

**FERMANTASYON**

-Fermantasyon, Besinlerdeki enerjinin oksijen olmaksızın ortaya çıkarılmasıdır. Ancak bu olay bir oksijensiz solunum değildir.

- Prokaryot ve ökaryot hücrelerin sitoplazmasında gerçekleşir. Oksijen ve ETS kullanılmaz.

-Glikoliz ile başlar, oluşan son molekülün çeşidine göre isimlendirilir.

-Canlılar arasında en yaygın olanlar etil alkol ve laktik asit fermantasyonlarıdır.

**Etil alkol fermantasyonu:**

-Glikolizin son ürünü olan piruvatlardan etil alkolün oluştuğu fermantasyondur.

-Başta bira mayası olmak üzere maya mantarların, bazı bakterilerde bazı bitki tohumlarında gerçekleştirilir.

**NOT:**

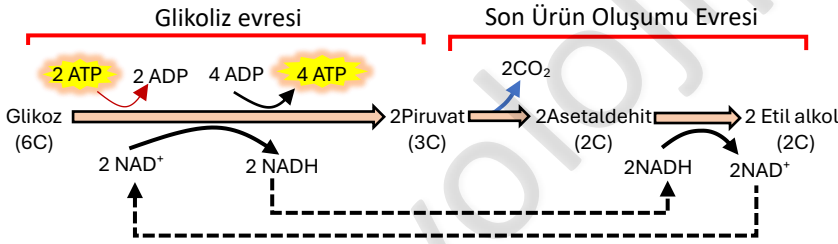
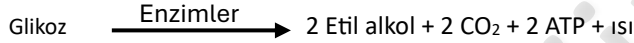
-Bira mayası oksijen varlığında oksijenli solunum, oksijen yokluğunda ise etil alkol fermantasyonu yapabilir.

-Hamurun kabarmasını, bira ve şampanyanın köpüklenmesini bu fermantasyonda çıkan CO<sub>2</sub> sağlar.

--Etil alkol fermantasyonunda ilk önce piruvattan CO<sub>2</sub> ayrılarak asetaldehit oluşur. Sonrasında asetaldehit NADH'nin hidrojenlerini tutarak etil alkole dönüşür. Böylece NADH da yükseltgenerek serbest kalmış olur. Glikolizde tekrar kullanılır.

-Sonuçta 1 molekül glikozdan 2 Etil alkol, 2 molekül CO<sub>2</sub> ve toplam 4 molekül ATP (NET, 2 ATP) oluşurken bir miktar da ısı açığa çıkar.

- Genel denklemi:



Şekil: Etil alkol fermantasyonu

**Laktik asit fermantasyonu:**

-Glikolizin son ürünü olan piruvattan laktik asit oluşmasıdır. CO<sub>2</sub> oluşumu gözlenmez.

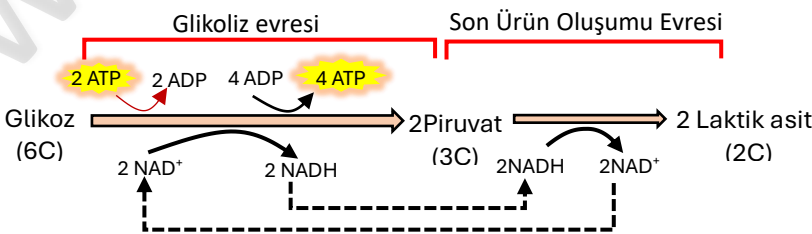
-Yoğurt bakterilerinde, bazı mantarlarda, yeterli O<sub>2</sub> gelmediği durumlarda omurgalıların kas hücrelerinde, memelilerin olgun alyuvar hücrelerinde gerçekleşir.

-Turşu ve salamura zeytin üretiminde de laktik asit fermantasyonundan yararlanılır.

Bazı sucuk ve salamlar da laktik asit fermantasyonu ile olgunlaştırılır.

-Laktik asit fermantasyonu sonucunda 1 molekül glikozdan 2 molekül laktik asit oluşur. Toplam 4 ATP (net 2 ATP) sentezlenirken bir miktar ısı açığa çıkar.

- Genel denklemi:



Şekil: Laktik asit fermantasyonu

**NOT:**

Kaslarda üretilen az miktardaki laktik asit kaslara uyarıcı etki yapar. Bu nedenle spordan önce yapılan ısınma hareketleri oldukça faydalıdır. Laktik asit, kan aracılığı ile karaciğere taşınır ve burada karaciğer hücreleri tarafından tekrar pirüvata dönüştürülerek oksijenli solunum tepkimelerinde kullanılır.

**SORU 1. (2025-AYT/FEN)**

**İnsan iskelet kası hücrelerinde, egzersiz yaparken görülebilen fermantasyon sırasında**

- I. pirüvatın indirgenmesi,
- II. NADH moleküllerinin yükseltgenmesi,
- III. CO<sub>2</sub> üretimi

**olaylarından hangilerinin gerçekleşmesi beklenmez?**

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

**SORU 2: (2019-AYT/Fen)**

**Oksijenli solunum ve laktik asit fermantasyonunda;**

- I. kemiozmotik mekanizma ile ATP üretilmesi,
  - II. NADH molekülünün, NAD<sup>+</sup> ya yükseltgenmesi,
  - III. elektronların, elektron taşıma zinciri elemanlarının taşınması
- olaylarından hangileri ortak olarak gerçekleşir?**

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

**SORU 3. (2012 – LYS2 / Biy)**

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

- A) Enzimlerin kullanılması
- B) ATP'nin sentezlenmesi
- C) Organik maddelerin yıkılması
- D) NADH + H<sup>+</sup> oluşumu
- E) CO<sub>2</sub> oluşumu

**SORU 4. (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 5. (2016-LYS2/Biy)**

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.



**NOT:**

-Etil alkol fermentasyonunda son elektron tutucu **Asetaldehit**, laktik asit fermentasyonunda ise **piruvattır**. **Unutmayalım**.

**ETİL ALKOL ve LAKTİK ASİT FERMANTASYONLARININ ORTAK ÖZELLİKLERİ**

1. Ökaryot ve prokaryot hücrelerin sitoplazmalarında gerçekleşir.
2. Toplam 4 ATP, net 2 ATP üretilir.
3. NAD<sup>+</sup> koenzimi görev yapar.
4. Isı çıkışı olur. Ekzergonik reaksiyonlardır.
5. ETS görev yapmaz. Oksijen kullanılmaz.
6. Enzimatik reaksiyonlardır.
7. Glikoliz evresinden sonra ATP üretimi ve tüketimi olmaz.
8. NAD<sup>+</sup> önce indirgenir sonra yükseltgenir.
9. Organik yapıda son ürünler oluşur. (Etil alkol-Laktik asit gibi)

| ETİL ALKOL FERMANTASYONU                                             | LAKTİK ASİT FERMANTASYONU                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maya mantarlarında, bazı bakterilerde, bitki tohumlarında görülür.   | Yoğurt bakterisinde, yeterli O <sub>2</sub> gelmediğinde çizgili kas hücrelerinde, insanda olgun alyuvarlarda görülür. |
| Son ürün etil alkoldür.                                              | Son ürün laktik asittir.                                                                                               |
| Son ürün 2C'ludur.                                                   | Son ürün 3C'ludur.                                                                                                     |
| Son ürünleri organik (etil alkol) ve inorganiktir.(CO <sub>2</sub> ) | Son ürünleri organiktir.                                                                                               |
| CO <sub>2</sub> oluşur.                                              | CO <sub>2</sub> oluşmaz.                                                                                               |
| Kapalı ortamın gaz basıncını artırır.                                | Kapalı ortamın gaz basıncını değiştirmez.                                                                              |
| Asetaldehit oluşur.                                                  | Asetaldehit oluşmaz.                                                                                                   |
| Son elektron (H <sup>+</sup> ) alıcı asetaldehittir.                 | Son elektron (H <sup>+</sup> ) alıcı piruvattır.                                                                       |

**NOT:****ÖNEMLİ NOT:**

1. Fermentasyonda farklı maddelerin oluşma sebebi son ürün oluşumu evresinde (glikolizden sonra) görev yapan enzimlerin farklı olmasıdır.
2. Gerek etil alkol gerekse laktik asit fermentasyonlarında glikolizden sonraki aşama olan son ürün oluşumlarında ATP üretimi olmamasına rağmen bu evrenin gerçekleşmesi, piruvat birikiminin önlenmesini, NADH+H<sup>+</sup>'ların serbest kalarak tekrar kullanılmasını ve glikoliz olayının dolayısı ile ATP üretiminin sürekliliğini sağlar.
3. Fermentasyonda glikoz tam parçalanamadığı için enerjinin büyük kısmı son ürün olan etil alkol veya laktik asit gibi organik maddelerin yapısında kalır. Bunun için enerji verimi düşüktür.

**UNUTMAYALIM:**

| ATP ÜRETİLEN OLAY          | SON ELEKTRON TUTUCU MOLEKÜL |
|----------------------------|-----------------------------|
| O <sub>2</sub> 'li solunum | Oksijen                     |
| Etil alkol fermentasyonu   | Asetaldehit                 |
| Laktik asit fermentasyonu  | Piruvat                     |

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

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

**SORU 6. (2015-LYS2/BİY)**

**Laktik asit fermentasyonu için aşağıdakilerden hangisi söylenemez?**

- A) İnsanda, iskelet kaslarında gerçekleşir.
- B) Amacı, piruvattan daha fazla ATP üretmektir.
- C) Bu olayda, piruvat indirgenmektedir.
- D) Son ürün ile birlikte NAD<sup>+</sup> oluşur.
- E) CO<sub>2</sub> çıkışı olmaz

**CEVAPLAR**

1. İnsan iskelet kası hücrelerinde, egzersiz yaparken görülebilen fermentasyon çeşidi laktik asit fermentasyonudur. Laktik asit fermentasyonunda CO<sub>2</sub> çıkışı gözlenmez.

**CEVAP: C**

2. I ve III oksijenli solunuma ait iken II her ikisinde ortaktır.

**CEVAP: B**

3. . CO<sub>2</sub>, I oksijenli solunum ve etil alkol fermentasyonunda oluşurken laktik asit fermentasyonunda oluşmaz. **CEVAP: E**

4. 2. FAD indirgenmesi sadece krebste gerçekleşir. **CEVAP: A**

5. Etil alkol fermentasyonu yapılmıştır. Glikoz azalır. CO<sub>2</sub> artar. **CEVAP: E**

6. Laktik asit fermentasyonunda az (2 ATP) üretilir. İnsanda amacı oksijen yetersizliğinde az da olsa ATP sağlamaktır. **CEVAP: B**