

## ENZİM MÜHENDİSLİĞİ – Hafta 2

*Prof.Dr.Zekiye Serpil Takaç*

### ENZİMLERİN KİMYASAL KATALİZÖRLERE ÜSTÜNLÜKLERİ

1. Enzimler spesifik katalizörlerdir.
2. Enzimlerin spesifik olması, seçilen tepkimenin yan reaksiyonlar ve yan ürünler olmadan katalizlenmesi demektir. Bu nedenle enzimatik tepkimeler, yüksek verimlilik ve düşük maliyet ile sonuçlanır.
3. Enzimler genellikle ılımlı sıcaklık, basınç ve pH koşullarında etki ederler.
4. Enzimatik tepkimelerin aktivasyon enerjileri düşüktür.

### HÜCRE İÇİ VE HÜCRE DIŞI ENZİMLER

Enzimler *hücre içi* ve *hücre dışı* olabilirler. Hücre dışı enzimler üretildikçe hücre dışına salgılanan enzimlerdir ve bunların saflaştırılması daha kolaydır.

### ENZİMLERİN KATALİTİK AKTİVİTESİ

Enzim ile substrat arasındaki tepkimenin aşağıdaki denkleme göre yürüdüğü varsayılmaktadır.



Enzim üzerinde substratın bağlandığı ve reaksiyonun gerçekleşip ürünün salındığı aktif konumlar vardır. Aktif konumlarda substrat, zayıf çekme kuvvetleri veya kovalent bağlarla enzime bağlanır. Enzimdeki reaktif gruplar *Asp, Glu, Cys, His, Lys, Met, Ser, Trn*'in *R grupları*

ve uçlarda bulunan amin ve karboksil gruplardır. Bir düzine kadar amino asit kalıntısından sadece iki veya üçü substrat bağlamada yer alır.

Enzimin substratına karşı spesifikliği yüksektir. Bunu şematik olarak gösteren başlıca modeller, Fisher'in anahtar-kilit (*lock-and-key*) modeli ve Koshland'ın hızlandırılmış uyum (*induced-fit*) modelidir.

## ENZİM AKTİVİTESİ

Bir enzimin katalitik aktivitesi, tepkimede dönüşüm hızındaki artış ile ölçülen bir özelliktir. En çok kullanılan aktivite birimi 1961 yılında Enzim Komisyonu (E.C.) tarafından tanımlanan ünite (U) dir.

**Enzim ünitesi (U):** Tanımlanmış koşullarda (pH, sıcaklık) bir dakikada 1  $\mu$ mol substratın dönüşümünü gerçekleştiren enzim miktarıdır. Aynı tanım ürün için de yapılabilir. Hangi tanımın kullanıldığı kaynakta belirtilir.

## ENZİMATİK TEPKİMELERİN KİNETİĞİ

### Michaelis-Menten Yaklaşımı

Tek substratlı enzimatik tepkimeler için ilk kinetik çalışmalar 1902 yılında Henry ve 1913 yılında Michaelis ile Menten tarafından yapılmıştır. Basit olan enzimatik tepkimelerin kinetiği çoğu zaman 'Michaelis-Menten Kinetiği' olarak adlandırılır. Enzimin yapısında substratın bağlanabileceği belli sayıda aktif konum olduğu ve yüksek substrat derişimlerinde bütün aktif

konumlar substrat ile doldurulacağı yani enzim doymuş olacağı için bu kinetik, 'Doygunluk Kinetiği' olarak da adlandırılmaktadır.

Bu kinetik mekanizmaya göre enzim ile substrat bir kompleks üzerinden ürün(ler) vermektedir.



Bu kinetik yaklaşımda başlıca iki varsayım yapılır:

1. ES kompleksi oluşumu hızlı bir denge tepkimesidir. Yani enzim ile substrat arasında ES kompleksini oluşturmak üzere hızlı bir denge vardır.

$$\text{Ayrışma sabiti: } Km = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_E \cdot C_S}{C_{ES}}$$

2. ES nin ürüne parçalanması tersinmez bir tepkimedir.

$$k_2 \gg k_2'$$



$$r = \frac{dC_{\ddot{U}}}{dt} = k_2 C_{ES}$$

$$C_{E_0} = C_E + C_{ES}$$

$$C_E = C_{E_0} - C_{ES}$$

$$Km = \frac{C_E C_S}{C_{ES}} = \frac{(C_{E_0} - C_{ES}) C_S}{C_{ES}} \Rightarrow C_{ES} = \frac{C_{E_0} C_S}{Km + C_S}$$

$$r = \frac{k_2 C_{Eo} C_S}{K_m + C_S} \quad \text{Henry-Michaelis-Menten Denklemi}$$

$k_2 C_{Eo} = r_{\max}$  Toplam enzim kompleks haline geçtiğinde ulaşılacak hız maksimumdur.

Burada:

$C_S$  = serbest substrat derişimi

$r$  = tepkime hızı

$r_{\max}$  = maksimum hız

$K_m$  = Michaelis-Menten sabiti

### **Kaynak:**

- Bailey JE and Ollis DF, Biochemical Engineering Fundamentals, McGraw Hill, Second Edition, 1986.
- Doran PM, Bioprocess Engineering Principles, Academic Press, 1995.
- Segel IH, Enzyme Kinetics, John Wiley&Sons, 1975.