

الفصل الأول

تعريف بعلم الأرض

تختص علوم الأرض أو (الجيولوجيا) بدراسة المواد المكونة للقشرة الأرضية من نواحي تركيبها الكيميائي والمعدني وخواصها الطبيعية والكيميائية والميكانيكية، والعمليات الخارجية والداخلية التي تؤثر على الأرض منذ نشأتها وتطور أنواع الحياة عليها - سواء أكانت حيوانية أم نباتية. وتنقسم علوم الأرض إلى الفروع الرئيسية الآتية:

(أ) الجيوكيمياء	(Geochemistry)
(ب) الجيوفيزيكا	(Geophysics)
(ج) الجيولوجيا الديناميكية	(Dynamic Geology)
(د) الجيولوجيا التاريخية	(Historical Geology)
(هـ) الجيولوجيا التطبيقية	(Applied Geology)
(و) الجيولوجيا الهندسية	(Engineering Geology)

الجيوكيمياء:

يتناول هذا الفرع من علوم الأرض توزيع العناصر المختلفة في الأرض ونسبة وجودها، والتركيب الكيميائي للمعادن والصخور المكونة للقشرة الأرضية، ويشمل علوم البلورات والمعادن والصخور وكيمياء الأرض.

ويختص علم البلورات بدراسة البلورات من ناحية أشكالها الخارجية وتراكيبها الذرية الداخلية. والبلورة عبارة عن جسم صلب متجانس تحده سطوح تكون عادة مستوية تسمى بالأوجه وموزعة في نظام وتمائل معين يدل على الترتيب الذري الداخلى المنتظم للمادة.

ويتناول علم المعادن دراسة الصفات الطبيعية والضوئية والكيميائية للمعادن التي هي مواد غير عضوية تكونت بعمليات جيوكيميائية وهي عادة ذات تركيب كيميائي ثابت يعبر عنه برمز كيميائي. ويصل عدد المعادن المعروفة أكثر من ٢,٠٠٠ معدن، إلا أن جميع المعادن الشائعة ومن ضمنها المعادن الاقتصادية لا تزيد على مائتى معدن فقط. أما علم الصخور فيتضمن دراسة خواص الصخور من النواحي الطبيعية والميكانيكية وتركيبها الكيميائي والمعدني وأصل نشأتها.

وتتكون الصخور من معدن أو أكثر وتنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي النارية والرسوبية والمتحولة. أما علم كيمياء الأرض فيختص بدراسة توزيع وانتشار ودورة العناصر المختلفة التي تتكون منها الأرض.

الجيوفيزيكا:

يختص هذا الفرع من علوم الأرض بدراسة بعض الخواص الفيزيكية للصخور المكونة للقشرة الأرضية ومن أهم الطرق الجيوفيزيكية المستخدمة لدراسة الصخور هي طرق الجاذبية والمغناطيسية والكهربية والسيزمية. ولقد أصبح استخدام الطرق الجيوفيزيكية من الوسائل التي لا غنى عنها لاستكشاف البترول والمياه الأرضية وبعض الرواسب المعدنية الفلزية. أما في مجال الهندسة المدنية فإنها تستخدم لدراسة طبيعة وتراكيب الصخور تحت السطحية في المواقع التي ينشأ عليها مشروعات هندسية كبيرة مثل السدود والخزانات والأنفاق ومحطات توليد الكهرباء من القوى المائية.

الجيولوجيا الديناميكية:

يشمل هذا الفرع من علوم الأرض عدداً كبيراً من الدراسات المتعلقة بالعمليات الجيولوجية التي تحدث على سطح الأرض وتسمى بالعمليات الخارجية، وكذلك العمليات الجيولوجية التي تنشأ بداخل الأرض وتسمى بالعمليات الداخلية. ومن ضمن الدراسات الهامة للعمليات الخارجية نذكر على سبيل المثال عمليات التجوية الطبيعية والكيميائية للصخور والترسيب في البحار والبحيرات والأنهار ودراسة المياه السطحية والأرضية. أما العمليات الداخلية التي ينشأ عنها ظواهر جيولوجية بداخل الأرض وخارجها فنذكر منها على سبيل المثال دراسة الزلازل والبراكين والتراكيب الثانوية في الصخور والناشئة عن الحركات الأرضية العنيفة والتي تؤدي إلى نشأة الجبال والمرتفعات والمنخفضات وما يصاحبها من طيات وفوالق وفواصل.

الجيولوجيا التاريخية:

يتناول هذا الفرع من علوم الأرض تاريخ ونشأة الصخور المكونة للقشرة الأرضية. وتطور أنواع الحياة الحيوانية والنباتية منذ نشأتها على سطح الأرض. وتنقسم الجيولوجيا التاريخية إلى عدة أقسام من أهمها علم الحفريات الذي يبحث في دراسة البقايا الحيوانية والنباتية التي توجد بالصخور في العصور الجيولوجية المختلفة سواء كانت حفريات كبيرة أم دقيقة. أما علم الجيولوجيا الطبقيّة فإنه يختص بدراسة طبقات الصخور الرسوبية وتتابعها الزمني ومن ضمن الجيولوجيا التاريخية علم الجغرافيا القديمة الذي يختص بتوزيع اليابس والماء في العصور الجيولوجية المختلفة..

الجيولوجيا التطبيقية:

ويشمل هذا الفرع الهام من علوم الأرض تطبيق الأسس والمعلومات الجيولوجية لاستغلال الموارد المعدنية من خامات فلزية ولا فلزية وفحم وبتروك وغيرها والتي توجد بالقشرة الأرضية استغلالاً اقتصادياً لفائدة الإنسان وتقدم الحضارة والصناعة. وتتكون الجيولوجيا التطبيقية من عدة أقسام نذكر منها على سبيل المثال جيولوجيا التعدين و جيولوجيا البترول والمياه الأرضية و جيولوجيا النظائر المشعة والجيولوجيا الهندسية ويوضح جدول (١) الفروع الرئيسية لعلوم الأرض وأقسام كل فرع منها.

أهمية علوم الأرض:

كثيراً ما يصادف المهندس أنواعاً متعددة من المشاكل الهندسية. والذي يساعده في حلها معرفته بالمبادئ العامة لعلوم الأرض. ونذكر باختصار على سبيل المثال بعض التطبيقات العملية لعلوم الأرض:

(جدول ١) الفروع الرئيسية لعلوم الأرض

جيولوجيا تطبيقية	جيولوجيا تاريخية	جيولوجيا ديناميكية	جيوفيزيقا	جيوكيمياء
جيولوجيا التعدين	علم الحفريات	علم الترسيب	طرق ثقالية	علم البلورات
جيولوجيا البترول		علم المياه		
جيولوجيا الفحم	جيولوجيا طبقيّة	علم المحيطات	طرق مغناطيسية	علم المعادن
جيولوجيا النظائر المشعة		علم الصحارة		
جيولوجيا المياه الأرضية	جغرافيا قديمة	علم البراكين	طرق كهربية	علم الصخور
جيولوجيا هندسية		علم الزلازل	طرق سيزمية	كيمياء الأرض
جيولوجيا زراعية		جيولوجيا تركيبية	طرق إدارية	

١ - تزود علوم الأرض المهندس بالمعلومات الضرورية عن الخواص الطبيعية والميكانيكية ونوع الاختبارات المطلوبة للمواد المكونة للقشرة الأرضية سواء أكانت تربة أم مواد مفككة أم صخوراً صلبة وكذلك الأحوال التي توجد عليها الصخور المختلفة وتراكيبها.

٢ - يحتاج تصميم الأساسات، وخاصة فى حالة المنشآت الهندسية الكبيرة كالسدود والخزانات والأنفاق والمخابئ والقواعد العسكرية والطرق الرئيسية إلى دراسة خواص الصخور تحت السطحية وتراكيبها.

٣ - لا يمكن تخطيط وتنفيذ أعمال الحفر فى الصخور بأمان إلا بعد التعرف على صفاتها الطبيعية والميكانيكية وكذلك تحديد نوع التراكيب الجيولوجية التى توجد عليها هذه الصخور.

٤ - إن إلمام المهندس بطبيعة المياه الأرضية وحركتها له فائدة كبيرة فى الهندسة الصحية وتحديد مصادر المياه وعمليات الرى والصرف وحماية المنشآت من الانزلاقات الأرضية التى تؤدى إلى هبوط أو انهيار هذه المنشآت.

٥ - معرفة المهندس بالمبادئ الجيولوجية عن المياه السطحية مثل الأنهار والبحار والدور التى تلعبه كعوامل النحت والنقل والترسيب يساعده كثيراً فى حل بعض المشاكل المتعلقة بتهديب مجرى الأنهار وتقوية الجسور فى حالة الفيضان، وحماية شواطئ البحار من التآكل، ومعالجة مشكلة ترسيب الطمي والرمال فى القنوات الصناعية وفى بعض الموانئ، وفى المحافظة على التربة الزراعية. وغيرها من المشروعات الهندسية.

٦ - إن إتقان المهندس لقراءة وتفسير التقارير والخرائط الجيولوجية والطبوغرافية والصور الجوية له فوائد كبيرة فى نواحي تخطيط المدن وشق الطرق واختيار مواقع المطارات والمصانع وتحديد مواقع مواد البناء ورصف الطرق.

٧ - يعتبر من الضروري فى بعض المشروعات الحيوية القيام بدراسات للصخور تحت السطحية قبل اختيار موقع المنشآت الهندسية الهامة. ويمكن حصر هذه الدراسات الميدانية بالاستفادة بكل المعلومات والبيانات الواردة بالتقرير الجيولوجى وبالخريطة والقطاعات الجيولوجية استعادة كاملة.

معلومات أساسية عن الأرض

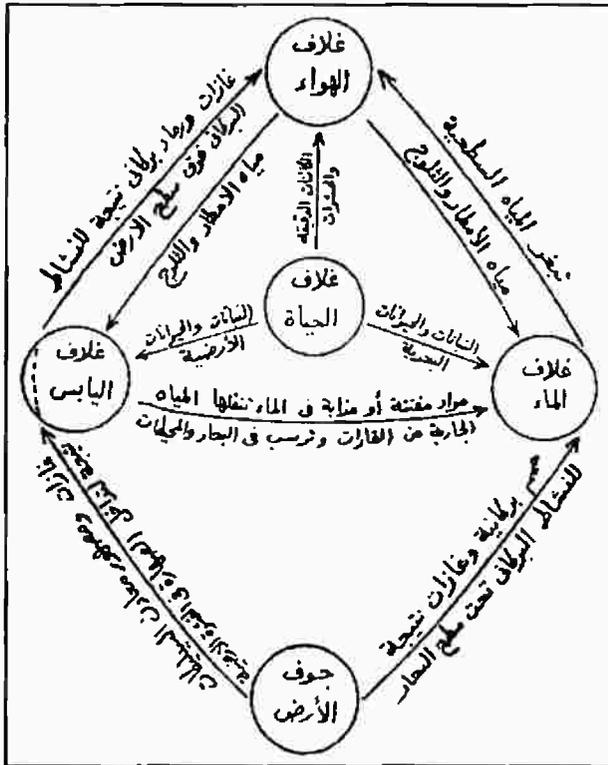
مساحة سطح الأرض	= ٥١٠ مليون كم ^٢
مساحة الغلاف المائي	= ٣٦١ مليون كم ^٢
مساحة المحيط الهادى (الباسيفيكي)	= ١٨٠ مليون كم ^٢
مساحة المحيط الأطلنطى	= ١٠٦ ملايين كم ^٢
مساحة المحيط الهندى	= ٧٥ مليون كم ^٢
مساحة اليابس (القارات)	= ١٤٩ مليون كم ^٢
نصف قطر الأرض عند خط الاستواء	= ٦,٣٧٨ كم
نصف قطر الأرض عند النقطتين	= ٦,٣٥٧ كم
متوسط ارتفاع سطح الأرض	= ٨٢٥ م فوق سطح البحر
متوسط أعماق البحار	= ٣٨٠٠ م تحت سطح البحر
أقصى ارتفاع للجبال (قمة افرست)	= ٩,٦٠٠ م فوق سطح البحر
أكبر منسوب لقاع البحار والمحيطات	= ١٠,٨٠٠ م تحت سطح البحر
النسبة المئوية لليابس (بدون الجزر)	= ٢٩,٢ فى المائة
النسبة المئوية للرصيف القارى	
(من مستوى سطح البحر إلى عمق ٢٠٠ م تحت سطح البحر)	= ٦,١ فى المائة.
النسبة المئوية للرصيف القارى	
(من عمق ٢٠٠ م إلى ٢,٠٠٠ م تحت سطح البحر)	= ١٣,٢ فى المائة
النسبة المئوية لقيعان البحار والمحيطات	
(عمق أكثر من ٢,٠٠٠ م تحت سطح البحر)	= ٥١,٢ فى المائة
العمر الجيولوجى للأرض	= أكثر من ٤٥٠٠ مليون سنة

تركيب الأرض

تقسم الأرض إلى خمسة أغلفة هي:

- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| (Atmosphere) | ١ - غلاف هوائي |
| (Hydrosphere) | ٢ - غلاف مائي |
| (Lithosphere) | ٣ - غلاف يابس |
| (Biosphere) | ٤ - غلاف الحياة |
| (Sidrosphere or Centrosphere) | ٥ - جوف الأرض |

ويتضح من شكل (١) أن هذه الأغلفة ذات ارتباط وثيق إذ يوجد انتقال مستمر للمواد في صورها المختلفة من غلاف لآخر. فمثلا يتعرض الغلاف المائي المكشوف للهواء مثل المحيطات



شكل رقم (١): انتقال المواد بين الأغلفة المختلفة التي تتكون منها الأرض.

والبحار والبحيرات والأنهار إلى عملية التبخير وبذلك ينقل الماء من الغلاف المائي إلى الغلاف الهوائي، كما أن العملية العكسية في نشاط مستمر مما يؤدي إلى سقوط الأمطار والتلوج: ويلعب الماء دوراً أساسياً، وخاصة إذا كان مشبعاً بالأكسجين وثاني أكسيد الكربون، لإذابة بعض الصخور مثل الحجر الجيري. وكذلك تنقل المواد الذائبة في مياه الأنهار وبعض المواد الصلبة العالقة بها من غلاف اليابس إلى الغلاف المائي. ويؤدي النشاط البركاني إلى انتقال الغازات والمواد الصخرية المصهورة (التي تسمى الصهارة أو الماجما) من جوف الأرض إلى سطح الأرض والغلاف الهوائي أو إلى الغلاف المائي في حالة النشاط البركاني في قاع البحار والمحيطات.

ويوضح جدول (٢) الصفات الطبيعية والكيميائية الهامة للأغلفة المكونة للأرض:

جدول (٢)

الغلاف	الصفات الطبيعية	الصفات الكيميائية
الهوائي	غازات	نيتروجين، أكسجين، بخار، ماء، ثاني أكسيد الكربون، غازات خاملة.
المائي	مواد سائلة وأحياناً صلبة متوسط الثقل النوعي حوالي ١,٠٣	مياه عذبة ومالحة، ثلج، جليد.
اليابس	مواد صلبة متوسط الثقل النوعي حوالي ٢,٨	صخور تتكون من خليط من معادن السيليكات.
الحيوي	مواد صلبة وسائلة وغالباً مواد غروية. الثقل النوعي حوالي ٣,٠	الماء، مواد عضوية وهياكل الكائنات الحيوانية والنباتية.
جوف الأرض	الجزء العلوي في الحالة السائلة والجزء السفلي في الحالة الصلبة متوسط الثقل النوعي ١٠,٧	خليط من الحديد والنيكل في الحالة الفلزية.

الغلاف الهوائي:

يحيط هذا الغلاف الغازي بالقشرة الأرضية ويشكل العناصر المختلفة التي تنشأ عنها الحالة الجوية بالمناطق المختلفة.

ويتكون الغلاف الهوائي، الذي يبلغ ارتفاعه ١٦٠ كيلومتراً تقريباً، من خليط من الغازات وبخار الماء، وفي بعض المناطق يحتوي على الماء في صورة سحب وأمطار أو على مواد صلبة

كالتلج والغبار والدخان، وتعتمد كمية بخار الماء التي توجد في الهواء على عدة عوامل أهمها الضغط الجوي ودرجة الحرارة والموقع الجغرافى. وبصفة عامة يتكون الهواء من خليط من النتروجين (الأزوت) والأكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء بالنسب التقريبية الموضحة فى جدول (٣).

(جدول ٣) المكونات الأساسية للغلاف الهوائى

الغازات	النسبة المئوية بالحجم
نيتروجين (أزوت)	٧٧,٩١
أكسجين	٢٠,٦٦
بخار الماء	١,٤٠
ثانى أكسيد الكربون	٠,٠٣

ويحتوى الغلاف الهوائى أيضاً على كمية ضئيلة من غازات الهيليوم والأرجون والنيون والزينون وغيرها، وجميع هذه الغازات خاملة ليس لها نشاط كيميائى. كذلك يحتوى الهواء على آثار قليلة من غاز النشادر وحامض النيتريك، وفى المدن الكبيرة وخاصة بالمناطق الصناعية يحتوى الهواء على مواد أخرى بنسب ملحوظة مثل مركبات الكبريت ونواتج احتراق الفحم والمنتجات البترولية.

الغلاف المائى:

ويتكون من المياه السطحية المكشوفة على سطح الأرض، والمياه الأرضية التى توجد تحت سطح الأرض فى الشقوق والمسام الصخرية. وتشمل المياه السطحية المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار.

ويتكون الغلاف المائى من قسمين أساسيين هما:

(أ) المحيطات والبحار ومياهها متصلة ومستمرة.

(ب) البحيرات والبرك والمستنقعات والجداول والأنهار، وهذه توجد بالقارات ومياهها منفصلة ومنتشرة على سطح الأرض. وتغطى المحيطات حوالى ٧٢ فى المائة من سطح الأرض وتبلغ مساحتها ٣٦١ مليون كم^٢ تقريباً، وفى بعض أجزاء المحيطات يكون الانحدار فى الأجزاء المحيطة بالقارات تدريجياً لعمق يصل إلى ٢٠٠ متر تقريباً، ويسمى هذا الجزء من القارات المغطى بالمياه بالرصيف القارى وتبلغ مساحته ٣٠ مليون كم^٢ تقريباً. ويلاحظ أن قاع

المحيطات ليس مستويًا، ولكنه يتكون من هضاب وسهول ووديان وتشبهه فى ذلك تضاريس سطح الأرض لدرجة كبيرة.

غلاف اليابس:

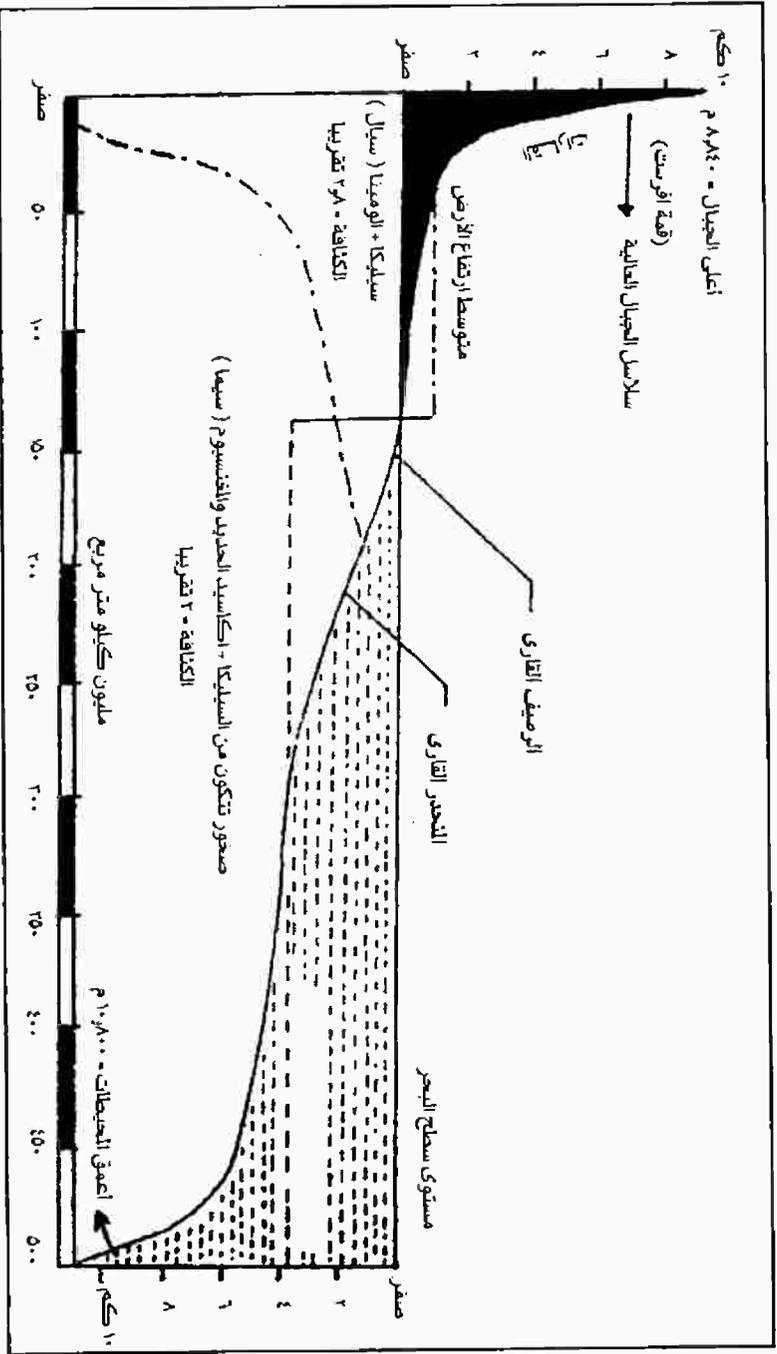
ويتكون من القشرة الأرضية الخارجية الصلبة المكونة للقارات وقيعان المحيطات والبحار، وتشكل القارات ثلث سطح الأرض تقريبًا، أما الباقي فتغطيه مياه البحار كما فى شكل (٢). وتتكون القشرة الأرضية الصلبة من الصخور وهى عبارة عن خليط من المعادن دون اعتبار لدرجة تماسكها أو صلابتها لأنه من الناحية الجيولوجية يعتبر الصلصال اللدن الناعم والرمال المفككة من الصخور مثل المواد الصلبة كالجرانيت والبازلت والرخام.

والقشرة الخارجية للأرض ذات أهمية كبيرة لأنها المصدر الوحيد الذى نحصل منه على الخامات المعدنية والفحم والبترول التى لا غناء عنها للاقتصاد القومى وعلى بعض المواد الضرورية للمباني مثل أحجار البناء والجبس والجير، والرمل والحصى اللازم لعمل الخرسانة، والمواد الداخلة فى تركيب الأسمنت والمونة والبلاط، وصخور الزينة التى تغطى بعض المباني كالرخام والجرانيت، وبعض مواد رصف الطرق كالبازلت والحجر الجيري.

غلاف الحياة:

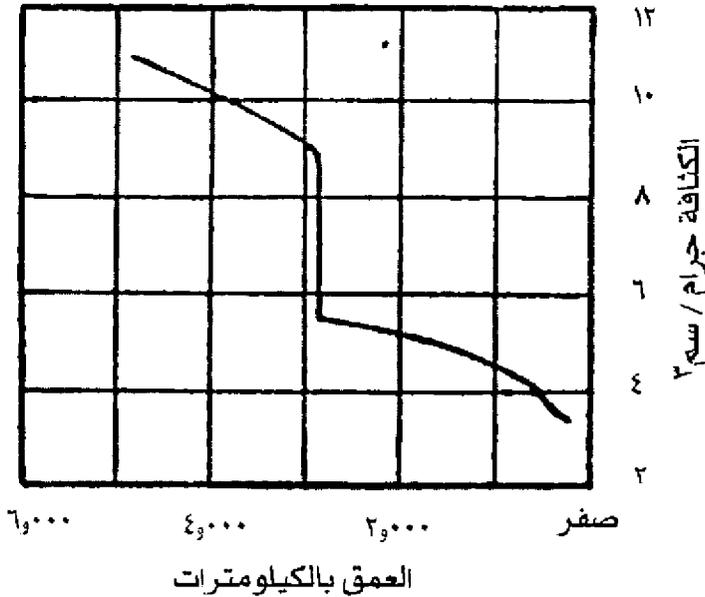
يشمل هذا الغلاف حزام من الأرض توجد به جميع الكائنات الحية النباتية والحيوانية التى تتكون من مجموعة معقدة من المركبات العضوية، ويشمل الغلاف الحيوى أجزاء من كل من الغلاف الهوائى والجزء العلوى من اليابس. ولقد أمكن الحصول على حشرات وحبوب اللقاح لبعض النباتات من ارتفاعات عالية فى الغلاف الهوائى، كما توجد أيضاً كائنات حية دقيقة مثل البكتيريا فى العينات المأخوذة من قيعان البحار والمحيطات وفى مياه بعض آبار البترول العميقة، وكذلك فى طبقات الصخور القريبة من سطح القشرة الأرضية ويلعب الغلاف الحيوى دورًا هامًا فى التغييرات المختلفة التى تحدث على سطح الأرض، فمثلا تساعد جذور النباتات والديدان على تفتت وتحلل الصخور تحت الظروف الجوية العادية، وينتج عن التفكك الميكانيكى والتحلل الكيميائى لبعض المعادن المكونة للصخور النارية والمتحولة نشأة معادن وصخور جديدة. وبالإضافة إلى ذلك تقوم الكائنات الحية بدور هام كعامل من عوامل تراكم المواد العضوية المختلفة على هيئة رواسب معدنية اقتصادية مثل الحجر الجيري العضوى والطينة الدياتومية والفحم والبترول والفوسفات وبعض رواسب الكبريت وغيرها.

شكل رقم (٢): رسم تخطيطي يوضح الارتفاعات المختلفة على سطح الأرض.



جوف الأرض:

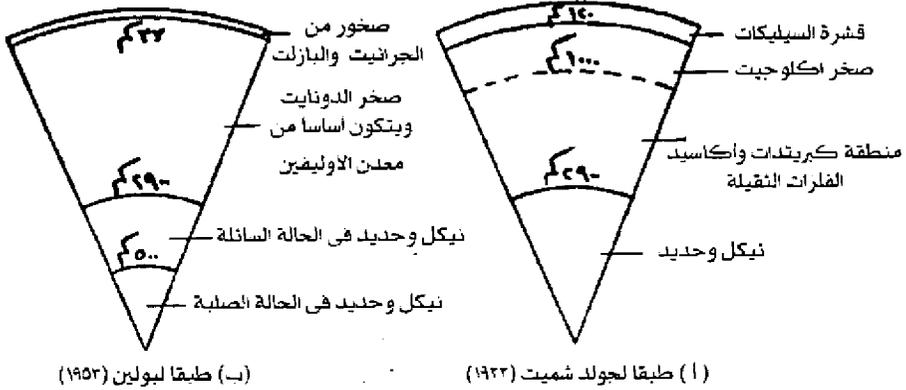
إن الخواص الطبيعية والكيميائية للأجزاء الداخلية والتي توجد تحت القشرة الخارجية الصلبة لا تزال غير معروفة، ولكن تطبيق الطرق الجيوفيزيائية وخاصة بواسطة الوسائل السيزمية لتسجيل الهزات الأرضية وتحديد موقعها يلقي بعض الضوء على طبيعة جوف الأرض، وقد استنتج أن كثافة الأرض لا تزيد بانتظام ناحية المركز، ويتضح من شكل (٣) أن هناك زيادة فجائية في الكثافة ينشأ عنها اختلاف في سرعة وانعكاس الموجات الناشئة عن



شكل رقم (٣): اختلافات الكثافة للأرض طبقاً للعالم بولين.

الهزات الأرضية. ويبلغ متوسط سمك الغطاء الرسوبي حوالي ٢ كم، إلا أنه في بعض المناطق قد يصل سمك الرواسب إلى عدة كيلومترات، وبعد الغطاء الرسوبي توجد قشرة من الصخور المتبلورة (Crystalline rocks) التي تحتوى على نسبة عالية من السيليكا (SiO_2) والألمونيا (Al_2O_3) والقلويات وتبلغ متوسط ثقلها النوعي ٢.٨ تقريباً. وبعد هذه القشرة يوجد غلاف سميك ثقله النوعي أكبر من ٣، ويتكون أساساً من صخور غنية بأكاسيد الحديد والمغنسيوم بالإضافة إلى السيليكا. وطبقاً للعالم الجيوكيميائي جولد شميدت (Goldschmidt) فإن قشرة السيليكا تمتد لعمق يصل إلى ١٢٠٠ كم وبعدها توجد منطقة من كبريتيدات وأكاسيد الفلزات الثقيلة ثم

يوجد بالمركز حديد ونيكل في الحالة العنصرية، ولقد أدخل العالم بولين (Bullen) بعض التعديلات على نظرية جولد شميدت عن طبيعة جوف الأرض كما يتضح من شكل (٤).



شكل رقم (٤): التركيب الداخلي للأرض.

الفصل الأول: تعريف بعلوم الأرض

1. Blyth, F. H., Geology for Engineers: Arnold, (1955).
2. Fearnside, W. G., and O M B Bulman. Geology in the Service of Man: Pelican Book, London, (1953).
3. Holmes, A. 'Principles of Physical Geology: Nelson & Sons, London, (1966).
4. Krynine, D.P., and W.E. Judd, Principles of Engineering Geology and Geotectonics; Wiley, New York, (1957).
5. Legget , R.F., and Geology and Engineering: Mc – Graw Hill, New York, (1939).
6. Rhodes, R., and W.H Irwin, What the Engineering Geologist Does; Engineering New Records, v. 139, p. 528, (1947).
7. Richy, J.E., Elements of Engineering Geology: London, (1954).
8. Rics, H., and T.L, Watson, Engineering Geology: Wiley, New York, (1950).
9. Trefethen, J.M. 'Geology for Engineers; Van Nostrand New York, (1949).

١٠ - الجيولوجيا الهندسية (الطبعة الرابعة): الناشر دار المعارف، (١٩٧٥).

تأليف: د. فخرى موسى، د. محب الدين حسين، د. حسن فهمي، د. سيد صالح.