ملخص وحدة آليات تركيب البروتين

النشاط 1: مقر تركيب البروتين.

1- تذكير بالمكتسبات:

- وصف بنية جزيئة الADN: تتميز بالتركيب الحلزوني المزدوج حيث تتكون من سلسلتين متعاكستين في الاتجاه تضم كل منهما أربعة أنماط من النيكليوتيدات يرمز لها بأربعة أحرف A، T، C و G. ترتبط السلسلتان بواسطة روابط هيدروجينية بين أزواج القواعد الأزوتية حيث يرتبط A مع T برابطتين هيدروجينيتين، و C مع G بثلاث روابط هيدروجينية. يختلف عدد و ترتيب النيكليوتيدات من جزيئة ADN إلى أخرى.

-دور جزيئة الADN: دعامة العوامل الوراثية.

- تموضع جزيئة الADN: تقع جزيئة الADN في النواة عند حقيقيات النواة و في الهيولى عند بدائيات النواة.

- تعريف المورثة: هي قطعة من ADN، تختلف المورثات عن بعضها البعض من حيث عدد، نوع و ترتيب (تسلسل) النيكليوتيدات التي تدخل في تركيبها.

2- مقر تركيب البروتين: يتم تركيب البروتين عند حقيقيات النواة في هيولى الخلايا (على مستوى الشبكة الهيولية الفعالة الغنية بالريبوزومات) انطلاقا من الأحماض الأمينية الناتجة عن الهضم.

3- انتقال المعلومات الوراثية: يؤمن انتقال المعلومة الوراثية من النواة إلى موقع تركيب البروتينات المتمثل في الهيولى (بالضبط على مستوى الشبكة الهيولية الفعالة الغنية بالريبوزومات) نمط آخر من الأحماض النووية يدعى الحمض النووي الريبي الرسول الARNm.

4- جزيئة الARNm:

***- وصف بنيتها:** عبارة عن جزيئة قصيرة، تتكون من سلسلة واحدة من النيكليوتيدات الريبية (تتكون من حمض فوسفوريك + سكر ريبوز + قاعدة أزوتية) ترتبط فيما بينها على مستوى ذرات الكربون '3 و '5 لسكر الريبوز بحمض الفوسفوريك بواسطة روابط استر فوسفاتية. يكون للسلسلة جزء ثابت من الفوسفات و سكر الريبوز و جزء متغير من القواعد الأزوتية.

- دور الجزيئة: نقل نسخة من المعلومات الوراثية من النواة إلى الهيولى (الشبكة الهيولية المحببة) مقر تركيب البروتين.

- نواتج الإماهة الكلية لجزيئة للARNm (تتم بواسطة الحرارة المرتفعة + حمض أو قاعدة قوية): حمض الفوسفور، سكر ريبوز تام الأوكسجين و أربع أنواع من القواعد الأزوتية (A، U،C و G).

- نواتج الإماهة الجزئية لجزيئة للARNm (تتم بواسطة أنزيم ال ARNase): أربعة أنواع من النيكليوتيدات الريبية تحتوي كل واحدة على حمض فوسفوريك + سكر ريبوز + قاعدة أزوتية و في بعض الحالات أربعة أنواع من النيكليوزيدات + حمض الفوسفوريك.

النشاط 2: استنساخ المعلومة الوراثية

1- تعريف عملية الاستنساخ و مقرها: هي تركيب نسخة من المعلومة الوراثية تتمثل في الARNm. تتم هذه العملية في النواة عند الخلايا حقيقية النواة و في الهيولى عند الخلايا بدائية النواة.

2- العناصر الأساسية لحدوث عملية الاستنساخ:

- المورثة (جزيئة الADN).
- أربعة أنواع من النيكليوتيدات الريبية التي تدخل في تركيب الARNm.
- إنزيم الARN بوليمراز (إنزيم النسخ).
- الطاقة (ATP).

3- تحديد مراحل الاستنساخ في شكل نص علمي: تتم عملية الاستنساخ في ثلاثة مراحل متتالية هي:

أ)- مرحلة الإنطلاق: و فيها يتعرف إنزيم الARN بوليمراز على المورثة المراد استنساخها و يرتبط معها في بدايتها، ثم يقوم بفتح سلسلتي الADN بعد تكسير الروابط الهيدروجينية الموجودة بين القواعد الأزوتية المتقابلة. يبدأ الإنزيم بقراءة تتابع القواعد على إحدى سلسلتي الADN (السلسلة المستنسخة) و ربط النيكليوتيدات الموافقة لها لتركيب سلسلة من الARNm.

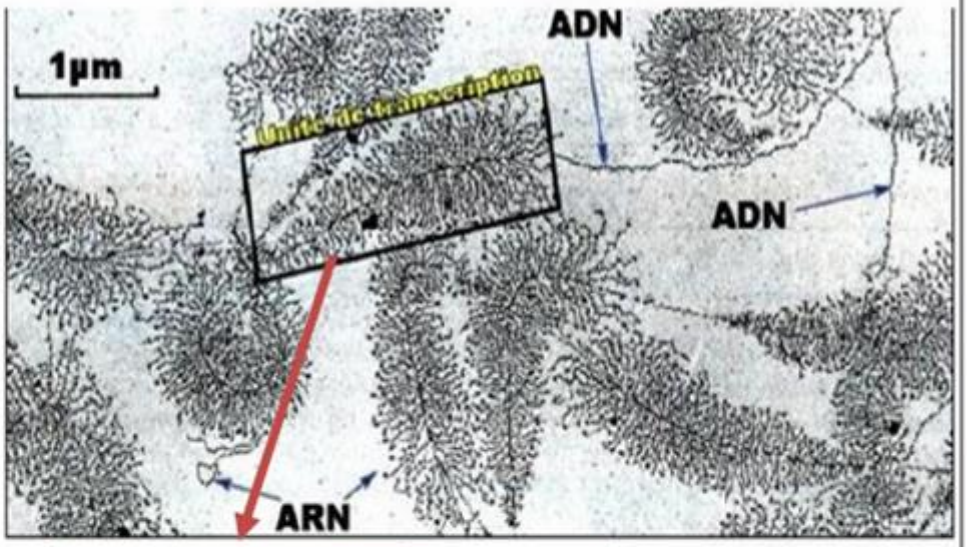
ب)- مرحلة الاستطالة: و فيها ينتقل إنزيم الARN بوليمراز على طول المورثة لقراءة المعلومات على السلسلة المستنسخة لجزيئة الADN، و ربط النيكليوتيدات في الARNm وفق تتابعها في سلسلة الADN مما يؤدي إلى زيادة طول الARNm.

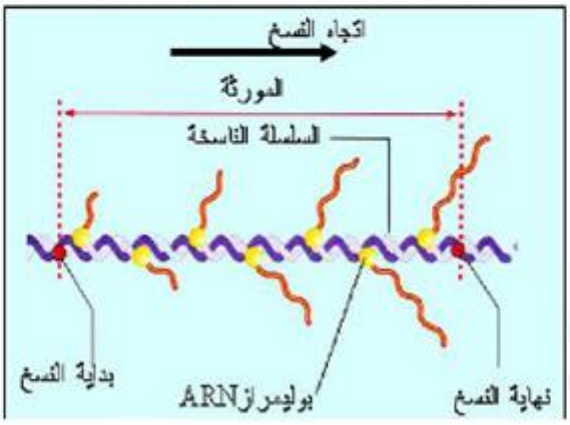
ج)- مرحلة النهاية: و فيها يصل الإنزيم إلى نهاية المورثة (السلسلة المستنسخة) حيث تتوقف استطالة الARNm الذي ينفصل عن الADN، و ينفصل الإنزيم عنه أيضا و تلتحم سلسلتي الADN من جديد.

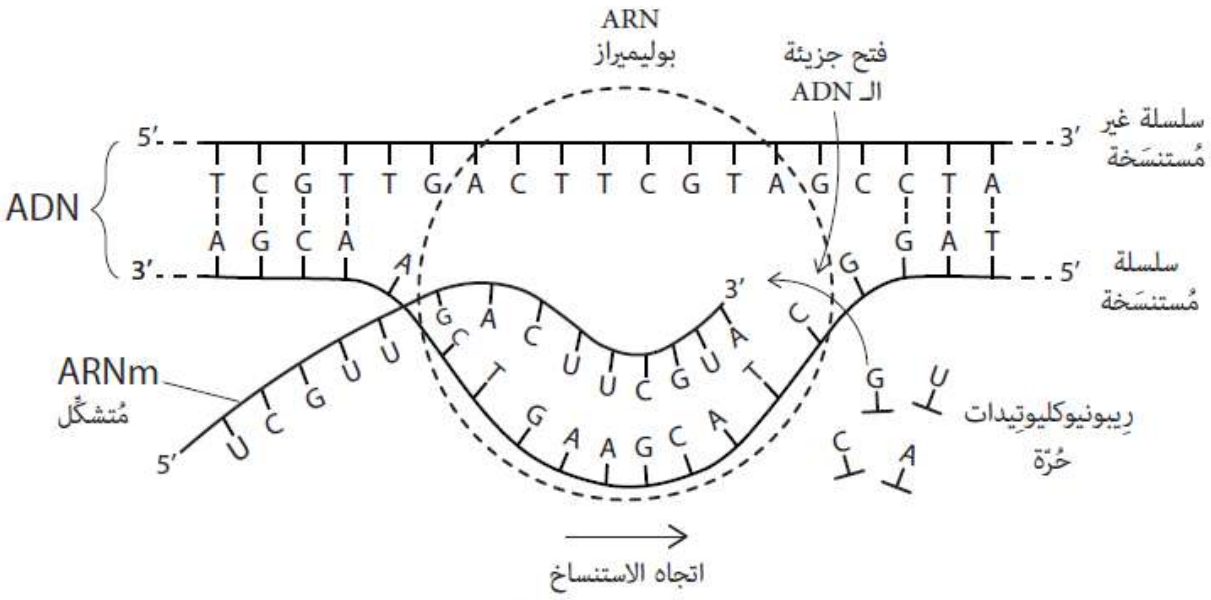
4- العلاقة بين الADN و الARNm المستنسخ:

- تتابع النيكليوتيدات في الARNm مكمل لتتابع النيكليوتيدات في سلسلة الADNالمستنسخة.
- تتابع النيكليوتيدات في الARNm مماثل لتتابع النيكليوتيدات في سلسلة الADN غير المستنسخة، مع استبدال القاعدة الأزوتية T في سلسلة الADN غير المستنسخة بـU في جزيئة الARNm.

صورة مأخوذة بالمجهر الالكتروني على مستوى النواة ، اثناء عملية الاستنساخ







رسم تخطيطي لعملية الاستنساخ في مرحلة الاستطالة

تنبيه: يستحسن كتابة الرامزات خاصة رامزة الانطلاق و التوقف بالإضافة إلى القواعد الأزوتية على مستوى المورثة.

النشاط 3: الشفرة الوراثية

1- تجربة تشرح كيف تم فك رموز الشفرة الوراثية: وضع العالم نيرمبارغ ARNm اصطناعي مكون من قواعد اليوراسيل فقط (متعدد اليوراسيل) في وسط يحتوي على جميع المكونات السيتوبلازمية الضرورية لتركيب البروتين و خالي من المعلومات الوراثية (الADNو الARNm)، فحصـــل على متعدد ببتيد مكون من نوع واحد من الأحماض الأمينية (متعدد الفينيل آلانين)، حيث عدد الأحماض الأمينية فيه يساوي ثلث عدد القواعد الأزوتية في الARNm.

عند تكرار نفس التجربة مع إضافةARNm اصطناعي (متعدد السيتوزين) تم الحصول على متعدد ببتيد (معدد البرولين)، حيث عدد الأحماض الأمينية فيه يساوي ثلث عدد القواعد الأزوتية في الARNm.

2- تعريف جدول الشفرة الوراثية: هو القاموس الذي نعتمد عليه لترجمة اللغة النووية (تسلسل النيكليوتيدات في الARNm) إلى لغة بروتينية (سلسلة أحماض آمينية)، وحدة الشفرة الوراثية تتمثل في تتالي ثلاثة قواعد أزوتية و تدعى بالرامزة و عددها 64.

3- مميزات الشفرة الوراثية:

- وحدتها تتمثل في الرامزة و تتكون من تتالي ثلاثة قواعد أزوتية أو نيكليوتيدات من الARNm.
- كل رامزة تشفر لحمض أميني.
- بعض الرامزات تشفر لنفس الحمض الأميني.
- بعض الرامزات لا تشفر لأي حمض أميني، و تدعى برامزات التوقف.

4- دور برنامج الAnagène: هو أحد البرامج المستعملة لغرض:

- عرض تتابع النيكليوتيدات للمورثات و الARNm الموافق لها و تتابع الأحماض الأمينية للبروتينات.
- المقارنة تتابع القواعد الأزوتية بين المورثات أو بين جزيئات الARNm أو بين تتابع الأحماض الأمينية للبروتينات.
- إجراء استنساخ الARNm انطلاقا من المورثة و ترجمتهإلى سلسلة ببتيدية.
- تحديد مكان و نوع الطفرة على مستوى المورثات الطافرة.

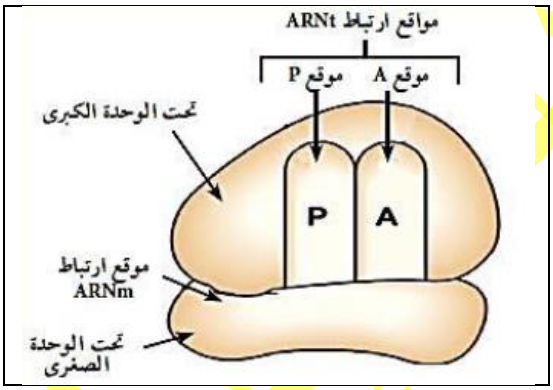
النشاط 5: مراحل الترجمة

1- الترجمة:

- التعريف: توافق التعبير عن تتابع النيكليوتيدات في الARNm (لغة نووية) إلى تتابع أحماض أمينية في شكل سلسلة ببتيدية (لغة بروتينية) و يتم ذلك بتدخل وحدة الشفرة الوراثية و المتمثلة في الرامزات.

- مقر عملية الترجمة: في الهيولى على مستوى الريبوزومات (الشبكة الهيولية الفعالة، البوليزوم).

- تعريف متعدد الريبوزوم (البوليزوم): يتمثل في ارتباط عدد من الريبوزمات الحرة بجزيء واحد منالARNm، حيث تقوم الريبوزومات بإنتاج سلاسل ببتيدية متماثلة في آن واحد (بكميات كبيرة و في وقت قصير).

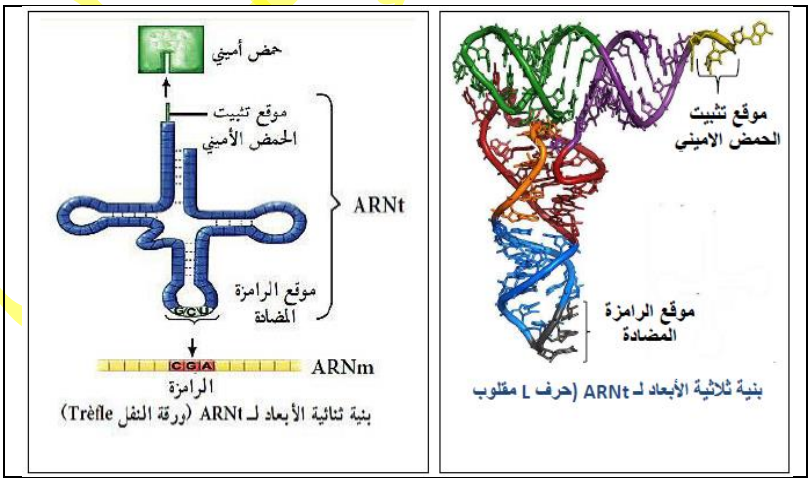


2- وصف لبنية الريبوزوم: يتشكل الريبوزوم من تحت وحدتين:

- تحت وحدة صغيرة تحمل وحدة قراءة الARNm.
- تحت وحدة كبيرة تحمل موقعين تحفيزيين (موقعي ارتباط الARNt):

*- الموقع P: موقع ببتيدي يسمح باتصال الحمض الأميني بالسلسلة الببتيدية النامية.

*- الموقع A: موقع الحمض الأميني و هو الذي يستقبل الARNt الحامل للحمض الأميني الجديد (اللاحق في الترتيب).



3- وصف بنية الARNt: هو سلسلة متعددة النيكليوتيدات التفت حول نفسها مشكلة حرف L مقلوب (بنية ثلاثية الأبعاد) أو على شكل ورقة النفل (بنية ثنائية الأبعاد). تملك جزيئة الARNt موقعين هامين: موقع ارتباط الحامض الأميني (موجود في الطرف العلوي) و موقع خاص بالرامزة المضادة (موجود في الطرف السفلي).

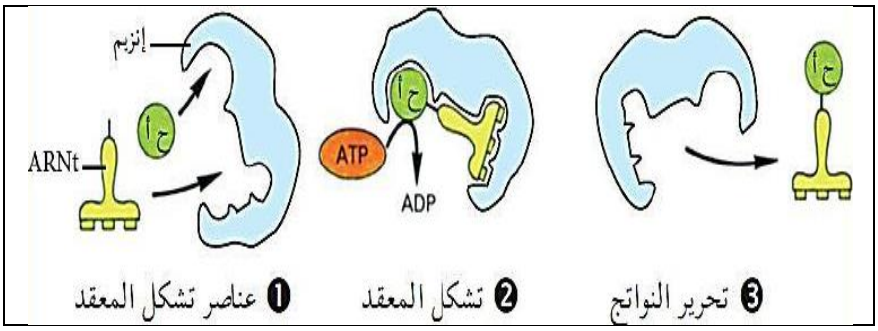
- دور الARNt: - تثبيت و نقل الأحماض الأمينية إلى الريبوزوم مقر عملية الترجمة.

- التعرف على رامزة الARNm بواسطة الرامزة المضادة حيث تكون هذه الأخيرة مكملة لرامزة الARNm.

4- تنشيط الأحماض الأمينية:

أ)- العناصر اللازمة لتنشيط الأحماض الأمينية:

- أحماض أمينية.
- إنزيمات تنشيط خاصة Aminoacyl- ARNt- synthétase .
- جزيئات ال ATP لتوفير الطاقة.
- جزيئة الARNt.



ب)- دور هذه العناصر (مراحل تنشيط الأحماض الأمينية):

- توضع الحمض الأميني و الARNtالخاص به على مستوى المواقع الخاصة بهما و المتواجدة على مستوى أنزيم التنشيط.
- يقـوم الإنزيم بربـط الحمـض الأميني بالARNtفيتشكـل معقدARNt– حمض أميني، ويتطلب ذلك استهلاك طاقة (اماهة الATP إلى AMP+ 2Pi).
- يحرر أنزيم التنشيط للمعقد ليتفرغ لنشاط مماثل.

5- العناصر الضرورية لانطلاق عملية الترجمة:

- الريبوزوم (تحت الوحدة الصغرى + تحت الوحدة الكبرى). - الARNm.
- أحماض أمينية منشطة (الARNt+ أحماض أمينية).- جزيئات الATPلتوفير الطاقة و إنزيمات خاصة.

6-تلخيص عملية الترجمة: تتضمن ثلاثة خطوات متتالية هي:

***- مرحلة الانطلاق:**

- ارتباط الARNm بتحت الوحدة الصغرى للريبوزوم و توضع الARNt الحامل للحمض الأميني ميثيونين (Met) على رامزة الانطلاق AUG في الARNm في الموقع P للريبوزوم.
- يتعرف الARNt على رامزة الانطلاق عن طريق رامزته المضادة، و ترتبط تحت الوحدة الكبرى بتحت الوحدة الصغرى و يتشكل بذلك معقد الانطلاق.

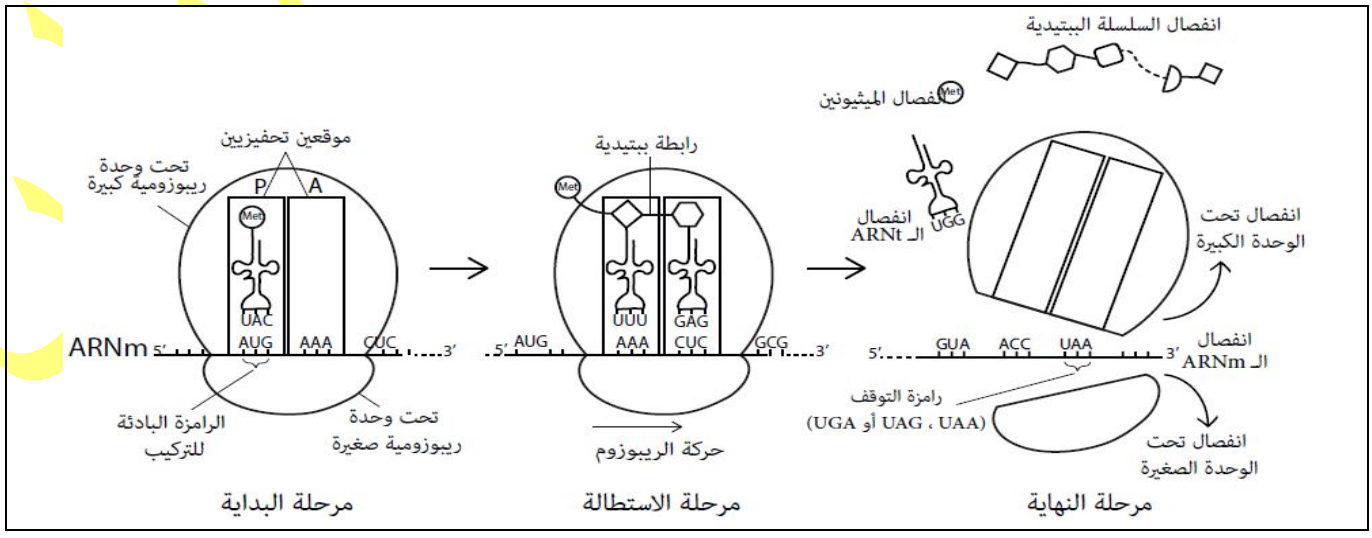
***- مرحلة الاستطالة:**

- يتوضع الARNt الحامل للحمض الأميني الثاني في الموقع A للريبوزوم الموافق للرامزة الثانية في جزيء الARNm، يتم تكوين رابطة ببتيدية بين الحمض الأميني الأول و الثاني بتدخل أنزيمات خاصة و طاقة.
- ينفصل الحمض الأميني الأول عن الARNt الذي ينفصل بدوره عن الموقع P للريبوزوم.

ينتقل الريبوزوم خطوة واحدة (رامزة واحدة على الARNm) مما يؤدي إلى تواجد الARNt الحامل لثنائي الببتيد في الموقع P و يصبح الموقع A فارغا لاستقبال الARNt الحامل لحمض أميني آخر حيث تبدأ دورة جديدة تؤدي إلى ربط حمض أميني ثالث و هكذا تستطيل السلسلة الببتيدية بمقدار حمض أميني واحد في كل (خطوة) دورة.

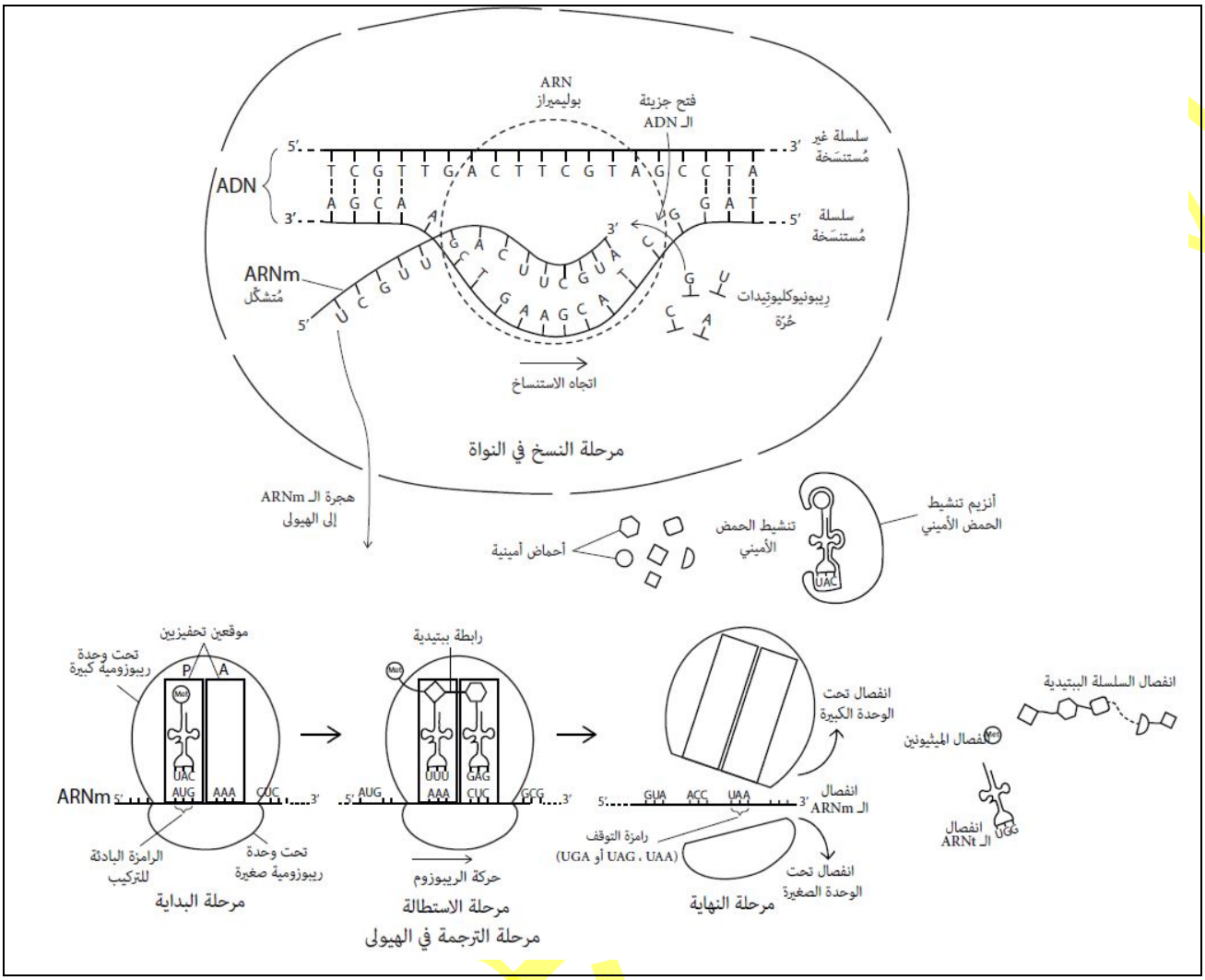
***- مرحلة النهاية:**

- يصل الريبوزوم إلى إحدى رامزات التوقف (UAA أو UAG أو UGA) على جزيء الARNm.
- تنفصل السلسلة الببتيدية المتكونة و ينفصل الARNt الأخير عنها، كما يتم قص الحمض الأميني الأول (Met) بتدخل أنزيم خاص و بالتالي لا يدخل في تركيب الببتيد الناتج، هذا الأخير يكتسب تلقائيا بنية ثلاثية الأبعاد ليصبح بروتين وظيفي.
- تنفصل تحت وحدتي الريبوزوم عن بعضهما، و ينفصل الARNm عن تحت الوحدة الصغرى الذي يفكك إلى نيكليوتيدات.

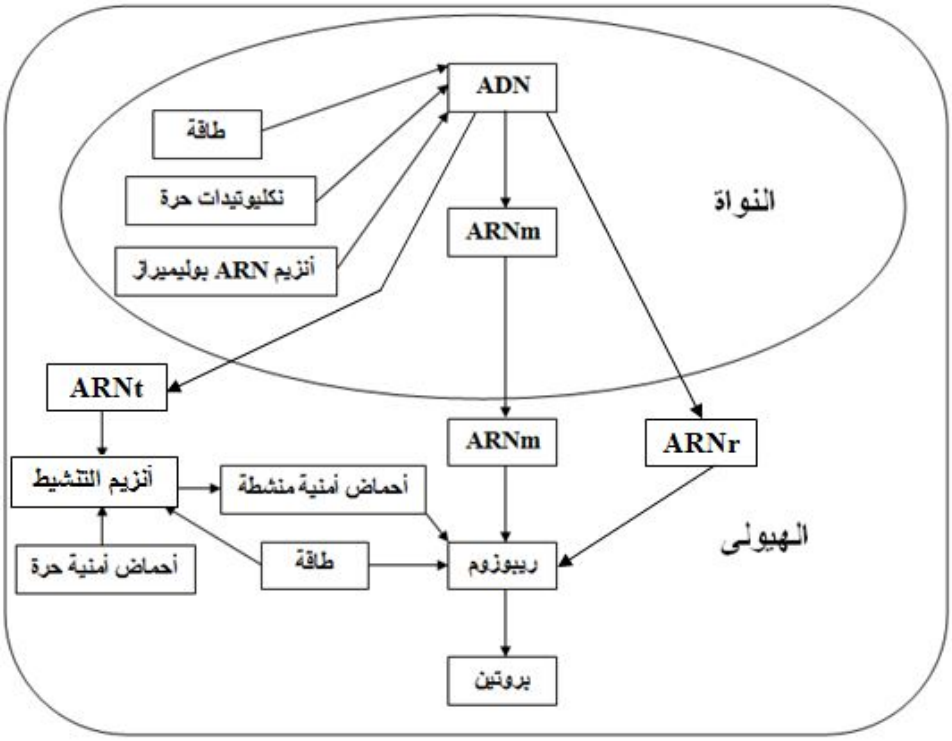


رسم تخطيطي تفسيري لمراحل عملية الترجمة

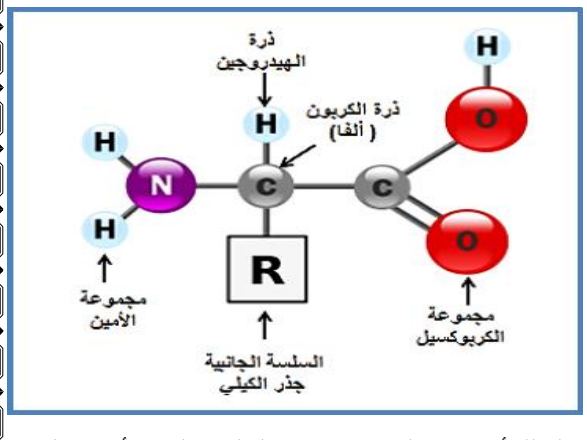
7- رسم تخطيطي يمثل مراحل التعبير المورثي:



8- مخطط يلخص مراحل التعبير المورثي:



ملخص وحدة العلاقة بين بنية ووظيفة البروتين



1- الأحماض الأمينية:

أ- تعريف الحمض الأميني: هي مركبات عضوية تتكون من وظيفة أمينيةNH_2 ووظيفة كربوكسيلية COOH مرتبطان بذرة الكربون α التي ترتبط بها السلسلة الجانبيةR (الجذر، الراديكال).

ب- المقارنة الأحماض الأمينية: يوجد في الطبيعة 20 نوعا من الأحماض الأمينية تشترك جميعها في وجود وظيفة أمينية و وظيفة كربوكسيلية و تختلف فيما بينها في السلسلة الجانبية R (أبسط حمض أميني هو الغليسين وأعقد حمض أميني هو التريبتوفان).

ج- تصنيف الأحماض الأمينية: تصنف الأحماض الأمينية حسب نوع الجذر إلى:

*- الأحماض الأمينية الحامضية: تتميز بوجود مجموعة حمضيـة COOHإضافية قابلة للتـأيـن في الجذرR وهـي الجلوتاميك والأسبارتيك.

*- الأحماض الأمينية القاعدية: تتميز بوجود مجموعة قاعدية NH_2إضافية قابلة للتـأيــن في الجذرR وهــي الليزيـن، الأرجنين و الهيستدين.

*- الأحماض الأمينية المتعادلة: تتمثل في 15 حمض الأميني المتبقي وهي لا تحتوي على أي وظيفة حمضية أو قاعدية قابلة للتأين في السلسلة الجانبيةR.

تقسم الأحماض الأمينية المتعادلة بدورها حسب الوظائف الموجودة في الجذر R إلى:

- الأحماض الأمينية الكبريتية مثــل السيستيين و المثيونين.
- الأحماض الأمينية العطريـة مثــل الفينيل ألانين، التربتوفان و التايروسين.
- الأحماض الأمينية الكحولية مثل السيرسن و الثريونين.
- الأحماض الأمينية ذات السلاسل الكربونية مثل الفالين، الألانين،.....

2- القاعدة العامة لتحديد شحنة الحمض الأميني و اتجاه هجرته (سلوك الأحماض الأمينية في الوسط):

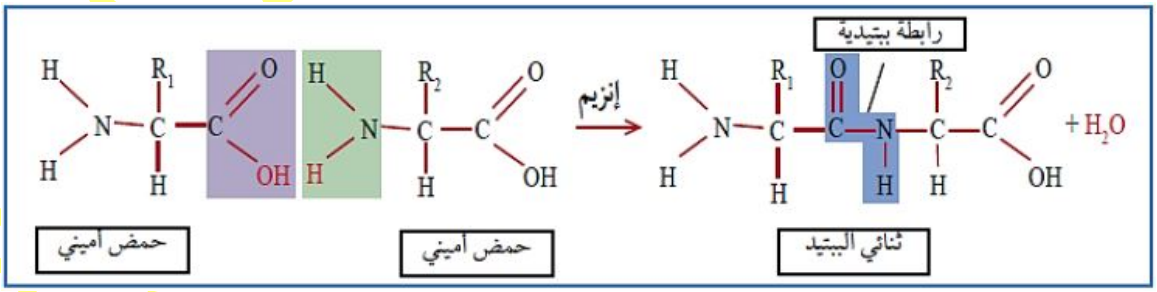
*- عندما يكونpHالوسط أكبر منpHi الحمض الأميني،هذا الأخير يسلك سلوك الحمض في وسط قاعدي حيث تتأيــن المجموعة الحمضية بفقدانها بروتون على مستوى الوظيفة فيصبح الحمض الأميني سالب الشحنة لهذا يتجه نحو القطب الموجب.

*- عندما يكونpHالوسط أصغر منpHiالحمض الأميني،هذا الأخير يسلك سلوك القاعدة في وسط حامضي حيث تتأيــن المجموعة الأمينيةباكتسابها بروتون فيصبح الحمض الأمينيموجب الشحنة لهذا يتجه نحو القطب السالب.

*- عندما يكونpHالوسط يساويpHiللحمض الأميني،يكون الحمض الأميني متعادل كهربائيا حيث مجموع الشحنات السالبة و الموجبة متساوي (شحنة الحمض الأميني معدومة) لهذا لا يتجه الحمض الأميني لأي قطب.

3- تشكيل الرابطة الببتيدية:

*- تشكل الرابطة الببتيدية (رابطة تكافئية) نتيجة ارتباط المجموعة الكربوكسيلية للحمض الأميني الأول و المجموعة الأمينية للحمض الأميني التالي مع انطلاق جزيء من الماء.



4- النماذج المستعملة لتمثيل البنية الفراغية للبروتين و فوائدها: يمكن تمثيل البنية الفراغية للبروتين باستخدام عدة نماذج:

*- نموذج العود أو الكرة و العود: لإظهار أنواع الذرات المكونة للبروتين.

*- نموذج المكدس (الكرة): لإظهار حجم البروتين.

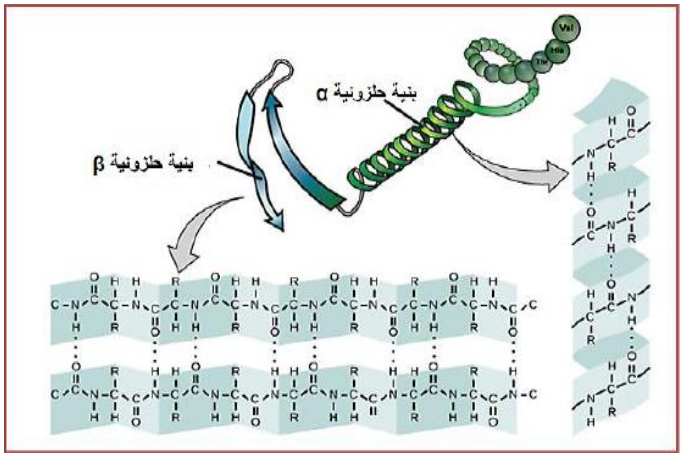
*- نموذج الشريط أو الشريط السميك: هو النموذج الأكثر استعمالا لأنه يظهر لنا بوضوح البنيات الثانوية حيث اللون الأحمر يمثل البنية الثانوية α (الشكل الحلزوني)، بينما اللون الأصفر يمثل البنية الثانوية β (شكل الوريقات المطوية) و يتم إظهار مناطق الانعطاف في السلسلة الببتيدية باللون الأبيض و الأزرق، و من مميزاته أيضا أنه يسمح لنا بمقارنة البنيات الفراغية للبروتينات.

5- الوسائل المستعملة لتمثيل البنية الفراغية للبروتين: يمكن تمثل البنية الفراغية للبروتين بإستعمال برنامج الراستوب (برنامج كمبيوتر متخصص في البنيات الفراغية للجزيئات خاصة البروتينات)حيث يسمح لنا بـ:

*- تغيير نموذج العرض بسهولة و الاستفادة من مميزات كل نموذج.

*- معرفة عدد و تتابع الأحماض الأمينية التي تدخل في تركيب البروتين.
*- عرض نموذجين أو أكثر في آن واحد لإجراء المقارنة.
*- تحديد البنيات الثانوية و مناطق الانعطاف و عددها في البروتين.
*- تحديد الموقع الفعال و طريقة ارتباط البروتين بمادة التفاعل.
*- تدوير الجزيئة في كل الاتجاهات و تغيير اللون.
*-تعيين و إبراز الجذور الجانبية للأحماض الأمينية في السلاسل البروتينية.
كما يمكن استعمال أجزاء صلبة من البلاستيك أو الخشب في تمثيل البنية الفراغية للجزيئات البسيطة (الأحماض الأمينية).

6- مستويات البنية الفراغية للبروتينات:



أ- البنية الأولية: هي تتابع أحماض أمينية مرتبطة فيما بينها بروابط ببتيدية لتكوين سلسلة ببتيدية.

ب- البنية الثانوية: تتشكل البنية الثانوية نتيجة انثناء و انطواء السلسلة الببتيدية ذات البناء الأولي و ذلك بتشكل روابط هيدروجينية بين المجموعات CO و NH لروابط الببتيدية، نميز في البنية الثانوية نوعين من الأشكال:

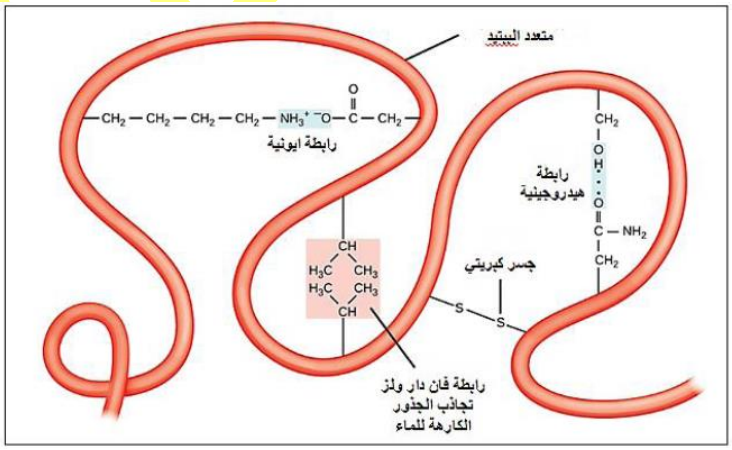
- البنية الثانوية α: هي انطواء السلسلة الببتيدية في مناطق محددة لتأخذ شكلا حلزونيا.
- البنية الثانوية β: هي انطواء السلسلة الببتيدية في مناطق محددة لتأخذ شكل الوريقات المطوية.

كما نميز في السلاسل الببتيدية ذات البنيات الثانوية وجود مناطق بينية ليس لها أشكال محدد.

ج- البنية الثالثية: تتشكل البنية الثالثية نتيجة انثناء و انطواء السلسلة الببتيدية ذات البناء الثانوي على مستوى المناطق البينية لهذا تدعى هذه الأخيرة بمناطق الانعطاف (مفاصل)، تتشكل البنية الثالثية و تحافظ على بنائها الفراغي (استقرارها) بسبب نشوء وتشكل أربعة أنواع من الروابط الكيميائية:

- الروابط الهيدروجينية: توجد بين الوظائف الكيميائية في الجذور الجانبية R للأحماض الآمينية في السلاسل البروتينية.
- الروابط الشاردية (الملحية): توجد بين المجموعات الكيميائية الموجبة و السالبة في الجذور الجانبية R المتأينة.
- قوى التجاذب: تجاذب الجذور الكارهة للمـــاء في السلاسل البروتينية.
- الروابط ثنائية الكبريت: تشكل جسور كبريتية بين جذرين لحمضين أمينيين من نوع Cys.

قد تحتوي البنية الثالثية على بنيات ثانوية حلزونية α فقط أو وريقات β فقط أو خليط بين α و β بنسب و توزيع يختلف من بروتين إلى آخر.



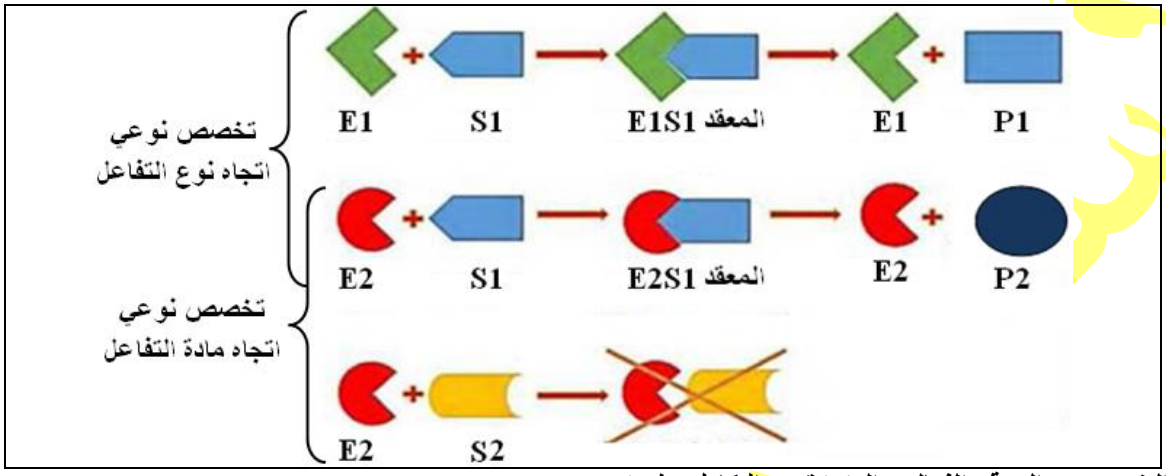
د- البنية الرابعية: هي أكثر البنات تعقيدا لأنها عبارة عن تجمع لسلسلتين ببتيديتين أو أكثر لكل منها بنية ثالثية و تسمى كل سلسلة ببتيدية بتحت الوحدة (مثل الهيموغلوبين يحتوي على أربعة تحت وحدات), ترتبط تحت الوحدات مع بعضها البعض بروابط ضعيفة كالروابط الهيدروجينية, الشاردة و الكارهة للماء.

7-استنتاج دور تتابع و نوع الأحماض الأمينية في تحديـد البنية الفراغية و وظيفة البروتين: عدد، نوع و ترتيب الأحماض الأمينية هو الذي يحدد البنية الفراغية للبروتين هذه الأخيرة تكسبه وظيفته النوعية حيث تنشأ بين جذور أحماض أمينية محددةومتوضعة بطريقة دقيقة في السلسلة الببتيدية حسب الرسالة الوراثية روابط كيميائية(ثنائية الكبريت، شاردية،....) تحدد البنية الفراغية للبروتين وتعمل على ثبات هذه البنية لذلك فإن تكسير هذه الروابط تفقد البروتين بنيته الفراغية و بالتالي تخصصه الوظيفي.

ملخص وحدة النشاط الأنزيمي للبروتينات

1- تعريف الأنزيمات: هي وسائط حيوية ذات طبيعة بروتينية تعمل على تحفيز و تسريع التفاعلات الكيميائية الحيوية في شروط محددة (يتأثر نشاطها بدرجة حرارة و pH الوسط) دون أن تستهلك حيث تتميز بتأثيرها النوعي المزدوج (تأثيرها النوعي اتجاه مادة التفاعل و تأثيرها النوعي اتجاه نوع التفاعل). تتميز الأنزيمات بوجود مواقع فعالة بأعداد محددة على مستوى بنيتها الفراغية خاصة بارتباط مادة التفاعل (S).

2- تعريف الموقع الفعال: هو جزء من الأنزيم يظهر في شكل جيب (تجويف) له القدرة على التعرف النوعي بمادة التفاعل، الارتباط معها و تحويلها كونه يبدي تكامل بنيوي مع جزء من الركيزة. يتكون الموقع الفعال من منطقتين هامتين، منطقة التعرف و تثبيت الركيزة و منطقة تحفيز التفاعل الكيميائي.

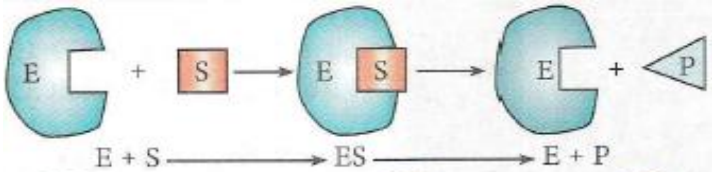


3- التكامل البنيوي بين الموقع الفعال و الركيزة: يتم التكامل بطريقتين:

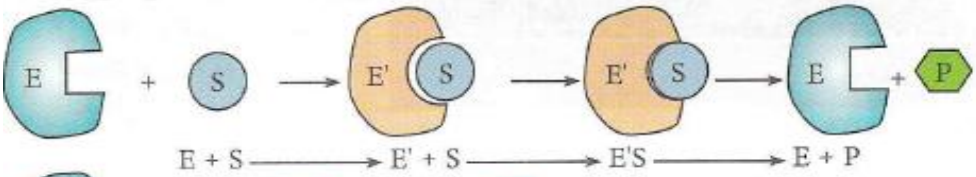
***- القفل و المفتاح:** يكون شكل الموقع الفعال مكملا لجزء من الركيزة في وجود أو غياب هذه الأخيرة.

***- التكامل المحفز:** في غياب الركيزة، لا يتوافق شكل الموقع الفعال (الأحماض الأمينية المشكلة له متباعدة) من الأنزيم مع شكل مادة التفاعل غير أن وجود هذه الأخيرة (مادة التفاعل) و تحت تأثيرها يغير الأنزيم شكل الموقع الفعال (الأحماض الأمينية المشكلة له متقاربة) حتى يتوافق مع مادة التفاعل ويدعى ذلك بالتكامل المحفز.

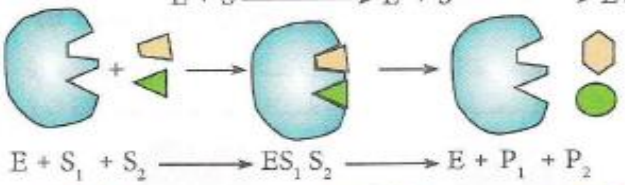
4- أنواع التفاعلات التي يقوم بها الإنزيمات: نميز ثلاثة أنواع من التفاعلات الأنزيمية هي تفاعل تحويل، تفاعل بناء (تركيب) و تفاعل تحليل (تفكيك، اماهة).



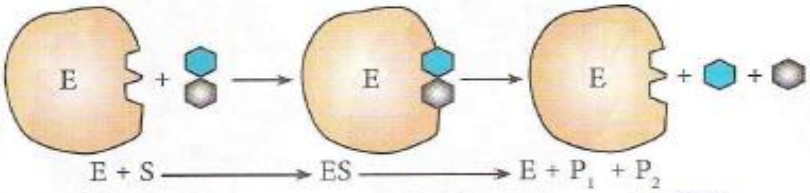
تفاعل تحويل مادة تفاعل واحدة



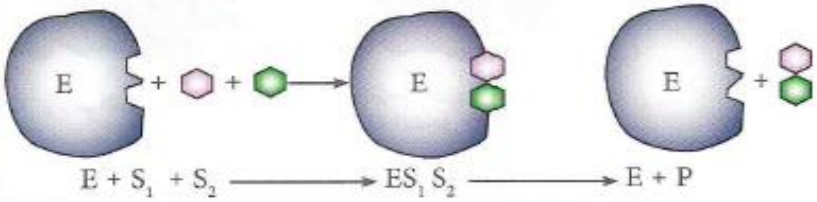
تفاعل تحويل مادة تفاعل واحدة (في وجود تكامل محفز)



تفاعل تحويل ركيزتين



تفاعل تحليل الركيزة إلى ناتجين



تفاعل بناء

5- آلية حدوث تفاعل أنزيمي (في وجود تكتمل محفز): في غياب الركيزة (قبل الارتباط)، لا يتوافق شكل الموقع الفعال للأنزيم مع شكل مادة التفاعل غير أن وجود هذه الأخيرة (مادة التفاعل) و تحت تأثيرها يغير الإنزيم شكل الموقع الفعال حتى يتوافق مع مادة التفاعل ويدعى ذلك بالتكامل المحفز(تصبح المجموعات الكيميائية الضرورية لحدوث التفاعل في الموقع المناسب للتأثير على مادة التفاعل) فيحدث الارتباط بينهما حيث تنشأ روابط كيميائية انتقالية (ضعيفة) بين جزء من مادة التفاعل و بعض المجموعات الكيميائية الحرة للأحماض الأمينية المشكلة للموقع الفعال فيتشكل المعقد انزيم – مادة التفاعل, بعد ذلك يحدث التفاعل الأنزيمي (تحويل أو تحليل أو بناء) و يتحرر الناتج أما الموقع الفعال للأنزيم فيعود إلى شكله الفراغي الأصلي الذي كان موجود في غياب الركيزة.

6- العلاقة بين السرعة الإبتدائية للتفاعل الإنزيمي (Vi) و تركيز الركيزة (S): السرعة الإبتدائية للتفاعل الإنزيمي تتناسب طردا مع التراكيز الضعيفة لركيزة، أما في التراكيز العالية لمادة التفاعل فيتشبع الإنزيم (المواقع الفعالة) و تصل سرعة التفاعل إلى أقصاها.

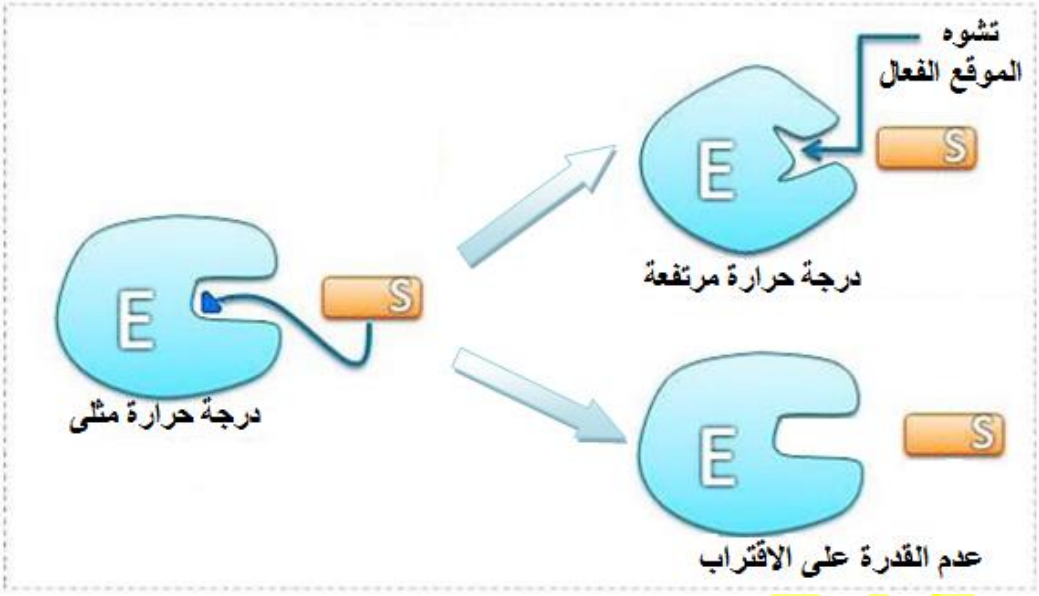
7- العلاقة بين بنية الأنزيم و تخصصه الوظيفي: يتوقف النشاط الأنزيمي على بنيته الفراغية و بالضبط بنية موقعه الفعال (المحددة بعدد، نوع و ترتيب أحماض أمينية معينة حسب الشفرة الوراثية)، هذا الأخير يبدي تكامل بنيوي مع جزء من مادة التفاعل فتكون المجموعات الكيميائية الضرورية لحدوث التفاعل في الموقع المناسب للتأثير على مادة التفاعل فيحدث الارتباط بينهما حيث تنشأ روابط كيميائية انتقالية (ضعيفة) بين جزء من مادة التفاعل و بعض المجموعات الكيميائية الحرة للأحماض الأمينية المشكلة للموقع الفعال فيتشكل المعقد أنزيم– مادة التفاعل، بعد ذلك يحدث التفاعل الأنزيمي (تحويل أو تحليل أو بناء) و يتحرر الناتج في الأخير.
يؤدي تغير البنية الفراغية للأنزيم إلى تغير بنية الموقع الفعال هذا الأخير يصبح غير متكامل بنيويا مع مادة التفاعل فلا يحدث الارتباط بينهما (لا يتشكل المعقد أنزيم– مادة التفاعل) و بالتالي لا يتم التفاعل الأنزيمي و هذا ما يجعله غير وظيفي.

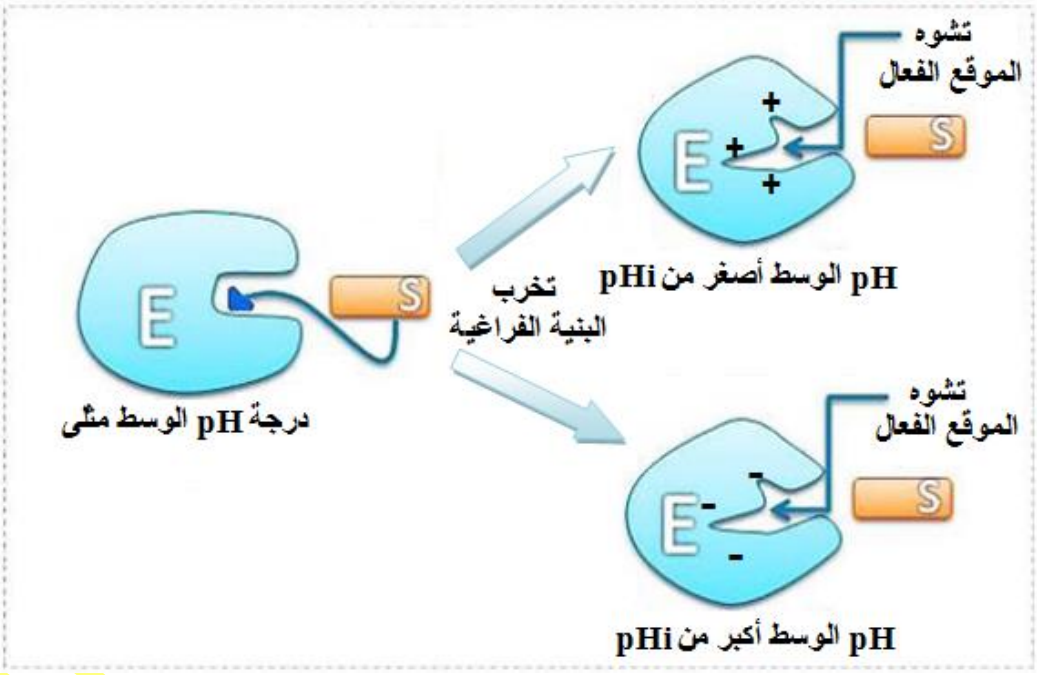
8- مزايا استعمال التجريب المدعم بالحاسوب في قياس نشاط الأنزيمات:
- يسمح بالقياس السريع للمواد المتفاعلة أو النواتج بدقة .
- يسمح لنا بمتابعة سير التفاعل على الشاشة بصورة لحظية (آنية) لا تنتظر انتهاء التجربة للحصول على النتائج.
- يسمح لنا بمشاهدة تأثير إضافة مركبات أو تغيرات في شروط التفاعل مباشرة .
- يسمح بالحفاظ على النتائج في ذاكرة الحاسوب، و ذلك بالرجوع إليها في أي وقت .
- كما يمكن إجراء رسم منحنى بياني في نفس المعلم للتجربة السابقة لغرض المقارنة.

9- تفسير لآلية تأثير درجة الحموضة على النشاط الأنزيمي: تؤثر درجة حموضة الوسط على الحالة الكهربائية للوظائف الكربوكسيلية و الأمينية الموجودة في جذور الأحماض الأمينية وبالخصوص تلك الموجودة على مستوى الموقع الفعال للإنزيم بحيث:
- في الوسط الحمضي (pH الوسط أقل من درجة ال pHالوسط المثلى) يسلك الأنزيم سلوك القاعدة فتكتسب الوظائف الآمينية الحرة للأنزيم بروتونات فتصبح الشحنة الإجمالية له موجبة.
- في الوسط القاعدي (pH الوسط أعلى من درجة ال pHالوسط المثلى)يسلك الأنزيم سلوك الحمض فتفقد الوظائف الكربوكسيلية الحرة للأنزيم بروتونات فتصبح الشحنة الإجمالية له سالبة.
و في كلتا الحالتين يفقد الموقع الفعال شكله المميز بصورة غير عكسية مما يمنع التكامل بين المجموعات الكيميائية للموقع الفعال والمجموعات الكيميائية لمادة التفاعل وهذا ما يعيق تثبيت مادة التفاعل وبالتالي يمنع حدوث التفاعل.
بينما عندpH الوسط يساوي درجة ال pHالوسط المثلى فتكون البنية الفراغية للأنزيم مستقرة تسمح بحدوث التكامل البنيوي للموقع الفعال مع مادة التفاعل فتكون المجموعات الكيميائية الضرورية لحدوث التفاعل في الموقع المناسب للتأثير على مادة التفاعل حيث تتشكل روابط كيميائية ضعيفة بين المجموعات الكيميائية الحرة لبعض الأحماض الأمينية للموقع الفعال و جزء من مادة التفاعل و بالتالي يحدث التفاعل و يتشكل المعقد أنزيم - مادة التفاعل (الركيزة) و لذلك يكون نشاط الأنزيم أعظميا.

10- تفسير لآلية تأثير درجة الحرارة على النشاط الأنزيمي: تؤثر درجة الحرارة على نشاط الأنزيم حيث:
- عند درجة حرارة الوسط المثلى، تكون البنية الفراغية للأنزيم مستقرة تسمح بحدوث التكامل البنيوي للموقع الفعال مع مادة التفاعل فتكون المجموعات الكيميائية الضرورية لحدوث التفاعل في الموقع المناسب للتأثير على مادة التفاعل حيث تتشكل روابط كيميائية ضعيفة بين المجموعات الكيميائية الحرة لبعض الأحماض الأمينية للموقع الفعال و جزء من مادة التفاعل و بالتالي يتشكل المعقد أنزيم - مادة التفاعل (الركيزة) و يحدث التفاعل و لذلك يكون نشاط الأنزيم أعظميا.
- عند ارتفاع درجة حرارة الوسط عن القيمة المثلى تتأثر الروابط الكيميائية الضعيفة في جزيء الأنزيم خاصة الهيدروجينية، فبانكسار و تفكك هذه الروابط يتغير الشكل الفراغي للموقع الفعال للأنزيم و يفقد تكامله البنيوي مع الركيزة بصورة غير عكسية ، فلا يتشكل المعقد ES و بالتالي يفقد الأنزيم نشاطه.
- أما عند انخفاض درجة حرارة الوسط عن القيمة المثلى فينخفض نشاط الأنزيم حتى يتوقف و بصورة عكسية نظرا لقلة حركة الجزيئات.

11- نمذجة تأثير الحرارة و الـpH على النشاط الأنزيمي:





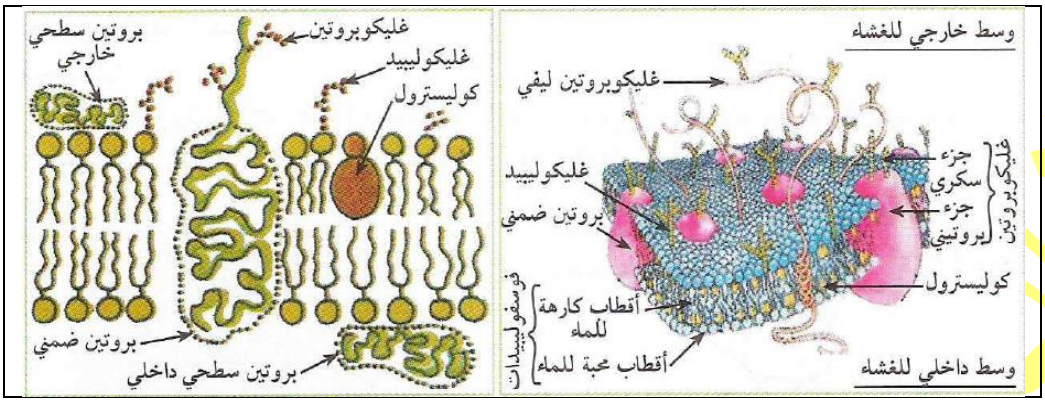
ملخص وحدة دور البروتينات في الدفاع عن الذات

النشاط 1: الـذات و الـلاذات

I- البنية الجزيئية للغشاء الهيولي: يتكون الغشاء الهيولي من طبقتين من الدسم الفوسفورية (الفوسفوليبيدات حيث تتوضع جزيئات الفوسفوليبيد في طبقتين تتقابل فيهما جزيئات الدسم بواسطـة الأقطاب الكارهة للماء للداخل و تكون أقطابها المحبة للمـاء للخارج) يتخللها جزيئات بروتينية ضخمة كروية الشكل و أخرى خيطيـة تخترق عرض الغشاء تسمى بروتينات ضمنية كما تتوضـع جزيئات بروتينية أخرى بعضها على السطح الداخلي وبعضها الآخـر على السطح الخارجي تدعى بالبروتينات السطحية.

يتميز السطح الخارجي للغشاء بامتداد سلاسل سكرية (جذور سكرية) بعضها يرتبط بالدسم فيشكل معه ما يدعى بالغليكوليبيد و بعضها الآخر يرتبط بالبروتين فيشكل معه ما يدعى بالغليكوبروتين. كما يحتوي الغشاء الهيولي على الكوليسترول الذي يتوضع بين جزيئات الفوسفوليبيد.

- تسمية نموذج الغشاء الهيولي بالفسيفسائي المائع: تنوع المكونات الغشائية و اختلاف طبيعتها و أشكالها تكسب الغشاء مظهرا فسيفيسائيا، أما حركيتها فتكسبه خاصية الميوعة لذلك يسمى هذا النموذج بالفسيفسائي المائع.



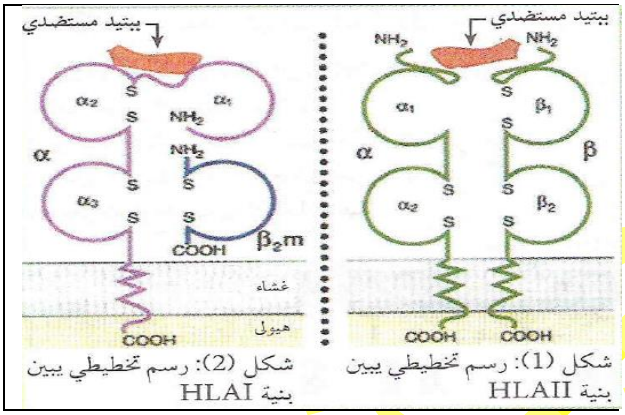
II- الجزيئات الغشائية المتدخلة في التعرف على الذات و اللاذات (محددات أو مؤشرات الذات):

1- جزيئات HLA أو CMH:

أ- التعريف: عبارة عن بروتينات سكرية غشائية تدعى عند الإنسان بالHLA أما عند الحيوان فتدعى بال CMH و تشرف على تركيبها مجموعة من المورثات تدعى بمورثات ال CMH (معقد التوافق النسيجي الرئيسي). نميز نوعين من جزيئات HLA أو CMH:

HLA1: يتواجد على غشاء كل خلية بها نواة (جميع خلايا الإنسان ما عدا الكريات الدموية الحمراء).

HLA2 : يوجد على سطح الخلايا المناعية فقط (اللمفاويات البائية و البالعات الكبيرة).



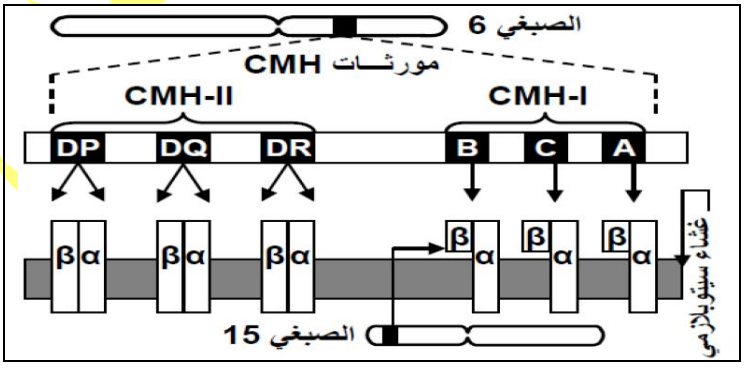
ب- المقارنة بين بنية نوعي HLA عند الإنسان:

HLA1	HLA2
بنية رابعية	بنية رابعية
يتكون من سلسلتين بروتينيتين غير متناظرتين، سلسلة ثقيلة α (مكونة من α1 + α2 + α3) مع وجود جسور كبريتية) و سلسلة خفيفة β_2m.	يتكون من سلسلتين بروتينيتين ثقيلتين متناظرتين, السلسلة α (مكونة من α1 + α2) مع وجود جسور كبريتية) و السلسلة β (مكونة من β1 + β2) مع وجود جسور كبريتية).
فقط السلسلة α غليكوبروتينية.	السلسلتان α و β غليكوبروتينية
فقط السلسلة α تخترق الغشاء الهيولي	السلسلتان تخترقان الغشاء الهيولي
موقع تثبيت الببتيد المستضدي مغلق حيث تشكله فقط السلسلة الثقيلة α	موقع تثبيت الببتيد المستضدي مفتوح حيث تشترك السلسلتان في تشكيله

ج- تحديد المنشأ الوراثي للـ HLA عند الإنسان:

*- المورثات التي تشرف على إنتاج كل من HLA1 هي المورثة A أو B أو C من معقد ال CMH المحمولة على الصبغي رقم 6 و التي تنتج السلسلة α أما المورثة β2m المحمول على الصبغي رقم 15 تنتج السلسلة β2m.

*- المورثات التي تشرف على إنتاج كل من HLA2 هي المورثة DPD (1 أو DQD (2 أو DRD (3 من معقد الCMH المحمول على الصبغي رقم 6 التي تنتج السلاسل متعددة الببتيد α و المورثة β.



د- العلاقة بين رفض الطعم و CMH: يتعلق قبول الطعم أو رفضه بجزيئات ال CMH لكل من الآخذ و المانح، لأن هذه الجزيئات تعتبر مؤشرات للذات فإن تماثلها بين الآخذ و المانح يؤدي إلى قبول الطعم و اختلافها يؤدي إلى رفضه.

و- تفسير الاختلاف بين جزيئات ال HLA من شخص لأخر: يعود ذلك إلى:

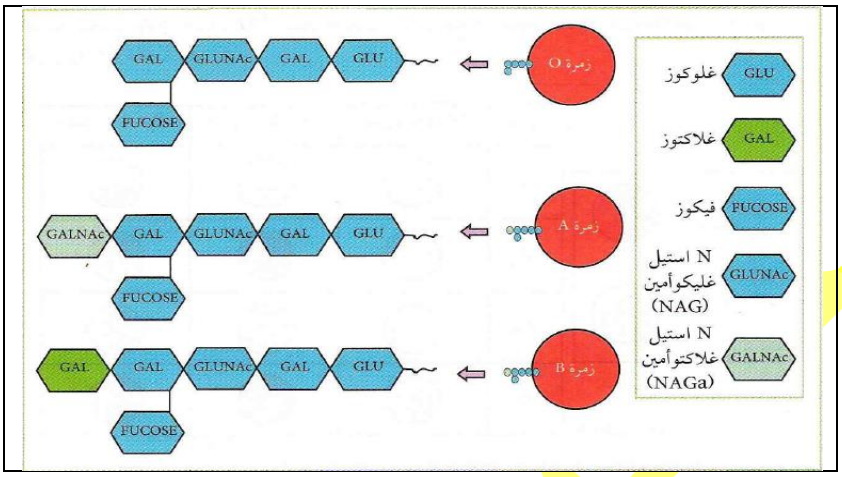
- تعدد مورثات CMH كما أن لكل مورثة مجموعة كبيرة من الأليلات مما ينتج عنه تنوع كبير في جزيئات ال HLA.
- غياب السيادة بين الأليلات.
- تلاقي مورثاتCMH الأب مع مورثات CMH الأم مما يزيد من تنوع جزيئات ال HLA.
- ممكن حدوث طفرات وراثية لمورثات CMH مما ترفع من تنوع جزيئات ال HLA.

2- محددات أو مؤشرات الزمر الدموية:

أ)- المستضدات الغشائية لنظام ABO:

***- خصائص كل زمرة:**

الزمرة الدموية	المستضدات الغشائية : مولد الراصة (مولد الضد)	الأجسام المضادة: الراصة في البلازما (الجسم المضاد)
A	**A**	**B (anti b)**
B	**B**	**A (anti a)**
AB	**AB**	//
O	//	**B(anti b)+ A (anti a)**

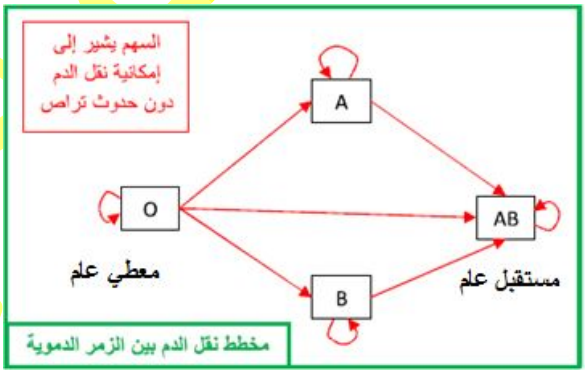


***- المقارنة بين الجزيئات المحددة للزمر الدموية:**

تتحدد الزمر الدموية بجزيئات غليكوبروتينية موجودة على أغشية الكريات الدموية الحمراء (مستضدات غشائية)، حيـــث أن كل الزمر الدموية تشترك في قاعدة سكرية مكونة من 5 سكريات بسيطة (المؤشر H) و تختلف فيما بينها بوجود جزيئة سكرية متصل في نهاية القاعدة السكرية (المؤشر H) و المتمثلة في:

- N أستيل غلاكتوأمين في الزمرة الدموية A.
- غلاكتوز في الزمرة B.
- لا يوجد في الزمرة O.

***- مخطط بسيط يبين حالات التوافق بين المعطي والمستقبل للدم:**



***- مصدر الاختلاف الوراثي بين الزمر الدموية:** يعود الاختلاف بين الزمر الدموية إلى اختلاف أليلات (I^o، I^A، I^B) لمورثة الزمر الدموية (O، A، B) التي تقع على الصبغي رقم 9، حيث:

- يشفر الأليل I^o إلى إنزيم غير وظيفي.
- يشفر الأليل I^A إلى إنزيم A يثبت N غلاكتوأمين على طرف القاعدة السكرية قليلة التعدد.
- يشفر الأليل I^B إلى إنزيم B يثبت الغلاكتوز على طرف القاعدة السكرية قليلة التعدد.

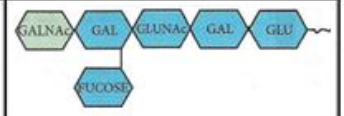
***- العلاقة بين المورثة والنمط الظاهري لمختلف الزمر الدموية:** تنوع أليلات المورثة يقابله اختلاف في النمط الظاهري أي اختلاف في الزمرة الدموية.

- الزمرة A: نمطها الوراثي $I^A I^A$ أو $I^A I^o$.
- الزمرة B: نمطها الوراثي $I^B I^B$ أو $I^B I^o$.
- الزمرة AB: نمطها الوراثي $I^A I^B$.
- الزمرة O: نمطها الوراثي $I^o I^o$.

***- تحديد مختلف الأنماط الوراثية المحتملة و ما يوافقها من مؤشرات الزمر الدموية:**

- تتركب مؤشرات الزمر الدموية المحددة لنظام الABO انطلاقا من جزيئة قاعدية (طلائعية) بتفاعل أول معطيا الجزيئة H، ثم تفاعل ثاني باحتمالات تؤدي إلى الزمر A أو B أو AB.

- تشفر مولدات الراصة (مؤشرات الزمر الدموية المحددة لنظام ال ABO) عند الإنسان بواسطة مورثتين، المورثة الأولى (المورثة H) تقع في الصبغي رقم 19 و يعبر عنها بأليلين. أما المورثة الثانية فتقع في الصبغي 9 و يعبر عنها بواسطة ثلاثة أليلات (I^O، I^A، I^B) كما هو مبين في الوثيقة التالية:

النمط الظاهري			الأنماط الوراثية (الأليلات)	
المستضدي (المؤشرات)		الأنزيمي	المورثة I	المورثة H
O		الأنزيم H وظيفي الأنزيمان A وB غير وظيفيان	I^O . I^O	H . H أو H . h
A		الأنزيم H وظيفي الأنزيم A وظيفي	I^O . I^A I^A . I^A	
B		الأنزيم H وظيفي الأنزيم B وظيفي	I^O . I^B I^B . I^B	
A		الأنزيم H وظيفي الأنزيم A وظيفي الأنزيم B وظيفي	I^A . I^B	
B				
هذا النمط الظاهري نادر ويطلق عليه النمط الظاهري بومباي (Bombay)		غياب الأنزيم H الأنزيمات A وB تكون غير وظيفية لغياب مادة التفاعل المتمثلة في المؤشر H (الجزيئة القاعدية)		h . h

ب)- محددات (عامل) الريزوس Rhesus للزمر الدموية:

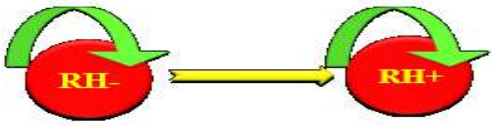
***- الخصائص و المميزات:**

الزمرة الدموية	المستضدات الغشائية : مولد الارتصاص (مولد الضد)	الأجسام المضادة: الراصة في البلازما (الجسم المضاد)
Rh^+	المستضد D	//
Rh^-	//	ضد D

***- المنشأ الوراثي لعامل الريزوس عند الإنسان:** هي مورثة الريزوس المحمولة على الصبغي رقم 01 ولها أليلين حيث Rh^+ سائد على Rh^-.

النمط الظاهري	النمط الوراثي
Rh^+	$Rh^+ Rh^+$ أو $Rh^+ Rh^-$
Rh^-	$Rh^- Rh^-$

***- مخطط بسيط يبين حالات التوافق بين المعطي والمستقبل للدم:**



III- تعاريف هامة:

***- تعريف اللاذات:** هي كل جزيئة غريبة عن العضوية و القادرة على إحداث استجابة مناعية والتفاعل نوعيا مع ناتج الاستجابة قصد القضاء عليها.

***- تعريف الذات:** هي الهوية البيولوجية التي تنتمي إليها خلايا العضوية والتي تُحدَّد بمجموع الغليكوبروتينات الغشائية المحددة وراثيا و المتمثلة في جزيئات ال HLA المحمولة على أسطح الخلايا ذات النواة أما على مستوى الكريات الدم الحمراء فنجد المستضدات الغشائية لنظام ABO و عامل الريزوس.

النشاط 2: الاستجابة المناعية الخلطية

I- مراحل الاستجابة المناعية الخلطية:

1- مرحلة التعرف و الانتقاء: تتعرف الخلايا LB مباشرة على المستضد الحر (ذو منشأ خارجي) عن طريق مستقبلاتها الغشائية BCR مما يؤدي إلى حدوث الاختيار اللمي لها كما تقوم الخلايا البالعة ببلعمة المستضد و هضمه جزئيا و عرض محدداته بواسطة HLA2.

- تتعرف الخلايا LT4 عن طريق مستقبلها الغشائـــي TCR على المحدد الببتيدي المقدم من طرف البالعة بواسطةHLA2 (تعرف مزدوج) فيحدث انتخاب لمـــة منها.

2- مرحلة التنشيط: تتنشط لمة الخلايا LB و LT4 المنتقاة باكتساب المستقبلات الغشائية للأنترلوكين 2 تحت تأثير الأنترلوكين1 المفرز من طرف الماكروفاج العارضة لمحددات نفس المستضد ثم تنفصل LT4 عن البالعة و تقوم بإفراز الأنترلوكين2.

3- مرحلة التكاثر و التمايز: يتثبت الأنترلوكين 2 المفرز من طرف الخلايا LT4 على مستقبلات غشائية خاصة به و الموجودة على سطح غشاء الخلايا التي أفرزته، فيقوم بتحفيزها (تحفيز ذاتي) على التكاثر و التمايز إلى LTh مفرزة للأنترلوكين 2 و LT4m.
يرتبط الأنترلوكين 2 المفرز من طرف LTh (الناتجة عن تمايز LT4 التي تعرفت سابقا على محددات نفس المستضد) على مستقبلات غشائية خاصة به و الموجودة على سطح الخلايا LB المنشطة ليحفزها على التكاثر و التمايز إلى خلايا بلازمية منتجة للأجسام المضادة و خلايا LBm (الذاكرة).

4- مرحلة التنفيذ و القضاء على المستضد: ترتبط الأجسام المضادة مع المستضد الذي حرض على إنتاجها مشكلا معقدات مناعية نظرا لوجود تكامل بنيوي بين موقع الارتباط الموجود في أطراف القطع المتغيرة للأجسام المضادة مع محـددات المستضد مما يؤدي إلى إبطال مفعول هذه المستضدات، تعديلها، منع انتشارها وتكاثرها و تسهيل عملية القضاء على المستضد بظاهرة البلعمة.

***- وصف مراحل البلعمة:**

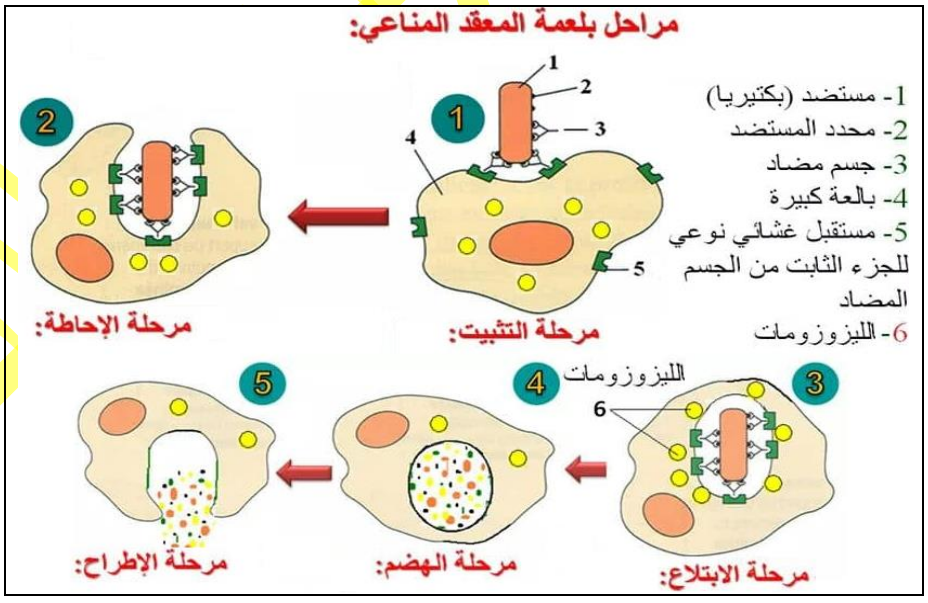
أ)- مرحلة التثبيت: خلالها يتم تثبيت الجسم المضاد و هو مرتبطا بالمستضـــــد (المعقد المناعي) بواسطة القطعة الثابتة منه على مستقبلات خاصة بها على غشاء الخلية البالعة.

ب)- مرحلة الإحاطة: ينتج عن التثبيت حركة في الغشاء باتجاه داخل الخلية فيغوص الغشاء و معه المعقد المناعي مرتبطا به داخل البالعة.

ج)- مرحلة الاقتناص (الإدخال): يستمر امتداد الغشاء الهيولي حـــــول المعقد المناعي على شكل أرجل كاذبة. تنغلق الأرجل الكاذبة (امتدادات الغشاء) فيصبح المستضد ضمن حويصل اقتناصي داخل الخلية البالعة.

د)- الهضم: تتحد حويصلات تحتوي على الأنزيمات (الليزوزومات) مع الحويصل الإقتناصي و التي تعمل على تحليل و هضم المعقد المناعي و القضاء عليه.

و)- مرحلة الإطراح: يتم التخلص من الفضلات الناتجة عن تحليل المعقد المناعي باتحاد الحويصلات المحتوية عليها مع غشاء الخلية البالعة و انفتاحها نحو خارج الخلية (ظاهرة الإطراح الخلوي).



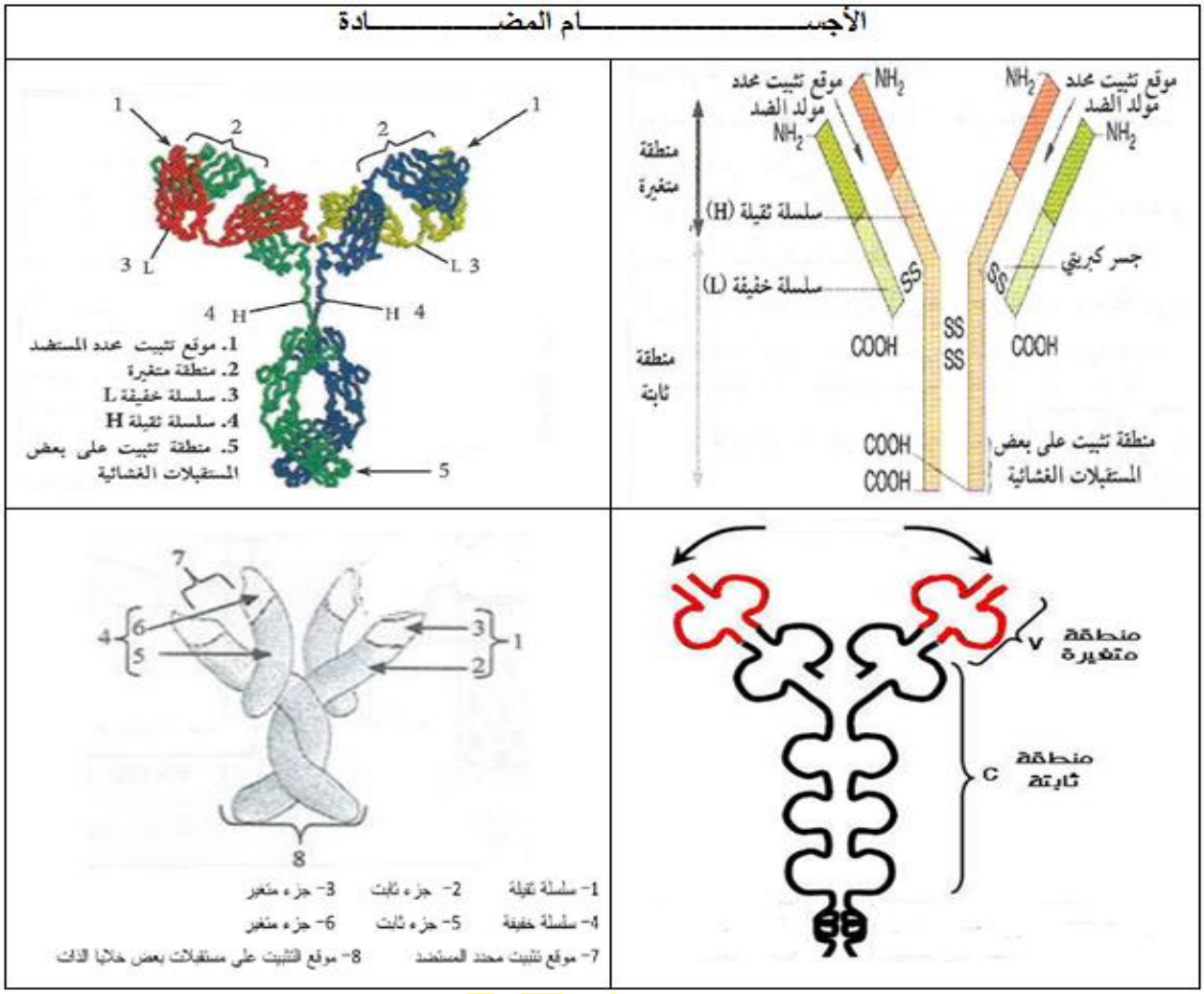
II- معلومات هامة:

1- الجسم المضاد:

أ- طبيعة الأجسام المضادة: ذات طبيعة بروتينية و تنتمي إلى مجموعة الغلوبيلينات المناعية من النوع γ.

ب- وصف بنية الجسم المضاد: يتكون الجسم المضاد من أربعة سلاسل ببتيدية تعطي شكل حرف Y، سلسلتين خفيفتين و سلسلتين ثقيلتيـــن. تتصل السلسلتين الثقيلتين بالسلســلتين الخفيفتين عـــن طريق جسور ثنائية الكبريت، كما تتصل السلسلتين الثقيلتين فيما بينها بواسطة الجسور

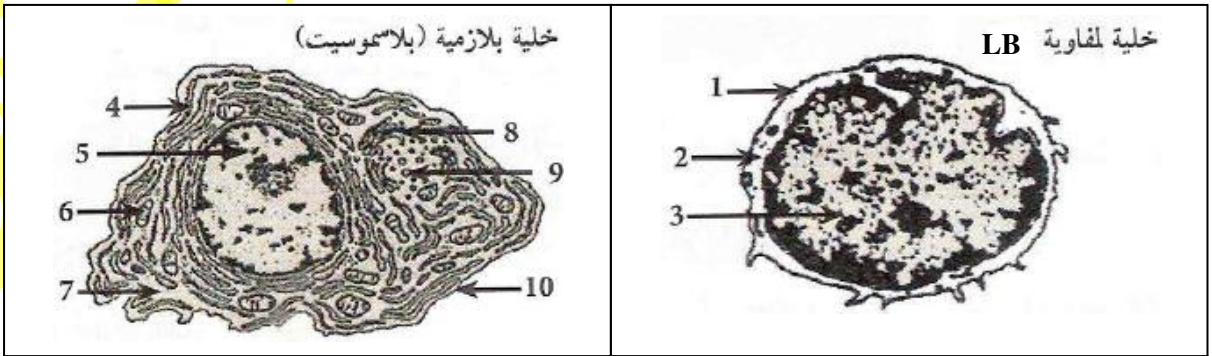
ثنائية الكبريت. تحتوي كل سلسلة من سلاسل الجسم المضاد على منطقة متغيرة (موقع تثبيت محدد المستضد) و منطقة ثابتة (يمكنها التثبت على البالعات). يملك الجسم المضاد موقعين لتثبيت المحددات المستضديـة تشكلهما نهـايات السلاسل الخفيفة والثقيلة للمناطق المتغيرة.



ج- المقارنة بين الأجسام المضادة المصلية و الغشائية:

	الأجسام المضادة السارية	الأجسام المضادة الغشائية BCR
البنية	متماثلة	
المصدر	الخلايا البلازمية	الخلايا اللمفاوية البائية
الموقع	سارية في المصل	مثبتة على أغشية الخلايا اللمفاوية البائية
الدور	تشكيل معقدات مناعية	التعرف على المستضد

2- المميزات البنيوية للخلية البلازمية (بلاسموسيت): الحجم الكبير، شبكة هيولية فعالة نامية (متطورة)، كثرة و تطور أجهزة غولجي و الميتوكوندري، كثرة الحويصلات الإفرازية و هي العضيات التي لها علاقة بتركيب البروتينات (الأجسام المضادة)، نضجه، نقله و إفرازه.



3- منشأ و نضج الخلايا LB: تنشأ و تنضج (تكتسب كفاءتها المناعية بتركيب مستقبلات غشائية BCR) الخلايا اللمفاوية LB في نخاع (نقي) العظام الأحمر.

النشاط 3: الاستجابة المناعية الخلوية

I- مراحل الاستجابة المناعية الخلوية:

1- مرحلة التعرف و الانتقاء: تتعرف الخلايا LT8 عن طريق مستقبلاتها الغشائية TCR تعرفا مزدوجا على محددات المستضد (ذو المنشأ الداخلي) المعروض على سطح الخلايا المصابة بواسطة HLA1 مما يؤدي إلى حدوث الاختيار اللمي لها.

- تتعرف الخلايا LT4 عن طريق مستقبلها الغشائي TCR على المحدد البيتيدي المقدم من طرف البالعة بواسطة HLA2 (تعرف مزدوج) فيحدث انتخاب لمة منها.

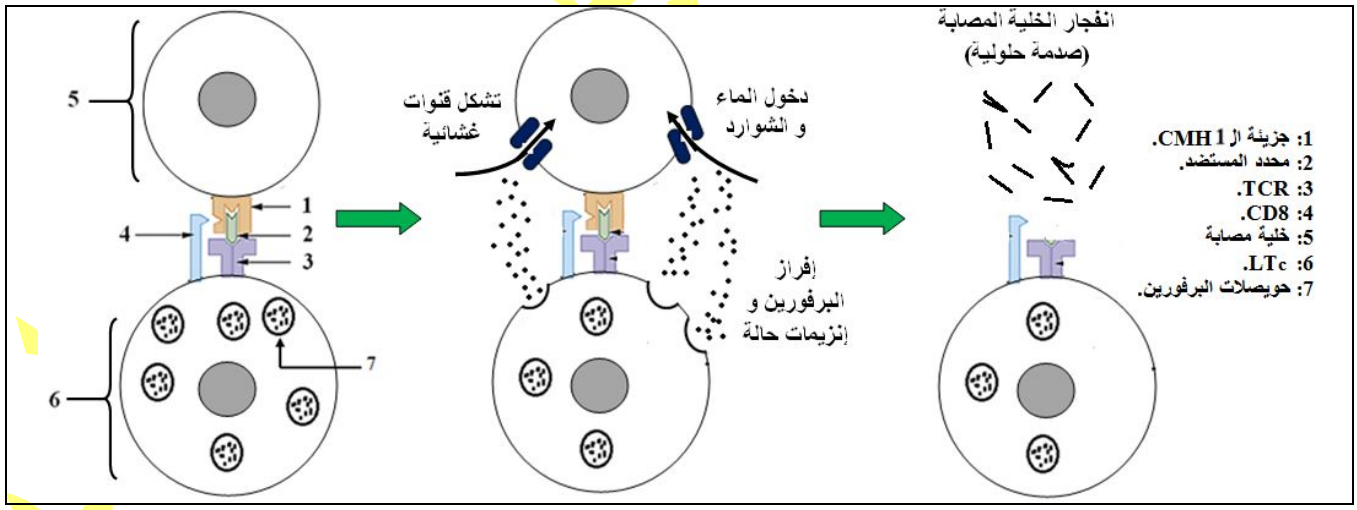
2- مرحلة التنشيط: تتنشط لمة الخلايا LT8 و LT4 المنتقاة باكتساب المستقبلات الغشائية للأنترلوكين 2 تحت تأثير الأنترلوكين1 المفرز من طرف الماكروفاج العارضة لمحددات نفس المستضد ثم تنفصل LT4 عن البالعة و تقوم بإفراز الأنترلوكين2.

3- مرحلة التكاثر و التمايز: يتثبت الأنترلوكين 2 المفرز من طرف الخلايا LT4 على مستقبلات غشائية خاصة به و الموجودة على سطح غشاء الخلايا التي أفرزته، فيقوم بتحفيزها على التكاثر و التمايز إلى LTh مفرزة للأنترلوكين 2 و LT4m (تحفيز ذاتي).

يرتبط الأنترلوكين 2 المفرز من طرف LTh (الناتجة عن تمايز LT4 التي تعرفت سابقا على محددات نفس المستضد) على مستقبلات غشائية خاصة به و الموجودة على سطح الخلايا LT8 المنشطة ليحفزها على التكاثر و التمايز إلى خلايا LTc (السامة) و خلايا LT8m (الذاكرة).

4- مرحة التنفيذ (آلية عمل الخلايا اللمفاوية السمية):

- تتعرف الخلايا اللمفاوية السمية (LTc) تعرفا مزدوجا على الخلية المصابة بالمستضد الذي حرض على إنتاجها، أي تعرف LTc بواسطة TCRعلى محدد المستضد المعروض على سطح الخلية المصابة مرتبطا بالHLA1 نظرا لوجود تكامل بنيوي بينهما. كما يتعرف المؤشر الغشائي للLTc (CD8) على HLA1 نظرا لوجود تكامل بنيوي بينهما أيضا.
- يؤدي التعرف (التماس) إلى تنشيط الخلايا اللمفاوية السمية LT_C بإفراز بروتين البرفورين مع بعض الأنزيمات الحالة (مثل إنزيم كرانزيم المفككة لADN الخلايا المصابة) في شكل حويصلات.
- تنتظم (تتوضع) جزيئات البرفورين على غشاء الخلية المصابة مشكلة قنوات حلولية تسمح بدخول الماء و الشوارد إليها مسببة انفجار الخلية المصابة (صدمة حلولية).
- يتم التخلص من الخلايا المخربة عن طريق ظاهرة البلعمة.



II- معلومات هامة:

1- منشأ و نضج الخلايا اللمفاوية LT:

تنشأ الخلايا اللمفاوية T في نقي العظام، يهاجر بعضها (طليعة T) إلى الغدة التيموسية حيث يتم تركيب مستقبلات نوعية على أغشيتها و المتمثلة في TCR بالإضافة إلى مؤشرات غشائية CD8 أو CD4 و هذا على مستوى المنطقة القشرية للغدة التيموسية.

تنتج أصناف عديدة من الخلايا اللمفاوية التي تختلف في هذه المستقبلات الغشائية، و التي تكتسب كفاءتها المناعية على النحو الأتي:

الانتقاء الأول (الانتقاء الايجابي): يتم على مستوى المنطقة القشرية للغدة التيموسية (الزعترية) حيث يحتفظ باللمفاويات T التي مستقبلاتها لها ألفة مع HLA الذات (أي تتعرف على HLA الذات) و تهدم أو تقصى اللمفاويات الأخرى التي لم تتعرف عليه.

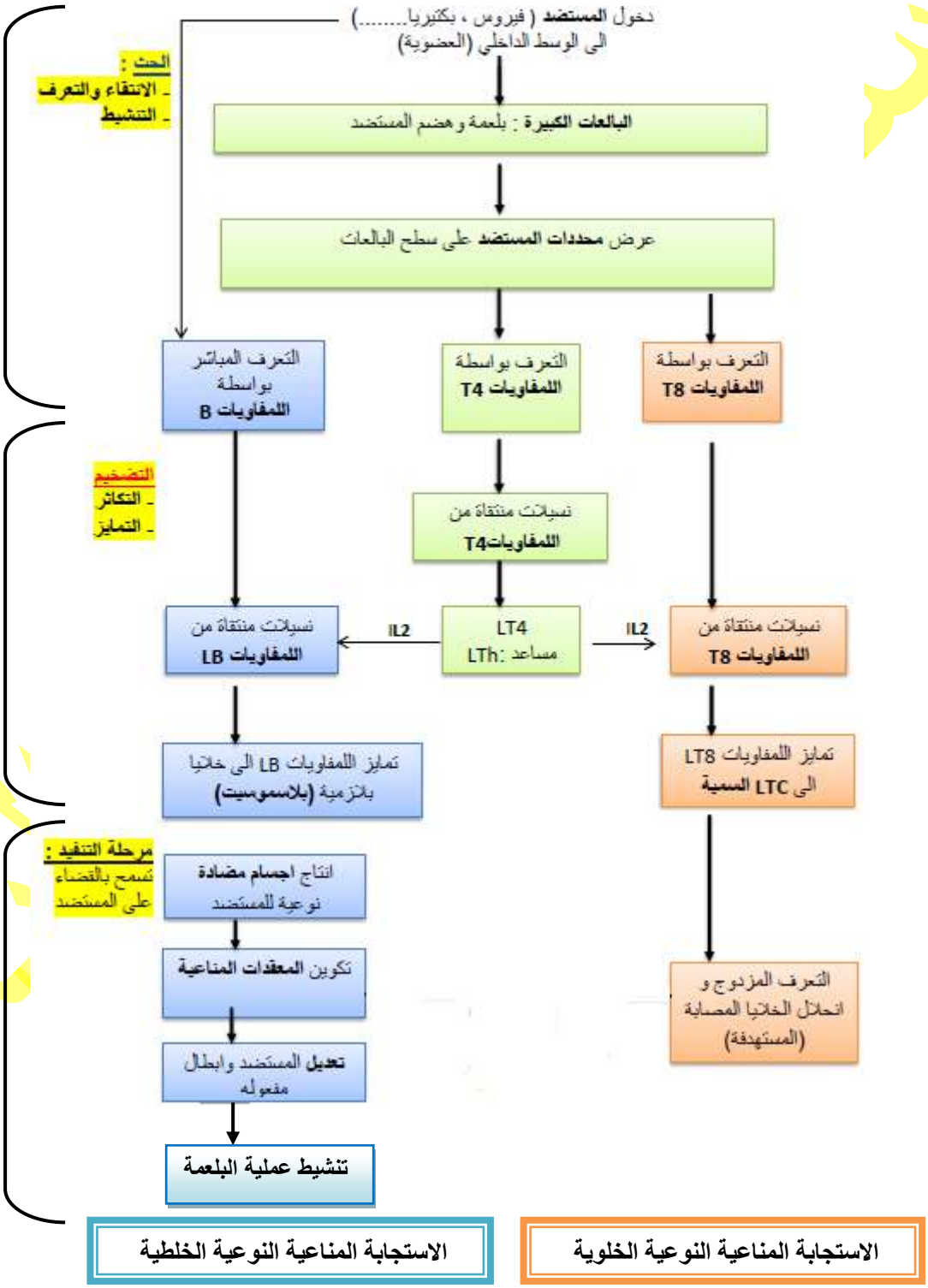
الانتقاء الثاني (الانتقاء السلبي): يتم على مستوى المنطقة النخاعية (اللب) للغدة التيموسية حيث تحذف أو تهدم اللمفاويات T التي لها مستقبلات قادرة على التعرف أو الارتباط مع ببتيدات الذات، و يحتفظ باللمفاويات T التي لم تتعرف على ببتيدات الذات، بذلك تصبح هذه اللمفاويات T التي تعرفت على HLA الذات و لم تتعرف على ببتيـــدات الذات ذات كفاءة مناعية (ناضجة) و قادرة على تحمل الذات حيث:

- اللمفاويات التائية التي تعرفت علىHLA1 بواسطة المؤشر CD8 تدعى بالخلايا LT8.
- اللمفاويات التائية التي تعرفت علىHLA2 بواسطة المؤشر CD4 تدعى بالخلايا LT4.

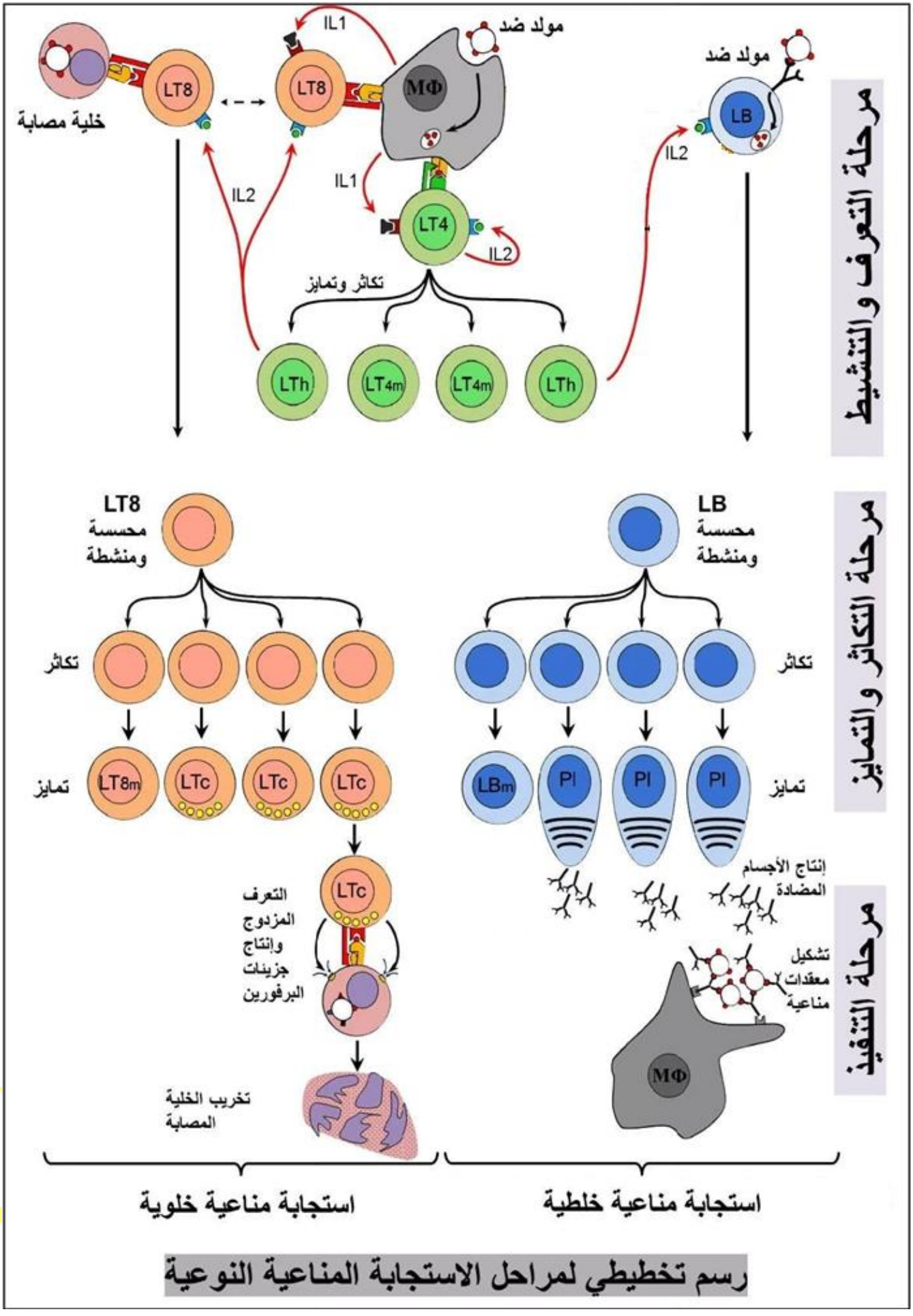
2- شروط تخريب الخلايا العصبية المصابة من طرف LT_C:

- إصابة الخلايا بالمستضد الذي حرض على إنتاج (تمايز) الخلايا اللمفاوية LTc.
- توافق CMH الخلايا المصابة والخلايا اللمفاوية LTc.

3- مخطط تحصيلي للاستجابة المناعية الخلطية و الخلوية:

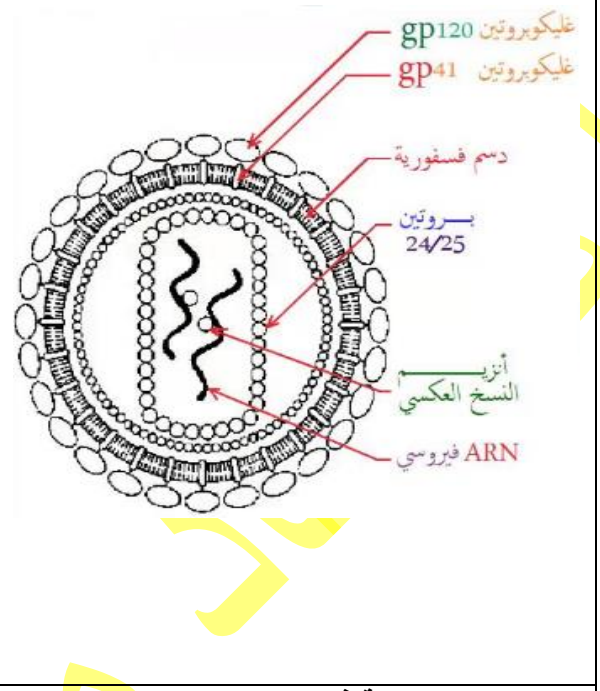


4- رسم تخطيطي تحصيلي للاستجابة المناعية الخلطية و الخلوية:

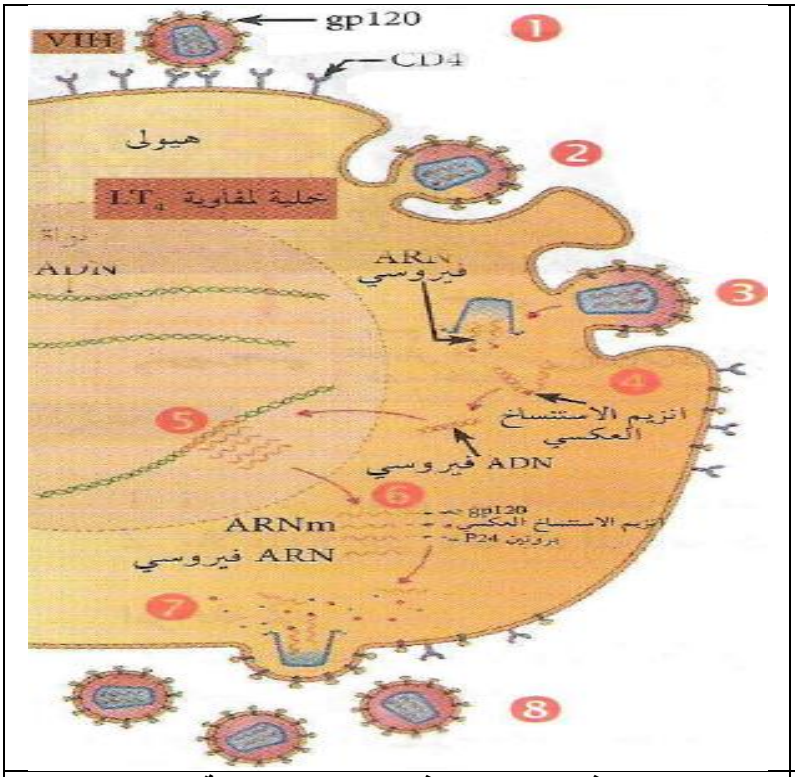


رسم تخطيطي لمراحل الاستجابة المناعية النوعية

النشاط 4: سبب فقدان المناعـــة المكتسبـــة



بنية فيروس VIH



دورة فيروسVIH في الخلايا اللمفاوية LT4

1- وصف لبنية فيروس VIH مع حديد مكوناته الجزيئية: يتكون غشـــاء VIH من طبقة فوسفوليبيدية تتخللها على مسافات منتظمة غليكوبروتينات، جزء منها ضمني هو (pg41) مرتبط به في الجهة الخارجية (على السطـــح الخارجي) غليكوبروتينات من نوع(gp120).

نجد بداخل VIH محفظة بروتينية خارجية تحيط بأخرى داخلية (p25/24) تحتوي على ARN الفيروسي (المادة الوراثية للفيروس لـذا يصنف VIH ضمن الفيروسات الراجعة)،أنزيم الاستنساخ العكسي و أنزيم الإدماج.

2- وصف دورة فيروسVIH في الخلايا اللمفاوية LT4:

المرحلة	تسميتها	وصفها
1	مرحلة التثبت	يتثبت الفيروس على سطح الخليةLT_4 بفضل التكامل البنيوي بين الغليكوبروتين السطحي gp120 والمستقبل الغشائي CD_4 .
2	مرحلة الدخول	يدخل الفيروس الى الخلية LT_4 بعد اندماج غشائه مع غشاء الخلية LT_4 عبر gp41
3	مرحلة التفريغ	يتم تفريغ محتوى الفيروس في سيتوبلازم الخلية المضيفة LT_4
4	مرحلة الاستنساخ العكسي	بفضل انزيم الاستنساخ العكسي يستنسخ ADN انطلاقا من ARN الفيروسي (يحمل المعلومات الوراثية لفيروس VIH والتي بواسطتها يتم إنتاج فيروسات جديدة).
5	مرحلة الاندماج و الاستنساخ	يتم اندماج سلسلتي ال ADN الفيروس ضمن سلسلة ال ADNالاصلية للخلية LT_4 بفضل انزيم الادماج P32 (الأنتيغراز). يبدأ ال ADN الفيروسي بالتعبير عن مورثاته بنسخها و ينتج عن ذلك جزيئات ARNm و ARN فيروسي.
6	مرحلة الترجمة	تتم ترجمة ARNm الى بروتينات فيروسية (مثلP32،gp41، P24/25، gp120)
7	مرحلة التجميع	يتم تجميع ال ARN الفيروسي مع البروتينات الفيروسية لتشكيل فيروس جديد محاط بمحفظتين.
8	مرحلة التبرعم والتحرير	ينتج عن عملية التبرعم تحرير مجموعة من الفيروسات (تحرر عن طريق الاطراح الخلوي) في الوسط الداخلي (الدم واللمف) لإصابة خلايا LT_4 اخرى.

ملخص وحدة دور البروتينات في الاتصال العصبي

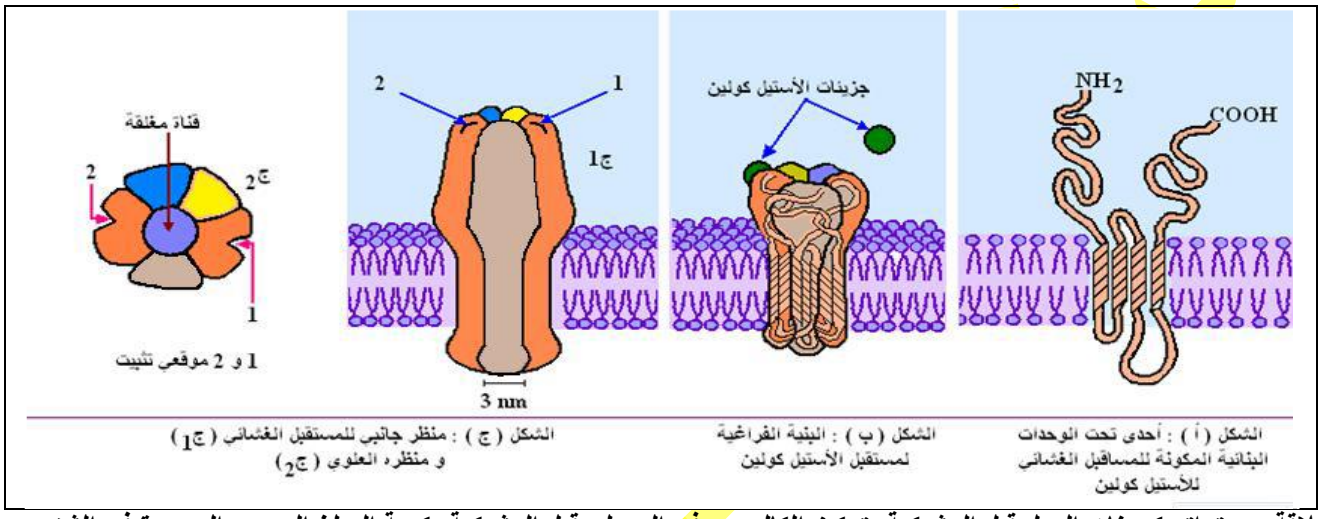
النشاط 1: دور البروتينات في النقل المشبكي.

1- تعريف المشبك: عبارة عن مناطق تمفصل بين خلية قبل مشبكية عصبية و خلية بعد مشبكية عصبية أو عضلية يفصل بينهما شق مشبكي.

2- دور الوسيط الكيميائي العصبي: تؤمن المبلغات العصبية انتقال الرسالة العصبية على مستوى المشبك وتتمثل في مواد كيميائية تحررها النهايات قبل مشبكية وتؤدي إلى تغير الكمون الغشائي للعصبون بعد مشبكي.

3- تحديد المميزات البنيوية للمستقبلات الغشائية للأستيل كولين:

- مستقبلات الأستيل كولين من طبيعة بروتينية.
- يتكون المستقبل الغشائي للأستيل كولين من 5 تحت وحدات تخترق طبقتي الفوسفوليبيد للغشاء البعد مشبكي، وفي مركزها قناة فهو مستقبل قنوي (الإينوفور).
- يحتوي المستقبل الغشائي على موقعين لتثبيت الأستيل كولين.
- تكون هذه القناة مغلقة في غياب المبلغ الكيميائي (الأستيل كولين).



- العلاقة بين تواتر كمونات العمل قبل المشبكية، تركيز الكالسيوم في الهيولى قبل المشبكية، كمية المبلغ العصبي المحررة في الشق المشبكي، عدد القنوات المبوبة كيميائيا للNa^+ ، كمية الNa^+ المتدفقة في الهيولى بعد المشبكية و سعة الPPSE: تواتر كمونات العمل قبل مشبكية يتحكم في كمية Ca^{++} المتدفقة إلى هيولى النهاية قبل مشبكية و التي تتحكم بدورها في كمية المبلغ المحرر في الشق المشبكي، كما أن كمية الوسيط الكيميائي المحررة تتحكم في عدد القنوات المبوبة كيميائيا المفتوحة و التي تتحكم في كمية الNa^+ المتدفقة داخليا، هذه الأخيرة تتحكم في سعة الPPSE حيث توجد علاقة طردية بينهم، و بالتالي شوارد الكالسيوم هي التي تضمن تغير نمط تشفير الرسالة العصبية على مستوى المشبك (الانتقال من التشفير الكهربائي في الخلية قبل المشبكية إلى التشفير الكيميائي في الشق المشبكي).

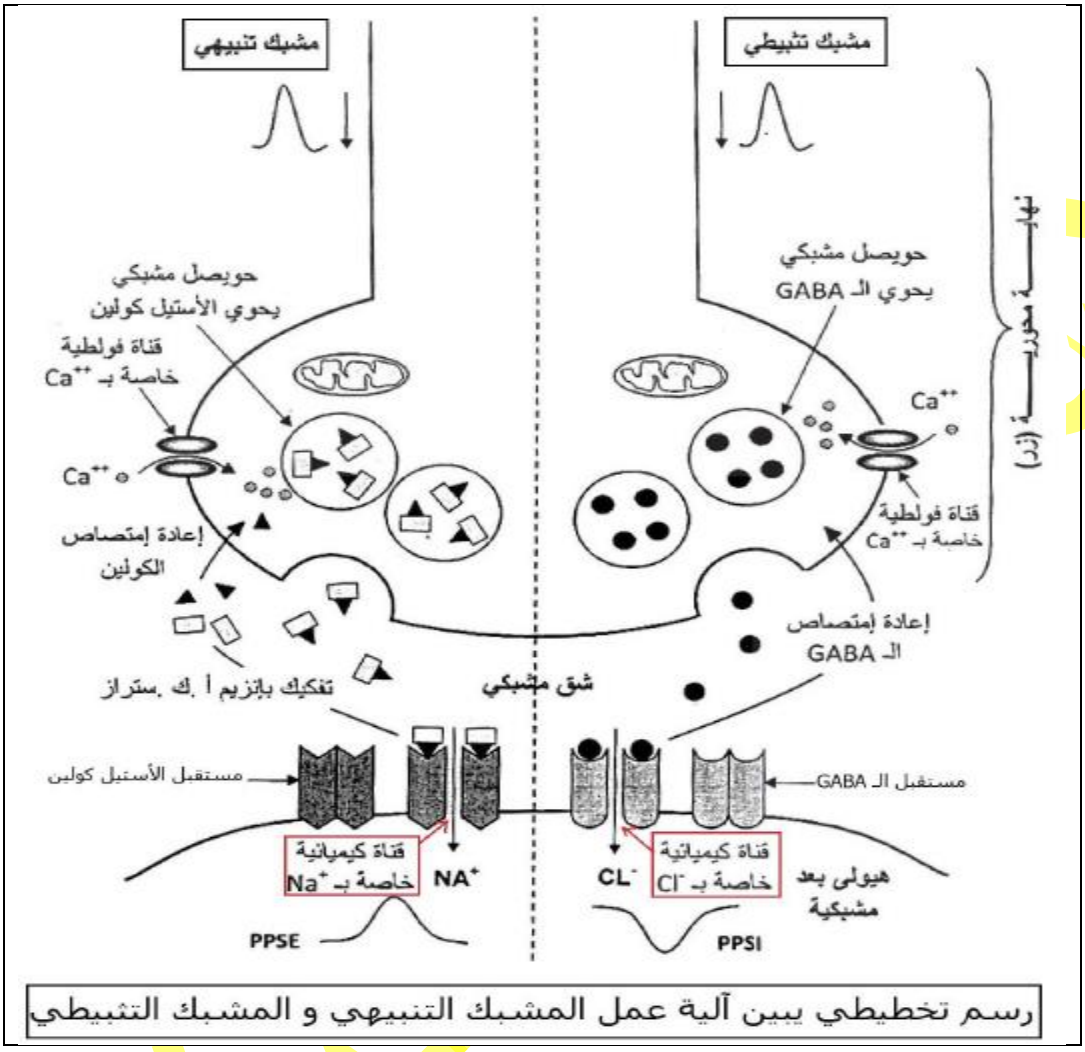
- آلية انتقال السيالة العصبية على مستوى المشبك التنبيهي:

- عند وصول موجة زوال الاستقطاب (كمون عمل) إلى النهاية المحورية للخلية قبل المشبكية (عصبون قبل مشبكي تنبيهي) تنفتح القنوات الفولطية الخاصة بشوارد الكالسيوم مما يسمح بتدفق داخلي (تيار داخلي) لهذه الشوارد إلى هيولى الخلية قبل المشبكية بظاهرة الميز.
- تحفز شوارد الكالسيوم الحويصلات قبل المشبكية على الهجرة نحو الغشاء الهيولي للخلية قبل المشبكية، الاندماج معه وطرح الوسيط الكيميائي المنبه (الأستيل كولين) في الشق المشبكي بظاهرة الإطراح الخلوي.
- يرتبط الأستيل كولين مع مستقبلاته الغشائية النوعية (الأينوفورات) الموجودة على غشاء الخلية بعد المشبكية مما يؤدي إلى انفتاح القنوات المبوبة كيميائيا الخاصة بشوارد الصوديوم وتدفق داخلي لهذه الشوارد عبرها بظاهرة الميز (حسب تدرجها في التركيز) إلى هيولى الخلية بعد المشبكية مما يؤدي إلى زوال استقطاب الغشاء بعد المشبكي (PPSE).
- يفكك الأستيل كولين بواسطة أنزيم الأستيل كولين استيراز المتواجد في الشق المشبكي إلى الأستيل و الكولين و إعادة امتصاص الكولين من طرف النهايات قبل المشبكية.

- آلية انتقال السيالة العصبية على مستوى المشبك التثبيطي:

- عند وصول موجة زوال الاستقطاب (كمون عمل) إلى النهاية المحورية للخلية قبل المشبكية (عصبون قبل مشبكي تثبيطي) تنفتح القنوات الفولطية الخاصة بشوارد الكالسيوم الموجودة على غشاء النهاية المحورية للخلية قبل المشبكية مما يسمح بتدفق داخلي (تيار داخلي) لهذه الشوارد إلى هيولى الخلية قبل المشبكية.
- ترتبط شوارد الكالسيوم مع الحويصلات قبل المشبكية فتحفزها على الهجرة نحو الغشاء الهيولي للخلية قبل المشبكية، الاندماج معه وطرح الوسيط الكيميائي المثبط (الغابا) في الشق المشبكي بظاهرة الإطراح الخلوي.

- يرتبط الغابا مع مستقبلاته الغشائية النوعية الموجودة على غشاء الخلية بعد المشبكية مما يؤدي إلى انفتاح القنوات المبوبة كيميائيا الخاصة بشوارد الكلور وتدفق داخلي لهذه الشوارد عبرها بظاهرة الميز (حسب تدرجها في التركيز) إلى هيولى الخلية بعد المشبكية مما يؤدي إلى تشكيل فرط استقطاب الغشاء بعد المشبكي (الذي يزول فتبقى الخلية في حالة راحة).



رسم تخطيطي يبين آلية عمل المشبك التنبيهي و المشبك التثبيطي

النشاط 2: كمون الراحة.

1- الخاصية التي يتميز بها الليف العصبي: يكون غشاء الليف العصبي أثناء الراحة (في غياب التنبيه) مستقطبا (شحن موجبة في السطح و سالبة في المقطع) حيث نسجل كمون ثابت عند قيمة محصورة بين (-60 و -80) ميلي فولط و هذا ما يعرف بكمون الراحة (الاستقطاب، الكمون الغشائي أثناء الراحة).

2- شروط تسجيل كمون الراحة:

- حيوية الليف العصبي.
- وضع أحد إلكترودي جهاز الأوسيلوسكوب على سطح الليف و الإلكترود الآخر في المقطع.

3- مصدر الكمون الغشائي (كمون الراحة):

- مصدر كمون الراحة هو التوزع المتباين لشوارد الصوديوم و البوتاسيوم على جانبي غشاء الليف العصبي حيث يكون تركيز Na^+ أعلى في الخارج من الداخل و تركيز K^+ أعلى في الداخل من الخارج.
- قيمة كمون الراحة ناتج عن تركيز شوارد البوتاسيوم داخل الليف العصبي لذلك يدعى بكمون البوتاسيوم.
- تتدفق Na^+ و K^+ حسب تدرجها في التركيز (ظاهرة الميز، الانتشار، نقل غير فعال) عبر قنوات الميز الخاصة بها حيث عدد قنوات الميز الخاصة بالبوتاسيوم أكبر من عدد قنوات الميز الخاصة بالصوديوم لهذا يكون تدفق شوارد البوتاسيوم أكبر من تدفق شوارد الصوديوم.
- <u>مميزات قنوات الميز:</u> *- عبارة عن قنوات غشائية تخترق طبقتي الفوسفوليبيد للغشاء. *- قنوات مفتوحة باستمرار.
*- تسمح بنقل الشوارد حسب تدرج التركيز.

4- ثبات كمون الراحة: ناتج عن ثبات التوزع المتباين لشوارد الصوديوم و البوتاسيوم على جانبي غشاء الليف العصبي نظرا لتدخل مضخة صوديوم / بوتاسيوم التي تعمل على إخراج شوارد الصوديوم و إدخال شوارد البوتاسيوم عكس تدرجهما في التركيز (نقل فعال).

5- شروط عمل مضخة الصوديوم / بوتاسيوم (ATPase):

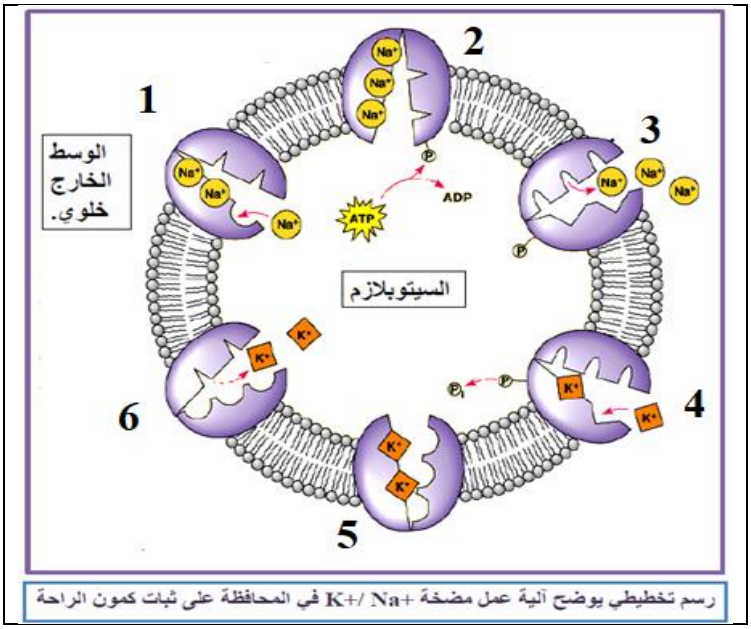
*- درجة حرارة مثلى كون المضخة ذات طبيعة بروتينية.

*- استهلاك طاقة بشكل ATP.

*- يشترط النقل المزدوج للشوارد Na^+ و K^+ أي شاردتين من K^+ و ثلاثة شوارد من Na^+.

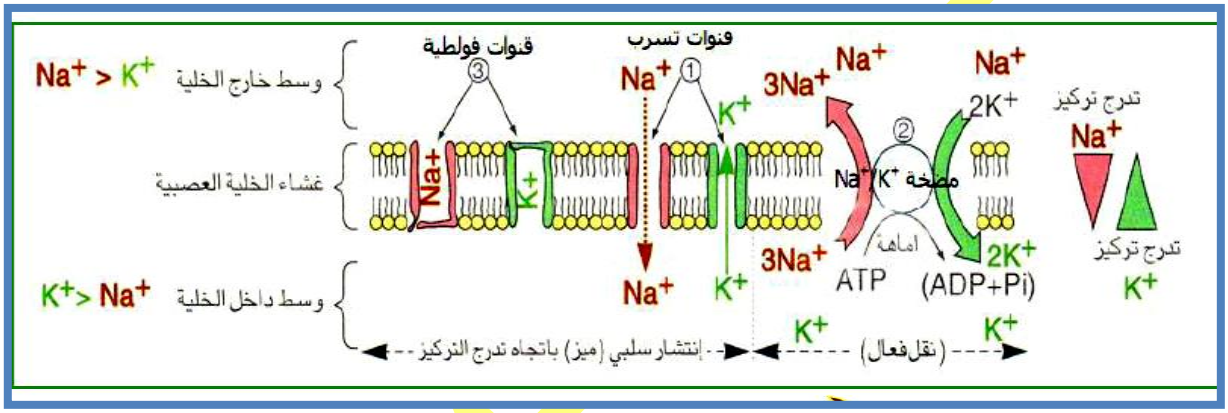
6- آلية عمل المضخة:

- تثبت 3 شوارد صوديوم على المضخة.
- اماهة ATP إلى ADP و Pi يرتبط هذا الأخير بالمضخة (فسفرة المضخة).
- تغير شكل المضخة حيث تصبح مفتوحة نحو الخارج و طرح شوارد الصوديوم للخارج.
- تثبت شاردتي بوتاسيوم على المضخة.
- نزع الفوسفات Pi من المضخة (إزالة فسفرة المضخة) يؤدي إلى تغير شكلها فتصبح مفتوحة بجهة الداخل.
- تحرير شاردتي البوتاسيوم في الوسط الداخلي، و تعاد الدورة من جديد.



رسم تخطيطي يوضح آلية عمل مضخة +K+/ Na في المحافظة على ثبات كمون الراحة

7- رسم تخطيطي وظيفي يلخص عمل مختلف البروتينات الغشائية أثناء الراحة:



النشاط 3: كمون العمل قبل المشبكي

1- تعريف كمون العمل قبل المشبكي: هو فرق الكمون (زوال استقطاب) المسجل على جانبي غشاء ليف عصبي قبل مشبكي إثر تنبيه فعال.

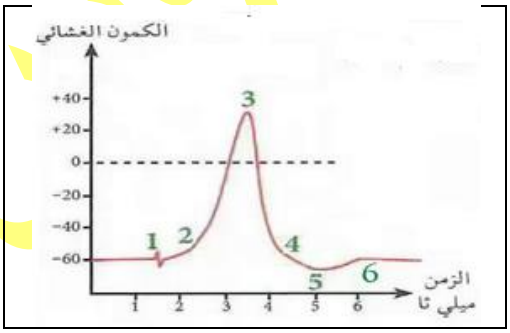
2- شروط تسجيل كمون العمل قبل المشبكي:

- بلوغ شدة التنبيه العتبة أو أكثر (تنبيه فعال).
- بلوغ زوال الاستقطاب العتبة أو أكثر.
- حيوية الليف العصبي.
- وضع أحد إلكترودي جهاز الأوسيلوسكوب على سطح الليف و الإلكترود الآخر في المقطع.

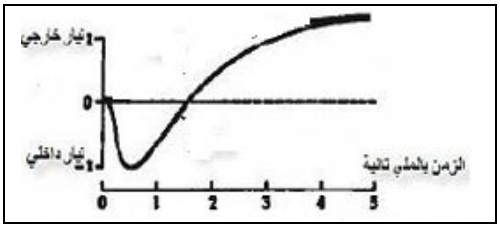
3- العلاقة بين شدة التنبيه و كمون العمل: (قانون الكل أو لا شيء)

- إذا كانت شدة التنبيه أقل من العتبة لا نسجل كمون عمل (يبقى الليف في حالة راحة).
- إذا كانت شدة التنبيه تساوي أو أكبر من العتبة نسجل كمون عمل حيث كلما زادت شدة التنبيه زاد عدد (تواتر) كمونات العمل مع بقاء سعة الكمون ثابتة.

4- تحليل منحنى كمون العمل قبل المشبكي: عند إحداث تنبيه فعال (مثل تطبيق كمون مفروض)على مستوى ليف عصبي قبل مشبكي نسجل في جهاز الأوسيلوغراف منحنى كمون عمل أحادي الطور حيث:



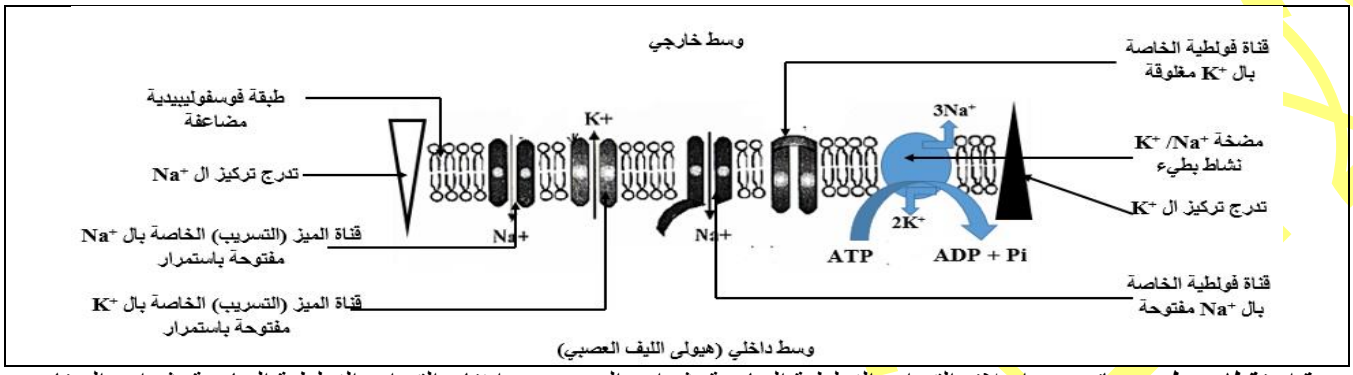
- قبل 1: كمون راحة ثابت عند -60 ميلي فولط.
- عند 1: لحظ التنبيه.
- من 1 إلى 2: الزمن الضائع بين لحظة التنبيه و وصول التنبيه (كمون راحة).
- من 2 إلى 3: زوال استقطاب سريع يصل إلى +35 ميلي فولط.
- من 3 إلى 4:عودة استقطاب بطيء.
- من 4 إلى 5: فرط استقطاب طفيف.
- من 5 إلى 6:العودة إلى الاستقطاب (كمون الراحة).



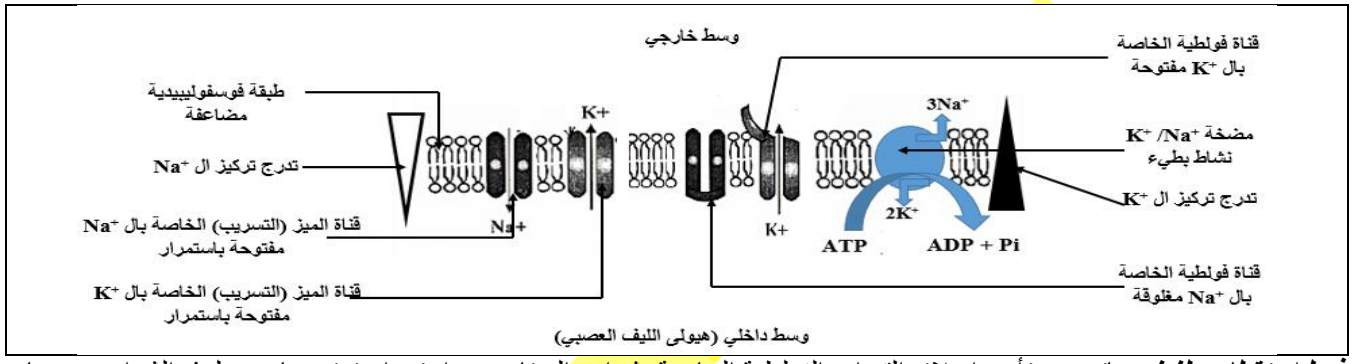
5- التيارات الناتجة عن كمون العمل قبل المشبكي: عند إحداث تنبيه فعال على مستوى ليف عصبي قبل مشبكي نسجل تيار داخلي سريع سرعان ما يزول يليه تيار داخلي بطيء.

6- مصدركمون العمل قبل المشبكي (التفسير الشاردي):

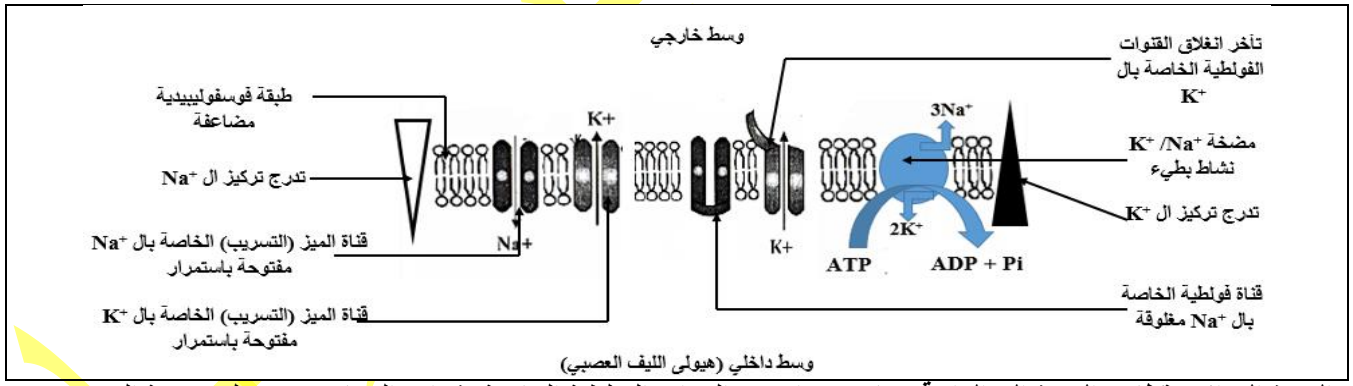
- زوال استقطاب سريع: ناتج عن انفتاح سريع للقنوات الفولطية (المبوبة كهربائيا)الخاصة بشوارد الصوديوم وتدفق داخلي لهذه الشوارد عبرها (تيار داخلي) حسب تدرجها في التركيز (بظاهرة الميز)مع بقاء القنوات الفولطية الخاصة بشوارد البوتاسيوم مغلقة.



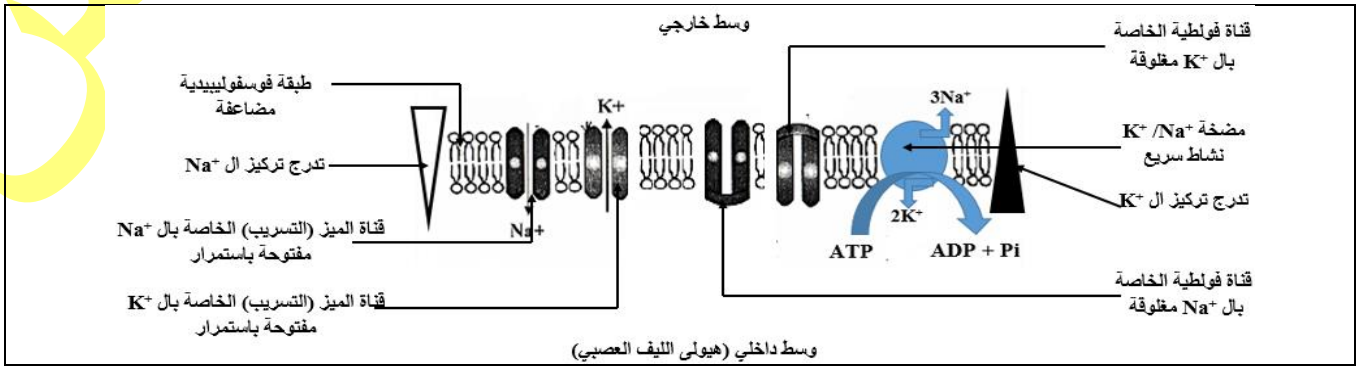
- عودة استقطاب بطيء: ناتج عن انغلاق القنوات الفولطية الخاصة بشوارد الصوديوم وانفتاح القنوات الفولطية الخاصة بشوارد البوتاسيوم وتدفق خارجي لهذه الشوارد عبرها (تيار خارجي) حسب تدرجها في التركيز(بظاهرة الميز).



- فرط استقطاب طفيف: ناتج عن تأخر انغلاق القنوات الفولطية الخاصة بشوارد البوتاسيوم واستمرار تدفق خارجي لهذه الشوارد عبرها (تيار خارجي) حسب تدرجها في التركيز.



- العودة إلى الاستقطاب (العودة إلى الراحة): ناتج عن انغلاق القنوات الفولطية الخاصة بشوارد البوتاسيوم وتدخل مضخة الصوديوم / بوتاسيوم التي تعمل على إخراج شوارد الصوديوم وإدخال شوارد البوتاسيوم (ثلاثة شوارد صوديوم مقابل شاردتي بوتاسيوم) عكس تدرجهما في التركيز (نقل فعال) ويتطلب ذلك استهلاك طاقة ATP.



7- انتشار كمون العمل قبل الشبكي: ينتشر كمون العمل قبل الشبكي على طول الليف العصبي عديم النخاعين نظر لوجود و انتشار القنوات الفولطية لشوارد الصوديوم والبوتاسيوم على طول الليف العصبي (المحور الأسطواني) حيث يؤدي التنبيه الفعال إلى انفتاح هذه القنوات، أما على مستوى الليف العصبي المنخع (المغمد) فتنتقل السيالة العصبية على مستوى اختناقات رينفر.

النشاط 4: الإدماج العصبي.

1- دور العصبون بعد المشبكي: يعمل العصبون بعد المشبكي على دمج الرسائل العصبية المتزامنة (المتقاربة) المتماثلة أو المتضادة التي تصل إليه، حيث يحدث على مستوى القطعة الابتدائية جمع جبري لهذه الرسائل، و تظهر حصيلتها على مستوى المحور الأسطواني في شكل رسالة عصبية واحدة، فإذا كانت حصيلة الدمج تساوي أو تفوق عتبة زوال الاستقطاب فيتشكل كمون عمل بعد مشبكي ينتشر على طول الخلية بعد المشبكية (المحور الأسطواني) أما إذا كانت حصيلة الدمج أقل من العتبة فيبقى المحور الأسطواني في حالة راحة.

2- أنواع الدمج:

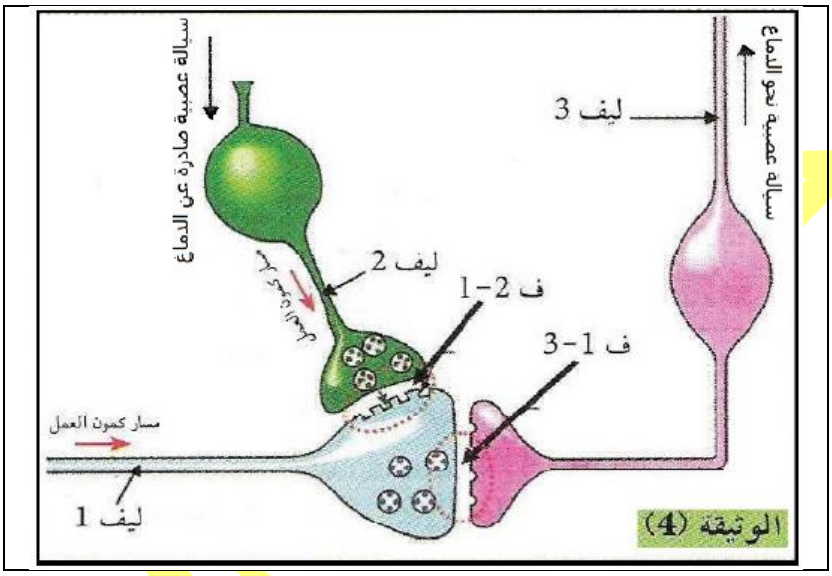
-يدعى جمع الكمونات الناتجة عن تنبيهات (فعالة) مجدية في خلايا قبل المشبكية مختلفة بالتجميع الفضائي (الفراغي).

-يدعى جمع الكمونات الناتجة عن تنبيهات (فعالة) مجدية في نفس الخلية قبل المشبكية بالتجميع الزمن (المؤقت).

النشاط 5: تأثير المخدرات على مستوى المشابك.

1- عواقب تنبيه عصب حسي جلدي: يؤدي تنبيه عصب حسي جلدي إلى الإحساس بألم خاطف يليه ألم متأخر.

2- تفسر الإحساس بالألم الخاطف: ينتج الإحساس بالألم الخاطف عن انتقال السيالة العصبية الحسية بسرعة (الناتجة عن تنبيه الجلد) عبر ألياف عصبية حسية كبيرة القطر و منخعة (مغمدة) حيث تقوم نهايات هذه الألياف بإفراز المادة P(المسؤولة عن الإحساس بالألم) في الشق المشبكي فترتبط بمستقبلاتها النوعية لموجودة على غشاء العصبون الوارد إلى الدماغ فتتولد سيالة عصبية على مستواه ينقلها إلى الدماغ (المخ) الذي يترجمها إلى إحساس بالألم الخاطف.



3- تفسر الإحساس بالألم المتأخر: ينتج الإحساس بالألم المتأخر عن انتقال السيالة العصبية الحسية ببطء (الناتجة عن تنبيه الجلد) عبر ألياف عصبية حسية صغيرة القطر وغير منخعة حيث تقوم نهايات هذه الألياف بإفراز المادة P (الوسيط الكيميائي المنبه المسؤولة عن الإحساس بالألم) في الشق المشبكي فترتبط بمستقبلاتها النوعية لموجودة على غشاء العصبون الوارد إلى الدماغ فتتولد سيالة عصبية على مستواه ينقلها إلى الدماغ (المخ) الذي يترجمها إلى إحساس بالألم المتأخر.

4- تفسير زوال الإحساس بالألم: بعد الإحساس بالألم يقوم الدماغ (المخ) بإصدار سيالة عصبية تنتقل عبر الصبون الصادر منه، هذا الأخير يفرز مادة الأنكيفالين (الوسيط الكيميائي المثبط المسؤول عن زوال الألم) في الشق المشبكي فترتبط مع المستقبلات الغشائية النوعية الموجودة على غشاء العصبون الحسي الجلدي فتثبط نشاطه و تقلل من إفرازه للمادة P.

5- آلية تأثير المورفين: يقوم المورفين بنفس عمل الأنكيفالين نظرا لامتلاكه نفس نهاية (البنية) هذا الأخير مما يسمح له بالارتباط مع المستقبلات الغشائية الخاصة بالأنكيفالين الموجودة على غشاء العصبون الحسي الجلدي فيثبط نشاطه و يقلل من إفرازه للمادة P.

6- التأثيرات الجانبية للمورفين (المخدرات): استخدام المورفين أو مخدرات أخرى بشكل عشوائي و مفرط خارج نطاق التوجيه الطبي يتسبب في الإدمان الذي قد ينتهي بالموت حيث يسبب خلل في النقل المشبكي في عدة مستويات مثل:

- منع تركيب المبلغ العصبي عن طريق تثبيط الإنزيمات التركيبية انطلاقا من المادة الأولية.
- خروج غير طبيعي للمبلغ العصبي وتعطيل خروج المبلغ العصبي.
- تعطيل عمل المستقبلات الغشائية.
- تثبيط عمل انزيم اماهة الوسيط الكيميائي.
- تعطل امتصاص الوسيط الكيميائي من طرف الخلية قبل المشبكية.

7- العلاقة بين سرعة السيالة العصبية و قطر و بنية الليف العصبي:

- كلما زاد قطر الليف زادت سرعة السيالة العصبية (علاقة طردية).
- وجود غمد النخاعين يزيد من سرعة السيالة العصبية.

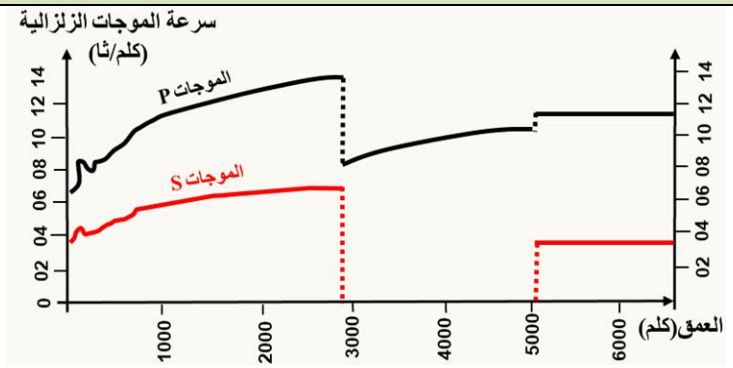
المجال التعلمي II: التكتونية العامة
ملخص الوحدة التعلمية 1: بنية الكرة الأرضية

1- النموذج السيسمولوجي للكرة الأرضية:

اعتمد الجيولوجيون على نوعين من الموجات الزلزالية في دراستهم لطبقات الأرض و هي الموجات الأولية (P) و الموجات الثانوية (S)، أما الموجات (L+R) فلا يتم الاعتماد عليها لكونها موجات مدمرة تنتشر في الأوساط الصلبة و على سطح الكرة الأرضية (في القشرة الأرضية) و بالتالي لا تفيدنا في تحديد طبقات الكرة الأرضية.

الموجات الزلزالية	سرعة انتشارها	أوساط انتشارها
الأولية (p)	السرعة كبيرة بين 6.5 و 13 كيلومتر/ساعة	الصلبة، السائلة و الهواء
الثانوية (S)	السرعة أقل بين 3.8 و 6.5 كيلومتر/سا	الصلبة فقط

- التغير المفاجئ لسرعة انتشار الموجات الزلزالية ناتج عن تغير الحالة الفيزيائية للوسط أو التركيب المعدني للصخر.
- التغير التدريجي لسرعة انتشار الموجات الزلزالية ناتج عن تغير كثافة الوسط.



- الاستدلال على صحة النموذج المقترح لبنية الكرة الأرضية بالاعتماد على معطيات سيسمولوجية: من خلال الوثيقة 9 نلاحظ:

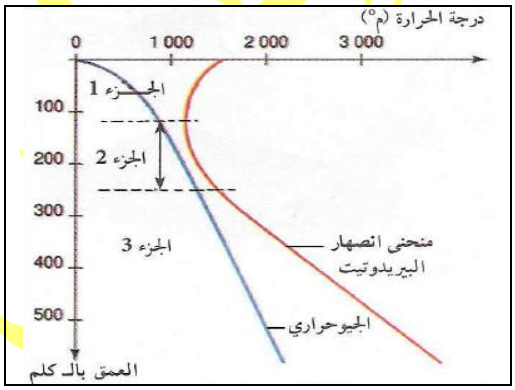
- التغير المفاجئ لسرعة الموجات الزلزالية (P) و (S) في ثلاثة مستويات مختلفة من عمق الأرض (30، 2900 و 5100 كيلومتر) دليل على تغير التركيب المعدني للصخور أي وجود ثلاثة انقطاعات (الانتقال من طبقة إلى أخرى).
- تسجيل كلتا الموجتين (P) و (S) في العمق الممتد من 0 إلى 2900 كيلومتر و من 5100 إلى 6378 كيلومتر دليل على الحالة الفيزيائية الصلبة لهذه الطبقات.
- اختفاء للموجة (S) في العمق الممتد من 2900 إلى 5100 كيلومتر من الأرض دليل على الحالة الفيزيائية السائلة للطبقات الأرضية الموجودة في هذا العمق.
- ثبات سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) بعد العمق 5100 كيلومتر دليل ثبات كثافة الوسط.
- التزايد التدريجي لسرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) في العمق الممتد من 0 إلى 2900 كيلومتر، التزايد التدريجي لسرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) في العمق الممتد من 5100 إلى 6378 كيلومتر مما يدل على تزايد كثافة الوسط الذي تنتشر فيه.

و منه نستنتج أن: الكرة الأرضية تتكون من 4 أغلفة أو طبقات (3 طبقات صلبة هي قشرة أرضية، برنس و نواة داخلية، و طبقة سائلة هي النواة الخارجية) تفصل بينهم 3 انقطاعات هي:
*- انقطاع موهو يقع على عمق 30 كيلومتر من الكرة الأرضية.
*- انقطاع غوتنبرغ يقع على عمق 2900 كيلومتر من الكرة الأرضية.
*- انقطاع ليهمان يقع على عمق 5100 كيلومتر من الكرة الأرضية.

2- الخواص الفيزيائية للصخور القشرة الأرضية و البرنس (التمييز بين الليتوسفير و الأستينوسفير):

- منحنى الجيوحراري: هو منحنى يوضح درجة حرارة الصخر في عمق معين من الارض مثلا صخر على عمق 500 كلم درجة حرارته 1800 م° و صخر على عمق 200 كلم درجة حرارته 1100 م°.
- منحنى انصهار البيريدوتيت: يعبر عن درجة الحرارة التي ينصهر عندها البيريدوتيت في عمق معين مثلا الصخر الذي يتواجد على عمق 500 كلم يتطلب درجة حرارة 3200 م° اما الصخر الذي يتواجد على عمق 200 كلم فيتطلب انصهاره 1300 م°.

- المقارنة بين منحنى انصهار البيريدوتيت و منحنى التدرج الحراري الأرضي: من خلال المقارنة نلاحظ ما يلي:



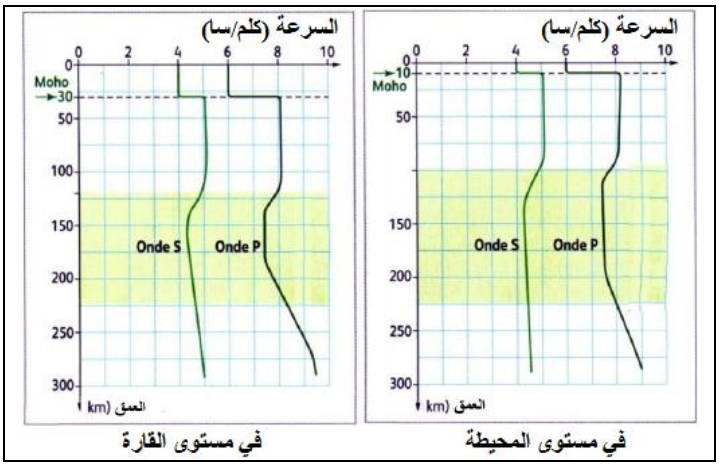
- في الجزء 1 (العمق بين 0 و 100 كلم): منحنى التدرج الحراري بعيد عن منحنى انصهار البيريدوتيت مما يدل على أن ظروف الضغط و الحرارة لا تسمح بانصهار البيريدوتيت فيكون الصخر في هذا الجزء **صلبا**.
- في الجزء 2 (العمق بين 100 و 250 كلم): اقتراب منحنى التدرج الحراري من منحنى انصهار البيريدوتيت مما يدل على تحقق شروط الانصهار الجزئي للبيريدوتيت أي أن المادة (الصخور) المشكلة لهذا الجزء انتقالية (أكثر مطاطية).
- في الجزء 3 (العمق بين 250 و 700 كلم): ابتعاد منحنى التدرج الحراري من منحنى انصهار البيريدوتيت مما يدل على أن المادة (الصخور) المشكلة لهذا الجزء أقل مطاطية (صلبة).

***- استنتاج:** تسمح تغير الحالة الفيزيائية للبيريدوتيت بتحديد الحالة الفيزيائية لمختلف طبقات البرنس العلوي و بالتالي التمييز بين الليتوسفير و الأستينوسفير حيث: - البرنس العلوي (الليتوسفيري) و البرنس السفلي صلب و متين.

- البرنس المتوسط أو الأستينوسفير (LVZ النقطة الفاصلة بين الليتوسفير و الأستينوسفير) مرن (مطاطي).

- تفسير الوثيقة:

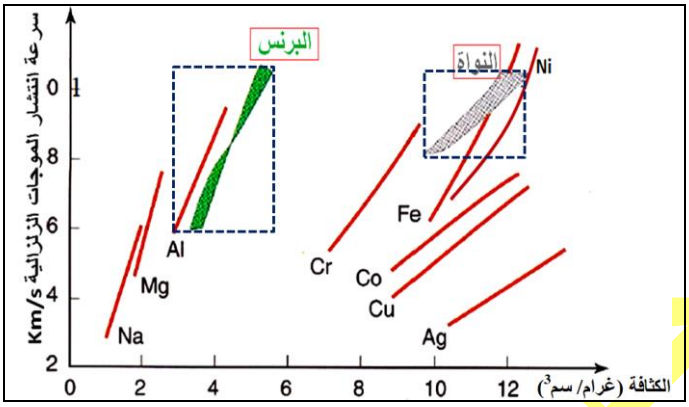
- من 0 إلى 10كلم (أسفل المحيط) أو من 0 إلى 30 كلم (أسفل القارة): يعود ثبات سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) إلى الحالة الفيزيائية الصلبة للصخور المشكلة لهذا العمق.
- عند العمق 10كلم أسفل المحيط أو 30 كلم أسفل القارة: يعود ارتفاع سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) بشكل مفاجئ إلى تغير التركيب المعدني للصخور مشكلة (انقطاع موهو) الذي يفصل بين القشرة الأرضية و البرنس الليتوسفيري.
- من 30 إلى 150 تقريبا أسفل القارة أو من 10 إلى 120 كلم تقريبا أسفل المحيط: يعود ثبات سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) إلى الحالة الفيزيائية الصلبة للصخور المشكلة لهذا العمق و ثبات كثافة المواد المشكلة له.



- من 150 إلى 250 كلم تقريبا (النطاق LVZ): يعود تناقص سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) إلى تغير الحالة الفيزيائية للطبقة و التي أصبحت أقل صلابة (مرنة، مطاطية).
- بعد 250 كلم: يعود تزايد سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) إلى تغير الحالة الفيزيائية للطبقة و التي أصبحت أقل مطاطية (صلبة).

3- تحديد الطبيعة الكيميائية للمواد المكونة للبرنس و النواة:

- تحليل نتائج تجربة Birch: توضح الوثيقة العلاقة بين سرعة انتشار الموجات الزلزالية في كل من البرنس و النواة و سرعة موجات التصادم في بعض الأجسام الكيميائية بالإضافة إلى كثافتها حيث نلاحظ:



- في البرنس: سرعة الموجات الزلزالية على مستواها محصور بين 6 و 10 كلم/ثا، و كثافة موادها محصور بين 3 و 5 غرام/سم$^{-3}$، و هي توافق تقريبا سرعة و كثافة العناصر الكيميائية **سيليكات الألومين (البيريدوتيت)**.
- في النواة: سرعة الموجات الزلزالية على مستواها محصور بين 8 و 10 كلم/ثا، و كثافة موادها محصور بين 9 و 11.5 غرام/سم$^{-3}$، و هي توافق تقريبا سرعة و كثافة العناصر الكيميائية **(Fe) و (Ni)**.

- الاستنتاج: البرنس يتكون من سليكات الالومين (البيريدوتيت) و النواة تتكون من الحديد و النيكل.

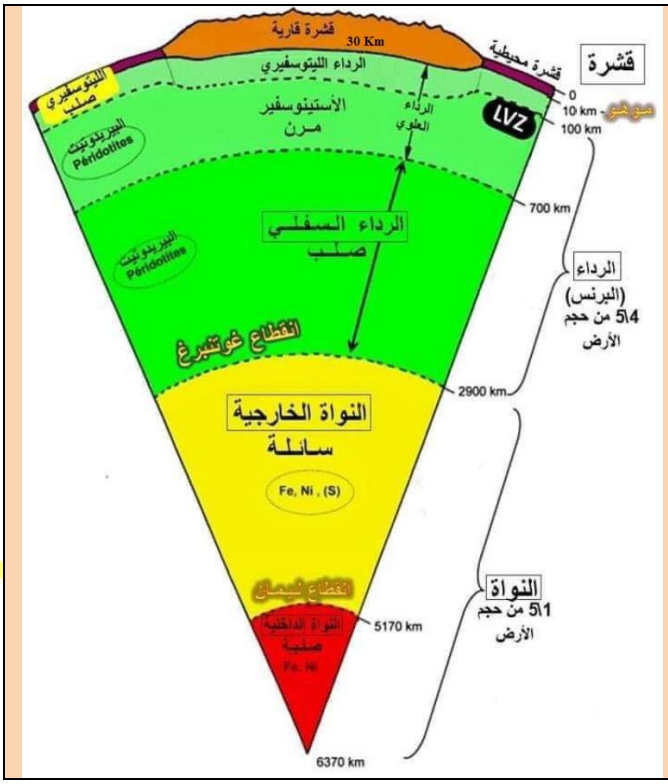
الخلاصة:

يتشكل باطن الأرض من سلسلة من الطبقات ذات خواص فيزيائية و كيميائية مختلفة، تحدها انقطاعات حيث:

1- القشرة الأرضية: صلبة حجمها أقل من 2% و تنقسم إلى:
*- القشرة الأرضية القارية مكونة من صخر الغرانيت (حمضي) أساسا الذي يدخل في تركيبه عنصري السيليس بنسبة كبيرة (70%) و الألمنيوم بنسبة قليلة (15%)، لهذا تدعى القشرة القارية بـ SIAL.
*- القشرة المحيطية (اللوح المحيطي) مكونة من صخر البازلت (قاعدي) أساسا الغني بعنصري السيليس و المغنيزيوم بالإضافة إلى كمية قليلة من الألمنيوم، لهذا تدعى القشرة المحيطية بـ SIMA.
تشكل كل من القشرة الأرضية و البرنس العلوي الليتوسفير، و هو وحدة فيزيائية منسجمة ذات طبيعة صلبة تشكل الألواح التكتونية.

2- المعطف (الرداء، الوشاح): يتركب أساسا من سليكات الألومين (بيريدوتيت) و هو صخر فوق قاعدي و يشكل أكبر نسبة من الكرة الأرضية (81%)، و ينقسم إلى:
*- معطف علوي ليتوسفيري صلب و متين.
*- معطف متوسط (أستينوسفير) مرن (لدن، مطاطي) أساسا.
*- معطف سفلي صلب و متين.

3- النواة: تشكل نسبة 17% من الكرة الأرضية، و هي غنية بالحديد و النيكل، و تنقسم إلى نواة داخلية صلبة، و نواة خارجية سائلة.



ملخص الوحدة التعلمية 2: النشاط التكتوني و البنيات الجيولوجية المرتبطة به

النشاط 1: حركة الصفائح التكتونية.

1- تعريف الصفيحة التكتونية: هي منطقة ليتوسفيرية (صخرية) واسعة غير نشطة، حدودها ضيقة هشة تتميز بنشاط زلزالي و بركاني كبير، و تضاريس خاصة (ظهرات، خنادق بحرية و سلاسل جبلية حديثة). تصنف الصفائح التكتونية حسب توزعها في القارة أو المحيط إلى ثلاثة أنواع هي الصفائح المحيطية (صفيحة المحيط الهادي، صفيحة نازاكا،....)،
الصفائح القارية (صفيحة شبه الجزيرة العربية، ....) و الصفائح المختلطة (صفيحة أمريكا الجنوبية، صفيحة أمريكا الشمالية، صفيحة إفريقيا، .....).

2- الأدلة العلمية حول حركة تباعد الصفائح التكتونية:

أ)- الأدلة التي تثبت زحزحة القارات في:

- الدليل الهندسي (الجغرافي): عند مقارنة الحواف الغربية لقارة إفريقيا و الحواف الشرقية لأمريكا الجنوبية، يلاحظ أن هناك تطابق إلى حد كبير بين الحدود، مما يدل أن القارات كانت كتلة واحدة وانشطرت عن بعضها و تزحزحت خلال الأزمنة الجيولوجية.

- الدليل الجيولوجي: من معاينة الصخور القديمة (الرواسخ) التي يزيد عمرها عن 250 مليون سنة و التراكيب الجيولوجية (السلاسل الجبلية) يلاحظ تشابه بين هذه الرواسخ، و نفس التواصل للسلاسل الجبلية لكل من أمريكا و إفريقيا. **- الدليل المستحاثي:** أشارت الدراسات الحفرية إلى وجود تشابه في المستحاثات أو الحفريات (الزواحف السابحة و النباتات السرخسية) خاصة في أنماط الحياة، بين أمريكا الجنوبية و إفريقيا.

كما توجد أدلة تثبت توسع المحيط و التي تعتمد على المغناطيسية الأرضية.

ب)- الأدلة حول توسع المحيط:

- الاختلالات المغناطيسية للوح المحيطي: كلما ابتعدنا عن محور الظهرة نسجل اختلالات مغناطيسية ناتجة عن تناوب مغنطة سالبة ومغنطة موجبة و بشكل متناظر على جانبي الظهرة، و التي تظهر على شكل أحزمة أو أشرطة مغناطيسية يصل عرضها إلى عشرات الكيلومترات، حيث تمثل هذه الأشرطة شذوذات موجبة (ممثلة بأشرطة بنية أو سوداء) و سالبة (ممثلة بأشرطة بيضاء) متبادلة مع بعضها مما يدل على أن صخور اللوح المحيطي لم تتشكل في نفس الفتر، حيث أن الصخور القريبة (بمحاذاة) محور الظهرة جديدة و كلما ابتعدنا عن محور الظهرة زاد عمرها، كما أن لصخور جانبي الظهرة ذات العمر الواحد (اللون الواحد) نفس اتجاه الحقل المغناطيسي.
نفسر الاختلالات المغناطيسية المسجلة على جانبي الظهرة إلى أنه عند اندفاع الماغما (الصهارة أو الحمم) من الفوهات البركانية المنتشرة على طول الظهرة على سطح قاع المحيط، تتبرد الحمم البركانية البازلتية مشكلة صخور بازلتية جديدة (درجة الحرارة أقل من نقطة كيري 578°) تأخذ فيها إبر معدن المغنيتيت نفس اتجاه الحقل المغناطيسي الأرضي في ذلك الوقت، فيكتسب صخر البازلت المتشكل مغنطة مماثلة للأرض. و عند اندفاع الماغما مرة ثانية تنزاح الصخور القديمة على جانبي الظهرة تاركة مكان لتشكل صخر بازلتي جديد مماثل المغنطة للمجال المغناطيسي الأرضي في وقت التشكل، و هكذا تبتعد الصخور القديمة على جانبي الظهرة مشكلة أشرطة متماثلة الخصائص المغناطيسية و هذا ما يؤدي إلى توسع المحيط.

- تحديد عمر التوضعات (الصخور) الرسوبية المكونة للوح المحيطي: من خلال المضاهاة بين الصخور المشكلة لقاع المحيط لاحظنا زيادة سمك و عمر الصخور الرسوبية المكونة لقاع المحيط كلما ابتعدنا على محور الظهرة و بشكل متناظر على جانبيها مما يدل على توسع اللوح المحيطي أي وجود حركة تباعد للصفائح التكتونية.

3- الأدلة العلمية حول حركة تقارب الصفائح التكتونية: تتجلى حركات تقارب للصفائح على مستوى الحدود المقابلة لمناطق التباعد، و ذلك بغطس صفيحة الأكثر كثافة تحت صفيحة أخرى أقل كثافة و يدعى هذا بظاهرة الغوص (مثل غوص الصفيحة الإفريقية تحت الصفيحة الأوربية و صفيحة نازكا أسفل صفيحة أمريكا الجنوبية). تتمثل الأدلة لحركات التقارب في:

- مخطط بينيوف: تتميز مناطق الغوص بزلازل يتزايد عمق بؤرها من المحيط إلى القارة وفق مستوى مائل يدعى مستوى بنيوف، حيث يغوص اللوح المحيطي تحت الحافة النشطة لصفيحة تضم قشرة قارية أو محيطية، زاوية ميل منحنى بنيوف يسمح بتحديد نوع الصفيحة الطافية، فإذا كانت محيطية فتقدر الزاوية بـ 90°، أما إذا كانت قارية فتكون 45°.

- خطوط الحرارة المتساوية: انخفاض خطوط الحرارة المتساوية على مستوى حدود التقارب وفق زاوية منحنى بينيوف مما يدل على غوص صفيحة باردة أسفل صفيحة ساخنة.

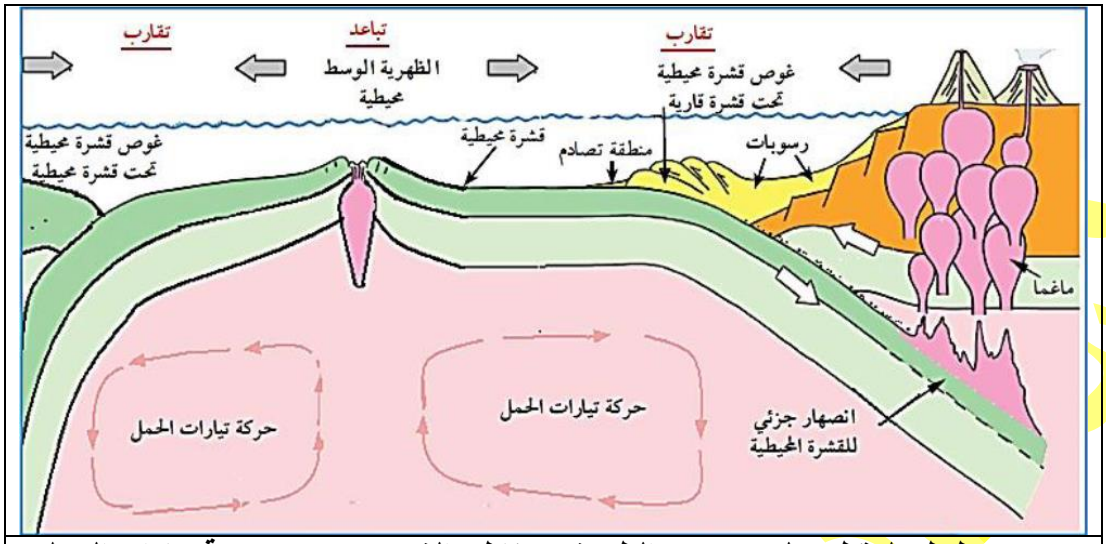
- تضاريس مناطق الغوص: تتشكل على مستوى مناطق التقارب خندق بحري، موشور الترسيب، سلاسل جبلية حديثة و براكين انفجارية.

4- مصدر الطاقة الداخلية للأرض ودورها في حركات الصفائح التكتونية:

- تعد الطاقة الداخلية للأرض محركا أساسيا للصفائح الليتوسفيرية، و يعود مصدرها أساسا لتفكك العناصر المشعة البوتاسيوم (K^{40})، الثوريوم (Th^{232})، اليورانيوم (U^{238}، U^{235})، و تتمثل مظاهرها في البركنة، الينابيع الساخنة و التدرج الحراري على مستوى طبقات الكرة الأرضية. بالإضافة إلى الطاقة الأولية للأرض الناتجة عن البناء و التمايز.

- تتسرب الطاقة الداخلية للأرض ببطء بواسطة ظاهرة الحمل (نقل الحرارة بفضل حركة المادة)، و هذا لكون الصخور ناقل سيء للحرارة، و عليه فإن تيارات الحمل هي المحرك الأساسي للصفائح التكتونية حيث عندما تسخن مواد الرداء (البرنس) في نقاط منها كونه المصدر الداخلي للحرارة نتيجة تفكك العناصر المشعة تقل كثافتها، فتصعد المادة المكونة له مشكلة تيارات الحمل الساخنة، و عند و صولها إلى السطح تبرد

(تصطدم بالمستويات العليا الباردة) فتصبح أثقل (ترتفع كثافتها) فتتحرك في اتجاهين متعاكسين مما يؤدي إلى حركة التباعد للصفائح على مستوى مناطق البناء. كما يغوص الليتوسفير المحيطي تحت الليتوسفير المقابل و ذلك لكونه باردا و كثيفا، و ذلك على مستوى مناطق الغوص مشكلا التيارات الحمل الباردة.



رسم تخطيطي لمقطع على مستوى الظهرة و مناطق الغوص يوضح حركة تيارات الحمل

مخطط لحركة الصفائح التكتونية و تسرب الطاقة الداخلية للأرض

ينقسم الغلاف الصخري أو الليتوسفير إلى عدة صفائح تكتونية حركتها دائمة ترتبط بتسرب الطاقة الداخلية للأرض و تتجسد مظاهرها في حركات التباعد والتقارب.

- حركات الصفائح التكتونية
  - حركات التباعد على مستوى الظهرات
    - أدلة التباعد
      - التوسع المحيطي
        - اختلالات المغنطة القطبية الموجبة والقطبية السالبة لصخر البازلت بشكل متناظر على جانبي الظهرة
        - زيادة عمر وسمك الصخور الرسوبية على جانبي الظهرة
        - في مستوى بنيوف توزع البؤر الزلزالية وفق مستو مائل يفصل بين الصفيحة الغائصة والصفيحة الطافية و يزداد عمق بؤرها من المحيط إلى القارة
  - حركات التقارب على مستوى الخنادق
    - أدلة التقارب
      - غياب التناظر في الطبقات الصخرية على جانبي ظهرة المحيط الهادي
- المحرك الدافع لحركة الصفائح
  - مظاهر تسرب الطاقة الداخلية للأرض
    - البركنة
    - المياه الساخنة
    - التدرج الحراري
  - مصادر الطاقة الداخلية للأرض
    - مصادر الطاقة الداخلية للأرض
      - الطاقة المنبثقة عن القشرة الأرضية
      - الطاقة الناتجة عن تفكك العناصر المشعة البوتاسيوم (K^{40})، الثوريوم (Th^{232})، اليورانيوم (U^{238}، U^{235}).
      - الطاقة الأولية للأرض الناتجة عن البناء و التمايز.
  - طرق تسرب الطاقة الداخلية وناقلية الصخور للحرارة
    - طرق تسرب الطاقة الداخلية وناقلية الصخور للحرارة
      - الصخور ناقل سيء للحرارة
      - تيارات الحمل (انتقال الحرارة مع المادة) المحرك الأساسي للصفائح التكتونية
        - تيارات ساخنة صاعدة على مستوى الظهرات و تيارات باردة نازلة على مستوى مناطق الغوص

النشاط 2: الظواهر المرتبطة بالبناء على مستوى الظهرة

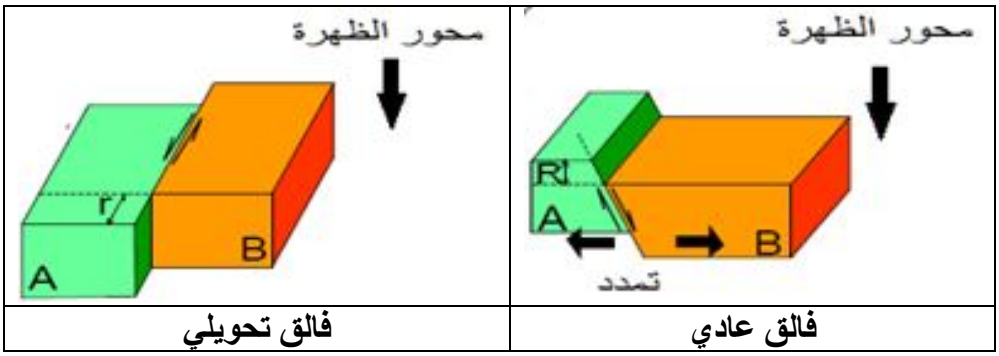
I- الظواهر والبنيات الجيولوجية المميزة لمنطقة التباعد:

1- تحديد تضاريس مناطق البناء:

- سلاسل جبلية تشكل أحزمة في وسط المحيطات تعرف بالظهرات تمتد طولا بآلاف الكيلومترات و عرضها بمئات الكيلومترات.
- تخترق الظهرة بنوعين من الفوالق:

*- **فوالق عادية:** موازية لمحور الظهرة تعمل على توسيع الظهرة.

*- **فوالق تحويلية:** يكون خط امتدادها عمودي على محور الظهرة تعمل على تغيير مسار الظهرة، قد تكون هذه الفوالق يمينية أو يسارية و تتسبب في حدوث الزلازل السطحية على مستوى الظهرة. كما تكشف الفوالق التحويلية عن طبقات الصخور المكونة للقشرة المحيطية مما يسهل دراستها من طرف العلماء.



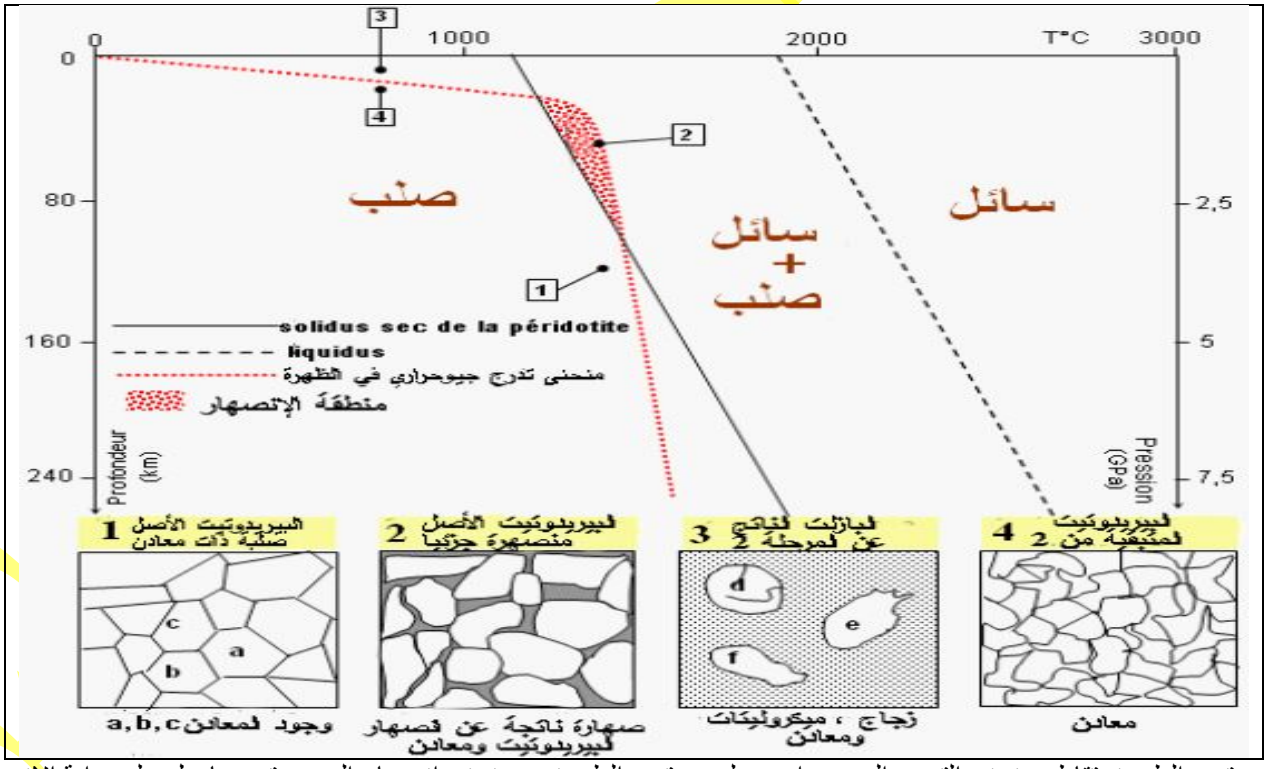
2- تحديد الخصائص المغماتية و التكتونية لمناطق البناء:

- تتميز الظهرة بنشاط بركاني من النمط الطفحي لأن اللافا (الماغما) المنبعثة جد مائعة تشكل وسائد صخرية (pillow lava) نتيجة تبردها السريع عند ملامستها للماء.
- يسمى الجزء المركزي من الظهرة بالخسف أو الريفت و الذي يتميز بنشاط زلزالي سطحي ضعيف.

3- الصخور المكونة للقشرة المحيطية: القشرة المحيطية غير متجانسة تتكون من الأسفل إلى الأعلى من الصخور النارية التالية: بيريدوتيت، غابرو، بازلت عروقي (على شكل عروق) و بازلت وسائدي (على شكل وسائد).

II- تفسير الظواهر والبنيات الجيولوجية المميزة لمنطقة التباعد:

1- تفسير مختلف التغيرات التي تطرأ على البيريدوتيت:



- على مستوى الظهرة يتقاطع منحنى التدرج الجيوحراري على مستوى الظهرة مع منحنى انصهار البيريدوتيت ما يدل على بداية الانصهار الجزئي لهذا الصخر حيث:

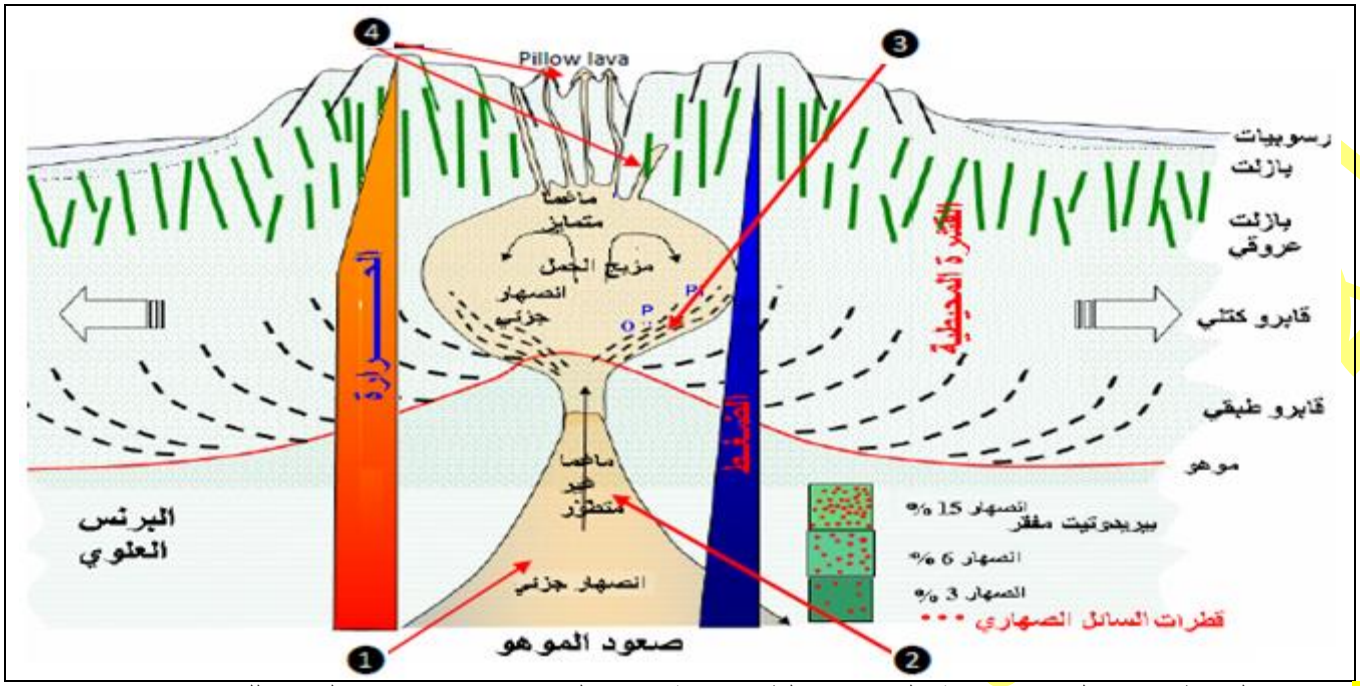
*- في المنطقة 1: البيريدوتيت في منطقة Solidus صلب ذو بنية حبيبية يتكون من المعادن التالية: الأوليفين، البيروكسين و البلاجيوكلايز.

*- في المنطقة 2: مع انخفاض الضغط و درجة الحرارة العالية ينصهر البيريدوتيت جزئيا فينتج عن ذلك سائل صهاري يحتوي الألمنيوم و السيليس ذوي الكثافة القليلة و معادن لم تنصهر.

*- في المنطقة 3: مع صعود السائل الصهاري إلى مستويات أعلى نحو السطح، تنخفض درجة الحرارة ما يؤدي إلى تبردها السريع وتشكيل صخر ذو بنية ميكروليتية يحتوي على زجاج و ميكروليتات و معادن أخرى هو صخر البازلت.

*- في المنطقة 4: الجزء المتبقي من البيريدوتيت في الغرفة الماغماتية يتبرد ببطئ مشكلا صخرا ذو بنية حبيبية هو صخر الغابرو.

2- شرح نشاط الغرفة الماغماتية:



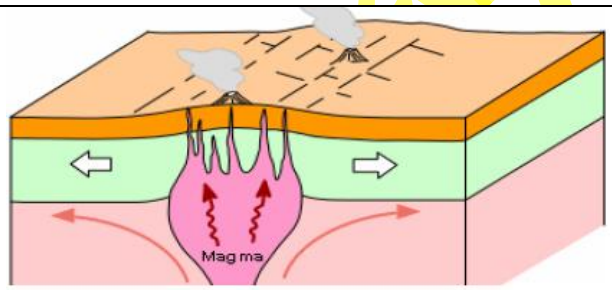
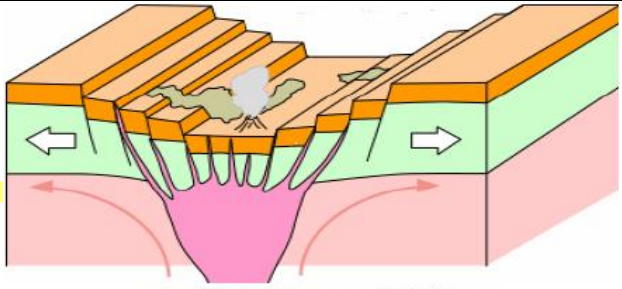
1- انخفاض الضغط مع بقاء الحرارة مرتفعة على مستوى الظهرة نتيجة صعود الموهو يسمح بالانصهار الجزئي للبيريدوتيت و هذا ما يؤدي إلى تشكيل غرفة ماغماتية. يتكون البيريدوتيت من أوليفين ، بيروكسين و هي معادن غنية بالحديد و المغنيزيوم، و من بلاجيوكلاز و هو معدن غني بالسيليس و الألمنيوم.

2- ينصهر البلاجيوكلاز أولا مشكلا سائل مغماتي غني بالسيليس و الألمنيوم، يتجمع الماغما المشكل من هذا السائل و بعض المعادن التي لم تنصهر في الغرفة الماغماتية تحت الريفت على بعد كيلومترات من السطح أين يتبرد ليشكل جزء منها معدن الأوليفين ثم بعد ذلك البيروكسين و أخيرا بلورات البلاجيوكلاز.

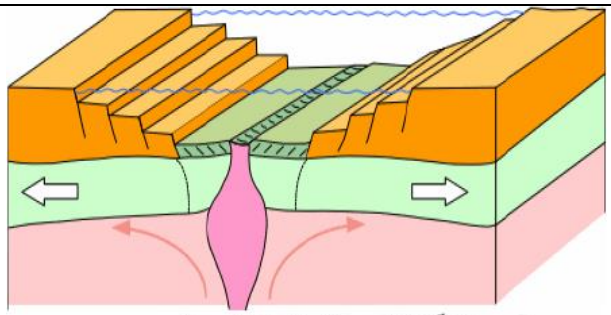
3- المعادن الأثقل من الماغما تترسب في قاع الغرفة الماغماتية، بينما يصعد الجزء السائل نحو قمة الغرفة، ثم إلى السطح أين يتبرد بسرعة مشكلا صخور ميكروليتية (البازلت الوسائدي) أو pillow lava و عندما يتم التبرد ضمن شقوق القشرة المحيطية يتشكل البازلت العروقي.

4- المعادن المتواجدة في الغرفة المغماتية تضم إلى جدران هذه الأخيرة لتشكل صخر ذو بنية حبيبية (الغابرو). في قاعدة الغرفة الماغماتية و تحت الغابرو يبقى جزء من البيريدوتيت و الذي فقد عناصره الحامضية (الألمونيوم و السيليس)، لذا يصبح صخرا فوق قاعدي يشكل البرنس الليتوسفيري.

3- تفسير آلية تشكل الريفت و إبراز الآثار الناتجة عنه (مراحل تشكل الظهرة وسط محيطية):

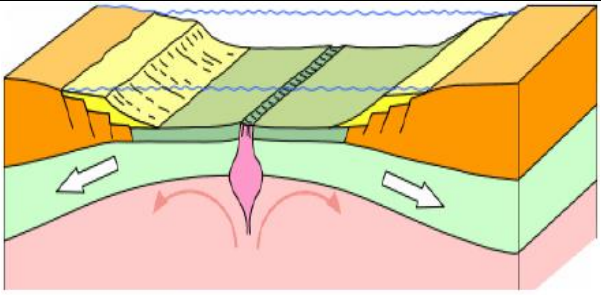
1 . على مستوى البرنس يحرر تفكك العناصر المشعة طاقة عالية تنتقل إلى الطبقات العليا بواسطة تيارات الحمل . إرتفاع منحنى ذو درجات الحرارة المتساوية(isotherme 1300c°) و اقترابه من القشرة القارية أي صعود الموهو يؤدي إلى صعود مواد صلبة وساخنة تتسبب في تمدد صخور الصفيحة القارية مشكلة تحدب كما يولد الماغما الصاعد نشاطا بركانيا	 1 . صعود تيارات الحمل
2 .تؤدي قوي التباعد المسلطة على الليتوسفير القاري إلى انقطاعه وتشكيل مدرج وخندق الانهيار نتيجة الفوالق العادية التي تحدث. ينبعث على طولها هذه الفوالق وعلى مستوى البراكين ماغما ناتج عن الإنصهار الجزئي للبيريدوتيت.	 2 . تشكل المدرج و خندق الانهيار

❸ يزيد عمق الريفت بزيادة الفوالق التي تحدث على مستوى الليتوسفير القاري و يغمر بالماء و تبدأ حافتي الليتوسفير القاري بالتباعد بينما يبدأ تشكل القشرة المحيطية هي مرحلة شق البحر

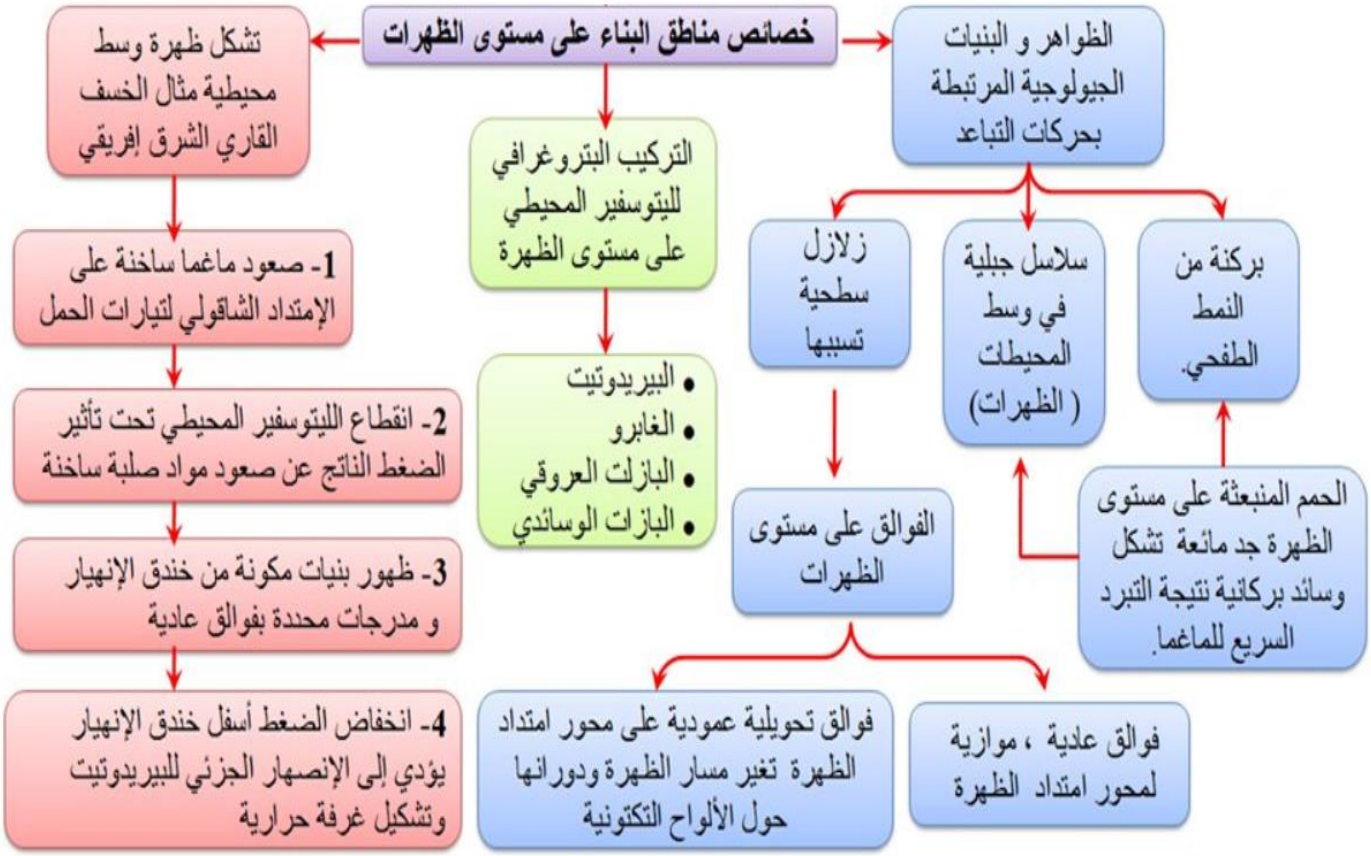


3 . بداية تشكل ريفت اللوح المحيطي

❹ تنبعث الماغما الناتجة عن الانصهار الجزئي للبيريدوتيت و ويستمر تشكل القشرة المحيطية ما يؤدي إلى تشكل ظهرة هي مرحلة تشكل محيط



4 . اتساع اللوح المحيطي



مخطط الظواهر المرتبطة بعملية البناء على مستوى الظهرة

النشاط 3: اختفاء اللوح المحيطي و الظواهر المرتبطة به.

I- الظواهر و البنيات المرتبطة بمناطق الغوص:

أ)- أهم الظواهر المرتبطة بالغوص: تتميز مناطق الغوص بخندق محيطي، زلازل عنيفة و عميقة (وفق منحنى بينيوف)، بركنة انفجارية، قوس من الجزر البركانية مثل سلسلة جزر اليابان، الفيليبين أو سلاسل جبلية بركانية مثل جبال الأنديز في أمريكا الجنوبية.

ب)- البنيات الجيولوجية المميزة لمناطق الغوص (تشكل موشور الترسيب أو التضخم):

*- تكون الصفيحة المحيطية الغائصة مكسوة بطبقات رسوبية، أثناء الغوص تعمل الصفيحة القارية الطافية على كشطها و فصلها عن القشرة المحيطية الغائصة و بذلك تتجمع هذه الرواسب و تنضغط.

*- تنطوي الرسوبيات البحرية المتوضعة على القشرة المحيطية و تحدث فيها فوالق محاورها تكون موازية لسطح الانفصال الذي انفصلت فيه عن القشرة المحيطية (موازية للساحل).

II- اختفاء اللوح المحيطي و الظواهر المرتبطة به:

أ)- تطور اللوح الليتوسفيري:

- تغيرات سمك و كثافة اللوح المحيطي:

*- على مستوى الظهرة يكون سمك القشرة المحيطية رفيع (منخفض)، ثم يزداد كلما ابتعدنا عنها و اتجهنا نحو مناطق الغوص.

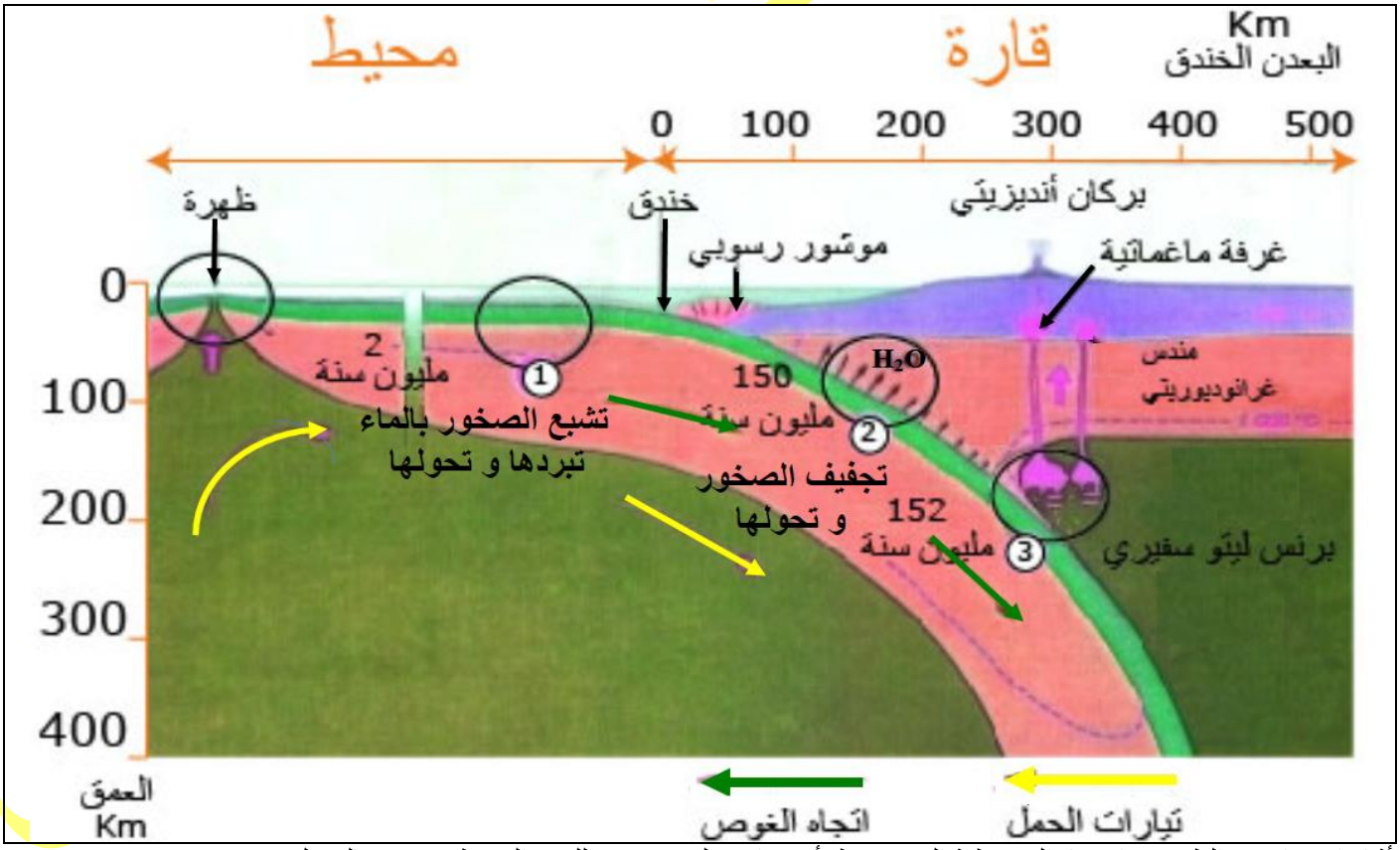
*- كلما ابتعدنا عن الظهرة و اتجهنا نحو مناطق الغوص زادت كثافة اللوح المحيطي.

- تفسير كيفية تغير سمك و كثافة اللوح المحيطي كلما ابتعدنا عن الظهرة و نتائج ذلك: يتبرد اللوح المحيطي كلما ابتعدنا عن الظهرة مع تشبعه بالماء و هذا ما يفسر ارتفاع كثافته و هذا ما يسمح بغوص اللوح المحيطي في الأستينوسفير، إذا التباين في الكثافة بين الليتوسفير المحيطي و الأستينوسفير هو أحد المحركات الأساسية لعملية الغوص.

ب)- الصخور و المعادن المميزة لمناطق الغوص:

- تعريف تحول الصخور: التحول يمثل مجموع التغيرات البنيوية و المعدنية لصخرة في حالتها الصلبة خضعت لظروف ضغط و حرارة تختلف عن ظروف تشكلها الأصلي. ينتج عن هذه الظاهرة تشكل صخور تسمى صخورا متحولة (roches métamorphiques). قد يصيب التحول صخورا نارية أو رسوبية أو صخور متحولة سابقة الوجود.

- شرح التغيرات البنيوية و المعدنية لصخور القشرة المحيطية أثناء ظاهرة الغوص:



أثناء الابتعاد عن الظهرة و الاتجاه إلى منطقة الغوص تطرأ تغيرات على صخور اللوح المحيطي تسمى بالتحول حيث:

- تتبرد القشرة المحيطية و تتشرب بالماء خلال ملايين السنين عند ابتعادها من الظهرة و هذا يؤدي إلى زيادة كثافتها و حدوث تحول معادن (البيروكسين + البلاجيوكلاز) لصخر (سحنة) **الغابرو** إلى معادن (الأمفيبول) لصخر **الميتاغابرو**، و يتم هذا التحول تحت ضغط و حرارة منخفضين وفق المعادلة التالية:

بلاجيوكلاز + بيروكسين + ماء ⟵ أومفيبول (الأرنوبلاند)
الغابرو — الميتاغابرو

- يستمر تشرب القشرة المحيطية بالماء إلى غاية بداية الغوص كما يبقى الضغط والحرارة منخفضين ما يؤدي إلى تحول معادن صخر الميتاغابرو إلى معادن (الكلوريت + الأكتينوت) لصخر الشيست الأخضر وفق المعادلة التالية:

بلاجيوكلاز + الأرنوبلاند + ماء ⟵ كلوريت + أكتينوت
الشيست الأخضر

- يسمح ارتفاع كثافة اللوح المحيطي إلى حدوث ظاهرة غوصه، و يرافق ذلك فقدان القشرة المحيطية للماء و تجفيفها، و هذا يدل على تغير شروط التحول و المتمثلة في تجفيف القشرة المحيطية و زيادة الضغط نتيجة الغوص لكن في درجات الحرارة المنخفضة ما يؤدي إلى تحول معادن الشيست الأخضر إلى معادن جديدة (الغلوكوفان) مميزة لسحنة الشيست الأزرق وفق المعادلة التالية:

بلاجيوكلاز + كلوريت + أكتينوت ⟵ أومفيبول(غلوكوفان) + ماء
الشيست الأزرق

- في الأخير مع استمرار الغوص يزداد الضغط كما ترتفع درجة الحرارة، و مع استمرار تجفيف القشرة المحيطية تتحول معادن الشيست الأزرق لتشكل نوع آخر من المعادن (الجاديييت + الغرونا) المميزة لسحنة الأكلوجيت وفق المعادلة التالية:

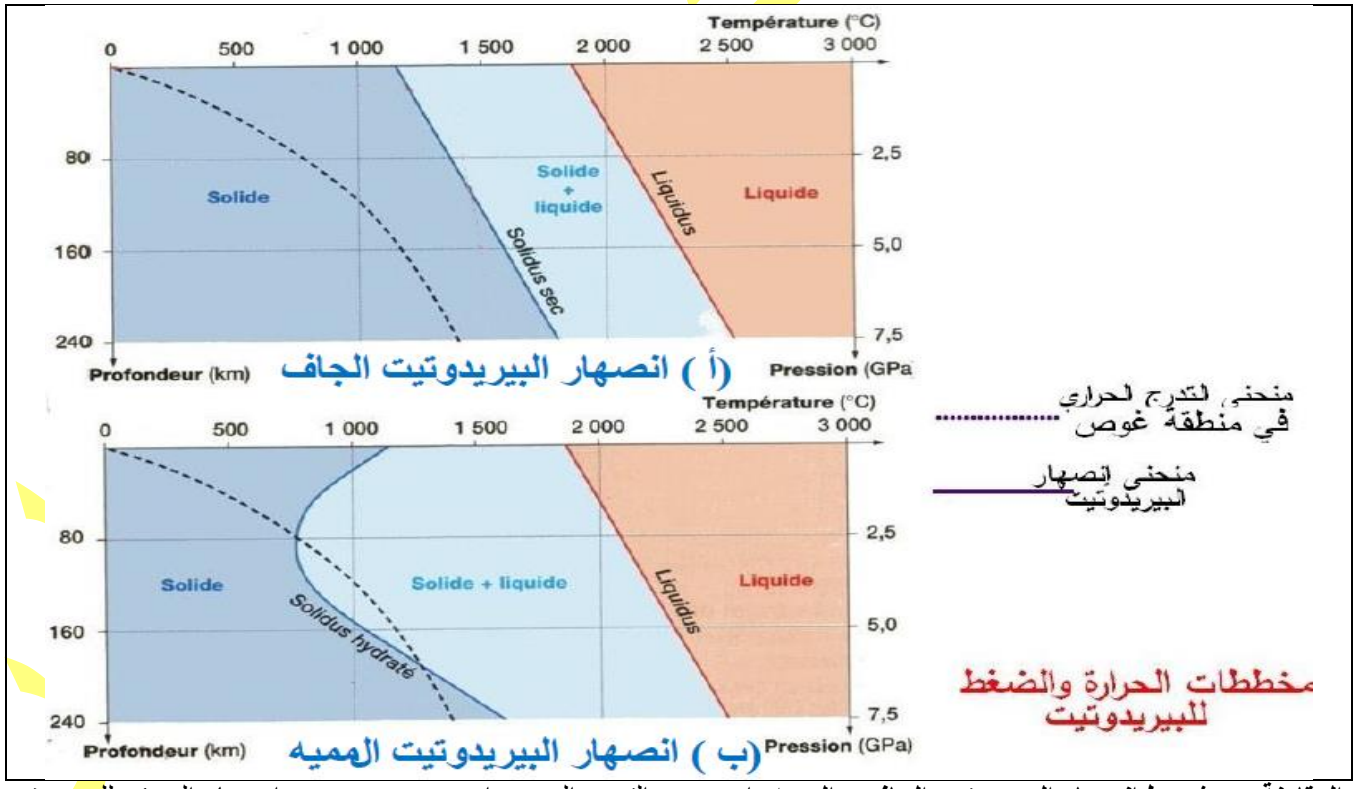
بلاجيوكلاز + غلوكوفان ⟵ غرونا + جاديييت (بيروكسين) + ماء
الأكلوجيت

ج)- صخور اللوح القاري الطافي:

- **المقارنة بين البنية النسيجية للغرانوديوريت و الأنديزيت:** يتميز صخر الغرانوديوريت ببلورات كبيرة ترى بالعين المجردة دليل على تبرده البطيء أي في الأعماق، هذه البلورات تتمثل في الكوارتز و البيوتيت و البلاجيوكلاز، بينما يتميز الأنديزيت ببلورات مجهرية لا ترى بالعين المجردة، و عجين زجاجي ما يدل التبرد السريع للماغما أي في السطح، تتمثل هذه البلورات في البلاجيوكلاز، البيروكسين، زجاج بركاني و ميكروليتات.

- **الاستنتاج:** يختلف مكان تكون كل من الصخرين الغرانوديوريت و الأنديزيت، حيث الأنديزيت صخر بركاني سطحي ينشأ في السطح، أما الغرانوديوريت صخر بركاني مندس ينشأ في الأعماق.

د)- مصدر الماغما المشكلة للغرانوديوريت و الأنديزيت:



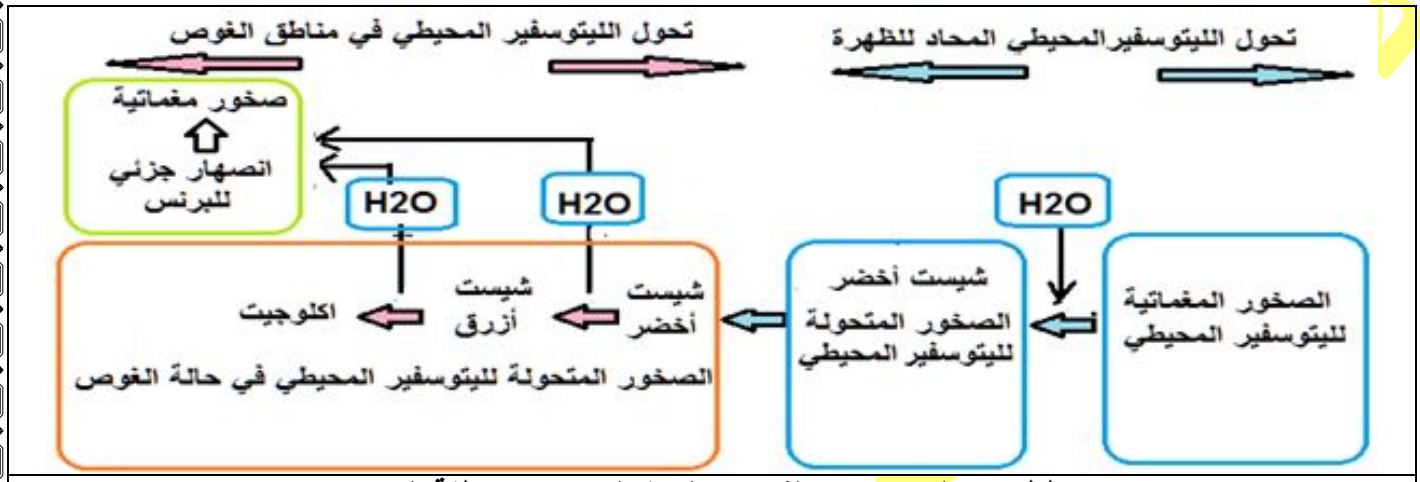
1- المقارنة بين شروط انصهار البيريدوتيت الجاف و المميه: إن منحنى التدرج الجيوحراري بعيد عن منحنى انصهار الجزئي للبيريدوتيت الجاف ما يدل على عدم حدوث الانصهار الجزئي لهذا الصخر. بينـــما في حالة البيريدوتيت المميه فنلاحظ تقاطع منحنى التدرج الجيوحراري مع منحنى انصهار الجزئي للبيريدوتيت، أي تتشكل منطقة تتحقق فيها شروط الانصهار الجزئي للبيريدوتيت و هذا يدل على أن الانصهار الجزئي للبيريدوتيت المميه يتطلب درجات حرارة أقل (أقل من 1000 درجة مئوية) من تلك التي يتطلبها انصهار البيريدوتيت الجاف.

- **استنتاج:** الماء يخفض درجة حرارة الانصهار الجزئي للبيريدوتيت، فهو يلعب دور مذيب.

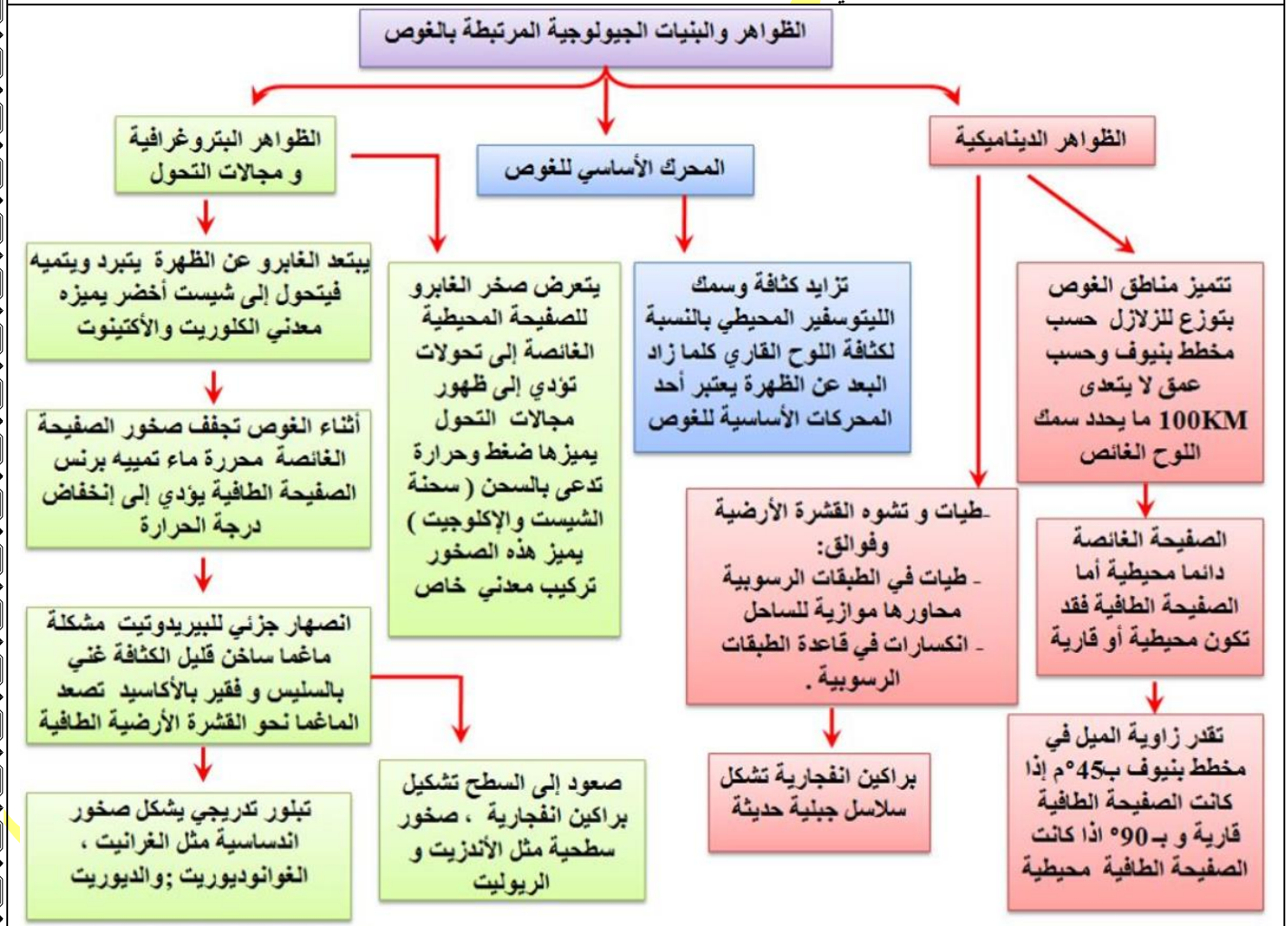
2- كيفية تشكل صخري الغرانوديوريت و الأنديزيت:

*- يؤدي غوص الصفيحة المحيطية إلى تزايد الضغط و ارتفاع في درجة الحرارة مما يسبب في تجفيف صخور اللوح (تحولها) و تحرير الماء في منطقة الغوص، هذا الأخير (الماء) يلعب دور مذيب و يخفض درجة حرارة انصهار بيريدوتيت برنس الصفيحة الطافية لتقارب 1000 درجة مئوية ما يسمح بانصهاره جزئيا و تشكل غرفة ماغماتية تحتوي على ماغما خفيفة الكثافة غنية بالسيليس بسبب التباين في انصهار المعادن (المعادن السيليكاتية مثل البلاجيوكلاز تنصهر أولا لأنها تتطلب درجات حرارة منخفضة عكس المعادن الحديدية المغنيزية مثل الأليفين و البيروكسين التي يتطلب انصهارها درجات حرارة مرتفعة).

*- يتوغل الماغما (الناتج عن الانصهار الجزئي لبيريدوتيت البرنس في مناطق الغوص) الغني بالسيليس نحو الأعلى ضمن طبقات القشرة القارية الطافية، فإذا تبرد ببطء في العمق تتشكل صخور اندساسية حبيبية مثل الغرانوديوريت (الديوريت + الغرانيت)، أما إذا صعد إلى السطح فيسبب براكين انفجارية و يكون تبرده سريع تنجم عنه صخور ذات بنية ميكروليتية مثل الأنديزيت و الريوليت.



مخطط تحصيلي يبرز مختلف مراحل تشكل صخور منطقة الغوص:



مخطط تحصيلي يبرز أهم الظواهر المرتبطة بالغوص