

# HÜCRESEL SOLUNUM VE FERMANTASYON

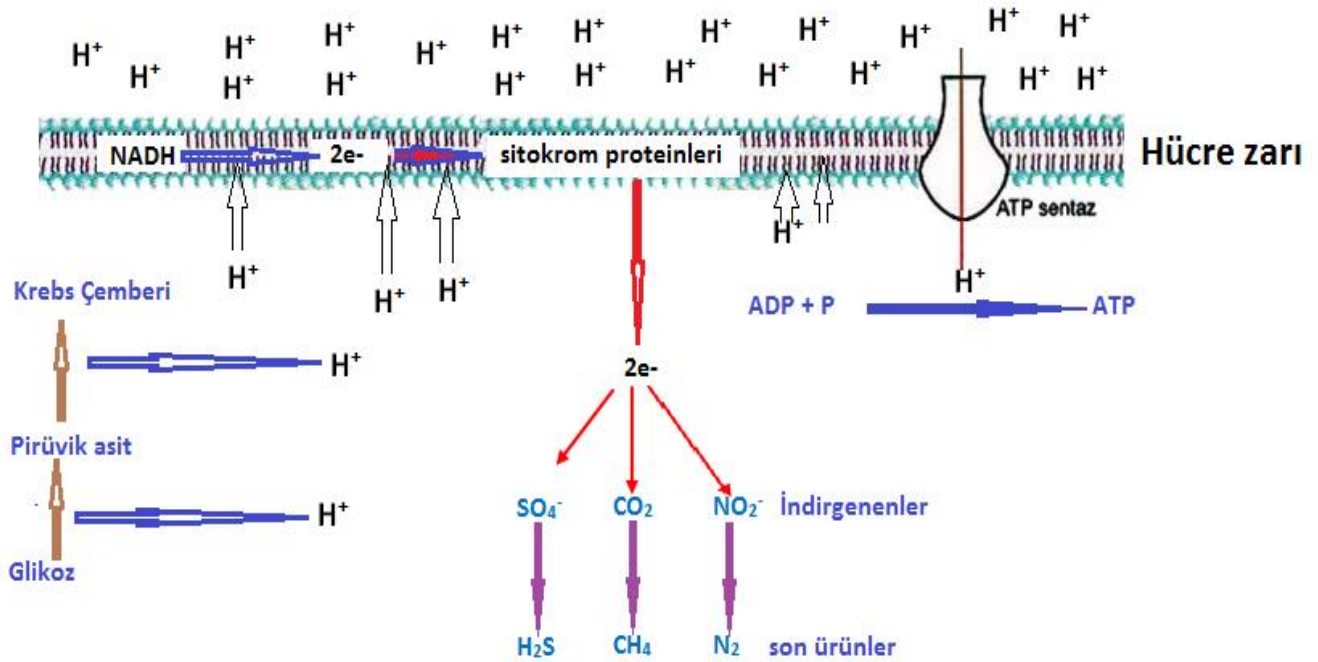
## Hücresel Solunum:

- canlıların yaşamak için ihtiyaç duydukları enerjinin yani **metabolik enerjinin üretimi** için enerji verici organik maddelerin yıkımını sağlayan ana olaydır.
- hücre içinde enzimler yardımıyla organik besinlerin parçalanıp enerjinin(ATP) elde edilmesine **hücresel solunum** denir.
- hücresel solunum ile soluk alıp-verme olayları farklı olayları ifade eder. Soluk alıp-vermeyle  $O_2$ 'nin vücuda alınması ve  $CO_2$ 'nin dışarı verilmesi iken hücresel solunumda organik besinlerin yıkılıp enerji elde edilmesini açıklar.
- hücresel solunum olaylarında enerji verici: Yağların monomerleri olan yağ asidi ve gliserol, proteinlerin monomerleri olan amino asitler, karbonhidratların monomerleri olarak glikoz, fruktoz, galaktoz kullanılır.
- hücresel solunum olayları ve denklemlerinde genel olarak **glikoz** ile başlanır.
- Hücresel solunum olayları hücre içinde enzimler kontrolünde kademeli bir şekilde gerçekleşir.
- hücresel solunumda oluşan enerjinin bir kısmı ATP'ye yüklenirken büyük bir kısmı ortama ısı olarak dağılır.
- hücresel solunum olaylarında enerji verici moleküllerde yer alan enerjinin tümü bir anda ortaya çıkmaz yani aşamalı bir şekilde ortaya çıkar ve böylece enerji daha verimli kullanılmış olur. Her canlı hücre kendi enerjisini kendisi üretir.
- hücresel solunum olayları enerji veren **ekzergonik reaksiyonlar** olup her zaman hücre içinde gerçekleşir.
- hücresel solunum olayları tüm canlı hücrelerin ortak özelliğidir. Yani tüm canlı hücreler organik molekülleri yıkıp enerji elde ederler.
- hücresel solunum: Oksijenli solunum ve oksijensiz solunum olmak üzere iki kısımda incelenir.

## a-Oksijensiz Solunum:

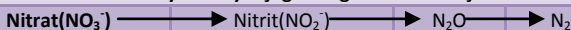
- canlıların çoğunluğu enerji eldesinde oksijen kullanırlar. Ancak bazı canlılarda enerji eldesinde oksijen kullanmadan besinlerden enerji elde edilmesidir.
- bakterilerin çoğunluğu ve mantarlarda hücresel solunumda ETS'de elektron yakalayıcısı olarak oksijen yerine nitrat, nitrit ve sülfat gibi moleküllerin kullanılmasıyla hücre içinde ATP üretilmesi olaylarını kapsar.
- oksijensiz solunum oksijen kullanmadan organik besinlerin yıkıma uğramasıyla enerji elde edilmesine **oksijensiz solunum** denir.
- glikoliz ve krens çemberinde organik maddelerden açığa çıkarılan protonlar hücre zarından geçerek hücre zarı ile hücre duvarı arasında birikir.
- protonların hücre zarı ile hücre duvarı arasındaki alana geçişlerinde hücre zarında elektronların taşınmasıyla açığa çıkan enerji kullanımıyla olur.
- hücre zarı ile hücre duvarı arasında bulunan protonlar hücre sitoplazmasına ATPsentaz denilen bir enzim üzerinden geçişleri sağlanır ve bu geçişte protonların oluşturduğu potansiyel enerji içeri geçişte ATP sentezinde kullanılır.
- oksijensiz solunum besin moleküllerinin yıkıma uğramasıyla oluşan elektronlar oksijen dışında bir başka inorganik moleküle aktarılır.
- glikoz molekülünün yıkılmasıyla ETS adlı sistemde elektron yakalayıcısı olarak oksijen dışında:  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_2$  gibi moleküllerin ETS'den gelen elektronlarla indirgenmesi sonucu  $CH_4$ ,  $H_2S$ ,  $N_2$  çeşitli moleküller oluşur.
- bazı bakteriler oksijen kullanmadan ETS sistemini kullanarak enerji elde ederken organik besinden ayırdıkları elektronları oksijen dışında inorganik bir moleküle aktarırken üretilen enerjiden ATP sentezlerler.

## Oksijensiz Solunumun Genel Gerçekleşme Şekli



- sadece hücre sitoplazmasında gerçekleşir. Eelektron taşıma zinciri olarak ETS kullanılır. Oksijenli solunuma göre daha az enerji oluşur.
- oksijensiz solunum yollarında elektron taşıma zinciri olarak ETS kullanılırken fermantasyon olaylarında ETS kullanılmaz. Oksijensiz solunumda oksijen kullanılmadığı gibi fermantasyon olaylarında da oksijen kullanılmaz. Oksijensiz solunum yapan bazı bakteriler sadece oksijensiz solunum yapar. Sadece oksijensiz solunum yapan bakterileri **zorunlu anaerobik bakteriler** olarak adlandırılır. Oksijensiz solunum yapan bazı bakteriler az da olsa oksijenli solunum yapabilir.
- ör: bazı bataklık çevrelerde yaşayan bazı bakteriler enerji verici organik moleküllerden kopardıkları elektronları sülfat molekülüne aktararak ETS'de açığa çıkan enerjiden ATP sentezlerler. Burada sülfat bileşiklerinin indirgenmesi sırasında  $H_2S$ (Hidrojen sülfür) gazı oluşur. **Hidrojen sülfür gazı çürük yumurta kokusu** oluşturur.dolayısıyla bataklıklardan çürük yumurta kokusu gelir.
- ör2:Denitrifikasyon bakterileri fakültatif bakterilerdir. Hem oksijen hem de oksijensiz solunum yapabilirler. Toprak ve su ortamında bulunan  $NO_3^-$  adlı nitrat molekülünü  $N_2$  gazına çevirirler. Denitrifikasyon bakterileri oksijensiz ortamda eelektron taşıma zincirinde(ETS) son elektron alıcısı oksijen yerine nitratı kullanırlar nitrat molekülü ETS'de indirgenerek azot gazına dönüşür. Bu yolla atmosferdeki azot miktarı artar ve atmosferin azot dengesi korunur.

### Denitrifikasyon olayı aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

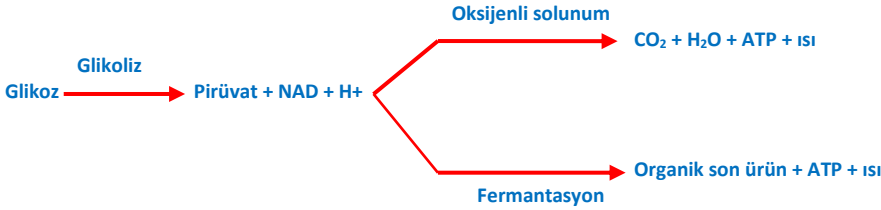


- ör3: denizlerin derin bölgeleri, bataklıklar, hayvanların sindirim sisteminde oksijen olmadığı için bu tip yerlerde yaşayan canlılar oksijensiz solunum yapar.
- ör4: atık suların arıtılmasında oksijensiz solunum yapan bakteriler kullanılır.
- ör5: karadenizin 200 metre derinlikten daha aşağı ortamlarda burada yaşayan bazı bakteriler oksijensiz solunum yolunda sülfat adlı molekülün indirgenmesini sağlayarak bu derinliklerde hidrojen sülfür gazı oluştururlar.

# HÜCRESEL SOLUNUM VE FERMANTASYON

## b-Fermantasyon Olayları:

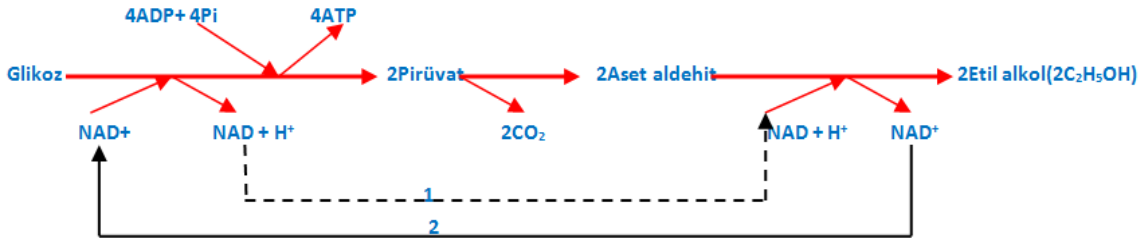
- oksijen kullanılmadan sadece glikoliz yoluyla organik moleküllerden enerji elde edilmesine **fermantasyon** denir.
- hücre sitoplazmasında enerji verici organik moleküllerin enzimler yardımıyla yıkılıp **etil alkol, laktik asit ve asetik asit** gibi moleküllerin üretilmesine **fermantasyon** denir.
- fermantasyon olaylarında besinler tamamen yıkılmadığı için enerjinin bir kısmı son ürünlerin yapısında yer alır dolayısıyla fermantasyonda enerji verimi düşüktür.
- fermantasyon olaylarında enerji verici organik moleküllerden koparılan moleküller organik bir moleküle verilir. Yani **son elektron alıcısı organik bir moleküldür**.
- fermantasyon: bitki tohumları, bazı mantarlar, bazı bakteriler, yoğurt bakterileri, çizgili kas hücreleri, bağırsak solucanları, alyuvarlar gibi kısımlarda gerçekleşir.
- fermantasyonla gıda sanayisinde oksijen kullanılmadan glikoz şekerinden etil alkol, laktik asit, aseton, sirke asidi gibi çeşitli moleküllerin üretimi sağlanır.
- çizgili kas hücrelerine ulaşan oksijen miktarının az olması durumunda oksijen kullanılmadan glikoliz yoluyla organik besinlerden enerji elde ederler.
- fermantasyon olayı ile glikolizdeki substrat düzeyinde fosforilasyon olayı sürekli enerji üretimi sağlanmış olur.
- glikoliz olayının sürekli olarak devam etmesi için ortamda yeterli **NAD<sup>+</sup>** molekülüne ihtiyaç vardır. Glikolizde üretilen **NAD<sup>+</sup> + H<sup>+</sup>**lerden yeni **NAD<sup>+</sup>** moleküllerinin üretilmesi gerekir. Oksijenli solunuma üretilen **NAD<sup>+</sup> + H<sup>+</sup>**ler oksijen verilirken fermantasyonda organik bir moleküle aktarılır ve **NAD<sup>+</sup>** üretimi sağlanmış olur.
- fermantasyon çeşitleri oluşan **son ürünlerin çeşidine** göre isimlendirilir. Fermantasyon olaylarında glikoliz kısmı ortak olup, glikoliz sonucunda oluşan pirüvik asit ortamdaki enzim çeşidine göre farklı son ürünlere dönüşür. Fermantasyon etil alkol fermantasyonu ve laktik asit fermantasyonu olmak üzere iki kısımda incelenir.



## 1-Etil Alkol Fermantasyonu:

- glikozun oksijen kullanılmadan enzimler yardımıyla yıkılması sonucu oluşan pirüvik asidin etil alkole dönüşmesine **etil alkol fermantasyonu** denir.
- bazı bakteriler, bazı mantarlar, bazı bitki tohumları tarafından etil alkol fermantasyonu gerçekleştirilmektedir.
- etil alkol fermantasyonun başlangıcında 2ATP kullanılır.
- glikolizin başlangıcında glikozun aktifleşmesi yani glikoliz reaksiyonlarının başlaması için 2ATP kullanılır ve glikolizde toplam 4ATP oluşur. Buradan glikolizin net ATP kazancının 2ATP olduğunu söyleyebiliriz.
- glikoliz olayı ile glikoz molekülü hücre sitoplazmasında 2ATP kullanımı ile yıkıma başlar 2NAD<sup>+</sup> molekülü glikozdan gelen protonları alarak indirgenerek 'NADH H<sup>+</sup>' molekülü oluşur. Ve glikolizde substrat düzeyinde fosforilasyon ile 4ATP oluşur. Glikoliz sonucunda 6 karbonlu glikoz molekülü 3 karbonlu iki tane pirüvik aside dönüşür.
- glikoliz sonucu oluşan pirüvik asit iki farklı basamakta etil alkole dönüşür. 1.basamakta pirüvik asitten enzimler yardımıyla 1 molekül CO<sub>2</sub> ayrılmasıyla aset aldehit denilen bir molekül oluşur. Oluşan asetaldehit glikolizde oluşan NAD + H<sup>+</sup>deki hidrojenleri alıp indirgenerek(1.çizgi) etil alkolü(etanol) oluşturur. Serbest kalan NAD<sup>+</sup> molekülü glikolize geri döner bir başka glikolizin sürdürülmesi için kullanılır(2.nolu çizgi).

Aşağıdaki şekilde etil alkol fermantasyonunun genel denklemi verilmiştir.



## Etil alkol Fermantasyonunun diğer bazı özellikleri

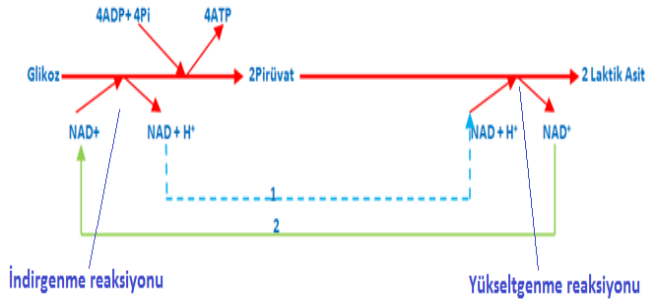
- etil alkol fermantasyonu işlemlerinde en çok kullanılan canlı genellikle bira mayasıdır. Bira mayası oksijen varlığında oksijenli solunum yapabilmektedir. Oksijen yokluğunda fermantasyon yolu ile enerji elde ederler. Bira mayası tarafından gerçekleştirilen alkolik fermantasyonla ekmekek hamuru, şarap, pasta ve etil alkol yapımında kullanılır.
- ekmekek hamuru yapımında mayaların gerçekleştirdiği alkolik fermantasyonla etil alkol oluşur oluşan hamurun ısıtılması sırasında etil buharlaşarak kaybolur. Etil alkol oluşumu sırasında oluşan **karbondioksit gazı hamurun kabarmasını** sağlar. Oluşan CO<sub>2</sub> gaz kabarcıkları ekmekek hamurunun daha iyi pişmesini sağlar.
- etil alkol fermantasyonuyla bira yapımı gerçekleştirilmektedir. Arpanın çimlendirilip kurutulmasıyla oluşan malt özü öğütüldükten sonra sıcak su ile karıştırılır ve mayşe denilen bir yapı elde edilir. Bu mayşe adlı besin maddesi uygun bir sıcaklıkta yapısında yer alan protein ve nişasta gibi maddeler yıkılır ve başka işlemlerle etil alkol elde edilir. Taze üzümün kullanılarak şarap üretimi de alkolik fermantasyon kullanılmaktadır. Etil alkol üretiminde ortamın alkol oranı % 12'nin üstüne çıkması durumunda alkol oluşumunu sağlayan maya canlıları ölmeye başlar.

## 2-Laktik Asit Fermantasyonu:

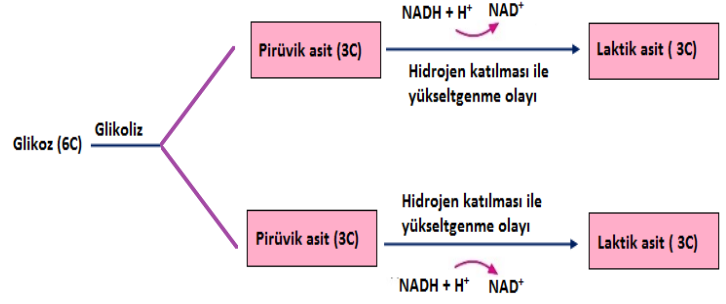
- glikoliz sonucu oluşan pirüvik asit indirgenerek yani NAD + H<sup>+</sup>deki hidrojenleri alıp laktik asidi oluşturmasına **laktik asit fermantasyonu** denir.
- glikolizde oluşan NAD + H<sup>+</sup> molekülleri son ürün evresinde yapısında bulundukları protonları ve elektronları pirüvik aside aktararak pirüvik asidin laktik aside dönüşmesini sağlarlar ve böylece NAD<sup>+</sup> molekülleri oluşur ve oluşan NAD<sup>+</sup> molekülleri bir başka glikolizde kullanılır.
- laktik asit fermantasyonunda son elektron alıcısı ve proton alıcısı olarak kullanılan molekül **pirüvik asittir**.
- olay tamamen hücre sitoplazmasında gerçekleşir ve olay sırasında etil alkol fermantasyonundaki gibi CO<sub>2</sub> oluşmaz. Laktik asit fermantasyonu yapan hücrenin bu olayda net kazancı 2ATP'dir.
- pirüvik asidin NAD + H<sup>+</sup>deki hidrojenleri alıp indirgenmesi sonucu oluşan laktik asit ortam veya hücrenin pH'nın düşmesine sebep olur.
- az miktarda laktik asit kasların daha iyi çalışmasını sağlar(spordan önce ısınma hareketleri yapılmasının nedeni)
- oluşan laktik asit kana karışarak beyine ulaşır ve yorgunluk hissi verir ayrıca kas ağrılarının nedeni olur. Yani yorulduğumuzun farkına varmamızı sağlayan madde laktik asittir.
- dinlenme durumunda laktik asit:  
1.yol: Kaslarda biriken laktik asidin pirüvata dönüşmesi için ortamda oksijen olması gerekir. Dinlenme sırasında oksijen gelmesiyle laktik asit yükseltgerek tekrardan pirüvik aside dönüşür ve oluşan pirüvik asit oksijenli solunum kullanılır ve CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya kadar parçalanır.  
2.yol: Kaslarda biriken laktik asidin çoğu kan yoluyla karaciğere taşınır. Karaciğerde pirüvik asidin bir kısmı oksijenli solunumda kullanılırken bir kısmı glikoza dönüşür ve daha sonra glikozlar glikojen polisakaritinin oluşumunda kullanılır.

# HÜCRESEL SOLUNUM VE FERMANTASYON

## Laktik asit fermantasyonunun genel denklemi



## Laktik asit fermantasyonunun genel denklemi



## Laktik asit fermantasyonu yapan canlılar:

- laktik asit fermantasyonu: yoğurt bakterileri, memeli alyuvarları, omurgalı çizgili kas hücrelerinde gerçekleşmektedir.
- ör1: omurgalı hayvanların çizgili kas hücrelerine yeterli oksijenin gelmediği durumlarda çizgili kas hücreleri etil alkol fermantasyonuyla enerji ihtiyacını kısmen giderirler. Oluşan laktik asit kan yoluyla beyine ulaşarak yorgunluk hissinin oluşmasını sağlar ve az miktarı kasların daha iyi çalışmasını sağlar.
- ör2: Yoğurttan bulunan Lactobacillus vulgaris adlı bakteri çeşidi oksijen eksikliğinde pirüvik asitten laktik asit oluştururlar. Yoğurt yediğimizde uykunun gelmesinin sebebi budur.
- ör3: Çavdar gibi bazı ekmek hamurlarının oluşturulmasında laktik asit bakterileri kullanılmaktadır.
- ör4: memeli alyuvarlarının mitokondrileri olmadığı için oksijenli solunum yapamazlar bunun yerine laktik asit fermantasyonuyla enerji üretimini gerçekleştirirler.
- ör5: Gıda sanayisinde süttten yoğurt, peynir tereyağı, kefir gibi maddelerin üretiminde kullanılır.
- ör6: Turşu, salamura zeytin üretiminde laktik asit fermantasyonundan yararlanılır. Bazı sucuk ve salamalar laktik asit fermantasyonuyla olgunlaştırılır. Laktik asit fermantasyonu sonucu oluşan bazı metabolizma ürünlerigidalardan kendine özgü bir hal almasını sağlar.
- ör7: Oksijen kullanılmadan meydana gelen laktik asit fermantasyonunda enerji verimi düşük olmasına rağmen enerji üretimi hızlı olmasından dolayı yoğun egzersizlerde bu yolla enerji üretimi sağlanır.

Fermantasyon çeşitleri		Fermantasyonun önemi
<b>a-etil alkol fermantasyonu</b>	<b>b-laktik asit fermantasyonu</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>-glukoz şekerinde etil alkol, asetik asit, metil alkol gibi maddeler üretilir.</li> <li>-bazı bitki tohumları, bazı bakteriler, bazı mantarlarda gerçekleşir.</li> <li>-ekmek hamuru yapımında oluşan CO<sub>2</sub> hamurun kabarmasını sağlar.</li> <li>-pirüvik asit iki farklı reaksiyonla etil alkole dönüşür.</li> <li>-son ürün oluşumundan önce reaksiyondan çıkan CO<sub>2</sub>'den dolayı son ürün 2C'ludur.</li> <li>-glikoliz aşamasında 2ATP kullanılır ve 4ATP oluşur yani ATP kazancı 2ATP'dir.</li> <li>-pirüvik asitten sonraki reaksiyonlarda enerji kullanımı ve enerji üretimi gerçekleşmez.</li> <li>-son elektron ve proton alıcısı asetaldehitir.</li> <li>-bir glikozdan 2 etil alkol, 2CO<sub>2</sub>, 4ATP üretilir.</li> <li>-alkol fermantasyonu olarak bilinir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-glukoz molekülünün hücre sitoplazmasında yıkılarak laktik aside dönüşmesidir.</li> <li>-omurgalı çizgili kas hücreleri, yoğurt bakterileri, memeli alyuvarlarında gerçekleşen enerji üretim yoludur.</li> <li>-glikolizle oluşan pirüvik asit indirgenerek laktik asidi oluşturur.</li> <li>-oluşan laktik asit ortam pH derecesinin düşür yani ortamı daha da asidikleştirir.</li> <li>-glikoliz aşamasında ATP tüketimi ve üretimi olmasına rağmen son ürün aşamasında ATP üretimi ve tüketimi gerçekleşmez.</li> <li>-glikoliz aşamasında 2ATP kullanılır ve 4ATP oluşur yani ATP kazancı 2ATP'dir.</li> <li>-pirüvik asitten sonraki reaksiyonlarda enerji kullanımı ve enerji üretimi gerçekleşmez.</li> <li>-son elektron ve proton alıcısı pirüvik asittir</li> <li>-bir glikozdan 2laktik asit, 4 ATP üretilir.</li> <li>-CO<sub>2</sub> çıkışı olmadığı için laktik asit 3 karbonludur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-fermantasyon olayında enerji kazancı % 2'dir.</li> <li>-oluşan son ürünler organikdir.</li> <li>-enerji verici besinlerin yıkımı tam olarak gerçekleşmez.</li> <li>-glikoliz olaylarının devamı sağlanır.</li> <li>-glikolizin sürekliliği için NAD<sup>+</sup> molekülünün üretimi sağlanmış olur.</li> <li>-enerjinin büyük kısmı son organik maddelerin yapısında bulunur.</li> <li>-elektron taşıma zinciri kullanılmaz(ETS).</li> <li>-son elektron ve proton alıcısı organik maddelerdir.</li> <li>-alkolik fermantasyonda CO<sub>2</sub> üretilirken laktik asit fermantasyonunda CO<sub>2</sub> üretimi gerçekleşmez.</li> <li>-alkolik fermantasyonunda son elektron alıcısı asetadehit iken asidik fermantasyonunda son elektron alıcısı pirüvik asittir.</li> <li>-tüm olaylar hücre sitoplazmasında gerçekleşir.</li> <li>-başlangıçta 2ATP kullanılır 4ATP oluşur net ATP kazancı 2ATP kazandır yani kazanç %2'dir.</li> </ul>

## Püf Noktalar:

- fermantasyon, reaksiyon sonucu oluşan ürüne göre isimlendirilir.
- fermantasyon tepkimelerinin baş kısmında gerçekleşen glikoliz olayı tüm fermantasyon çeşitlerinde ortak olarak görülür.
- glikolizde oluşan pirüvik asit ortamdaki enzim çeşidine göre farklı son ürünlere dönüşür.
- fermantasyon sonucu farklı son ürünlerin oluşmasının nedeni: glikolizden sonra kullanılan enzimlerin farklı olması, olayın farklı canlılarda gerçekleşmesi, reaksiyonların farklı sıcaklıklarda gerçekleşmesiyle açıklanabilir.
- bira mayası canlısı fermantasyon yolunda enerji verici glikozu kullanabilirken enerji, verici amnio asitleri bu yolda kullanmaz.
- fermantasyon olayı eksik yanma olayı diye açıklanabilir. Bunun nedeni enerji verici organik madde yapısında yer alan enerjinin ancak % 2'si açığa çıkar.
- fermantasyon olayı glikolizin bir uzantısı olmakla birlikte glikolizin tekrardan devam etmesini sağlar.
- oksijenli ve oksijensiz solunum elektron taşıma zinciri olarak ETS kullanılırken fermantasyon olaylarında ETS kesinlikle kullanılmaz.

## Oksijen kullanmadan enerji üretme yolları

a-fermantasyon yolu ile enerji üretme	b-oksijensiz solunum yolu ile enerji üretme
<ul style="list-style-type: none"> <li>-oksijen ve ETS kullanılmadan organik maddelerin oksidasyonundan enerji üretimi gerçekleşir.</li> <li>-son elektron ve proton alıcısı olarak organik moleküller kullanılır.</li> <li>-glikoliz olayı ile enerji üretiminin sürekliliği sağlanır.</li> <li>-fermantasyon yapan bir canlı oksijensiz solunum yapmazken oksijenli solunum yapabilir.</li> <li>-oluşan enerjinin tamamı glikolizde oluşur.</li> <li>-son ürün aşamasında enerji tüketimi ve enerji üretimi gerçekleşmez.</li> <li>-bitki tohumları, omurgalı çizgili kas hücreleri, bazı bakteriler, bazı mantarlarda gerçekleşen eksik yanma olayıdır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-oksijen kullanılmadan hücre sitoplazmasında son elektron tutucusu olarak oksijen yerine inorganik moleküllerin kullanılmasıdır.</li> <li>-son elektron alıcısı oksijen dışında başka moleküller kullanılır.</li> <li>-elektron tutucusu olarak nitrat, nitrik, sülfat gibi maddeler kullanılır.</li> <li>-bazı bakteriler, arkeler, bazı mantar türlerinde gözlenir.</li> <li>-glikoliz ve krebs çemberinde organik maddelerden açığa çıkarılan protonlar hücre zarı ike hücre duvarı arasında biriken protonların hücre zarından geçmesi sırasında açığa çıkan enerjiden ATP sentezlenir.</li> <li>-hücre zarı ile hücre duvarı arasında biriken proton derişimi hücre zarının içine doğru geçişte potansiyel farktan dolayı enerji açığa çıkar ve enerji ATP sentezinde kullanılır.</li> </ul>