

# Biyoenenerjetik ve Metabolizma

## ***Biyolojik sistemlerde enerjinin korunumu***

- a living organism must be able to extract energy from the surroundings to maintain a **steadystate condition** (homeostasis) that is far from equilibrium.
- Bir canlı organizma, dengeden uzak bir sabit durum halini (steady state durum=homeostazi) sürdürmek için çevreden enerji çekebilmelidir.
- Bu görevi yerine getirmek için organizmaların çevreden güneş ışığı ve malzemeleri iş ve ısı şeklinde enerjiye dönüştürürler.

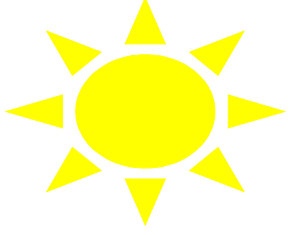
- Bu enerji dönüşümü veya iletimi:

- 1) Kimyasal iş cinsinden organik moleküllerin makromoleküler biyosentezi formunda

- 2) ozmotik iş cinsinden hücre dışı çevreden farklı olan hücre içi tuzların ve organik moleküllerin konsantrasyonunu dengede tutmak için

- 3) mekanik iş olarak da flagella rotasyon veya kas kasılması şeklinde

Gerçekten de kaynakların ve çevre ile yaşayan hücre arasındaki atık döngüsü bu enerji dönüşümü için gerekli malzemeleri sağlar.

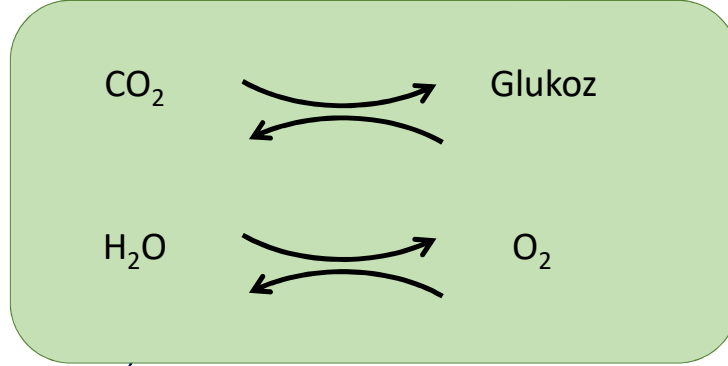


Solar Enerji

Fotosentetik Hücre  
(Bitki Hücresi)

Fotosentez

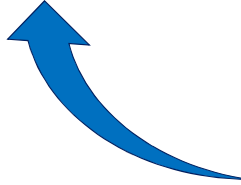
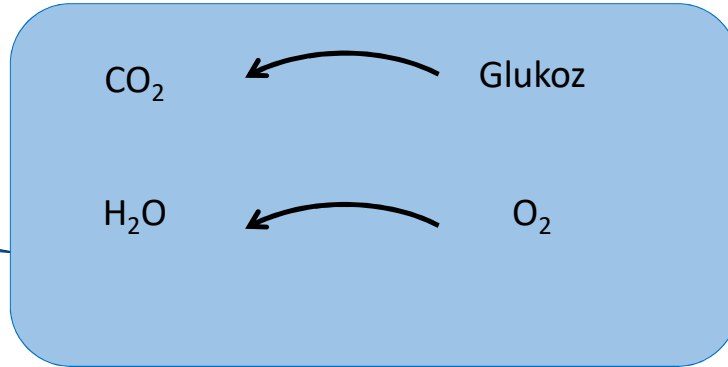
Karbon  
Fiksasyonu



Karbonhidratlar  
O<sub>2</sub>

Hayvan Hücresi

CO<sub>2</sub>

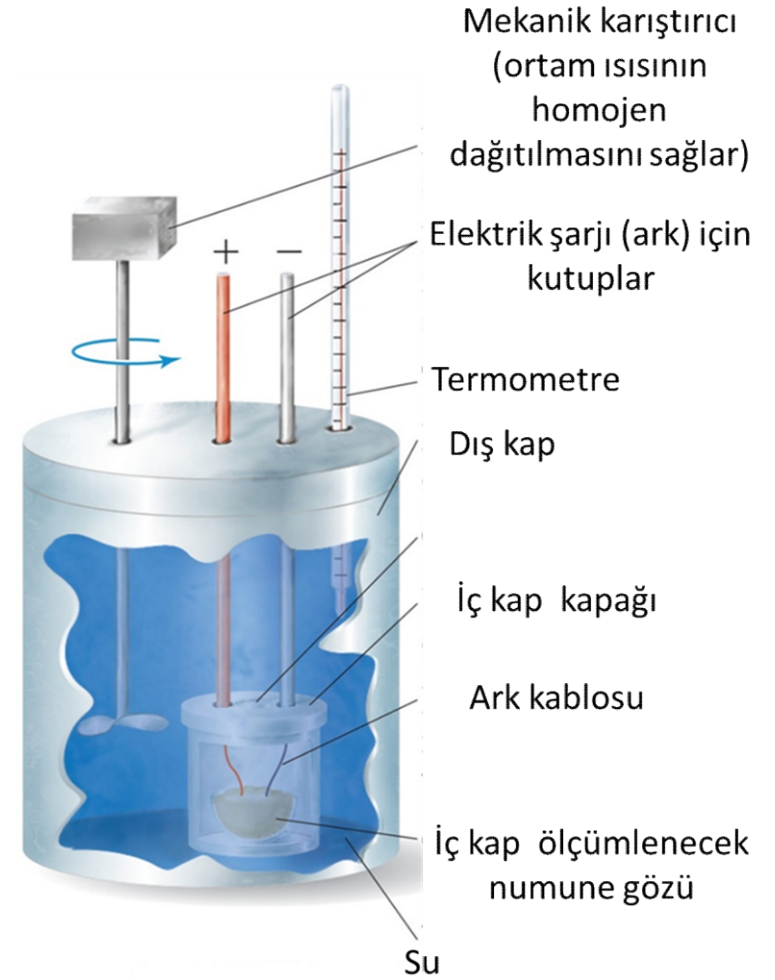


- Biyoenerjetik, biyolojik sistemlerdeki enerji dönüşümünü tanımlamak için kullanılan bir terimdir.
- Hücrelerin serbestçe enerji ve madde alışverişinde bulunan açık bir sistemi çevresi ile temsil ettiği fikrini içerir.
- Biyoenerjetikliği nicel olarak daha iyi anlamak için üç termodinamik prensibi incelememiz gerekir :
  - 1) Termodinamiğin Birinci Yasası
  - 2) Termodinamiğin İkinci Yasası Termodinamik
  - 3) Gibbs Serbest Enerjisi

- **Termodinamiğin Birinci Yasasına** göre enerji yaratılamaz veya imha edilemez, sadece bir formdan başka bir forma dönüştürülebilir
- Bir bileşiğin enerji potansiyeli, saf oksijende (O<sub>2</sub>) yanma sonucu oluşan ısı transferini ölçmek için bir "bomba" kalorimetresi kullanılarak belirlenebilir.
- **Termodinamiğin İkinci Yasası**, Evrendeki tüm doğal işlevlerin enerji girişi yokluğunda düzensizliğe (rastgelelik) yöneldiğini belirtir.
- Bir canlı hücre çevresine (termodinamik çevre tanımı) kıyasla oldukça düzenlidir ve bu nedenle doğal eğilimi olan düzensizliğe yönelmesini kısıtlamak için enerji gereklidir. Bu düzensizlik kavramı, entropi (S) terimi ile tanımlanır.
- Oda sıcaklığında buzun erimesinin geri döndürülmesi için sıcaklığı düşürmek gereklidir (soğutma, buzdolabı vs) ve bu da elektrik enerji girişi olmadan gerçekleşemez.
- Buz düzenli yapı, su ise düzensizlik gösterir.

## Bomba Kalorimetre

- Kalorimetrede hacim sabittir. Tepkime kapalı bir kapta gerçekleşir
- Tepkimenin entalpisi, yani ısı değişimi, bomba denilen kısım ile su arasındaki ısı alışverişinin takibiyle belirlenir.
- Burada gerçekleşen ölçüm  $\Delta E$ , yani iç enerjidir,  $\Delta H$  değildir. Ancak çoğu tepkime için bu fark ihmal edilecek kadar küçüktür.



## Sabit Basınç Kalorimetresi



- Kahve bardağı kalorimetresi 2 adet köpük (styrofoam) bardağın iç içe geçirilmesiyle oluşur. Sıcaklık değişimi takip edilecek tepkenler sıvı fazdadır. Termometreyle sadece ısı değişimi ölçülür:
- Çünkü  
Sabit basınçta daima  $\Delta H = q$

$$q = m \times s \times \Delta T$$



1 gram glukoz

Bomba Kalorimetre

Aerobik solunum



Organizma  
(fare)

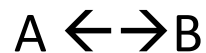
Glukoz

Isı ve iş

Isı

15.7 kJ Enerji

- Gibbs Serbest Enerjisi
- Standart koşullarda reaksiyona giren bir sistem ile aynı sistem dengeye ulaştığında (denge= equilibrium) iki durum arasındaki serbest enerji ( $\Delta G$ ) değişimi olarak tanımlanır ve standart serbest enerjideki değişim,  $\Delta G^\circ$  olarak adlandırılır.
  - başlangıçta 1.0 M reaktifler, 1 atmosfer basınç ve sıcaklık 298 K = 25°C'dir



$$\Delta G^\circ = - RT \times \ln K_{eq}$$

$$K_{eq} = [B]^b / [A]^a$$

$\Delta G^\circ > 0$  ise tepkime  $A \rightarrow B$  elverişsiz (normal şartlarda enerji sağlanmadan gerçekleşemez)

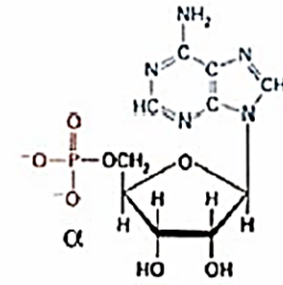
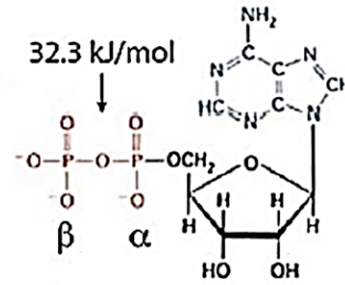
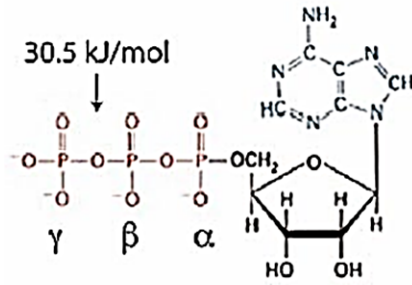
$\Delta G^\circ \ll 0$  ise tepkime hızlıca ve dışardan enerji gerektirmeden gerçekleşir

- ATP hidrolizinden salınan serbest enerji ( $\Delta G^{\circ} = -30.5 \text{ kJ / mol}$ ) oldukça büyüktür ve elverişsiz reaksiyonları sürdürmek için de kullanılabilir.
- glikolizdeki ilk adım, bir birleşik reaksiyonda glukoz fosforilasyonunun elverişsiz reaksiyonunu sürdürülür hale getirmek için ATP hidrolizini kullanan heksokinaz enzimi tarafından katalize edilir.



# ATP: Adenilat sistemi ve enerji depolama

- Adenilat sistemi, düşük ve yüksek enerjili adenilat formlarının ATP, ADP ve AMP arasındaki dönüşümünü ifade etmede kullanılan bir terimdir.
- Adenilat sistemi, kısa süreli enerji depolaması için kullanılır.
- Fotosentezden ve metabolik yakıtların oksidasyonundan elde edilen enerji, fosfoanhidrid bağ enerjisi şeklinde redoks enerjisi yakalayan bir ATP sentez reaksiyonu sağlar.
- Önemli olarak, bu bağ enerjisi ATP bölünmesi ile kolayca geri kazanılabilir ve kimyasal, ozmotik ve mekanik işleri yürütmek için kullanılabilir.



- Makromoleküllerin katabolik yollardan parçalanması ATP'yi üretirken, hücrede makromoleküllerin sentezlenmesindeki elverişsiz tepkimeleri tetiklemek için anabolik yollar ATP hidrolizini gerektirir.
- ATP adenilat sisteminin yüksek enerji formu olduğundan, ATP konsantrasyonunun ADP ve AMP konsantrasyonuna oranı herhangi bir zamanda hücrenin enerji durumunu ölçmede kullanılabilir.
- Bu ilişki, iş için uygun olan fosfoanhidrit bağlarının sayısını dikkate alan hücrenin Enerji Yüğü (EC, energy charge) cinsinden ifade edilebilir:

$$\text{Enerji Yüğü} = \frac{[\text{ATP}] + 0.5[\text{ADP}]}{[\text{ATP}] + [\text{ADP}] + [\text{AMP}]}$$

Bütün Adenilat formları eşit konsantrasyonda ise bu durumda Enerji Yükü (EC):

$$\text{Enerji Yükü (EC)} = \frac{[1] + 0.5[1]}{[1] + [1] + [1]} = 0.5$$

Eğer [ATP] = 2, [ADP] = 1, [AMP] = 0.5, ise, Enerji Yükü (EC):

$$\text{Enerji Yükü (EC)} = \frac{[2] + 0.5[1]}{[2] + [1] + [0.5]} = 0.7$$

- Çoğu hücrenin 0.7 ila 0.9 aralığında bir enerji yüküne (EC) sahip olduğu bulunmuştur;
- Bu durum hücre içi [ATP] 'nin [ADP] veya [AMP]' den daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

# METABOLİZMA GENEL BAKIŞ

- Metabolik yollar, ortak ara maddelerin metabolizması ile bir araya getirilen bir dizi reaksiyondan oluşur.
- Metabolik yollar, doğrusal, döngüsel yollar ve dallanmış yollar oluşturmak için birbirine bağlanabilir.
- Metabolik akı terimi, metabolitlerin bir dizi bağlantılı reaksiyonla parçalanma ve sentezlenme hızını belirtir.
  - Glikoliz yolunun metabolik akısı, glukoneogenez yoluna göre daha yüksektir, eğer piruvatın glukoza dönüştürüldüğünden (glukoneojenez) daha fazla glikoz pirüvata dönüştürülürse (glikoliz).
- **Üç ana mekanizma metabolik akıyı kontrol eder:**
  - 1) hız sınırlayıcı enzimin miktarı (gen transkripsiyonundaki veya protein sentezindeki değişiklikler),
  - 2) hız sınırlayıcı enzimlerin katalitik aktivitesi (kovalent modifikasyonlar veya allosterik düzenleme) ve
  - 3) substratların biyolojik olarak kullanılabilirliği (beslenme kaynakları veya hücre karşılaştırması).

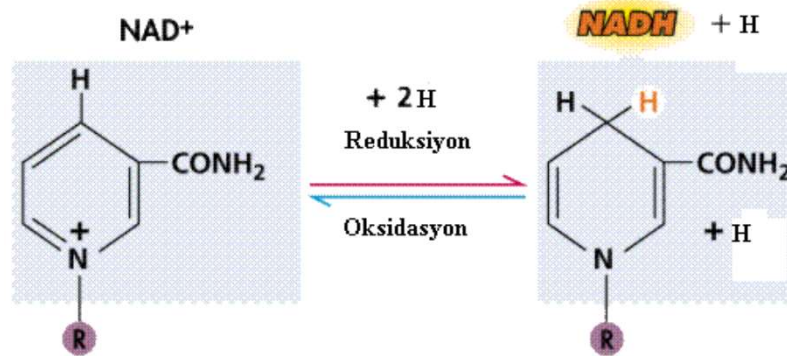
- Metabolik yollar, birbirine bağımlıdır ve substratın hazır bulunuşluğu ve enzim aktivite seviyeleri ile hassas bir şekilde kontrol edilir.
- Beslenme, egzersiz ve hastalık açısından metabolik entegrasyonun nasıl olduğunu anlamanın yolu bu yollar arasındaki metabolik akışın nasıl kontrol edildiğini öğrenmektir.



- Çeşitli katabolik ve anabolik yollardan akışın substrat konsantrasyonuna ve enzim aktivitesi seviyelerine cevap olarak nasıl değiştiğini anlamanın en iyi yollarından birisi kahvaltıdan önce ve sonra karaciğerdeki glikoz metabolizmasını incelemektir:
- İlk öğünden önceki sabah erken saatlerde, pankreastan glukagon salınımını tetikleyen «geceboyu açlık» ardından kan şekeri seviyeleri düşmeye başlar.
- Karaciğer hücrelerindeki glukagon sinyali, hem bir katabolik yolu (glikojen degradasyonu) hem de bir anabolik yol glukoneogenezini aktive ederken, aynı zamanda glikoliz yolu tarafından glukozun katabolizmasını inhibe eder.
- İlk öğün (Kahvaltı) sonrası, yüksek kan şekeri nedeniyle insülin seviyesi artar, bu da glikoz alımını, glikojen sentezini ve glikoliz yoluyla glikoz katabolizmasını uyarır.

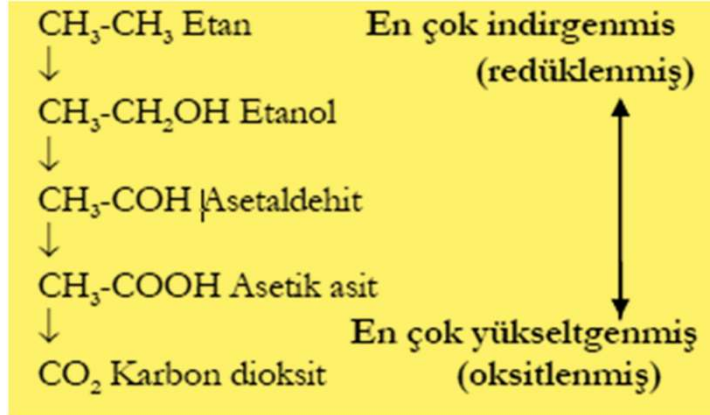
## OKSİDASYON-REDÜKSİYON REAKSİYONLARI

- Bu çeşit oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarında bir kimyasal maddeden elektron kaybolurken (**oksitlenme**), bu elektron başka bir madde tarafından kazanılır (**redüklenme**).
- Canlı hücrelerde olan birçok reaksiyon, oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarıdır.
- Biyolojik açıdan önemli bazı reaksiyonların bu potansiyelleri 25°C ve pH 7.0 da standart şartlar altında elektron kazanma eğilimleri ( $E_o'$ ) olarak gösterilir.
- tam bir oksidasyon-redüksiyon reaksiyonu iki tane yarım reaksiyonun sonucudur. Elektron kazanma prosesine **redüksiyon** (indirgenme), elektron verme prosesine ise **oksidasyon** (yükseltgenme) denir.



- NAD<sup>+</sup> yükseltgenmiş (oksidize) form iken, NADH indirgenmiş (redüklenmiş) formdur

- Canlı hücrelerde karbon 5 farklı oksidasyon durumuna sahiptir



- Eğer bir molekül oksijen kazanırsa veya hidrojen kaybederse bu oksidasyonu ifade eder. Eğer bir molekül oksijen kaybeder veya hidrojen kazanırsa bu redüksiyonu ifade eder.

$\Delta Eo' = [\text{sadece oksitleyici içeren reaksiyonun } Eo'] - [\text{sadece redükleyici içeren reaksiyon için } Eo']$ .

- Böyle bir reaksiyonun  $\Delta G'$  değeri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$\Delta G_o' = - nF \Delta Eo'$$

- Çünkü, spontane bir reaksiyonun oluşması için  $\Delta G_o'$  değerinin negatif,  $\Delta Eo'$  değerinin ise pozitif olması gerekir.

(n= transfer edilen e- sayısı, F= Faraday sabitesi (=23,000 cal/volt/e- olup voltu kaloriye çevirme faktörüdür).