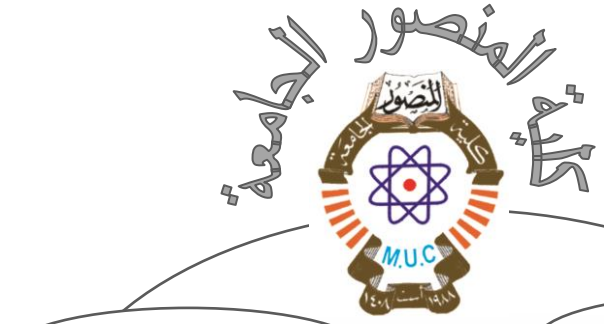


Al-Mansour University College

قسم الهندسة المدنية
المرحلة الاولى

Civil Eng. Dept
1st. Stage

Engineering Geology

2022 - 2023

Lec.1

جيولوجيا

Haider Qais

Lecture # 01: References & Syllabus

REFERENCES:

1- "***Engineering Geology: Principles and Practice***", by David Georg, 2nd Edition 2009.
2- "***Engineering Geology***", by Bell, 2nd Edition, 2007.
3- "***Foundations Engineering Geology***", by Tony Waltham, 2nd Edition 2008.
4- "***Introduction to Physical Geology***", by Thompson and Turk, 2nd Edition 2002.
5- "***Structural Geology****: An Introduction to Geometrical Techniques*", by Donal Ragan, 4nd Edition 2009.
6- "***3-D Structural Geology***", by Richard Goshong, 2nd Edition 2006.
7- "***Essentials of Geology***", by Lutgens and Tarbuck, 11th Edition 2012.

Syllabus:

Chapter 1: Basic Concepts

1.1 Essential Definitions
1.2 The science of Geology
1.3 Development of Engineering Geology
1.4 Aims of Engineering Geology
1.5 Relevance of Geology to Civil Engineering

Chapter 2: Earth Structure

2.1 Earth Envelops
2.2 Solid Earth Envelops
2.3 Variation of Physical Conditions with Depth
2.4 The Rock Cycle
2.5 Earth Internal Structure

Chapter 3: Rock Cycle

3.1 The Nature of the Rocks
3.2 Igneous Rocks
3.3 Sedimentary Rocks
3.4 Metamorphic Rocks
3.5 Engineering Properties of Rocks
3.6 Introduction to Minerals
3.7 Formation of Minerals
3.8 Classification of Minerals
3.9 Crystal Form of Minerals
3.10 Identification of Minerals
3.11 Physical Properties of Minerals

Chapter 4: Structural Geology

4.1 Introduction
4.2 Types of Strata
4.3 Stratum (Bed) and Bedding Planes
4.4 Outcrop of the Bed (Layer)
4.5 Strike of the Bed (Layer)
4.6 Dip of the Bed
4.7 Folds
4.8 Faults
4.9 Joints and Discontinuities

Chapter 5: Soils and Weathering

5.1 Soil Formation
5.2 Soil Profile
5.3 Soil Classification
5.4 Soil Erosion
5.5 Mechanical and Physical Properties of Soils
5.6 Mechanical Weathering
5.7 Chemical Weathering
5.8 Rates of Weathering

Chapter 6: Ground Water Conditions and Supply

6.1 Sources of Ground Water
6.2 Classification of Rocks with Respect to Ground Water Studies
6.3 Porosity, Hydraulic Conductivity and permeability of Rocks
6.4 Ground Water, Water table and Vertical Classification of Ground Water
6.5 Characteristics of Ground Water
6.6 Types of Aquifers
6.7 Aquifer and Porosity
6.8 Darcy's Law
6.9 Effect of Type and Nature of Rocks on Ground Water
6.10 Types of Ground Water Movements
6.11 Effects of Geological Structures on Ground Water
6.12 Springs and wells
6.13 Quality of Ground Water
6.14 Hydro-geological Subdivision of Iraq
6.15 Ground Water Investigation
6.16 Ground Water and Engineering
6.17 Environmental Problems Associated with Ground Water

Chapter 7: Subsurface Exploration and Geophysical Techniques

7.1 Subsurface Exploration
7.2 Applied Geophysical Techniques
7.3 Geological Materials: Properties and Measurements
7.4 Density and Unit Weight
7.5 Porosity and Permeability
7.6 Strength
7.7 Deformation
7.8 Abrasiveness
7.9 Environmental Reactivity
7.10 Index Test
7.11 Range of Values for Material Properties

Chapter 8: Geological Processes

8.1 Weathering
8.2 The Role of Water
8.3 Movements of Slopes
8.4 Wind Action and Desert Landscapes
8.5 Coasts and Shorelines
8.6 Storm Surges and Tsunamis
8.7 Karst Topography and Underground Drainage
8.8 Glaciations

Chapter 9: Earthquakes and Earth Interior

9.1 Introduction
9.2 Earthquakes and Faults
9.3 Earthquakes Waves
9.4 Source and Location of An earthquake
9.5 Size of An earthquake Measurements
9.6 Earthquake Belts and Plates
9.7 Boundaries
9.8 Earthquake Destruction and Damage
9.9 Earth's Interior

Chapter 10: Application to Civil Engineering

10.1 Earth Movements
10.2 Principal Geological Factors Affecting Engineering Projects
10.3 Volcanoes
10.4 Earthquakes

Chapter 11: Topographic and Geologic Maps

11.1 Topographic Maps (Contours)
11.2 Geological Maps
11.3 Principal of Uniformitarianism and Superposition
11.4 Determination of Strike and Dip of any Bed
11.5 Calculating Dip
11.6 True and Apparent Thickness of Layers

The word *Geology* is derived from the Greek "Geo" the earth "the science, thus it is "Earth Science". **Geology** is the science study of the solid earth that examines the earth, its form and composition and the changes which it has undergone and is going. Geology deals with many practical questions about our physical environment, what forces produce different geological structures, understanding many processes that operate beneath and upon its surface. Thus geology might be called a derived science (or applied science) as its objective is the explanation of the phenomena, structures in the globe in terms of the general laws recognized by the chemists, physicists, biologists and mathematicians. So it is closely related to pure sciences (Chemistry, physics, biology and mathematics).

كلمة الجيولوجيا مشتقة من الكلمة اليونانية "Geo" الأرض "العلم ، وبالتالي فهي" علوم الأرض ". الجيولوجيا هي الدراسة العلمية للأرض الصلبة التي تفحص الأرض وشكلها وتكوينها والتغيرات التي مرت بها وما زالت مستمرة. تتعامل الجيولوجيا مع العديد من الأسئلة العملية حول بيئتنا المادية ، وما هي القوى التي تنتج هياكل جيولوجية مختلفة ، وفهم العديد من العمليات التي تعمل تحت سطحه وعلى سطحه. وهكذا يمكن تسمية الجيولوجيا بالعلم المشتق (أو العلم التطبيقي) لأن هدفها هو تفسير الظواهر والبنى في العالم من حيث القوانين العامة المعترف بها من قبل الكيميائيين والفيزيائيين وعلماء الأحياء وعلماء الرياضيات. لذلك فهو وثيق الصلة بالعلوم البحتة (الكيمياء والفيزياء والأحياء والرياضيات).

1.3 Aims of Engineering Geology

The philosophy of engineering geology is based on three simple premises. These are:

1. All engineering works are built in or on the ground.
2. The ground will always, in some manner, react to the construction of the engineering work.
3. The reaction of the ground (its "engineering behavior") to the particular engineering work must be accommodated by that work.

تستند فلسفة الجيولوجيا الهندسية على ثلاثة مبانٍ بسيطة. هؤلاء هم:

1. جميع الأعمال الهندسية مبنية على الأرض أو على الأرض.
2. سوف تتفاعل الأرضية دائمًا ، بطريقة ما ، مع إنشاء الأعمال الهندسية.

3. يجب استيعاب رد فعل الأرض ("سلوكها الهندسي") على عمل هندسي معين من خلال هذا العمل.

The 2nd point that the ground will always react to the construction of the engineering work seems to be self-evident. The problem is to assess the magnitude and nature of the reaction of the ground to both the construction and the operation of the project. This ground reaction, the engineering behavior of the ground, could be small and insignificant, or massive and perhaps disastrous, depending on the nature of site geology and the engineering work. It must, however, be known in order to fulfill the third point, namely that the engineering work be designed so that it can be constructed and will operate within the bounds of the site geological conditions without sustaining significant damage as the result of the reaction of the ground.

النقطة الثانية التي تقول إن الأرضية ستتفاعل دائمًا مع بناء العمل الهندسي تبدو بديهية. تكمن المشكلة في تقييم حجم وطبيعة رد فعل الأرض على كل من إنشاء وتشغيل المشروع. قد يكون رد الفعل الأرضي ، السلوك الهندسي للأرض ، صغيرًا وغير مهم ، أو ضخمًا وربما كارثيًا ، اعتمادًا على طبيعة جيولوجيا الموقع والعمل الهندسي. ومع ذلك ، يجب أن يكون معروفًا من أجل تحقيق النقطة الثالثة ، وهي أن يتم تصميم العمل الهندسي بحيث يمكن بناؤه وسيعمل ضمن حدود الظروف الجيولوجية للموقع دون التعرض لأضرار كبيرة نتيجة لرد فعل الارض.

To determine the engineering behavior of the ground, the engineering properties of the ground mass and the proposed design of the engineering work must be known. These two streams of data must be brought together and processed in order to determine, by calculation, the engineering behavior of the ground.

1.4 Relevance of Geology to civil Engineering

The application of geological principles in engineering investigations has great benefits for engineering sciences and vice versa for geological sciences in case of well drilling. So, both are closely related and important in site investigation. The cooperation between geologists and civil engineers resulted in introduction of **"*Soil Mechanics*"** science. ***Soil mechanics*** is the branch of science that deals with the study of the physical properties of soil and the behavior of soil masses subjected to various types of forces.

Soils engineering is the application of the principles of soil mechanics to practical problems.

هندسة التربة هي تطبيق مبادئ ميكانيكا التربة على المشاكل العملية.

Geotechnical engineering is the subdivision of civil engineering related to site investigation that involves natural materials found close to the surface of the earth. It includes the application of the principles of soil mechanics and rock mechanics to the design of foundation, retaining structures and earth structures.

الهندسة الجيوتقنية هي التقسيم الفرعي للهندسة المدنية المتعلقة بفحص الموقع الذي يتضمن المواد الطبيعية الموجودة بالقرب من سطح الأرض. يتضمن تطبيق مبادئ ميكانيكا التربة وميكانيكا الصخور على تصميم الأساس ، والهياكل الاحتفاظ والتركيبات الأرضية.

In a major engineering project, geological proposals might be carried out and reported on by a consultant specializing in geology, geophysics or engineering (with a detailed knowledge of soil or rock mechanics). However, even where the services of a specialist consultant are employed, an engineer will have overall supervision and responsibility for the project. Therefore, the civil engineers must therefore have enough understanding of geology for the following reasons:

في مشروع هندسي كبير ، يمكن تنفيذ المقترحات الجيولوجية والإبلاغ عنها بواسطة استشاري متخصص في الجيولوجيا أو الجيوفيزياء أو الهندسة (مع معرفة تفصيلية بميكانيكا التربة أو الصخور). ومع ذلك ، حتى في حالة توظيف خدمات استشاري متخصص ، سيكون للمهندس الإشراف والمسؤولية العامان على المشروع. لذلك ، يجب أن يكون لدى المهندسين المدنيين فهم كافٍ للجيولوجيا للأسباب التالية

1. To know how and when to use the expert knowledge of consultant, and to be able to read their reports intelligently, judge their reliability, and appreciate how the conditions described might affect the project.
2. In some cases, the engineer can recognize common rock types and simple geological structures, and knows where he can obtain geological information for his preliminary investigation.
3. When reading reports, or studying geological maps, he must have a complete understanding of the meaning of geological terms and be able to grasp geological concepts and arguments.
4. Most civil engineering projects involve some excavation of soils and rocks, or involve loading the earth by building on it.
5. In some cases, the excavated rocks may be used as constructional material, and in others, rocks may dorm a major part of the finished products, such as a motorway cutting or the site for a reservoir.
6. The feasibility, the planning and design, the construction and costing, and the safety of a project may depend critically on the geological conditions where the construction will take place.
7. In modest projects or in those involving the redevelopments of a limited site, the demand on the geological knowledge of the engineer or the need for geological advice will be less, but are never negligible. Site investigation by boring and by testing samples may be an adequate preliminary to construction in such cases.
8. Besides, the knowledge about geological works of rivers and the occurrences of underground water are required.

The exploration of a site to assess the feasibility of a project, to plan and design appropriate foundation, and to draw up bills of quantities for excavation.

1. لمعرفة كيف ومتى يتم استخدام معرفة الخبراء للاستشاري ، والقدرة على قراءة تقاريرهم بذكاء ، والحكم على موثوقيتها ، وتقدير كيف يمكن أن تؤثر الظروف الموصوفة على المشروع.

2. في بعض الحالات ، يمكن للمهندس التعرف على أنواع الصخور الشائعة والبنى الجيولوجية البسيطة ، ومعرفة أين يمكنه الحصول على المعلومات الجيولوجية لتحقيقه الأولي.

3. عند قراءة التقارير أو دراسة الخرائط الجيولوجية ، يجب أن يكون لديه فهم كامل لمعنى المصطلحات الجيولوجية وأن يكون قادرًا على فهم المفاهيم والحجج الجيولوجية.

4. تتضمن معظم مشاريع الهندسة المدنية بعض أعمال حفر التربة والصخور ، أو تنطوي على تحميل الأرض بالبناء عليها.

5. في بعض الحالات ، يمكن استخدام الصخور المحفورة كمواد إنشائية ، وفي حالات أخرى ، قد تسكن الصخور جزءًا كبيرًا من المنتجات النهائية ، مثل قطع الطريق السريع أو موقع الخزان.

6. قد تعتمد الجدوى والتخطيط والتصميم والبناء والتكلفة وسلامة المشروع بشكل حاسم على الظروف الجيولوجية حيث سيتم البناء.

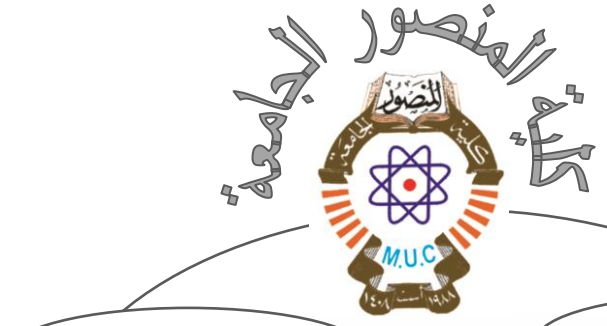
7. في المشاريع المتواضعة أو في تلك التي تنطوي على إعادة تطوير موقع محدود ، سيكون الطلب على المعرفة الجيولوجية للمهندس أو الحاجة إلى المشورة الجيولوجية أقل ، ولكن لا يمكن إهماله على الإطلاق. قد يكون فحص الموقع عن طريق الممل واختبار العينات بمثابة تمهيد كافٍ للبناء في مثل هذه الحالات.

8. إلى جانب ذلك ، فإن المعرفة حول الأعمال الجيولوجية للأنهار وحدوث المياه الجوفية مطلوبة.

9. استكشاف موقع لتقييم جدوى المشروع ، لتخطيط وتصميم الأساس المناسب ، ووضع جداول الكميات للحفر.

Much of this exploration, particularly the making of geological maps, is normally carried out in arge projects by a professional engineering geologist. In limited sites, the engineer may have to collect his own geologcal data, and make elementary, but crucial, geological decisions on, for example, whether or not boring has reached bedrock or has struck a boulder in the overlying till.

يتم تنفيذ الكثير من هذا الاستكشاف ، لا سيما إعداد الخرائط الجيولوجية ، في العادة في مشاريع كبيرة بواسطة جيولوجي هندسي محترف. في مواقع محدودة ، قد يضطر المهندس إلى جمع البيانات الجيولوجية الخاصة به ، واتخاذ قرارات جيولوجية أولية ، ولكنها حاسمة ، على سبيل المثال ، ما إذا كان الحفار قد وصل إلى حجر الأساس أم لا أو ضرب صخرة في الجزء العلوي من الأرض.



Al-Mansour University College

قسم الهندسة المدنية
المرحلة الاولى

Civil Eng. Dept
1st. Stage

Engineering Geology

2022 - 2023

Lec.2

جيولوجيا

Haider Qais

Earth Structure مكونات الأرض

2.1 Earth Envelops

The earth physical environment is traditionally divided into five major envelops; these are:

1. *Atmosphere*: The outer gaseous envelope (Air envelope) الغلاف الجوي
2. *Hydrosphere*: The aqueous envelope (Water envelope).الغلاف المائي
3. *Lithosphere*: The outer solid earth envelope up to 100 km (mainly earth crust and uppermost of mantle).ليثو سفير
4. *Biosphere*: The livings envelope.المحيط الحيوي
5. *Interior of the Earth*: Extending from lithosphere to center of the earth (mainly earth mantel and core).باطن الارض

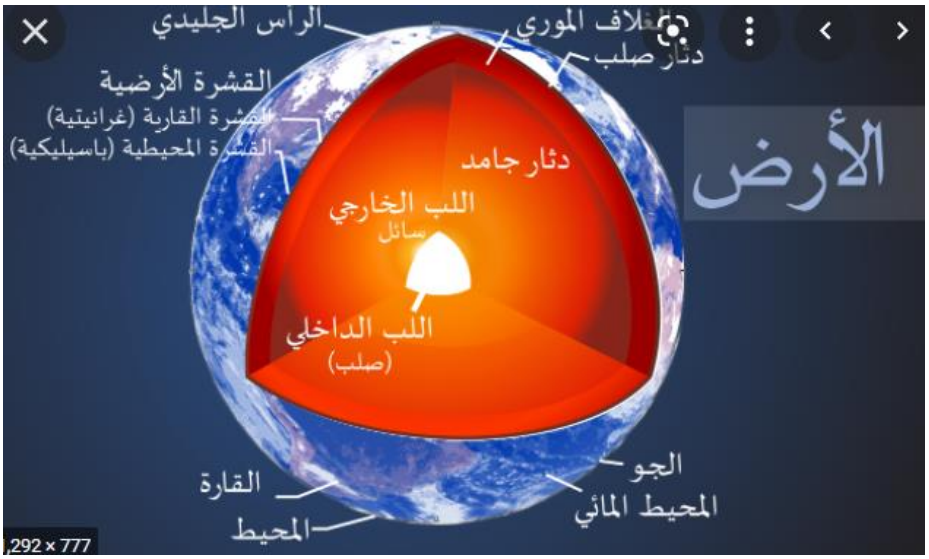
2.2 Solid Earth Envelops *مكونات باطن الارض*

The principal divisions of solid earth are shown in Fig.1 and include:

1- **Earth Crust**: consists of continental and oceanic crust separated by *Conrad Discontinuity*.قشرة الأرض: تتكون من قشرة قارية ومحيطية تفصل بينها قشرة كونراد

2-

3- **Earth Core**: Subdivided into outer core (liquid state) and inner core (solid state). Earth core is separated from earth mantle by *Gutenberg Discontinuity*.
ينقسم إ اللب الخار جي (الحالة السائلة) واللب الخدلي (الحالة الصلبة). يتم فصل نواة ا رض عن بعاءة لب طسض بوارا ة ارض:



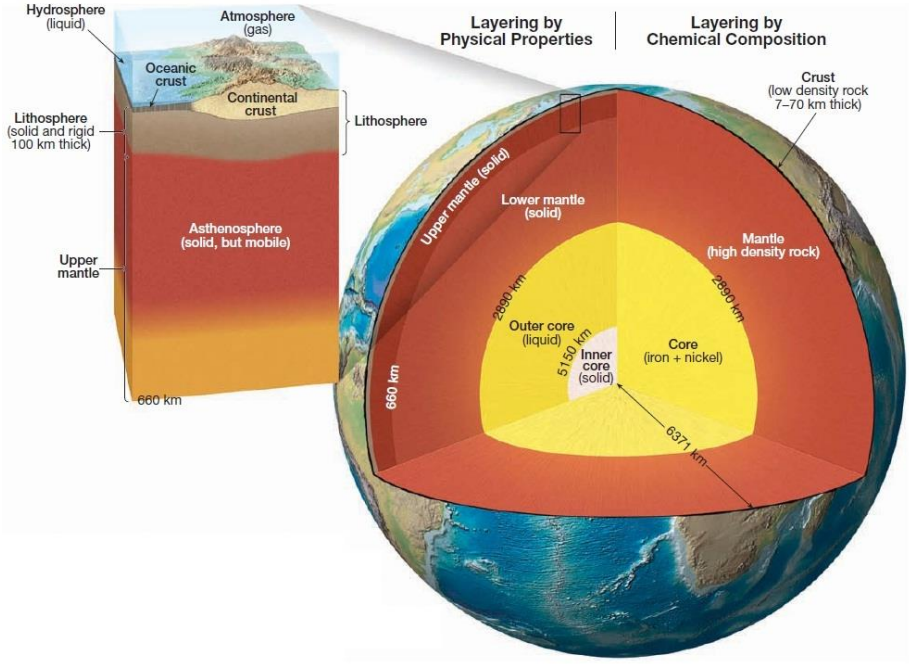
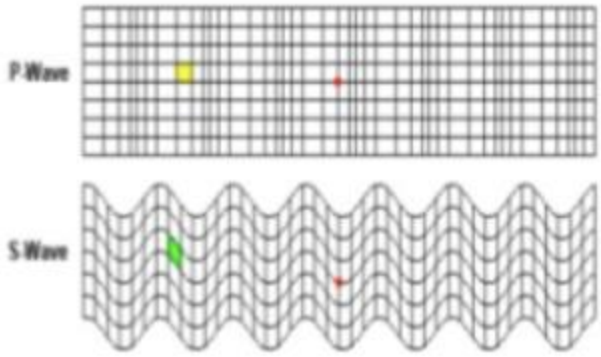
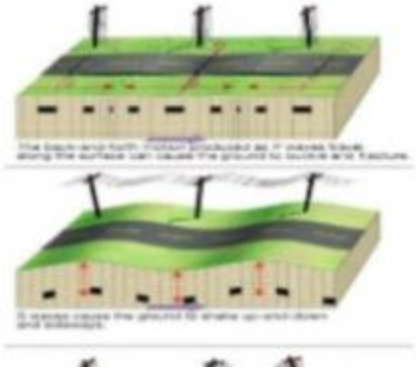


***Fig. 1**: Layers of the earth and its major discontinuities.*

The internal structure of the earth is subdivided according to seismological المعلومات الزلزالية information. When an earthquake occurred, two main waves will be generated as follows:

1. Primary waves (P-waves) which are transported in both liquid and solid medium.تنتقل في المجال السائل والصلب
2. Shear waves (S-wave) which is transported in solid medium only. تنتقل في الوسط الصلب فقط





سوف تتنوع سرعات P & S فيما يتعلق بالتغير في الكثافة والخصائص المرنة الناتجة عن تغيرات موجات درجة الحرارة والضغط التي تؤدي إلى اختلافات كيميائية ومعدنية

2.2.1 Earth Crust:

The crust extends from earth surface to the mantle (**Moho** or **M-discontinuity**). The crust is subdivided into two parts as shown in Fig.2:

(a) Outer: known as **Sial** (silica-Alumina) or Granitic Layer.

(b) Inner: Known as **Sima** (Silica-Magnesia) or Basaltic layer.

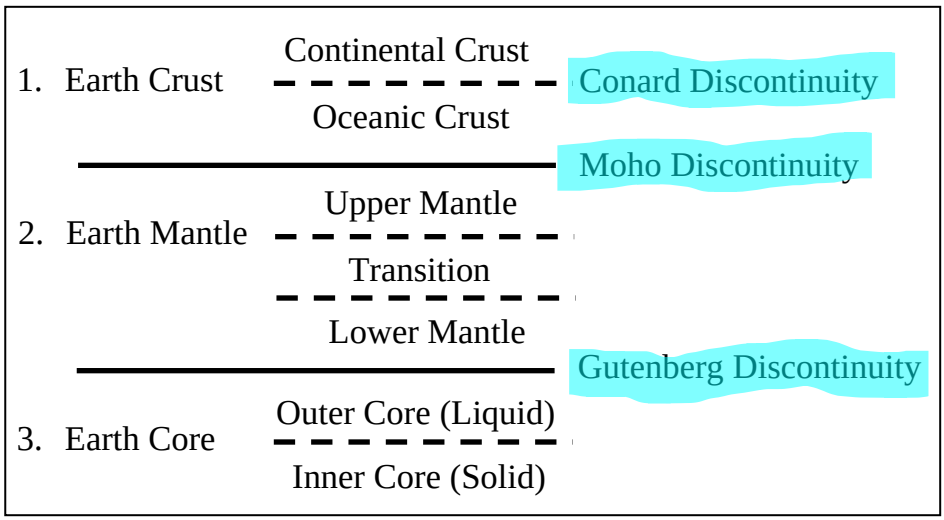


Fig. 2: Earth structure and its discontinuities.

Sial or Granitic layer: is composed of less dense materials. It is rich in silica (SiO_2) and alumina (Al_2O_3) and has got similarity in composition of rock granite (الصخور) with an average density of **2.7 gm/cm^3** and average **thickness of 25 km**.

Sima or Basaltic layer: is made up of **dense**, **dark** colored materials which is rich in magnesia (MgO) plus silica and it is similar to those which comes out of the volcanoes with an average density of **2.9 gm/m^3** and average **thickness of 20 km** as shown in Fig.3.

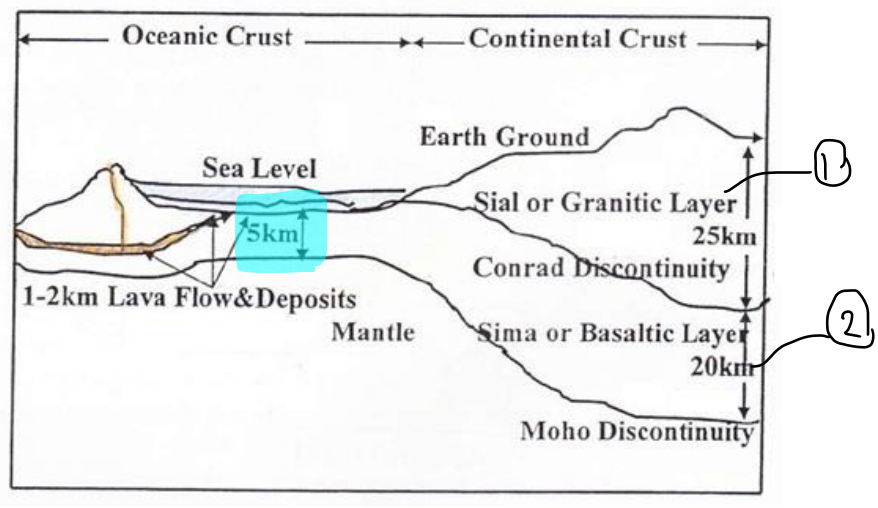


Fig. 3: Earth crust subdivision.

The depth of the crust which includes basaltic as well as granitic layer is

Engineers devide the crust into rocks صخور and soils تربة, whereas geologist often call "rock" to all constituents of the earth crust. The mass of the crust is about 0.7% of the earth mass with an average density of **2.8 gm/cm^3** with composition (up to 15 km) of 95% igneous rocks, 4% shales, 0.75% sandstone and 0.25% limestone neglecting metamorphic rocks.

The mineralogical composition of the crust consists of more than 2000 minerals, but 99.9% of the crust consists mainly of 20 minerals maily feldspar, silica, oxides, carbonate, phosphates, sulphides and chlorides. The percentages of thses minerals as follows: 60% feldspar, 12% quartz, 4.1% iron oxides and titanium, 3.8% mica, 2.6% pyroxene, 1.4% muscovite and 3,5% other minarals.

2.2.2 Earth Mantle:

It extends from *Moho* discontinuity to about 2900 km which is the boundary of mantle-core that is identified by P-wave observations. The materials in mantle are about two or three times as dense as those of earth surface. It is believed that its composition is similar to *peridotite rock* with high density. The average density is about **4.5 gm/cm^3.** From seismic observations, it has been found that a major change or discontinuity occurs at the boundary between mantle and outer core named Gutenberg discontinuity.

2.2.3 Earth Core:

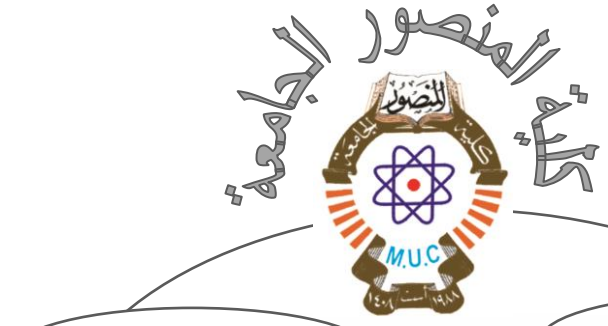
It is located below Gutenberg discontinuity from depth of **about 2900 km to earth center**. It is subdivided into two parts:

(a) Outer Core: It surrounds the inner core which is liquid, its composition is similar to that of the inner core, mainly **iron** and **nickel**. It is of about **2100 km** in thickness to that average density of **10-15 gm/cm^3**.

يحيط بالنواة الداخلية التي تكون سائلة ، تكوينها مشابه لتكوين اللب الداخلي ، بشكل أساسي الحديد والنيكل

(b) Inner Core: It is estimated to be of about **850 km in thickness**. It is solid with the same composition and contains very high density materials with an average density **17 gm/cm^3**.

إنه صلب بنفس التركيب ويحتوي على مواد عالية الكثافة



Al-Mansour University College

قسم الهندسة المدنية
المرحلة الاولى

Civil Eng. Dept
1st. Stage

Engineering Geology

2022 - 2023

Lec.3

جيولوجيا

Haider Qais

2.3 Variation of Physical Conditions with Depth

The earth materials are believed to be formed from the transformation of the original liquid materials to solid state as the lower density rocks are in the upper part of the earth such as acidic rock "*Granite*" while rocks with higher densities are in the lower part as the basic rock "*Basalt*". Thus, the iron and heavy minerals proportion (such as nickel) increases with depth down to the earth core which gives an explanation for the gradual increase in rock densities downward the earth center.

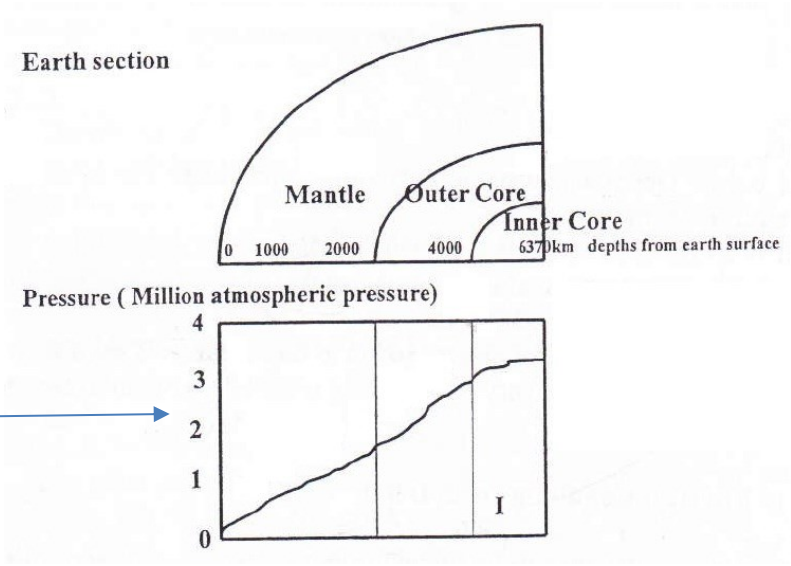
يُعتقد أن المواد الأرضية تتشكل من تحول المواد السائلة الأصلية إلى الحالة الصلبة حيث توجد الصخور منخفضة الكثافة في الجزء العلوي من الأرض مثل الصخور الحمضية "الجرانيت" بينما توجد الصخور ذات الكثافة الأعلى في الجزء السفلي مثل الصخور الأساسية "البازلت". وبالتالي ، فإن نسبة الحديد والمعادن الثقيلة (مثل النيكل) تزداد مع العمق وصولاً إلى قلب الأرض مما يعطي تفسيراً للزيادة التدريجية في كثافات الصخور باتجاه مركز الأرض.

زيادة الضغط مع زيادة العمق بسبب ارتفاع العمود الصخري

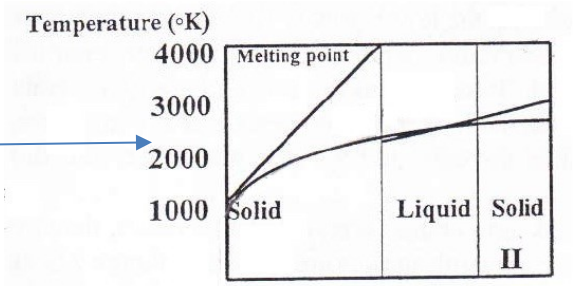
temperature (Fig. 1-II) increases quickly with depth in the upper part (crust rocks) but with gradual increase downward to the earth core reaching 5000°C in core rocks.

For density (Fig. 1-III), it increases gradually with depth (with about 1 gm/cm^3 per 1000 km depth), but with abrupt زيادة مفاجئة increase abruptly at the core boundary due to the presence of iron and nickle which are the main components of the core. Concerning seismic wave velocities (Fig. 1-IV), it is observed the increase in *P* and *S*-wave velocities due to its transport from the contenental (granitic) layer to the oceanic (basaltic) layer. In the mantle, the increase becomes sharply reaching more than 8 km/sec. for *P*-wave and more than 5 km/sec. for *S*-wave.

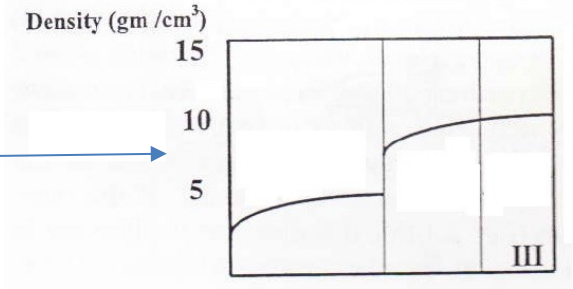
In the core, P-wave velocity decreases in the outer core, with the absence of S-wave that confirms the liquidity state of the outer core. In the inner core, P and S-waves are present and increase with depth reaching more than 11.5 km/se. for P-wave velocity and about 3 km/se. for S-wave velocity.



زيادة الضغط مع زيادة العمق



زيادة بدرجات الحرارة مع زيادة العمق



زيادة الكثافة مع زيادة العمق

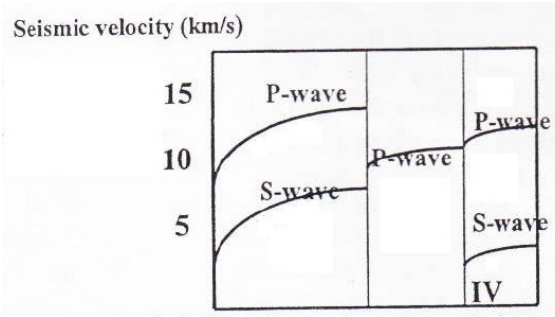


Fig.1: *Variation of some physical conditions.*

2.4 The Rock Cycle

Rocks are classified according to their origin into

- Igneous نارية
- sedimentary and رسوبية
- metamorphic rocks.متحولة

The first rock type, igneous rock, originates when molten material called ***Magma*** cools and solidifies. This process called crystallization and may occur shortly after forming, the earth's outer is believed to have been molten. As this molten material gradually cooled and crystallized, it generated a primitive crust that consisted entirely of igneous rocks.

النوع الأول من الصخور ، الصخور النارية ، ينشأ عندما تبرد وتتصلب مادة منصهرة تسمى الصهارة. تسمى هذه العملية التبلور وقد تحدث تحت سطح الأرض عقب اندلاع البركان على السطح. في البداية ، أو

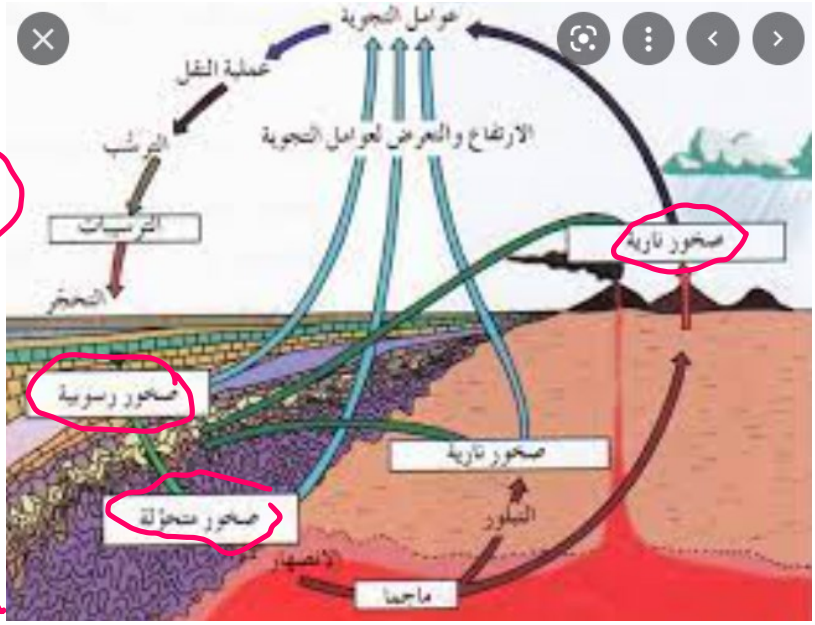
بعد فترة وجيزة من التكوين ، يُعتقد أن الغلاف الخارجي للأرض قد انصهر. عندما يتم تبريد هذه المادة المنصهرة وتبلورها تدريجيًا ، فقد ولّدت قشرة بدائية تتكون بالكامل من الصخور النارية.

If igneous rocks are exposed at the surface of the earth will undergo weathering in which effects of atmosphere disintegrate and decompose slowly rock. The materials that result will be picked up, transported, and deposited by any of a number of erosional agents, gravity, running water, glaciers, wind or waves. Once these particles and dissolved substances called "***sediment***" are deposed usually as horizontal beds in the ocean, they will undergo ***lithification***, a term meaning conversion into rock.

إذا تم الكشف عن الصخور النارية على سطح الأرض ، فسوف تخضع للعوامل الجوية التي تتفكك فيها تأثيرات الغلاف الجوي وتتحلل ببطء الصخور. سيتم التقاط المواد الناتجة ونقلها وترسيبها بواسطة عدد من عوامل التعرية أو الجاذبية أو المياه الجارية أو الأنهار الجليدية أو الرياح أو الأمواج. بمجرد أن يتم التخلص من هذه الجسيمات والمواد المذابة التي تسمى "الرواسب" عادةً على هيئة طبقات أفقية في المحيط ، فإنها ستخضع لعملية إزالة الصخر ، وهو مصطلح يعني التحول إلى صخور .

المسام بالمادة المعدنية. إذا دفنت الصخور الرسوبية الناتجة في أعماق الأرض أو شاركت في ديناميات بناء الجبال ، فسوف تتعرض لضغط كبير من الحرارة. سوف تتفاعل الصخور الرسوبية مع البيئة المتغيرة

وتتحول إلى النوع الثالث من الصخور المتحولة. عندما تتعرض الصخور المتحولة لمزيد من الحرارة والضغط ، فإنها سوف تذوب ، مكونة الصهارة ، والتي سوف تتصلب في النهاية على شكل صخور نارية.



The full cycle does not always take place, for example, igneous rock rather than being exposed to **weathering** and erosion at the earth surface, may be eubjected to the heat and pressure found far below and change to metamorphic rock. On the other hand, metamorphic rock and sedimentary rocks, as well as sediment, may be exposed at the surface and turn in to new raw materials for sedimentary rock.

لا تحدث الدورة الكاملة دائمًا ، على سبيل المثال ، الصخور البركانية بدلاً من التعرض للعوامل الجوية والتآكل على سطح الأرض ، قد تتعرض للحرارة والضغط الموجودين أسفلها كثيرًا وتتحول إلى صخور متحولة. من ناحية أخرى ، قد تتعرض الصخور المتحولة والصخور الرسوبية ، وكذلك الرواسب ، على السطح وتتحول إلى مواد خام جديدة للصخور الرسوبية.

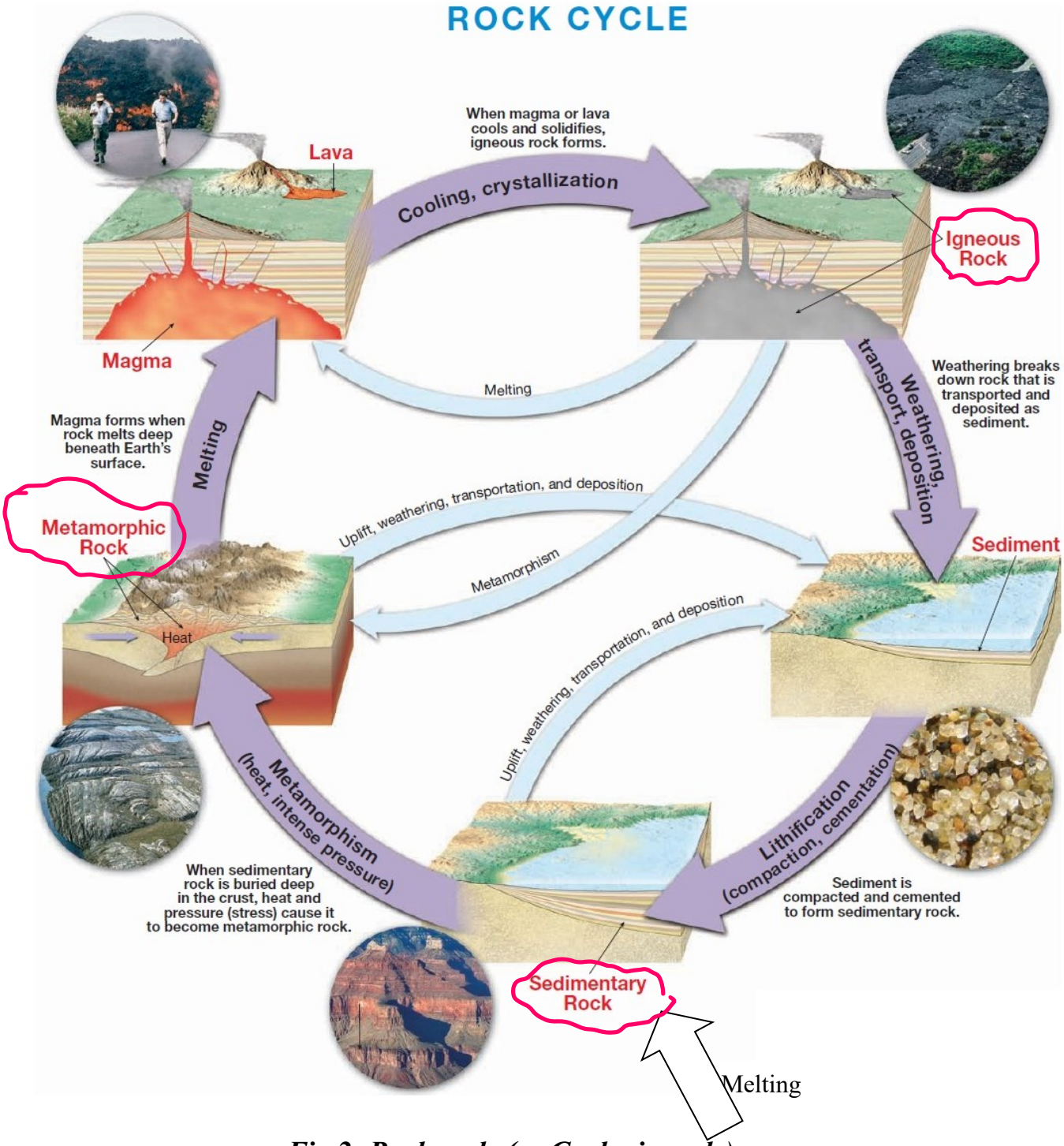


Fig.2: Rock cycle (or Geologic cycle).

2.5 Earth Internal Structure

The segregation فصل of material that began early in Earth's history resulted in the formation of three layers defined by their chemical composition:

- ***crust***,
- ***mantle***,
- ***core***.

In addition to these compositionally distinct layers, Earth can be divided into layers based on physical properties. The physical properties used to define such zones include whether the layer is solid or liquid and how weak or strong it is. Knowledge of both types of layered structures is essential to our understanding of basic geologic processes, such as volcanism, earthquakes, and mountain building.

2.5.1 Earth's Crust

The crust, Earth's relatively thin, rocky outer skin, is of two different types: continental crust and oceanic crust. Both share the word "crust," but the similarity ends there. The oceanic crust is roughly 7 km thick and composed of the dark igneous rock basalt. By contrast, the continental crust averages about 35 km thick but may exceed 70 km in some mountainous regions such as the Rockies and Himalayas.

القشرة الخارجية الصخرية الرقيقة نسبيًا للأرض ، تتكون من نوعين مختلفين: القشرة القارية والقشرة المحيطية. كلاهما يشتركان في كلمة "قشرة" ، لكن التشابه ينتهي عند هذا الحد. يبلغ سمك القشرة المحيطية حوالي 7 كيلومترات وتتكون من الصخور البركانية الداكنة. على النقيض من ذلك ، يبلغ متوسط سماكة القشرة القارية حوالي 35 كم ولكنها قد تتجاوز 70 كم في بعض المناطق الجبلية مثل جبال روكي وجبال الهيمالايا.

Unlike the oceanic crust, which has a relatively homogeneous chemical composition, the continental crust consists of many rock types. Although the upper crust has an average composition of a granitic rock called granodiorite, it varies considerably from place to place.

Continental rocks have an average density of about 2.7 gm/cm^3, and some have been discovered that are 4 billion years old. The rocks of the oceanic crust are younger (180 million years or less) and denser (about 3.0 gm/cm^3) than continental rocks.

2.5.2 Earth's Mantle

More than 82 % of Earth's volume is contained in the mantle, a solid, rocky shell that extends to a depth of nearly 2900 km. The boundary between the crust and mantle represents a significant change in chemical composition. The dominant rock type in the uppermost mantle is *peridotite*, which is richer in the metals magnesium and iron than the minerals found in either the continental or oceanic crust.

يوجد أكثر من 82٪ من حجم الأرض في الوشاح ، وهو غلاف صخري صلب يمتد حتى عمق 2900 كم تقريبًا. تمثل الحدود بين القشرة والعباءة تغيرًا مهمًا في التركيب الكيميائي. النوع الصخري السائد في الوشاح العلوي هو البريدوتيت ، وهو أغنى في معادن المغنيسيوم والحديد من المعادن الموجودة في القشرة القارية أو المحيطية.

2.5.2 Earth's Core: The composition of the core is thought to be an iron-nickel alloy with minor amounts of oxygen, silicon, and sulfur elements that readily form compounds with iron. At the extreme pressure found in the core, this iron-rich material has an average density of nearly 11 gm/cm^3 and approaches 14 times the density of water at Earth's center. The core is divided into two regions that exhibit very different mechanical strengths. The *outer core* is a liquid layer 2270 km thick. It is the movement of metallic iron within this zone that generates Earth's magnetic field. The inner core is a sphere having a radius of 1216 km. Despite its higher temperature, the iron in the inner core is solid due to the immense pressures that exist in the center of the planet.

يُعتقد أن تكوين اللب هو سبيكة من الحديد والنيكل بكميات قليلة من الأكسجين والسيليكون وعناصر الكبريت التي تشكل مركبات بسهولة بالحديد. عند الضغط الشديد الموجود في اللب ، تبلغ كثافة هذه المادة الغنية بالحديد حوالي 11 جم / سم 3 وتقترب من كثافة الماء في مركز الأرض بمقدار 14 ضعفًا. ينقسم اللب إلى

منطقتين تظهران قوى ميكانيكية مختلفة جدًا. اللب الخارجي عبارة عن طبقة سائلة بسمك 2270 كم. إن حركة الحديد المعدني داخل هذه المنطقة هي التي تولد المجال المغناطيسي للأرض. اللب الداخلي هو كرة نصف قطرها 1216 كم. على الرغم من ارتفاع درجة حرارته ، فإن الحديد الموجود في اللب الداخلي صلب بسبب الضغوط الهائلة الموجودة في مركز الكوكب.