

2. ENZİMLER VE İŞLEVLERİ

- **Hücreler**, kimyasal yasaların geçerli olduğu kimyasal **fabrikalar** olarak da kabul edilmektedir.
- Yaşamın temelini oluşturan kimyasal tepkimelerin tümü *Metabolizma* olarak adlandırılmaktadır.
- Bitki hücrelerinde cereyan eden tepkimeler sonucu binlerce bileşik sentezlenir.

- Bitki hücrelerinde cereyan eden kimi tepkimeler sonunda; nişasta, selüloz, proteinler, yağlar ve nükleik asitler gibi büyük moleküllü organik bileşikler oluşur.
- Hücrelerde küçük moleküllerden büyük moleküllü bileşiklerin oluşmasına *Anabolizma* denir ve bunun için enerji girdisine gereksinim duyulur.
- Büyük moleküllü bileşiklerin parçalanarak
- küçük moleküllerin oluşmasına da
- *Katabolizma* denir ve enerji açığa çıkar.

- Hücreselerde solunum bir katabolizmdir. Bu olgu sonunda enerji açığa çıkarken glikozun oksidatif parçalanması sonucu CO_2 ve H_2O oluşur.
- Hücreselerde bulunan glikozun plastidler içerisinde nişastaya ya da hücre duvarlarında selüloza dönüştürülmesi olgusu bir anabolizm olup enerji kullanımı ile gerçekleşir.

- Hücrede cereyan eden tepkimelerin düzenli şekilde sürmesi hücrede bulunan ve *Enzim* adı verilen bileşiklerin yardımıyla olur.
- Enzimler hangi tepkimelerin hangi sıra içerisinde, nasıl ve ne şekilde cereyan edeceklerini sürekli kontrol altında bulundururlar.
- *"Yaşayan organizmalarda oluşan çözünebilir, kolloidal organik katalizörler"*

2.1. ENZİMLERİN DOĞAL ÖZELLİKLERİ

Organik katalizör olarak bilinen enzimler doğal olarak inorganik

katalizörlerin pek çok özelliklerine sahiptirler.

- Yaşamla ilgili kimyasal tepkimelerin tamamına yakını katalizör yokluğunda çok yavaş cereyan eder.
- Enzimler genelde tepkime hızını 10^8 ile 10^{20} kat artırır.
- Yapay katalizör maddelere göre enzimlerin katalitik güçleri 10^6 kat daha fazladır.

- Enzimler katalize ettikleri tepkimeler yönünden inorganik ya da sentetik organik katalizörlere göre çok daha özel olup binlerce tepkime, toksik yan ürün oluşmadan, enzimler tarafından katalize edilebilir.

- Enzimlerin olağanüstü az miktarları biyolojik tepkimelerin katalize edilmesi için yeterlidir.
- Anılan tepkimelerde enzimlerin etki ettikleri maddelere *Substratlar* ve tepkime sonucu oluşan maddelere de *Tepkime Ürünleri* adı verilir.
- Bir mol enzimin 1 dakikada etki ettikleri madde (substrat) molekülü miktarı enzimin *Etkinlik Sayısı* (turnover number) olarak bilinir.
- Etkinlik Sayıları: 100 – 3 000 000

- Gerçek katalizörler, katalize ettikleri tepkimeler sonunda değişmeden kalırlar.
- Ancak protein yapıları nedeniyle enzimlerin aktiviteleri ortam sıcaklığı, pH, etki edilen madde vb. gibi çeşitli etmenlerin etkisi altında değişir.
- Optimum olmayan koşullar altında, yapıları nedeniyle enzimlerin katalizör olarak etkinlikleri sınırlanır.

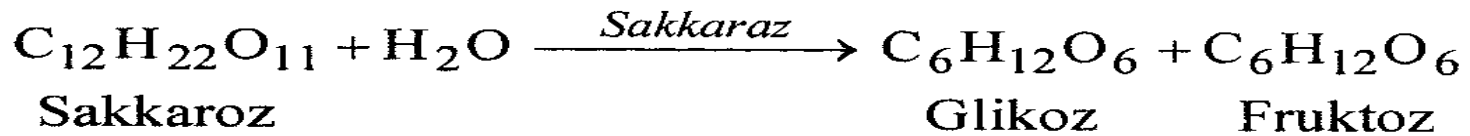
- Bitki hücrelerinde cereyan eden tepkimelerin büyük bir bölümü geriye dönüşümlü (reversible) tepkimelerdir.
- Enzimler tepkimelerin her iki yöne doğru gelişmesini hızlandırdığı gibi tepkimelerde dengenin çok hızlı şekilde oluşmasını da sağlarlar.

- Enzimlerin katalizör olarak etkinlikleri tepkimeye özeldir.
- Bir başka deyişle enzimler belli tepkimeler için özel olup bir enzim belli bir tepkimedede katalizör görevi yapar.

2.2. ENZİMLERİN İSİMLENDİRİLMESİ

- Enzimler etki ettikleri maddelerin (*Substratların*) sonlarına (*az*) eki getirilmek suretiyle isimlendirilirler.
- Selülozu parçalayan enzime *Selülaz*, lipoidleri (lipid) parçalayan enzimlere *Lipaz* enzimi denmektedir.
- Kimi durumlarda enzimlere verilen isimler enzimlerin yaptıkları işi gösterir. Örneğin bir
 - maddeden ötekine hidrojen atomlarının
 - taşınmasına yardım eden enzimlere
 - *Dehidrogenaz* enzimleri denir.

- Herhangi bir madde üzerinde enzimlerin etkileri sonunda ortaya çıkan ürünler *Tepkime Ürünleridir.*
- Örneğin sakkaraz enziminin sakkaroz üzerine etkisi sonunda eşit sayıda ortaya çıkan glikoz ve fruktoz molekülleri tepkime ürünleridir.



2.3. ENZİMLERİN SINIFLANDIRILMASI

- Enzimlerin sayısını tahmin etmek güçtür.
- Yeryüzünde 10^6 kadar bitki ve hayvan türünün bulunduğu kabul edilmektedir.
- Her bir türde 1000 kadar protein çeşidi bulunduğu varsayılırsa yeryüzünde toplam 10^9 dolayında protein çeşidi var demektir.
- Proteinlerin çoğunluğu ise enzimleri oluşturmaktadır.
- Günümüzde yaşayan organizmalarda 5000'den fazla enzim çeşidi saptanmıştır.

- ❖ *Uluslararası Biyokimya Birliği* 1961 yılında enzimlerin sınıflandırılması için çoğunlukla kabul görmüş bulunan bir düzenleme önermiştir.
- ❖ Buna göre enzimler temelde 6 sınıf altında toplanmaktadır.
- ❖ Bu sınıflara bağlı gruplar ve alt gruplar bulunmaktadır.
- ❖ Alt gruplarda ise tek tek enzimler yer almaktadır.

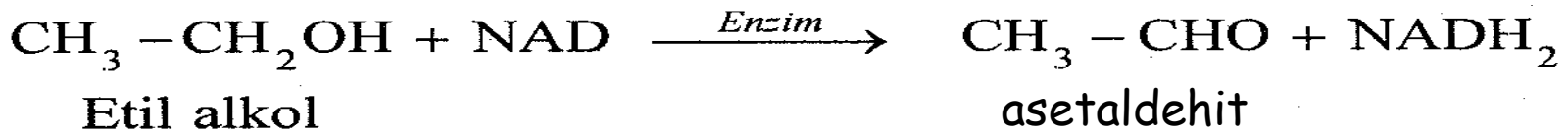
Çizelge 2-1. Enzimlerin sınıflandırılması

Ana Sınıf	Grup	Alt Grup
Oksidoredüktaz	Alkol	NAD Sitokrom O ₂
	Aldehid Amino bileşiği	
Transferaz	Fosforil bileşiği	Alkol (şeker) Amino bileşiği Karboksil bileşiği
	Alkil bileşiği Glikozil bileşiği	
Hidrolaz	Ester bağı	Karboksilester Fosfatester
	Glikozit bağı Peptit bağı	
Liyaz	C – C bağı	Karboksil grubu Aldehid grubu
	C – O bağı C – N bağı	
İzomeraz	Intramoleküler Oksidoredüksiyon	Aldoz → Ketoz Enol bileşiği → Keto bileşiği
	Intramoleküller grup aktarılması cis-trans izomerasyonu	
Ligaz	C – N bağı	Asit + NH ₃ Asit + Amino asidi
	C – S bağı C – O bağı C – C bağı	

Enzimlerin sınıflandırılmasında ana sınıfın karakteristiğini enzim tarafından katalize edilen kimyasal tepkime oluşturmaktadır.

Örneğin oksidoredüktaz, hidrolaz, transferaz, izomeraz vb. gibi ana sınıfların karakteristiğini enzimin etkilediği maddenin (substratın) yapısı oluşturur.

Grup ve alt gruplar ise tepkimelerin oluşması için gereksinim duyulan özel kimyasal maddelere göre saptanır.

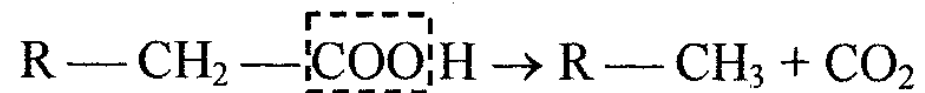


- Her ana sınıfta yer alan enzimler *Enzim Komisyonu* (Enzim Commission) tarafından verilen (EC) numaraları ile gösterilmektedir.
- Örneğin selülozu parçalayan *Selülaz Enziminin* EC numarası EC 3.2.1.4'tür.
- Burada birinci rakam olan (3) enzimin ana sınıfını, ikinci rakam olan (2) grubunu, üçüncü rakam (1) alt grubu ve dördüncü rakam (4) ise anılan alt grupta kaçınıcı enzim olduğunu göstermektedir.

2.3.1. Oksidoredüktaz Enzimleri

- Oksidoredüktaz ana sınıfına; etki yapılan maddeden hidrojen, oksijen veya elektronların alınmasını ya da verilmesini sağlayan tüm enzimler girer.
- **2.3.2. Transferaz Enzimleri**
- Enzimler içerisinde ikinci ana sınıfı oluşturan *Transferaz* enzimleri (fosforil, amino, açil, alkil, glikozil vb.) atom gruplarını bir molekülden diğerine aktarırlar.

- **2.3.3. Hidrolaz Enzimleri**
- Enzimlerin bir başka ana sınıfını oluşturan *Hidrolazlar*; ester bağlarını, glikozit bağlarını ve peptit bağlarını hidrolitik olarak parçalarlar.
- **2.3.4. Liyaz Enzimleri**
- *Liyazlar*, kimyasal bağları parçalayan enzimlerdir.



maddedeki C - C bağı koparılır ve karboksil grubu parçalanır.

• 2.3.5. İzomeraz Enzimleri

- *İzomerazlar*, madde molekül yapısında, aşağıda formüle edildiği gibi, bir grubun yerini değiştirmek, bir başka deyişle izomerasyon suretiyle etki yaparlar.

• 2.3.6. Ligaz Enzimleri

- Enzimlerin sonuncu ana sınıfını oluşturan *Ligazlar*; iki molekül arasındaki bağlantıyı sağlarlar.

2.4. ENZİMLERİN KATALİTİK ETKİNLİKLERİ

- enzimler belli madde (substrat) üzerinde katalitik etkinlik gösterir.

Enzimler tepkimelerde daha düşük enerji kullanılmasını sağlar.
Böylece enerji büyüme ve diğer enerji gereksinen yerlerde kullanılır.

Örneğin;



Katalaz enziminin yokluğunda

18 000 cal/mol
varlığında 6 400 cal/mol enerji gereksinilir

1/3 Enerji tasarrufu demektir

2.5. ENZİMLERİN YAPISI

- Enzimlerin tamamına yakını temelde yapı olarak **proteindir**.
- Kimi enzimler protein moleküllerine bağlı protein olmayan maddelere de sahiptir.
- Yapıları yönünden enzimler iki grup altında toplanabilir.
Bunlar:
- a. Yapıları protein olan enzimler ve
- b. Proteine bağlı protein olmayan maddeleri de kapsayan enzimlerdir.
- Enzimlerin tamamına yakını yapı olarak protein olmakla beraber proteinlerin tümü katalitik özelliğe sahip değildir.
- Örneğin bitki tohumları içerisinde bulunan çok çeşitli depo proteinlerinin katalitik işlevleri yoktur.
- Tohumlardaki depo proteinleri çimlenmeden sonra oluşan bitkiler için amino asit kaynağı olarak yarar sağlarlar.

Enzimleri oluşturan proteinlerin her biri yüzlerce amino asitten oluşmuş bir ya da birkaç *Peptit Bağına* sahiptir.

Her bir proteinin boyutu ve iğeriği oluştukları amino asitlerin cinsine ve sayısına bağlıdır.

2.5.1. Prostetik Gruplar, Koenzimler ve Vitaminler

- Enzimlerin proteine bağı çok daha küçük protein olmayan organik kısmı *Prostetik Grup* olarak adlandırılır.
- Prostetik gruplar proteinlere genelde güçlü kovalent bağlarıyla bağlanmış olup katalitik aktiviteyi üstlenmişlerdir.
- Kimi enzimlerde ise proteine bağı metal iyonları (Fe, Cu, Zn vb) prostetik grupları oluştururlar.

- Kimi enzimler ise katalitik aktivitelerini gerçekleştirebilmek için proteine gcl Şekilde bağlanmış *Prostetik Grup* adı altında diğer bir organik bileşiğe, bir metal iyonuna ya da bunların ikisine de sahip değildirler.
- Anılan bu bileşikler yaygın Şekilde *Koenzim* olarak adlandırılmıştır. Metal iyonlar ise çoğunlukla *Metal Aktivatörler* olarak adlandırılırlar.

- Bitkiler tarafından sentezlenen çeşitli *Vitaminler*, bitki ve hayvanlardaki enzimlere bağlı *Koenzimlerin* ya da *Prostetik Grupların* parçaları şeklinde bulunurlar.
- Bu olgu canlıların yaşamında vitaminlerin ne denli önemli olduğunu açık kanıtıdır.
- Bakır, demir, mangan, çinko, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve diğerleri gibi çeşitli mutlak gerekli elementler enzim aktivatörleri olarak görev yaparlar.

- Enzimlerle ilgili olarak *Elektroforez* yöntemiyle yapılan ileri düzeydeki araştırmalar aynı madde (substrat) üzerinde katalitik etki yapan ve aynı tepkime ürünlerini oluşturan birden fazla enzimin bulunduğunu göstermiştir.
- Aynı madde üzerinde katalitik etki yapan ve aynı tepkime ürünlerini oluşturan enzimlere *izozimler* ya da *izoenzimler* denir.
- İzoenzimler gen farklılıkları yanında amino asitlerin dizilişlerindeki farklılık nedeniyle de birbirlerinden ayrılırlar.
- izoenzimler — çevre etmenleri

2.6. BİTKİ HÜCRELERİNDE ENZİMLERİN DAĞILIMI

- Enzimler yaşayan hücrelerde düzenli (üniform) şekilde dağılım göstermezler.
- Fotosentezde görev yapan enzimler kloroplastlarda bulunur
- Aerobik solunumda görev üstlenmiş çoğu enzimler mitokondri içerisinde ve kimileri de sitozol içerisinde yer almışlardır.
- DNA (Dioksiribonükleik asit) ve RNA (Ribonükleik asit) sentezinde temel görev üstlenmiş enzimler ise hücre çekirdeğinde yerleşiktir.
- Enzimlerin çoğu mitokondri ve kloroplastlarda toplanmıştır

2.7. ENZİMLERİN AKTİVİTELERİ ÜZERİNE ETKİ YAPAN ETMENLER

- 2.7.1. Madde (Substrat) Miktarı
- **Ortamda bulunan madde miktarı belli bir düzeye değin enzimlerin aktiviteleri üzerine olumlu yönde etki yapmakta ve daha sonra madde miktarının etkisi ya hiç olmamakta ya da olumsuz yönde gelişmektedir.**

2.7.2. Tepkime Ürünleri Miktarı

- Enzimatik tepkimeler de kimyasal tepkimeler gibi kimya yasalarına bağlıdır.
-
- Tepkime ürünlerinin ortamda toplanması oranında enzimatik tepkimelerin miktarı azalır.
- Özdeş şekilde başlangıçta tepkime ürünlerinin konsantrasyonu fazla ise enzimatik tepkimelerin miktarı az olmaktadır.

2.7.3. Enzim Konsantrasyonu

- Enzim aktivitesi ortamda bulunan enzim konsantrasyonu ile ilişkili olarak doğrusal şekilde artar.

2.1 4. Hidratasyon

Özellikle tohumların çimlenmeleri anında hidratasyonun etkisi çok açık bir şekilde görülebilir.

Kuru durumdaki tohumlarda enzim aktivitesi çok düşüktür. Çimlenme anında su alındıkça tohumda enzim aktivitesi sürekli şekilde artar.

Özdeş durum bitkilerin öteki organlarında da görülmektedir.

2.7.5. Sıcaklık

- Kimyasal tepkimelere özdeş şekilde enzimatik tepkimeler de sıcaklığın etkisi altındadır.
- Protein tabiatında olmaları nedeniyle enzimler özellikle sıcaklığa karşı duyarlıdır.

Enzim aktivitesi 0°C 'de pratik olarak yoktur. Sıcaklık arttıkça enzim aktivitesi de doğrusal şekilde artar. Genel olarak 25°C 'ye değin sıcaklığın her 10°C 'lik artışlarında tepkime miktarı 2.5 kat artar.

Bu olgu iki nedene dayandırılarak açıklanabilir:

- a. Sıcaklık artışına bağlı olarak madde moleküllerinin olduğu gibi enzim moleküllerinin de kinetik enerjileri artar
- b. sıcaklık artışı ile hareketleri fazlalaşan enzim ve madde moleküllerinin birleşme olasılığı yükselir.

2.7.6. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH)

- Ortamın pH'sı enzimlerin aktiviteleri üzerine önemli etki yapar.
- Optimum pH'dan fazlaca uzaklaşılması durumunda enzimler aktivitelerini tamamen yitirerek bir daha etkin duruma geçememektedir.
- Değişik enzimler için optimum pH 1.5 ile 10 arasında değişmektedir.

2.7.7. Önleyiciler (inhibitörler)

- Enzimatik tepkimelerin hızını azaltan önleyiciler çoğunlukla iki grup altında toplanır. Bunlar:
 - a. Kompetatif önleyiciler
 - b. Kompetatif olmayan önleyicilerdir.

En iyi bilinen enzim önleyicileri *İodaasetatlar, Floridler, Siyanidler* ile *Karbonmonoksit*'tir.