

# 5

## Amaçlarımız

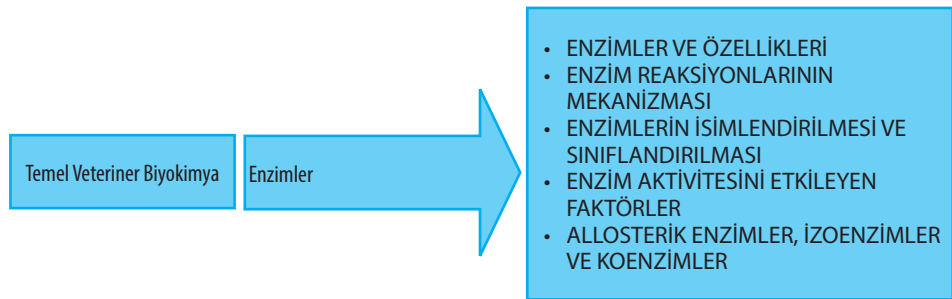
Bu üniteyi tamamladıktan sonra;

- Enzim terminolojisini açıklayabilecek,
- Enzim reaksiyonlarının mekanizması ve etki biçimini tanımlayabilecek,
- Enzimlerin isimlendirme sistematığını ve önemini söyleyebilecek,
- Enzim aktivitesine etki eden faktörleri sıralayabilecek,
- Enzim inhibisyonları ve allosterik enzimleri tanımlayabilecek bilgi ve beceriler kazanabileceksiniz.

## Anahtar Kavramlar

- Enzim
- Substrat
- Aktivasyon Enerjisi
- İnhibisyon
- Aktivatör
- Allosterik Enzim

## İçindekiler



# Enzimler

## ENZİMLER VE ÖZELLİKLERİ

Biyolojik reaksiyonların çoğu enzim denilen organik maddeler tarafından katalize edilir. Bu maddeler kendileri bir değişikliğe uğramadan hücre içinde meydana gelen reaksiyonların hızını artırır.

Bir reaksiyonu hızlandıran fakat kendisi reaksiyondan değişmeden çıkan maddelere katalizör denir. Enzimler ise canlı hücreler tarafından sentezlenen, etki yapabilmesi için hücreye gereksinim duymayan, ısıya dayanıksız, protein tabiatında, biyolojik katalizörlerdir. Enzimler katalizör olarak nitelendirilseler de bazı yönleri ile anorganik katalizörlerden ayrılırlar. Bu farklar şunlardır;

- Anorganik katalizörler çok çeşitli reaksiyonları katalize ettikleri halde, enzimler ancak kendileri için özel olan belirli maddeler üzerine etki gösterirler
- Anorganik katalizörler katalize ettikleri reaksiyon tarafından değiştirilmezler ve reaksiyon sonunda değişiklik olmadan yeniden elde edilebilirler, enzimler ise aktiviteleri sırasında az çok tahrip olurlar, bu nedenle vücutta devamlı sentez edilmeleri gerekir.

Enzimler katalize ettikleri reaksiyonun hızını, katalize edilmemiş reaksiyonlara göre  $10^3$ - $10^{12}$  kata kadar artırır. Hem canlı ortamda (*in vivo*) hem de laboratuvar koşullarında etkilerini gösterebilirler. Yüksek oranda metabolik faaliyetleri düzenleme kapasitesine sahiptirler. Hücre içi ve hücre dışı hasarlarda meydana gelen değişikliklere cevap olarak, belirli metabolik geçitlerin çalışmasını hızlandırabilir veya yavaşlatabilirler.

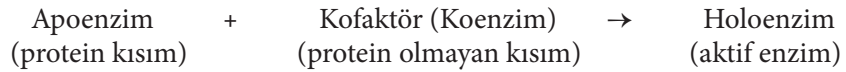
Enzimin tanımını oluşturan önemli özelliklerini maddeler halinde özetlersek;

1. Canlı hücreler tarafından sentezlenen maddelerdir.
2. Etki gösterebilmek için hücreye gereksinim duymazlar, *laboratuvar ortamında* etki gösterirler.
3. Isıya dayanıksız maddelerdir, yüksek ısı ile denatüre olurlar.
4. Protein yapısındadırlar ve proteinler gibi primer, sekonder, tersiyer ve kuarterner yapıları vardır.
5. Biyolojik reaksiyon hızlandırıcılarıdır.

## Enzimlerin Yapısı ve Hücre İçindeki Özel Konumları

Enzimler canlı hücreler tarafından sentezlenen protein yapıda maddelerdir. Enzimlerin bazıları basit protein yapıdadır ve katalitik etki bu protein yapı tarafından gerçekleştirilir. Enzimin protein yapısındaki kısmına apoenzim denir. Örne-

ğin pepsin, tripsin, üreaz sadece protein yapıdadır ve bu enzimlerin aktivitesi için başka bir gruba ihtiyacı yoktur. Bu enzimlerde apoenzim holoenzime eşittir. Bazı enzimlerin ise katalitik etki gösterebilmeleri için metal iyonu ya da protein olmayan organik bir bileşiğe veya her ikisine de ihtiyaçları vardır. Karbonik anhidraz Zn (çinko), tirozinaz ve askorbik asit oksidaz Cu (bakır), katalaz ve sitokrom oksidaz Fe (demir) taşırlar. Yardımcı bu iyon ve bileşiklere genel olarak kofaktör denir. Organik bileşikler enzimin protein kısmı ile oldukça sıkı birleşmiş kolay ayrılmıyorsa, prostetik grup, pek sıkı birleşmemiş, kolay ayrılabilirse koenzim adını alır. Böyle enzimlerde ne apoenzim ne de koenzim tek başına etki yapamazlar. Koenzim ve apoenzimden meydana gelen tam bir enzime holoenzim denir.



Tek polipeptit zincirinden oluşmuş enzim sayısı azdır.

Enzim ismi	Subünite sayısı (alt ünite sayısı)
Ribonükleaz	1
Hekzokinaz	2
Adenilat siklaz	3
Laktat dehidrojenaz	4
Glutamin sentetaz	12
Piruvat dehidrojenaz enzim kompleksi	72

Enzimlerin yapısını ve işleyişini daha iyi anlayabilmek için bazı terimlerin bilinmesinde yarar vardır. Enzimin hücre içinde inaktif (aktif olmayan) durumda olan haline proenzim (ön enzim) veya zimojen denir. İnaktif enzimi aktif enzim hale getiren maddeler kinaz olarak adlandırılır. Enzimin etki ettiği maddeye substrat, bu etki sonucunda meydana gelen madde veya maddeler ürün olarak isimlendirilir.

SIRA SİZDE



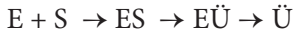
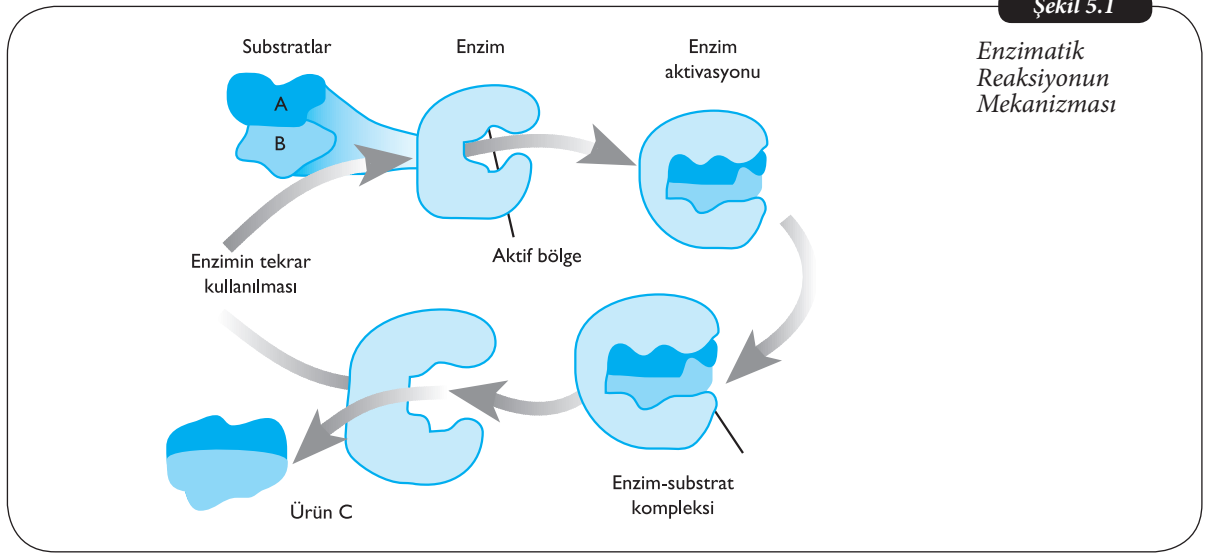
#### Anorganik katalizörlerle biyolojik katalizörler arasındaki farklar nelerdir?

Her enzimin hücre içinde özel görevi vardır ve hücrede bulunduğu yer bu görevi ile ilişkilidir. Çekirdekte bulunan enzimler daha çok genetik materyalin onarımı, kullanımı ile ilgilidir. Mitokondride bulunan enzimlerin çoğu enerji üretici veya hücresel çalışmalar için güç sağlayıcı olarak iş görür. Ribozomda yer alan enzimler protein sentezinde, lizozomda bulunanlar hücrenin daha fazla ihtiyaç duymadığı maddelerin parçalanması yani hücre içi sindirim işinde görev yaparlar. Plazmada kanın pıhtılaşması ile ilgili, hücre zarında madde geçişini sağlayan enzimler yer alır.

### ENZİM REAKSİYONLARININ MEKANİZMASI

Enzimler (E) substratları (S) ile bağlanır. Substrat enzim tarafından etkilenen sadece o enzime özgü özel bir bileşiktir. Substrat enzimin aktif bölgesine bağlanır. Enzimin üzerinde bulunan, substratın bağlandığı özel yere enzimin aktif yeri veya aktif bölgesi denir. Bu yere aynı zamanda katalitik bölge de denilmektedir. Aktif

yer enzimin hacmine göre daha küçük ve üç boyutlu bir yapıya sahiptir. Enzimle substrat birbirine bağlandığında önce enzim-substrat bileşiği (ES kompleksi) meydana gelir. Daha sonra bu bileşik enzimatik reaksiyon sonucunda oluşan madde olarak tanımlanan ürüne (Ü) dönüşür (Şekil 5.1). Enzimler bir reaksiyonda birden fazla substratla bağlanabildiği gibi, reaksiyon sonucunda bir veya birden fazla ürün oluşabilir.



Enzimin substrata bağlanması ile ilgili iki hipotez vardır;

### Anahtar Kilit Modeli

Enzimle substrat arasındaki ilişki anahtarla kilit arasındaki bağlantıya benzer. Bir kilidi açmak istediğimizde ancak o kilide tam anlamıyla uygun anahtar elimizde varsa açabiliriz. Aksi halde açamayız. Aynı bunun gibi bir enzim reaksiyonunda da olay ancak o enzimin aktif yerine tam uyan bir substrat bağlanırsa gerçekleşir ve ürün meydana gelir.

### Uyarılmış Uyum Modeli

Bu bağlanma tipinde başlangıçta enzimle substrat arasında tam bir yapısal benzerlik yoktur. Fakat birbirine uyabilecek enzim ile substrat bir ortamda bulunursa, önce bir ilk uyarı etkileşimi meydana gelmekte ve enzimin değişebilir (fleksible) özellikteki bağlanma bölgesi yapısal bir değişikliğe uğrayarak, substratının bağlanabileceği hale gelmektedir. Daha sonra yine enzimle substratı birbirine bağlanır ve ürün oluşur.

Bir reaksiyonun oluşabilmesi için sadece enzimle substratın birbirine bağlanması yani ES kompleksinin oluşumu yeterli değildir. Ortamda enerjiye de ihtiyaç vardır.

Reaksiyonun hızını artırmak için sıcaklığı artırabiliriz. Bu durumda ısıya bağlı olarak ortamdaki moleküllerin hareketi artar. Daha fazla iç enerji kazanarak **transisyon durumu** olarak ifade edilen reaksiyonun başlangıç kısmına yani geçiş noktasına ulaşırlar ve olay gerçekleşir. Moleküllerin büyük bir kısmı transisyon durumunda ise reaksiyon hızı yüksek, yalnız küçük bir kısmı transisyon durumunda ise reaksiyon hızı düşüktür. Belli şartlar altında bir reaksiyonda bir mol

**Transisyon Durumu (Geçiş Noktası):** Enerji engelini tepe noktasına denir.

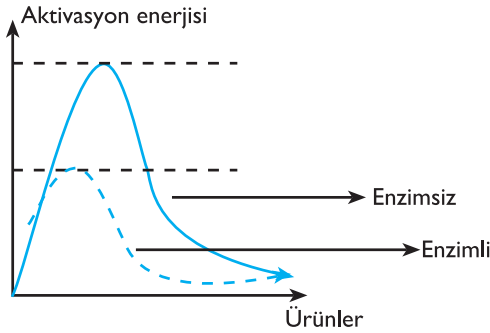
substratı enerji engelinin tepe noktasına yani transisyon durumuna getirmek için gerekli olan enerjinin kalori cinsinden değerine aktivasyon enerjisi denir.

Reaksiyonun hızını artırmanın başka yolları ortama anorganik katalizör ya da biyolojik katalizör ilave etmektir. Bunu bir örnekle açıklayacak olursak; hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) kendi kendine çok yavaş olarak su ve moleküler oksijene parçalanmaktadır. Bir mol  $H_2O_2$ 'nin kendiliğinden yıkımlanması için 18 kilokalori (kcal) enerjiye ihtiyaç vardır. Ortama katalizör olarak kolloidal platin ilave edildiği zaman aktivasyon enerjisi 11,7 kcal'e düşmektedir. Ortama katalaz gibi bir enzim ilave edildiğinde aktivasyon enerjisi 2

kcal'e düşmekte ve başlangıçta gerekli olan enerjiden dokuz kat daha az bir enerji ile reaksiyon başlamak-tadır. Sisteme enzim ilave edilmesi, ES (enzim-substrat) bileşiğinin oluşması ve daha düşük enerji gereksinimi ile ürün oluşmasını sağ-lamaktadır. Buraya kadar anlatılan kısmı özetleyecek olursak; enzimler kimyasal reaksiyonların aktivasyon enerjisini düşürerek reaksiyonların hızını artırmaktadır (Şekil 5.2).

Şekil 5.2

Enzimli ve Enzimsiz Reaksiyonların Aktivasyon Enerjisi Değişimleri



SIRA SİZDE



Enzimler bir reaksiyonun hızını nasıl artırır?

## ENZİMLERİN İSİMLENDİRİLMESİ VE SINIFLANDIRILMASI

Başlangıçta bulunan enzimler hangi maddeye etki ediyorsa ya da hangi maddeyi parçalıyorsa o kelimelerin sonuna -az eki getirilerek isimlendirilmiştir. Örneğin peptitleri parçalayanlara peptidazlar, lipitleri parçalayanlara lipazlar, üreye etki eden enzime üreaz gibi isimler verilmiştir. Ancak bulunan enzim sayısı arttıkça yapılan bu pratik isimlendirme karışıklıklara yol açmıştır. Daha düzenli ve anlaşılır bir isimlendirmeye gereksinim duyulmuştur.

Enzimler iki şekilde isimlendirilirler;

### Pratik ve Geleneksel İsimlendirme

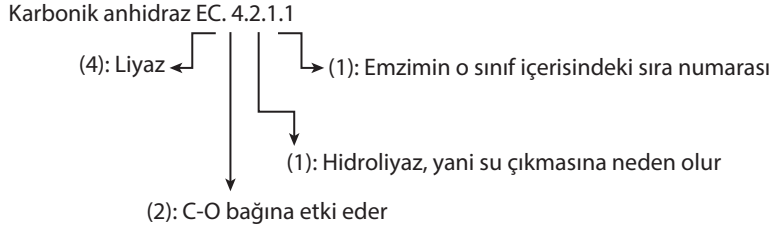
Günlük hayatta kullanılan isimlendirme şeklidir. Bu tip isimlendirme pratik olmasına rağmen bilimsel araştırmalar için yeterli değildir. Bunun yerine bilimsel çalışmalarda belli kurallara göre yapılan ve tüm dünyadaki araştırmacılar tarafından anlaşılabilen ve karışıklığa yol açmayan isimlendirme kullanılır. Pratik isimlendirmeye şu örnekleri verebiliriz; Oksidazlar, kinazlar, mutazlar, fosforilazlar.

### Sistematik İsimlendirme

Uluslararası Biyokimya Birliği bir enzim komisyonu kurmuş ve bu komisyon 1964 yılında sistematik bir isimlendirme ve sınıflandırma yapmıştır. Daha sonra sistem üzerinde bazı değişiklikler yaparak, enzimleri altı ana enzim sınıfına ayırmışlardır. Bu tür isimlendirme enzimin katalize ettiği reaksiyonun özelliklerini belirgin şekilde tanımlamaktadır. Enzim, kod numaraları noktalarla ayrılmış dört rakamdan oluşur. İlk rakam altı ana enzim grubundan hangisine dahil olduğunu, ikinci rakam etki ettiği kimyasal yapıyı veya bağını, üçüncü rakam alıcısı olarak ifade edilen akseptörünü yani ayrılan grubun neye bağlanarak ya da neyin yardımıyla taşındığını anlatır, dördüncü rakam ise belli bir sınıfın içerisinde o enzimin sıra numarasını belirtir.

Enzimlerin bu isimlendirilmelerine bazı örnekler verelim;

Enzim Komisyon Numarası	Pratik ismi	Sistematik ismi
EC. 1.1.1.27	Laktat dehidrojenaz	NAD <sup>+</sup> oksidoredüktaz
EC. 1.4.3.3	D-aminoasit oksidaz	Oksijen oksidoredüktaz
EC. 4.2.1.1	Karbonik anhidraz	Karbonat hidroliyaz



Enzimlerin altı ana grubu şöyledir;

1. Oksidoredüktazlar
2. Transferazlar
3. Hidrolazlar
4. Liyazlar
5. İzomerazlar
6. Ligazlardır

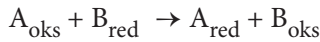
Enzimlerin bu numaraları ve isimleri yer değiştiremez, nasıl ismi Ali olan bir arkadaşımıza aynı harfleri içeren ama tersten sıralanmış şekilde İla diye seslendirmizde bize yanıt vermiyorsa, bir numara ile gösterilen enzim numarasının grubunu ligaz olarak söyleyemeyiz. Her zaman bu sıraya göre hangi grupta olduğunu bilmemiz gerekir. Ayrıca bu ana enzim grupları kendi içinde birçok alt gruplara (sub class) ayrılırlar. Alt gruplarda tekrar kendi içinde alt alt gruplar (sub-sub class) oluştururlar. Biz burada sadece basitleştirilmiş şekilde alt grupları inceleyeceğiz ve bunlara bazı örnekler vereceğiz.

**Enzimlerin isimlendirilmesi ve sınıflandırılması için Enzyme Nomenclature (Academic Press, London,1992) kitabından yararlanabilirsiniz.**

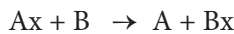


K İ T A P

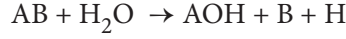
**1. Oksidoretüktazlar:** Oksidasyon redüksiyon reaksiyonlarının oluşumunu sağlayan enzimlerdir. Bu enzimler hidrojen veya oksijen atomlarını ya da elektronları bir substrattan diğerine aktarırlar. Örnek; laktat dehidrojenaz (LDH)



**2. Transferazlar:** Aldehit, keton, fosfat gibi fonksiyonel grupları taşıma görevi yapan enzim ana sınıfıdır. Örnek; aspartat aminotransferaz (AST), alanin aminotransferaz (ALT)



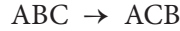
**3. Hidrolazlar:** Substratın çeşidine göre ester, eter, peptit gibi bağlar üzerine etki ederek, su aracılığı ile onları parçalayan enzimlerdir. Örnek; amilaz, üreaz, arjinaz



**4. Liyazlar:** Hidrolizden başka bir mekanizma ile organik moleküllerdeki grupların ayrılmasını sağlayan enzimlerdir. Örnek; aspartat amonyak liyaz, piruvat dekarboksilaz



**5. İzomerazlar:** Substratın izomerizasyonunu katalizlerler. Molekül içinde tekrar düzenlenmeyi sağlarlar. Örnek; glukoz fosfat izomeraz

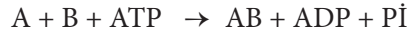


#### DİKKAT



**İzomerizasyonla ilgili bilgi için karbonhidratlar konusuna bakınız.**

**6. Ligazlar:** Daha büyük bir molekülü oluşturmak için iki metabolitin bağlanmasına neden olurlar. C–O, C–N veya C–C bağlarını kurarlar. Örnek; piruvat karboksilaz, glutamin sentetaz, DNA ligaz



## ENZİM AKTİVİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Enzimlerin aktivitesine etki eden çok fazla etken bulunmaktadır. Bunlardan önemli olan bazı faktörler sıcaklık, pH ve zamanın etkisi, enzim konsantrasyonu, substrat konsantrasyonu, reaksiyon ürünleri, çeşitli maddelerin ortamda bulunması olarak sıralanabilir.

### Sıcaklığın Etkisi

Her enzimin en iyi etki ettiği yani en iyi çalıştığı sıcaklık derecesi vardır. Buna o enzimin optimum sıcaklık derecesi denir. Bu derecenin üzerinde enzimler üç boyutlu yapılarını kaybederek denatüre olurlar ve reaksiyon hızı düşer. Hayvansal enzimlerin çoğunun optimum sıcaklığı 40-50 °C arasında iken, bitkisel kaynaklı enzimlerin genellikle 50-60 °C arasındadır. Enzimler yüksek sıcaklıklara çoğu zaman dayanamadıkları için, canlı dokulardan çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucu elde edilen enzimlerin, derin dondurucu gibi soğuk yerlerde saklanmak suretiyle belli süre için bozulmaları engellenir. Kimyasal reaksiyonların hızı sıcaklık arttıkça artar. Her 10 °C sıcaklık yükselmesinde hız iki kat artar ancak enzimin çalışmasına engel olacak kadar yükseldiğinde beklenenden farklı olarak reaksiyon hızı yavaşlar hatta durabilir, sıcaklığın etkisi ortadan kalktığında tekrar eski durumuna dönebilir. Fakat enzimin yapısını bozacak kadar sıcaklık uygulanmasından sonra enzim tekrar eski haline dönemez.

### pH'nın Etkisi

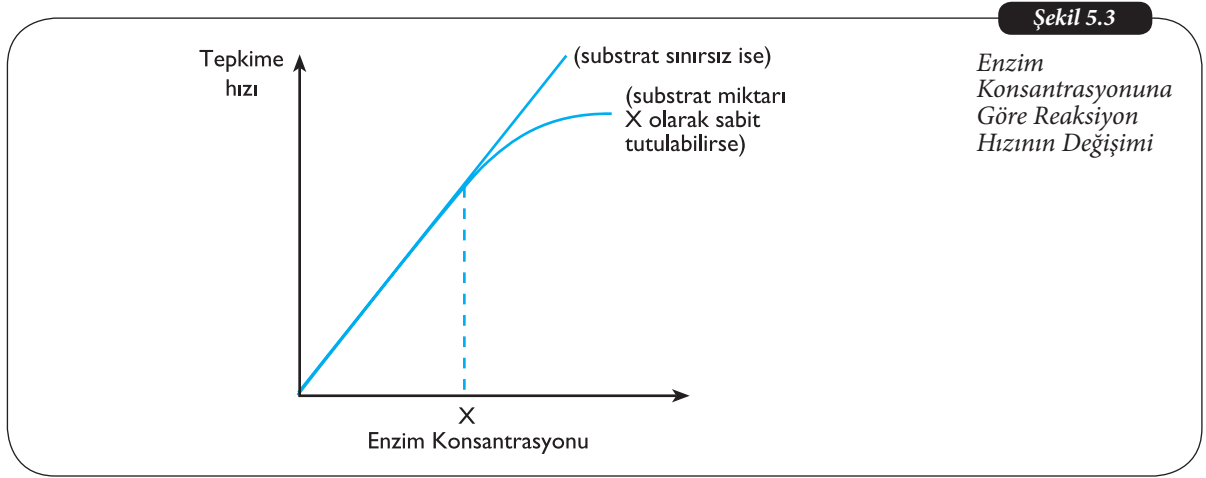
Enzimin en aktif olduğu pH derecesine o enzimin optimum pH değeri denir. Enzimler pH değişimlerine çok hassastır. Optimum pH değerlerinden daha düşük veya daha yüksek değerlerde reaksiyon hızı düşer ve değişik pH'lar enzimi denatüre edebilir. Enzimlerin çoğunun optimum pH'ları 5-7 değerleri arasındadır. Örneğin tripsin 7 pH'da en iyi çalışır, fakat midede bulunan pepsin gibi enzimler 1-2 gibi çok düşük pH'larda en iyi aktivite gösterirler.

## Zaman

Enzim ile katalize edilen reaksiyonun hızı zamanla azalır. Bunun sebebi reaksiyon ürünlerinin kendi aralarında birleşerek, zıt yönde bir reaksiyon meydana getirmeleridir. Başka bir deyişle enzimin zamanla inaktive olması veya substratın tükenmesidir. Bu nedenle enzimatik ölçümler substratın % 10'unun kullanıldığı başlangıç kısmında yapılır.

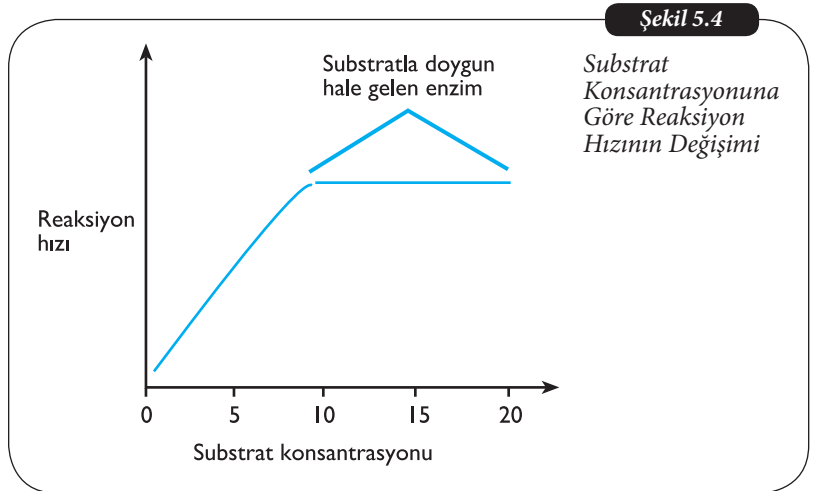
## Enzim Konsantrasyonu

Substrat konsantrasyonu sabit tutularak enzim konsantrasyonunun artırılması durumunda, reaksiyon hızı da orantılı olarak artar (Şekil 5.3) Çünkü her enzim birbirinden bağımsız olarak iş görür.



## Substrat Konsantrasyonu

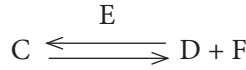
Sabit bir enzim konsantrasyonunda, enzimatik reaksiyonun hızı belirli bir noktaya kadar, substrat konsantrasyonu ile artar. Hız maksimuma ulaştığı zaman substrat konsantrasyonunun artması ile reaksiyon hızı değişmez (Şekil 5.4). Enzim substrat ile doymuştur. Substrat konsantrasyonu enzim miktarını aştığı zaman yeni substratlarla birleşebilmek için enzimlerin görevlerini tamamlayıp, reaksiyondan ayrılması ve tekrar yeni substratları katalize etmek için olaya katılması gerekir. Bu durumda hız sabit olarak devam eder.





## Reaksiyon Ürünleri

Bir enzim reaksiyonunun hızı zamana bağlı olarak reaksiyonda meydana gelen ürünlerin artmasından dolayı azalır. Enzim reaksiyonları genelde iki yönlü olarak çalışır.



Ürün oluştuğu zaman ortamdan çabuk bir şekilde uzaklaştırılmazsa oluşan bu ürünlerin bazıları substratla yapısal benzerliklerinden dolayı enzimle birleşerek onun yeni substratlara bağlanmasına engel olur.

## Çeşitli Maddelerin Ortamda Bulunması

Aktivatörler, inhibitörler, ısı, radyasyon v.b. etkenler enzim aktivitesini değiştirirler.

### Aktivatörler

Enzim reaksiyonlarının hızını artıran maddelere aktivatörler, aktivatörlerin etkisi ile enzim reaksiyonunun hızının artmasına aktivasyon denir. Aktivatörlere aynı zamanda akseleratörler veya hızlandırıcılarda denir. Bunlar başlıca metal iyonları olup, eser haldeki miktarları bazı enzimlerin aktivitesi için gereklidir.  $Ca^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $Mo^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  ve buna benzer metaller aktivatör olarak iş görür. Aktivatörler reaksiyonun hızını ya substratla birleşerek gösterirler veya serbest enzime bağlanarak etki ederler. Enerjice zengin trifosfatlardan olan ATP (adenozin trifosfat), UTP (uridin trifosfat), CTP (sitidin trifosfat) ile  $Mg^{+2}$  (magnezyum) ve  $Mn^{+2}$  (mangan) iyonlarının bağlanması, substrata bağlanarak etki edenlere örnek olarak gösterilebilir. Serbest enzime bağlanarak etki eden gruba örnek ise karbonik anhidraz enzimine Zn (çinko), karboksipeptidaz enzimine Co (kobalt) mineralinin bağlanmasıdır.

### İnhibitörler

Enzimatik reaksiyonun hızını azaltan veya tamamen durduran maddelere inhibitörler denir. İnhibitörler vasıtası ile enzimatik reaksiyonun hızının azalmasına veya durmasına da inhibisyon denir. Enzim inhibisyonu, enzim aktivitesini deneysel ve doğal olarak düzenleyen yollardan biridir. Çoğu tedavi edici ilaçlar spesifik bir enzimin inhibisyonu ile etkili olurlar. Vücutta enzim inhibisyonu ile kontrol edilen işlemlerin bazıları kanın pıhtılaşması (hemostazis), kan pıhtısının çözülmesi (fibrinolizis) ve **yangısal** reaksiyonlardır. Enzim inhibisyonları geriye dönüşümlü (reversible) ve geriye dönüşümsüz (irreversible) olarak ikiye ayrılır. Bunların da kendi içinde alt grupları vardır.

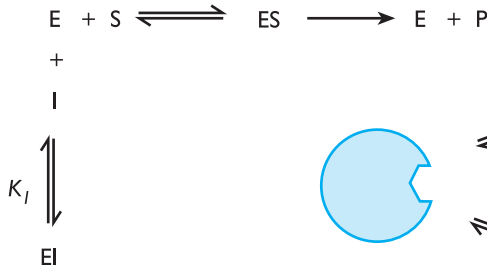
## Geriye Dönüşümlü (Reversibl) İnhibisyon

### Kompetitif İnhibisyon

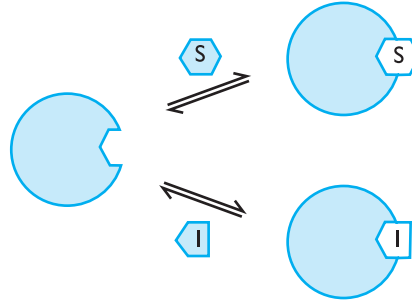
Kompetitif inhibisyonda inhibitör aktif yere bağlanmak için yarıştığı substrata yapısal olarak benzerlik gösterir. Kelime anlamı, yarışmalı inhibisyonudur. Substrat ile inhibitör enzime bağlanırken yarış halinde olduklarından dolayı böyle adlandırılır. Biri bağlandığında diğerinin bağlanmasına engel olur (Şekil 5.5). Kompetitif inhi-

bisyona örnek olarak endüstride yaygın şekilde kullanılan metil alkolün, insanlar tarafından kimi zaman yanlışlıkla etil alkol yerine tüketilmesi durumunda çok zararlı sonuçların ortaya çıkmasıdır. Metil alkol vücutta çok zararlı maddelere parçalanır. Bu zararlı maddelerin etkisini azaltabilmek için erken dönemde metil alkol ile zehirlenmiş bir canlıya etil alkol verilerek kompetitif inhibisyon oluşması sağlanır. Verilen etil alkol, metil alkolün alkol dehidrojenaz enzimine bağlanmasına engel olur. Ne kadar erken dönemde bu işlem yapılırsa, o kadar fazla başarı elde edilebilir. Bu tür olaylara sahte içki üretiminde kullanılan, metil alkolle meydana gelen zehirlenmelerde veya boya fabrikalarında beslenen güvenlik köpeklerinde boyalarla bulaşık gıda maddelerinin tüketimi sonucunda sıklıkla rastlanmaktadır. Ayrıca cam temizleme suyu ve benzeri kimyasal maddeleri içen küçük çocuklarda görülen bazı nadir olaylarda erken müdahale işlemlerinde yine etil alkol kullanılmaktadır.

Şekil 5.5



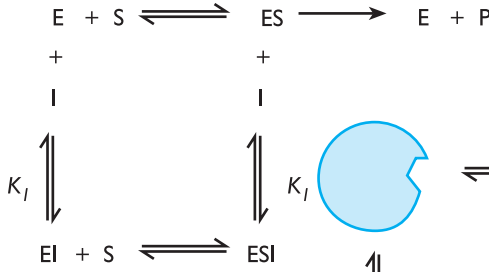
*Kompetitif  
İnhibisyonda  
Enzime Substrat  
ve İnhibitörün  
Bağlanması*



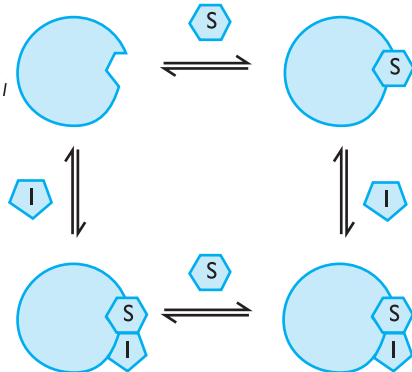
### Nonkompetitif İnhibisyon

Nonkompetitif inhibisyonunda inhibitör genellikle substrata yapısal olarak benzerlik taşımaz. Enzime substratın bağlandığı bölgeden farklı bir yerden bağlanır (Şekil 5.6). İnhibitörle substrat arasında enzime bağlanma bakımından yarışma mevcut değildir. Bu inhibisyon substrat konsantrasyonunun artışından etkilenmez. İnhibitör ya bir serbest enzime veya bir enzim-substrat kompleksine bağlanabilir. Her iki durumda da oluşan kompleks katalitik olarak inaktiftir. Örnek olarak kurşun zehirlenmesi (Pb) verilebilir ve bu durum hemoglobinin yapısını oluşturan hem sentezinde iki yerde inhibisyonla anemiye neden olur.

Şekil 5.6



*Nonkompetitif  
İnhibisyonda  
Enzime Substrat  
ve İnhibitörün  
Bağlanması*

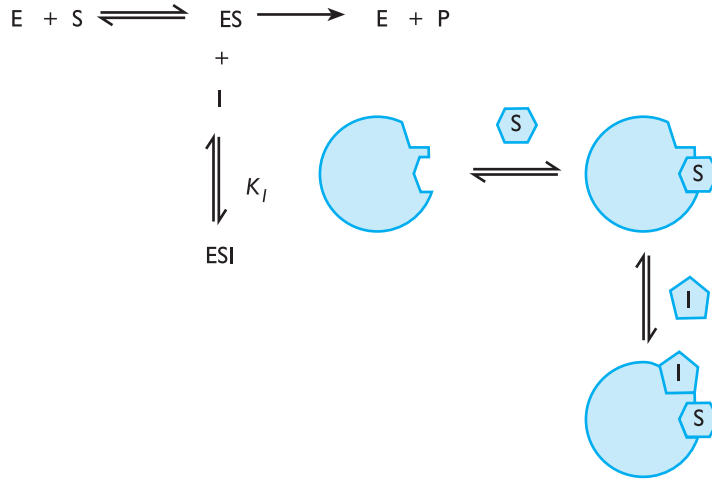


### Ankometitif İnhibisyon

Ankometitif inhibisyonunda, inhibitör sadece enzim-substrat kompleksine bağlanır ve ESİ kompleksi oluşur (Şekil 5.7). Reaksiyon gerçekleşmez. Ortama substrat ilave edilmesi inhibitörün bağlanma olasılığını artırabilir.

Şekil 5.7

Ankometitif İnhibisyonunda Enzime Substrat ve İnhibitörün Bağlanması



Geriye dönüşümlü inhibisyon çeşitlerinin farkları Tablo 5.1'de özetlenmiştir.

Tablo 5.1  
Geriye dönüşümlü (reversibl) inhibisyonlar arasındaki farklar

Kompetitif	Nonkompetitif	Ankometitif
Inhibitör substratın yapısal analogudur	Inhibitör substrata yapısal benzerlik taşımaz	Inhibitör sadece ES bileşiğine bağlanır
Inhibitör ile substrat arasında enzime bağlanma açısından yarışma söz konusudur, birisi bağlandığında diğeri bağlanamaz	Inhibitör ile substrat arasında enzime bağlanma yönünden yarışma yoktur, çünkü inhibitör substratın bağlandığı bölgeden farklı bir yerden enzime bağlanır	Ortama substrat ilave edilirse ES bileşiği fazla olur ve inhibitör bağlanma riski artar
Inhibitör sadece serbest enzime bağlanır	Inhibitör hem serbest enzime hemde ES bileşiğine bağlanabilir	
Ortama substrat ilave edilirse substratın bağlanma olasılığı artar	Inhibisyon substrat artışından etkilenmez	

İNTERNET



**İnhibisyon çeşitleri ile ilgili bilgi için [www.mustafaaltinisik.org.uk](http://www.mustafaaltinisik.org.uk) adresinden yararlanabilirsiniz.**

SIRA SİZDE



3

**Enzime bağlanma yönünden geri dönüşümlü (reversibl) inhibitörler arasında ne fark vardır?**

### Geriye Dönüşümsüz (İrreversibl) İnhibisyon

İnhibitör enzimin aktif yeri ya da yakınında reaksiyona girdiğinde ve enzime sıkıca bağlandığında meydana gelir. Fiziksel ayırma işlemleri enzimden inhibitörü uzaklaştırmada etkisizdir. İnhibitör uzaklaştırılsa bile enzimin yapısında meydana getirdiği kalıcı bozukluklardan dolayı tekrar eski haline dönemez. Bu nedenle geriye dö-

nüşümsüz olarak ifade edilir. Asetilkolinin asetat ve koline hidrolizini katalizleyen asetilkolin esteraz enziminin inaktivasyonu geriye dönüşümsüz inhibisyona güzel bir örnektir. Asetilkolin nörotransmitter bir maddedir, yani iki nöron arasında ya da bir nöronla kas iplikçığı arasında sinirsel uyarıların iletimini sağlar. Nöron ucuna bir sinir uyarısı geldiğinde buradan asetilkolin maddesi serbest bırakılır, bu madde uyarıyı ya sinir iplikçığı boyunca iletir ya da bir kasın kasılmasına öncülük eder. Görevini tamamlayınca asetilkolin esteraz enzimi tarafından hızla parçalanır. Ancak diizopropil fosforidat (DPF) gibi kimyasal bir madde asetilkolini parçalayan asetilkolin esteraz enzimini inhibe ederse, sinirsel uyarı sürekli devam eder. Bu durum felç oluşumuna yol açar. DPF insektisitler ve sinir gazlarının temel bileşenidir. Bu madde ikinci dünya savaşında sinir gazı olarak kullanılmış ve solunum kaslarında felç oluşumu sonucu birçok insan hayatını kaybetmiştir.

**Felç:** Kas ya da sinirlerin fonksiyon yapamamasından ileri gelen hareket azalması ya da tamamen hareketsizlik durumu.

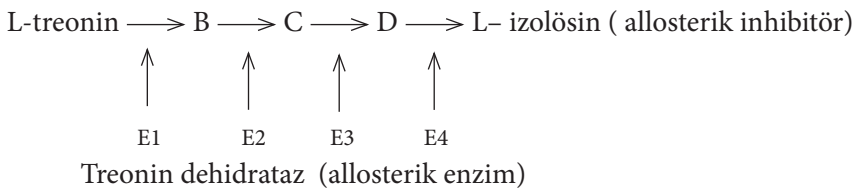
## ALLOSTERİK ENZİMLER, İZOENZİMLER VE KOENZİMLER

### Allosterik Enzimler

Metabolizmada bazı çoklu enzim sistemlerinin çalışmasında, son ürünün miktarı hücre gereksinimini aştığında, metabolik yolun son ürünü tarafından veya dışarıdan başka bir madde tarafından bu enzim sisteminin düzenleyici enzimi inhibe edilir. Düzenleyici enzime ait reaksiyon yavaşladığında, bütün ardışık enzimler de substratları azaldığı için düşük hızlarda çalışırlar. Böylece metabolik yoldaki son ürününün üretim hızı hücrenin gereksinimiyle dengeye gelir. Bu şekilde üzerinde yer aldıkları bir metabolik geçidin düzenli çalışmasını sağlayan ve o metabolik geçit ile ilgili son ürün veya başka bir molekül tarafından aktiviteleri kontrol edilen enzimlere allosterik enzimler denir. Allosterik enzimler sayesinde metabolik yolların çalışmasının düzenlenmesi olayına feed-back inhibisyon, başa tepki, son ürün inhibisyonu, geri itilim gibi isimler verilmektedir. Allosterik enzimlerce katalize edilen reaksiyonların hızını düzenleyen maddelere **effektörler** veya **modülatörler** denir. Allosterik enzime bağlanmak suretiyle reaksiyonu yavaşlatan veya durduran maddelere negatif effektör veya modülatör, reaksiyonu hızlandıran maddelere ise pozitif effektör veya modülatör denir. Negatif effektörün bağlanması ile reaksiyon hızının azalması veya durması allosterik inhibisyon olarak isimlendirilir. Benzer şekilde pozitif effektörün bağlanması ile reaksiyon hızının artması ise allosterik aktivasyon olarak adlandırılır. Allosterik effektör substratın kendisi ise homotropik effektör, substrattan başka bir madde ise heterotropik effektör denir. Bazı enzimler birçok allosterik bölgeye sahiptir ve bunların bir kısmı pozitif bir kısmı da negatif effektörler içindir.

**Effektör:** Allosterik enzimlere etki eden maddelere effektör veya modülatör denir.

Allosterik inhibisyonun keşfedilen ilk örneklerinden biri, beş basamakta L-treoninin, L-izolösine dönüşümünü katalizleyen bakteriyel enzim sistemidir. Bu sistemde ilk enzim treonin dehidrataz, son ürün izolösün tarafından inhibe edilir. Bu sistemdeki başka bir ara ürün treonin dehidratazı inhibe edemez. İzolösün enzim molekülünde aktif yerin dışında bir yere geri dönüşümlü olarak bağlanır. Ürün oluşumunu durdurur. Hücrenin izolösine gereksinimi olduğunda tekrar eski haline dönerek, çalışmaya devam eder.

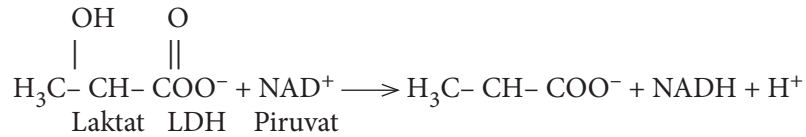


**İzoenzimler:** Kimyasal yapıları farklı, katalizledikleri reaksiyon aynı olan enzimlere izoenzimler denir.

## İzoenzimler

Birden fazla molekül şeklinde bulunan enzimlere **izoenzimler** denir. Aynı kimyasal reaksiyonu katalize ettikleri halde kinetik özellikleri, aminoasit bileşimleri ve hatta dizeleri bakımından farklılık gösterirler. Aynı zamanda izoenzimlerin fiziksel, kimyasal ve immunolojik özellikleri bakımından belirgin farklar vardır.

Laktat dehidrojenaz (LDH) laktatın piruvata dönüşümünü katalizleyen beş izoenzime sahip bir enzimdir.



Laktat dehidrojenaz izoenzimleri kuarterner yapı düzeyinde birbirinden farklılıklar gösterirler. Aktif molekül H ve M tipli polipeptit zincirlerinin dört monomerinden oluşur. Bu monomerler beş farklı şekilde birbiriyle birleşerek beş izoenzimi oluştururlar. Eğer bir reaksiyon hücrenin hem sitozolünde hem de mitokondrisinde meydana geliyorsa, genellikle farklı izoenzimler tarafından katalize edilir.

LDH izoenzimleri	İzoenzimde Yer Alan Monomerler
LDH <sub>1</sub>	HHHH
LDH <sub>2</sub>	HHHM
LDH <sub>3</sub>	HHMM
LDH <sub>4</sub>	HMMM
LDH <sub>5</sub>	MMMM

SIRA SİZDE



### Allosterik enzimi nasıl tanımlarsınız?

## Koenzimler

Çoğu enzimlerin aktivite gösterebilmesi için protein yapısında olmayan organik maddelere ihtiyaç duyduğunu ve bunların koenzim olarak isimlendirildiğini konunun başlarında belirtmiştik. Koenzimler enzime sıkı bir şekilde bağlanmışsa, buna da prostetik grup adı veriliyordu. Burada önemli bazı koenzim grupları ve bunların basitçe görevleri hakkında bilgiler yer alacaktır.

Koenzimler, genellikle bir atom veya atom grubu için alıcı (akseptör) veya verici (donör) rolü üstlenerek, bu grupları küçük substrat moleküllerinden alarak veya ilave ederek, grup transferinde, izomerizasyon reaksiyonlarında, oksidasyon redüksiyon olaylarının gerçekleşmesinde rol oynarlar.

Koenzimler başlıca üç grupta toplanabilir;

### Enerjice Zengin Trifosfatlar

Bunlara daha çok endotermik metabolizma reaksiyonlarında ihtiyaç duyulur.

- ATP (Adenozin trifosfat):** ATP'nin fosfat grubu bir substrata aktarılarak ADP (Adenozin difosfat) ve fosforile substrat oluşur. İki fosfat grubu da substrata aktarılırsa, AMP (Adenozin monofosfat) ve pirofosfat oluşur.



- b. UTP (Uridin trifosfat)
- c. CTP (Sitidin trifosfat)
- d. GTP (Güanozin trifosfat)

### Grup Nakleden Koenzimler

- a. Pridoksal Fosfat: Aminoasitlerin transaminasyon ve dekarboksilasyon reaksiyonlarında görev yapar,
- b. Tiyamin Pirofosfat: Alfa-ketoasit dekarboksilazların aktif merkezini oluşturur,
- c. Koenzim A (CoA): Asetil gruplarının taşınmasında görev yapar,
- d. Tetrahidrofolik Asit (Fol H<sub>4</sub>): Metanol, formaldehit gibi bir karbonlu birimlerin metabolizmasında rol oynar,
- e. Biotin: Karboksil gruplarının taşınmasında görevi vardır,
- f. Kobalamin (B<sub>12</sub> vitamini): Metil malonil CoA'nın süksinil CoA'ya dönüşümünde gereklidir,
- g. Lipoik asit: Açıl gruplarının taşınmasında görev yapar.

Vitaminlerin koenzim görevleri için kitabın Vitaminler ünitesine bakınız.



DİKKAT

### C, H, O ve Elektron Taşıyan Koenzimler

- a. NAD (Nikotinamid adenin dinükleotid) ve NADP (Nikotinamid adenin dinükleotid fosfat): Altı ana enzim grubundan olan oksidoredüktazların koenzimidirler,
- b. FAD (Flavin adenin dinükleotid) ve FMN (Flavin mono nükleotid): Oksidoredüksiyon reaksiyonlarının büyük bir kısmını katalize ederler,
- c. Koenzim Q (Ubikinon): Biyolojik oksidasyon sisteminde elektron taşınmasında yer alır,
- d. Demirli porfirinler: O<sub>2</sub> ve elektron taşıyan enzimlerin prostetik grubudur,
- e. Koenzim olarak Cu: Askorbik asit oksidaz, ürikaz, tirozinaz ve benzeri enzimlerin prostetik grubudur.

## Özet



### Enzim terminolojisini açıklamak.

Canlının yaşamının devamı ve metabolizma olaylarının düzenli bir şekilde çalışması için enzimler olmazsa olmaz maddelerden birisidir. Enzim konusunu anlayabilmek için enzimlerle ilgili bazı kavramları iyi bilmek gerekir. Bunlar; katalizör, substrat, kinaz, proenzim, holoenzim, ko-faktör, koenzim, prostetik grup ve benzeridir. Bir reaksiyonu hızlandıran fakat kendisi reaksiyondan değişmeden çıkan maddelere katalizör, canlı hücreler tarafından sentezlenen, etki yapabilmesi için hücreye gereksinim duymayan, ısıya dayanıksız, protein tabiatında, biyolojik katalizörlere de enzim denir. Enzimin protein yapısındaki kısmına apoenzim denir. Bazı enzimler sadece protein yapısındadır ve bu enzimlerin aktivitesi için başka bir gruba ihtiyacı yoktur. Bazı enzimlerin ise katalitik etki gösterebilmesi için metal iyonu ya da protein olmayan organik bir bileşiğe veya her ikisine de ihtiyacı vardır. Yardımcı bu iyon ve bileşiklere genel olarak kofaktör denir. Organik bileşikler enzimin protein kısmı ile oldukça sıkı birleşmiş kolay ayrılmıyorsa, prostetik grup, pek sıkı birleşmemiş, kolay ayrılabilirse koenzim adını alır. Koenzim ve apoenzimden meydana gelen tam bir enzime de holoenzim denir. Enzimin hücre içinde inaktif durumda olan haline proenzim veya zimojen ismi verilirken, inaktif enzimi aktif enzim haline getiren maddeler kinaz olarak adlandırılır. Enzimin etki ettiği maddeye substrat, bu etki sonucunda meydana gelen madde veya maddeler de ürün olarak isimlendirilir.



### Enzim reaksiyonlarının mekanizması ve etki biçimini tanımlamak.

Enzimlerin hem in vivo hem in vitro etki gösterebilmesi için öncelikle kendisi için özel olan substratı ile bağ yapması gerekir. Enzimin substratına bağlanma mekanizmasını açıklayan iki hipotez vardır. Bunlar anahtar kilit modeli ve uyarılmış uyum modelidir. Aynı zamanda enzimlerin etkisini göstermesi için yardımcı gruplara gereksinimi varsa, bunların da ortamda bulunması kaçınılmazdır. Reaksiyonun başlayabilmesi için ortamda enerji gereksiniminin de giderilmesi lazımdır. Zaten enzimler reaksiyonun başlaması için gerekli bu aktivasyon enerjisini düşürerek reaksiyonların daha hızlı çalışması-

nı sağlarlar. Enzimle substrat birbirine bağlandığında önce enzim-substrat bileşiği meydana gelir. Daha sonra bu bileşik enzimatik reaksiyon sonucunda oluşan madde olarak tanımlanan ürüne dönüşür. Oluşan ürün kullanılmak üzere serbest kalır. Görevini tamamlayan enzim ise yeni bir reaksiyon için tekrar substratı ile birleşir. Enzimler bir reaksiyonda birden fazla substratla bağlanabildiği gibi, reaksiyon sonucunda bir veya birden fazla ürün oluşabilir.



### Enzimlerin isimlendirme sistematüğini ve önemini söylemek.

Yapılan çalışmalar sonucunda bulunan enzimler önceleri hangi maddeye etki ediyorsa ya da hangi maddeyi parçalıyorsa, onun adının sonuna -az eki getirilerek isimlendirilmeye başlanmıştır. Ancak bulunan enzimlerin sayısı arttığında, bazı karışıklıkların ortaya çıkmasıyla, Ulusal Biyokimya Birliği tarafından enzimler için özel bir adlandırma sistemi uygulanmaya başlanmış ve yanlış anlaşılmalara son verilmiştir. Bu sistematik isimlendirmede her enzim dört rakam ile ifade edilmektedir.



### Enzim aktivitesine etki eden faktörleri sıralamak.

Enzimlerin çalışma mekanizmasına etki eden çok fazla faktör sıralanabilir. Bunlardan bazıları sıcaklık, pH, zaman, substrat konsantrasyonu, enzim konsantrasyonu, reaksiyon ürünleri, inhibitörler ve aktivatörlerdir. Herbir etkenin kendine özgü özellikleri ve önemi vardır.



### Enzim inhibitörleri ve allosterik enzimleri tanımlamak.

Enzimatik reaksiyonlar çeşitli maddelerin ortama katılması ile hızlanabilir veya yavaşlayabilirler. Bu maddelerin etkisi kısa bir süre için, yani madde ortamdan uzaklaşınca kadar devam edebildiği gibi, madde veya maddelerin ortamdan uzaklaşmasından sonra da devam edebilir. Başka bir deyişle geri dönüşümü olan veya geri dönüşümü olmayan olaylar meydana gelebilir. Ayrıca metabolik bir geçitte yer alan ve ard arda reaksiyonlarda görev yapan enzimlerin etkisiyle meydana gelen bir ürün veya dışarıdan bir madde bu metabolik yolun çalışmasını, bu yol üzerinde görev yapan enzimlere etki ederek düzenleyebilir.

## Kendimizi Sınayalım

1. Aşağıdakilerden hangisi enzimlerin özelliklerinden biri **değildir**?
  - a. Canlı hücrelerde sentezlenirler.
  - b. Isıya dayanıklıdır.
  - c. İn vitro ortamda etki gösterebilirler.
  - d. Anorganik katalizörlerden farklıdır.
  - e. Protein yapısına sahiptirler.
2. Hangi enzimde apoenzim holoenzime eşittir?
  - a. Katalaz
  - b. Sitokrom oksidaz
  - c. Tirozinaz
  - d. Askorbik asit oksidaz
  - e. Tripsin
3. Ligazlar ana enzim grubuna ait bir enzimin E.C. numarası hangi rakamla başlar?
  - a. 1
  - b. 3
  - c. 4
  - d. 5
  - e. 6
4. E.C. 3.2.1.1 olan enzim, hangi ana enzim grubuna aittir?
  - a. Liyaz
  - b. Ligaz
  - c. Hidrolaz
  - d. Transferaz
  - e. İzomeraz
5. İnaktif enzimi aktif enzim haline çeviren maddele-  
re ne ad verilir?
  - a. Proenzim
  - b. Kinaz
  - c. Holoenzim
  - d. Apoenzim
  - e. Zimojen
6. Aşağıdakilerden hangisinde inhibitör sadece ES bi-  
leşimine bağlanır?
  - a. İrreversibl
  - b. Nonkompetitif
  - c. Ankompetitif
  - d. Kompetitif
  - e. Hiçbiri
7. Metil alkolün etkisini azaltmak için etil alkolün  
kullanılması hangi inhibisyona örnektir?
  - a. Kompetitif
  - b. Nonkompetitif
  - c. Ankompetitif
  - d. İrreversibl
  - e. Hiçbiri
8. Laktat dehidrojenaz enziminin kaç izoenzimi vardır?
  - a. 3
  - b. 2
  - c. 4
  - d. 5
  - e. Hiç yok
9. Hangisi enerjice zengin trifosfatlardan biridir?
  - a. Biotin
  - b. Lipoik asit
  - c. CoA
  - d. GTP
  - e. B12 vitamini
10. Grup nakleden koenzimlerden hangisi asetil grup-  
larının taşınmasında görev yapar?
  - a. Biotin
  - b. Kobalamin
  - c. Lipoik asit
  - d. Tiyamin pirofosfat
  - e. Koenzim A



## Okuma Parçası

### Enzimlerin Klinik Tedavi ve Endüstri Alanlarında Kullanılması

Çoğu enzimler hayat olaylarını düzenlediklerinden bunların aktivitelerindeki artış ve azalışlar, normal fonksiyon bozulmalarına ve hastalıklara neden olmaktadır. Bu nedenle vücut sıvılarında, kanda ve idrarda bulunan enzimlerin aktivasyonu bazı hastalıkların teşhisine olanak sağlamaktadır. Bazıları ise tedavi edici amaçla kullanılabilir. Enfekte yaralar, yanıklar veya lezyonlar iltihaplı maddeler içerirler. Fibrinolizin, deoksiribonükleaz enzimi bu iltihapları sindirir. Kimotripsin A katarakt ameliyatlarında bölgesel olarak zonula ipliklerini yok etmede kullanılır. Bundan başka tripsin kan pıhtılarının proteolizinde, hiyaluronidaz travmadan sonra biriken doku sıvılarının dağıtılmasında kullanılır. Lizozim yumurta akında, tükürükte, burun salgısında ve lökositlerde bulunan bir globulindir. Mikroorganizmalarda da bulunur. Mikroplarda bulunan mukopolisakkaritleri parçalayarak onlar üzerine öldürücü etki yaparlar.

Sağlık yönünden bu kullanımlarının yanında son yıllarda biyoteknoloji alanında gelişmelerle elde edilen enzimlerin kullanımının en fazla olduğu alan gıda endüstrisidir. Proteazlar ve amilazlar bu alanda en çok kullanılan enzimlerdir. Bitkisel bir protein olan ve papaya bitkisinden elde edilen papain et yumuşatıcısı olarak uygulanmaktadır. Ayrıca gıda endüstrisinde pastörizasyon ve sterilizasyonun istenilen şartlarda uygulanıp uygulanmadığını ortaya koymak için yine enzimlerden faydalanılmaktadır. Uygun bir pastörizasyon yapılmışsa, alkali fosfataz enzimi aktivitesini kaybetmektedir. Yine enzim kullanımının en fazla olduğu bir başka alan da deterjan endüstrisidir. Deterjanlar kullanılacakları alana göre bileşimi değişen kompleks karışımlardır. Bazı deterjanlar alkali koşullarda aktivite gösteren alkali proteaz enzimlerini içerirler, bazı deterjanların yapımında da amilaz ve lipazlar kullanılmaktadır. Bu enzimlerin etkisi ile özellikle protein, yağ ve nişastanın tesiriyle oluşan kirlilikler giderilmeye çalışılmaktadır. Deri ve tekstil endüstrisinde ise deriden yünün kolay ayrılması için bakteriyel proteazlar kullanılmaktadır. Ayrıca çeşitli selülozlu atıkların karbon kaynağı olarak kullanılmasında, kalitesiz yağlardan daha kaliteli yağların elde edilmesinde enzimlerden yararlanılmaktadır. Yapılan pek çok araştırma sonucunda enzimlerin kullanım alanları giderek artmaktadır.

## Kendimizi Sınavalım Yanıt Anahtarı

- |       |   |
|-------|---|
| 1. b  | Yanıtınız yanlış ise, “Enzimler ve Özellikleri” konusunu yeniden gözden geçiriniz.                                |
| 2. e  | Yanıtınız yanlış ise, “Enzimler ve Özellikleri” konusunu yeniden gözden geçiriniz.                                |
| 3. e  | Yanıtınız yanlış ise, “Enzimlerin İsimlendirilmesi ve Sınıflandırılması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.       |
| 4. c  | Yanıtınız yanlış ise, “Enzimlerin İsimlendirilmesi ve Sınıflandırılması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.       |
| 5. b  | Yanıtınız yanlış ise, “Enzimler ve Özellikleri” konusunu yeniden gözden geçiriniz.                                |
| 6. c  | Yanıtınız yanlış ise, “Enzim Aktivitesine Etki Eden Faktörlerden İnhibitörler” konusunu yeniden gözden geçiriniz. |
| 7. a  | Yanıtınız yanlış ise, “Enzim Aktivitesine Etki Eden Faktörlerden İnhibitörler” konusunu yeniden gözden geçiriniz. |
| 8. c  | Yanıtınız yanlış ise, “Allosterik Enzimler ve İzoenzimler” konusunu yeniden gözden geçiriniz.                     |
| 9. d  | Yanıtınız yanlış ise, “Koenzimler” konusunu yeniden gözden geçiriniz.   |
| 10. e | Yanıtınız yanlış ise, “Koenzimler” konusunu yeniden gözden geçiriniz.   |

## Sıra Sizde Yanıt Anahtarı

### Sıra Sizde 1

Enzimler katalizör olarak nitelendirilseler de bazı yönleri ile anorganik katalizörlerden ayrılırlar. Anorganik katalizörler çok çeşitli reaksiyonları katalize ettikleri halde, enzimler ancak kendileri için özel (spesifik) olan belirli maddeler üzerine etki gösterirler. Anorganik katalizörler katalize ettikleri reaksiyon tarafından değiştirilmezler ve reaksiyon sonunda miktar olarak yeniden elde edilirler, enzimler ise aktiviteleri sırasında az çok tahrip olurlar, bu nedenle vücutta devamlı sentez edilmeleri gerekir.

### Sıra Sizde 2

Reaksiyon sistemine enzim ilave edilmesi, ES bileşiğinin oluşması ve daha düşük enerji gereksinimi ile ürün oluşmasını sağlamaktadır. Daha çok substrat aktivasyon enerjisi engelini aşacak, reaksiyonun hızı artacak ve birim zamanda oluşan ürün oluşumu fazlalaştacaktır. Serbest kalan enzim ortamdaki diğer substratlara bağlanacak, onların da aktivasyon enerjilerini düşürecek ve ürüne dönüşümü hızlandıracaktır. Yani enzimler kimyasal reaksiyonların aktivasyon enerjisini düşürerek reaksiyonların hızını artırmaktadır.

### Sıra Sizde 3

Kompetitif inhibisyonda inhibitör sadece serbest enzime bağlanır, nonkompetitif inhibisyonda inhibitör hem serbest enzime hem de ES bileşiğine bağlanır ve ankompetitif inhibisyonda ise inhibitör sadece ES bileşiğine bağlanır.

### Sıra Sizde 4

Üzerinde yer aldıkları bir metabolik geçidin düzenli çalışmasını sağlayan ve o metabolik geçit ile ilgili son ürün veya başka bir molekül tarafından aktiviteleri kontrol edilen enzimler allosterik enzimler olarak tanımlanır.

## Yararlanılan Kaynaklar

- Bayşu Sözbilir, N., Bayşu, N. (2008). **Biyokimya**. Güneş Tıp Kitabevleri, Ankara.
- Kalaycıoğlu, L., Serpek, B., Nizamlıoğlu, M., Başpınar, N., Tiftik, A.M. (2000). **Biyokimya**. Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayınevi Ünitesi, Konya.
- Nelson, D.L., Cox, M.M.(2005). Çeviri Editörü: Nedret Kılıç, **Leninger Biyokimyanın İlkeleri**, Palme Yayınevi, Ankara.
- Tanju, A. (1996). **Tablolarla Biyokimya 2**. Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul.
- Voet, D., Voet, J.G. (2010). **Biochemistry**. Fourth Edition, Wiley International Edition, USA.