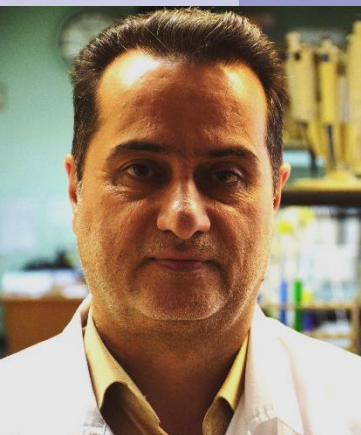




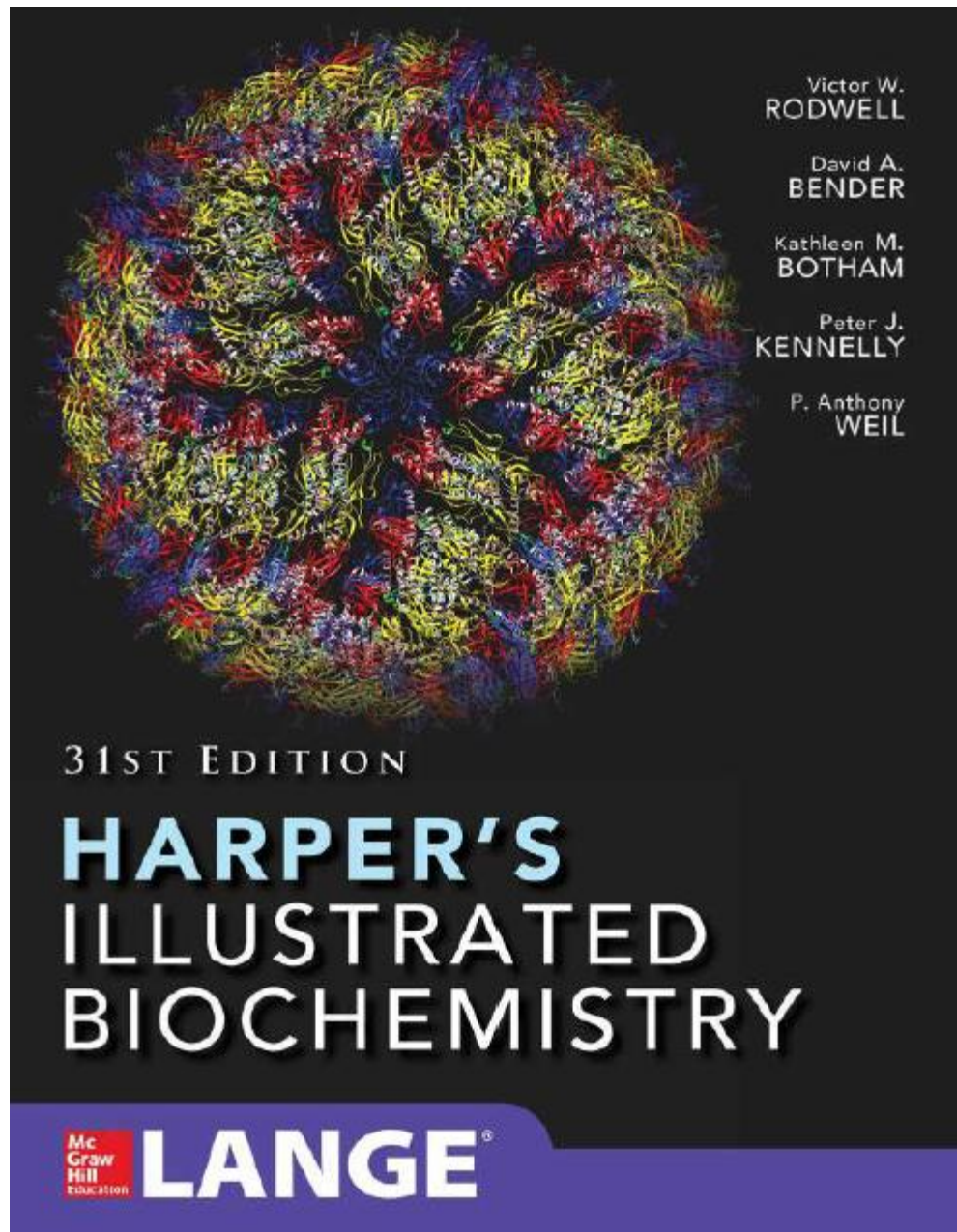
آنزیم‌ها



مدرس : مجید سیرتی ثابت

دانشیار گروه بیوشیمی بالینی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

دی ۱۴۰۲



SECTION II

**Enzymes: Kinetics,
Mechanism, Regulation, &
Role of Transition Metals**

CHAPTER 7

Enzymes: Mechanism of
Action

CHAPTER 8

Enzymes: Kinetics

CHAPTER 9

Enzymes: Regulation of
Activities



مطالب مورد بررسی

❖ سازوکار (مکانیسم) عمل آنزیم‌ها

❖ کینتیک آنزیمی

❖ تنظیم فعالیت آنزیم‌ها



اهمیت آنزیم‌ها

❖ نقش آنزیم‌ها در واکنش‌های زیستی

❖ استفاده از آنزیم‌ها در بیوشیمی بالینی (بیومارکرهای آنزیمی)

❖ اهداف دارویی و درمانی



آنزیم‌ها کاتالیزورهای

بیوشیمیایی با ویژگی

عمل زیاد هستند



چند ویژگی مهم آنزیم‌ها

❖ استفاده از ماده اولیه (سوبسترا) خاص

❖ انجام واکنش مشخص

❖ انجام واکنش در دما و pH ملایم

❖ عدم ایجاد محصولات فرعی



انواع آنزیم‌ها

➤ آنزیم‌های پروتئینی

➤ آنزیم‌های دارای ساختار RNA (ریبوزیم)



آبزیم

آبزیم (Abzyme) آنزیم صناعی است که ساختار آنتی بادی دارد و علیه ترکیبی ساخته

شده است که مشابه حالت گذار واکنش است و با تقلید از عملکرد آنزیم سبب افزایش

سرعت واکنش مورد نظر می شود.



کوفاکتور

برخی از آنزیم‌ها برای فعالیت خود به مواد

دیگری احتیاج دارند که **کوفاکتور** نامیده

می‌شوند



کوفاکتور

❖ یون فلزی

- متالوآنزیم‌ها (فلز محکم به آنزیم متصل است)
- آنزیم‌های فعال شونده توسط فلز



برخی از کوفاکتورهای فلزی

کوفاکتور	آنزیم
Zn^{2+}	الکل دهیدروژناز، کربنیک انهیدراز و کربوکسی پتیداز
Cu^{2+}	سیتوکروم اکسیداز، دوپامین بتا هیدروکسیلاز و تیروزیناز
Fe^{2+}	کاتالاز و پراکسیداز
Mg^{2+}	آنزیم های فسفوترانسفراز از جمله کینازها

نقش‌های کوافاکتورهای فلزی

- ❖ تسهیل در اتصال و جهت‌گیری مناسب ماده اولیه برای شرکت در واکنش
- ❖ تعامل با ماده اولیه جهت ایجاد نوکلئوفیل یا الکتروفیل
- ❖ مشارکت در انتقال الکترون
- ❖ تشکیل پیوند با ترکیبات واسطه واکنش

کوفاکتور

❖ یون فلزی

❖ کوآنزیم: کوفاکتورهای منشا گرفته از ترکیبات آلی

(از جمله مشتقات برخی از ویتامین‌ها، برخی از مواد متابولیکی از جمله برخی از نوکلئوتیدها، مشتقات نوکلئوتیدی (نوکلئوتیدی‌های متصل شده به قند یا لیپید)، s-آدنوزیل متیونین (SAM) و تتراهیدروبیوپترین نقش کوآنزیمی دارند. برخی از پروتئین‌ها از جمله سیتوکروم‌ها و تیوردوکسین نیز نقش کوآنزیمی دارند.)



کوفاکتور

❖ یون فلزی

❖ کوآنزیم: کوفاکتورهای منشا گرفته از ترکیبات آلی

$$\text{کوآنزیم} + \text{آپوآنزیم} = \text{هالوآنزیم}$$



کوسوبسترا

کوآنزیم‌هایی که در واکنش آنزیمی **تغییر** می‌کنند و به

صورت **موقت** به آنزیم متصل می‌شوند



گروه الحاقی (پروستتیک)

کوفاکتوری که محکم به آنزیم متصل می شود

برخی از خصوصیات کوآنزیم‌ها

فعالیت	ویتامین	مخفف	کوآنزیم
مشارکت در انتقال قطعات چندکربنه حاوی گروه کربنیل (تبدیل پیرووات به استیل کوآ)	B ₁ (تیامین)	TPP	تیامین پیروفسفات
کوآنزیم واکنش‌های اکسایش - کاهش (اکسیداسیون و احیا)	B ₂ (ریبوفلاوین)	FMN	فلاوین منونوکلوئید
کوآنزیم واکنش‌های اکسایش - کاهش (اکسیداسیون و احیا)		FAD	فلاوین آدنین دی‌نوکلئوتید
کوآنزیم واکنش‌های اکسایش - کاهش (اکسیداسیون و احیا)	B ₃ (نیاسین)	NAD ⁺	نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید
کوآنزیم واکنش‌های اکسایش - کاهش (اکسیداسیون و احیا)		NADP ⁺	نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات
مشارکت در انتقال گروه آسیل از جمله گروه استیل	B ₅ (پانتوتنات)	CoA	کوآنزیم آ
مشارکت در انتقال گروه آمین، برداشت گروه کربوکسیل (دکربوکسیلاسیون) و دامیناسیون اسیدهای آمینه	B ₆ (پیریدوکسین)	PLP	پیریدوکسال فسفات
مشارکت در انتقال گروه کربوکسیل در واکنش کربوکسیلاسیون	H	-	بیوتین
مشارکت در انتقال گروه‌های یک کربنه از جمله گروه متیل	B ₉ (اسید فولیک)	THF	تتراهیدرو فولات
نوآرایی درون مولکولی (تبدیل متیل‌مالونیل کوآنزیم آ به سوکسینیل کوآنزیم آ)	B ₁₂ (کوبالامین)	Adenosyl-B ₁₂	آدنوزیل کوبالامین
انتقال گروه متیل (تبدیل هموسیستئین به میتونین)		Methyl-B ₁₂	متیل کوبالامین
انتقال الکترون از جمله در برخی از واکنش‌های هیدروکسیلاسیون	C (اسکوربات)	-	اسکوربات (اسید آسکوربیک)
مشارکت در انتقال گروه آسیل	-	-	اسید لیپوئیک (لیپوات)

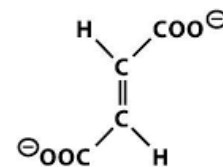
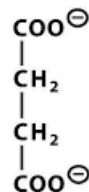
کوآنزیم‌های فلاوینی

❖ آنزیم‌های فلاوپروتئینی دارای کوآنزیم‌های فلاوینی هستند.

❖ کوآنزیم FMN و FAD کوآنزیم‌های فلاوینی هستند که در ساختارشان ویتامین B_۲ (ریبوفلاوین) وجود دارد.

❖ این کوآنزیم‌ها در برخی از واکنش‌های اکسایش - کاهش مشارکت دارند.

❖ FAD کوآنزیم سوکسینات‌دهیدروژناز است که در تبدیل برگشت‌پذیر سوکسینات به فومارات در چرخه کربس نقش دارد.





کوآنزیم

- کوآنزیم می تواند به عنوان حامل موقت در واکنش های بیوشیمیایی عمل کند.



کوآنزیم

■ کوآنزیم می تواند به عنوان حامل موقت در واکنش های بیوشیمیایی عمل کند.

■ کوآنزیم NAD^+ (نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید) که فرم فعال و کوآنزیمی ویتامین B_3

(نیاسین) است به عنوان حامل موقت هیدروژن و الکترون (یون هیدرید) در برخی از

واکنش های اکسیداسیون و احیا شرکت می کند.

کوآنزیم

■ کوآنزیم می تواند به عنوان **حامل موقت** در واکنش های بیوشیمیایی عمل کند.

■ کوآنزیم **NAD⁺** (نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید) که فرم فعال و کوآنزیمی ویتامین B₃

(نیاسین) است به عنوان **حامل موقت هیدروژن و الکترون (یون هیدرید)** در برخی از

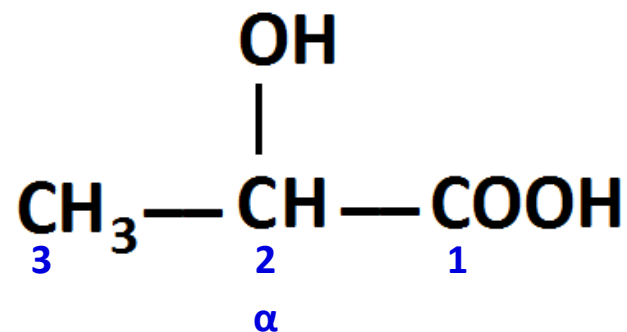
واکنش های اکسیداسیون و احیا شرکت می کند.

■ کوآنزیم **PLP** (پیریدوکسال فسفات) که فرم فعال ویتامین B₆ است و به عنوان **حامل**

موقت گروه آمین در واکنش های ترانس آمیناسیون شرکت می کند.



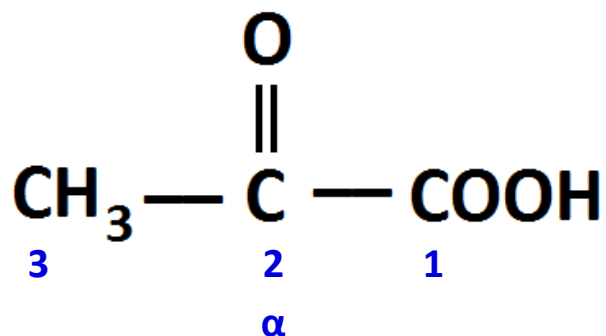
اسید لاکتیک



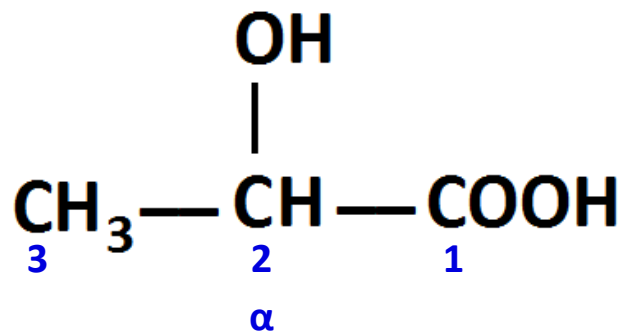
اسید لاکتیک



اسید لاکتیک و اسید پیرویک



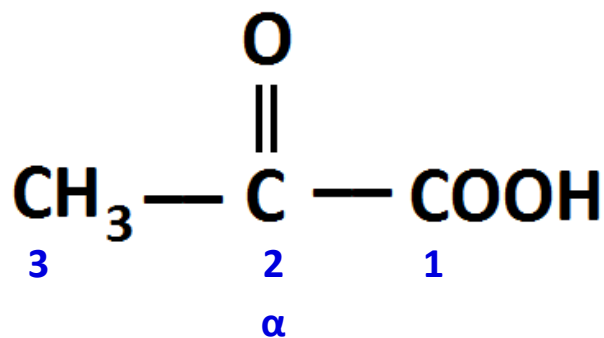
اسید پیرویک



اسید لاکتیک

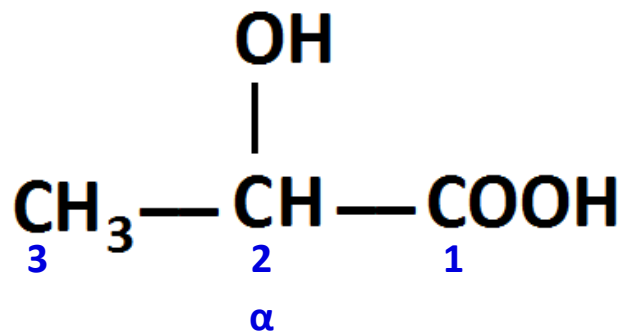


اسید لاکتیک و اسید پیرویک



اسید پیرویک

آلفاکتواسید

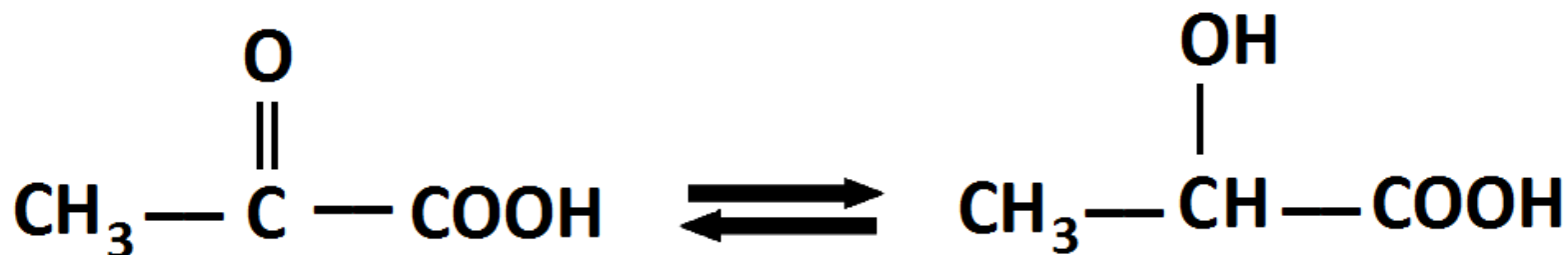


اسید لاکتیک

اسیدالکل

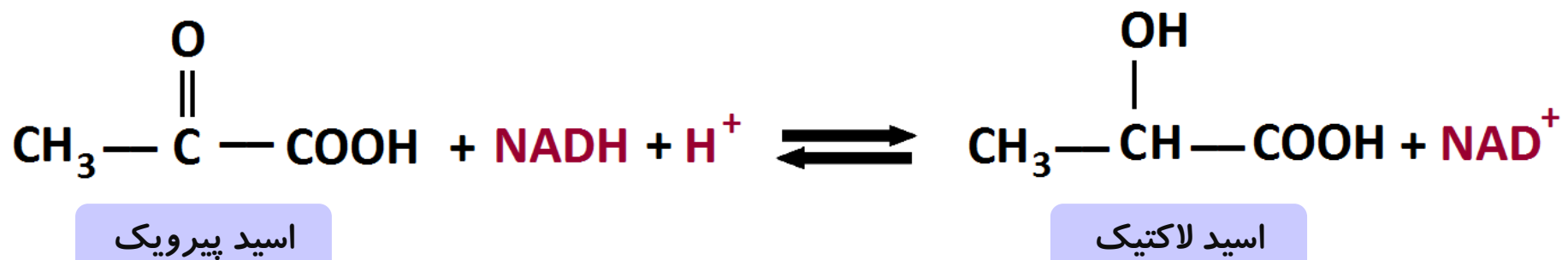


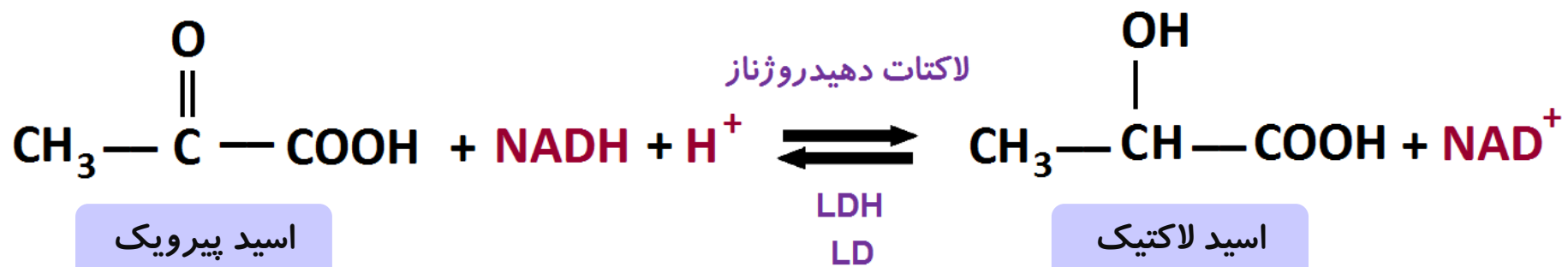
اسید لاکتیک و اسید پیرویک



اسید پیرویک

اسید لاکتیک

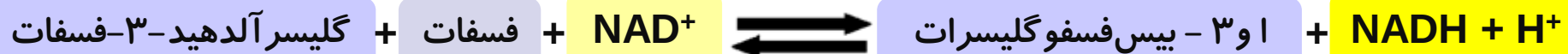








گلیسر آلدهید-۳-فسفات دهیدروژناز





گلیسر آلدهید-۳-فسفات دهیدروژناز



لاکتات دهیدروژناز





گلیسر آلدهید-۳-فسفات دهیدروژناز



لاکتات دهیدروژناز



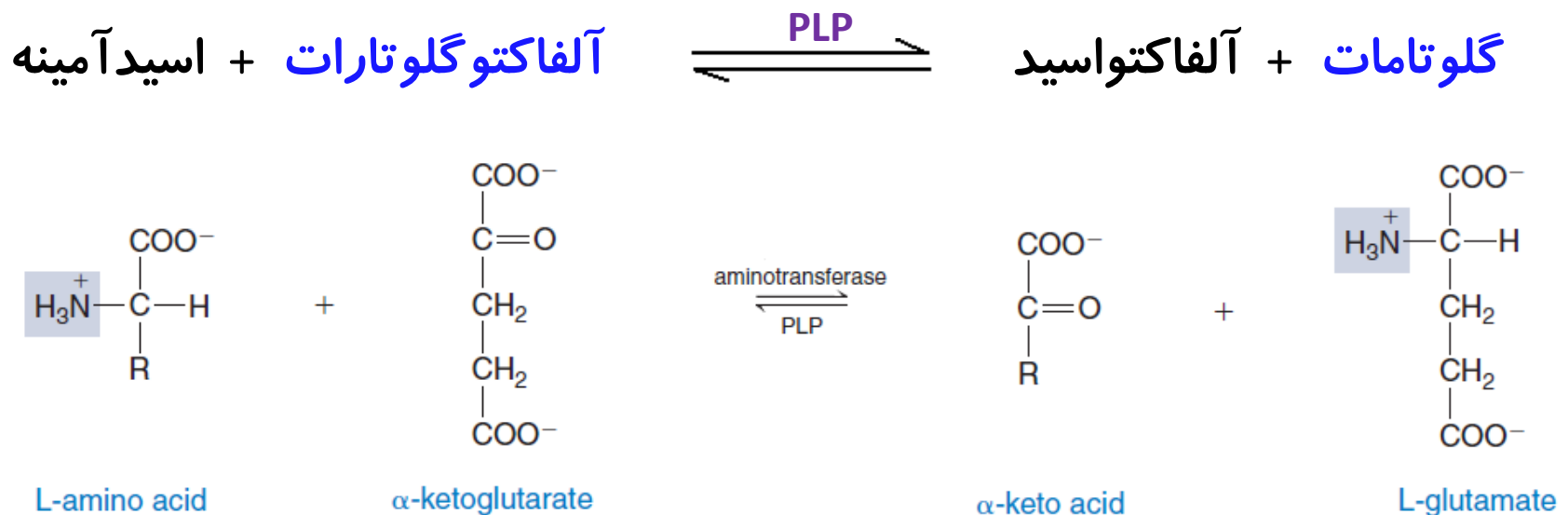
NADH ایجاد شده در واکنش کاتالیز شده توسط گلیسر آلدهید-۳-فسفات دهیدروژناز

می تواند در احیای پیرووات به لاکتات توسط لاکتات دهیدروژناز نقش داشته باشد.

ترانس آمیناسیون

❖ ترانس آمیناسیون یک واکنش برگشت پذیر است که در آن گروه آلفا آمینوی یک اسید آمینه به یک آلفا کتواسید منتقل می شود و در نتیجه آن یک اسید آمینه و یک کتواسید جدید حاصل می شود.

❖ برای انجام این واکنش به کوآنزیم پیریدوکسال فسفات (PLP) (فرم فعال ویتامین B₆) نیاز است.



ترانس آمیناسیون

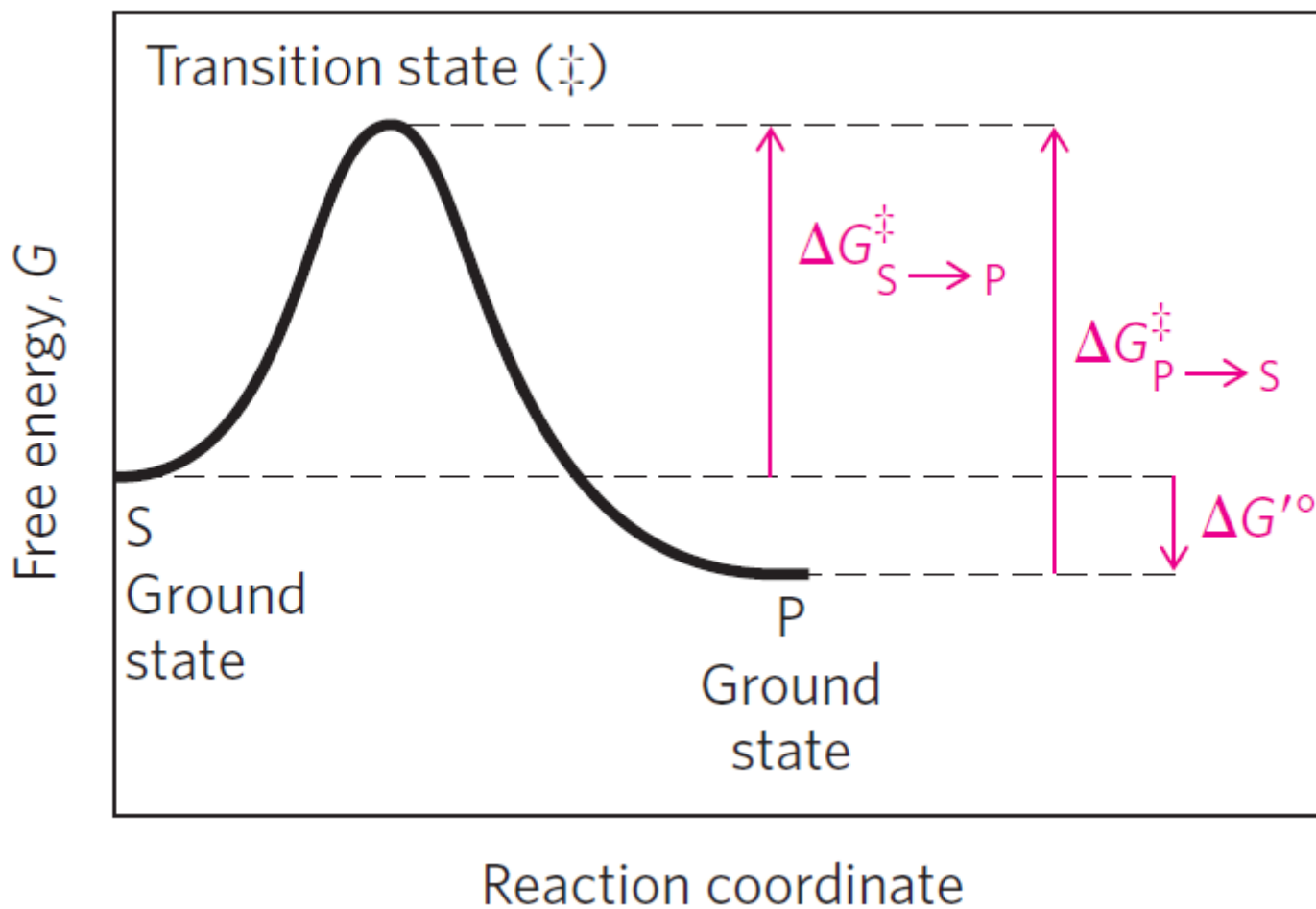
آسپارتات ترانس آمیناز (AST) یا گلوتمات اگزالواستات ترانس آمیناز (GOT) و آلانین ترانس آمیناز (ALT) یا گلوتمات پیرووات ترانس آمیناز (GPT) دو آنزیم ترانس آمیناز (آمینو ترانسفراز) مهم هستند.

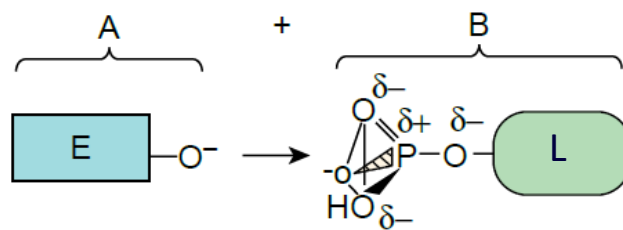
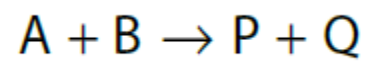


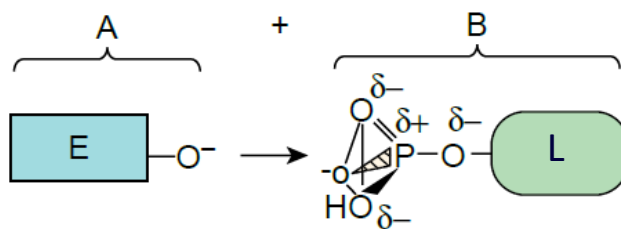
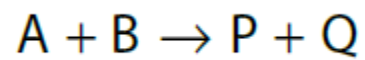
عمل کاتالیزوری آنزیم



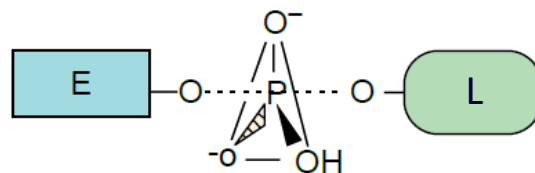
ماده اولیه $\longrightarrow$ محصول

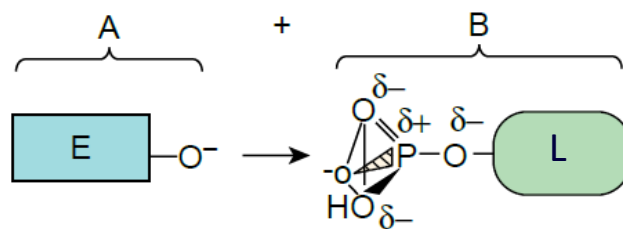
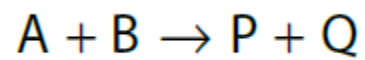




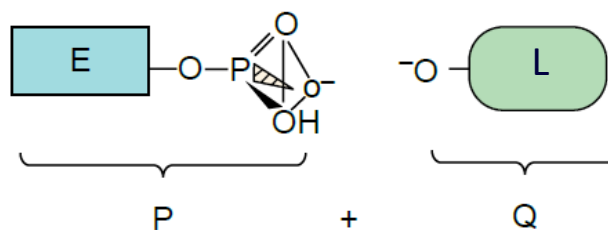
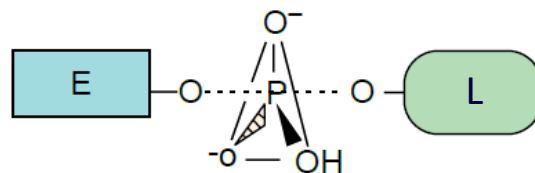


Transition state



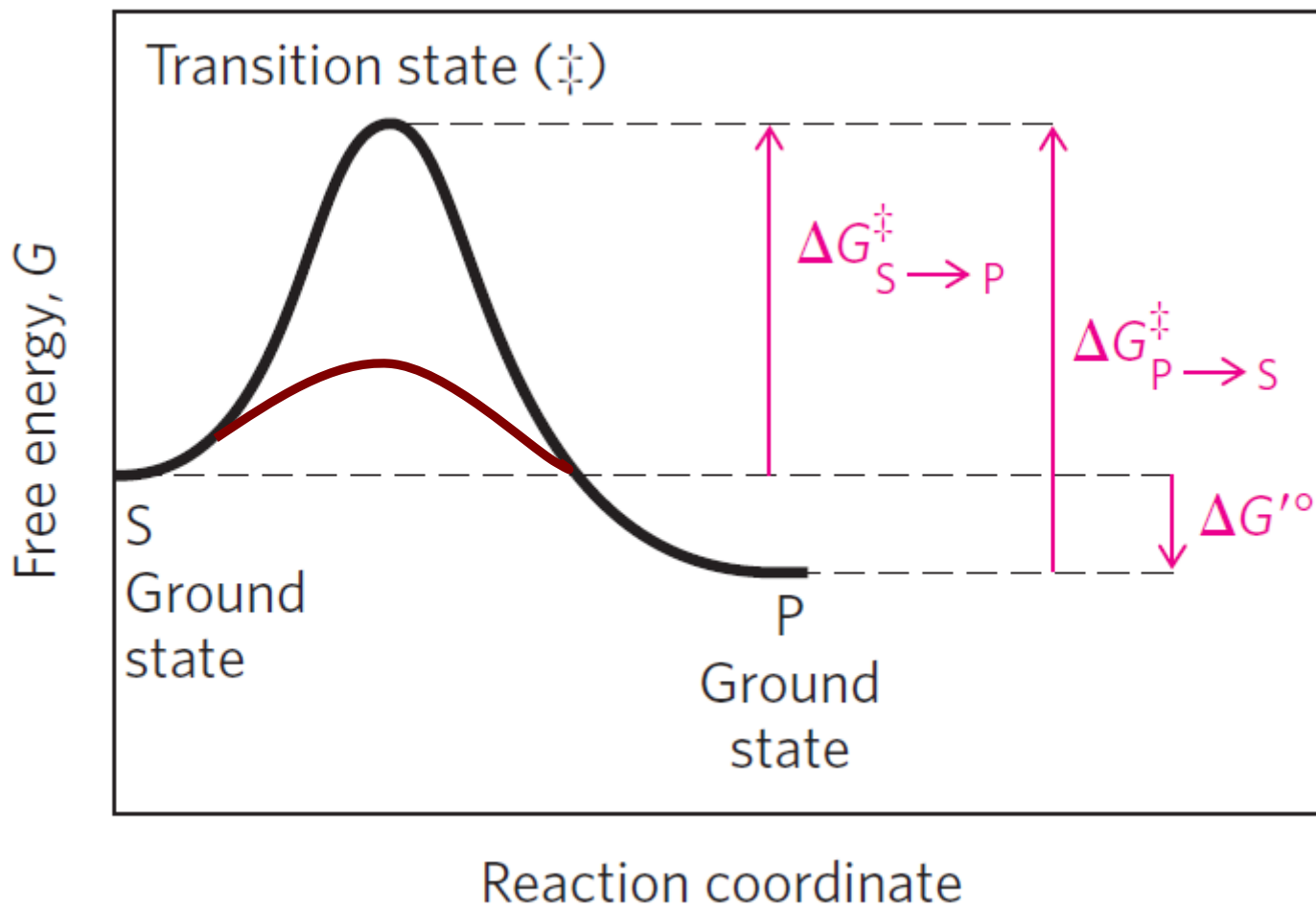


Transition state





ماده اولیه $\xrightarrow{\text{کاتالیزور}}$ محصول





آنزیم
محصول  سو بسترا



آنزیم
محصول $\longrightarrow$ سوبسترا



وجود کمپلکس آنزیم - سوبسترا (ES) اولین بار در سال ۱۸۸۰ میلادی



توسط چارلز آدولف ورتس پیشنهاد شد



آنزیم
محصول $\longrightarrow$ سوبسترا



❖ آنزیم سبب کاهش انرژی فعال سازی واکنش می شود.



محصول $\xrightarrow{\text{آنزیم}}$ سوبسترا



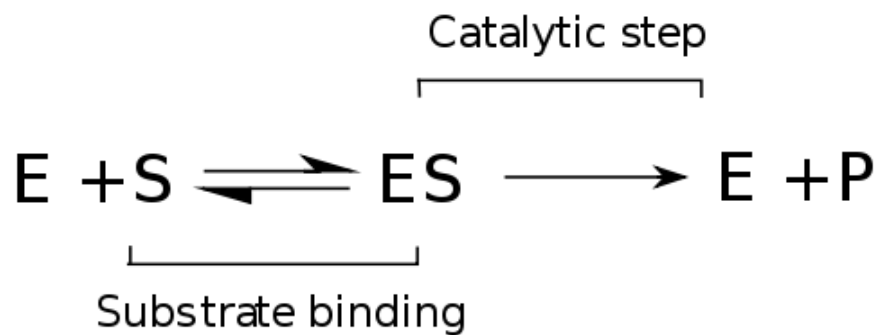
❖ آنزیم سبب کاهش انرژی فعال سازی واکنش می شود.

❖ آنزیم مقدار ثابت تعادل را تغییر نمی دهد.



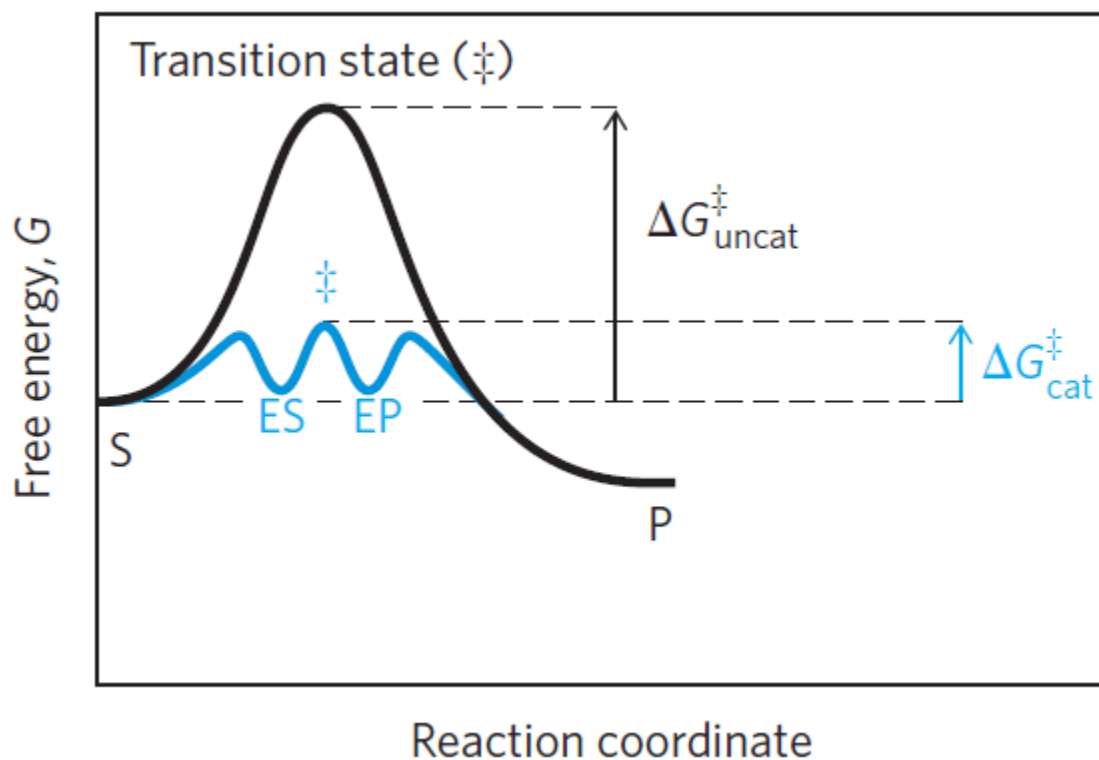
نمایش ساده یک واکنش آنزیمی

آنزیم
سوبسترا $\longrightarrow$ محصول





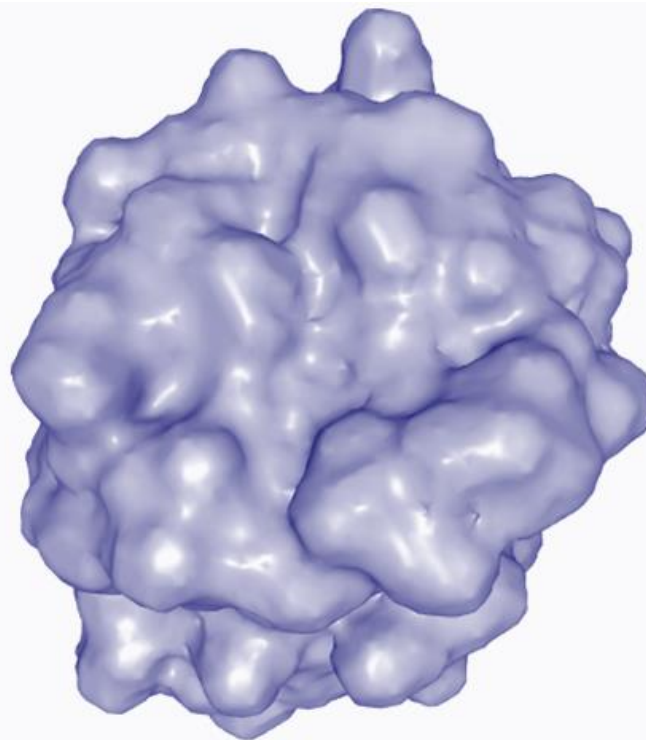
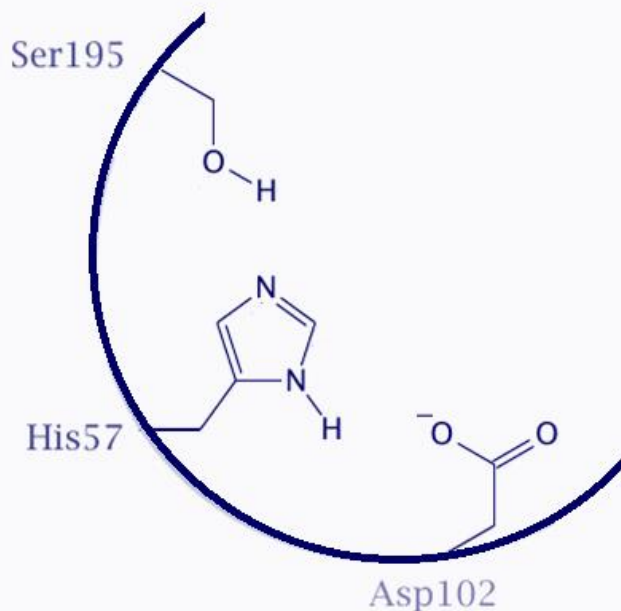
Reaction coordinate diagram comparing enzyme-catalyzed and uncatalyzed reactions



جایگاه فعال آنزیم



جایگاه فعال

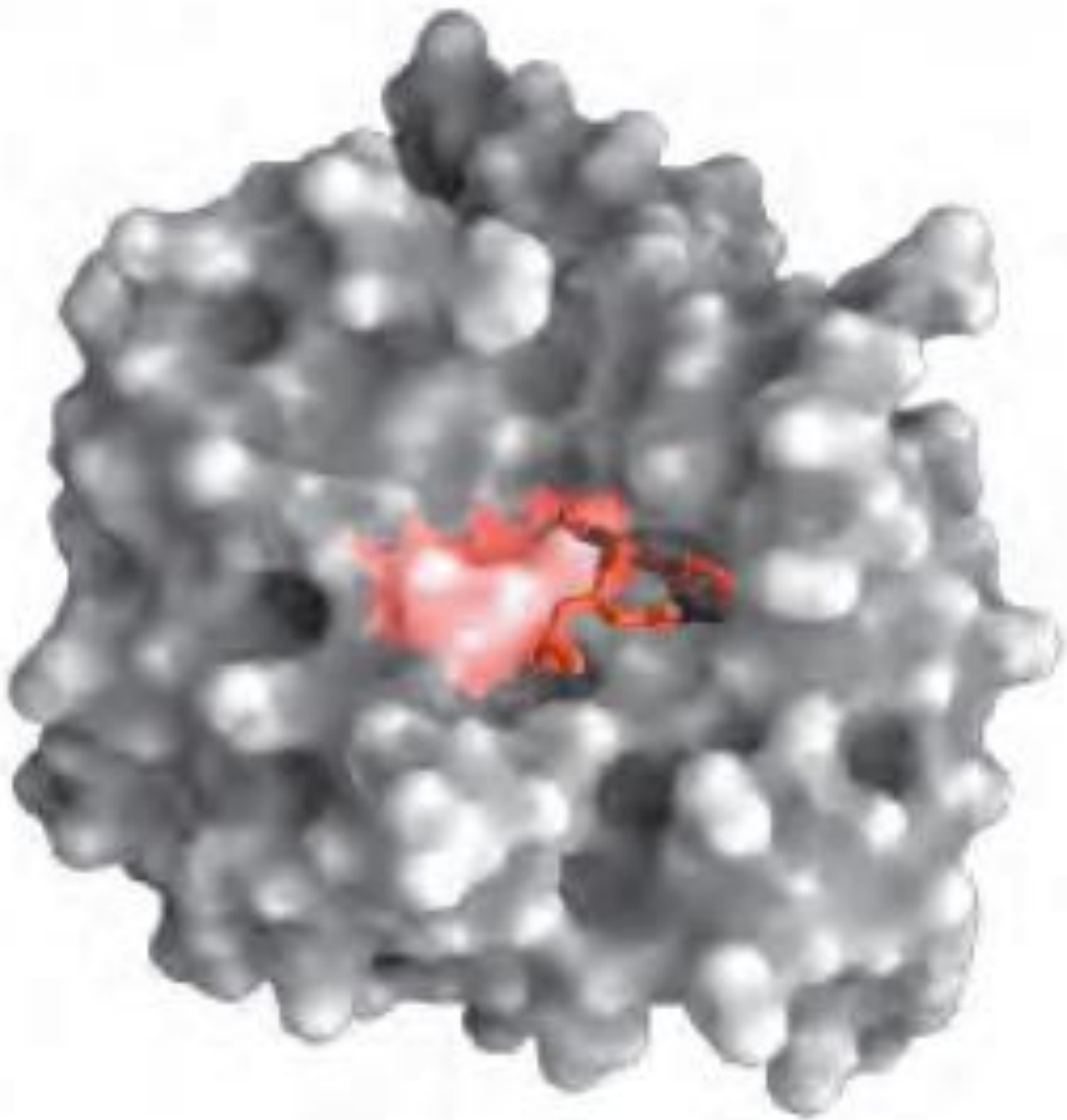


❖ ناحیه‌ای از آنزیم

که در کاتالیز

واکنش نقش دارد.

❖ آرایش فضایی جایگاه فعال بسیار مهم است.





جایگاه فعال

❖ جایگاه اتصال

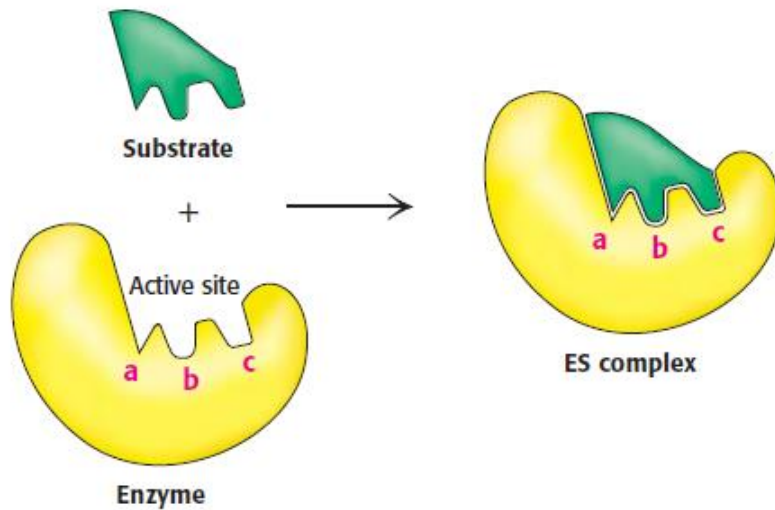
❖ جایگاه کاتالیز



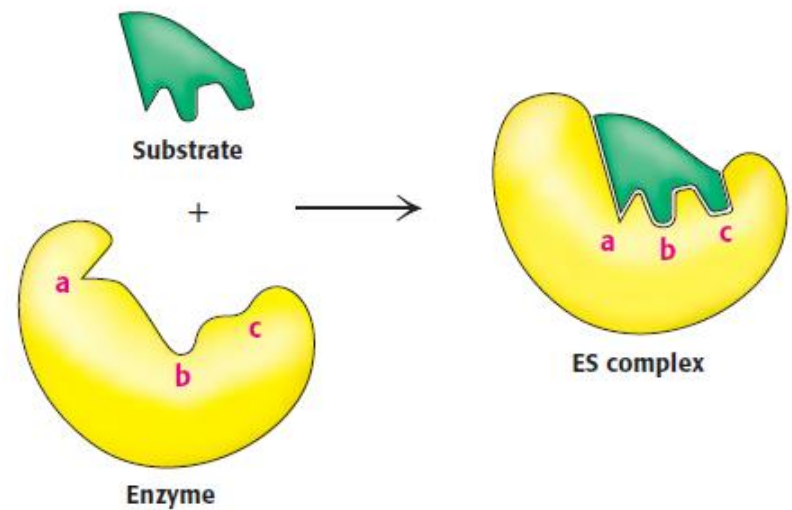
چگونگی انجام واکنش آنزیمی

❖ نظریه قفل و کلید (مدل فشر)

❖ نظریه قالب القاء شده (مدل کوشلاند)



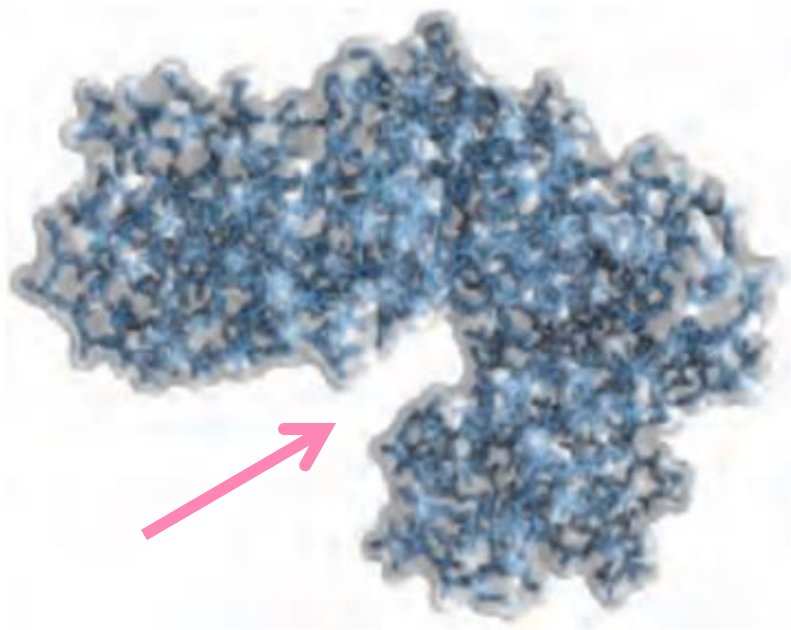
نظریه قفل و کلید (مدل فشر)



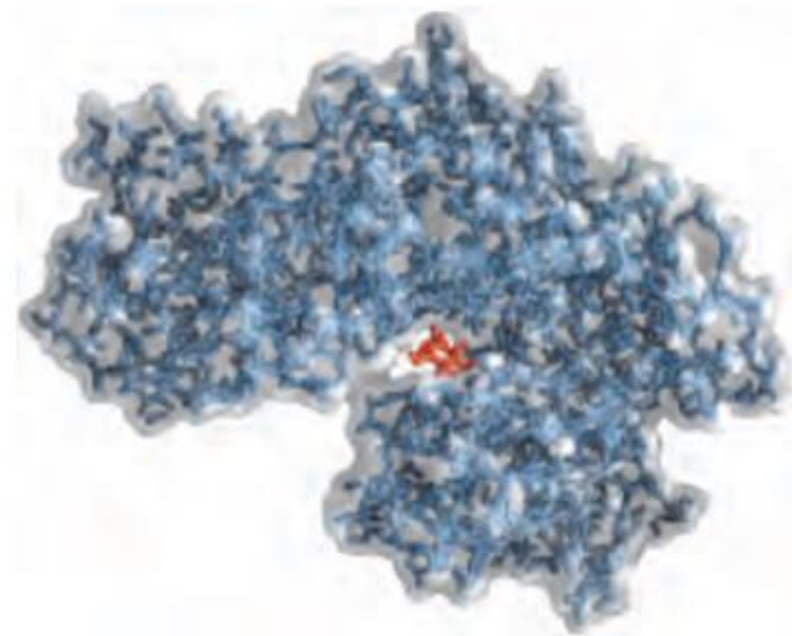
نظریه قالب القاء شده (مدل کوشلاند)



نظریه قالب القاء شده (مدل کوشلاند)



آنزیم



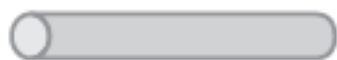
آنزیم + سوبسترا

چگونگی انجام واکنش آنزیمی

- ❖ قسمت اعظم انرژی لازم جهت افزایش سرعت واکنش آنزیمی توسط **تعامل‌های ضعیف** از جمله میان‌کنش آب‌گریز، پیوند هیدروژنی و پیوند یونی بین آنزیم و سوبسترا تامین می‌شود. برخی از این میان‌کنش‌ها در حالت گذار اتفاق می‌افتد که پیامد آن تثبیت حالت گذار است.
- ❖ اگرچه تعدادی میان‌کنش ضعیف به هنگام ایجاد کمپلکس ES بین آنزیم و سوبسترا برقرار می‌شود اما میان‌کنش‌های بین آنزیم و سوبسترا هنگامی که سوبسترا به **حالت گذار** می‌رسد کامل می‌شود.
- ❖ انرژی رها شده از ایجاد این میان‌کنش‌ها که به آن **انرژی اتصال** می‌گویند انرژی لازم جهت رسیدن به **حالت گذار** را فراهم می‌کند.



(a) No enzyme



Substrate
(metal stick)



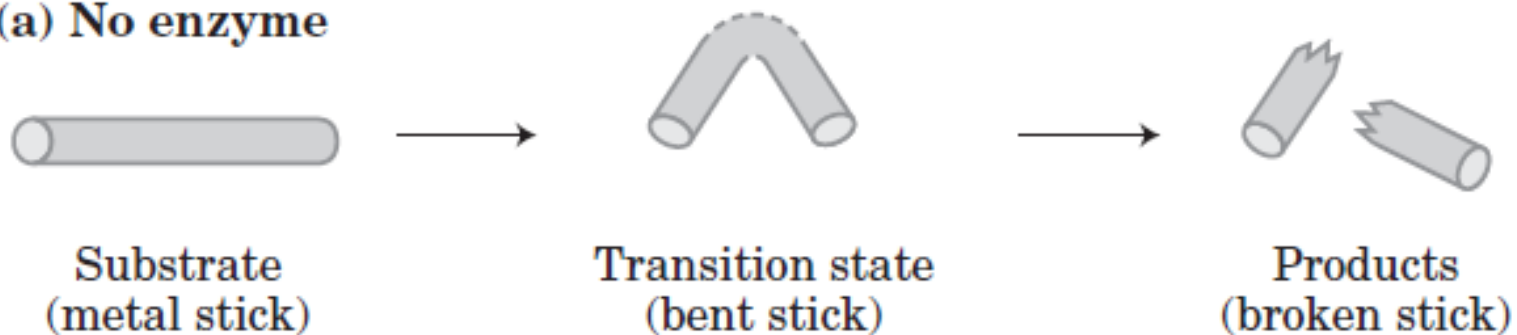
Transition state
(bent stick)



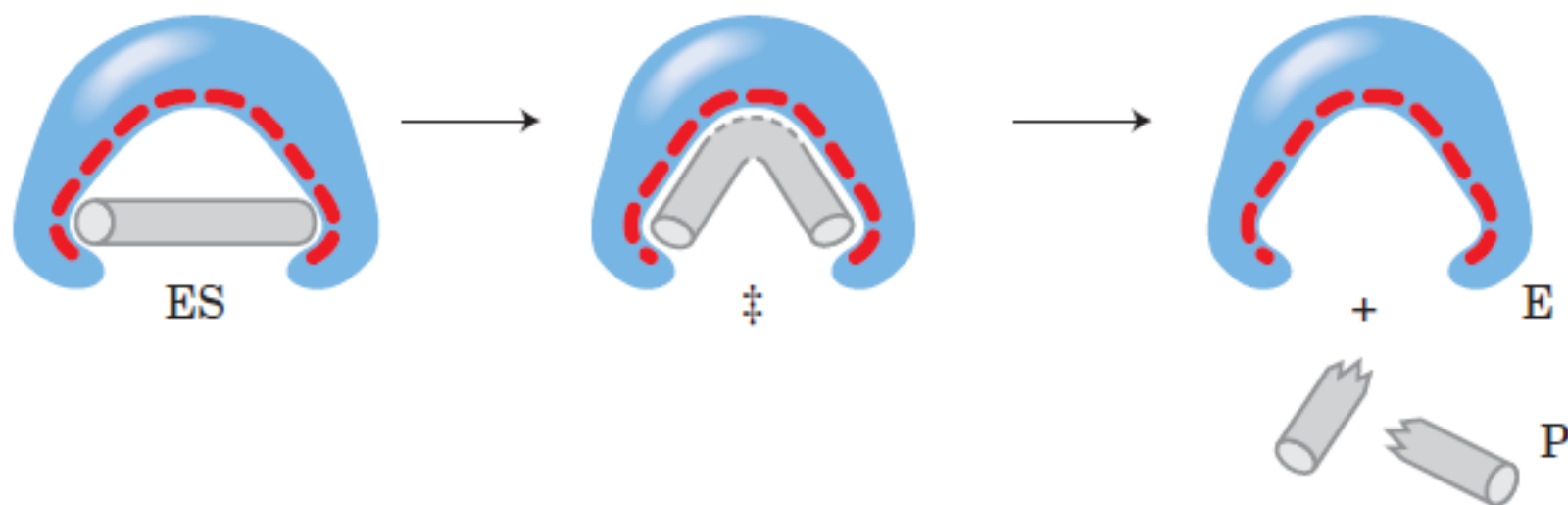
Products
(broken stick)



(a) No enzyme



(b) Enzyme complementary to transition state





سازوکارهای مورد استفاده آنزیم‌ها جهت کاتالیز

❖ کاتالیز به واسطه همجواری مواد اولیه

سازوکارهای مورد استفاده آنزیم‌ها جهت کاتالیز

❖ کاتالیز به واسطه همجواری مواد اولیه

❖ کاتالیز اسیدی – بازی (انتقال H^+) که در ایجاد نوکلئوفیل و الکتروفیل قوی‌تر در

واکنش آنزیمی نقش دارد

سازوکارهای مورد استفاده آنزیم‌ها جهت کاتالیز

❖ کاتالیز به واسطه همجواری مواد اولیه

❖ کاتالیز اسیدی – بازی (انتقال H^+) که در ایجاد نوکلئوفیل و الکتروفیل قوی‌تر در

واکنش آنزیمی نقش دارد

❖ کاتالیز به واسطه ایجاد کشش در سوبسترا

سازوکارهای مورد استفاده آنزیم‌ها جهت کاتالیز

❖ کاتالیز به واسطه همجواری مواد اولیه

❖ کاتالیز اسیدی – بازی (انتقال H^+) که در ایجاد نوکلئوفیل و الکتروفیل قوی‌تر در

واکنش آنزیمی نقش دارد

❖ کاتالیز به واسطه ایجاد کشش در سوبسترا

❖ کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان

سازوکارهای مورد استفاده آنزیم‌ها جهت کاتالیز

✓ کاتالیز به واسطه همجواری مواد اولیه

✓ کاتالیز اسیدی – بازی (انتقال H^+) که در ایجاد نوکلئوفیل و الکتروفیل قوی‌تر در

واکنش آنزیمی نقش دارد

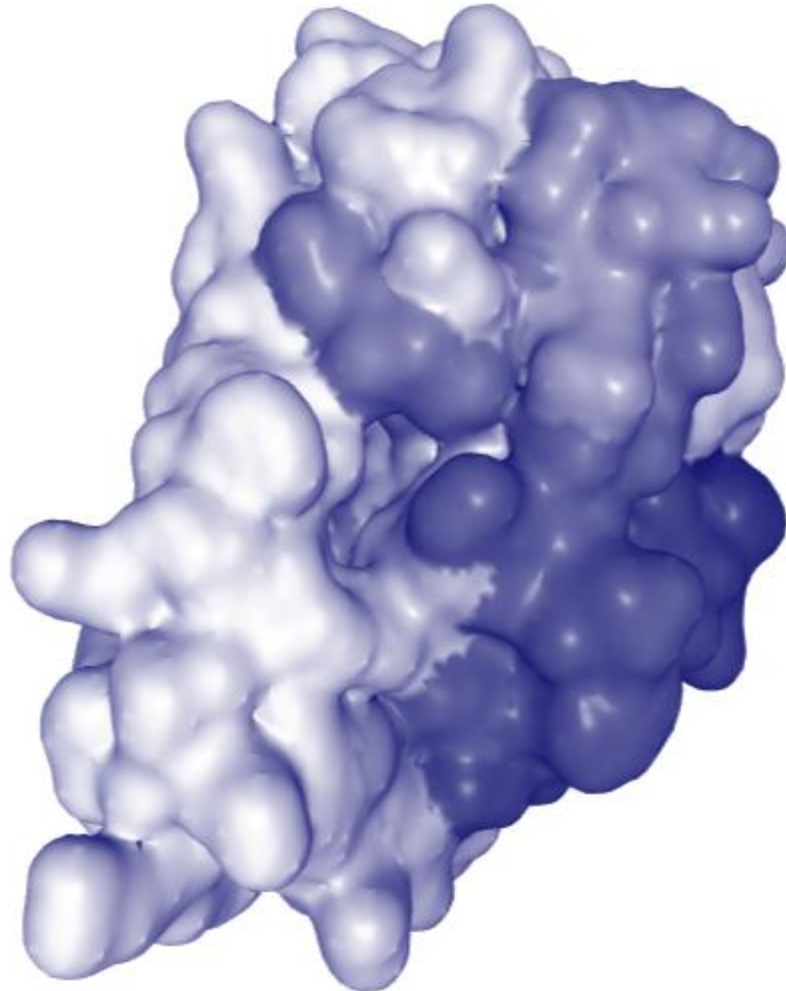
✓ کاتالیز به واسطه ایجاد کشش در سوبسترا

✓ کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان

مثال‌هایی از واکنش آنزیمی

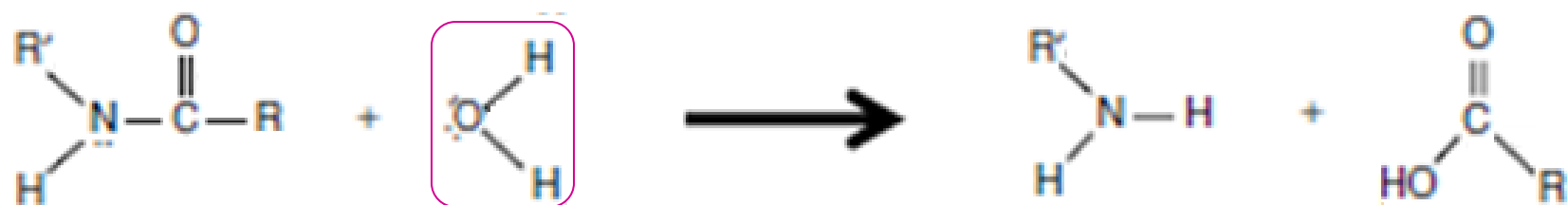


The Mechanism of HIV Protease



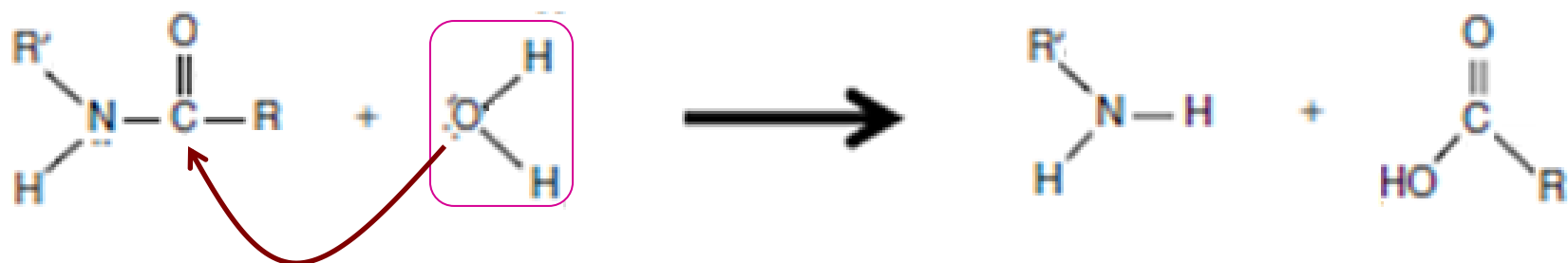


Mechanism for catalysis by an aspartic protease such as HIV protease.



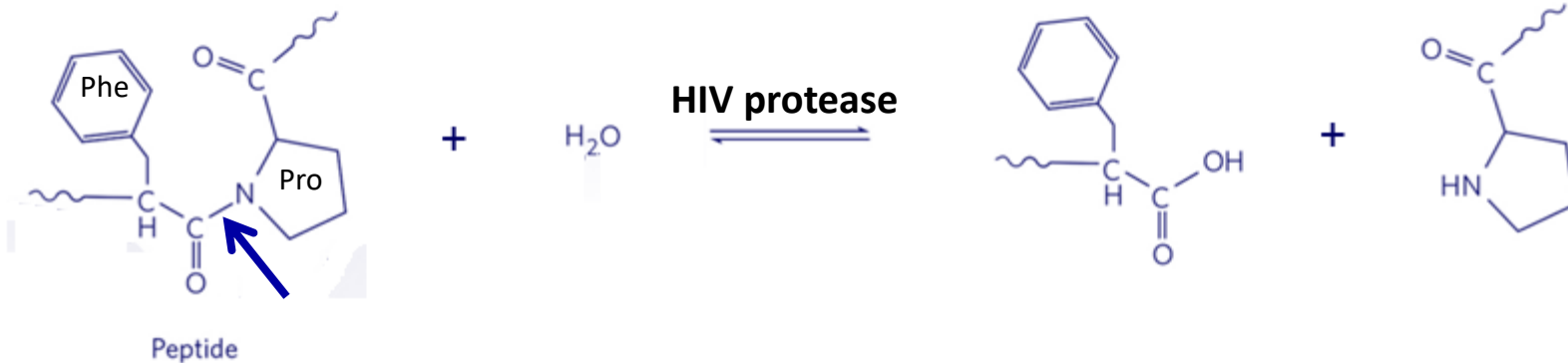


Mechanism for catalysis by an aspartic protease such as HIV protease.



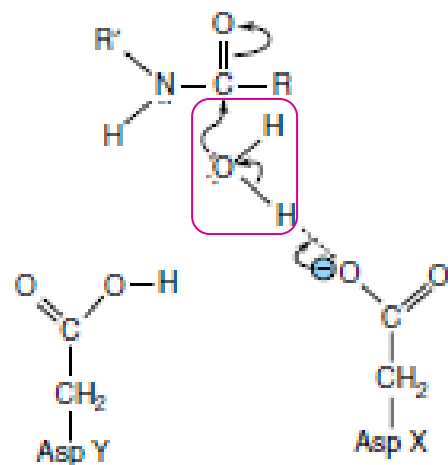


The Mechanism of HIV Protease



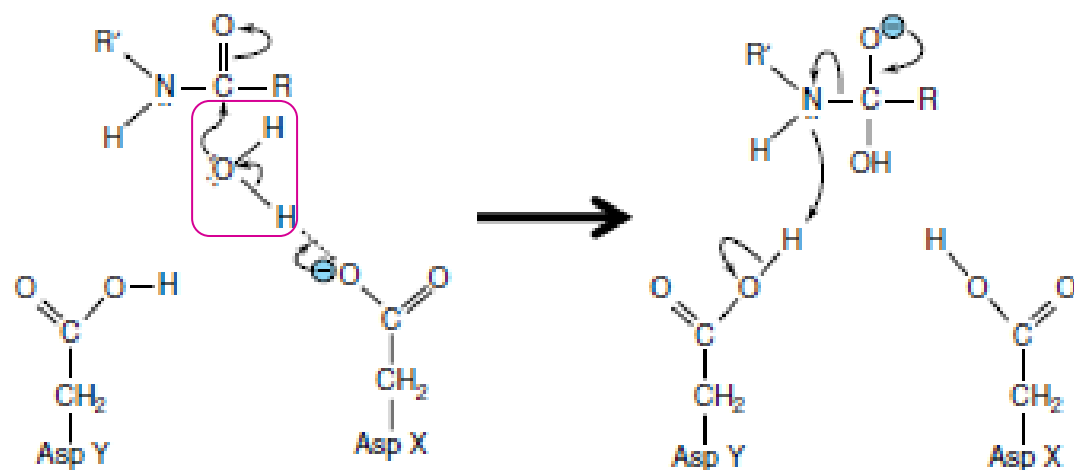


Mechanism for catalysis by an aspartic protease such as HIV protease.



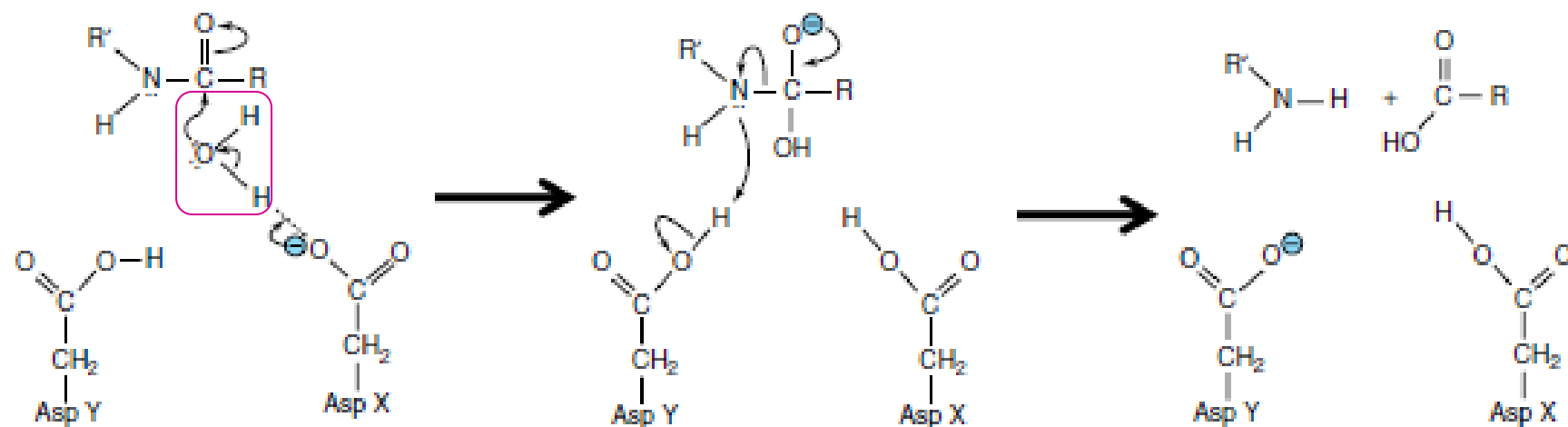


Mechanism for catalysis by an aspartic protease such as HIV protease.



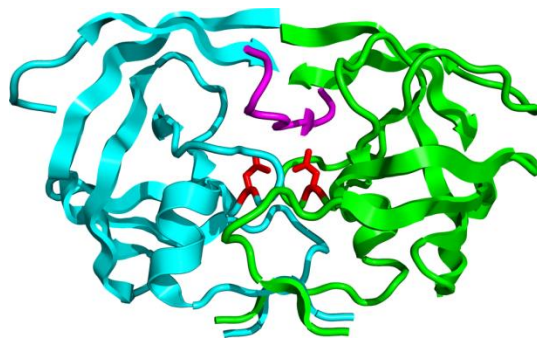
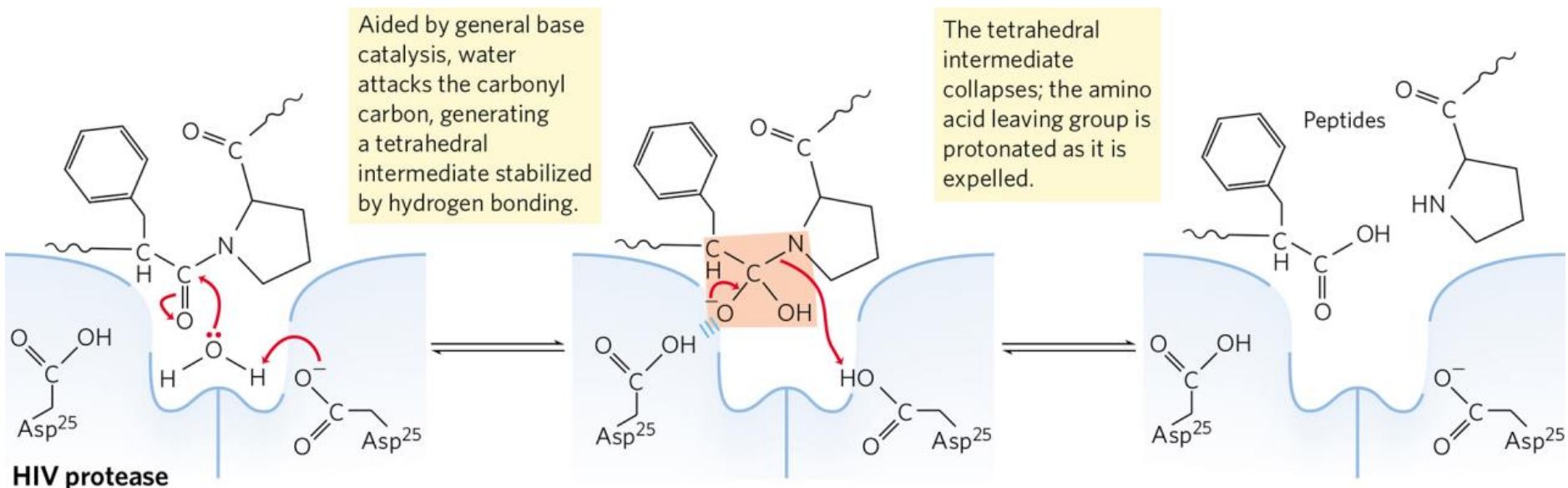


Mechanism for catalysis by an aspartic protease such as HIV protease.



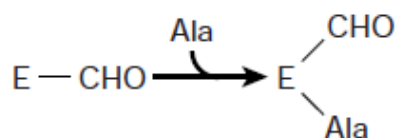
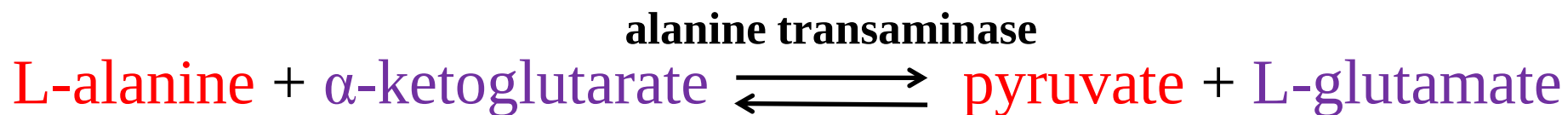


The Mechanism of HIV Protease



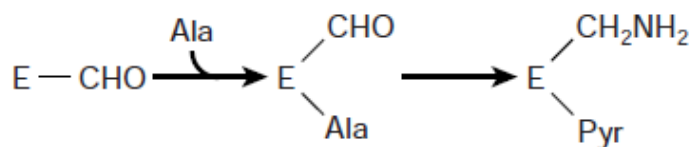
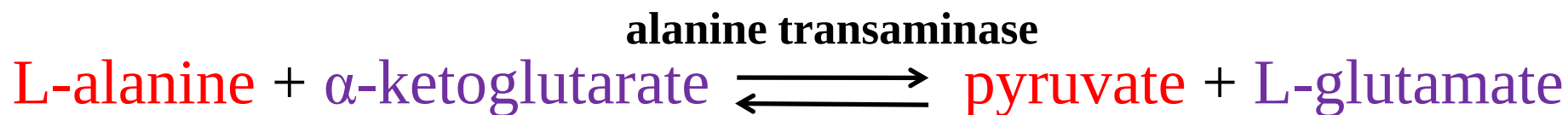


کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان



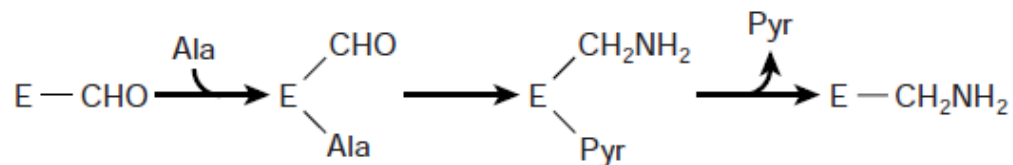
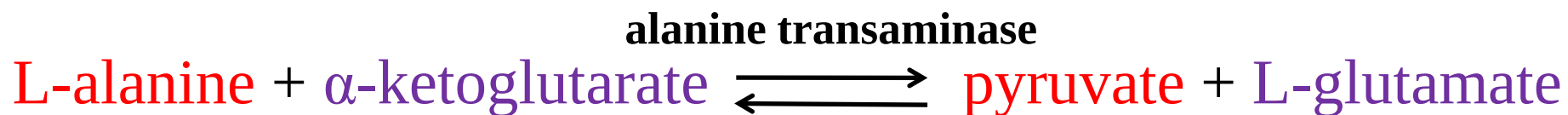


کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان





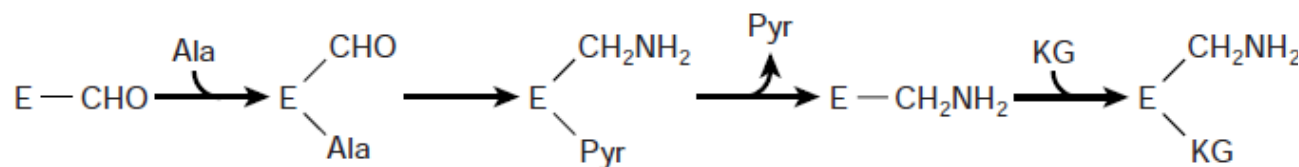
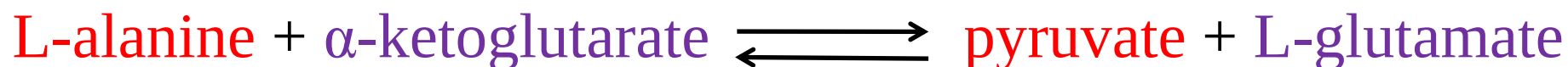
کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان





کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان

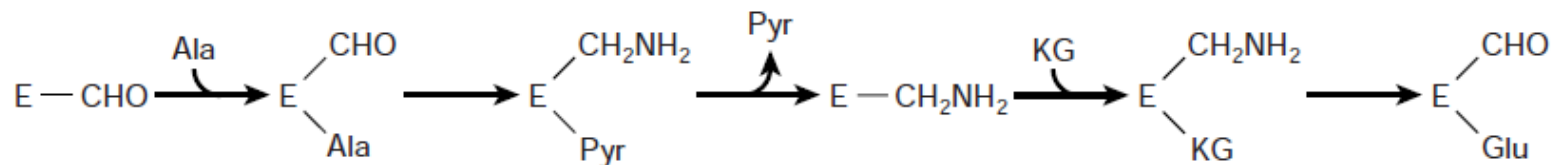
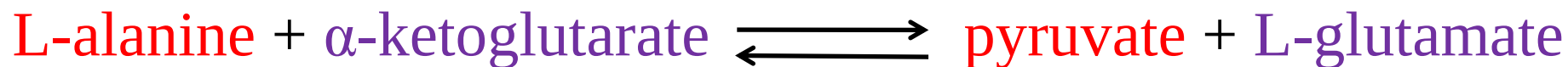
alanine transaminase





کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان

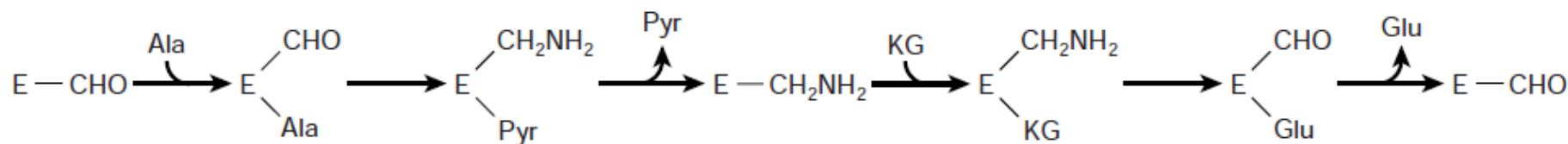
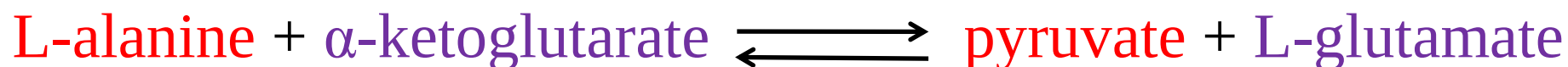
alanine transaminase





کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان

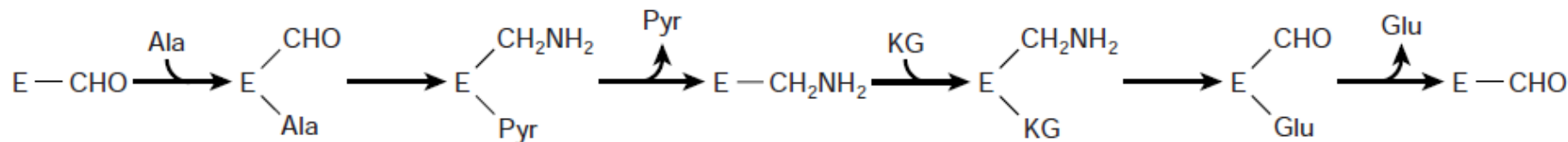
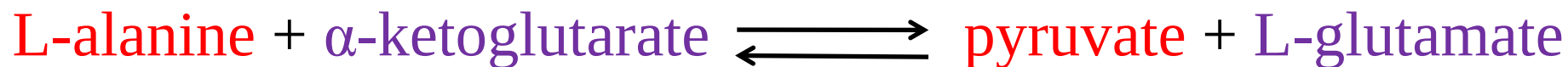
alanine transaminase





کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان

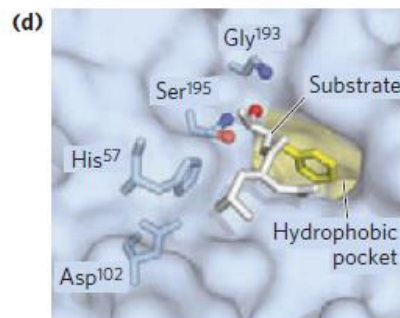
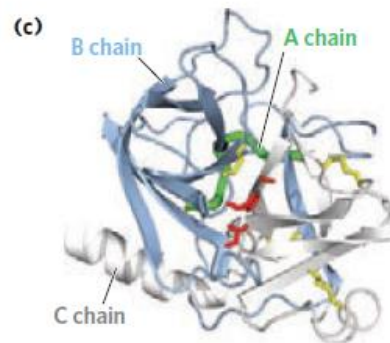
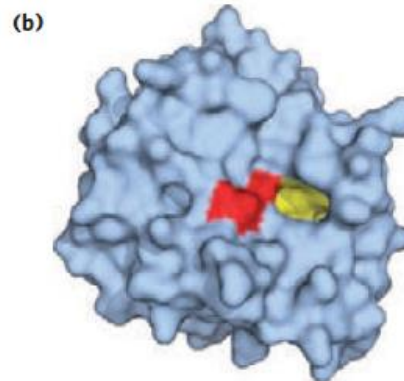
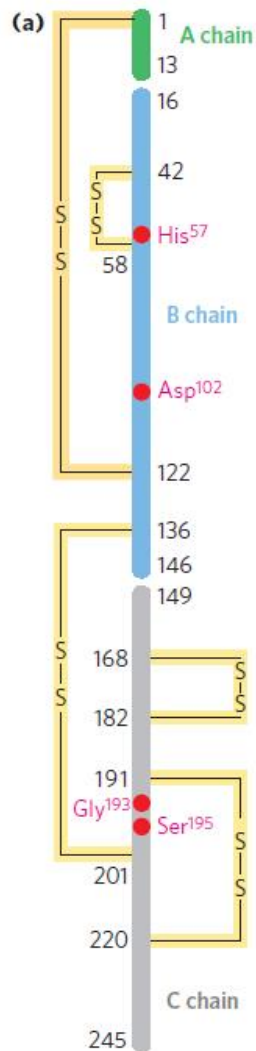
alanine transaminase



سازوکار (مکانیسم) پینگ پونگ



کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان



جایگاه کاتالیز آنزیم

کیموتریپسین



کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان



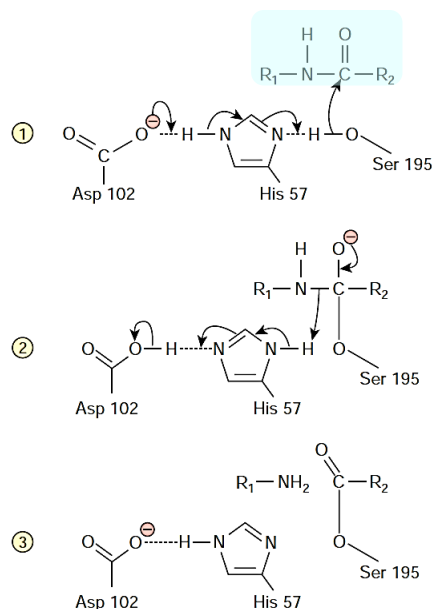
جایگاه کاتالیز آنزیم

کیموتریپسین

catalytic triad



کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان

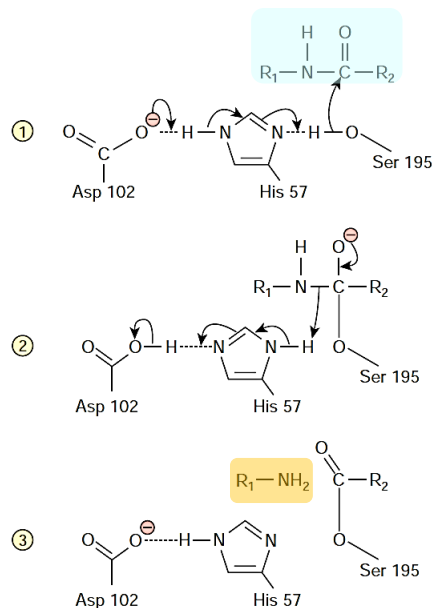


سازوکار آنزیم

کیموتریپسین



کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان

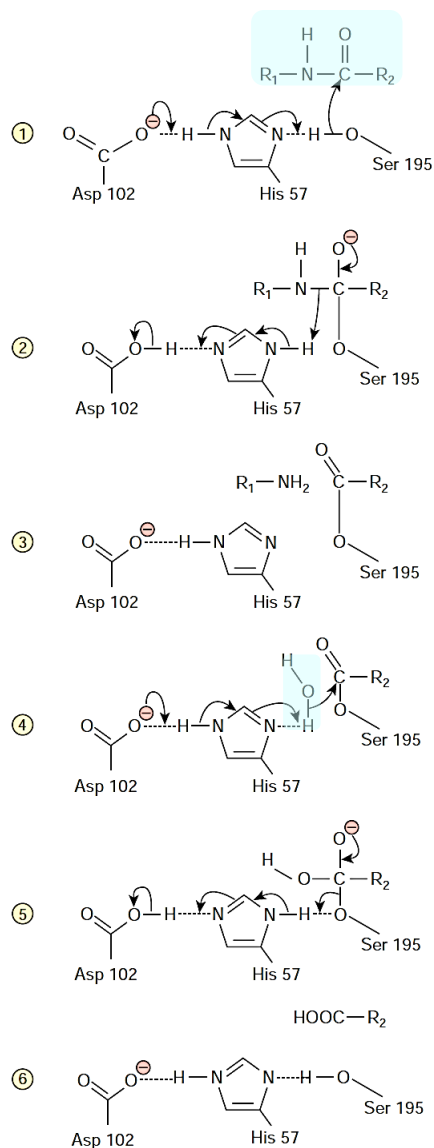


سازوکار آنزیم

کیموتریپسین



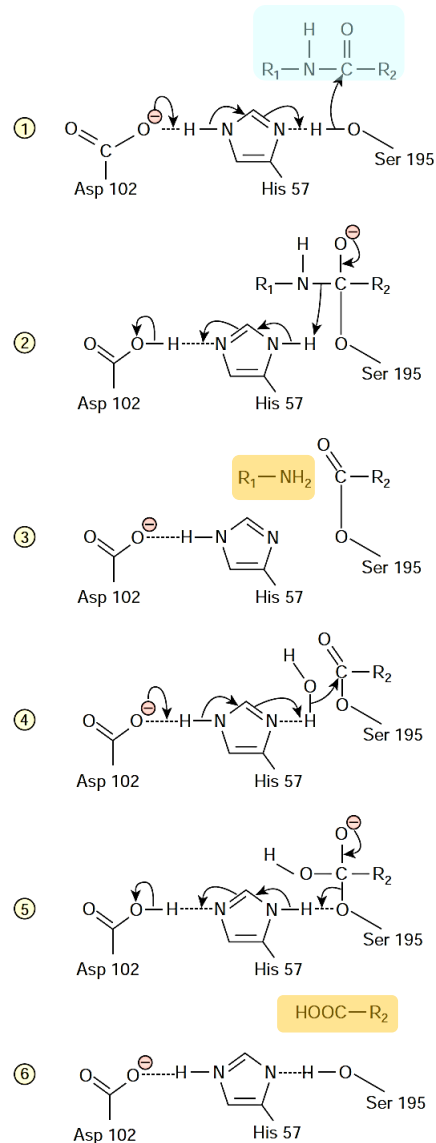
کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان



سازوکار آنزیم

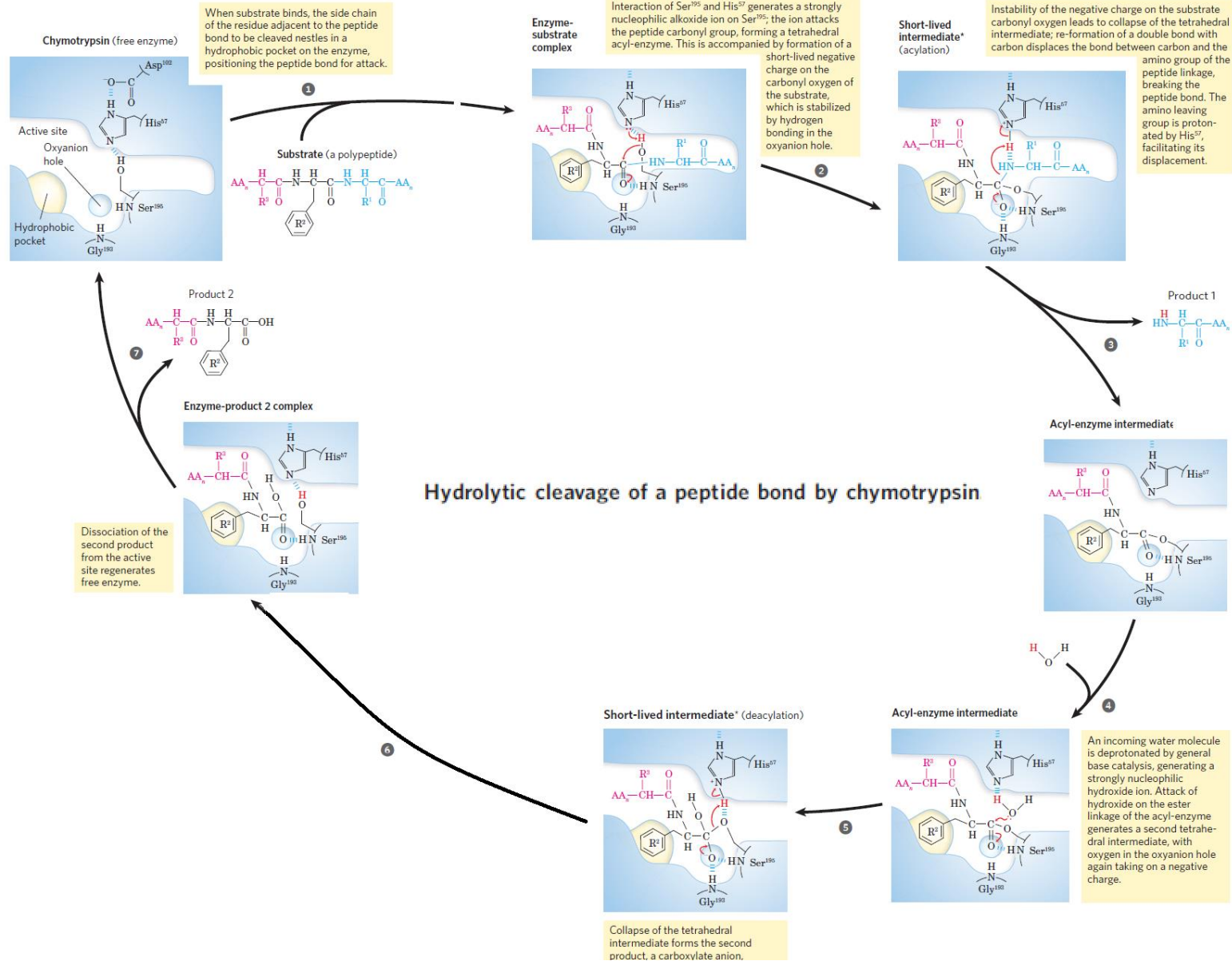
کیموتریپسین

کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان



سازوکار آنزیم

کیموتریپسین

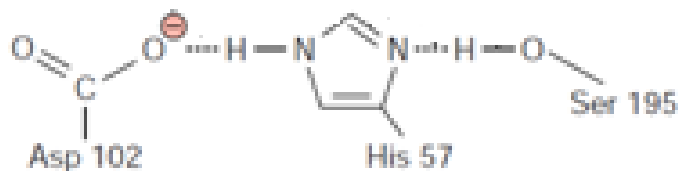
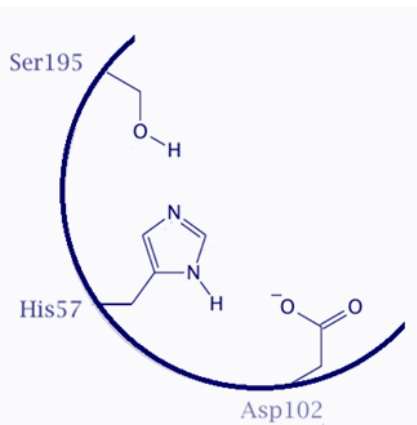




ساختمان حفاظت شده در اطراف ناحیه کاتالیتیک

آنزیم‌های سرین پروتئاز

Enzyme		Sequence Around Serine (S)														Sequence Around Histidine (H)											
Trypsin	D	S	C	Q	D	G	(S)	G	G	P	V	V	C	S	G	K	V	V	S	A	A	(H)	C	Y	K	S	G
Chymotrypsin A	S	S	C	M	G	D	(S)	G	G	P	L	V	C	K	K	N	V	V	T	A	A	(H)	G	G	V	T	T
Chymotrypsin B	S	S	C	M	G	D	(S)	G	G	P	L	V	C	Q	K	N	V	V	T	A	A	(H)	C	G	V	T	T
Thrombin	D	A	C	E	G	D	(S)	G	G	P	F	V	M	K	S	P	V	L	T	A	A	(H)	C	L	L	Y	P

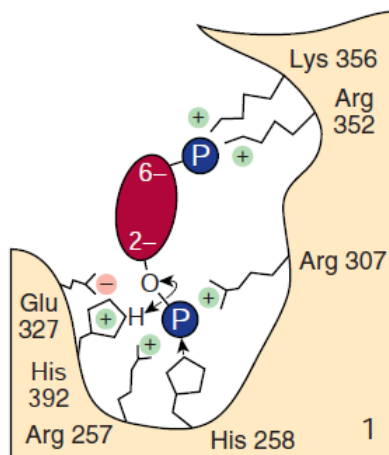


مکان کاتالیز آنزیم

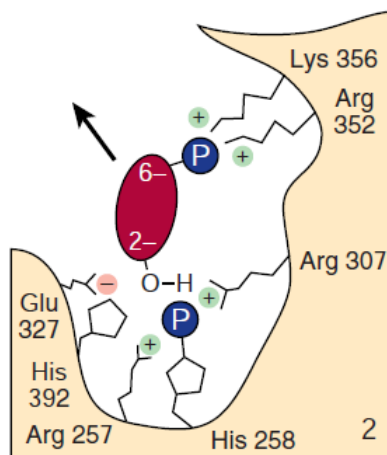
کیموتریپسین



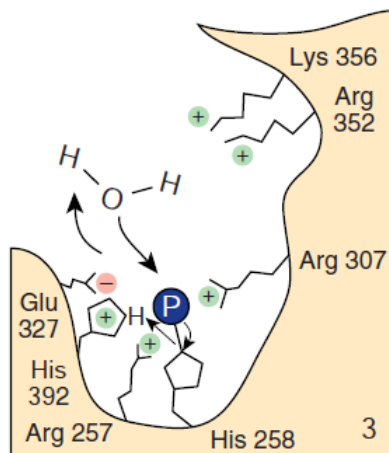
کاتالیز توسط ایجاد پیوند کووالان



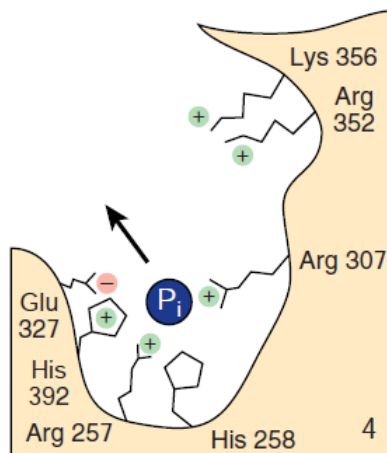
E • Fru-2,6-P₂



E-P • Fru-6-P



E-P • H₂O



E • P_i

سازوکار آنزیم

فروکتوز - ۶و۲ - بیس فسفاتاز

طبقه بندی آنزیم ها



طبقه‌بندی آنزیم‌ها

آنزیم‌ها را بر اساس خصوصیات واکنشی که کاتالیز می‌کنند به شش طبقه مختلف تقسیم می‌کنند:

طبقه‌بندی آنزیم‌ها

آنزیم‌ها را بر اساس خصوصیات واکنشی که کاتالیز می‌کنند به شش طبقه مختلف تقسیم می‌کنند:

❖ اکسیدوردکتازها

❖ ترانسفرازها

❖ هیدرولازها

❖ لیازها

❖ ایزومرازها

❖ لیگازها

کد طبقه	طبقه آنزیم	ویژگی	مثال
۱	اکسید و احیا (اکسیدوردکتاز)		
۲	ترانسفراز		
۳	هیدرولاز		
۴	لیاز		
۵	ایزومراز		
۶	لیگاز		

مثال	ویژگی	طبقه آنزیم	کد طبقه
سیتوکروم اکسیداز لاکتات دهیدروژناز دی هیدرو فولات ردکتاز گلوتاتیون پراکسیداز کاتالاز فنیل آلانین هیدروکسیلاز تریپتوفان اکسیژناز	کاتالیز واکنش های اکسایش و کاهش در این طبقه، آنزیم های اکسیداز، دهیدروژناز، پراکسیداز و اکسیژناز قرار دارند. اکسیژنازها به دو گروه منواکسیژناز (هیدروکسیلاز) و دی اکسیژناز تقسیم می شوند.	اکسید و احیا (اکسیدوردکتاز)	۱

مثال	ویژگی	طبقه آنزیم	کد طبقه
آلانین ترانس آمیناز هگزوکیناز گلیکوژن فسفریلاز ترانس آلدولاز ترانس کتولاز	انتقال یک گروه شیمیایی (به جز اتم هیدروژن) از یک سوبسترا به سوبسترای دیگر	ترانسفراز	۲

کد طبقه	طبقه آنزیم	ویژگی	مثال
۳	هیدرولاز	هیدرولیز (آبکافت) سوبسترا	آمیلاز اسید فسفاتاز الکالین فسفاتاز کلسترول استراز



مثال	ویژگی	طبقه آنزیم	کد طبقه
فوماراز هیستیدین دکربوکسیلاز دوپا دکربوکسیلاز سرین دهیدراتاز آلدولاز	جدا کردن مولکول‌های کوچک از سوبسترا و ایجاد پیوند جدید یا ایجاد پیوند چندگانه	لیاز	۴

مثال	ویژگی	طبقه آنزیم	کد طبقه
فسفو هگزوز ایزومراز ریبولوز-۵-فسفات اپیمراز فسفو گلو کو موتاز	تبدیل ایزومرها به یک دیگر	ایزومراز	۵



مثال	ویژگی	طبقه آنزیم	کد طبقه
پیروات کربو کسیناز استیل کوآ کربو کسیناز گلو تامين سنتتاز	ایجاد پیوند بین دو مولکول با استفاده از انرژی حاصل از هیدرولیز (آبکافت) ATP	لیگاز	۶

کد طبقه	طبقه آنزیم	ویژگی	مثال
۱	اکسید و احیا (اکسیدوردکتاز)	کاتالیز واکنش‌های اکسایش و کاهش در این طبقه، آنزیم‌های اکسیداز، دهیدروژناز، پراکسیداز و اکسیژناز قرار دارند. اکسیژنازها به دو گروه منواکسیژناز (هیدروکسیلاز) و دی‌اکسیژناز تقسیم می‌شوند.	سیتوکروم اکسیداز لاکتات دهیدروژناز دی‌هیدروفولات ردکتاز گلوتاتیون پراکسیداز کاتالاز فنیل آلانین هیدروکسیلاز تریپتوفان اکسیژناز
۲	ترانسفراز	انتقال یک گروه شیمیایی (به جز اتم هیدروژن) از یک سوبسترا به سوبسترای دیگر	آلانین ترانس آمیناز هگزوکیناز گلیکوژن فسفریلاز ترانس آلدولاز ترانس کتولاز
۳	هیدرولاز	هیدرولیز (آبکافت) سوبسترا	آمیلاز اسید فسفاتاز الکالین فسفاتاز کلسترول استراز
۴	لیاز	جدا کردن مولکول‌های کوچک از سوبسترا و ایجاد پیوند جدید یا ایجاد پیوند چندگانه	فوماراز هیستیدین دکربوکسیلاز دوپاد کربوکسیلاز سرین دهیدراتاز آلدولاز
۵	ایزومراز	تبدیل ایزومرها به یکدیگر	فسفو هگزوز ایزومراز ریبولوز-۵-فسفات اپیمراز فسفو گلوکوموتاز
۶	لیگاز	ایجاد پیوند بین دو مولکول با استفاده از انرژی حاصل از هیدرولیز (آبکافت) ATP	پیروات کربوکسیلاز استیل کوآ کربوکسیلاز گلوتامین سنتتاز



طبقه‌بندی آنزیم‌ها

طبقه گروه دسته ردیف



مشخصات کد چهار رقمی آنزیم‌ها

EC * . * . * . *

First digit represents the **class**.

Second digit stands for **subclass** or **group**.

Third digit stands for the **sub-subclass** or **subgroup**.

Fourth digit gives the **serial number** of the particular enzyme in the list.



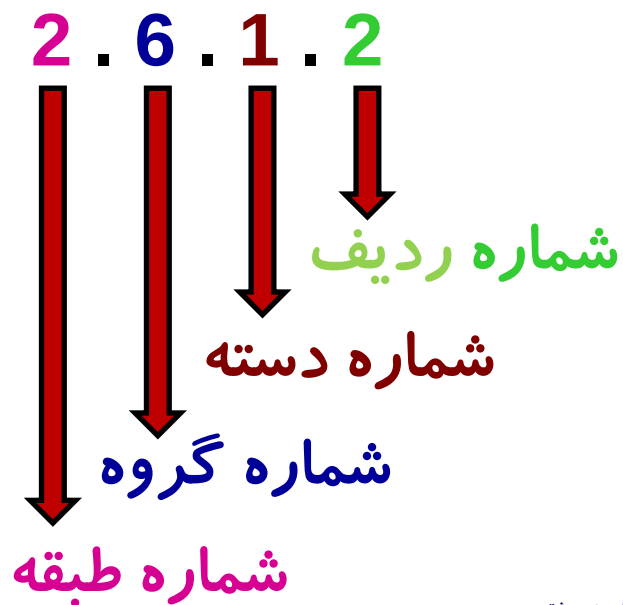
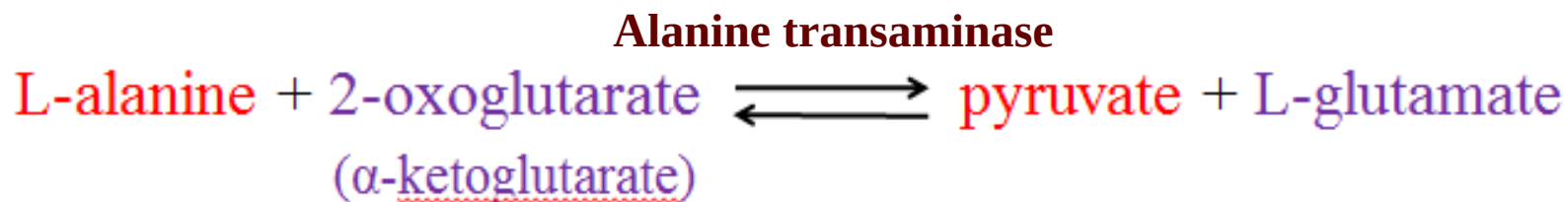
طبقه گروه دسته ردیف

<https://www.qmul.ac.uk/sbcs/iubmb/enzyme/>



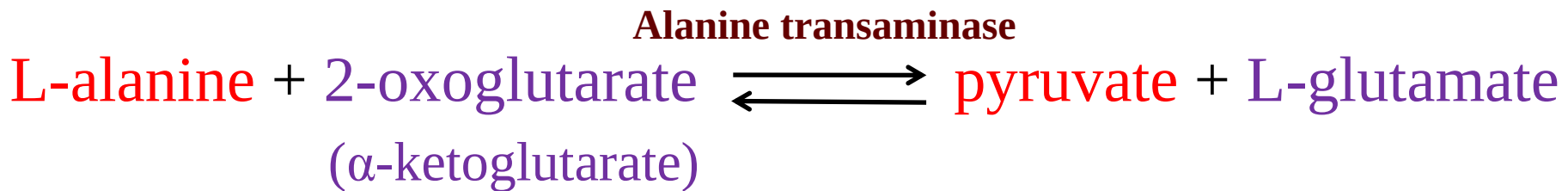
کد آنزیم

طبقه گروه دسته ردیف





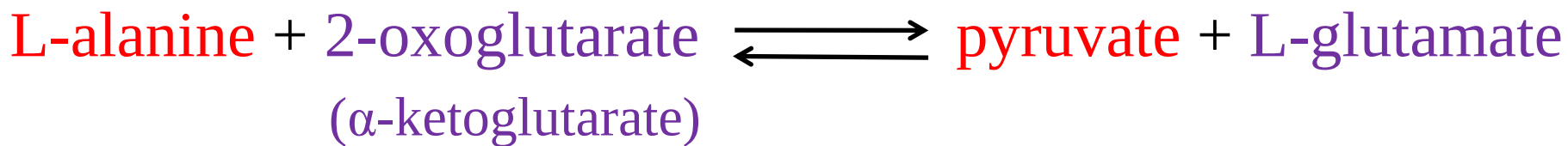
Alanine transaminase (ALT)



مثال	ویژگی	طبقه آنزیم	کد طبقه
آلانین ترانس آمیناز	انتقال یک گروه شیمیایی (به جز اتم هیدروژن) از یک سوبسترا به سوبسترای دیگر	ترانسفراز	۲



Alanine transaminase (ALT)

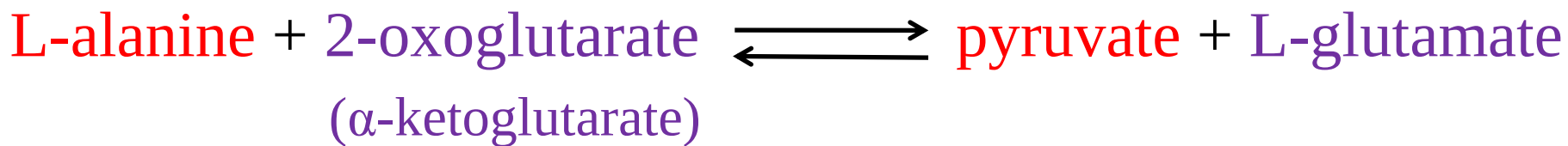


aminoacid

α -ketoacid

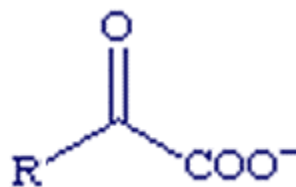
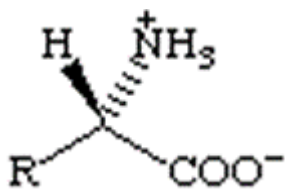


Alanine transaminase (ALT)



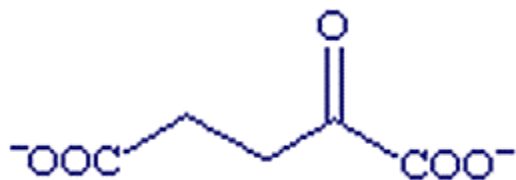
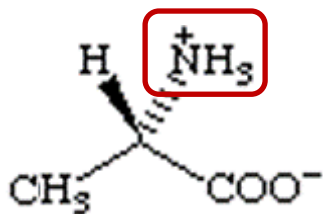
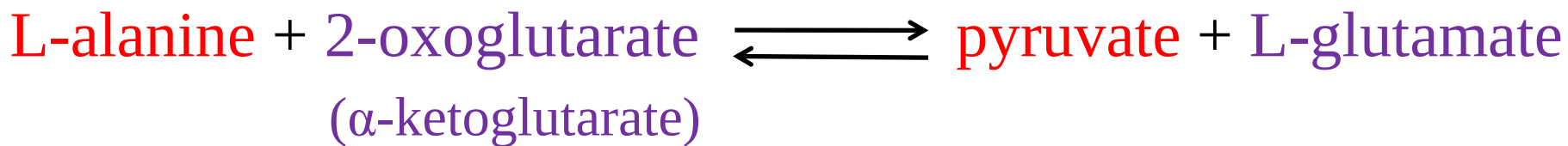
aminoacid

α -ketoacid



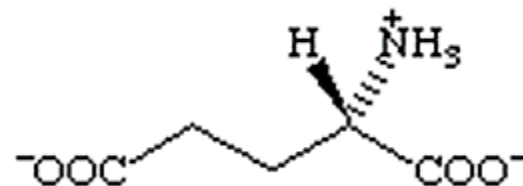
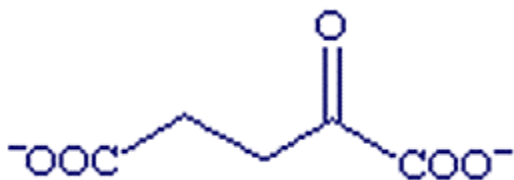
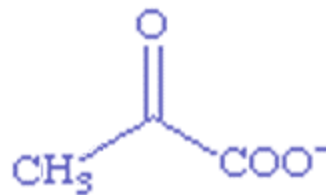
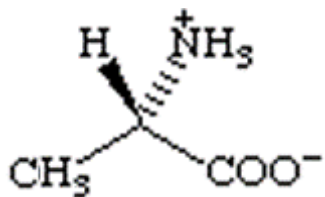
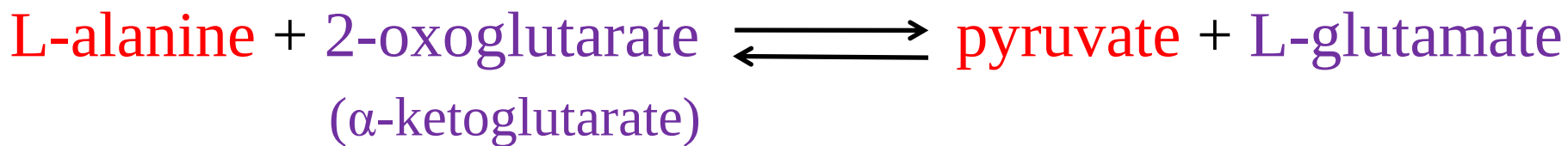


Alanine transaminase (ALT)



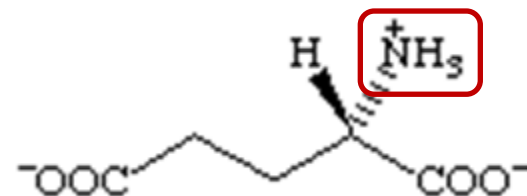
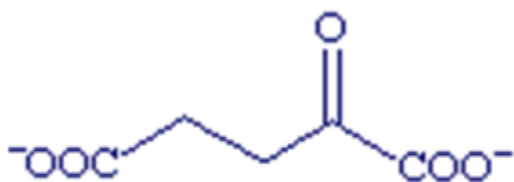
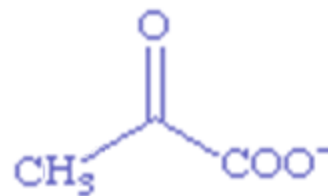
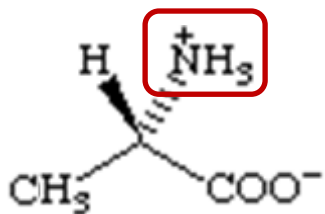
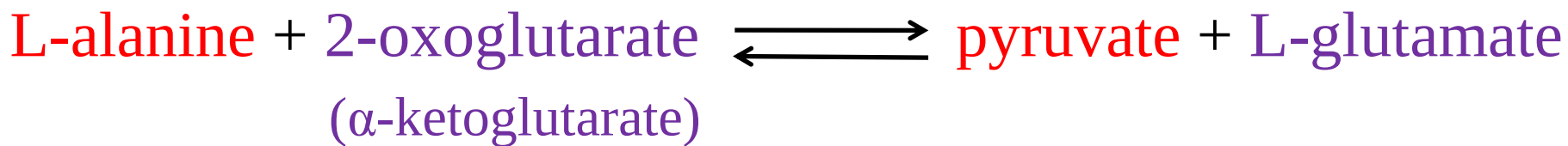


Alanine transaminase (ALT)





Alanine transaminase (ALT)



مثال	ویژگی	طبقه آنزیم	کد طبقه
آلانین ترانس آمیناز	انتقال یک گروه شیمیایی (به جز اتم هیدروژن) از یک سوبسترا به سوبسترای دیگر	ترانسفراز	۲



گروه‌های موجود در طبقه دوم (ترانسفرازها)

1. Transferring One-Carbon Groups
2. Transferring Aldehyde or Ketonic Groups
3. Acyltransferases
4. Glycosyltransferases
5. Transferring Alkyl or Aryl Groups, Other than Methyl Groups
6. Transferring Nitrogenous Groups
7. Transferring Phosphorus-Containing Groups
8. Transferring Sulfur-Containing Groups
9. Transferring Selenium-Containing Groups



2

6

1. Oxidoreductase

2. Transferase

3. Hydrolase

4. Lyase

5. Isomerase

6. Lygase

1. Transferring One-Carbon Groups

2. Transferring Aldehyde or Ketonic Groups

3. Acyltransferases

4. Glycosyltransferases

5. Transferring Alkyl or Aryl Groups, Other than Methyl Groups

6. Transferring Nitrogenous Groups

7. Transferring Phosphorus-Containing Groups

8. Transferring Sulfur-Containing Groups

9. Transferring Selenium-Containing Groups



2

6

1

1. Transferring One-Carbon Groups

2. Transferring Aldehyde or Ketonic Groups

3. Acyltransferases

4. Glycosyltransferases

5. Transferring Alkyl or Aryl Groups, Other than Methyl Groups

6. Transferring Nitrogenous Groups

7. Transferring Phosphorus-Containing Groups

8. Transferring Sulfur-Containing Groups

9. Transferring Selenium-Containing Groups

1. Oxidoreductase

2. Transferase

3. Hydrolase

4. Lyase

5. Isomerase

6. Lygase

1. Transaminases

2. Amidinotransferases

3. Oximinotransaminases



2

6

1

2

1. Transferring One-Carbon Groups

2. Transferring Aldehyde or Ketonic Groups

3. Acyltransferases

4. Glycosyltransferases

5. Transferring Alkyl or Aryl Groups, Other than Methyl Groups

6. Transferring Nitrogenous Groups

7. Transferring Phosphorus-Containing Groups

8. Transferring Sulfur-Containing Groups

9. Transferring Selenium-Containing Groups

1. Transaminases

2. Amidinotransferases

3. Oximinotransaminases

1. aspartate transaminase

2. alanine transaminase

3. cysteine transaminase

4. glycine transaminase

5. tyrosine transaminase

6. leucine transaminase

7. kynurenine—oxoglutarate
transaminase

8. 2,5-diaminovalerate

transaminase

9. histidinol-phosphate

transaminase

...

1. Oxidoreductase

2. Transferase

3. Hydrolase

4. Lyase

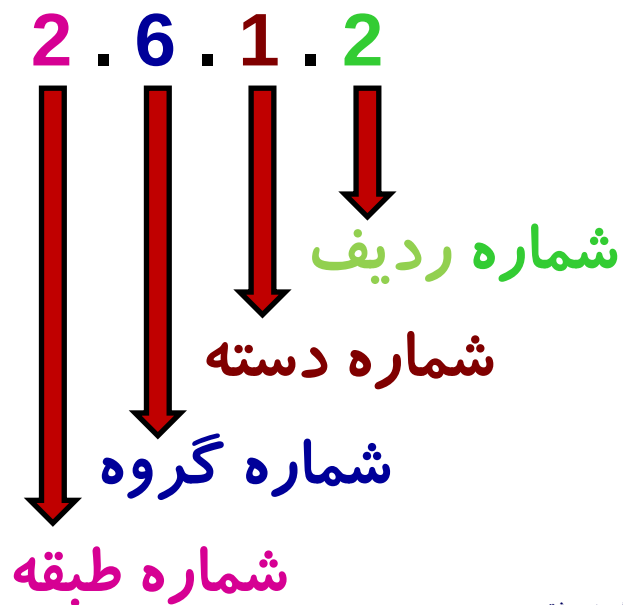
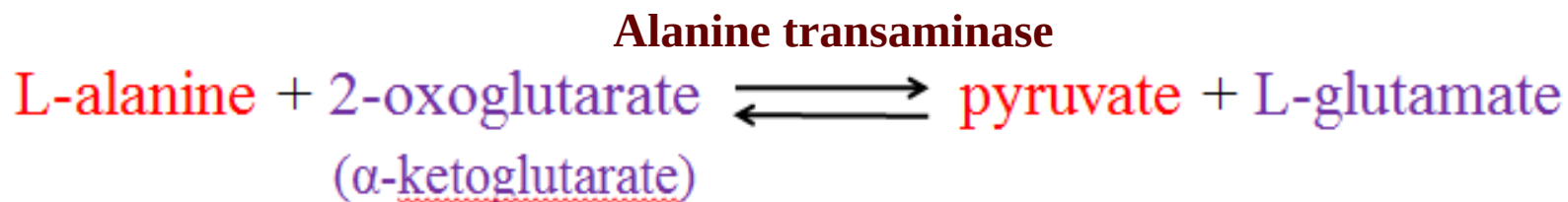
5. Isomerase

6. Lygase



کد آنزیم

طبقه گروه دسته ردیف





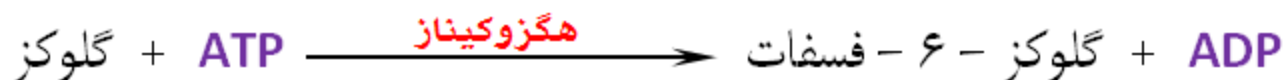
کیناز

❖ آنزیم‌های کیناز در انتقال گروه فسفات از یک نوکلئوزیدتری فسفات به عنوان دهنده

فسفات به مولکولی دیگر (پذیرنده فسفات) نقش دارند.

❖ آنزیم هگزوکیناز (EC 2.7.1.1) در مسیر گلیکولیز، گروه فسفات را از مولکول ATP

(دهنده فسفات) به یک هگزوز مانند گلوکز (پذیرنده فسفات) انتقال می‌دهد.





موتاز

❖ آنزیم‌های موتاز در انتقال یک گروه فسفات از یک کربن روی کربن دیگر در همان

مولکول نقش دارند.

❖ آنزیم فسفوگلیسرات موتاز (EC 5.4.2.12) در مسیر گلیکولیز، در تبدیل برگشت پذیر

۳ - فسفوگلیسرات به ۲ - فسفوگلیسرات نقش دارد.

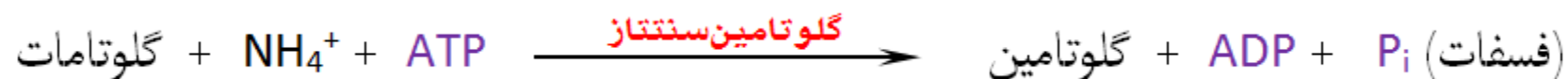
سنتاز و سنتاز

- ❖ آنزیم‌های **سنتاز** در ایجاد پیوند جدید به هنگام اتصال دو ترکیب نقش دارند و انرژی حاصل برای انجام واکنش از هیدرولیز نوکلئوزیدتری فسفات تامین می‌شود.
- ❖ آنزیم‌های **سنتاز** جزو طبقه **لیگاز** هستند.
- ❖ اگر نوکلئوزیدتری فسفات در چنین واکنشی لازم نباشد آنزیم **سنتاز** نامیده می‌شود.
- ❖ برخی از آنزیم‌های **سنتاز** جزو طبقه **ترانسفراز** و برخی جزو طبقه **لیاز** هستند.



سنتتاز

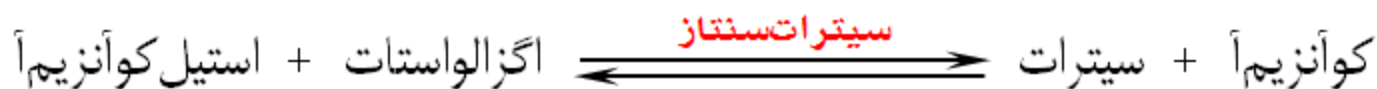
آنزیم **گلوتامین سنتتاز** (EC 6.3.1.2) در کاتالیز واکنش بین گلوتامات و یون آمونیم نقش دارد.





سنتاز

آنزیم **سیترات سنتاز** (EC 2.3.3.1) در چرخه کربس واکنش بین استیل کوآنزیم آ و اگزالواستات را کatalیز می کند و جزو طبقه **ترانسفراز** است.



آنزیم **سیستاتیونین سنتاز** (EC 4.2.1.22) در مسیر تبدیل متیونین به سیستئین واکنش بین هموسیستئین و سرین را کatalیز می کند و جزو طبقه **لیاز** است.



آنزیم‌های اکسیدو احیاء

❖ اکسیدازها

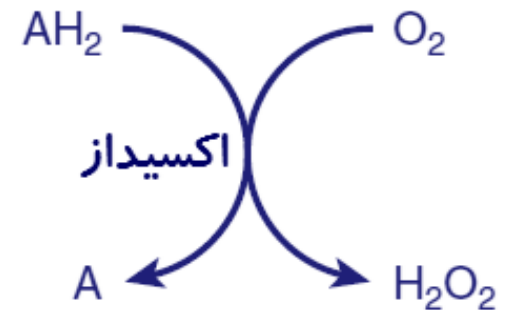
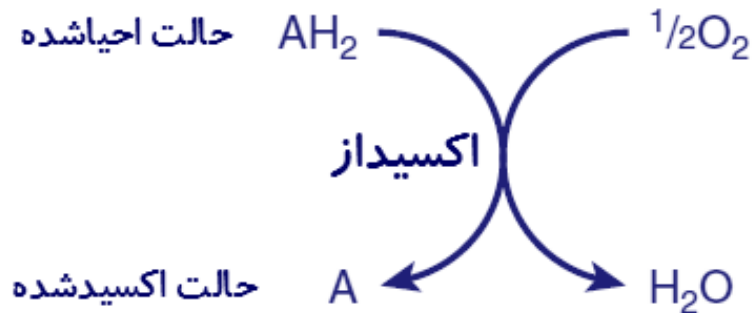
❖ دهیدروژنازها

❖ پراکسیدازها (هیدروپراکسیدازها)

❖ اکسیژنازها

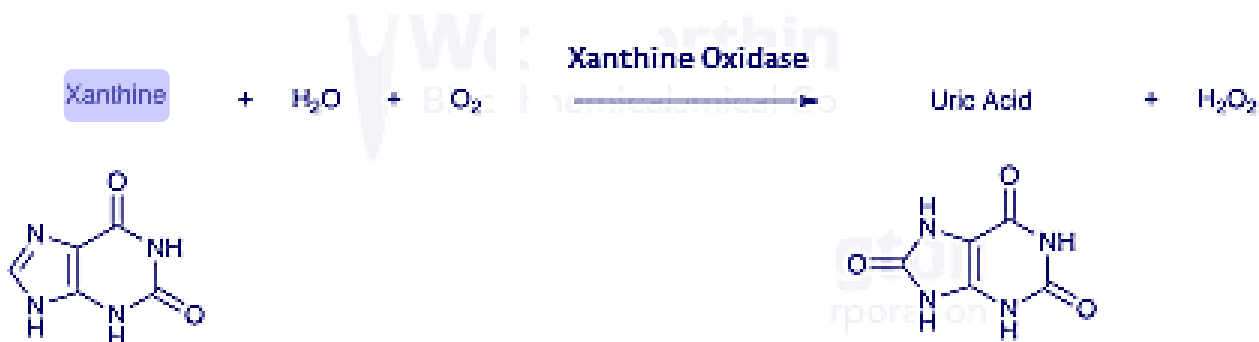
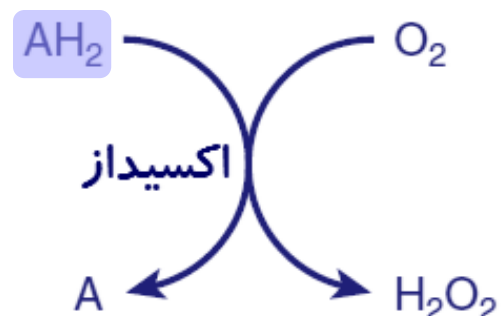
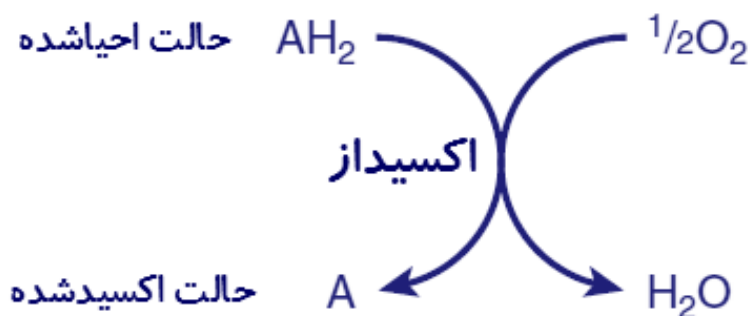
اکسیدازها

- ❖ آنزیم‌های اکسیداز به فرآیند برداشت هیدروژن از یک سوبسترا کمک می‌کنند و در این فرآیند از اکسیژن به عنوان پذیرنده هیدروژن استفاده می‌شود.
- ❖ اکسایش یک متابولیت توسط آنزیم اکسیداز تولید آب (H_2O) یا آب اکسیژنه (H_2O_2) را می‌کند.





اکسیدازها





دهیدروژنازها

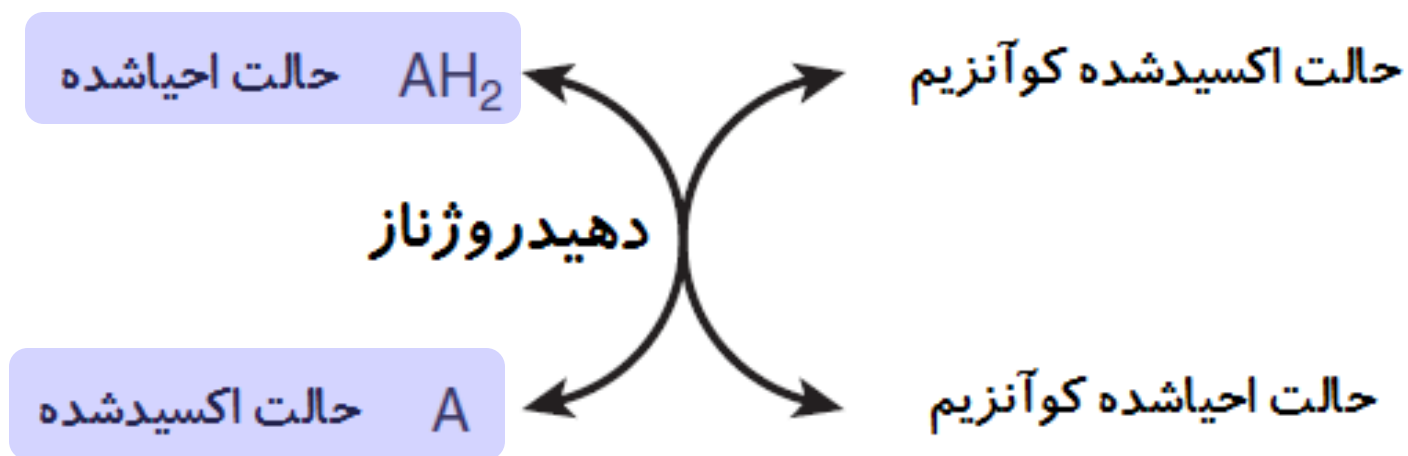
آنزیم‌های دهیدروژناز عمل جدا کردن هیدروژن از یک سوبسترا را بدون دخالت اکسیژن انجام می‌دهند.

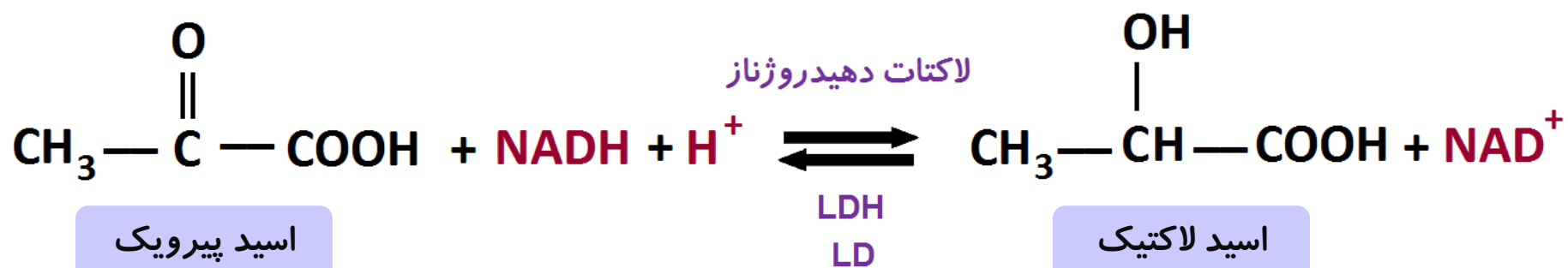
❖ دهیدروژنازهای نیاسینی (نیکوتین آمیدی)

❖ دهیدروژنازهای فلاوینی



دهیدروژنازها

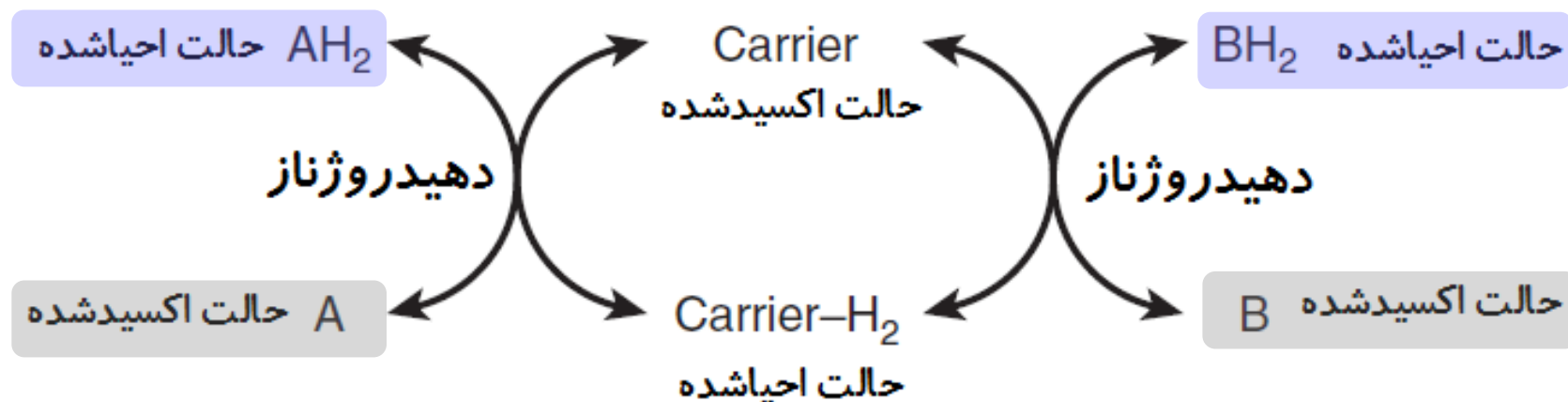






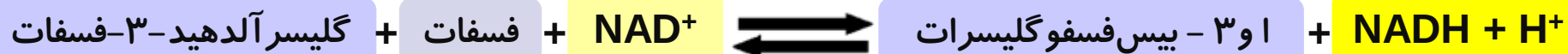
دهیدروژنازها

آنزیم‌های دهیدروژناز توسط کوفاکتور خود در انتقال هیدروژن از سوبسترای یک واکنش به سوبسترای دیگر نقش دارند.





گلیسر آلدهید-۳-فسفات دهیدروژناز



لاکتات دهیدروژناز

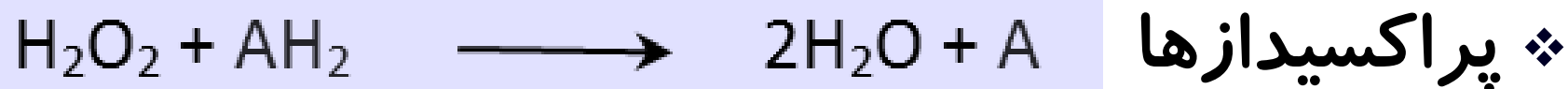


NADH ایجاد شده در واکنش کاتالیز شده توسط گلیسر آلدهید-۳-فسفات دهیدروژناز

می تواند در احیای پیرووات به لاکتات توسط لاکتات دهیدروژناز نقش داشته باشد.



پراکسیدازها

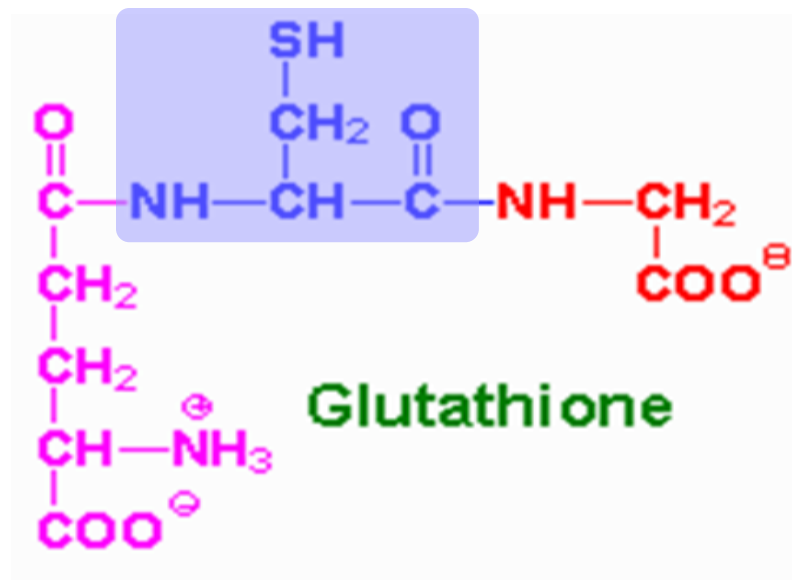


➤ گلوتاتیون پراکسیداز





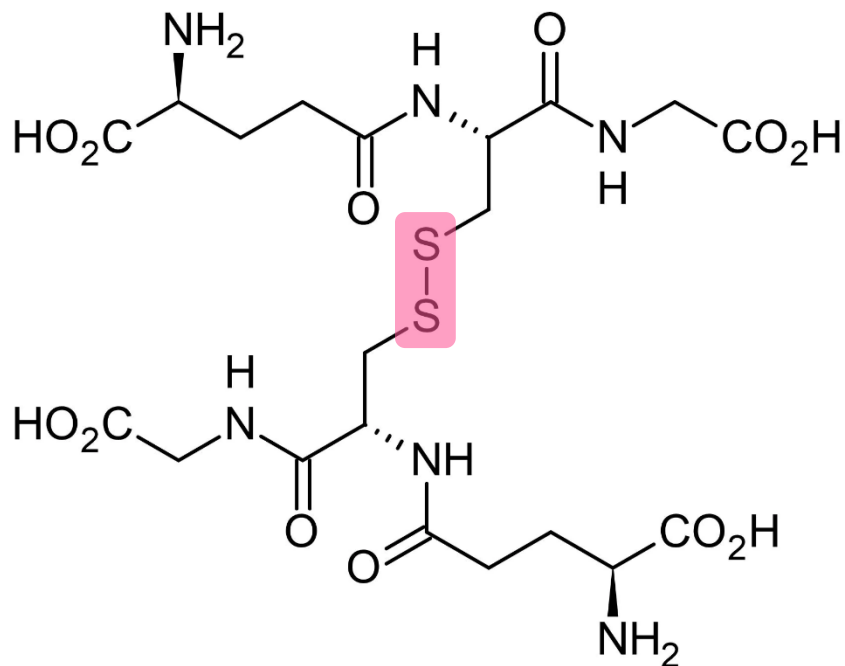
ساختار گلوتاتیون احیاشده



γ - گلو تامیل سیستئینیل گلا یسین

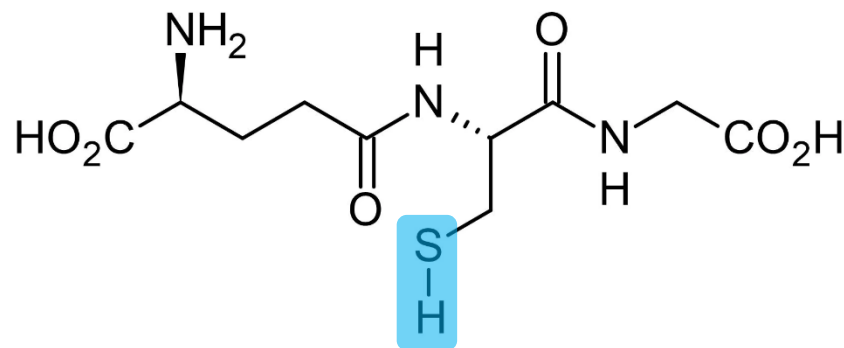


ساختار گلوتاتیون احیاشده و اکسید شده



گلوتاتیون اکسید شده

G-S-S-G

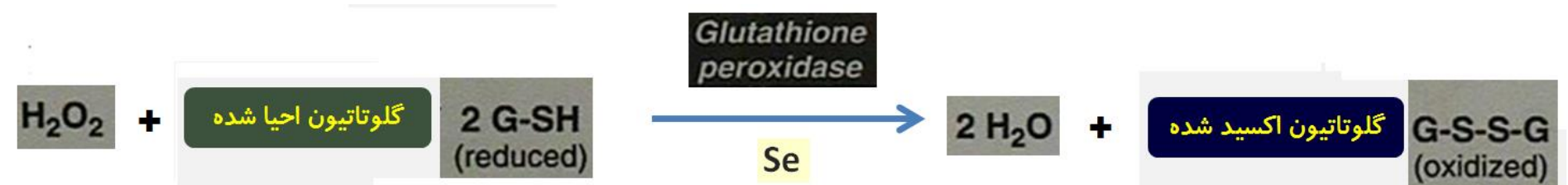


گلوتاتیون احیاشده

G-SH



نقش گلوتاتیون در کاهش پراکسیدها





اکسیژنازها



❖ دی اکسیژنازها

➤ هموژانتیزات اکسیداز (دی اکسیژناز)

➤ تریپتوفان پیرولاز

❖ منواکسیژنازها (هیدروکسیلازها یا اکسیدازهای با عمل مرکب)



نام گذاری آنزیم ها



نام‌گذاری آنزیم‌ها

- برای نام‌گذاری آنزیم‌ها در اکثر موارد لفظ «آز» (ase) را به آخر نام سوبسترا و یا نوع واکنش کاتالیز شده اضافه می‌کردند.



نام‌گذاری آنزیم‌ها

- برای نام‌گذاری آنزیم‌ها در اکثر موارد لفظ «آز» (ase) را به آخر نام سوبسترا و یا نوع واکنش کاتالیز شده اضافه می‌کردند.
- آنزیمی که بر روی نشاسته (آمیلون) اثر می‌کند **آمیلاز** نامیده شد.

نام‌گذاری آنزیم‌ها

- برای نام‌گذاری آنزیم‌ها در اکثر موارد لفظ «آز» (ase) را به آخر نام سوبسترا و یا نوع واکنش کاتالیز شده اضافه می‌کردند.
- آنزیمی که بر روی نشاسته (آمیلون) اثر می‌کند آمیلاز نامیده شد.
- آنزیمی که بر روی اوره اثر دارد **اوره‌آز** نامیده شد.

نام‌گذاری آنزیم‌ها

- برای نام‌گذاری آنزیم‌ها در اکثر موارد لفظ «آز» (ase) را به آخر نام سوبسترا و یا نوع واکنش کاتالیز شده اضافه می‌کردند.
- آنزیمی که بر روی نشاسته (آمیلون) اثر می‌کند آمیلاز نامیده شد.
- آنزیمی که بر روی اوره اثر دارد اوره‌آز نامیده شد.
- آنزیمی که پیوندهای استری فسفات را هیدرولیز (آبکافت) می‌کند **فسفاتاز** نامیده شد.

نام‌گذاری آنزیم‌ها

- برای نام‌گذاری آنزیم‌ها در اکثر موارد لفظ «آز» (ase) را به آخر نام سوبسترا و یا نوع واکنش کاتالیز شده اضافه می‌کردند.
- آنزیمی که بر روی نشاسته (آمیلون) اثر می‌کند آمیلاز نامیده شد.
- آنزیمی که بر روی اوره اثر دارد اوره‌آز نامیده شد.
- آنزیمی که پیوندهای استری فسفات را هیدرولیز (آبکافت) می‌کند فسفاتاز نامیده شد.
- آنزیمی که واکنش برداشت آب از اسید کربنیک را کاتالیز می‌کند **کربنیک‌انیدراز** نامیده شد.

نام‌گذاری آنزیم‌ها

- در نام‌گذاری علمی آنزیم‌ها که توسط انجمن بین‌المللی بیوشیمی ارائه شده‌است آنزیم‌ها را بر حسب نوع واکنشی که کاتالیز می‌کنند به شش طبقه اصلی که عبارتند از اکسیدواحیاء (اکسیدوردکتاز)، ترانسفراز، هیدرولاز، لیاز، ایزومراز و لیگاز تقسیم می‌کنند.

نام‌گذاری آنزیم‌ها

- در نام‌گذاری علمی آنزیم‌ها که توسط انجمن بین‌المللی بیوشیمی ارائه شده‌است آنزیم‌ها را بر حسب نوع واکنشی که کاتالیز می‌کنند به شش طبقه اصلی که عبارتند از اکسیدوآحیاء (اکسیدوردکتاز)، ترانسفراز، هیدرولاز، لیاز، ایزومراز و لیگاز تقسیم می‌کنند.
- هر طبقه خود به چند گروه و هر گروه به چند دسته و هر دسته به چند ردیف تقسیم می‌شوند که هر کدام دارای یک کد عددی هستند.

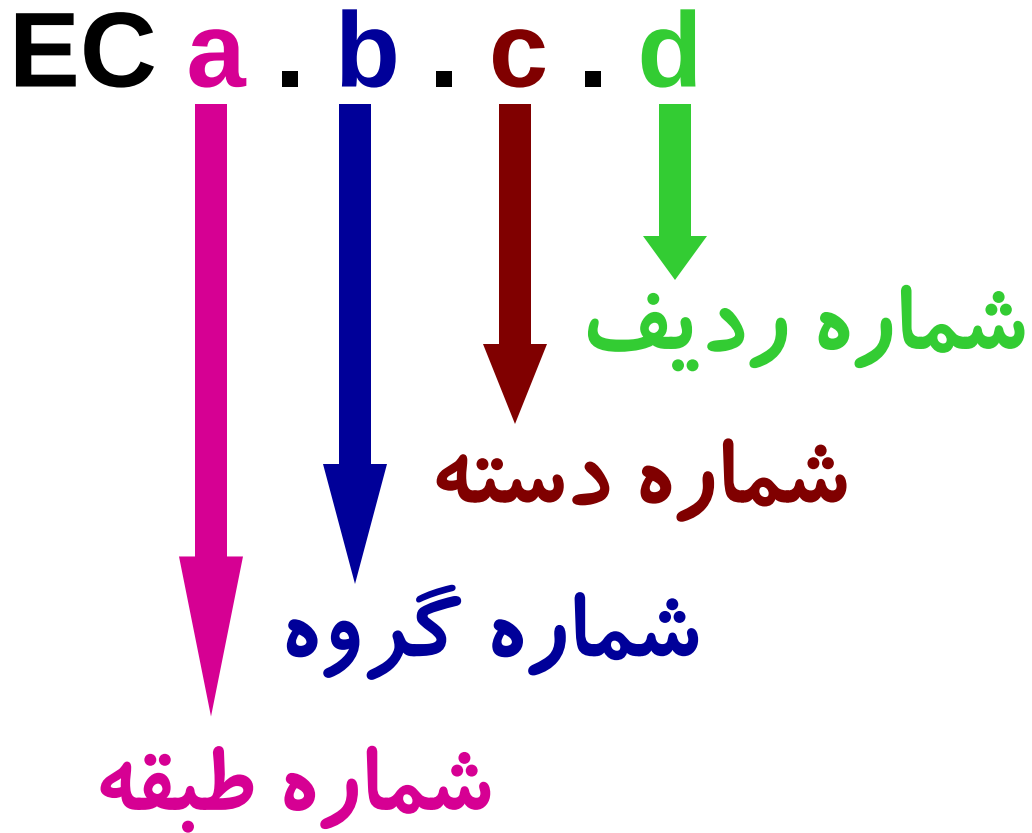


نام‌گذاری آنزیم‌ها

طبقه گروه دسته ردیف

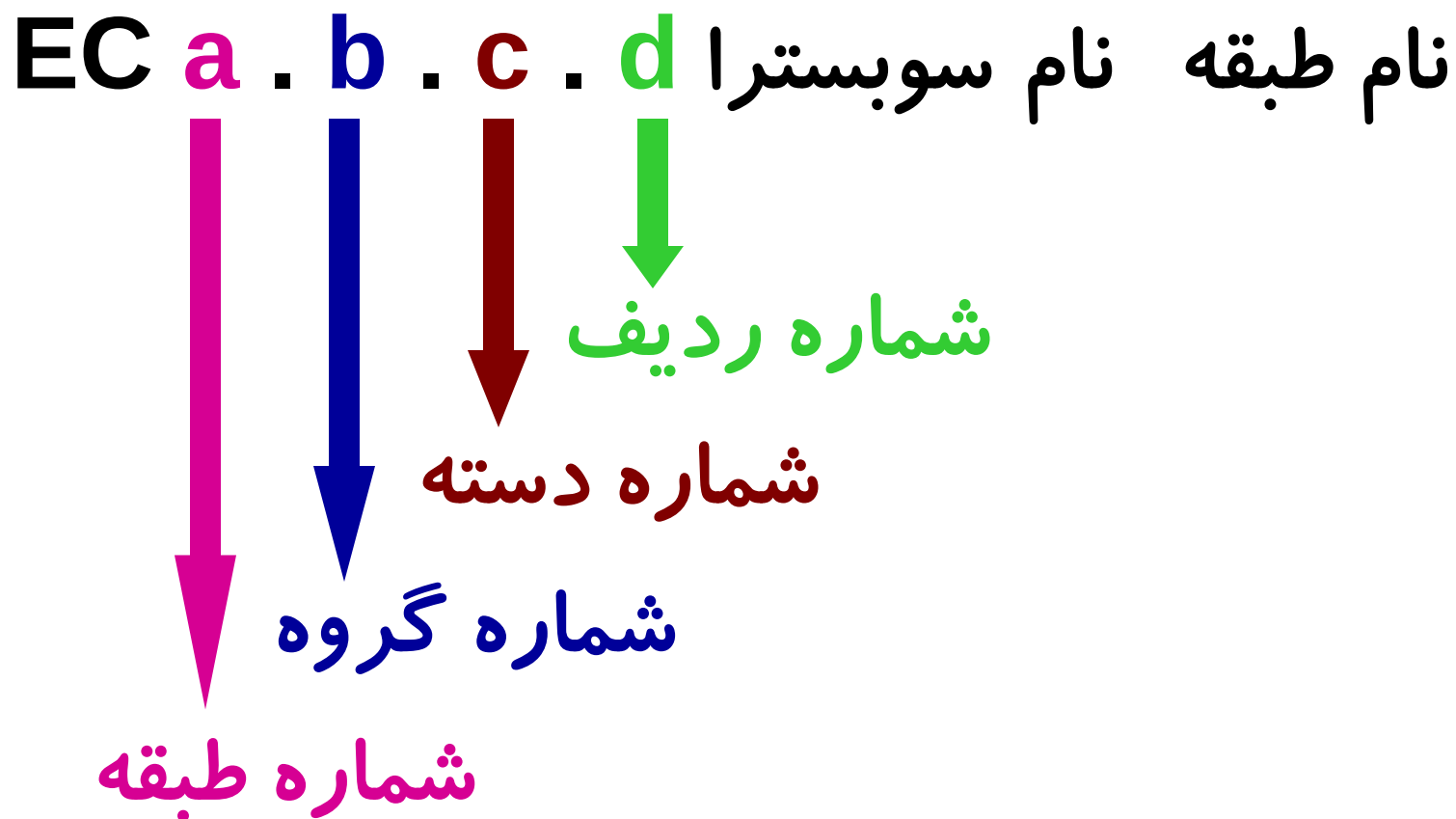
نام‌گذاری آنزیم‌ها

- در نام‌گذاری علمی آنزیم‌ها که توسط انجمن بین‌المللی بیوشیمی ارائه شده‌است آنزیم‌ها را بر حسب نوع واکنشی که کاتالیز می‌کنند به شش طبقه اصلی که عبارتند از اکسیدوآحیاء (اکسیدوردکتاز)، ترانسفراز، هیدرولاز، لیاز، ایزومراز و لیگاز تقسیم می‌کنند.
- هر طبقه خود به چند گروه و هر گروه به چند دسته و هر دسته به چند ردیف تقسیم می‌شوند که هر کدام دارای یک کد عددی هستند.
- یک آنزیم را می‌توان با چهار کد عددی یا EC نمایش داد که **کد چهارم شماره ردیف آنزیم در دسته مربوط است.**



نام‌گذاری آنزیم‌ها

- برای نامیدن آنزیم پس از ذکر چهار عدد فوق **نام سوبسترا** و یا سوبستراها همراه با **نام واکنش شیمیایی** یعنی نام **طبقه آنزیم** که به آخر آن لفظ «آز» اضافه شده است آورده می‌شود. در صورت لزوم اطلاعات بیش‌تری در مورد سایر مشخصات آنزیم را می‌توان داخل پرانتز ذکر کرد.



نام‌گذاری آنزیم‌ها

■ برای نامیدن آنزیم پس از ذکر چهار عدد فوق نام سوبسترا و یا سوبستراها همراه با نام واکنش شیمیایی یعنی نام طبقه آنزیم که به آخر آن لفظ «آز» اضافه شده است آورده می‌شود. در صورت لزوم اطلاعات بیش‌تری در مورد سایر مشخصات آنزیم را می‌توان داخل پرانتز ذکر کرد.

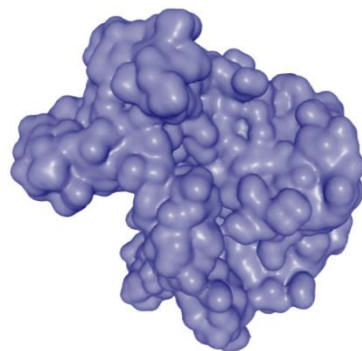
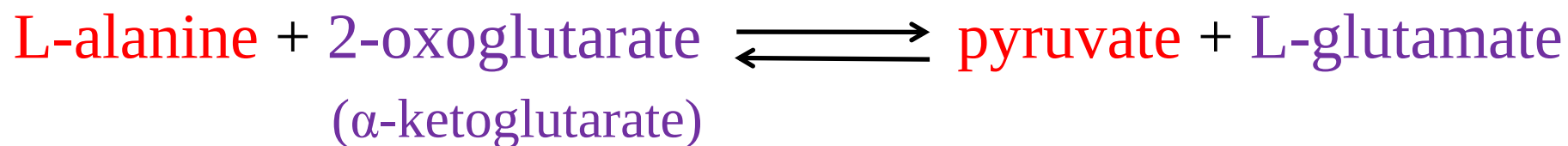
■ به عنوان مثال اسم علمی آنزیم آلانین ترانس آمیناز که سبب انتقال یک گروه آمین از اسید آمینه **L-آلانین** به ترکیب **۲ - اکسوگلوترات** می‌شود

EC 2.6.1.2 L-alanine:2-oxoglutarate aminotransferase

است.



Alanine transaminase (ALT)



Systematic name: **EC 2.6.1.2** L-alanine:2-oxoglutarate aminotransferase



آنزیم‌های خون

❖ آنزیم‌های اختصاصی

❖ آنزیم‌های غیر اختصاصی



کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز



کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز

کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت، سکته قلبی	AST (GOT)	آسپارات آمینوترانسفراز

کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت، سکته قلبی	AST (GOT)	آسپارات آمینوترانسفراز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت	ALT (GPT)	آلانین آمینوترانسفراز

کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت، سکته قلبی	AST (GOT)	آسپاراتات آمینوترانسفراز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت	ALT (GPT)	آلانین آمینوترانسفراز
اختلالات کبدی - صفراوی از جمله یرقان انسدادی، بیماری‌های استخوانی	ALP	الکالین فسفاتاز

کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت، سکته قلبی	AST (GOT)	آسپارات آمینوترانسفراز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت	ALT (GPT)	آلانین آمینوترانسفراز
اختلالات کبدی - صفراوی از جمله یرقان انسدادی، بیماری‌های استخوانی	ALP	الکالین فسفاتاز
اختلالات کبدی - صفراوی	5' - NT	۵' - نوکلئوتیداز

کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت، سکته قلبی	AST (GOT)	آسپارات آمینوترانسفراز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت	ALT (GPT)	آلانین آمینوترانسفراز
اختلالات کبدی - صفراوی از جمله یرقان انسدادی، بیماری‌های استخوانی	ALP	الکالین فسفاتاز
اختلالات کبدی - صفراوی	5' - NT	۵' - نوکلئوتیداز
اختلالات کبدی - صفراوی، مصرف الکل	GGT	گاما گلو تامیل ترانسفراز

کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت، سکته قلبی	AST (GOT)	آسپارات آمینوترانسفراز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت	ALT (GPT)	آلانین آمینوترانسفراز
اختلالات کبدی - صفراوی از جمله یرقان انسدادی، بیماری‌های استخوانی	ALP	الکالین فسفاتاز
اختلالات کبدی - صفراوی	5' - NT	۵' - نوکلئوتیداز
اختلالات کبدی - صفراوی، مصرف الکل	GGT	گاما گلو تامل ترانسفراز
سرطان پروستات	ACP	اسید فسفاتاز

کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت، سکته قلبی	AST (GOT)	آسپارات آمینوترانسفراز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت	ALT (GPT)	آلانین آمینوترانسفراز
اختلالات کبدی - صفراوی از جمله یرقان انسدادی، بیماری‌های استخوانی	ALP	الکالین فسفاتاز
اختلالات کبدی - صفراوی	5' - NT	۵' - نوکلئوتیداز
اختلالات کبدی - صفراوی، مصرف الکل	GGT	گاما گلوتامیل ترانسفراز
سرطان پروستات	ACP	اسید فسفاتاز
التهاب لوزالمعده (پانکراتیت) حاد، زخم معده	-	آمیلاز

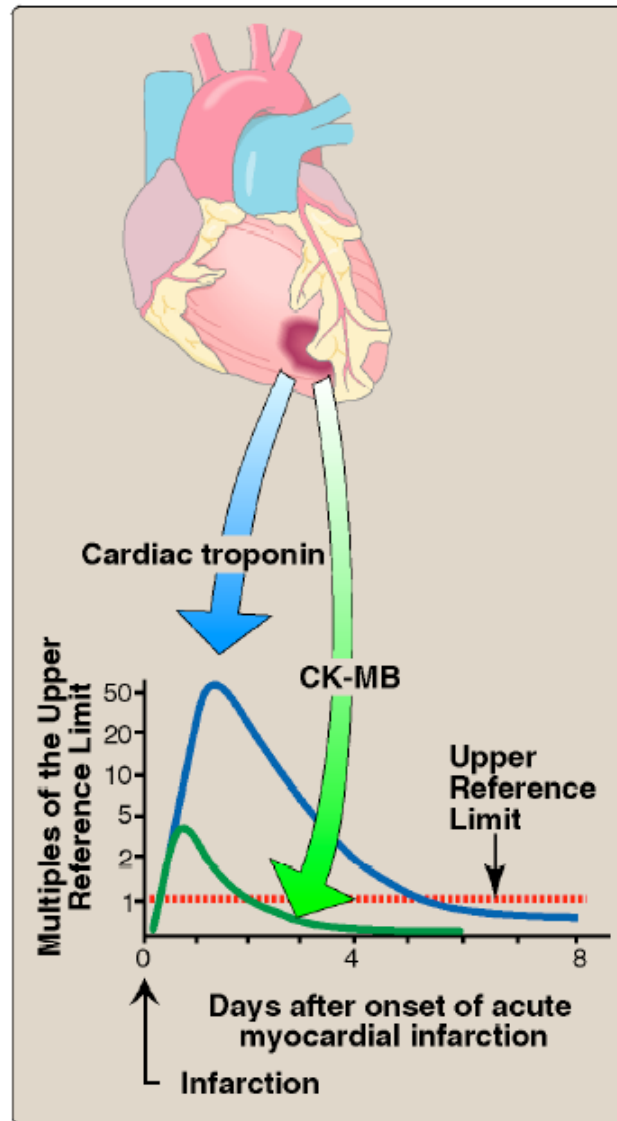
کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت، سکته قلبی	AST (GOT)	آسپارات آمینوترانسفراز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت	ALT (GPT)	آلانین آمینوترانسفراز
اختلالات کبدی - صفراوی از جمله یرقان انسدادی، بیماری‌های استخوانی	ALP	الکالین فسفاتاز
اختلالات کبدی - صفراوی	5' - NT	۵' - نوکلئوتیداز
اختلالات کبدی - صفراوی، مصرف الکل	GGT	گاما گلو تامل ترانسفراز
سرطان پروستات	ACP	اسید فسفاتاز
التهاب لوزالمعده (پانکراتیت) حاد، زخم معده	-	آمیلاز
التهاب لوزالمعده (پانکراتیت) حاد	-	لیپاز

تشخیص سکته قلبی

- ❖ آنزیم کراتین کیناز و آنزیم لاکتات دهیدروژناز هر دو در سکته قلبی افزایش می‌یابند.
- ❖ کراتین کیناز اولین آنزیمی است که پس از سکته قلبی حاد افزایش آن در خون مشاهده می‌شود.
- ❖ علاوه بر این دو آنزیم، پروتئین تروپونین I قلبی (cTPI) نیز در سکته قلبی افزایش می‌یابد. تروپونین I قلبی نسبت به آسیب بافت قلب دارای حساسیت و ویژگی بالایی است.
- ❖ تروپونین I قلبی یکی از مناسب‌ترین مارکرهاي تشخیص سکته قلبی است.
- ❖ تروپونین I قلبی علاوه بر سکته قلبی در سایر موارد آسیب عضله قلبی نیز ممکن است افزایش یابد.



تشخیص سکته قلبی



ایزو آنزیم

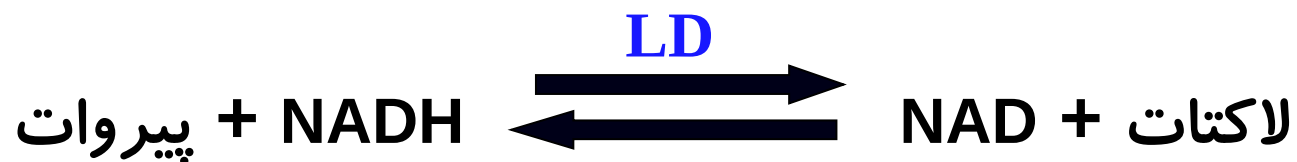


ایزوآنزیم

- ❖ اشکال مختلف یک آنزیم
- ❖ بیش تر آن ها دارای زیرواحدهای مختلف هستند
- ❖ جداسازی توسط الکتروفورز
- ❖ استفاده جهت تشخیص افتراقی برخی از بیماری ها

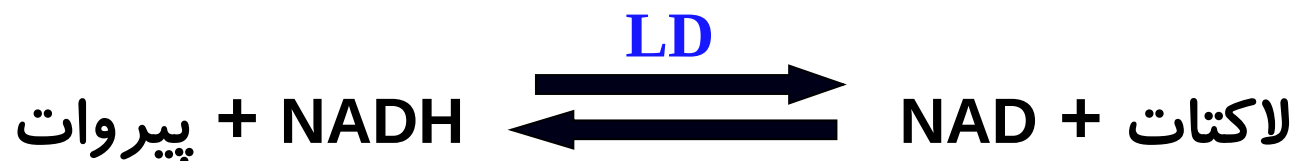


آنزیم لاکتات دهیدروژناز





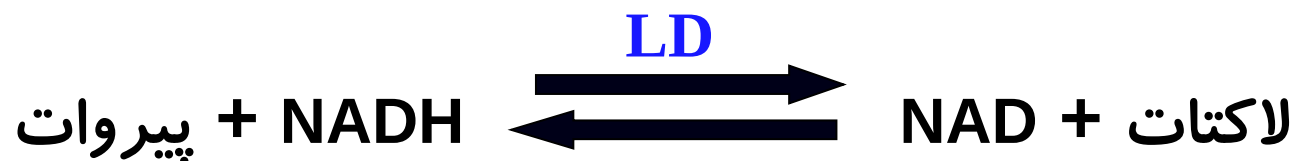
مشخصات آنزیم لاکتات دهیدروژناز



❖ دارای چهار زیر واحد



مشخصات آنزیم لاکتات دهیدروژناز



❖ دارای چهار زیر واحد

❖ زیر واحدها از دو نوع H یا M هستند



مشخصات آنزیم لاکتات دهیدروژناز



❖ دارای چهار زیر واحد

❖ زیر واحدها از دو نوع H یا M هستند

❖ آنزیم لاکتات دهیدروژناز دارای پنج ایزوآنزیم است



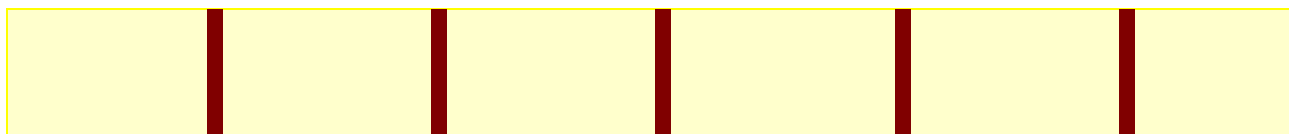
ساختار ایزوآنزیم‌های لاکتات دهیدروژناز

❖ LD ₁	HHHH
❖ LD ₂	HHHM
❖ LD ₃	HHMM
❖ LD ₄	HMMM
❖ LD ₅	MMMM



الگوی الکتروفورز ایزوآنزیم‌های لاکتات دهیدروژناز

- کاتد



+ آند

LD₅

LD₄

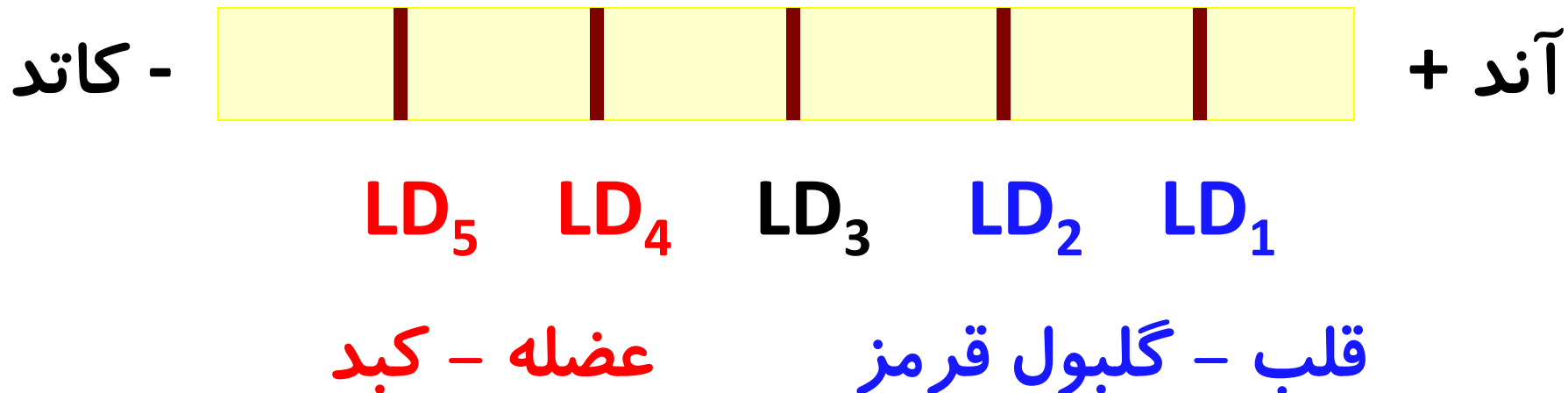
LD₃

LD₂

LD₁

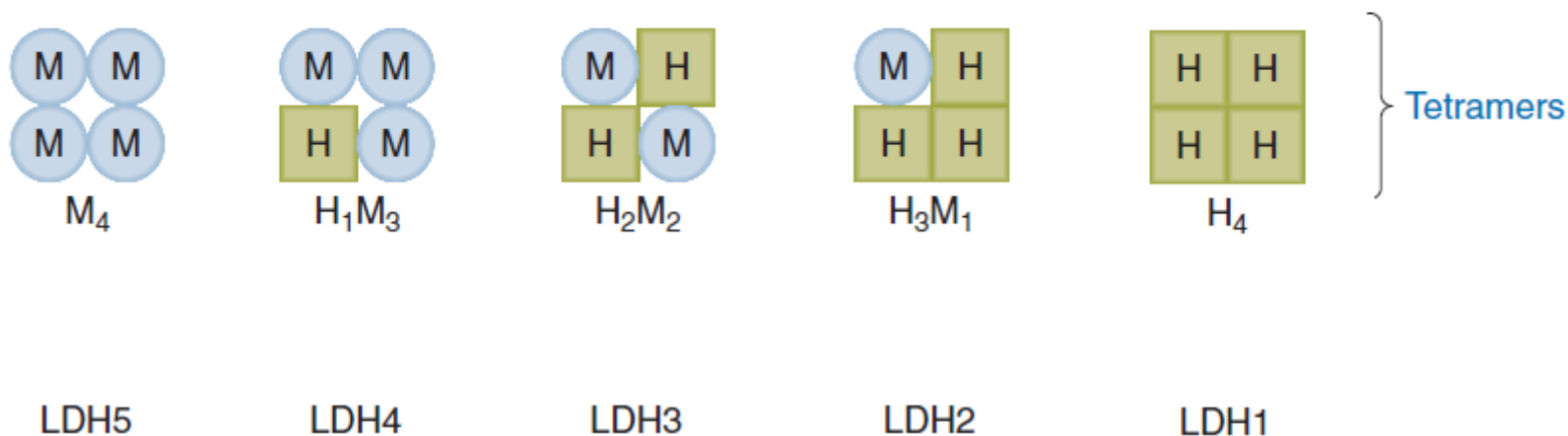


الگوی الکتروفورز ایزوآنزیم‌های لاکتات دهیدروژناز



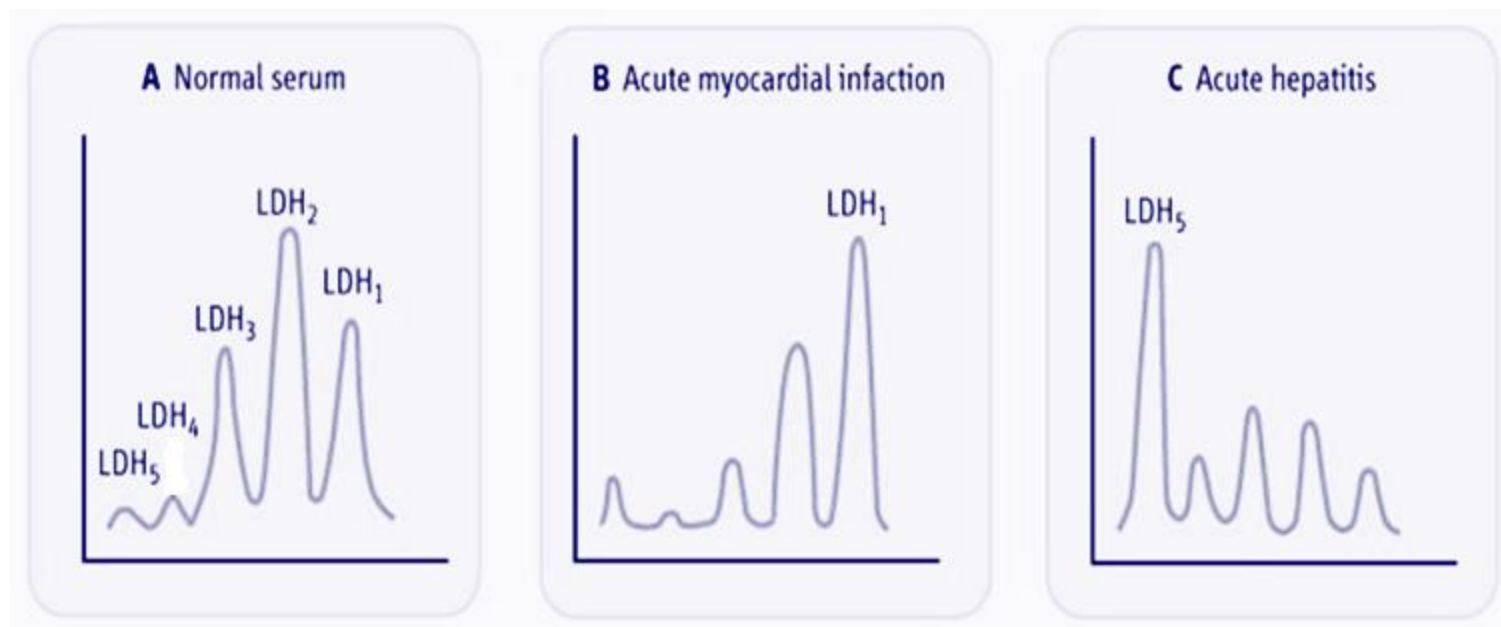
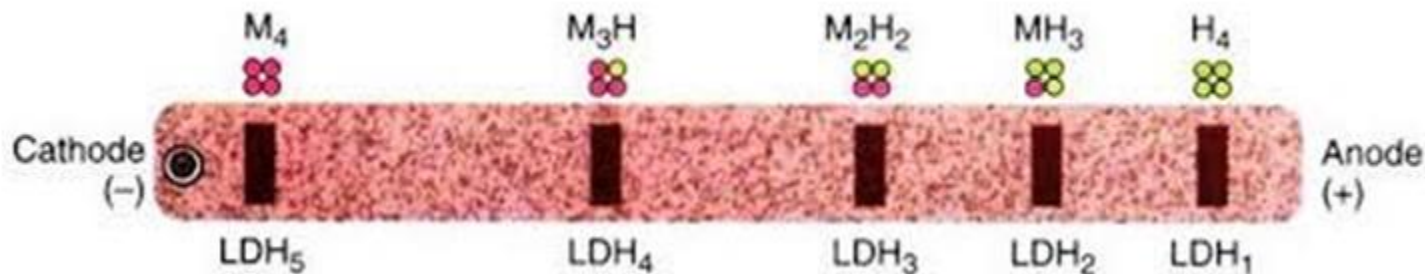


ایزوانزیم‌های لاکتات دهیدروژناز





الکتروفورز ایزوآنزیم‌های لاکتات دهیدروژناز



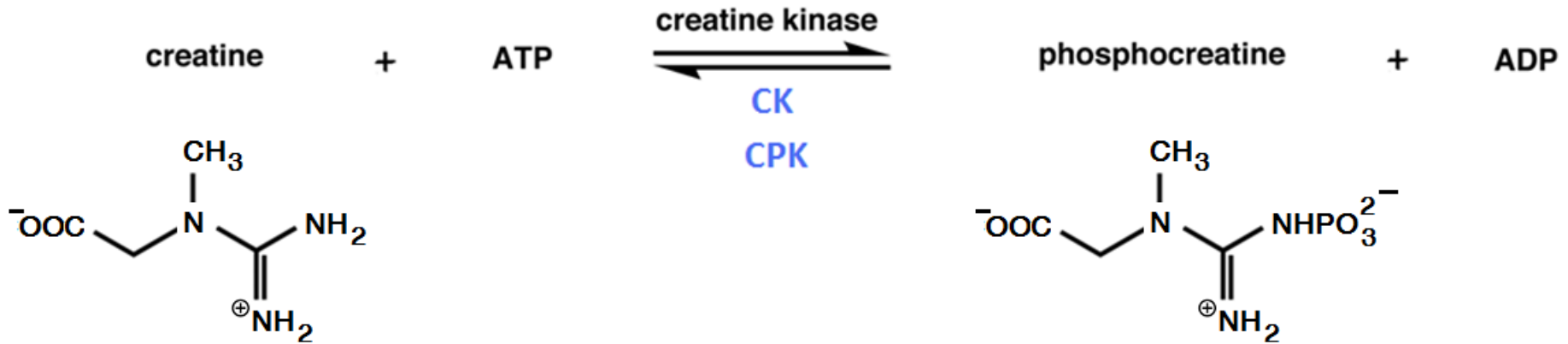


آنزیم کراتین کیناز





آنزیم کراتین کیناز





مشخصات آنزیم کراتین کیناز



➤ دارای دو زیر واحد



مشخصات آنزیم کراتین کیناز



➤ دارای دو زیرواحد

➤ زیرواحدها از دو نوع B یا M هستند



مشخصات آنزیم کراتین کیناز



➤ دارای دو زیرواحد

➤ زیرواحدها از دو نوع B یا M هستند

➤ آنزیم کراتین کیناز دارای سه ایزوآنزیم است



ساختار ایزوآنزیم‌های کراتین کیناز

❖ CK_1	BB	مغز و تیروئید
❖ CK_2	MB	قلب
❖ CK_3	MM	عضلات اسکلتی



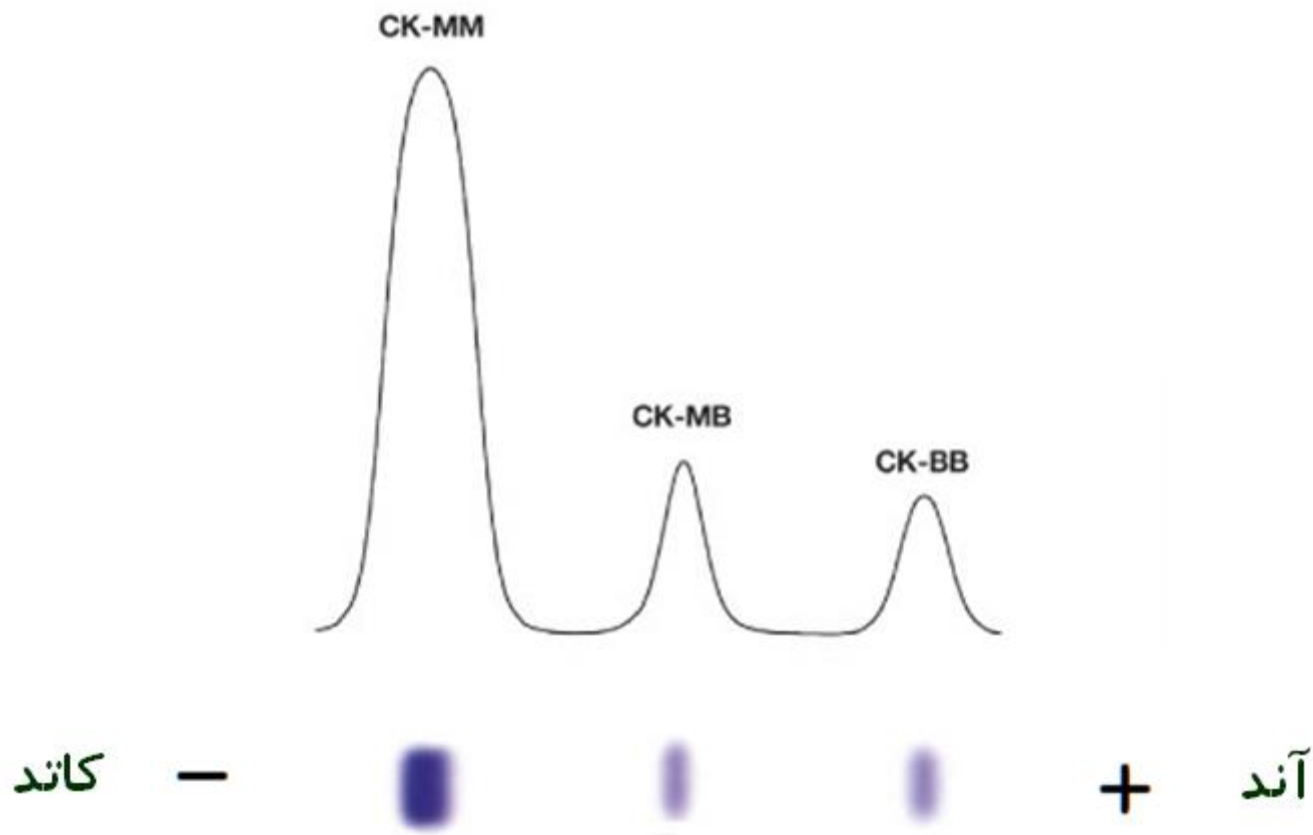
ساختار ایزوآنزیم‌های کراتین کیناز

❖ CK_1	BB	مغز و تیروئید
❖ CK_2	MB	قلب
❖ CK_3	MM	عضلات اسکلتی

آنزیم کراتین کیناز **اولین** آنزیمی است که افزایش آن در **سکته قلبی در خون** مشاهده می‌شود



الگوی الکتروفورز ایزوآنزیمهای کراتین کیناز



عوامل مهم در پیشرفت واکنش شیمیایی



عوامل مهم در پیشرفت واکنش شیمیایی

❖ گرمای مبادله شده (تغییر انتالپی)

❖ تغییر میزان بی نظمی (تغییر آن트로پی)



	$\Delta H < 0$	$\Delta H > 0$
$\Delta S > 0$	Spontaneous	Spontaneous at high temps
$\Delta S < 0$	Spontaneous at low temps	Not Spontaneous



تغییر انرژی آزاد (ΔG)

بخشی از تغییر کل انرژی سیستم که برای انجام

کار در دسترس است



تغییر انرژی آزاد (ΔG)

تغییر انرژی آزاد



$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

دما



تغییر انتالپی



تغییر آنتروپی

پیش‌گویی انجام واکنش از روی علامت ΔG

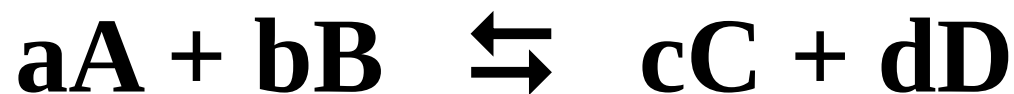
❖ ΔG کوچک‌تر از صفر ← واکنش انجام‌پذیر

❖ ΔG مساوی صفر ← واکنش در حال تعادل

❖ ΔG بزرگ‌تر از صفر ← واکنش انجام‌ناپذیر



محاسبه ΔG



$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

$$R = 1.98 \text{ cal/mol.deg}$$

$$\ln = 2.303 \log$$



تغییر انرژی آزاد استاندارد (ΔG^0)

❖ تغییر انرژی آزاد استاندارد را با ΔG^0 نشان می‌دهند و مربوط به

واکنشی است که غلظت مواد موجود در آن یک مولار است.

❖ در بیوشیمی از ΔG^0 که تغییر انرژی آزاد استاندارد در pH برابر

هفت است استفاده می‌شود.



محاسبه ΔG^0

$$\Delta G^0 = - RT \ln K$$

❖ با استفاده از ثابت تعادل (K)

❖ با استفاده از نیروی الکتروموتوری پیل (ΔE^0)

$$\Delta G^0 = - n F \Delta E^0$$

F ثابت فاراده است که برابر با 23.06 Kcal/V.mol است

n تعداد الکترون مبادله شده توسط یک مول از جسم است.



محاسبه ΔG واکنشی که مجموع چند واکنش است

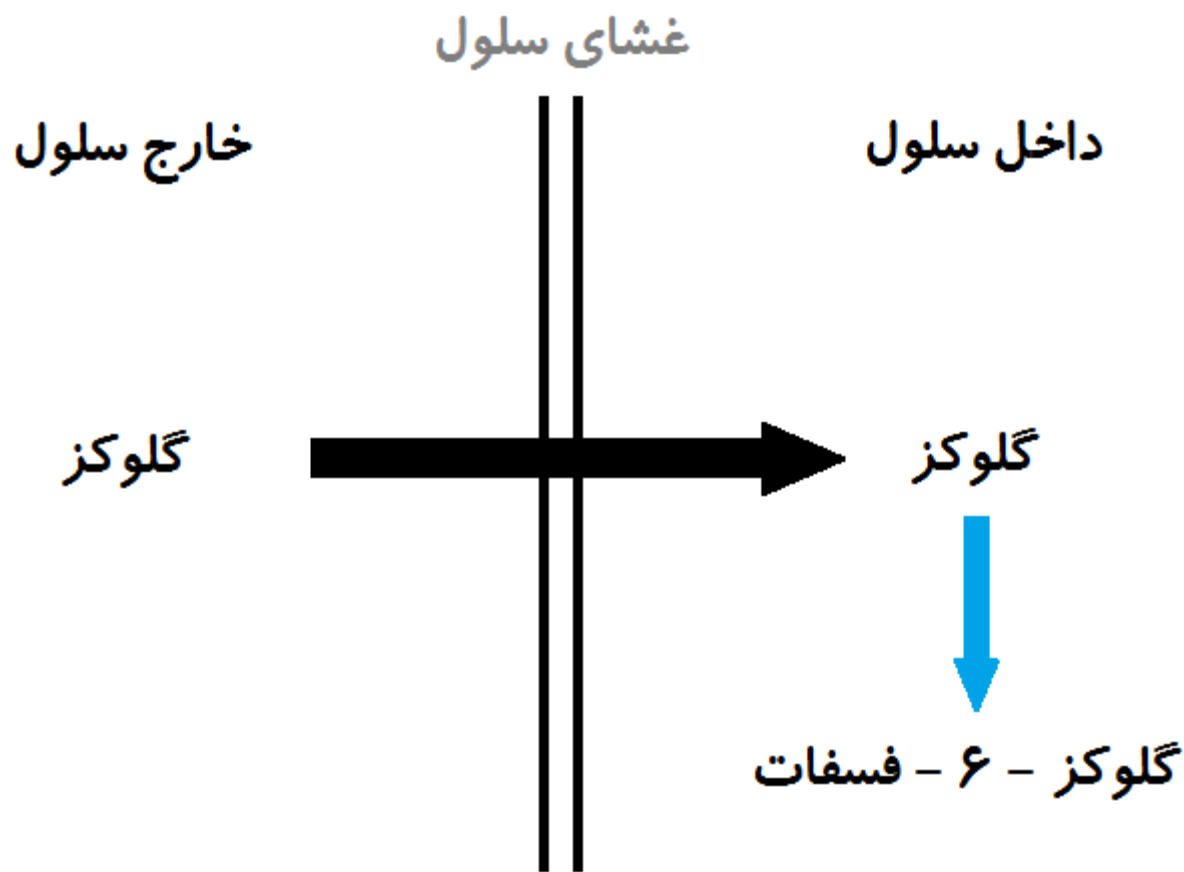
اگر واکنشی از مجموع چند واکنش به دست آید انرژی آزاد

استاندارد آن، مجموع جمع جبری انرژی‌های آزاد

استاندارد آن واکنش‌ها خواهد بود



ΔG^0 فسفریلاسیون گلوکز در سلول



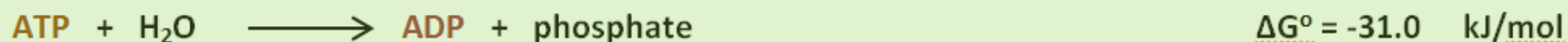
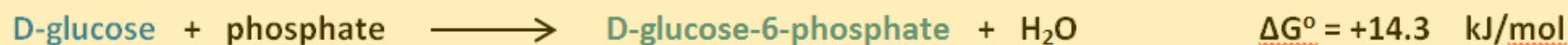


ΔG^0 فسفریلاسیون گلوکز





ΔG^0 فسفریلاسیون گلوکز در سلول



کینتیک آنزیمی



کینتیک آنزیمی

مطالعه سرعت واکنش آنزیمی

و

خصوصیات آنزیم

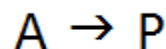


سرعت واکنش

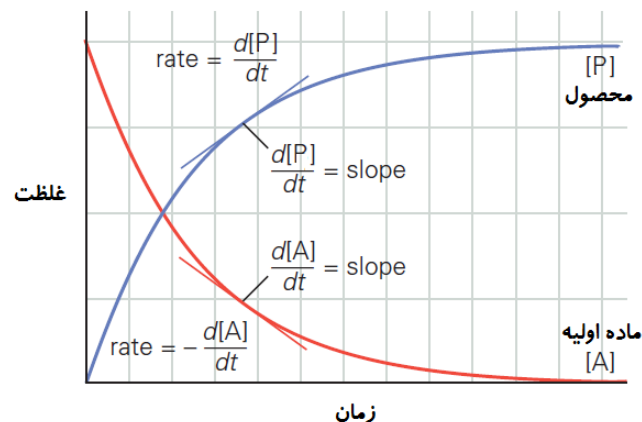
تغییر غلظت محصول واکنش یا مواد اولیه بر واحد زمان

سرعت واکنش

تغییر غلظت محصول واکنش یا مواد اولیه بر واحد زمان

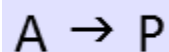


$$\text{سرعت واکنش} = -\frac{d[A]}{dt} = \frac{d[P]}{dt}$$





سرعت واکنش



$$\text{سرعت واکنش} = -\frac{d[A]}{dt} = \frac{d[P]}{dt}$$

$$\text{rate} \propto [A]$$

$$\text{سرعت واکنش} = k[A]$$

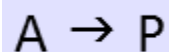
ثابت سرعت واکنش

معادله سرعت

واکنش درجه اول



سرعت واکنش



$$\text{rate} \propto [A]$$

$$\text{سرعت واکنش} = - \frac{d[A]}{dt} = \frac{d[P]}{dt}$$

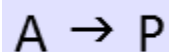
$$\text{سرعت واکنش} = k[A]$$

ثابت سرعت واکنش

$$- \frac{d[A]}{dt} = k[A] \Rightarrow \frac{d[A]}{[A]} = - k dt$$



سرعت واکنش



$$\text{rate} \propto [A]$$

$$\text{سرعت واکنش} = - \frac{d[A]}{dt} = \frac{d[P]}{dt}$$

$$\text{سرعت واکنش} = k[A]$$

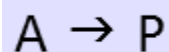
ثابت سرعت واکنش

$$- \frac{d[A]}{dt} = k[A] \Rightarrow \frac{d[A]}{[A]} = - k dt$$

$$\log [A] = \log[A_0] - \frac{k}{2.3} t$$



سرعت واکنش



$$\text{rate} \propto [A]$$

$$\text{سرعت واکنش} = - \frac{d[A]}{dt} = \frac{d[P]}{dt}$$

$$\text{سرعت واکنش} = k[A]$$

ثابت سرعت واکنش

$$- \frac{d[A]}{dt} = k[A] \Rightarrow \frac{d[A]}{[A]} = - k dt$$

$$\log [A] = \log[A_0] - \frac{k}{2.3} t$$

$$t_{1/2} \text{ or } t_{50\%} = \frac{0.69}{k}$$



سرعت واکنش

تغییر غلظت محصول واکنش یا مواد اولیه بر واحد زمان



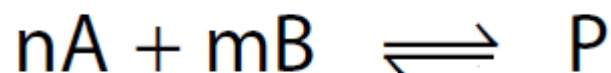
$$\text{rate} \propto [A][B]$$

معادله سرعت واکنش درجه دوم

$$\text{rate} = k[A][B]$$



ارتباط بین ثابت تعادل و ثابت سرعت واکنش شیمیایی

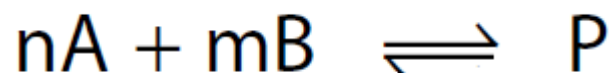


$$\text{Rate}_1 = k_1 [A]^n [B]^m$$

$$\text{Rate}_{-1} = k_{-1} [P]$$



ارتباط بین ثابت تعادل و ثابت سرعت واکنش شیمیایی



$$\text{Rate}_1 = k_1 [A]^n [B]^m$$

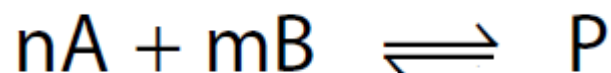
$$\text{Rate}_{-1} = k_{-1} [P]$$

$$\text{Rate}_1 = \text{Rate}_{-1}$$

حالت تعادل



ارتباط بین ثابت تعادل و ثابت سرعت واکنش شیمیایی



$$\text{Rate}_1 = k_1 [A]^n [B]^m$$

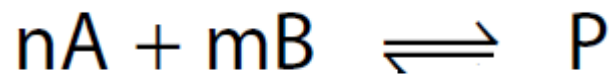
$$\text{Rate}_{-1} = k_{-1} [P]$$

$$\text{Rate}_1 = \text{Rate}_{-1}$$

حالت تعادل

$$k_1 [A]^n [B]^m = k_{-1} [P]$$

ارتباط بین ثابت تعادل و ثابت سرعت واکنش شیمیایی



$$\text{Rate}_1 = k_1 [A]^n [B]^m$$

$$\text{Rate}_{-1} = k_{-1} [P]$$

$$\text{Rate}_1 = \text{Rate}_{-1}$$

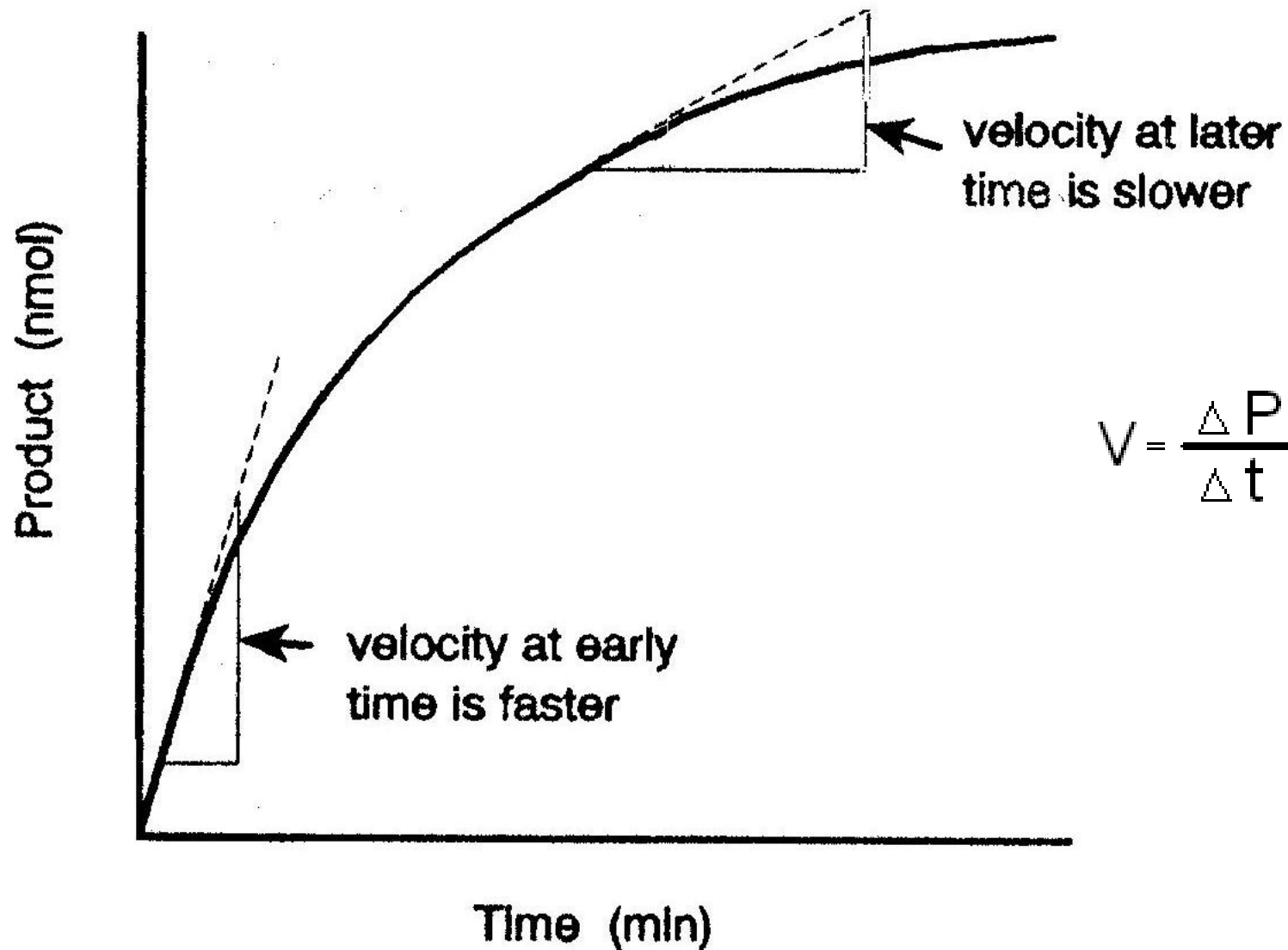
حالت تعادل

$$k_1 [A]^n [B]^m = k_{-1} [P]$$

$$K_{\text{eq}} = \frac{k_1}{k_{-1}} = \frac{[P]}{[A]^n [B]^m}$$



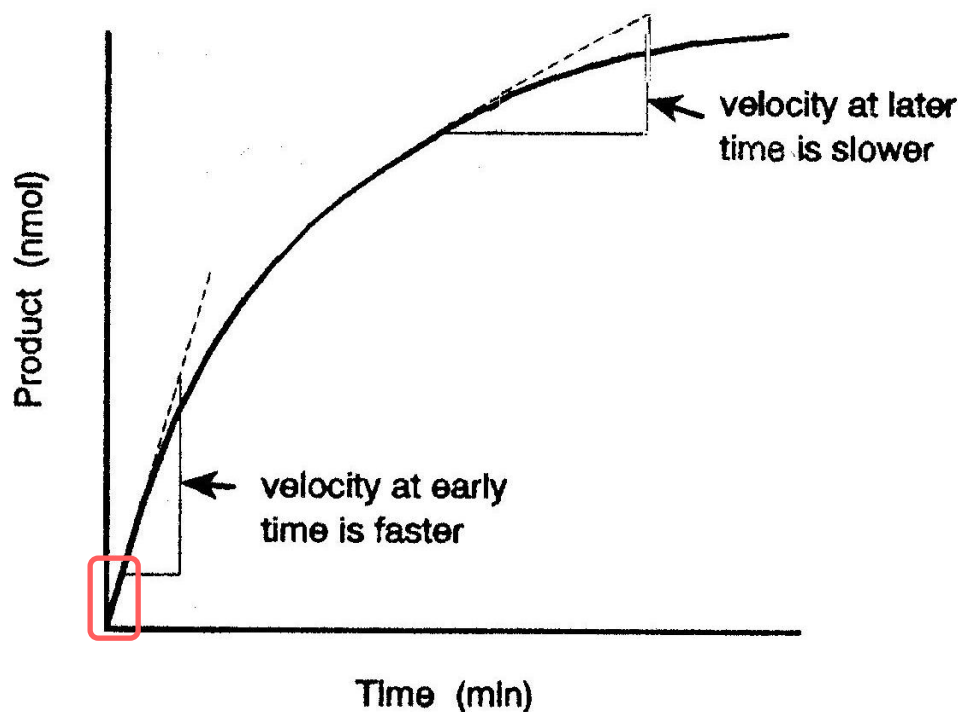
منحنی مقدار محصول تولید شده نسبت به زمان در یک واکنش آنزیمی





سرعت اولیه واکنش آنزیمی

شیب منحنی محصول - زمان در ابتدای واکنش (نزدیک زمان صفر)





واحد بین‌المللی فعالیت آنزیم (I.U)

مقداری از آنزیم که در مدت **یک دقیقه** در شرایط

مطلوب دما و pH بتواند **یک میکرومول سوبسترا** را به

محصول تبدیل کند



واحد کاتال

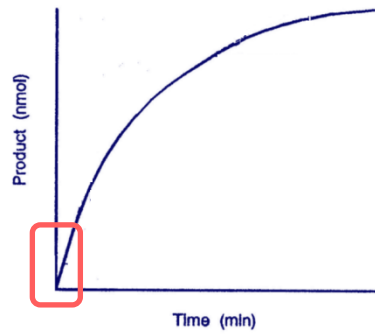
مقداری از آنزیم که در مدت **یک ثانیه** در شرایط مطلوب

دما و pH بتواند **یک مول سوبسترا** را به محصول

تبدیل کند

سنجش فعالیت آنزیم

- اندازه‌گیری مقدار محصول تولید شده یا سوبسترای مصرف شده پس از یک زمان

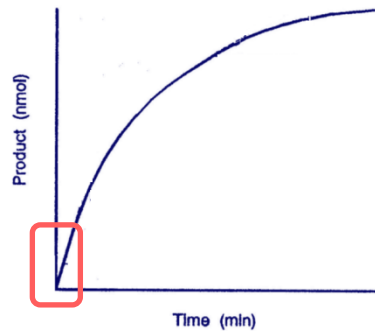


$$V = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

مشخص

سنجش فعالیت آنزیم

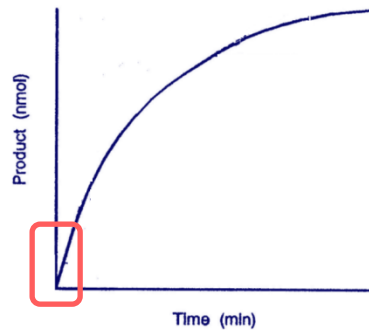
- اندازه‌گیری مقدار محصول تولید شده یا سوبسترای مصرف شده پس از یک زمان



$$V = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

مشخص

- اندازه‌گیری مقدار محصول تولید شده یا سوبسترای مصرف شده به صورت پیوسته یا



کینیتیک



واحد بین‌المللی فعالیت آنزیم (I.U)

مقداری از آنزیم که در مدت **یک دقیقه** در شرایط

مطلوب دما و pH بتواند **یک میکرومول سوبسترا** را به

محصول تبدیل کند



۲۰۰۰ میکرومول از سوبسترا در مدت ۴ دقیقه توسط آنزیمی در

شرایط معین به محصول تبدیل می شود. فعالیت آنزیم چند I.U است؟



۲۰۰۰ میکرومول از سوبسترا در مدت ۴ دقیقه توسط آنزیمی در

شرایط معین به محصول تبدیل می شود. فعالیت آنزیم چند I.U است؟

$$I.U = \frac{۲۰۰۰}{۴} = ۵۰۰ \text{ } \mu\text{mol/min}$$



۸ میکرومول از سوبسترا در مدت ۴ دقیقه توسط آنزیمی در شرایط معین به محصول تبدیل می‌شود. در صورتی که واکنش در حجم ۲ میلی‌لیتر انجام شده باشد فعالیت آنزیم چند I.U/L است؟



۸ میکرومول از سوبسترا در مدت ۴ دقیقه توسط آنزیمی در شرایط معین به محصول تبدیل می‌شود. در صورتی که واکنش در حجم ۲ میلی‌لیتر انجام شده باشد فعالیت آنزیم چند I.U/L است؟

$$\frac{\text{IU}}{\text{L}} = \frac{8 \mu\text{mol}}{4 \text{ min} \times 0.002 \text{ L}} = 1000 \frac{\mu\text{mol}}{\text{min} \times \text{L}}$$



سنجش فعالیت آنزیم





سنجش فعالیت آنزیم

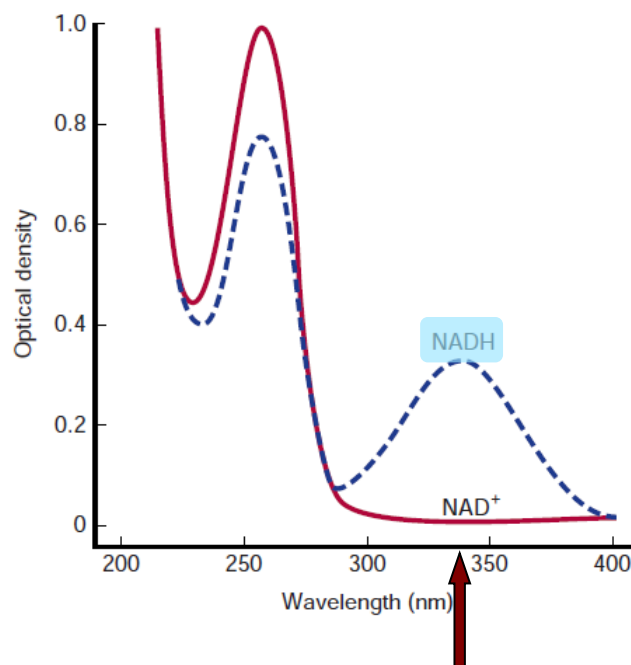
لاکتات دهیدروژناز





سنجش فعالیت آنزیم

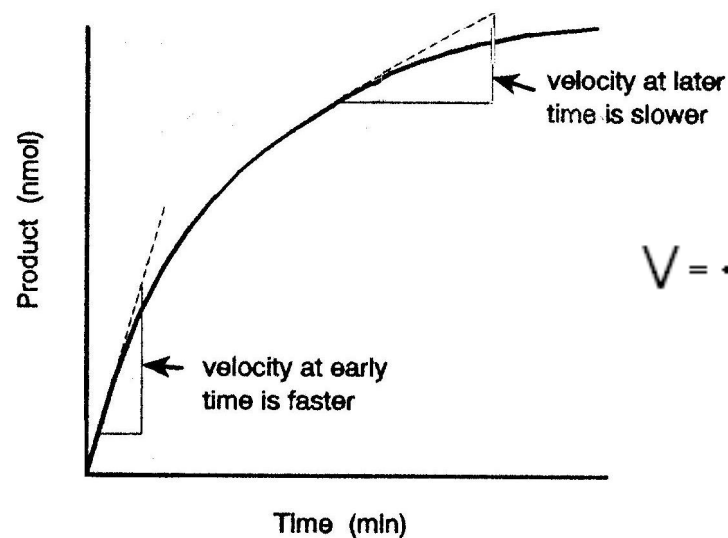
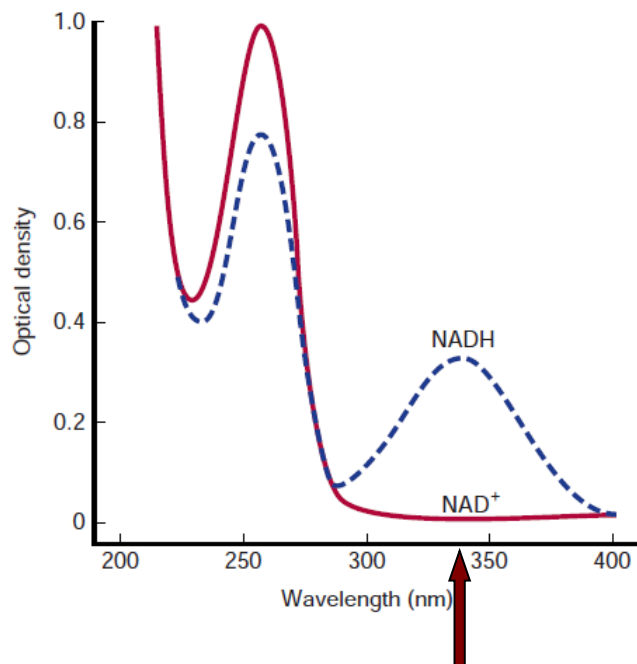
لاکتات دهیدروژناز





سنجش فعالیت آنزیم

لاکتات دهیدروژناز



$$V = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$



واحد بین‌المللی فعالیت آنزیم (I.U)

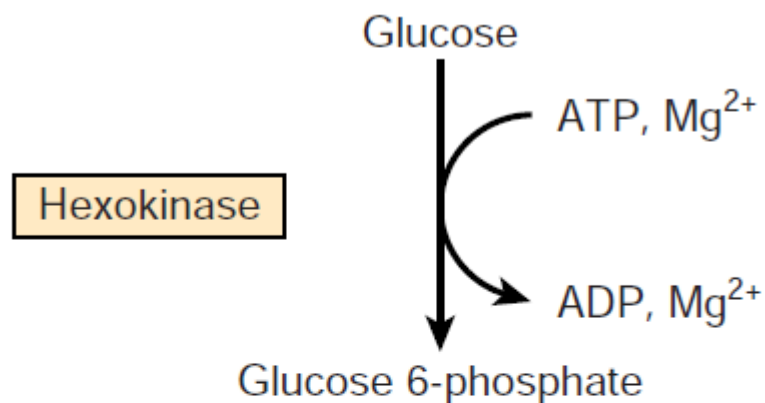
مقداری از آنزیم که در مدت **یک دقیقه** در شرایط

مطلوب دما و pH بتواند **یک میکرومول سوبسترا** را به

محصول تبدیل کند

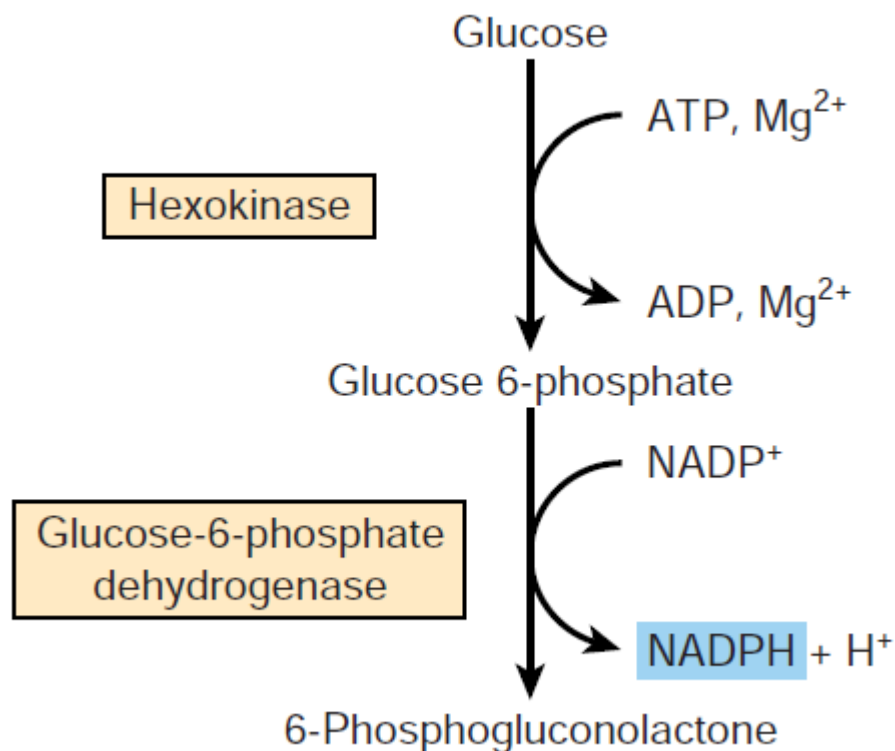


سنجش فعالیت آنزیم هگزوکیناز به روش «جفت شده»





سنجش فعالیت آنزیم هگزوکیناز به روش «جفت شده»



فعالیت مولکولی

- ❖ فعالیت مولکولی (عدد برگشت پذیری) یا عدد نوآرایی یا نوسازی (T.O.N)، عبارت از تعداد مولکول‌هایی از سوبسترا است که در واحد زمان توسط یک مولکول آنزیم به محصول تبدیل می‌شوند.
- ❖ با توجه به این که نسبت مولی و مولکولی یکسان هستند، لذا فعالیت مولکولی یا عدد نوآرایی را می‌توان به صورت نسبت مولی نیز بیان کرد.

فعالیت مولکولی

❖ فعالیت مولکولی (عدد برگشت پذیری) یا عدد نوآرایی یا نوسازی (T.O.N)، عبارت از تعداد مولکول‌هایی از سوبسترا است که در واحد زمان توسط یک مولکول آنزیم به محصول تبدیل می‌شوند.

❖ با توجه به این که نسبت مولی و مولکولی یکسان هستند، لذا فعالیت مولکولی یا عدد نوآرایی را می‌توان به صورت نسبت مولی نیز بیان کرد.

❖ فعالیت مولکولی برابر با ثابت کاتالیتیک (k_{cat}) واکنش آنزیمی است. ثابت کاتالیتیک واکنش آنزیمی، ثابت سرعت مرحله‌ای از واکنش آنزیمی است که محدود کننده سرعت واکنش آنزیمی است.

$$k_{cat} = \frac{V_m}{[E_t]}$$

V_{max} represents the maximum rate of enzymatic reaction

E_t represents the total Enzyme concentration



۸۰۰۰ مول از سوبسترا در مدت ۲ دقیقه توسط ۴ مول از آنزیمی در شرایط معین به محصول تبدیل می‌شود. T.O.N آنزیم بر حسب 1/min چند است؟



۸۰۰۰ مول از سوبسترا در مدت ۲ دقیقه توسط ۴ مول از آنزیمی در شرایط معین به محصول تبدیل می‌شود. T.O.N آنزیم بر حسب 1/min چند است؟

$$\text{T.O.N} = \frac{\frac{8000}{4}}{2} = 1000 \text{ min}^{-1}$$



Turnover Numbers, k_{cat} , of Some Enzymes

Enzyme	Substrate	k_{cat} (s^{-1})
Catalase	H_2O_2	40,000,000
Carbonic anhydrase	HCO_3^-	400,000
Acetylcholinesterase	Acetylcholine	14,000
β -Lactamase	Benzylpenicillin	2,000
Fumarase	Fumarate	800
RecA protein (an ATPase)	ATP	0.5



عوامل موثر بر فعالیت آنزیم

❖ حرارت

❖ pH

❖ مقدار آنزیم

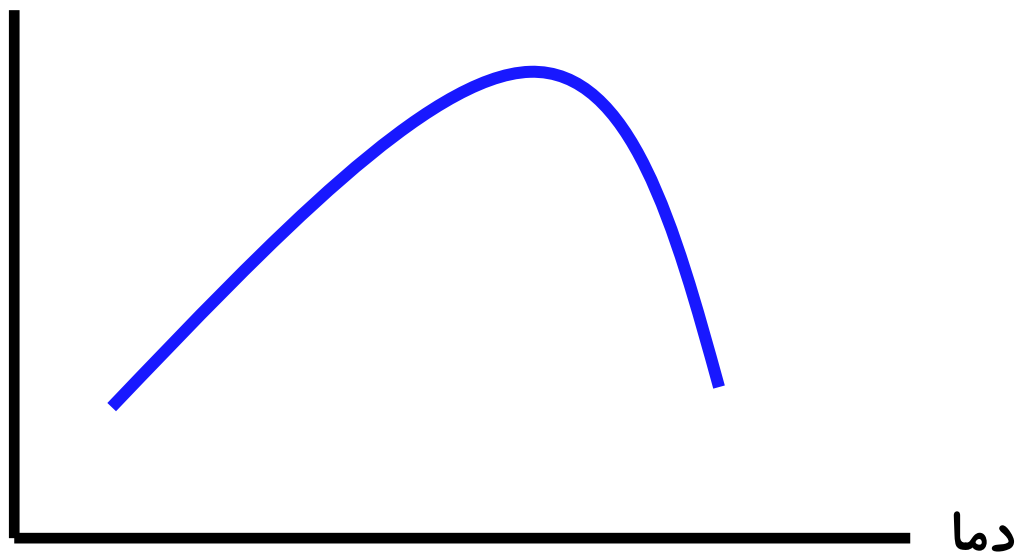
❖ مقدار سوبسترا

❖ وجود عوامل مهارکننده (بازدارنده) و فعال کننده



اثر حرارت روی واکنش آنزیمی

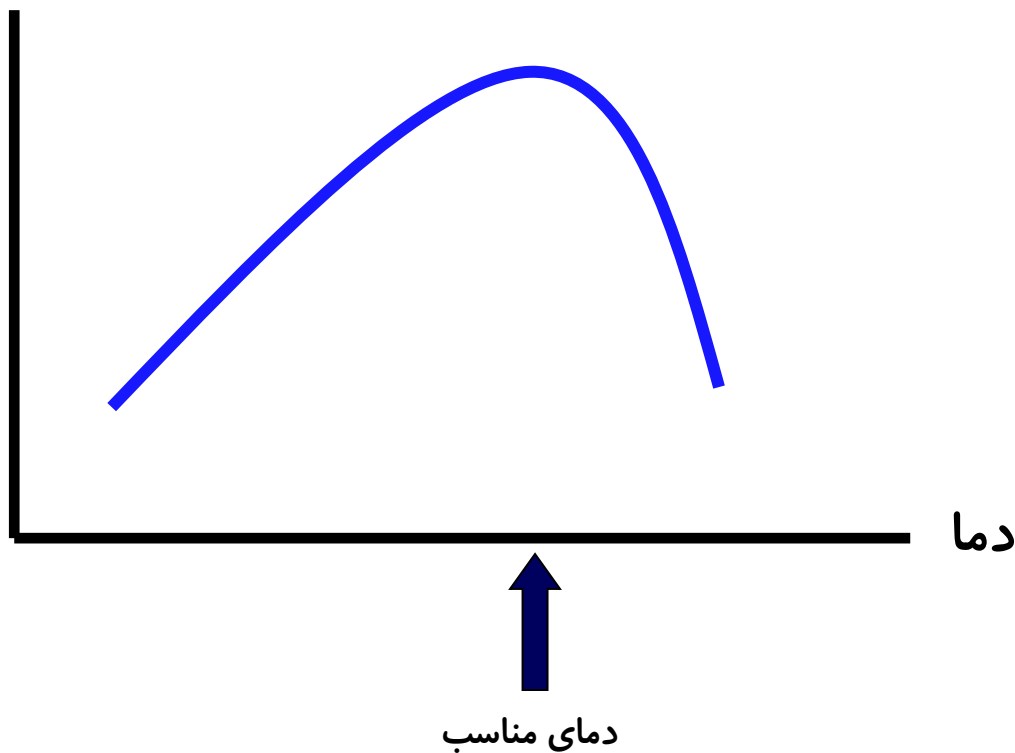
سرعت واکنش





اثر حرارت روی واکنش آنزیمی

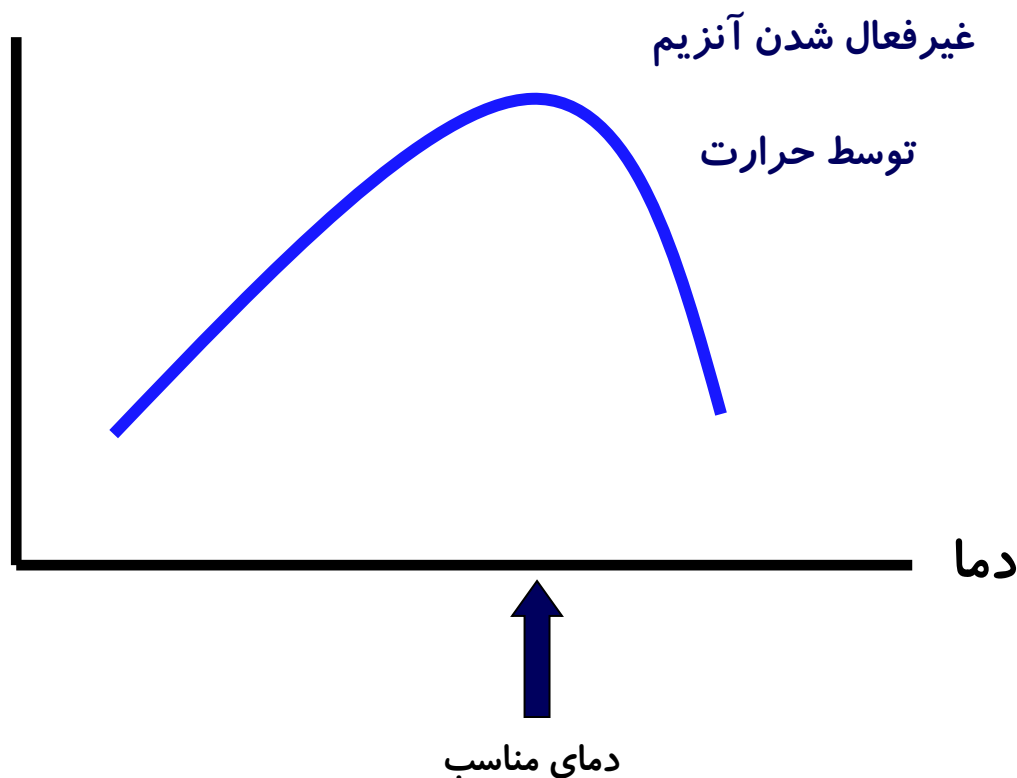
سرعت واکنش





اثر حرارت روی واکنش آنزیمی

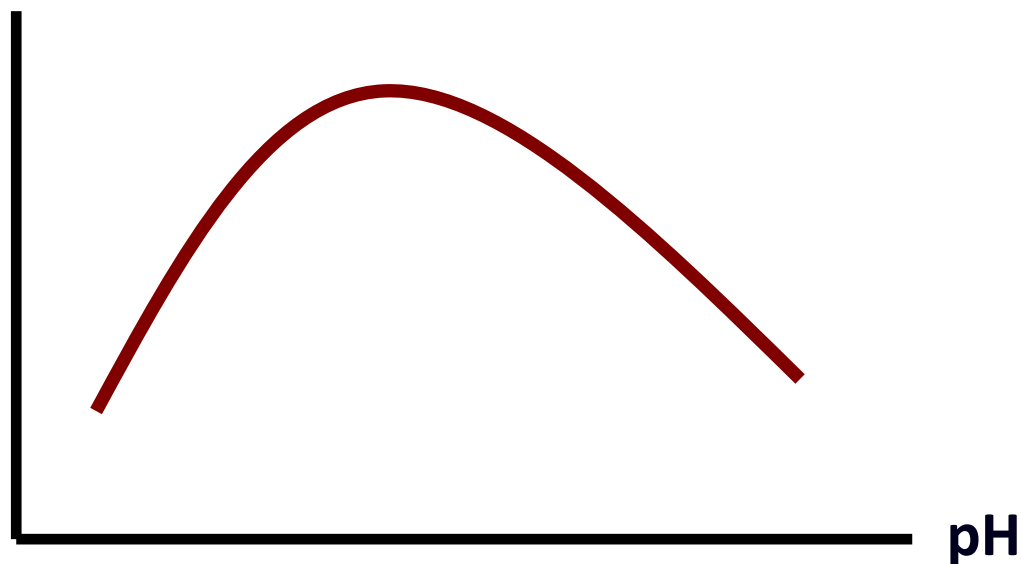
سرعت واکنش





اثر pH روی واکنش آنزیمی

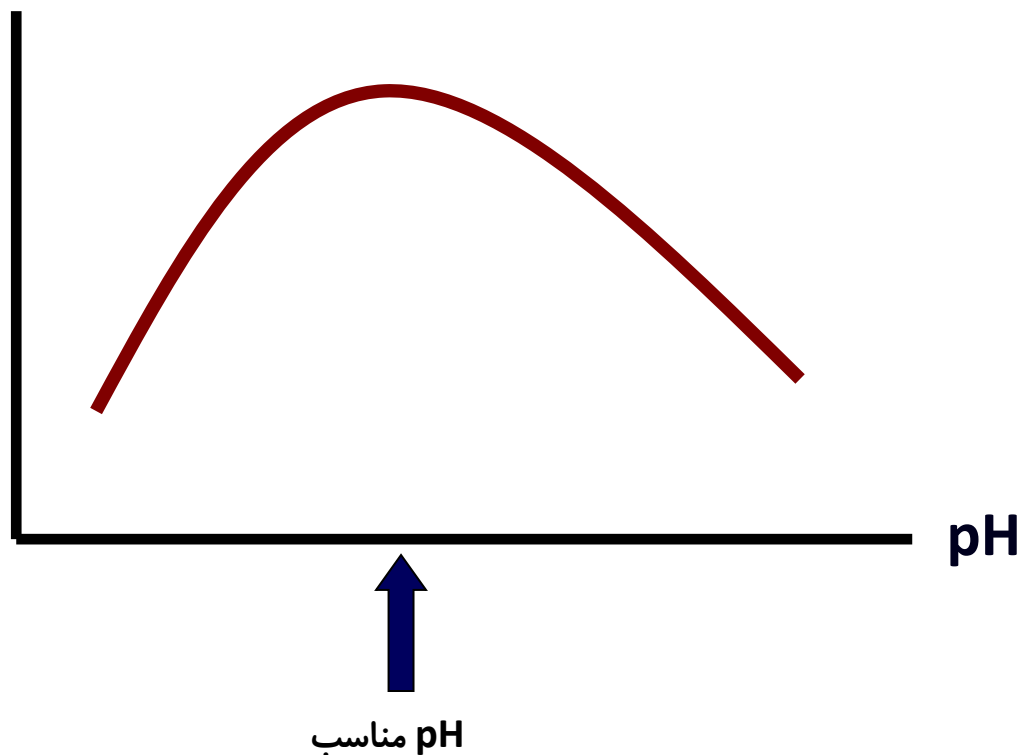
سرعت واکنش





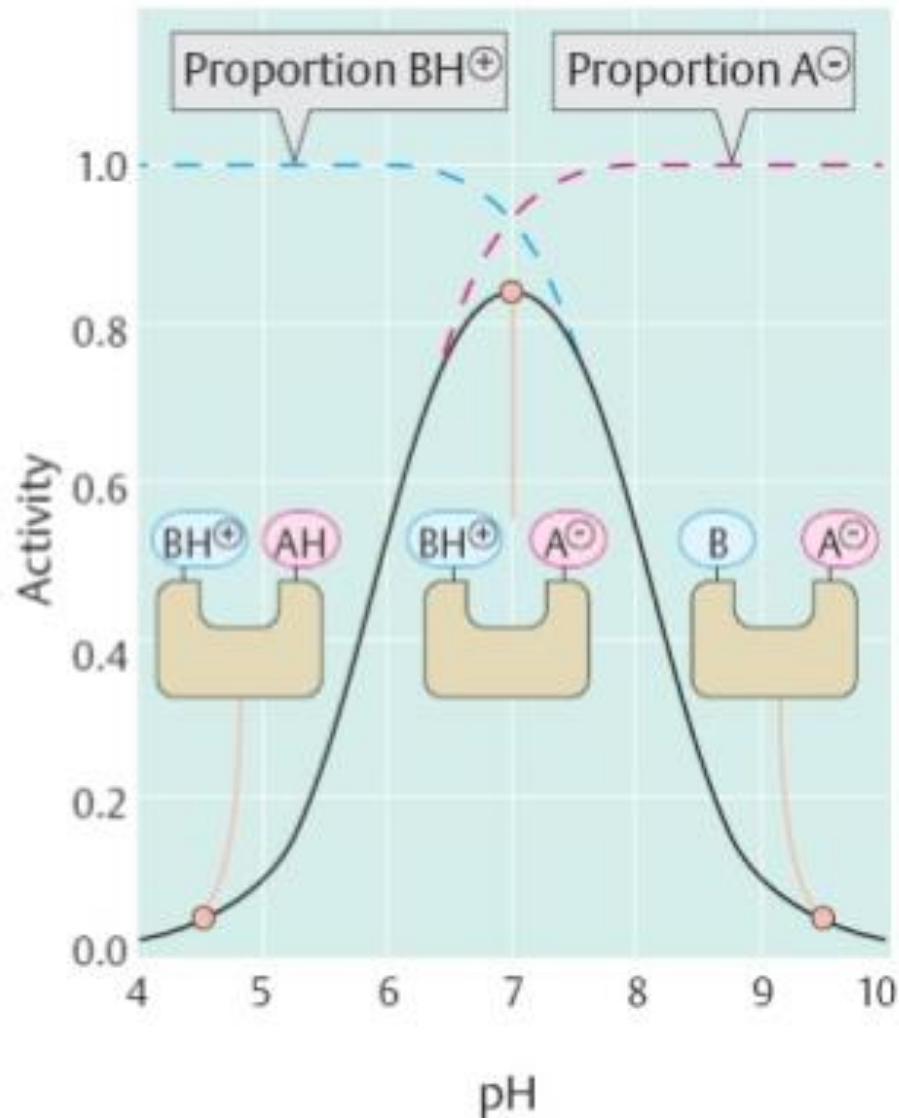
اثر pH روی واکنش آنزیمی

سرعت واکنش



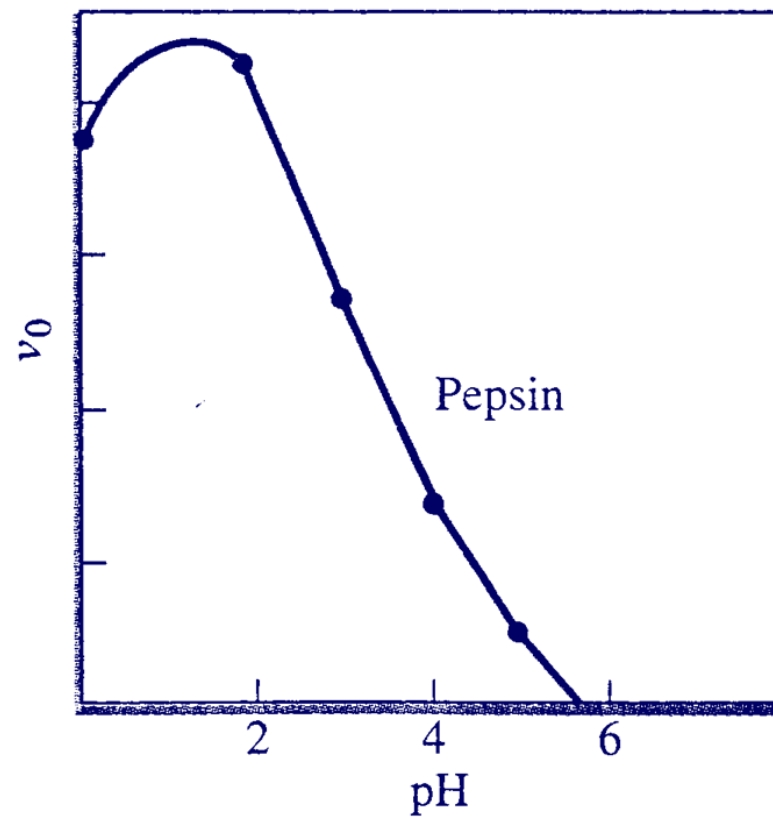
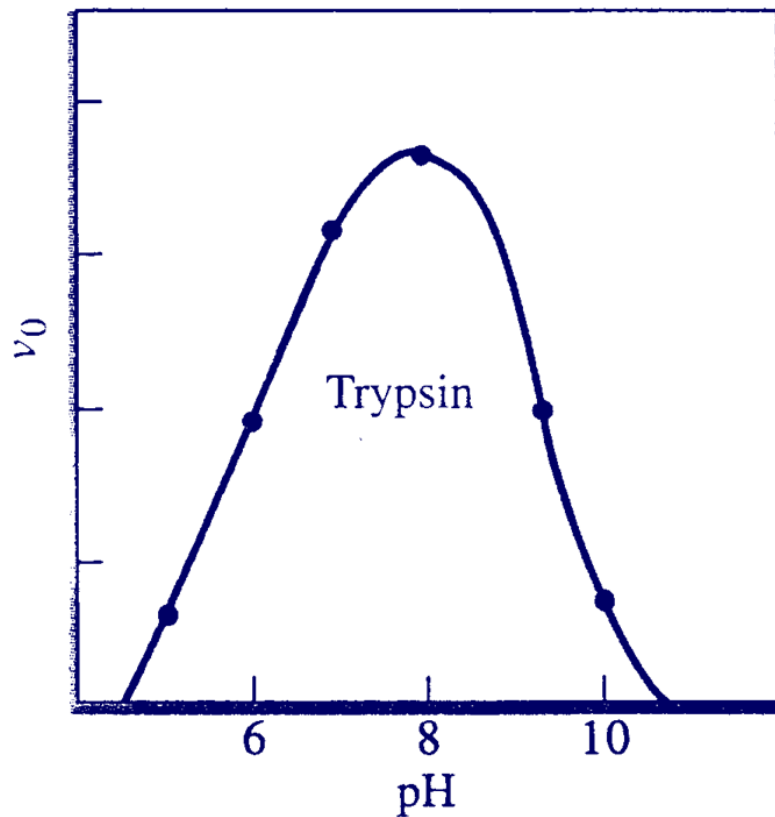


اثر pH روی واکنش آنزیمی





اثر pH روی واکنش آنزیمی



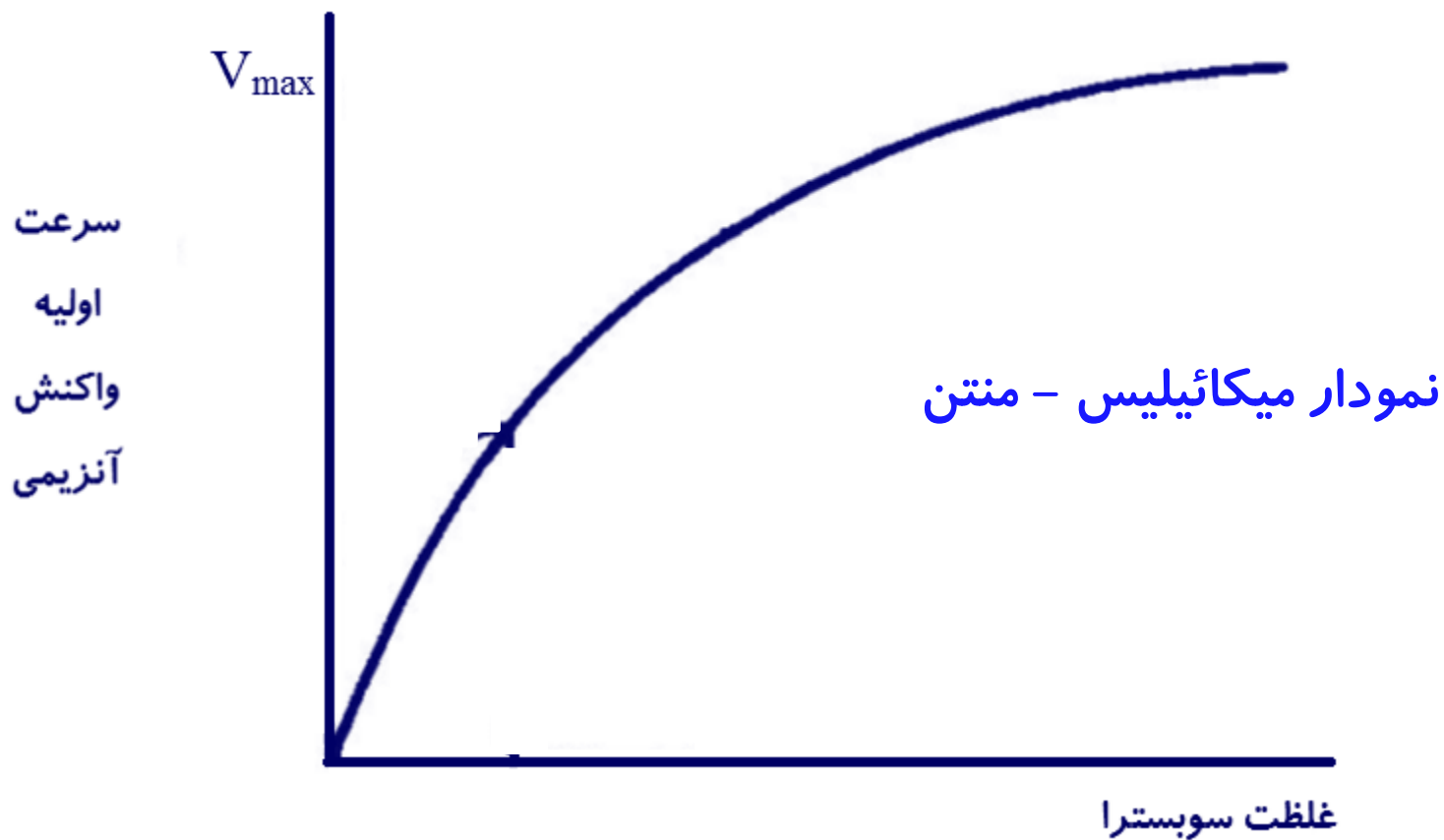


اثر مقدار آنزیم روی واکنش آنزیمی



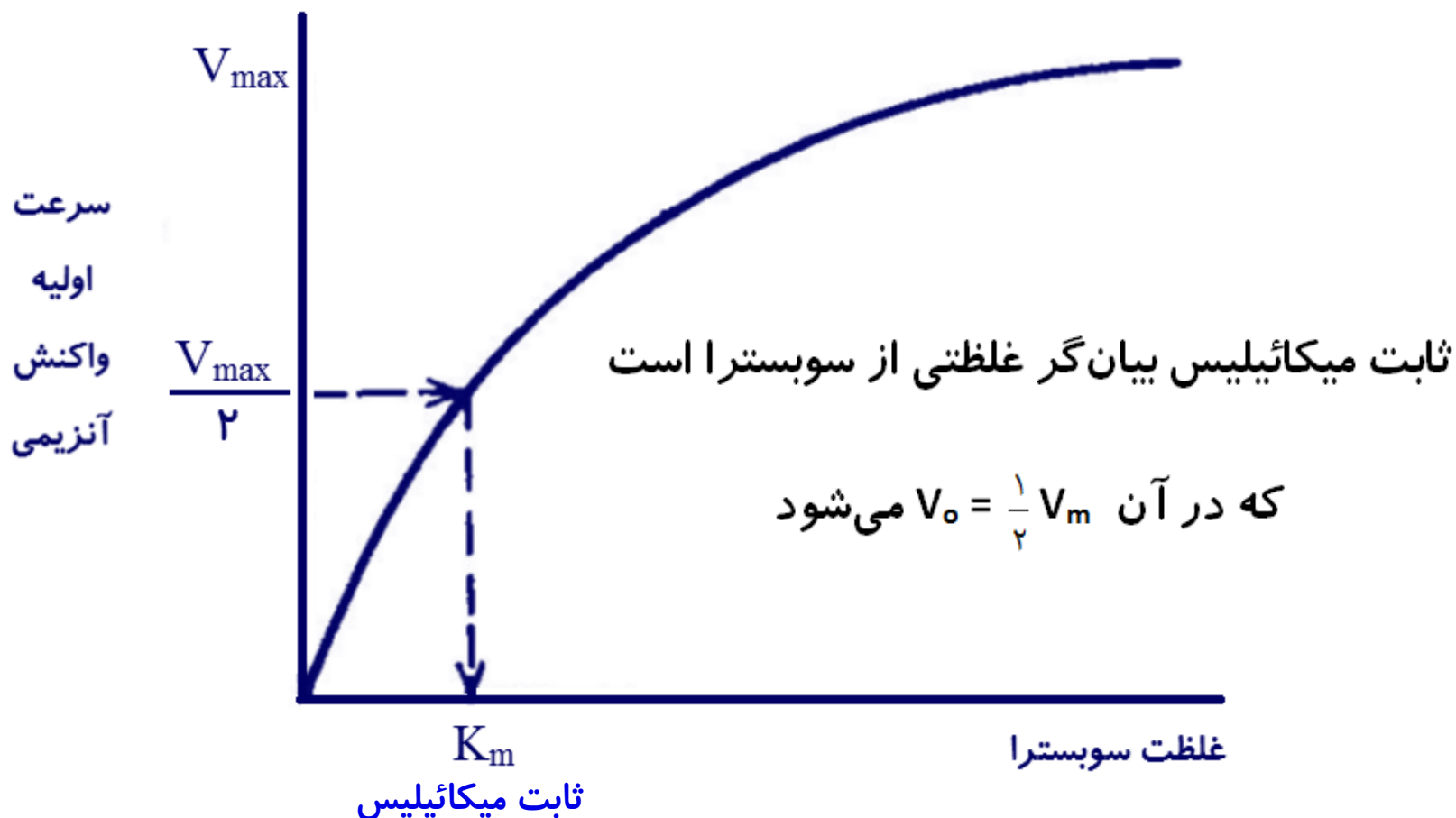


اثر مقدار سوبسترا روی واکنش آنزیمی





اثر مقدار سوبسترا روی واکنش آنزیمی



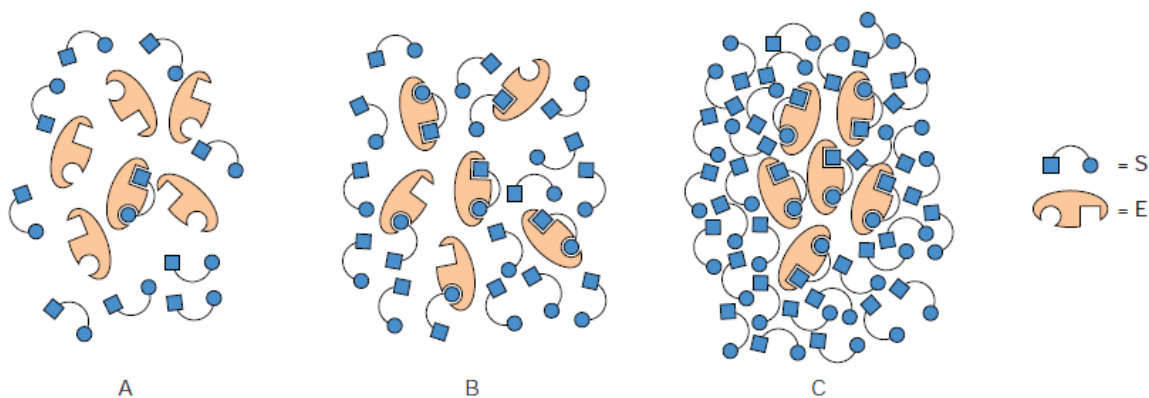
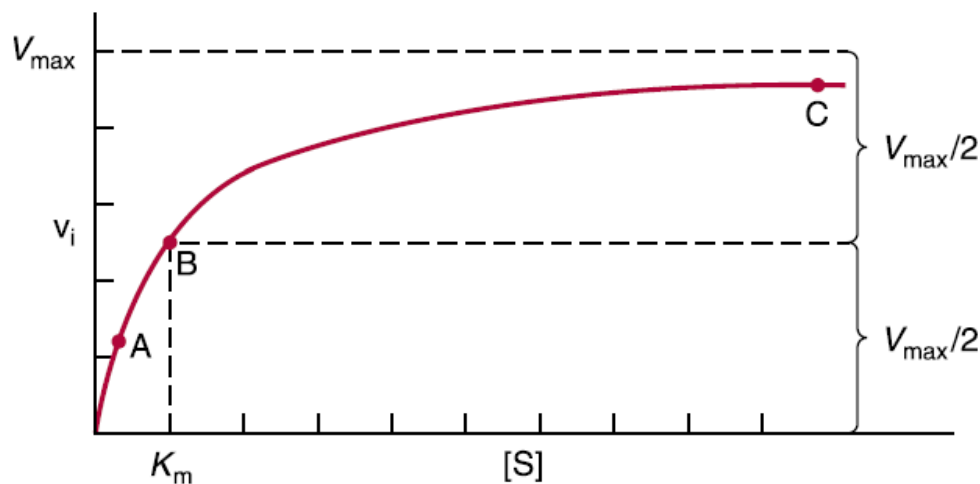


ثابت میکائیلیس (K_m) رابطه عکس با

تمایل آنزیم به سوبسترا دارد



نمودار میکائیلیس - منتن

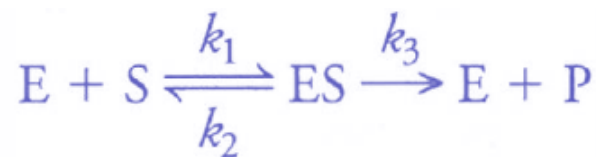
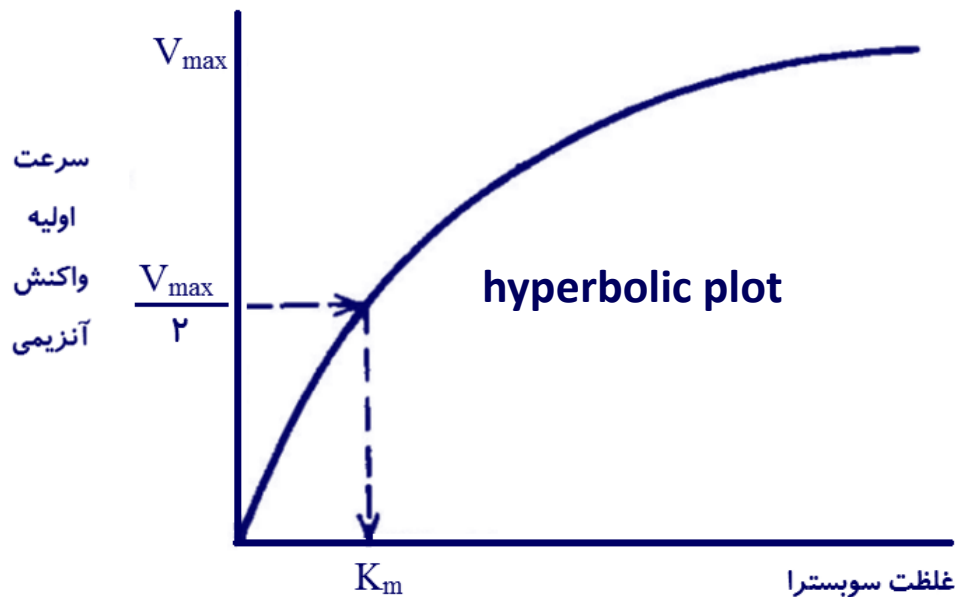




رابطه میکائیلیس - منتن



$$V_0 = \frac{V_{\max} [S]}{K_m + [S]}$$



$$K_m = \frac{k_2 + k_3}{k_1} \text{ (ثابت میکائیلیس)}$$



❖ ثابت میکائلیس – منتن (K_m) بستگی به غلظت آنزیم و سوبسترا

ندارد اما به نوع سوبسترا، دما و pH بستگی دارد.

❖ حداکثر سرعت آنزیمی (V_m) بستگی به غلظت آنزیم دارد.



اگر در یک واکنش آنزیمی غلظت سوبسترا $\frac{1}{4}$ مقدار K_m آنزیم باشد، ارتباط بین V_m و V_o چگونه است؟



اگر در یک واکنش آنزیمی غلظت سوبسترا $\frac{1}{4}$ مقدار K_m آنزیم باشد، ارتباط بین V_m و V_o چگونه است؟

$$V_o = \frac{V_m \times [S]}{K_m + [S]} = \frac{V_m \times [S]}{4[S] + [S]} \Rightarrow V_o = \frac{1}{5} V_m$$



کارایی کاتالیتیک یا ثابت ویژگی

$$\text{کارایی کاتالیتیک یا ثابت ویژگی} = \frac{k_{\text{cat}}}{K_m}$$

بهترین راه برای مقایسه توانایی کاتالیتیک آنزیم‌ها استفاده از

کارایی کاتالیتیک یا ثابت ویژگی است.



رابطه لینوور - برک

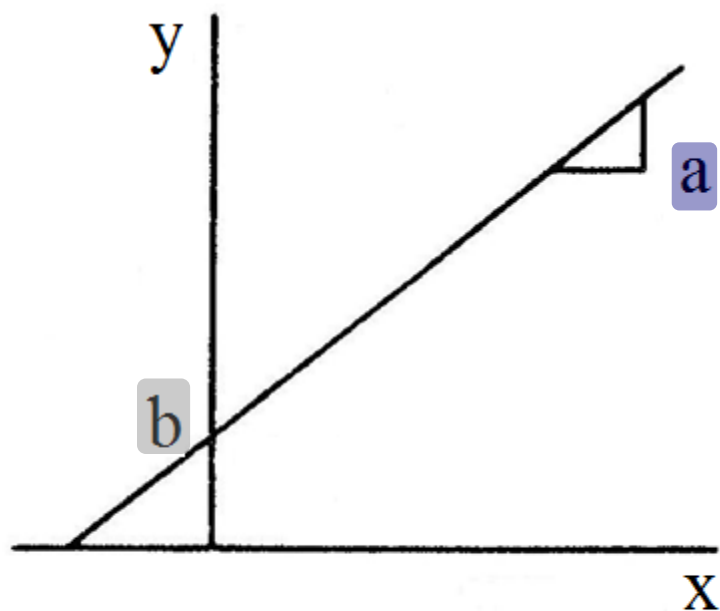
$$\frac{1}{V} = \frac{K_m}{V_m} \times \frac{1}{[S]} + \frac{1}{V_m}$$



رابطه لینوور - برک

$$\frac{1}{V} = \frac{K_m}{V_m} \times \frac{1}{[S]} + \frac{1}{V_m}$$

$$y = a \quad x + b$$

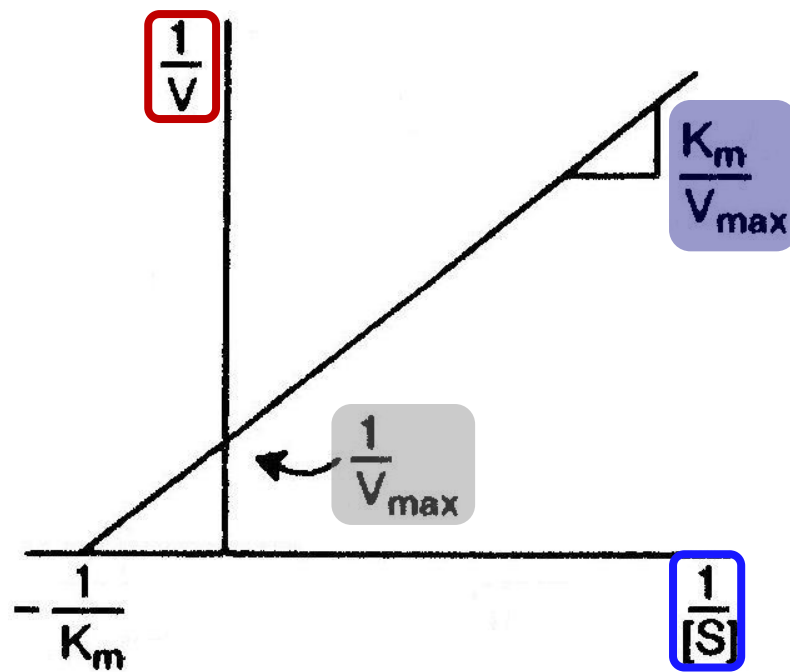


$$y = a x + b$$

عرض از مبداء شیب



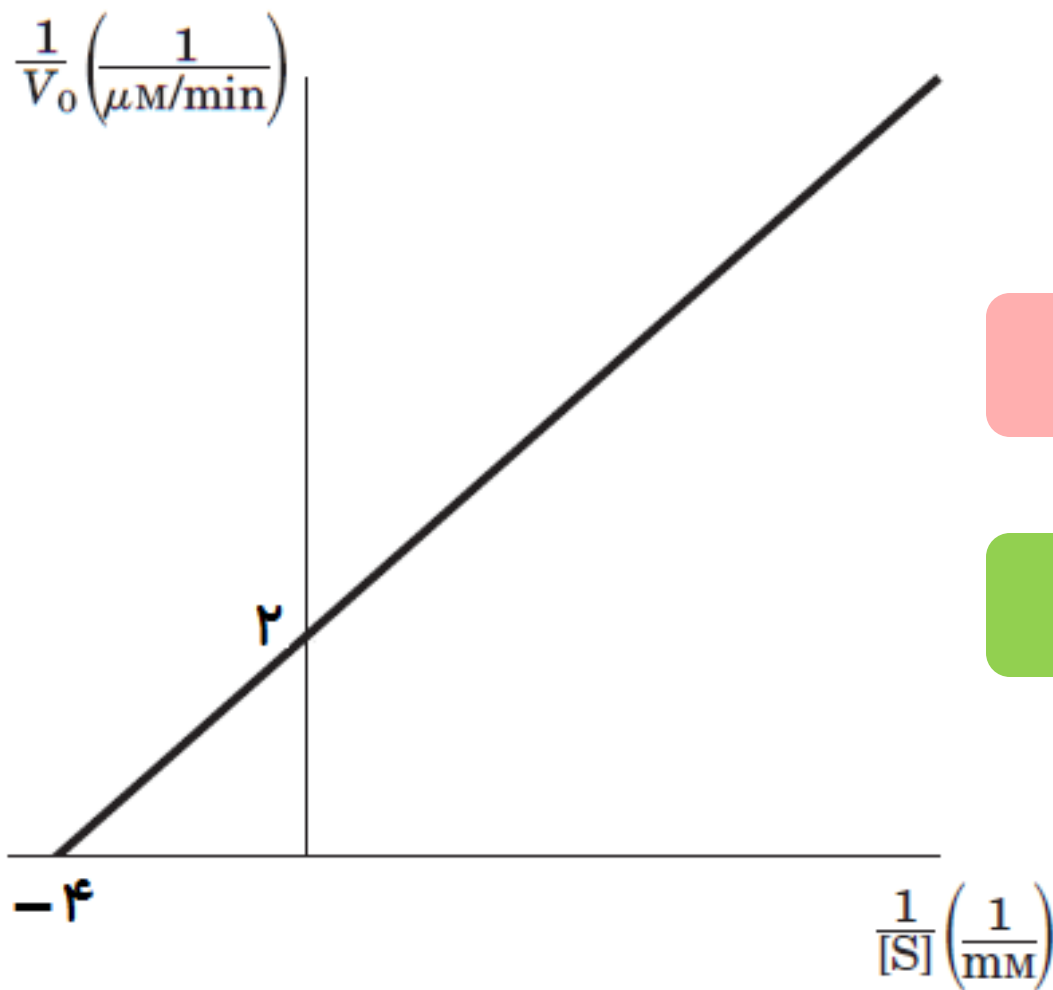
نمودار لاینوور - برک



$$\boxed{\frac{1}{V}} = \frac{K_m}{V_m} \times \boxed{\frac{1}{[S]}} + \frac{1}{V_m}$$



نمودار لاینوور - برک

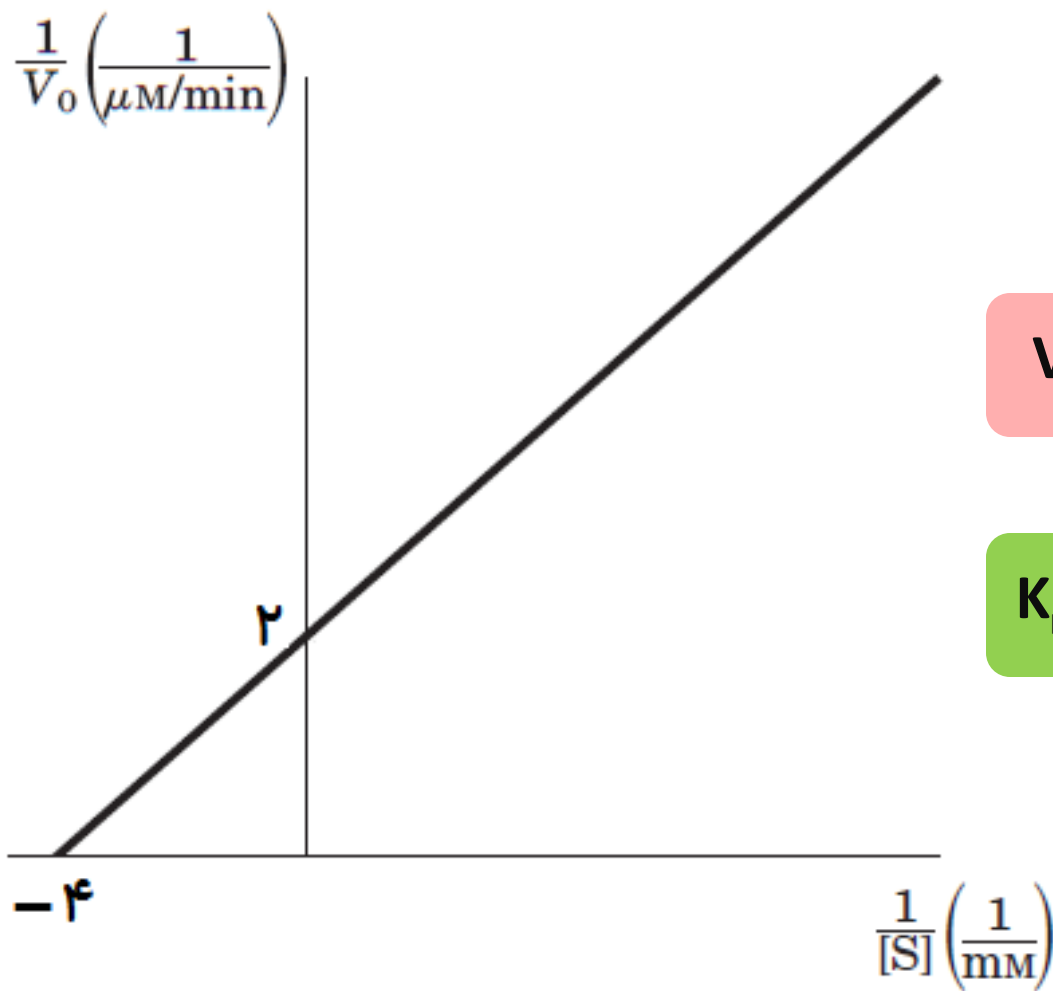


$$V_m = ?$$

$$K_m = ?$$



نمودار لاینوور - برک



$$V_m = 0.5$$

$$K_m = 0.25$$

ترکیبات مهارکننده



ترکیبات مهارکننده

❖ مهارکننده برگشتناپذیر

❖ مهارکننده برگشتپذیر

❖ مهارکننده رقابتی (competitive)

❖ مهارکننده غیررقابتی (noncompetitive)

❖ مهارکننده مختلط (mixed)

❖ مهارکننده نارقابتی (uncompetitive)



مهارشوندگی مرتبط با مکان فعال

مهارشوندگی انتحاری

مهارشوندگی برگشتناپذیر

مهارشوندگی رقابتی (competitive)

مهارشوندگی غیررقابتی (noncompetitive)

مهارشوندگی مختلط (mixed)

مهارشوندگی نارقابتی (uncompetitive)

مهارشوندگی برگشتپذیر

مهارشوندگی آنزیم‌ها



مهارکننده برگشت ناپذیر

❖ اتصال به آنزیم از طریق پیوند کووالان (اتصال محکم)

❖ عدم تفکیک کمپلکس آنزیم - مهارکننده (واکنش یک طرفه)

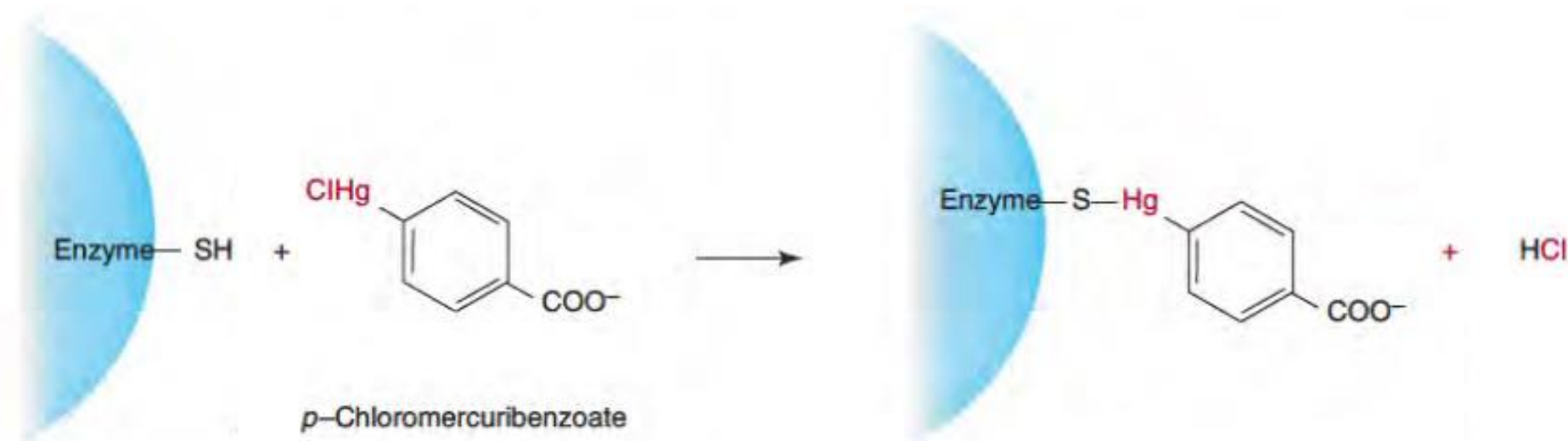
❖ غیرفعال شدن برگشت ناپذیر آنزیم

چند مهارکننده برگشت ناپذیر مرتبط با مکان فعال

- ❖ اسید یدواستیک (یدواستات) واکنش با گروه سولفیدریل
- ❖ پاراکلرومرکوری بنزوات واکنش با گروه سولفیدریل
- ❖ دی ایزوپروپیل فلوئوروفسفات واکنش با گروه هیدروکسیل
- ❖ سموم ارگانوفسفره مانند مالاتیون واکنش با گروه هیدروکسیل

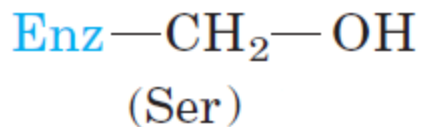


واکنش پاراکلرومرکوری بنزوات با گروه سولفیدریل

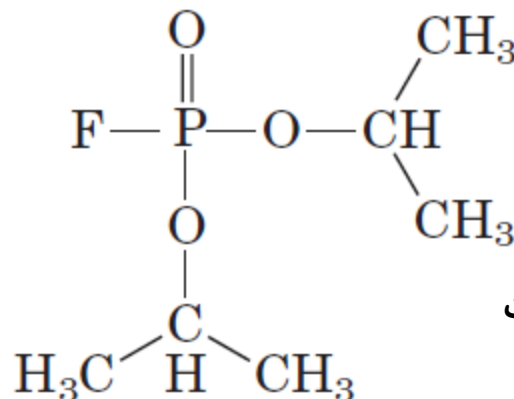




واکنش دی‌ایزوپروپیل‌فلوئوروفسفات با گروه هیدروکسیل

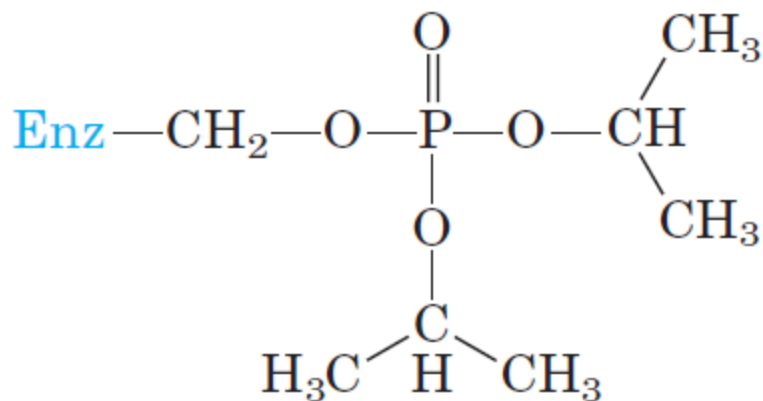
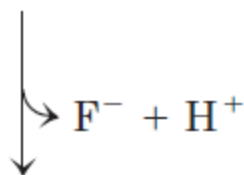


+



DIFP

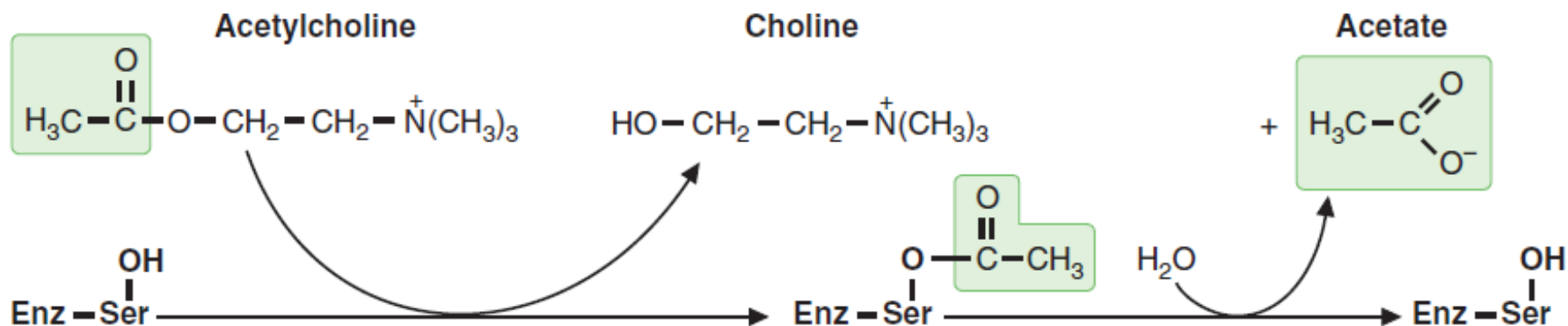
دی‌ایزوپروپیل‌فلوئوروفسفات



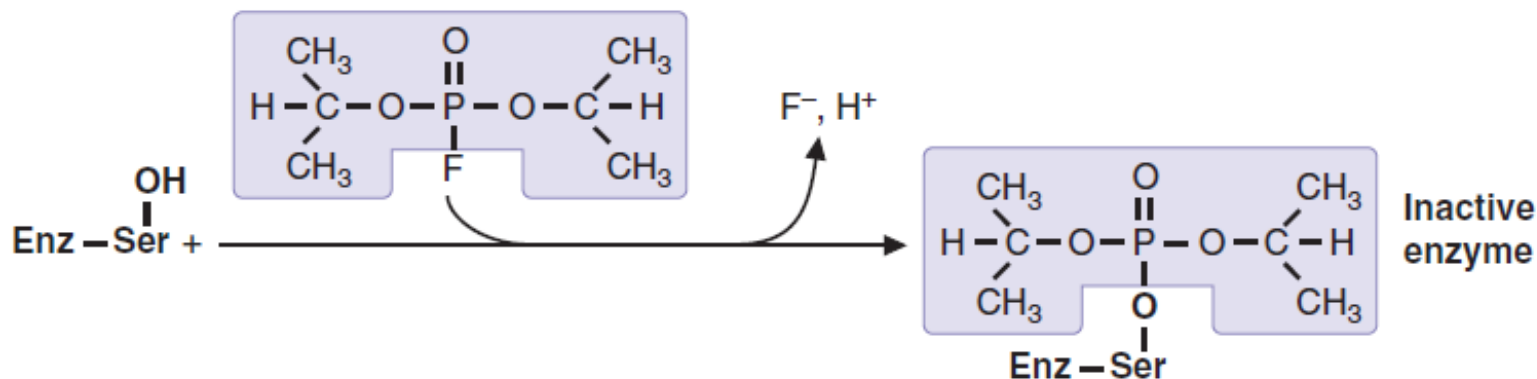


واکنش دی‌ایزوپروپیل‌فلوئوروفسفات با گروه هیدروکسیل در آنزیم کولین استراز

A. Normal reaction of acetylcholinesterase



B. Reaction with organophosphorus inhibitors





مهارکننده برگشت ناپذیر انتحاری

❖ مهارکننده برگشت ناپذیر انتحاری بعد از اتصال به آنزیم فعال می شود.

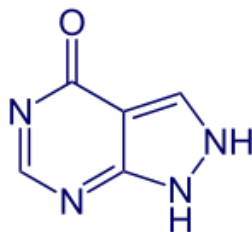
❖ این مهارکننده بعد از فعال شدن به صورت برگشت ناپذیر به مکان فعال آنزیم متصل می شود.

❖ به این مهارکننده، بازدارنده مبتنی بر مکانیسم (mechanism-based) نیز گفته می شود.

❖ در حال حاضر استفاده از این نوع مهارکنندگان به عنوان دارو بیش تر مورد توجه است چون می توانند اثرات جانبی کمتری داشته باشند.

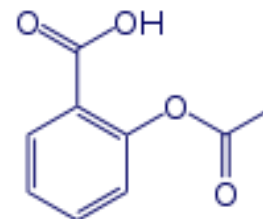
چند مهارکننده برگشت ناپذیر انتحاری

❖ Allopurinol



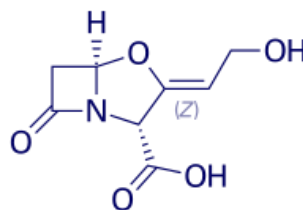
مهار گزانتین اکسیداز

❖ Aspirin



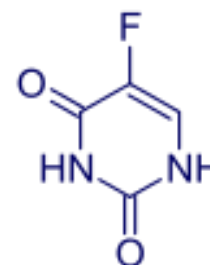
مهار سیکلواکسیژناز

❖ Clavulanic acid



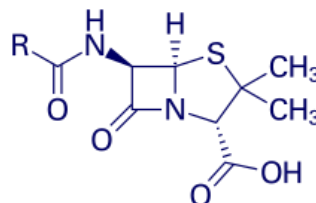
مهار بتالاکتاماز

❖ 5-Fluorouracil



مهار تیمیدیلالات سنتاز

❖ Penicillin



مهار ترانس پپتیداز

مهارکننده‌های برگشت‌پذیر

- ❖ مهارکننده برگشت‌پذیر (قابل برگشت) اتصال ضعیف و قابل برگشت با آنزیم دارد و هنگامی که مهارکننده (بازدارنده) از آنزیم جدا شود آنزیم دوباره فعال می‌شود.
- ❖ با استفاده از نمودار لینوور - برگ در حضور و غیاب مهارکننده می‌توان انواع این مهارکننده را از یک‌دیگر متمایز کرد.
- ❖ برای ارزیابی مهارکننده برگشت‌پذیر از V_m و K_m استفاده می‌شود.
- ❖ مقدار تغییر یافته این شاخص‌ها در حضور مهارکننده، V_m ظاهری (V_m') یا V_m^{app} و K_m ظاهری (K_m') یا K_m^{app} نامیده می‌شود.
- ❖ میزان تغییر در این شاخص‌ها بستگی به غلظت مهارکننده ($[I]$) و ثابت تفکیک آن (K_i) دارد.

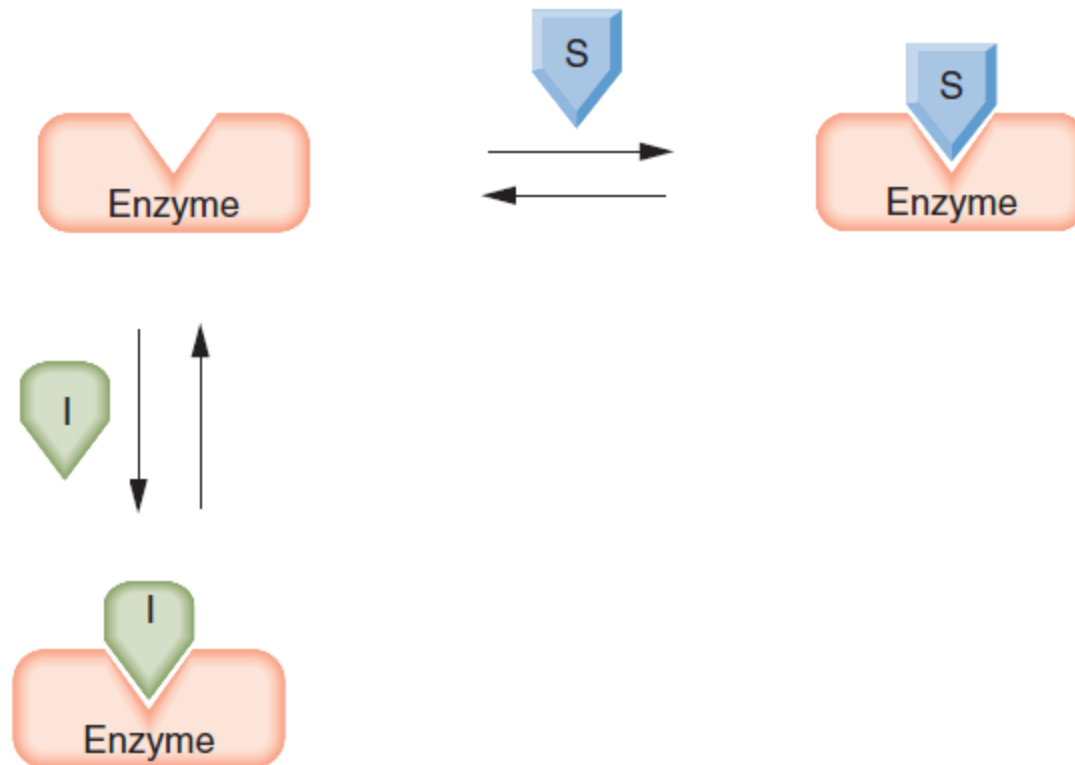


مهارکننده برگشت پذیر رقابتی

■ شباهت ساختمانی با سوبسترای طبیعی آنزیم

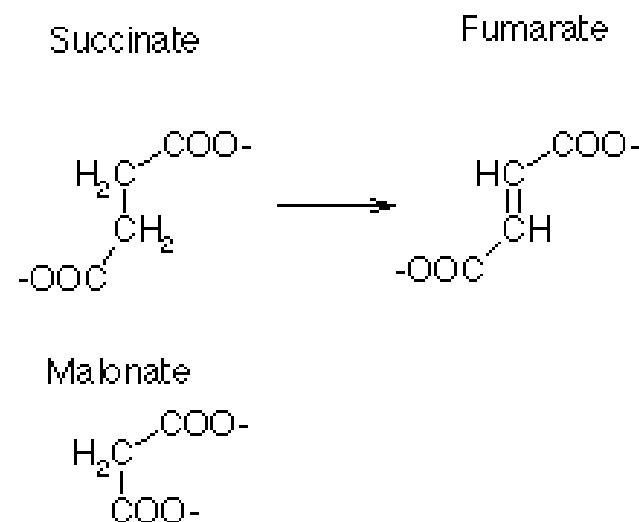
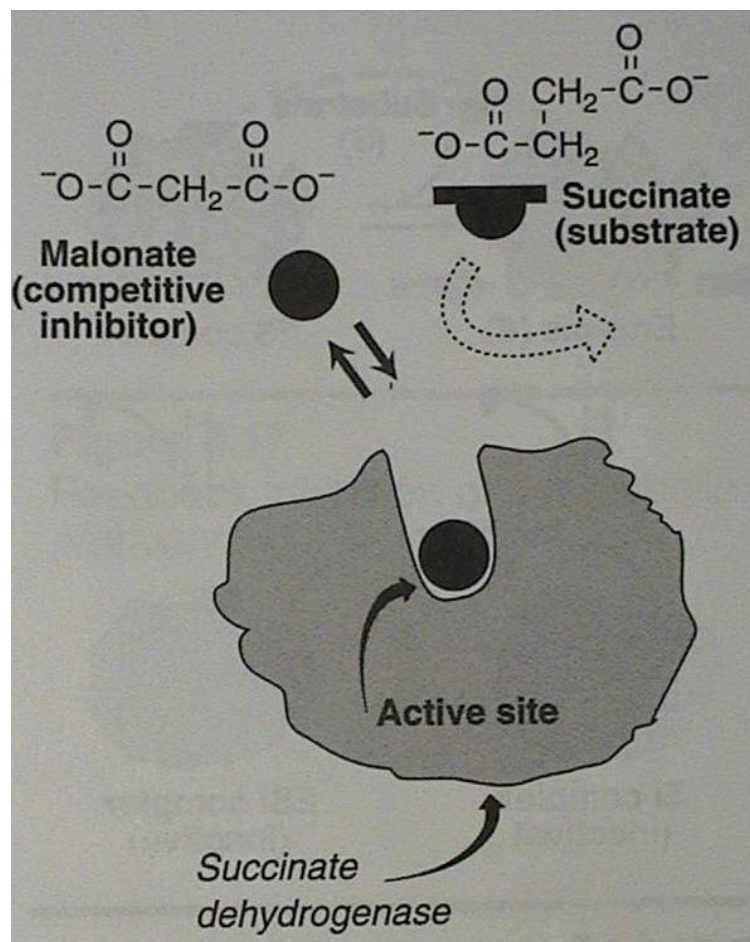
مهارکننده برگشت پذیر رقابتی

■ شباهت ساختمانی با سوبسترای طبیعی آنزیم





مهار آنزیم سوکسینات دهیدروژناز به وسیله مالونات



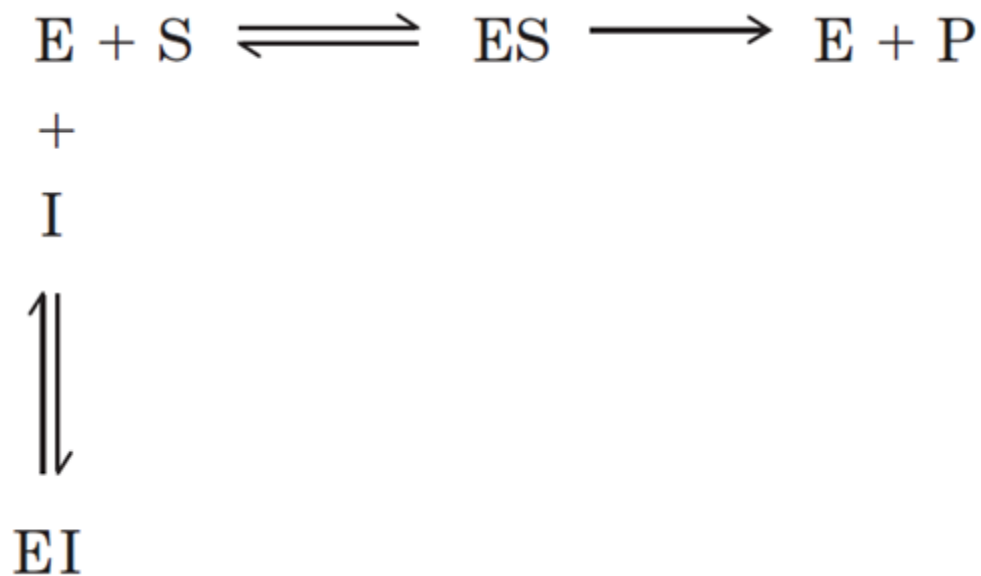


مهارکننده برگشت پذیر رقابتی

- شباهت ساختمانی با سوبسترای طبیعی آنزیم
- اتصال مهارکننده فقط با آنزیم آزاد
- واکنش برگشت پذیر با آنزیم



مهارکننده برگشت پذیر رقابتی



مهارکننده برگشت پذیر رقابتی

■ شباهت ساختمانی با سوبسترای طبیعی آنزیم

■ اتصال مهارکننده فقط با آنزیم آزاد

■ واکنش برگشت پذیر با آنزیم

■ رفع مهارشوندگی با افزایش غلظت سوبسترا

■ عدم تغییر سرعت حداکثر

■ افزایش K_m



مهارکننده برگشت پذیر رقابتی

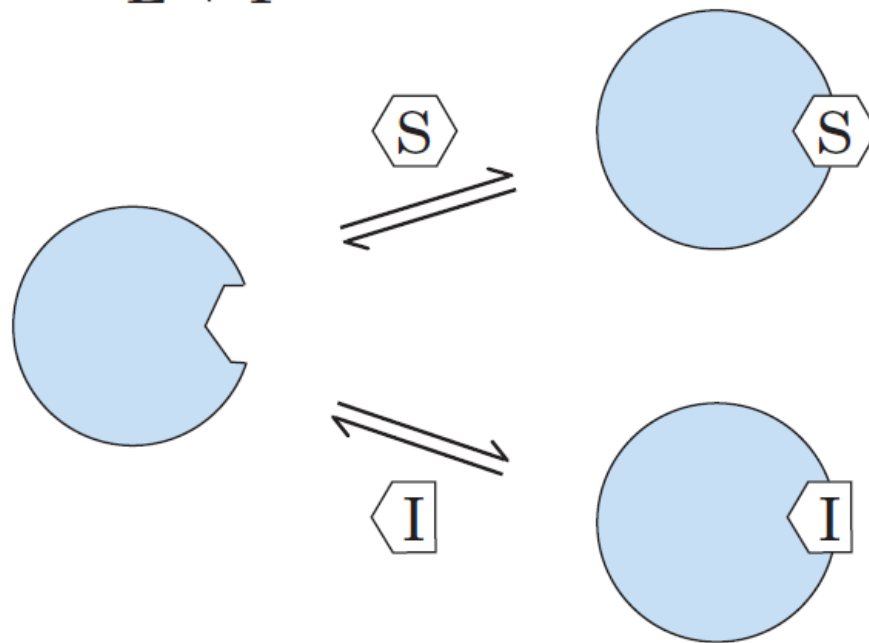


+

I

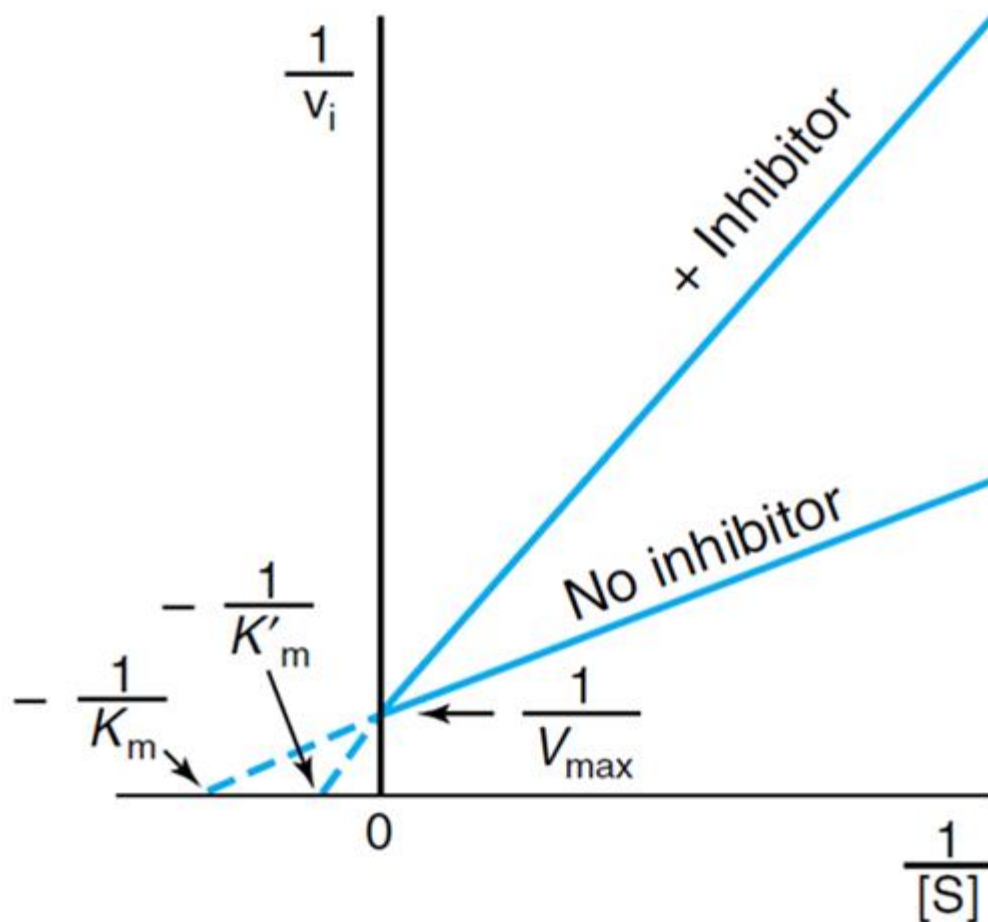


EI





نمودار لینوور - برک مهارکننده برگشت پذیر رقابتی



❖ عدم تغییر سرعت حداکثر

❖ افزایش K_m

برخی از مهارکنندگان برگشت پذیر رقابتی

❖ سولفونامید (مهار بیوسنتز اسید فولیک)

❖ کاپتوپریل (مهار آنزیم تبدیل کننده آنژیوتانسین)

❖ دیکومارول (مهار ویتامین K اپوکسید ردکتاز)

❖ ویاگرا (مهار cGMP فسفودی استراز)

❖ متوترکسات (مهار دی هیدرو فولات ردکتاز)

❖ داروهای استاتینی مانند آتورواستاتین یا لپیتور و پرواستاتین یا پراواکول که سبب مهار

ساخت کلسترول در بدن می شوند (مهار آنزیم هیدروکسی متیل گلو تاریل کوآر دکتاز)



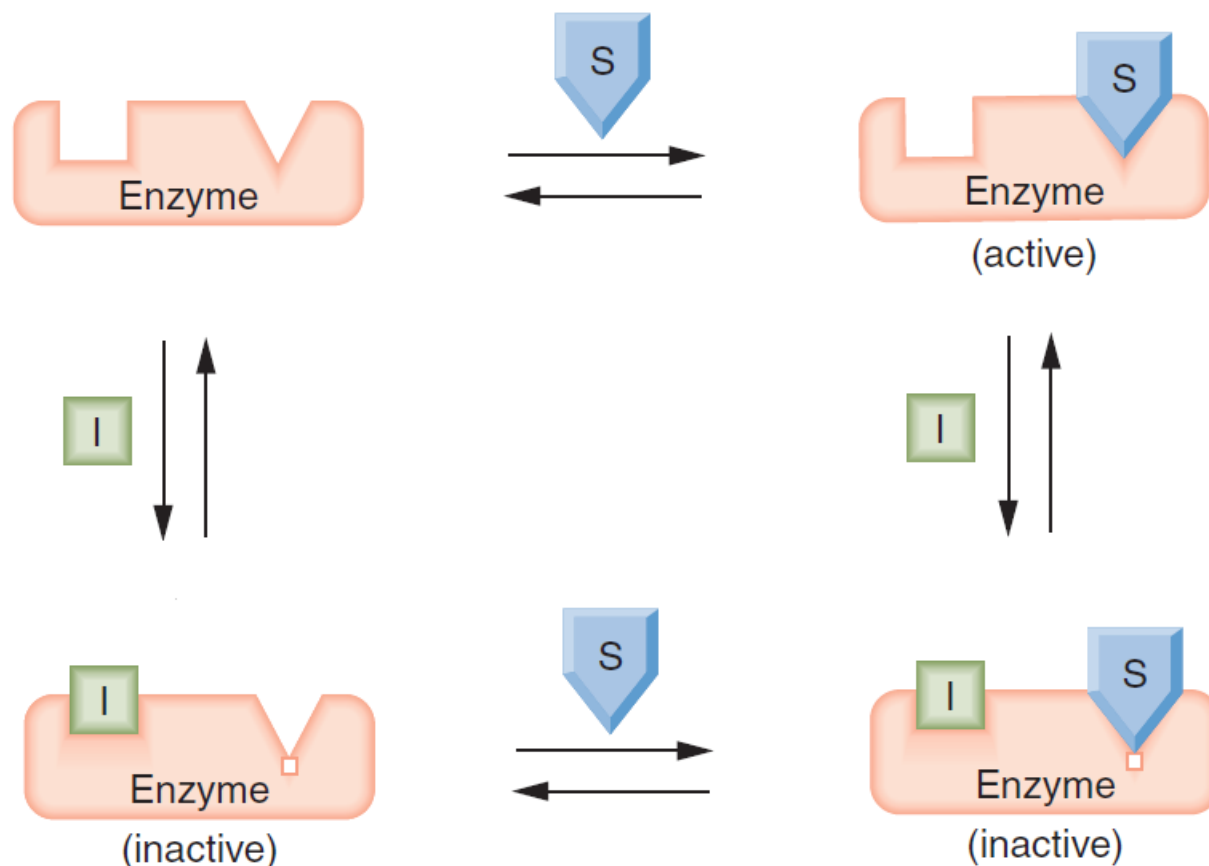
مهارکننده برگشت پذیر غیر رقابتی

■ اتصال به مکانی غیر از جایگاه فعال آنزیم



مهارکننده برگشت پذیر غیر رقابتی

■ اتصال به مکانی غیر از جایگاه فعال آنزیم



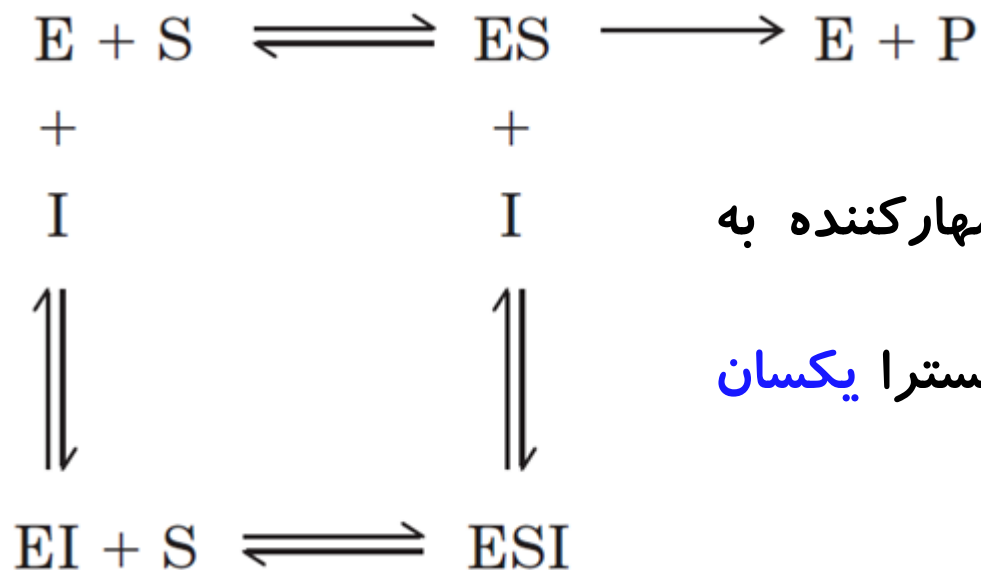


مهارکننده برگشت پذیر غیر رقابتی

- اتصال به مکانی غیر از جایگاه فعال آنزیم
- اتصال با آنزیم آزاد یا کمپلکس آنزیم - سوبسترا



مهارکننده برگشت پذیر غیر رقابتی



❖ در مهارکنندگی غیر رقابتی تمایل مهارکننده به

آنزیم آزاد و کمپلکس آنزیم - سوبسترا یکسان

است.

❖ در صورتی که این تمایل یکسان نباشد این نوع

بازدارندگی را مهارکنندگی مختلط می گویند.

مهارکننده برگشت پذیر غیر رقابتی

- اتصال به مکانی غیر از جایگاه فعال آنزیم
- اتصال با آنزیم آزاد یا کمپلکس آنزیم - سوبسترا
- عدم رفع مهارشوندگی با افزایش غلظت سوبسترا
- عدم تغییر K_m
- کاهش سرعت حداکثر



مهارکننده برگشت پذیر غیر رقابتی

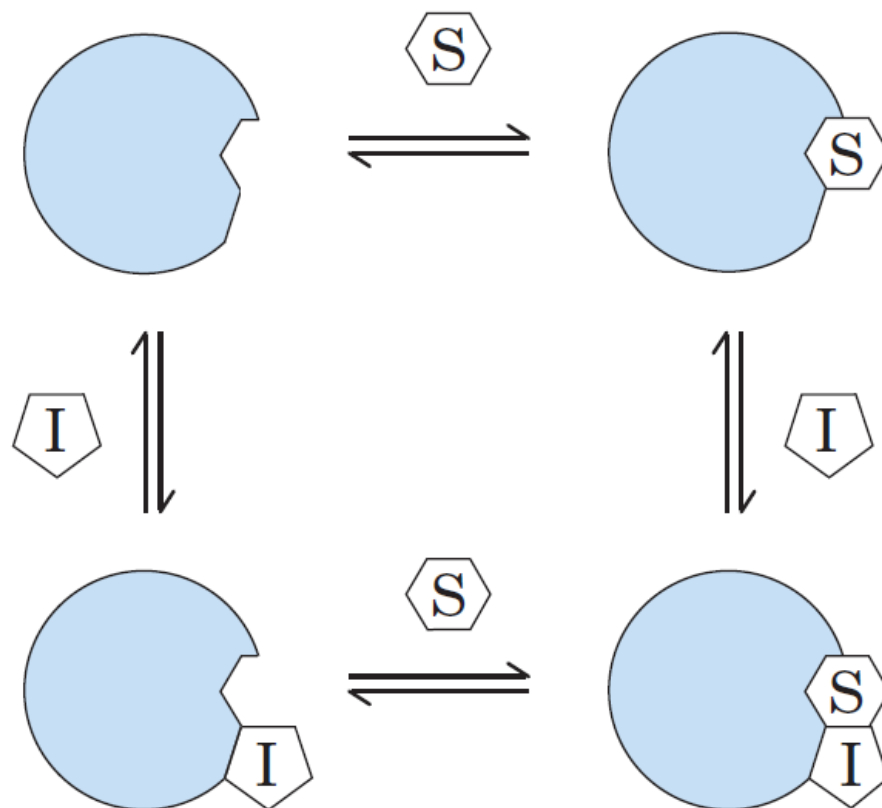
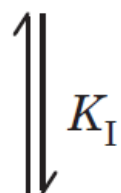


+

+

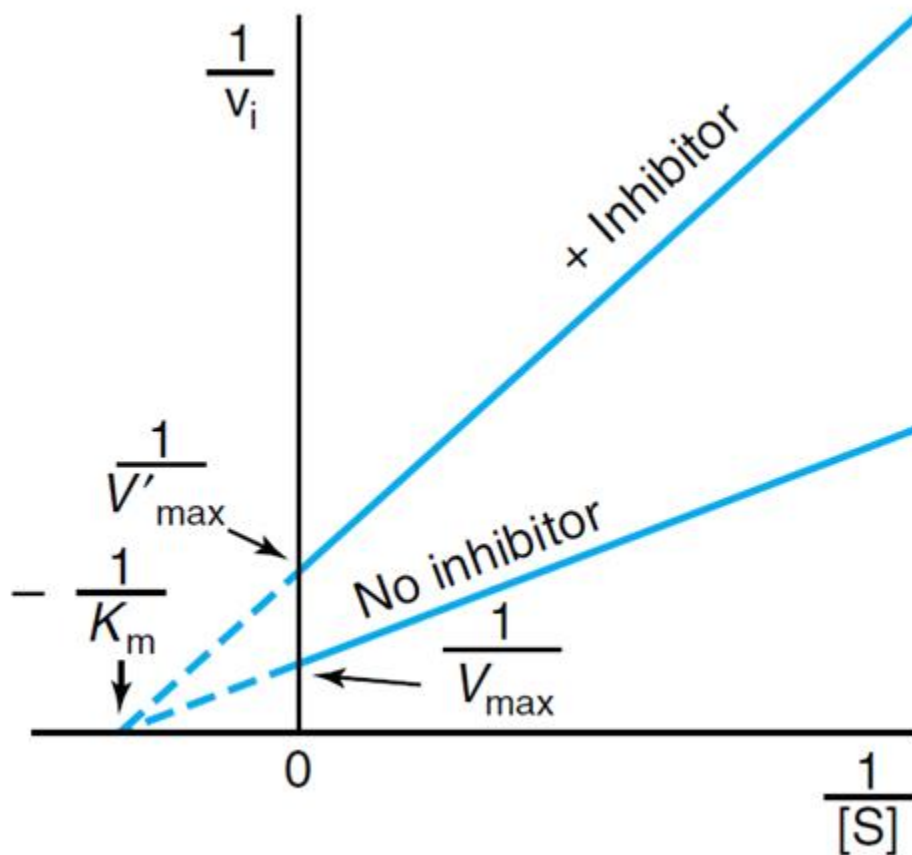
I

I





نمودار لینوور - برگشت پذیر غیر رقابتی



❖ کاهش سرعت حداکثر

❖ عدم تغییر K_m



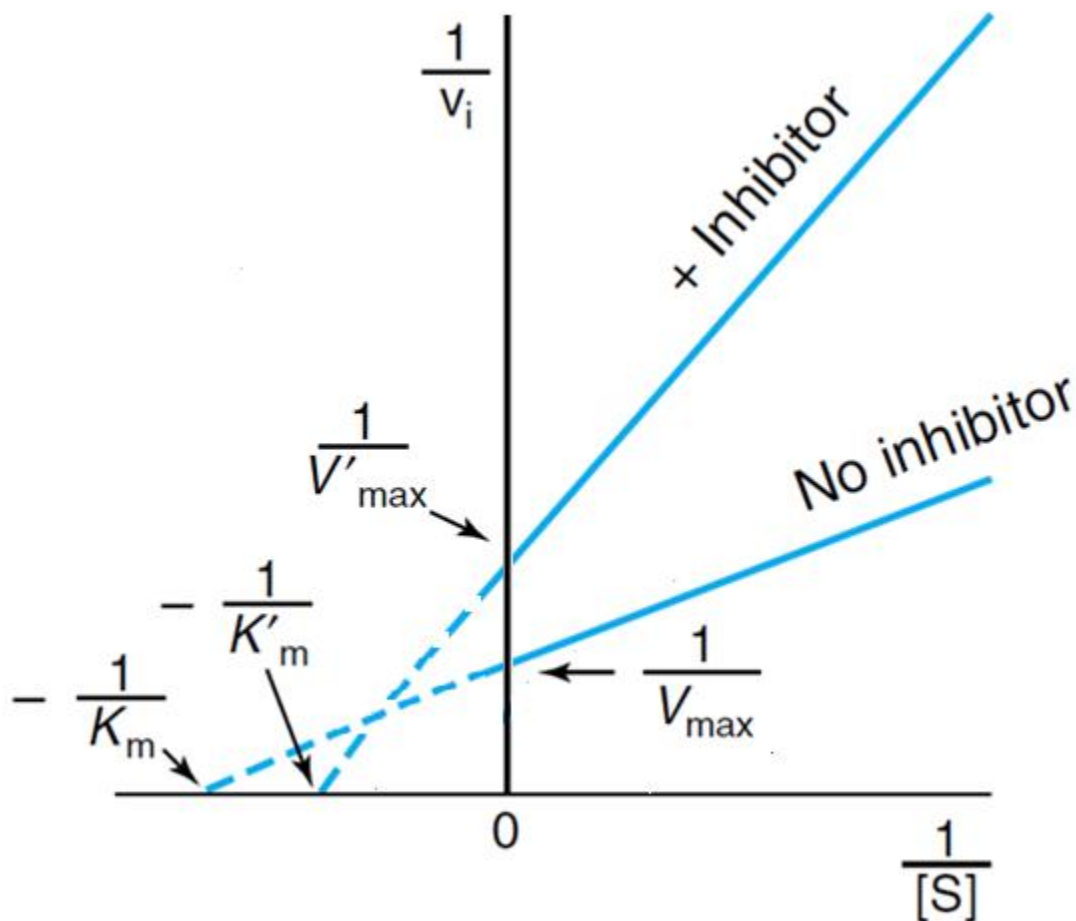
برخی از مهارکنندگان برگشت پذیر غیر رقابتی

❖ اسید آمینه آلانین (مهارکننده غیر رقابتی آنزیم پیرووات کیناز در مسیر گلیکولیز)

❖ AMP (مهارکننده غیر رقابتی فروکتوز - ۱، ۶ - بیس فسفاتاز در مسیر گلوکونئوزنز)

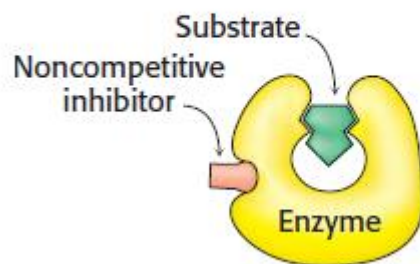
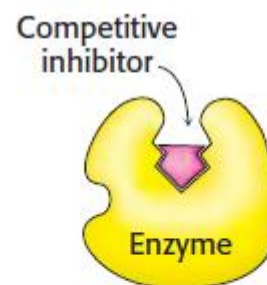
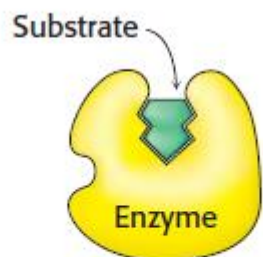


نمودار لینوور - برک مهارکننده برگشت پذیر مختلط



❖ کاهش سرعت حداکثر

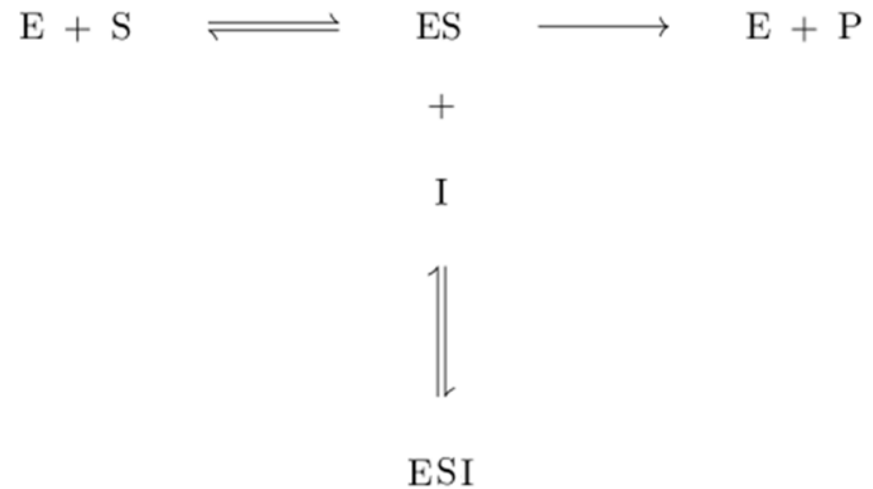
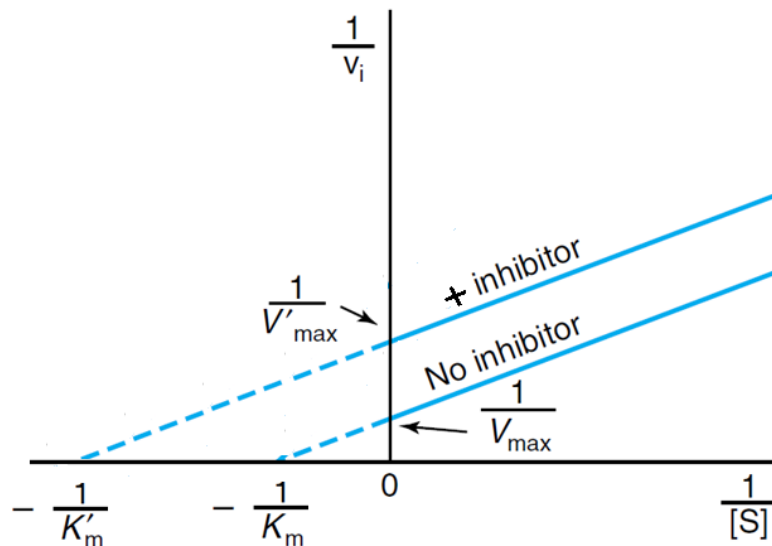
❖ افزایش K_m



مهارکننده برگشت پذیر نارقابتی

❖ مهارکننده نارقابتی (Uncompetitive inhibitor) فقط به کمپلکس آنزیم - سوبسترا متصل می شود.

❖ در این حالت V_m و K_m هر دو نسبت به حالت بدون مهارکننده کاهش می یابند.

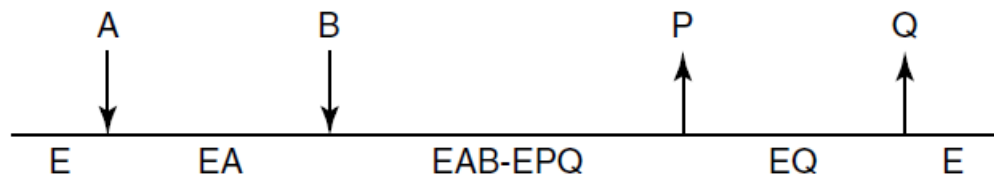


خصوصیات انواع مختلف مهارشوندگی برگشت پذیر

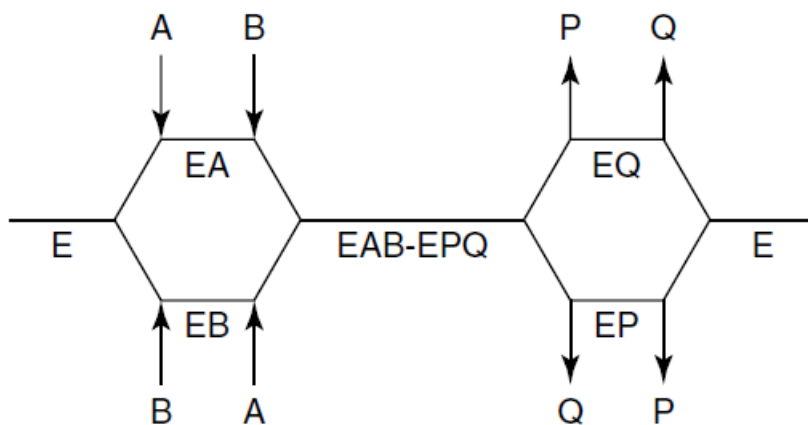
ویژگی	K_m	V_m	نوع مهارکنندگی
مهارکننده فقط می تواند به مولکول های آنزیم متصل شود	زیاد می شود	بدون تغییر	رقابتی
مهارکننده هم به مولکول های آنزیم و هم به کمپلکس آنزیم - سوبسترا با تمایل یکسان متصل می شود	بدون تغییر	کم می شود	غیر رقابتی
مهارکننده هم به مولکول های آنزیم و هم به کمپلکس آنزیم - سوبسترا با تمایل متفاوت متصل می شود	زیاد می شود	کم می شود	مختلط
مهارکننده فقط به کمپلکس آنزیم - سوبسترا متصل می شود	کم می شود	کم می شود	نارقابتی



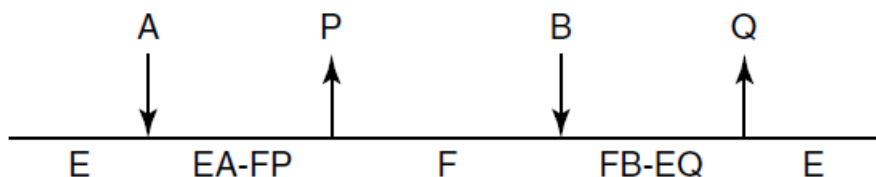
آنزیم‌های دارای دو سوبسترا



سازوکار متوالی منظم (اجباری)



سازوکار متوالی نامنظم (تصادفی)

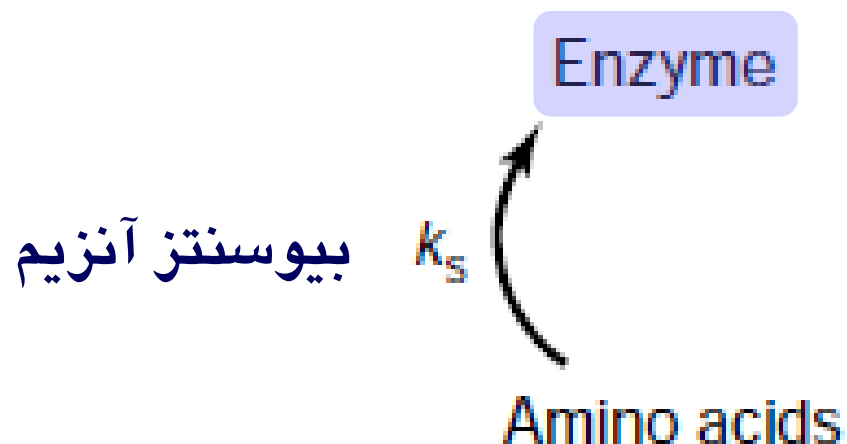


سازوکار پینگ‌پونگ

کنترل و تنظیم فعالیت آنزیم‌ها

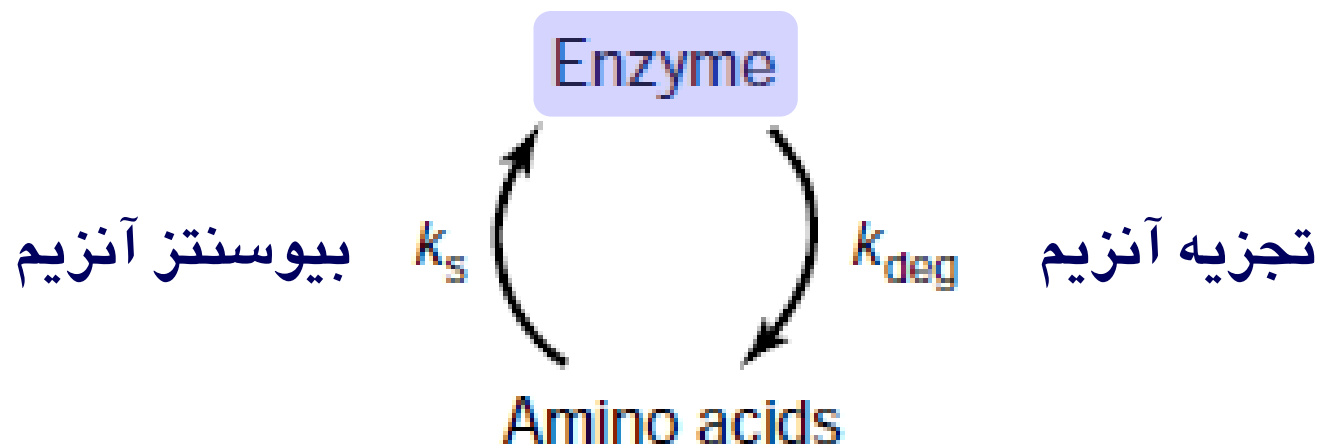


تنظیم و کنترل در سطح بیان ژن





تنظیم و کنترل در سطح بیان ژن





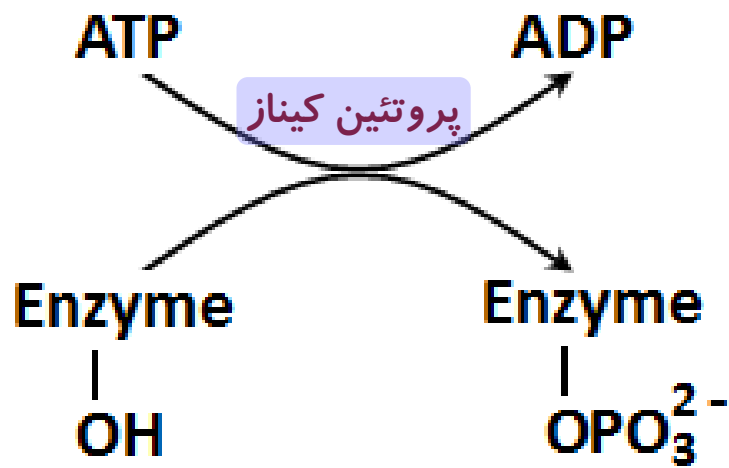
کنترل و تنظیم آنزیم‌ها با شرکت پیوند کووالان

تغییر فعالیت آنزیم در اثر اضافه شدن یک گروه

شیمیایی (گروه فسفات) به آن



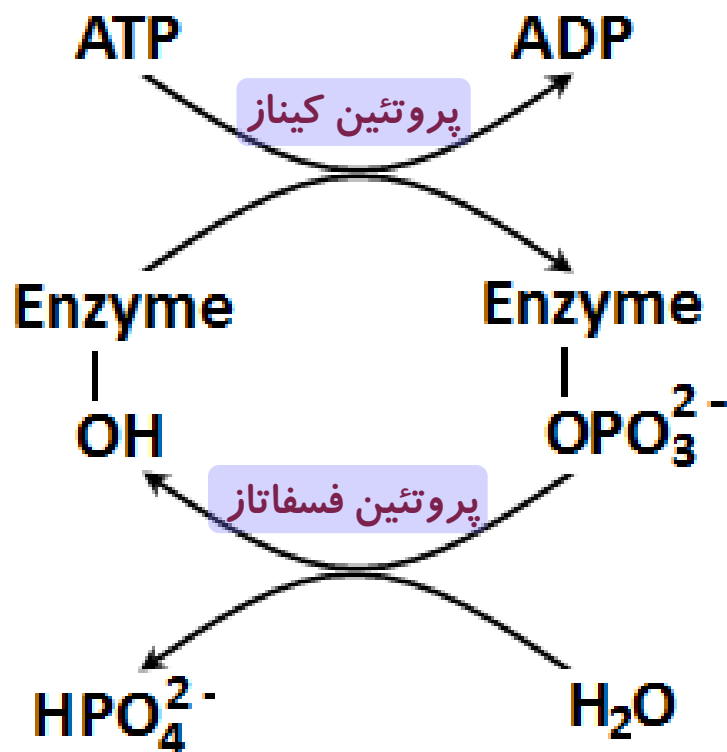
فسفریلاسیون و دفسفریلاسیون



گروه فسفات به زنجیر جانبی اسید آمینه **سرین، تره‌اونین و تیروزین** متصل می‌شود

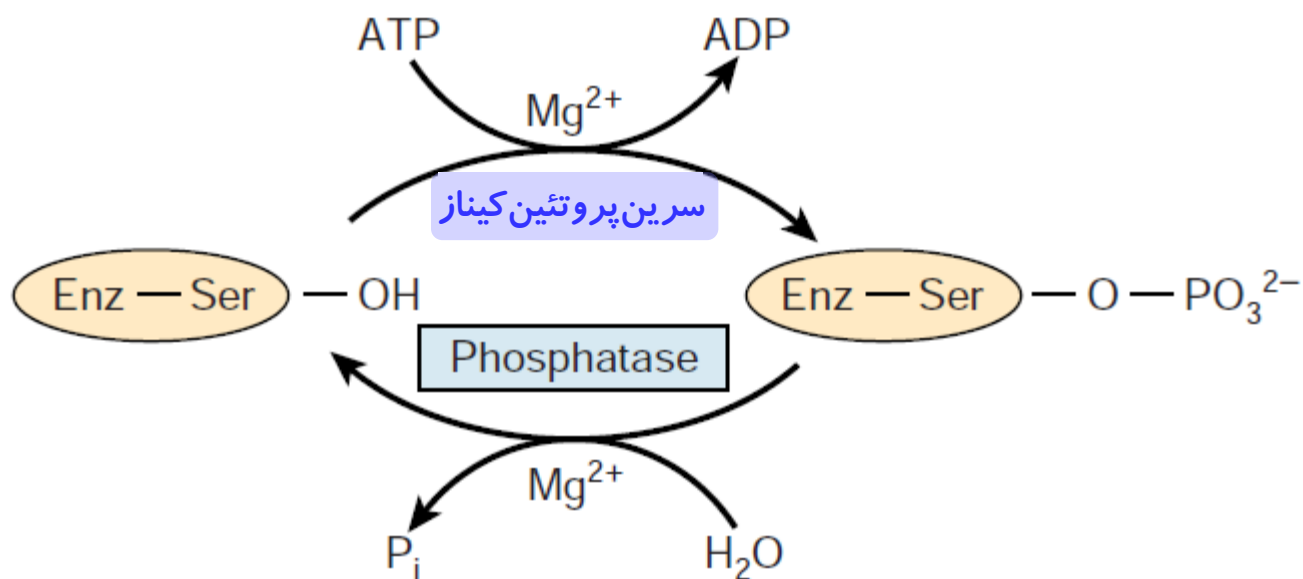


فسفریلاسیون و دفسفریلاسیون





فسفریلاسیون و دفسفریلاسیون



در سَرین پروتئین کینازها گروه فسفات به زنجیر جانبی اسید آمینه سَرین متصل می‌شود

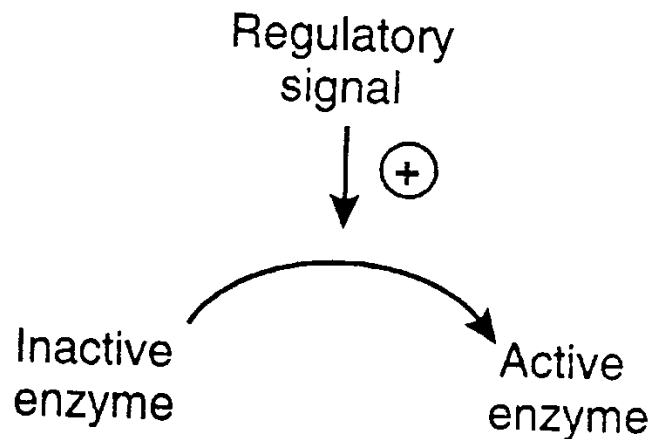


عملکرد حالت فسفریله برخی از آنزیم‌ها

<i>Enzyme</i>	<i>Phosphorylated enzyme</i>
Acetyl-CoA carboxylase	Inactive
Glycogen synthase	Inactive
Pyruvate dehydrogenase	Inactive
HMG CoA reductase	Inactive
Pyruvate kinase	Inactive
Glycogen phosphorylase	Active
Phosphorylase b kinase	Active
HMG CoA reductase kinase	Active

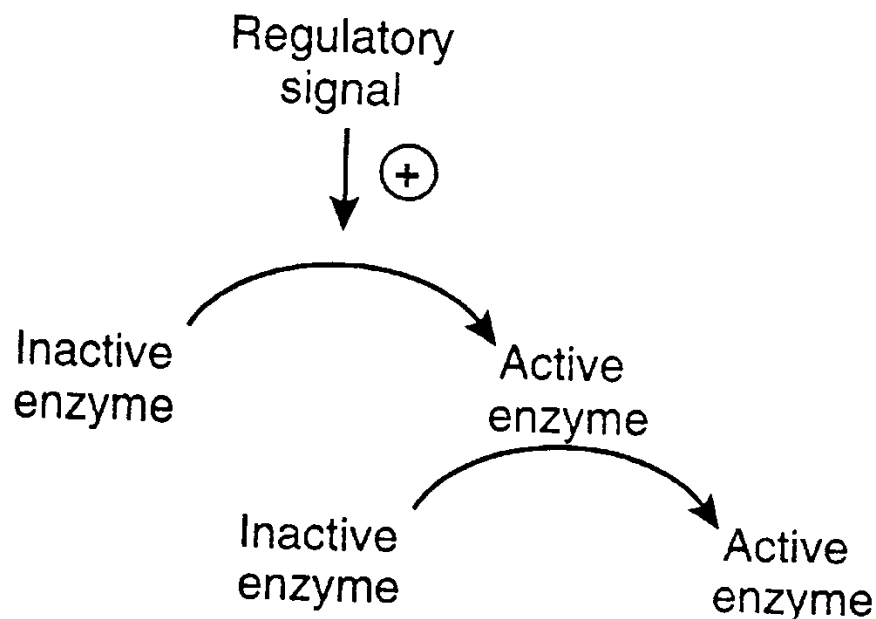


چگونگی تقویت اثر محرک (اثر تصاعدی یا آبشاری)



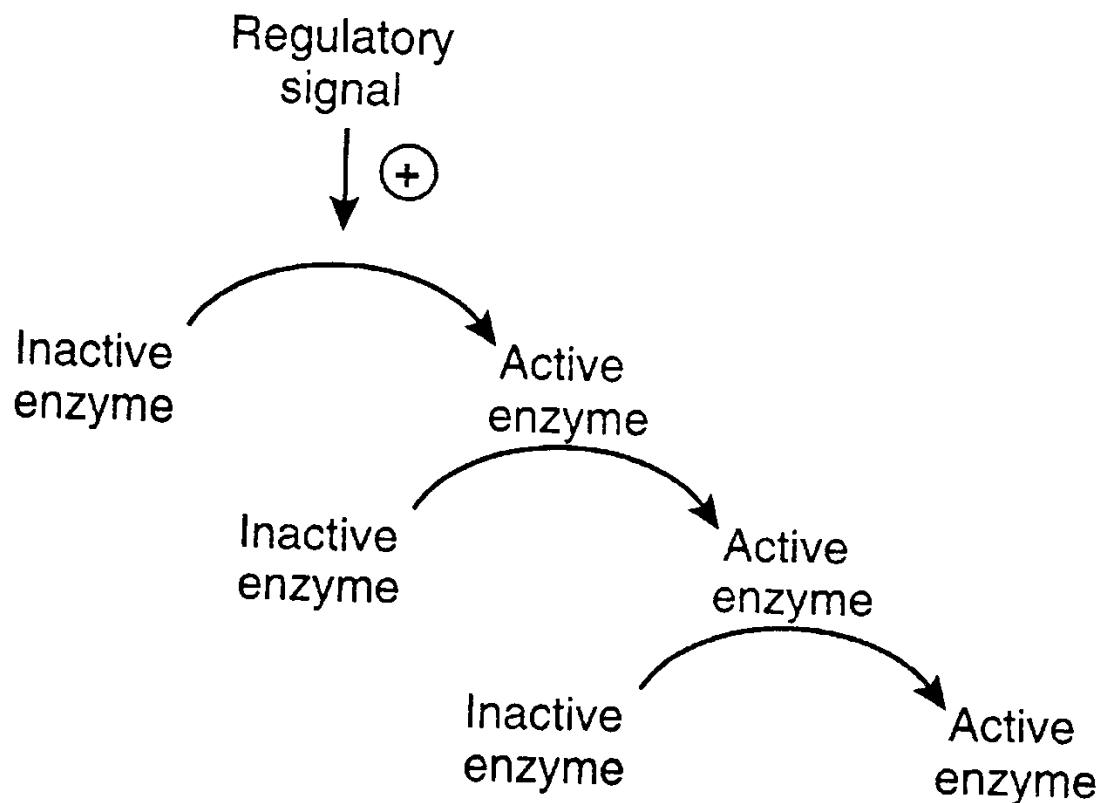


چگونگی تقویت اثر محرک (اثر تصاعدی یا آبشاری)



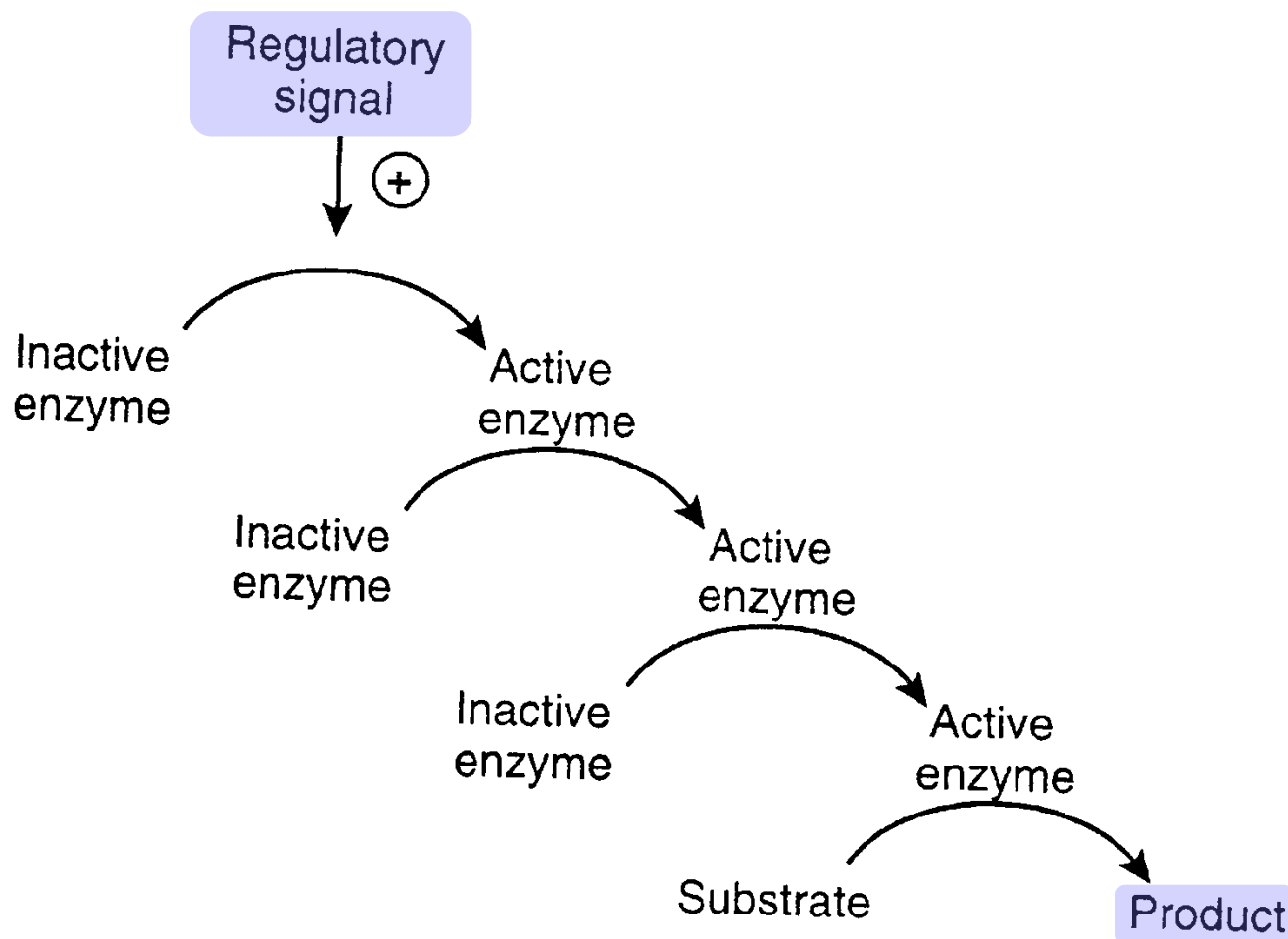


چگونگی تقویت اثر محرک (اثر تصاعدی یا آبشاری)





چگونگی تقویت اثر محرک (اثر تصاعدی یا آبشاری)





زیموژن (پروآنزیم)

پپتید + آنزیم فعال $\longrightarrow$ آنزیم غیر فعال
(زیموژن)



Trypsinogen (inactive)

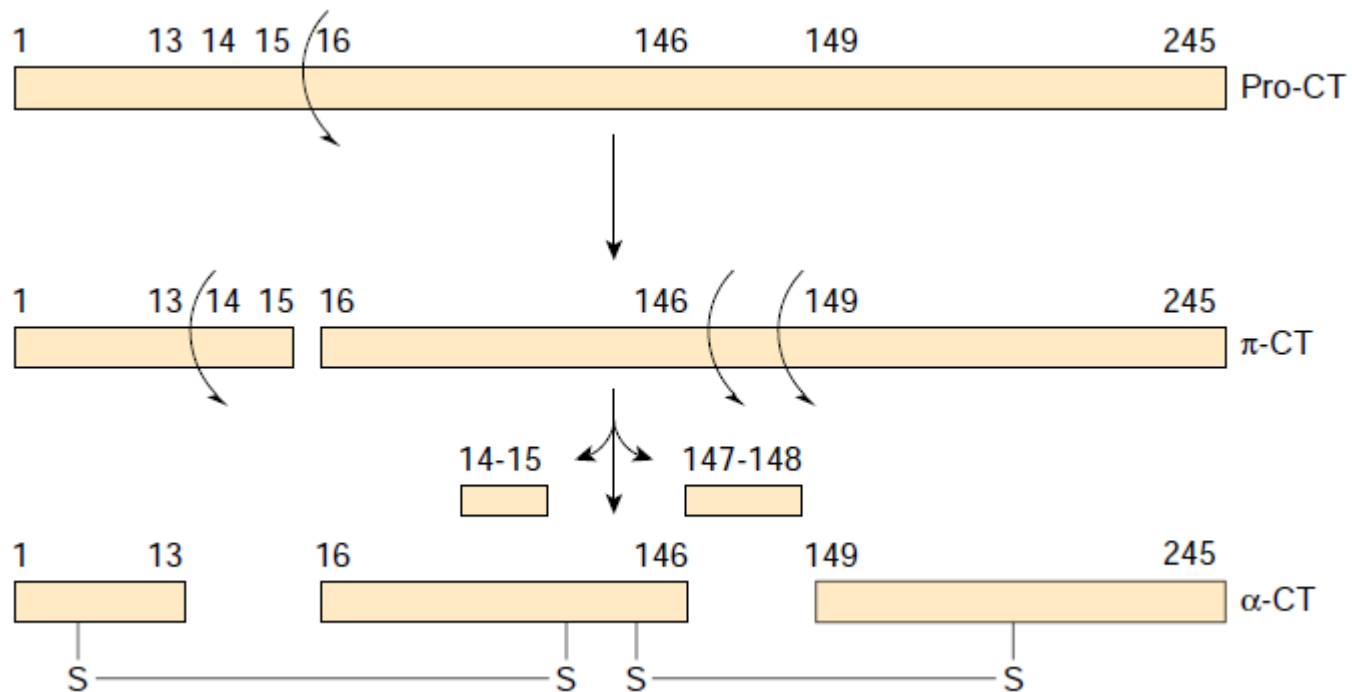


Trypsin (active)





کیموٹریپسینوژن





آنزیم‌های ناظم (آلوستریک)

❖ دارای جایگاه تنظیم علاوه بر جایگاه اتصال و کاتالیز

آنزیم‌های ناظم (آلوستریک)

❖ دارای جایگاه تنظیم علاوه بر جایگاه اتصال و کاتالیز

❖ تعدیل فعالیت آنزیم در اثر اتصال اثرکننده مثبت یا منفی

آنزیم‌های ناظم (آلوستریک)

- ❖ دارای جایگاه تنظیم علاوه بر جایگاه اتصال و کاتالیز
- ❖ تعدیل فعالیت آنزیم در اثر اتصال اثرکننده مثبت یا منفی
- ❖ پروتئین‌های الیگومر

آنزیم‌های ناظم (آلوستریک)

- ❖ دارای جایگاه تنظیم علاوه بر جایگاه اتصال و کاتالیز
- ❖ تعدیل فعالیت آنزیم در اثر اتصال اثرکننده مثبت یا منفی
- ❖ پروتئین‌های الیگومر
- ❖ دارای اثر مشارکتی (تاثیر زیرواحدها روی یکدیگر)

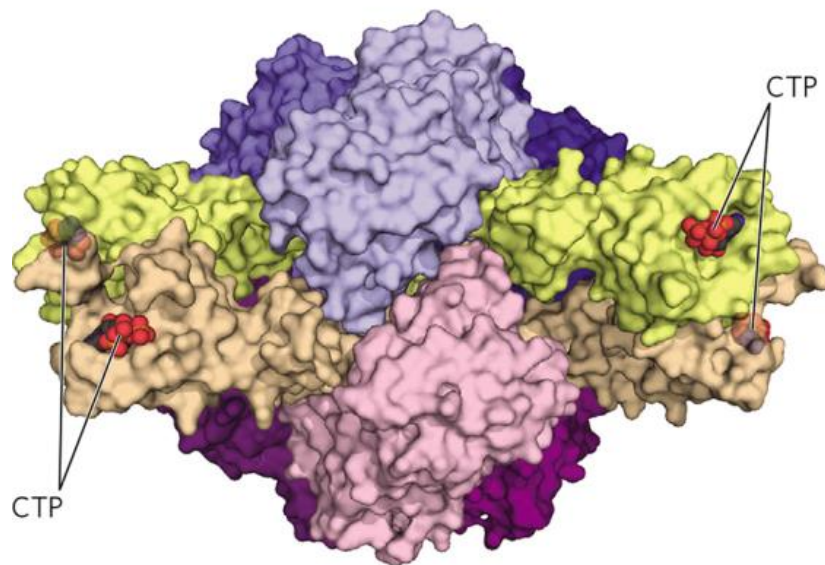
آنزیم‌های ناظم (آلوستریک)

- ❖ دارای جایگاه تنظیم علاوه بر جایگاه اتصال و کاتالیز
- ❖ تعدیل فعالیت آنزیم در اثر اتصال اثرکننده مثبت یا منفی
- ❖ پروتئین‌های الیگومر
- ❖ دارای اثر مشارکتی (تاثیر زیرواحدها روی یکدیگر)
- ❖ دارای دو نوع آرایش فضایی **R** و **T**

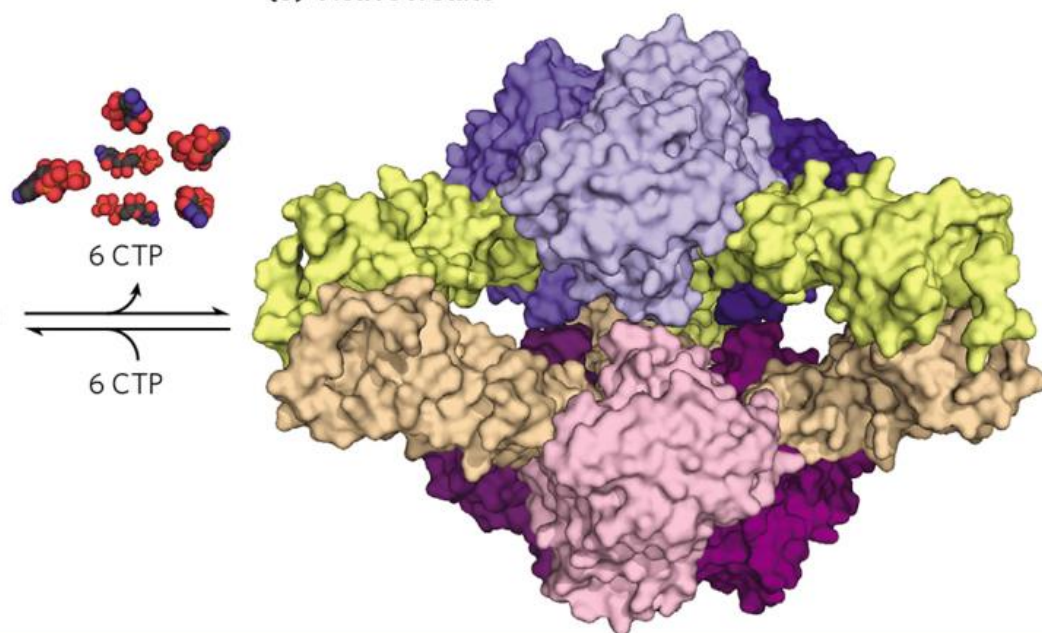


آسپاراتات ترانس کربو میلز

(a) Inactive T state



(b) Active R state

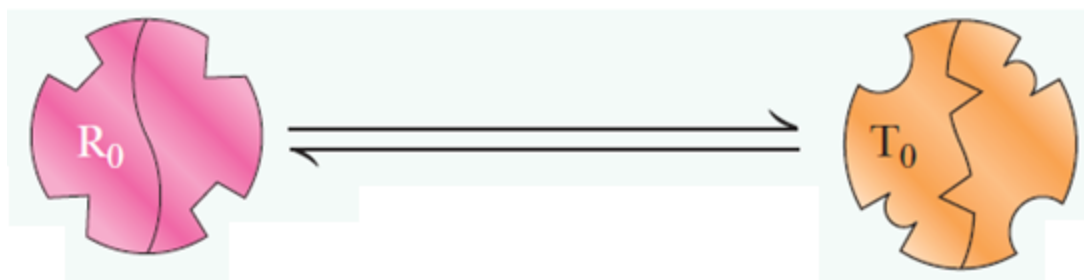


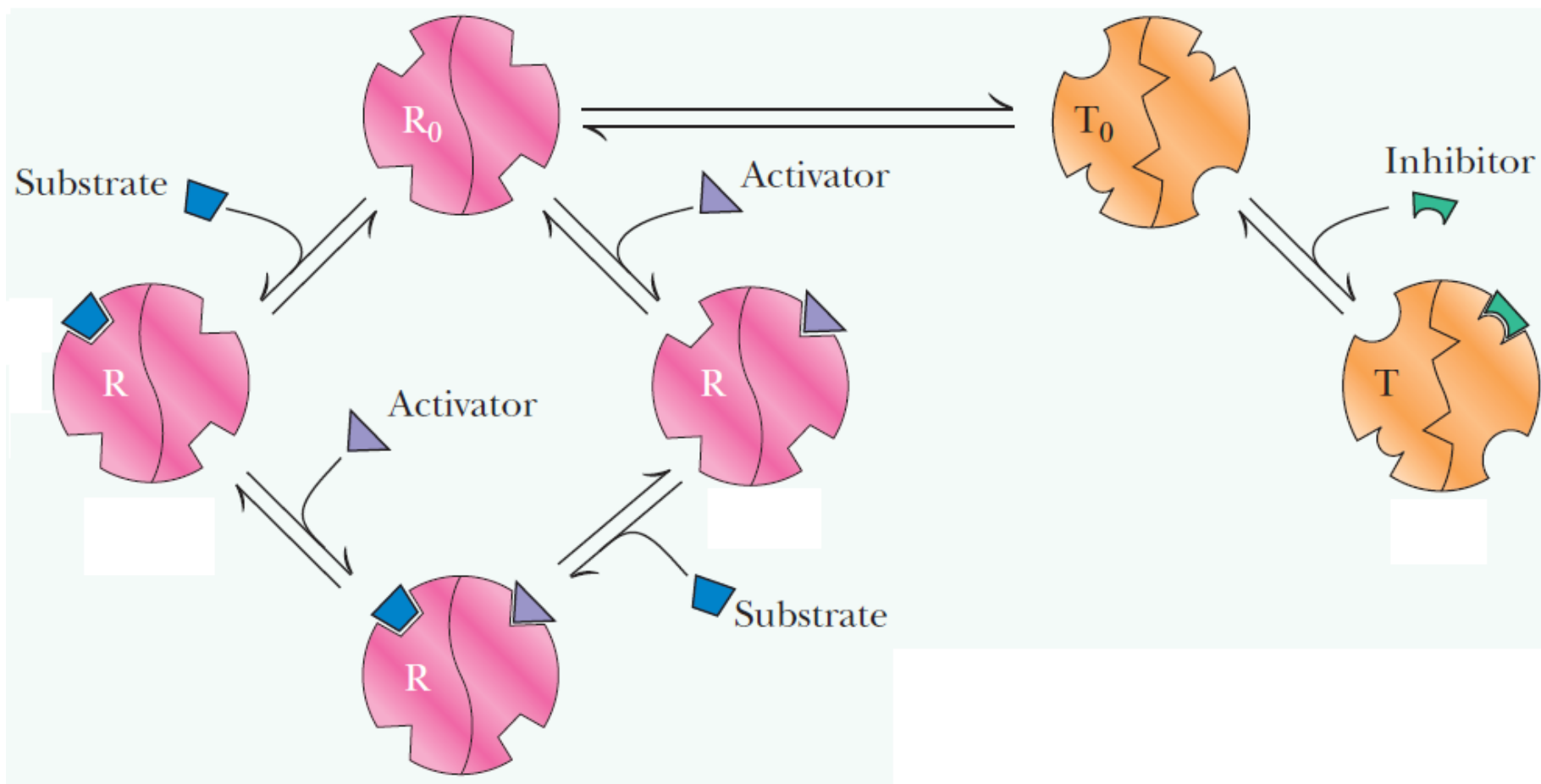


شکل‌های مختلف آنزیم ناظم (آلوستریک)

توانایی اتصال با **سوبسترا**
یا اثرکننده مثبت

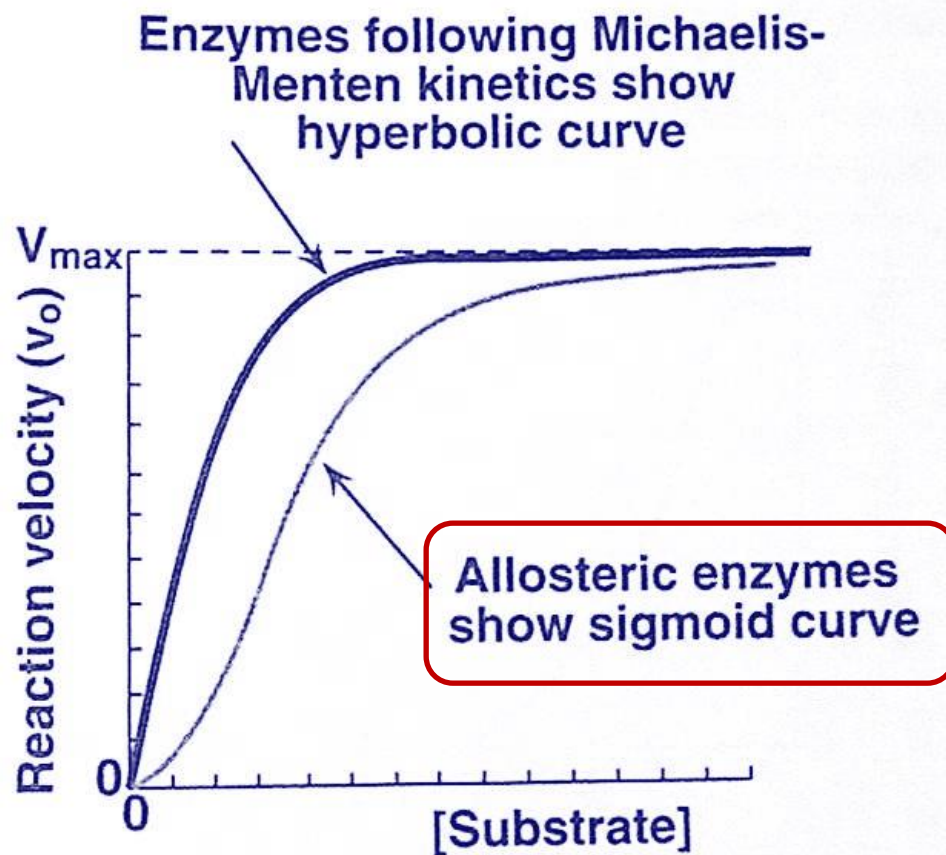
توانایی اتصال با
اثرکننده منفی





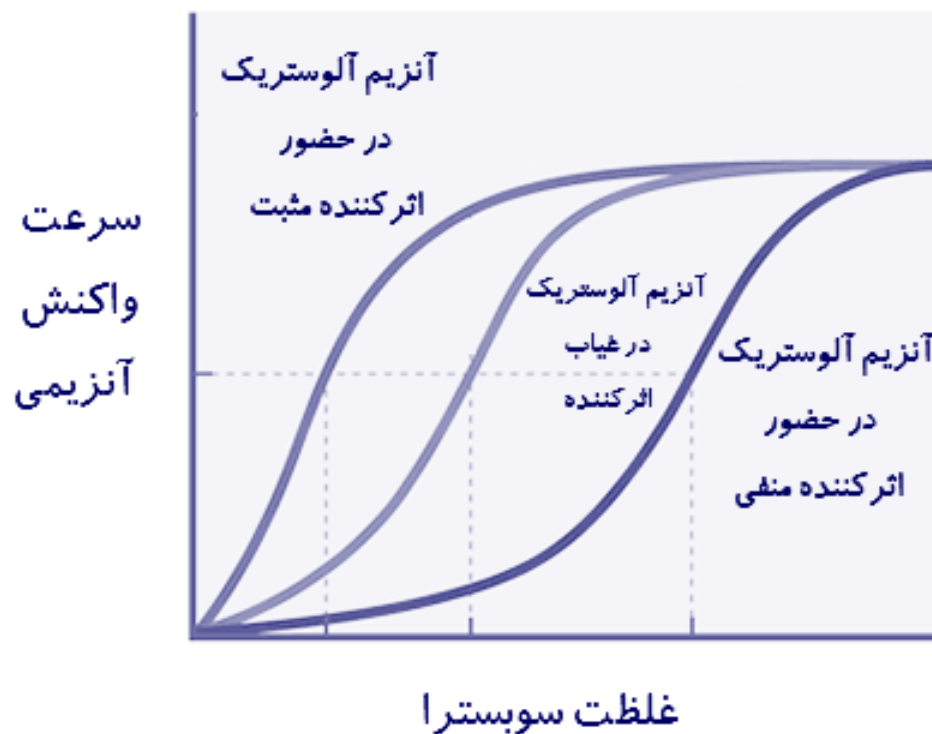


منحنی سرعت واکنش آنزیم آلوستریک

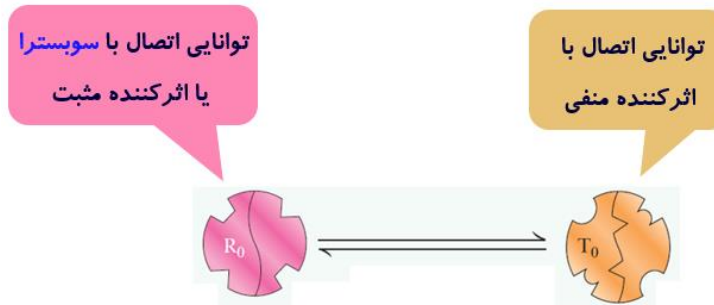




منحنی سرعت واکنش آنزیم آلوستریک



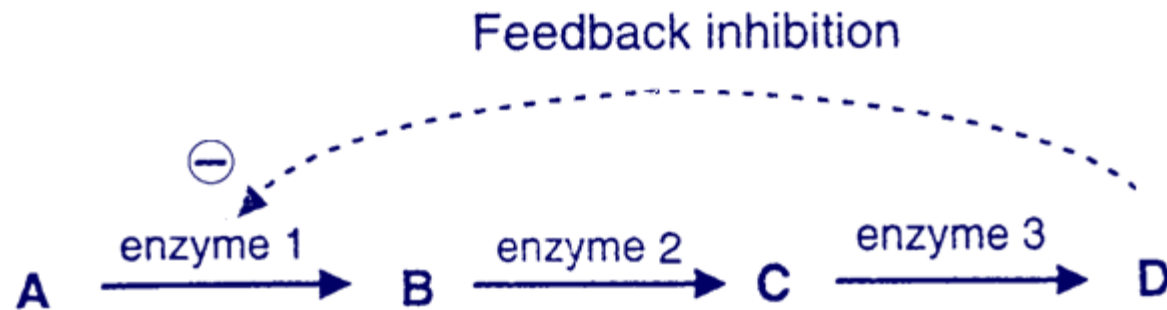
انواع آنزیم‌های ناظم (آلوستریک)



- ❖ آنزیم‌های آلوستریک نوع K: عامل موثر تمایل آنزیم به سوبسترا را تغییر می‌دهد و تغییری در V_m ایجاد نمی‌کند.
- ❖ آنزیم‌های آلوستریک نوع V: عامل موثر V_m را تغییر می‌دهد و تمایل آنزیم به سوبسترا ایجاد نمی‌کند.
- ❖ آنزیم‌های آلوستریکی که عامل موثر می‌تواند روی تمایل آنزیم به سوبسترا و V_m تاثیر گذارد.

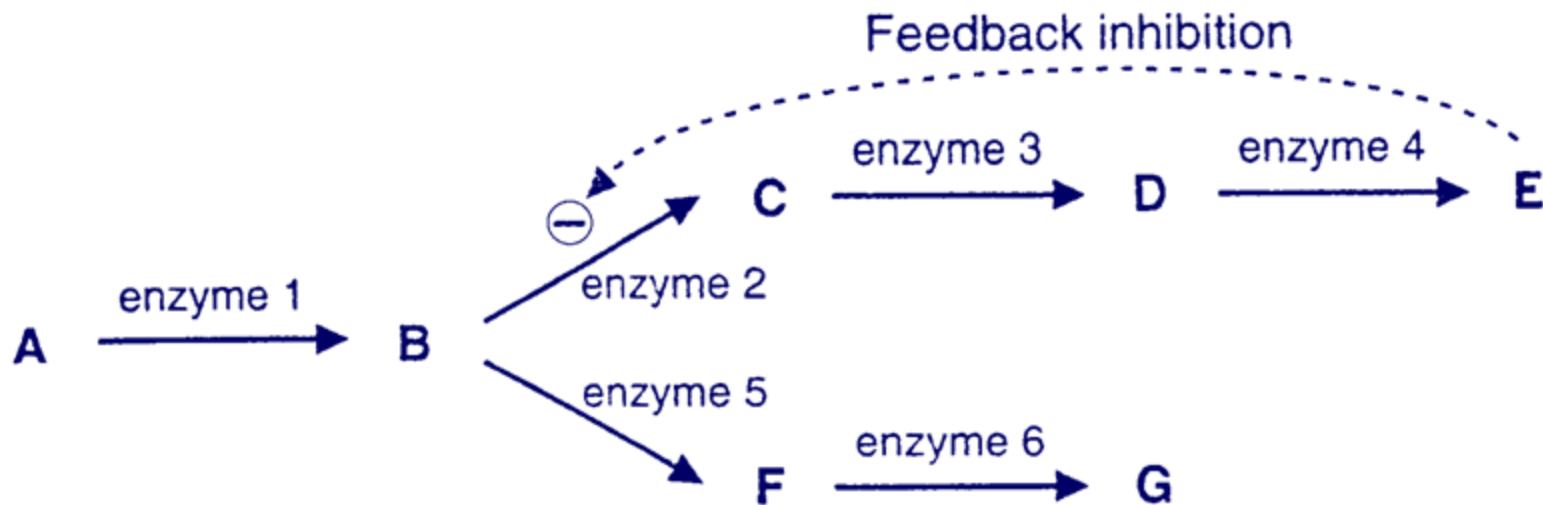


مهارکنندگی پس‌نورد



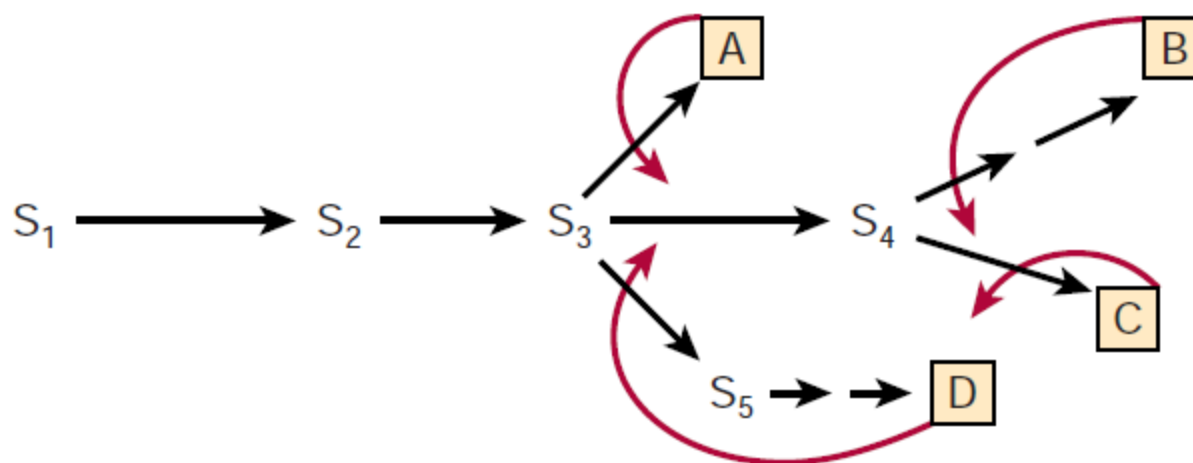


مهارکنندگی پس‌نورد





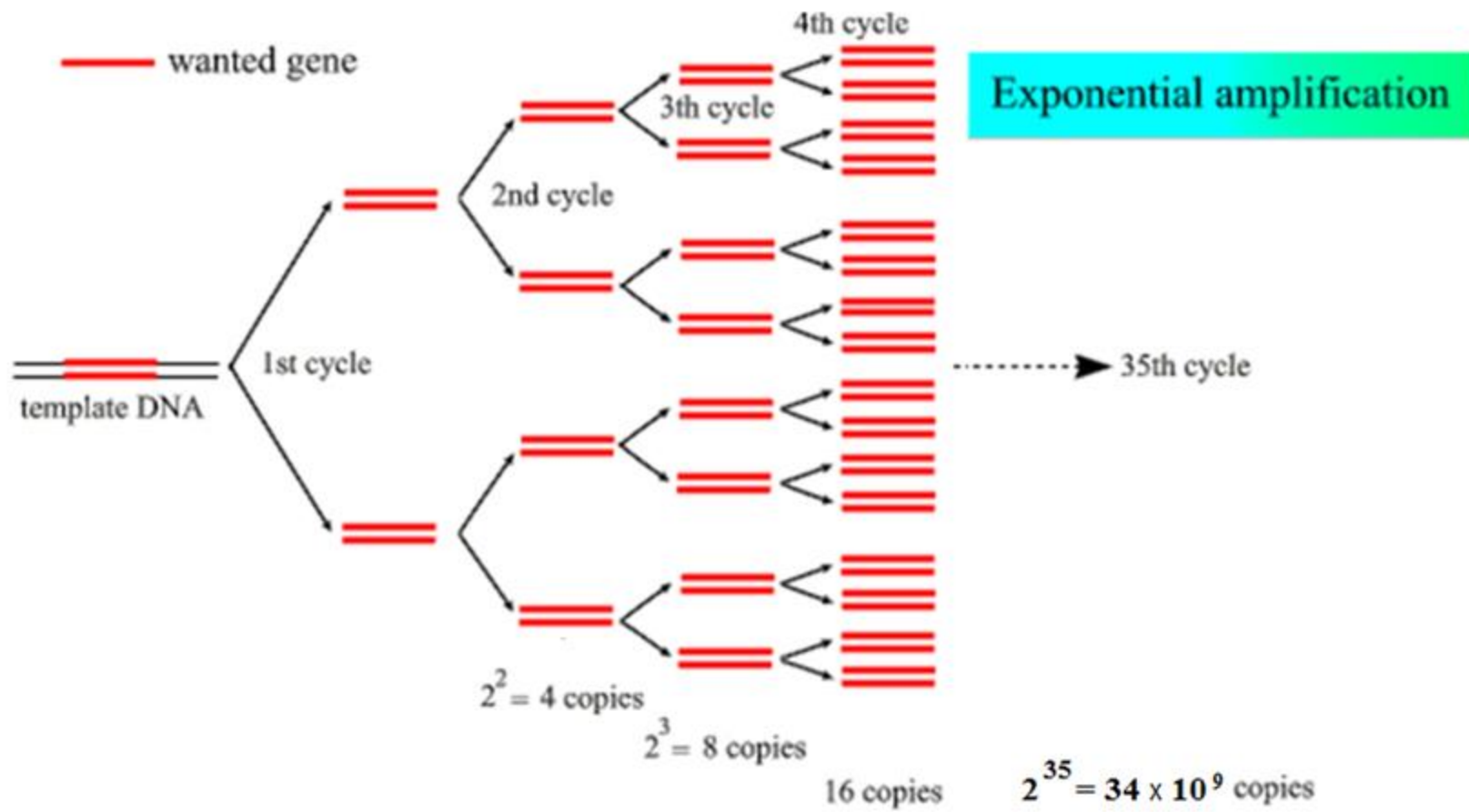
مهارکنندگی پس نور







PCR (Polymerase Chain Reaction)





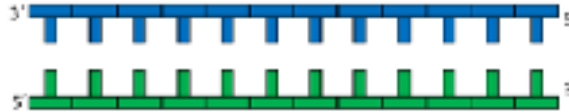
PCR (Polymerase Chain Reaction)

- مولکول DNA قالب که تکثیر آن مد نظر است
- دو پرایمر که مکمل ابتدا (پیش‌برنده) و انتهای (معکوس) قطعه‌ای از DNA هستند که تکثیر آن باید انجام شود
- آنزیم DNA پلیمراز مقاوم به حرارت (مثل DNA پلیمراز Taq)
- انواع نوکلئوتیدهای داکسی (dNTPs شامل dATP , dGTP , dCTP , dTTP)
- یون Mg^{+2} که برای فعالیت آنزیم DNA پلیمراز ضروری است

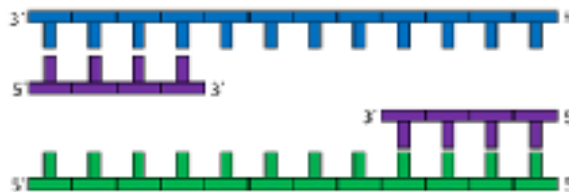


واکنش PCR

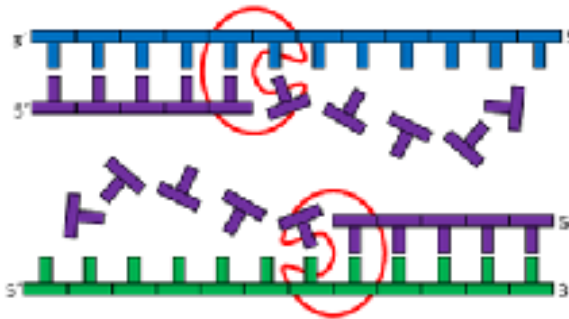
Double stranded DNA is **denatured** by heating to 95°C



At approximately 60° primers **anneal** to complementary bases flanking the region of interest



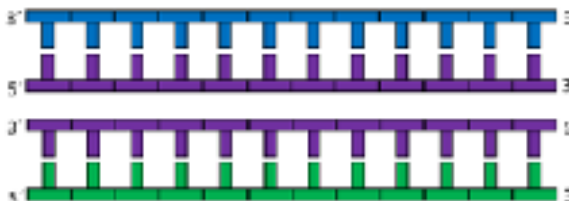
At 72°C *Taq* polymerase **extends** the single stranded DNA molecule, creating new double stranded DNA



استفاده از آنزیم Taq پلیمراز در

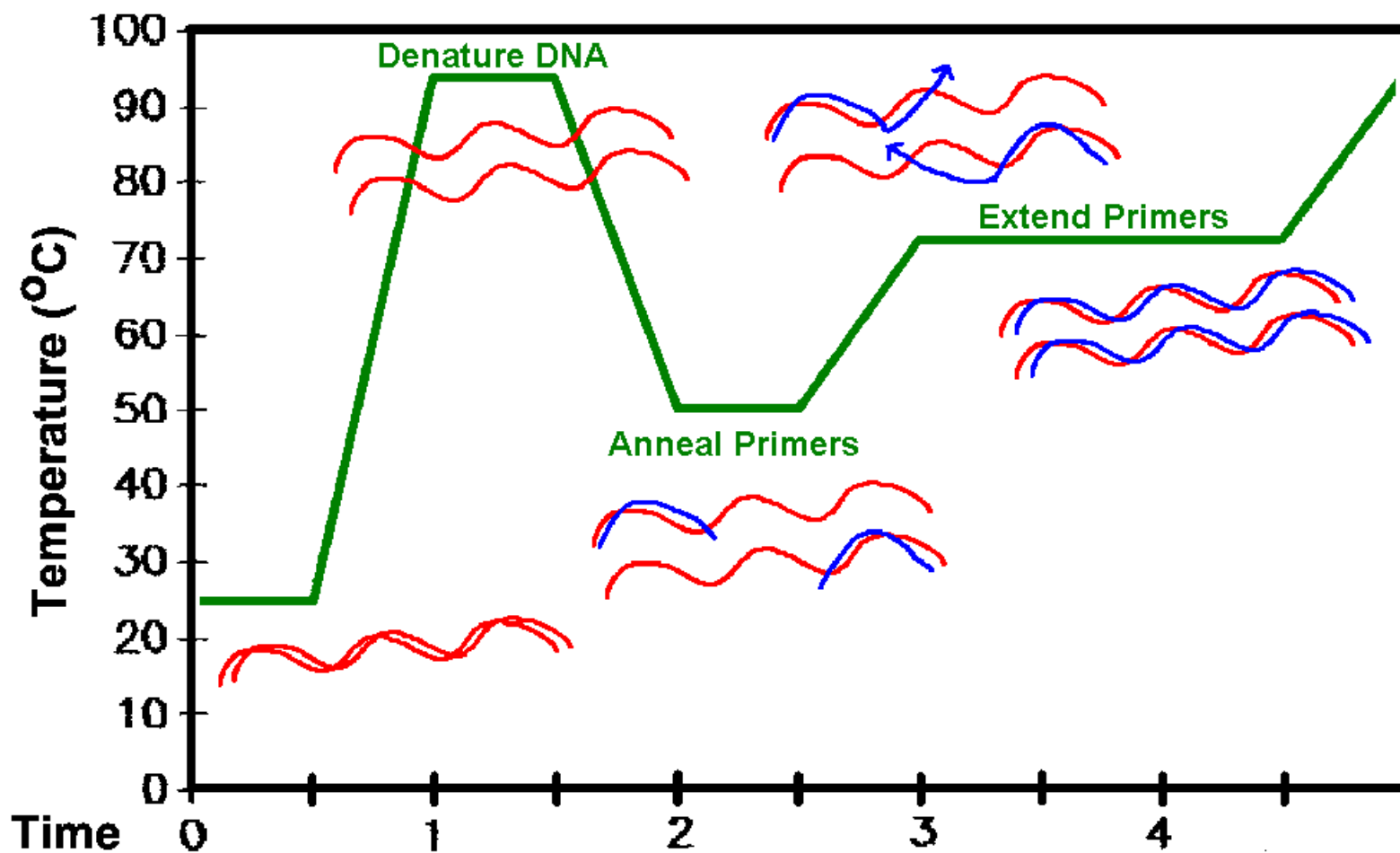
واکنش PCR

The process is repeated for 25-35 cycles to amplify sufficient material for visualisation



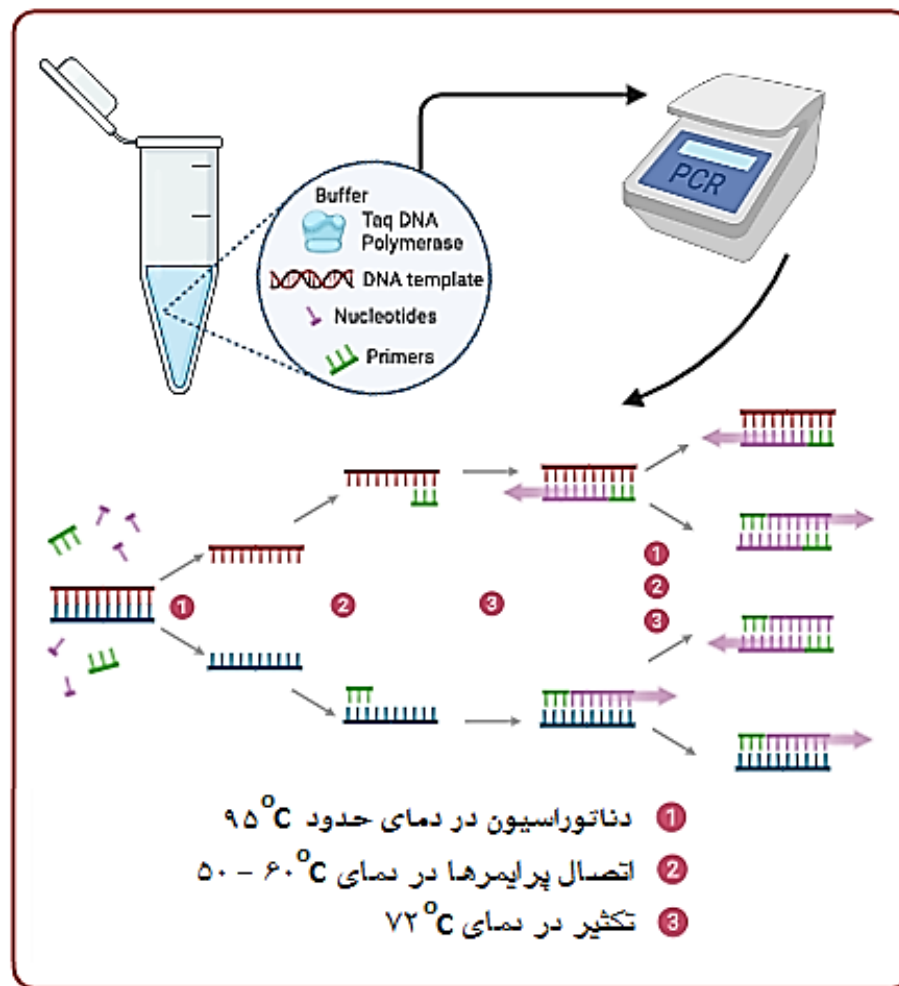


واکنش PCR





واکنش PCR



Polymerase chain reaction - PCR



از واکنش PCR می‌توان برای تشخیص عفونت استفاده کرد



اندونوکلئازهای محدودالایر

Restriction Endonucleases





اندونوکلئازهای محدودالانثر



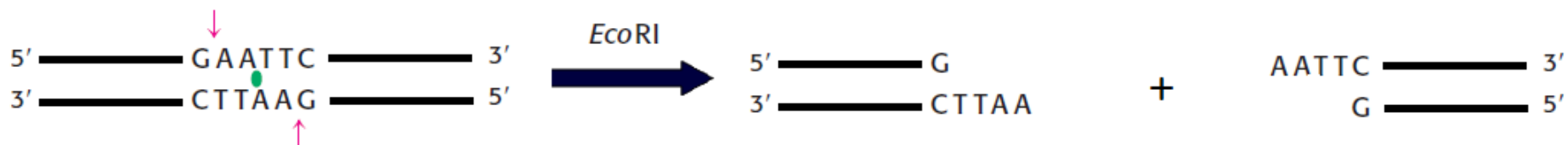


اندونوکلئازهای محدودالانثر



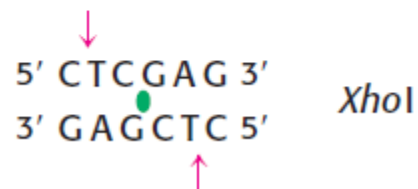
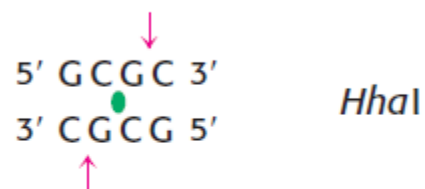
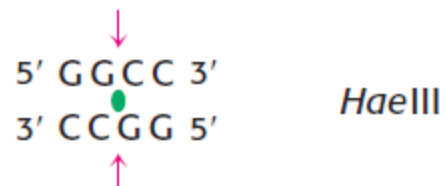
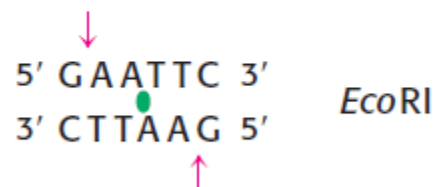
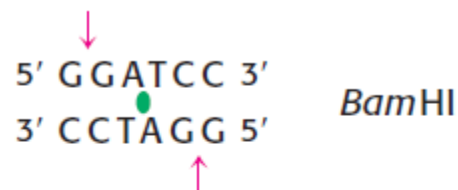


اندونوکلئازهای محدودالایر





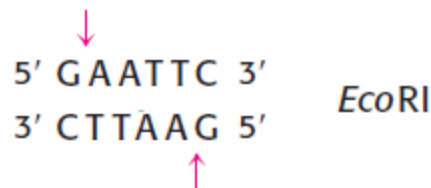
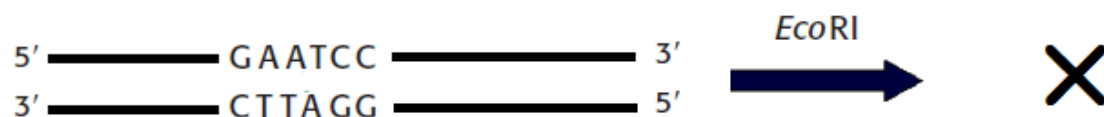
اندونوکلئازهای محدودالایر





پلی مورفیسم طول قطعات محدودکننده

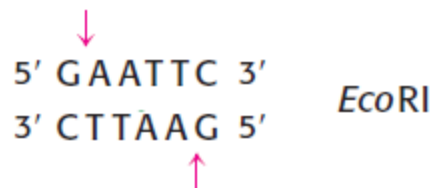
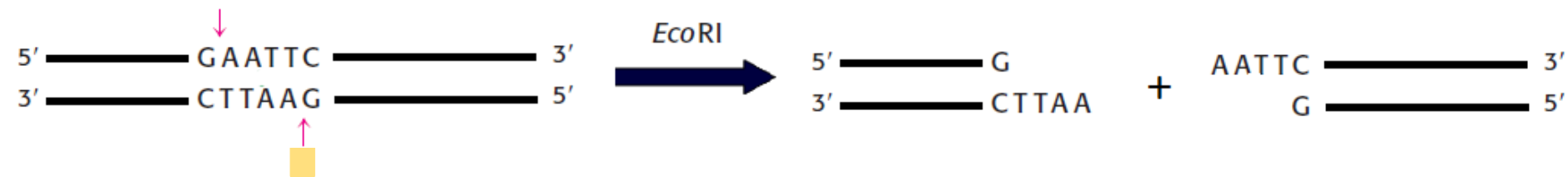
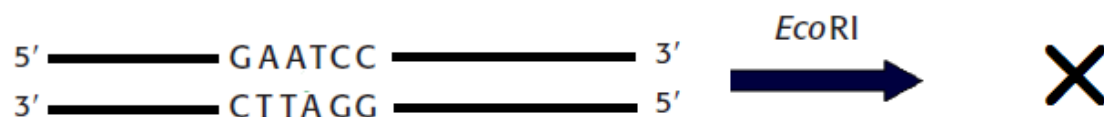
RFLP





پلی مورفیسم طول قطعات محدودکننده

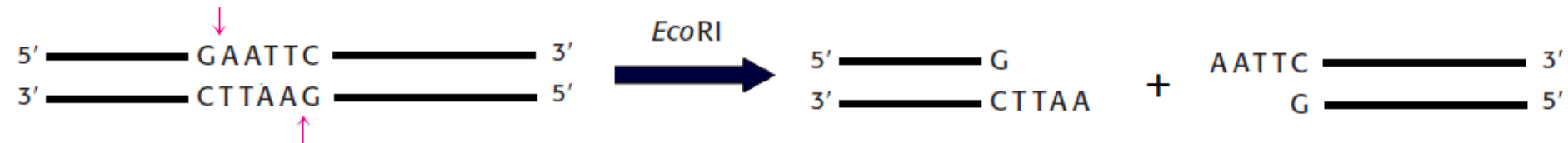
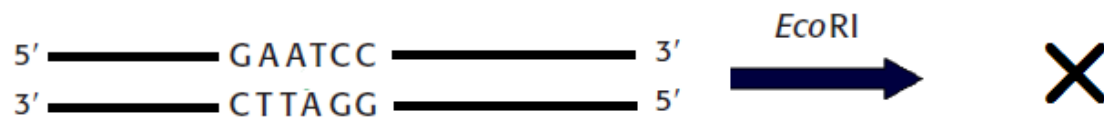
RFLP





پلی مورفیزم طول قطعات محدودکننده

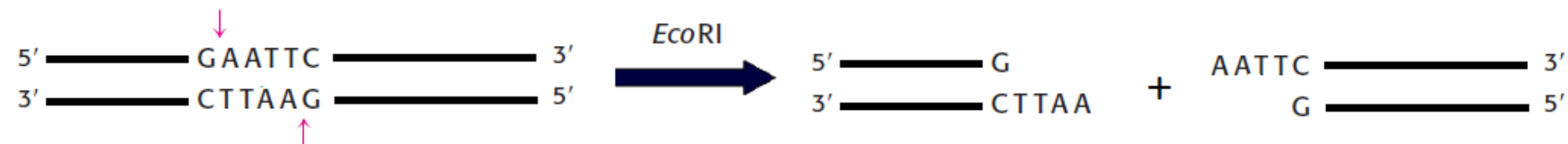
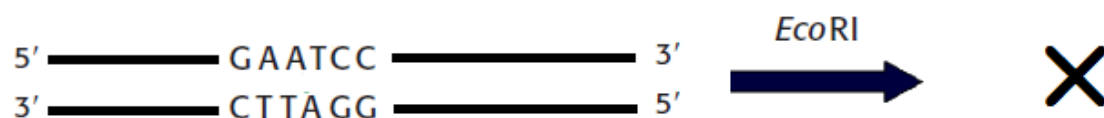
RFLP





پلی مورفیسم طول قطعات محدودکننده

RFLP



طبیعی

هموزیگوت

هتروزیگوت

—————

—————

—————

—————

—————

—————



پلی مورفیسم طول قطعات محدودکننده (RFLP)

MstII restriction sites around β -globin gene



Possible RFLP Data





مطالب بررسی شده

✓ سازوکار (مکانیسم) عمل آنزیم‌ها

✓ کینتیک آنزیمی

✓ تنظیم فعالیت آنزیم‌ها



سوالات چند گزینه‌ای

سوال چندگزینه‌ای

آنزیمی قادر است در هر ۵ دقیقه ۱۰ میلی‌مول سوبسترا را به محصول تبدیل کند. فعالیت این نمونه آنزیمی چند واحد بین‌المللی (I.U) است؟

☐ دو

☐ بیست

☐ دویست

☐ دوهزار

سوال چندگزینه‌ای

آنزیمی قادر است در هر ۵ دقیقه ۱۰ میلی‌مول سوبسترا را به محصول تبدیل کند. فعالیت این نمونه آنزیمی چند واحد بین‌المللی (I.U) است؟

واحد بین‌المللی فعالیت آنزیم (I.U)

مقداری از آنزیم که در مدت **یک دقیقه** در شرایط

مطلوب دما و pH بتواند **یک میکرومول سوبسترا** را به

محصول تبدیل کند

☐ دو

☐ بیست

☐ دویست

☒ دوهزار

سوال چندگزینه‌ای

اگر در مدت ۲ دقیقه ۲۰۰۰ مولکول از سوبسترا توسط ده مولکول آنزیم به محصول تبدیل شود، عدد نوآرایی آنزیم در شرایط اشاره شده بر حسب min^{-1} کدام است؟

☐ یک

☐ ده

☐ صد

☐ هزار

سوال چندگزینه‌ای

اگر در مدت ۲ دقیقه ۲۰۰۰ مولکول از سوبسترا توسط ده مولکول آنزیم به محصول تبدیل شود، عدد نوآرایی آنزیم در شرایط اشاره شده برحسب min^{-1} کدام است؟

عدد نوآرایی (T.O.N)

تعداد مولکول‌هایی از سوبسترا که در واحد زمان

☐ یک

توسط یک مولکول آنزیم به محصول تبدیل

☐ ده

می‌شود

☒ صد

☐ هزار

سوال چندگزینه‌ای

اگر در یک واکنش آنزیمی غلظت سوبسترا $\frac{1}{3}$ مقدار K_m آنزیم انتخاب شود، کدام رابطه زیر صحیح است؟

$$V = \frac{1}{2} V_m \quad \square$$

$$V = \frac{1}{3} V_m \quad \square$$

$$V = \frac{1}{4} V_m \quad \square$$

$$V = \frac{1}{5} V_m \quad \square$$

سوال چندگزینه‌ای

اگر در یک واکنش آنزیمی غلظت سوبسترا $\frac{1}{3}$ مقدار K_m آنزیم انتخاب شود، کدام رابطه زیر صحیح است؟

$$V_0 = \frac{V_{\max} [S]}{K_m + [S]}$$

$$V = \frac{1}{2} V_m \quad \square$$

$$V = \frac{1}{3} V_m \quad \square$$

$$V = \frac{1}{4} V_m \quad \blacksquare$$

$$V = \frac{1}{5} V_m \quad \square$$

سوال چندگزینه‌ای

کارایی کاتالیتیک یا ثابت ویژگی عبارت است از؟

K_m ☐

K_{cat} ☐

نسبت K_{cat} به K_m ☐

نسبت K_m به K_{cat} ☐



سوال چندگزینه‌ای

کارایی کاتالیتیک یا ثابت ویژگی عبارت است از؟

$$\text{کارایی کاتالیتیک یا ثابت ویژگی} = \frac{k_{\text{cat}}}{K_m}$$

K_m ☐

K_{cat} ☐

نسبت K_{cat} به K_m ☐

نسبت K_m به K_{cat} ☒

سوال چندگزینه‌ای

دی‌ایزوپروپیل‌فلوئوروفسفات با زنجیر جانبی کدام اسید آمینه در مولکول آنزیم ترکیب می‌شود؟

☐ متیونین

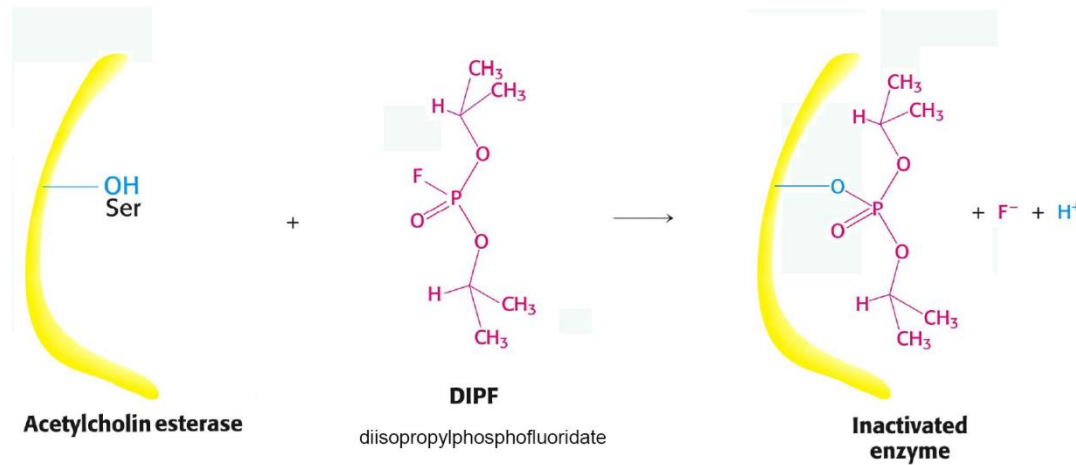
☐ آرژینین

☐ سیستئین

☐ سرین

سوال چندگزینه‌ای

دی‌ایزوپروپیل‌فلوئوروفسفات با زنجیر جانبی کدام اسید آمینه در مولکول آنزیم ترکیب می‌شود؟



☐ متیونین

☐ آرژینین

☐ سیستئین

☒ سرین

سوال چندگزینه‌ای

کدام نوع از مهارکنندگان برگشت‌پذیر فقط با آنزیم آزاد ترکیب می‌شود؟

ویژگی	K_m	V_{max}	نوع مهارکنندگی
مهارکننده فقط می‌تواند به مولکول‌های آنزیم متصل شود	زیاد می‌شود	بدون تغییر	رقابتی
مهارکننده هم به مولکول‌های آنزیم و هم به کمپلکس آنزیم - سوبسترا با تمایل یکسان متصل می‌شود	بدون تغییر	کم می‌شود	غیر رقابتی
مهارکننده هم به مولکول‌های آنزیم و هم به کمپلکس آنزیم - سوبسترا با تمایل متفاوت متصل می‌شود	زیاد می‌شود	کم می‌شود	مخلط
مهارکننده فقط به کمپلکس آنزیم - سوبسترا متصل می‌شود	کم می‌شود	کم می‌شود	نارقیابتی

■ رقابتی

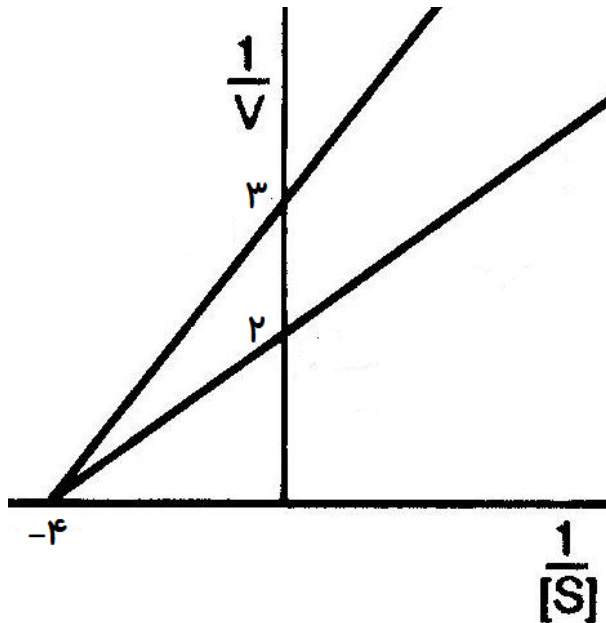
□ غیر رقابتی

□ نارقیابتی

□ هر سه مورد

سوال چندگزینه‌ای

با توجه به شکل نوع بازدارنده موجود در محیط کدام است؟



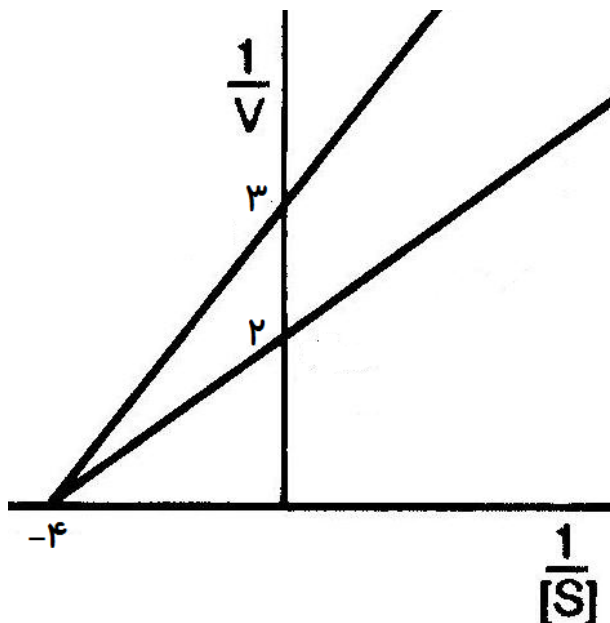
☐ رقابتی

☐ غیر رقابتی

☐ نارقابتی

☐ مختلط

سوال چندگزینه‌ای



با توجه به شکل نوع بازدارنده موجود در محیط کدام است؟

☐ رقابتی

☒ غیر رقابتی

☐ نارقابتی

☐ مختلط

ویژگی	K_m	V_{max}	نوع مهارکنندگی
مهارکننده فقط می‌تواند به مولکول‌های آنزیم متصل شود	زیاد می‌شود	بدون تغییر	رقابتی
مهارکننده هم به مولکول‌های آنزیم و هم به کمپلکس آنزیم - سوبسترا با تمایل یکسان متصل می‌شود	بدون تغییر	کم می‌شود	غیر رقابتی
مهارکننده هم به مولکول‌های آنزیم و هم به کمپلکس آنزیم - سوبسترا با تمایل متفاوت متصل می‌شود	زیاد می‌شود	کم می‌شود	مختلط
مهارکننده فقط به کمپلکس آنزیم - سوبسترا متصل می‌شود	کم می‌شود	کم می‌شود	نارقابتی



سوال چندگزینه‌ای

در الکتروفورز ایزوآنزیم‌های لاکتات دهیدروژناز کدام ایزوآنزیم دارای حرکت آندی بیش‌تری است؟

LD₁ ☐

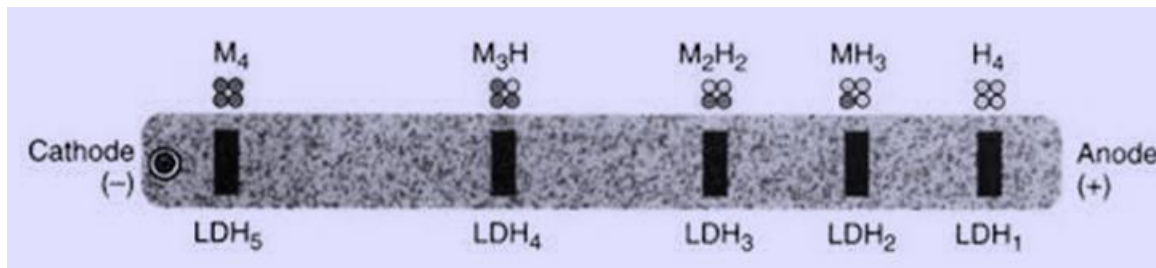
LD₂ ☐

LD₄ ☐

LD₅ ☐

سوال چندگزینه‌ای

در الکتروفورز ایزوآنزیم‌های لاکتات دهیدروژناز کدام ایزوآنزیم دارای حرکت آندی بیش‌تری است؟



LD₁ ☒

LD₂ ☐

LD₄ ☐

LD₅ ☐



سوال چندگزینه‌ای

افزایش آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP) در کدام مورد در خون دیده می‌شود؟

- ☐ سکته قلبی
- ☐ سرطان پروستات
- ☐ التهاب لوزالمعده
- ☐ اختلالات استخوانی

سوال چندگزینه‌ای

افزایش آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP) در کدام مورد در خون دیده می‌شود؟

کاربرد	علامت	آنزیم
سکته قلبی، همولیز، بیماری‌های کبدی	LD (LDH)	لاکتات دهیدروژناز
سکته قلبی، بیماری‌های عضلانی، تزریقات مکرر عضلانی	CK (CPK)	کراتین کیناز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت، سکته قلبی	AST (GOT)	آسپارات آمینوترانسفراز
بیماری‌های پارانشیم کبدی از جمله هپاتیت	ALT (GPT)	آلانین آمینوترانسفراز
اختلالات کبدی - صفراوی از جمله یرقان انسدادی، بیماری‌های استخوانی	ALP	الکالین فسفاتاز
اختلالات کبدی - صفراوی	5' - NT	5' - نوکلئوتیداز
اختلالات کبدی - صفراوی، مصرف الکل	GGT	گاما گلو تامیل ترانسفراز
سرطان پروستات	ACP	اسید فسفاتاز
التهاب لوزالمعده (پانکراتیت) حاد، زخم معده	-	آمیلاز
التهاب لوزالمعده (پانکراتیت) حاد	-	لیپاز

☐ سکته قلبی

☐ سرطان پروستات

☐ التهاب لوزالمعده

☒ اختلالات استخوانی



سوال چندگزینه‌ای

آنزیم دوپا دکربوکسیلاز جزو کدام طبقه از آنزیم‌ها است؟

☐ لیگاز

☐ اکسیدوردکتاز

☐ لیاز

☐ هیدرولاز

سوال چندگزینه‌ای

آنزیم دوپا دکربوکسیلاز جزو کدام طبقه از آنزیم‌ها است؟

کد طبقه	طبقه آنزیم	ویژگی	مثال
۱	اکسید و احیا (اکسیدوردکتاز)	کاتالیز واکنش‌های اکسایش و کاهش در این طبقه، آنزیم‌های اکسیداز، دهیدروژناز، پراکسیداز و اکسیژناز قرار دارند. اکسیژنازها به دو گروه منواکسیژناز (هیدروکسیلاز) و دی‌اکسیژناز تقسیم می‌شوند.	سیتوکروم اکسیداز لاکتات دهیدروژناز دی‌هیدروفلوات ردکتاز گلوتاتیون پراکسیداز کاتالاز فنیل آلانین هیدروکسیلاز تریپتوفان اکسیژناز
۲	ترانسفراز	انتقال یک گروه شیمیایی (به جز اتم هیدروژن) از یک سوبسترا به سوبسترای دیگر	آلاتین ترانس آمیناز هگزوکیناز گلیکوژن فسفریلاز ترانس آلدولاز ترانس کتولاز
۳	هیدرولاز	هیدرولیز (آیکافت) سوبسترا	آمیلاز اسید فسفاتاز الکالین فسفاتاز کلسترول استراز
۴	لیاز	جدا کردن مولکول‌های کوچک از سوبسترا و ایجاد پیوند جدید یا ایجاد پیوند چندگانه	فوماراز هیستیدین دکربوکسیلاز دوپا دکربوکسیلاز سرین دهیدراتاز آلدولاز
۵	ایزومراز	تبدیل ایزومرها به یک‌دیگر	فسفوگکز و ایزومراز ریبولوز-۵-فسفات ایپیمراز فسفو گلو کوموتاز
۶	لیگاز	ایجاد پیوند بین دو مولکول یا استفاده از انرژی حاصل از هیدرولیز (آیکافت) ATP	پیروات کربوکسیلاز استیل کوآ کربوکسیلاز گلوتامین سنتتاز

☐ لیگاز

☐ اکسیدوردکتاز

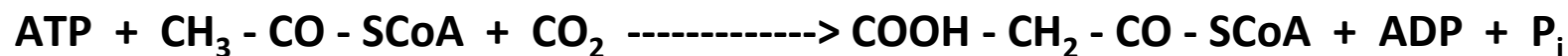
☒ لیاز

☐ هیدرولاز



سوال چندگزینه‌ای

آنزیم کاتالیزکننده واکنش داده شده جزو کدام دسته از آنزیم‌ها است؟



☐ لیگاز

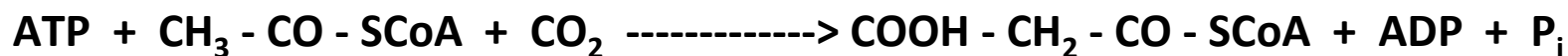
☐ ترانسفراز

☐ لیاز

☐ هیدرولاز

سوال چندگزینه‌ای

آنزیم کاتالیزکننده واکنش داده شده جزو کدام دسته از آنزیم‌ها است؟



کد طبقه	طبقه آنزیم	ویژگی	مثال
۱	اکسید و احیا (اکسیدوردکتاز)	کاتالیز واکنش‌های اکسایش و کاهش در این طبقه، آنزیم‌های اکسیداز، دهیدروژناز، پراکسیداز و اکسیژناز قرار دارند. اکسیژنازها به دو گروه منواکسیژناز (هیدروکسیلاز) و دی‌اکسیژناز تقسیم می‌شوند.	سیتوکروم اکسیداز لاکتات دهیدروژناز دی‌هیدروفلوات ردکتاز گلوتاتیون پراکسیداز کاتالاز فنیل آلانین هیدروکسیلاز تریپتوفان اکسیژناز
۲	ترانسفراز	انتقال یک گروه شیمیایی (به جز اتم هیدروژن) از یک سوبسترا به سوبسترای دیگر	آلاتین ترانس آمیناز هگزوکیناز گلیکوژن فسفریلاز ترانس آلدولاز ترانس کتولاز
۳	هیدرولاز	هیدرولیز (آیکافت) سوبسترا	آمیلاز اسید فسفاتاز الکالین فسفاتاز کلسترول استراز
۴	لیاز	جدا کردن مولکول‌های کوچک از سوبسترا و ایجاد پیوند جدید یا ایجاد پیوند چندگانه	فوماراز هیستیدین دکربوکسیلاز دوید کربوکسیلاز سرین دهیدراتاز آلدولاز
۵	ایزومراز	تبدیل ایزومرها به یکدیگر	فسفوگکز و ایزومراز ریبولوز-۵-فسفات ایپیمراز فسفو گلو کوموتاز
۶	لیگاز	ایجاد پیوند بین دو مولکول یا استفاده از انرژی حاصل از هیدرولیز (آیکافت) ATP	پیروات کربوکسیلاز استیل کوآ کربوکسیلاز گلوتامین سنتتاز

■ لیگاز

□ ترانسفراز

□ لیاز

□ هیدرولاز



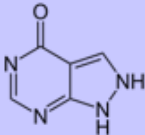
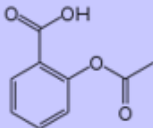
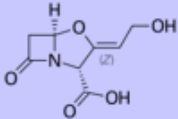
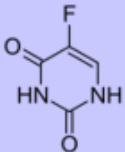
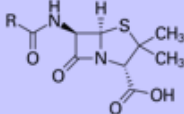
سوال چندگزینه‌ای

کدام مورد در خصوص اثر داروی اشاره شده نادرست است؟

- ☐ آسپیرین مهار سیکلواکسیژناز
- ☐ آلپورینول مهار گزانتین اکسیداز
- ☐ پنی سیلین مهار بتالاکتاماز
- ☐ ۵-فلورویوراسیل مهار تیمیدیلات سنتاز

سوال چندگزینه‌ای

کدام مورد در خصوص اثر داروی اشاره شده نادرست است؟

❖ Allopurinol		مهار گزانتین اکسیداز
❖ Aspirin		مهار سیکلواکسیژناز
❖ Clavulanic acid		مهار بتالاکتاماز
❖ 5-Fluorouracil		مهار تیمیدیلات سنتاز
❖ Penicillin		مهار ترانس پپتیداز

☐ آسپیرین مهار سیکلواکسیژناز

☐ آلپورینول مهار گزانتین اکسیداز

☒ پنی سیلین مهار بتالاکتاماز

☐ ۵-فلورویوراسیل مهار تیمیدیلات سنتاز



سوال چندگزینه‌ای

در چند مورد از مهارکنندگان داده شده، مهارکننده توانایی اتصال به آنزیم آزاد را دارد؟

الف - رقابتی، ب - نارقابتی، پ - غیررقابتی، ت - مختلط

۱ ☐

۲ ☐

۳ ☐

۴ ☐

سوال چندگزینه‌ای

در چند مورد از مهارکنندگان داده شده، مهارکننده توانایی اتصال به آنزیم آزاد را دارد؟

الف - رقابتی، ب - نارقابتی، پ - غیررقابتی، ت - مختلط

نوع مهارکنندگی	V_{m}	K_m	ویژگی
رقابتی	بدون تغییر	زیاد می‌شود	مهارکننده فقط می‌تواند به مولکول‌های آنزیم متصل شود
غیر رقابتی	کم می‌شود	بدون تغییر	مهارکننده هم به مولکول‌های آنزیم و هم به کمپلکس آنزیم - سوبسترا با تمایل یکسان متصل می‌شود
مختلط	کم می‌شود	زیاد می‌شود	مهارکننده هم به مولکول‌های آنزیم و هم به کمپلکس آنزیم - سوبسترا با تمایل متفاوت متصل می‌شود
نارقابتی	کم می‌شود	کم می‌شود	مهارکننده فقط به کمپلکس آنزیم - سوبسترا متصل می‌شود

۱ ☐

۲ ☐

۳ ☒

۴ ☐



