البنية الجيولوجية للأرض

إعداد : د. أحمد عبدالقادر المهندس
ترجمة : حسن أمين

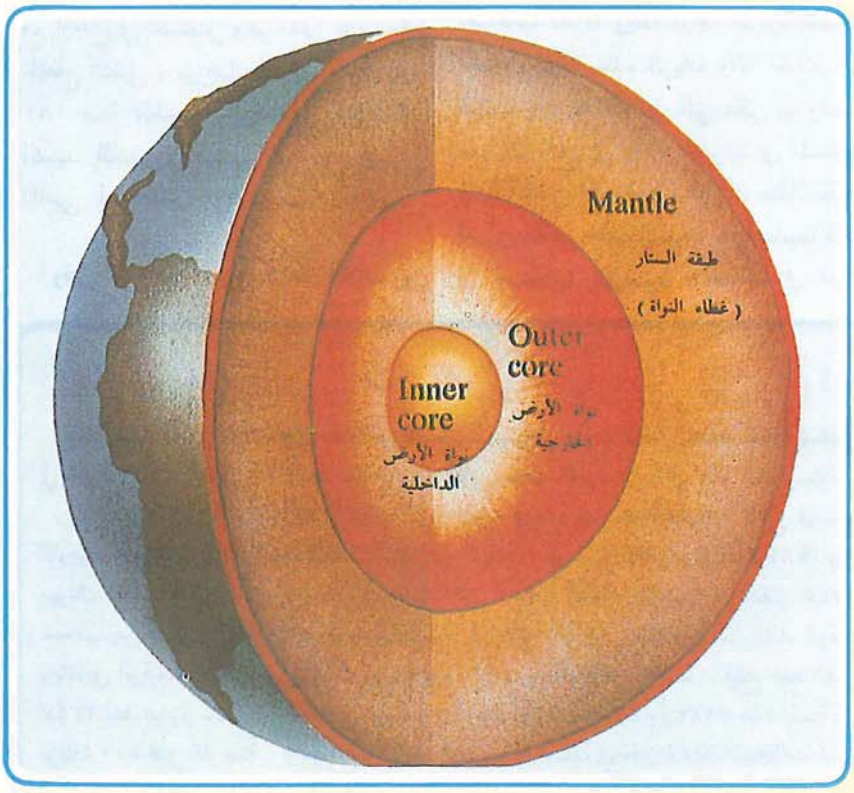
تمكن العلماء من دراسة البنية الجيولوجية للأرض بالاعتماد على كثير من المعطيات الجيوفيزيائية والجيولوجية ، ومن ضمن هذه المعطيات الكثافة ، وتبلغ كثافة الماء جراماً واحداً لكل سنتيمتر مكعب (١جم/ سم^{٣}) ، بينما يبلغ متوسط كثافة الأرض حوالي خمسة جرامات ونصف الجرام لكل سنتيمتر مكعب (٥,٥جم/ سم^{٣}) . إن موجات الضغط أو الموجات الصدمية الناتجة عن الهزات الأرضية يمكنها أن تنفذ خلال الصخور ، حيث تتغير سرعتها كما يتغير مسارها تبعاً لتغير كثافة الصخور التي تمر خلالها ، ويتيح هذا للمتخصصين في علوم الأرض استكشاف الصخور على أبعاد سحيقة عن طريق قياس الزمن الذي تستغرقه الموجات الصدمية في انتقالها من موقع الهزة الأرضية إلى مواقع مختلفة من سطح الأرض .

وقد قام العلماء خلال القرن الحالي بجمع الكثير من المعلومات لتكوين صورة تفصيلية عن باطن الأرض ، وقد تم الحصول على هذه المعلومات بدراسة الهزات الأرضية بالإضافة إلى دراسة النيازك والمجال المغناطيسي ومجموعات الجزر والبراكين .

طبقات الأرض الكبرى

تنتشر موجات الضغط أو الموجات الصدمية عقب وقوع هزة أرضية في جميع الاتجاهات ، وكما يحدث لموجات الضوء عندما تمر خلال الزجاج ، فان الموجات الصدمية تنعكس أو تنكسر عندما تنتقل خلال صخور مختلفة الكثافة ، وتتناسب سرعتها تناسباً طردياً مع كثافة الصخر ، ويستطيع علماء الجيوفيزياء معرفة كثافة وسمك الصخور الموجودة على عمق آلاف الكيلومترات تحت أقدامنا .

ولقد طور العلماء في نهاية القرن الماضي أول أجهزة تستخدم في تسجيل الموجات الصدمية وتسمى مرسمات الزلازل (Seismographs) ، وسرعان ما توصلوا إلى أن الهزة الأرضية تحدث نوعين من الموجات في باطن الأرض : النوع الأول هو الموجات الرئيسة أو موجات الضغط التي تنتشر بتناوب الانضغاط والتمدد ، وهذه الموجات يمكنها النفاذ خلال الصخور والغازات والسوائل ، والنوع الثاني هو الموجات الثانوية أو موجات القص ، وتنتقل بذبذبات جانبية ولا تنفذ إلا خلال الأجسام الصلبة وذلك لأن السوائل والغازات ليس لها خاصية الصلادة التي تدعم الحركة الجانبية .



البنية الجيولوجية للأرض

وعندما قام الجيولوجي اليوغسلافي « اندريا موهوروفيشيك » بتحليل ما سجلته الأجهزة عن هزة أرضية وقعت في « كروتيا » عام ١٩٠٩م كشف عن وجود أربعة أنواع

من النبضات الزلزالية ، اثنتان منها ضغط والآخرتان قص ، وقد سجلت مرسمات الزلازل القريبة من موقع الهزة الأرضية موجات ضغط وقص بطيئة الانتقال ، وسرعان ما تلاشت هذه الاشارات عند رصدها في مواقع بعيدة عن الأجهزة الأرضية ولكن حلت محلها موجات ضغط وقص أسرع ، وفسر « موهوروفيشيك » الموجات البطيئة بأنها تلك الموجات التي انتقلت من مركز الهزة الأرضية إلى محطة مرسمات الزلازل مباشرة خلال الطبقة العليا من القشرة الأرضية . أما الموجات الأسرع فلابد أنها قد مرت خلال طبقة سفلى من الصخور ذات كثافة عالية أدت إلى انحراف تلك الموجات وزيادة سرعتها ، وتوصل هذا العالم إلى ان التغير في الكثافة من ٢,٩ إلى ٣,٣ جرام/ سم^{٣} يمثل الحد الفاصل بين القشرة الأرضية والطبقة الخارجية من الوشاح واعترافاً من العلماء باكتشافه هذا فقد أطلقوا على هذا الحد الفاصل اسم فاصل موهوروفيشيك أو باختصار « موهو » .

واستناداً إلى البيانات التي سجلتها مرسمات الزلازل فقد اكتشف العلماء وجود نطاق « ظل » بين زاويتي ١٠٥ درجة و١٤٢ درجة من مصدر الهزة الأرضية لم تظهر فيها الموجات الصدمية ، أما موجات الضغط فقد ظهرت مرة أخرى في تسجيلات الزلازل وراء خط ١٤٢ درجة ، والتفسير الوحيد لذلك هو ان انتقال الموجات الصدمية من مادة صلبة إلى مادة سائلة أدى إلى إيقاف موجات القص وابطاء موجات الضغط (أنظر الشكل) ، وخلص علماء الزلازل إلى إن هناك تغير في الكثافة من ٥,٥ إلى ١٠ جرام/ سم^{٣} عند عمق ٢٩٠٠ كيل واعتبروا هذا الحد الفاصل بين الطبقة الخارجية واللب ، وقد كشف العلماء في وقت لاحق عن وجود بعض الموجات ، وإن كانت ضعيفة في نطاق الظل .

وقد أفادت عالمة زلازل دنماركية تدعى « انجي ليهمان » في منتصف الثلاثينيات عن وجود تغير آخر في الكثافة على عمق ٢٢٥٠ كيلاً داخل اللب يزيد من سرعة موجات الضغط وانحراف بعضها لتظهر في منطقة الظل ، واستنتجت هذه العالمة من ذلك وجود لب داخلي من مادة صلبة وعالية الكثافة في باطن الكرة الأرضية ، وقد أكد علماء آخرون ما توصلت إليه هذه العالمة من استنتاجات ، ويقدر حالياً ان الكثافة تتغير عند هذا الحد الفاصل من ١٢,٣ إلى ١٣,٣ جم/ سم^{٣} وقبل أن تبلغ ١٣,٦ جم/ سم^{٣} عند مركز الكرة الأرضية .

استكشاف باطن الأرض

تزايد في عصرنا الحالي استخدام العلماء للموجات الزلزالية الاصطناعية في استكشاف باطن الأرض وذلك بالاستعانة بمسبار الصدى والتفجيرات الصغيرة وغيرها كأجهزة للصدم يمكن تشغيلها في أي مكان وزمان . والآن وقد تكونت لدينا صورة عامة عن الأرض وهي أنها تعد سلسلة من الطبقات المتمركزة التي تزداد كثافتها باضطراد نحو مركز الأرض ، فما هي العوامل التي تتحكم في تشكيل تلك الطبقات ؟ هناك عاملان متضادات يتحكمان في صلادة تلك الطبقات وبالتالي في كثافتها ، وهما :

١ ــ درجة الحرارة :

وتعمل على تليين أو صهر الصخور ، وتنتج الحرارة بفعل الطاقة المتولدة من تحلل العناصر المشعة في الصخور وقد تصل درجة الحرارة إلى ٣٠٠٠ درجة مئوية عند مركز الأرض وتنخفض إلى ٣٧٥ درجة مئوية عند الحد الفاصل (موهو) بين القشرة الأرضية والطبقة الخارجية من الوشاح .

٢ ــ الضغط :

ويؤدي إلى تصلب الصخور ، وكلما ازداد العمق زاد وزن الصخور وارتفع الضغط . وتكون الصخور القريبة من السطح البارد صلبة وهشة ، ويطلق علماء الجيولوجيا على هذه المنطقة اسم الغلاف الصخري (Lithosphere) ، وتضم هذه الطبقة القشرة الأرضية والجزء العلوي من الطبقة الخارجية ويبلغ عمقها ٧٠ كيلاً . عند هذا الحد تبدأ سرعة الموجات الزلزالية في الابطاء مما يشير إلى حدوث تغير في الكثافة ، وهذه هي المنطقة التي يطلق عليها اسم غلاف الانسياب (asthenosphere) وفيها لا تستطيع الحرارة الناجمة عن النشاط الاشعاعي ان تنتشر بسهولة مما يؤدي إلى انصهار الصخور وربما تدفقها أيضاً ، ويمتد غلاف الانسياب إلى عمق نحو ٢٠٠ كيل .

وتحت « غلاف الانسياب » يوجد الغلاف المتوسط (mesosphere) الذي يمتد إلى عمق ٢٥٠٠ كيل وفيه تبدأ سرعة الموجات الزلزالية في التزايد بمعدل سريع في البداية ثم بمعدل أقل بالرغم من ازدياد درجة الحرارة ، حيث أن تأثير الضغط العالي يكسب تلك الصخور والمواد درجة من الصلادة لا تمكنها من الأنسياب إلا ببطء شديد .

أما لب الأرض فيتكون من جزئين : الجزء العلوي (الخارجي) وسمكه ٢٢٠٠ (كم) وهو في حالة سائلة وذلك لأن درجة الحرارة فيه عالية بحيث تكفي لمعادلة الضغط الهائل من الصخور التي تعلوه وفي هذا الجزء تتلاشى موجات القص ، والجزء الداخلي وسمكه ١٢٧٠ (كم) وهو في حالة صلبة .

الملاحظة المباشرة وغير المباشرة لتكوين الأرض

على الرغم من امكان حفر ثقوب في داخل الأرض والحصول على عينات من الصخور إلا أنه لم يستطع أحد حتى الآن أن يصل إلى الطبقة الخارجية ، فأعمق ثقب في العالم ، ويقع في شبه جزيرة « كولا » بالاتحاد السوفيتي لم يتعد عمق ١٢ كيلاً في داخل الأرض أي حوالي نصف عمق القشرة الأرضية أو ما يعادل ٠,٢ في المائة من المسافة إلى مركز الأرض .

لكن ماذا نعرف عن القشرة الأرضية عن طريق الملاحظة المباشرة ؟

في المناطق القارية نجد أن هناك وفرة في عناصر السليكون والالمنيوم ، وتكون هذه العناصر متحدة مع الاوكسجين في أكثر أنواع الصخور شيوعاً هو « الجرانيت » . وتتكون القشرة الأرضية تحت المحيطات وأسفل صخور الجرانيت القارية أساساً من صخور البزلت التي يغلب على تكوينها عناصر السليكون والحديد والمغنسيوم .

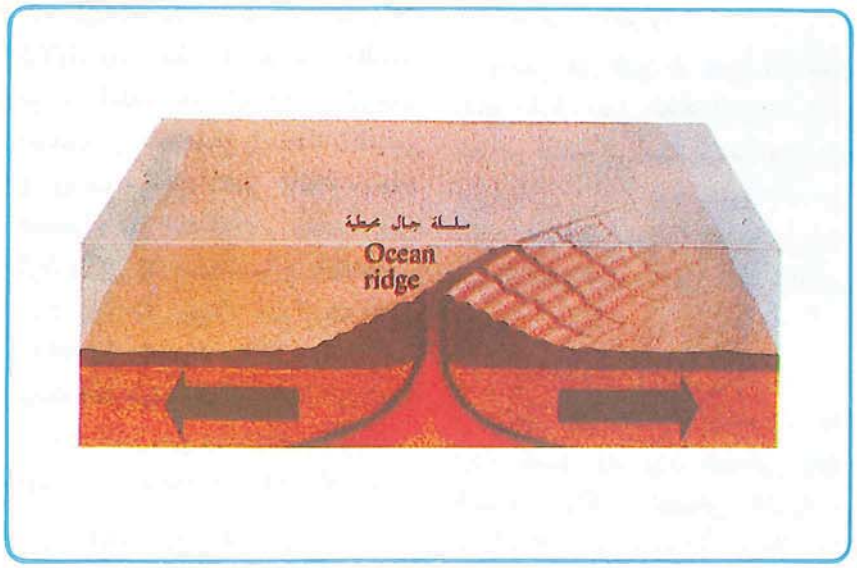
وعلى الرغم من أن المعرفة الحقيقية لمكونات الأرض تنتهي عند هذا الحد إلا أن علماء الجيولوجيا يعتقدون أنهم اكتشفوا نوعاً من الصخور يمتد من الطبقة الخارجية إلى سطح الأرض في أربعة مواقع تشمل شمال ايطاليا ، وجنوب شرق تركيا ، والخليج العربي ، وغينيا الجديدة . وتعرف هذه الصخور الثقيلة ذات اللون الداكن بصخور البريدوتايت (Peridotites) وتتكون من معدني الاوليفين والبيروكسين ، ولا تتكون إلا بفعل الضغط المرتفع ، وتتميز بوفرة عنصري الحديد والمغنسيوم ، وتبلغ كثافة صخور البريدوتيت حداً يجعل الموجات الصدمية الناجمة عن الهزات الأرضية تنتقل خلالها بسرعة تعادل السرعة التي تنتقل بها الموجات الزلزالية خلال الطبقة الخارجية للوشاح ، وعليه فإن أفضل الافتراضات في الوقت الحاضر هو أن الطبقة الخارجية من الوشاح تتكون في الغالب من الاوكسجين والسليكون والمغنسيوم والحديد ، ومن المحتمل وجود هذه العناصر في الجزء العلوي من هذه الطبقة في أشكال معادن كالأوليفين والبيروكسين والجرانيت ، ونتيجة لتزايد الضغط الواقع من الصخور العلوية مع ازدياد العمق تحدث اعادة لترتيب ذرات تلك المركبات في أشكال أكثر انضغاطاً تعرف « بمعادن الضغط العالي » ، وهذا بدوره يغير تركيب الصخور وفي الجزء السفلي من طبقة الأرض الخارجية يرجح احتمال تفتت المركبات المعدنية إلى أكاسيد بسيطة .

وتضيف النيازك معلومات قيمة عن تركيب كوكب الأرض ، وتكون معظم النيازك التي تصل إلى سطح الأرض إحدى نوعين : إما حجرية وإما حديدية . واستناداً إلى الافتراض السائد أن النيازك عبارة عن بقايا من كواكب أخرى تشبه الأرض . ويعتقد العلماء أن النيازك الحجرية تمثل المادة التي تتكون منها الطبقة الخارجية ، بينما تمثل النيازك الحديدية المادة التي يتكون منها اللب ، وبافتراض صحة هذه الفكرة ــ ويبدو ان تكوين النيازك الحجرية يشبه إلى حد كبير ما عرف عن تكوين الطبقة الخارجية ــ يمكن معرفة الكثير عن تكوين لب الأرض عن طريق دراسة النيازك الحديدية ، وتتكون النيازك الحديدية غالباً من الحديد ، وكبريتيد الحديد ، وسلسلة من العناصر المالة للحديد (Siderophile elements) والتي تتضمن النيكل ، والبلاتينيوم ، وفلزات نادرة أخرى مثل الايريديوم .

كما أن وجود هذه العناصر في لب الكرة الأرضية يؤدي إلى وجود المجال المغناطيسي للأرض . وقد وجد أن المجال المغناطيسي أكثر قوة عند الأقطاب منه عند خط الاستواء ، وهذا يؤثر على الزاوية الدقيقة التي تتمغنط عندها دقائق الحديد ، وعند قياس اتجاه وميل المجال المغناطيسي في صخرة معينة يستطيع الجيوفيزيائيون تحديد خط العرض الذي تكونت عنده الصخرة في الأصل . وعند المقارنة بينه وبين خط العرض الحالي يمكن تكوين سجل عن الكيفية التي تزحزحت وتحركت بها الألواح الأرضية بعضها عن بعض .

المحيطات التي استقرت بين القارات

اكتشف العلماء في بداية القرن السابع عشر أن الشكل الخارجي للجانب الشرقي من الأمريكتين والجانب الغربي من افريقيا يبدوان متطابقين بعضهما على بعض ، ثم اكتشف المستوطنون للعالم الجديد في القرون التالية وجود رواسب هائلة من الفحم في القارة الأمريكية بدأ موقعها متوافقاً مع رواسب الفحم الموجودة في الجانب الأوروبي ، وعلاوة على ذلك فقد اكتشف العلماء وجود بقايا أحفورية لفصائل متطابقة من النباتات والحيوانات على جانبي المحيط الأطلسي ، وهكذا جاءت الأدلة تدريجياً بما يوحي ان سطح الأرض كان يمثل يوماً ما قارة واحدة هائلة تصدعت وتجزأت إلى وحدات منفصلة تباعدت نتيجة حدوث انجراف بطيء ، وعلى الرغم من هذه الاستنتاجات والأدلة لم يستطع أحد أن يفسر كيف حدث ذلك .



المحيطات التي استقرت بين القارات

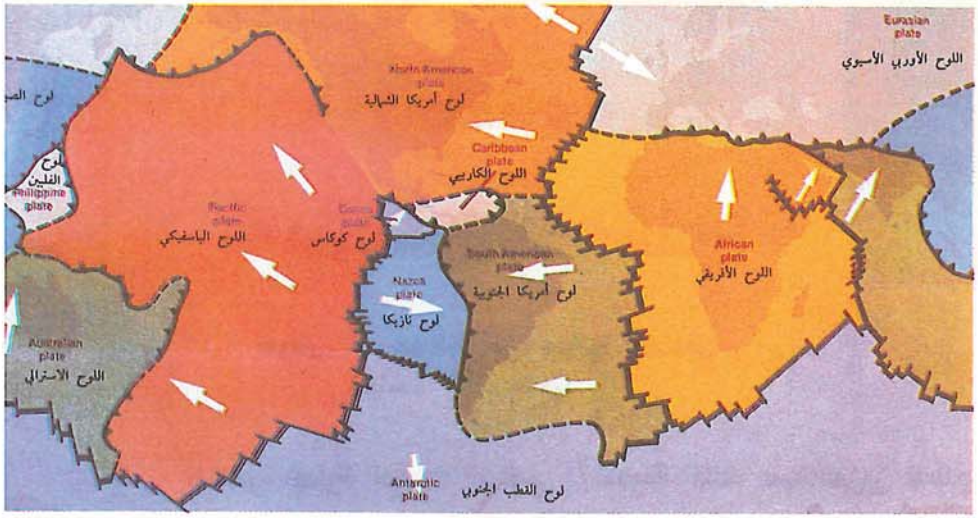
وفي عام ١٩٢٨م برزت فكرة احتمال وجود تيارات حمل في الجزء العلوي من الوشاح ، وفيما بعد طورت هذه النظرية إلى مفهوم « تمدد قاع البحر » . ويتلخص هذا المفهوم في أن تيارات الحمل قد اجبرت الصهير الناري (Magma) في باطن الأرض إلى الاندفاع إلى أعلى مما أحدث تشققاً في القشرة الأرضية العليا ، وحين بردت المواد المنصهرة تكونت شريحة من صخور البازلت ثم تباعدت تدريجياً عن تلك الصدوع بفعل تدفق المزيد من المواد المنصهرة . وتمثل التضاريس المنتشرة عبر كافة محيطات العالم موقع حدوث هذا النشاط .

لم يأخذ كثير من العلماء وخاصة الجيولوجيون بمفهوم تمدد قاع البحر إلا عند اطلاعهم على البيانات التي توفرت عن المسوحات المغناطيسية التي أجريت في الستينات . فقد قام العلماء من على متن سفن الأبحاث بقياس مغناطيسية الصخور عبر التضاريس الممتدة من قيعان المحيطات مثل بروز منتصف المحيط الأطلسي المعروف ، وقد وجد العلماء ان الصخور الموجودة في قاع المحيط قد تمغنطت في اتجاهات متبادلة في سلسلة من الحزم الموازية لتلك التضاريس ، وقد وجدوا علاوة على ذلك تطابقاً في نمط وجود هذه الحزم على جانبي تلك التضاريس . وقد فسر العلماء ذلك بأنه عندما تبرد الصخور البازلتية المنصهرة من الطبقة الخارجية في قاع المحيط تتمغنط في اتجاه المجال المغناطيسي الموجود آنذاك ، وباستمرار انقذاف المواد المنصهرة بحدث تصدع في شريحة صخور البازلت حديثة التصلب وتنقسم آلى جزئين ، وعندما ينعكس المجال المغناطيسي تتمغنط الشريحة التالية من صخور البازلت في الاتجاه العكسي للشريحة السابقة وتتكون حزمة في الوسط . ويؤيد هذا التفسير وكذلك ازدياد عمر الصخور ببعدها عن تلك التضاريس مفهوم تمدد قاع البحر ويتضح من هذا كيف ان القارات التي كانت متصلة ذات يوم قد انفصلت بمحيطات هائلة نظراً لما تضيفه باستمرار تضاريس منتصف المحيطات من مواد إلى قاع المحيط .

الألواح : الحزام الناقل للكرة الأرضية

قام أحد علماء الفيزياء الأرضية الكنديين في عام ١٩٦٥م بالجمع بين فكرتي « الانجراف القاري » و « تمدد قاع البحر » ليكون منهما فكرة واحدة عن الأحزمة الناقلة والألواح الصلدة ، وأضاف علماء الفيزياء الأرضية الأمريكيون عام ١٩٦٧م فكرة أخرى عن « الدفع السفلي » (underthrusting) حيث تغوص كتلة من طبقة القشرة أسفل كتلة أخرى عند الأخاديد البحرية العميقة .

ومن هذه الأفكار قام العلماء بتكوين نظرية شاملة عن القشرة الأرضية عرفت باسم « تكتونية الألواح » (plate tectonics) . والنظرية مفادها أن الطبقة الخارجية للأرض ــ أي الغلاف الصخري ــ تتكون من ستة ألواح رئيسة أو أكثر تتحرك فوق طبقة سفلى ساخنة ومنصهرة جزئياً ، وهي أثناء تحركها هذا ترتطم فيما بينها وتتباعد وتنزلق متجاوزة بعضها البعض وحاملة معها المحيطات والقارات ، ومن أهم خصائص نظرية تكتونية الألواح ان سطح الأرض يوجد في حالة اتزان ، وأن الألواح تتكون عند تضاريس وسط المحيط حيث ترتفع الحرارة والمادة المنصهرة من غلاف الأنسياب الداخلي (asthenosphere) لتكون قشرة أرضية جديدة ، ويوازن هذه العملية دفع سفلي يحدث تدميراً للألواح في الأماكن الأخرى معيداً القشرة القديمة إلى غلاف الأنسياب ، وبعبارة أخرى ، يدفع الحمل المتجه إلى أعلى اللوحة الجديدة إلى السطح بينما يعيد الحمل المتجه إلى أسفل اللوحة القديمة إلى موضع الانصهار ، وتوضح حالياً البيانات التي حصل عليها العلماء باستخدام تقنيات الليزر والأقمار الصناعية



الألواح : الحزام الناقل للكرة الأرضية

أن الألواح تتحرك بمعدل ١,٥ إلى ٧ سنتيمترات في العام ، وعلى سبيل المثال ، تتحرك الألواح التي تلتقي عند تضاريس وسط المحيط الأطلسي بمعدل سنتيمترين في العام الواحد .

وعلى الرغم مما تقدمه نظرية تكتونية الألواح من فكرة شاملة توضح العديد من الظواهر الجيوفيزيائية والبنائية عن سطح الأرض مثل تكون الجبال وحدوث الزلازل وزحف القارات ، فإن معرفتنا لاتزال متواضعة ولا تتناسب مع حجم هذا الكوكب .

وصدق الله العظيم إذ يقول : (وما أوتيتم من العلم إلا قليلا) .

ترجمت بتصرف من :

New scientist 25 February, 1988