

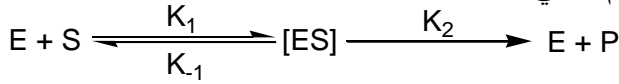
**الأنزيمات:** هي محفزات بروتينية أو عوامل مساعدة بايولوجية تُخلق بواسطة خلايا الجسم، تعمل بتخصص عالٍ على جزئ معين (مادة أساس أو ركيزة substrate) أو على صنف معين من الجزيئات، ولكل إنزيم تخصص معين، ولا تقوم الأنزيمات بتغيير التوازن بل بتسريع الوصول إلى التوازن وجعل التفاعل ممكناً وذلك بتقليل طاقة التنشيط.

\*الأنزيمات هي أكبر وأكثر الأصناف تخصصاً للبروتينات، وتحفز أعداداً كبيرة من التفاعلات الكيميائية التي تولف مجتمعة العمليات الحياتية الأيضية (Metabolism) في الخلايا.  
\*الأنزيمات هي مواد تحفيز حقيقة لعدم فنائها ولعدم تغيرها بصورة دائمة أثناء التفاعلات الكيميائية.

\* عمليات الهضم وعمليات التمثيل الغذائي وتنفس الخلايا وتقلص العضلات أمثلة على الفعاليات الفسيولوجية المختلفة والتي تعتمد على الأنزيمات.

\* كلمة أنزيم مشتقة من الكلمة اللاتينية (in yeast) والتي تعني الخميرة.

\*يمكن تمثيل التفاعل الأنزيمي بالتفاعل العام التالي:



E= Enzyme

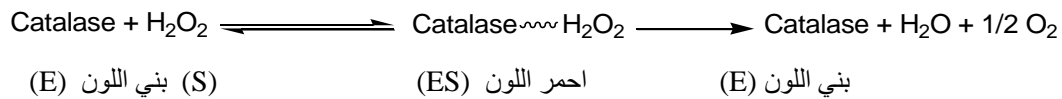
S= Substrate

ES= Enzyme-Substrate complex

P= Product

**معقد أنزيم- مادة أساس [ES]:** وهو مركب وسطي قد يحتوي على طاقة التنشيط الكافية ليكون الناتج (P) أو قد يتفكك إلى المادة الأساس والأنزيم (E + S)

وهناك أدلة تثبت وجود المركب الوسيط (معقد أنزيم- مادة أساس) فمثلاً أنزيم Catalase (بني اللون) يقوم بتحويل بيروكسيد الهيدروجين إلى أوكسجين وماء حسب التفاعل التالي:



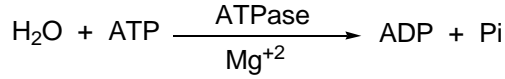
قد تحتاج بعض الأنزيمات إلى مركبات كيميائية أخرى لفعاليتها وهي:

**العوامل المساعدة (Co-Factors):** وهي عوامل مساعدة كيميائية غير بروتينية تحتاج إليها بعض الأنزيمات للقيام بالعمل التحفيزي. تقسم العوامل المساعدة الأنزيمية إلى:

(1) **المجاميع المرتبطة (Prosthetic groups).**

(2) **المرافقات الأنزيمية (Coenzymes).**

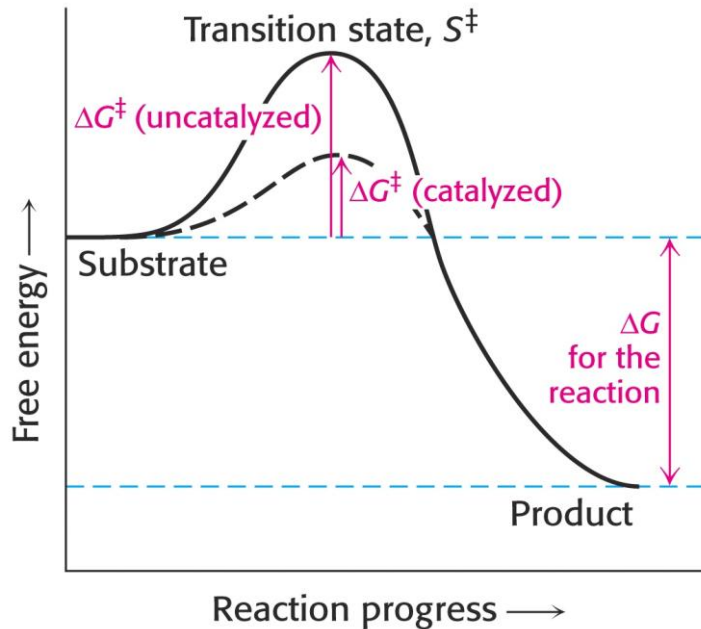
3) الفلزات أو الأيونات (المنشطات اللاعضوية Activators). مثل  $(Zn^{+2}, Ca^{+2}, Mn^{+2}, Mg^{+2}, K^{+1})$ : فمثلاً أنزيم  $ATP_{ase}$  يحتاج إلى وجود أيونات  $Mg^{+2}$  في الخلية ليرتبط مع جزيئات ATP مما يساعد عمل الأنزيم.



### التفاعلات الأنزيمية وطاقة التنشيط Enzymatic Reaction and Activation Energy

في التفاعلات الكيميائية عند تحول المركب (المادة الأساس) (S) إلى ناتج (P) يحتاج إلى طاقة تنشيط Activation energy لتكوين الناتج خلال عبور التفاعل في منطقة الحالة الانتقالية Transition state وقد يحتاج التفاعل إلى طاقة عالية للوصول إلى هذه الحالة (تسخين المواد المتفاعلة).

هذا غير ممكن في الخلايا، لأن التفاعلات تجري داخل الخلايا الحية بدرجات حرارة واطئة نسبياً وثابتة وهي غير قادرة على رفع درجة حرارتها، لذلك تستخدم الأنزيمات للتقليل من طاقات تنشيط التفاعلات عند درجة الحرارة الفسيولوجية.

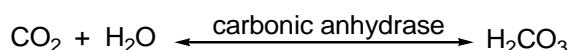


طاقة التنشيط Activation Energy : هي كمية الطاقة اللازمة لجلب جميع الجزيئات الموجودة في وزن جزيئي غرامي للمادة أو المواد المتفاعلة إلى الحالة الانتقالية.

**الحالة الانتقالية Transition State:** وهي الحالة الغنية بالطاقة عند قمة منحنى التفاعل وتكون عندها المركبات غير مستقرة سرعان ما تتحلل لتعطي النواتج.

فعمل الأنزيم هو تسهيل التفاعلات التي تجري داخل الخلايا الحية، وذلك بتقليل طاقة التنشيط وبالتالي تحصل أكبر نسبة من الجزيئات على الطاقة اللازمة للوصول إلى الحالة الانتقالية. فطبيعة عمل الأنزيم هو ارتباطه أولاً مع المادة الأساس (S) لتكوين المعقد (الحالة الوسطية) ES ومن ثم يتم التفاعل المطلوب ليعطي الناتج (P) ويتحرر الأنزيم. علماً أن الأنزيمات **لا تغير توازن التفاعل Reaction equilibrium بل تزيد** سرعة التفاعل.

فمثلاً اتحاد  $CO_2$  مع الماء والذي يحدث داخل الأنسجة الحية، حيث ينتقل  $CO_2$  من الأنسجة إلى الدم ومنها إلى الهواء داخل الحويصلات الهوائية والذي يتم بواسطة أنزيم Carbonic anhydrase والذي يعتبر من أسرع الأنزيمات المعروفة، حيث أن كل جريئة أنزيم تُمكن من اتحاد  $(6 \times 10^5)$  جريئة  $CO_2$  مع الماء في الثانية الواحدة. هذه السرعة تعادل أكثر من مليون مرة سرعة نفس التفاعل بدون العامل الأنزيمي.



### وجود الأنزيمات:

توجد الأنزيمات في جميع الخلايا الحية، وهناك نوعان من الأنزيمات من حيث موقع عملها:-

- 1- **الأنزيمات الداخلية (Endoenzyme):** وهي الأنزيمات التي تعمل داخل الخلية نفسها وليس لها القابلية على التنافذ خلال الأغشية أغشية الخلايا مثل الأنزيمات التأكسدية.
- 2- **الأنزيمات الخارجية (Exoenzyme):** وهي الأنزيمات التي تعمل خارج الخلية (أي بعد إفرازها من الأنسجة) مثل الأنزيمات الهضمية.

**الموقع الفعال Active Site:** هو موقع معين أو تسلسل معين من الأحماض الأمينية من الأنزيم الذي يكون بشكل فراغي يُلائم للارتباط مع المادة الأساس وتلعب مجاميع R- (السلسلة الجانبية) للأحماض الأمينية دوراً هاماً في ارتباط الأنزيم بالمادة الأساس لتكوين المعقد [ES].

أن عملية الارتباط هذه تكون بأواصر ضعيفة، أيونية أو هيدروجينية أو غيرها ويكون الموقع الفعال غالباً بشكل أهدود أو جيب في سطح الأنزيم. وللأنزيمات موقع فعال واحد على الأقل أو أكثر فمثلاً لأنزيم Pepsin موقع فعال واحد ضمن سلسلة البيبتيدية المكونة له وللأنزيم urase وأنزيم catalase أربع مواقع فعالة ضمن سلسلة البيبتيد لهذه الأنزيمات.

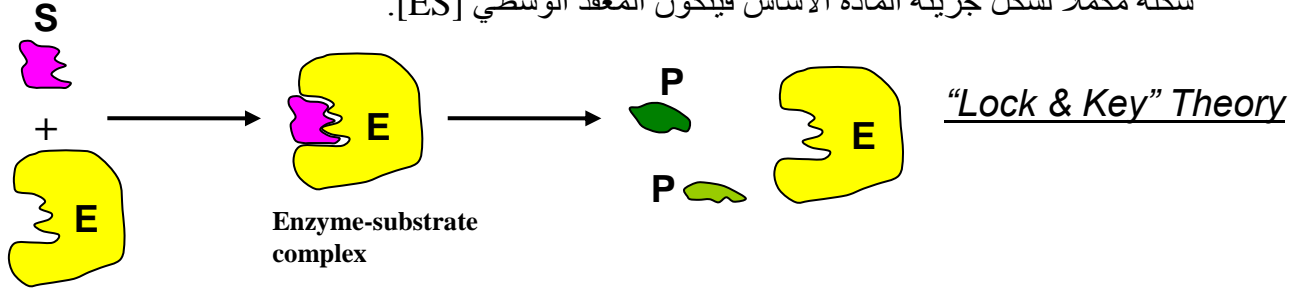
**ميكانيكية عمل الأنزيمات:** يرتبط الأنزيم بالمادة الأساس من خلال الموقع الفعّال لتكوين

المعقد الوسطي [E-S] وهناك فرضيتان شائعتان للارتباط الأنزيم بالمادة الأساس:

**1- نظرية القفل والمفتاح (Lock and Key Theory):** تُفسر هذه النظرية كيفية ارتباط

الأنزيم بالمادة الأساس بشكل يشبه القفل والمفتاح. أي أن الموقع الفعّال الثلاثي الأبعاد يكون في

شكله مكملاً لشكل جزيئة المادة الأساس فيتكون المعقد الوسطي [ES].



**2- نظرية التوافق المستحث (Induced-Fit Theory):** تفترض هذه النظرية أن الموقع

الفعّال للأنزيم يكون بشكل معين في جزيئة الأنزيم وعند وجود جزيئات الركيزة أو المادة

الأساس قريبة من الموقع الفعّال يتغير شكل الموقع الفعّال ليتلائم للارتباط مع جزيئة المادة

الأساس وتكوين المعقد [ES].

