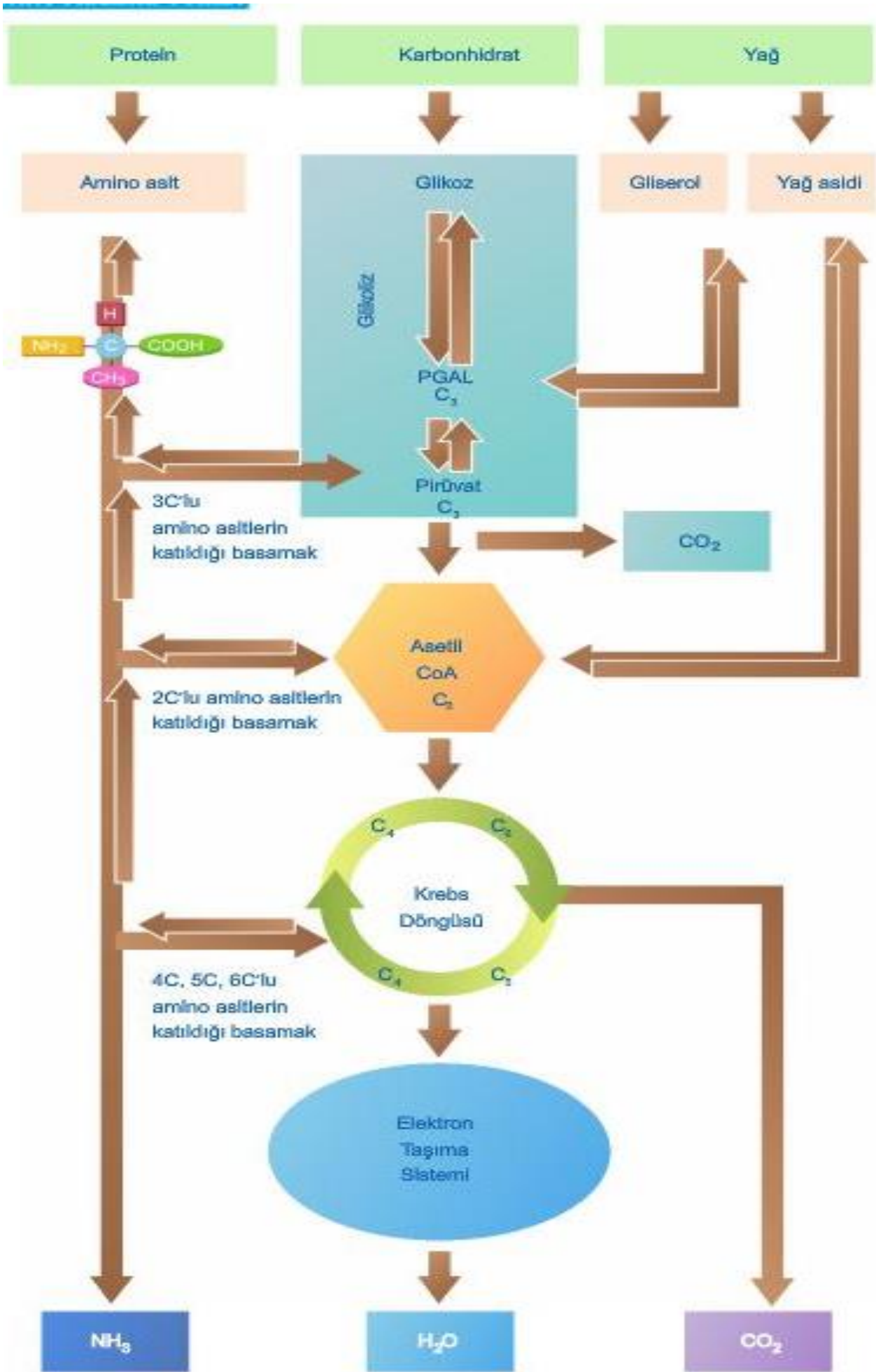
Organik moleküllerin su kullanarak daha küçük yapı taşlarına parçalanması olayına hidroliz denir .Hidroliz tepkimeleri sonucunda karbonhidratlar glikoz ve diğer monosakkaritlere, lipitler gliserol ve yağ asitlerine, proteinler de amino asitlere parçalanır.

Polisakkaritler önce monosakkaritlerden olan glikoza hidroliz tepkimeleriyle parçalanır. Glikoz hücre içinde glikoliz ve Krebs döngüsü ile yıkılarak enerji elde edilir.

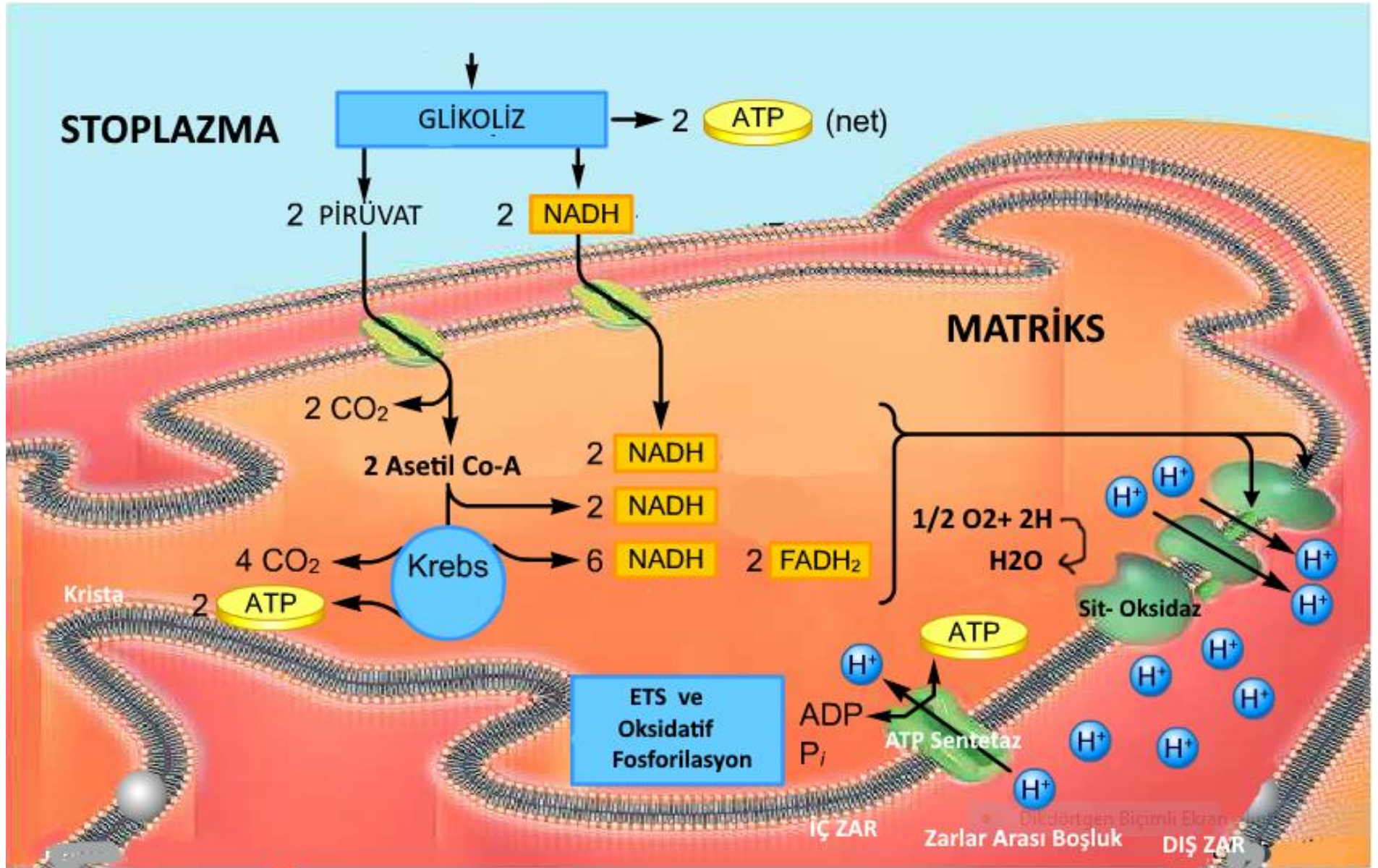
Lipitler ( Yağlar ) önce yapı taşları olan gliserol ve yağ asitlerine parçalanır. Gliserol özel bir enzim yardımıyla ATP harcanarak gliserol fosfata dönüştürülerek glikoliz tepkimelerine katılır. Yağ asitlerinin yıkımı ATP kullanılarak dehidrasyonla gerçekleşir. Mitokondride gerçekleşen bu olayda her yağ asiti asetil Co A meydana getirir. Bu asetil Co-A'da Krebs döngüsüne girer.

Lipitlerde, karbonhidratlara göre daha fazla karbon atomu vardır; buna bağlı olarak **hidrojen sayısı da fazladır**. Enerji karbon ve hidrojen arasındaki bağlardan kaynaklandığı için **lipitlerde yüksek oranda enerji açığa** çıkar.

Amino asitlerden amino grubu ayrıldıktan sonra geriye kalan madde karbon sayılarına göre asetil koenzim A'dan 3 C'lu pirüvattan ya da Krebs döngüsünden solunum tepkimelerine katılır.Karbonhidrat ve lipitler solunum tepkimelerinde kullanıldığında CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O son ürün olarak açığa çıkarken proteinlerin kullanıldığı durumlarda CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve NH<sub>3</sub> meydana gelir.





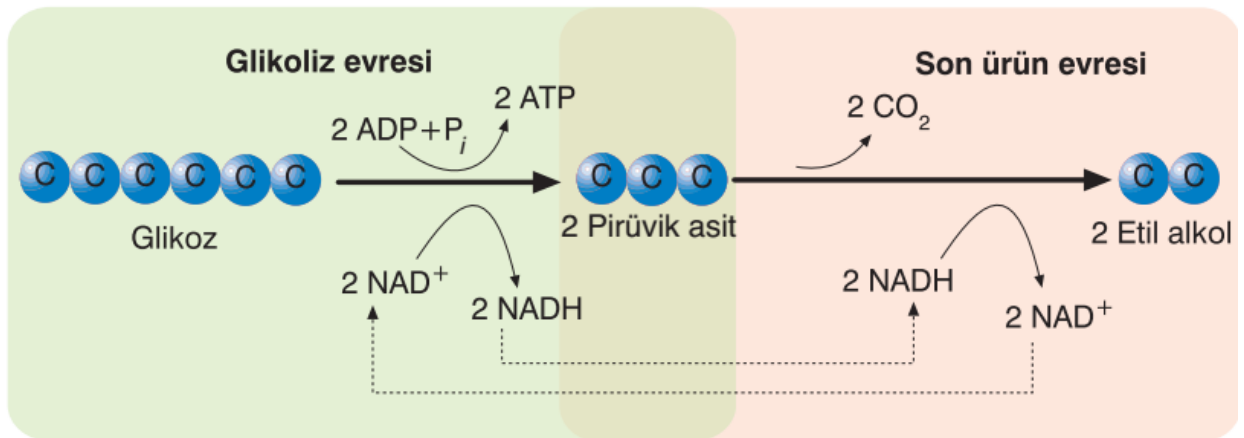




## FERMANTASYON

- Organik besinlerin oksijen kullanılmadan, enzimler yardımıyla daha küçük moleküllere parçalanması sonucu açığa çıkan enerjiyle ATP sentezlenmesine (fermantasyon ) denir. Mayalanma olarak da bilinen fermentasyon işlemi bir maddenin bakteriler, mantarlar ve diğer organizmalar aracılığıyla gerçekleşen kimyasal bir parçalanma olayıdır.
- Fermentasyonla enerji elde edilmesi bakterilerin büyük bir bölümünde, maya mantarlarında, omurgalıların çizgili kaslarında olgun alyuvar hücrelerinde ve bazı tohumlarda gerçekleşir.
- Fermentasyon tepkimelerinde besinler  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$ 'ya kadar dönüşemediği için enerjinin büyük bir bölümü son ürünlerin kimyasal bağlarında bağlı kalır. Bu nedenle fermentasyonda açığa çıkan enerji, oksijenli ve oksijensiz solunuma göre daha azdır.
- Glikoliz tepkimeleri oksijenli solunumda anlatıldığı gibi fermentasyon da da aynı şekilde gerçekleşir.
- Glikoliz sonucunda oluşan pirüvat, oksijensiz ortamda etil alkol veya laktik aside dönüşür.** Etil alkol veya laktik asit gibi farklı son ürünlerin oluşmasının nedeni, bu tepkimelerde kullanılan **enzim çeşitlerinin farklı** olmasıdır.
- Fermentasyon glikoliz ve son ürün reaksiyonları olmak üzere iki safhada gerçekleşir.**

### Etil Alkol Fermentasyonu



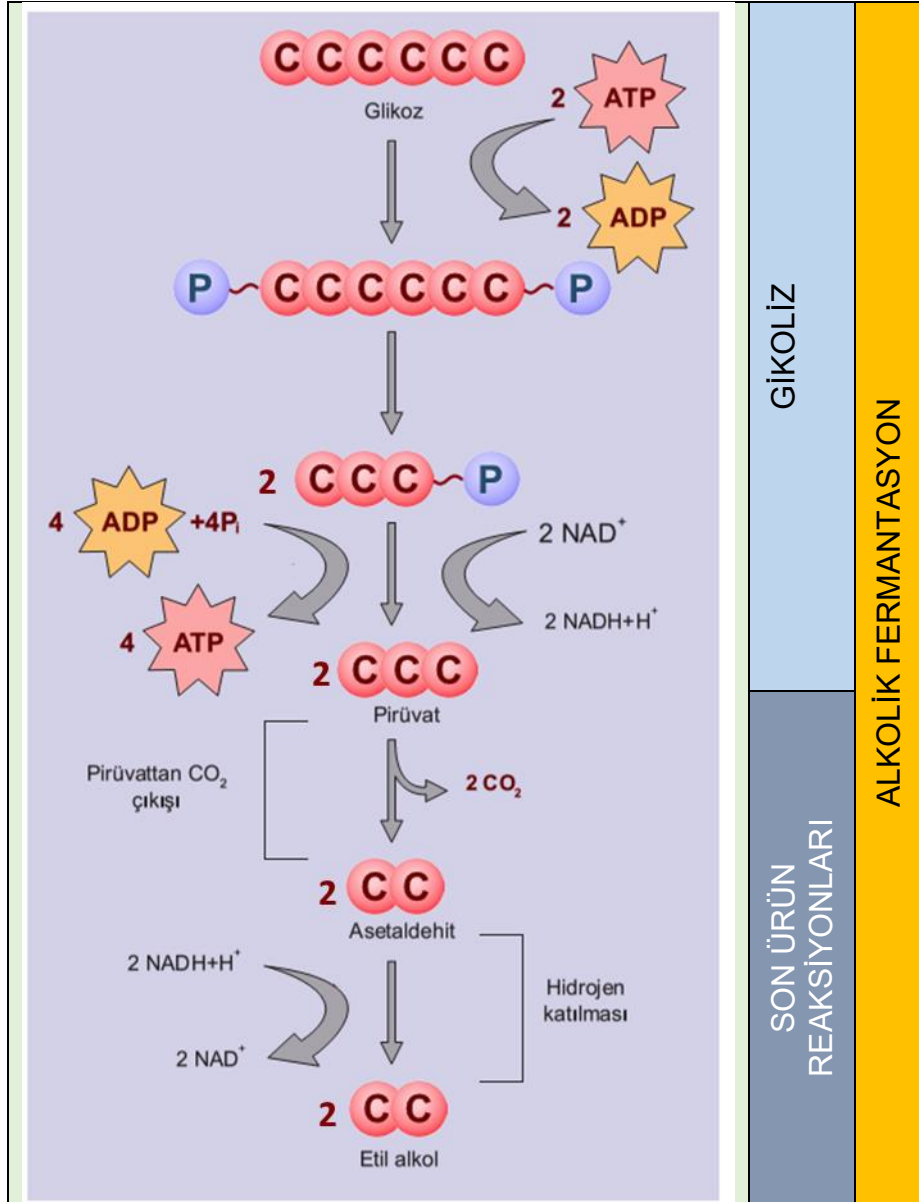
- Bazı bakteri, maya hücreleri ve bitki tohumlarının oksijensiz ortamda alkolik fermentasyonla enerji üretirler.
- Glikoz, önce glikoliz tepkimeleriyle 2 molekül pirüvata kadar parçalanır.
- ATP sentezi glikoliz safhasında gerçekleşir.
- İkinci aşamada ( son ürün reaksiyonları) Pirüvattan  $\text{CO}_2$  çıkması sonucu asetaldehit oluşur.
- Asetaldehit glikoliz sırasında oluşan NADH den hidrojenleri alarak etil alkolü oluşturur.
- Glikozdan etil alkolün olduğu ve enerjinin açığa çıktığı bu kimyasal tepkimeler dizisine etil alkol fermentasyonu adı verilir .
- Hidrojenlerini pirüvata aktaran NAD molekülü yükseltgenir. Yükseltgenmiş NAD molekülünün oluşumu aynı zaman da glikolizin de devamlılığını sağlar.**
- Fermentasyon tepkimeleriyle ortamda pirüvat ve hidrojen molekülünün birikmesi de önlenmiş olur.**

- Etil alkol fermentasyonu sonucunda 1 molekül glikozdan 2 molekül etil alkol, 2 molekül CO<sub>2</sub> ve 4 ( net 2 )molekül ATP oluşurken bir miktar da ısı açığa çıkar.
- Üzümden alkol elde edilmesi etil alkol fermentasyonu ile gerçekleştirilir.
- Pastacılıkta kullanılan mayaların gerçekleştirdiği fermentasyon sonucunda açığa çıkan CO<sub>2</sub> hamurun kabarmasını sağlar.
- Fermentasyon tepkimeleri sonucu açığa çıkan etil alkol oranı %12'i aşarsa hücreler üzerinde zehir etkisi yapar. Bu nedenle etil alkol birikiminin yoğun olduğu ortamlarda etil alkol fermentasyonu yapan canlılar bile yaşayamaz

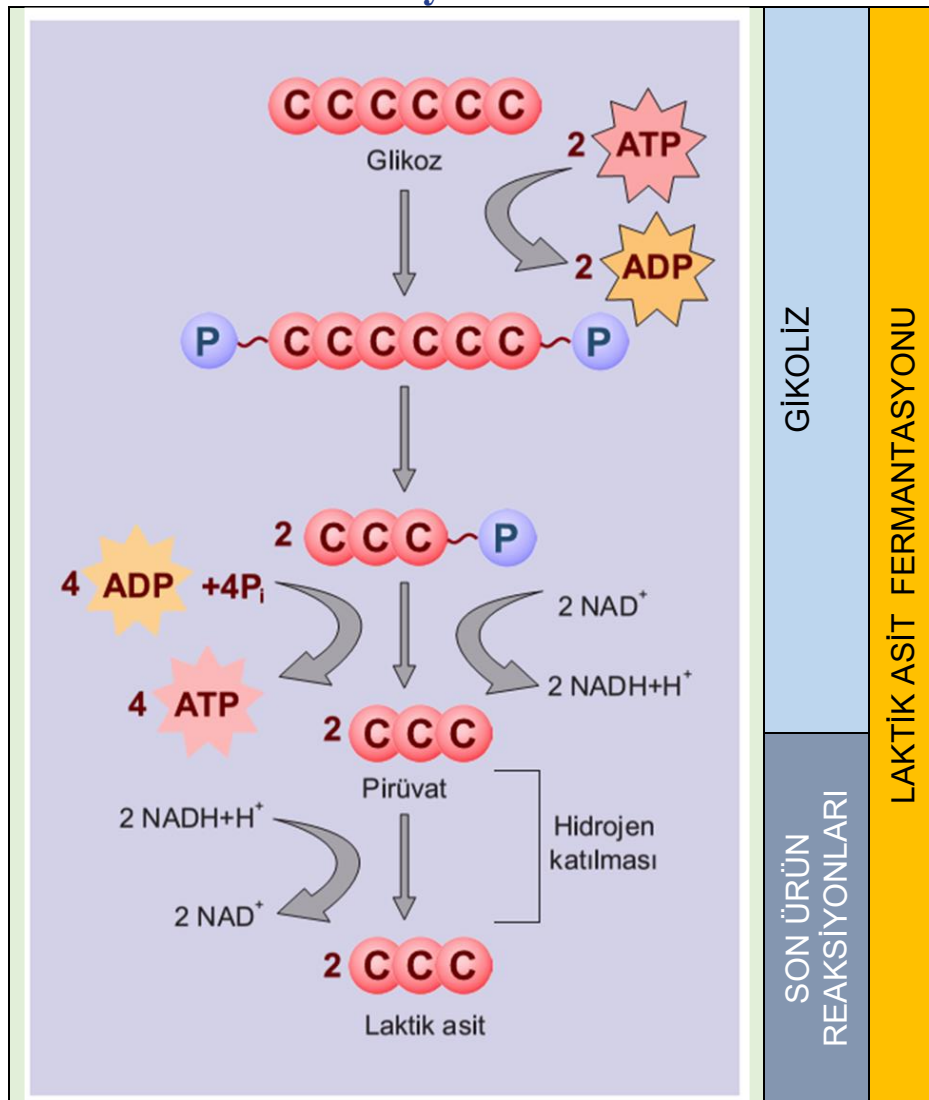


Grafik 2.3: Etil alkol miktarı değişim grafiği

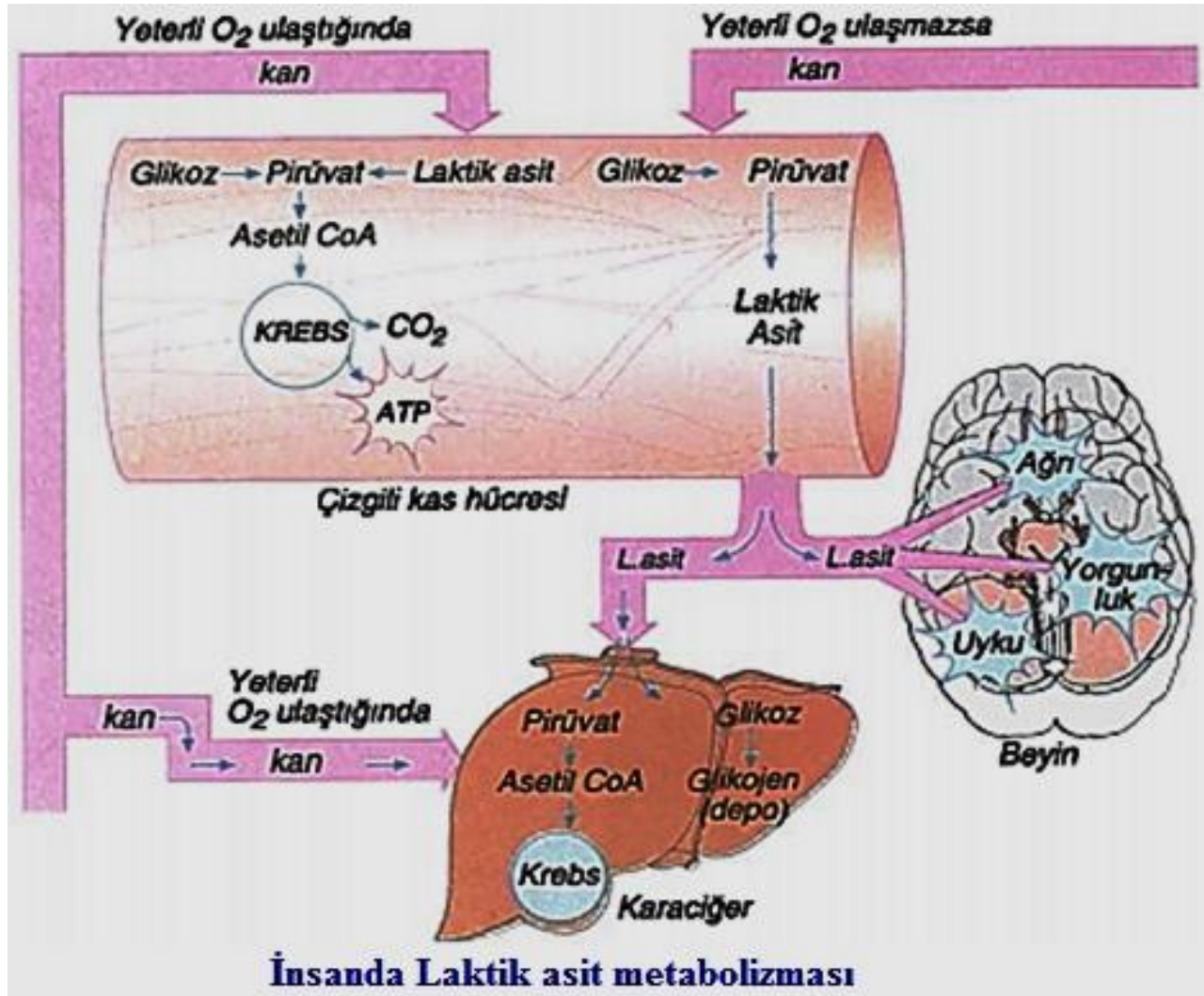
- Son elektron alıcı asetaldehittir.**



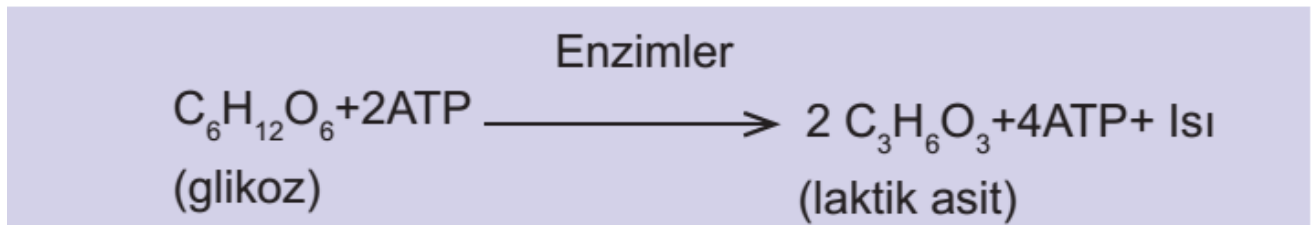
## Laktik Asit Fermantasyonu



- Omurgalılar genellikle oksijenli solunum yapan organizmalardır. Hücrelerinde glikozu glikolizle pirüvata çevirir, sonra moleküler oksijeni kullanarak pirüvata tamamen CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya kadar parçalarlar.
- Ancak yoğun kas aktivitesinin olduğu durumlarda glikozun oksijensiz ortamda laktik aside kadar parçalanması gerçekleşir. Bazı bakteriler( yoğurt bakterileri ) de enerji elde edebilmek için glikozu laktik aside parçalar. Omurgalıların kas hücrelerinde ve bazı bakterilerde gerçekleşen bu kimya sal tepkime dizisine laktik asit fermantasyonu denir.
- Laktik asit fermantasyonu sırasında glikoliz tepkimeleri sonucu oluşan pirüvat ortamdaki NADH 'nin hidrojenlerini alarak laktik asidi meydana getirir
- Bu tepkimeler sırasında NADH molekülü yükseltgenir. Böylece glikolizin devamlılığı için NAD<sup>+</sup> molekülü ortama kazandırılmış olur.
- İnsanın kol, bacak vb. organlarındaki çizgili kaslarında çok enerji gerektiren işlemler sırasında oluşan laktik asit bu hücrelerde birikir. Bu da vücutta yorgunluk yapar. Örneğin insanın yüzerken yorulmasının nedeni bacak kaslarında laktik asidin birikmesidir.
- **Son elektron alıcı pirüvattır.**



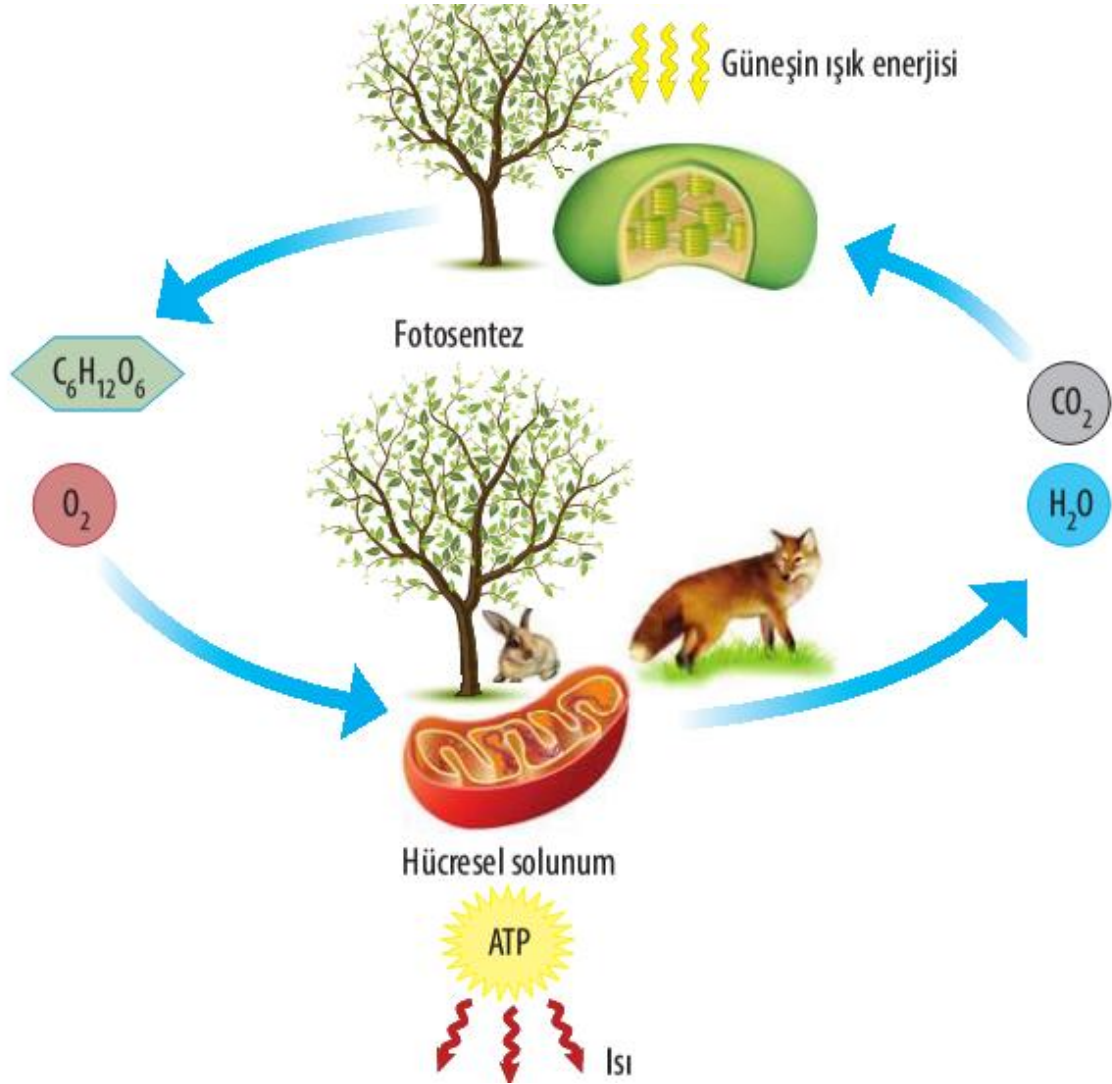
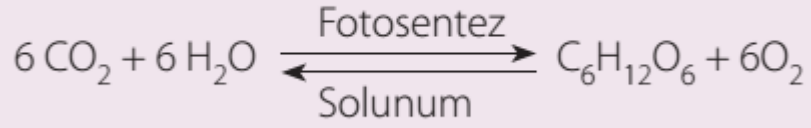
- Dinlenme durumunda hücrelere yeterli oksijen gelirse laktik asit yükseltgenir. Molekülden hidrojen ayrılır; bu sırada pirüvat molekülü oluşur. Meydana gelen pirüvat oksijenli solunum tepkimelerine katılır. Eğer kaslarda biriken laktik asit miktarı artarsa laktik asit kan yoluyla beyne giderek uyku merkezini uyarır. Bu nedenle yorulduğumuzda uykumuz gelir. Laktik asidin bir kısmı karaciğerde glikoza çevrilir, ardından glikojen sentezlenir. Bazen laktik asidin fazlası "kramp"a neden olur.



Laktik asit fermantasyonu sonucunda 1 molekül glikozdan 2 molekül laktik asit oluşur. Bu sırada **toplam** 4 ATP ( Net 2 ) sentezlenirken bir miktar ısı enerjisi de açığa çıkar.



## FOTOSENTEZ SOLUNUM İLİŞKİSİ



Fotosentezde klorofi yardımıyla ışık enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülür. Bu enerji sayesinde karbondioksit ve sudan organik besinlerin üretimi sağlanırken atmosfere oksijen verilir. Solunumda ise organik besinlerin oksijen varlığında yıkılması sonucu karbondioksit, su ve hücrede metabolik faaliyetlerinin gerekli olan enerji üretilir. Böylece doğadaki madde döngüsünün sürekliliği sağlanır.

*Fotosentez yalnızca gündüz gerçekleşen bir olaydır. Solunum ise hem gece hem gündüz aralıksız devam eder. Gündüz, fotosentez hızı solunum hızından fazla olduğu için solunum sırasında açığa çıkan CO<sub>2</sub>, fotosentezde kullanılır. Gece ise fotosentez yapılamadığından CO<sub>2</sub> ortama bırakılır.*

FOTOSENTEZ	OKSİJENLİ SOLUNUM
Ökaryot canlılarda kloroplastta; prokaryot canlılarda sitoplazmada gerçekleşir.	Ökaryot canlılarda sitoplazma ve mitokondride; prokaryot canlılarda sitoplazmada gerçekleşir.
Yeterli ışık enerjisi varlığında gerçekleşir.	Oksijen varlığında gerçekleşir.
Reaksiyona giren maddeler, $\text{CO}_2$ ve $\text{H}_2\text{O}$ / $\text{H}_2\text{S}$ / $\text{H}_2$ 'dir.	Reaksiyona giren maddeler, organik besinler ve $\text{O}_2$ 'dir.
Güneş enerjisi, kimyasal bağ enerjisine dönüştürülür.	Kimyasal bağ enerjisi, ATP'ye dönüştürülür.
Fotosentez sonunda ağırlık artışı olur.	Solunum sonunda ağırlık azalması olur.
Enzimatik tepkimeler gerçekleşir.	Enzimatik tepkimeler gerçekleşir.
ETS elemanları görev alır.	ETS elemanları görev alır.
İnorganik maddeler kullanılır.	Organik maddeler parçalanır.
ATP üretimi ve tüketimi vardır.	ATP üretimi ve tüketimi vardır.
Fotofosforilasyon görülür.	Substrat düzeyinde fosforilasyon ve oksidatif fosforilasyon görülür.