

BÖLÜM - 10

METATABOLİZMAYA GİRİŞ

7.1- GENEL BAKIŞ.

Canlı organizmalar, kendilerini yenilemek, gelişmek ve üremek için kimyasal maddelere gereksinim duyarlar. Çünkü organizmanın tamamı kimyasal maddelerden meydana gelmiştir. Bu kimyasal maddeler, karbohidratlar, lipidler, proteinler gibi **organik maddeler**, kalsiyum, fosfor, demir, kükürt gibi **inorganik maddeler** ve **su**'dur. Örneğin **deri**, su, proteinler, lipidler ve inorganik maddelerden, **hücre zarları**, lipidler ve proteinlerden meydana gelmiştir.

Canlı organizmayı oluşturan bu kimyasal maddelerin, yani moleküllerin, dışarıdan alınması gereklidir. Alınan bu maddelerin çoğunluğu ise kompleks moleküller halindedir. Organizma tarafından kullanılabilmesi için, önce basit moleküllere yani yapı taşlarına, örneğin, proteinlerin amino asitlere, karbohidratların, monosakkaritlere parçalanmaları gerekir. Sonrada, barsaklardan emilmeyi takiben organizma içerisinde kullanılırlar.

Organizmayı oluşturan moleküller, ya canlının yapısına katılırlar ya da yapının oluşumunu ve sürekliliğini sağlayan fonksiyonlara katılırlar. Ancak moleküllerin çoğu hem yapıya katılırlar hem de fonksiyonlara, sadece moleküler arasında bu görevler yönünden öncelik oranlarında farklılık vardır o kadar. Örneğin, enzim, vitamin ve hormon gibi moleküller yapıya çok dar bir oranda katılmalarına karşılık, yapının sürekliliğini sağlayan fonksiyonlara yani reaksiyonlara çok daha büyük bir oranda katılırlar.

Gıdalarla alınan ve emilen moleküller, hücreye girdikten sonra çeşitli biyokimyasal reaksiyonlara katılırlar. Bu reaksiyonlar, bir moleküldeki bir bağın yıkılması, bir atomun ya da bir atom grubunun bir molekülden öbür moleküle taşınması ya da hayati bileşiklerin sentezlenmesi v.b. gibi olaylardan ibarettir.

Canlı bir organizmanın doku ve hücreleri içinde meydana gelen, canlı maddenin üretimini ve sürekliliğini sağlayan kimyasal reaksiyonların hepsine birden **metabolizma** denir.

Gıdalarla alınan ya da iç ortamda bulunan moleküllerden organizmanın yapısal veya fonksiyonel bileşikleri sentez etmesi yani metabolizma reaksiyonlarının yapıma yönelmesine **anabolizma** denir.

Örneğin, amino asitlerden proteinlerin sentezlenmesi bir anabolizma olayıdır.

Organizma tarafından sentez edilen ya da hücreye dışarıdan giren moleküllerin parçalanması yani metabolizma olaylarının yıkılıma yönelmesine de **katabolizma** denir. Örneğin, hücrede sentez edilen glikojenin, glukoz birimlerine parçalanması veya glikozun CO₂'e parçalanması katabolizma olayıdır.

Katabolizma reaksiyonları, vücutta anabolizma reaksiyonlarından daha çok meydana gelir. Çünkü, anabolizma olayları için gerekli enerji bu yoldan sağlanır. Canlı kalmak, gelişmek, hareket etmek, üremek için bir iş yapılması gereklidir.

İş yapılması içinde enerjiye gereksinim vardır. İşte bu enerjide katabolizma reaksiyonları ile sağlanır.

Vücutta meydana gelen reaksiyonlardan bir kısmı enerji vericidir. Bu reaksiyonlara **eksergonik** reaksiyonlar denir. Bir kısım reaksiyonlarda enerji alıcıdır. Bu reaksiyonlara da **endergonik** reaksiyonlar adı verilir.

İş yapımında kullanılan enerjiye **serbest enerji** denir. Biyolojik sistemlerde ise serbest enerji doğrudan doğruya ortama salınmaz. Bu serbest enerji, **bağlı enerji** halinde saklanır yani başka moleküllere aktarılarak burada yeni bağların oluşumu için kullanılır.

Buradan da anlaşılıyor ki, vücutta eksergonik ve endergonik reaksiyonlar birbirlerini tamamlamak amacıyla birlikte meydana gelirler.

Organizmada hücre ve dokular içerisinde geçen metabolizma olayları **ara metabolizma** terimi ile de anılır. Bu terim, vücutta girmiş gıda maddelerinin ancak sindirim kanalından emildikten sonra uğradığı değişiklikleri ifade eder. Ara metabolizmadaki anabolik ve katabolik reaksiyonlar, basamaklar halinde yani bir takım ara maddelerin oluşmasıyla gelişir.

Başka bir deyişle reaksiyonun başlangıcındaki **ön maddenin** ara maddeler üzerinden **son ürüne** ulaşması şeklinde meydana gelir. Arada meydana gelen maddelere de **ara metabolizma maddeleri** ya da **metabolitler** denir.

Metabolizma olayları, bu şekilde basamaklar halinde meydana gelirken, çok sayıda, küçük miktarlarda metabolitler oluşur. Ara metabolizma olayları organizmada canlılık olaylarının her türlü tersliklerini önlemek için çok düzenli bir şekilde işler.

Metabolizma reaksiyonlarını düzenleme ve denetleme görevini büyük ölçüde **enzim** ve **hormon**'lar üstlenir.

METABOLİZMA İLE İLGİLİ TERİMLER	
Metabolizma	• Canlı bir organizmanın doku ve hücreleri içinde meydana gelen, canlı maddenin üretimini ve sürekliliğini sağlayan kimyasal reaksiyonların hepsine birden metabolizma denir.
Anabolizma	• Organizmada bulunan moleküllerden, yapısal veya fonksiyonel bileşiklerin sentez edilmesine, yani metabolizma reaksiyonlarının yapıma yönelmesine anabolizma denir.
Katabolizma	• Organizma tarafından sentez edilen ya da hücreye dışarıdan giren moleküllerin parçalanması yani metabolizma olaylarının yıkılıma yönelmesine katabolizma denir.
Ara Metabolizma	• Vücuda girmiş gıda maddelerinin, sindirim kanalından emildikten sonra, hücre ve dokularda uğradıkları değişikliklere, yani metabolizma olaylarına ara metabolizma denir.
Eksergonik Reaksiyonlar	• Kimyasal bir reaksiyon sonunda enerji açığa çıkarsa, bu tip reaksiyonlara, eksergonik reaksiyonlar denir.
Endergonik Reaksiyonlar	• Kimyasal bir reaksiyonun başlayabilmesi için enerji gerekiyorsa bu tip reaksiyonlara endergonik reaksiyonlar denir.

Ön madde (A)		Tepkime ürünü (P)
↓		↑
(B)	→ (C) →	(D) → (E)
Metabolitler (Ara metabolizma maddeleri)		

Tablo 55 - Metabolizma terimleri.

7.2- METABOLİZMA REAKSİYONLARI.

Organizmada çok çeşitli metabolizma reaksiyonları meydana gelir. Ancak bunları aşağıdaki gibi 3 grup altında toplamak mümkündür.

- a) Hidroliz ve Kondenzasyon
- b) Fosfat taşınması
- c) Biyolojik oksidasyonlar.

7.2.1- Kondenzasyon ve Hidroliz.**7.2.1.2- Kondenzasyon.**

İki molekülün aralarından bir mol su çıkması ile eter, ester ve peptid bağları oluşturarak birleşmeleri olayına **kondenzasyon** denir.

Organizma içerisinde iki monosakkarit molekülünün glikozid bağı ile birleşmeleri **eter bağına**, iki amino asitin birbiriyle birleşmesi **peptid bağına**, gliserolün yağ asitleri ile birleşmeleri de **ester bağına** güzel birer örnektirler.

Kondenzasyon enerji alan yani endergonik bir reaksiyondur. Gerekli enerjiyi ortamda aynı zamanda meydana gelen eksergonik bir reaksiyondan sağlar.

Ancak organizma içerisinde, eter, ester ve peptid bağlarının biyosentezi için gerekli enerji ATP'den alınır.

Çünkü ilerleyen konular içerisinde de göreceğimiz gibi, organizma içerisinde eksergonik reaksiyonlar sonu meydana gelen enerji, örneğin bir hidroliz reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerji ATP de saklanır.

Kondenzasyon olayına ait reaksiyon örneği Tablo 56'da verilmiştir.

7.2.1.1- Hidroliz

Eter, ester, peptid bağlarının, her bağ için 1 mol su alarak çözülmesi sonucu kompleks kimyasal maddelerin daha basit yapı taşlarına ayrılmasına **hidroliz** denir.

Monosakkaritlerin glikozid bağlarıyla (eter bağı) birleşmesi sonu meydana gelen polisakkaritlerin, amilaz enzimi ile, amino asitlerin peptid bağları ile birleşmeleri sonucu oluşan proteinlerin pepsin ile sindirim kanalında parçalanmaları vücutta meydana gelen hidroliz olaylarına örnektir.

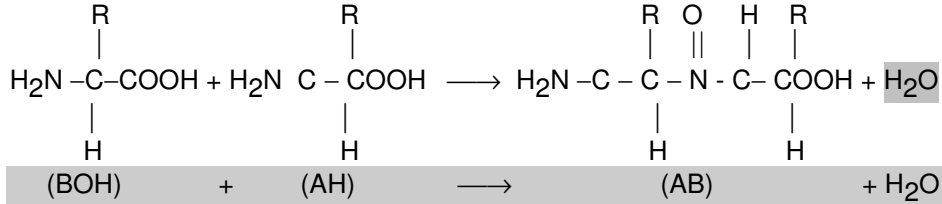
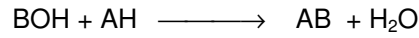
Yine trigliseritlerin lipaz enzimi etkisiyle gliserol ve yağ asitlerine parçalanması olayı da organizmada meydana gelen hidroliz olaylarına güzel bir örnektir. Tablo 56'da bu olayların formülasyonunu görmekteyiz.

Hidroliz reaksiyonları eksergonik yani enerji veren reaksiyonlardır. Molekül başına 1-4 kilo kalorilik bir enerji açığa çıkar.

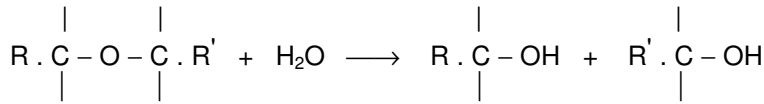
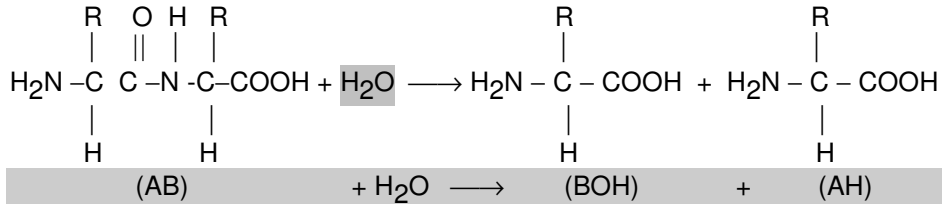
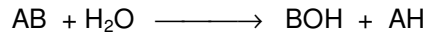
Organizma içerisinde, sindirim enzimleri ve beden ısısı altında gerçekleşen hidroliz olayları, dışarıda yani in vitro olarak yoğun asit ve alkalilerle kaynatılarakta meydana getirilebilir.

METABOLİZMA REAKSİYONLARI

Kondenzasyon: İki molekülün aralarından bir mol. su çıkması ile eter, ester ve peptid bağları oluşturarak birleşmeleri olayına denir.



Hidroliz: Eter, ester, peptid bağlarının, her bağ için 1 mol. su alarak çözülmesi sonucu, kompleks kimyasal maddelerin daha basit yapı taşlarına ayrılması olayına denir.

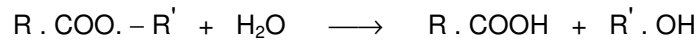


Eter Bağı

Su

Monosakkarit

Monosakkarit



Ester bağı

Su

Yağ asidi

Alkol



Tablo 56- Metabolizma reaksiyonları 1.

7.2.2- Fosfat Taşınması.

Organizmadaki birçok molekülün, özellikle karbohidratların reaksiyonlara girebilmeleri için fosforlaşmış, yani fosfat esterlerinin oluşması gereklidir. Ancak organizmada moleküllerin fosforik asitle direkt birleşmeleri mümkün değildir. Bu görevi fosfat taşıyıcılar yüklenir ve fosfat kalıntısını gerekli moleküllere verirler.

Fosfat taşıyıcılar kapsadıkları fosfat kalıntısı sayısına göre 2 grupta incelenirler.

7.2.2.1- Bir fosfat kalıntısı taşıyanlar.

Moleküllerindeki **enol**, **karboksil**, **hidroksil** ya da **amino** gruplarının bir hidrojeni yerine, bir fosfat kalıntısı ($-H_2PO_3$) taşıyan maddelerdir. Tablo 57' de de gördüğümüz gibi, enol fosfatlara, **enol fosforüvik asit**, acil fosfatlara, **fosfo gliserik asit**, fosfat esterlerine, **adenozin monofosfat** ve **glukoz-6-fosfat**, fosfamidlere, **kreatin fosfat** örnek olarak verilebilir.

7.2.2.2- Birden çok fosfat kalıntısı taşıyanlar.

Bu gruba örnek olarak **adenozin difosfat (ADP)** ve **adenozin trifosfat (ATP)** verilebilir. Bu maddeler, bir nükleoziddeki pentozun alkol grubunun 1 hidrojeni yerine 2 ya da 3 fosfat kalıntısı geçmesiyle meydana gelmişlerdir.

7.2.2.3- Fosfat bağları ve enerji.

Fosfat kalıntısı taşıyan yukarıdaki moleküllerden bir kısmının fosfat bağları **dayanıklı** bir kısmının ise **dayanıksızdır**.

Dayanıklı fosfat bağları aynı zamanda **az enerjili bağlardır**. Bunların çoğu fosfat esterleridir ve organizmada **fosfataz** enzimleri ile in vitro olarak ise sulu asit ve alkalilerle yıkmak mümkündür. Bu bağlar yıkılma sırasında 1-5 kilo kalori arasında bir enerji verirler. Örneğin, Tablo 57'de gördüğümüz gibi glukoz-6-fosfatın, glukoz ve fosfata parçalanmasından yani Glukoz-6-fosfattaki fosfat bağının yıkılması ile az bir enerji, 3.3 kilo kalorilik bir enerji açığa çıkar.

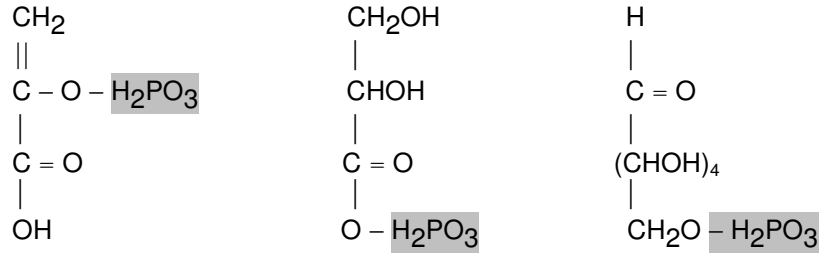
Dayanıksız fosfat bağları ise yıkılması ile **yüksek enerji veren bağlardır**. **Acil fosfatlar, enol fosfatlar, fosfamidler ve adenozin trifosfat** bu tip fosfat bağları taşıyan moleküllerdir. Bir kısmı su ile bile yıkılabilir. Biyolojik reaksiyonlarda özel **fosfataz enzimleri** ile yıkıldıklarında, 7-13 kilo kalori enerji verirler.

Onun için bu tip fosfat bileşiklerine **yüksek enerjili fosfat bileşikleri** adı da verilir. Örneğin ATP'nin yıkılması ile bir ADP ve bir fosfat açığa çıkar ve bu sırada da 7 kilo kalorilik bir enerji meydana gelir. Çünkü ATP'nin ikinci ve üçüncü fosfat molekülleri arasındaki bağ yüksek enerjili fosfat bağıdır.

Yukarıda da değindiğimiz gibi, metabolizma reaksiyonlarında, maddelerin yıkılması sırasında yani katabolizma olaylarında, açığa çıkan enerji, endergonik yani enerjiye gereksinim gösteren reaksiyonlarda kullanılmak üzere özel kimyasal bir bağ içerisine sokularak saklanır.

İşte bu ya ATP gibi nükleozidlerin fosfat bağlarında ya da metabolizma ara maddelerine fosfatların bağlanmasıyla gerçekleşir.

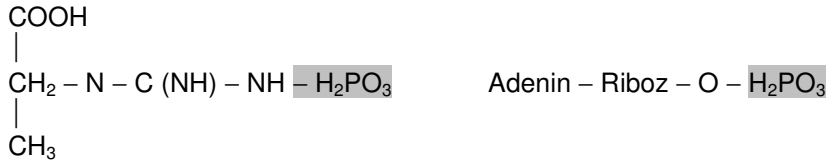
METABOLİZMA REAKSİYONLARI

Fosfat Taşınması:• **Bir fosfat kalıntısı taşıyanlar:**

Fosfoenolpirüvik asit (PEP)

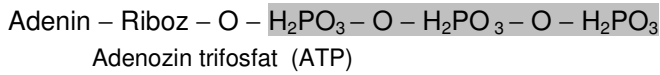
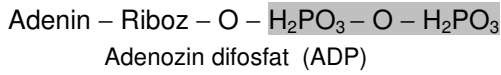
Fosfoglisirik asit

Glukoz-6-fosfat



Kreatin fosfat

Adenozin monofosfat (AMP)

• **Birden çok fosfat kalıntısı taşıyanlar:**• **Fosfat bağları ve enerji:**

Fosfat bileşikleri	Bağ tür	Reaksiyon	K.Kalori
Glikoz-6-fosfat	ester	$\text{Glu-6-P} \rightarrow \text{Glu} + \text{P}$	- 3,3
ATP	fosfoanhidrit	$\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}$	- 7,0
ATP	"	$\text{ATP} \rightarrow \text{AMP} + \text{P} + \text{P}$	- 8,6
Fosfoenolpirüvat	enolfosfat	$\text{PEP} \rightarrow \text{pirüvat} + \text{P}$	- 13,0
Kreatinfosfat	fosfamid	$\text{Kreatin-P} \rightarrow \text{Kreatin} + \text{P}$	- 10,2

Tablo 57- Metabolizma reaksiyonları 2.

Tüm yüksek enerjili fosfat bileşikleri fosfat verici olarak görev yapar. Bu tür fosfat bileşiklerinin hidrolizi ile enerji açığa çıkar. Ancak bunlar arasından özellikle ATP, yıkılarak başka bir molekülün fosforlanması için hem gerekli fosfatı hem de enerjiyi sağlar. Organizma içerisinde bu fosfat ve enerji taşınması da **fosfokinaz** enzimlerinin kontrolü altında gerçekleşir.

Tablo 58'de formülasyonu görülen bu reaksiyonlardan birincisi, **ekzergoniktir**. İkincisi ise **endergonik** reaksiyondur. Birinci reaksiyondan ikinci reaksiyona enerji taşımaya yarayan molekül de **fosfattır**.

Bu reaksiyonda Glukozun, Glukoz-6-P'a dönüşmesi için enerjiye gereksinim vardır. Bu gereksinimde ATP'den bir fosfatın ayrılması ile sağlanmış ve bu fosfatta glukoz ile esterleşmiştir. Sonuçta açıkta kalan 4 kilo kalorilik enerjide G-6-P'da saklanmıştır. Tablo 3'de de gördüğünüz gibi, G-6-P, Glukoz ve fosfata parçalanırken yaklaşık 3,3 kilo kalorilik bir enerji verir.

7.2.3- Biyolojik oksidasyonlar.

Biyolojik oksidasyon olaylarının iyi anlaşılabilmesi için, öncelikle oksitlenme ve indirgenme olaylarının iyice anlaşılması gereklidir.

7.2.3.1- Oksidasyon ve redüksiyon olayları.

Organizmada geçen oksidasyon reaksiyonları, enerjiyi serbest bırakan reaksiyonlardır. Her ne kadar oksidasyon terimi, oksijenin diğer bir madde ile birleştiği reaksiyonlar için kullanılırsa da, oksijen, hidrojen kabul eden bir çok biyolojik akseptörden sadece bir tanesidir. Onun için **oksidasyonun** asıl tanımı, bir maddenin **elektron kaybetmesi**, **redüksiyonun** asıl tanımı da, bir maddenin **elektron kazanması** olarak yapılır.

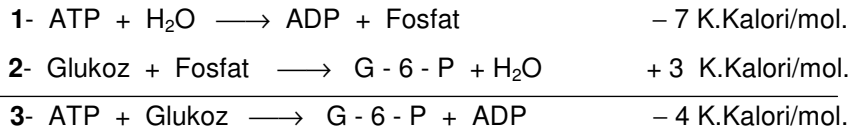
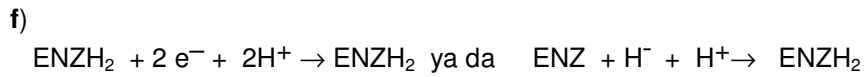
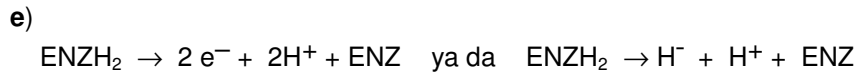
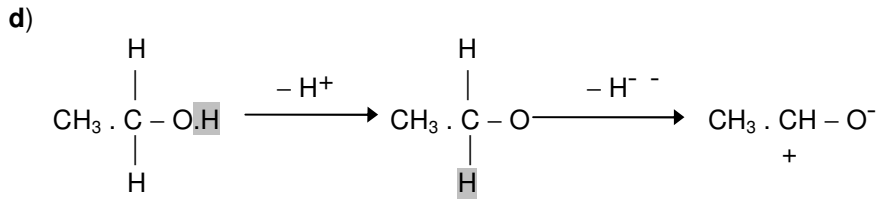
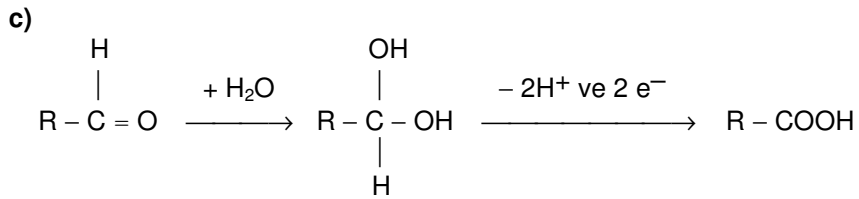
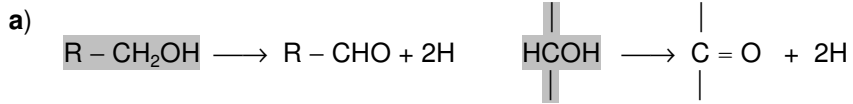
Ancak organik maddelerde elektronla beraber hidrojen iyonunun da molekülden ayrıldığı görülür. Onun için en basit oksidasyon tipine **dehidrojenasyon** denir. Buna göre organik maddelerin indirgenmesinde, elektron alınması ile birlikte hidrojen alınmasının da beraber gerçekleştiği görülür. Tablo 58'de bazı organik maddelerin oksitlenmesine ait formülleri görmekteyiz. Bunlardan "a" ile gösterilen formüllerde, primer ve sekonder alkoller 2H ve 2 e⁻ kaybetmişlerdir, "b" ile gösterilen formülde ise, molekülden H yani bir proton uzaklaşmış, elektron oksijende kalmıştır. Biyolojik reaksiyonlarda H⁺ ve e⁻ nun uzaklaşması bir sıra dahilinde basamaklı oluşur. Önce proton (H⁺) sonra da elektron uzaklaşır.

En sık rastlanan oksitlenmeler, "c" de ki formülden de görüleceği gibi, molekülden 2H, yani 2H⁺ ve 2 e⁻ nun uzaklaşmasıdır. Bu reaksiyon "d" de görüldüğü gibi basamaklı da meydana gelebilir.

Burada ilk basamakta molekülden bir proton uzaklaşmış, ikinci basamakta da yine ikinci bir protonla birlikte iki de elektron uzaklaşmıştır.

Organizmada oksidasyon, redüksiyon olayları enzimler için de söz konusudur. Enzimlerin H ve elektron alışverişlerinin formülasyonunu da Tablo 58'de görmekteyiz. Elektron kaybı ve aynı zamanda hidrojen iyonu kaybı, ancak ortamda bunları alabilecek bir maddenin bulunması ile mümkündür. Şimdi sırasıyla bu olayları inceleyeceğiz.

METABOLİZMA REAKSİYONLARI

• **Fosfat taşınması mekanizması:** (T.4-1)• **Oksidasyon:** (T.4-2)

Tablo 58 - Metabolizma reaksiyonları 3.

7.2.3.2- *Biyolojik oksidasyonların mekanizması.*

Organizmadaki en önemli **elektron vericileri**, organik moleküllerin örneğin, glukoz, yağ asidi gibi moleküllerin **hidrojen atomlarıdır**. Hidrojen atomu bir H^+ ve bir e^- dan ibarettir. En önemli **elektron alıcıları** ise, havanın **oksijen molekülü** (O_2) dür. Biyolojik oksidasyonlarda işte bu organik maddelerdeki H iyonları ve elektronların oksijene taşınması olayıdır. Ancak bu reaksiyon tek bir tepkime ile değilde basamaklar halinde meydana gelir. İşte bu basamaklarda organik maddelerdeki H iyonu ve elektron **oksidoreduksiyon ezimleri** aracılığı ile taşınırlar.

Oksido-reduksiyon enzimlerinin organik molekülden uzaklaştırdıkları ve aktardıkları **elektronlara ve hidrojen iyonlarına indirgeme ekivalanları** denir. Bu indirgeme ekivalanları ya direkt, ya da indirekt olarak havanın oksijenine taşınırlar. **Direkt biyolojik oksidasyonlar** vücutta çok ufak çapta meydana gelir. Bu olayda görevli enzimler **oksidazlardır**. Bunlar ilgili konular içinde görülecektir. **İndirekt biyolojik oksidasyonlar**, ise vücutta çok büyük çapta meydana gelirler. Bu olayda görevli enzimler **dehidrojenazlardır**. Vücutta büyük oranda metabolize olan, karbonhidratlar, proteinler ve lipidler bu yoldan dehidrojenasyona uğrarlar ve sonuçta önemli miktarda enerji meydana gelir. İşte vücutta asıl biyolojik oksidasyon bu indirekt yoldan olmaktadır.

Bu tür biyolojik oksidasyonda H iyonları ve elektronlar, enzimler aracılığı ile organik moleküllerden alınır ve oksijene kadar bir sıra enzimlere aktarılıp taşınırlar. Bu olayda görevli dehidrojenazlara **solunum enzimleri** denir. Bu enzimlerin indirgeme ekivalanlarını taşıyan aktif kısımları, yani organik molekülden hidrojen ve elektronları alıp taşıyan kısımları Koenzim bölümleridir ve Koenzimler etkili gruplarına göre dört grupta toplanırlar.

1-Piridinli enzimler (Nikotinamidli enzimler).

Etkili grubu **nikotinik asit amid**'dir. Yapının yani Koenzim'in tüm adı ise, **nikotinamid - adenin - dinükleotid**'dir. Kısaca **NAD** olarak gösterilir. NAD'de 2 fosforik asit bulunur.

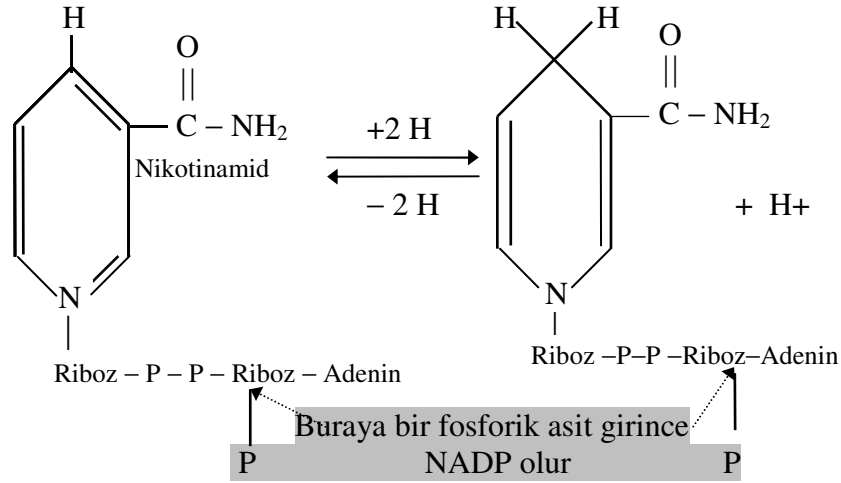
Buna bir üçüncü fosforik asit daha girerse **nikotinamid - adenin - dinükleotid - fosfat** kısaca **NADP** meydana gelir. NAD ve NADP' nin her ikisinde elektron ve hidrojen iyonu alınca indirgenir, **NADH + H** ve **NADPH + H** halini alır.

Bu piridinli koenzimler, değişik **apoenzimlere** yani dehidrojenazlara bağlanırlar. Bu koenzime ait formülasyon Tablo 59'da görülmektedir. Koenzimi NAD olan enzimler, özellikle karbonhidrat metabolizmasında, **glikoliz** ve **TCA siklüsü** gibi metabolizma yollarında ve **mitokondri içi** solunum zincirinde rol alırlar.

NAD ve NADP'ler **anaerobik dehidrojenazlar** olduklarından O_2 ile reaksiyona girmezler ve organik bir maddeden aldıkları ve taşıdıkları H iyonu ve elektronları, bir sonraki koenzim olan Flavinli enzimlere aktarırlar.

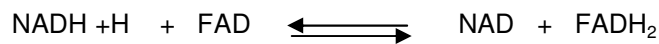
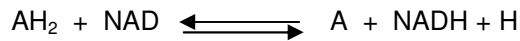
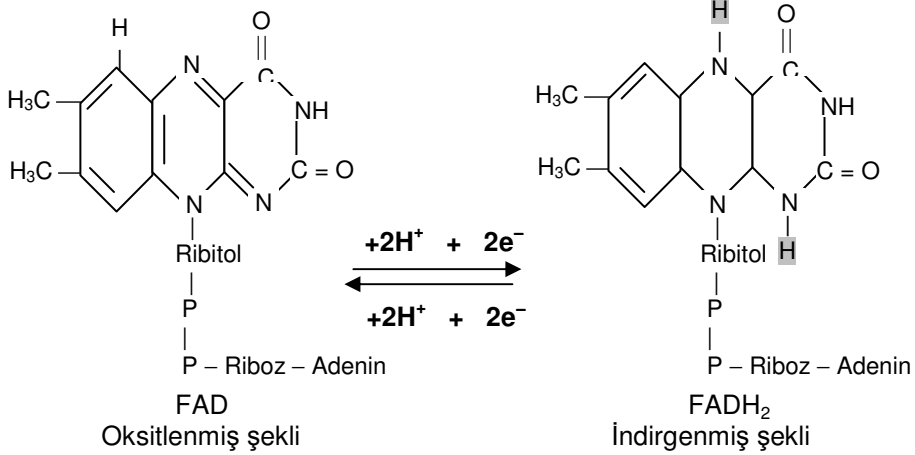
2- Flavinli enzimler.

Etkili grubu, Riboflavin'in (Vitamin B_2), **dimetil-izalloksazin** grubudur. Yapının tüm adı ise **flavin-adenin-dinükleotid**'dir. Kısaca **FAD** olarak gösterilir. H iyonu ve elektron alınca **FADH₂** halini alır.

HİDROJEN ve ELEKTRON TAŞIYICI KO-ENZİMLER**1. Pirdinli enzimleri**

NAD veya NADP
Oksitlenmiş şekli

NADH + H veya NADPH + H
İndirgenmiş şekli

2- Flavinli enzimler

Tablo 59 - Solunum zincirindeki koenzimler.

FAD, özel bir apoenzime sıkıca bağlıdır. Tüm bu enzimlerin solunum zincirindeki görevi, piridinli enzimlerden ve organik maddelerden aldığı elektron ve hidrojeni, **kinon'lu enzimlere** (Q) aktarmasıdır.

3- Kinonlu enzimler (Koenzim Q_{10}).

Etkili grubu **kinon**'dur. Yan kol olarak 10 izopren kalıntısı taşır. 2 H atomu yani $2H^+$ ve $2 e^-$ alınca hidrokinon halinde indirgenir. Q_{10} 'un biyolojik oksidasyon zincirindeki **sitokromlar**la yakın ilişkisi vardır.

Flavinli enzimlerden aldığı $2H^+$ ve $2 e^-$ ile indirgenir ve aldığı elektronları demirli enzimlere başka bir deyişle, sitokromlara ve özellikle **sitokrom b'** ye verir. Flavinli enzimlerden aldığı $2 H^+$ 'i de ortama bırakır. Koenzim Q_{10} 'un oksitlenmiş şekli **Q** ile, indirgenmiş şeklide kısaca **QH₂** biçiminde gösterilir.

4- Demirli enzimler.

Etkili grubu **demirdir**. Demir bir porfin iskeletinin tam ortasına yerleşmiştir. Böylece bir koenzim oluşturmuştur. Porfirin yapılarında bulunan bu koenzimler, çeşitli özel proteinlerle çok sıkı bir şekilde bağlanarak çeşitli demirli enzimleri meydana getirirler. Bu enzimler başlıca **sitokromlar** ve **sitokrom oksidazlardır**.

Bu koenzimin fonksiyonu, yalnız elektronlar alıp vermekle demir valansında değişiklikler meydana gelmesi esasına dayanır. Üç değerli demir, iki değerli demir'e indirgenir. Bundanda anlaşılıyor ki, demirli enzimler, yalnız elektronu alıp verebilirler. Elektronla birlikte dehidrojenize olmuş yani organik maddeden alınmış, H^+ ise açıkta kalır.

Sitokromların üç türü vardır. Bunlar **b₁**, **c₁** ve **c sitokromlardır**. Enzim işlevlerinde de aynı bu sıra ile dizilirler. Bunlar Tablo 6'da da görüldüğü gibi koenzim Q_{10} 'dan aldıkları elektronları birbirlerine aktarırlar.

Elektron veren oksitlenir, alan ise indirgenir. İndirgenmiş sitokrom c de elektronlarını **sitokrom oksidazlara** verir ve kendi tekrar oksitlenir.

Sitokrom oksidazların ise iki türü vardır. **Sitokrom a** ve **sitokrom a₃**. Bu iki sitokromun aynı olduğuda ileri sürülmektedir. Sitokrom oksidaz a₃ , sitokrom c 'den elektronları alır ve kendi indirgenir.

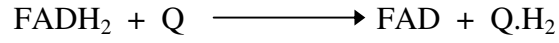
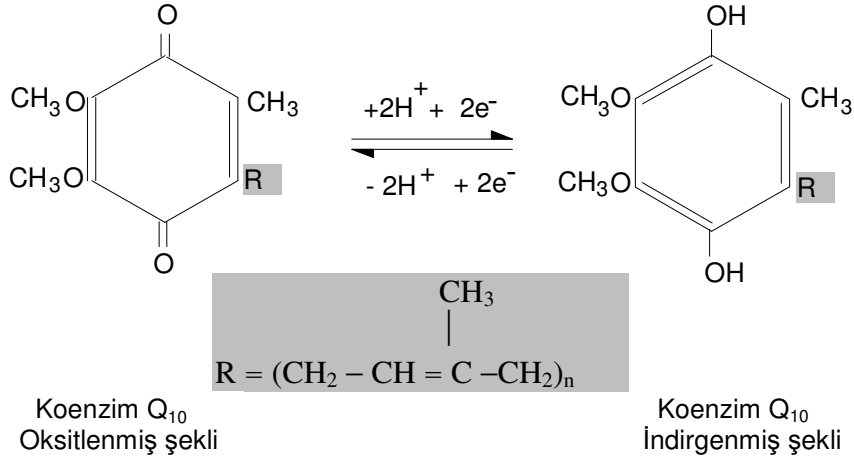
İndirgenmiş Sitokrom oksidaz a₃ 'de elektronlarını havanın O₂ 'ine vererek onu oksijen iyonuna çevirir. Oksijen iyonu da ortamdaki $2 H^+$ ile reaksiyona girer ve böylece su sentezlenmiş olur.

Organizmadaki endojen suyun sentezi bu şekilde meydana gelir. Organik maddelerden metabolizma olayları sırasında dehidrojenaz enzimleri ile alınan hidrojen iyonları, yukarıda bahsettiğimiz koenzimler aracılığı ile solunum zincirinde taşınırlar ve havanın oksijeni ile reaksiyona girerek suyu meydana getirirler.

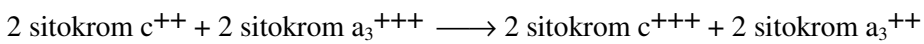
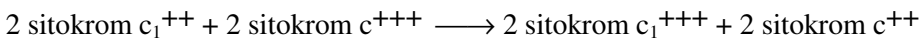
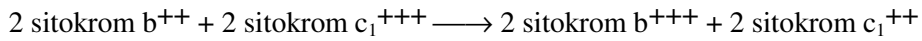
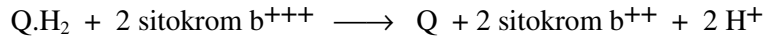
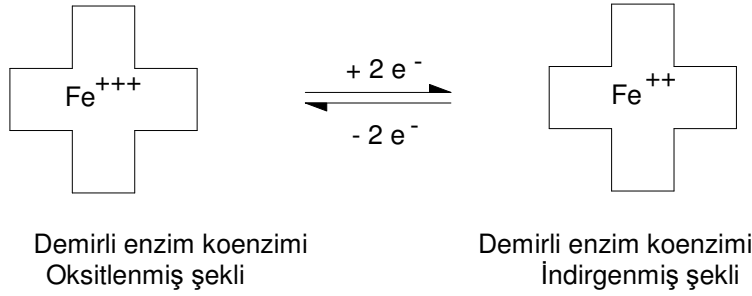
Onun içindir ki en çok hidrojene sahip molekülden en çok su sentez edilir. Lipidler de hidrojenden en zengin organik bileşik olduklarından en çok endojen su sentezlenen maddelerdir.

SOLUNUM ZİNCİRİNDEKİ KOENZİMLER

3- Kinon'lu enzimler.



4- DEMİRLİ ENZİMLER.



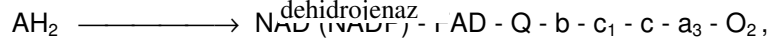
Tablo 10 - Solunum zincirindeki koenzimler.

7.2.3.3- Solunum zincirinin fonksiyonu.

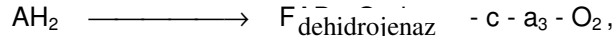
Biyolojik oksidasyonların büyük kısmı, birbirini tamamlayan ve çok sayıda oksidasyon-redüksiyon olaylarının bir zincirin halkaları gibi, dizilmesiyle olur.

Bu zincirin bir ucunda, özel bir dehidrojenaz enziminin doğrudan doğruya etkisiyle organik maddelerden hidrojeni aktifleştirerek alması ile oluşan oksitlenmiş bir madde, diğer ucunda ise, moleküler bir oksijen vardır. İki uç arasında, hidrojen ve elektron alıcı ve taşıyıcı enzimlerin özel bir sıralanması görülür. Buna **elektron taşıma dizisi** veya **solunum zinciri** denir.

Bu zincir,



görüldüğü gibi NAD'nin hidrojen ve elektronları alması ile başladığı gibi, aşağıdaki şekilde, FAD'den de başlayabilir. (A burada herhangi bir organik maddeyi simgelemektedir).



Oksijen, böylece sitokrom oksidaz (sitokrom a₃) yardımı ile gelen elektronları ve ortamdan H⁺ 'leri alarak suya indirgenir.

Bu şekilde zincirin başında, hidrojenlerinin bir kısmını ya da tamamını kaybetmiş olan organik madde ise başka bir maddeye dönüşmüştür. Ya organizmada yeniden, yeni yapısıyla, yeni bir görev üstlenir. Ya da daha başka reaksiyonlara, ileri oksidasyonlara maruz kalmaya hazır bir duruma gelmiş olur.

7.2.3.4- Solunum zincirindeki enerji miktarı ve oluşum yeri.

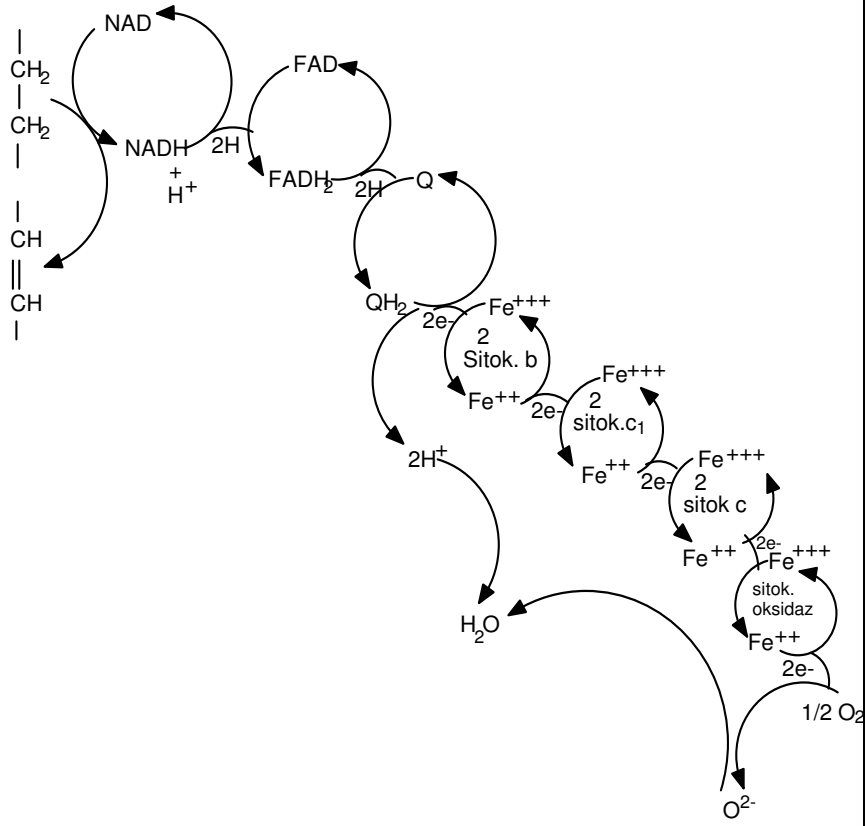
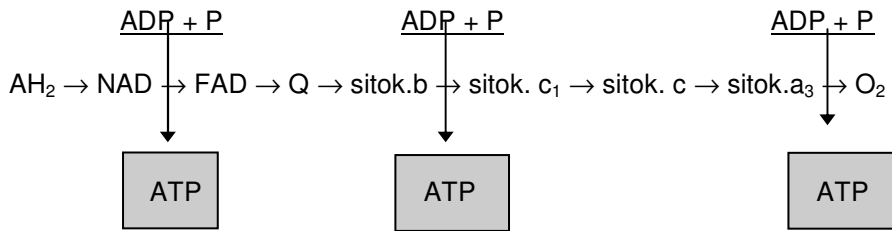
Genel olarak oksidasyonlar sonunda bir enerji açığa çıkar. Reaksiyona giren kimyasal sistem de yüksek bir enerji düzeyinden daha aşağı bir düzeye iner. Aynı olay solunum zincirinde de görülür. 2H⁺ ve 2 e⁻ taşınması sırasında, yüksek enerjili bir bağ oluşumuna yeterli enerji meydana gelir.

Açığa çıkan enerji, bir inorganik fosfat ile, **adenozin difosfat**'a (ADP)'ye taşınır. ADP de bu enerji ve fosfatı bağlayarak, yüksek enerjili **adenozin trifosfat**'ı (ATP) meydana getirir.

Eğer solunum zinciri yukarıdaki birinci dizideki gibi NAD'li bir dehidrojenazdan başlayıp oksitlenmiş ise, **3 mol ATP** sentez edilir. İkinci dizideki gibi FAD'li dehidrojenazlardan başlayıp oksitlenmiş ise **2 mol ATP** sentez edilir.

ATP'lerin birincisinin oluşum yeri zincirde, NAD ile FAD arasındadır. İkinci ATP'nin sentez yeri sitokrom b ile sitokrom c arasında, üçüncünün yeri ise sitokrom a ile oksijen arasındadır.

FAD'li dehidrojenazlarla başlayan biyolojik oksidasyonlarda niçin 2 ATP sentezlendiği, zincirdeki ATP'lerin sentez yerlerinden daha iyi anlaşılmaktadır.

SOLUNUM ZİNCİRİ ve ENERJİ OLUŞUMU**Solunum zinciri ve su sentezi:****Solunum zincirinde ATP oluşum yerleri:**

Tablo 61 - Solunum zinciri ve enerji oluşumu.

7.2.3.5- Biyolojik oksidasyonların önemi.

Organizmada devamlı meydana gelen olaylardan birisi de **biyolojik oksidasyonlardır**. Bu olaylar, vücutta oluşan **endergonik kimyasal reaksiyonlar** için gerekli enerjiyi sağladıkları gibi, bir maddenin oksitlenme ve yıkılması sırasında vücuda gerekli bir çok **yeni maddelerin** ortaya çıkmasını da sağlarlar.

Glukoz, yağ asidi, amino asit gibi, tüm organik yapı taşlarının oksidasyonundan ileri gelen enerji miktarı bakımından, ister organizma içerisinde olsun, ister doğada veya laboratuvar koşulları altında meydana gelsin aynıdır. Buda 1 molekül glikozun için yaklaşık 700 kilo kaloridir. Bu öyle yüksek bir enerji miktarıdır ki, meydana geldiği hücreyi yakıp kavurabilir.

Laboratuvar koşullarında ara maddelere gereksinme olmadan hızla CO₂ ve H₂O oluşması birden bire büyük bir enerji çıkması ile meydana gelir. Halbuki, canlının vücudunda basamak basamak gerçekleşen reaksiyonlar ile, bir çok ara madde oluşur ve enerjide parça parça serbest hale gelir. Bu enerji parçaları da hemen tekrar başka moleküllerin ve özellikle **yüksek enerjili fosfat bağı** bulunan **adenozin trifosfat'ın (ATP)** oluşumuna harcanarak yeniden kimyasal enerji halinde depolaştırılır. Bir molekül ATP 7-8 kilo kalorilik bir enerji depolaştırır. ATP şeklinde depolanan bu enerji;

1-Vücut ısısının oluşum ve devamının sağlanmasında,

2-Peptid bağlarının, glikozid bağlarının oluşumu gibi bir çok sentez olayının sağlanmasında,

3-Kasların kontraksiyonunun ve hücre zarından aktif emilim, pompalama, salgılama gibi olayların sağlanmasında, kullanılır. (Bu konudaki daha detaylı bilgi için Tablo 62'ye bak).

7.3- METABOLİZMADA REAKSİYON SİKLÜSLERİ.

Organizmada bir çok maddenin yıkılışı ya da oluşumu **siklüs** adı verilen zincirleme reaksiyon dizileri ile meydana gelir. Siklüse girecek madde, önce siklüsün temel maddesi ile birleşir.

Bu ürün de basamak, basamak reaksiyona uğrayarak, bir çok yeni madde üzerinden, siklüsün temel maddesine ulaşır.

Bu şekilde başta siklüsün temel maddesi ile reaksiyona giren madde ya daha ufak parçalara ayrılmış, ya da büyük moleküllere çevrilmiş ama sonunda temel madde yine oluşmuştur.

Böylece bir noktadan başlayıp (temel madde), devam eden reaksiyonlar sonunda tekrar ona dönen reaksiyonlar zincirine **siklüs** adı verilir.

Karbonhidratlar, yağ asitleri ve proteinlerden oluşan **asetil-koA'nın** temel madde olan **oksalasetik asit** ile reaksiyona girerek CO₂ ve H₂O'ya kadar parçalanması **TCA siklüsü** ile olur.

Yine ATP'nin yıkılışı ve ADP'den tekrar oluşumu da siklüs biçimindedir. Organizmada meydana gelen başka bir önemli siklüste **üre siklüsüdür**.

BİYOLOJİK OKSİDASYONLAR	
ÖNEMİ	<ul style="list-style-type: none"> • Yeni maddelerin oluşmasını sağlar, • Enerjinin meydana gelmesini sağlar.
ATP (Adenozin trifosfat)	<ul style="list-style-type: none"> • Biyolojik oksidasyonlarda 1 mol glukoz için yaklaşık 700 kilo kalori enerji meydana gelir. • Bir mol. ATP 7-8 kilo kalorilik enerji depolaştırır.
ATP'nin ORGANİZMADA ENERJİ VERDİĞİ FONKSİYONLAR	<ol style="list-style-type: none"> 1. ATP'nin ADP'ye hidrolizi ile vücut ısısının oluşum ve devamı için ısı enerjisi sağlar. 2. C-C bağlanmaları, peptid bağlanmaları, glikozid bağları oluşumu, esterleşmeler gibi reaksiyonlarla lipid, protein, polisakkaritler gibi büyük moleküllerin oluşumu için kimyasal enerji sağlar. 3. Kasların kontraksiyonu için enerji sağlar ve ayrıca, hücre zarından aktif emilim, pompalama ve salgılama gibi olaylar için enerji sağlar.

Tablo 62 - Biyolojik oksidasyonların önemi ve ATP.

METABOLİZMADA REAKSİYON SİKLÜSLERİ	
Tarifi	<ul style="list-style-type: none"> • Bir temel maddeden başlayıp, devam eden reaksiyonlar sonunda tekrar o temel maddeye dönülen zincirleme reaksiyonlar dizisine metabolizma siklüsü denir.
ORGANİZMADA ÖNEMLİ SİKLÜSLER	<ol style="list-style-type: none"> 1. TCA siklüsü 2. Üre siklüsü 3. ATP ve ADP sistemleri siklüsü

Tablo 63 - Metabolizma siklüsleri.

7.4- METABOLİZMA REAKSİYONLARININ HÜCREDEKİ YERLERİ

Nükleus. Hücrenin nükleus fraksiyonunda oksidasyon-redüksiyon enzimleri bulunmadığı için, biyolojik oksidasyonlar burada meydana gelmez.

Buna karşılık **nükleik asit, protein ve lipidlerin hidroliz ve sentezi** burada gerçekleşir.

Çünkü gerekli enzimler yönünden zengindir. Sentez için gerekli enerji, mitokondri ve sitoplazmadaki yüksek enerjili fosfat bağlarından (ATP) sağlanır.

Mitokondri. Bu fraksiyonda, ön sırada **biyolojik oksidasyon ve sitrik asit siklüsü (TCA siklüsü)** enzimleri bulunur. Bundan dolayı enerji veren, ekzergonik olaylar burada çok miktarda meydana gelir.

Dolayısıyla **ATP sentezide** çoklukla gerçekleşir. Bu nedenle bu fraksiyona **enerji fabrikası** adı da verilmiştir.

Buna karşılık enerji veren reaksiyonlar çok meydana geldiğine göre **enerji harcayan endergonik reaksiyonlar** da sıklıkla meydana gelir.

Ribozomlar. **Protein biyosentezi, yağ asitleri biyosentezi** hücrenin bu fraksiyonun da gerçekleşir.

Retikülömler. Hücrenin bu fraksiyonunda **protein depolanması ve taşınımı** gerçekleştirilir.

Lizozomlar. **Protein, nükleik asit v.b.** pek çok maddenin **hidrolizi** burada meydana gelir. Lizozom zardan yapılmış torba biçiminde bir kesedir.

Türlü **proteazlar, RNAazlar, glikozidazlar, lizozimler, fosfatazlar** gibi çeşitli bileşikleri yıkan hidroliz enzimleri bu kesecik içinde bulunur.

Sitoplazmadaki proteinler ve glikojenin sitoplazma tanecikleri dışında kalan tüm bileşikler ve maddeler lizozomlarda yıkılır.

Hücrede en büyük miktarda bulunan, protein nükleik asitler ve fosfolipidlerin lizozomal yolla yıkılması yaşam bakımından ön sırada önemli olan olaylardandır.

Lizozom zarı içerdiği enzimleri dışarı çıkarmaz. Çıktıkları anda ise hücreyi sindirirler. Bu nedenle lizozomlara hücrenin **intihar kesesi** denir.

Sitoplazma. Sitoplazmada tüm enzimler serbest halde bulunur. Anaerobik yani oksijensiz koşullarda, enerji oluşması olayı olan **glikoliz**' in başlıca yeri sitoplazmadır.

Glikoliz, glikozun pirüvik asit ya da laktik asite kadar parçalanmasıdır.

Sadece bir ayrıcalık olarak beynin glikoliz enzimleri hücrenin mitokondri fraksiyonunda bulunur.

Bundan başka , sitoplazma da proteinlerin, yağların, glikojen granüllerinin yıkılımlarında gerçekleşir.

METABOLİZMA REAKSİYONLARININ HÜCREDEKİ YERLERİ	
NÜKLEUS	<ul style="list-style-type: none"> • Nükleik asitlerin hidroliz ve sentezi • Proteinlerin hidroliz ve sentezi • Lipidlerin hidroliz ve sentezi
MİTOKONDİRİ	<ul style="list-style-type: none"> • Biyolojik oksidasyon • TCA siklüsü • ATP sentezi • Enerji harcayan endergonik reaksiyonlar
RİBOZOMLAR	<ul style="list-style-type: none"> • Protein biyosentezi • Yağ asitleri biyosentezi
RETİKÜLÜMLER	<ul style="list-style-type: none"> • Protein depolanması • Protein taşınması
LİZOZOMLAR	<ul style="list-style-type: none"> • Proteinlerin hidrolizi • Nükleik asitlerin hidrolizi • Proteaz, RNAaz, glikozidaz ve fosfatazlar bol miktarda bulunur.
SİTOPLAZMA	<ul style="list-style-type: none"> • Glikoliz • Proteinlerin yıkılımı • Yağların yıkılımı • Glikojenin yıkılımı

Tablo 64 - Metabolizma reaksiyonlarının hücredeki yerleri.