



الجمهورية العربية السورية
جامعة الملك سعود

كلية العلوم
قسم الكيمياء الحيوية

كيمياء حيوية عامة (101 كيج)

ENZYMES الإنزيمات

الموضوع	الصفحات	المحاضرة	الأسبوع
تسمية الإنزيمات و تصنيفها	270-264	12-7	الثالث
التحفيز الإنزيمي ، العوامل التي تؤثر على سرعة التفاعل الإنزيمي	237-227		+
آلية عمل الإنزيم ، حركية الإنزيمات	244-243		الرابع
تشيط الإنزيمات	257-249		
الأيزوانزيمات ، المرافقات الإنزيمية	247-246		
الإنزيمات الألوسثيرية	258		

تعريف وخصائص الإنزيمات

- هي عوامل مساعدة أو محفزات بيوكيميائية
- تعمل على تخفيض طاقة التنشيط المطلوبة لبداية التفاعل
- لا تؤثر على ثابت الإتزان في التفاعل
- لا تؤثر على تغيرات الطاقة الحرة للتفاعل
- لا تستهلك أثناء التفاعل
- تزيد من معدل سرعة التفاعل إلى حوالي 10^{14}
- بروتينية التركيب

تسمية الإنزيمات وتصنيفها

تصنيف قديم ليس له دلالة (تريبسين trypsin – ببسين pepsin)

تصنيف حديث بإضافة مقطع **ase** إلى اسم مادة التفاعل
(ليباز lipase – أميلاز amylase – يوريزاز urease)

تصنيف الإتحاد الدولي للكيمياء الحيوية IUB:

تقسم فيه الإنزيمات إلى 6 أصناف حسب نوع التفاعل
يقسم كل قسم إلى أقسام فرعية مرقمة بأربع أرقام لكل إنزيم
الرقم الأول يدل على الصنف (1-6)

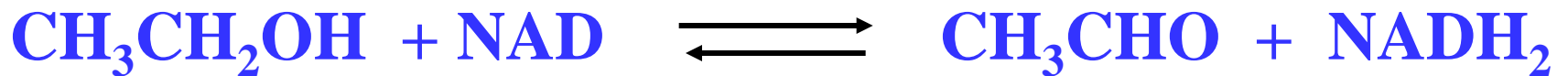
الرقم الثاني يدل على المجموعات التي تضاف أو تحذف

الرقم الثالث يدل على المرافق الإنزيمي أو المجموعة المتقبلة للمواد

الرقم الرابع يدل على نوع مادة التفاعل

1- إنزيمات الأكسدة والإختزال :Oxidoreductases:

- انتقال إلكترونات من مادة مختزلة إلى مادة مؤكسدة
- مثال 1: إنزيمات التنفس والأكسدة الحيوية
- مثال 2: إنزيمات نزع الهيدروجين من الكحولات
- يتم نقل 2 ذرة هيدروجين و 2 إلكترونين المادة من المختزلة (الكحول) إلى المادة المؤكسدة (المرافق الإنزيمي)



E.C. 1.1.1.1 Alcohol:NAD Oxidoreductase

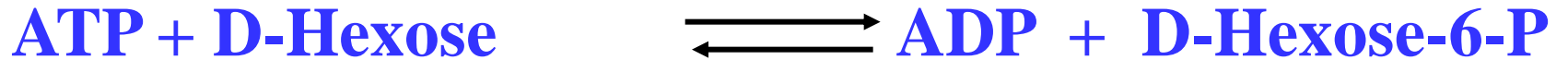
- مثال 2: إنزيمات نزع الهيدروجين من الأمين
- يتم نزع ذرة هيدروجين من الجلوتامات إلى المادة المؤكسدة (المرافق الإنزيمي)



E.C. 1.4.1.3 Glutamate: NAD(P) Oxidoreductase

2- الإنزيمات الناقلة :Trasferases

- انتقال مجموعة كيميائية من مركب لآخر
- مثل نقل ذرة كربون أو مجموعات كيتونية أو ألدهيدية أو مجموعات محتوية على فوسفور أو كبريت.
- مثال 1:

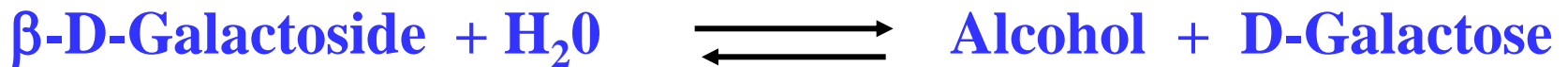


E.C. 2.7.1.1 ATP:D-Hexose-6-Phosphotransferase (Hexokinase)

مثال 2: إنزيمات مجموعة الأمين Transaminases

3- إنزيمات التحلل المائي **:Hydrolases**

- تحلل الروابط بإضافة OH ' H على طرفي الرابطة
- مثال 1: إنزيمات تحلل الرابطة الجلايكوزيدية



E.C. 3.2.1.23 β -D-Galactoside galactohydrolase

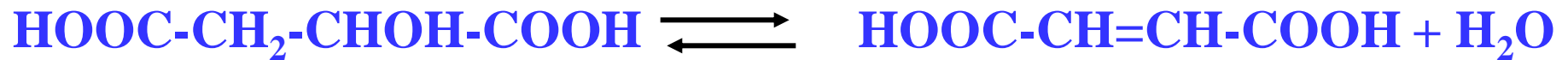
- مثال 2: إنزيم ليباز الذي يحلل الجليسيريدات الثلاثية مائياً إلى جليسيرول وأحماض دهنية

E.C. 3.1.3.1 Glycerol ester hydrolase (Lipase)

E.C. 3.2.1.26 β -D-Fructofuranoside fructohydrolase (Sucorase)

• 4- إنزيمات التفكك **Lyases**:

- تفكيك المركب ونشوء رابطة مزدوجة والتفاعلات العكسية لها
- مثال 1: إنزيمات تحلل الرابطة الجلايكوزيدية



E.C. 4.1.2.1 L- Malate Hydrolyase (Fumarase)

- مثال 2: إنزيم ألدولاز الذي يحلل الكيتوز فوسفات إلى ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات + الدهايد

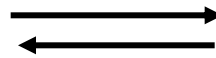


E.C. 4.1.2.7 Ketose 1-Phosphate Aldehydelyase (Aldolase)

• 5- إنزيمات التماكب :Isomerases

- وهي إنزيمات تحول المركبات إلى مماكبات سواء تماكب موضعياً أو هندسياً أو ضوئياً

All Trans Retinene

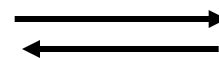


11-Cis-Retinene

**E.C. 5.2.1.3 All Trans Retinene 11-Cis-Trans
Isomerase (Retinene Isomerase)**

- مثال 2: إنزيمات تحويل السكر الألدهيدي إلى كيتوني
مثل ألدو كيتو أيزوميراز

D-Glyceraldehyde 3-Phosphate
3-Phosphate



Dihydroxy Acetone

E.C. 5.3.1.1 D-Glyceraldehyde 3-Phosphate Ketol Isomerase

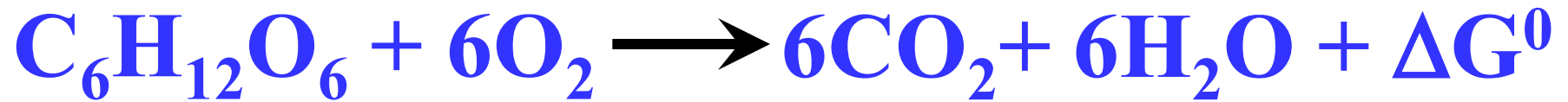
• 6- الإنزيمات الصانعة :Ligases

- تربط بين مركبين ونشوء رابطة بين C-C, C-N, C-O, C-S

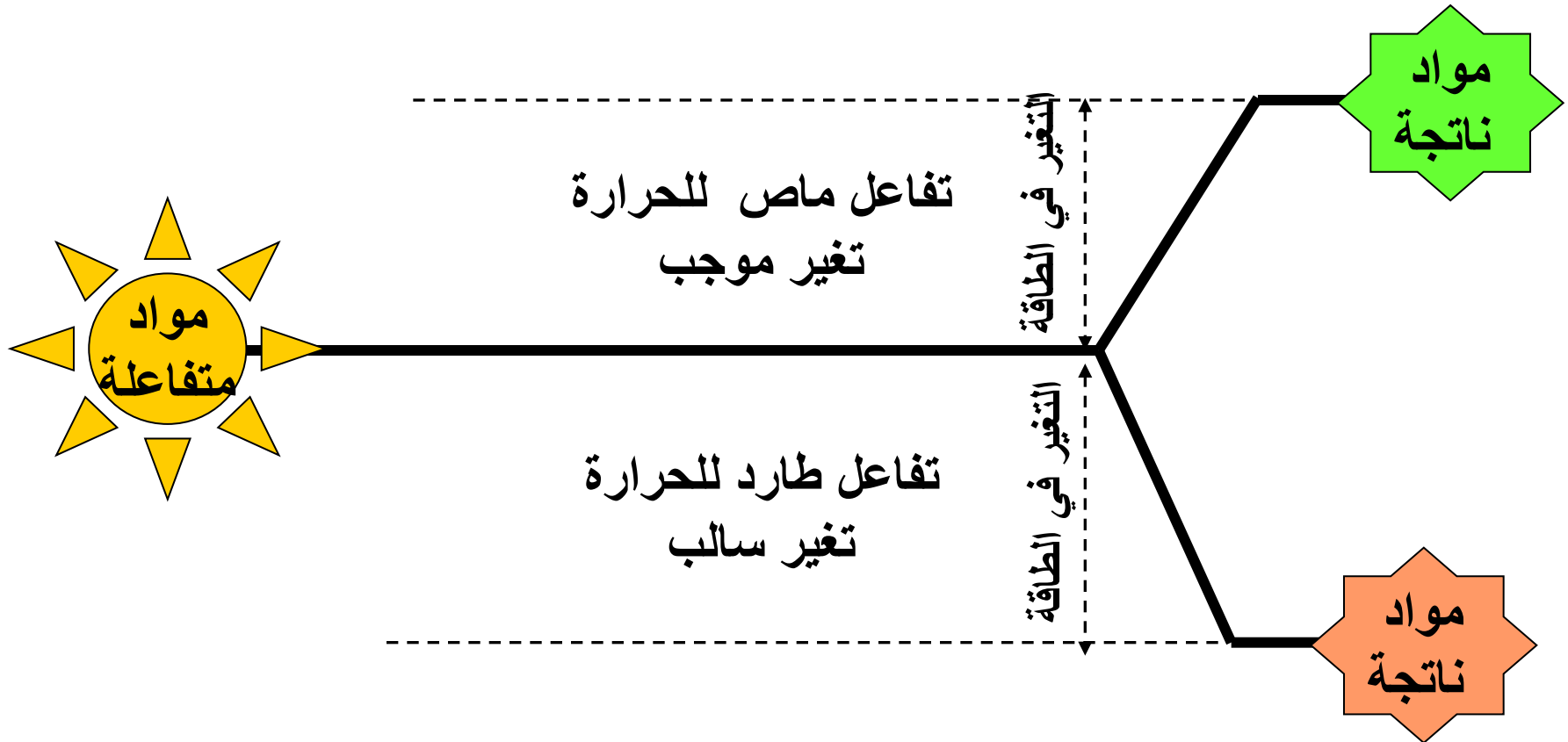


E.C. 6.4.1.2 Acetyl CoA: CoA CO₂ Ligase
(Acetyl Co carboxylase)

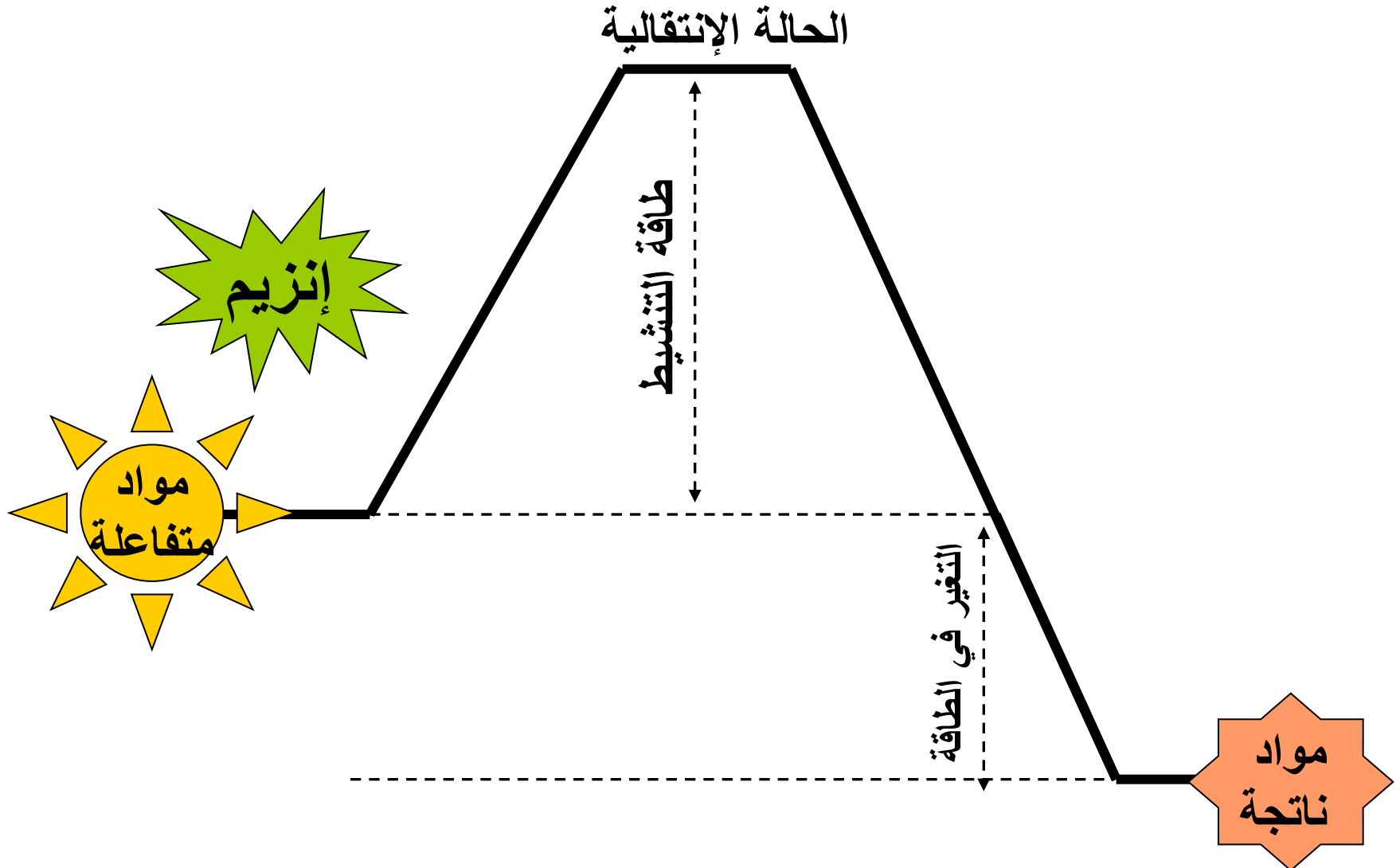
النظرية الحركية للتفاعلات



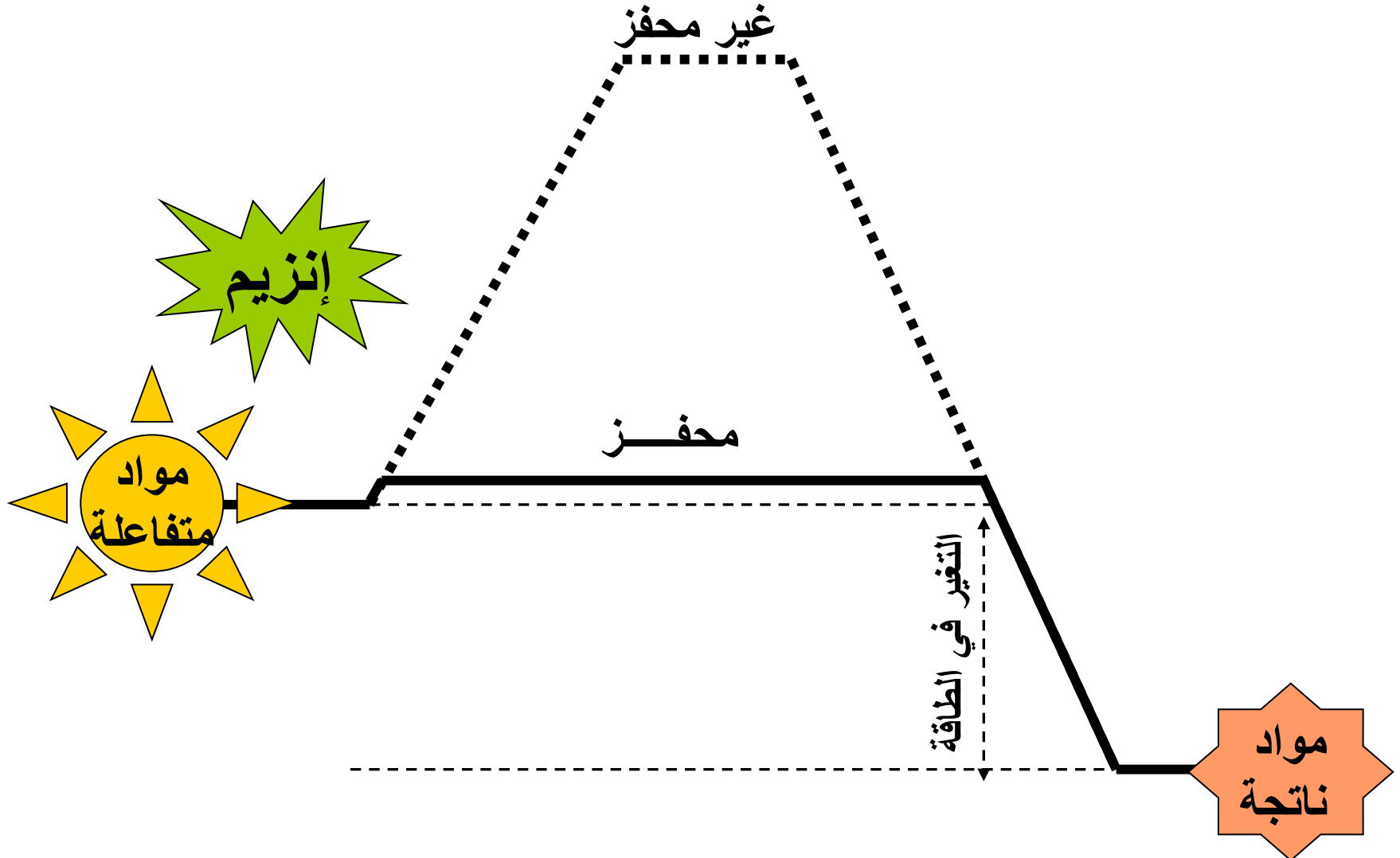
تغيرات الطاقة في التفاعلات الكيميائية



تغيرات الطاقة في التفاعلات الكيميائية



تغيرات الطاقة في التفاعلات الكيميائية



تعريفات

التغير القياسي للطاقة الحرة

هو الفرق بين طاقة المواد الداخلة في التفاعل وطاقة المواد الناتجة منه

طاقة التنشيط

هي الطاقة اللازمة لبدء التفاعل حيث تنقل المواد المتفاعلة إلى مستوى طاقة يكفي لتحويل المواد المتفاعلة إلى نواتج مروراً بحالة إنتقالية مؤقتة

هي الفرق بين مستوى الطاقة للمواد المتفاعلة ومستواها في المرحلة الإنتقالية

تعريفات

وحدة قياس النشاط الإنزيمي

كمية الإنزيم التي يمكنها تحويل 1 ميكرومول من مادة التفاعل إلى نواتج في الدقيقة الواحدة عند الظروف المثلى لعمل الإنزيم (درجة الحرارة وتركيز الأس الهيدروجيني وتركيز مادة التفاعل)

النشاط النوعي للإنزيم

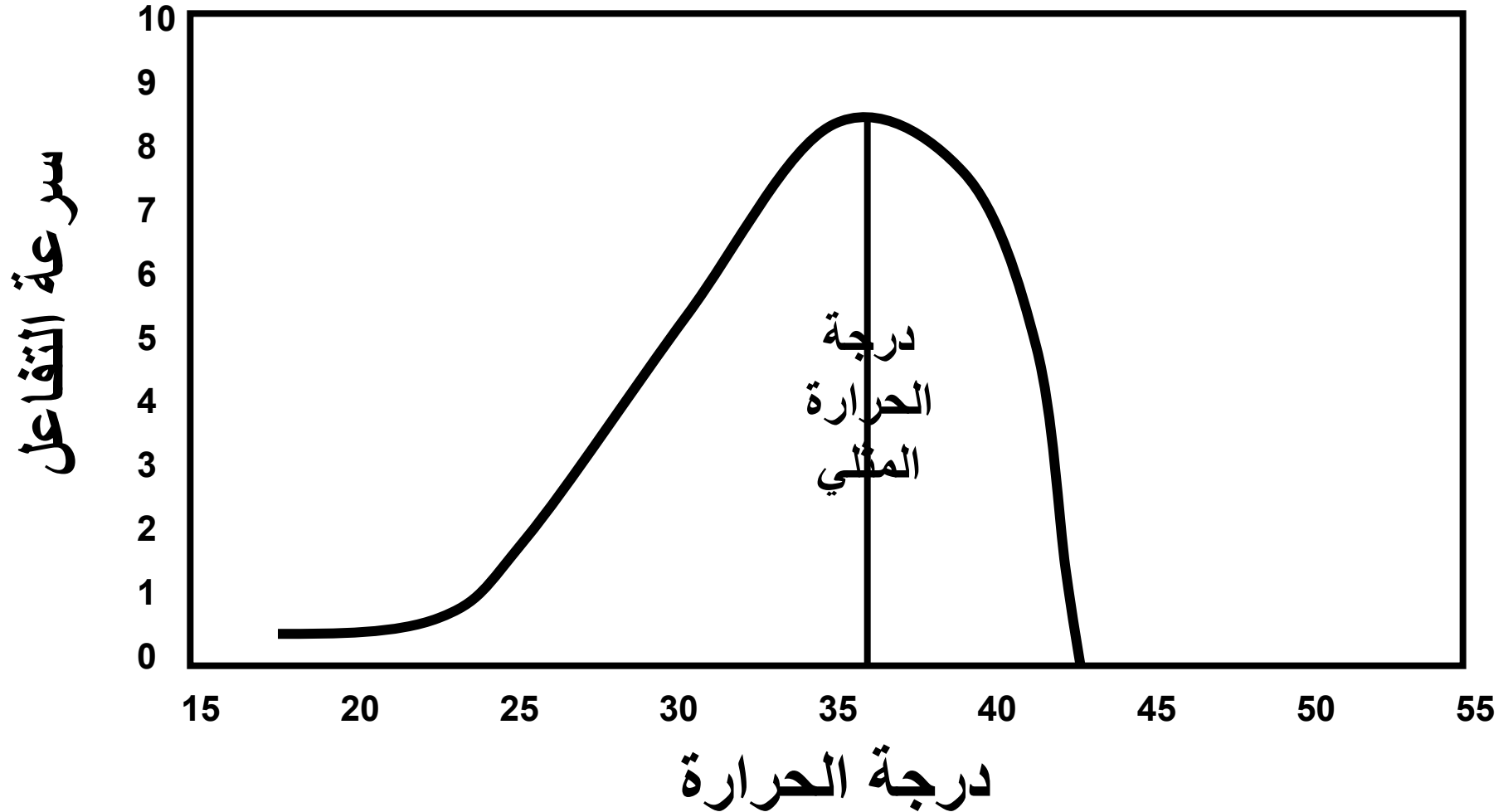
عدد وحدات الإنزيم الموجودة في المليجرام بروتين

العوامل المؤثرة علي سرعة التفاعل الإنزيمي

- 1- درجة الحرارة
- 2- الأس الهيدروجيني
- 3- تركيز الإنزيم
- 4- تركيز المواد المتفاعلة

إنزيم + مواد متفاعلة \rightarrow إنزيم + مواد ناتجة

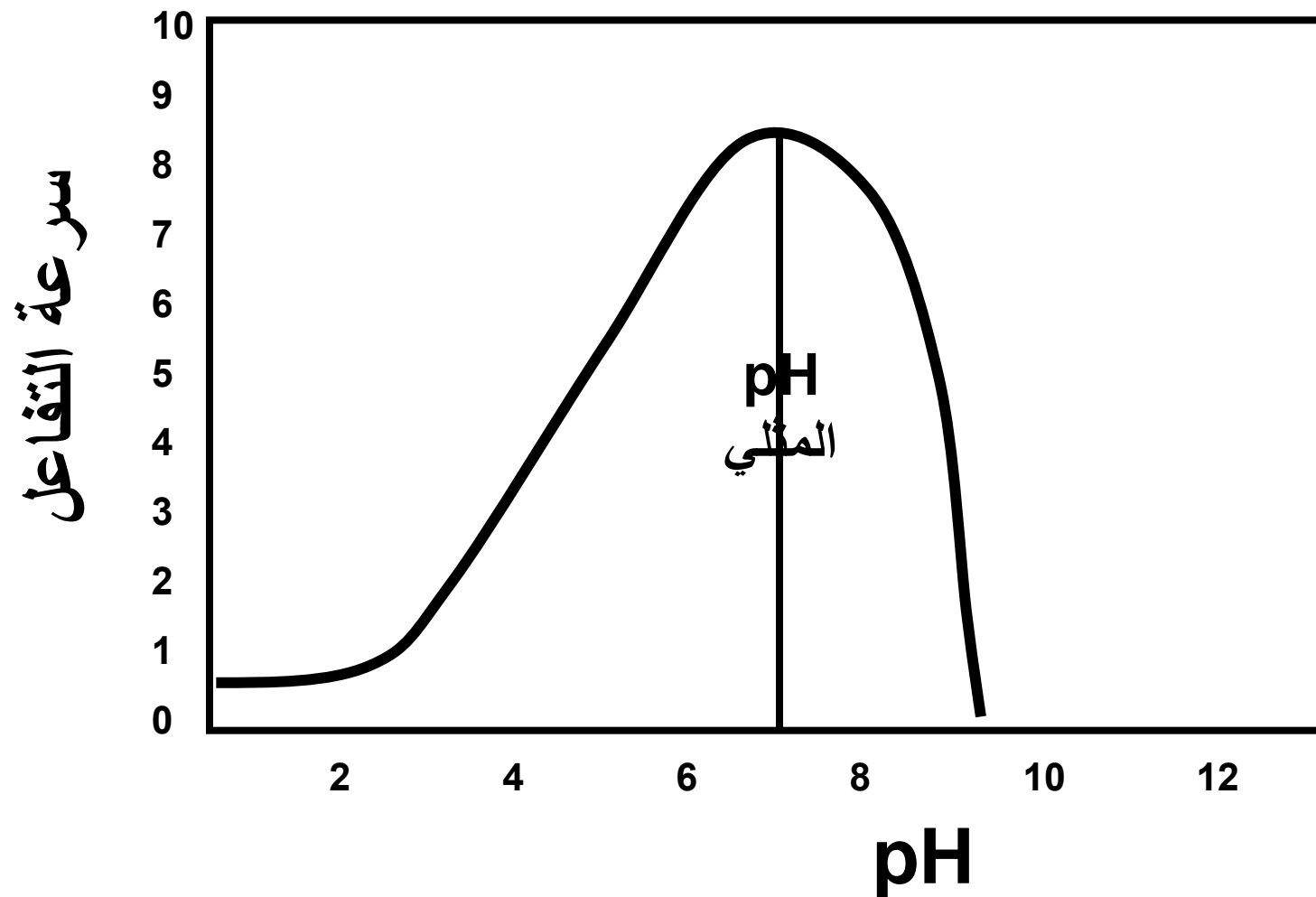
درجة الحرارة Temperature



درجة الحرارة Temperature

- لكل إنزيم درجة حرارة مثلي عندها يكون نشاط الإنزيم أعلي ما يمكن.
- يزداد نشاط الإنزيم بزيادة درجة الحرارة حتي حد معين بعدها يبدأ النشاط في الإنخفاض حتي ينعدم نظراً لتغير تركيب الإنزيم الطبيعي بسبب الحرارة العالية

الأس الهيدروجيني

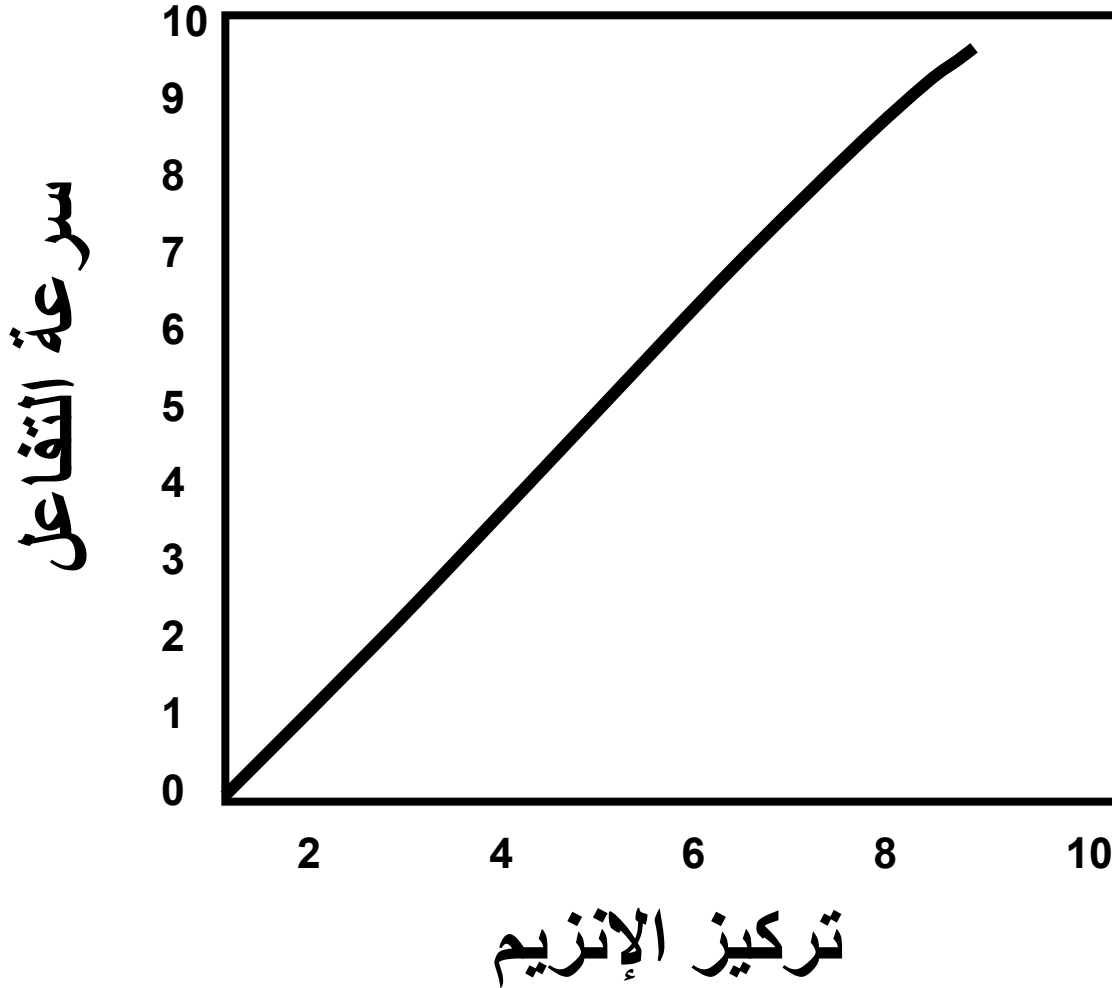


الأس الهيدروجيني pH

- لكل إنزيم درجة pH مثلي عندها يكون نشاط الإنزيم أعلي ما يمكن.

- يزداد نشاط الإنزيم بزيادة pH حتي حد معين بعدها يبدأ النشاط في الإنخفاض حتي ينعدم نظراً لتغير تركيب الإنزيم الطبيعي بسبب الـ pH البعيدة عن الظروف الفيسيولوجية للإنزيم

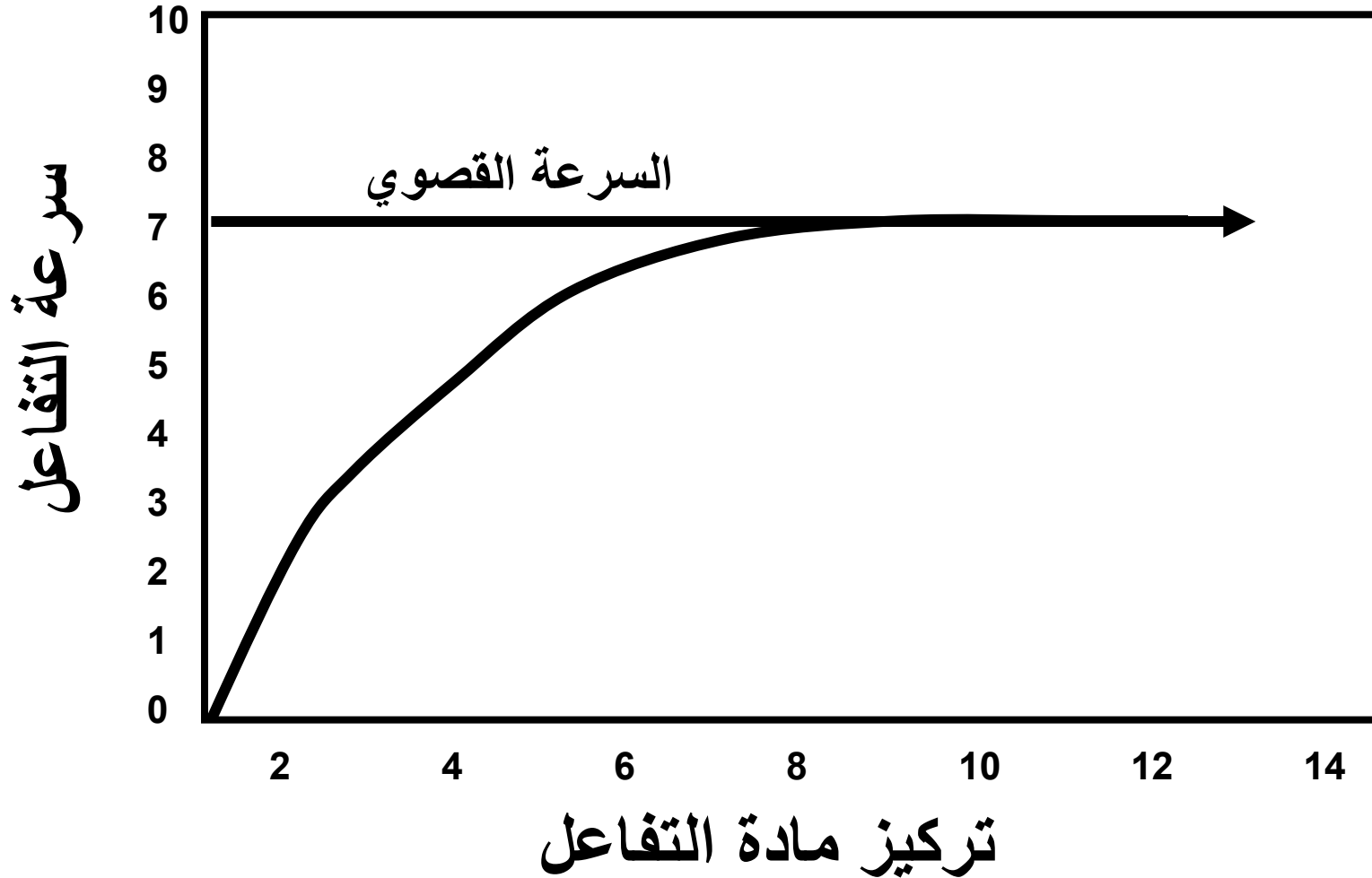
تركيز الإنزيم Enzyme concentration



علاقة طردية
تزداد سرعة التفاعل
بزيادة تركيز الإنزيم
زيادة طردية

تركيز مادة التفاعل

Substrate concentration



تركيز مادة التفاعل

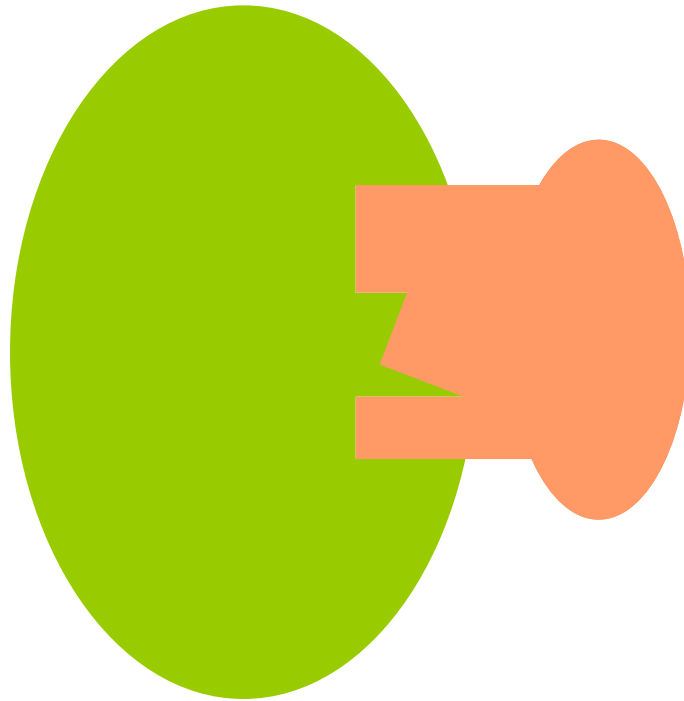
Substrate concentration

- يزداد نشاط الإنزيم بزيادة تركيز مادة التفاعل.

- كلما زاد تركيز مادة التفاعل زادت سرعة التفاعل حتي حد معين وبعد ذلك تثبت سرعة التفاعل نظراً لعدم توفر إنزيمات حرة لإنجاز مزيد من التفاعلات.

آلية عمل الإنزيم Enzyme mechanism

1- نظرية القفل والمفتاح



إنزيم

مادة التفاعل

آلية عمل الإنزيم Enzyme mechanism

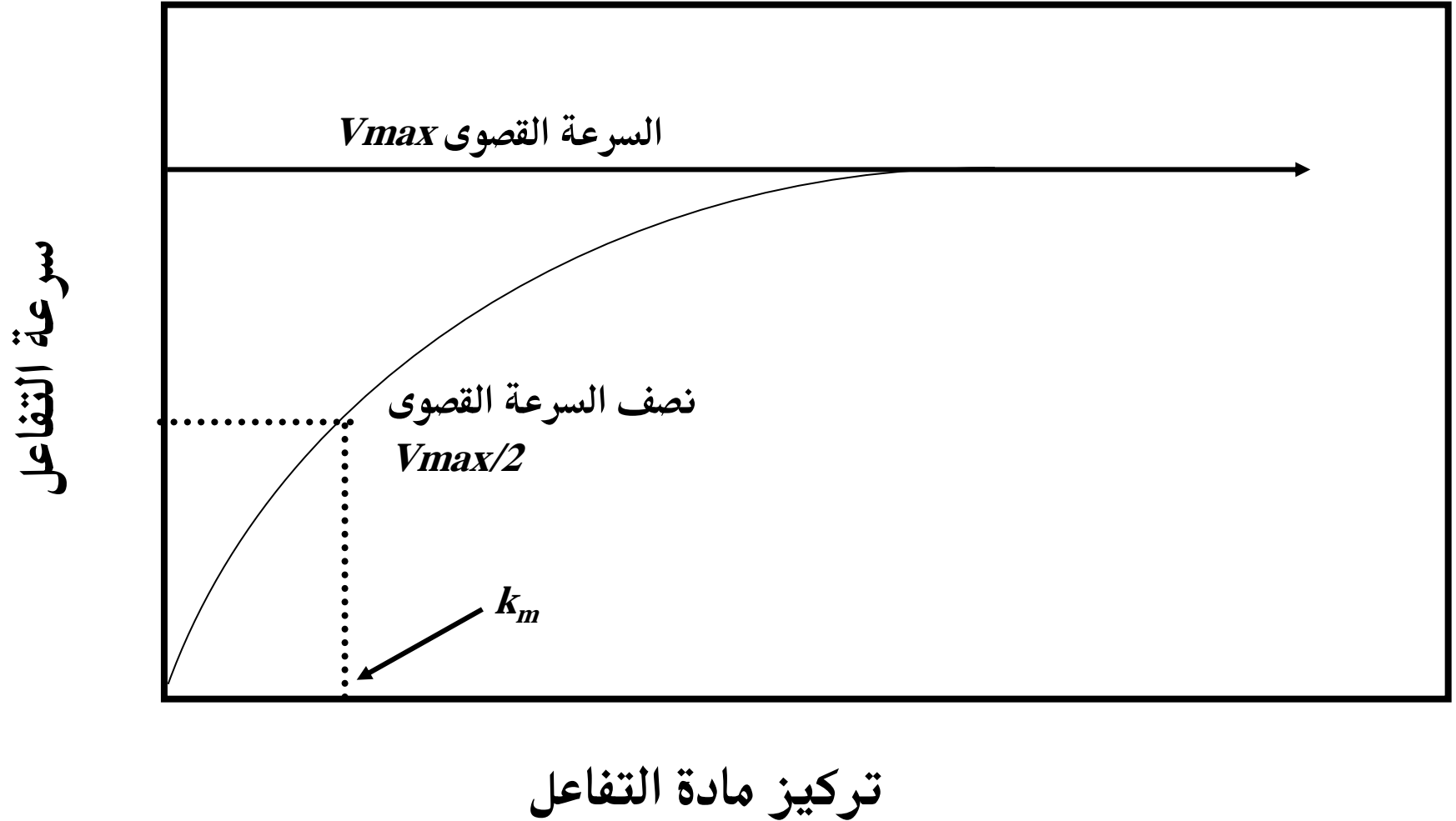
2- نظرية التوافق المستحث



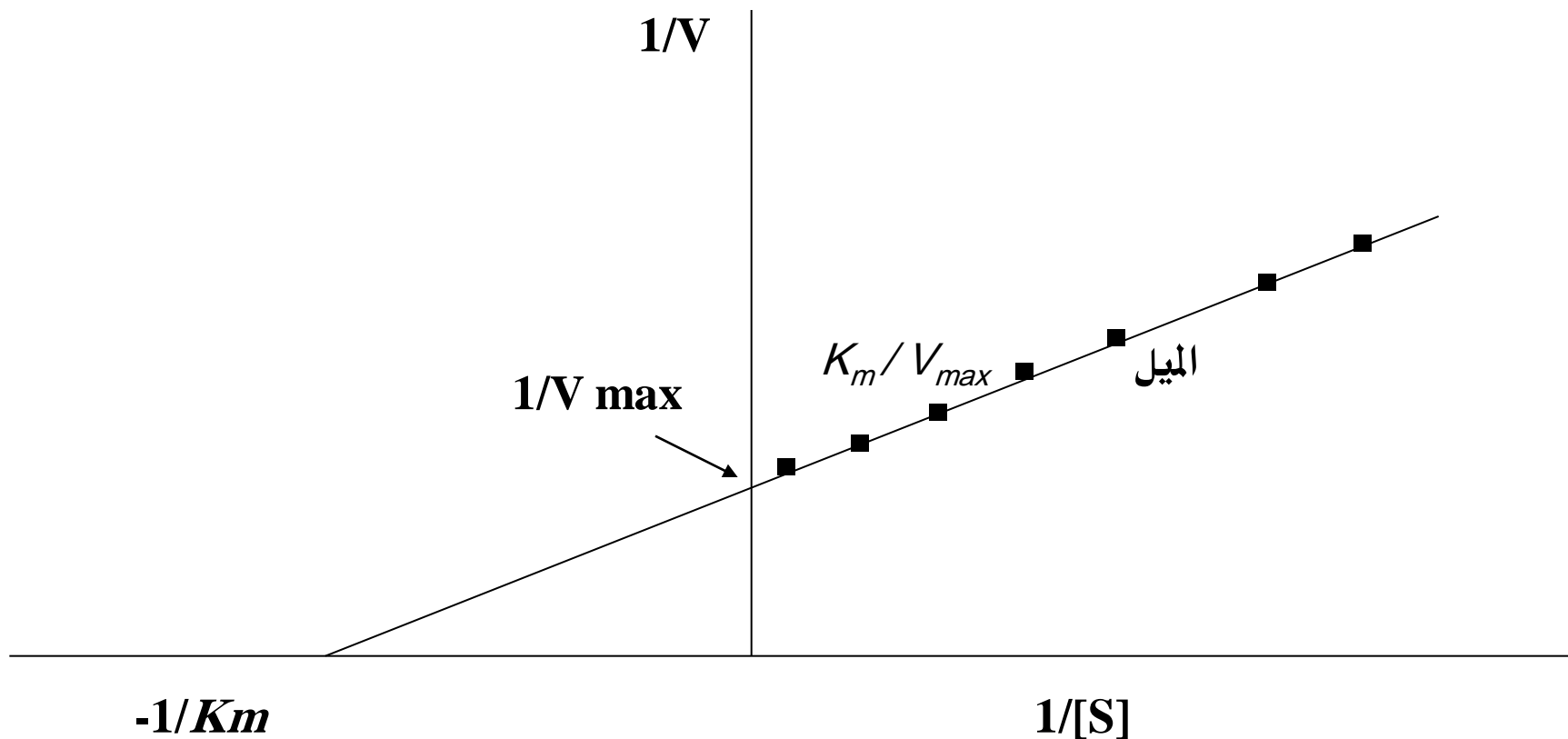
إنزيم



مادة التفاعل



ثابت ميكائيل وعلاقته بسرعة التفاعل



رسم لاين ويفر برك Lineweaver Burk plot

تركيب الإنزيمات Enzyme structure

الإنزيمات هي مركبات بروتينية التركيب وبعضها يضاف للبروتين مجموعة غير بروتينية مثل الكربوهيدرات وتنقسم إلى:

1- إنزيمات بسيطة

2- إنزيمات مركبة

3- معقدات الإنزيمات (مجموعة من إنزيمات مختلفة التركيب يؤدي كل منها تفاعل مختلف عن الآخرين ولكن يعمل الجميع على إتمام مجموعة من التفاعلات المكملة لبعضها (مثال إنزيمات سلسلة التنفس)

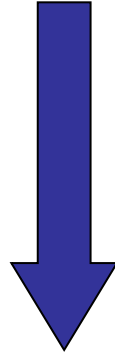
4- أيزوإنزيمات (إنزيمات تركيبها مختلف ولكنها تقوم بتحفيز نفس التفاعل. أي أن لها نفس المادة المتفاعلة وتعطي نفس النواتج)

تنشيط الإنزيمات Enzyme activation

- 1- بواسطة المرافق الإنزيمي
- 2- بواسطة فقد جزء من البروتين

التنشيط بواسطة المرافق الإنزيمي

الجزء البروتيني + المرافق لإنزيمي
(غير نشط) (غير نشط)



الإنزيم النشط

Apoenzyme + Coenzyme \rightleftharpoons Holoenzyme

التنشيط بفقد جزء من البروتين

الزيموجينات أو البروانزيمات

هي مولدات الإنزيم وتكون فيه السلسلة الببتيدية المكونة للإنزيم تحتوي على جزء ببتيدي إضافي يتم حذفه عند تنشيط الإنزيم.

مثال: الببسينوجين <---- ببسين + ببثيد

التربسينوجين <---- تربسين + ببثيد

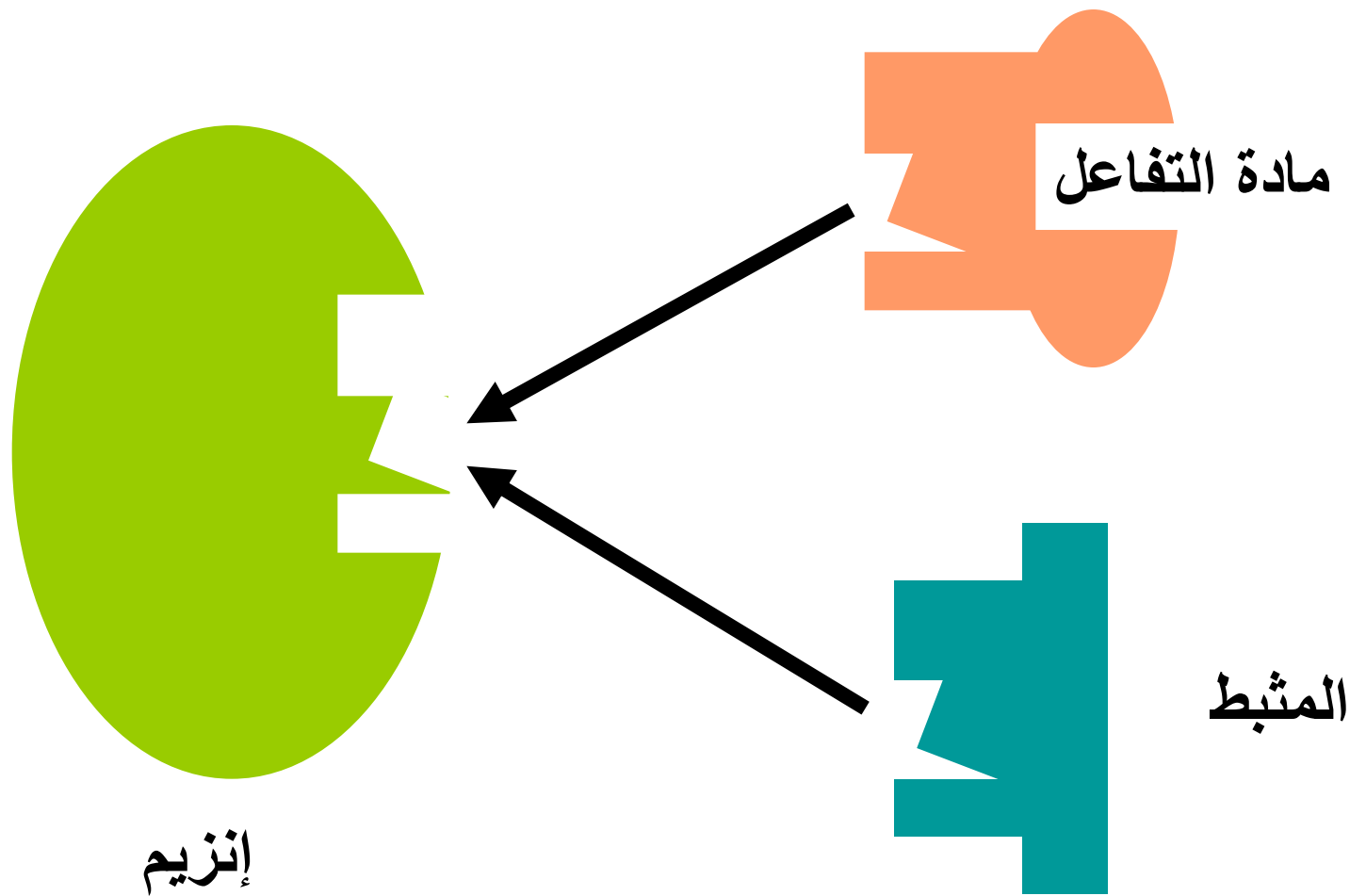
Enzyme inhibitors مثبطات الإنزيمات

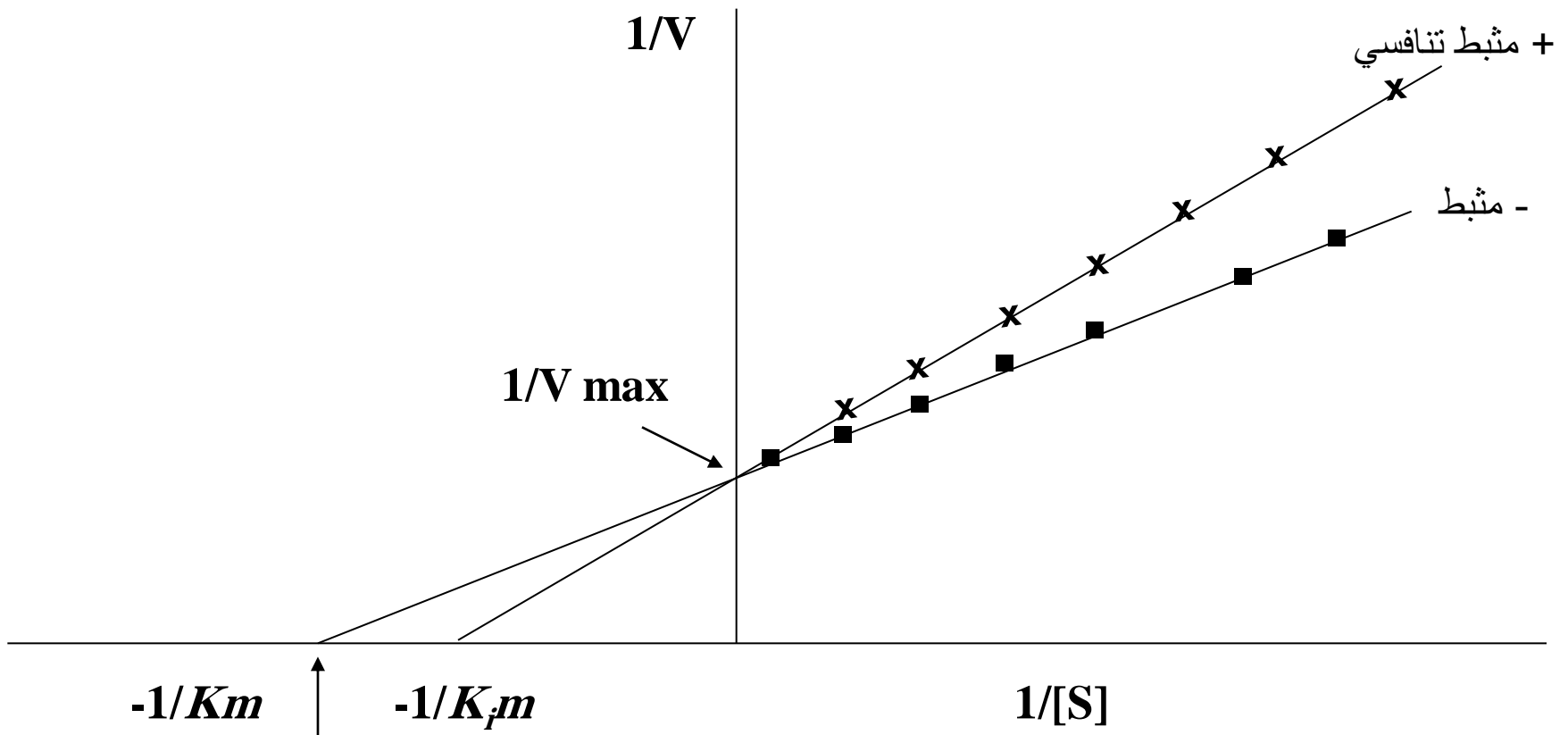
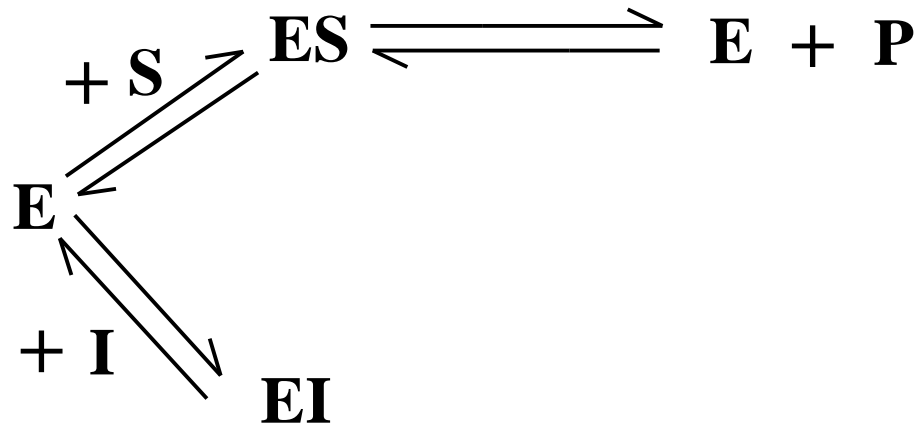
- 1- تثبيط تنافسي Competitive inhibition
- 2- تثبيط لاتنافسي Non-competitive inhibition
- 3- تثبيط غير تنافسي Uncompetitive inhibition
- 4- تثبيط التغذية المرتدة Feed-Back inhibition
- 5- تثبيط غير عكسي Irriversible inhibition

مثبطات الإنزيمات Enzyme inhibitors

1- تثبيط تنافسي

وفيه يتحد المثبط بنفس مكان ارتباط مادة التفاعل فينافسها في ذلك الموضع ويتم التغلب علي هذا التثبيط بزيادة تركيز مادة التفاعل



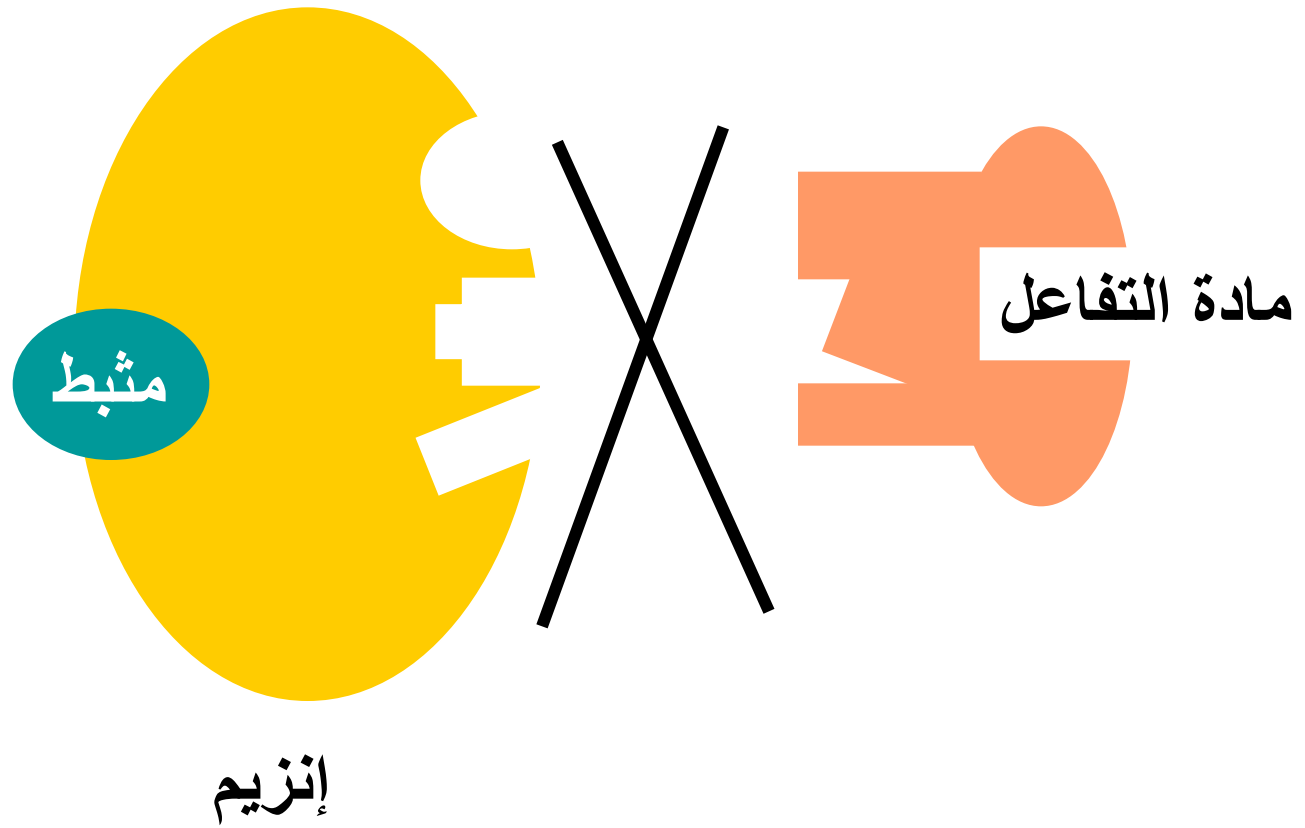


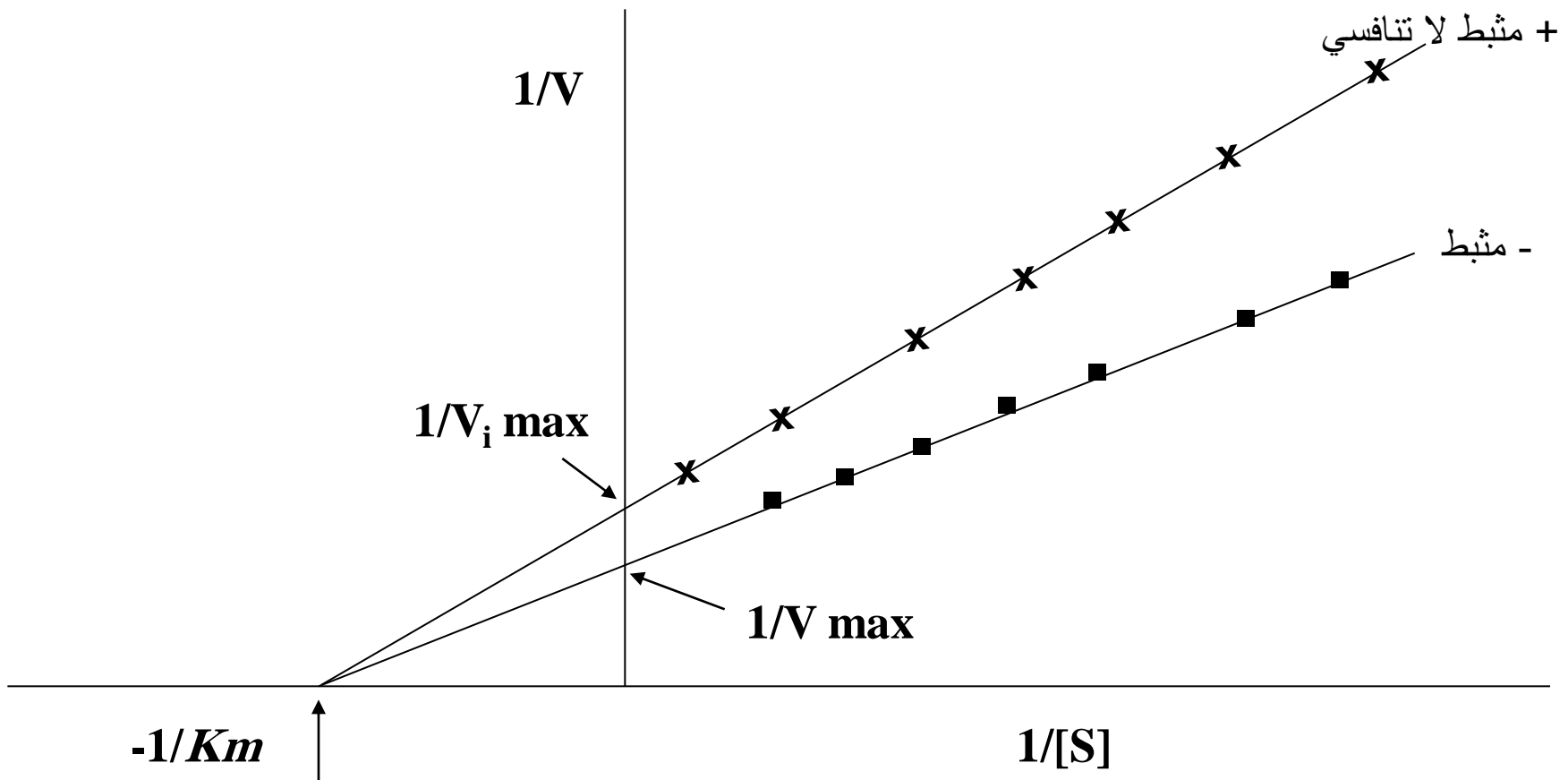
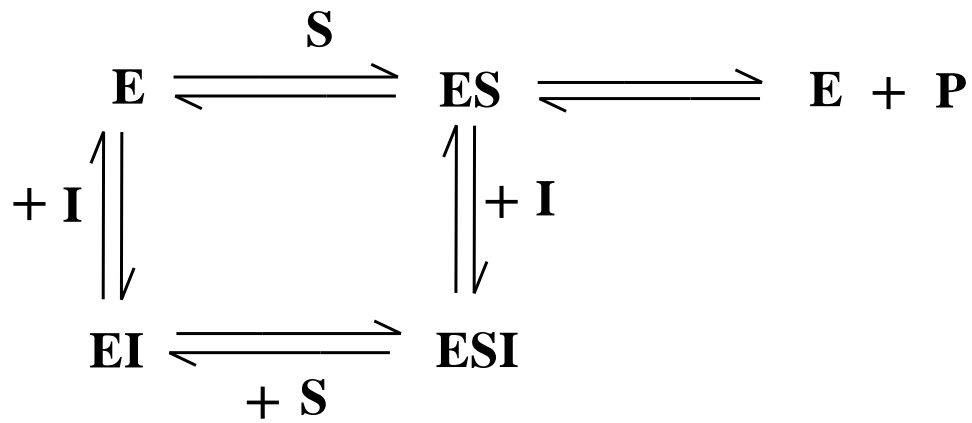
2- تثبيط لاتنافسي

Non-competitive inhibition

وفيه يتحد المثبط بالإنزيم في موقع مختلف عن مكان ارتباط مادة التفاعل. فهو بالتالي لا ينافسها. ويعتمد التثبيط على أن المثبط يغير من شكل الإنزيم في الفراغ وبالتالي موقع اتصال مادة التفاعل

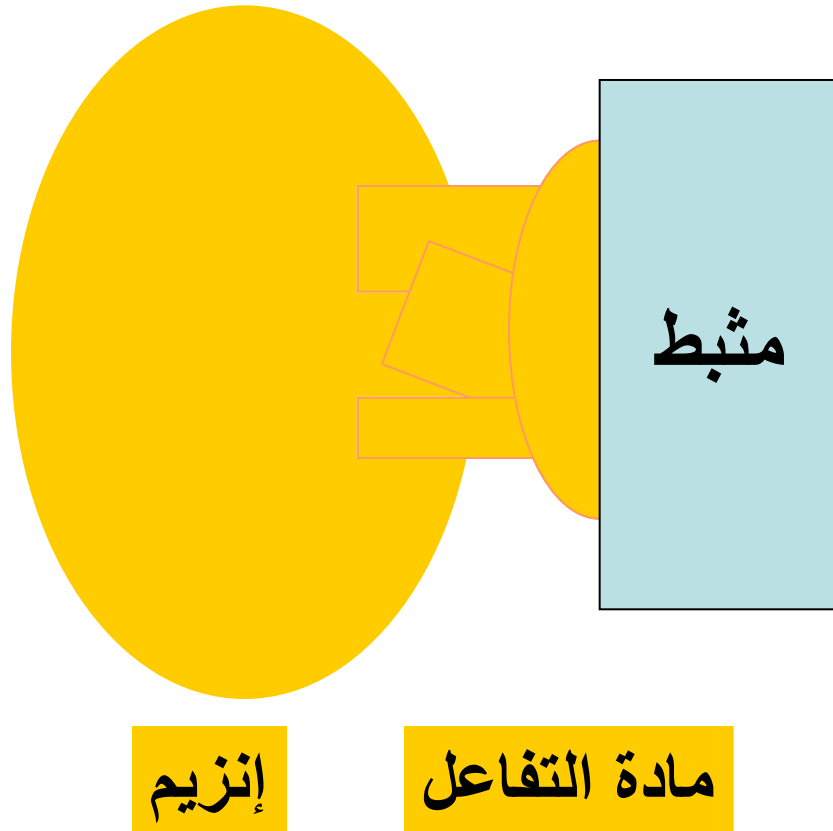
2- تثبيط لاتنافسي

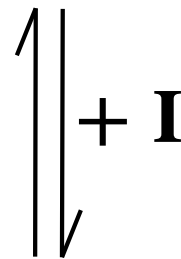




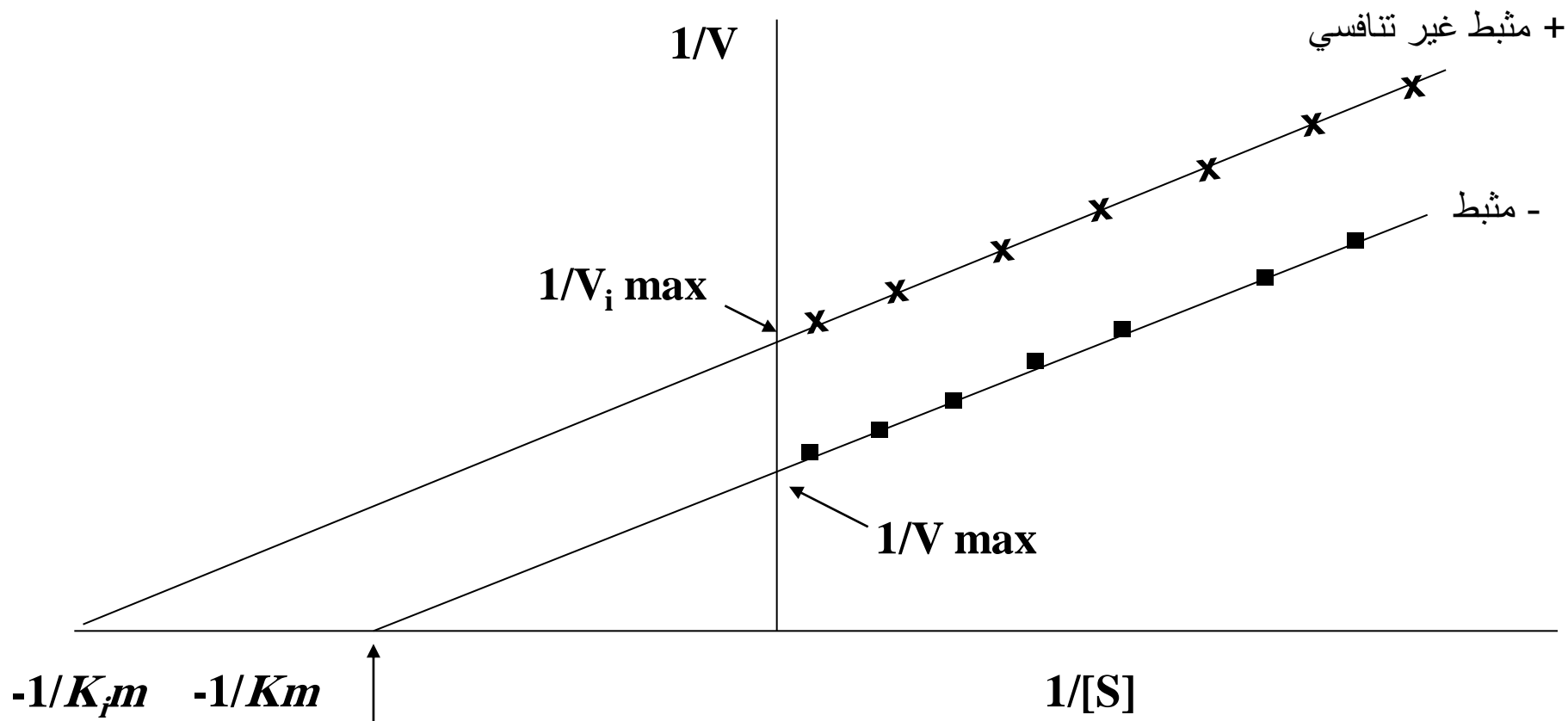
3- تثبيط غير تنافسي

وفيه يتحد المثبط بمادة التفاعل بعد إتحادها بالإنزيم
فيمنع الإنزيم من تحويل مادة التفاعل إلى نواتج





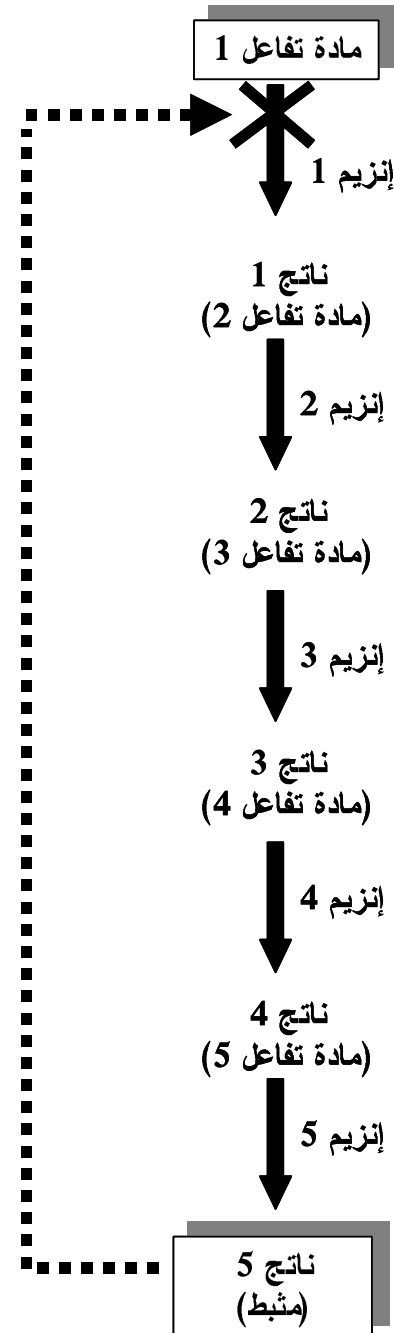
ESI



مثبطات الإنزيمات Enzyme inhibitors

4- تثبيط التغذية المرتدة Feed-Back inhibition

هو تثبيط لا تنافسي ولكن المثبط هو أحد نواتج التفاعل الإنزيمي الذي إن زاد عن حد ما يقوم بتقليل سرعة التفاعل عن طريق تثبيطه للإنزيم



يقوم الناتج رقم 5 (الناتج من
تحويل 4 بواسطة الإنزيم 5)
بتثبيط الإنزيم 1 فيمنع تحويل مادة
التفاعل 1 إلى الناتج 1 وبالتالي
يتم تثبيط جميع الإنزيمات 2 5

مخطط كروكي يوضح تثبيط الإنزيم بالتغذية المرتدة.

مثبطات الإنزيمات Enzyme inhibitors

5- تثبيط غير عكسي

يتحد المثبط بالمراكز الفعالة للإنزيم ارتباطاً قوياً
فلا ينفصل عنها وبالتالي يفقد الإنزيم نهائياً
وظيفته ولا يتم التغلب على هذا التثبيط بزيادة
تركيز مادة الفاعل.

الإنزيمات الألوسثيرية (غير الوضعية)

Allosteric enzymes

تعطي منحنى أسّي Sigmoid للعلاقة بين سرعة التفاعل وتركيز المادة المتفاعلة.

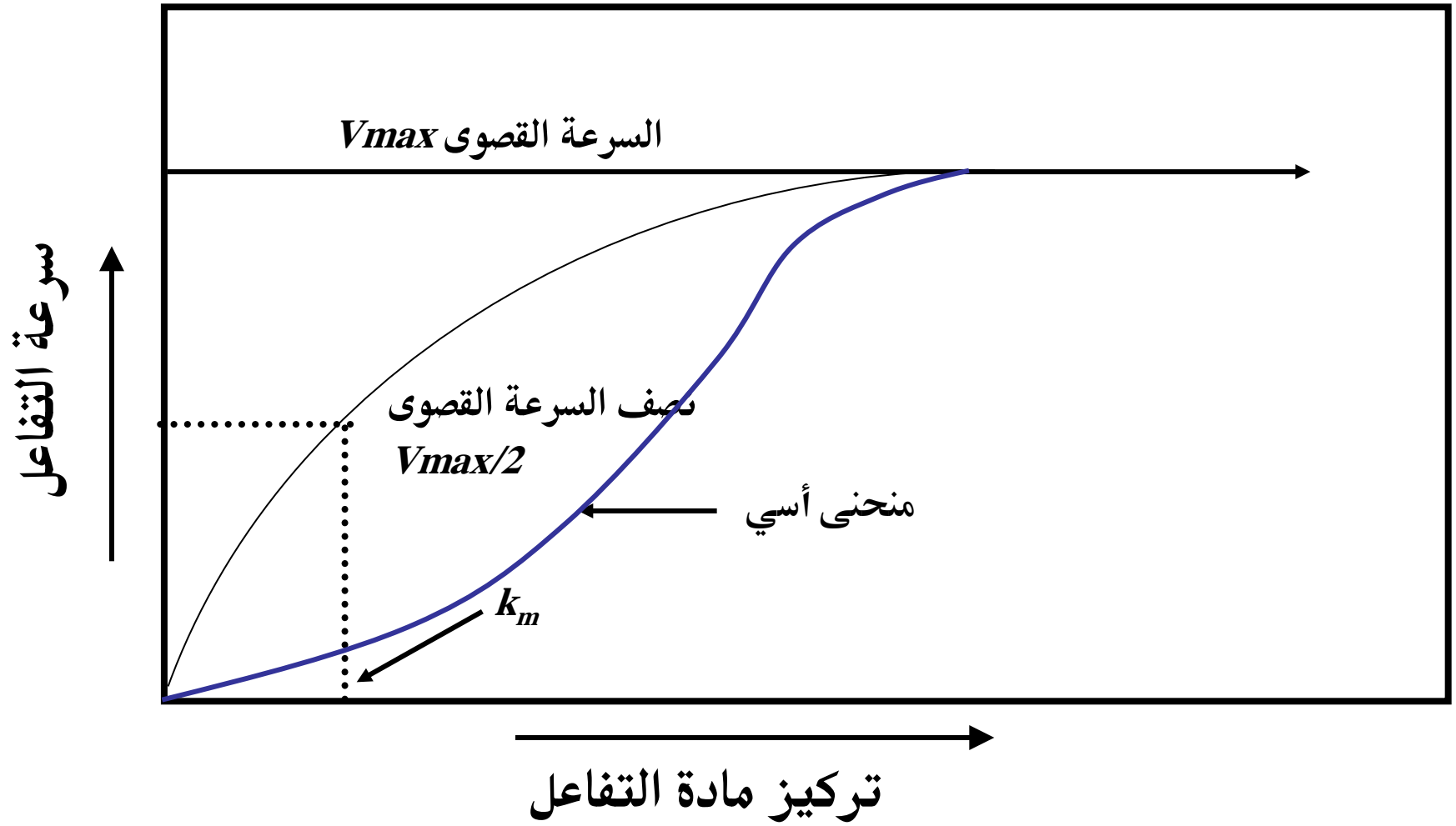
تتكون من عدة وحدات فرعية subunits تحتوى على :

• أ- مركز فعال

• ب- مركز تنظيمي:

• تنظيم إيجابي Positive effector

• تنظيم سلبي Negative effector



المنحنى الأسي للإنزيمات الألوسيرية