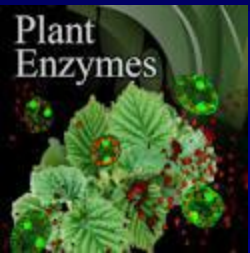
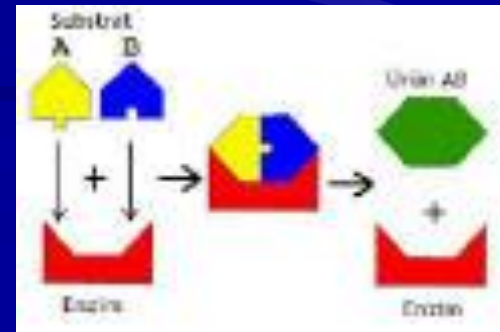


# BÖLÜM 2

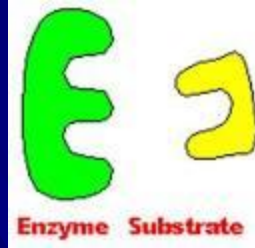
## ENZİMLER VE İŞLEVLERİ

### ENZİM NEDİR?

Enzim; yaşayan organizmalarda oluşan çözünbilir-kolloidal-organik katalizördür.



## Katalizörlerin ve Enzimlerin Bazı Özellikleri



Katalizör; yapısında bir değişme ve parçalanma olmaksızın kimyasal tepkimelerin hızı üzerine etki yapan bileşiktir.

Katalizörlerin tepkimeler üzerine etkisi olumlu veya olumsuz olabilir.

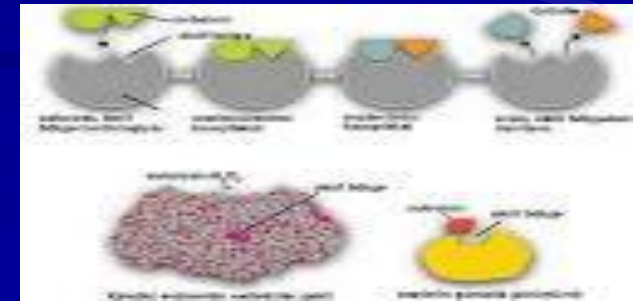
Katalizörler yalnızca belirli ve tek bir kimyasal tepkime üzerine etki yaparlar ve az miktarları tepkime üzerine etkili olsa da miktarları ile tepkime hızı arasında bir ilişki vardır.

Katalizörler tepkimenin sonunda başlangıçtaki miktarları kadar ortamda kalırlar.



Enzimler ise büyük oranda katalizörlerin özelliklerini gösterdiklerinden, günümüzde “Yaşayan Hücrelerde Oluşan Organik Katalizörler” olarak ifade edilmektedir.

Enzimler de belirli ve özel bir tepkime üzerine etkilidirler ve olağanüstü az miktarları bile tepkimeleri etkileyebilir.



ENZİMLER İLE

KATALİZÖRLER ARASINDAKİ

FARKLILIKLAR NELERDİR?

## Enzimler ile Katalizörler Arasındaki Temel Ayrımlar

- Tepkime anında enzimlerin bir kısmı etkin olmayan (inaktif) duruma geçebilir veya parçalanabilir, katalizörlerin tepkimenin başlangıcındaki ve sonundaki miktarı aynıdır, değişmez
- Tepkimenin hızı her zaman ortamda bulunan enzim miktarı ile ilgili olmamasına karşın, katalizörlerde tepkime hızı ile miktar arasında yakın bir ilişki vardır.



## Enzimlerin İsimlendirilmesi

Genelde enzimler iki şekilde isimlendirilmektedir.

1. Etki yaptıkları maddenin sonuna “as” eki getirilerek...

Örnek; Selülozu parçalayan **Selülas**, Lipoid veya Lipidi parçalayan **Lipas**, Proteini parçalayan **Proteinas** vb.

2. Yaptıkları işe göre .....

Örnek; Hidrojenin taşınmasını sağlayan enzim **Dehidrigenas** vb.

# Enzimlerin Sınıflandırılması

Uluslararası Biyokimya Birliği (UBB)'ne göre enzimler 6 ANA SINIFA ayrılmıştır.

Bu sınıflar içinde de gruplar ve alt gruplar bulunmaktadır.

Bu sınıflamaya göre; ANA SINIFIN KARAKTERİSTİĞİNİ enzim tarafından katalize edilen KİMYASAL TEPKİME oluşturmaktadır (Örneğin; Transferas, İzomeras vb.)

GRUP ve ALT GRUPLAR ise tepkimenin oluşması için gereksinim duyulan bazı ÖZEL KİMYASAL MADDELERE göre saptanır.

bu kadar fazla olan enzimler üzerinde doğru bilgi sahibi olabilmek için bunların sistematik şekilde sınıflandırılmalarına gereksinme vardır. **Uluslararası Biyokimya Birliği 1961 yılında enzimlerin sınıflandırılması için çoğunlukla kabul görmüş bulunan bir düzenleme önermiştir.**

Çizelge 2.1. Enzimlerin sınıflandırılması

Ana sınıf	Grup	Alt grup
Oksidoredüktas	Alkol	NAD Sitokrom O <sub>2</sub>
	Aldehid Amino bileşiği	
Transferas	Fosforil bileşiği	Alkol (şeker) Amino bileşiği Karboksil bileşiği
	Alkil bileşiği Glukozil bileşiği	
Hidrolas	Ester bağı	Karboksilester Fosfatester
	Glikozit bağı Peptid bağı	
Liyas	C-C bağı	Karboksil grubu Aldehid grubu
	C-O bağı C-N bağı	
İzomeras	Intramoleküler Oksidoredüksiyon	Aldoz → Ketoz Enol bileşiği → Keto bileşiği
	Intramoleküller grup aktarılması cins-trans izomerasyonu	
Ligas	C-N bağı	Asit+NH <sub>3</sub> Asit+Amino asidi
	C-S bağı C-O bağı C-C bağı	

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 sınıflandırılmasında **ana sınıfın karakteristiği enzim tarafından katalize edilen kimyasal tepkime oluşturmaktadır.** Örneğin oksidoredüktas, hidrolas, transferas, izomeras vb gibi ana sınıfların karakteristiğini enzimin etkilediği maddenin (substratın) yapısı oluşturur. Grup ve alt gruplar ise tepkimelerin oluşması için gereksinme duyulan özel kimyasal maddelere göre saptanır. 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 enzimi karakterize etmek (tanımlama) için;

Etki yapılan madde + alıcı molekül + Tepkimenin tipi

Glutamin asidi

Prüvik asit

Amino transferas

ATP

glikofosfo

transferas

(ATP'den fosforun glikoza aktarılması)

# ENZİMLER NASIL ETKİLİ OLURLAR?

# Enzimlerin Etki Mekanizması

Bir enzimin yer aldığı tepkimedede etki yapılan madde-bileşik-molekül parçalanmadan veya değişikliğe uğratılmadan önce bir **ARA BİLEŞİK (E + M)** oluşmaktadır

Tepkimenin gerçekleşmesi anında enzimler **AKTİF YÖRELERİYLE** etkili olmaktadır.

Bu aktif yöreye **İNHİBİTÖR** (Engelleyici) bir madde veya bileşik yerleştiğinde **SON ÜRÜN OLUŞAMAMAKTA** ve bu sayede **ENZİMİN ETKİNLİĞİ** engellenmiş olmaktadır.



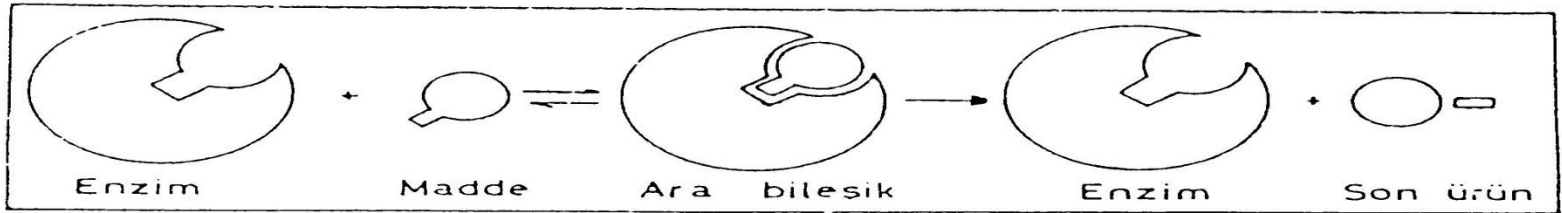
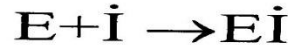
bir amino grubunu pirüvik aside aktaran enzim “*Glutamin asidi pirüvik asit aminotranferas*” şeklinde adlandırılır. Hidrolaslarda önce madde adı söylenir ve buna “hidrolas” sözcüğü eklenir. Örneğin “Sakkaroz-hidrolas” (Sakkaras) enzimi şeklinde ifade edilir.

#### 2.4. ENZİMLERİN ETKİ MEKANİZMASI

Enzimlerin etki mekanizması henüz açık olarak bilinmemektedir. Ancak yaygın bir şekilde kabul edildiğine göre enzim etkinliği sonucu madde parçalanıp son ürünler oluşmadan önce enzim ile madde aşağıda formüle edildiği şekilde bir ara bileşiği oluşturmaktadır.



Enzimler üzerinde etkin yörelerin bulunduğu kabul edilmektedir. Madde parçalanmadan önce madde kendi büyüklüğüne uyan enzimin etkin yöresine girerek yerleşmekte ve bir ara bileşiği oluşturmaktadır (Şekil 2.1). Daha sonra şekilde de gösterildiği gibi madde parçalanmaktadır. Enzim ile maddenin yukarıda açıklandığı şekilde birleşmesi önleyicilerin (inhibitörlerin) enzim üzerindeki etkileriyle dolaylı olarak da kanıtlanmıştır. Enzimin etkinlik göstereceği maddeye özdeş yapı gösteren önleyiciler, enzimin etkin yöresine madde gibi girerek yukarıda açıklandığı gibi bir ara bileşiği oluşturmaktadır. Ancak böyle geriye dönüşü olmayan tepkime sonucu enzim etkinliğini yitirmekte ve aşağıda formüle edildiği gibi tepkimenin son ürünleri oluşmamaktadır.

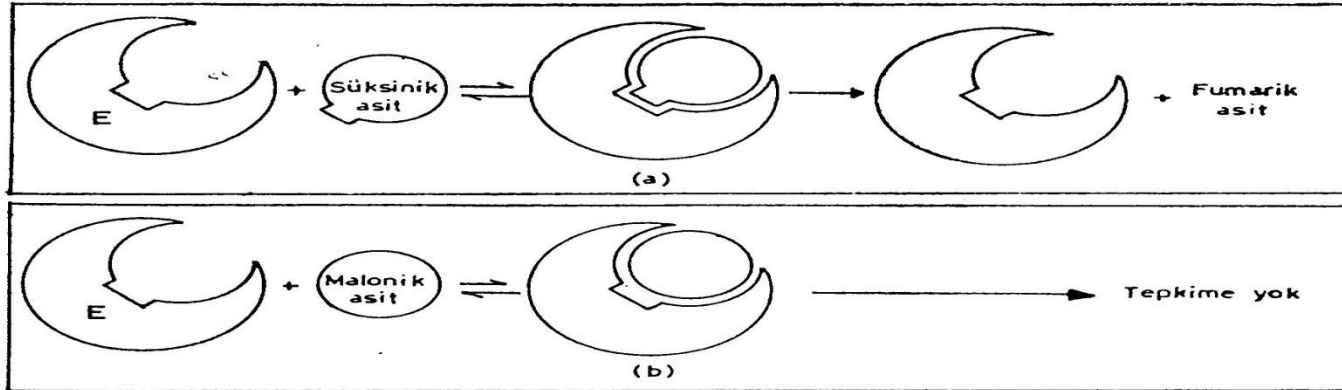


Şekil 2.1. Enzim ile madde arasındaki tepkimenin şematik görünümü

Örneğin suksinik dehidrogenas enziminin katalizör olarak görev yapması sonucu suksinik asit fumarik aside dönüşmektedir. Malonik asit de kimyasal yapı bakımından suksinik aside büyük benzerlik gösteren bir önleyicidir yani inhibitör özelliğindedir. Malonik asidin ortamda bulunması halinde (Şekil 2.2) suksinik dehidrogenas enziminin etkin yöresine suksinik asit yerine önleyici malonik asit girmekte, enzim etkinliği durmakta ve tepkime ürünleri oluşmamaktadır. Ancak ortamda suksinik asidin çok fazla bulunması halinde malonik asidin önleyici etkisi büyük ölçüde giderilmektedir.

## 2.5. ENZİMLERİN YAPISI

1926 yılında Sumner isimli araştırmacının üreas enzimini sentetik olarak elde etmesinden sonra enzimlerin yapıları daha açıklıkla anlaşılabilmiştir. Bugün genellikle kabul edildiği gibi enzimlerin tümü asal olarak proteindir. Bu arada kimi enzimler protein moleküllerine bağlı protein olmayan maddelere de sahiptir. Bu durumda yapıları yönünden enzimler iki grup altında toplanabilir. Bunlar: a) Yapıları basit protein olan enzimler ve b) Protein molekülüne bağlı protein olmayan maddeleri de kapsayan enzimlerdir.



Şekil 2.2. Malonik asidin önleyici (inhibitör) etkisinin şematik görünümü

ENZİMLERİN HEPSİ  
AYNI YAPIDA MIDIR?

# Enzimlerin Yapısı

Yapısal olarak incelendiğinde enzimlerin 2 farklı özellik gösterdiği anlaşılmıştır.

- **Basit protein yapılı enzimler**

(Örnek; Üreas, Amilas vb.)

- **Protein molekülüne bağlı protein olmayan maddeleri de içeren enzimler**

(Örnek; Oksido-redüktaslar)

# ENZİM

Apoenzim + Prostatik grup

Protein özelliği taşıyan kısım (aminoasit)

Protein özelliği taşımayan kısım

Bazı enzimlerde bu kısım mineral maddelerden (K, Ca, Fe, Cu, Zn, Mn, Co vb.) oluşabilir ve bu maddeler enzimin bağlanmasını sağlar

Bazı enzimlerde bu kısım organik özellikteki maddelerden oluşur ve o takdirde KOENZİM adı verilir. Bazen de bu kısım vitaminlerden oluşabilir



ENZİMLER  
EN ÇOK NEREDE  
BULUNURLAR?

# Enzimlerin Bitkide Buldukları Yerler ve Dağılışı

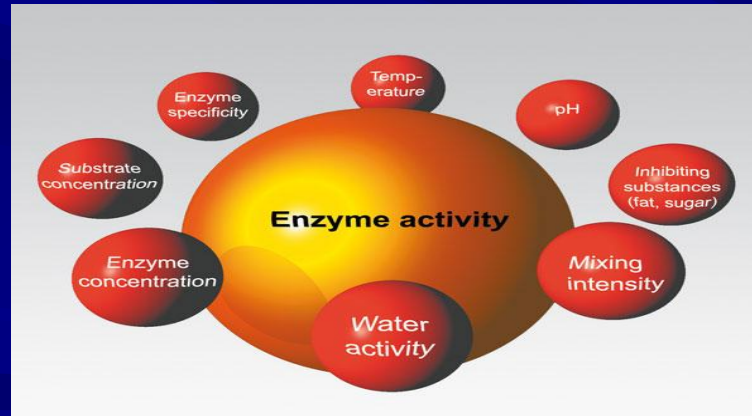
Enzimler yaşayan canlı sistemler içinde düzenli olarak dağılmamışlardır.

Enzimler bitkilerin belirli organ ve dokularına dağılmış olarak bulunabilir.

Örneğin bazı enzimler kökte, bazıları sapta, bazıları yaprakta veya bitkilerin değişik organ ve hücrelerinde daha yoğun olarak bulunabilir

Ancak yapılan araştırmalar ÇİMLENEN TOHUMUN diğer bitki organlarına göre EN YÜKSEK ENZİM MİKTARINA sahip olduğunu göstermiştir.

# ENZİMLERİN AKTİVİTESİNE (ETKİNLİĞİNE) HANGİ FAKTÖRLER ETKİLİ OLABİLİR?



# Enzimlerin Aktivitesi Üzerine Etki Yapan Faktörler

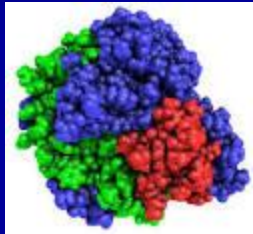
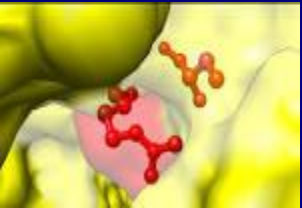
- Madde Miktarı
- Tepkime Ürünleri Miktarı
- Enzim Miktarı
- Hidratasyon (su varlığı)
- Sıcaklık
- pH (reaksiyon)
- Aktivatörler
- İnhibitörler

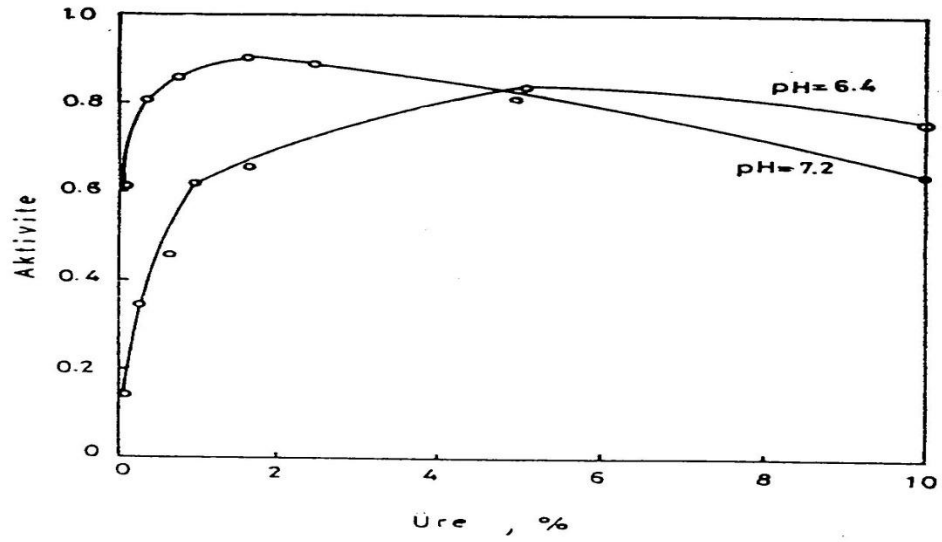
## Madde miktarı

Ortamda bulunan maddelerin miktarı belirli bir düzeye kadar enzimlerin etkinlikleri üzerine olumlu yönde etki yapmakta ve daha sonra madde miktarının etkisi ya hiç olmamakta ya da olumsuz yönde gelişmektedir.

## Tepkime ürünleri miktarı

Enzimatik tepkimeler de kimyasal tepkimeler gibi kimya yasalarına bağlıdır. Tepkime ürünlerinin ortamda toplanması oranında enzimatik tepkimelerin miktarı azalır.





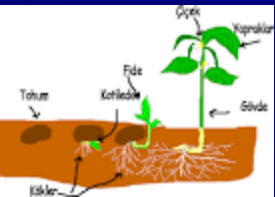
Şekil 2.3. Ortamda bulunan üre miktarı ile üreas enziminin etkinliği arasındaki ilişki

## Enzim miktarı

Birkaç ayrıcalıkla beraber enzimlerin etkinlikleri ortamda bulunan enzim miktarı ile **doğrusal bir şekilde artar**. Enzim miktarının fazlalaşması sonucunda daha fazla madde ile birleşmeye (E+M) olanak verecek etkin yöre miktarı da artar.

## Hidratasyon

Bir **bitki tohumunun çimlenmesi sırasında** özellikle hidrasyonun etkisi açık bir şekilde görülür. Kuru tohumlarda enzim etkinliği çok düşükken, çimlenme anında tohum su aldıkça enzim etkinliği de yükselir. **Özdeş durum bitkilerin diğer organlarında da görülmektedir.**



## Sıcaklık

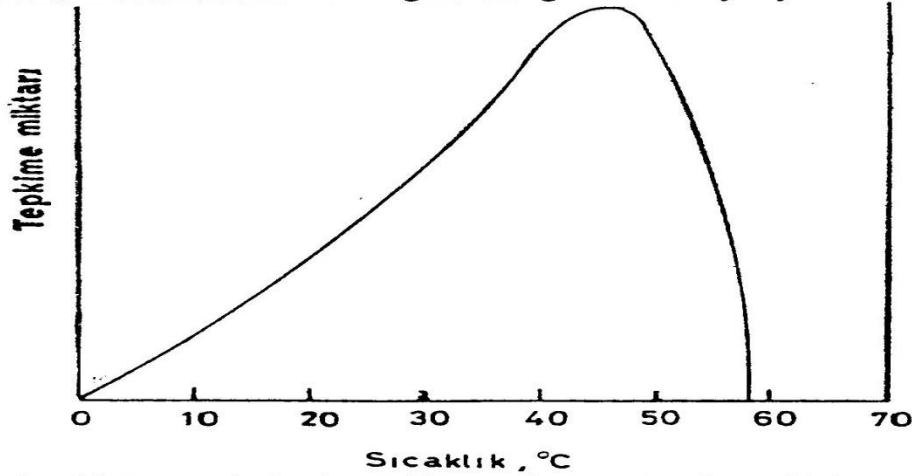
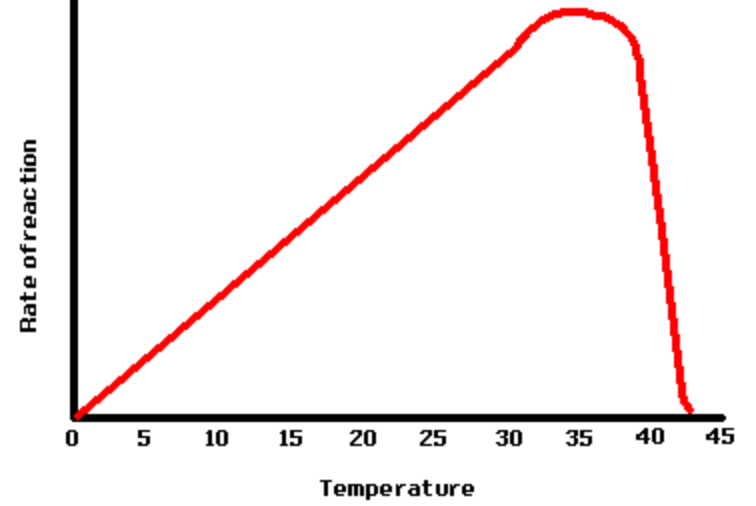
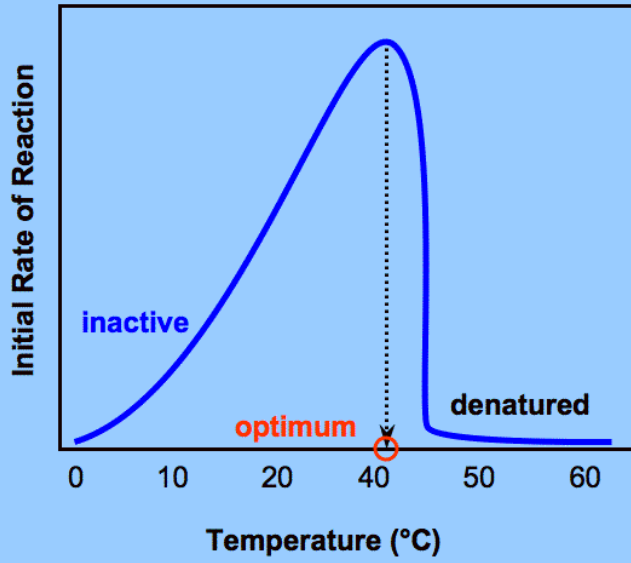
Kimyasal tepkimelerde olduğu gibi enzimatik tepkimeler de sıcaklığın etkisi altındadır. **Protein yapısında** olmaları nedeniyle enzimler özellikle sıcaklığa karşı duyarlıdır.

Ortam sıcaklığı **30 °C'a** yaklaştıkça enzimlerin doğal özelliklerinde **kısmen bozulma** başlar. Sıcaklığın artışına paralel olarak kazanılan termal aktivite sonucu enzimlerin yapısındaki hidrojen bağları gerilir ve kırılır, böylece **katalitik özelliği giderek ortadan kalkar.**

45 °C'da en yüksek düzeyde olan tepkime miktarı **60 °C** dolayında enzimlerin **DOĞAL ÖZELLİKLERİNİ TAMAMEN YİTİRMELERİ** sonucu durma noktasına gelmektedir.



Temperature influences the rate of enzyme-catalyzed reactions



Şekil 2.4. Sıcaklığın enzimlerde tepkime miktarı üzerine etkisi

## pH (Reaksiyon)

Genel olarak **belirli pH'larda** enzimlerin etkinlikleri en yüksek olmakta ve bu noktadan sonra pH'nın azalıp çoğalması enzim etkinliğini büyük ölçüde azaltmaktadır. 1.5 ile 11 pH'da **değişik enzimlerin etkinliği üst düzeyde olabilmektedir.**

Ortam pH'sındaki değişimler temelde enzim molekülünün doğal özelliklerini yitirmesine yol açarak etkili olmaktadır.

## Aktivatörler

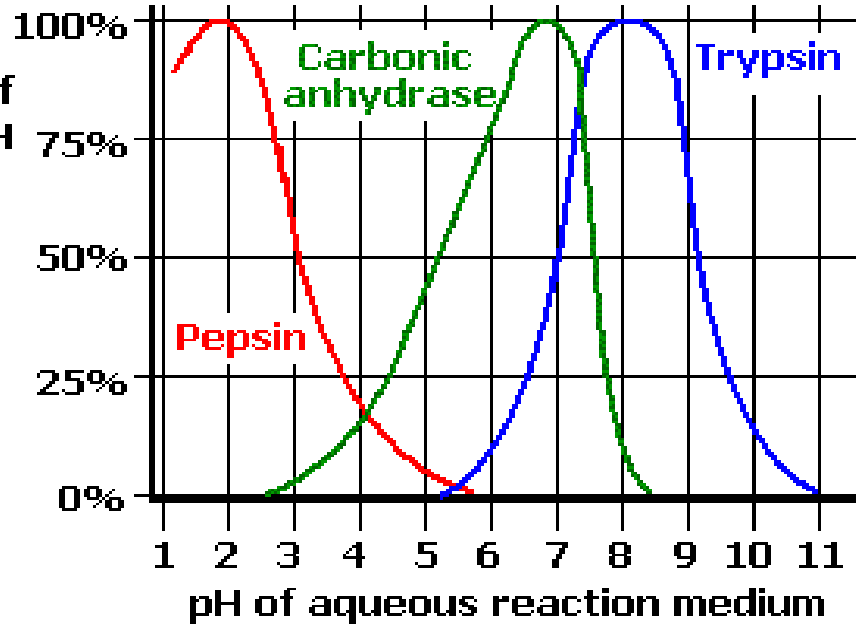
Aktivatörlerin çalışmaları ile ilgili gerçek mekanizma tam olarak bilinmemekle birlikte, bazı aktivatörlerin enzimlerin hepsinin veya bir kısmının tepkime hızlarını artırdığı ifade edilmektedir.

**Co, Mn, Ni, Mg ve Cl** gibi bazı elementler bazı enzimler üzerinde aktivatör rolü oynayabilirler.

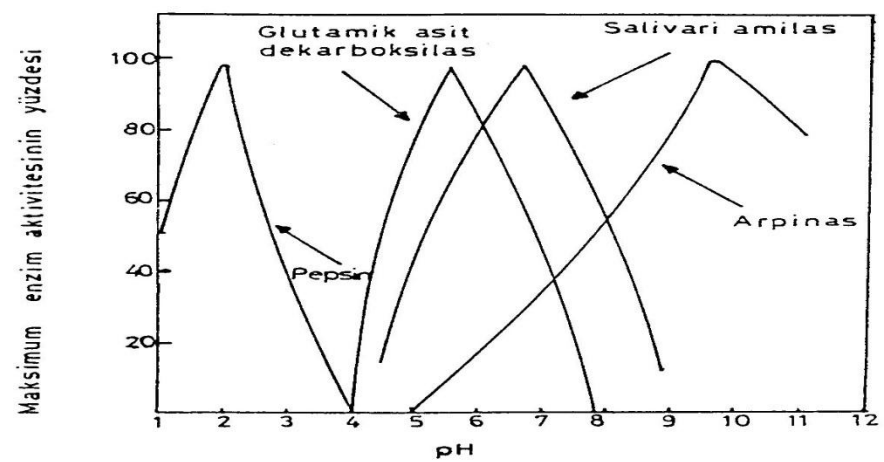


Examples of optimum pH activity of enzymes

% of maximum activity



(c) doc b



Şekil 2.5. Çeşitli enzimlerin etkinlikleri üzerine ortam pH'sının etkisi

# Inhibitörler

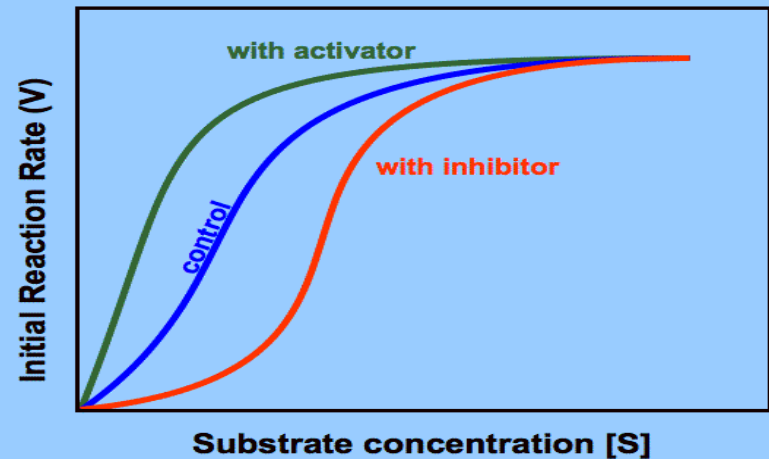
## ■ Kompatativ İnhibitörler

Enzim veya protein kısmı ile birleşerek engelleme yapar

## ■ Kompatatif Olmayan İnhibitörler

Enzimi parçalayarak veya tepkimenin sırasını değiştirerek engelleme yapar (İyot asetatlar, Floritler, Siyanitler, Karbon monoksitler vb.)

It is also possible for an enzyme to be activated



What kind of plot is this?

Which parameter is affected by both chemicals?

Is the inhibitor competitive or not?