

## *2.3. Enzimlerin Sınıflandırılması*

---

- Enzimlerin sayısını tahmin etmek bile güçtür. Yer yüzünde  $10^6$  (1 milyon) kadar bitki ve hayvan türünün bulunduğu kabul edilmektedir. Her bir türde 1000 kadar protein bulunduğu varsayılırsa yeryüzünde toplam  $10^9$  (1 milyar) dolayında protein var demektir.

Proteinlerin çoğunluğu ise enzimleri oluşturmaktadır. Delbrück'e (1963) göre bir bitki hücresinde 1000 kadar değişik enzim bulunmaktadır. Sayıları bu kadar fazla olan enzimler üzerinde doğru bilgi sahibi olabilmek için bunların sistematik şekilde sınıflandırılmalarına gereksinme vardır. Uluslar arası Biyokimya Birliđi 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.

Enzimlerin sınıflandırılmasında ana sınıfın karakteristiğini enzim tarafından katalize edilen kimyasal tepkime oluşturmaktadır. Örneğin oksidoredüktas, hidrolas, transferas, izomeras, vb gib ana sınıfların karakteristiğini enzimin etkilediği maddenin (substratın) yapısı oluşturur.

Grup ve alt gruplar ise tepkimelerin oluşması için gereksinme duyulan özel kimyasal maddelere göre saptanır. Örneğin aşağıdaki formülde görüldüğü gibi enzimatik olarak etil alkol asetaldehide yükseltgenir. NAD (Nikotinamid Adenin Dinükleotid) daha sonra açıklanacağı (Bkz.s 56) gibi bir koenzimdir.



*Etilalkol*

Yükseltgendi

İndirgendi

Formülde gösterilen enzimatik tepkime NAD hidrojen alırken etil alkol hidrojen yitirir. Bir başka deyişle anılan tepkime yükseltgenme-indirgenme söz konusudur. Etil alkol hidrojen yitirip yükseltgenirken, NAD hidrojeni alarak indirgenir. Şu halde tepkime rol oynayan enzim bir yükseltgenme-indirgenme enzimidir ve bu enzimin ana sınıfı "Oksidoredüktasdır".

Tepkimedede enzimin etki yaptığı madde ya da etkilenen maddenin kimyasal grubu bir alkol grubudur. Bu grup “H verici” olarak görev yapar. O nedenle enzimin grubunu hidrojen verici “alkol” oluşturur. Hidrojen alıcı olarak görev yaptığı için enzimin alt grubunu da NAD oluşturur.

Bir enzimi tam olarak karakterize edebilmek için önce etki yapılan madde söylenir.

Daha sonra alıcı durumundaki molekülün adı ve son olarak da tepkimenin tipi söylenir. Örneğin glutamin asidinden bir amino grubunu pirüvik aside aktaran enzim”Glutamin asidi-pirüvik asit-aminotranferas” şeklinde adlandırılır. Hidrolaslar-da önce madde adı söylenir ve buna “hidrolas” sözcüğü eklenir. Örneğin ”Sakaroz-hidrolas” (Sakkaras) enzimi şeklinde ifade edilir.



Uluslar arası Biyokimya Birliđi tarafından önerilen ve genel kabul gören enzimlerin sınıflandırılması Çizelge 2-1 de sunulmuştur. Çizelgeden anlaşılacağı gibi enzimler 6 ana sınıfa ayrılmış ve bunların grup ve alt gruplarından bazı önemlileri gösterilmiştir.



Ana Sınıf	Grup	Alt Grup
Oksidoredüktas	Alkol	NAD
a) Dehidrogenazlar b) Oksidazlar c) Oksijenazlar	Aldehit Amino bileşiği	Sitokrom O <sub>2</sub>
Transferas	Fosforil bileşiği	Alkol (şeker) Amino bileşiği Karboksil bileşiği
	Alkil bileşiği Glikozil bileşiği	
Hidrolaz	Ester bağı ----- Glikozit bağı Peptid bağı	Karboksilester Fosfoester
Liyaz	C-C bağı ----- C-O bağı C-N bağı	Karboksil grubu Aldehid grubu
İzomeraz	Intramoleküler Oksidoredüksiyon ----- Intramoleküller grup aktrılması	Aldoz→Ketoz Enol bileşiği→Keton bileşiği

Oksidoredüktas ana sınıfına; etki yapılan maddeden hidrojen, oksijen veya elektronların alınmasını ya da verilmesini sağlayan tüm enzimler girer. Bu enzimler hücre metabolizmasında temel işlevleri yaparlar. Enzimatik faaliyet sonucu maddeden hidrojenin ayrılmasına “dehidrosyan” denir. Bu işi yapan enzimlere “dehidraslar” ya da “dehidrogenazlar” denir. Dehidrogenazlar Aerobve anaerob dehidrogenazlar olmak üzere 2 alt gruba ayrılır.

Burada örnek olarak katalas ve peroksidaz enzimleri ele alınabilir. Peroksidaz enzimi herhangi bir maddeden hidrojeni hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) ya da başka bir peroksit bileşiğine aktarabilir.

Şekil...

Buna karşılık bir hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) molekülü, katalas enzimi için etki yapılan bir madde ve aynı zamanda hidrojen alıcı bir madde olarak görev yapar. Katalas ise anılan tepkimeye özgü bir enzimdir. Bu açıklamalardan da görüldüğü gibi gerek Peroksidaz ve gerekse Katalas enzimleri bitkisel metabolizmada hidrojen peroksidi ( $H_2O_2$ ) suya parçalamaktadır.

Şekil

---

Anaerob dehidrogenas enzimleri ise etki yaptıkları maddedeki H atomlarını bir keonizme ya da prostatik gruba aktarırlar. Buna örnek olarak elma asidinin oksalasetik aside dehidrasyonu ( yükseltgenmesi ) gösterilebilir. Formülden görüldüğü gibi koenzim  $\text{NAD}^+$  elma asidinden 2 hidrojen alarak oksalasetik asidin oluşmasını sağlar.

---

◉ Şekil...



Oksidaslar da aynen maerob dehidraslar gibi H atomlarını oksijen molekülüne aktarırlar.Oksijenler, oksidasların tek hidrojen tutucusudur. Oksidaslar çoğu kez bir enzim zincirinin sonunda bulunurlar ve burada terminal yükseltgenme denen olayı, yani solunum metabolizmasından gelen hidrojenin oksijene bağlanarak suyun oluşmasını sağlar. Bitkilerde yaygın şekilde bulunan polifenoloksidalar, askorbik asit-oksidas ve sitokromoksidas oksidaslara geren enzimlerdir. Alınan bu enzimler ağır metal içerirler.

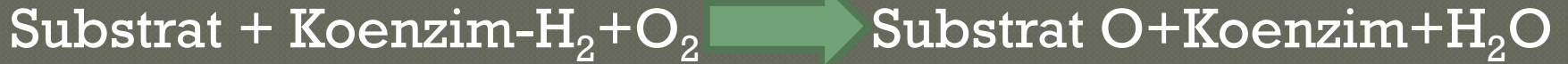
Oksigenaslar, oksijeni hidrojene değil başka bir maddeye baęlayan enzimlerdir.

Çoęunlukla tepkime içerisinde indirgenmiř bir koenzim de yer alır.

Anılan enzimler sayesinde oksijen molekulunden ( $O_2$ ) bir atom o maddeye bağlanır ve diğer atom O ise koenzimin hidrojeni ile tepkimeye gererek suyu oluşturur (Hayaishi 1962).

Şekil

---



Enzimler içerisinde ikinci ana sınıfı oluşturan transferas enzimleri (fosforil, amino, acil, alkil, glikozil vb) atom gruplarını bir molekülden diğerine aktarırlar. Örneğin bir koenzim alan ATP'nin (Adenozin trifosfat'ın) bir fosforil grubu, aşağıda görüldüğü gibi, glikoza aktarılmaktadır.

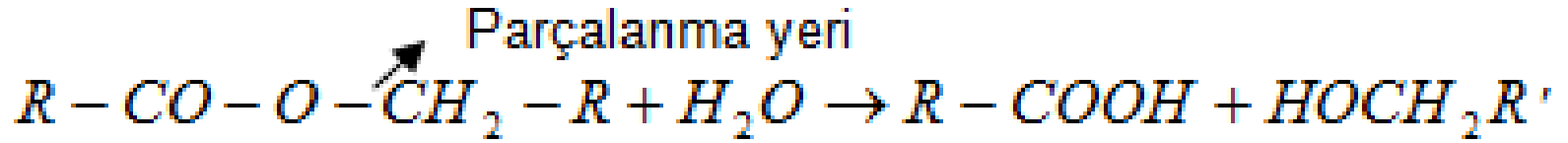
Söz konusu fosforil grubu, P, glikozun bir alkolik hidroksil grubu ile tepkimeye girer. Bu tepkimenin oluşması ATP-glikofosfo-transferas adı verilen enzim sayesinde oluşur. ATP deki fosforil grubunun şekere aktarılması çok sık görülen bir olgudur. Bu işlevi yapan enzimeler genelde “kinas” olarak isimlendirilir. Bu nedenle yukarıda verilen örnekte enzim “glikokinas” olarak da adlandırılır.

# ● Şekil

---

Enzimlerin bir başka ana sınıfını oluşturan hidrolaslar; ester bağlarını, glikozid bağlarını ve peptid bağlarını hidrolitik olarak parçalarlar. Serbest kalan her iki bağlantı yerine su molekülünün H ve OH radikalleri bağlanır. Hidrolaslar sayesinde nişasta ve selülozun uzun zincirleri parçalanır. Aynı şekilde yumurta akı maddelerinin peptid bağları ve lipidlerin ester bağları hidrolaslar ile hidrolitik parçalanmağa uğrarlar. Aşağıdaki formülde bir karbonksilesterin hidrolitik parçalanması gösterilmiştir. Bu tepkimede rol oynayan enzim





bir karboksilester-hidrolastır,

Hidrolaslara; esteraslar, lipaslar, peptidaslar, glikozidaslar, ribonükleaslar ve amilaslar dahildir.

Liyaslar, kimyasal baları parçalayan enzimlerdir. Aşağıdaki formülde gösterildiği gibi maddedeki C-C bağı koparılır ve karboksil grubu parçalanır. Tepkime de dekarboksilas enzimi görev yapar. O nedenle cereyan eden bu tepkimeye dekarboksilasyon adı verilir.

C-O liyaslara; suyu maddeden ayıran enzimler (hidrotaslar) girer. Aşağıdaki formülde gösterildiği şekilde elma asidinden (malat) bir molekül su çıkarıldığı zaman fumarik asit (fumarat) oluşmaktadır. Tepkimeye görev yapan enzime fumaras enzimi denir. Maddeye ve oluşan tepkimeye göre isimlendirilmesi durumunda söz konusu enzim malat – hidro - liyas şeklinde isimlendirilebilir.

Enolas enzimi; suyu parçalamak suretiyle bir enol formunun oluşmasını sağlayan bir hidro-liyaseenzimidir. Aşağıdaki formülden de görüldüğü gibi 2-fosfogliserat'ta bir molekül su enolas enzimi  
şekil

Enzimlerin bir başka an sınıfı olan izomeraslar; madde molekülü içerisinde atomların yerlerini değiştirmek suretiyle etki yaparlar. Bu yer değişimi bir yükseltgenme-indirgenme tepkimesini de içerebilir. Fruktozun bir glikoza dönüşmesi buna iyi bir örnek oluşturur. Aşağıdaki formülde de gösterildiği gibi bir molekülün izomerizasyonu, bir molekül grup değişimi şeklinde de oluşabilir.

---

● şekil

Enzimlerin bir başka ve sonuncu ana sınıfını oluşturan Ligaslar; iki molekül arasındaki bağlantıyı sağlarlar. Bu bağlantı için enerjiye gereksinim duyulur. Örneğin bu enerji, bir koenzim olan ATP'nin parçalanmasından elde edilir. ATP parçalandığı zaman çıkan enerjiden yararlanarak iki molekül birleşmesi gerçekleştirilir. Bu özelliği nedeniyle ligaslara sentetaslar da denir. Gerçekleştirilen bağlantının çeşidine göre (Bkz. Çizelge 2-1) ligaslar değişik gruplara ayrılır.

---

## ● Şekil



Formülde  $\text{NH}_3$ 'ın bir amino asidine bağlanması ve bir asitamidin oluşması gösterilmiştir. Bu şekilde ilşlev yapan enzimlerden birisi de glutaminsentetas enzimidir. Anılan enzim  $\text{NH}_3$  ile glutamin asidini birleştirerek glutaminin oluşmasını sağlar.  $\text{NH}_3$  ile glutamin asidini birleştirerek glutaminin oluşmasını sağlarlar.

Karboksilaslar da ligaslara dahildir.  
Karboksilaslar  $\text{CO}_2$  in asimlasyonunda  
görev yapan ribulozdifosfatkarboksilas  
ve fosfoenolpiruvatkarboksilas  
karboksilaslara dahil enzimlerdir.

Yukarıda verilen bilgilerden de  
anlaşılacağı gibi enzimlerin  
isimlendirilmesi yöntemi açık olmakla  
beraber sonuçta alışılmamış biçimde  
uzun isimler karşımıza çıkmaktadır.

Geçmişte yaygın şekilde kullanılmış bulunan ve hatta günümüzde de kullanılan enzim adları hatalıdır. Örneğin bitki fizyolojisi alanında çok kullanılan fosfatas, fosforilas, katalas ve enolas ile hayvan fizyolojisi alanında tanınmış enzimi anorganik fosfatı parçalayan bir hidrolastır. Bu enzimde ana sınıf; hidrolas, grup; ester ve alt grup ise fosfomonoesterdir. Fosforilas enzimi, inorganik fosfatı bir glikoz zinciri üzerine naklederek glikoz fosfatı parçalar. Aslında bu enzimin, 1,4-glikanortofosfat-glikoziltransferas şeklinde adlandırılması gerekir.

Özet olarak enzimlerin sınıflandırılması ve adlandırılması, enzim molekülünün yapısına göre değil, enzimin oluşturduğu kimyasal tepkimenin çeşidine göre yapılır. Enzimlerin yapı olarak farklılık göstermesi değil oluşan tepkime önem taşır.