مطبوعات الأستاذ: آيت عبد الرحمان فضيل

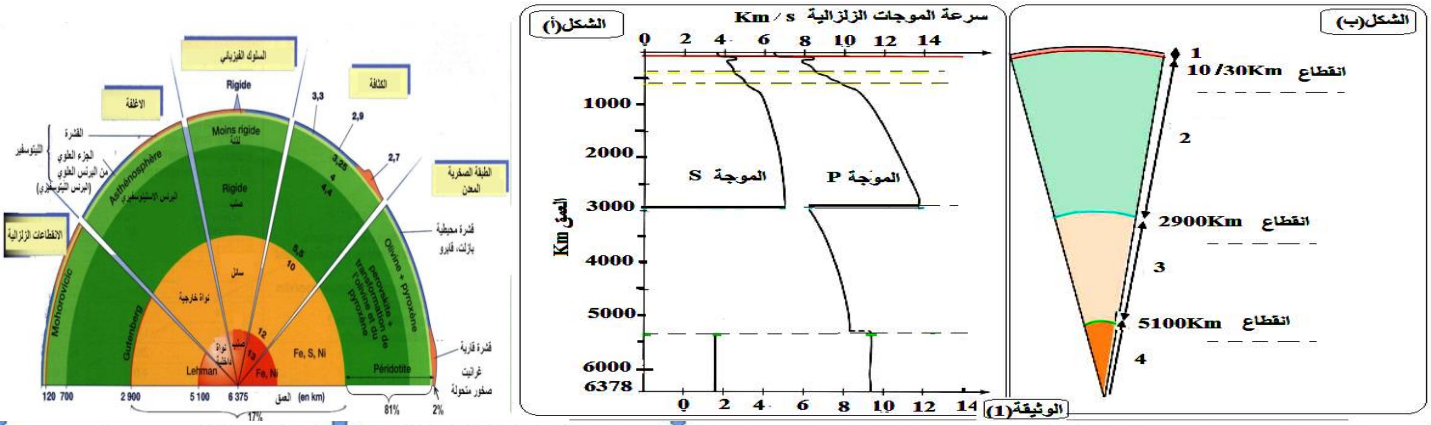
المجال II: الجيولوجيا التكتونية العامة

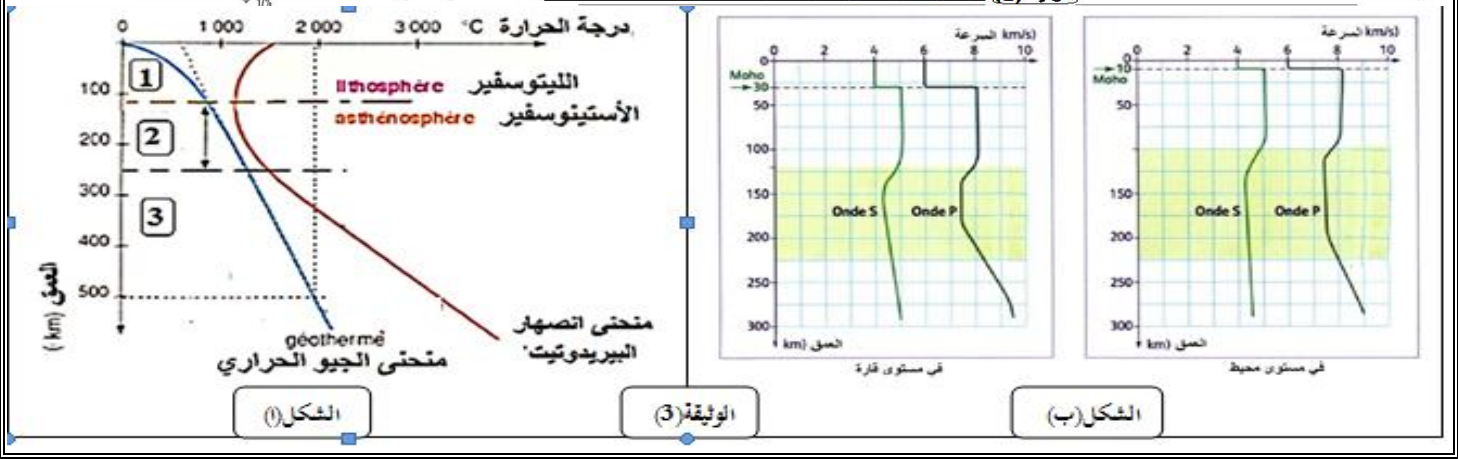
ملخص الوحدة 2:

بنية الـــكرة الأرضـــية

السنة الدراسية: 2019/2018

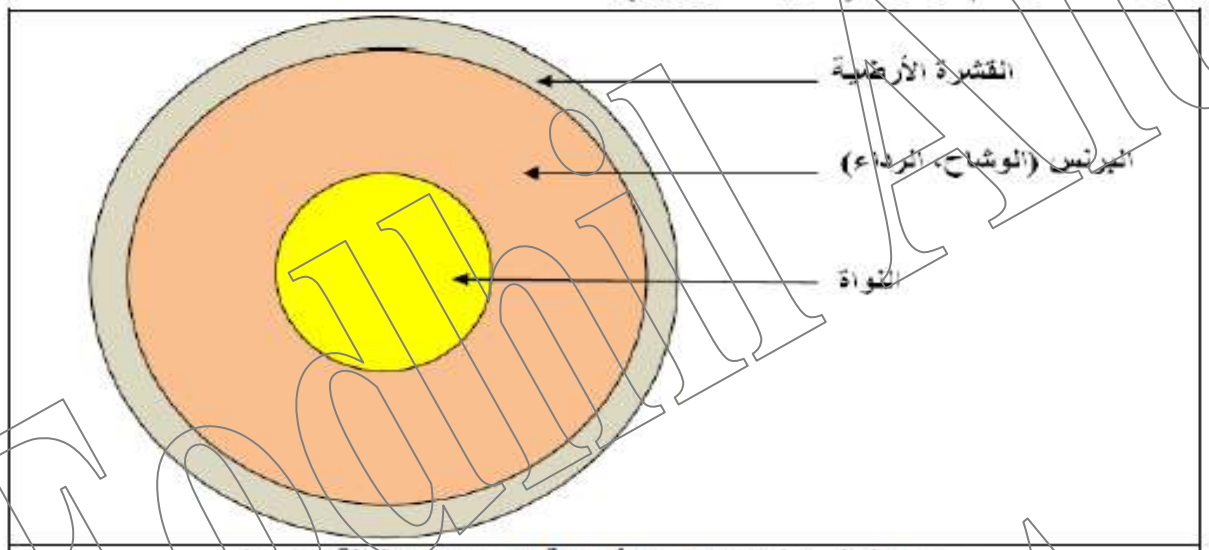
المستوى: السنة الثالثة علوم تجريبية





النشاط 1: النموذج السيسمولوجي للكرة الأرضية

وضعية الإنطلاق: تعتبر الكرة الأرضية كوكبا نشطا يخضع لقوى داخلية في باطنه تؤدي إلى إحداث حركة مستمرة للصفائح التكتونية المشكلة للقشرة الأرضية، حيث تتوسع (تتباعد) هذه الصفائح على مستوى الظهرات، و تغوص (تتقارب) على مستوى الخنادق، و تعتبر هذه الأماكن مناطق نشطة تتميز بنشاط زلزالي و بركاني كبير.
لقد تمكن الجيولوجيون من تحديد جميع الطبقات المشكلة للكرة الأرضية و ذلك باستعمال عدة طرق مباشرة مثل الحفر أو غير مباشرة كاستغلال علم الزلازل (الموجات الزلزالية).



رسم تخطيطي لطبقات الكرة الأرضية (مكتسبات الثالثة متوسط)

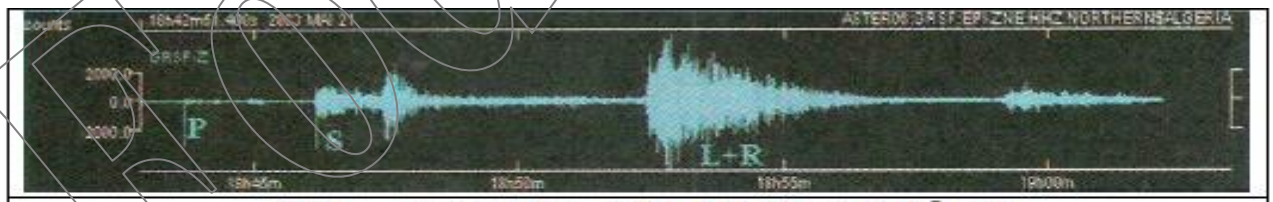
الإشكاليات: - كيف ساهمت الزلازل في دراسة بنية الأرض و بناء النموذج السيسمولوجي للكرة الأرضية؟

الفرضيات: - طريقة انتشار الموجات الزلزالية ساهم في تحديد نوع و عدد طبقات الأرض.

1- تعريف الموجات الزلزالية: هي موجات من الطاقة الناجمة عن كسر مفاجئ في صخور القشرة الأرضية أو انفجار في باطن الأرض مولدة طاقة صوتية منخفضة التردد و التي تنتقل عبر طبقات الأرض و يتم تسجيلها على أجهزة رصد الزلازل (السيسموغراف أو السيسمومتر).

2- أنواع الموجات الزلزالية (دراسة الوثيقة 4 ص 261):

ضرب منطقة بومرداس (شمال الجزائر) يوم 21 ماي 2003م على الساعة 18سا 44 د زلزال قوته 6.8 على سلم ريشتر (حسب المركز العالمي للزلازل بأمريكا: دانفر بكولورادو) دام حوالي 40 ثانية، انتشرت آثاره على قطر يقدر بحوالي 100 كلم، حيث أحس به سكان مايورکا بإسبانيا.
حدد مركز الأبحاث في علم الفلك والجيوفيزياء بالجزائر (CRAAG) مركزه السطحي في البحر على بعد 7 كلم شمال مدينة زموري التي تقع على بعد 60 كلم شرق الجزائر العاصمة، وحددت بؤرته على عمق قدر بـ 10 كلم، لذا يعتبر زلزالا سطحيا يصنف هذا الزلزال ضمن الزلازل المتوسطة إلى عالية القوة.



الوثيقة (4): تسجيل زلزال 21 ماي 2003 بومرداس- الجزائر

*- **تحليل التسجيل:** نلاحظ من خلال التسجيل أن الموجات (P) تصل أولا إلى محطة التسجيل و التي تتميز بسعة منخفضة، ثم تليها الموجات (S) ذات السعة أكبر من الموجات (P)، لتصل أخيرا الموجات (L+R) ذات سعة أكبر من الموجات (S).

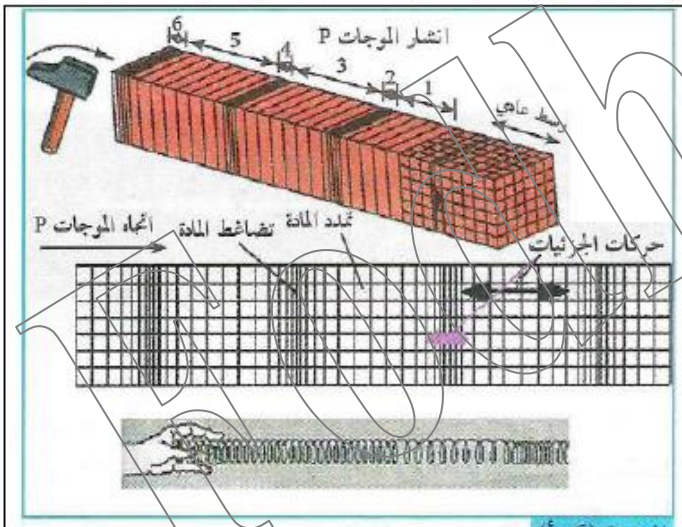
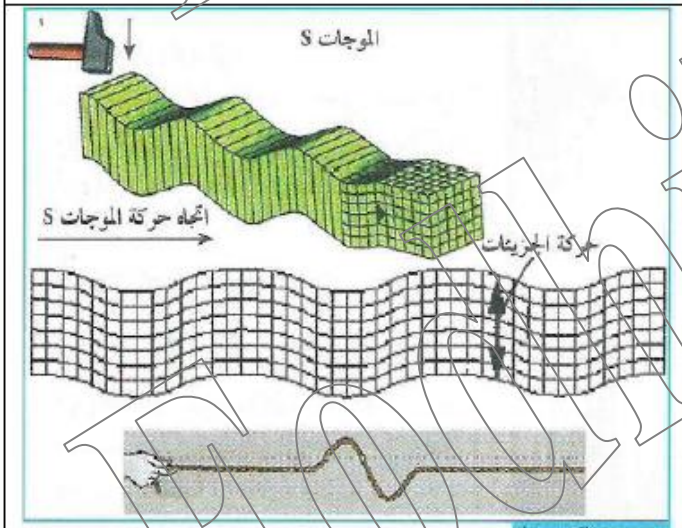
*- **استنتاج:** يوجد أربعة أنواع من الموجات الزلزالية:

- الموجات (P) الأولية: و هي الأسرع ذات سعة منخفضة.
- الموجات (S) الثانوية: و هي موجات أقل سرعة، و ذات سعة أكبر من الموجات (P).
- الموجات (L+R): و هي الأبطء، و ذات سعة أكبر من الموجات (S).

3- خصائص الموجات الزلزالية:

أ) دراسة الوثيقة 6 ص 262:

يعتمد 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 الأولية (P): و هي أول الموجات التي يتم تسجيلها في جهاز السيسموغراف (أسرع الموجات) لكونها تنتشر في جميع الأوساط (الصلبة، السائلة و الغازية)، و هي موجات باطنية بعيدة عن السطح، نمط انتشارها انضغاطي تمددي، حيث تنتقل الجزيئات في نفس اتجاه انتقال الموجة الزلزالية. مع العلم أن تأثير هذا النوع من الموجات ضعيف لا يحدث ضررا على سطح الأرض.	 الوثيقة (6-أ) نمذجة انتشار الموجات P
الموجات الثانوية (S): و هي ثاني الموجات التي يتم تسجيلها في جهاز السيسموغراف (أقل سرعة) لا تنتشر في الأوساط السائلة و الهوائية، نمط انتشارها هو تموجي بحيث تنتقل الجزيئات بشكل عمودي مقارنة باتجاه انتقال الموجة الزلزالية. مع العلم أن تأثيرها أكبر من تأثير الموجات الأولية (P) و لكنها لا تحدث دمارا على سطح الأرض.	 الوثيقة (6-ب) نمذجة انتشار الموجات S

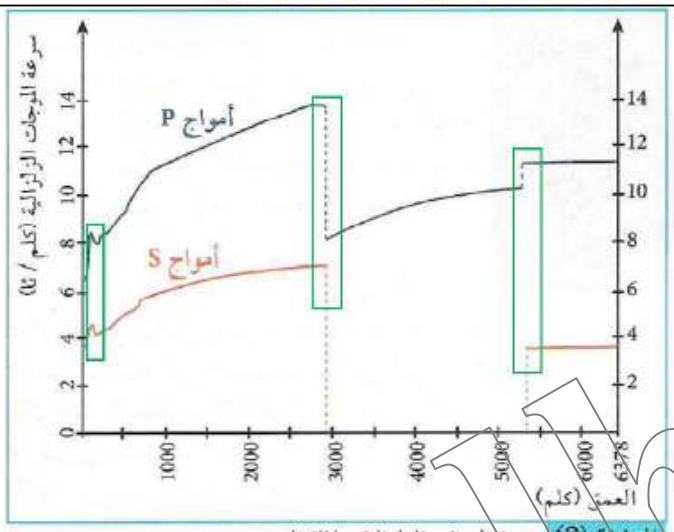
ب)- المقارنة بين الموجات الزلزالية (P) و (S):

الموجات الزلزالية (P)	الموجات الزلزالية (S)
موجات زلزالية حجمية تعبر (تنتقل) عبر طبقات الأرض	
أولية ذات سرعة كبيرة (الأولى التي تسجل)	ثانوية أقل سرعة (تسجل الثانية)
تنتشر في المواد السائلة، الصلبة و الهوائية	تنتشر في المواد الصلبة فقط
نمط انتشارها انضغاطي تمددي	نمط انتشارها تموجي
حركة الجزيئات في نفس اتجاه انتقال الموجة الزلزالية.	حركة الجزيئات بشكل عمودي مقارنة باتجاه انتقال الموجة الزلزالية

4- انتشار الأمواج الزلزالية في باطن الأرض (دراسة الوثيقة 9 ص 277 + وثائق الدليل المدرسي):

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.



الوثيقة (9) سرعة الموجات الزلزالية بدلالة العمق

أ)- تحليل نتائج الوثيقة 9 ص 277: نلاحظ من خلال الوثيقة ما يلي:

- تنتشر الموجات الزلزالية (P) و (S) إلى عمق 6378 كيلومتر من الكرة الأرضية، مما يدل على أن عمق (نصف قطر) الكرة الأرضية يقدر بهذه المسافة.
- تغير مفاجئ في سرعة الموجات الزلزالية (P) و (S) في المستويات الداخلية للكرة الأرضية و ذلك عند وصولها للأعماق التالية على الترتيب:
*- التغير الأول: سجل على عمق 30 كيلومتر لكلتا الموجتين.
*- التغير الثاني: سجل على عمق 2900 كيلومتر لكلتا الموجتين، كما نلاحظ تزايد تدريجي لسرعة انتشار الموجة (P) من العمق 2900 إلى 6378 كيلومتر.
*- التغير الثالث: سجل على عمق 5100 كيلومتر تقريبا للموجة (P) فقط، كما نلاحظ أن هذه الموجة تنتشر بسرعة ثابتة من العمق 5100 إلى غاية 6378 كيلومتر.
- تسجيل اختفاء للموجة (S) إبتداءا من العمق 2900 كيلومتر، و عودة ظهورها من جديد عند العمق 5100 كيلومتر إلى غاية 6378 كيلومتر، حيث تنتشر في هذا العمق بسرعة ثابتة.

ب)- تفسير نتائج الوثيقة 9 ص 277:

- يعود تسجيل كلتا الموجتين (P) و (S) في العمق الممتد من 0 إلى 2900 كيلومتر إلى الحالة الفيزيائية الصلبة للطبقات التي تنتشر فيها هذه الموجات على مستوى هذا العمق.
- يعود التغير المفاجئ لسرعة الموجات الزلزالية (P) و (S) في ثلاثة مستويات مختلفة من عمق الأرض إلى تغير التركيب المعدني للصخور مشكلة بذلك ثلاثة 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 (في الوثيقة يظهر عند العمق 5400 كلم، و لكن في الواقع عند 5100 كلم).
- يعود اختفاء للموجة (S) في العمق الممتد من 2900 إلى 5100 كيلومتر من الأرض إلى الحالة الفيزيائية السائلة للطبقات الأرضية الموجودة في هذا العمق.
- يعود التزايد التدريجي لسرعة انتشار الموجات الزلزالية إلى تزايد كثافة الوسط الذي تنتشر فيه.
- يعود ثبات سرعة انتشار الموجات الزلزالية بعد العمق 5100 كيلومتر إلى ثبات كثافة الوسط.

الخلاصة:

بالاعتماد على خصائص انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S)، تم التوصل في الأخير إلى عدد الطبقات المكونة للكرة الأرضية و كذلك حالتها الفيزيائية و تتمثل فيما يلي:

1- **البرنس الأرضي (الرداء أو المعطف أو الوشاح):** له طبيعة فيزيائية صلبة، يتكون من مجموعة من الأغلفة تختلف من حيث الكثافة مرتبة من الأعلى إلى الأسفل وفق ما يلي:

*- **الليتوسفير:** و هي القشرة الأرضية (التي تشمل الألواح القارية و المحيطية) + البرنس العلوي الصلب.

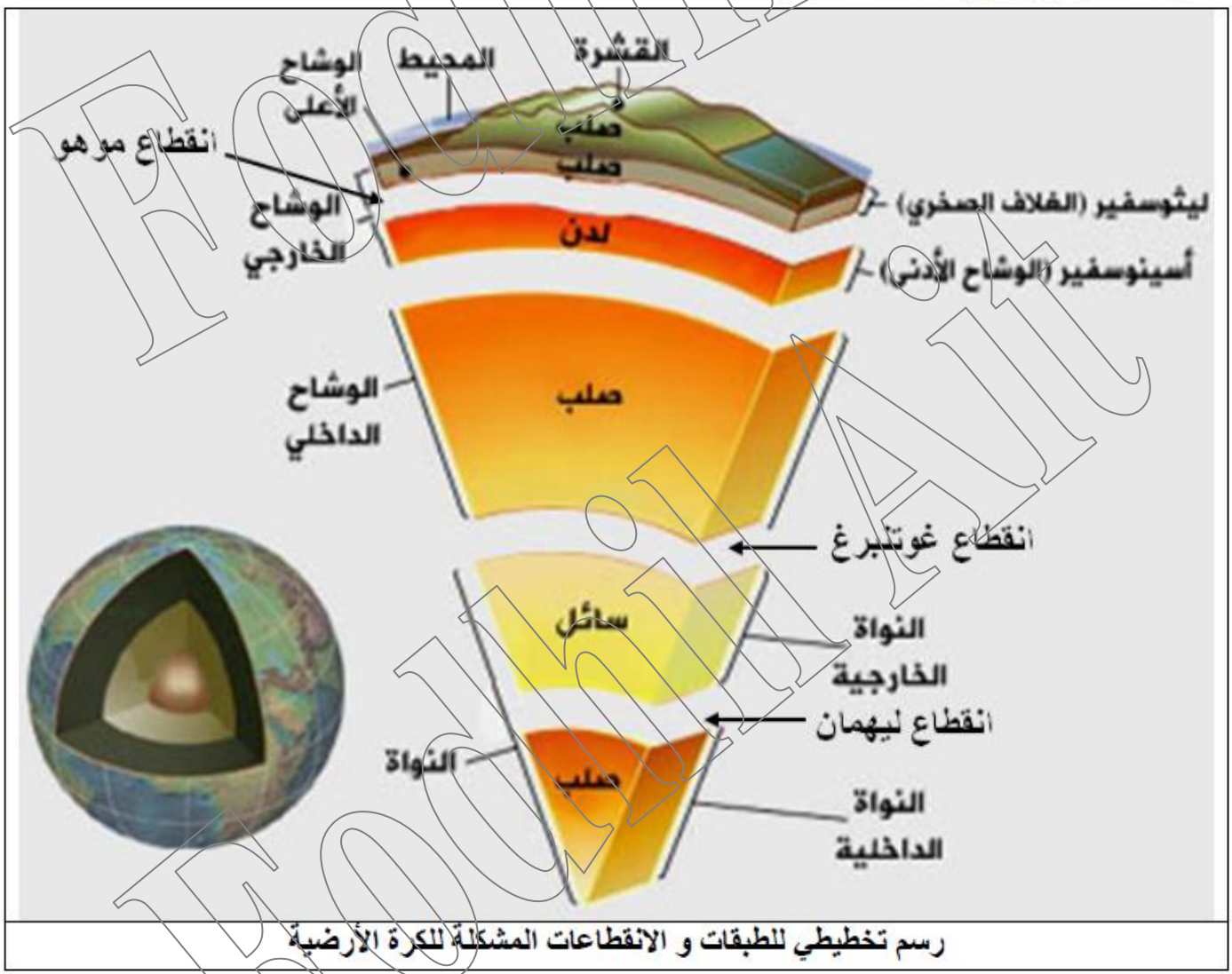
*- **الأستينوسفير:** و هي البرنس المتوسط ذو طبيعة لدنة (مطاطية).

*- **الميزوسفير:** و هي الرداء الداخلي (السفلي) و يكون صلب.

2- **النـــواة:** و تضم:

*- النواة الخارجية: ذات حالة سائلة.

*- النواة الداخلية: (البذرة) ذات حالة صلبة.



رسم تخطيطي للطبقات و الانقطاعات المشكلة للكرة الأرضية

Fouilali Ait

النشاط 2: النموذج المعدني الكيميائي للكرة الأرضية

وضعية الإنطلاق: أثبتت المعطيات السيسمولوجية أن الكرة الأرضية تتكون من طبقات مختلفة و المتمثلة في البرنس الأرضي (الليتوسفير + الأستينوسفير + الميزوسفير) و النـــواة (الخارجية + الداخلية)، حيث تختلف سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) من طبقة إلى أخرى، مما يدل على اختلاف في الخصائص الفيزيائية (صلبة أو سائلة أو غازية) لهذه الطبقات نتيجة اختلاف التركيب المعدني الكيميائي لها.

الإشكاليات: - ما هو التركيب الكيميائي المعدني لطبقات الكرة الأرضية؟

الفرضيات: - تتكون القشرة المحيطية من صخر البازلت.
- تتكون النواة من النيكل و الحديد و معادن أخرى.

1- تحديد التركيب الكيميائي للبرنس:

- **تحليل الوثيقة 10 ص 277:** تمثل الوثيقة منحنى بياني يدرس تغيرات سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) في البرنس و في مجموعة من المعادن المعلومة حيث نلاحظ كلما زاد العمق في البرنس زادت سرعة انتشار الموجات الزلزالية، كما أنه:

- من 0 إلى 400 كلم (من عمق البرنس): سرعة انتشار الموجات (P) تقارب سرعة انتشارها في معدن الأوليفين و البيروكسين.
- من 400 إلى 680 كلم (من عمق البرنس): سرعة انتشار الموجات (P) تقارب سرعة انتشارها في معدن الغرونا و في السبينال
- من 680 إلى 1000 كلم (من عمق البرنس): سرعة انتشار الموجات (P) في البرنس تماثل سرعة انتشارها في معدن البيروفسكيت.

- **الاستنتاج:**

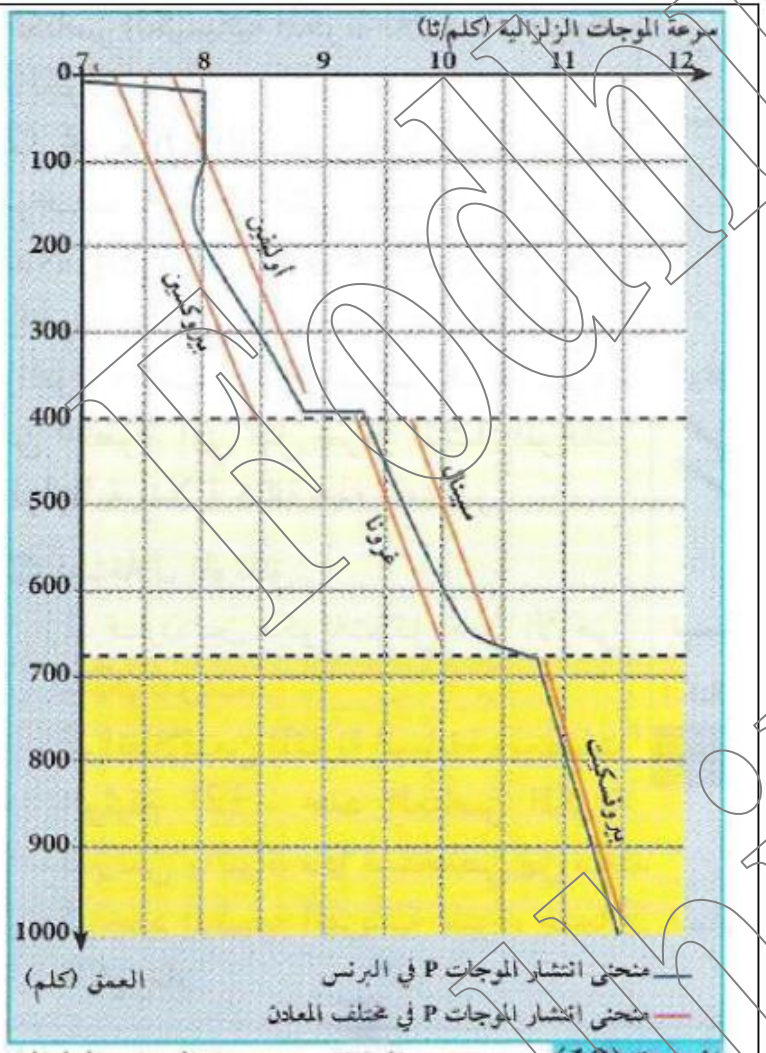
*- يتكون البرنس من صخر البيريدوتيت (المشكل من معادن الأوليفين + البيروكسين + السبينال + الغرونا + البيروفسكيت)

*- يختلف التركيب المعدني لصخر البيريدوتيت (سليكات الألومين) بتغير عمق البرنس نتيجة تغير الضغط، درجة الحرارة و الكثافة حيث:

- من 0 إلى 400 كلم (من عمق البرنس): يتكون من معدني الأوليفين و البيروكسين نتيجة قلة الضغط، درجة الحرارة.

- من 400 إلى 680 كلم (من عمق البرنس): يتكون من معدني السبينال و الغرونا نتيجة ارتفاع الضغط و درجة الحرارة.

- من 400 إلى 680 كلم (من عمق البرنس):يتكون من معدن البيروفسكيت نتيجة الارتفاع الكبير للضغط و درجة الحرارة.



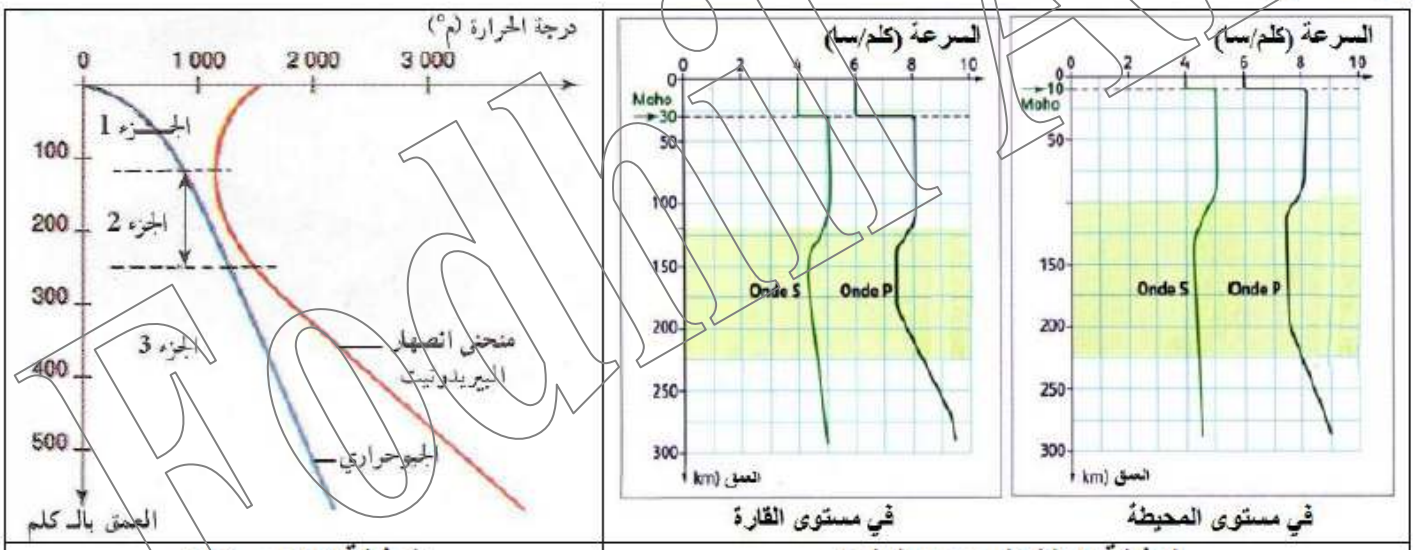
الوثيقة (10) منحنى يبين العلاقة بين سرعة الموجات الزلزالية بدلالة العمق والمعادن في البرنس

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

ترتبط سرعة انتشار الموجات الزلزالية بالحالة الفيزيائية و الطبيعة الكيميائية لمختلف المواد المكونة للمستويات الأرضية التي تخترقها هذه الموجات.

بينت الدراسات المخبرية التي أجريت على صخر البيريدوتيت في ظروف متغيرة من الحرارة و الضغط أنه يمر بثلاثة مراحل أساسية و ذلك حسب حالته الفيزيائية (الصلبة، الانتقالية و المطاطية). النتائج موضحة في الوثيقة 13 ص 265.

بينما توضح الوثيقة 1 الشكل 2 من الملحق سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) في مستوى القارة و المحيط بدلالة العمق.



الوثيقة 1 الشكل 2 من الملحق | الوثيقة 13 ص 265

أ)- دراسة الوثيقة 13 ص 265:

*- **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 منحنى انصهار البيريدوتيت مما يدل على أن الصخور المشكلة لهذا الجزء صلبة.

- في الجزء 2 (العمق بين 100 و 250 كلم): اقتراب منحنى التدرج الحراري من منحنى انصهار البيريدوتيت مما يدل على 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 بتحدد 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).

ب)- تفسير الوثيقة 1 الشكل 2 من الملحق:

- 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.

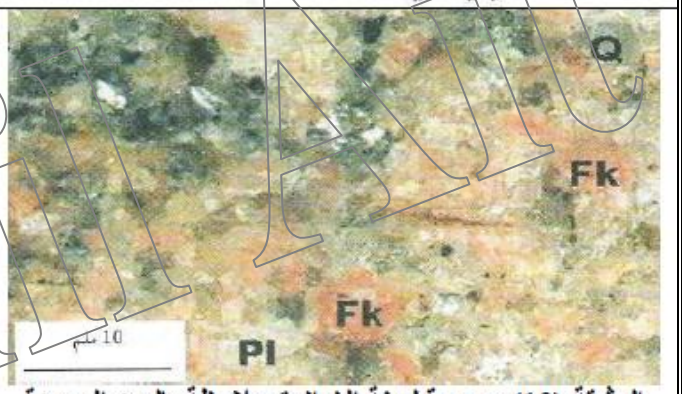
- من 150 إلى 250 كلم تقريبا (النطاق LVZ): يعود تناقص سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) إلى تغير الحالة الفيزيائية للطبقة و التي أصبحت أقل صلابة (مرنة، مطاطية).

بعد 250 كلم: يعود تزايد سرعة انتشار الموجات الزلزالية (P) و (S) إلى تغير الحالة الفيزيائية للطبقة و التي أصبحت قل مطاطية (صلبة).

3- خواص بعض صخور القشرة الأرضية و البرنس:

⇦ صخر الغرانيت:

يظهر الغرانيت على السطح بعد تعرية السلاسل الجبلية على شكل كتل صخرية دائرية فاتحة اللون ذات امتداد واسع تحده صخور متحولة. يعتبر الغرانيت صخرا ناريا حمضيا يتشكل من مجموعة من المعادن السيليكاتية.



الوثيقة (10): صورة لعينة الغرانيت ملاحظة بالعين المجردة

الوثيقة (11): صورة لشريحة غرانيت تحت المجهر المستقطب

⇦ البازلت:

صخر ناري بركاني قاعدي، يتشكل على سطح الكرة الأرضية، يدخل في تكوين القشرة المحيطية يتكون من وزجاج بركاني تسبح فيه معادن كبيرة من الأوليفين، البلاجيوكلاز ومعادن صغيرة تكوّن ما يسمى بالنسيج الميكروليتي.

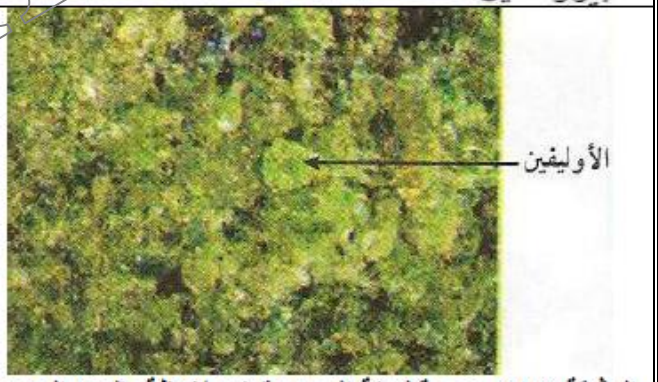
تظهر صخور البازلت عادة محتويات من صخور عاتمة ترى معادنها بالعين المجردة تدعى البيريدوتيت.

الوثيقة (12): صورة لعينة البازلت ملاحظة بالعين المجردة

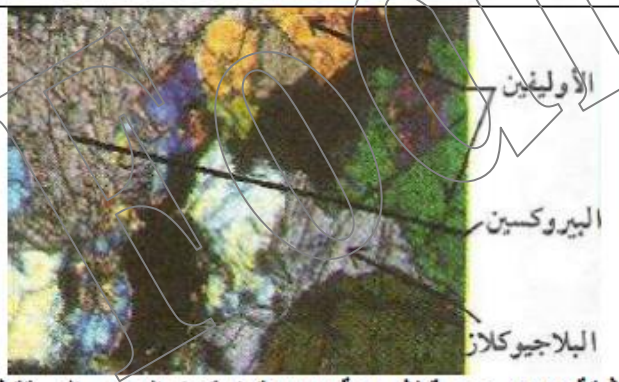
الوثيقة (13): صورة لشريحة بازلت تحت المجهر المستقطب

⇦ البيريدوتيت:

صخر ناري فوق قاعدي، يكون البرنس الأرضي، يتكون أساسا من معدن الأوليفين وقليلا من البيروكسين.



الوثيقة (14): صورة لعينة البيريدوتيت ملاحظة بالعين المجردة



الوثيقة (15): صورة لشريحة بيريدوتيت تحت المجهر المستقطب

*- **المقارنة بين التركيب المعدني، البنية النسيجية و كثافة بعض الصخور المشكلة للقشرة الأرضية و البرنس:**

الصخور	الكثافة	المعادن	البنية النسيجية
الغرانيت	2.4 إلى 2.9	كوارتز + ميكا + بلاجيوكلاز + فلدسبات	بنية حبيبية
البازلت	2.7 إلى 3.2	أوليفين + بلاجيوكلاز + زجاج بركاني	بنية ميكروليتية
الغابرو	2.9 إلى 3.2	أوليفين + بلاجيوكلاز	بنية حبيبية نصف بلورية
البيريدوتيت	3.2 إلى 3.4	أوليفين + بيروكسين + بلاجيوكلاز	بنية حبيبية

*- **العلاقة بين نسيج هذه الصخور و مستويات التبرد على مستوى القشرة الأرضية و البرنس:** الغرانيت و البيريدوتيت يبردان ببطئ في الأعماق، أما البازلت فيبرد بسرعة على السطح.

4- تحديد الطبيعة الكيميائية للبرنس و النواة:

- بينت الدراسات الجيوفيزيائية وجود ثلاث مستويات أرضية تتمثل على التوالي في البرنس، النواة الخارجية والنواة الداخلية؛ لتحديد الطبيعة الكيميائية للمواد المكونة للبرنس والنواة يمكن استعمال النيازك أو تجربة Birch.

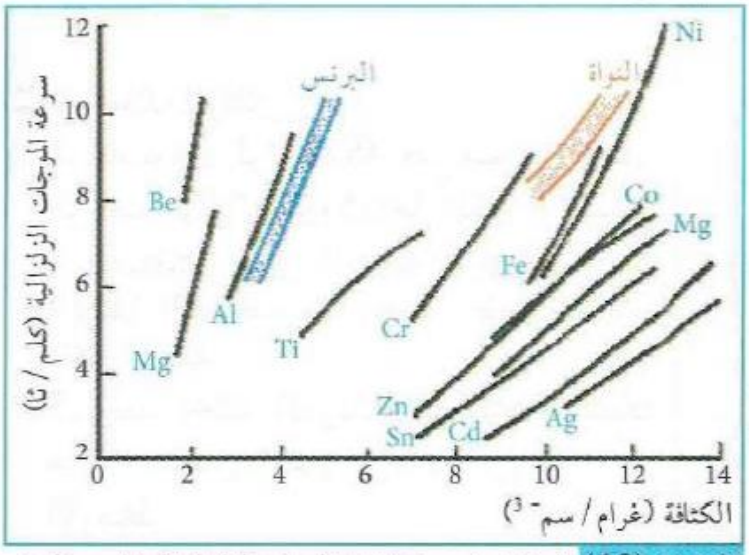
الوثيقة (11) صورة لعينات من النيازك

1) تصدر النيازك عن الحزام الذي يقع بين كوكبي المريخ وزحل وتمثل الكوندريت 85% منها.

- بينت التحاليل الجيوكيميائية التي أجريت على النيازك (الكوندريت) أنها تبدي نفس تركيب الكواكب الصخرية (الأرض) لكونها تشكلت من نفس المواد ولها نفس العمر، وتختلف النيازك عن الأرض في كونها غير متمايزة. تتوزع نسب المواد المكونة للكرة الأرضية على النحو التالي: 1% القشرة، 74% البرنس، 25% النواة.

الأرض	سيليكات (الأوليفين + البيروكسين): 75% والعناصر الثقيلة غير المعروفة: 25%
الكوندريت	سيليكات (الأوليفين + البيروكسين): 75%، الباقي تحتوي على حديد: 20%، 5% (Fe. + Ni + S + P)

يبين الجدول المقابل دراسة مقارنة بين العناصر الكيميائية المكونة للأرض والنيازك (الكوندريت).



الوثيقة (12) العلاقة بين سرعة انتشار الموجات الزلزالية في كل من البرنس والنواة وسرعة موجات التصادم في بعض الأجسام الكيميائية

2) تجربة **Birch**: أجريت قياسات سرعة موجات التصادم على عناصر كيميائية (Fe, Cr, Al, Mg, Na) تحت عاملي الضغط والحرارة المتغيرين والمماثلين لظروف البرنس والنواة. سمحت هذه القياسات بإنشاء مجموعة من الخطوط التي تمثل سرعة انتشار الموجات الزلزالية بدلالة كثافة هذه العناصر.

*- **تحليل نتائج الوثيقة 12 ص 278:** نلاحظ من خلال الوثيقة ما يلي:

- 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 العناصر الكيميائية (Al) و (Mg).

Nous vous souhaitons bonne chance. Abdou Ait Abdou Fadhil

- 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 العناصر الكيميائية (Fe) و (Ni).

*- **استنتاج:** نستنتج أن النواة تتكون من الحديد و النيكل، أما البرنس فيتكون من سليكات الألومين.

الخلاصة:

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

- 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.

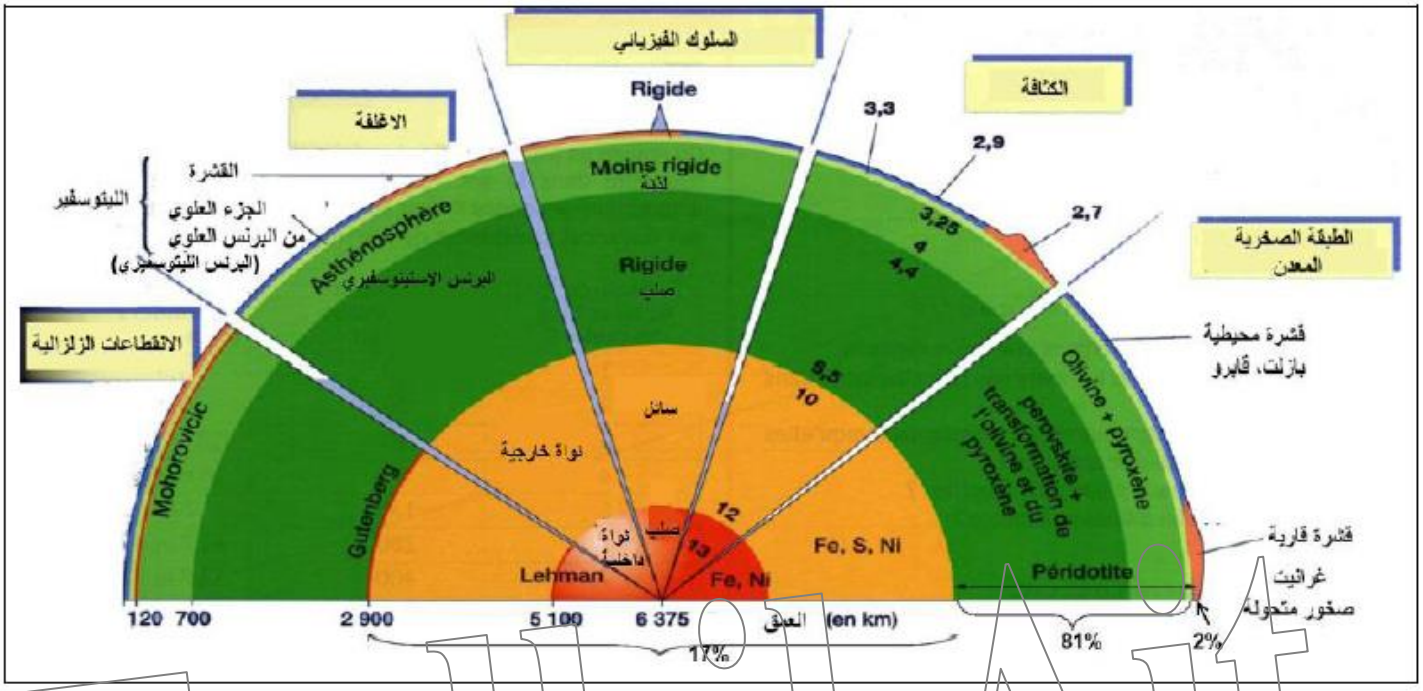
- المعطف (الرداء، الوشاح): يتركب أساسا من سليكات الألومين (بيريدوتيت) و هو صخر فوق قاعدي و يشكل أكبر نسبة من الكرة الأرضية (81%)، و ينقسم إلى:

*- معطف علوي ليتوسفيري صلب و متين.

*- معطف متوسط (أستينوسفير) مرن (لدن، مطاطي) أساسا.

*- معطف سفلي صلب و متين.

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



Fodhil Ait

بالتوفيق في المراجعة للبكالوريا

أستاذ المادة :
آيت ع الرحمان فضيل