كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الاولى

المادة : جيولوجيا عامة

المحاضرة : الثانية /نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

11

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

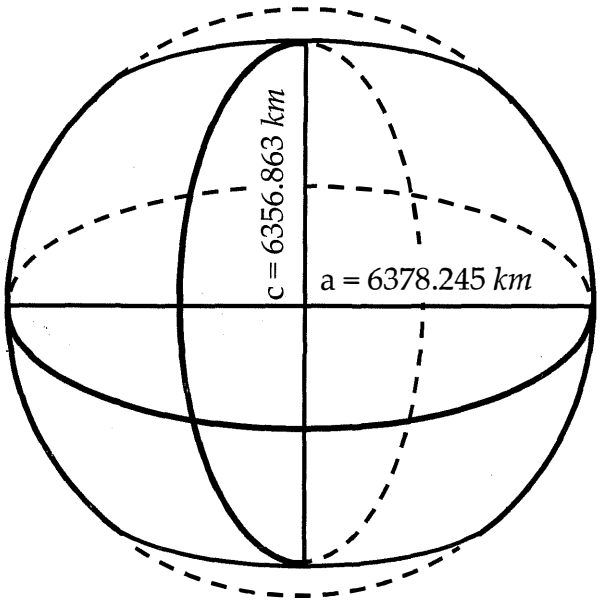
المحاضرة الثانية

خواص الأرض وبنيتها

أولا – الخواص الفيزيائية

1- شكل الأرض وأبعادها Form and Measurements of the Earth

يُعد العالم فيثاغورث، الذي عاش في القرن الرابع قبل الميلاد، أول من أشار إلى كروية الأرض، وبعده بقليل أكد هذا التصور العالم الإغريقي أرسطاليس. فالأول اعتمد على ملاحظته تقدم السفن من وراء الأفق، بينما اعتمد الثاني على مراقبة الكسوفات القمرية. ثم جاءت بعدهما الدراسات اللاحقة لتؤكد الشكل الكروي للأرض. فالقياسات الجيوفيزيائية، منذ القرن الثامن عشر، أظهرت أن نصف القطر القطبي يساوي 6356.865 كم، بينما يبلغ نصف القطر الاستوائي 6378.2 كم. وهذا الفرق بين القيمتين، على الرغم من ضآلته بالنسبة لأبعاد كوكبنا الأرض (حوالي 21.4 كم)، يدل على حقيقة مفادها: أن شكل الأرض ليس كروياً تماماً، وإنما هو مسطحٌ (مضغوطٌ) قليلاً في القطبين، شكل (1).

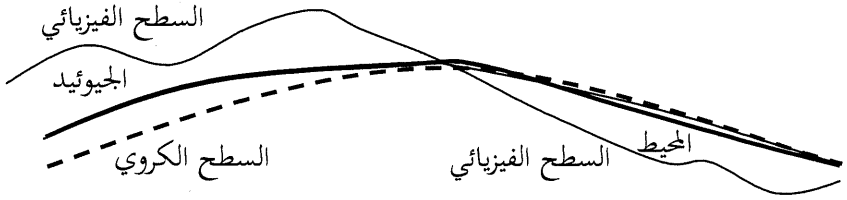


الشكل (1): شكل الأرض

ويُعد العالم نيوتن أول من أشار إلى ذلك، وأعطى فكرة صحيحة عن شكل الأرض، حيث فسّر هذا الانضغاط بدوران الأرض حول نفسها، وبازدياد كثافة المواد المكونة لها من السطح باتجاه المركز، وهذا ما نتج منه قوة طرد مركزية أدت إلى مط (استطالة) الأرض في منطقة الاستواء، وضغطها في منطقة القطبين. وقد قُدِّرت قيمة هذا الانضغاط (أو التسطح) بـ $a = \frac{a-c}{a} = \frac{1}{289.3}$. ويأخذ هذا الشكل المسطح شكل مجسم قطع ناقص دائري، أي يأخذ شكلاً شبه كروي (Spheroid). وفي الحقيقة يُعد الشكل الكروي التام للأرض استجابةً مثلى لقانون نيوتن. إذ إن قوى التجاذب أثّرت بالتساوي في جميع الأجزاء المكونة لسطح الأرض، عندما بردت وأخذت بالتقلص. لكن تفلطحها يدل على أن هناك قوى أخرى معاكسة، تعاكس اتجاه قوى الجذب، وتؤثر في سطح الكرة الأرضية، وهي قوى الطرد المركزي (Centrifugal Forces)، التي تعمل على إبعاد الجسيمات عن محور دوران الأرض، وتبلغ أعلى قيمة لها في نطاق الاستواء، ويتناقص مدى تأثيرها إلى الصفر في منطقة القطب (وهذا ما يؤدي إلى حدوث انتفاخ في منطقة الاستواء وانضغاط في القطبين).

وهناك مدخلٌ آخر لدراسة شكل الأرض قام به العالم ليتسنغ عام 1873 بناءً على قياسات قوى الثقالة، وفيه يقترح ليتسنغ أن السطح المستوي الذي يكون في كل مكان عمودياً، على اتجاه قوة الثقالة يسمى بالجيوئيد (Geoid)، وحسب التصورات الحديثة، يمكن اعتماد سطح المحيطات والمستمر إلى ما تحت القارات والموجود في حالة سكون كسطح جيوئيد، شكل (2). ومن ثم يُعرَّف الجيوئيد بأنه السطح الذي ينطبق على مستوى المياه الساكنة في البحار والمحيطات، ويعامد في كل نقطة من نقاطه اتجاه الجاذبية الأرضية. إن سطح الجيوئيد Geoid لا يتطابق مع السطح الكروي Spheroid، والفرق بين سطحيهما يبلغ $\pm$ 160 م، شكل (2). ويستخدم سطح الجيوئيد عند تنفيذ الأعمال الجيوديزية، حيث تُقاس، بالنسبة له، الارتفاعات المطلقة لسطح **اليابسة** وأعماق المحيطات.

وبالاعتماد على ما سبق قُدِّرت مساحة سطح الأرض بـ 5.1×10^{8} كم^2 (مساحة السطح المائي منها 360 مليون كم^2)، أما حجمها فيساوي 1.08×10^{12} كم^3، ومحيطها عند خط الاستواء (Equatorial Circumference) يساوي 40076 كم، بينما يبلغ محيطها القطبي (Polar Circumference) 40009 كم، وتبلغ كتلة الأرض 597.4×10^{25} غ، كما قدرت كثافتها المتوسطة بـ 5.47 غ/سم^3.



الشكل (2): شكل تضاريس الأرض (السطح الفيزيائي) والسطح الكروي وسطح الجيوئيد

ب- سطح الأرض (توزع اليابسة والماء على سطح الأرض) Surface of the Earth:

يتميز سطح القشرة الأرضية بمستويات تباين كبيرة جداً في الارتفاع والانخفاض، فهناك مناطق ذات تضاريس سالبة (مناطق البحار والمحيطات)، حيث تسود أعمال الترسيب، ومناطق ذات تضاريس موجبة (مناطق القارات) تسيطر فيها أعمال الحت، ويغطي السطح المائي عموماً حوالي 71% من سطح الأرض، مُشكلاً ما يسمى المحيط المائي. وهذا السطح المائي يقسم القارات إلى محيطات متصلة فيما بينها. كما توجد ضمن مياه المحيط العالمي جزر محيطية، ونلاحظ أن القارات لا تملك أشكالاً منتظمة، وبعضها قريب من الشكل المثلثي؛ وفي حين أن عمق المحيطات الوسطي هو بحدود 3800 م، شكل (3)، فإن الارتفاع الوسطي للقارات، بالنسبة لمستوى البحر، يساوي 850 م.

إن أعلى النقاط ارتفاعاً تقع في قارة آسيا (جبال هيمالايا) بارتفاع 8884 م، بينما أخفض النقاط تقع في المحيط الهادي (حفرة ماريانا) بعمق 11034 م. ومن ثم فإن الفرق بين أخفض نقطة وأعلى ارتفاع من السطح حوالي 20000 م.

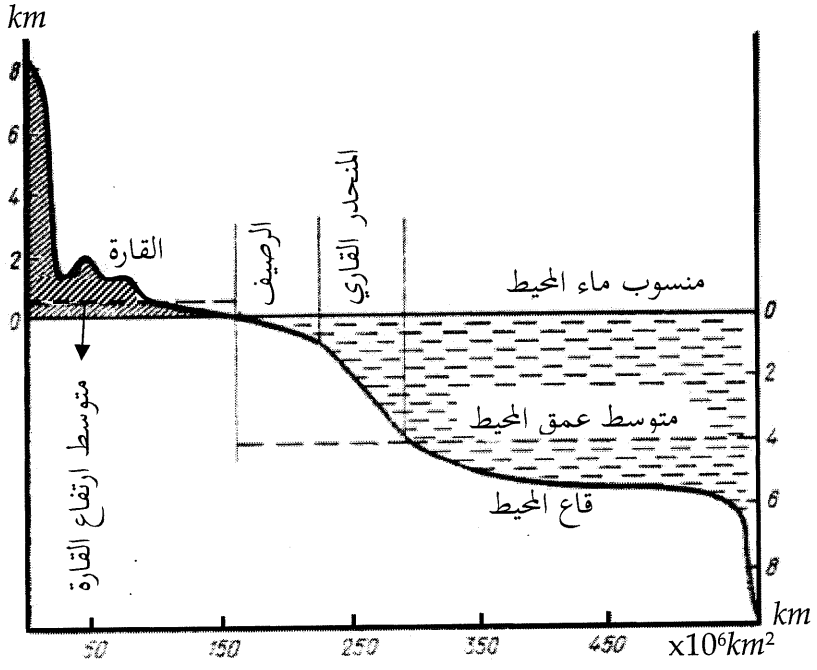
تتوزع القارات على سطح الكرة الأرضية بشكل غير منتظم، ويقع الجزء الأكبر منها في النصف الشمالي والشرقي من الكرة الأرضية.

2 – الكثافة – الحقل الجاذبي

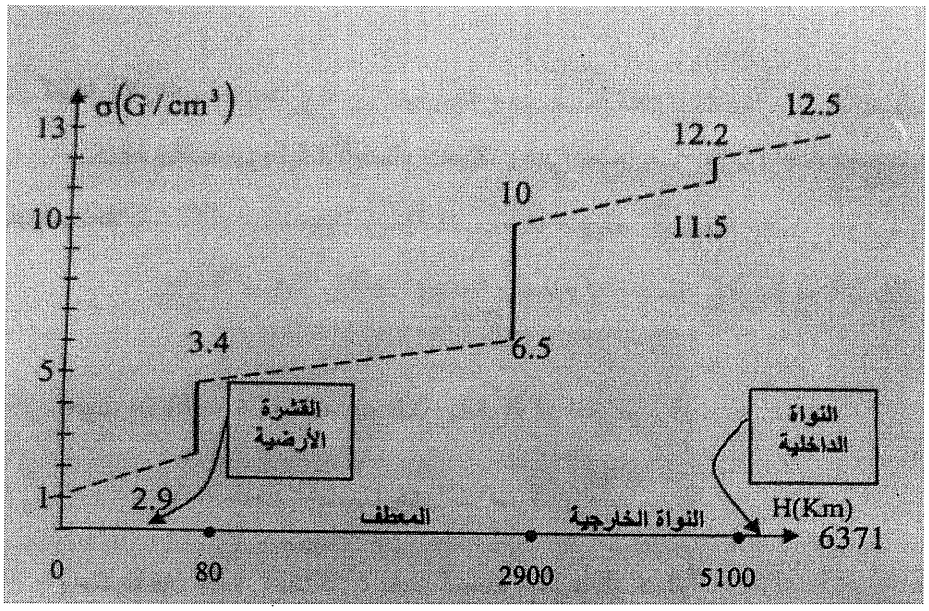
أ – **الكثافة** هي خاصة فيزيائية للأجسام المادية وهي تعبر عن وزن واحدة الحجوم .

تتصف مواد الكرة الأرضية بكثافة وسطية تعادل 5,52 غ/سم3

وتتغير كثافة الأرض بالاتجاهين الأفقي والشاقولي.ويعود تغير كثافة الأرض أفقيا الى عدم التجانس في التركيب الكيميائي والليتولوجي لطبقات الأرض،بينما يعود التغير في الاتجاه الشاقولي بالاضافة الى عدم التجانس في التركيب الكيميائي للمواد المكونة للأرض مع الانتقال من سطح الأرض الى مركزها الى عامل آخر هو الضغط الذي تخضع له الطبقات السفلى والناتج عن ثقل الطبقات التي تتوضع فوقها.ويقدر العلماء أن كثافة المواد المكونة للقشرة الأرضية لا تزيد عن2,7 غ/سم3 وأن كثافة الأرض في مركزها تصل ل12,5 غ/سم3 وهذا الانتقال بقيمة الكثافة من سطح الأرض الى مركزها لايتصف بالتدرج الانسيابي وانما يلاحظ فيه قفزات أو انقطاعات عند الحدود البنيوية التي تفصل بين البنى الداخلية للأرض(القشرة الأرضية،المعطف،النواة)ويبين الشكل (4) مخططا توضيحيا لتغير كثافة الأرض مع العمق)



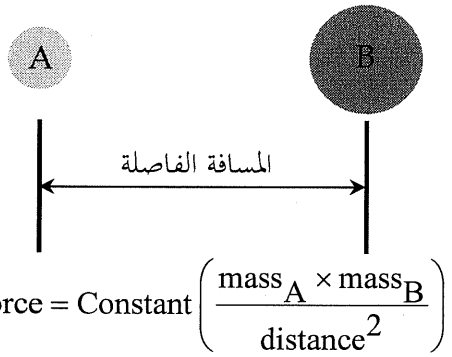
الشكل (3): المخطط البياني لتضاريس سطح الأرض



شكل (4) مخطط يوضح طبيعة تغير كثافة الأرض مع الانتقال من سطحها الى مركزها

ب – الحقل الجاذبي Attractive Field:

الحقل الجذبي (أو الحقل الثقالي الأرضي) هو حقل قوة الثقالة الأرضية التي تعني في مضمونها الفيزيائي القوة التي تؤثر بها الأرض في جميع المواد الموجودة في فلكها .فوفقا لقانون نيوتن كل جزء من الكرة الأرضية يقع تحت تأثير قوتين: الأولى قوة تجاذب تجذب بين الأجزاء ذات الكثافات المختلفة، شكل (5)، تتحدد وفقاً للقانون الذي اكتشفه نيوتن بالعلاقة التالية:



$$\text{Force} = \text{Constant}\left(\frac{\text{mass}_A \times \text{mass}_B}{\text{distance}^2}\right)$$

الشكل (5): تابعية قوة التجاذب الثقالي بين جسمين لكل من كتلتيهما والمسافة الفاصلة بين مركزيهما

$$\text{قوة التجاذب بين جسمين} = \text{ثابت التجاذب} \times \frac{\text{كتلة الجسم الأول} \times \text{كتلة الجسم الثاني}}{\text{مربع المسافة بين الجسمين}}$$

باعتبار أن ثابت التجاذب يمثل، فيزيائياً، القوة التي تتجاذب بها كتلتان، وزن كل منهما غرام واحد (1 غ)، وتبعد الواحدة عن الأخرى مسافة (1 سم).

والقوة الثانية هي قوة نابذة، معاكسة بالاتجاه لقوة التجاذب، وتسمى قوة الطرد المركزية، وناجمة عن دوران الأرض حول محورها الجغرافي. وتسمى محصلة هاتين القوتين قوة الجاذبية أو الثقالة الأرضية، وهي تتجه باتجاه مركز الأرض، وتكون متعامدة مع سطح الجيوئيد في نقاطه كافة.

وحسب قانون نيوتن، فإن قوة الجاذبية تتناسب عكساً مع مربع البعد عن مركز الأرض، وهذا يعني أن الجاذبية تبلغ حدها الأقصى في منطقة القطبين، والأدنى في المنطقة الاستوائية (أي أن الجاذبية تزداد من خط الاستواء باتجاه القطبين)، وهذا يسمح بتمثيل حقل الجاذبية للأرض على شكل خطوط تَساوي الجاذبية (وذلك بافتراض أن المادة الأرضية متساوية الكثافة)، ويسمى هذا الحقل الحقل الجاذبي النظامي.

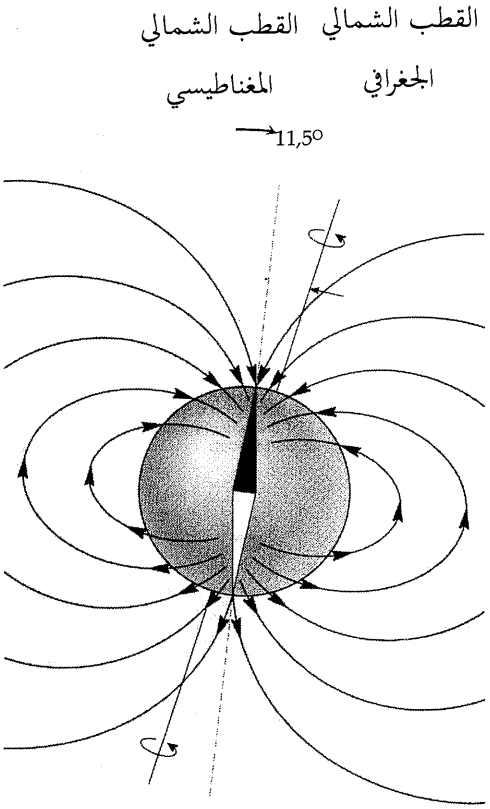
تُعد الكتلة الضخمة للأرض سبباً لوجود قوة الجاذبية التي تؤثر في كل الأجسام والمواد الموجودة على سطحها. ويسمى المجال الذي تظهر ضمنه قوى الجاذبية الأرضية باسم حقل قوى الثقالة أو الجاذبية، وهو يعكس طبيعة توزع المواد في داخل الأرض، ويرتبط بشكل وثيق بسطحها. فلكل نقطة من سطح الأرض قيمة مميزة لقوى الثقالة، وفي مركز الأرض تساوي قوى الثقالة الصفر. ويعبر عن قيمة قوى الثقالة بالغال (نسبة إلى العالم غاليليه الذي يُعد أول من قاس تسارع السقوط الحر)، حيث إن **كل واحد غال يساوي 1سم/ثا²**. وعادة تستخدم في التطبيقات العملية وحدة الميلي غال (واحد بالألف من الغال) $1\,mGal = 10^{-3}\ cm/s^2$.

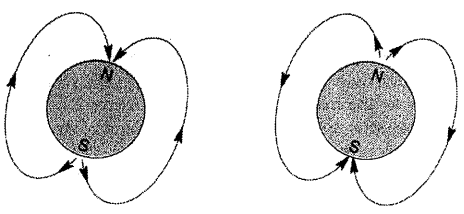
هذا، وتفيد دراسة الحقل الجاذبي في حل الكثير من المسائل التطبيقية الهامة، مثل تحديد خصائص القشرة الأرضية وتمييز تشوهاتها التكتونية، واستكشاف مكامن الخامات المفيدة، وغير ذلك.

3 – الخواص المغناطيسية – الحقل المغناطيسي Magnetic Field:

طبيعة بنية الحقل المغناطيسي وصفاته:

تُعد المغناطيسية من أهم الخواص الفيزيائية للأرض. فالأرض هي مغناطيس ضخم يوجد حوله مجال أو حقل مغناطيسي يسمى الحقل الجيومغناطيسي (وهو المنطقة التي تظهر فيها آثار قوة مغناطيسية). ويَعده الكثير من العلماء مكافئاً للحقل المغناطيسي المتولد من قضيب مغناطيسي كبير جداً، طوله 400 كم وعرضه 200 كم متوضع داخل الأرض، وعلى بعد 436 كم من مركز الأرض ينحرف المحور المغناطيسي المار من القطب بمقدار 11.5 درجة عن محور دوران الأرض، ولهذا، فإن القطب المغناطيسي لا يتوضع بعيداً عن محور دوران الأرض، وهو يتقاطع عرضياً مع سطح الأرض في نقطتين تسميان قطبي المغناطيس الأرضيين الشمالي والجنوبي، وتنتشر ما بين هذين القطبين خطوط القوة المغناطيسية التي تحيط بالكرة الأرضية إحاطة كاملة، وهي تتكاثف وتتزاحم عند الأقطاب وتقل في بقية المناطق وذلك لأن القوة المغناطيسية تكون أكبر ما يمكن عندهما وتقل في بقية المناطق حيث تتناسب القوة المغناطيسية مع عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تقطع مساحة السطح عموديا شكل (6).





تقاس شدة الحقل المغناطيسي الأرضي في نقطة ما من سطح الأرض بوحدة تسمى الأورستيد أو الغاما (1 غاما = 10^{-3} أورستيد). والأورستيد هو القوة التي يجب تطبيقها على كتلة مقدارها 1 غ لتكسبها تسارعاً يساوي 1 مم/ثا². هذا، وتُمثَّل شدة الحقل المغناطيسي على الخرائط المغناطيسية بخطوط تَساوي شدة الحقل المغناطيسي، وهي تزداد من المناطق الاستوائية باتجاه المناطق القطبية حيث تبلغ فيها قيمتها العظمى. ويتم كشف الحقل المغناطيسي بمساعدة البوصلة، فكما هو معروف تأخذ الإبرة المغناطيسية للبوصلة ضمن مجال تأثير خطوط القوة المغناطيسية وضعاً معيناً حسب خطوط القوة (أو الشدة) المغناطيسية، حيث تكون إحدى نهايتها متجهة نحو الشمال والأخرى نحو الجنوب. ويلاحظ أن الإبرة المغناطيسية لا تتجه إلى القطب الشمالي الجغرافي أو الجنوبي تماماً، وإنما تنحرف عنه زاوية معينة تسمى زاوية الانحراف المغناطيسي، كما أنها تميل بزاوية معينة عن الأفق تدعى بزاوية الميل المغناطيسي

.Magnetic Declination angle

ويكون الانحراف المغناطيسي عادة باتجاه الغرب أو الشرق، حسب موقع النقطة على سطح الأرض (عن خط الطول المار بهذه النقطة)، وتسمى الخطوط التي تصل بين هذه النقاط ذات الانحراف الواحد خطوط تساوي الانحراف المغناطيسي (Isogenies)، وهي خطوط تمتد بين القطبين الشمالي والجنوبي، وتتفرد من نقطة واحدة من الشمال والجنوب، وهي تشبه خطوط الطول الجغرافية، لكنها لا تلتقي معها في منطقة القطبين. بينما يعبر عن الميل المغناطيسي بزاوية الميل المغناطيسي، وهي عبارة عن الزاوية التي تصنعها الإبرة المغناطيسية للبوصلة مع مستوى الأفق، وتدعى الخطوط التي تصل بين النقاط من سطح الأرض ذات الميل المغناطيسي الواحد خطوط تَساوي الميل المغناطيسي (Isoclines)، وهي تتجه عموماً حسب خطوط العرض الجغرافية، ولهذا تكون متعامدة مع خطوط تَساوي الانحراف المغناطيسي، وتتأرجح قيمتها بين 0 و 90 درجة، ويكون الميل المغناطيسي عادة باتجاه الشمال والجنوب.

وعند رسم خطوط القوة المغناطيسية، تتجه نحو داخل الكرة الأرضية في القطب الشمالي، وتخرج منها في القطب المغناطيسي الجنوبي، وهذا دليل أكيد على أنها صادرة عن مغناطيس أرضي ضخم يقع في مركزها، شكل (6). ومن ثم يوجد حول الكرة الأرضية وداخلها حقل مغناطيسي، تشير الدراسات الفضائية إلى أنه يمتد إلى خارج حدود الأرض على مسافة تزيد بعشرة أضعاف عن نصف قطر الأرض، مشكلاً ما يسمى الغلاف المغناطيسي (الشكل السابق).

أصل الحقل المغناطيسي الأرضي واستجابة الصخور لتأثيراته وشواذه:

وفقاً للتصورات الحديثة، فإن الحقل المغناطيسي الأرضي تسببه تيارات كهربائية تنشأ في النواة الخارجية المنصهرة للأرض. وعند دوران الكرة الأرضية يتحرك سائل النواة الخارجية (الذي يسمى السائل الفلزي) ، وينتج عنه الحقل المغناطيسي الأرضي بما يتلاءم مع حركة الأرض وشكلها الكروي، وبهذا يتقارب قطبا الأرض المغناطيسيان مع قطبيها الجغرافيين. ومن ثم فإن نواة الأرض هي بمنزلة مولد طبيعي ضخم يحول وبدون توقف الطاقة الديناميكية (الناتجة عن دوران الأرض وحركة السائل الفلزي ضمنها) إلى طاقة كهربائية، ويؤدي إلى نشوء تيارات كهربائية.

تمثل نتائج دراسات شدة الحقل المغناطيسي الأرضي وعناصره على هيئة خرائط تدعى بالخرائط المغناطيسية . ويفيد تحديد الشواذات في قيمة الحقل المغناطيسي الأرضي وعناصره في عمليات البحث والتنقيب عن الخامات المعدنية وخاصة التي تتصف بخواص مغناطيسية مثل خامات الحديد .

4-الخواص الحرارية- الحقل الحراري Temperature Field:

أ - طبيعة الحقل الحراري:

إن النظام الحراري للأرض معقد لدرجة كبيرة؛ إذ إن كوكب الأرض يتعرض لعمليتين متعاكستين، فهو في الوقت نفسه الذي يمتص فيه الحرارة ينشرها. ويتشكل الحقل الحراري على حساب مصادر خارجية وأخرى داخلية. المصدر الخارجي الأساسي للطاقة الحرارية هو أشعة الشمس. وتبلغ الطاقة التي يتلقاها سطح الأرض من الشمس بشكل وسطي 8.4 جول/سم^2 x دقيقة. ويتلقى سطح الأرض سنوياً حوالي 5.44×10^{24} جول يُمتص منها حوالي 55% من قِبل الغلاف الجوي، والغطاء النباتي، والتربة، والجزء الباقي ينعكس في الفضاء الكوني. وتسبب الطاقة الحرارية الشمسية حركة الكتل الهوائية والأبخرة المائية في الغلاف الجوي، ومن ثم تنشأ الدورة المائية في الطبيعة نتيجة الحركة المستمرة للكتل الهوائية والماء، والتي هي العامل الأساسي المسبب للعمليات الجيولوجية الخارجية.

أما مصادر الطاقة الحرارية الداخلية للأرض فمتعددة، منها تفكك العناصر المشعة، وعمليات تفاضل المادة الأرضية، وأيضاً الطاقة الناتجة من التفاعلات الكيميائية، وكذلك الطاقة المتبقية، والمحفوظة منذ زمن تشكل كوكب الأرض.

ب .– بنية الحقل الحراري:

تقسم القشرة الأرضية بحسب الظروف الحرارية إلى منطقتين، عليا (خارجية) وسفلى (داخلية). في المنطقة العليا وحتى (30-40) م يتجلى تأثير أشعة الشمس، أما الظروف الحرارية للمنطقة السفلى فتتحدد بالطاقة الداخلية. وضمن تغيرات درجة الحرارة التي تنشأ بفعل تأثيرات أشعة الشمس تُميّز تغيرات يومية، وفصلية، وسنوية، وتغيرات مديدة (طويلة الأمد)، وكلما كانت فترة التغيرات للحرارة السطحية أكبر كانت هذه التغيرات أكثر عمقاً داخل الأرض. فالتغيرات اليومية تصل إلى عمق 1.5 م، بينما السنوية تصل إلى عمق (25-30) م (بشكل وسطي)، حيث يتوضع على هذا العمق حزام منطقة الحرارة الثابتة، الذي يُعد بمنزلة الحد الفاصل بين المنطقتين العليا والسفلى. ويُلاحظ أسفل نطاق الحرارة الثابتة تزايد في التسخين بالاتجاه الداخلي للأرض، وذلك من خلال علاقة مباشرة مع التدفق الحراري. ويتحدد هذا الأخير كتابع للتدرج الحراري (أو الجيوتيرمي) على الناقلية الحرارية للصخور.

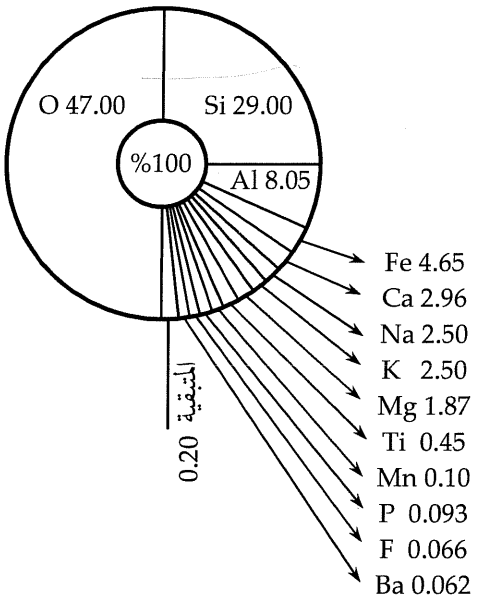
فالتدرج الحراري هو القيمة المقدرة بالدرجة/م، والتي تصف زيادة درجة حرارة الصخور مع العمق. وتختلف التدرجات الجيوحرارية لمختلف مناطق الأرض بشكل جوهري بعضها عن بعض، وهي تتغير من 0.1 حتى 0.01 درجة/م. ويبلغ التدرج الحراري بشكل وسطي حوالي ثلاث درجات لكل 100 م في الأجزاء العلوية من القشرة الأرضية، ويمكن أن يرتفع التدرج الحراري عن هذا المعدل في بعض المناطق، ولاسيما مناطق النشاط البركاني، وأماكن انتشار المياه الهيدروتيرمية، ومناطق النشاط التكتوني

يتصف الحقل الحراري الأرضي بعدم التجانس بشكل واضح، وبتغيرات حادة تصل حتى 100% على مسافات صغيرة. فبعض المناطق تتمتع بتدفق حراري عالٍ تتجاوز القيم الطبيعية المألوفة في تلك المناطق في الظروف العادية، وهذا يعود عادةً إلى اندساس أجسام مغماتية أو دسيسات متصلة بالقرب من السطح، أو بسبب وجود أجسام قديمة من الصخور النارية الغنية باليورانيوم وغيره من العناصر المشعة، التي يمكن أن يفرز تحللها طاقة حرارية، ويسبب بعد ذلك زيادة في التدفق الحراري من تلك المناطق،

إن دراسة الحقل الحراري للأرض ضرورية للتنبؤ بظروف (شروط) مكامن الفحم وغيره من التوضعات المعدنية ،لهذا، فإن بارامترات شواذات الحقل الحراري تستخدم في أعماق التنقيب والاستكشاف الجيولوجي.

ثانياً – الخواص الكيميائية

يُعبَّر عن المحتوى النسبي للعنصر الكيميائي في القشرة الأرضية بكلارك هذا العنصر أو ذاك تقديراً للعالم الأمريكي كلارك (Clark)، الذي يُعدّ أول من قام بحساب المحتوى الوسطي للعناصر الكيميائية في القشرة الأرضية عام 1889. ولقد افترض كلارك في دراسته، أن القشرة الأرضية حتى عمق 6 كم تتألف من 95% من الصخور المغماتية و 5% الصخور الرسوبية. ويوضح الشكل (7) نسبة المحتوى الوسطي (الكلاركي) لأكثر العناصر انتشاراً في القشرة الأرضية.



الشكل (7): المحتوى النسبي للعناصر الكيميائية في القشرة الأرضية.

خصائص توزع العناصر الكيميائية في القشرة الأرضية:

أثبتت دراسات المحتوى النسبي للعناصر الكيميائية في القشرة الأرضية أن مجالات توزع هذه العناصر تتباين بشكل كبير جداً، وأن أكثر العناصر انتشاراً هي الأوكسجين بنسبة 47%

إن التباين المذكور أعلاه في توزع العناصر الكيميائية يتضح من خلال معرفة أن:

1. من مجموعة العناصر الكيميائية المعروفة في جدول مندلييف الدوري التي تتجاوز الـ 90 عنصرً لا يوجد إلاّ (8) عناصر تتجاوز نسبتها 1%.
2. نسبة العناصر الثلاثة الأولى تبلغ 84.55% من الكتلة العامة للعناصر الكيميائية، والعناصر الثمانية الأولى تبلغ نسبتها 99.3%، وإذا ما أضيفت إليها العناصر الخمسة التالية: (التيتانيوم، والفوسفور، والهيدروجين، والباريوم، والمنغنيز) ستشكل هذه العناصر الثلاثة عشر 99.8%. أما بقية العناصر الأخرى (التي عددها 80 عنصراً) فتشكل 0.2%، وهي تشمل مختلف العناصر المفيدة؛ مثل: النيكل والكروم والكوبالت والنحاس والتوتياء والرصاص، وكذلك العناصر النادرة، ولكن يجب الإشارة إلى أنه برغم وجودها الضئيل، يمكن أن تتركز بعمليات جيولوجية في صخور القشرة الأرضية لتعطي توضعات قابلة للاستثمار.

إن توزع العناصر الكيميائية بالشكل المذكور أعلاه يُعدّ مُميِّزاً للقشرة الأرضية، بينما توزع هذه العناصر في الأعماق أي في كل من المعطف والنواة فيملك لوحة مغايرة، جدول (1).

جدول (1): المحتوى النسبي للعناصر الكيميائية في كل من القشرة والمعطف

اسم العنصر	كلارك العناصر (المحتوى النسبي)	
	في القشرة والأرض	في المعطف والأرض بشكل عام
الأوكسجين O	47.20	28.56

السيليس Si	27.60	14.47
الألمنيوم Al	8.30	1.22
الحديد Fe	5.10	37.04
المغنيزيوم Mg	2.10	11.03
الكالسيوم Ca	3.60	1.38
البوتاسيوم K	2.60	0.15
الصوديوم Na	2.64	0.52

تُظهر مقارنة المحتوى النسبي للعناصر الكيميائية الأساسية (الكلارك) في المعطف والقشرة الأرضية، جدول (1)، أن القشرة الأرضية تكون أغنى بالعناصر الكيميائية التالية: (Ca, Na, K, Al, Si, O)، وأفقر بـ (Mg, Fe)، وأيضاً بالعناصر الثقيلة مثل (CO, Cr, Ni) من المعطف (الأغلفة الداخلية).

ثالثاً – بنية الأرض

تتصف الأرض بوصفها أحد كواكب المجموعة الشمسية بأنها جسم غير متجانس من حيث التركيب والبنية، وهي تتألف من عدة أغلفة متباينة فيما بينها بخواصها الفيزيائية والكيميائية، ومتبادلة التأثير فيما بينها، صُنفت في مجموعتين رئيستين،

الأولى– مجموعة الأغلفة الخارجية، وتشمل الأتموسفير، والهيدروسفير، والبيوسفير، أي الأغلفة التي تحيط بالجزء الصلب، أو تغلفه. ويمكن دراسة هذه الأغلفة بالطرائق المباشرة.

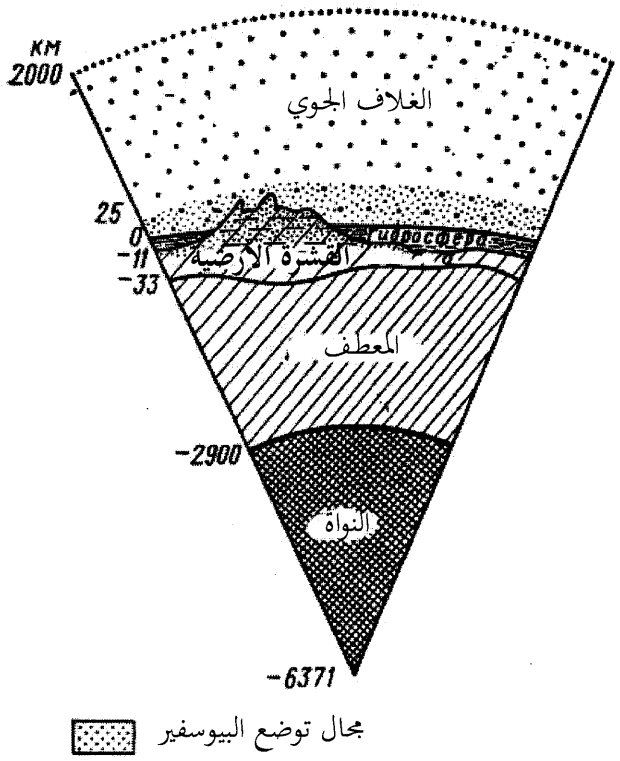
الثانية– مجموعة الأغلفة الداخلية، وتشمل القشرة الأرضية، والمعطف، والنواة، وهي تُدرس – أساساً – بطرائق غير مباشرة (جيولوجية، وجيوفيزيائية، وجيوكيميائية).

1- الأغلفة الخارجية The Outer Spheres:

تؤدي هذه الأغلفة دوراً هاماً في تشكل القشرة الأرضية وتطورها، وترتبط هذه الأغلفة بعلاقة تأثير متبادل ودائم فيما بينها من جهة، ومع الأغلفة الصلبة للقشرة الأرضية من جهة أخرى، شكل (8)، ويعبر عن ذلك في تغير المادة والطاقة، وهي تضم:

أ - الغلاف الجوي Atmosphere:

وهو طبقة غازية تحيط بالأرض إحاطة كاملة بفعل الجاذبية الأرضية، وتصل ثخانتها حتى 2000 كم. تتميز الطبقات العليا من الغلاف الجوي باحتوائها غازات متأينة، وتدخل هذه الطبقات تدريجياً في الفضاء الكوني، أما الطبقات السفلى من هذا الغلاف فتتميز بكثافة عالية، إضافة إلى كونها مشبعة ببخار الماء وذرات الغبار. وتقدر قوة ضغط الجو على وحدة المساحة على سطح البحر بما يعادل وزن عمود من الزئبق طوله 76 سم، ومساحة مقطعه 1 سم^2، ويطلق على هذه القيمة (**ضغط جوي واحد**)، حيث (كل 1 ضغط جوي = 1013 ميليبار). ومن خواص الغلاف الجوي أنه كلما ازداد الارتفاع عن سطح البحر، قل الضغط، وقلت الرطوبة، وتغيرت درجة الحرارة.



الشكل (8): مخطط يوضح العلاقة بين الأغلفة الأرضية

*** تركيب الغلاف الجوي وآلية تشكله:**

يتألف الغلاف الجوي من خليط من الغازات والأجسام السائلة والصلبة المعلقة فيه. وفي الهواء الجاف والنظيف تصل نسبة الغازات إلى 99% من حجمه، وهي تتألف من الغازات التالية، الجدول (2):

الجدول (2): تركيب الغلاف الجوي

غازات الغلاف الجوي	النتروجين	الأوكسجين	الأرغون	ثاني أكسيد الكربون	بقية الغازات*
%	78.1	20.9	0.9	0.03	0.07

* نيون، وهليوم، وكريبتون، وزينون، وهيدروجين، وميتان

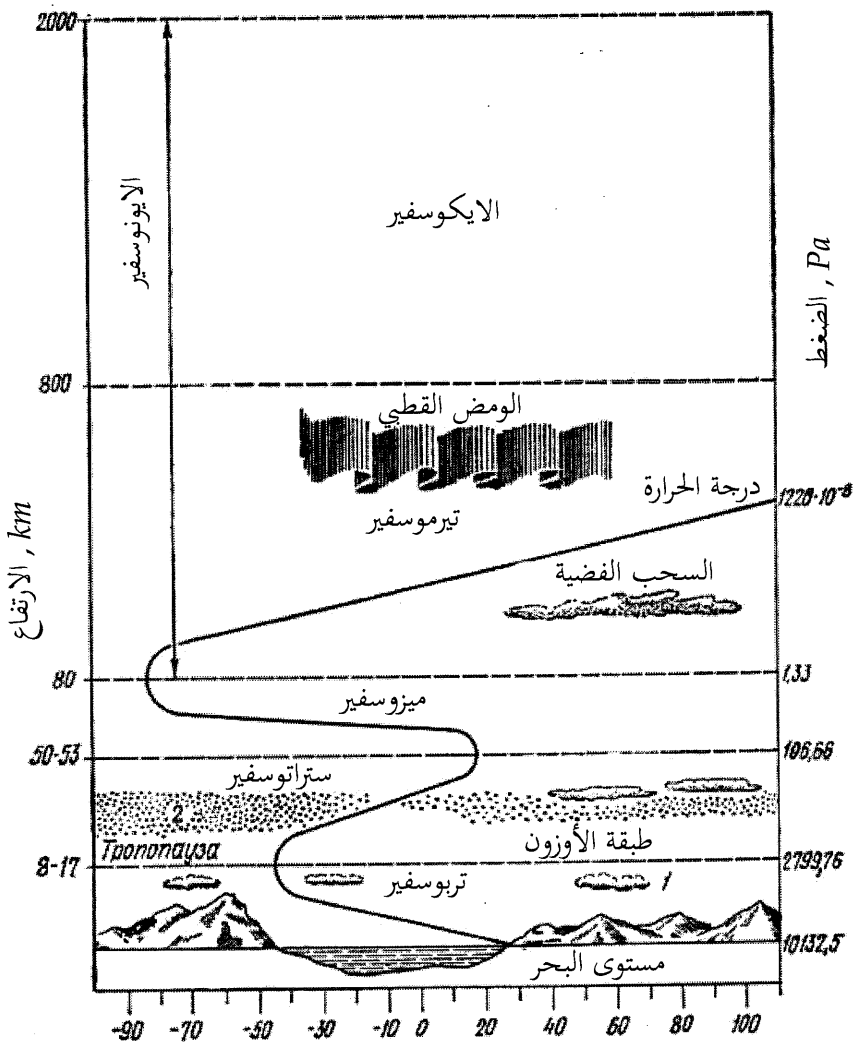
إن مقارنة مكونات الغلاف الجوي الحالي بمكونات الشمس [illegible]) تؤكد أن الأرض لم تكن تمتلك، عند بداية دراسة تكوينها، غلافاً جوياً، كما أن غلافها الجوي الحالي يختلف في تركيبه عن الغلاف الجوي الأولي، فالغلاف الحالي يكاد يكون خالياً من الهيدروجين، والهليوم، والأرغون، والنيون، والزينون. لقد تكون الغلاف الجوي للأرض من الغازات والأبخرة التي انطلقت من النشاطات البركانية على سطح الأرض؛ مثل: CH_4, NH_3, H_2O, N_2, H_2, CO_2, [illegible]. أما الأوكسجين الطليق فقد كان موجوداً بكميات ضئيلة، وزادت نسبته منذ ظهور النبات وتكاثره وانتشاره الواسع. وشكّل هذا الأوكسجين في مراحل لاحقة طبقة الأوزون التي حمت سطح الأرض من أشعة الشمس فوق البنفسجية. لذلك يُفسّر خلو أجواء كوكبي المريخ والزهرة من الأوكسجين بخلوهما من النبات.

**** طبقات الغلاف الجوي:**

ميَّز علماء المناخ، استناداً إلى اختلاف التركيب الكيميائي، والصفات الفيزيائية للغلاف الجوي، وحركة الهواء فيه، بين عدة طبقات (نطاقات) في الغلاف الجوي، وهي، بدءاً من سطح الأرض باتجاه الأعلى (باتجاه الفضاء الكوني)، كالتالي، شكل (9):

1- التروبوسفير Troposphere: تسمى طبقة الأعاصير، وهي الطبقة السفلى من الأتموسفير، وتتصل مباشرةً بسطح الأرض، وتتغير مواضع حدودها العليا حسب موقعها. وتتراوح سماكتها بشكل وسطي بين 8-12 كم. يحوي هذا النطاق (أو هذه الطبقة) 80% من كتلة الغلاف الجوي، وتتميز بالحركة الأفقية والشاقولية الدائمة للهواء، وذلك نتيجة اختلاف الضغط ودرجة الحرارة في مختلف مناطق سطح الأرض، كما يتجمع فيها كل بخار الماء تقريباً، ومن ثم تتشكل في هذه المنطقة أهم حادثة ميتورولوجية (حادثة تشكل الغيوم)، وتنخفض فيها درجة الحرارة بدءاً من سطح الأرض باتجاه الأعلى بمعدل 0.6 درجة مئوية لكل 100 م، وتصل عند حدودها العليا إلى (- 60) و (- 80) درجة مئوية بالنسبة لمنطقة القطبين، والمنطقة الاستوائية على الترتيب.

-2



الشكل (9): مخطط بنية الغلاف الجوي

الستراتوسفير Stratosphere: هي تتوضع فوق طبقة التروبوسفير من الارتفاع 8-12 كم حتى الارتفاع 55-50 كم، وتتميز بأن الهواء فيها يتصف بكونه على شكل طبقات تتحرك في اتجاهات أفقية. وهو يحتوي في الأساس على النيتروجين والغازات الخفيفة، كما أن درجة الحرارة في هذه المنطقة تتصف بالثبات بدءاً من الحدود السفلى لهذه الطبقة حتى الحدود الدنيا لطبقة الأوزون، التي تقع في القسم العلوي منها، وعند سماكة تصل إلى 25-30 كم تكون بحدود (-65) درجة مئوية فوق المناطق القطبية، و (-75) درجة مئوية فوق المناطق الاستوائية، وبعد تجاوز منطقة الأوزون تأخذ درجة الحرارة بالارتفاع لتبلغ عند الحدود العليا لهذه الطبقة 10-20 درجة مئوية، وهذا الارتفاع الحاصل في درجة الحرارة يعود مصدره إلى حرارة الأشعة الشمسية، كما ينعدم بخار الماء في هذه الطبقة تقريباً، إلاّ أن الغيوم قد تنتقل إلى هذه الطبقة في حالة البرق الشديد من طبقة التروبوسفير.

3- الميزوسفير Mesosphere: تتميز هذه الطبقة بثخانة قليلة تصل حتى 25-30 كم، وتنخفض درجة الحرارة فيها إلى (-90) درجة مئوية، إضافة إلى اكتشاف الآزوت في الجزء السفلي منها، ويتكون في هذه الطبقة ما يسمى السحب الفضية.

4- الأيونوسفير Ionosphere: يحتوي هذا النطاق على طبقتين:

الأولى– الترموسفير Thermosphere: تسمى بالطبقة الحارة، حيث ترتفع درجة الحرارة فيها لتصل إلى 1000-2000 درجة مئوية على ارتفاع 800 كم، وتحترق فيها جميع الشهب الساقطة باتجاه الأرض من الفضاء الخارجي.

الثانية– الأكزوسفير Exosphere: هي آخر طبقات الغلاف الجوي، وتمتد من ارتفاع 800 م حتى 2000 كم. وتتميز هذه الطبقة بأن الهواء فيها، مخلخل وكثافته صغيرة جداً.

وعموماً، فإن نطاق الأيونوسفير يتألف من هواء متأين بفعل تأثير الأشعة فوق البنفسجية، مما جعله يؤدي دور المرآة العاكسة للأمواج اللاسلكية.

يتمتع الغلاف الجوي (الأتموسفير) بأهمية كبيرة، فمكوناته تجعل الحياة ممكنة على كوكبنا الأرض، إضافة إلى ذلك، فإن الغلاف الجوي يعمل كعازل يحمينا من حرارة الشمس، وكدرع واقٍ للأرض من قذائف الشهب، كما أنه يسهل عملية التبخر وتكاثف بخار الماء، وهو عامل جيولوجيٌ هامٌ، كونه مسؤولاً عن عمليات التجوية، التي تؤثر باستمرار في سطح الأرض وتغير معالم هذا السطح.

ب - الغلاف المائي Hydrosphere:

يتألف الهيدروسفير أو الغلاف المائي للأرض من كميات المياه الموجودة في الطبيعة بحالات وجودها المختلفة، ويضم هذا الغلاف مياه البحار والمحيطات، ومياه اليابسة، إضافة إلى المياه الموجودة في الغلاف الجوي على شكل بخار ماء.

وتشكل مياه البحار والمحيطات حوضاً مائياً واحداً ذا حدود واضحة، حيث يشكل حده العلوي سطح المياه في البحار والمحيطات، أما حده السفلي فيشكله قعر البحار والمحيطات، ويبلغ عمقها المتوسط 4 كيلومتراً تقريباً. تتوزع مياه اليابسة فوق سطح اليابسة وتحتها، وتتمثل المياه فوق السطح القاري بمياه البحيرات والأنهار والمستنقعات والجليديات، أما مياه التي تحت السطح فتشمل المياه الجوفية التي تملأ مسامات الصخور وشقوقها، وتقدر كمية المياه في الهيدروسفير بـ 1.4 مليار كم^3. وتتداخل جميع أشكال المياه وتتواصل، في علاقة ارتباط فيما بينها، من خلال ما يعرف باسم الدورة المائية العامة في الطبيعة.

وفي بداية تكون الأرض لم يكن هناك غلاف مائي، وقد حصلت الأرض على معظم مياهها من نواتج تبلور الصهارة، وكان الماء بخاراً نتيجة لارتفاع درجة حرارة الجو، وجزءاً أساسياً من الغلاف الجوي، وعندما أصبحت برودة الجو مناسبة تكثف البخار، وتساقطت على سطح الأرض مياه غزيرة جداً، بل لعلها الأغزر في تاريخ الكرة الأرضية، وجرت على سطح الأرض، وملأت المحيطات التي شكلت ما يعادل 95% من مياه الأرض الكلية، وغطت حوالي 71% من سطح الكرة الأرضية.

*** الخواص الفيزيائية لمياه البحار والمحيطات:**

تتمتع مياه البحار والمحيطات باللون الأزرق المخضر أو النيلي، وهذا ما يوضح أن المياه البحرية تعكس فقط الأشعة الزرقاء للطيف الشمسي. ويلاحظ الانحراف فقط في مناطق مصبات الأنهار بسبب إشباع المياه النهرية بالفلزات والجزيئات الفلزية المحمولة، حيث تتمتع المياه بظلال صفراء، تتميز مياه البحار والمحيطات بكثافة أكبر من كثافة المياه العذبة؛ بسبب وجود الأملاح في تلك المياه، وتبلغ كثافتها عند الدرجة صفر مئوية حوالي 1.02814 غ/سم^3 وهي تزداد مع العمق، ويمكن تفسير ذلك بزيادة الضغط والملوحة مع العمق. أما درجة حرارة مياه المحيطات فتتعلق بمواقعها الطبوغرافية وبعمقها، وهي تتراوح بين 26 و 28 درجة مئوية للمياه الدافئة المتوضعة في المناطق الاستوائية. وتشغل المياه الباردة مساحة صغيرة، وتتركز في المناطق القطبية، حيث تتراوح درجة حرارتها الوسطية 4 درجات مئوية، وأصغر درجة حرارة تبلغها هي (- 1.8) درجة مئوية. ويعد المحيط الهادي أكثر المحيطات دفئاً؛ إذ تبلغ درجة حرارة مياهه الوسطية 19.5 درجة مئوية والمحيط المتجمد الشمالي أكثرها برودة.

****التركيب الكيميائي والملوحة:**

تبلغ الملوحة الوسطية لمياه البحار والمحيطات 35 غ/ل، ويلاحظ الانحراف الأكبر عن الملوحة الوسطية في البحار الداخلية؛ فعلى سبيل المثال تبلغ الملوحة في بحر البلطيق 3-4 غ/ل، بينما تتأرجح في البحر الأحمر بين (40-41) غ/ل. تُفسّر الملوحة العالية في البحر الأحمر، بعدم انصباب أنهار فيه تحمل إليه مياهاً عذبة، وباتصافه بمناخ حار يؤدي إلى حدوث تبخر شديد لمياهه، في حين يُفسّر انخفاض الملوحة في بحر البلطيق، بوجوده في ظروف مناخية باردة نسبياً، وتلقيه كمية كبيرة من المياه العذبة على حساب الأمطار ومياه الأنهار.

يتشكل الجزء الأكبر من مياه اليابسة على حساب الهطولات المطرية التي تتميز بملوحة منخفضة. وتختلف المياه القارية عن المياه البحرية في جزئها الملحي، بشكل كبير، حيث يتناسب فيها محتوى الأيونات عكسياً؛ ففي المياه البحرية يكون:

$$Na > Mg > Ca \quad ; \quad C\ell^- > SO_4 > HCO_3 .$$

بينما في المياه القارية يكون

$$Mg < Na < Ca \quad ; \quad C\ell^- < SO_4 < HCO_3 .$$

إن أسباب تملح مياه المحيطات غير واضحة حتى الآن بشكل كامل. فربما كانت ملوحة هذه المياه متعلقة بمنشئها كنتيجة للنشاط البركاني، أو نتيجة لورود أملاح منحلة من اليابسة.

وتفسر سيطرة اتحادات الكلور في المياه البحرية، على الأرجح، رغم أن الأنهار تجلب الى المحيطات كميات قليلة من الكلور والكثير من الكربونات (من اليابسة) بأن أملاح الكربونات تستخدم بكميات كبيرة من قبل العضويات لإشادة قواقعها وهياكلها، فيما يُفسر المحتوى العالي من الكلور بانحلال الغازات البركانية في المياه البحرية.

إن الهيدروسفير يتمتع بأهمية بالغة؛ فالعمليات الجيولوجية التي تحدث في نطاق الهيدروسفير تترافق في أغلب الأحيان بتشكل طبقات صخرية جديدة، كما أن البحار والمحيطات تشكل المحرك الرئيس في عملية تحديد الطقس والمناخ على سطح الكرة الأرضية. كذلك تتمتع مياه البحار والمحيطات بأهمية كبيرة في حياة الإنسان، فهي إضافة إلى مكوناتها، تشكل طريقاً للنقل البحري، وتعد مصدراً لكثير من المواد الأولية التي تستخدم في الصناعة، خصوصاً الغذائية منها؛ إذ يستخرج من مياه البحار والمحيطات 70 مليون طن من الأسماك والمواد الغذائية الأخرى.

جـ الغلاف الحيوي Biosphere:

هو ذلك الجزء من القشرة الأرضية، والغلاف الجوي، والغلاف المائي، الذي تنتشر فيه الحياة. تقع الحدود العليا للغلاف الحيوي على ارتفاع 20-25 كم من سطح القشرة الأرضية، أما الحدود السفلى له فتقع تحت سطح القشرة الأرضية على أعماق تصل إلى 16 كم، شكل (3-2). تبلغ الكتلة الإجمالية للمادة الحية حوالي 36 مليار طن، وهي تتوزع بشكل غير متساوٍ في أغلفة الأرض المختلفة، وهي تُصادف بشكل أساسي في الغلاف المائي حيث تبلغ حوالي 29.9 مليار طن، وفي اليابسة تبلغ 6.5 مليار طن.

تزيد كتلة المادة الحيوانية عن المادة النباتية في المحيطات بمقدار 30 مرة، بينما تصل كتلة المادة النباتية في اليابسة إلى 98-99% من الكتلة الإجمالية للمادة الحية. ولاستمرار الحياة تستهلك هذه الكائنات 59×10^{10} طناً من غاز ثاني أوكسيد الكربون و 7×10^{10} أطنان من الماء، وتطرح 43×10^{10} طناً من الأوكسجين. وتدل هذه الأرقام على التأثير الفعال للعالم العضوي في التركيب الكيميائي للغلاف الجوي؛ فغاز الأوكسجين والآزوت وثاني أوكسيد الكربون هي نواتج النشاط البيولوجي للمتعضيات الحية. ويُعد العالم الروسي فيرنادسكي أول من أشار إلى الدور الكبير للمتعضيات، في تشكل الغلاف الجوي والتركيب الغازي للهيدروسفير وتشكل تركيزات كيميائية للعناصر في القشرة الأرضية، وأسس فرعاً مستقلاً ضمن العلوم الجيولوجية أطلق عليه اسم البيوجيوكيمياء، وهو العلم الذي يدرس دور المتعضيات في حياة القشرة الأرضية والبيوسفير.

تتألف الكتلة الأساسية للمادة العضوية من الأوكسجين، والماء، وغاز الفحم، والآزوت، كما يوجد في المادة الحية الكبريت والبوتاسيوم والفوسفور والحديد والمنغنيز، وغيرها من العناصر بكميات غير كبيرة. وتؤدي العناصر النادرة (التي لا يتعدى وجودها في المادة الحية 0.003%)، مثل النحاس، والموليبدن، والبور وغيرها، دوراً هاماً في حياة المادة العضوية. فهي كذلك تساعد المتعضيات المجهرية والنباتات، من خلال استخلاصها العناصر الكيميائية والأملاح من الوسط المحيط، في تشكل تركيزات لتوضعات مفيدة، مثل خامات الحديد، والكربون، والفوسفور، كما يتشكل بمشاركتها الكثير من الخامات الأخرى كمواد الطاقة وغيرها. وتعكس بعض أنواع النباتات، وبشكل واضح، الزيادة الحاصلة في تركيز بعض العناصر في الصخور، وفي هذه الحالة تستخدم كمؤشرات في أعمال الاستكشاف، والتنقيب عن الخامات المفيدة.

إن ظهور العالم العضوي على الأرض يتعلق بعمليات تشكل الغلافين الجوي والمائي. ففي المراحل الأولى لتطور الأرض تشكلت في الغلافين السابقين ظروف مواتية (ملائمة) لتشكل الهيدروكربونات، ومثل هذه العمليات

تحدث في الكون في الوقت الحاضر، وما يدل على ذلك دراسة أغلفة بقية كواكب المجموعة الشمسية، وكذلك وجود المادة العضوية في تركيب النيازك. وخلال عملية التطور الطويلة تم بالتدريج تعقيد تركيب وبنية الهيدروكربونات، وانتهت بتشكل المادة الأولية الحية. هذا ويستدعي تكون المادة الحية أن تتوافر أولاً العناصر المكونة لها، وثانياً أن تكون هذه العناصر في ظروف تُؤَمِّنُ لها، إذا ما اتحد بعضها مع بعض أن تؤلف البروتينات والحموض النووية ومركبات الحياة الأخرى، وهذا ما لم يتأمن حتى الآن إلاّ على كوكب الأرض، حيث تتوافر المياه العذبة، والهواء الرطب، والتربة الخصبة، ودرجة الحرارة المعتدلة، والأشعة المصفاة في الغلاف الجوي السميك.

إن المؤشرات الأولى للحياة على الأرض لم تحفظ تقريباً، إذ إن الصخور تعرضت إلى تغيرات وتحولات كبيرة دمرت معها معالم الصخور، التي ربما كانت تتضمن آثار الكائنات الأولية التي دُفنت فيها، مما أدى إلى اختفاء الآثار التي تدل على أصل الحياة الأولية، والذي يُعتقد أنه كان نباتياً، إذ إن أقدم ما عُثر عليه في ما قبل الكمبري هو طحالب نباتية. مع الإشارة إلى أنه تم العثور على البقايا المحفوظة بشكل جيد للعالم العضوي القديم في طبقات الأرض التي لا يزيد عمرها على 570 مليون سنة.

2- الأغلفة الداخلية The Interior Spheres:

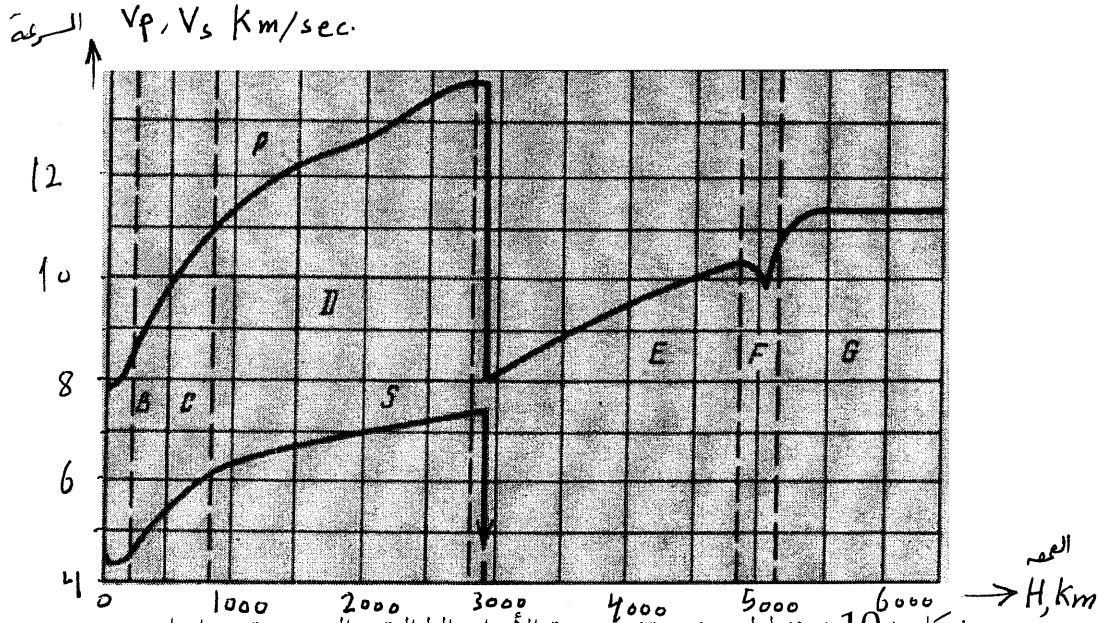
تتألف الأرض من عدد من الأغلفة الداخلية المتباينة في خواصها الفيزيائية وتراكيبها الكيميائية ، وقد بذل العلماء جهودا كبيرة للتعرف على هذه الأغلفة وخاصة أن دراستها لا تتم من خلال الملاحظة المباشرة كما هو الحال عند دراسة الصفات الفيزيائية للأغلفة الخارجية والقسم العلوي من القشرة الأرضية ، وبالتالي يبرز التساؤل الهام وهو كيف تم اكتشاف باطن الأرض ، علما أن قطرها 13000 كم وأعمق بئر تم حفره لم يتعدَّ 12 كم ؟ ولا شك أن هذا التساؤل في محله .

في الواقع يمكن لبعض العمليات الجيولوجية (البراكين كمثال) أن تأتي بصخور تشكلت في أعماق كبيرة من القشرة الأرضية وتضعهابالقرب من السطح أوعليه مباشرة متيحة امكانية دراستها مباشرة وفي بعض الأحيان قد تأتي بصخور من النطاق العلوي للمعطف ومع ذلك تبقى المعطيات عن باطن الأرض استنادا الى دراسة هذه الصخور والى معطيات الحفر محدودة . وبالتالي فان معظم المعلومات عن بنية الأرض الداخلية تم الحصول عليها بوساطة طرق دراسة غير مباشرة معظمها جيوفيزيائية تعتمد على تغيرات درجة حرارة الأرض وضغطها وكثافتها وخواصها المرونية (سرعة الأمواج التي تولدها الهزات الأرضية الطبيعية والاصطناعية) .

وقد استطاع العلماء أن يتعرفوا على التشكيلات الصخرية المؤلفة لهذه الأغلفة بوساطة أجهزة جيوفيزيائية تقيس الخواص الأساسية لهذه التشكيلات (الجاذبية والمغناطيسة والزلزالية) وأهم هذه الأجهزة التي استخدمت في التعرف على خصائص التشكيلات الجيولوجية لباطن الأرض جهاز قياس الموجات الاهتزازية أو الزلزالية الطبيعية والاصطناعية (السيسموغراف) .

فالأمواج الزلزالية الطبيعية و التي تجتاز مختلف أجزاء الكرة الأرضية تقدم معلومات عن بنية الأرض بشكل كامل . ويتم بوساطة السيسموغراف تحديد الوقت الذي يبدأ منه الزلزال ووقت نهايته ونوع الأمواج الواردة اليه

وسرعتها .هذه الأمواج الواردة تقسم الى **نوعين : 1 – أمواج أولية (P) تدعى بالأمواج الانضغاطية و وهي تنتشر في كل الأوساط السائلة والصلبة والغازية 2 – أمواج ثانوية (S) وتدعى بالأمواج العرضية وتنتشر في الأوساط الصلبة فقط.** وتتعلق سرعة الأمواج الاهتزازية بكثافة الصخور التي تخترقها اذ تزداد بازدياد كثافة هذهع الصخور وتنخفض بانخفاضها . وتعد الأمواج الطولية هي الأسرع في الوصول الى محطة الرصد (تقل سرعة الأمواج العرضية أو الثانوية عن سرعة الأواج الطولية أو الأولية بـ 1,7 مرة) .وقد ساعدت هذه الخواص التي تتمتع بها الأمواج السيسمية في التعرف على أغلفة الأرض الداخلية ويبين الشكل (10) مخطط تغير سرعة الأمواج السيسمية داخل الأرض حسب (جيفرس – غوتنبرغ) .



شكل (10) مخطط يوضح تغير سرعة الأمواج الزلزالية (السيسمية) داخل الأرض حسب (جيفرس – غوتنبرغ)

P – الأمواج السيسمية الطولية ، S – الأمواج السيسمية العرضية

(تدل الخطوط المتقطعة على مستويات تغير السرعات السيسمية)

ويلاحظ من الشكل أن الأمواج الزلزالية حين تمر من طبقة لها كثافة معينة الى طبقة أخرى كثافتها مختلفة عنها تنحني في مسارها أو تتكسر ولهذا تأخذ الأمواج الزلزالية داخل الأرض مسارات منحنية بسبب اجتيازها صخور مختلفة الكثافة ويظهر انكسار (أو انحناء) حاد عند تجاوزها طبقات صخرية متباينة في الكثافة بشكل كبير يسمى الانقطاع وهذا ما يظهر بين القشرة والمعطف (انقطاع موهو) و بشكل واضح على عمق 2900 كم أي مايسمى انقطاع غوتنبرغ (بين المعطف والنواة)أما الموجات الثانوية فيلاحظ أنها لا تخترق النواة . كما يظهر على الشكل أن الأمواج الأولية التي تعبر الأرض مخترقة النواة ينكسر مسارها بشدة داخل النواة عند العمق 5100 كم (انقطاع ليهمان) على الحدود بين النواة الداخلية والخارجية .

أولاً– النواة (Core): هي الجزء الأكثر كثافة من بين الأغلفة الداخلية للأرض، وتزداد كثافة المواد فيها باتجاه الأعماق، شكل (3-5)، بسبب تأثير ازدياد الضغوط المطبقة على هذه المواد، ومن ثم فإن الكثافة العالية للنواة

تعود إلى تأثير الضغوط المسيطرة عليها، وليس بسبب تغير تركيبها (وفقاً لنظرية العالم الروسي لودوشينكوف Lodchinkov، التي يُعد فيها النواة مؤلفة من سيليكات تحولت إلى الحالية المعدنية بفعل الضغوط العالية).

تتصف النواة بتغير حاد لسرعة الأمواج الطولية، يتجلى في انخفاض سرعة هذه الأمواج ثم تزايدها من جديد، وكذلك بغياب الأمواج الثانوية فيها وظهور ناقلية كهربائية عالية، مما يدل على تغير حالة المادة. هذا وعلى أساس المعطيات السيسمية وقياس التغيرات الحادة لصفات هذا الغلاف (النواة)، فإنه قُسم إلى قسمين: نواة خارجية Outer Core تقع في حالة شبه سائلة (لا تنفذ الأمواج العرضية عبرها) ويبلغ سمكها 2300 م، ولها أهمية كبيرة. إذ إنها، كما تؤكد الدراسات، مصدرٌ للحقل المغناطيسي الأرضي، الذي يغلف الأرض بكاملها، نتيجة لتحرك مادة هذا الغلاف الناجم عن دوران الأرض، كما تبلغ درجة الحرارة على الحدود الفاصلة بين المعطف والنواة 2500-3000 درجة مئوية، والضغط حوالي 1.5 مليون ضغط جوي. ويشكل انقطاع ليهمان (Lehman Discontinuity) حدها الفاصل مع النواة الداخلية، والذي يُشير إليه وجود نطاق انتقالي يتحدد بالعمق 5000-5100 كم، الذي تكون سرعة الأمواج السيسمية فيه منخفضة.

أما النواة الداخلية (Inner Core) فتزداد سرعة الأمواج السيسمية فيها من جديد، وتكون المادة فيها في الحالة الصلبة. ويمكن أن يقترح هنا، أنه عند هذه القيمة للضغط العالي يحدث تفكك المادة، التي توجد في النواة في الحالة البلازمية، وكذلك إعادة ترتيب إلكترونات الأيونات بشكل يتلاءم مع الضغوط الكبيرة، وتُعرف هذه العملية بانتقال الطور (Phase Transition).

إن التركيب الكيميائي للنواة بقسميها الداخلي والخارجي واحد، وهو مؤلف من النيكل والحديد، وقريب من تركيب النيازك الحديدية، وبحسب المكونات المسيطرة (Fe, Ni) **يسمى هذا الغلاف نيفا Nefa**. ويفسر العديد من العلماء تشكل النواة بتفاضل المادة الأولية للأرض، مما نجم عنه تجمع وتركيز العناصر الكيميائية الثقيلة مثل الحديد والنيكل في مركز الأرض، بينما العناصر الكيميائية الأخف تجمعت في الأغلفة العليا (وربما أسهم ذلك في أخذ الأرض شكلها شبه الكروي حيث ازدادت سرعة دورانها عند هذا التفاضل، ومطها في منطقة الاستواء.

ثانياً– المعطف Mantle: يشغل المعطف جزءا من بنية الأرض ← ⊗ ص ١٩

1- المعطف العلوي Upper Mantle:

2- المعطف المتوسط والسفلي Mead and Lower Mantle:

ثالثاً– القشرة Crust: وهي الغلاف الصخري العلوي للأرض والمؤلف من مختلف أنواع الصخور المغماتية والمتحولة والرسوبية. وتتمتع القشرة بسماكة لا تتعدى بضعة كيلومترات في المحيطات و تصل 70-80 كم في المناطق الجبلية، و هي تعد أكثر طبقات الأرض فعاليةً (غلاف نشاط العمليات المغماتية والتكتونية).

ويصادف في المراجع العلمية مفهوم الليثوسفير، والذي غالباً ما يستخدم بشكل خاطئ كمرادف للقشرة. ففي الحقيقة، الليثوسفير هو الغلاف الصخري للأرض متضمناً القشرة الأرضية والمعطف العلوي حتى السطح العلوي الأستينوسفير (سقف الأستينوسفير).

ثانيا– المعطف Mantle: ويسمى الغلاف المتوسط، وهو أكبر الأغلفة الداخلية للأرض، وينحصر بين انقطاعي موهو من الأعلى وغوتنبرغ من الأسفل. وقد سمحت التصورات المتعددة حول تركيب المعطف، والقائمة في الأساس على دراسة السرعات الموجية الزلزالية، بتقسيمه إلى ثلاث طبقات رئيسة هي:

1- المعطف العلوي Upper Mantle: يتصف بوجود طبقة السرعات السيسمية المنخفضة أو الأستينوسفير (Asthenosphere) انطلاقاً من زيادة اللدونة وطراوة المادة المتشكلة،. هذا ويُعزى تشكل طبقة الأستينوسفير إلى تزايد درجة الحرارة بسرعة أكبر من تزايد الضغط، مما يؤدي إلى تحول الصخور إلى الحالة نصف الصلبة نظراً لانخفاض لزوجتها. ويُنسب إلى هذه الطبقة أغلب البؤر الزلزالية، كما يُعتقد أنه تنشأ فيها البؤر المغماتية وأهم العمليات الجيولوجية الداخلية التي تؤدي دوراً مباشراً في استقرار القشرة الأرضية وتشوهها، وفي تشكيل بنيتها وتركيبها، ولهذا فإن القشرة الأرضية مع النطاق العلوي للمعطف بما فيه الأستينوسفير توجد فيما يسمى بالتيكتونوسفير (Tectonosphere) وفقاً للعالم الروسي بيليسوف (Bilisov).

2- المعطف المتوسط والسفلي Mead and Lower Mantle: ويتوضع هذا النطاق من الحدود السفلى للنطاق العلوي وحتى الحدود الخارجية للنواة.

إن المعلومات غير المباشرة عن التركيب الكيميائي للمعطف تم الحصول عليها على أساس تحليل الصخور المغماتية العميقة جداً الواردة إلى المستويات العليا للأرض، بفعل نقل المادة المعطفية بالحركات التكتونية، وكذلك بفعل دراسات مخبرية طرحت نماذج متعددة (جيوفيزيائية وبتروغرافية وبنيوية) عن بنية القشرة الأرضية. ووفقاً لحسابات العالم الروسي ديمتريف (Demetriev)، فإن التركيب الوسطي للمعطف هو على النحو التالي (بالنسبة المئوية)، جدول (4):

الجدول (4): التركيب الكيميائي للمعطف

الأوكسيد	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	TiO_2
النسبة (%)	45.5	3.80	5.30	3.00	0.300
الأوكسيد	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	MNO
النسبة (%)	2.10	42.2	0.40	0.10	0.2

يلاحظ من هذه النسب الواردة في الجدول السابق أنه يسيطر في تركيب المعطف بشكل أساسي السيليسيوم والمغنيزيوم، **لهذا سمي هذا الغلاف بالسيما**.

يتألف المعطف العلوي بشكل أساسي من سيليكات الحديد والمغنيزيوم مثل الأوليفين، والبيروكسين، والغرانات، وهذا يتوافق مع تركيب الصخور البريدوتية. أما المعطف السفلي فيتألف بشكل كامل من مختلف الأكاسيد الفلزية المتراصة، ويحتوي تركيبه الكيميائي بشكل رئيس على أكاسيد الحديد والمغنيزيوم، وبنسبة أقل على أكاسيد الألمنيوم والتيتانيوم. وبشكل عام تدل المعطيات الجيوفيزيائية على أنه ضمن المعطف تسيطر الحالة الصلبة للمادة، وأن هذا المعطف متجانس تقريباً من الناحية الكيميائية، غير أنه يتطبق وفق نطاقات ذات تجمعات فلزية مختلفة تتميز كل منها بخصائص بلورية وكيميائية معينة.

وقدتمكن العلماء بواسطة الدراسات السيسمية تمييز ثلاث طبقات مؤلفة من صخور مختلفة التركيب، والمنشأ، والصفات، وهي من الأعلى نحو الأسفل:

❖ **الطبقة الرسوبية:** مؤلفة من صخور بسماكة وسطية (5 – 15) كم وبكثافة وسطية(1,8 – 2,6) غ / سم3 ويغطي السطح العلوي لهذه الطبقة بشكل عام نواتج التجوية التي تشكل من ذراتها الترب الزراعية في المناطق السهلية والمنخفضات بينما تكون هذه الطبقة معراة في المناطق المرتفعات الجبلية حيث تنشط عمليات التعرية . ومما يميز طبقة الصخور الرسوبية في القشرة الأرضية تركز معظم مكامن الخامات المفيدة والثروات الباطنية فيها (المكامن النفطية ، أحواض المياه الجوفية ، توضعات خامات الحديد ، خامات الفوسفات ...الخ) وعمل الانسان على استخدام صخور الطبقة الرسوبية في مجالات حياته ونساطاته المختلفة (الزراعية والصناعية والعمرانية) .

❖ **الطبقة الغرانيتية** : تتوضع هذه الطبقة الى الأسفل من طبقة الصخور الرسوبية وتتصف بتركيب فلزي يماثل تركيب صخور الغرانيت ذات المنشأ المغماتي . وهي صخور غنية بأوكسيد السيليسيوم (SIO_2) . ويشكل الحد السفلي لهذه الطبقة حد أو انقطاع كونراد الذي يفصلها عن الطبقة البازلتية التي تتوضع أسفلها .

تتراوح سماكة طبقة الصخور الغرانيتية بين (20 – 40) كم ، ومتوسط كثافتها (2,5 – 2,75) غ / سم3 وقد تتكشف صخور هذه الطبقة على سطح الأرض فتشكل بذلك ما يدعى بالدرع مثال الدرع العربي . ويستخدم الانسان هذه الصخور أحجار زينة ومواد بناء .

❖ **الطبقة البازلتية:** وهي الطبقة الثالثة من طبقات القشرة الأرضية وتتوضع الى الأسفل من طبقة الصخور الغرانيتية بين حد كونراد الذي يشكل حدودها العليا وحد موهو الذي يفصل القشرة الأرضية عن الجزء العلوي للمعطف الأرضي .

يتمثل التركيب الكيميائي والفلزي لصخور هذه الطبقة بتركيب مماثل لصخور البازلت وهي صخور فقيرة بأكسيد السليسيوم (SIO_2) ويتراوح متوسط سماكتها 35 – 55 كم وبكثافة وسطية 2,75 – 3,2 غ / سم3 .

استنادا الى تمايز القشرة الأرضية بين المناطق القارية والمناطق المحيطية يمكن تمييز نمطين أساسيين للقشرة :

أولاً– القشرة الأرضية القارية (Continental Crust): تتألف من ثلاث طبقات رسوبية، وغرانيتية، وبازلتية.

ثانياً– القشرة الأرضية المحيطية (Oceanic Crust): تختلف هذه القشرة عن القشرة القارية بغياب الطبقة الغرانيتية)، كما أن الطبقة الرسوبية قليلة السماكة .

مكتبة A to Z