منشورات جامعة دمشق
كليَّة الآداب والعلوم الإنسانيَّة

مبادئ الجيولوجيا
الجيولوجيا الحركيَّة



الدكتورة:
فاتنة ياسين الشعال
أستاذة في قسم الجغرافيا

الدكتور:
أمين طربوش
أستاذ في قسم الجغرافيا





جامعة دمشق
١٤٣٥ - ١٤٣٦هـ
٢٠١٤ - ٢٠١٥م

مبادئ الجيولوجيا – الجيولوجيا الحركيَّة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كليَّة الآداب والعلوم الإنسانيَّة

مبادئ الجيولوجيا

الجيولوجيا الحركيَّة

الدكتورة
فاتنة ياسين الشعال
أستاذة في قسم الجغرافيا

الدكتور
أمين طربوش
أستاذ في قسم الجغرافيا

جامعة دمشق

١٤٣٥ - ١٤٣٦هـ
٢٠١٤ - ٢٠١٥ م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

مقدمة ٩

الباب الأوَّل: ١١

الجيولوجيا مبادئ وأساسيَّات ١١

الفصل الأوَّل: ١٥

الجيولوجيا وفُروعها وعلاقتها بالعلوم الأُخرى ١٥

الفصل الثاني: ٢٩

الأرض والمجموعة الشمسية ٢٩

الفصل الثالث: ٤٥

بنية الأرض والخصائص الجيوفيزيائية للأرض ٤٥

بُنيَّة الأرض ٤٥

الخصائص الجيوفيزيائيَّة للأرض ٥٥

الفصل الرابع: ٦٧

التأريخ الجيولوجي ٦٧

أولاً- عمر الأرض: ٦٧

التأريخ النسبي (Relative Chronology): ٦٧

التأريخ المطلق (تحديد العمر المطلق): ٧٥

ثانياً- الأحقاب الجيولوجيَّة: ٨٦

الفصل الخامس: ١٤١

مواد القشرة الأرضيَّة – الفلزَّات وخصائصها– ١٤١

الفصل السادس: ١٦٥

صخور القشرة الأرضيَّة ١٦٥

أولاً: الصخور النارية (الباطنية – Igneous) أو صخور الصهير (الماغما – Magmatic) ١٦٧

ثانيَّاً: الصخور الرسوبيَّة (Sedimentary Rocks) ١٨١

ثالثاً: الصخور المتحولَّة (Metamophic Rocks) ١٩٠

الباب الثاني ١٩٧

أوجه النشاط الداخليَّة التي تتعرَّض لها الكرة الأرضيَّة ١٩٧

الفصل الأول: ٢٠١

حركات القشرة الأرضيَّة ٢٠١

الفصل الثاني: ٢١٩

القوى الداخليَّة التدريجيَّة البطيئة: ٢١٩

أ– الالتواءات – الطيَّات (Folds) ٢١٩

ب– الصدوع/الانكسارات/ Faults: ٢٣٥

الفصل الثالث: ٢٥٣

القوى الداخليَّة السريعة: ٢٥٣

أ – الزلازل ٢٥٣

ب– التضاريس الاندفاعيَّة – البُركانيَّة ٢٧٥

الفصل الرابع: ٣١٣
الوحدات البنيويَّة الكُبرى وتطورها ٣١٣
الباب الثالث (الجيولوجيَّة الفيزيائيَّة) ٣٣٧
العمليَّات الديناميكيَّة الخارجيَّة المنشأ (Exody namics) التي تُسهم في تشكيل سطح اليابس ٣٣٧
الفصل الأول: ٣٤١
التجوية Weathering ٣٤١
أولاً: التجوية الفيزيائيَّة (Physical Weathering) ٣٤٤
ثانياً: التجوية الكيمائية (Chemical Weathering) ٣٥٣
ثالثاً: التجوية العضوية (Organic Weathering) أو التجوية الحيوية (Biotic Weathering) ٣٦٠
الفصل الثاني: ٣٦٧
أ- عمل المياه الجوفيَّة (الباطنيَّة) ٣٦٧
ب- عمل البُحيرات ٣٧٧
ج- عمل المياه الجارية ٣٨٥
الفصل الثالث: ٤٤٧
عمل الجليد (الحت الجليدي) ٤٤٧
الفصل الرابع: ٤٧٣
العمل البحري (الحت البحري) ٤٧٣
القسم العملي ٥١٣

الفصل الأول: ٥١٥

الخارطة الجيولوجيَّة ورسم المقطع الجيولوجي ٥١٥

الفصل الثاني: ٥٣٣

التحليل المورفومتري لشبكة التصريف النهري ٥٣٣

جدول المصطلحات العلميَّة ٥٣٩

فهرس الأشكال ٥٦١

فهرس الصور ٥٧٥

فهرس الجداول ٥٨٧

المراجع ٥٨٩

مقدمة:

من المعلوم أنَّ دراسة علم الجيولوجية يُعنى بدراسة المواد التي تؤلِّف القسم المرئي من الكرة الأرضيَّة، وكذلك الترتيب التي تتوزَّع بموجبه هذه المواد في الزمان والمكان، فهدف هذا العلم دراسة تاريخ الأرض.

أمَّا الغاية الرئيسة لهذا الكتاب فهي جلاء العلاقة بين الجيولوجية والجغرافية، لذا قدمنا عرضاً موجزاً لمواضيع الجيولوجيَّة العامة بدءاً من المجموعة الشمسيَّة، وبُنية الأرض وعمر الأرض، والأحقاب الجيولوجيَّة وحركات تشكُّل القشرة الأرضيَّة السريعة والبطيئة، وانتهاءً بالوحدات البنيوية الكبرى.

ولأنَّ كوكب الأرض دائم التغيُّر، وفي حركة مستمرة نتيجة العمليات الداخلية المنشأ، وأيضاً نتيجة العمليات الخارجية المنشأ كالتجوية وعمل المياه الباطنيَّة والبُحيرات وعمل مياه البحر وعمل الجليديَّات وعمل المياه الجارية.

لذا تُعدُّ الجيولوجية قاعدة رئيسة وهامَّة لطلاب قسم الجغرافية يُعتمد عليها في فهم العديد من العلوم الأخرى كعلم التُرب والنبات وغيرها من العلوم، فضلاً عن ذلك يشكِّل علم الجيولوجيا جسراً علميَّاً يُمكِّننا من الانتقال إلى دراسة البحث العلمي التطبيقي المُتمثِّل بمقرر علم أشكال الأرض ((الجيومورفولوجيا))، وذلك للترابط الوثيق ما بين العلمين حيثُ لا يُمكننا الفصل بينهما.

تمَّ تقسيم الكتاب إلى قسيمن رئيسين، القسم الأول: وقد شمل على كافَّة الأبحاث النظرية التي تناولها الكتاب، في حين خُصِّص القسم الثاني للدراسة العمليَّة بشكلٍ مختصر، وذلك من حيث دراسة الخرائط الطبوغرافيَّة والجيولوجيَّة، ورسم المقطع الجيولوجي، إضافةً لدراسة التحليل المورفومتري لشبكة التصريف النهري وبعض قوانينه.

وحاولنا قدر المُستطاع عند تعديل هذا المؤلف تبسيط المعلومة الجيولوجيَّة وتدعيمها بقدرٍ وافر من الأشكال التوضيحيَّة والخرائط والمُجسمَّات والصور التي تُساعد الطالب على فهم المكونات الرئيسة لكوكبنا وإدراكها، وقد تمَّ ذلك بلغةٍ علمية سهلة ودقيقة، وأسلوباً مُبسطَّاً لتقريب المادة العلمية الجيولوجيَّة إلى الطالب.....

ولم تكن معلومات هذا المؤلَّف قاصرةً على ما تحتويه الكُتب والمراجع المُتخصِّصة في هذا العلم فحسب، بل جاءت ثمرة جهود شخصيَّة قام بها كُلًّا من الأستاذة الدكتورة فاتنة ياسين الشعال بنسبة تجاوزت (٨٠%) من أبحاث هذا الكتاب، والدكتور أمين طربوش بنسبة (٢٠%). وأخيراً نرجو أن نكون قد وُفقنا في ما قمنا بتعديله وإضافته على هذا الكتاب، وأن تعمَّ الفائدة لطلاب قسم الجغرافية في السنتين الأولى والثالثة، والله ولنا التوفيق.

المؤلفان

الباب الأوَّل

الجيولوجيا مبادئ وأساسيَّات

الفصل الأوَّل: الجيولوجيا وفروعها وعلاقتها بالعلوم الأُخرى

الفصل الثاني: الأرض والمجموعة الشمسيَّة وفرضيَّات تشكُلها

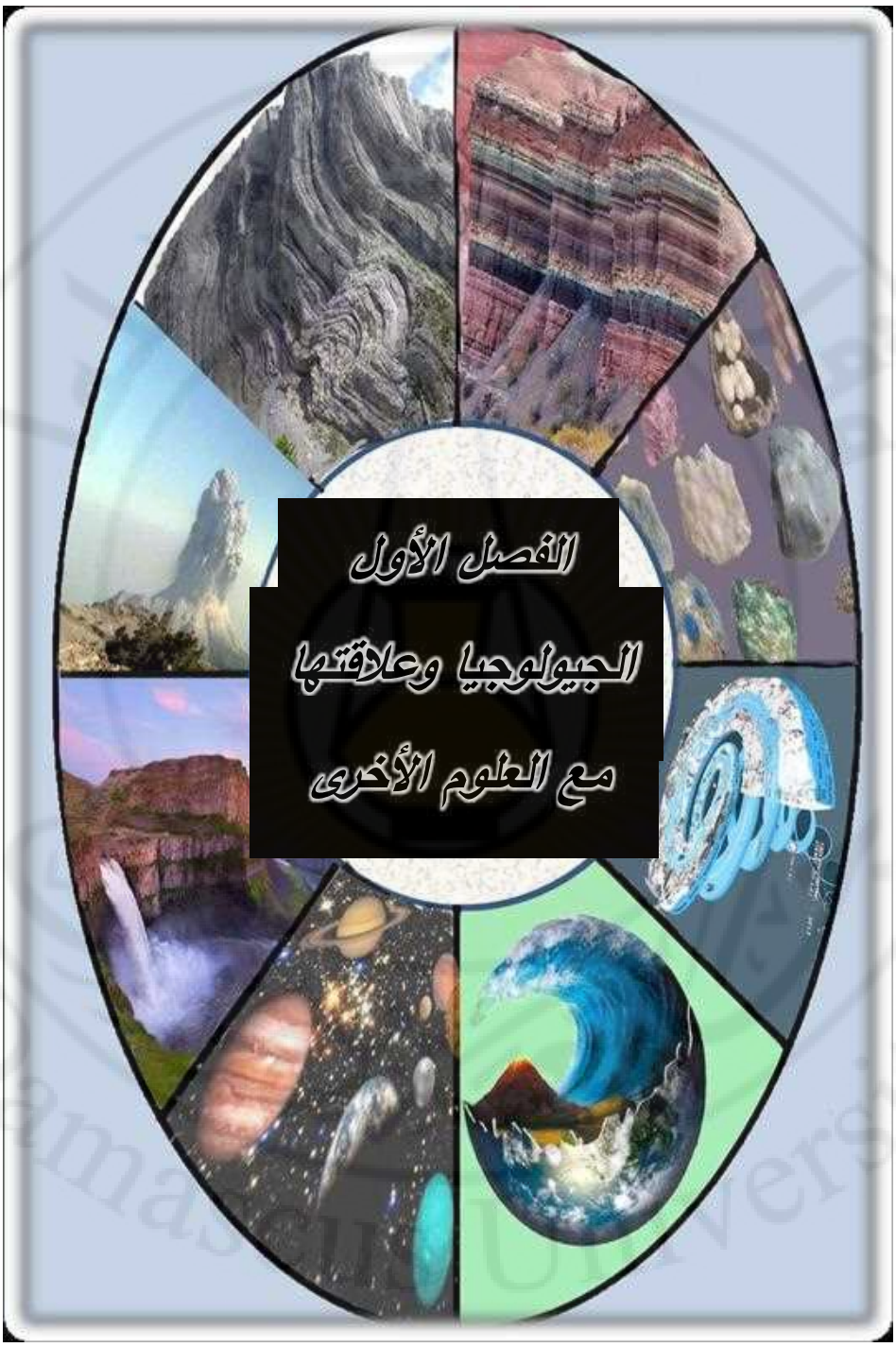
الفصل الثالث: بُنية الأرض والخصائص الجيوفيزيائيَّة للأرض

الفصل الرابع: التأريخ الجيولوجي

الفصل الخامس: مواد القشرة الأرضيَّة – الفلزَّات –

الفصل السادس: صخور القشرة الأرضيَّة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University


الفصل الأول
الجيولوجيا وعلاقتها
مع العلوم الأخرى

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

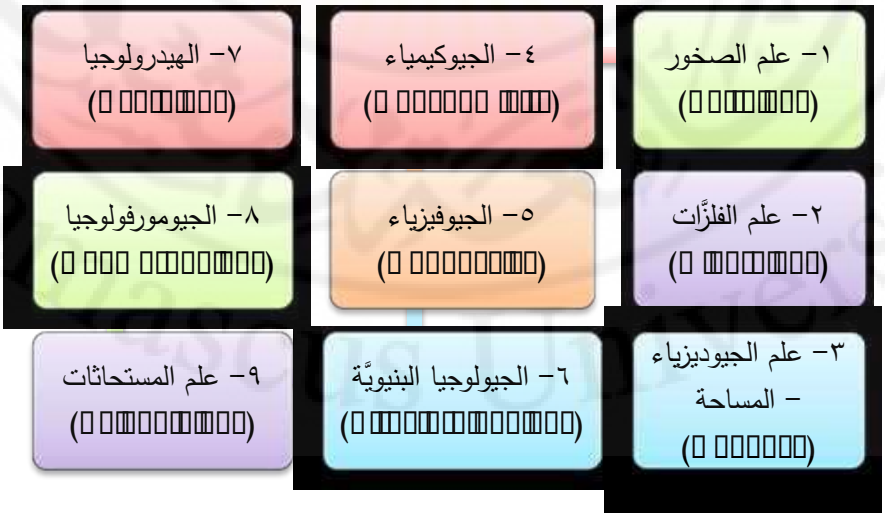
الفصل الأوَّل

الجيولوجيا وفُروعها وعلاقتها بالعلوم الأُخرى

الجيولوجيا: هي العلم الذي يدرُس المواد التي تؤلِّف الكُرة الأرضيَّة وتصنيفُها بدقَّة، كما أنَّها تدرُس مُختلف أوجه النشاط والتبدُّلات التي تعرَّضت، وما تزال تتعرَّض لها الأرض هذا من جهة، ومن جهةٍ أُخرى تدرس المُستحاثات (الأُحفورات) التي تُساعد على تأريخ مُختلف أنواع التوضُّعات الجيولوجيَّة التي تحويها.

وكلمة جيولوجيا تعود في الأصل إلى اللغة اليونانيَّة، وهي مؤلَّفة من مقطعين (Geo) وتعني الأرض، (Logos) وتعني علم أو دراسة، أي علم الأرض أو الكُرة الأرضيَّة التي مرَّت خلال تطوُّرها بتاريخ مُعقَّد وطويل، وبعبارةٍ مُختصرة للأرض ماضيها وحاضرها ومستقبلها، ولكن الهدف الرئيس للجيولوجيا دراسة الغلاف الصخري والتعرُّف على تركيبه ومُختلف العوامل التي تُؤثِّر فيه كدراسة أوجه النشاط التي تحدُث في كُلٍّ من غلافها الغازي والمائي والصخري، إلى جانب دراسة الثروات الباطنيَّة بهدف استثمارها الاقتصادي.

اعتمد علم الجيولوجيا في تطوُّره على مجموعة من العلوم، ويُعدُّ أيضاً دعامة أساسيَّة لعددٍ من العلوم التطبيقيَّة التي تطوَّرت وتشعبَّت كما تشعبَّ علم الأرض، وأصبح يضم عدداً كبيراً من العلوم الاختصاصيَّة التي تُعدُّ من فروع الجيولوجيا، ونورد فيما يلي أهمُّها:





- **علم الصخور (Petrology):** وهو العلم الذي يدرس الصخور من حيث منشؤُها وتركيبها وطُرق تشكُّلها وتطوُّرها خلال الزمن، ويُقسم إلى فرعين:

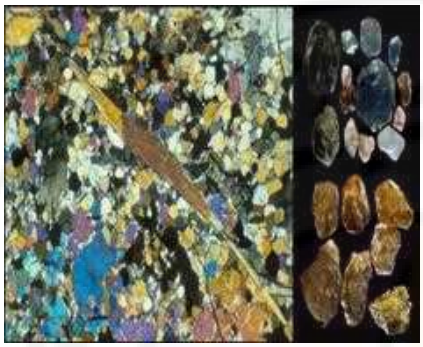


شكل رقم (١): الصخور وتوضُعاتها

1. الأوَّل: يهتم بنشأة الصخور (البتروجينيا).
2. والثاني: البتروغرافيا (البتروغرافيا): ويدرُس التوضُّعات الصخريَّة وتركيب الصخور وبُنيتُها وتحديد أنواعها وتصنيفُها.

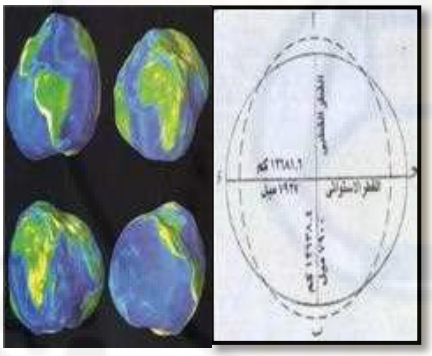
- **علم الفلزَّات (Mineralory):** وهو العلم الذي يدرس الفلزَّات المُكوِّنة للصخور من حيث:

المنشأ، والتركيب الكيميائي، والخصائص الفيزيائيَّة، وأشكال وجودها في الطبيعة.



شكل رقم (٢): الفلزَّات

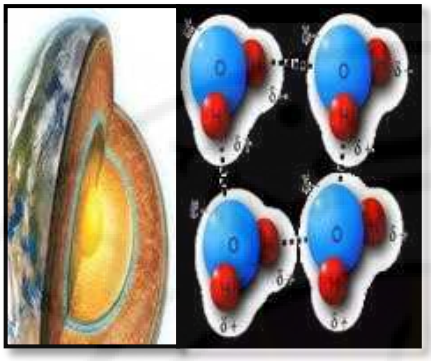
- **علم الجيوديزياء (Geodesy) (علم المساحة):** وتهتم بدراسة شكل الأرض وأبعادها، كما تهتم بالتحديد الدقيق للمواقع التي تُساعد على رسم المُصوَّرات المُختلفة.



شكل رقم (٣): شكل الأرض وأبعادها

- **الجيوكيمياء (Geochemistry):**

وتهتم بدراسة القوانين الكميَّة لتوزيع وهجرة العناصر الكيميائيَّة المُكوِّنة للكُرة الأرضيَّة والنظائر المُشعَّة في الزمان والمكان.



شكل رقم (٤): الجيوكيمياء

- الجيوفيزياء (Geophysics):

وتهتم بدراسة الخواص الفيزيائيَّة للأرض، والظواهر المُرتبطة بها، ومن فروعها المُهمَّة:

علم الزلازل: يدرُس الظروف الجيولوجيَّة لنشوء الهزَّات الأرضيَّة والزلازل وأماكن الضُعف في القشرة الأرضيَّة.



شكل رقم (٥): الزلزال

- الجيولوجيا البُنيويَّة (Structuralgeology):

تدرُس التراكيب والبُنيات الجيولوجيَّة، وما يُصاحبها من طيَّات وتصدُّعات وفوالق وشقوق (تشوُّهات الصخور).



صورة رقم (١): تشوهات الصخور

- الهيدرولوجيا (Hydrology):

وهو العلم الذي يدرُس المياه السطحيَّة وحركتها وتوزعها وتأثيراتُها الجيولوجيَّة.



شكل رقم (٦): هيدرولوجيا المياه

- الجيومورفولوجيا أو علم أشكال الأرض (Geomorphology):

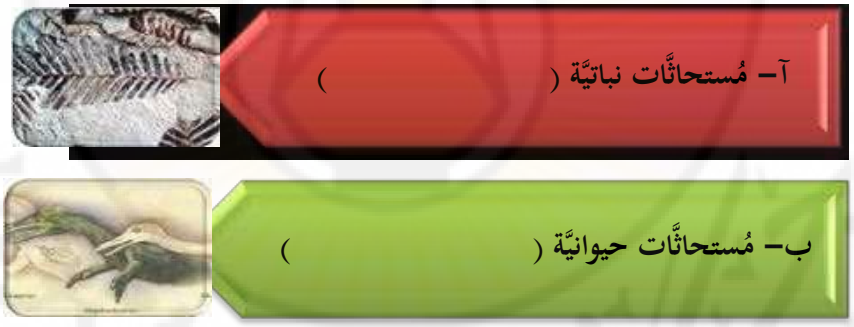
ويدرُس أشكال التضاريس ومنشأُها وتطوُّرها عبر الزمن وصفاً وتحليلاً وتفسيراً.



شكل رقم (٧): أشكال سطح الأرض

- علم المُستحاثات (Peleontology):

ويهتم بدراسة الأحياء القديمة عبر مُختلف العصور الجيولوجيَّة اعتماداً على بقايا هياكلُها المُتحجرة المحفوظة في الصخور، وتُقسم إلى قسمين:



ويُمكن من خلالها تحديد التأريخ النسبي للأرض.

- علم الجيولوجيا التاريخيَّة (Historicalgeology):

وهو العلم الذي يدرُس تطوُّر الحياة على سطح الأرض منذُ نشأته وحتَّى تاريخه، كما يدرُس التغيُّرات التي طرأت على الأرض منذُ تكوينها.



شكل رقم (٨): الجيولوجيا التاريخية

- علم الطبقات (Stratigraphy):

ويهتم بدراسة طبقات القشرة الأرضيَّة وعلاقتها مع بعضها وتوزُّعها الجُغرافي، وذلك بهدف معرفة التتابُع الزمني للأحداث الناتجة عن العمليَّات الفيزيائيَّة التي طرأت على الكُرة الأرضيَّة، والتي أدَّت إلى تشكُّلها من خلال تطوُّر تاريخ الحياة خلال العصور الجيولوجيَّة.



شكل رقم (٩): طبقات القشرة الأرضيَّة

- علم الترسيب (Sedimentology):

ويهتم بدراسة تركيب الرواسب والصخور الرسوبيَّة والعمليَّات المؤدِّية إلى تشكُّلها.



شكل رقم (١٠): الترسيب

صورة رقم (٢): الترسيب

- الجيولوجيا الهندسيَّة (Engineering Geology):

وتدرس الخواص التكنولوجيَّة للصخور والترب، وتأثير الجيولوجيَّة على مُختلف أنواع المُنشآت من سدود وطُرق وجسور وأنفاق وغيرها.



صورة رقم (٣): الجيولوجيا الهندسيَّة

- الجيولوجيا الاقتصاديَّة (Economic Geology):

وتختص بدراسة طُرق تشكُّل الخامات الطبيعيَّة المُفيدة المعدنيَّة واللامعدنيَّة وانتشارها وتوزُّعها في القشرة الأرضيَّة، وحساب كميَّة الاحتياطي منها، ويُمكن أن يدخُل ضمن الجيولوجيا الاقتصاديَّة:

أ- جيولوجيا البترول (Petroleum Geology): وتهتم بدراسة منشأ النفط والغاز الطبيعي وحركته وأماكن وجوده وطُرق الكشف عنه.



شكل رقم (١١): جيولوجيا البترول صورة رقم (٤): خندق بترول

ب- وجيولوجيا التعدين (Mining Geology): وتهتم بالكشف عن مكامن الخامات المعدنيَّة واللامعدنيَّة.



صورة رقم (٥): جيولوجيا التعدين

- الجيولوجيا الإقليميَّة (Regional Geology):

وتدرُس التراكيب والبُنيات الجيولوجيَّة الأرضيَّة وتطوُّرها وخاماتها في منطقةٍ ما من سطح الأرض والتأريخ البيولوجي.

- علم البراكين (Volcanology):

يـدرُس عمليَّـة الانـدفاعات البُركانيَّـة وبُنيـة البـراكين وتطوُّرهـا وأسـباب تشـكُّلها وتركيـب النـواتج والمقذوفات البُركانيَّة (أي يهتم بكافَّة المظاهر البُركانيَّة).



صورة رقم (٦): علم البراكين

- الجيولوجيا العسكرية (Military Geology):

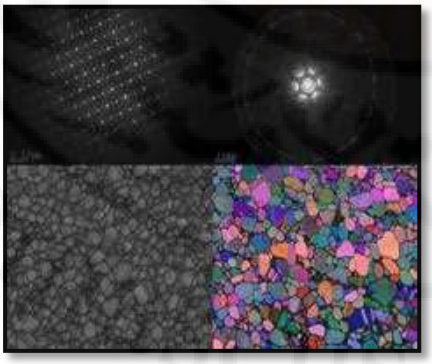
وتهتم بتطبيق استخدام المعلومات الجيولوجيَّة للأغراض العسكريَّة.

- الجيولوجيا الزراعيَّة (Agrogeology=Agricultural Geology):

وتهتم بدراسة التُربة وخصائصها وأساليب استنزافها وتعريتها.

- علم البلورات (Crystallography):

ويدرُس البُنية البلوريَّة للفلزَّات المُكوِّنة للصخور.



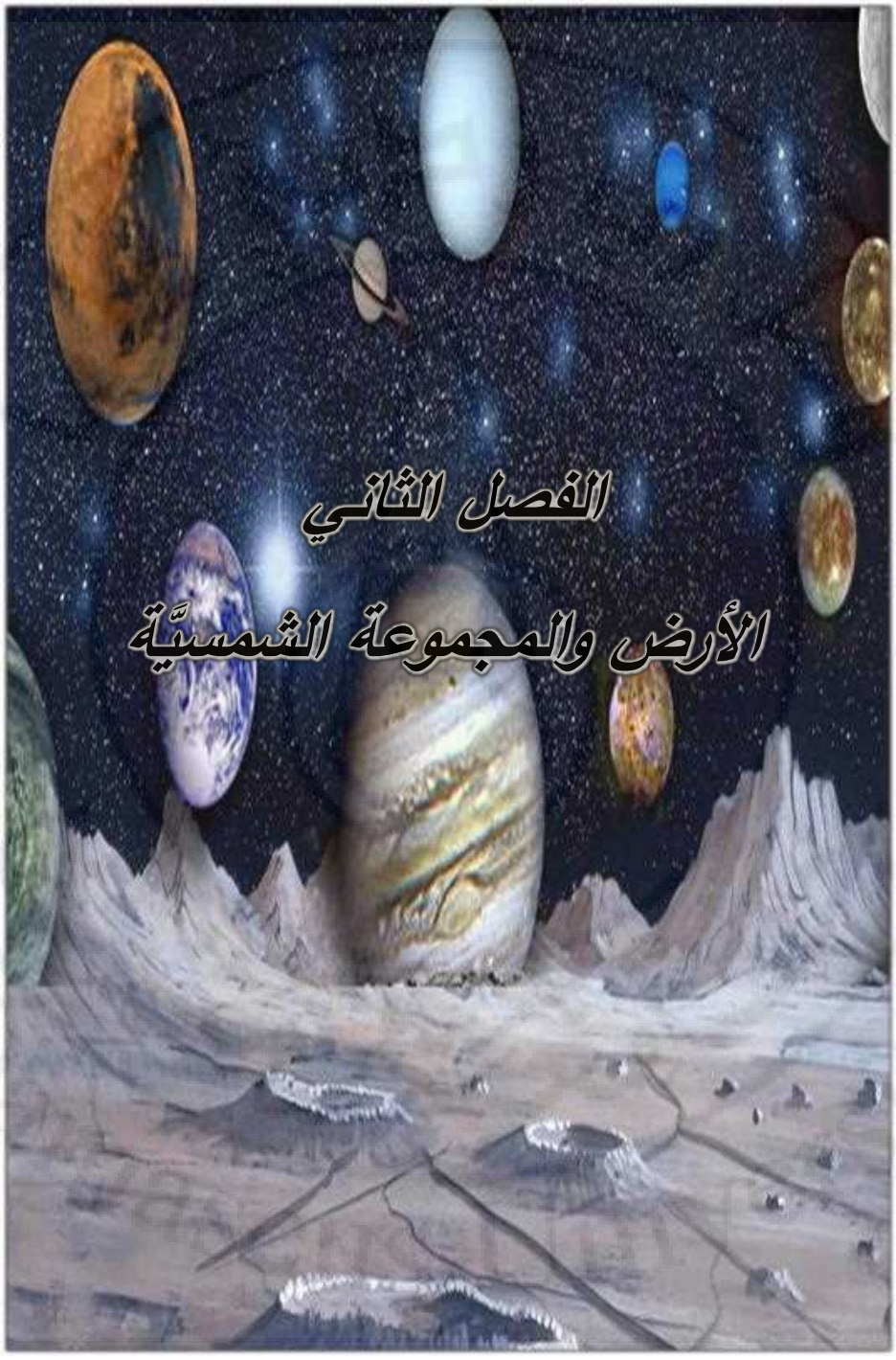
شكل رقم (١٢): البلورات

أخيراً لا يُمكن فصل علم الجيولوجيا عن حاجات الإنسان الصناعيَّة ونشاطاته، فأساس الصناعة هو الخامات المُستخرجة من الأرض (الفحم، البترول، الحديد،....)، إذ يضع هذا العلم تحت تصرُّف الإنسان وتزويده بالمواد الأوليَّة الموجودة في القشرة الأرضيَّة التي تُساعده في تنفيذ المشاريع العُمرانيَّة المُختلفة.

إضافةً إلى العمليَّات الداخليَّة السالفة الذكر، هُناك عمليَّات خارجيَّة (Exogenetic) تحدُث في الأجزاء السطحيَّة من القشرة الأرضيَّة للتأثير المُتبادل بين الغلاف الصخري من جانب، والغلاف الجوي، والمائي، والحيوي من جانب آخر، ولها علاقة مُباشرة في حل المسائل التي تُؤثِّر في الحياة الاجتماعيَّة والمُجمَّعات، وتُحدِّد بالتالي الوسط الجغرافي، ولهذا تنتسب الجيولوجيا إلى الجغرافيَّة الطبيعيَّة، على الرُغم من أنَّها مُتصلة بشكلٍ مُباشر مع الجيولوجيا الحركيَّة (Geodynamique): وهو علم الحادثات الجيولوجيَّة الحاليَّة، ومقابلته بالجيولوجيا التاريخيَّة التي تعمل جاهدة باعتمادها على البتروغرافيا والباليونتولوجيا والستراتيغرافيا، على إعادة رسم تاريخ تحوُّلات الأرض في الزمن البعيد مع الأخذ في الحسبان قانون البواعث الحالية الكبيرة الذي يُعد عاملاً مُهمَّاً في الحادثات التي تعمل تحت وقع بصرنا حاليَّاً، ويُمكنُنا تفسير التحوُّلات تصويريَّاً بخرائط (المُصورات الجيولوجيَّة).

وهكذا نجد أنَّ النشاطات العمليَّة والعلميَّة للإنسان ومُتطلباته في استغلال الموارد الطبيعيَّة من نشوء وتطوُّر مُختلف العلوم الجيولوجيَّة، ممَّا يجعل لهذا العلم أهميَّة كبيرة ويضعُه في مكانة لائقة بين العلوم.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University


الفصل الثاني
الأرض والمجموعة الشمسيَّة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني

الأرض والمجموعة الشمسية

المجموعة الشمسية: هي إحدى المجموعات السماويَّة لا مُتناهية العدد، التي تسبح في الفضاء الكوني اللامحدود، والأرض التي نعيش عليها ما هي إلا جزء من المجموعة الشمسيَّة، ولأنَّ الأرض تدخُل ضمن المجموعة الشمسيَّة لا بُدَّ من أن نُلقي نظرةً على المجموعة الشمسيَّة قبل دراستنا للأرض، وما يجري داخلها وعلى سطحها من تبدُّلات وتغيُّرات.

ولكن لن نتعرَّض إلى هذا الموضوع بكثيرٍ من التفصيل، لأنَّ دراستها كمجموعةٍ سماويَّة تدخُل ضمن اختصاص علم الفلك.

تدخُل مجموعتنا الشمسيَّة ضمن مجرتنا (مجرة درب التبانة) التي تتألَّف من عدد هائل من النجوم (نحو ألف مليون نجم)، التي تأخُذ شكلاً لولبياً، ويبلغ قطر مجرتنا الاستوائي ما بين (100–200) ألف سنة ضوئية وقطرها القطبي نحو (100) ألف سنة ضوئيَّة تدور حول محورها بزمنٍ يُقدَّر بـ (220) مليون سنة[1]، (شكل١٣).

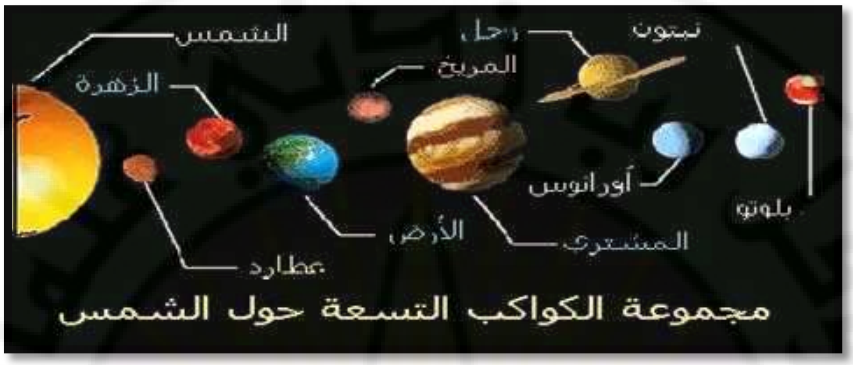


شكل رقم (١٣): مجرة درب التبانة

ولا بُدَّ من دراسة المجموعة الشمسيَّة لأهميتها البالغة للعلوم الجيولوجيَّة، إذ تدخُل الأرض مع الكواكب السيَّارة الأخرى (Planets) وتوابعها الكويكبات(Planetoids)، والمذنبات

[1] - السنة الضوئية = $(10)^{13}$ كم تقريباً.

(Comets)، والنيازك (Meteors)، ضمن المجموعة الشمسيَّة التي تشغل الشمس مركزها والتي تشكِّل بمجموعها مجرة درب التبانة، (شكل١٤).



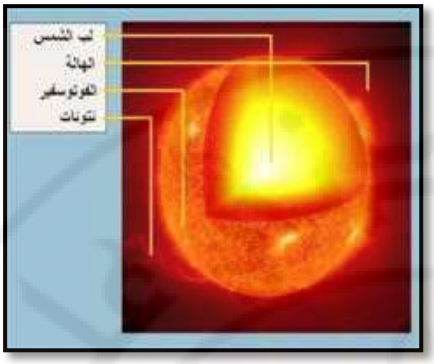
شكل رقم (١٤): مجموعة الكواكب حول الشمس

الشمس (the sun):

وهي نجم ضخم يتألَّف من كرة غازية يبلغ قطرها (1.390.000 كم)، أي (109) بالمقارنة مع قطر الأرض الاستوائي، وتُقدَّر حرارة سطحها ما بين (6000°- 7000° مئوية)، كما تُقدَّر كثافتها بنحو (11.42غ/سم^3) أي ¼ كثافة الأرض إلا أنَّ قوَّة جاذبيتها تُعادل (28) مرة من جاذبية الأرض.

وتتشكِّل الشمس (99.5) من كتلة المجموعة الشمسيَّة، تدور الشمس حول نفسها من الشرق نحو الغرب كل (26) يوماً من أيامنا الأرضيَّة ولكن دورتها لا تكون ثابتة في كل العروض بسبب كونها كرة غازية.

تتألَّف الشمس من: نواة يحيط بها نطاق يسمَّى الفوتوسفير (Photosphere)، ويتكوَّن من الهيدروجين ومعادن في حالة غازيَّة، ثُمَّ غلاف الكروموسفير (Chromosphere)، وهي طبقة ذات ضوء أحمر يُمكن التعرُّف إليه في حالة الكسوف الكلي للشمس، ويُحيط بالكروموسفير غلاف أصفر يعطي لوناً أبيض نحو الخارج يُعرف **بتاج الشمس (Crown)**، (شكل١٥).

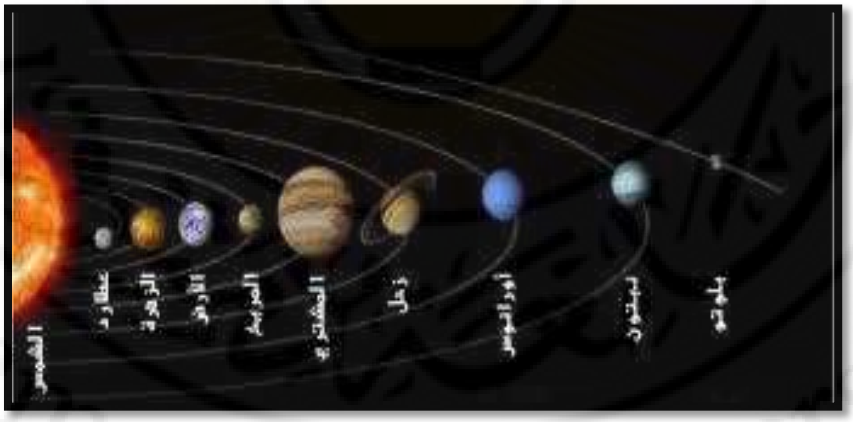


شكل رقم (١٥): عناصر الشمس

- الكواكب السيارة (Planets):

تتألَّف المجموعة الشمسيَّة من أجسام كونية عددها تسعة كواكب سيَّارة تدور حول الشمس في مدارات إهليلجيَّة تقع جميعها في مستوٍ واحد تدور من الغرب إلى الشرق يتبعها (58) قمراً.

أقربها إلى الشمس عطارد (Mercury)، تليه الزهرة (Venus)، ثُمَّ الأرض (Earth)، فالمريخ (Mars)، فالمُشـــتري (Jupiter)، فزُحـــل (Saturs)، ثُـــمَّ أورانـــوس (Uranus)، فنبتـــون (Neptune)، وأخيراً بلوتو (Pluto)، (شكل١٦).



شكل رقم (١٦): كواكب المجموعة الشمسية

وتتشَّد هذه الكواكب إلى بعضها بقوَّة الجاذبيَّة، وهي **تُقسم إلى مجموعتين تبعاً لقربها من الشمس:**

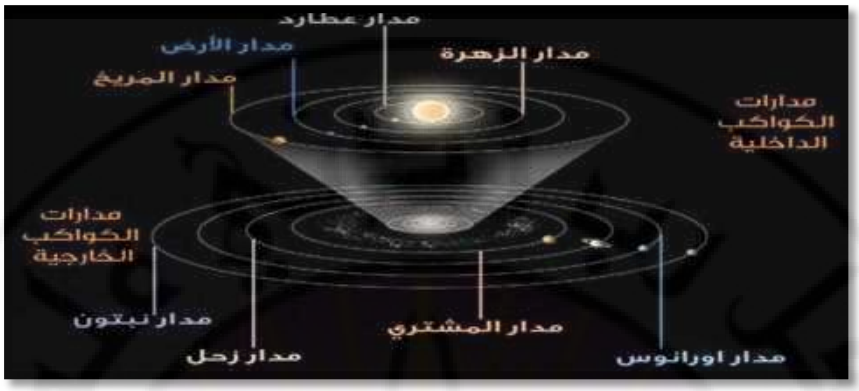
آ- **مجموعة الكواكب الدنيا (الصغيرة):** وتشمُل: عُطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، وهي الأقرب إلى الشمس والأقل حجماً، تُعدُّ الأرض أكبرها وأكثرها كثافةً، قد تصل كثافتها (5.52)غ/سم^{3} وأقلها تفلطُحاً.

ب- **مجموعة الكواكب العليا (الكبيرة):** وتشمُل: المُشتري، زُحل، أورانوس، نبتُون، وبلوتو، وهي ذات مقاييس كبيرة تزيد عدَّة مرات عن مقياس الأرض، وكثافتها أقل من كثافة الأرض، تدور حولها عدَّة توابع أقمار، (شكل١٧).



شكل رقم (١٧): مجموعة الكواكب القريبة والبعيدة عن الشمس

تدور جميع الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية، (شكل١٨).

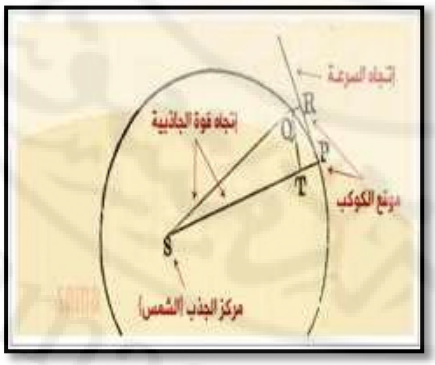


شكل رقم (١٨): مدارات الكواكب حول الشمس

وهناك **قوَّتان تؤثِّران في حركة أي كوكب أثناء دورانه حول الشمس:**

– **القوَّة الأولى: قوَّة الطرد الناشئة عن دورانه:** والتي تجعل الكواكب تُحاول أن تنطلق في الفضاء على خط مستقيم.

– **القوَّة الثانيَّة: هي قوَّة جاذبيَّة الشمس:** وهذه القوَّة تجعل مدارات الكواكب على مدى من الشمس تتعادل فيه القوَّة الطاردة مع جاذبيَّة الشمس، وتختلف الكواكب في خصائصها باستثناء عُطارد أقربها إلى الشمس وبلوتو أبعدها، (شكل١٩).



شكل رقم (١٩): القوى المؤثرة في حركة الكواكب

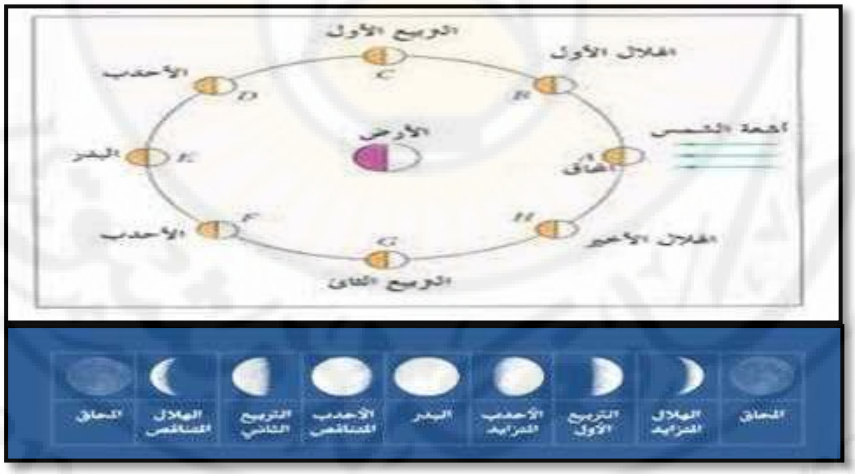
يُعد كوكب الأرض واحد من كواكب المجموعة الشمسيَّة التسعة، ويأتي من حيث المسافة ثالث كوكب، والأرض هو الكوكب الوحيد المأهول بين كواكب المجموعة الشمسيَّة.

القمر:

هو تابع للأرض، يبلغ متوسِّط بُعد القمر عن الأرض (384.300 كم)، يصل قطره (3480 كم)، أي ربع قطر الأرض تقريباً، يصغر حجمه عنها خمسين مرَّة، تُعادل كثافته (3.3 غ/سم^3) وتقل كتلته بـ (81) مرة عن كتلة الأرض، يدور حول نفسه كما تدور الأرض به حول الشمس، وحركته الظاهرية تتجه من الشرق نحو الغرب وهو يدور حول الأرض دورة كاملة خلال (27) يوماً و(7) ساعات (43) دقيقة و(11.5) ثانية قاطعاً خلالها مساراً على شكل قطع ناقص تشغل الأرض أحد محرقيه، مثل حركة الأرض حول الشمس.

هذا ويبدو لنا القمر من وجهٍ واحد فقط لأنَّ مدَّة دورانه حول الأرض تُعادل تماماً مدَّة دورانه حول نفسه.

يستمدُّ القمر ضوءه من الشمس، ويبدو هلالاً ثُمَّ يتزايد في الأسبوع الأول حتَّى يصل إلى التربيع الأول، ثُمَّ يصل إلى البدر في نهاية الأسبوع الثاني، ثُمَّ يعود التناقص في التربيع الثاني إلى الهلال في المحاق ليبدأ شهراً جديداً في دورانه، (شكل٢٠).



شكل رقم (٢٠): مراحل تطوُّر القمر

تُقسم تضاريس القمر إلى:

أ- منطقة الأراضي المرتفعة (الجبال): وتبدو لنا فاتحة اللون عند النظر إليها، يصل ارتفاع الجبال عشرات الكيلومترات فوق سطح المناطق المُنخفضة.

ب- منطقة الأراضي المنخفضة (البحار) (Maria): تتألَّف من أراضي منبسطة تبدو لنا فاتحة اللون.

تُوجد عدَّة فرضيات تُفسر أصل القمر ومنشأه، منها:

- أنَّ القمر تشكَّل من كتلة أُنتزعت من الأرض، ونتج عن ذلك حفرة هائلة يشغلها حاليًّاً المحيط الهادي.
- وهناك فرضية أخرى مفادها: أنَّ الأرض اجتذبت القمر أثناء اقترابه الشديد منها وجعلته تابعاً يدور في فلكها، مع العلم أنَّ عُمر القمر يعادل تقريباً عمر الأرض ويبلغ نحو (4.5-4.6) مليار سنة.

يتألَّف القمر من ثلاثة أنواع من النماذج الصخريَّة، الصخور الاندفاعية، والبريشا، ونماذج من الغطاء السطحي أو ما يُسمَّى بالغبار القمري.

الشهب:

وهي عبارة عن أجسام كونية صغيرة، تتراوح أقطارها بين بضعة كيلومترات ومئات الكيلومترات، وتُقدَّر الكتلة الكليَّة لها بـ (1/1000) من كتلة الأرض، تسبح في الفضاء الخارجي، تتوهج فجأةً ثُمَّ تنطفئ عند ارتدادها عنه، وأحياناً تجذب الأرض هذه الشهب إذا اقتربت منها وتحوَّلها من مدارها إلى نطاق جاذبيتها حتَّى تصطدم بها.

تصل سرعة الشهب إلى (70 كم) في الثانية، ويُقدَّر وزن الشهب الساقطة على سطح الأرض بنحو (1000) طن/السنة، بعضها لا يُرى بالعين المجرَّدة.



صورة رقم (٧): الشهب

النيازك (Meteors):

وهي أجسام كونيَّة تدور حول الشمس تُعرف باسم النجوم الهاوية، وهي أكبر من الشهب حجماً، يبلغ ما يصل منها إلى الأرض (1500) نيزك، وهي تسخُن بتأثير الاحتكاك عندما تُلامس الغلاف الجوي للأرض، فتتوهج وترسم في السماء خطوطاً من الضوء، ويفترض أغلب العلماء أنَّ النيازك هي بقايا أجسام كونيَّة مفتَّتة أو تجمُّع لغبار كوني.



صورة رقم(٨): النيازك

تُقسم النيازك حسب تركيبها الكيميائي إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

١- النيازك الحديديّة

٢- النيازك الحجريَّة

٣- النيازك الحديديَّة الحجريَّة

-**النيازك الحديدية:** يدخُل في تركيبها الحديد بشكلٍ رئيسي بنسبة (80-90%) وكذلك النيكل والكوبالت.



صورة رقم (٩): نيزك حديدي

- **النيازك الحجرية:** ويدخل في تركيبها الأوكسجين (34%) الحديد (25%) والسيليسيوم (18%) والمغنزيوم (14%).



صورة رقم (١٠): نيزك حجري

- **النيازك الحديدية الحجرية:** وهي وسط بين النيازك الحجرية والحديدية، تُقدَّر نسبة الحديد فيها بـ (45-55%).

تصطدم هذه النيازك بالأرض بقوَّة هائلة وتسبب فيها حفراً كبيرة في بعض الأحيان، مثال حفرة الأريزونا كونها نيزكاً من النيكل والحديد، بلغ عرض هذه الحفرة (1.3 كم)، وعمقها (250 م) وهي ذات شكل دائري تقريباً.

كما تظهر قطع الحديد والنيكل والماس الأسود على أطرافها ممَّا يدل على شدَّة الضغط لحظة الارتطام التي وصلت إلى (10.111) ضغطاً جوياً.



صورة رقم (١١): حفرة أيرزونا

المذنبات (Comets):

وهي أجسام كونيَّة تدور حول الشمس في مدارات أهليلجيَّة شأنها في ذلك شأن بقيَّة أفراد المجموعة الشمسيَّة.



شكل رقم (٢١): المذنب في مداره

تتألَّف من نواة لامعة، تُحيط بها سحابة مضيئة بالرأس، تمتَّد من رأس تلك النواة سحابة طويلة متوهجة هي الذيل، تتألَّف نواة المُذنب من جسم كوني يشبه في تركيبه الكويكبات، وهي بقايا المجموعة الشمسيَّة وهي تلمع بتأثير الشمس التي تتلقاها، أي ماهي إلا تجمُّع لغازاتٍ مُتجمدَّة على مواد خشنة ليس لها ذيل طالما هي موجودة في الفضاء الخارجي، ولكن عندما تقترب من الشمس تبخر حرارة طبقاتها الخارجيَّة الغازات، وتتولَّد نتيجةً لذلك كميَّة كبيرة من الغازات التي

تُشكِّل سحابة مضيئة حول النواة، في حين أنَّ الرأس والذيل يكتسبان لمعانهما بفعل الجُزيئات المتأيِّنة من الغازات التي تتكوَّن منها، يندفع جزء منها باتجاه مضاد لاتجاه الشمس مبتعداً عن النواة لمسافاتٍ كبيرة مشكِّلةً الذيل المتوهج.



شكل رقم (٢٢): تركيب المذنب



شكل رقم (٢٣): أجزاء المذنب

يتكرر ظهور المذنبات حول الشمس، فأقدم مذنب سجِّل في التاريخ هو مذنب هالي الذي يتكرر ظهوره كل(76) سنة.



صورة رقم (١٢): مذنب هالي

فرضيَّات تشكُّل المجموعة الشمسيَّة:

حاول القدماء تفسير أصل الأرض والمجموعة الشمسيَّة إلى تزاوج الآلهة المُختلفة، فقد اعتقد سكان ما بين النهرين أنَّ أصل الكون ناتج عن تزاوج إله محيط المياه العذبة (إبسو) وإله محيط المياه المالحة (تيامان).

أمَّا أفلاطون فاعتقد بأنَّ الكون وحركات النجوم والقمر والشمس وجدت بمحضِّ الصدفة، في حين أنَّ أرسطو عزا خلق الكون إلى مادة كانت موجودة أصلاً على أساس أنَّه لا يُمكن أن يُخلق شيءٌ من العدم، لكنَّه لم يستطع أن يقرِّر ماهيَّة المادة المذكورة التي خلق منها الكون.

أمَّا العرب القدماء فلم يهتموا بهذه الناحيَّة على الرُغم من اهتمامهم بدراسة أحوال النجوم والكواكب، في حين أنَّه في أوروبا وحتَّى نهاية القرن السابع عشر كان لهيمنة الفكر الديني الأثر الكبير في تخوُّف رجال العلم من الخوض في غمار تفسير كيفيَّة وجود الكون.

أهم فرضيات تشكُّل الأرض والمجموعة الشمسيَّة:

أولى الفرضيات التي تفسر المجموعة الشمسية تعود إلى:

١- فرضية الفرنسي بوفون عام (1745م):

الذي قال: إنَّ الكواكب السيَّارة نتجت عن تخثُّر الشظايا الشمسيَّة الناتجة عن اصطدام الشمس بأحد الأجرام السماويَّة الضخمة.

٢- فرضية عما نويل (Kant):

نُشرت عام (1755 م) يكمُن جوهرها في أنَّ الشمس والمجموعة الشمسيَّة كانت في الأساس مجموعة هائلة لا مُتناهية من الجُزيئات الصلبة الدقيقة المختلفة عن بعضها بعضاً، من حيث الكثافة ونوع الشحنة الكهربائيَّة، تسبح في الفضاء بسرعة هائلة، تمكنَّت الجُزيئات ذات الكثافة المرتفعة والكبيرة من جذب الجزيئات الصغيرة وذات الكثافة المُنخفضة، وهكذا التحقت الجُزيئات الصغيرة بالكبيرة مشكِّلةً أجساماً أكبر أخذت بالدوران تبعاً لمدارات متنوِّعة، وفي اتجاهاتٍ مُختلفة تصطُدم بعضها مع بعض، ونتيجةً لهذا الاصطدام والاحتكاك تولَّدت حرارة هائلة، كافية لإعادة صهر هذه الأجسام وتشكيل سديم كبير أخذ يتبرَّد في أثناء دورانه حول نفسه، ثُمَّ تجزَّأ خلال ذلك إلى كتل أصغر شكَّلت الشمس وأفراد المجموعة الشمسيَّة.

٣- فرضية لابلاس (Laplas):

يُطلق عليها اسم النظرية السديمية، نُشرت عام (1796 م) مفادُها أنَّ المجموعة الشمسيَّة تتركَّب من سديم غازي متوهج سابح في الفضاء الكوني، عندما تبرَّد تقلَّص حجمه، ساعدت عمليَّة دوران السديم على نشوء قوَّة طرد مركزية دفعت الأجزاء التي تبرَّدت إلى الانفصال، أي انفصال الأقمار عنها، وحسب رأي لابلاس تعود جميع أفراد المجموعة الشمسيَّة إلى أصل واحد، ومرد اختلاف المواد فيها إلى اختلاف طبيعة عمليَّة التبريد.

٤- فرضية تشمبرلين ومولتن:

تُعرف بنظريَّة الكويكبات نُشرت عام (1905 م)، تقول هذه الفرضية إنَّ أصل المجموعة الشمسيَّة هو الشمس ذاتُها، حيثُ كانت هناك شمس أوليَّة اقترب منها نجم كبير هائل أدَّى هذا الاقتراب إلى انتفاخ جسمها تحت تأثير جاذبيَّة النجم المُقترب، وانتهى الأمر بانفصال الأجزاء المنتفخة عن كتلة الشمس وتبعثُرها في الفضاء لتتبرَّد وتُشكِّل أفراد المجموعة الشمسيَّة.

٥- فرضية روسيل (Russell):

تُسمَّى بنظرية الشمس التوأميَّة نُشرت عام (1952 م) ومفادُها هو أنَّ شمسُنا الحاليَّة كانت زوجين أو توأمين متقاربين من النجوم في مدارهما، وتحت تأثير جاذبيَّة جذب النجم الأكبر للأصغر تشكَّل عمود غازي هائل، ثُمَّ تبرَّد العمود الغازي مُشكلاً كواكب المجموعة الشمسيَّة.

٦- فرضية شميث (Schmidt):

ظهرت في أواخر الأربعينات (1944 م) مفادُها أنَّ كواكب المجموعة الشمسيَّة نشأت بطريقة تجمُّع جزئيات صلبة وباردة، كانت تدور حول الشمس على شكل سراب ضخم، ونتيجةً لتصادُم هذه الجزئيات مع بعضها البعض ارتبطت وشكَّلت الأجسام الصلبة (نيازك) في مجال كتلة السديم الغازية، وتحت تأثير قوى الجاذبيَّة نشأت كواكب المجموعة الشمسيَّة، (شكل ٢٤).



شكل رقم (٢٤): نظريَّة شميث

٧- فرضية فسنكوف (Fesenkov):

مفادُها أنَّ الشمس هي مركز لتفاعلات نوويَّة حراريَّة تُطلق طاقة حراريَّة وضوئيَّة، أدَّى تغيير هذه التفاعلات إلى انكماش الشمس وازدياد سرعة دورانها، ممَّا أدَّى إلى تشكُّل بروز انفصل وتمزق مشكِّلاً كواكب المجموعة الشمسيَّة التي تدور حولها، والتي نشأت من وسط غازي مُترب. أي إنَّ شمسُنا الحاليَّة كانت كبيرة جدَّاً، انطلقت من أجوائها الاستوائيَّة أجزاءً مُهمَّة في أثناء دورانها حول نفسها، ثُمَّ شكلَّت هذه الأجزاء المنفصلة سحابة غازية مُتباينة الكثافة، تكاثفت أجزاء من السحابة الغازيَّة المذكورة حول نويَّات تحت تأثير قوَّة الجذب مكوِّنةً الكواكب المعروفة بالمجموعة الشمسيَّة.

ومهما يكُن من أمر هذه الفرضيَّات والتفسيرات حول نشوء الأرض والمجموعة الشمسيَّة، فإنَّه يبقى من المؤكَّد أنَّ أرضَنا قد مرت في فترةٍ من تاريخ تطوُّرها، بطور حرارة مرتفعة، ويُعتقد بأنَّ هذا التطوُّر كان طويلاً ومُعقَّداً للغاية، وقد انتهى بتماسك نهائي لغلاف خبثي غير مُنتظم، متين مُقاوم، مع العلم بأنَّنا ما زلنا لا نعلم شيئاً عن الطبيعة الدقيقة لهذا الغلاف الأوَّلي.

إنَّ دراسة الأصل الكوني للأرض مهمَّة جداً، إذا أنَّها أعطت كوكبنا معالم لا تُمحى، منها شكل الأرض، الحرارة المركزيَّة، وجميع خواص الأرض الفيزيائيَّة.

الفصل الثالث

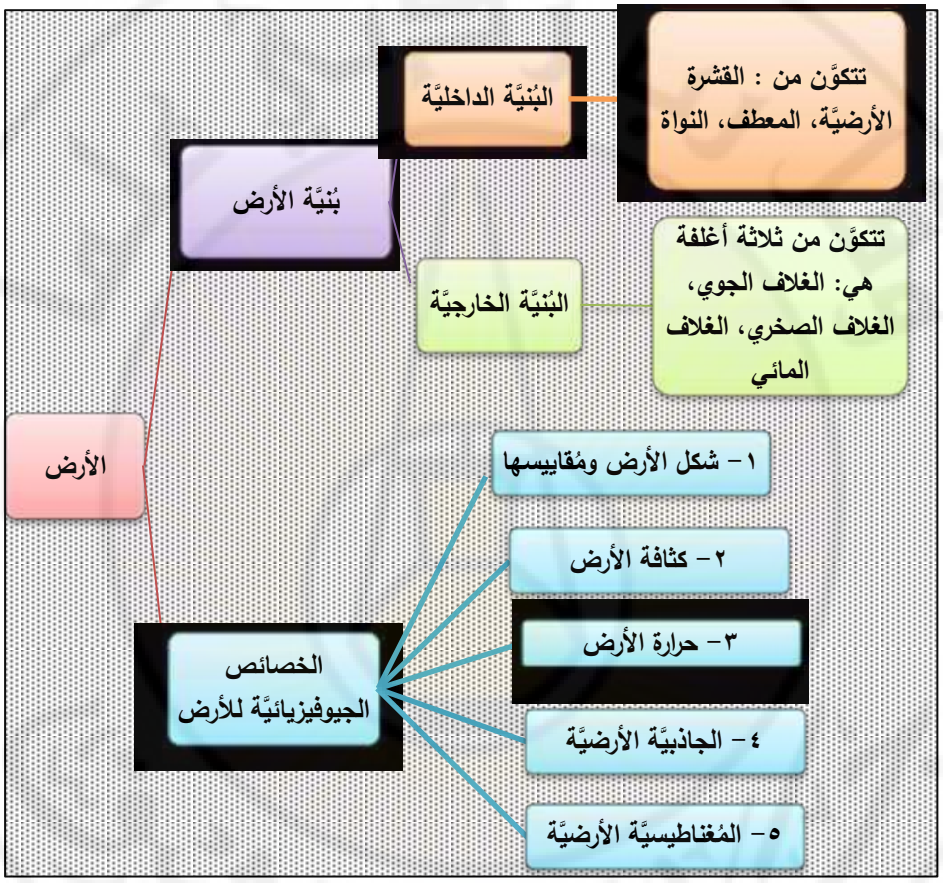
بُنية الأرض والخصائص الجيوفيزيائيَّة للأرض



وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثالث

بنية الأرض والخصائص الجيوفيزيائية للأرض



بُنيَّة الأرض:

بناء الأرض: هو مجموع التركيب الداخلي للكرة الأرضيَّة بدءاً من السطح حتَّى النواة، أي إنَّ الأرض جسم غير مُتجانس التركيب، يتألَّف من عدَّة أغلفة، يتميَّز بعضها عن بعض من حيث الكثافة، ودرجة الحرارة، وطبيعة تجمُّع المادة (أي بمجمل صفاتها الفيزيائيَّة والكيميائيَّة).

يُجمع معظم العلماء على أنَّ مادة الأرض قد تجمَّعت في أغلفة ذات خصائص مُتباينة، وقد أكدَّت التجارب العلميَّة اختلاف سرعة الموجات الزلزاليَّة مع اختلاف المادة الأرضيَّة، ممَّا يؤكِّد وجود أغلفة يُحيط بعضها ببعض حسب تزايُد الكثافة، ويُمكن تقسيم طبقات الكرة الأرضيَّة حسب تصنيف بولين (Bullen) إلى سبعة أقسام رئيسيَّة، والذي يقوم على أساس:

أ- حالة تجمُّع المادة الأرضيَّة ب- وظروف اختراق الموجات الزلزاليَّة فيها (السيسميَّة)، وهي:



- الطبقة ( ) أو الغلاف السطحي (القشرة الأرضيَّة)

الغلاف المتوسّط أو المعطف، ويُقسم إلى ثلاثة أقسام

النواة المركزيَّة، وتُقسم إلى ثلاثة أقسام

شكل رقم (٢٥): طبقات الكُرة الأرضيَّة

- الطبقة A أو القشرة الأرضية (Earth crust – Lithosphere):

الكتلة	(1.5%) من كتلة الكرة الأرضيَّة
الحجم	(2%) من حجم الكرة الأرضيَّة
الكثافة	يُقدَّر متوسطها (2.7 غ/سم^3)

السماكة	سماكتها تحت القارات تُساوي (=) خمسة أضعاف سماكتها تحت المحيطات
الصخور	صخور مهليه ومتحولة (95%) + صخور رسوبيَّة (5%)

تتألَّف من طبقات معقَّدة التركيب، حدودها من سطح الأرض وحتَّى حدود انقطاع موهورفيتش (موهو – M–).

ولهذا الجزء أهميَّة خاصَّة: لأنَّه مجال عمل الجيولوجي، وقد ظهرت نظريَّات وآراء كثيرة حول بنيَّة القشرة الأرضيَّة، ولكن لم يُعرف ما الأصح من هذه النظريَّات حتَّى توصَّل الإنسان إلى استخدام طريقة السبر بوساطة الأمواج الاهتزازيَّة، وتتلخَّص هذه الطريقة باستخدام مولِّدة كهربائيَّة تُحدث انفجاراً ، ونتيجةً لهذا الانفجار تتولَّد أمواج اهتزازيَّة تُسجَّل على سجل الهزَّات (السيسموغراف)، تتوزَّع هذه الأجهزة على سطح الأرض، بحيث تكون المسافة بينهما بحدود (200 – 500 م)، تُعطي طريقة سبر الأعماق في الوقت الحاضر أحسن النتائج، ولكنَّها باهظة التكاليف، كذلك عند إجراء الدراسات على القشرة الأرضيَّة تُستخدم إلى جانب هذه الطريقة، عمليَّة المسح الثقلي (الغرافيمتريَّة)، ومُلخَّص هذه الطريقة استخدام أجهزة عالية الدقَّة مثل مقياس الثقالة لقياس قوَّة الثقالة في نقاط مُختلفة من سطح الأرض، لأنَّ قوة الثقالة ذات علاقة وثيقة مع تغيُّر كثافة المواد المُشكِّلة للقشرة الأرضيَّة، وعن طريقها يُمكن معرفة تركيب باطن الأرض.

وتخترق الأمواج الزلزاليَّة الطويلة (P) طبقات القشرة الأرضيَّة بسرعاتٍ مُتفاوتة حسب طبيعة الصخر، فبينما تكون في الطبقات العُليا بحدود (5 – 5.5 كم/ثا)، وترتفع عند الحدود الفاصلة بينها وبين المعطف إلى (6.5 – 8 كم/ثا)، وتُعرف هذه المنطقة بحدود انقطاع موهو.

أمَّا بالنسبة إلى عمق انقطاع موهو فيعُد مرآة عاكسة لتضاريس سطح الأرض، فتحت الجبال العالية تهبُط حدود انقطاع موهو إلى عُمق (80 كم)، أمَّا تحت السهول فتوجد على عمق يتراوح بين (30–40 كم)، بينما تحت الهوات البحريَّة فترتفع إلى (10 كم).

تتوزَّع صخور القشرة الأرضيَّة من السطح باتجاه الداخل حسب كثافة المواد، حيثُ تحتَّل المواد ذات الكثافة العالية الأعماق الداخليَّة من القشرة الأرضيَّة، بينما تُشكِّل الصخور قليلة الكثافة الطبقات الخارجيَّة، وعلى أساس اختلاف التركيب المعدني، والكثافة يُمكن تقسيم القشرة الأرضيَّة إلى:



آ- القشرة الأرضيَّة القاريَّة

ب- القشرة الأرضيَّة المُحيطيَّة

شكل رقم (٢٦): القشرة الأرضيَّة

آ- القشرة الأرضية القاريَّة:

وهي أكثر أجزاء الكرة الأرضيَّة دراسة، تبلُغ سماكتها نحو (30 – 40 كم) وسطيًّاً، أمَّا تحت الجبال فترتفع إلى (70 – 80 كم)، تتألَّف القشرة القاريَّة من ثلاثة أقسام رئيسة هي:

١- القسم العلوي، أو طبقة الصخور الرسوبيَّة

٢- القسم الأوسط، أو الطبقة الغرانيتيَّة

٣- القسم السفلي، أو الطبقة البازلتيَّة

١- الطبقة الرسوبيَّة:

- تتألف هذه الطبقة من صخور قليلة القساوة نسبيًا، تتراوح كثافة مواد هذه الطبقة بين (□□□□□□غ/سم٣)، أمَّا سماكتها تتراوح (□□□□ كم) من التوضُّعات البحريَّة والقاريَّة، تشكلَّت في الأحواض المائيَّة أو على اليابسة وهي تتوضَّع على شكل طبقات فوق بعضها البعض، ناتجة عن التفكك والتفتُّت الميكانيكي والتحليل الكيميائي للصخور المختلفة، وتتألَّف الصخور الرسوبيَّة من الأحجار الكلسيَّة والغضار، والأحجار الرمليَّة والحُطاميَّات المُختلفة، وغيرها من الصخور.

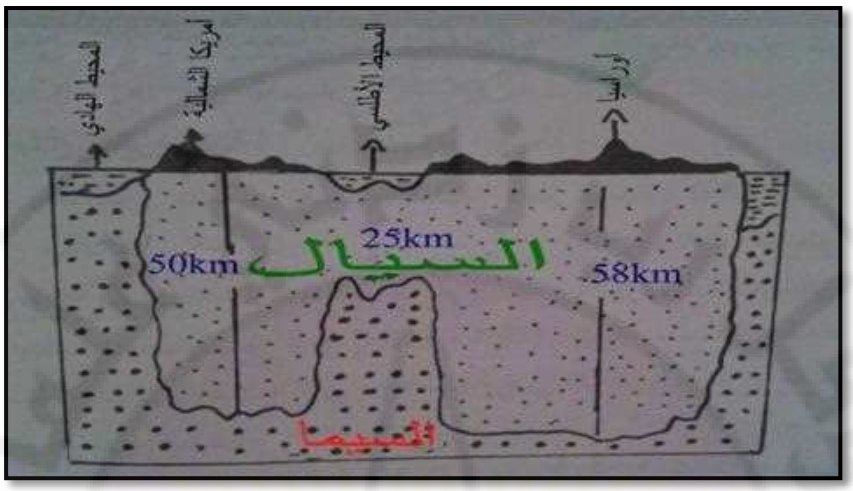
٢- الطبقة الغرانيتيَّة:

- يُطلق على هذه الطبقة اسم السيال (□□)، وذلك لسيادة عنصري السيليس والألمنيوم (□□□□□□ □□□□)، وتتألَّف صخور هذه الطبقة من الصخور المهليَّه الحامضيَّة كالغرانيت، والمتحوِّلة كالغنايس والشيست، غنيَّة بثاني أوكسيد السيليسيوم (SiO_2 □□□□)، تبلغ سماكة هذه الطبقة (□□□□ كم)، وتصل أحياناً إلى (□□ كم)، وهي تنعدم في قاع المُحيطات، أمَّا كثافة المواد في هذه الطبقة فتتراوح بين (□□□□□□غ/سم٣)، وتبلُغ سرعة الأمواج الاهتزازيَّة الطويلة (□) فيها (□□□□□ كم/ثا)، وترتفع سرعة هذه الأمواج على حدودها البازلتيَّة إلى (□□ كم/ثا)، وتبلغ درجة الحرارة في أسفل الطبقة الغرانيتيَّة (□□□□°م) كما يبلغ الضغط (□□□□□) ضغط جوي، وقد سُمِّي الحد الفاصل بين الطبقة الغرانيتيَّة والطبقة البازلتيَّة **بحد كونراد** نسبةً إلى العالم الألماني الذي قام بدراسة هذه الطبقة.

٣- الطبقة البازلتيَّة:

- تُشكِّل الطبقة البازلتيَّة أكثر من (□□ □) من سطح الأرض، ولو تصوَّرنا أنَّ الطبقتين الرسوبيَّة والغرانيتيَّة غير موجودتين لبدا سطح الأرض مُشابهاً تماماً لسطح القمر في الوقت الحاضر.
- تُوجد الطبقة البازلتيَّة أسفل الطبقة الغرانيتيَّة تحت القارَّات، وتتغطَّى مباشرةً بالطبقة الرسوبيَّة -إن وجدت- تحت مياه المُحيطات، يفصلها عن المعطف مباشرةً أو الستار انقطاع موهو (□)، يُطلق على هذه الطبقة اسم سيما (□ □□)، وذلك لسيادة مادتي السيليس والمغنيزيوم (□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□)، أمَّا الصخور المُشكلة لهذه الطبقة فهي مهليَّة أساسيَّة مؤلَّفة من البازلت بالدرجة الأولى، بالإضافة إلى الدياباز، والغابرو، وتتراوح سماكتها بين (□□□□□□ كم)، أمَّا كثافتها تتراوح بين (□□□□□□ غ/سم٢)، وتزداد سرعة الأمواج السيميَّة الطوليَّة فيها من (□□□□□□ كم/ثا)، عند اجتياز انقطاع موهو، وهو الحد الفاصل مع طبقة المعطف.

تعدُّ هذه الطبقة مصدراً للافا (□□□□) التي تندفع منها البراكين.



شكل رقم (٢٧): توزُّع السيال والسيما

القشرة الأرضية المحيطية:

تختلف القشرة الأرضيَّة المُحيطيَّة عن القشرة الأرضيَّة القاريَّة من حيث السماكة والتركيب، تمتاز القشرة المُحيطيَّة بسماكتها القليلة التي تتراوح بين (5 – 15 كم)، وهي تتميَّز بوجود طبقة رسوبية رقيقة تليها مُباشرةً الطبقة البازلتيَّة أي تنعدم فيها الطبقة الغرانيتية، فتحت الغطاء الرسوبي الرقيق (2 – 5 كم)، تقع مباشرةً الطبقة البازلتيَّة التي تتراوح سماكتها بين (5 – 10 كم).

– الغلاف المتوسط أو المعطف (Mantel):

حدوده	يمتَّد من حدود انقطاع موهو وحتَّى عمق (2900 كم)، حيثُ يفصله عن النواة سطح انقطاع غوتنبيرغ
حجمه	يُشكِّل (82%) من حجم الكرة الأرضية
كتلته	يُشكِّل (67%) من كتلة الأرض

تركيبه	غير معروف بشكلٍ دقيق، لانَّ عمق آبار السبر أو النفط لا يزيد عن (10 كم)، يتم التعرُّف إلى المواد المكوِّنة للمعطف بدراسة اللابات (الحمم البُركانيَّة)، والصبَّات البازلتيَّة، والنيازك الحجريَّة من جهة، ودراسة سرعة انتشار الأمواج السيميَّة من جهة أخرى.
كثافته	تزداد كثافته من (3.3 غ/سم^3) في الجزء العلوي إلى (9.4 غ/سم^3) في الجزء السفلي، ويترافق ذلك مع ازدياد الأمواج السيسميَّة الأوليَّة من (7.8 – 8.5 كم/ثا إلى 13.6 كم/ثا).
درجة حرارته	تتراوح بين (1100°م) في أعلى المعطف، وحتَّى (2300°م) في أسفله
الضغط الجوي	يرتفع من (3000) ضغط جوي في الأعلى إلى (1.3) ضغطاً جويَّاً في الطبقة السفلى من المعطف

يُطلق على المعطف اسم الوشاح، وعلى أساس الدراسات الجيوفيزيائيَّة كانتشار الأمواج السيسميَّة، تمَّ تحديد ثلاث طبقات مُتميِّزة (B , C , D):

الطبقة B أو المعطف الأعلى:

تمتَّد حدود هذه الطبقة من انقطاع موهو وحتَّى عمق (400 كم) تقريباً، وهو نطاق غير مُتجانس يتألَّف بشكلٍ أساسي من الفلزَّات الحديديَّة المنغيزيَّة، ومن خلال دراسة التسجيلات للأمواج الأوليَّة والثانويَّة يُبيِّن تزايُد سرعتها بعد انقطاع موهو مباشرةً، ولكن على عمق (120 – 100 كم) تحت القارَّات، وَ (50 – 60 كم) تحت المُحيطات، تعود السرعة إلى التناقص، وعلى أساس عمق نحو (250 كم) تحت القارَات، وَ (400 كم) تحت المُحيطات، تعود سرعة الأمواج الأوليَّة والثانويَّة إلى التزايُد من جديد، **يُطلق على هذه الطبقة الاستنوسفير (S-Asthenosphere)**، تتصف بلزوجة قليلة نسبياً.

دلَّت الدراسات المخبريَّة للصخور ضمن درجات الحرارة العالية والضغط المرتفع المُشابهة للشروط الموجودة في منطقة الاستنوسفير، على إمكان وجود المواد من الطبقة (B) في حالة

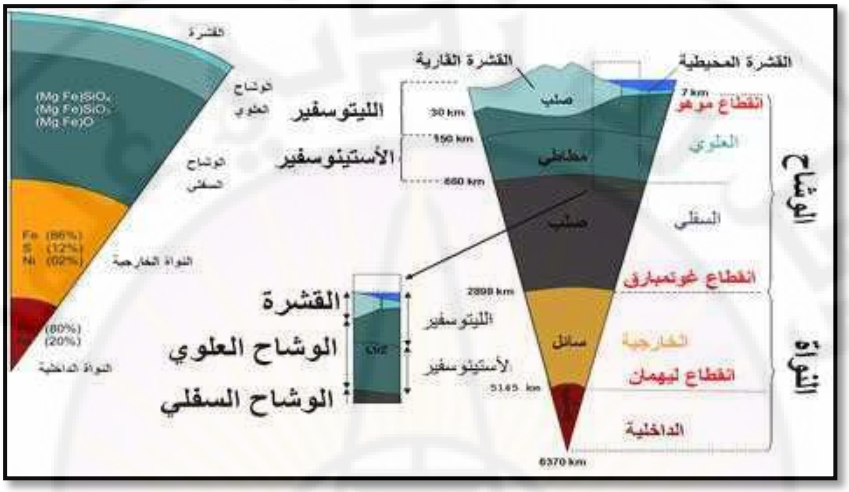
اللاتبلور، والقريبة من حالة الانصهار، ويفترض بعض العلماء أنَّ المواد توجد في الاستنوسفير على شكل خليط، أي تتألَّف من مزيج من الصخور الصلبة والمنصهرة جزئيًّاً، ويدخل في تركيب هذه الصخور البيريدوتيت (Peridotite)، والاكلوجيت ذات الكثافة القريبة من (3.3 غ/سم^3)، وهي صخور ناريَّة ذات كثافة عالية فوق قاعدية، تحتوي على نسبة ضئيلة جدًّاً من السيليس. وتعدُّ الاستنوسفير مركز الاندفاعات البُركانيَّة، ومصدر الهزَّات الأرضيَّة والحركات التكتونيَّة.

الطبقة C أو المعطف الأوسط:

يتراوح عمق هذه الطبقة بين (400 – 1000 كم)، وتتَّصف بازدياد كبير لسرعة الأمواج الأوليَّة والثانويَّة، موادها مشابهة لمواد الطبقة السابقة، وهي قريبة من السيولة، تصل كثافتها نحو (4.6غ/سم^3)، وسرعة الموجات الطوليَّة (11.3 كم/ثا)، كما أنَّ نمو القشرة الأرضيَّة تمَّ عن طريق تلك الطبقة من المعطف، وتُعرف مادتها بالمهل (Magma) ، كما تُعرف باسم الجيوبلازما (Guaplasma).

الطبقة D أو المعطف الأسفل:

ويمتَّد بين عمق (1000 إلى 2900 كم) تحت سطح الأرض، وتوجد في الطبقة (D) في الحالة الصلبة، كما أنَّ مواد الطبقة (D) مُتجانسة إلى حدٍّ كبير في تركيبها، تتألَّف هذه الطبقة من أوكسيد المنغنيزيوم والسيليسوم والحديد، يزداد الضغط تدريجيًّاً من (100) ألف ضغط جوي على عمق (330 كم) ابتداءً من قاع المحيط الهادي (1.5) مليون ضغطاً جوياً عند قاع المعطف، (شكل٢٨).



شكل رقم (٢٨): الوشاح

النواة (Earth Core):

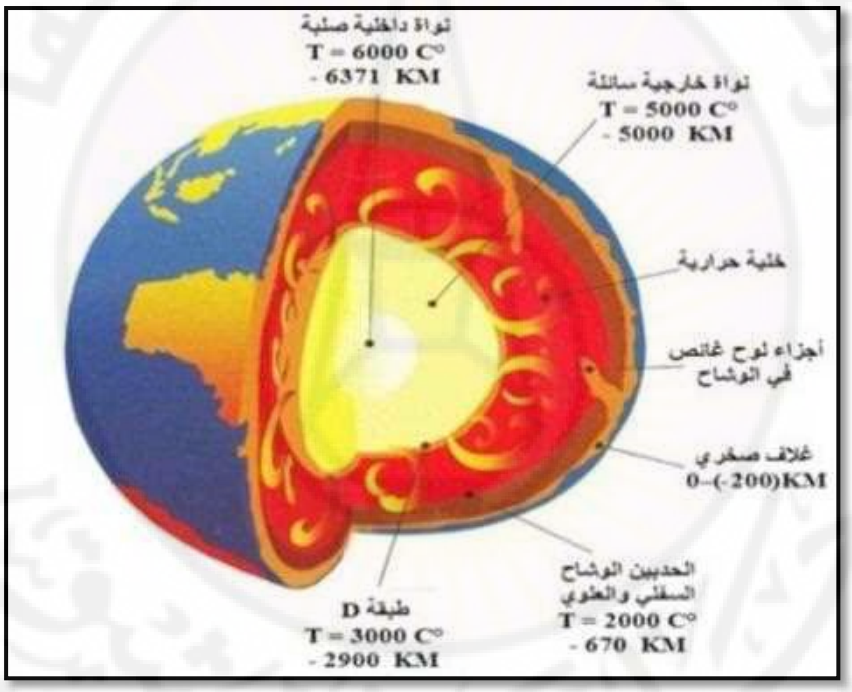
حدودها	تبدأ بدءاً من انقطاع غوتنبرغ على عمق (2900 كم)، أي عند المنطقة الحديَّة التي يبدأ فيها التغيُّر المُفاجئ في المادة إلى الحالة السائلة.
نصف قطرها	يبلُغ نحو (3500 كم)
صخورها	تتألَّف من الحديد (Fe) والنيكل (Ni)، لذلك تُدعى بالنيف (Nife)
كثافة	توجد في طبقة النواة أعلى الكثافات (11.5غ/سم^3)
حجم	تُشكِّل النواة (16%) من حجم الكرة الأرضيَّة
كتلة	تُساوي (31.5%) من كتلة الأرض

وقد أكَّدت التجارب الزلزاليَّة أنَّ الموجة (P) تنتشر داخل النواة بسرعةٍ أكثر من انتشارها في جزئها الخارجي، وبذلك **قُسِّمت النواة** إلى:

*** النواة الخارجيَّة (Outer Core) – الطبقة (E).**

*** النواة الوسطى – الطبقة (F).**

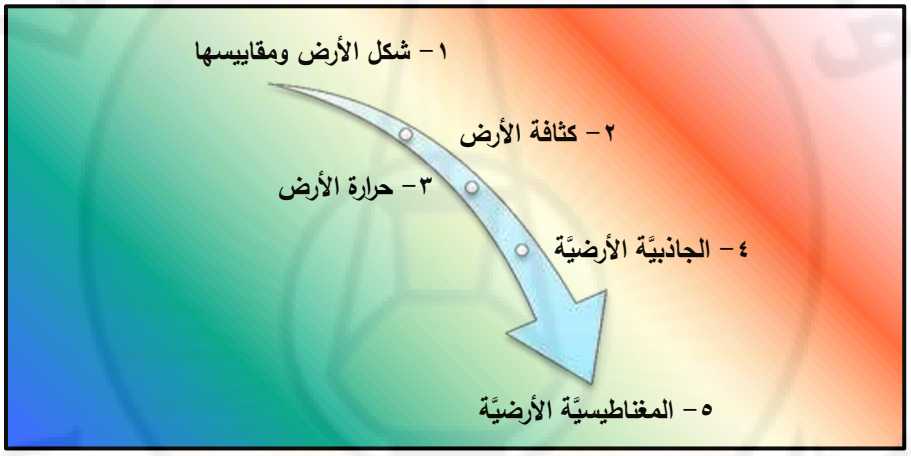
*** النواة الداخليَّة (Inner Core) – الطبقة (G).** (شكل٢٩)



شكل رقم (٢٩): نواة الأرض


• تقع هذه الطبقة بين (□□□

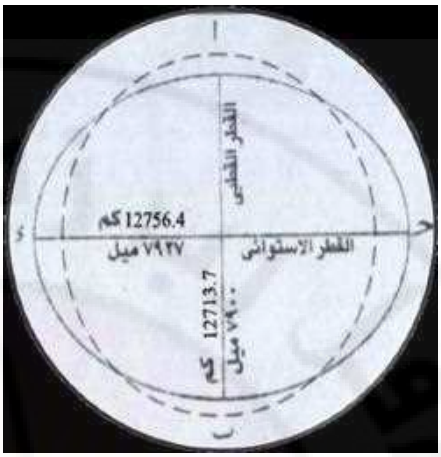
استنباط الوسائل الكفيلة بتزويدنا بما يُغني معلوماتنا عن هذه الخصائص، تتمثَّل أولى هذه الوسائل وأكثرها أهميَّة ودقَّة بالمُعطيات التي تُقدمها الموجات الزلزاليَّة الواصلة من الأعماق، عاكسةً معا تبايُنات الأوساط والطبقات التي تخترقها أو تجتازها انطلاقاً من بؤر حدوثها وانتهاءً بالسطح، يُضاف إليها ما تزودنا به دراسة المغناطيسيَّة الأرضيَّة من معلومات قيِّمة عن هذه الخصائص، في حين أن ما تلفظه البراكين من حمم ومقذوفات مُختلفة الصفات والخصائص تُعدُّ ذات أهميَّة كبيرة تعكُس تبايُنات المواد القادمة من الأعماق المُختلفة، لأنَّ طبيعة المواد تتباين تبعاً للقطاعات وللأعماق التي تُشكِّل المصدر الأم.



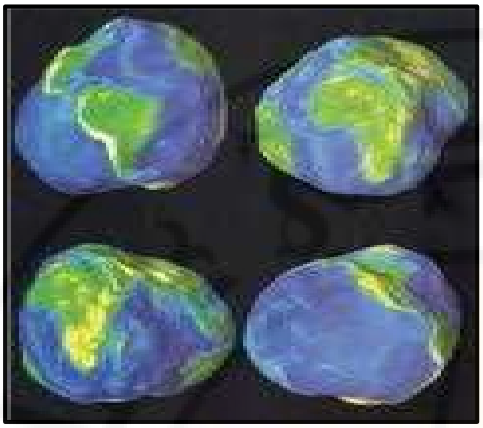
١- شكل الأرض ومقاييسها:

بعد اكتشاف قوانين الجاذبيَّة تبينَّ أنَّ شكل الأرض اختلف من الشكل الكروي إلى الشكل الإهليلجي (ذو محورين مختلفين) نتيجة دورانها حول نفسها، (شكل ٣٠).

نصف قطر الأرض القطبي	6,356,863 كم
نصف قطر الأرض الاستوائي	6,378,245 كم
متوسط نصف قطر الأرض	6,371,110 كم
مساحة الأرض	510083 مليون كم^{٢}
حجمها	108320 مليون كم^{٣}

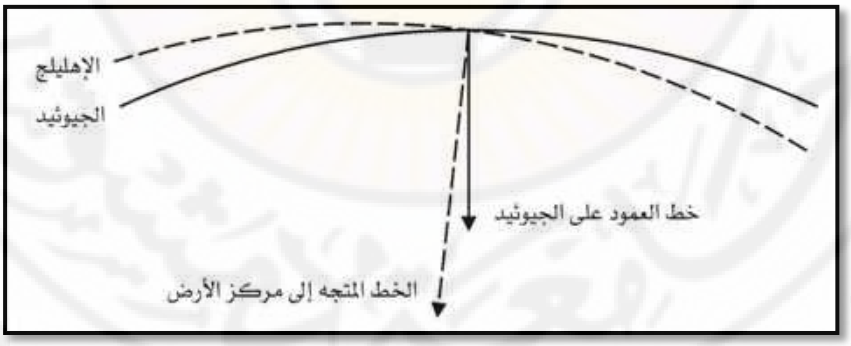


شكل رقم (٣٠): شكل الأرض وأبعادها



شكل رقم (٣١): الشكل الحقيقي للأرض

فللأرض شكل إهليلجي يُدعى **بالجيوئيد (Geoide)**: وهو السطح العمودي على اتجاه الجاذبيَّة الأرضيَّة، والذي ينطبق على سطح البحار والمحطات الوسطي، الذي يفرض امتداده تحت سطح القارَّات بأقنيَّة تصل البحار والمحيطات كافَّة، فهو يتغاضى عن المرتفعات والتجاويف الثانوية لسطح الأرض، (شكل٣٢).



شكل رقم (٣٢): الجيوئيد

٢- كثافة الأرض:

الكثافة: هي كتلة المادة مقسومة على حجمها.

يتم تحديد كثافة الصخور السطحيَّة بسهولة مخبريَّاً، في حين أنَّ الكثافة في أعماق الكرة الأرضيَّة تُقدَّر باستخدام الطرائق والأساليب الجيوفيزيائيَّة.

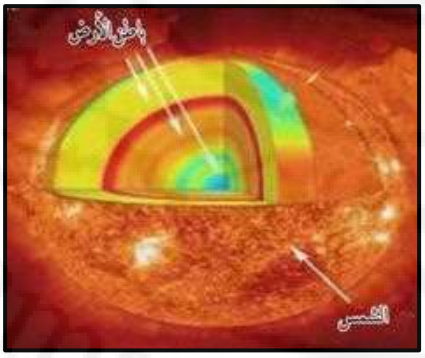
تزداد كثافة الصخور كُلَّما ازداد العمق، أو كُلَّما اقتربنا من مركز الأرض، كما ترتفع قيم الضغط ومُعدلاته في الاتجاه نفسه، هذا وتُقدَّر الكثافة الوسطيَّة للقشرة الأرضيَّة بـ (2.7 غ/سم^3)، وللكرة الأرضيَّة بـ (5.52 غ/سم^3)، وتتدرَّج الكثافة أسفل القشرة الأرضيَّة من (3.3 غ/سم^3) إلى (5.5 غ/سم^3) عند المعطف، لتصل عند الحدود الخارجيَّة للنواة إلى (9.5 غ/سم^3)، ثُمَّ تتزايد عند المركز لتُصبح قيمتها نحو (12.5 غ/سم^3).

٣- حرارة الأرض:

يتلقَّى سطح الأرض حرارته من مصدرين أساسيين هما:

- خارجي: وهو أشعة الشمس، ويبلُغ نحو (99.5%).
- داخلي: وهي الحرارة القادمة من باطن الأرض، ويبلُغ (0.5%).

يلعب شكل الأرض الإهليلجي دوراً رئيساً في توزُّع الحرارة الشمسيَّة النطاقي على سطح الأرض، ومدى تأثير الأشعة الشمسيَّة في الطبقات الصخريَّة يختلف بين مكانٍ وآخر، وبين الليل والنهار، ولكن تأثير الأشعة الشمسيَّة لا يصل إلى أكثر من بضعة أمتار تحت سطح الأرض، (شكل٣٣).



شكل رقم (٣٣): مصادر حرارة الأرض

الثابت الشمسي (Solar Constant): وهو كميَّة الحرارة الشمسية التي يتلقاها الـ (سم^2) الواحد من سطح الأرض والتي تُقدَّر بـ (1.49) حريرة في الدقيقة الواحدة من سطح الأرض.

المعدل الهندسي : وهو المسافة التي ترتفع فيها درجة الحرارة درجة مئوية واحدة ، ويتباين هذا المعدل ما بين منطقة وأخرى ففي بعض المناطق يتراوح بحدود (250 م) ومناطق أخرى (2 م) والمتوسط هو (33 م).

حزام الحرارة الثابتة تحت سطح الأرض: وهو ما تُقدمه حرارة الشمس من الطاقة اللازمة لسائر العمليات الجيولوجيَّة التي تجري على سطح الأرض في الأجزاء العليا من القشرة الأرضيَّة، حتى ينعدم ذلك على عمق بين (8 – 40 م).

ومن العوامل التي تؤثِّر في تغيير موقع نطاق الحرارة الثابتة:

١. الموقع الجغرافي
٢. التغيُّرات الحراريَّة السطحيَّة السنويَّة للمكان
٣. الخواص الفيزيائيَّة للصخور

وبعد هذا الحزام تأخذ درجة الحرارة بالارتفاع بمعدلات شبه ثابتة بصورة وسطية، كلما تعمقنا مئة متر في باطن الأرض يُدعى هذا **بالتدرُّج الحراري (Geothermal gradient)**.

وللحرارة الباطنيَّة الأثر الرئيسي في هذه التباينات، ولو تابعنا حساب درجة حرارة الطبقات الباطنيَّة للأرض، باعتبار المتوسِّط العام للتدرُّج الحراري (3) درجات لكل (100 م)، تتزايد حرارة الأرض إذاً كُلَّما تعمقنا باتجاه النواة، حتَّى تتراوح بين (2000 – 4000°) مئويَّة، وهذا ما يتوافق مع الكثافة العالية للمواد ضمن نواة الكُرة الأرضيَّة.

٤- الجاذبيَّة الأرضيَّة:

هي القوَّة التي تتحكَّم في وزن الأجسام الموجودة على سطح الكرة الأرضيَّة، وهي تتجه نحو مركز الأرض، وتكون عموديَّة على سطح الجيوئيد.

ونظراً لشكل الأرض الإهليلجي، تبلُغ قوَّة الجاذبيَّة الأرضيَّة قيمتها العُظمى فوق القطب، ثمَّ تتناقص وبشكلٍ تدريجي باتجاه المنطقة الاستوائيَّة، إذاً يخضع كل جسم على سطح الأرض كتلته (M1) موجود على نقطةٍ ما (A) إلى تأثير قوَّة تُدعى الجاذبيَّة (G)، وتُقاس بالغال (Gal).

وللجاذبيَّـة الأرضـيَّة تعريفـاً رياضـيَّاً فهـي: محصـلة التجـاذب بـين كتلـة الجسـم (M1)، وكتلـة الأرض (M)، ويُمكن التعبير عن ذلك بالقانون التالي:

$$F=\frac{M1.M}{R^2}$$

حيثُ أنَّ: G = ثابت التجاذُب R = نصف قطر الأرض

أمَّا القوَّة التي يخضع لها الجسم (M1)، فهي قوَّة مُعاكسة لقوَّة الجاذبيَّة الأرضيَّة، وتُدعى القوَّة النابـذة أو قـوَّة الطـرد المركزيَّـة، وسـببها دوران الأرض حـول نفسـها، حيـثُ إنَّ الأرض تقطـع مسافات حول نفسها مُتناقصة من خط الاستواء باتجاه القطبين، وتُحدَّد قوَّة الطرد المركزيَّة بالقانون الآتي:

$$P=\frac{M1.Va2}{Ra}$$

حيثُ أنَّ: P = قوَّة الطرد المركزيَّة Va = سرعة دوران الأرض حول نفسها في نقطة وجود الجسم (A)

Ra = نصف قطر الأرض المار في العرض الجغرافي للنقطة (A)، وقوَّة الطرد المركزيَّة عكس قوَّة الجاذبيَّة الأرضيَّة، إذ تبلغ قيمتها العظمى عند خط الاستواء، وتنعدم عند القطبين.

وتتباين قيم الجاذبية تبعاً لعدِّة عوامل أهمها:

١- التضاريس والارتفاع والانخفاض عن مستوى البحر، ويرجع ذلك إلى ازدياد المسافة بين النقطة ومركز الأرض، أو نقصانها

٢- كثافة الصخور، تزداد كثافة الصخور كُلَّما اقترب موقعها من نواة الأرض، فكلما اقتربت من مركز الأرض ازدادت قوَّة الجاذبيَّة، نظراً لذلك تظهر شذوذات موجبة أو سالبة في قيمتها عن قوَّة الحقل الجاذبي النظامي في منطقةٍ ما (تُدعى شذوذات الجاذبيَّة بشذوذات بوغر)، وذلك تبعاً لكثافة الأجسام المُسببة لهذه الشذوذات، وهذا ما يُساهم في التنقيب عن الخامات المُفيدة

٥- المغناطيسيَّة الأرضيَّة:

تُعد الارض كتلة مغناطيسيَّة ضخمة لها قطبان مغناطيسيان لا ينطبقان على القطبين الجغرافيين.

ففي الوقت الحاضر تقع إحداثيات القطبين المغناطيسيين على خط العرض (74) شمال خط الاستواء وخط الطول (92) غرب غرينتش ، أمَّا القطب الجنوبي فيقع على خط العرض (39) جنوب خط الاستواء وعلى خط الطول (143) شرق غرينتش.

يقول بعض العُلماء: إنَّ باطن الأرض يتألَّف من قلب حديدي كبير، فلو قلبنا وجهات نظر هؤلاء الاختصاصيين وقارنا ما حدث في إحدى مراحل تطوُّر الكُرة الأرضيَّة، وما يحدُث لقطعة الحديد في باطن الأرض، نجد أنَّه في المنطقة التي تصل عندها درجة الحرارة إلى (760°)[١] مئويَّة يفقُد الحديد خواصه المغناطيسيَّة، ويعني هذا أنَّ درجة الحرارة في باطن الأرض لا بُدَّ أن تكون أقل من (760°) مئوية، ولكن هذا الاستنتاج لا يجد قبولاً لدى الاختصاصيين أنفسهم، إذ يتعارض مع نظريتهم التي تفرض وجود نواة الكرة الأرضيَّة في حالة الانصهار، إذ أنَّ النقطة التي تصل فيها درجة الحرارة إلى (760°) مئويَّة تتأثَّر بالضغط، وأنَّه عند وجود ضغط يبلُغ نحو ثلاثة ملايين ضغط جوي تصل نقطة كوري إلى (4240°) مئويَّة.

[١] - يُطلق عليها اسم نقطة كوري: وهي النقطة التي تصل فيها درجة الحرارة إلى (760°) مئويَّة، ويفقُد عندها الحديد خواصه المغناطيسيَّة.

والمعروف أنَّ الإبرة المغناطيسيَّة لا تُشير إلى القطب الجغرافي، ولكنَّها تُشير إلى القطب المغناطيسي، وتُوجد عادةً زاوية تُدعى **زاوية الانحراف المغناطيسي:** وهي الزاوية الحاصلة بين اتجاه الطول الجغرافي واتجاه الطول المغناطيسي، ويُمكن أن يكون الانحراف شرقاً أو غرباً حسب الموقع.

أمَّا زاوية الميل المغناطيسي فهي زاوية ميل الإبرة المغناطيسيَّة بالنسبة لمستوى الأفق، وبوصل كل النقاط ذات الميل المغناطيسي الواحد نحصل على ما يسمى **بخطوط تساوي الميل المغناطيسي** التي تتجه بشكلٍ عام حسب اتجاه خطوط العرض الجغرافية، ويُسمَّى خط الصفر منها خط الاستواء المغناطيسي، وهو يمرُّ في أفريقيا وآسيا بالقُرب من خط العرض (10°) شمالاً، أمَّا في أفريقيا فهو يمر بالقرب من خط العرض (15°) جنوباً.

وقوَّة الجذب نحو القطب هي أكبر كثيراً ممَّا هي عليه عند خط الاستواء، حيثُ تبلُغ قيمة الجهد المغناطيسي عند خط الاستواء (0.3-0.5) أورستيد، وعند القطبين المغناطيسيين (0.6-0.7) أورستيد، فإذا تصوَّرنا خطَّاً يصل بين القطبين فإنَّ محور الأرض المغناطيسي لا يمر من مركز الأرض، وإنَّما يمر على بُعد نحو (1200كم) منه، وإذا كان المجال المغناطيسي ناشئاً لوجود قلب حديدي داخل الأرض، فإنَّ هذا القلب يجب أن يكون بعيداً عن مركز الأرض.

ومن خلال دراسة تركيب الكرة الأرضيَّة بالطرائق السيسمولوجيَّة توصَّل العلماء إلى اكتشاف طبقات الكرة الأرضيَّة، ولم تُشر الأبحاث إلى وجود تلك الطبقة التي يتحتَّم عليها ألَّا تكون مُتمركزة.

ومن المعلوم أنَّ المجال المغناطيسي ليس واحداً على سطح الكُرة الأرضيَّة، فهُناك مناطق كثيرة يوجد فيها شُذوذ في المجال المغناطيسي وكثيراً ما يحدُث ألَّا تُشير الإبرة المغناطيسيَّة إلى القطب، وقد فُسِّر هذا الشذوذ بوجود رواسب حديديَّة قريبة من سطح الأرض.

وقد بيَّنت الدراسات أنَّ المجال المغناطيسي الطبيعي للأرض غير ثابت، وإنَّما يخضع لتغيُّر مُستمر، ولهذا التغيُّر أنواع مُتعددة، منها التغيُّرات الدوريَّة اليوميَّة، والتغيُّرات الدوريَّة السنويَّة، وهُناك تغيُّرات تحدُث كُل (100) سنة.

دلَّت دراسة التغيُّرات الدوريَّة اليوميَّة ثُمَّ السنويَّة على وجود ارتباط بين هذه التغيُّرات، وما يحدُث على سطح الشمس.

على سبيل المثال: ما حصل في (23) شباط (1956 م) من انفجارٍ قوي على سطح الشمس يُعادل قوة انفجار مليون قنبلة هيدروجينيَّة، وبعد وقت قصير بدأت عاصفة مغناطيسيَّة تُحيط بالكرة الأرضيَّة، وأدَّى ذلك إلى انقطاع الاتصال اللاسلكي والراديو، وتناقص سرعة دوران الأرض حول محورها من ذلك الوقت بمقدار (100.000) في الثانية.

كذلك تؤثِّر الزلازل القويَّة ذات البؤر العميقة التي تنشأ في طبقة جولستين على عمق (800 كم) في المجال المغناطيسي.

وقد أكدَّت الدراسات بأنَّ وجود تيَّارات دعم للمجال المغناطيسي هو أن يكون قد تولَّدت بتأثير حركة السائل المائع في النواة الخارجيَّة دائم الحركة، واختلاف شدَّة المجال المغناطيسي يُمكن تفسيره بتحرُّكات النواة وحجمُها.

ولكن ما يُهِمُنَّا بوصفنا جيولوجيين هو مناطق شذوذ المجال المغناطيسي وهي المناطق التي تتغيَّر فيها شدَّة المجال المغناطيسي بشكلٍ غير منتظم، والتي تُشكل أهمية كبيرة في أعمال البحث والتنقيب عن الخامات الأوليَّة المُفيدة خاصَّةً خامات الحديد.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University



الفصل الرابع

التأريخ الجيولوجي:

- عمر الأرض

- الأحقاب الجيولوجيَّة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

التأريخ الجيولوجي

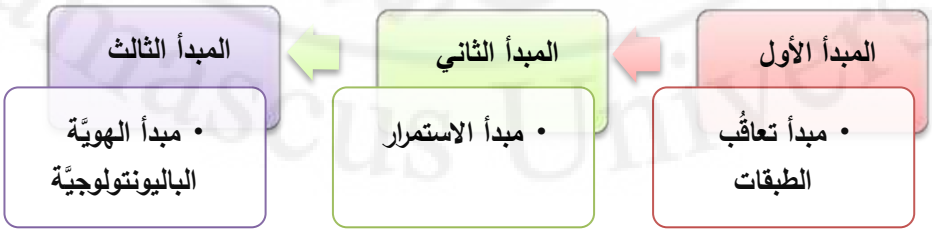
أولاً- عمر الأرض:

تتلخَّص مهمَّة الجيولوجيا بالتعرُّف إلى الحوادث الجيولوجيَّة التي حدثت خلال مراحل تشكُّل القشرة الأرضيَّة وتطوُّرها، ونشوء الحياة عليها، وتفسير قوانين عمليَّة تطوُّرها، كما دلَّت الدراسات الستراتيغرافيَّة التي أُجريت على طبقات القشرة الأرضيَّة في بقاع عديدة من العالم بتحديد التسلسل الزمني لهذه الطبقات، وعلاقة بعضها ببعض، ويُعرف هذا النمط من التحديد الزمني **بالتأريخ الجيولوجي النسبي (Relative Chronology)**، وقد قادنا هذا التأريخ إلى وضع سلَّم ستراتيغرافي زمني لطبقات القشرة الأرضيَّة، وما نزال نستخدمه حتَّى الآن، ولكن الطرق الحديثة اعتمدت بصورة خاصَّة على دراسة الخصائص الإشعاعيَّة لبعض العناصر المشعَّة التي أدَّت إلى تحديد طبقات القشرة الأرضيَّة تحديداً مُطلقاً، يُعرَف **بالتأريخ الجيولوجي المُطلق**.

إنَّ أهم الوثائق التاريخيَّة التي تستطيع الجيولوجيا من خلالها تحديد عمر الأرض هي التوضُّعات الصخريَّة، والبقايا النباتيَّة المُتحجرَّة الموجودة فيها (المستحاثات)، ولهذا تُعد عمليَّة تحديد عمر التوضُعات الصخريَّة من أهم المسائل.

- التأريخ النسبي (Relative Chronology):

يعتمد التأريخ الجيولوجي النسبي على مجموعة من المبادئ الأساسيَّة النسبيَّة هي:

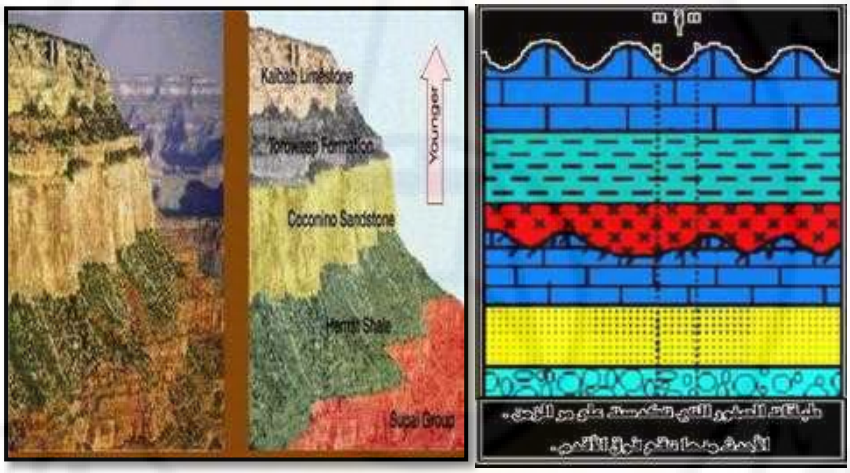


١- مبدأ تعاقُب الطبقات:

عندما تتوضَّع الرسوبات في الأحواض الرسوبيَّة كالبحار والبُحيرات فهي تستقر بشكل طبقات أُفقيَّة تقريباً متوضِّعة الواحدة فوق الأُخرى لتُكوِّن مع الزمن الصخور الرسوبيَّة، ومن البديهي أن تتوضَّع الطبقات القديمة في الأسفل والحديثة في الأعلى، وهذا ما نُعبِّر عنه بمبدأ تعاقُب الطبقات الذي ينُص:

(كُل طبقة رسوبيَّة هي أحدث من الطبقة التي تحتها، وأقدم من الطبقة التي فوقها)،

(شكل ٣٤)



شكل رقم (٣٤): صخور تكدَّست خلال الزمن صورة رقم (١٣): حالة صخور تكدَّست خلال الزمن

وبهذا يُمكن من خلال هذا المبدأ تحديد العمر النسبي للصخور، ولكن عند تطبيق هذا المبدأ يجب الحذر لأنَّ هُناك حالات لا يُمكن فيها تطبيق مبدأ تعاقُب الطبقات تتمثَّل بـ:

آ- حالة المجموعات الرسوبيَّة المنقلبة

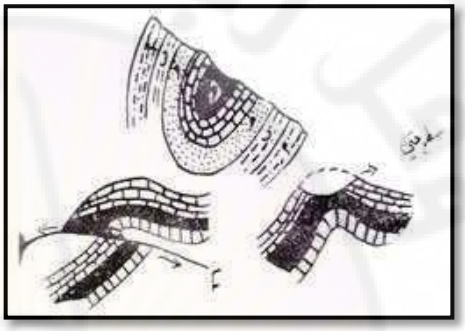
ب- حالة الصخور الاندفاعيَّة

ج- حالة المصاطب النهريَّة

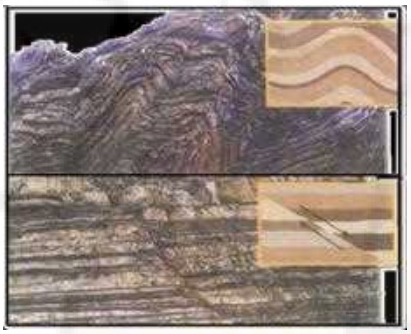
د- حالة التوضُّعات تحت الأرضية

آ- حالة المجموعات الرسوبيَّة المُنقلبة:

يتغيَّر نظام التعاقُب في الطبقات التي ارتفعت، فتجاوَز ارتفاعُها الوضع الشاقولي، بنتيجة الحوادث التكتونيَّة التي تحدُث عندما تُطبِّق قوى تماسيَّة جانبيَّة عنيفة على الطبقات أو الطيَّات التي أدَّت إلى وجود الطبقات القديمة في الأعلى والحديثة في الأسفل، (شكل٣٥).



شكل رقم (٣٥): حالة تراكُب الطبقات تحت تأثير القوى الجانبيَّة



صورة رقم (١٤): حالة تراكب الطبقات تحت تأثير القوى الجانبية

ب- حالة الصخور الاندفاعية:

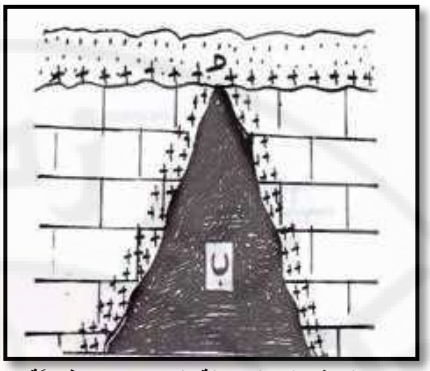
يظل مبدأ تعاقب الطبقات ساري المفعول بالنسبة للصخور البركانيَّة التي يتدخَّل في توضُّعها عامل الثقالة كسيلان اللابة، وانتثار الرماد من فوهات البراكين.

أمَّا بالنسبة للصخور الاندساسيَّة يكون اتجاه توضُّعها من الأسفل إلى الأعلى، فمبدأ تعاقُب هُنا لا يُمكن تطبيقه.

ويأخُذ مبدأ تحديد العمر النسبي هُنا شكلاً جديداً هو:

(كل صخر اندفاعي أحدث من الصخور التي اخترقها أو أصابها التحوُّل، وأقدم من الرسوبات التي تحتوي على عناصره المفتَّتة).

وَ (كل صخر بُركاني هو أحدث من الصخر الذي يغطِّيه، وأقدم من الرسوبيَّات التي تُغطِّيها)، (شكل٣٦).



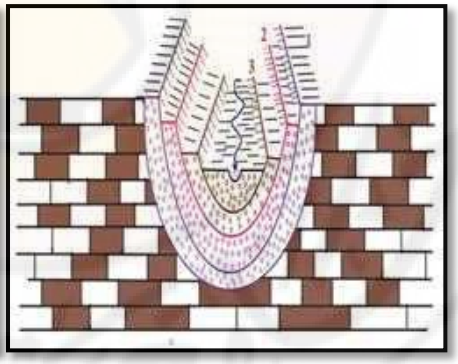
شكل رقم (٣٦): حالة الصخور الاندفاعيَّة



صورة رقم (١٥): حالة الصخور الاندفاعيَّة

ج-حالة المصاطب النهرية:

إنَّ المصاطب النهريَّة تتشكَّل نتيجة لهبوط مستوى الأساس المُطلق للأنهار، أو نتيجة لنهوض اليابسة، فيحُزُّ مجراه من جديد، فهي تخضع لمبدأ تعاقُب الطبقات فالمصاطب العليا هي الأقدم، بينما تكون المصاطب الحديثة في الأسفل، (شكل٣٧).



شكل رقم (٣٧): حالة المصاطب النهريَّة



صورة رقم (١٦): مصاطب نهرية

د-حالة التوضُّعات تحت الأرضيَّة:

كذلك تشُذُّ عن مبدأ تعاقُب الطبقات التوضُّعات المُتشكلَّة بفعل المياه الجوفيَّة في المغاور والكهوف، فالرسوبات المتوضِّعة داخل المغاور أحدث من الصخور التي فوقها والتي تُشكِّل سقف المغارة، (شكل٣٨).



شكل رقم (٣٨): حالة التوضُّعات تحت أرضيَّة **صورة رقم (١٧): الصواعد والنوازل**

٢- مبدأ الاستمرار:

ينصُّ هذا المبدأ على أنَّهُ:

(للطبقة الواحدة عمر واحد في أي مكان وجدت فيه).

ولكن هُناك صعوبة في تطبيق هذا المبدأ، لأنَّه ليس من السهل متابعة طبقةٍ ما لعدَّة أمتار أو لعدَّة كيلومترات، فالأمر يتعلَّق هُنا بصعوبة التعرُّف إلى الطبقة نفسها في مكانين مُتباعدين دون الحاجة إلى مُتابعتها.

٣- مبدأ الهوية الباليونتولوجيَّة:

تضم غالبيَّة الصخور الرسوبيَّة في صلبها بقايا أو آثار لكائنات حيَّة قديمة كانت تعيش في المدَّة الزمنيَّة نفسُها التي توضَّعت فيها تلك الصخور، ونُطلق على هذه البقايا اسم **المُستحاثَّات (Fosiles).**

إنَّ كُل تشكيلة صخريَّة تضم مُستحاثات مُتميزة عن مُستحاثات التشكيلة الأُخرى، أي أنَّ لكُل تشكيلة صخريَّة مُستحاثاتها المُميَّزة أو هويتها الباليونتولوجيَّة، لذا ينصُّ هذا المبدأ على أنَّه:

(لمجموعة من الطبقات عمر زمني واحد إذا كانت تضم المستحاثات نفسها).

نُصادف في طبقات الصخور الرسوبيَّة أشكالاً عديدة من المُستحاثات، يُطلق عليها اسم **المُستحاثات الستراتيغرافيَّة** أو **المستحاثات المميِّزة**، والتي تأخذ عدَّة صفات أهمَّها:

أ- أن تكون ذات انتشار جغرافي، بحيث يُمكن استخدامها كدليل في مسافات مُتباعدة.

ب- أن يكون تغيُّرها أو تطوُّرها سريعاً خلال فترة وجودها، بحيث يكون لكل نوع فيها فترة وجود قصيرة جدَّاً حيثُ يكون نوعاً محدَّداً.

- التوافق وعدم التوافق في توضُّع الصخور (Conformity Unconformity):

من خلال دراسة المقاطع الجيولوجيَّة المُختلفة، يُمكن للتوضُعات الصخريَّة أن تظهر بأشكالٍ مُختلفة، ففي كثير من الحالات تظهر طبقات الزمن الواحد بشكلٍ تدريجي حسب العُمر القديمة في الأسفل والحديثة في الأعلى، دون فقد أي جزء منها أو انقطاعه، ويكون توضُّع الطبقات التي تعود إلى عمر زمني واحد بشكلٍ متوازٍ فيما بينها، يُطلق على مثل هذا التوضُّع اسم **التوافُق** في نظام توضُّع الصخور، (شكل٣٩).



شكل رقم (٣٩): توافُق طبقي



صورة رقم (١٨): توافق طبقي

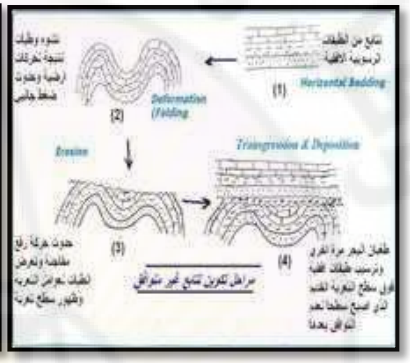
ويَظهر هذا التوضُّع للمواد الصخريَّة والمجروفات التي ترسَّبت في الحوض البحري خلال زمن معيَّن بأنَّه لم يحدث فيها أيِّ انقطاع في الترسيب.

ولكن يُمكن أن تتوضَّع الصخور بشكلٍ غير متوافق، تظهر في طبقات القشرة الأرضيَّة بسبب فقدان المقطع الجيولوجي لإحدى الطبقات ممَّا يدل على:

– أنَّ المنطقة تعرَّضت لانقطاع في الترسيب زمن تشكُّل هذه الطبقة.

– إلى جانب الحركات البنائيَّة الإيجابيَّة (نهوضاً) التي أصابت القشرة الأرضيَّة.

هذا الانقطاع في الترسيب يُمكن أن يستمر مدة زمنيَّة طويلة أو قصيرة، فعلى سبيل المثال: يُمكن أن نجد توضُّعاً للصخور الكريتاسيَّة مُباشرةً فوق الصخور الترياسيَّة، أي فقدان طبقة الجوراسي، مثل هذا الوضع يُسمَّى عدم التوافُق الطبقي الستراتيغرافي، (شكل٤٠).



شكل رقم (٤٠): عدم توافق طبقي



صورة رقم (١٩): عدم توافق طبقي

وإذا وجدت طبقات صخريَّة من أعمار مُختلفة إلى جانب بعضها، عندها يُسمَّى هذا الوضع بعدم التوافُق المتوازي، إضافةً إلى عدم التوافُق الطبقي، ويكون سطح عدم التوافُق عادةً غير مستو، وذلك نتيجةً لعمليَّات الحت والتعريَّة التي أصابت الطبقات المُتكشفة، والتي غُمرت بمياه البحر فيما بعد (عدم توافُق حتِّي).

أمَّا في حالة عدم التوافق الزاوي، فيُشاهد دائماً انقطاع ستراتيغرافي، ولكن أهم ظاهرة هي الزاوية المُختلفة لميلان الطبقات العليا والطبقات المُغطاة بها، ولهذا فإنَّ عدم التوافق يُمكن أن يظهر فقط عند تعاقُب الطبقات على مسافات شاسعة تبلُغ عشرات الكيلومترات وحتَّى مئات الكيلومترات.

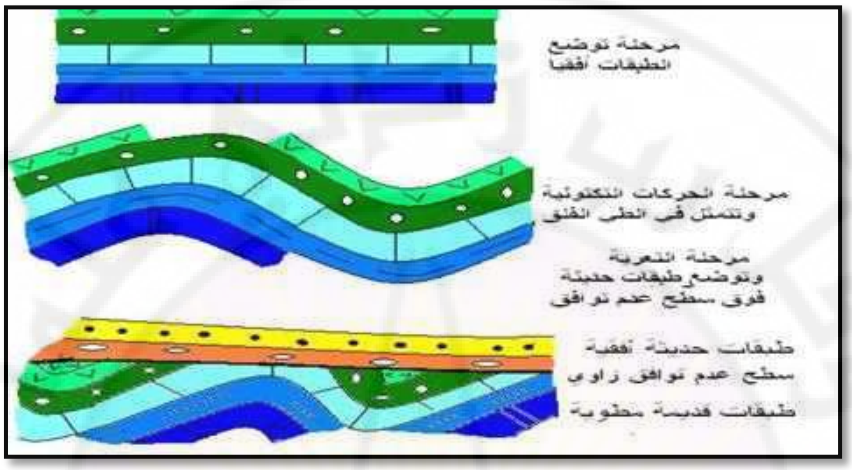


صورة رقم (٢٠): عدم توافق زاوي

ففي هذه الحالة فقط يُمكن مشاهدة ذلك وتحديدُه على أساس مُقارنة آبار السبر، وتبيان كيفيَّة التحوُّل التدريجي لأسفل الطبقات الحديثة إلى طبقات أقدم مُختلفة من حيث العمر، مثل هذا النوع من عدم التوافُق يُسمَّى بعدم التوافُق الجُغرافي.

وفي الحالات التي يكون فيها سطح الطبقات القديمة محزَّزاً وحتيَّاً، وبعد توضُّع الطبقات الأحدث ينشأ تجاوُر غير متوافق، حيثُ تملأ التوضُّعات الحديثة مُنخفضات التضريس المُغطَّى بهذه التوضُّعات.

وكذلك هناك تجاوُر لعدم توافق متوازي عندما تكون الطبقات الصخريَّة تملأ المُنخفضات، وتُغطِّي المجروفات الأقدم حيثُ تتوضَّع بشكلٍ متوازي إلى جانب بعضها، ويُسمَّى تجاوُراً غير متوافق، وأحياناً تتحوَّل الطبقات التي تعرَّضت للحت إلى ضغوط مُشكِّلَةً طيَّات التوائيَّة، أمَّا الطبقات المجاورة فتكون أُفقيَّة، (شكل ٤١).



شكل (٤١): توضُّع غير متوافق

أحياناً لا يكون سطح عدم التوافُق واضحاً بشكلٍ دائم كما ذكرنا آنفاً، فعلى سبيل المثال: لا يظهر أحياناً ضمن الصخور ذات التركيب الواحد والمُختلفة من حيث العمر، ويُطلق على مثل هذا النوع من عدم التوافُق بعدم التوافُق المُخفي.

إنَّ دراسة ظاهرة عدم التوافُق تُعطي إمكاناً للحُكم على تاريخ حركات القشرة الأرضيَّة خصوصاً عُمر التشوُّهات الالتوائيَّة والانكساريَّة التي أصابت طبقاتها.

التأريخ المطلق (تحديد العمر المطلق):

في عام (1897م) اكتشف العالم الفرنسي بكويرل (Becguerel) ظاهرة النشاط الإشعاعي، حيثُ أنَّهُ وجد أنَّ ذرَّة بعض العناصر مثل اليورانيوم والتوريوم غير مُستقرَّة، وتتحلَّل تلقائيَّاً إلى عُنصر آخر ينتُج عن انطلاق أشعة ألفا وبيتَّا وغاما، وأنَّ عدد الذرات التي تتحلَّل يكون دائماً بنسبة ثابتة من مجموع عدد الذرَّات في أيِّ كتلة لهذا العُنصر، وأطلق على هذه النسبة اسم ثابت التحلُّل (Decay Constant)، وهذا الثابت لا يتأثَّر بالحرارة أو الضغط أو أي مُتغيِّرات أُخرى، وكُل عنصُر مُشع له ثابت تحلُّل خاص به.

معنى هذا أنَّه إذا عُزلت كتلة مُعيَّنة من أي عُنصر مُشع، وتُركت لتتحلَّل إشعاعيَّاً لفترة مُعيَّنة، فإنَّهُ من المُمكن حساب هذه الفترة الزمنيَّة بتحديد كميَّة العُنصر المُشع المُتبقيَّة، وكميَّة الناتج النهائي للتحلُّل الإشعاعي.

وبهذا وجد الجيولوجيون وسيلة فعَّالة ودقيقة يُمكن من خلالها معرفة عمر الأرض وعمر الصخور المُختلفة، وبالتالي تقسيم تأريخ الأرض إلى فتراتٍ زمنيَّة متتالية مقدَّرة بالسنين، ولهذا ظهر فرع جديد لعلوم الأرض وهو الجيوكرونولوجي (Geoghronology) يُحدد عمر الصخور بالطرق الإشعاعيَّة، وقد بلغ عُمر صخور القشرة الأرضيَّة (3900) مليون سنة، فإذا أعطينا الأرض (600) مليون سنة أُخرى للفترة التي مرَّت منذُ انفصالها عن الشمس، وحتَّى برودتها إلى الدرجة التي تسمح بتكوُّن القشرة الأرضيَّة، يكون عُمر الأرض الكُلي هو (4500) مليون سنة، وهو العُمر المُقدَّر معملياً، علماً أنَّ عُمر الشمس يُقدَّر بـ (5000) مليون سنة.

من أهم الطرق لتحديد عمر الأرض المطلق هي:

١- طريقة الرصاص:

وهي أحد أهم الطرائق المعمول بها في تحديد عُمر الصخور، مبنيَّة على أساس التفكُّك الإشعاعي لليورانيوم U_{238}، U_{235}، Th_{232}، وكما تُسمَّى تفكُك إشعاعات ألفا.

تتلخَّص العمليَّة بطرح جزيئات ألفا التي تُشكِّل نواة الهليوم (He_4)، وفي هذه الحالة ينشأ كُل مرة عُنصر جديد وزنُه الذري أقل بـ (4) من مثيله الذي تحوَّل منهُ، وهكذا فإنَّ نظير (U_{238}) بعد تحلُّل ألفا يتحوَّل إلى نظير التوريوم (Th_{234})، وهكذا.

وعند تحلُّل (U_{238}) تتشكَّل ثمان ذرَّات من $8(He_4)$، وعند تحلُّل (U_{235}) تتشكَّل سبع ذرَّات $7(He_4)$، وعند تحلُّل (Th_{232}) تتشكَّل ست ذرَّات من $6(He_4)$، وتحتوي الفلزات عادةً على اليورانيوم والتوريوم، والنواتج النهائيَّة لتفكُكها هي الرصاص والهليوم.

وفي هذه الحالة فإنَّ النظائر المُشعَّة للرصاص يكون لها أوزان ذريَّة مُختلفة من مُخطط التحوُّلات الذريَّة لهذه العناصر يكون الناتج كما يلي:

$$Th_{232} \longrightarrow 6He_4 + Pb_{258}$$

$$U_{235} \longrightarrow 7He_{24} + Pb_{257}$$

$$U_{238} \longrightarrow 8He_4 + Pb_{256}$$

ولحساب عمر الصخور لا بُدَّ من تحديد كميَّة اليورانيوم والتوريوم والرصاص المُشع في الفلز، وتركيبه الذرِّي، وكميَّة الرصاص النقي (Pb_{204}).

٢- طريقة الكربون (C14):

يُمكن استخدام هذه الطريقة لتحديد العُمر المُطلق للتوضُّعات الرُباعيَّة التي تشكلَّت مُنذُ (30 – 10) ألف سنة بشكلٍ أساسي.

وهذه الطريقة مبنيَّة على أساس التحلُّل الإشعاعي لنظير الكربون (C14)، الذي يمتصُه النبات من الجو أثناء فترة حياته، وتكون كميَّة الكربون المُشع والكربون غير المُشع في فترة حياة النبات ثابتة ضمن نسبة مُحددة، وبعد موت النبات يبدأ الكربون المُشع بالتفكُّك، وبمعرفة درجة تفكُّك الكربون المشع (C14)، وتحديد كميَّته المحفوظة في البقايا النباتيَّة يُمكن تحديد الزمن الذي مات فيه النبات، وعمر الصخور الحاوية على هذا النبات، ونظراً لسرعة تحلُّل الكربون المُشع نسبيَّاً، فقد استُخدم في التنقيب الأثري، حيثُ تمَّ وضع سُلَّم للعصور المُبكرة للحضارات البشريَّة.

٣- طريقة الأرغون (Argon)، أو طريقة الأرغون والبوتاسيوم:

مُلخص هذه الطريقة هو: دراسة التحوُّل الإشعاعي لنظير البوتاسيوم ذي الوزن الذري (40) (K40)، وقد وضع العالم (كيرلينغ ا. ك.) بداية لاستخدام الأرغون.

ويتلخَّص التحوُّل الإشعاعي للنظير (K40) بامتصاص إلكترون ذري من الغلاف الالكتروني القريب منه، ويتشكَّل نظير ثابت من الأرغون له الوزن الذري(Ar40) نفسه، وتتراكم هذه النظائر في الفلزَّات والصخور، وعمليَّة التحوُّل تتم حسب العلاقة التالية:

$$K40 + e \longrightarrow Ar40$$ الاستيلاء الالكتروني

ويتم تحديد عُمر الفلزَّات والصخور بطريقة الأرغون والبوتاسيوم حسب العلاقة التالية:

$$\frac{Ar40}{K40}$$

كُلَّما كانت القيمة الناتجة أكبر كانت الصخور أو الفلزَّات أقدم، وعلى العكس كُلَّما كانت هذه القيمة أقل كانت أحدث.

عمر الأرض:

تُشير أحدث النظريَّات لتشكُّل المجموعة الشمسيَّة بأنَّها عبارة عن سحابة غُباريَّة غازيَّة، وتتركَّب هذه الكواكب من مواد كثيفة وثقيلة، ولها سطح صلب ذو خواص مُشتركة تجعلُنا ننسُب مواد الكواكب إلى طبيعة واحدة.

وبغض النظر عن التشابه في تشكُّلها وتركيبها، وتشابُه المواد المُتشكلَّة منها، يُلاحظ في الوقت الحاضر تباين في مستويات تطوُّر هذه الكواكب، فعلى جميع كواكب المجموعة الشمسيَّة ما عدا الأرض تختفي دلائل الحياة عليها، وقد وصلت الأرض إلى مرحلة متطورة جدَّاً بتنوُّع الكائنات الحيَّة وغناها.

إنَّ ظاهرة نشوء الحياة على سطح الأرض هي ظاهرة فريدة في المجموعة الشمسيَّة، ولكن هذه الظاهرة لم تكُن عمليَّة مُصادفة، وإنَّما سبقتها سلسلة من الظروف المُلائمة، وقبل ظهور الحياة تشكلَّت مُركبات مُعقدة التركيب والفعاليَّة، تتشابك من خلالها مجموعة من العلاقات المُتبادلة بين العوامل الطبيعية التي توجَّهت باتجاهٍ مُحدَّد نتيجةً للثابت النسبي للمكونات الحراريَّة والمائيَّة.

ونتيجةً لاستخدام الطرائق الإشعاعيَّة تمَّ الحصول على معلومات عن عُمر الأرض المُبكر، وعلى أساس ذلك يُمكن الافتراض أنَّ الأرض وبقيَّة كواكب المجموعة الشمسيَّة وُجدت مُنذُ (4500 – 4700) مليون سنة، ويُمكن تقسيم عمر الأرض إلى:

المرحلة المبكرة:

وهي مرحلة الولادة، وتتشكَّل الأرض من المواد الفوضويَّة المؤلَّفة من المواد الصلبة والحجريَّة، والمواد الدقيقة والغباريَّة، ونتيجةً للتجاذُب بين المواد نجد أنَّ المواد الأكبر تجذُب إليها المواد الأصغر، وخلال هذه المرحلة تشكَّل نحو (95%) من كتلة الأرض الحاليَّة، وقد افترض أحد الباحثين أنَّ مرحلة تشكُّل الأرض استمرَّت (400) مليون سنة، أي من (4600) مليون سنة وحتَّى (4200) مليون سنة مضت، وبعد هذه المرحلة دخلت الأرض مرحلة التطوُّر الفلكي.

مرحلة انصهار الغلاف الخارجي للأرض:

انطلاقاً من تشابه التاريخ الأول للكوكب وفي المرتبة الأولى القمر وكوكب عُطارد والمريخ، فسطح القمر تشكلَّ من المواد المُهليَّة، وقد عاش كُل من عُطارد وغيرهُ من الكواكب مرحلة مُتشابهة، إذاً فإنَّ التركيب المُهلي لجميع الكواكب هو صفة عامَّة.

ومرحلة الانصهار المُبكر للغلاف الخارجي للأرض هي الاعتراف بأنَّ الأرض تتطوَّر كبقيَّة الكواكب، ويعود إلى هذه المرحلة التمايُز العام لمواد الأرض وتشكُّل نواتها والمعطف والقشرة الأرضيَّة.

ويفترض عدد من الباحثين أنَّ أغلفة الأرض تشكلَّت خلال الألف مليون سنة الأولى من تشكُّلها، علماً أنَّ المجال الطبيعي كان وحيداً، كما كان كامل سطح الأرض مؤلَّفاً من بحرٍ من المصاهير الصخريَّة الذائبة مع انطلاق الغازات منها.

المرحلة القمرية:

كان سبب تبرُّد المواد المُنصهرة على سطح الأرض هو إشعاع الحرارة إلى الفضاء، كما أنَّ تناقُص سقوط القنابل النيزكيَّة ساعد على تشكُّل قشرة أوليَّة رقيقة ذات تركيب بازلتي.

وقد حدث في التاريخ المُبكر للأرض أن تشكلَّت القشرة الغرانيتيَّة القاريَّة، وأقدم المواد الغرانيتيَّة التي تمَّ الحصول عليها ترجع إلى عمر لا يقل عن (3500) مليون سنة، أمَّا من حيث طبيعة التشكُّل فليس هُناك وجهة نظر ثابتة حول تشكُّل القشرة الغرانيتيَّة، فبعض الباحثين يعزونها إلى تدفُّق مواد النواة إلى السطح عندما كانت في حالة الانصهار، وبعضهم الآخر يعُدَّها صخوراً تالية، ولكن الانصهار السابق أو التحوُّل العميق في نهاية الأمر حوَّلها إلى صخور مُتبلورة مُهليَّة.

خلال مرحلة تشكُّل القشرة الأرضيَّة كانت درجة الحرارة على سطحها أعلى من (100°م)، مع استمرار سقوط الأحجار النيزكيَّة على الأرض.

ويتميَّز سطح الأرض كما هو الحال في بقيَّة الكواكب بتضاريس تحتوي على عدد كبير من الفوهات الناتجة عن سقوط النيازك، وقد استمرَّت هذه الحالة من (4200) مليون سنة وحتَّى (3800) مليون سنة مضت.

وخلال المرحلة القمريَّة تبرَّدت الأرض، وهبطت درجة حرارة سطحها من درجة انصهار البازلت (800°م – 1000°م) وحتى (100°م).

أغلفة الأرض وتطورها :

– تطور الغلاف الجوي (Atmosphere):

في مرحلة الأرض المُبكرة، وفي مرحلة انصهار سطحها كانت تطرح في الجو كميَّات كبيرة من الغازات، وتشكَّل على أثر ذلك الغلاف الجوي الأولي، وقد كانت الغازات المطروحة في الجو غاز الفحم، وبخار الماء، وهكذا فإنَّ تركيب الغلاف الجوي للأرض الذي تشكَّل على أساس طرح الغازات وبخار الماء في فترة انصهار المواد كان مُشابهاً للمواد الطيَّارة المُنطلقة من الاندفاعات البُركانيَّة في الوقت الحاضر.

وينطلق من البراكين إضافةً إلى غاز الفحم وبخار الماء، دُخان حامض (HF,HCL)، وعند درجة الحرارة (500°م) ينطلق الكبريت ومُركباته (H_2S , SO_2)، وعندما تنخفض درجة الحرارة أكثر ينطلق ملح النشادر، ففي المرحلة المُبكرة كان تركيب الجو مؤلَّفاً من بخار الماء مع شوائب من غاز الفحم بشكلٍ أساسي، ونظراً لارتفاع نسبة البخار في الجو فإنَّه يتكاثف وينزل على شكل أمطار، وبما أنَّ درجة حرارة الأرض نحو (100°م) فإنَّ الأمطار تتبخَّر من جديد وتعود للجو، وقد كانت الدورة المائيَّة على الشكل التالي:

الدورة المائيَّة: بخار ⟵ أمطار ⟵ بخار

وبعد انخفاض درجة حرارة سطح الأرض إلى ما دون (100°م)، بدأ البُخار يصل إلى سطح الأرض على شكل أمطار، وتشكَّل الجريان السطحي والشبكة المائيَّة، وتشكلَّت الأحواض المائيَّة، ومُنذُ هذا التاريخ بدأ التاريخ الجيولوجي.

إنَّ تشكُّل الأحواض المائيَّة على سطح الأرض كان له تأثير كبير في الغلاف الجوي وتطوُّره اللاحق، فكميَّة غاز الفحم بدأت بالتناقُص، وغاز الفحم سهل الانحلال في الماء، وهُنا يُمكن القول أنَّه حتَّى بداية العصور الجيولوجيَّة تغيَّر تركيب الجو ومكوناته إلى درجة كبيرة، كما أنَّ الظروف الطبيعيَّة تغيَّرت أيضاً، وأصبح الوسط الطبيعي على الأرض لا يُشبه الوسط الذي كان على الكواكب الأخرى في مراحلها الأولى.

يتكوَّن الغلاف الجوي من خليط من النتروجين (78%) بالحجم، والأوكسجين (21%)، وأرغون وهو غاز خامل (0.9%)، وثاني أوكسيد الكربون (0.03%)، ونسب ضئيلة من بعض الغازات الخاملة الأُخرى، انظر الجدول (١):

جدول رقم (١): تركيب الغلاف الجوّي

العنصر	النسبة الحجميَّة (%)	النسبة الوزنيَّة (%)
N_2	78.088	75.527
O_2	20.949	23.143
Ar	0.930	1.282
Co_2	0.030	0.045
Ne	$^{٣}(10)\times1.8$	$^{٢}(10)\times125$
H_2	$^{٤}(10)\times5.24$	$^{٥}(10)\times7.24$
Ch_4	$^{٤}(10)\times1.4$	$^{٥}(10)\times7.75$
Kr	$^{٤}(10)\times1.14$	$^{٤}(10)\times3.3$
N_2O	$^{٥}(10)\times5$	$^{٥}(10)\times7.6$
H_2O	$^{٥}(10)\times5$	$^{٦}(10)\times3.48$
Xe	$^{٦}(10)\times8.6$	$^{٥}(10)\times3.9$

ويمتدَّ تركيب الغلاف الجوي بهذه النسب إلى ارتفاع نحو (60 كم) فوق سطح البحر، ومن المكوِّنات الهامَّة في الغلاف الجوي بخار الماء الذي يصل متوسط نسبته نحو (3%)، وقد يصل إلى (5%) بالنسبة إلى المكونات المذكورة سابقاً.

أقسام الغلاف الجوي:

يُقسم الغلاف الجوي إلى عدَّة طبقات وهي:



التربوسفير (Troposphere): وهو النطاق السُفلي من الغلاف الجوي، يتراوح سمكه ما بين (18كم) عند خط الاستواء وَ (6 كم) عند القطبين، تقلُّ فيه درجة الحرارة مع الارتفاع، تحدُث في هذا النطاق كل الظواهر المُناخيَّة التي يتأثَّر بها سطح الأرض مثل الرياح والأمطار والسحب والعواصف والأعاصير وتساقُط الثلوج والبَرَد.

ثُمَّ تأتي **طبقة الستراتوسفير (Stratosphere):** التي تبلُغ سماكتها نحو (40 كم)، تعود درجة الحرارة إلى الارتفاع لتصل إلى (10) درجات مئوية عند حدَّها العلوي، أمَّا الضغط فإنَّه يتناقص باستمرار، تحوي على طبقة الأوزون (O3) التي تحمينا من الأشعة فوق البنفسجية الضَّارة، فأشعة الشمس التي تدخُل الغلاف الجوي من الخارج فيها نسبة قاتلة من الأشعة فوق البنفسجيَّة، ولكن يتم جزء كبير من هذه الأشعة عن طريق تحوُّل الأوكسجين إلى غاز الأوزون (Ozone – O3)، وهذه الطبقة هي التي تحمي الحياة البريَّة، ولولا ذلك لظلَّت الحياة مقتصرة على الكائنات البحريَّة فقط، حيثُ إنَّ الماء أيضاً يمتص هذه الأشعة، وقد اكتُشف حديثاً ثُقب الأوزون الذي يؤدِّي إلى وصول الأشعة فوق البنفسجيَّة إلى الأرض بمعدَّلٍ كبير، وله آثار ضارَّة على الكائنات الحيَّة وعلى المُناخ بصفة عامَّة على الكُرة الأرضيَّة، ويُعزى سبب هذا الثقب إلى التوسُّع في استخدام بعض الغازات الصناعيَّة التي تتصاعد إلى طبقة الأوزون، وتعمل على تحلُّله إلى أوكسجين عادي بمعدَّل أسرع من تكوُّنه بواسطة الأشعة فوق البنفسجيَّة، وهذا يؤدِّي إلى تآكُل طبقة الأوزون.

أمَّا طبقة الميزوسفير (Mesosphere): وهي الطبقة التي تتشكَّل فيها الغيوم الفضيَّة، وتبدأ الأقسام العليا من هذه الطبقة بتأين الغازات (أي انفصال الكهارب عن الذرات)، تمتَّد هذه الطبقة من (50–80 كم) من سطح الأرض، وتتناقص في هذه الطبقة درجة الحرارة لتصل إلى (75°– 95°م) عند حدودها العليا.

ثُمَّ تأتي طبقة **التيرموسفير (Thermosphere):** وفيها تحترق الشُهب أو النيازك الساقطة باتجاه الأرض.

أخيراً تأتي طبقة **الاكزوسفير (Exospher) أو النطاق الخارجي:** وتبدأ من ارتفاع (800 كم)، وتتناقص فيها كثافة الهواء، ويتم في هذه الطبقة تولُّد الكربون (C14) نتيجة اصطدام ذرات الآزوت بالبروتونات ذات السرعات الكبيرة، ويُعتبر ذلك المصدر الوحيد لتشكُّل هذا النظير المُشع للكربون الذي يُستخدم في حساب العُمر المُطلق للصخور.

تطوُّر الغلاف المائي (Hydrosphere):

فما إن انخفضت درجة الحرارة إلى ما دون (100°م)، حتَّى تغيَّرت حالة الماء، فبُخار الماء الموجود في الجو بدأ يتكاثف وتشكَّل على سطحها الغلاف المائي، كما تشكَّل الجريان السطحي والضُمني، ونشأت الأحواض المائيَّة ومنها البحار والمُحيطات، وبدأت دورة الماء الطبيعيَّة، كان حجم ماء المُحيطات قريباً جدَّاً من حجمه في الوقت الحاضر، كما أنَّ تركيبهُ الكيميائي لا يختلف عن تركيبه الحالي، ومن هُنا بدأ تطوُّر الأرض يدخُل في طوره الجديد.

وكان للدورة المائيَّة أهميَّتُها بالنسبة للجو والصخور، حيثُ تمَّت خلال هذه العمليَّة امتصاص للأشعة الشمسيَّة وتوزيعها على سطح الأرض، ونظراً لحركة الماء غير العاديَّة وفعاليَّتُها الكيميائيَّة، فإنَّه يدخل في علاقات مع العوامل الطبيعيَّة، ويُسهم في تشكيل المُركَّب الطبيعي العام الذي يُطلق عليه في الوقت الحاضر اسم الغلاف الجوي.

كما أنَّ تغيُّر العوامل الرئيسة في الطبيعة مُرتبط بظهور الكتل المائيَّة الضخمة على الأرض، تشغل حوالي ¾ من مساحة سطح الأرض، إذ يوجد الماء في الحالة السائلة كما في البحار والمحيطات، وقد يُوجد في الحالة الصلبة بشكل ثلوج وجليديّات تُغطِّي عُشر مساحة اليابسة، ويُوجد في الحالة الغازيَّة (بُخار الماء) بشكلٍ رئيس في الغلاف الجوي على ارتفاع

(10–15 كم) عن سطح الأرض، وتهُمُّنا بشكلٍ رئيس الحالة السائلة للماء، ذلك لفعَّاليتها الكبيرة في العمليَّات الجيولوجيَّة المُختلفة.

يختلف عُمق هذا الغلاف من مكانٍ لآخر، يُقدَّر مُتوسط عُمق هذا الغلاف بـ (4000 م) ويصل إلى (10500 م) في أعمق أجزائه.

تطوُّر الغلاف الحيوي – البيوسفير – (Biosphere):

وهو الجزء من الكُرة الأرضيَّة الذي تعمُره الكائنات الحيَّة، وتتراوح سماكته من (0.002) إلى (0.004) من قطر الأرض، يتداخل مع الغلاف الصخري والجوي، ويُمكن أن يصل إلى ارتفاع (25 كم) فوق سطح الأرض، وإلى أكثر من (15 كم) تحت سطحها.

حتَّى بداية التاريخ الجيولوجي، أي حتَّى الوقت الذي كانت فيه درجة حرارة سطح الأرض والطبقة القريبة منها أعلى من (100°م)، فإنَّ الحياة على سطح الأرض لم تكُن مُمكنة، ولكن عندما انخفضت درجة الحرارة إلى ما دون (100°م)، حدثت عمليَّة تحوُّل كبير لبخار الماء وتحوُّله إلى ماء على سطح الأرض، ممَّا أدَّى إلى تشكُّل الظروف الطبيعيَّة المُلائمة لولادة الحياة على سطح الأرض، فالماء يُشكِّل أهم الشروط الضروريَّة لولادة الحياة، وإنَّ عمليَّة ولادة الحياة من المادة الميتة عملية مُعقدَّة للغاية.

إنَّ ارتقاء المُركبات الكيميائيَّة المُتحوِّلة لولادة الحياة بدأت مع ظهور الكتلة المائيَّة على الأرض، أي منذُ العصور الجيولوجيَّة المُبكرة، إنَّ أقدم بقايا الكائنات الحيَّة يرجع إلى (3100) مليون سنة إذ وُجدت في الغضار الصفاحي في جنوب أفريقيا، وعندها بدأ تطوُّر الغلاف الحيوي حتَّى وصل إلى شكلهُ الحالي.

تطوُّر الغلاف الصخري:

يُمثِّل الجزء الصلب من الأرض، ويشمُل القشرة الأرضيَّة، وجزء من باطن الأرض، يقع أسفل القشرة الأرضيَّة، يتشكَّل الغلاف الصخري من القارات والأحواض، في بداية التأريخ الجيولوجي، مع ظهور الكتلة المائيَّة على الأرض، وبداية تأثير الدورة المُناخيَّة للماء أصبحت العمليَّات الخارجيَّة الجيومورفولوجيَّة مُشابهة للوقت الحاضر، وقد وضعت الحركات التكتونيَّة بصماتها أيضاً، وبدأت عمليَّة تشكُّل المناطق الجيوسينكلينياليَّة (مناطق المُقعرَّات الجيولوجيَّة) في الآركي،

وكانت هذه العمليات مُستمرة ودون انقطاع مع المراحل المُختلفة لتُشكِّل التضاريس، وتتوافق كُل مرحلة جيوسينكلينالياًّة مع شكل مُعيَّن من التضاريس.

وتُسمَّى آخر المراحل التكتونيَّة الأساسيَّة لتطوُّر القشرة الأرضيَّة خلال الحقبين الثاني والثالث بمرحلة تشكُّل القارات والمُحيطات التي استمرَّت (250) مليون سنة.

وقد أكدَّت الدلائل على أنَّ طبقة الصخور التي توجد تحت التضاريس الظاهرة للقشرة الأرضيَّة تتسم بتجانس وتماثُل تركيبها، ولكن كُلَّما تعمقنا داخل الأرض تختلف نوعيَّة الصخور، وعند فحص صخور القشرة الأرضيَّة تبيَّن أنَّ نصف مُكوِّنات هذه الصخور يتألَّف من الأوكسجين مُتحداً مع معادن ومُركبات كيميائيَّة أُخرى.

جدول رقم (٢): التركيب الكيميائي لصخور القشرة الأرضيَّة

العُنصر	النسبة المئويَّة للكتلة
الأوكسجين	%46.71
السيليكون	%27.69
الألمنيوم	%8.7
الحديد	%5.05
الكالسيوم	%3.65
الصوديوم	%2.75
البوتاسيوم	%2.85
المغنيزيوم	%2.08
الهيدروجين	%0.14
التيتانيوم	%0.12
الفوسفور	%0.12

ثانياً- الأحقاب الجيولوجيَّة:

قادت سلسلة الدراسات والأبحاث الاختصاصيَّة التي قامت بها كوكبة أو مجموعة من الجيولوجيين والباليونتولوجيين الرُواد منذُ مطلع النصف الأول للقرن التاسع عشر إلى إلقاء الضوء على التاريخ الطبيعي للكرة الأرضيَّة بشكلٍ عام، كما أمكن تأريخ الحوادث الكُبرى التي أدَّت دوراً في تحديد هويتها وملامحها النوعيَّة المُميَّزة، ولقد تمكَّن الاختصاصيون من تقسيم تأريخ الأرض من حيث الزمن النسبي إلى مجموعة من الفترات والمراحل الزمنية الكُبرى التي اجتازت كُل منها بسيطرة شبه مُطلقة لكائنات حيوانيَّة أو نباتيَّة مُحدَّدة، كما يتمايز بعضُها عن بعض بحدوث تغيُّرات عامَّة ومحسوسة، وذلك على صعيد توزُّع البحار واليابسة نتيجة للتأثير المُباشر للحركات المولِّدة للجبال.

إنَّ الفترات الآنفة الذكر هي ما اتفقَ على تسميَّتها الأحقاب الجيولوجيَّة التي يُميَّز فيها:



- **حقب فجر الحياة (الاركيوزويك Archeozoic)**
- **حقب الحياة الأولى (البروتيروزويك Proterozoic)**
- **حقب الحياة القديمة (البالوزويك Paleozoic)**
- **حقب الحياة الوسطى (الميزوزويك Mesozoic)**
- **حقب الحياة الحديثة(السينوزويك Cenozoic)**

إنَّ التقسيمات الزمنيَّة للأحقاب الجيولوجيَّة الأربعة الأخيرة تُشكِّل ما يُعرف بالسلَّم الزمني، في حين أنَّ الصخور والتوضُّعات الجيولوجيَّة التي تُقابلها تُشكِّل ما يُعرف بالعمود الطبقي الجيولوجي، وسوف نتعرَّض في دراستنا الحاليَّة إلى الأحقاب الجيولوجيَّة والأحداث الرئيسة وأشكال الحياة والنماذج المُناخيَّة التي سادت خلالها.

البريكامبري (Precambrian):

تعُدُّ هذه الحُقبة أولى فترات التاريخ الطبيعي للأرض وأكثرها طولاً على الإطلاق، إذ أنَّها استمرَّت خلال المدَّة المحصورة بين ما قبل (5000) مليون سنة وحتَّى ما قبل (580) مليون سنة، الذي يُمثِّل بداية الكامبري (Cambrian)، الذي اشتقَّ اسمه من قبيلة كامبر (أو الكامبريين Cambres) التي كانت تقطن بلاد الغال (الويلز) (Payde Galles).

وفيما يلي نُبيِّن أقسام البريكامبري:

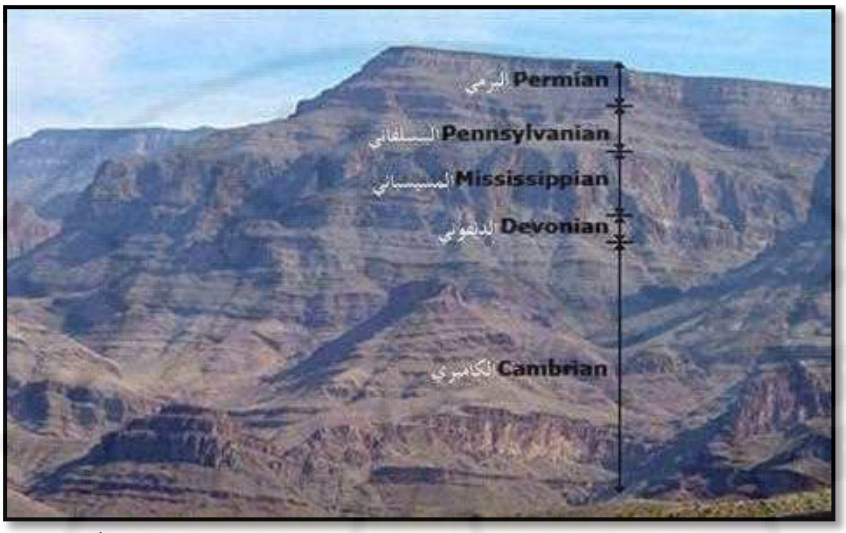
جدول رقم (٣): أدوار البريكامبري

الدور	الفترة بملايين السنين
بريكامبري الختامي – الفونسكي	1600 – 580
البريكامبري الحديث	2400 – 1600
البريكامبري القديم = الآركي	5000 – 2400

أمَّا الأحياء التي ظهرت خلال البريكامبري فتتمثَّل في المفصليَّات، والرخويَّات، وعُضديات الأرجل (Brachiopoda)، ومعائيَّات الجوف (Colelenterate)، والطحالب والفطور.

البريكامبري في مختلف أنحاء الكُرة الأرضيَّة:

تنتشر أراضي البريكامبري وتوضُّعاته في القارَّات كافَّة بلا استثناء، كما أنَّها تنتشر في مدغشقر أيضاً (Madagascar)، ويُمكن عد البريكامبري بمنزلة الهيكل العظمي، أو بمنزلة عظام القارَّات المذكورة، وتتكشَّف توضُّعاته على السطح أحياناً كما هي الحال في مجنَّات كندا وغويانا وشرقي القارَّة الأفريقيَّة، وقد تكون محجوبة بتوضُّعات حديثة نسبيَّاً مُحافظة على وضعها، وتطبُّقها الأُفقي الأولي مُشكلَّةً عتبات قاريَّة (Plate – forme)، كما هو الحال في الكولورادو، وفي روسية، وفي القارَّة القطبيَّة الجنوبيَّة، ويُمكننا ملاحظة توضُعات البريكامبري في فرنسة في مناطق كونتنان وبروتانية والفاندية، ومناطق الكتلة المركزيَّة في جزيرة كورسيه (Corse) والمور (Maures)، والفوج (Vasges)، بالإضافة إلى وجود بعض كتل الغرانيت والغنايس في قلب أو نوى سلاسل البيرنييه وسلاسل الألب.



صورة رقم (٢١): صخور حقب الحياة القديمة في بحيرة ميد – الولايات المتحدة الأمريكية

الصخور العائدة إلى البريكامبري:

يتمكَّن الجيولوجي المُتمرِّس من التعرُّف بسهولة فائقة إلى صخور البريكامبري أثناء دراسته وعمله الحقلي مع نسبة خطأ لا تتجاوز (10%) بحالةٍ من الأحوال، ولا سيما أنَّ صخور البريكامبري تمتاز بخصائص وصفات نوعيَّة مُميَّزة من أهمَّها:

أ- أنَّها صخوراً مُتحوِّلة أُعيد تبلوُرها (تبلورت مُجدَّداً)، ومُتورِّقة في أغلب الأحيان تُدعى غالباً باسم الصخور المُتحوِّلة (Metamorphic – Rocks)، أهم أنواعها: الغنايس، والكوارتزيت (Gneeiss)، والميكاشيست (Micaschiste)، والأمفيبوليت (Amphibolite quartzite)، والرُخام أو المرمر (Marbres).

ب- تتعدَّد فيها الصخور البُركانيَّة القديمة التي تكشُف عن نفسها بفضل اللون الأخضر السائد.

ج- كما تكثُر صخور الغرانيت أيضاً.

ولا يجوز في هذا المجال أن يبقى غائباً عن أذهاننا أنَّ هذه الصخور يمكنُها أن تُوجد ضمن توضُّعات وأحقاب جيولوجيَّة حديثة أيضاً، ولكنَّها تنتشر بكثافة وبكثرة ضمن البريكامبري.



صورة رقم (٢٢): الأمفيبوليت – النرويج



صورة رقم (٢٣): صخور البريكامبري غرب استراليا

هذا وتتباين شدَّة أو درجة التحوُّل التي تعرَّضت لها صخور البريكامبري، إذ تُصادف بعض الصخور أو الرسوبات التي خضعت لتحوُّلات أقل أهميَّة، ولا سيما خلال البريكامبري الحديث، فقُرب بُحيرة أونيغا (Onéga) في كاريلية (Carélie) مثلاً تُصادف طبقة من الانتراسيت (Anthracite) العائد إلى البريكامبري الحديث، فهل تُمثِّل هذه الطبقة توضُّعاً من الفحم القديم، أو أنَّها رسوبات وتوضُّعات فلزيَّة نقيَّة، وفي مثل هذه المعضلة لا بُدَّ من الاعتماد أو الاستناد إلى النظائر المُشعة، حيثُ أنَّ الفحم أو الكربون الأكثر انتشاراً (C12) يكون مُرافقاً بكميَّات محدودة من الكربون (C13) الثابت، ومن الفحم (C14) الشديد التغيُّر مُتباينة بين الكربون (الفحم) ذي الأصل والمنشأ العضوي والفحم ذي المنشأ الفلزي (Mineral) (المعدني)، وفي حالة كاريلين (Carélie) آنف الذكر، فقد بيَّنت التحاليل والدراسات الخاصَّة أنَّه يعود إلى أصل ومنشأ عضوي، تحوَّل إلى انتراسيت فيما بعد تحت تأثير ضغط الطبقات العلويَّة القابعة فوقه من جهة، وتحت تأثير درجات الحرارة العالية السائدة عليه من جهة ثانية، هذا وقد عُثر على توضُّعات من الانتراسيت المُماثلة في كندا يعود عُمرها إلى نحو (1800) مليون سنة.

أمَّا الأهميَّة الاقتصاديَّة لتوضُّعات البريكامبري فإنَّها تتجلَّى في مكامن الحديد الهامَّة جدَّاً، كما عُثر في مناطق البُحيرات العُظمى الأمريكيَّة، وفي البرازيل وولاية مينسوتا، آثار وبصمات

بكتريات حديديَّة خاصَّة مُماثلة تماماً للبكتريات المعروفة حاليَّاً بقدرتها على تركيز وأكسدة الحديد.

أمَّا ندرة الصخور الكلسيَّة خلال البريكامبري أو العائدة للبريكامبري، فإنَّها تُعزى إلى فقره بالأحياء القوقعيَّة (الحاملة للقواقع الكلسيَّة بشكلٍ عام) إلى جانب فقر مياهه بشكلٍ عام بعناصر الكلس المعروفة.

أمَّا الأنقاض الجليديَّة، وتوضُّعات الأحزمة أو الفارف (Varves) المعروفة فتُمثِّل دلائل قاطعة على الجليديَّات المُهمَّة التي شهدها البريكامبري.

وبشكلٍ عام يُمكننا القول إنَّ الصخور البريكامبرية التي تعُد أقدم صخور الكرة الأرضيَّة تُمثِّل آثار رسوبات قديمة تعرَّضت لنشاط تحوُّلي بالغ العُنف والأهميَّة، أي إنَّها لا تُمثل قشرات أوليَّة كما افترضها بعضهم في مطلع عصر النهضة العلميَّة.

المستحاثات القديمة (الأحافير أو الأحفورات القديمة):

وهي نادرة جدَّاً للأسف الشديد، وذلك نتيجةً لـ:

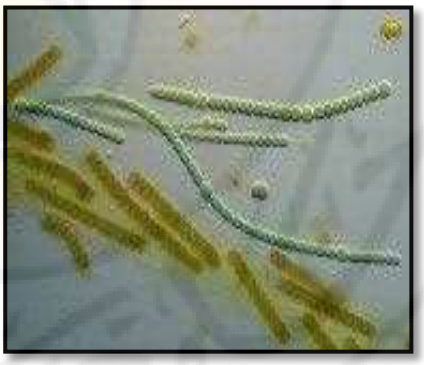
أ- شروط الحرارة والضغط العاليين اللذان أحدثا في ظلِّها نشاط تحوُّلي خرَّبها دون أدنى شك.

ب- كما أنَّ الصخور والتوضُّعات التي شهدت نشاطاً تحوُّليَّاً أقل أهميَّة فقيرة بالمستحاثات، وذلك لأنَّ غالبية أحياء هذه الحقبة كانت فقيرة جدَّاً بالأجزاء وبالقواقع وبالدروع العظيمة القاسية، كما أنَّ غالبيتها كانت تعيش في مياه البحار ومياه البُحيرات والأنهار العذبة أو قليلة الملوحة، ولهذا لم يتبقَ سوى النادر بل النادر جدَّاً من بقايا الأحياء الحيوانية والنباتية القاريَّة.

وتتمثَّل الغالبيَّة الساحقة لبقايا هذه الحقبة بخثرات الكلس المُتصلبَّة حول تجمُّعات ومستعمرات الطحالب والإشنيات الزرقاء المعروفة باسم (Collenias) التي يُبدي مقطعها العرضاني دوائر وحلقات متمركزة أو مُتحلقَّة بعضها حول بعض على غرار الحلقات الشجريَّة التي نصادفها على المقاطع العرضيَّة لجذوع الأشجار العادية، وتمتاز هذه الطحالب بمقاومتها العالية لدرجات الحرارة، حيثُ إنَّ معظمها يُقاوم ضمن الماء حتَّى درجة الحرارة (+98°م)، وتتغذَّى بطرائق ووسائل عدَّة، وبعضها قادر على تثبيت الآزوت الأولي ذاتهُ المُتوافر ضمن المناطق المرزغيَّة، ولقد عُرفت الـ (Collenias) منذُ فجر البريكامبري القديم في مينسوتا.

في حين أنَّ أكثر المُستحاثات قدماً يتمثَّل ببكتريات عُثر عليها في جنوبي إفريقية، ويعود عمرها إلى نحو (3000) مليون سنة، بالإضافة إلى طحالب في المنطقة نفسها (جنوبي إفريقية) يعود عمرها إلى نحو (2600) مليون سنة، كما عُثر على بعض الطحالب والفطور في كندا وفي أونتاريو تعود إلى (2000) مليون سنة، كما عُثر ضمن توضُّعات الاوردواز (Ordoise) الفلنديَّة على مستحاثات (Coryeium enigmaticum) التي تعود إلى نحو (1500) مليون سنة.

أمَّا فيما يتعلَّق بمستحاثات البريكامبري الحديث بين عامي (1200) مليون سنة وَ (580) مليون سنة، فقد عُثر في صخور منطقة لامبال (Lamballe) على بقايا حيوانات وحيدة الخليَّة، كما عُثر في استرالية على حيوانات مجهريَّة غنيَّة جدَّاً بعناصر سيليسيَّة، وعلى بعض الطحالب في إنكلترا، بالإضافة إلى بكتريات حديديَّة عُثر عليها في مينسوتا، وبعض البقايا والمستحاثات المُتفرقة في أنحاء أُخرى من الكُرة الأرضيَّة أهمَّها (Lingule) من عضديات الأرجل، والإسفنجيَّات (Sponges) المُختلفة.



صورة رقم (٢٤): البكتيريا الزرقاء



صورة رقم (٢٥): مفصليَّات الأرجل

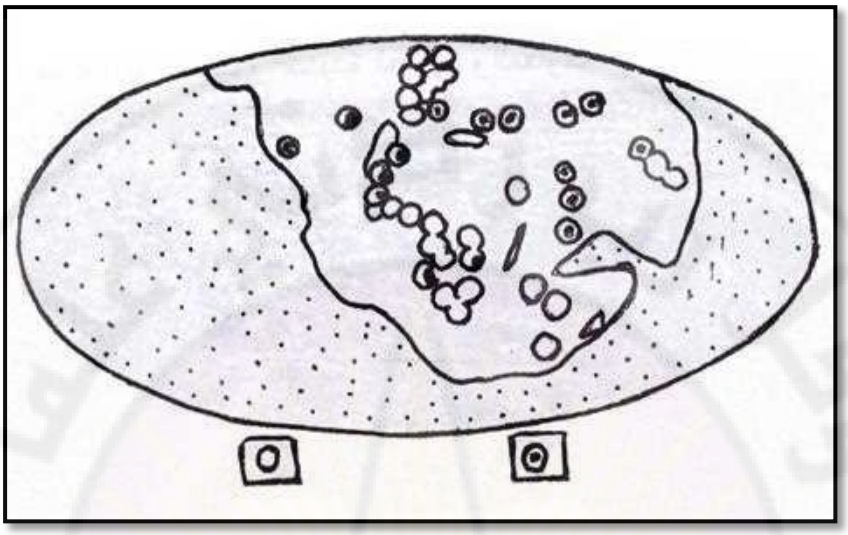


صورة رقم (٢٦): حيوان رخوي بحري

مناخات العصور القديمة جدّاً:

عثر الاختصاصيُّون على الكثير من الشواهد والأدلَّة الفيزيائيَّة على الظروف المُناخيَّة القديمة جدّاً، وذلك ابتداءً من حُبيبات الكوارتز الكامدة وذات التدوُّر الجيد التي عُثر عليها في كُلٍّ من غروئنلندَّة، وفي الكونغو، بالإضافة إلى الحصى ذات الوجوه الواضحة التي عُثر عليها في إسكندنافيَّة، والتي تمَّت قولبتها أو اتخذَّت شكلها النهائي نتيجة لعمل حت ريحي بالغ الأهميَّة، ولا سيما أنَّ الغطاء النباتي الأرضي (فوق سطح اليابسة) لم يكُن معروفاً بعد، وبعبارةٍ أُخرى فإنَّ سائر أنحاء المعمورة العائمة فوق سطح المياه كانت صحراء فعليَّة.

أمَّا الأنقاض ذات المنشأ الجليدي فإنَّها تُشكِّل شاهداً حيَّاً على فترة تجلُّد مُهمَّة تُرقى إلى مطلع البريكامبري الحديث في أمريكا الشماليَّة وفي جنوبي إفريقية، وإلى فترة جليديَّة أُخرى بالغة الأهميَّة ترقى إلى أواخر البريكامبري والتي عُرفت باسم جليد (éocambrienne)، يُظهر الشكل (٤٢) امتداها وانتشارها ابتداءً من المناطق القطبية باتجاه خط الاستواء، ويبدو أنَّ القارَّات كافَّة كانت تحتضن قبعات جليديَّة قاريَّة كتلك التي نُلاحظها على القارَّة القطبيَّة الجنوبيَّة حاليَّاً، كما أنَّ وجود الـ (Collenian) تُثبت وجود بعض الفترات الحارَّة خلال البريكامبري.



شكل رقم (٤٢): امتداد الجليديَّات في فجر البريكامبري مُتبعاً لنظريَّة انسياح القارات

١- جليديَّات مُحتملة ٢- جليديَّات فعليَّة

الغرانيت والالتواءات التي شهدها البريكامبري:

شهد البريكامبري العديد من النشاطات الالتوائيَّة المُرافقة بنشوء صخور الغرانيت، وبتشكُّلها خلال عدَّة دفعات أو مراحل مُتباينة، ولقد دلَّت الدراسات الاختصاصيَّة على أنَّ التواءات البريكامبري القديم كانت عنيفة جدَّاً لدرجة أنَّ مُعدَّلات ميول الطبقات الجيولوجيَّة التي تؤلِّف طيَّاتها تتراوح بشكلٍ عام بين (60°) وَ (70°)، مُقابل مُعدَّلات ميول تتراوح بين (20°) وَ (50°) للطبقات المُكوِّنة للالتواءات العائدة للبريكامبري الختامي، وفي مناطق غربي فرنسة.

تعود أولى الالتواءات التي يُمكن ملاحظتها ميدانيَّاً إلى هذه الفترة الأخيرة (البريكامبري الختامي)، وفي مناطق أُخرى كما هي الحال في الكولورادو وأوريزونا، ظلَّت الطبقات العائدة للبريكامبري الأعلى شبه أُفقيَّة، وفي منأى عن الالتواءات بصورة استثنائيَّة طبعاً، كما أنَّ القاعدة البريكامبرية القديمة التي نُلاحظها محدودة بشدَّة في قاع خانق الكولورادو الشهير مؤلَّفةً من صخور شديد القساوة والمقاومة.

وفي أواخر البريكامبري الأعلى تصلَّبت بصورةٍ لا رجعةً فيها هوامش مجنَّات (Boucliers) آلاسكا والبرازيل وفنلندَّة وأواسط أفريقية وجنوبها وحوافي بُحيرة بايكال والسلاسل الجبليَّة التي تمرُّ قرب القطب الجنوبي، وتقسم القارَّة القطبيَّة الجنوبيَّة إلى جزأين اثنين.

الأهميَّة العمليَّة للبريكامبري:

ولأنَّ تصلُّب غالبية المعادن النافعة كالرصاص والزنك والحديد والنحاس والفضة والذهب والراديوم، وغيرها تُصاحب أو تُرافق غالباً ظواهر الغرنتة (Granitisation)، فإنَّ ذلك يُفسِّر الغنى الكبير لتوضُّعات البريكامبري بالمعادن التي توجد على أعماق كبيرة أو ذات الأصل العميق، أمَّا النيكل فإنَّ تشكُّله يُصاحب تصاعُد الصخور الأكثر قاعديَّة (كصخور الغابرو – Gabbro – التي تكثُر في الاونتاريو)، ويكثُر النحاس في مناطق اللابات البُركانيَّة والصخور التجمُعيَّة (الكونغلوميرات) بشكلٍ عام.

على الرغم من كُل ما تقدَّم فإنَّ توضُّعات البريكامبري محرومة تماماً من حقول النفط الخام، لأنَّ ظروف تشكُّل صخوره من حيث مُعدَّلات الانضغاط ودرجاته وتشوُّهه، بالإضافة إلى الارتفاع الكبير لدرجات الحرارة، هذه الظروف منعت مُجملها من تشكُّل مكامن النفط ضمن توضُّعات البريكامبري، وعلى هذا تنحصر أهميَّة البريكامبري على الصعيد الاقتصادي باحتوائه على المعادن الآنفة الذكر.

الحقب الجيولوجي الأول (Primary):

لا ينطبق اسمه على الواقع تماماً، حيثُ إنَّهُ لم يكُن أوَّل الأحقاب الجيولوجيَّة المعروفة حقَّاً، ومع ذلك فقد شاع استخدام التسمية المذكورة في أوروبَّة مُنذُ أن أطلقها الإيطالي (Arduino) عام (1759م)، لتمييز قطاعات الألب الأكثر قدماً عن توضُّعات الحقب الجيولوجي الثاني المعروفة، ولم تُعرف معالم الحدود بدقَّة بين قاعدته، وبين قمَّة البريكامبري حتَّى عام (1841م) وذلك في كندا، حيثُ تكوَّن توضُّعات بالغة التطوُّر ونموذجيَّة تماماً، وتعود بداية هذا الحقب إلى قبل نحو (580) مليون سنة واستمرَّ حتَّى ما قبل (230) مليون سنة، أي أنَّه استمر طوال (350) مليون سنة.

جدول رقم (٤): أدوار الحُقب الجيولوجي الأوَّل

الدور	الطابق	العمر بملايين السنين
البرمي	التورينجي	245
	الساكسوني	260
	الأوتوني	280
الفحمي الكاربوني	التسيفاني	290
	التسيغالي	300
	النافوري	315
	الديفانتي	350
الديفوني	الغاميني	355
	الغرزاني	---
	الجيثيتي	---
	الكوفيني	---
	الامسي	400
	السيجيني	---
	الجيديني	---
السيلوري	---	400
	---	430
الأوردوفيشي	---	490
الكامبري	البوتسدامي	520
	الاكاوي	550
	الجورجي	580

تكشُّفات أراضي الحقب الأوَّل في العالم:

تتبعثر هذه الأراضي في مُختلف أنحاء العالم مُتحلقَّة حول نوى أو نويَّات أراضي البريكامبري وتوضُّعاته، ففي فرنسة مثلاً نُلاحظ هذه الأراضي أو تكشُّفات الحُقب الأول في كُلٍّ من الكتلة

الأرموريكيَّة والكتلة المركزيَّة وفي منطقة (Maures) و (Esterel) وفي الفوج والأردن وفي قاع الأحواض الفحميَّة في الشمال، كما تُصادف توضُّعات الحُقب الأول على السطح في بعض أنحاء البيرنيَّة والألب الالتوائيَّة.

الصخور العائدة إلى الحُقب الأوَّل:

تراجعت أهميَّة الصخور المُتحوِّلة في مطلع الحقب الجيولوجي الأول، وبدأت تسود فيه التوضُّعات الرسوبيَّة المُميَّزة التي يُمكن تحديد هويَّتها، والتعرُّف إليها بسهولة ويسر، ولا سيما أنَّ هذه الرسوبات لم تلبث أن تصلَّبت بسرعةٍ كبيرة فتحوَّلت الرمال إلى غريَّة وصخور رمليَّة مثلاً، وتمتاز توضُّعات هذا الحقب – مع بعض الاستثناءات – بألوانها الداكنة جدَّاً، بالمقارنة مع توضُّعات الأحقاب الجيولوجيَّة الأُخرى، وذلك نظراً لغناها بهيدروكسيد الحديد، بالإضافة إلى وفرة عروق الفحم العضوي وتوضُّعاته الناجمة عن تفسُّخ بقايا أحياء هذا الحقب النباتيَّة منها والحيوانيَّة، ومن البديهي القول إنَّ هذه التفسُّخات كانت تتم بآليَّة تختلف جذريَّاً عن الآليَّة المعهودة حاليَّاً، ويُعرف الحُقب الأوَّل عادةً بكونه الحُقب الذي تشكَّلت خلاله توضُّعات الفحم الحجري المُهمَّة في العالم، ولا سيما أنَّ النباتات البريَّة كانت كثيفة خلاله وخاصَّة نباتات المناطق المُستنقعيَّة والمرزغيَّة، بالإضافة إلى ملائمة ظروف الضغط والرطوبة والحرارة لحدوث عمليَّات التخمُّر والتحلُّل والتفكُّك والتفسُّخ اللازمة.

الحياة خلال الحقب الأول:

تعدَّدت وتنوَّعت بشدَّة مُستحاثات الحُقب الأوَّل مُقارنةً بنظيراتها العائدة للبريكامبري، واتخذَّ بعضُها شكلاً بسيطاً، وتعقدَّت أشكال بعضها الأُخرى لدرجةٍ سمحت معها للاختصاصيين بالاعتقاد بأنَّها تُمثِّل أحفاداً لأجداد ظهرت خلال البريكامبري، وخلال الحقب الأوَّل بدأت بالظهور أولى بوادر الحياة على قطَّاعات اليابسة البعيدة عن البحار.

الأحياء النباتيَّة:

تمثَّلت الأحياء النباتيَّة منذُ قبل (530) مليون سنة وباستثناء الفطريَّات بـ:

أ- الإشنيَّات:

- **الأشنيَّات التي عاشت ضمن المياه:** ففي مناطق كولومبية البريطانيَّة بمفردها أمكنَّ التعرُّف إلى نحو عشرين صنفاً من الإشنيَّات العائمة على سطح الماء.

- **إشنيَّات الكلولينـاس (Collenios):** القادرة على تثبيت الكلس، وقد شكلَّت أرصفة كلسيَّة خاصَّة بالغة الأهميَّة ولا سيما في مطلع الحقب الجيولوجي الأوَّل، ومن ثُمَّ أصبحت نادرة جدَّاً فيما بعد واستمرَّت ندرتها حتَّى أيامنا الحاليَّة.

ب- ظهور النباتات على اليابسة: وهو ما يُمثِّل الحدث الحيوي المُهُم في هذا الحُقب، وتضم:

- **الأبواغ (Spores):** وهي عبارة عن أنواع دقيقة جدَّاً ومجهريَّة، تتألَّف هذه الأبواغ من مواد كتيمة تمنع جفافها الداخلي، ويمنحُها فرصة الإنبات والإنتاش، ونثر البذور ضمن الهواء الطلق على اليابسة وليس ضمن الماء، وقد تمكَّن الاختصاصيُّون من العثور عليها في المناطق الغُضاريَّة الواقعة في منطقة لينغراد.

- **السرخسيَّات:** عُثر عليها في استرالية، يعود عُمرها إلى ما قبل (410) مليون سنة.

- **النباتات اللُحائيَّة:** عُثر عليها ضمن مستنقعات أوروبَّة وأمريكا الشماليَّة ومناطقها المرزغيَّة، يتجاوَز ارتفاعُها المترين، دُعيت إحداها باسم (Eospermatopleris).

- **النباتات الجذريَّة الراقية المُهمَّة:** والتي بدأ نموِّها على هوامش المناطق المرزغيَّة وعلى أطرافها، بالإضافة إلى كونها استوطنَّت في المُنخفضات الرطبة مُشكلةً أشجاراً عملاقة زاد ارتفاعها (30) متراً، وأهم أصنافها ما عُرف باسم اليبيد وديندرون وسيجلاريا (Sigillaires) مُتساقطة الأوراق، كان سقوطها يخلُف على جذوعها ندوباً قشريَّة واضحة المعالم.

- **المخروطيَّات ونباتات الواليشا (Walchias):** ظهرت قبل نحو (290) مليون سنة، وقد تمكنَّت من النمو في المناطق الجافَّة نسبيَّاً.

وهكذا بدأت مُجمل الأراضي اليابسة تحمل غطاءً نباتيَّاً تختلف خصائصه ومميزاته العامَّة من قطاع إلى آخر، ومن مكانٍ إلى آخر.



صورة رقم (٢٧): نبات السرخس – إنجلترا

الأحياء الحيوانيَّة: ومن بين مجموعات الحيوانات التي عاشت خلال هذا الحقُب:

١- المجموعات اللافقاريَّة (Invertebrate): ولكن أشكال هذه اللافقاريَّات تختلف عن اللافقاريَّات المعروفة حاليَّاً.

٢- الحيوانات وحيدة الخليَّة: والتي كانت قليلة التنوُّع ونادرة نسبيَّاً في بداية الحقُب الأول وأوسطه، ولكن ازدادت أهميَّتها وتنوُّعها في آواخره.

٣- المُنخربات (Goraminifera): كالفوزولينا (Fousulines) التي هي عبارة عن مُنخربات عملاقة تمكنَّت من تشكيل صخور مُهمَّة، وصلت أطوالها إلى (8 مم)، حاملةً هياكل كلسيَّة نقيَّة مُتشابكة ومُتَّخذة شكلاً مغزليَّاً واضحاً، وقد كانت تعيش في قيعان البحار.

٤- الإسفنجيَّات: كما ظهر العديد من أصنافها، ولعلَّ أكثرها أهميَّة وأصالة مجموعة (Archarocyathes) الأركيوسياتان التي كانت تحمل هياكل كلسيَّة، وعلى هذا يُمكننا عدُّها أحياء انتقاليَّة بين الإسفنجيَّات والمُرجانيَّات دون أدنى تحفُّظ، أي إنَّها تُشكِّل مجموعة مُستقلَّة انقرضت نهائيَّاً فيما بعد، ولقد تكاثرت بكثافة في مطلع الحقُب الجيولوجي الأوَّل فيما قبل (580) مليون سنة وَ (550) مليون سنة، مُشكلَّةً أرصفة مهمَّة جدَّاً أكثرها نموذجيَّة نُلاحظها حاليَّاً في استراليَّة على شكل رصيف يصل طوله إلى (650 كم)، ويسمو إلى ارتفاع يصل حول

(60 م)، وبعد اختفاء هذه المجموعة أدَّت المُرجانيَّات الدور نفسه في إشادة الأرصفة المُرجانيَّة المعروفة التي صُنِّفت في هذه الفترة الزمنيَّة في مجموعاتٍ أربع هي:

أ- المُرجانيَّات الرُباعيَّة (Tetracoralla): وعُرفت بهذا الاسم لأنَّ الحواجز الشُعاعيَّة في المرجان الفتي تنشأ في أربع مناطق.

ب- الصفائحيَّات التي عاشت أفرادها مُستعمرات تتميَّز بأنَّ هيكلها مُقسَّم بحواجز عرضيَّة عديدة بشكل صفائح رقيقة.

ج- الستروماتوبورا (Stromatopores): الذي يُشكِّل قشراً ودروعاً صلبة.

د- المرجانيَّات السُداسيَّة (Seleractina): وتنشأ حواجزها الشُعاعيَّة على شكل مجموعات بعدد ستَّة، أو مُضاعفات هذا العدد، والتي مانزال حتَّى أيامنا الحاليَّة، ومسؤولة عن تشييد الأرصفة المرجانيَّة المُهمَّة جدَّاً.

٥- حيوانات البريويات (الحيوانات الطُحلُبيَّة): وهي واسعة الانتشار في التوضُّعات العائدة إلى مطلع الحقُب الأول، حيثُ تتوضَّع على شكل مُستعمرات كبيرة تتحوَّل إلى مُستعمرات شريطيَّة التوزُّع ضمن التوضُّعات العائدة إلى أواخر الحُقب المذكور.

٦- عُضديَّات الأرجل البراكيوبود (Brachiopoda): تتألَّف من قواقع مكوَّنة من مصراعين، غدت حاليَّاً واسعة الانتشار مع الجنس (Liqula)، وقد شكَّل العنصر السائد على القواقع البحريَّة حتَّى ما قبل (360) مليون سنة حيثُ انخفضت أهميَّتها إلى نحو (20%) فقط تحت سيادة اللافقاريَّات وانتشارها التي غدت العُنصر السائد بلا مُنازع، وفيما قبل (540) مليون سنة وَ (490) مليون سنة يُمكن التعرُّف إلى (60) رتبة تضم بدورها (500) نوع من عضديَّات الأرجل غير المُتمفصلة التي يدخُل في تركيبها فوسفات الكالسيوم، ثُمَّ سادت مجموعة من عضديَّات الأرجل المُتمفصلة ذات القواقع المؤلَّفة من كربونات الكالسيوم والتي كان السبيريفر (Spirifer) خير مُمثل لها، وتمايزت رأسيَّات الأرجل من اللافقاريَّات التي ظهرت خلال الحقب الأوَّل إلى مجموعات ورتب وأنواع عدَّة فمنها ما حمل قواقع مُستقيمة مثل الأورتوسيراس (Orthoceras) ومنها ما حمل قواقع مُنحنيَّة أو مُلتفَّة كما ظهرت قواقع شبيهة بالأمونيت.

٧- ثُلاثيات الفصوص: التريلوبيتان (Trilonita): وهو ما يُمكن تصنيفه ضمن عجائب الحقُب الأوَّل فهو من مفصليَّات الأرجل التي كانت تعيش في قاع البحر، ولقد وصلت أوج ازدهارها وانتشارها فيما قبل (500) وَ (450) مليون سنة، وتناقصت أهميَّتها فيما بعد تدريجيَّاً إلى أن اختفت عمليَّاً في أواخر الحقب الأول.

٨- القشريَّات (Crustaces): تمثَّلت بالاوستراكود (Ostracodes) الصغيرة المحميَّة بقوقعةٍ ذات مصراعين.

٩- الملقطيات (Chelicerata): وهي كسابقتها (القشريَّات) من المُميزَّات النوعيَّة للحقب الأول، وقد وصل طول أكبرها إلى نحو (2.7) متراً، وقد وجدت في البداية إلى جانب الحيوانات البحريَّة، ومنذُ ما قبل (300) مليون سنة وجدت إلى جانب الحيوانات التي تعيش في المياه العذبة.

١٠- العقارب (Scorpion): وتعود أولى العقارب إلى ما قبل (420) مليون سنة، وطالما أنَّنا لا نرى جهازها التنفسِّي الداخلي، فإنَّنا يُمكن أن نتردَّد في الوسط الذي عاشت فيه، هل عاشت ضمن الماء أو على اليابسة.

١١- (أم أربعة وأربعين) الميريابودا (Myriapoda): التي تعود إلى الفترة نفسها للعقارب، وبالتالي ينطبق عليها ما قيل عن العقارب.

١٢- الحشرات: والتي ظهرت منذُ ما قبل (370) مليون سنة، بأصناف عديدة كالحشرات التي تستنشق الهواء، وتعيش ضمن الغابات، وقد تكاثرت بصورة مُذهلة لدرجةٍ يُمكن معها التعرُّف إلى (800) صنف من الدويبات السوداء (Cafords) التي وصل طول الواحدة منها إلى نحو (10سم) تقريباً، أمَّا الحشرات التي تتغيَّر أجسامها ونماذج حياتها بصورةٍ كاملة في مرحلة تطوُّرها فقد بدأت بالظهور مع أواخر الحقب الجيولوجي الأوَّل، ولعلَّ تمتُّع بعضها بأغلفة كتيمة كما سبق وأشرنا، كان وراء تمكُّنها من الانتشار بعيداً عن الماء وفي أواسط القارَّات واليابسة ومنها انطلق بعضها إلى الغلاف الغازي، ولا سيما أنَّ الطيور القادرَّة على التغذِي عليها (أي الحشرات) والتهامها لم تكن قد ظهرت بعد.

١٣- شوكيَّات الجلد: وقد مُثلَّت في الحقب الأول بزمرتين اختفتا فيما بعد هما:

أ- الكيسانيَّات (السيستوئيد – Systoides –).

ب- وزمرة البلاستوئيد – Blastoides – البرعمانيَّات.

كما تركت الغرابتوليتات (Graptolites) بصماتها وآثارها في توضُّعات الاردواز، علماً بأنَّها شهدت أوج ازدهارها وتطوُّرها وانتشارها فيما قبل (500) مليون سنة وَ (400) مليون سنة، ثُمَّ اختفت عملياً مع أواخر الحقب الأوَّل.

١٤- الفقاريَّات: بدأت بالظهور قبل (440) مليون سنة وذلك ابتداءً من الفقاريَّات البسيطة وانتهاءً بالفقاريَّات المُعقدَّة.

ففي البداية ظهرت الفقاريَّات المائيَّة وعلى رأسها الأسماك عديمة الفك، تلاها ظهور الأسماك ذات الفك، وهذا ما سمح بتنويع مصادر غذائها دون أدنى شك.

١٥- البرمائيَّات: ظهرت أولى البرمائيَّات (أي أولى الحيوانات الفقاريَّة البريَّة) قبل نحو (350) مليون سنة، المزوَّدة بقوائم أربع وبرئات (ج: رئة) محتلَّة سطح اليابسة رويداً رويداً.

١٦- الزواحف: ظهرت أولى الزواحف (Reptila) قبل نحو (300) مليون سنة، وكانت تضع بيوضها ضمن أكياس خاصَّة.

علماً بأنَّ بعض البرمائيَّات آنفة الذكر كانت محميَّة بدروع صلبة، كما أنَّ رؤوس بعضها كان محميَّاً بغطاء عظمي لهذا عُرفت هذه البرمائيَّات باسم (Stegocephals) (سقفيَّات القحف، كما أنَّ معظم الزواحف كانت تتمتَّع بعظامٍ غليظة ومفلطحة).

وهكذا يعُدُّ الحقُب الأوَّل مرحلة انتقاليَّة، ومرحلة تبدلاَّت وتغيُّرات مُهمَّة بالنسبة إلى الحيوانات والنباتات التي ظهرت فيه، وكان بعضها نماذج مُتطوِّرة عن أشكال بدائيَّة كانت قد ظهرت خلال البريكامبري.



صورة رقم (٢٨): ثُلاثيَّات الفصوص

سانت بطرسبرغ – روسيا –



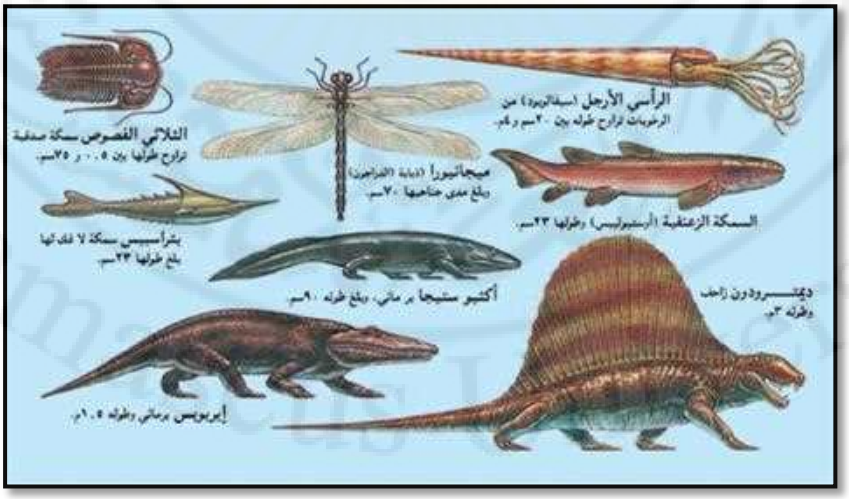
صورة رقم (٢٩): شوكيَّات الجلد

جبل نايف – المغرب–



صورة رقم(٣٠): الفقاريَّات

أوكلاهوما، تكساس – الولايات المُتحدة



صورة رقم (٣١): حيوانات حقب الحياة القديمة

مناخات الحقب الجيولوجي الأوَّل:

تشـهد الأرصـفة المرجانيَّـة العائـدة إلـى الحقـب الأول التـي تنتشـر خصوصـاً فـي نصـف الكـرة الشـمالي علـى سـيادة ظـروف مُناخيَّـة حـارَّة فـي مرحلـة تشـكلها، أمَّـا الأنقـاض والرسـوبات ذات الطبيعـة المالحـة العائـدة إلـى هـذا الحقُـب فإنَّهـا تدلُّ علـى سـيادة ظـروف مُناخيَّـة جافَّـة فـي فتـرات أُخرى، لا سيما في نصف الكرة الشمالي، كما تُشير الرمال المستديرة والكامدة على سيادة عمل ريحـي باسـتثناء العصـر الفحمـي، وبالتـالي يُمكـن التأكُّـد علـى السـيادة شـبه المطلقـة للصـحاري الخاليَّة من غطاء نباتي في هذه الفترة.

كما شهد الحقب الأول جليديَّات مُهمَّة فيما بين عامي (400) وَ (350) مليون سنة، بالإضافة إلى زحف جليدي آخر فيما بين الدور الفحمي والدور البيرمي، أي قبل نحو (280) مليون سنة، وقد كانت آثار هذه الجليديَّة أكثر أهميَّة ووضوحاً من الأولى، ولقد تركت كلتاهُما بصماتٍ واضحة في نصفي الكرة على حدٍّ سواء، ولا سيما في الولايات المُتحدَّة الأمريكيَّة ونيوزيلنَّدة وجزر الهند المعروفة.

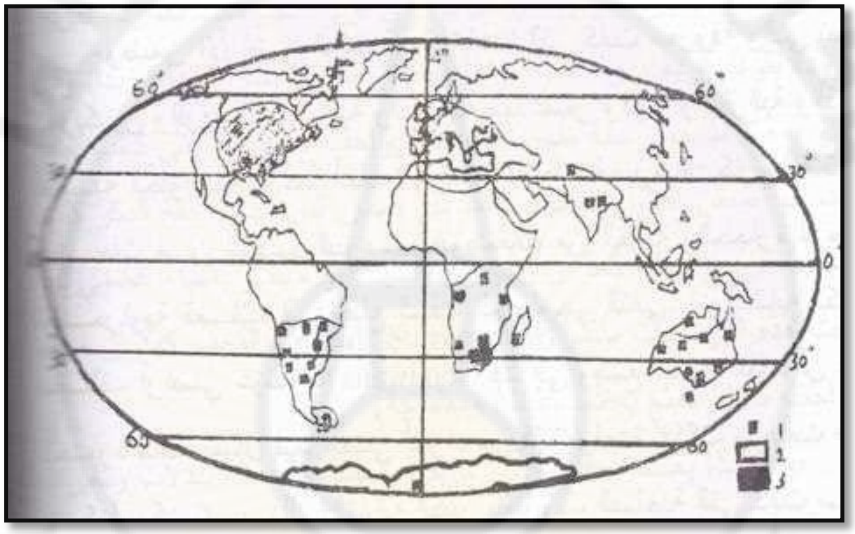
وضـمن الأراضـي الواسـعة والمُتباعـدة التـي كانـت معروفـة، والتـي تضـم الأمـريكيَّتين وإفريقيَّـة الاستوائيَّة والجنوبيَّة ومدغشقر والهند واستراليَّة والقارَّة القطبيَّة الجنوبيَّة نُلاحظ أنقاضاً ورُكاميَّات جليديَّة بيرميَّة – كاربونيَّة، تلتها توضُّعات من الفحم البيرمي، فتوضُّعات من الغريَّة والحجارة الرمليَّة الصحراويَّة العائدة إلى مطلع الحقُب الجيولوجي الثاني.

إنَّ التشابه الكبير لمُختلف أراضي غوندوانا (Gondwana) قاد إلى وضع تصوُّر مفادُه أنَّ هذه الأخيرة كانت تُشكِّل فيما مضى أجزاء من قارَّة واحدة تفككَّت وتخلَّعت فيما بعد، كما يُمكن تفسير ذلك بالتشابه الكبير للظروف المُناخيَّة التي كانت سائدة، وبالتالي بتماثُل ظروف الحت والتعريَّة اللذين كانا سائدين، حتَّى إن كانت هذه الأراضي بعضها منفصل عن بعض.

ولا يعدم الاختصاصيُّون وجود شواهد عن تتالي ظروف مُناخيَّة حارَّة مع أُخرى باردة في منطقة واحدة من الكرة الأرضيَّة خلال الحقب الأول، ولا سيما أنَّ الحقُب المذكور استمرَّ مدَّة زمنيَّة طويلة جدَّاً وصلت إلى نحو (350) مليون سنة، وبالتالي كان لا بُدَّ للظروف المُناخيَّة أن تتبدَّل خلالها بضعة آلاف من المرَّات على الأقل، ولا سيما إذا أدركنا أنَّه خلال مليون سنة فقط من

عمر الحقب الجيولوجي الرابع، فإنَّ الظروف المُناخيَّة تبدلَّت وتغيرَّت ثماني مرَّات على الأقل (أربعة زحوف جليديَّة كُبرى تفصل بينها أربع فترات ما بين جليديَّة وحارَّة).

ولكن السؤال المُهم الذي يطرح نفسه يتعلَّق بنوعيَّة المُناخ السابق لتشكُّل توضُّعات الفحم المُهمَّة العائدة إلى الحقب الأول، فهل كان هذا المُناخ جافَّاً نسبيَّاً لدرجةٍ سمح معها باستمرار وجود المناطق المُستنقعيَّة والمرزغيَّة، أو كان مُناخاً حارَّاً أو مُناخاً لطيفاً مُعتدلاً.....؟



شكل رقم (٤٣): منذُ نحو (250–300) مليون سنة، أي منذُ أواخر الفحمي والبرمي كان امتداد وانتشار الجليديَّات هامَّاً على سطح الأرض (4)، كما أنَّ عناصر فلورا أوروبا وأمريكا الشماليَّة (2) كانتا مُختلفة عن نظيرتُها في نصف الكُرة الجنوبي، وفي الهند (3) سادت الرضعيات

إذ وجدت في هذا الحقب أشجار يصل ارتفاعها إلى (40) متراً، كما وجد فيه العديد من أصناف الحشرات التي لا تتطوَّر وتنتعش إلَّا في ظل ظروف مُناخيَّة لطيفة أو معتدلة.

وهكذا ولأجل تعليل تشكُّل توضُّعات الفحم لا بُدَّ من الاعتراف بأنَّ الفرضيَّات العلميَّة القادرة على إعطاء صورة عن النماذج المُناخيَّة التي كانت سائدة ما زالت عديدة جدَّاً، ومازال أصحابها في حيرة وتردُّد من أجل تأكيد مسؤوليَّة نموذج مُناخي دون آخر، وإثباتها أو نفيها في مجال تشكيل توضُّعات الفحم المذكورة.

التواءات الحقب الأول:

ازدَّاد اتساع النوى التي تصلَّبت خلال البريكامبري مُكتسبةً أجزاء واقعة على أطرافها، إذ ظهرت سلاسل التوائيَّة جديدة هي:

الالتواءات الكاليدونيَّة: نشطت في الفترة ما بين قبل (550) مليون سنة وَ (350) مليون سنة، وتُشاهد في اسكوتلندَّة التواءات نموذجيَّة لها، وقد استمدَّت هذه الالتواءات اسمها من الاسم القلطي لاسكتلندَّة إذ عرفها القلط باسم كاليدونيَّة، وفي هذه الفترة تصلَّبت بصورةٍ نهائيَّة ما عُرف بالأراضي الجديدة (Terre–Newe)، ومناطق شمال غروئنلندَّة، ورُبمَّا تصلَّبت في هذه المرحلة مناطق ريوسان فرانسيسكو البرازيليَّة ومناطق غربي موريتانيَّة ومناطق سبتزبرغ (Spitz Berg) والنرويج وأواسط سيبيريَّة واستراليَّة وهوامش القارَّة القطبيَّة الجنوبيَّة.

الالتواءات الهيرسينيَّة(Hercynieene): وجدت في مناطق كانت أكثر وأشد تأثُرّاً بالالتواءات المذكورة سابقاً، كما هي الحال في آلاسكا ومناطق غربي الأمريكيَّتين وسرديَّنية ومنطقة الأردن والهيمالايا وأقصى شرقي سيبيرية وجنوبي الصين وشرقي استراليَّة.

ولقد استمرَّت حركة الالتواءات الهيرسينيَّة فيما بعد طوال المدَّة المحصورة بين ما قبل (350) مليوناً وَ (230) مليون سنة، وتصلَّبت خلالها الأطراف والهوامش الجنوبيَّة الشرقيَّة للمجن الكندي ومناطق الآبالاش، واستمرَّت حركة التصلُّب هذه على طول الحواف والسواحل الغربيَّة لخليج المكسيك، كما صفّحت بعض السلاسل على طول السفوح الغربيَّة لنواة أمريكة الجنوبيَّة ابتداءً من فنزويلا حتَّى الأرجنتين وجزر فوكلاند (Fokland)، كما شهدت أوروبة فترة تصلُّب أعظمي امتدَّت في كُلٍّ من إسبانيَّة وفرنسة وجنوبي إنكلترة ومناطق بوهيمية وبلغاريا، واستمرَّت الحركة ذاتها حتَّى القارَّة الإفريقيَّة، ولكن حركة التصلُّب هُنا اقتصرت على الهوامش والأطراف حيثُ لوحظت في كُلٍّ من المغرب والغابون وجنوبي إفريقيَّة ومدغشقر، وامتدَّت الحركة ذاتها على المنطقة المحصورة بين الأورال غرباً ومناطق غربي الصين شرقاً، وأدَّت إلى التحام النواة السيبيريَّة مع العتبة القاريَّة الروسيَّة القديمة، كما أدَّت إلى التحام آسية مع أوروبة، وقد التحمت بهما نوى آسية الوسطى مرحلة استطالات مُهمَّة باتجاه القطب مُتمثِّلة بمناطق الأرض الجديدة (وهو أرخبيل روسي يقع أو يمتَّد بين بحري البارانت وكارا) وأرخبيل فرانسوا جوزيف

(Franccois–Josaeph) كما تصلَّبت مناطق جنوبي الهند الصينيَّة، وشرقي استراليَّة بصورة نهائيَّة، ولقد تظاهرت الحركات الهيرسينيَّة في مناطق أُخرى كما هي الحال في الكلورادو وجزر الأنتيل ومناطق البيرينيَّة والألب وإيران وأقصى شرقي سيبيرية واليابان وبورينو وغينية الجديدة.

ومن البديهي القول أنَّ عُنف الحركات الالتوائيَّة المذكورة حرَّضَ نشاط الحت والتعريَّة بصورةٍ محسوسة في المناطق كافَّة التي ظهرت فيها هذه الحركات الالتوائيَّة.

تشكُّل أوربة ونشوؤها:

تخيَّل الجيولوجي الفرنسي (Pruvost) لوحة رائعة عن مراحل نشوء أوروبة وتطوُّرها الأولي، ابتداءً من أواخر البريكامبري إذ يرى أنَّ السلاسل الملتوية القديمة المُمتدَّة على طول سواحل البلطيق وفي روسية على حدٍّ سواء تعرَّضت لعمل تسوية شبه كاملة نتيجةً لنشاط الحت العنيف الذي ازدادت أهميَّته في ظلِّ غياب الغطاء النباتي الأرضي الذي يُمكنه أن يؤمِّن الحماية الكافية تجاه عوامل الحت والتعرية، ولقد قامت بحار هذه المرحلة بترسيب بعض الرمال والغُضاريَّات والكلس في مناطق مُتفرقة، ولقد كانت بحار المناطق الشرقيَّة قليلة العمق، ولهذا فإنَّ الرسوبات والأنقاض التي تكدَّست هُنا أو رسَّبتها البحار كانت قليلة السماكة، وفي حين أنَّها كانت سميكة جدَّاً في المناطق الغربيَّة بسبب عمق البحار التي رسبتها كما هو الحال قُبالة سواحل النرويج واسكوتلندَّة، ليس هذا فحسب بل إنَّ قيعان البحار المذكورة كانت تتعرَّض لعمليَّات خفس مستمرَّة مع ازدياد كميَّة الرسوبات والأنقاض المُتراكمة عليها، وهكذا بدأت معالم أو ملامح سلسلة التوائيَّة جديدة مستقبليَّة بالتشكُّل شيئاً فشيئاً، ولقد بدأت ولادة هذه السلسة منذُ ما قبل نحو (400) مليون سنة مُتخذةً اسم السلسلة الكاليدونيَّة، ولقد اندفعت هذه السلسلة في النرويج فوق صخور القاعدة القديمة باتجاه الجنوب الغربي، في حين أنَّها توضَّعت والتصقت في اسكوتلندَّة بنواةٍ بريكامبريَّة مُشكلَّةً ما يُدعى ليوزيا (Lewisia) الواقعة باتجاه الشمال الغربي والتي امتدَّت حتَّى شمال الأطلسي ورُبمَّا حتَّى أقصى أمريكا الشماليَّة، وفي هذه المرحلة التوت منطقة الأرْدِن ونهضت، في حين أنَّ البحار احتلَّت المناطق الجنوبيَّة حيثُ ترسَّبت كميَّات مُهمَّة من الغضار والرمال التي تصلَّبت فيما بعد لتتحوَّل إلى شيست وإلى صخور رملية، ومع مرور ملايين السنين قام نشاط الحت العنيف بتسوية الجبال الالتوائيَّة الناهضة حديثاً، ولا سيما أنَّها كانت محرومة من

وقاية الغطاء النباتي الأرضي الذي اقتصرَّ نموَّهُ على المناطق المرزغيَّة المُنخفضة، وهكذا غدت سائر مناطق شمال أوروبا حتَّى روسية قارَّة توضَّعت أو ترسَّبت فيها الغريَّة الحمراء القديمة وهي أنقاض حملتها الأنهار الفصليَّة، بالإضافة إلى توضُّعات بُحيريَّة وتوضُّعات اللاغونات (بُحيرات شاطئيَّة)، أو حملتها الرياح في ظلِّ ظروف مُناخيَّة نصف صحراويَّة أو شبه صحراويَّة، وقد تمَّت هذه الأحداث كُلَّها في الفترة المحصورة بين ما قبل (400) مليون سنة وَ (350) مليون سنة وباتجاه الجنوب وحتَّى تخوم إفريقيَّة الشماليَّة امتَّد البحر، وهُنا أمكن تمييز ثلاث مناطق أو قطَّاعات مُتباينة ومُتعاقبة من الشمال إلى الجنوب.

آ- ففي الشمال وابتداءً من الأرْدِن (Ardenne) وحتَّى العتبة القاريَّة الروسيَّة، كان البحر قليل العمق مشكلاً بُحيرات شاطئيَّة نموذجيَّة (لاغونات – Lagoon).

ب- وباتجاه الجنوب، أي في أوروبة الوسطى المُمتدَّة من بروتانيَّة حتَّى بوهيمية، كانت الرسوبات والأنقاض كُلَّها رسوبات بحريَّة، وتخلَّل هذا البحر بعض العلوات والجزر الناهضة، وكما حدثت بعض الالتواءات الطفيفة في بروتانية قبل نحو (350) مليون سنة.

ج- وفي أقصى الجنوب وفي المنطقة المُمتدَّة بين إسبانية غرباً ومناطق القفقاس شرقاً بما فيها أقطار حوض البحر المتوسط (في أوروبة) ساد البحر العميق برسوباته وأنقاضه المُهمَّة.

وخلال العصر الفحمي طغى البحر على مناطق واسعة جدَّاً، ابتداءً من اسكوتلندَّة حتَّى أفريقيَّة، ورُسِّبت توضُّعات كلسيَّة وقواقع مُرجانيَّة مُهمَّة، وقواقع الغونياتيت (Goniatites)، ورأسيَّات الأرجُل – النويتلات – ذات الاستطالة المُستخدمة لوظيفة اللمس، والتي تُعد من أقرباء الأمونيت (Ammonites)، وشهدت هذه المرحلة نشاطاً بُركانيَّاً تحت بحري مُهمَّاً، بالإضافة إلى مرحلة نشاط التوائي عنيف يعود إلى ما قبل نحو (310) ملايين سنة، أدَّت إلى نشوء السلسلة الهيرسينيَّة العملاقة احتلَّت سائر أنحاء أوروبة الوسطى مُتمثلة بـ (الكتلة الأرموريكيَّة) غربي فرنسة، الكتلة المركزيَّة المورفان (Morvan) شمالي الكتلة المركزيَّة، الكتلة الرينيَّة (Rhénan) في ألمانية، والفوج (Vosges)، والغابة السوداء والأرْدِن والهارتز (Hartz) وبوهيمية بالإضافة إلى بلغارية.

وإلى الجنوب حدثت التواءات أُخرى خلال المرحلة نفسها وانتشرت أو أثَّرت في مناطق البيرينيَّة والجبل الأسود (Montagne Noire) وفي مناطق الألب (Alpes)، كما صعدت بعض صخور الغرانيت من الأعماق وتوضَّعت على السطح مخترقة توضُّعات ورسوبات بحريَّة عائدة للدور الفحمي الأدنى، كما عُثر على حُصيَّات وحصباء غرانيتيَّة ضمن رسوبات الكاربوني (الفحمي الأوسط)، وبين أجزاء شمالي القارَّة القديمة شمالاً وسلسلة الجبال الناهضة حديثاً في أواسط أوروبة امتدَّ حوض فحمي بالغ الأهميَّة يضم أحواض جنوبي إنكلترا وشمالي فرنسة وحوضي ليبج والرور وصقيلية والدونتس تليها جنوباً أحواض فحم استورية الإسبانيَّة وأحواض فحم آسية الصُغرى، وفي هذا الوقت لم تكُن الأحواض آنفة الذكر قد تعرَّضت لحركاتٍ التوائيَّة، وخلال الفترة الواقعة بين ما قبل (310) ملايين وَ (280) مليون سنة ترسَّبت توضُّعات الفحم العائدة للعصر الفحمي الأوسط بصورة متوافقة مع توضُّعات الفحم العائدة للدور الفحمي الأدنى، وتناوبت مياه البحر والمياه العذبة في طغيانها على الحوض أو المُنخفض المذكور، وهكذا تكدَّست توضُّعات الفحم بالغة الأهميَّة على الصعيد الاقتصادي هُنا.

ولم تكُن هذه الأحواض ولا السلسلة الهامشيَّة ثابتة أو مستقرَّة إطلاقاً، وحدثت التواءات جديدة يعود عمرها إلى نحو (290) مليون سنة وذلك في الحوض الفرنسي البلجيكي وامتلأ الذراع البحري بالرسوبات والأنقاض، وتصلَّبت سلسلة أوروبة الوسطى الجبليَّة، والتحمت بالقاعدة القاريَّة القديمة الواقعة في الشمال وضمن السلسلة ذاتها توضَّعت نماذج أُخرى من الأحواض الفحميَّة، ولا سيما ضمن الكتلة الأرموريكيَّة والكتلة المركزيَّة، وفي السار والألب والساكس وبهيمية وصقيلية التي تجمَّعت توضُّعاتها من رسوبات تكدسَّت ضمن المياه العذبة بوضعٍ مُتنافر (غير متوافق) مع الطبقات السُفليَّة التي اجتثَّها وبترها الحت العنيف قبل توضُّع هذه الرسوبات الفحميَّة.

وخلال الدور البيرمي طغى البحر على أراضي روسية الحالية، في حين امتدَّت المياه العذبة غرباً، وحينئذٍ تكدسَّت توضُّعات الفحم الحجري، بالإضافة إلى توضُّعات الشيست البيتومي، وغدا المُناخ أكثر جفافاً كما تشهد به على ذلك ذرَّات وحُبيبات الغريَّة الحمراء المُدوَّرة والكامدة، كما تعرَّضت سائر الرسوبات التي كوَّنت سلسلة أوروبا الوسطى لحركة التوائيَّة جديدة كما التوت

توضُّعات الفحم الحجري في الكتلة المركزيَّة الفرنسيَّة، وفيما بعد تعرَّضت هذه السلاسل الجبليَّة لتسوية شبه كاملة نتيجة لنشاط عمل حتِّي مارسته مياه السيول الانتشاريَّة في ظل ظروف مُناخيَّة شبه صحراويَّة، وساد على المنطقة المشهد الصحراوي الفقير بالغطاء النباتي، كما تعدَّدت البُحيرات الشاطئيَّة في ألمانيا وذلك قبل نحو (240) مليون سنة، وذلك بعد فترة طغيان بحري كامل تعرَّضت له ألمانية، وهذا ما خلَّف وراءهُ توضُّعات ملحيَّة مُهمَّة في ظلِّ ظروف مُناخيَّة جافَّة، وإلى هذه الفترة تنتمي مكامن البوتاس في ستاسفورت (Stassfurt)، كما تعدَّدت النشاطات البُركانيَّة في هذه المرحلة وباتجاه الشرق ظلَّت العتبة القاريَّة الروسيَّة مغمورة بمياه البحر طول الحقُب الجيولوجي الأوَّل، ثُمَّ انحسرت مياه البحر قبل نحو (230) مليون سنة، وترسَّبت توضُّعات الملح ضمن البُحيرات الشاطئيَّة، كما ظهرت سلسلة جبال الأورال التي تُمثِّل أواخر السلسلة الهيرسينيَّة مؤدِّيةً إلى التحام آسية مع أوروبة، كما التحمت نوى البلطيق وروسية وسيبيريَّة البريكامبريَّة، وهكذا يُمكن تعليل الأسطورة اليونانيَّة التي تجعل من أوروبة ابنة لآسية انفصلت في فجر التاريخ الجيولوجي، وعادت للالتحام ثانيةً في أواخر الحقب الجيولوجي الأوَّل.

مشكلة الفحم الحجري:

من اليسير تعليل سبب تشكُّل الفحم خلال النصف الثاني من الحقب الأول، حيثُ إنَّ المرحلة السابقة لما قبل (350) مليون سنة امتازت بغياب شبه كامل للمادة العضويَّة مع انعدام الغطاء النباتي الأرضي، أمَّا الغابات المُهمَّة التي أعطت توضُّعات الفحم فيما بعد فقد ظهرت خلال المرحلة المُمتدَّة بين ما قبل (350) مليوناً وَ (300) مليون سنة، ولكن السؤال المُهم هُنا هو سبب اختفاء تشكُّل الفحم، أو توقفه في الفترة الواقعة بعد (230) مليون سنة، كما كانت نوعيَّة الفحم المُتشكِّل خلال الحقبين الثاني والثالث أقل جودة، وساد خلالها تشكُّل الليغنيت ذي النوعيَّة الرديئة.

إنَّ توضُّعات الفحم الأكثر قدماً تعود إلى المرحلة الواقعة ما بين (350) مليوناً وَ (320) مليون سنة وتُمثِّلها توضُّعات فحم حوض موسكو تحت الأرضي وحوض سيبيرية المُهم بالإضافة إلى أحواض جزء المنطقة القطبيَّة الشماليَّة وأحواض اسكوتلندَّة الشهيرة.

وخلال الفترة الواقعة بين (315) مليوناً وَ (280) مليون سنة تأكدَّ التحام أوروبة مع النطاق الفحمي: الدونتس، صقيلية، ألمانية، بلجيكا، هولندَّة، فرنسة وإنكلترا، كما لوحظت الظواهر ذاتها في كُلٍّ من أحواض الجزائر والمغرب والصين أيضاً، بالإضافة إلى تشكُّل أحواض الآبلاش في أمريكة الشماليَّة أيضاً، ومنذُ ما قبل (280) مليون سنة توقَّف تشكُّل الفحم خلال الدور البيرمي في كُلٍّ من أوروبة وأمريكة الشماليَّة، في حين استمرَّ تشكله في هذه المرحلة في أنحاء أُخرى من العالم كالهند، وفي بعض أنحاء نصف الكُرة الجنوبيَّة وبخاصَّةً في استراليَّة والبرازيل وجنوبي إفريقيَّة وفي القارَّة القُطبيَّة.

ولتفسير هذه التغيُّرات يُمكن التأكيد على أهميَّة تبدُّلات الفلورا، فقد تميَّزت الفترة الواقعة بين (315) مليوناً وَ (280) مليون سنة بالفلورا الغنيَّة بعناصر وبأنواع خاصَّةً مثل (Pecopteris) بالسرخس، وبين (280) مليوناً وَ (230) مليون سنة سادت الغلوسبتري (Glossopteris)، وقد سادت فلورا الـ (Pecopteris) في أوروبا وفي أمريكة الشماليَّة، في حين سادت فلورا (Glossopteeris) في نصف الكرة الجنوبي وفي الهند، وقد وجدت بعض المناطق التي تداخل فيها دوران كما هي الحال في مناطق البيرينية والأورال، علماً بأنَّ سيادة الفلورا آنفة الذكر على نصفي الكرة تباينت تبعاً لتبايُن النماذج المُناخيَّة السائدة وتنوعها.

إنَّ تبدُّلات الفلورا وهجرتها المستمرَّة وما قدمته من مواد عضوية هي المسؤولة عن ظهور الفحم الحجري وتشكله دون أن ننسَ دور الخصائص والشروط الكيميائيَّة للوسط الذي تجمَّعت فيه هذه المواد من جهة، ودور الميكروبات والبكتريات المُختلفة التي كانت وراء نشاط عمليَّات التحلُّل والتفسُّخ والتخمُّر اللازمة لتحويل المواد العضويَّة إلى فحم حجري.

الفلزَّات المعدنيَّة في الحُقب الأوَّل:

إلى جانب الفحم الحجري والانتراسيت تحوي توضُّعات الحُقب الجيولوجي الأوَّل فلزَّات معدنيَّة عديدة جدَّاً ومُتنوعة جدَّاً بما فيها النفط الخام، حيثُ تُقدِّم هذه التوضُّعات نحو (5%) من الإنتاج العالمي للنفط الخام.

الحقب الجيولوجي الثاني:

تعود بدايتهُ إلى ما قبل نحو (230) مليون سنة، واستمرَّ حتَّى ما قبل (70) مليون سنة، وعلى هذا فإنَّهُ استمرَّ ما يقرُب من (160) مليون سنة، أي أنَّه أقصر من الحُقب الجيولوجي الأوَّل الذي سبقه.

جدول رقم (٥): أدوار الحقب الجيولوجي الثاني

الدور	الطابق	الفترة الزمنيَّة
الكريتاسي	الداني	70
	السيوني	72
	التوروني	80
	السينوماني	---
	الألبي	90
	الأبتي	110
	الباريمي	120
	الهوترفي	124
	الفلانجيني	127
الجوراسي	البورتلاندي	132
	الكيميريدجي	138
	اللويستاني	---
	الأوكسفوردي	---
	الكالوفي	145
		150
	الباجوس	155
	الألبني	160
	التوراسي	165
	الشارموني	167

	اللوتارنجي	168
	السينيموري	---
	الهيتانجي	169
	الريتي	171
الترياسي	الكوبر	173
	موشلكالك	---
	غرية مبرقشة	175
		177
		179
		180
		200
		215
		230

أراضي الحُقب الثاني على سطح الكُرة الأرضيَّة:

تتوزَّع التكشفَّات والأراضي العائدة للحقب الجيولوجي الثاني في مُختلف أنحاء العالم مُتوضعة خارج المجنَّات البريكامبريَّة والسلاسل التي تصلَّبت خلال الحقب الجيولوجي الأوَّل، أو ضمن غطاء العتبة القاريَّة التي تُغطِّي أو تحجُب هذه التوضُّعات القديمة، كما هي الحال في كندا، وفي القطاع المحصور بين جبال روكي وخليج أوفرضه هودسون أو ضمن السهل الروسي الكبير، فلو نظرنا أو تمعنَّا في خارطة فرنسة الجيولوجيَّة لوجدنا أنَّ رسوبات الحُقب الجيولوجي الثاني مُنتشرة ضمن ثلاثة أحواض رئيسة كُبرى قابعة فوق توضُّعات أكثر قدماً تعرَّضت لحركات التواء وحت لاحق لهذه الحركات، وتتمثَّل هذه الأحواض بحوض باريس وحوض اكيتانية والحوض الروداني (Rhodanien) بما فيها حوض السون (Saon)، كما نجد هذه التوضُّعات شرقاً في اللورين واللزاس، كما يتصل حوض باريس شمالاً بكُلٍّ من بلجيكة وجنوب هولندة، ولهذا يُمكن أن يُعرف هذا الحوض باسم الحوض الفرنسي البلجيكي الذي يتصل بحوض

انكلترا مارَّاً تحت قاع المانش، حيثُ إنَّ قناة عبر المانش أو تحته محفورة ضمن توضعات الحوَّار العائدة لهذا الحوض، وبين الأحواض المذكورة تنتصب كُلَّاً من الكتلة المركزيَّة والكتلة الأرموريكيَّة والكتلة الرينانيَّة، وبين حوضي باريس واكتيانية تمتّد منطقة بواتو التي تتَّخذ أحياناً مظهر برزخ أو شكله وأحياناً أُخرى تتَّخذ شكل مضيق واضح، يُمكن قول الشيء نفسه عن عتبة نوروز (Nourouze) وعن هضبة اللانغر (Langres)، وضمن الأحواض كافَّة تقبع رسوبات الحقب الثاني فوق قاعدة صلبة جدَّاً، وبقيت مُتخذَّة وضعاً أُفقيَّاً (تطبُّقاً أُفقيَّاً) في غالب الأحيان، كما نعثُر على توضُّعات الحقب الثاني ورسوباته أيضاً، وقد تعرَّضت لحركات التوائيَّة عنيفة في كُلٍّ من البيرنية وجزيرة كورسيكا وفي مناطق الألب والجورا، علماً بأنَّ منطقة الجورا هي التي أعطت توضُّعات الدور الجوراسي اسمها.

صخور الحقُب الثاني:

لا تمتاز صخور هذا الحقُب بخصائص نوعيَّة صغيرة تنفرد بها عن صخور بقيَّة الأحقاب، باستثناء أنَّ بعض توضُّعاتها ظلَّت مُتحركَّة غير ثابتة في أماكن توضُّعها الأوليَّة، كما هي الحال في توضُّعات الرمال والغضار العائدة لهذا الحقُب الذي سادت فيه توضُّعات الحوَّار أيضاً ابتداءً من إنكلترا مروراً بمنطقة بواتو الفرنسيَّة وحتَّى سواحل البلطيق وأوكرانية، وقد سادت الحجارة الرمليَّة في مطلع هذا الحقُب تلاها سيادة مُطلقة للصخور الكلسيَّة وللصخور الكلسيَّة الدولوميَّة، بالإضافة إلى توضُّعات المارن (الكدَّان)، كما أنَّ هذا الحقُب غنِّي بالأرصفة المُرجانيَّة التي خلَّفتها قواقع مزدوجة المصراع، أمَّا فلزَّات حديد منطقة اللورين العائدة إلى هذا الحقُب فهي رسوبات بحريَّة المنشأ.

الحياة خلال الحقُب الجيولوجي الثاني:

الأحياء النباتيَّة:

١- تراجعت أهميَّة النباتات الجذريَّة على الأراضي اليابسة وفقدت مكان الصدارة وعلى رأسها السراخس والنباتات الأُخرى التي تتكاثر بالأبواغ، وتراجعت أهميَّتها لدرجةٍ لم تعُد تُمثِّل معها أكثر من ثلث إجمالي الأصناف النباتيَّة العائدة إلى الحقُب الثاني.

٢- احتلَّت النباتات عريانة البذور المركز الأوَّل للنباتات في هذا الحقب، وعلى رأسها الصنوبريَّات والمخروطيَّات والسيكاد (Cycndées) التي تُشبه أشجار النخيل، وقد مثَّلت هذه الزمرة نحو (40%) من إجمالي النباتات.

٣- ظهرت كُلّاً من النباتات مُغلَّفة البذور (بذور ضمن مبيض) كالصفصافيَّات وأشجار النشم أو الورم (Ormes) والسنديان والبلُّوط والزان وأشجار الغار والتينيات (التين) وأشجار الكرمة وغيرها من النباتات المعروفة حقليّاً في الوقت الحالي، مع مطلع الدور الكريتاسي وذلك قبل نحو (130) مليون سنة، كما ظهرت في الوقت نفسه النباتات ذات الأزهار، كما ظهرت الحشرات التي تتغذَّى عليها وتنتقل بينها وعلى رأسها الفراشات والنحل، بالإضافة إلى النمل.

وهكذا يُمكن القول إنَّ قائمة الحشرات الكبرى المعروفة اكتملت فصائلها منذُ الحُقب الجيولوجي الثاني، وغدا الغطاء النباتي يؤمِّن حماية للتربة كافَّة، ولسطح الأرض تجاه عوامل الحت والتعرية الخارجيَّة، ولا سيما منذُ (180) مليون سنة، إذ نشأت غابات كثيفة بالغة الأهميَّة مُشكلةً عقبات كُبرى في وجه العمل الريحي، وفي وجه الحت المائي.



صورة رقم (٣٢): التين (الكريتاسي)، تكوين هيل كريك (مونتانا) – الولايات المُتحدة الأمريكيَّة

الأحياء الحيوانيَّة:

١- ظهرت الحشرات التي تتغذَّى على النباتات ذات الأزهار (الفراشات والنحل).

٢- تطوَّرت الحيوانات اللافقاريَّة ضمن مياه البحر بصورةٍ طبيعيَّة.

٣- من بين القوقعيَّات المُهمَّة العائدة إلى هذا الحقُب نذكُر ذوات المصراعين أو ما يُعرف بسمك البدلات (Huiter) المعروفة جيداً في الوقت الحالي، بالإضافة إلى اللافقاريَّات أو الرخويَّات التي تجمع قواقع مزدوجة المصراع.

٤- ظهرت اللافقاريَّات بصورة أكثر رُقيّاً وتطوُّراً (الرخويَّات ذات المجسَّات المُتحركَّة التي تقوم بدور اللمس – Mollusques atentacules).

٥- ازدهرَّ وتطوَّر البيلمنت (Belemnite) والأمونيت (Ammonite) اللذان اختفيا مع نهاية الحقُب علماً بأنَّ الأمونيت تعدَّدت أصنافه في هذا الحقُب، ولا زال يُستخدم كمستحاثَّة رئيسة في تاريخ توضُّعات الحقُب الثاني وفي تميُّزها والتعرُّف إليها.

٦- ظهرت في رسوبات هذا الحقُب بصمات وآثار للقشريَّات والرخويَّات المُختلفة التي نُلاحظها جيدَّاً من الصخور الكلسيَّة السولنهوفيَّة (Solenhofen) وفي بافارية والتي هي رسوبات وأنقاض تجمَّعت وتكدَّست ضمن بُحيرات شاطئيَّة ساكنة أو هادئة المياه.

٧- عُثر على ثلاثة نماذج من طيور الاركسيوبتريكس الذي يُمثَّل أقدم الطيور المعروفة على سطح الكُرة الأرضيَّة.

٨- خضعت الفقاريَّات لتبدُّلات بالغة الأهميَّة، حيثُ انتقلت الأسماك العظميَّة من المياه العذبة لتحتلَّ مياه البحار وتغدو العُنصر السائد فيها.

٩- ظهرت الضفادع العاديَّة (Grenouilles) والضفادع السامَّة (Grapaudes) خلال الدور الجوراسي.

١٠- ظهرت الثديَّات في أواخر الدور الترياسي.

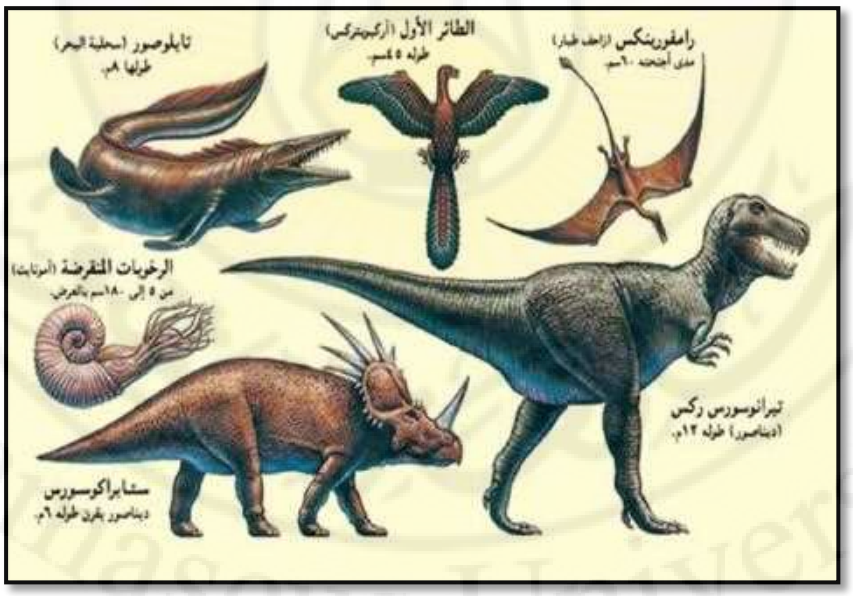


صورة رقم (٣٣): آثار للقشريات الجمبري – ألمانيا



صورة رقم (٣٤): الأمونيت – روسيا

ومع ذلك كُلَّه يبقى الحقب الثاني الفترة التي شهدت الانتشار والرقي الكبير للزواحف وللحيوانات الأرضيَّة والسابحة وللحشرات الطائرة والقوارض والجوارح وكُلَّها ظهرت بأحجام عملاقة نسبيَّاً.



صورة رقم (٣٥): حيوانات حقب الحياة المتوسطة

وهكذا نرى أنَّه على الرُغم من أن أجداد معظم النباتات والحيوانات المعروفة حاليَّاً تعود إلى الحقُب الجيولوجي الثاني، وقسم كبير منها موجود أيضاً منذُ الحُقب الأوَّل باستثناء الطيور والثدييات التي لم يكتمل ظهور سائر أصنافها وفصائلها وأفرادها إلَّا في مطلع الحقُب الجيولوجي الثالث.

مناخات الحقُب الجيولوجي الثاني:

بشكلٍ عام كانت المُناخات السائدة مُناخات حارَّة، تتمتَّع بدرجات حرارة أكثر ارتفاعاً من درجات الحرارة السائدة حاليَّاً بمعدَّلات تتراوح بين (5 – 10) درجات مئويَّة، ولهذا ظهرت الأرصفة المُرجانيَّة شمالاً حتَّى خط العرض (54°) ولكنَّها لم تصل المدى أو خط العرض الذي ظهرت فيه الأرصفة العائدة للحقب الأوَّل الذي انتشرت أرصفته المُرجانيَّة حتَّى خط العرض (75°) شمالاً، وخلال خمسين مليون سنة الأولى من الحقب الثاني أي خلال الدور الترياسي كان المُناخ شديد الجفاف في مُختلف أنحاء العالم سادت خلاله توضُّعاته الغريَّة الحمراء ذات الحُبيبات الرمليَّة التي يظهر عليها أثر العمل الريحي واضحاً جدَّاً، وفيه وجد العديد من آثار وبصمات حيوانات بريَّة مُتنوعة، بالإضافة إلى العثور على كثبان رمليَّة متطبقة وترسُّبات لأُكسيد السيليس (Silicification) مُماثلة تماماً لما يتشكَّل حاليَّاً في كالاهاري وفي إفريقية الجنوبيَّة، كما يُعثر في أراضي الترياسي على حجارة ذات دهان وقشر صحراوية بالإضافة إلى أملاح مُهمَّة كما هو الحال في اللورين وهذا دليل قاطع على نشاط البحر الذي وضعها، بالإضافة إلى أنقاض ورسوبات لمجارٍ مائيَّة فصليَّة الجريان بالإضافة إلى طبقات غضاريَّة تتخلَّلها حصيَّات وضعتها مياه السيول الفجائيَّة وكلها ظواهر يُمكن ملاحظتها بدقة في منطقة الفوج الفرنسيَّة، وتمتاز هذه التوضّعات عموماً بفقرها الكبير بالمستحاثات من جهة، وبقلَّة أنواعها – إن وجدت – من جهة ثانية، وقد سادت الشروط ذاتها في مختلف أنحاء العالم ابتداءً من إريزونا مروراً بغويانا وأوروبا وانتهاء بغوندوانا قاطبة.

إنَّ انعدام الغطاء النباتي أو بالأصح ندرته الكبيرة أسهم في نشاط العمل الحتِّي العنيف أوقات التهطالات الفُجائيَّة العنيفة التي تُميِّز النماذج المُناخيَّة نصف الصحراويَّة أو شبه الصحراويَّة، كما أنَّ الجريانات المائيَّة الانتشاريَّة التي شكلتها التهطالات المذكورة كانت شديدة الأثر والفعاليَّة

المورفولوجيَّة وهي المسؤولة عن أشباه السهول القديمة في مناطق مُتفرقة من العالم، وهي التي تمكنَّت دون أدنى شك من اجتثاث بعض السلاسل التي التوت وبراها الحت خلال الحقُب الجيولوجي الأوَّل، ومنذُ (180) مليون سنة تحسنَّت الظروف المُناخيَّة التي غدت أكثر رطوبة وتعددت الينابيع والمجاري المائيَّة الدائمة والأنهار التي عمَّقت مجاريها، وشكلَّت أشباه سهول مُهمَّة جدَّاً كما أنَّ غالبية الأودية النهريَّة العملاقة الحاليَّة التي تجري فيها أنهار قزمة ذات صبيب قليل الأهميَّة حفرت وتشكلَّت خلال هذه المرحلة أي منذُ ما يزيد على (180) مليون سنة، وضمن قيعان الأودية المذكورة تُصادف غالباً ترسُّبات بحريَّة عائدة إلى بحار الحقبين الجيولوجيين الثاني والثالث.

التواءات الحقُب الجيولوجي الثاني:

نهض خلال هذا الحقب العديد من السلاسل الجبليَّة في العالم، كما تصلَّبت نهائيَّاً الأطراف والهوامش الغربيَّة للأمريكيَّتين ومنطقة مضيق بهرنغ وشرق سيبيرية والصين والهند الصينيَّة وماليزية وسومطرة وبورنيو وغربي نيوزيلندَّة، أمَّا الالتواءات العائدة إلى هذا الحقب فتصادف بصورة أساسية في كُلٍّ من كوبا والقفقاس والتركستان ففي بعض أنحاء الهيمالايا وكامشاتكا وفي اليابان وجاوة وغينية الجديدة وكاليدونية الجديدة.

الحقب الجيولوجي الثالث:

تعود بدايته إلى ما قبل نحو (70) مليون سنة، واستمرَّ نحو (68) مليون سنة تقريباً، وعلى هذا فإنَّه استمرَّ أقل من نصف الفترة التي استمرَّها الحقُب الثاني.

جدول رقم (٦): أدوار الحقب الجيولوجي الثالث

الدور	العصر	الطابق	المدة بملايين السنين
النيوجين	البليوسين	الاستي	2
		البليزانسي	12
	الميوسين	البونتي	14
		التورتوني	17
		الهافيتي	21
		البورديفالي	25
الباليوجين	الاوليغوسين	الشاتي	30
		التاوجي	35
		السانوراي	40
	الايوسين	اللودي	---
		البارتوني	45
		اللوتي	50
		البيريزي	55
	الباليوسين	السيازنازي	60
		التانيتي	63
		المونتي	70

أراضي الحقُب الثالث:

إنَّ أراضي الحقُب الثالث وتوضُّعاته أكثر انتشاراً واتساعاً من التوضُّعات والأراضي الأكثر قدماً في سائر أنحاء العالم، لأنَّها لم تتعرَّض لعمليَّات حت عنيفة بالدرجة التي تعرَّضت لها الأراضي الأكثر قدماً، ونُصادف توضُّعات الحقُب الثالث عموماً على شكل طبقات سميكة نسبيَّاً مُتكدسَّة ضمن الأحواض المُختلفة وقابعة فوق رسوبات الحقُب الجيولوجي الثاني في وضع أُفقي متوافق، كما توجد رسوباتها على شكل طبقات ملتويَّة ضمن السلاسل الجبليَّة الحديثة التي شاعت تسميَّتها بالسلاسل ذات العُمر الألبي، ورسوبات الحقُب الثالث عموماً أقل تصلُّبَاً وقساوةً من

الأنقاض والرسوبات القديمة، وتكثُر فيها الغُضاريَّات والرمال والحصى والحصباء، كما تكثُر فيها توضُّعات الليغنيت ذي النوعيَّة الرديئة بالمقارنة مع الفحم الحجري المعروف، رُغم ذلك يُمكن استخدامها بسهولة في الصناعات الكيميائيَّة والبلاستيكيَّة بشكلٍ عام، كما أنَّ توضُّعات الحقُب الثالث أكثر غنى بمكامن وحقول النفط الخام وبالغاز الطبيعي من التوضُّعات الأكثر قدماً، ويُعزى ذلك إلى تناقُص أخطار هروب هذه المواد من مصائدها تحت تأثير الحوادث البنائيَّة المُهمَّة التي كانت قليلة الأهميَّة نسبيَّاً بالمقارنة مع الأزمنة السابقة، إذ إنَّ توضُّعات الحقُب الثالث كانت أقل تشوَّهاً كونهُ كان فقيراً نسبيَّاً، كما أنَّ طبقاته أقل سماكة من الطبقات السُفليَّة بشكلٍ عام.

الحياة خلال الحُقب الثالث:

احتفظَّت توضُّعات الحُقب الثالث ورسوباته بمُستحاثاتها بصورةٍ أفضل من الرسوبات الأكثر قدماً، ويبدو أنَّ أحياءهُ النباتيَّة والحيوانيَّة أكثر قرابةً وتشابُهاً مع الأحياء المعروفة حاليَّاً، حيثُ تعود أجداد أحيائُنا الحاليَّة إلى الحقُب الثالث تحديداً.

الأحياء النباتيَّة: وتمثَّلت هذه الأحياء بـ:

١- ظهور النباتات مغلَّفة البذور: ظهرت هذه النباتات في الحُقب الثاني، وعُمَّت وانتشرت جدَّاً لتُشكِّل ما يقرُب من (95%) من النباتات الجذريَّة العائدة للحُقب الثالث.

٢- ازدهرت نباتات وحيدات الخليَّة المجهريَّة، إلى جانب وحيدات الخليَّة التي زاد طول بعضها على بضعة ميلمترات ووصلت أحياناً إلى بضعة سنتمترات.



صورة رقم (٣٦): جوزة السرو (العصر البليوسين) – ألمانيا

الأحياء الحيوانيَّة:

١- ظهر النموليت الذي يُشبه قطع النقود ومن هذا التشابه استمدَّ النموليت اسمه، ويُعدُّ النموليت من المُميزات النوعيَّة للحُقب الثالث.

٢- سادت المُرجانيَّات، من بينها المُرجانيات ذات الأشكال والنماذج المؤلَّفة من ست حواجز شُعاعيَّة أو مُضاعفاتها.

٣- خضعت القوقعيَّات لتبدُّلات بالغة الأهميَّة، ولا سيما خلال المرحلة الانتقاليَّة الواقعة بين الحُقبين الجيولوجيين الثاني والثالث، حيثُ تناقصت أهميَّة البراكيوبورات (Brachiopodes)، وتراجعت أعدادها وأنواعها فبعد أن كانت تحتل (15%) من الأصناف السائدة تراجعت إلى (1%) فقط.

٤- تراجعت نسبة اللافقاريَّات ذات الزوائد والاستطالات المُستخدمة للمس (Mollusque atentacule) من (20%) إلى (1%)، أمَّا اللافقاريَّات معديَّات الأرجُل (Gastropoda) فقد تزايدت أهميَّتها من (30%) حتَّى (60%).

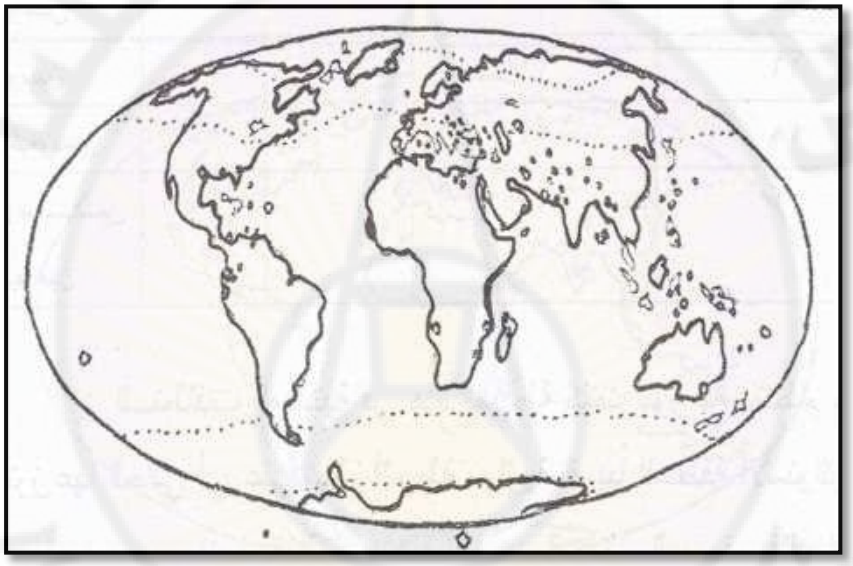
٥- بالنسبة للأسماك: فقد شكلَّت الأسماك العظميَّة نحو (95%) من الصنف المذكور.

٦- تراجعت أهميَّة وأعداد الزواحف التي كانت أسياد اليابسة في الحُقب الثاني بشدَّة خلال الحُقب الثالث، ولم تُعد تشمُل سوى العوائل الخمسة المعروفة حتَّى وقتنا الحالي، والتي تشمُل

الحرادين (العظايا) والأفاعي (Serpants) والسلاحف (Toryure) والتماسيح (Crocodiles) والسفينودونات أو ما يُعرف بالهاتريا (Hatteria).

٧- اختفت الطيور ذات الأسنان، مُقابل تعدُّد أصناف الطيور عديمة الأسنان.

٨- تزايدت أعداد الثديَّات وأصنافها التي يُعدُّ الحُقب الثالث عصرها الذهبي، واحتلَّت المكانة التي كانت تحتلَّها الزواحف خلال الحُقب الثاني.



شكل رقم (٤٤): النموليت والليبيد وسيكلين، من المُنخريات التي عاشت في الحُقب الثالث، ولا تظهر في المناطق الباردة حيثُ أنَّها كانت تستوطن البحار الدافئة، وتشير الخطوط المُنقطة إلى خطوط تساوي الحرارة (10°+، 10°-) مئويَّة، علماً بأنَّ مُناخ مطلع وأواسط الحُقب الثاني كان يمتاز بدرجات حرارة أكثر ارتفاعاً بنحو (10°) مئويَّة من الدرجات الحاليَّة، ورُغم ذلك فإنَّ نطاقاته المُناخيَّة موازية تقريباً للنطاقات المُناخيَّة الحاليَّة.

المُناخات خلال الحُقب الثالث:

في مطلع الحُقب الثالث كانت المناخات ما تزال شديدة الحرارة كما هي الحال في أواخر الحُقب الثاني، ومن ثُمَّ بدأت بالتبرُّد التدريجي حتَّى أيامنا الحاليَّة، إذ تناقصت درجة الحرارة في العروض المُتوسطة بنحو (10) درجات مئويَّة، كما هو موضَّح في الجدول التالي:

جدول رقم (٧): درجات الحرارة خلال الحُقب الجيولوجي الثالث

العصر	التاريخ بملايين السنين	درجات حرارة الولايات المتحدة الأمريكيَّة		درجات حرارة لندن وكولونيا وفرانكفورت
		الساحل الشرقي	الساحل الغربي خط عرض (52) شمالاً	
الحالي	صفر	10	10	9
البليوسين	8	11	12	14
الميوسين	20	14	16	16
الأوليغوسين	30	–	21	18
الإيوسين الباليوسين	50	–	25	21

إنَّ النطاقات المُناخيَّة في هذه المرحلة كانت موزَّعة بانتظام مُماثل لتوزُّعها الحالي، أي على شكل أشرطة موازية تقريباً للمنطقة الاستوائيَّة مع انزياح نسبي باتجاه القطبين نتيجةً للتسخُّن المُناخي المُهم في ذلك الحُقب بشكلٍ عام، وعلى هذا يُمكن التأكيد بأنَّ موقعي القطبين لم يتغيَّر خلال سبعين مليون سنة الأخيرة، أمَّا مُعدَّلات الرطوبة فقد كانت كافيَّة أحياناً لنمو غابات كثيفة رائعة الجمال، وكانت شديدة الانخفاض في أحيانٍ أُخرى، وذلك لأنَّ مُعدَّلات النمو في هذه المرحلة كانت أكثر ارتفاعاً من مُعدَّلات التهطال، وفي هذه الفترات تطوَّرت الحجارة – الجصيَّة في منطقة باريس، كما تشكلَّت مكامن الملح في فيلتسكا البولنديَّة، بالإضافة إلى توضُّعات البوتاس الإلزاسيَّة وفي حوض إيبرة (Ebre)، كما تشكلَّت تشرُّبات من السيليس على هوامش الألسنة المائيَّة القطبيَّة في أواسط الحُقب الثالث كما هي الحال في حوض باريس مُشابهاً لما يحدُث حاليَّاً في صحراء كالاهاري، وقد أعطت هذه التوضُّعات صخوراً وحجارة الرصيص، كما تشكلَّت خلال هذه المرحلة توضُّعات هامَّة من الفوسفوريت ضمن الجيوب الكارستيَّة التي حوَت

كميَّات مُهمَّة من غُضار التأكلُس (الناجمة عن التحلل الكارستي)، إلى جانب تشكُّل خثرات جديدة ضمن الرمال الناتجة أو المُتشكلَّة من التفكك الآلي للصخور المُختلفة الحاوية عليها، إلى جانب ظهور توضُّعات اللاتيريت الهامَّة كما يجري في السودان حاليَّاً.

تشوُّهات الحُقب الثالث ومظاهر البركنة:

شهد الحُقب الجيولوجي الثالث التواءات شديدة العنف في مُختلف أنحاء الكُرة الأرضيَّة بلا استثناء يُذكر، وقد عُرفت هذه الالتواءات بتحمُّلها للحركات الالتوائيَّة الألبيَّة، ولقد بدأت حركة الالتواءات العنيفة منذُ الفترة الانتقاليَّة الفاصلة بين الحُقبين الثاني والثالث، حيثُ تعرَّضت مناطق غربي الأمريكيَّتين لالتواءات عنيفة، كما سادت فيما بعد التواءات أُخرى في كُلٍ من شمالي أمريكا الشماليَّة وكندا وجزر الانتيل وفي سلاسل الأطلسي، وفي كُلٍّ من المغرب وتونس وفي مُختلف أنحاء إسبانيا وجبال البيرنيَّة والابنين والألب والكاربات وجبال يوغسلافيَّة – القديمة – واليونان والقفقاس وآسية الوسطى وإيران والهيمالايا وأندونسيَّة وجزر الفلبين ونيوزيلندَّة واليابان وكامتشاتكا، وعلى الطرف الآخر من المُحيط الهادي عمَّت هذه الحركات في القارَّة القطبيَّة الجنوبيَّة في سلاسل الانديز وقوس سكوتيا (Scotia)، ولقد سادت هذه الالتواءات في وقتٍ كانت فيه صخور القاعدة مُتصلبَّة دون أدنى شك.

كما شهدت الكُرة الأرضيَّة خلال هذا الحُقب العديد من الصدوع والفوالق المُهمَّة التي تخلَّلت الحركات الالتوائيَّة آنفة الذكر، ففي فرنسة مثلاً يُعزى تشكُّل هوَّة ليمانيَّة (Limagne) انهداميَّة وسهول الألزاس إلى الحركات البنائيَّة التي نشطت خلال الحُقب الثالث، هذا ولقد نشطت الكسور والفوالق على عدَّة دفعات أو مراحل مُتتاليَّة دون أدنى شك.

ولعلَّ من أهم الفوالق الكُبرى العائدة إلى هذا الحُقب هو الفالق السوري الإفريقي الذي أثَّرَ في منطقةٍ واسعة ابتداءً من شرق إفريقيا وانتهاءً بأقصى شمال القطر العربي السوري مروراً بالبحر الأحمر وخليجي العقبة والسويس والبحر الميت وسهل الغاب، ولقد ترافقت كسور الحُقب الثالث وفوالقه باندفاعات بُركانيَّة هامَّة كما حدث في الكتلة المركزيَّة الفرنسيَّة وفي هنغاريَّة ومُختلف أنحاء شمال إفريقية وعلى أطراف المُحيط الهادي وهوامشه وفي الولايات المُتحدة الأمريكيَّة التي تضم هضبة كولومبيَّة البازلتيَّة التي تُغطِّي مساحة تُقدَّر بنحو نصف مساحة فرنسة، كما ينتشر

الكثير من الصباب البازلتيَّة المُماثلة في كُلٍّ من غروئلندَّة وفي إيسلندَّة وفي جزر الأركاد (Orcaades).

الحُقب الجيولوجي الرابع:

وهو أقصر الأحقاب الجيولوجيَّة وأقربها من أيَّامنا الحاليَّة، استمرَّ مدَّة زمنيَّة تراوحت بين مليون ومليوني سنة، وعلى الرُغم من ذلك فإنَّ هذه المرحلة القصيرة تحتل مكانة بالغة الأهميَّة والخطورة نظراً لأنَّ الإنسان ظهر فيها، وانفرد هذا الحُقب بميزة نوعيَّة تمثَّلت بتكرار الزحوف الجليديَّة التي حدثت خلاله، وهذا ما يُميِّزه عن الحقبين الجيولوجيين الثاني والثالث، علماً بأنَّ أوائل الجليديَّات التي شهدتها الكُرة الأرضيَّة تعود إلى ما قبل (580) مليون سنة والأُخرى إلى ما قبل (280) مليون سنة، وتكشَّفت أسرار الحُقب الرابع، ولإتمام دراسته اعتمدَّ الاختصاصيون بشكلٍ عام على البقايا النباتيَّة والحيوانيَّة التي عاشت على اليابسة بشكلٍ أساسي، بالإضافة إلى الدراسة البوغيَّة التي تعتمد على تحليل حبَّات الطلع في المقالع والمكامن المُختلفة مع دراسة بقايا النباتات والثديَّات والقواقع ومُخلَّفات إنسان ما قبل التاريخ.

وبشكلٍ عام حدث خلال الحُقب الجيولوجي الرابع كثير من أوجه النشاط البُركاني إلى جانب الالتواءات والكسور والفوالق الهامَّة، ولقد كانت هذه الحوادث بالغة الأهميَّة لدرجة أنَّ درجات ميل الطبقات التي تعرَّضت للالتواءات الرُباعيَّة في كاليفورنيَّة وصلت إلى نحو (30°)، كما أنَّ بقايا القواقع البحريَّة في كُلٍّ من كالابريَّة (Calabre) وصقيلية نهضت حتَّى ارتفاعات وصلت إلى (1000م) فوق مستوى سطح البحر الحالي، مع سرعة نهوض بلغت متراً واحداً كُل ألف سنة.

ولم يكتشف الاختصاصيون صخوراً غرانيتيَّة رُباعيَّة، وذلك لأنَّها أي صخور الغرانيت تتوضَّع على أعماق تتراوح بين (10–15 كم) تحت سطح الأرض، وهو عمق لم تصلهُ آبار الاستكشاف بعد.

الجليديَّات الرُباعيَّة الكُبرى:

ويُمكنُنا أخذ فكرة واضحة عنها من خلال دراسة ما تبقَّى من جليديَّات حتَّى يومنا هذا، حيثُ هُنالك جليديَّة القارَّة القطبيَّة الجنوبيَّة التي تحتل مساحة هائلة تزيد عن (2000.000 كم^2)،

وهذا ما يُعادل ضعف مساحة فرنسا بكاملها بنحو (22) مرة، وجليديَّة غروئلندَّة التي تتراوح مساحتها بين (220000 كم^{٢}) وَ (275000 كم^{٢})، علماً بأنَّ هاتين الجليديَّتين كانتا تُغطيَّان مساحة أكبر بكثيرٍ من مساحتها الحاليَّة خلال امتداها وانتشارها الأعظمي، كما كانت تنتشر فيما مضى جليديَّة قاريَّة هائلة في شمالي أمريكا الشماليَّة ولقد تقدَّمت هذه الجليديَّة في أقصى فترات زحفها لتُغطِّي المناطق الواقعة حتَّى خط عرض مدينة نيويورك، وإلى جانب ذلك انتشرت جليديَّات اسكندنافية وأوروبا والتي زحفت حتَّى هولندَّة ومنطقة الساكس وبولندَّة وأوكرانيَّة، والتحمت هذه الجليديَّة غرباً بجليديَّة الجُزر البريطانيَّة وشرقاً بجليديَّتي الأورال الأرض الجديدة (Nouvelle–Zemble)، كما امتدَّت في المنطقة جليديَّة كُبرى غطَّت مناطق غرب سيبيرية إلى جانب الألسنة التي كانت تُغطِّي جبال آسية الوسطى وشرقي سيبيرية وباتاغونية في النصف الجنوبي من الكُرة الأرضيَّة، أمَّا جليديَّات جبال الألب فقد هبطت لتصل حتَّى أعتاب مدينة ليون الفرنسيَّة، وبشكلٍ إجمالي كانت هذه الجليديَّات خلال مرحلة طغيانها الأعظمي تُغطِّي مساحة إجماليّة تُقدَّر بنحو (45) مليون كم^{٢}، وهذا ما يُعادل نحو ثلث إجمالي مساحة اليابسة الحاليَّة، وثلاثة أضعاف المساحة التي تحتلَّها الجليديَّات الحاليَّة على سطح الكُرة الأرضيَّة، وفي ذلك الوقت كان ارتفاع حد الثلج الدائم أكثر انخفاضاً من حد الثلج حاليَّاً بنحو (400 م) وَ (1400 م)، كما أنَّ درجات الحرارة كانت أكثر انخفاضاً بمُعدلات تراوحت بين (7) درجات وَ (16) درجة، فوسطي درجة الحرارة السنويَّة في منطقة باريس مثلاً انخفضت من (21˚) إلى (14˚) خلال الحُقب الثالث وهبطت إلى (–4˚) ورُبمَّا أقل في المراحل الباردة جدَّاً من الحُقب الرابع، علماً بأنَّ المُعدَّل السنوي الحالي يحوم حول (11˚) درجة، وعلى هذا يُمكن التخمين بأنَّ مراحل التبرُّد المُهمَّة كانت قد بدأت منذُ أواخر الحُقب الثالث الذي بدأت خلاله جليديَّة القارَّة القطبيَّة بالتشكُّل وبالانتشار والطُغيان التدريجي.

ولقد شهد الحُقب الجيولوجي الرابع تذبذُبات مُناخيَّة هامَّة جدَّاً أدَّت إلى حدوث زحوف جليديَّة كُبرى خلال الفترات الباردة، تخلَّلتها فترات انحسار جليدي خلال فترات التسخُّن كما نرى من الجدول التالي:

جدول رقم (٨): الفترات المُناخيَّة خلال الحُقب الجيولوجي الرابع

	الرُباعي	أمريكا الشماليَّة		مناطق الألب
الهولوسين	الحديث	دسكونس	–	الفورم
الرُباعي القديم (البلاستوسين)		السانفامونيَّة	+	الريس – الفورم
	الأوسط	أيلينوا	–	الريس
		اليارموتية	+	المندل – الريس
	القديم	كانساس	–	المندل
		الافتونية	+	الجينز – المندل
		نيراسكا	–	الجينز – الدونوا
الحقب الثالث				البيبر

- **إشارة الناقص تدل على اسم الزحوف الجليديَّة.**
- **إشارة الموجب تدل على أسماء الفترات الدافئة ما بين الجليديَّة**

وكما نُلاحظ على الجدول السابق يُمكننا أن نُميِّز في مناطق الألب أربعة زحوف جليديَّة كُبرى خلال الحُقب الرابع، ففي الرُباعي القديم لدينا (2 – 3) جليديَّات، تلتها مرحلة ما بين جليديَّة هامَّة كان المُناخ فيها أكثر حرارة من المُناخ الحالي تكوَّنت خلالها تُرب حمراء بالغة الأهميَّة، كما تعمَّقت الأودية النهريَّة بصورةٍ محسوسة جدَّاً، وبعدها حدثت فترة تبرُّد شديد خلال الرُباعي الأوسط زحفت خلاله الجليديَّات على مناطق أوسع من المناطق التي زحفت عليها جليديَّات الرُباعي القديم، تلتها فترة ما بين جليديَّة كان المُناخ خلالها مُماثلاً لمُناخنا الحالي، أمَّا جليديَّة الرُباعي الحديث فلم تبلُغ المدى الذي بلغته جليديَّات الرُباعي الأوسط في زحفها وتُقدمها، علماً بأنَّ كُل فترة تجلُّد كُبرى تُقسم بدورها إلى فتراتٍ مُتمايزة تتقدَّم أحياناً وتتراجع أحياناً أُخرى تبعاً لمُلائمة الظروف المُناخيَّة وذبذباتها المُتتاليَّة وبشكلٍ عام تمكن الأخصائيُّون من إحصاء (– 12 10) فترة باردة جدَّاً مفصولة بعضُها عن بعض بفتراتٍ دافئة نسبيَّاً، وكُل دورة منها استمرَّت فترة زمنيَّة تتراوح بين (50.000) وَ (100.000) سنة.

النتائج المُباشرة لفترات التبرُّد الكبير في الحُقب الرابع:

خضعت بعض المناطق التي كانت في منأى عن الطغيان والزحف الجليدي خلال فترات التبرُّد الكُبرى لنشاط ولعمل حقيقيين إلى جانب نشاط العمل الريحي كما يحدُث حاليَّاً في كُلٍّ من شمالي سيبيرية وشمالي آلاسكا، وتجلَّت هذه الآثار في الشقوق الهائلة التي تعتري الصخور المساميَّة تحت تأثير تجلُّد المياه وذوبانها ضمنها، وذلك إلى جانب توضُّعات الغريَّة التي تُغطِّي السفوح وهي (أي هذه الغرية) بالأساس الفُتات الذي خلَّفه تتالي مرات التجلُّد والذوبان الذي تعرَّضت له الصخور المساميَّة، وعلى رأسها الصخور الكلسيَّة، كما تعزى إلى هذه المرحلة تشكُّل التُرب المُضلَّعة الحجريَّة المعروفة، أمَّا النشاط الريحي فقد تجلَّى في إعطاء الحُصيَّات ذات الوجيهات المُتعرضَّة لعمل ريحي كما أعطى ذرَّات رمال مدوَّرة وكامدة، أمَّا مناطق انتشار أعشاب المروج والمراعي فقد شكلَّت مصائد فعليَّة لتوضُّعات الغرين (الليمون) التي كانت تحملها الرياح فتكدسَّت هُنا على شكل توضُّعات اللوس المعروفة.

كما شهدت الأنهار فيضاناتها الأعظميَّة في مراحل ذوبان الثلوج، وحملت معها أثناء هذه الفيضانات أكداساً من الحصى مُتباينة الأحجام والأبعاد.

إنَّ التأثير الكبير لفترات البرد الشديد تجلَّى في تحويل كميَّات هائلة من المياه السائلة إلى الحالة الصلبة، وهكذا تشكلَّت الجليديَّات القاريَّة من جهة وانخفض مستوى الأساس العام من جهة ثانية لتناقص كميَّة مياه البحار التي تحوَّلت إلى جليديَّة، وفي الفترات الجليديَّة وبسبب التسخُّن المُناخي كانت رقع جليديَّة كُبرى تتعرَّض للذوبان، وبالتالي تعود المياه الذائبة لتنتهي في البحار بصورةٍ مُباشرة أو غير مُباشرة، وهكذا يعود مستوى الأساس العام ليرتفع مُجدَّداً.

إنَّ تباينات مستوى الأساس العام هذه تؤدِّي دوراً جيومورفولوجيَّاً بالغ الحساسيَّة والأهميَّة والخطورة ولسنا هُنا بصدد دراستها، لأنَّ دراستها وتحليلها يُشكِّل فرعاً خاصَّاً من فروع الجيومورفولوجيا المُناخيَّة، ونكتفي هُنا بالإشارة إلى فترات انخفاض مستوى الأساس العام فهي المسؤولة عن تعمُّق الأودية النهرية الكُبرى نتيجةً لتجدُّد الحت والتعمُّق الرأسي.

إنَّ حساب حجم الجليديَّات الحاليَّة أمر يسير جدَّاً طالما أنَّنا نعرف المساحات التي تحتلها من جهة، وتعرف سماكاتها بدقة كبيرة، وعلى هذا يُمكنُنا حساب كميَّات المياه التي استمدتها من

البحار أوقات التجمُّد، ومن الحسابات آنفة الذكر أمكن للمُتخصصين التأكيد بأنَّ مستوى البحر أو الأساس العام انخفض بنحو مائة متر خلال آخر زحف جليدي، وانخفض بمعدَّل تراوح بين (140) وَ (180) خلال الزحف الجليدي ما قبل الأخير.

إنَّ مُعظم مصبَّات الأنهار الحاليَّة تحمل آثاراً وبصمات واضحة عن تبدلات مستوى الأساس العام، حيثُ أنَّ آبار الحفر والتنقيب تصل أحياناً إلى توضُّعات طينيَّة مُتفقةً مع فترات ارتفاع هذا المستوى، أمَّا النتائج البشريَّة والاقتصاديَّة المُترتبة على تبدلات مستوى الأساس المحلِّي بنحو (60) متراً، مثلاً لانغمرت غالبيَّة المدن الساحليَّة بمياه البحر، كما أنَّ منطقة (Pasde Calais) الفرنسيَّة تتحوَّل إلى برزخ يصل الجزر البريطانيَّة بالقارة الأوروبيَّة، كما أنَّ أمريكا الشماليَّة سوف تتصل بالقارة الآسيويَّة نتيجة لانحسار المياه عن مضيق بهرنغ، أمَّا إذا بلغ انخفاض هذا المستوى (80) متراً فإنَّ تاسمانية سوف تلتحم باستراليا دون أدنى شك، يُضاف إلى كُل ما تقدَّم آثار الكتل الجليديَّة وتبايُنات أحجامها ومساحتها على حركات خفس القشرة الأرضيَّة في نطاقات تكدسها ونهوض هذه القشرة في المناطق التي تنحسر عنها الجليديَّات أو المياه التي تتحوَّل إلى جليد، ولسنا الآن بصدد دراسة هذه القضايا المعالجة بالتفصيل في المؤلفات التي تُعالج مشكلات الجيومورفولوجية المُناخيَّة[1].

أمَّا المناطق الحارَّة الجافَّة كما هو الحال في الصحراء الكُبرى فقد شهدت تتالياً من فترات التهطال المُهم مع مراحل الجفاف، وقد تطابقت فترات التهطال في بعض الحالات وفي بعض المناطق مع فترات الزحوف الجليديَّة، إنَّ التهطالات المُهمَّة التي شهدتها بعض أنحاء الصحراء الكُبرى أدَّت إلى تشكُّل بعض البُحيرات فيها، وهُنا يُصادف الاختصاصيون كثيراً من الهياكل العظميَّة للأسماك وللتماسيح التي عاشت فيها خلال تلك الفترة المطيرة.

نباتات وحيوانات الحُقب الجيولوجي الرابع:

على الرُغم من قصر الفترة الزمنيَّة التي استغرقها الحُقب الجيولوجي الرابع فقد امتاز بخصائص حيويَّة نوعيَّة مُميَّزة بالغة الأهميَّة تتمثَّل بـ:

١- ظهور الإنسان.

[1] - أنظر أسس الجيومورفولوجيا المُناخيَّة، د.محمد فائد حاج حسن.

٢- ظهرت فيه حيوانات لم تكن معروفة من قبل بشكلها الحالي أهمَّها الحصان، والأبقار، والفيلة.

٣- تأقلمَت نباتاته وحيواناته مع الظروف المُناخيَّة، وفي الفترات المُعتدلة والحارَّة ومنها ما كان موجوداً منذُ الحُقب الثالث، ومنها ما ظهر بصورةٍ مُستجدَّة خلال الحُقب الرابع مثل فرس البحر (Hippopotame).

٤- أمَّا فترات التجلُّد والزحف الجليدي الكُبرى فقد كانت تُفاجئ العالم الحيوي بلا استثناء، ولهذا كانت تختفي غالبيَّة الأحياء في المناطق شديدة البرودة، على الرُغم من ذلك فإنَّ الأصناف والأنواع الحيَّة التي تتحمَّل الظروف المُناخيَّة الباردة لم تبدأ بالظهور حتَّى الرُباعي الأوسط والحديث، وخير ما يُمثلُها الكركدن (وحيد القرن) والرَّنة.



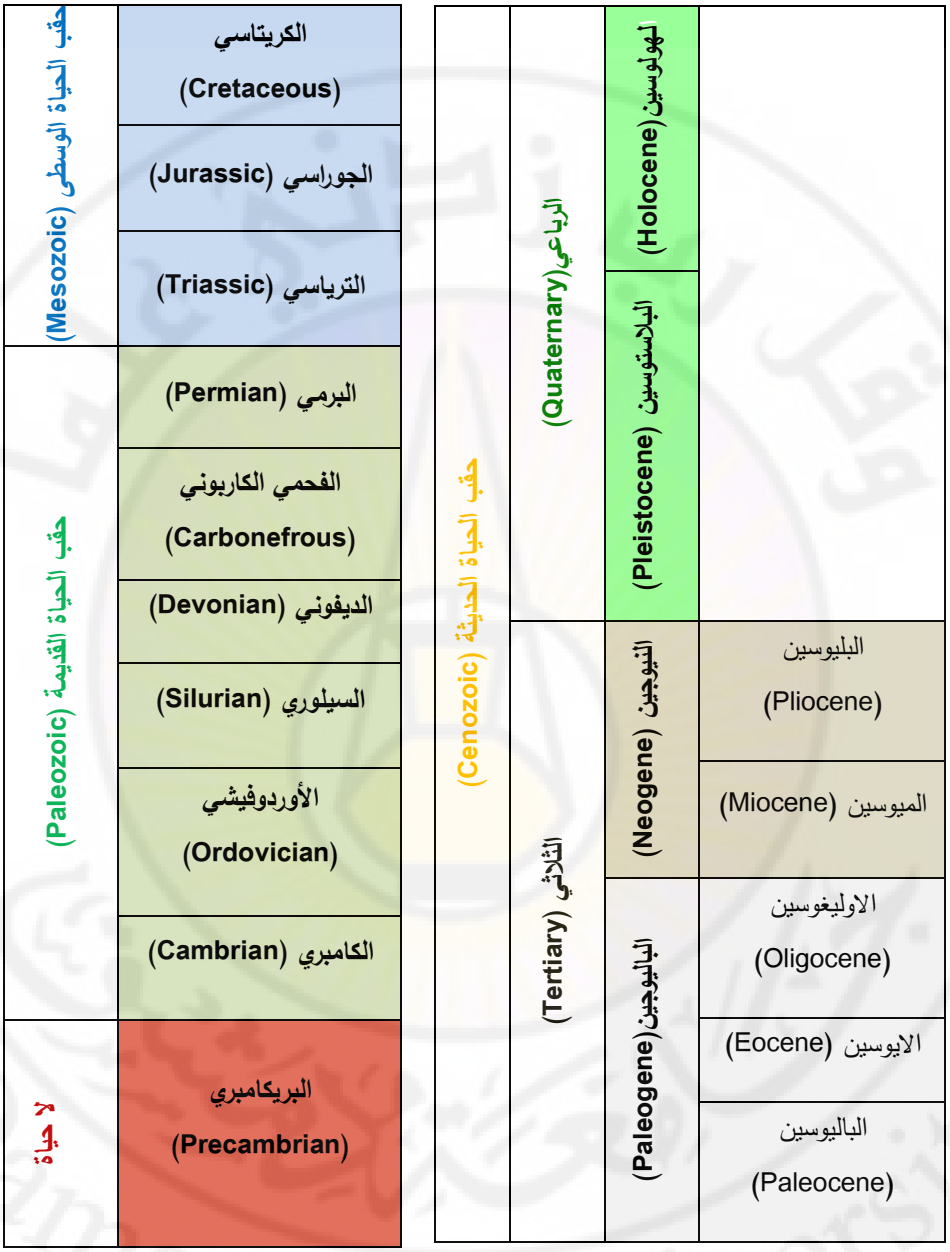
صورة رقم (٣٧): حيوانات حُقب الحياة الحديثة

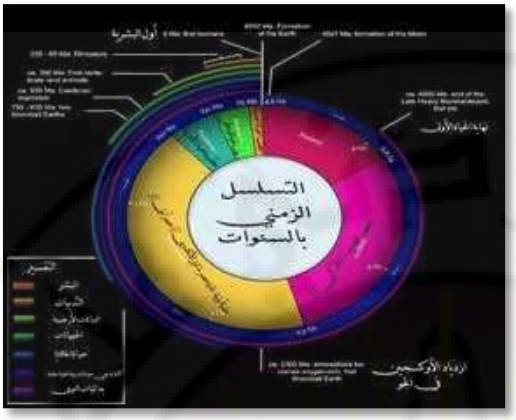


صورة رقم (٣٨): فرع من شجرة الذُلب الأمريكية، يتراوح عمرها (23–37 سنة)– الولايات المُتحدة

إنَّ البرزاخ (ج: برزخ) التي تشكلَّت نتيجةً للظروف الجليديَّة ساعدت دون أدنى شك على اتصال رقع قاريَّة يختلف بعضها عن بعض، وهذا ما ساعد على هجرة الكثير من النباتات والحيوانات خارج حدود نشوئها الأوليَّة أو الأصليَّة، ومع نهاية آخر زحف جليدي تسخنَّ المُناخ تدريجيَّاً، وحلَّت التوندرا محل الصحاري الباردة، ومن ثُمَّ احتلتها الغابات، ولكن ما تجبُ الإشارة إليه اختتام حديثُنا أنَّ ردة فعل الجليديَّات القاريَّة أو تجاوبها مع انخفاض أو ارتفاع درجات الحرارة المُحيطة كان يتم بصورة مُتأخرة نسبيَّاً، وقد وصل التأخر المذكور إلى بضع عشرات الآلاف من السنين، نظراً لأنَّ الجليد يتطلب زمناً طويلاً للذوبان، ففي الوقت الذي انحسرت فيه جليديَّة شمالي أوروبة، وتراجعت عن أواسط السويد وشماله كان المُناخ قد تلطَّف منذُ مرحلة بعيدة نسبيَّاً، وبدأت الغابة تحتل القطاعات التي انحسرت عنها الجليديَّات مُباشرةً، ونُلاحظ تبدُلات مماثلة لما ذكرنا في أنحاء أُخرى متفرقة من العالم، كما هي الحال في أمريكا الشماليَّة وفي بولندَّة وروسية.

وأخيراً لا بُدَّ أن نذكُر بأنَّ التحليل البوغي هو الذي يساعد على التعرف إلى تبدُّل النماذج والأصناف النباتيَّة التي تتالت على منطقةٍ ما نتيجةً لتبدُّل الظروف المُناخيَّة أو للذبذُبات المُناخيَّة التي شهدتها المنطقة المعنيَّة أو المدروسة.


حقب الحياة الحديثة (Cenozoic)
الرباعي (Quaternary)
الهولوسين (Holocene)
البلايستوسين (Pleistocene)
الثلاثي (Tertiary)
النيوجين (Neogene)
البليوسين (Pliocene)
الميوسين (Miocene)
البالیوجين (Paleogene)
الاوليغوسين (Oligocene)
الايوسين (Eocene)
الباليوسين (Paleocene)
حقب الحياة الوسطى (Mesozoic)
الكريتاسي (Cretaceous)
الجوراسي (Jurassic)
الترياسي (Triassic)
حقب الحياة القديمة (Paleozoic)
البرمي (Permian)
الفحمي الكاربوني (Carbonefrous)
الديفوني (Devonian)
السيلوري (Silurian)
الأوردوفيشي (Ordovician)
الكامبري (Cambrian)
لا حياة
البريكامبري (Precambrian)



شكل رقم (٤٥): التسلسل الزمني للأحقاب الجيولوجيَّة

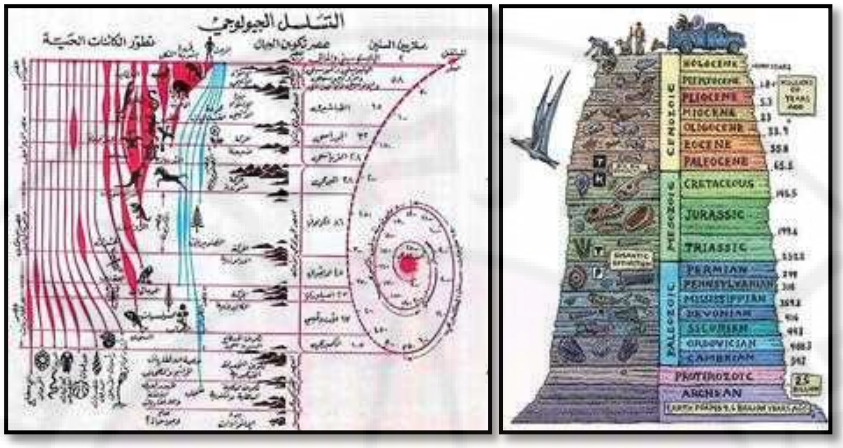
	مدته الزمنية	أدواره	صخوره	الحياة النباتية	الحياة الحيوانية	أهم الظواهر الجغرافية
البريكامبري	استمر بين ما قبل (5000) وحتى ما قبل (580) مليون سنة	---	– صخور متحولة: كالغنايس – وصخور بركانية	تتمثل بخثرات الكلس المتصلبة تجمعات الطحالب والإشنيات الزرقاء المعروفة باسم (collenias)	بقايا حيوانات وحيدة الخلية – (Lingule) من عضديات الأرض – الإسفنجيات	شهد العديد من النشاطات الالتوائية المرافقة بنشوء صخور الغرانيت وبتشكلها خلال عدَّة مراحل متباينة

الحُقب الجيولوجي الأول:	مدتّه الزمنيَّة		تعود بدايته إلى قبل نحو (580) مليون سنة واستمر حتى ما قبل (230) مليون سنة أي أنَّه استمر طوال (٣٥٠) مليون سنة
	أدواره، وأهم الظواهر الجُغرافيَّة التي حدثت خلالها	البرمي الكاربوني الديفوني	حدوث الحركة الهيرسينية التي أدت إلى: ١- انحسار محدود للبحار ٢- تكوُّن بحر محدود يُسمَّى الزخشتاين. ٣- تشكَّلت السلسلة الهيرسينيَّة ٤- تجمُّع لقارتين لوراسيا وغندوانا في قارة واحدة تُسمَّى (بانجيا)
		السيلوري الأوردوفيشي الكامبري	حدوث الحركة الكاليدونية التي أدت إلى: ١- انحسار شامل للبحار ٢- تكوَّنت السلسلة الكاليدونية ٣- تكوَّنت قارة جندوانا (تتكوَّن من الهند وأجزاء من أفريقيا وأمريكا الجنوبية)، وقارة شمال الأطلسي (شمال غرب أوربا وأمريكا الشمالية)
	صخوره		١- تراجعت أهميَّة الصخور المتحوِّلة وبدأت تسود فيه التوضُّعات الرسوبيَّة المميزة ٢- تشكَّلت فيه توضُّعات الفحم الحجري المهم في العالم
	الحياة النباتيَّة		بدأت النباتات بالظهور على اليابسة: ١- ظهور الأبواغ وأنواع دقيقة جداً ٢- السرخسيات. ٣- المخروطيات

	الحياة الحيوانيَّة	١- الحيوانات اللافقارية ٢- حيوانات وحيدة الخلية ٣- الفوزولينا (منخريات) ٤- الاسفنجيات ٥- حيوانت البريويات (الطحلبية) ٦- عضديات الأرجل (البراكيوبود) ٧- مفصليات الأرجل (ثلاثيات الفصوص التريلوبيتان) ٨- القشريَّات ٩- العقارب ١٠- الحشرات ١١- شوكيات الجلد. ١٢- الفقاريات. ١٣- الزواحف

الحُقب الجيولوجي الثاني	مدتَّه الزمنيَّة		تعود بدايته إلى ما قبل (230) مليون سنة واستمر حتى ما قبل (70) مليون سنة أي أنَّه استمرَّ ما يقرُب من (160) مليون سنة
	أدواره، وأهم الظواهر الجُغرافيَّة التي حدثت خلالها	الكريتاسي الجوراسي الترياسي	يُعتبر هذا الحقب فترة هدوء نسبي، حيثُ كانت الحركات الأرضيَّة فيه أقل ممَّا سبق، ومع نهاية هذا الحقب بدأت الحركات الألبيَّة التي أدَّت إلى: ١- رفع جبال روكي والآنديز بالأمريكيتين. ٢- تمزُّق القارة الأم (بانجيا) إلى قارات أصغر.
	صخوره		١- بقيت توضعاتها متحركة غير ثابتة في أماكن توضُّعها الأوليَّة، كما في توضُّعات الرمال والغضار ٢- سادت فيه توضُّعات الحوار ٣- سادت الحجارة الرملية ٤- سيادة مطلقة للصخور الكلسية وللصخور الدولومية ٥- الأرصفة المرجانية
	الحياة النباتيَّة		١- النباتات عريانة البذور (الصنوبريَّات ، والمخروطيَّات ، والسيكاد) ٢- نباتات مغلَّفة البذور كالصفصافيَّات والبلوط والسنديان ٣- النباتات ذات الأزهار
	الحياة الحيوانيَّة		١- الحشرات كالفراشات والنحل ٢- النمل ٣- تطورت الحيوانات اللافقارية ٤ - القوقعيات ٥- اللافقاريات أو الرخويا ٦- الضفادع ٧- الثدييات ٨- الزواحف والقوارض والجوارح

الحُقب الجيولوجي الثالث	مدتَّه الزمنيَّة	تعود بدايته إلى ما قبل (70) مليون سنة واستمرَّ نحو (68) مليون سنة، وعلى هذا فإنَّه استمرَّ أقل من نصف الفترة التي استمرَّها الحقب الثاني.	
	أدواره، وأهم الظواهر الجُغرافيَّة التي حدثت خلالها	البليوسين الميوسين الأوليغوسين الإيوسين الباليوسين	١- استمرت الحركة الألبية ٢- شهدت الأرض خلال هذا الحقب العديد من الصدوع والفوالق المهمة والتي من أهمها الفالق السوري الأفريقي. ٣- حدوث اندفاعات بركانية هامة
	صخوره	توضُّعات هذا الحقب أكثر غنى بمكامن وحقول النفط الخام والغاز الطبيعي	
	الحياة النباتيَّة	١- انتشار كبير للنباتات مغلفة البذور	
	الحياة الحيوانيَّة	١- ازدهار وحيدات الخلية المجهرية ٢- ظهور النموليت ٣- المرجانيات ٤- القوقعيات ٥- تراجع نسبة وجود اللافقاريات والزواحف عمَّا كانت عليه في الحقب الثاني ٦- تزايد أعداد الثدييات وأصنافها.	
الحُقب الجيولوجي الرابع	مدتَّه الزمنيَّة	هو أقصر الأحقاب الجيولوجية وأقربها من أيامنا الحالية ، استمر فترة زمنية تراوحت بين مليون ومليوني سنة	
	أدواره، وأهم الظواهر الجُغرافيَّة التي حدثت خلالها	الهولوسين البليستوسين	١- حدوث زحوف جليدية كبرى خلال الفترات الباردة تخللتها فترات انحسار جليدي خلال فترات التسخن . ٢- تشكُّل الترب المُضلَّعة الحجريَّة. ٣- النشاط الريحي المُتجلِّي في إعطاء الحصيَّات ٤- شهود الأنهار فيضاناتها الأعظمية
	الحياة النباتيَّة	ظهرت أنواع عديدة وتميزت بخصائص حيوية نوعية	
	الحياة الحيوانيَّة	١- الحصان ٢- الأبقار ٣- الفيلة ٤- فرس النهر	



شكل رقم (٤٦): الأحقاب الجيولوجيَّة ونشأة الحياة على سطح الأرض

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University



الفصل الخامس مواد القشرة الأرضيَّة

- الفلزَّات وخصائصها -

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الخامس

مواد القشرة الأرضيَّة – الفلزَّات وخصائصها–

تتألَّف القشرة الأرضيَّة من الصخور التي تدرسُها الليتولوجيا أو البتروغرافيا، تتكوَّن القشرة الأرضيَّة من صخور مُتباينة من حيث المنشأ والطبيعة والمظهر.

ويُمكننا **تعريف صخر ما بأنَّه:** مجموعة فلزَّات أو مواد بلوريَّة أو غير بلوريَّة، ويُمكن أن تتكوَّن من فلز واحد، أو عدَّة فلزات، وقد تشكلَّت هذه الصخور نتيجة اتحاد بين العناصر الكيميائيَّة التي تدخُل بنسب مختلفة في تركيب صخور القشرة الأرضيَّة ومعادنها وفلزَّاتها، ولكن هذه الصخور خضعت لعوامل الحت والتجوية والتفكك الميكانيكي والتحلل الكيميائي والنقل، ممَّا أدَّى إلى تغيير صفاتها الحاليَّة عن أصلها الأوَّلي.

بُدأت دراسة التركيب الكيميائي للقشرة الأرضيَّة في نهاية القران التاسع عشر من قبل الجيولوجي الأمريكي كلارك، وقد أعطى هذا العالم تصوُّراً عن القسم الأعلى من الغلاف الصخري الذي حدَّدهُ حتَّى عمق (16) كيلومتراً تحت سطح الأرض، والقسم الذي تيسَّر للعُلماء دراسته لا يُشكِّل إلَّا طبقة رقيقة، إذ أنَّ آبار السبر لم تصل في أعماق القشرة الأرضيَّة إلَّا لعدَّة كيلومترات، ومن خلال دراسة التركيب الكيميائي لقشرة الأرض عن طريق تحليل المعادن، والصخور المُكوِّنة لها، تبيَّن أنَّها تتركَّب من العناصر التاليَّة الجدول رقم (٩):

جدول رقم(٩): التركيب الكيميائي لقشرة الأرض

العُنصر	الرمز	نسبة الوزن	العُنصر	الرمز	نسبة الوزن
الأوكسجين	O	49.13	البوتاسيوم	K	2.35
السيليسيوم	Si	26	الهيدروجين	H	1
الألمنيوم	Al	7.45	التيتانيوم	Ti	0.61
الحديد	Fe	3.6	الفحم	G	0.35
الكالسيوم	Ca	3.25	الكلور	Cl	0.20
الصوديوم	Na	2.40	الفلور	F	0.08
المغنيزيوم	Mg	2.35			

يتضَّح من الجدول السابق أنَّ العناصر التسعة الأولى تُشكِّل ما يُقارب (98%) من وزن القشرة الأرضيَّة، ويُمثِّل الأوكسجين وحدهُ ما يُقارب نصف الغلاف الصخري في حدود الطبقة المدروسة، أمَّا بقيَّة العناصر الأُخرى، والتي يتجاوز عددها (90) عُنصراً فلا تشمُل إلَّا نسبة ضئيلة من وزن القشرة الأرضيَّة مثل الكبريت والباريوم والكلور والنيكل والنُحاس والتنغستين والرصاص والراديوم وغيرها، ومن بين جميع العناصر المعروفة لا يُوجد إلَّا القليل منها على حالته الأصليَّة، وبشكله الحُر، مثل الذهب والبلاتين والنُحاس والكبريت والفحم، أمَّا مُعظم العناصر فتدخُل في مُركبَّات كيميائيَّة، وجميع المُركبَّات الكيميائيَّة الطبيعيَّة والعناصر الحُرَّة ما هي إلَّا نتاج عمليَّات كيميائيَّة طبيعيَّة تمَّت داخل القشرة الأرضيَّة أو على سطحها وتُعرف باسم **الفلزَّات**.

الفلزَّات:

من المعروف أنَّ المادة تُوجد في الطبيعة بثلاث حالات وهي:

الغازيَّة والسائلة والصلبة.

فمثلاً الماء يكون صلباً تحت درجة حرارة الصفر، وسائلاً من الصفر وحتَّى درجة (100°)، وغازيَّاً (بُخار الماء) فوق (100°) في الضغط الجوي العادي.

ويهتم علم الفلزَّات (Mineralogy) بدراسة الأنواع الفلزيَّة المُختلفة، وتحديدُها كيميائيَّاً وبلوريَّاً، ويُعمد إلى تصنيفها بالاعتماد على خواصها الفيزيائيَّة، ويرتبط علم الفلزَّات بالعديد من العلوم الأُخرى كالكيمياء والفيزياء والكريستالوجرافيا والجيوكيمياء والبترولوجيا والبيتروغرافيا ..... وغيرُها، وتجتمع هذه المُعطيات لتُقدِّم صورة مُتكاملة عن مواد التي تؤلِّف القشرة الأرضيَّة.

تُوجد معظم الفلزَّات في الطبيعة بحالة صلبة كالكاليست والمرو، وجزء منها بحالة سائلة كالماء والزئبق، أو غازيَّة كغاز ثاني أوكسيد الكربون، كما أنَّ الغالبيَّة العُظمى من الفلزات في حالة مُتبلورة (Crystalline State)، وعدد قليل منها في حالة غير متبلورة (Amorphous State)، ففي حالة التبلوُّر نجد أنَّ العناصر مُرتبطة بنظام مُحدَّد يتباين من فلز إلى آخر، بينما ينعدم هذا النظام في الحالة الثانية.

تأخُذ الفلزَّات أشكالاً هندسيَّة مُنتظمة تُدعى البلورات، وتأخُذ البلورات أشكالاً مُنتظمة مُشكلةً ما يُسمَّى الشبكة البلوريَّة.

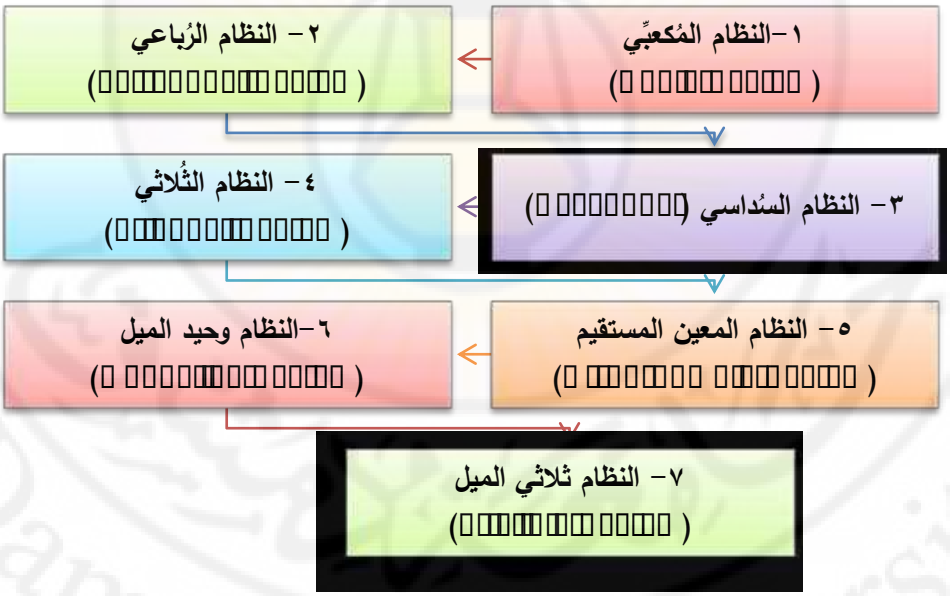
والبلـورات: هي فلزَّات صلبة، ذات بُنية كيميائيَّة مُحددة، ولها شكل مُتعدد الوجوه، وتَعُّد البُنية البلورية العامل الرئيسي في تحديد صفات الفلز المُختلفة.

تتميَّز البلورات بعناصرها الخارجيَّة وهي الأوجه والأضلاع والرؤوس.

- الأوجه: هي السطوح التي تُحدد الشكل العام للبلورة.
- الأضلاع: هي خطوط تُقاطع الأوجه (السطوح).
- الرؤوس: هي نقاط تقاطع الأضلاع.

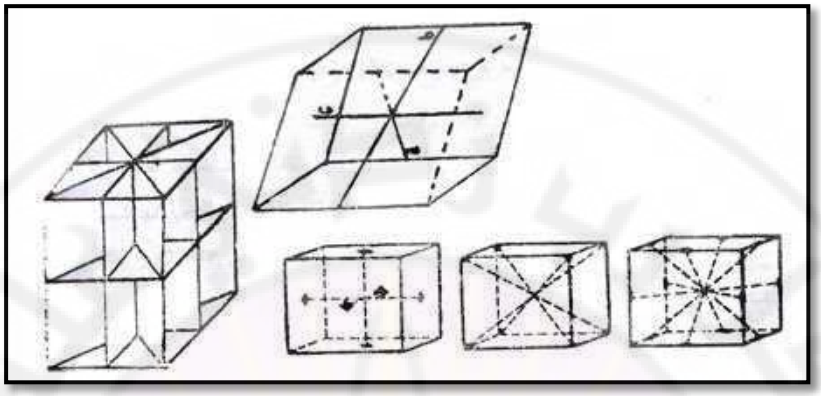
تُقسم البلورات إلى سبعة أنظمة بلوريَّة، ذلك على أساس:

- عناصر التناظُر المُتمثلة في المحاور البلوريَّة
- والزوايا الحاصلة فيما بينها.



١- النظام المُكعبي (Cubic System):

تكون المحاور البلوريَّة في النظام المُكعبي مُتساوية ومُتعامدة فيما بينها، كما هي الحال في بلورة الماس والهاليت والبيريت، (شكل٤٧).



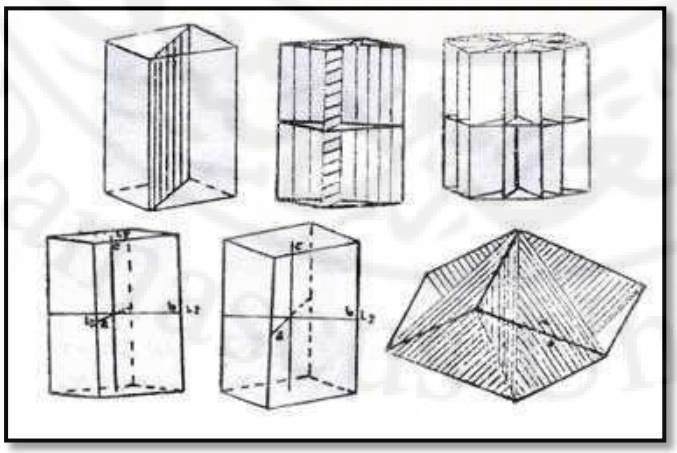
شكل رقم (٤٧): عناصر التناظُر في بلورة الموشور ثلاثي الميول

٢- النظام الرُباعي (Tetragonal System):

موشور مُستقيم قاعدتهُ مربَّع، وتكون المحاور البلوريَّة مُتعامدة، والمحوران الأُفقيَّان مُتساويين في الطول، والثالث يكون شاقولياً، ويكون أقصر وأطول من المحورين الأُفقيين، وتُمثله بلورة الزريكون والروتيل، (شكل٤٧).

٣- النظام السُداسي (Hexagonal System):

وتكون المحاور البلوريَّة الأُفقيَّة متساوية، والزاوية فيما بينهما (=120°)، أمَّا المحور الثالث فعمودي عليها، ومُختلف عنها بالطول وتُمثله بلورة البيريل والاباتيت، (شكل٤٨).



شكل رقم (٤٨)

٤- النظام الثُلاثي (Trigonal System):

وهو شبيه بالنظام السُداسي في العناصر الأساسيَّة للشبكة البلوريَّة، ولكنها تحتوي على محور تناظُر واحد، وتُمثله بلورة الكوارتز والكورندوم والكاسيت.



صورة رقم (٣٩): بلورات الكالسيت ($CaCo_3$)

٥- النظام المُعين المستقيم (Orthorhombic System):

وتكون المحاور البلوريَّة مُتعامدة، ولكنها تختلف في الأطوال، وتمثله بلورة الكبريت والأوليفين والباريت، (شكل٤٨).

٦- النظام أُحادي الميل أو وحيد الميل (Monocline System):

وهو موشور مائل قاعدته مُعينيَّة، تختلف فيه المحاور البلوريَّة في النظام وحيد الميل فقط، فيه زاويتان من الزوايا المُشكلة للمحاور قائمتان، وتُمثله بلورة الجص والأورتوكلوز، (شكل٤٨).

٧- النظام ثُلاثي الميل (Triclinic System):

وهو موشور مزدوج الميل، له ثلاثة محاور بلوريَّة غير متساوية تتقاطع في زوايا غير متساوية، تمثله بلورة الألبيت الصفاح، إنَّ هذه الأشكال لا نُصادفها في الطبيعة إلَّا نادراً، ولكن ما نُشاهده أشكالاً أُخرى تأتي من اقتطاعات نُجريها على الرؤوس أو الأضلاع، ولكن هذه الاقتطاعات لا تُغيِّر من الجملة البلوريَّة، ولكنَّها تُغيِّر من الشكل الظاهري فقط، (شكل٤٨).

الخواص الفيزيائيَّة للفلزَّات:

تتميَّز الفلزَّات عن بعضها البعض بمجموعة من الصفات، يُمكن تمييزها بدراسة شكل البلورات وفحص خواصها البصريَّة (Optical Propesties) والكيميائيَّة، وقد يقوم الجيولوجي مُعتمداً

على خبراته مُستعملاً بعض الأدوات البسيطة على معرفة الصفات الرئيسة المُميِّزة لكُل فلز من الفلزَّات وهي الصفات الفيزيائيَّة وتشمُل:

١ – المكسر	٢ – الانفصام	٣ – القساوة	٤ – الوزن النوعي

١ – المكسر (Fracture):

والمقصود هُنا شكل الفلز عندما ينكسر بشكلٍ لا يتفق مع سطوح الانفصام، فيأخُذ أحياناً شكل مُقعر أو مُحدَّب أو محاري، أو يكون مُغطَّى بشظايا، لذا يُسمَّى المكسر المُشظَّى أو المكسر الأرضي الذي يُشبه سطح الصلصال، ويُعد المكسر من الخواص الهامَّة التي تُساعد على التعرُّف إلى الفلزَّات.



صورة رقم (٤٠): المكسر المحاري

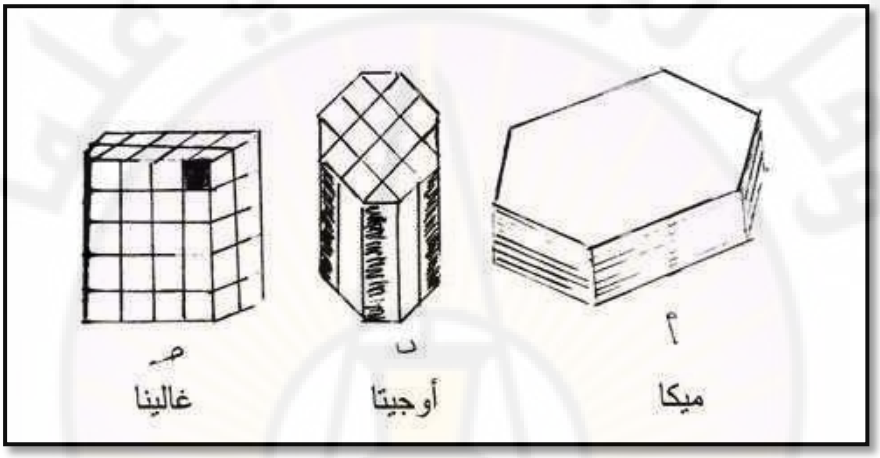
٢ – الانفصام (Cleavage):

تتميَّز الفلزَّات بقابليَّة التقسيم وفق سطوح مُحددة تُميزها وعلى سطوح متوازيَّة، تُسمَّى مستويات الانفصام، التي قد تكون ملساء وناعمة وموازيَّة لبعض أوجه البلورَّة، ويتوقَّف ذلك على التركيب البلوري، ويُمكن تمييز عدَّة أنواع من أشكال الانفصام على أساس درجه كماله.

أ – **الانفصام الكامل أو التام:** وذلك عندما يسهُل شطر الفلز إلى رقائق أو صفائح ذات سطوح متوازية وناعمة الانفصام في اتجاه واحد، مثل الميكا.

ب- انفصام متوسط: وينقسم فيه الفلز إلى صفائح أو مواشير أو مُكعبات ذات سطوح انفصام، مثل الأوجيت والهاليت.

ج- الانفصام غير التام: وفيه تنقسم الفلزَّات بشكلٍ رئيس وفق سطوح عشوائيَّة، أو يكون لها ثلاثة سطوح انفصام، مثل الغالينا،(شكل٤٩).



شكل رقم (٤٩): خصائص وتركيب وجود المعادن الشائعة في الصخور

٣- القساوة (Hardnes):

ويُقصد بها مقدار مُقاومة الفلز للخدش أو لتأثير العوامل الميكانيكيَّة والتآكُل والتحطيم، ويُمكن تحديد صلابة الفلز أو المعدن باستخدام مقياس موهز (Mohs Scale of Hardnes) الذي يتألَّف من عشرة فلزَّات اختارها موهز لتحديد القساوة النسبيَّة، تتراوح قساوة الفلز بين (1 – 10)، ودرجات القساوة عبارة عن قيم نسبيَّة للقساوة، كما هو موضَّح في الجدول التالي رقم (١٠):

جدول رقم (١٠): سلم موهز للقساوة (Mohs Scale of Hardness):

اسم الفلز أو المعدن	درجة القساوة	ملاحظات
تالك (Talk)	1	فلزَّات غير قاسية يحزُّها الظفر
جص (Gypsum)	2	ظفر اليد
كالسيت (Calcite)	3	قطعة نقود
فلوريت (Fluorite)	4	---
أباتيت (Apatite)	5	قطعة زجاج – سكين عادي
أورتوكلاز (Orthoclase)	6	سكين فولاذيَّة
كوارتز (Quartz)	7	فلزَّات قاسية
توباز (Topas)	8	فلزَّات قاسية
كورونـدوم (Corundum)	9	فلزَّات قاسية
الماس (Diamond)	10	فلزَّات قاسيَّة جدًّا

٤- الوزن النوعي (Specific gravity):

من الصعوبة تقدير الوزن النوعي إلَّا في المخبر، **والوزن النوعي:** هو النسبة بين وزن حجم مُعيَّن من مادة، ووزن الحجم نفسه من الماء في الدرجة (+4).

ويُمكن استخدام التقدير الشخصي، وذلك بتقسيم الفلزَّات إلى ثلاث مجموعات:

- ✓ الخفيفة وزنها النوعي حتَّى (2.5).
- ✓ المتوسطة وزنها بين (3.5 – 4).
- ✓ الثقيلة وزنها النوعي أكثر من (4.5).

وتحديد مكان الفلز بين هذه المجموعات يُصبح أقل صعوبة.

الصفات الضوئيَّة (Optical Properties):



١- اللون (Color):

تتألَّف بعض الفلزَّات من عناصر مُلوَّنة، لذلك يعُد اللون من الصفات التي تُميِّز كُل فلز، يختلف لون الفلز عندما يكون صلباً عن لونه حينما يكون مسحوقاً، وإنَّ التركيب الكيميائي للصخر ونظام الإيونات والذرات في البلورة هو الذي يُعطيه لونه المُحدد، إضافةً إلى الشوائب التي يحتوي عليها، لهذا نجد أنَّ الفلز نفسه يوجد بعدَّة ألوان (الكوارتز، والفلوريت)، هُناك فلزَّات مُختلفة لها لون واحد كالجبس الأحمر والوردي.

٢- المخدش (Streak):

والمقصود بالمخدش: لون المسحوق الناعم للفلز الذي يختلف عن لونه عندما يكون في الحالة الكتليَّة المُتماسكة في أغلب الأحوال، وللحصول على مسحوق الفلز نستخدم لوح المخدش: وهو عبارة عن قطعة من الخزف الأبيض غير المصقول.

فالبرييت لونه العادي أصفر ذهبي، بينما مخدشه أو مسحوقه أسود مُخضر، والهيماتيت يُعطي مخدشاً أحمر.

٣- البريق (Luster):

وهو خاصَّة الفلز على عكس الأشعة الضوئيَّة الساقطة على سطحه، أي يتلقى البريق هُنا بقرينة الانكسار، وهُنا يُمكن تمييز ثلاث درجات للبريق حسب شدَّته:

- ✓ بريق لامع (Climmering Luster).
- ✓ بريق ساطع (Shining Luster).
- ✓ بريق باهر (Splendent Luster).

كما تُقسم الفلزَّات من حيث البريق إلى مجموعتين:

- المجموعة الأولى: فلزَّات ذات بريق معدني (Metallic Luster): عندما ينعكس الضوء على سطوح هذه الفلزَّات، لأنَّها تبدو ذات بريق عادي مُميَّز، كالذهب والفضَّة.

- المجموعة الثانية: فلزَّات ذات بريق لا معدني (Monmetallic Luster): ويُمكن تصنيف هذه المجموعة إلى:

أ- **بريق ماسي:** وهو بريق شديد ومُبهر، ويظهر عادةً في الفلزَّات الشفافة، ومن مُميِّزات بعض الفلزّات، مثل الماس.

ب- **بريق زُجاجي:** ويُماثل بريق سطح الزُجاج، ويظهر بكثرة عند الفلزَّات التي لا لون لها، وهو من مُميِّزات مُعظم الفلزَّات الشفافة، مثل الكالسيت والهاليت.

ج- **بريق لؤلؤي:** كبريق المعادن ذات النسيج الليفي، مثل الاسبست، والجص الليفي والميكا.

د- **بريق دهني أو صُمغي:** وهو بريق يبدو كأنَّ الفلز مُطلي بطبقةٍ دهنيَّة خفيفة، مثل الكبريت والكوارتز والأوبال، وقد تُوجد بعض الفلزَّات التي ليس لها بريق والتي تتميَّز بالمكسر التُرابي.

٤- الشفافيَّة (Transperaneg):

وهي قابليَّة الفلز بالسماح للضوء باختراقه والنُفوذ عبرُه، تتعلَّق الشفافيَّة بسماكة الشرائح المدروسة من تلك الفلزَّات.

وعلى هذا الأساس، **نُميِّز الفلزَّات إلى:**

آ- **فلزَّات غير شفافة أو عاتمة:** وهي التي لا تسمح للضوء بالنفاذ من خلالها مهما كانت رقيقة، ومن الأمثلة عليها الأكاسيد الحديديَّة.

ب- **فلزَّات شفافة:** وهي تسمح للضوء بالنفاذ منها كالزُجاج العادي.

ج- **فلزَّات شبه شفافة:** وهي التي تسمح للضوء باختراقها بقدرٍ مُعيَّن.

وهُناك بعض الصفات الأُخرى التي تزيد من دقَّة تُميِّز الفلزَّات وهي:

- **الصفات المغناطيسيَّة (Magnetic Properties):** وهي إمكان تأثير الفلز في الإبرة المغناطيسيَّة، مثل الحديد والمنغنيز، ويُمكن أن نُميِّز ثلاث مجموعات من الفلزَّات:
  - ✓ الفلزَّات الفيرو مُغناطيسيَّة (حجر المغناطيس).
  - ✓ الفلزَّات البارامغناطيسيَّة (فلزَّات تنجذب للمغناطيس ومنها الماغنيتيت).
  - ✓ الفلزَّات الديامغناطيسيَّة (فلزَّات لا تنجذب للمغناطيس منها الكوارتز والكالسيت).
- **الصفات الكهرُبائيَّة (Electric Properties):** تتميَّز بعض الفلزَّات بكونها ناقلة للكهرباء، وبعضُها غير ناقل، ونُميِّز نوعين من الخواص الكهربائيَّة:

آ- الكهربائيَّة الحراريَّة: وتنتُج عن التسخين كالتورمالين.

ب- الكهربائيَّة الضغطيَّة: تتطوَّر بفعل الضغط كالكوارتز.

- **المذاق:** تتصف بعض الفلزَّات بطعمها المُميَّز مثل الملح الصخري (الهاليت) ذو الطعم المالح، والشبَّة ذات المذاق القابض، والبوتاس له مذاق قليل المرارة.

تصنيف الفلزَّات:

يندُر وجود العناصر الحُرَّة في الطبيعة، ومن ميزاتها أنَّها لا تدخُل في تركيب الصخور، ومنشأ هذه العناصر مُرتبط بتمايُز كتل اللابة المُلتهبة مع حدوث تفاعُلات كيميائيَّة ثانويَّة، أو بفعل الحرارة المُرتفعة والضغط الشديد، ويُعرف في الوقت الحاضر (80) فلزاً يعود إلى مجموعة العناصر الوليدة.

أ- **العناصر المعدنيَّة:** مثل الذهب والفضَّة والنُحاس والبلاتين والرصاص.

ب- **العناصر اللامعدنيَّة:** مثل الالماس والغرافيت والكبريت.

العنصر	شكل الوجود في الطبيعة	اللون	البريق	نظام التبلور	الوزن النوعي	القساوة	المخدش	المكسر	ميزَّات أُخرى
العناصر المعدنيَّة									
الذهب (Au)	نادراً ما يُصادف الذهب النقي حُرَّاً إذ يحتوي على نسبة (2 –20%) من شوائب الفضَّة والنُحاس، يوجد على شكل بلورات أو كتل تنتشر في عروق الكوارتز ، وقد يُوجد على شكل صفائح أو رقائق	أصفر ذهبي	معدني	مُكعبِّي	19.3–15.5	2.5 يقبل الطرق والسحب	أصفر	غير مستو	يُوجد أحياناً في الرواسب المنقولة التي فتتها عوامل التعرية، وقد يُغطِّي سطح الذهب أحياناً مواد أُخرى مثل أكاسيد الحديد
الفضَّة (Ag)	تُوجد حُرَّة في الطبيعة، وتكون مخلوطة مع كميَّات قليلة من الشوائب كالذهب والبلاتين والنُحاس والزئبق والحديد وغيرها	أبيض فضِّي	معدني نموذجي	مُكعبِّي	11.1–10	2.5 ولها قابليَّة جيدة للسحب والطرق والتصفيح	أبيض فُضِّي لامع	مُسنَّن	غير قابلة للانفصام، وتنحل في حمض الآزوت.
البلاتين (Platinum)	يُوجد في الطبيعة على شكل حُبيبي أو صفائح، ونادراً ما يُوجد على شكل كتلة	أبيض رمادي	معدني، يُوجد بشكلٍ رئيس في الصخور الاندفاعيَّة فوق الأساسيَّة	مُكعبِّي	19–14	4	---	مُسنَّن	لا يتفاعل مع الحُموض

العنصر	اللون	البريق	نظام التبلور	الوزن النوعي	القساوة	المخدش	المكسر	ميزّات أُخرى
العناصر اللامعدنيَّة								
الغرافيت (Graphite)	رمادي داكن، يتراوح بين الأسود والرمادي	معدني أو مطفي غير شفاف	يُوجد على شكل بلورات صغيرة سُداسيَّة النظام	2.2-2.1	---	رمادي أو أسود	دهني، الانفصام تام في اتجاهٍ واحد	يترك أثره على الورق. تُوجد مكامن الغرافيت بشكلٍ عام في الصخور الرسوبيَّة
الألماس (Diamond-e-)	عديم اللون، و أحياناً أبيض أو أصفر أو أخضر سماوياً أو أسود	ماسي	مُكعبِّي	3.5	10 حسب سُلَّم موهز	لا نجد له مخدشاً	محاري، انفصامه تام	يتشكَّل الألماس النقي من الكربون، شديد الشفافيَّة والقساوة نجد الألماس في رواسب التجمُّعات الثانويَّة، وأهم مكامن الالماس نجدُها في الهند والبرازيل واتحاد جنوبي إفريقية، ويُستخدم في صناعة الحُلِّي.
الكبريت (Sulfur –S-)	أصفر كبريتي وأحياناً أصفر برتقالي ورمادي مصفر	بريقه على امتداد المكسر الدهني مطفى	يُوجد أحيانا على شكل بلورات تدخُل ضُمن النظام المُعيني المُستقيم، غالباً ما يُوجد على شكل كتل	2.1-2	2	أبيض	محاري	يُوجد حول فوهات البراكين مُختلطاً مع الكبريتات كالجبس، والكربونات كالكالسيت. له غازات ذات رائحة كريهة عند الاحتراق

١- مجموعات فلزَّات الكباريت أو الكبريتيدَّة (Sulfides):

تنشأ عن اتحاد عُنصر الكبريت (S) مع العناصر المعدنيَّة، وتأتي هذه المجموعة في المرتبة الثانية بين مجموعات الفلزَّات، وفلزَّات هذه المجموعة ليست من الفلزَّات المكوِّنة للصخور، أمَّا من حيث المنشأ فهي مرتبطة بعمليَّات الترسيب الناشئة من المحاليل المائيَّة الحارَّة، أو من عمليَّات تمايُز المُهل.

وتتميَّز فلزَّات هذه المجموعة ببريق معدني، وقساوة قليلة، ووزن نوعي كبير، ومن أهم فلزَّات هذه المجموعة:

أ- الغالينا(Galena) (Pbs) كبريتيد الرصاص ب- البيريت (Pyrite)(Fes_2)

ج- الكالكوبيريت (Chalcopyrite) ($Cufes_2$) كبريت النُحاس والحديد

د- السفاليريت (Sphalertre) (Zns) كبريتيد الزنك

الفلز	شكل وجوده	نظام تبلوره	لونه	مخدشه	بريقه	قساوته	وزنه النوعي	انفصامه
الغالينا (Galena)	كتل أو حُبيبات كبيرة	مُكعبِّي	رمادي	رمادي أسود	معدني	3-2	7.6-7.2	كامل
البيريت (Pyrite)	بلورات مُكعبَّة، و حُبيبات وكتل مُندمجة	---	أصفر فاتح أو أصفر ذهبي	أسود أو أسود مُخضر	معدني	4	4.72-4.58	غير كامل
الكالكوبيريت (Chalcopyrite)	---	رُباعي	أصفر نحاسي	أسود مُخضر	معدني	4-3	4.3-4.1	غير تام
السفاليريت (Sphalertre)	كتل دقيقة الحُبيبات	مُكعَّب	بني أو أصفر أو أسود أو أخضر	أبيض أو بني فاتح	ذهبي	4-3.5	4.2-3.9	تام

٢- مجموعة الهالوجينات أو الهاليدات (Halides):

تنشأ من اتحاد عُنصر الكلور أو الفلور مع العناصر المعدنيَّة، وتضم هذه المجموعة عدداً من الفلزَّات نحو (100) فلز، تمثل أملاح أحماض الهالويد، ومن أهم هذه الفلزَّات:

أ- الهاليت (Halite) (NaCl) الملح الصخري

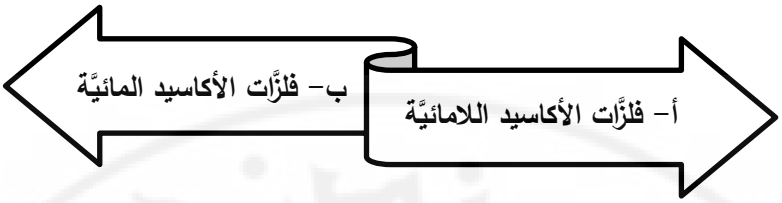
ب- السلفيت (Sylvite) (KCl) كلور البوتاسيوم

ج- الفلوريت (Fluorite) (Caf_2).

الفلز	شكل وجوده	نظام تبلوره	لونه	مخدشه	بريقه	قساوته	وزنه النوعي	انفصامه
الهاليت (Halite)	كتل أو حُبيبات	مُكعبِّي	لا لون له أو أبيض اللون	أبيض	زجاجي	2.5	2.3-2.2	متوسط
السلفيت (Sylvite)	---	مُكعبِّي	عديم اللون أو أبيض	أبيض	زجاجي	1.5	1.99	تام
الفلوريت (Fluorite)	---	مُكعبِّي	أصفر وأخضر وأزرق وبنفسجي	أبيض	زجاجي	4	3.2-3	تام

٣- مجموعة فلزَّات الأكاسيد:

تتكوَّن من اتحاد الأوكسجين مع العناصر المعدنيَّة، وتتكوَّن فلزَّات هذه المجموعة من مُركبَّات تتألَّف من عناصر مُختلفة تتحد مع الأوكسجين والماء، وهي واحدة من المجموعات المُنتشرة في الطبيعة، وتزن نحو (17%) من وزن الغلاف الصخري، وتُقسم هذه المجموعة إلى:



أ- فلزَّات الأكاسيد اللامائيَّة:

١- الكوارتز (Quartz-G) (Sio_2)　　٢- ماجنيتيت (Magnetite) (F_3O_4)

ب- فلزَّات الأكاسيد المائيَّة:

١- الليمونيت (Limonite) ($Fe_2O_3H_2o$)　　٢- الأوبال (Opal) (Sio_2H_2o)

الفلز	شكل وجوده	نظام تبلوره	لونه	مخدشه	بريقه	قساوته	وزنه النوعي	انفصامه
أ- فلزَّات الأكاسيد اللامائيَّة								
الكوارتز (Quartz)	---	سداسي	عديم اللون أو دخاني أو بنفسجي أو زهري أو أصفر أو أسود أو حليبي	---	زجاجي	7	2.8-2.5	تام
ماجنيتيت (Magnetite)	حبيبي أو كتلي	محاري	أسود حديدي	أسود	شبه معدني	5.5	5.2-4.9	عديم الانفصام
ب- فلزَّات الأكاسيد المائيَّة								
الليمونيت (Limonite)	---	---	بين الأصفر الفاتح إلى الأحمر البني أو الأسود البني	بني أو أصفر بني	--	5.5-1.5	3.9-3.3	--
الأوبال (Opal)	---	---	أبيض اللون موشَّح بالأحمر أو البني	أبيض	زجاجي أو دهني	6.5-5.5	2.5-1.9	---

٤- مجموعة فلزَّات الكربونات (الفحمات):

وتنشأ من اتحاد عنصري الفحم والأوكسجين مع العناصر المعدنيَّة، وتتركَّب فلزَّات هذه المجموعة من أملاح حمض الكربون، ويدخل بعض هذه الفلزَّات في تركيب الصخور الرسوبيَّة والمتحوِّلة، وتتميَّز فلزَّات هذه المجموعة بأنَّها تتفاعل مع حمض كلور الماء، ويتصاعد نتيجة لذلك غاز الفحم على شكل فُقاعات، ويُمكن تميُّزه عن الفلزَّات المُتشابهة بملاحظة مدى تفاعُلها مع حمض كلور الماء، وأهم فلزَّات هذه المجموعة:

أ- الكالسيت (Calcite) ($Ca(Co_3)$) ب- الأراجونيت (Aragonite) ($Ca(Co_3)$)

ج- الماغنيزيت (Magnesite) ($MgCo_3$) د- الدولوميت (Dolomite) ($CaMg(Co_3)_2$)

هـ- السيدريت (Siderite) ($Fe(Co_3)$)

و- المالاكيت – المالاخيت (Malachite) $Cu_2(Co_3)\ (OH)_2$

الفلز	شكل وجوده	نظام تبلوره	لونه	مخدشه	بريقه	قساوته	وزنه النوعي	انفصامه
الكالسيت (Calcite)	---	ثلاثي	متعدد الألوان، وغالباً أبيض اللون	أبيض، أو رمادي فاتح	زجاجي	3	2.8-2.6	---
الأراجونيت (Aragonite)	كتلي أو حبيبي	موشوري	أبيض أو رمادي أو أصفر باهت مع إحمرار أو أخضر سماوي وبنفسجي وأسود	---	زجاجي	4-3.5	3	---

الفلز	شكل وجوده	نظام تبلوره	لونه	مخدشه	بريقه	قساوته	وزنه النوعي	انفصامه
الماغنيزيت (Magnesite)	---	---	أبيض أو أصفر شاحب أو رمادي أو أسود	أبيض	زجاجي	4.5-4	3.1-2.9	---
الدولوميت (Dolomite)	يوجد على شكل كتلي	ثلاثي	عديم اللون أو أبيض رمادي أو مائل للاصفرار أو البني	رمادي	زجاجي	4-3.5	2.9-2.8	---
السيدريت (Siderite)	---	ثلاثي	أصفر أو رمادي أو أصفر أو رمادي بني أو أسود	عديم اللون أو أبيض	زجاجي أو لؤلؤي	4.5-4	3.9-3.7	تام
المالاكيت (Malachite)	يوجد على شكل كتل ليفية أو حبيبية	أحادي الميل	أخضر زُمردي أو أخضر غامق أو رمادي مخضر	أخضر شاحب	زجاجي أو ألماسي أو حريري مطفى	4-3.5	4.1-3.9	تام

٥- الكبريتات:

تنشأ الكبريتات عن اتحاد عُنصري الكبريت والأوكسجين مع العناصر المعدنيَّة، وتعُد مُعظم فلزَّات الكبريتات من الفلزَّات المُكوِّنة للصخور الرسوبيَّة، وترجع من حيث المنشأ إلى ترسيب أملاح حمض الكبريت من المياه السطحيَّة في الأحواض المُغلقة أو نتيجة لأكسدة الكبريتات، ومن أهم فلزَّته:

أ- الجص - الجبس (Gips-Gypsum) ($Ca\ So_4.2H_2O$)

ب- الانهدريت (Anhydrite) ($Ca(SO_4)$)

الفلز	شكل وجوده	نظام تبلوره	لونه	مخدشه	بريقه	قساوته	وزنه النوعي	انفصامه
الجص (الجبس) Gips) (Gypsum	على شكل بلورات أحادية الميل	---	أبيض مائل للاحمرار أو رمادي أو بني	أبيض	زجاجي ولؤلؤي	2	2.4-2.2	---
الانهدريت (Anhydrite)	كتل حُبيبيَّة دقيقة	المُعيَّني القائم	أبيض، وينقلب عادةً إلى الزرقة أو الاحمرار أو إلى الرصاصي	---	لؤلؤي زجاجي	4-3	3-2.9	---

٦- مجموعة فلزَّات الفوسفات (Phosphates):

تضم (250) فلزاً، تدخُل في تركيب القشرة الأرضيَّة، وتنشأ عن اتحاد عُنصري الفوسفور والأوكسجين مع العناصر المعدنيَّة، ومن أهم فلزَّات هذه المجموعة:

أ- الأباتيت (Apatite) ($Ca5(Po_4)_3(F,CL,OH,O)$) ب- الفوسفوريت (Phosphorite)

الفلز	شكل وجوده	نظام تبلوره	لونه	مخدشه	بريقه	قساوته	وزنه النوعي	انفصامه
الأباتيت (Apatite)	كتل حُبيبيَّة دقيقة	سداسي	أخضر شاحب أو أزرق أو بني أو أبيض أو أصفر	أبيض	زجاجي	5	3.2	ضعيف جدًّا
الفوسفوريت Phosphorite))	---	---	أصفر مائل إلى البني أو الرمادي	رمادي	عاتم	---	---	---

٧- مجموعة فلزَّات السيليكات (Silicates):

تنشأ عن اتحاد عُنصري السيليسيوم والأوكسجين مع العناصر المعدنيَّة، وتشمُل هذه المجموعة نحو ثلث الفلزَّات المعروفة في الطبيعة، وتُشكِّل أكثر من (75%) من وزن القشرة الأرضيَّة، وتحتوي على (800) فلز، وأهم فلزَّاتها:

أ- الأوليفين (Olivine) ($(Mg.Fe)_2(Sio_4)$)

ب- التالك (الطلق) (Talc) ($Mg_3(Sio_4O_{10})(OH)_2$)

ج- الكلوريت (Chlorite) ($(Mg.Fe_2)_{10}A_{12}(SI,AL)_8O_{10}(OH.F)_{10}$)

ت- الأوجيت (Augite) ($Ca(Mg,Fe)(Si_2A_{12}O_6)$)

ث- الهورنبلاند (Hornblende) ($Ca_2(Mg,Fe)_4(AL,Fe)(Si,AL)_8O_{22}(Oh,F)_2$)

ن- الميكا البيضاء (موسكوفيت) (Muscovite) ($KaL_2(ALSi_2O_{10})(OH,F)_2$)

و- الميكا السودا (بيوتيت) (Biotite) ($K(Mg,Fe_3+)3(Alsi_3)O_{10}(OH,F)_2$)

ي- الكاولينيت (Kaolenite) ($AL_4\ Si_4\ O_{10}\ (OH)_8$)

الفلز	شكل وجوده	نظام تبلوره	لونه	مخدشه	بريقه	قساوته	وزنه النوعي	انفصامه
الأوليفين (Olivine)	كتلي حُبيبي	معيني قائم	عديم اللون، أصفر مخضر، أخضر، أخضر زيتوني	أبيض	زجاجي	7-6.5	4.2-3.3	واضح، أو غير تام
التالك (Talc)	كتل حبيبيَّة أو صفاحيَّة	---	أبيض مائل إلى الاصفرار أو رمادي اللون، وقد يميل لونه إلى الأخضر	أبيض	زجاجي أو لؤلؤي صدفي	1	2.8-2.7	---
الكلوريت (Chlorite)	ورقي أو على شكل كتل حُبيبيَّة	وحيد الميل	أخضر بدرجاته المختلفة	أبيض مائل إلى الأخضر	لؤلؤي و زجاجي	2.5-2	2.8-2.6	---
الأوجيت (Augite)	---	وحيد الميل	أخضر مسود أو أسود أو بني مائل للاخضرار	أبيض	زجاجي شفَّاف حتَّى عاتم	6-5	3.6-3.3	متوسط موشوري

الفلز	شكل وجوده	نظام تبلوره	لونه	مخدشه	بريقه	قساوته	وزنه النوعي	انفصامه
الهورنبلاد (Hornblende)	---	وحيد الميل	أخضر أو أسود أو أخضر مسود	رمادي أو بني مخضر	زجاجي	6-5.5	3.3-1	موشوري
الميكا البيضاء (موسكوفيت) (Muscovite)	---	وحيد الميل	رمادي أو أبيض عديم اللون أو بني فاتح شفاف	أبيض	زجاجي أو لؤلؤي أو حريري	3-2	3.1-2.7	تام
الميكا السودا (بيوتيت) Biotite)	---	وحيد الميل	بني أو أسود أو أخضر غامق	أبيض	زجاجي أو لؤلؤي أو معدني	3-2	3.1-3	غير تام
الكاولينيت (Kaolenite)	---	ثلاثي الميل	أبيض رمادي أو أصفر أو أحمر أو أخضر أو سماوي	أبيض	كامد	2-1	2.6-2.5	تام



الفصل السادس

صخور القشرة الأرضيَّة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

صخور القشرة الأرضيَّة

لا بُدَّ عند دراسة أشكال سطح الأرض وتضاريسها من التركيز على بُنيَّة القشرة الأرضيَّة وتركيب صخورها.

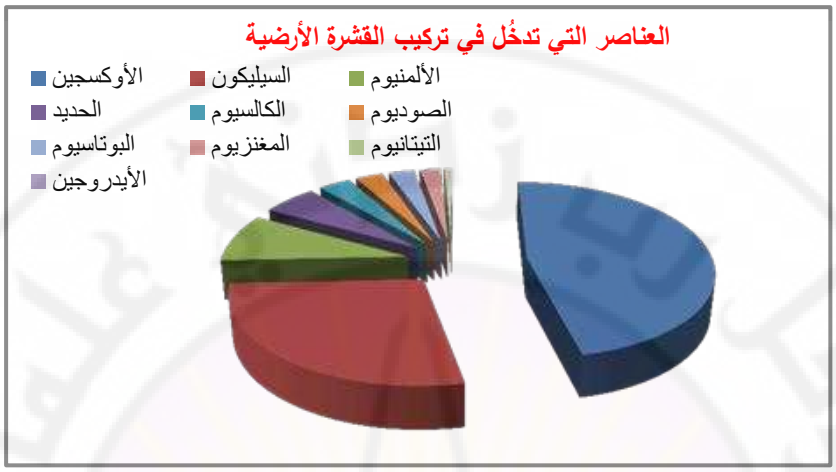
الصخور: عبارة عن مجموعة من مركبات معدنيَّة (Polyminerd Rock)، وتتألَّف المعادن من مجموعة عناصر (Monominiral Rock)، أو من عنصر واحد مثل: الذهب والقصدير والرصاص والفضَّة والنُحاس، وهذه نادرة.

تتركَّب القشرة الأرضيَّة كيميائيَّاً من (95) عنصراً، أكثرها شيوعاً ثمانية تُكوِّن نحو (98%) من تركيب صخور القشرة، يأخُذ الأوكسجين حوالي النصف منها، يليه السيليكون، وهما يمثلان نحو (¾) من وزن الغلاف الصخري.

وفيما يلي أهم العناصر التي تدخُل في تركيب الصخور:

جدول رقم (١١): أهم العناصر التي تدخُل في تركيب القشرة الأرضيَّة

العُنصر	نسبة الوزن	العُنصر	نسبة الوزن
الأوكسجين	%46.71	الصوديوم	%2.75
السيليكون	%27.69	البوتاسيوم	%2.58
الألمنيوم	%8.8	المغنزيوم	%2.08
الحديد	%5.5	التيتانيوم	%0.62
الكالسيوم	%3.25	الأيدروجين	%0.14



أنواع الصخور ودورها في أشكال التضاريس:

تتكوَّن القشرة الأرضيَّة من مُركَّب معدني نتج عن اندماج مجموعة من المعادن يُطلق عليها اسم الصخر، منها ما تكون قاسيَّة كالحديد، أو ليِّنَة كالمارن، ومنها ما يكون مُفكَّكاً كاللوس، أو مُتماسكاً كالماغما، وهذا ما يؤدِّي إلى تكوين أشكال تضاريسيَّة مُتنوعة مُرتبطة بـ:

- نوعيَّة الصخر الذي تتألَّف منه.
- وكذلك حسب المُناخ الذي وجدت فيه.

فالغرانيت مثلاً: ينفرط في المناخات الحارَّة الصحراويَّة، ويُعدُّ مُقاوماً في العروض العاليَّة، حيثُ المُناخات الباردة والمُعتدلة، إذ إنَّ الصخور خضعت لعوامل الحت والتجويَّة والتفكُك الميكانيكي والتحلُّل الكيميائي والنقل، ممَّا يؤدِّي إلى تغيير صفاتها الأصليَّة.

ويمكن تمييز الصخور عن طريق:

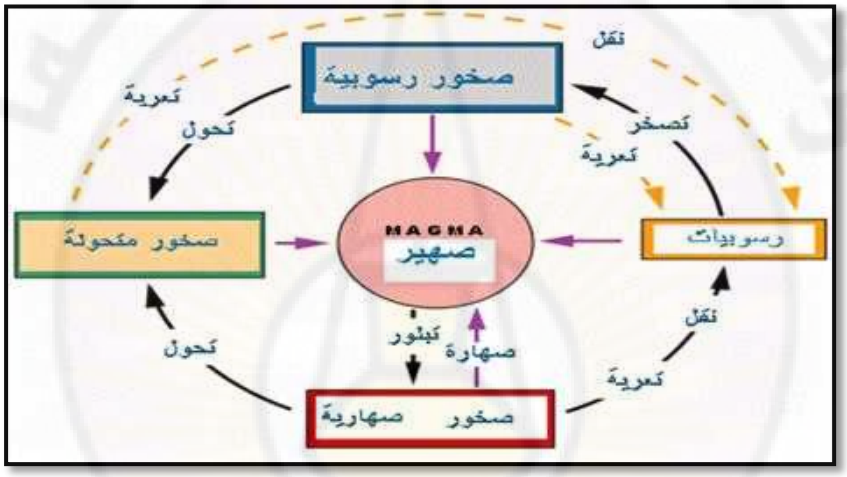
أ- المعادن الرئيسيَّة والثانويَّة، وتحديد خصائص كُلاً منها وصفاتها.

ب- دراسة بُنية الصخر الخارجية (Structure)، كالتبلوُّر وحجم حُبيبات المعادن التي تُكوِّن الصخور، وهذا يتعلَّق بظروف تشكُّل الصخر.

ت- دراسة نسيج الصخر (Texture): وهو تركيب الصخر، ونظام تركيب بلوراته.

يُمكن تقسيم صخور القشرة الأرضيَّة على أساس نشأتها إلى ثلاث مجموعات رئيسة وهي:





شكل رقم (٥٠): دورة الصخور

أولاً: الصخور الناريَّة (الباطنيَّة – Igneous) أو صخور الصهير (الماغما – Magmatic):

وهي التي تندفع من باطن الأرض نحو سطحها، وقد تتصلَّب في الأجزاء العُليا من القشرة الأرضيَّة مكوِّنةً الصخور الناريَّة المُتداخلة، أو قد تصل إلى سطح القشرة الأرضيَّة على شكل طفوح بُركانيَّة، ثمَّ تتصلَّب فوق السطح مكوِّنةً الصخور الناريَّة السطحيَّة إمَّا على شكل براكين، أو على شكل صبَّة (حرَّة).

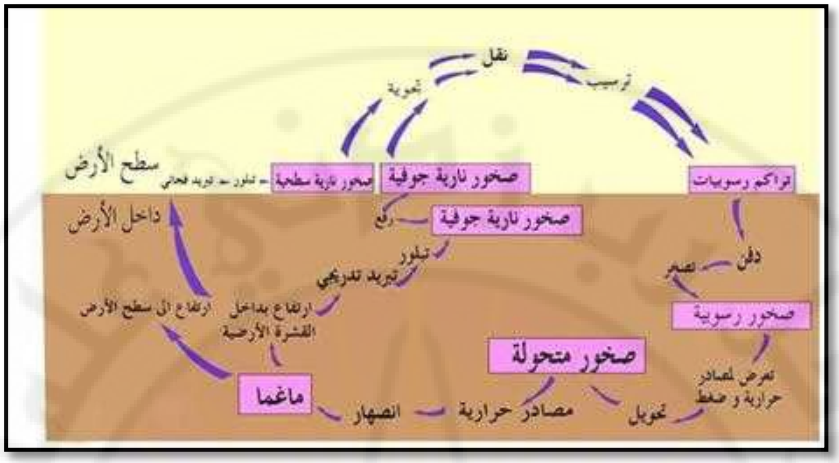


صورة رقم (٤١): مظهر الحمم في الطبيعة بعد خروجها من باطن الأرض مُباشرةً

كان يُعتقد قديماً أنَّ منشأ الصخور الناريَّة (الباطنيَّة) هو نواة الأرض ذات الطبيعة المائعة، ولكن الدراسات الحديثة أثبتت أنَّ أساس المهل هو: جيوب تقع في أعماق القشرة الأرضيَّة بين المعطف الأعلى والقشرة الأرضيَّة، وتتدفَّق هذه المواد المهليَّة إلى سطح الأرض لسببين:

١. الضغط الهيدروستاتيكي (التوازني).

٢. ازدياد حجم المواد المصهورة التي ترتفع درجة حرارتها لتصل إلى (1300°م)، وازدياد حجم الغاز (التمدد الادياباتي – الذاتي)، ممَّا يؤدِّي إلى حركة المهل باتجاه السطح بطرقٍ مُختلفة، وحصول تماس بينها وبين الغلاف الغازي للأرض، حيثُ تتبرَّد وتتصلَّب بسرعة ممَّا يؤدِّي إلى نشوء صخور ذات بلورات، وذات بُنية (بورفيريَّه) زجاجيَّة دقيقة يُطلق عليها الصخور الناريَّة (الاندفاعيَّة).



شكل رقم (٥١): دورة الصخور الناريَّة

تصنيف الصخور الباطنية:

يُمكن تصنيف الصخور الناريَّة التي تبرَّدت وتصلَّبت وفق عدَّة أُسس أهمُها:

-١-

تصنيف الصخور على أساس مكان تصلُّبها

-٢-

تصنيف الصخور على أساس نسبة أوكسيد السيليس الموجود فيها

١- تصنيف الصخور على أساس مكان تصلُّبها: وتضم:



أ- الصخور المهليَّة العميقة (plutonic Rock – depp, Sealed or intrusive):

وهي الصخور التي تكوَّنت نتيجةً لتصلُّب الصهير في أعماق بعيدة عن سطح الأرض، إذ سمحت ظروف الضغط والحرارة لعمليَّات التبرُّد البطيء، مكوِّنةً صخور كاملة التبلوُّر، أي بلوراتها كبيرة الحجم، متساوية النمو، مُتناسقة الترتيب، مثال: صخر الغرانيت.



صورة رقم (٤٢): صخر الغرانيت

ب- الصخور متوسطة العُمق أو المُتداخلة (Intermediate or semi abyssal Rocks intrusive):

وهي الصخور التي تصلَّبت على أعماق قريبة من سطح الأرض ضحلة، إذ تتداخل في صخور القشرة الأرضيَّة، وتتميَّز هذه الصخور **بالمظهر السماقي (البورفيري)** وهو: وجود بلورات كبيرة وصغيرة الحجم مختلطة ومُبعثرة وسط حُبيبات الفلزَّات المكوِّنة للصخر، يعود ذلك إلى تبلوُّر بلورات بعض المعادن أثناء صعودها إلى السطح.

وإذا كانت هذه الصخور المُتداخلة مندفعةً من خلال شق رأسي تُكوِّن بعد تبرُّدها جداراً بازلتيَّاً يُسمَّى **بـ(Dyke)**، وتكون شديدة الصلابة تتآكل الصخور الجانبيَّة، ويبقى السد حائطاً عظيماً، ويُمكن أن يتداخل المُهل أُفقيَّاً بين الطبقات تُسمَّى **بالعروق (Sills)**.

ج- الصخور السطحيَّة (الطفحيَّة) (Extrusive Rocks):

وهي الصخور التي نشأت من تصلُّب المهل، وانبعثت نحو سطح الأرض ثُمَّ تبردَّت وتصلَّبت مُباشرةً بمُجرَّد مُلامستها الغلاف الغازي، مكوِّنَةً بلورات دقيقة لا تُرى إلَّا بالمجهر، أو عديمة التبلوُّر وذلك لأنَّ الضغط والحرارة ينخفضان بصورةٍ مُفاجئة.

ومن أنواعها البازلت الذي يتباين لونه بين الأخضر الداكن والأسود، ومنها الريوليت يتميَّز بلونه الفاتح ما بين الرمادي والوردي.



صورة رقم (٤٣): البازلت



صورة رقم (٤٤): الريوليت

٢- تصنيف الصخور المُهليَّة (الصهير) على أساس نسبة أوكسيد السيليس الموجود فيها:

الصخر	نسبة أوكسيد السيليس
أ- مجموعة الصخور الحامضيَّة (Acid Rocks)	تحتوي على نسبة تتراوح بين (65-75%)
ب- مجموعة الصخور الناريَّة الوسيطة (Average Igneous Rocks)	تحتوي على نسبة تتراوح بين (55-65%)
ج- مجموعة الصخور القاعديَّة (Basic Rocks)	تحتوي على نسبة تتراوح بين (45-55%)
د- مجموعة الصخور فوق القاعديَّة (Ult-Basic Rocks):	تحتوي على نسبة أقل من (45%)

ويُستخدم التركيب المعدني للتمييز بين أنواع الصخور الناريَّة، إذا كان الصخر الناري مُكوَّناً من عدَّة معادن، فإنَّ عدداً قليلاً منها يعُدُّ أساسيَّاً في التركيب، والمعادن الأُخرى تكون ثانويَّة تبعاً لقلَّة كميَّتها.

تتركَّب الصخور الناريَّة من المعادن التالية:

- الكوارتز - الفلسبار: وهو خفيف الوزن، باهت اللون.
- الميكا - الهورنبلاند - الأوجيت
- الأوليفين: وهي من المعادن الثقيلة الوزن، ذات اللون القاتم.

والصخور الحامضيَّة تحتوي على نسبة كبيرة من النوع الأوَّل، أمَّا الصخور القاعديَّة تحتوي على نسبة عالية من النوع الثاني، والجدول التالي يوضِّح ذلك:

جدول رقم (١٢): الصخور حسب التركيب المعدني

النوع حسب التركيب المعدني	نسبة أوكسيد السيليس	المعادن الأساسيَّة	صخور جوفيَّة	صخور مُتداخلة	صخور بُركانيَّة
صخور حامضيَّة	أكثر من (66%)	كوارتز أورتوكلاز ميكا	غرانيت	فليستا	ريوليت
صخور متوسطة	(52%) إلى (66%)	فلسبار هورنبلاند	ديوريت	بورفوريت	أنديسيت
صخور قاعديَّة	أقل من (52%)	بلاجيوكلاز أوجيت أولفين	جابرو	دورلويت	بازلت

تتميَّز الصخور الناريَّة بعدَّة خصائص تُميِّزها عن غيرها من الصخور وهي:

١- تختلف الصخور الناريَّة باختلاف أنسجتها الصخريَّة حسب العمق والمكان الذي تصلَّبت فيه مُشكِّلةً بلورات إمَّا كبيرة أو مُختلفة أو صغيرة.

٢- تبدو الصخور الناريَّة عديمة التطبُّق على شكل كتل.

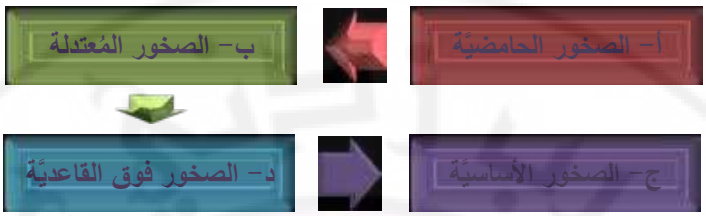
٣- عديمة المسام / شديدة الصلابة، كتيمة لا ينفُذ الماء منها، لذا فهي من أكثر الصخور مُقاومةً لعوامل التجويَّة وعوامل التعريَّة.

٤- لا تحتوي على مُستحاثَّات (أحافير)، بسبب ارتفاع درجة حرارة المُهل قبل تصلُّبه.

٥- يُمكن أن تحتوي على فواصل وشقوق ناجمة عن تبرُّد المُهل، وانكماش حجمه.

٦- تختلف ألوان الصخور الناريَّة، منها الفاتحة ذات الوزن النوعي الخفيف، ومنها القاتمة ذات الوزن النوعي الثقيل.

أهم أنواع الصخور النارية:



أ- **الصخور الحامضيَّة:** تحتوي جميع الصخور الحامضيَّة على معدن الكوارتز والفلسبار (الأورتوكلاز)، وهي غنيَّة بالسيليس، لونُها فاتح، ووزنها النوعي مُنخفض (2.7).



صورة رقم (٤٥): الكوارتز



صورة رقم (٤٦): الفلسبار

ومن أهم الصخور الحامضيَّة:

- **الصخور الغرانيتيَّة (Granite):**

يُعدُّ الغرانيت من أكثر الصخور الناريَّة شيوعاً في الطبيعة، وهو مُقاوم لعوامل التعرية والتجويَّة، كما أنَّه صخر جوفي عميق، يتَّصف مظهرهُ الخارجي بأنَّه كامل التبلوُّر، يتميَّز بحُبيبات مُتوسطة الحجم، نسيجه خشن، يدخُل في تركيبه الكوارتز بنسبة (25%) والفلسبار والصوديوم والبوتاسيوم بنسبة (50%) والميكا والأرجيت بنسبة (10%)، وتظهر بلورات الكوارتز (المرو) كروية الشكل، لونها رمادي، أمَّا بلورات الفلسبار فتأخُذ شكل المستطيل لونها أحمر فاتح، أو قد تبدو حُبيبات الفلسبار بيضاء أو رماديَّة، الوزن النوعي للغرانيت (2.6-2.7) ويكون معظم

الأحيان قلويّاً، وهو صخر قاسٍ ذو كثافة تتراوح (2.6–2.9غ/سم^3)، ويُستعمل الغرانيت في تشييد القصور والمقابر والنصب التذكاريَّة بعد تلميعه وصقله، كما يُستخدم في رصف الطرقات.



صورة رقم (٤٧): الغرانيت

– كوارتز بورفيري (Quartz Porphyry):

وهو على شكل كتلة مُندمجة، لونها بُني أو بُني محمَّر أو أصفر رمادي، يُشبه صخر الليباريت، يحتوي معدن الأرتوكلاز وبلورات الكوارتز البراقَّة، ونادراً ما نجد فيه بلورات من معادن داكنة اللون.

– الليباريت (Liparite):

يتميَّز بمظهرهُ الزُجاجي البورفيري، ويحتوي على بلورات صغيرة واضحة من معادن الفلسبار والكوارتز، كما يحتوي على الميكا وبخاصةً الميكا البيضاء، لون كتلتهُ فاتح، وكثيراً ما يكون أبيض.

– البغماتيت (Pegmatite):

يُوجد في الطبيعة على شكل عروق مُتداخلة بين الصخور الناريَّة التي سبقته في التكوين، له تقريباً تركيب الغرانيت نفسه، يتميَّز بكبر بلوراته (Macrocrystalline)، يتركَّب بشكلٍ أساسي من الفلسبار والكوارتز والميكا، وقد تكوَّنت هذه الصخور في المرحلة الأخيرة من عمليَّة تصلُّب المُهل حين يكثُر وجود المواد الطيَّارة.



صورة رقم (٤٨): البغماتيت

- الابسيديان (Obsidian) أو الزُجاج البُركاني (Volcanicclass):

وهو صخر يتميَّز بتركيب كيماوي متنوِّع، كتلتهُ خالية تماماً من البلورات، لونه داكن مائل إلى السواد، تكوَّنت معظم صخوره في أثناء تبرُّد المُهل، بريقه زُجاجي، مكسرهُ محاري، وزنه النوعي مُنخفض.



صورة رقم (٤٩): الابسيديان

- صخر الخفان (Pumic):

وهو صخر مسامي عديم التبلور، تكوَّن من مهل غنِّي جدَّاً بالغازات، نسيجهُ إسفنجي ذو مساميَّة عالية، وزنه النوعي خفيف جدَّاً، يطفو فوق الماء، لونه أسود.



صورة رقم (٥٠): الخفان

ب- الصخور المعتدلة: تتميَّز بفلزَّات مُختلفة بين الفاتح وهو الأكثر و الداكنة، وأهم صخور هذه المجموعة:

- الديوريت (Diorite):

وهو صخر جوفي عميق، كامل التبلوُّر، تُمثِّل الفلزَّات الفاتحة اللون فيه البلاجيوكلاز، أمَّا الفلزَّات الداكنة فيُمثلُها الهورنبلاند، وقد يحتوي على فلزَّات ثانويَّة من الماغنيتيت، الأباتيت، لون الصخر رمادي فاتح أو مُخضر، يتزامن وجوده مع رواسب الرصاص والزنك والنُحاس.



صورة رقم (٥١): الديوريت

- الإنديزيت (Andesite):

صخر سطحي مظهرهُ بورفيري، كتلتهُ مساميَّة، لونه رمادي فاتح أو بني فاتح، وزنه النوعي (2.7)، يُستخدم كمواد بناء.



صورة رقم (٥٢): الإنديزيت

- السيانيت (Syenite):

وهو صخر جوفي عميق، يتركَّب من الفلسبار البوتاسيَّة الصوديَّة، يحتوي على الهورنبلاند، لونه فاتح أو متوسط، كامل التبلوُّر، بنيتُه مُتجانسة حُبيبيَّة، وزنه النوعي (2.6-2.8)، يتألَّف من الصفائح، البوتاس، الهورنبلاند، والأرجيت، وقليل من المرو.



صورة رقم (٥٣): السيانيت

ج- الصخور الأساسية: تحتوي هذه الصخور على نسبة قليلة من السيليس (40-50%)، وكميَّة من الفلزَّات تُقدَّر بـ(20%)، تتركَّب هذه المجموعة من فلز البيروكسين (أرجيت)، والبلاجيوكلاز، والهورنبلاند، الأوليفين، لونها داكن، ومن أهم صخور هذه المجموعة:

- البازلت (Basalt):

لونه أسود أو أخضر داكن، مجهري البلورات، ذو منشأ سطحي، وزنه النوعي (3–3.3)، وهو صخر متين جدّاً مُقاوم لعوامل التعريَّة، يأخُذ شكل مواشير عند تبرُّده، اشتقَّ اسمهُ من كلمة أثيوبيَّة تعني الحجر الأسود المكوَّن من الحديد، يتكوَّن من البيروكسين والفلسبار الغني بالكالسيوم مع كميَّات أقل من الأوليفين والأمفيبول، وهو واسع الانتشار في سورية كحوران وجبل العرب ووعرة حمص، يُستخدم كمواد بناء.



صورة رقم (٥٤): البازلت – مواشير من البازلت

- الغابر (Gabro):

وهو صخر جوفي داكن اللون، شبيه بالبازلت، كامل التبلوُّر، حُبيباته متوسطة أو كبيرة، يتألَّف من البيروكسين والبلاجيوكلاز الفاتحة، وزنه النوعي (2.9–3.1)، يُمثِّل جزءاً من القشرة المُحيطيَّة، يتكوَّن الغابرو من تصلُّب المُهل التدريجي في الجيوب الجوفيَّة التي تحتوي على المُهل.



صورة رقم (٥٥): الغابر

- الدياباز (Diabase):

وهو صخر سطحي المنشأ، شبيه بالبازلت في مظهره وتركيبه، ولكنَّه يختلف عنه قليلاً بسبب وجود الأوليفين، أمَّا اللون الأخضر فهو بسبب وجود الكلوريت.

د- الصخور فوق القاعدية: وهي صخور جوفيَّة عميقة ذات تبلوُّر كامل، وزنها النوعي (3.25)، تتركَّب من فلزَّات الأوليفين، البيروكسين، الدونيت، أهم هذه الصخور:

- صخر البيريدوتيت (Peridotite):

لونه أخضر داكن أو أسود، تتألَّف بنيتُه من حُبيبات كبيرة أو متوسطة، وزنه النوعي (3-3.4)، يتركَّب من الأوليفين والبيروكسين.



صورة رقم (٥٦): البيريدوتيت

- الدونيت (Donite):

لونه أخضر داكن أو بُني حُبيبي البُنية، نسيجُه بلوري، يتركَّب من فلزَّات الأوليفين بنسبة (15-85%)، ويدخُل مع الكرومت والماغنيتيت والبلاتين.

أمَّا أهم صخور الناريَّة الشائعة فهي:

الغرانيت – الريوليت – الأبسيديان – الانديزيت – الديوريت – البازلت – الغابرو.

أمَّا أهم مظاهر السطح التي تُشكلها الصخور الناريَّة فقد تمَّ ذكرُها في فصل الأشكال البُركانيَّة.

ثانيَّاً: الصخور الرسوبيَّة (Sedimentary Rocks):

تتميَّز الصخور الرسوبيَّة عن الصخور الباطنيَّة بأنَّها تنشأ فوق سطح الغلاف الصخري نتيجةً للتحطُّم والتفكُك الميكانيكي والتجوية الكيميائيَّة للصخور الباطنيَّة والمُتحولَّة والرسوبيَّة المُتشكلة سابقاً بفعل عوامل التعرية، وفعل الكائنات العضويَّة، ثُمَّ تُنقل بفعل عوامل النقل إمَّا بالأنهار، أو السيول، أو الرياح.....

تُشكِّل الصخور الرسوبيَّة (75%) من سطح الأرض، على الرُغم من أنَّ جوف الأرض يتألَّف مُعظمه من الصخور الباطنيَّة، يتباين سمك الطبقات الرسوبيَّة من مكانٍ إلى آخر، وتُوجد إمَّا في حالة مُفككة هشَّة كالرمال، أو مُتماسكة صلبة ترتبط بملاط لاحم كالحجر الرملي أو الكونغلوميرات.

وتختلف نوعيَّة تركيب الملاط إمَّا يتركَّب من كربونات الكالسيوم أو السيليكا أو أكاسيد الحديد، تتصف الصخور الرسوبيَّة بالمساميَّة التي تختلف بدورها بين صخرٍ وآخر، ففي الصخور الرمليَّة تتراوح بين (28-40%)، وفي الصخور الغُضاريَّة بين (50-55%)، كما تتصف بالطباقيَّة، أي أنَّه يتألَّف من طبقات مُتعاقبة بعضها فوق بعض الأقدم تحت الأحدث، توضَّعت في البحار والمُحيطات والبُحيرات والمُنخفضات القاريَّة، ثُمَّ تعرضَّت إلى ضغط ممَّا أدَّى إلى تصلُبها وارتفاعها فوق سطح الماء، كما تتميَّز الصخور الرسوبيَّة باحتوائها على بقايا عضويَّة حيوانيَّة أو نباتيَّة (مُستحاثات) أو أحافير، تدلُّ على نوع المُناخ والحياة التي كانت سائدة والظروف البيئيَّة التي تشكلَّت بها، ويُمكن من خلالها تحديد العُمر النسبي للصخور، وتحديد الأحقاب الجيولوجيَّة، (شكل ٥٢).



شكل رقم (٥٢): تكوُّن الصخور الرسوبيَّة

ويُمكن التمييز بين ثلاثة أنواع من الصخور الرسوبيَّة بناءً على أصل نشأتها هي:

١- صخور رسوبيَّة ميكانيكيَّة

(□□□

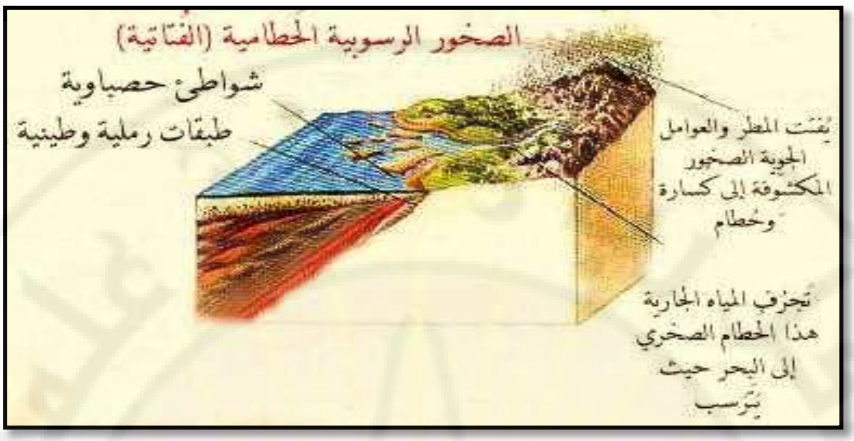
بسبب الاحتكاك والتصادم، لذا قد تكون إمَّا مزوَّاة ذات حواف وشظايا، أو مستديرة ملساء تختلف أحجامها حسب:

- المسافة التي قطعتها - طبيعة المواد - الانحدار الطبوغرافي
- أسلوب النقل (ماء – رياح)، حيثُ تتوضَّع الكبيرة أولاً ثمَّ الأصغر فالأصغر.

وفيما يلي قائمة بأحجام حُبيبات الصخور الحُطاميَّة عن زير شينغر (1958م):

جدول رقم (١٣): أحجام حُبيبات الصخور الحُطاميَّة حسب زير شينغر:

قطر الحُبيبات بالميليمتر	نوع الصخر وتسميته
أكبر من 60	أحجار – كتل صغيرة وكبيرة
60 – 20	حصى خشن
20 – 6	حصى متوسط
6 – 2	حصى ناعم (بقدر حبَّة الحُمص)
2 – 0.6	رمل خشن
0.6 – 0.2	رمل متوسط
0.06 – 0.2	رمل ناعم
0.06 – 0.002	غرين – مسحوق حجري دقيق جدًّاً
أصغر من 0.002	طين غضار



شكل رقم (٥٣): الصخور الرسوبيَّة الحُطاميَّة

وتُقسم الصخور الرسوبيَّة الميكانيكيَّة تبعاً لأحجامها إلى عدَّة أنواع وهي:

١- **الصخور التجمُعيَّة أو الرصيص (**

٢- **الصخور الرسوبيَّة الكيميائيَّة (**

٣- **الصخور الرسوبيَّة العضويَّة (**

١- **الصخور التجمُعيَّة أو الرصيص (Gonglomerates):** تتألَّف هذه الصخور من حطام صخري التحم مع بعضه بملاط، وتُقسم إلى قسمين:

التجمعات المستديرة (Pudding):

تتكوَّن من قطع صخريَّة كرويَّة يزيد قطرها عن (2 مم) بسبب عمليَّات النقل المائي، واحتكاك هذه القطع الصخريَّة وتصادمها أدَّى إلى تشذيبها وتكويرها، تتشكَّل هذه الصخور من تجمُّعات الكوارتز ترتبط مع بعضها بعضاً بملاط.



صورة رقم (٥٧): التجمُّعات

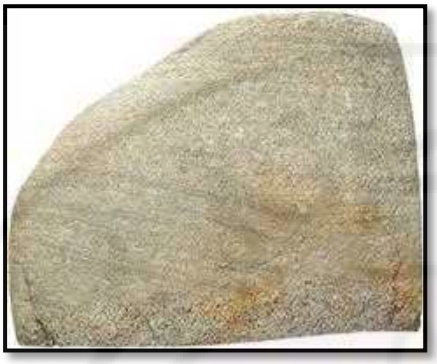
أمَّا النوع الآخر من **الرصيص هو البريشا (Breccia):** يتكوَّن من كتل صخريَّة ذات حواف حادة مُشظَّاة يدُل على أنَّها لم تُنقل لمسافاتٍ بعيدة، تُوجد على سفوح الجبال أو جوانب الهضاب.



صورة رقم (٥٨): البريشا

الحجر الرملي (Sand stone):

وهو صخر رسوبي، ويتألَّف من رمال إمَّا ناعمة أو خشنة، يتراوح قطرها بين (0.1-2 مم)، تتكوَّن من معادن الكوارتز والفلسبار والميكا تلتحم مع بعضها بوساطة (كربونات الكالسيوم – أو السيلكا – أو أوكسيد الحديد)، ومن هُنا تختلف ألوان هذا الحجر.



صورة رقم (٥٩): الحجر الرملي

اللوس (Loss):

يتركَّب اللوس من حُبيبات مُفككة، تتراوح أقطارها بين (0.01-0.5)، تتشكَّل عن خليط بين الكوارتز والفلسبار مع الغضار وفحمات الكالسيوم، واللوس إمَّا بني فاتح أو أصفر فاتح، يتميَّز بالمساميَّة تتراوح بين (40 – 50%).

الحجر الطيني (Clay Stone):

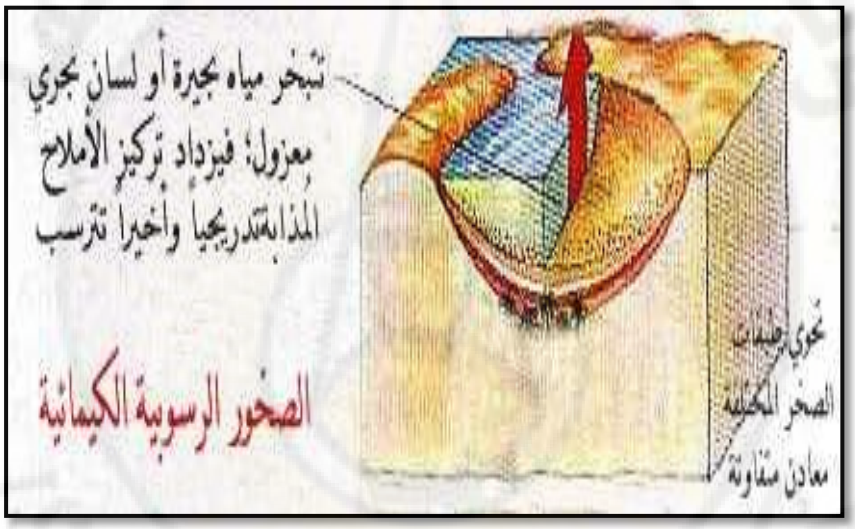
يتكوَّن من رواسب ناعمة لا يزيد قطرها عن (5) مم، تُرسبها الأنهار في مياه عميقة أو تترسَّب في قيعان البُحيرات العذبة، تتألَّف بشكلٍ أساسي من سيليكات الألمنيوم، وعندما يكون الغضار نقيَّاً يُسمَّى الكاؤلين (Kaolin)، لونه أبيض ناصع، ينشأ من تحلُّل الكلس ومن تحلُّل الفلسبار، تتميَّز الصخور الغُضاريَّة بأنَّها لينة تُحك بالظفر، وتتفتت بسهولة غير نفوذة شره للماء لها صفة الامتصاص الشديد للماء.



صورة رقم (٦٠): الحجر الطيني

٢- الصخور الرسوبيَّة الكيميائيَّة (Chemical sedimentary rocks):

تتشكَّل هذه الصخور نتيجةً لترسيب بلورات لمواد معدنيَّة كانت ذائبة في محاليل مائيَّة عندما ترتفع درجة تركيزها (تشبُّعها)، يُطلق عليها اسم **صخور المتبخرات** (Evaparites)، وقد تتكوَّن الرواسب نتيجة تفاعل كيميائي بين مكونات معادن المحاليل التي تحتويها المياه في الطبيعة، فيتكوَّن نتيجةً لذلك معادن جديدة تترسَّب في قيعان الأحواض المائيَّة مكوِّنة رواسب جديدة، (شكل ٥٤).



شكل رقم (٥٤): الصخور الرسوبيَّة الكيميائيَّة

ومن أهم الصخور الرسوبيَّة الكيميائيَّة:

- الصخور الجيريَّة الكيميائيَّة:

تترسَّب هذه الصخور نتيجةً لفقدان ثاني أكسيد الكربون المُذاب في الماء الناجم عن الحجر الكلسي، فمعظم المياه الطبيعيَّة تحتوي على أملاح كربونات الكالسيوم، غير أنَّ كميَّاته المُذابة تختلف تبعاً لوجود ثاني أوكسيد الكربون.

و مـن أهـم الأشـكال الرسـوبيَّة داخـل المغـاور الكارسـتيَّة كـالنوازل (Stalactite) والصـواعد (Stalagmite)، تتشكَّل نتيجـةً لتبخُّر المـاء الـذي يتسـاقط من سقوف المغاور علـى شكل نقط يترسَّب منها كربونات الكالسيوم.



صورة رقم (٦١): الصواعد والنوازل في مغارة القصير (تصوير المؤلفة)

وهُنـاك رواسـب القشـريَّات الكلسـيَّة المُتصـلبَّة (Duratedcrusts)، تشـكلَّت نتيجـة ذوبـان الكلـس بميـاه الأمطـار تاركـةً رواسـب كلسـيَّة مسـاميَّة حـول ينـابيع الميـاه المعدنيـة تُسـمى الترافـرتين (Travertine)، والـدولوميت (Dolomite)، يتـألَّف من فلـز الـدولوميت وهـو أقسـى من الحجـر الكلسـي، ذراتـه دقيقـة يتشكَّل نتيجـة الترسيب فـي محاليل مائيَّـة، ويُمكن تُميزه برائحتـه التـي تُشبه رائحة البارود إذا طرق بمطرقة.

وهُنـاك أنـواع أُخـرى مـن الصـخور الكيميائيَّـة النشـأة منهـا الملـح الصـخري (Halite)، والجـبس (Gypsum)، والتوفا (Tufa).

٣- الصخور الرسوبيَّة العضويَّة (Organic sedimentary rocks):

تتكوَّن هذه الصـخور نتيجـةً لتراكُم بقايا الكائنـات الحيَّة سواء أكانت حيوانيَّة أم نباتيَّة علـى شكل طبقات تتحلَّل بمرور الزمن لتتماسك على شكل صـخور، تُقسم إلى قسمين:

أ- صخور عضوية حيوانيَّة:

تتكوَّن من بقايا هياكل جيريَّة حيوانيَّة منها: الصخر الجيري المرجاني (Reef ellimestone)، وهي بقايا الشعاب المرجانيَّة الميتة المُشبعة بكربونات الكالسيوم المُستخلص من مياه البحر والحجر الطباشيري (Chalk): الذي يتكوَّن نتيجة تماسك بقايا حيوانيَّة ونباتيَّة مجهريَّة وصخر الفوسفات الذي ينشأ من ترسُّب عظام الأسماك والزواحف وتحلُّلها.

ب- صخور عضويَّة نباتيَّة:

تتشكَّل نتيجة لتعفُّن بقايا النباتات وتحلُّلها ثمَّ تفحمِّها، وهي من أكثر الرواسب العضويَّة النباتيَّة شيوعاً.

- **البيت (Peat) (التورب):** وهي صخور رسوبيَّة مُفككة صفراء أو بنيَّة أو سوداء، ناجمة عن بقايا نباتيَّة تفحمَّت في مياه فقيرة بالأوكسجين، تُمثِّل المرحلة الأولى من مراحل التفحُّم.

- **الفحم البُني:** وهو صخر نشأ عن تفحُّم النباتات في وسط ينعدم فيه الهواء، وهو أسود اللون، يُمثِّل المرحلة الثانيَّة من مراحل التفحُّم.

- **الفحم القطراني (طفل عضوي):** يُوجد على شكل صفائح رقيقة لونه رمادي أو بني، وهو خليط من مواد عضويَّة ورواسب قاريَّة طينيَّة، تُعطي رائحة القطران عندما تحترق، (شكل٥٥).



شكل رقم (٥٥): الصخور الرسوبيَّة العضويَّة المنشأ

ثالثاً: الصخور المتحولَّة (Metamophic Rocks):

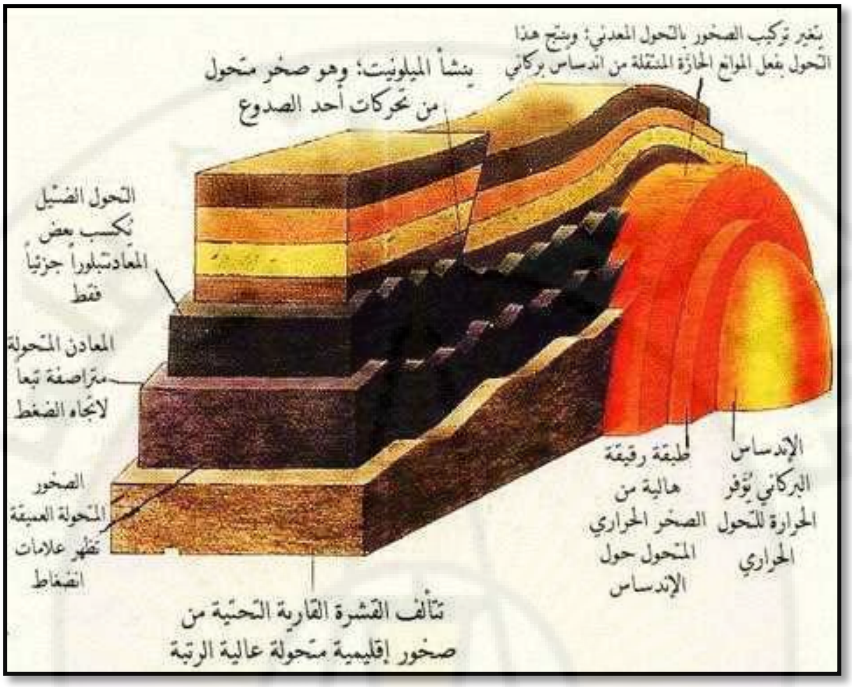
وهي الصخور التي يعود أصلها إلى صخور رسوبيَّة أو ناريَّة أو متحولَّة، ثمَّ تحوَّلت إلى صخرٍ آخر، تختلف سحنتُه عن الصخر الأصلي أي تغيَّر تركيبه الكيميائي والمعدني بالإضافة إلى تغيُّر نسيجه ومظهره، كتحوُّل الحجر الكلسي إلى رخام مثلاً.

أمَّا أهم عوامل التحوُّل الصخري (Methamorphism) هي:

- الحرارة المرتفعة
- الضغط الشديد
- خضوع الصخر لنشاط وتأثير بعض المحاليل المعدنية وللرطوبة ممَّا يؤدِّي إلى تشكُّل فلزَّات جديدة.

تتميَّز الصخور المُتحولَّة بأنَّها متبلورة، ولها نسيج ورقي أو شريطي أو كتلي، ويندُر وجود المستحاثات فيها.

تحدُث عمليَّة التحوُّل نتيجةً لغوص الصخور إلى أعماق كبيرة، وعندها ترتفع درجة الحرارة، وتتحلَّل العناصر المُشعَّة، كما يزداد الضغط وخاصةً الضغط الجانبي، ممَّا يؤدي إلى تشوُّه الصخور والفلزَّات، ودفعها حسب جهة الضغط، ممَّا يؤدي إلى مرور الغازات والأبخرة التي تزيد شدَّة العمليَّات الكيميائيَّة، (شكل٥٦).



شكل رقم (٥٦): الصخور المُتحولّة

ويُمكن تمييز عدَّة أنواع للتحوُّل نظراً لتباين العوامل المؤدِّية إلى التحوُّل وهي:



١- التحوُّل الديناميكي (Dynamic Metamorphism):

يحدُث هذا النوع من التحوُّل تحت تأثير الضغط القوي الوحيد الجانب، كالتحوُّل الذي يتم على امتداد خط الصدوع بسبب انتقال الكتل الصخريَّة، وتحرُّكها، أثناء عمليَّة التحرُّك تتولَّد الحرارة

الناتجة عن الضغط والاحتكاك، كما يزداد الضغط، مع زيادة سمك طبقات الصخور العُليا، وتتعرَّض الصخور الدُنيا للضغط، بالإضافة إلى ضغط عمليَّات بناء الجبال، وهذا بدوره يؤدِّي إلى ازدياد حرارة الصخور التي تُصبح أكثر ليونة، وهذا يُفسِّر قدرتها على الطي والالتواء، وتغيُّر التركيب الفلزي لها، أي إنَّ التحوُّل يكون نتيجة لتغيُّر الأوضاع، ويُطلق عليه التحوُّل الموضعي (Dislocational Metamorphism)، وصخور هذا النوع لها نسيج مميَّز تكون فيه المعادن مُهمَّشة، ويتم هذا النوع من التحوُّل في النطاقات العُليا للقشرة الأرضيَّة.

٢- التحوُّل التلقائي أو العفوي:

يتم هذا النوع من التحوُّل في المادة المُهليَّة أثناء عملية تبلورها، وأثناء خروجها و تبرُّدها، تحت تأثير انخفاض درجتي الحرارة والضغط، وما تبقَّى من المُهل والمواد الطيَّارة والمحاليل المائيَّة الحارَّة.

يمرُّ التحوُّل التلقائي بعدَّة مراحل على أساس تغيُّرات الظروف الديناميكية الحرارية:

أ- التحوُّل المُهلي الخاص الذي يتم في درجة حرارة أعلى من (600°م).

ب- التحوُّل الحراري المائي مع درجة حرارة دون (375°م)، (تتوافق درجة الحرارة (375°م) مع درجة الحرارة الحرجة للماء).

٣- التحوُّل بالتماس (Theermalor Contact Metamorphism):

يُمكن أن نُلاحظ هذا النوع من التحوُّل عند خطوط التماس بين المواد المُتدفقة والصخور الرسوبية المُماسَّة لها، يتم التحوُّل في الصخور المُختلطة، وفي الأجزاء العُليا للصخور المهليَّة المُندفعة، ويُسمَّى التحوُّل الذي يُصيب المواد المُحيطة بالصخور المُندفعة، **التحوُّل بالتماس الخارجي**، أمّا التحوُّل في المواد المُهليَّة المّندفعة فنُطلق عليه **التحوُّل بالتماس الداخلي**.

إنَّ التغيُّرات التي يتعرَّض لها نطاق التماس الناتجة عن الحرارة المُرتفعة للمُهل، وتحت تأثير العناصر الطيَّارة والمحاليل المُختلفة ترتبط معها عمليَّات الضغط المرتفع، تترافق بتغيُّر في التركيب الكيميائي للفلزَّات والصخور.

ومن هُنا يُمكن تقسيم هذا النوع من التحوُّل إلى:

- التحوُّل بالتماس الحراري.

- التحوُّل بالتماس نتيجة الضغط.

التحوُّل بالتماس الحراري: وهو إعادة تبلوُّر الماء، وتشكيل فلزَّات جديدة، ويتم تحت تأثير درجة عالية من الحرارة والضغط الخفيف مع استمرار عمليَّة التسخين، مُرتبط بالتبرُّد البطيء للمصهور المُهلي.

هذا النوع من التحوُّل لا يؤدِّي إلى تغيُّرات جذريَّة في التركيب الكيميائي للصخور، ويشمُل التحوُّل نطاقاً محدوداً جدَّاً، وهو ناجم عن تأثير التدفق للابَّة الحارَّة المُتداخلة مع الصخور الأصليَّة، والتي تؤدِّي إلى ازدياد الضغط والاحتكاك، وتحدُث هذه العمليَّة من خلال عاملين:

آ- ضغط ناجم عن طرح نشط للغازات المطروحة من المواد المُهليَّة المُتبردَّة.

ب- العامل الحراري المائي (هيدروترمالي) المُرتبط بتأثير الحرارة العالية للمحاليل.

مثلاً يتحوَّل الحجر الرملي إلى صخر صلب وشديد الاندماج يُعرف باسم **كوارتزيت** الذي يتميَّز بحُبيبات مُتبلورة من الكوارتز، أكبر نسبيَّاً من حُبيبات الرمل الأصليَّة، وتحوُّل الصخور الكلسيَّة إلى رُخام.

٤- التحوُّل الإقليمي (Regional Metamorphism):

تتم عمليَّة التحوُّل لتشغل مساحات واسعة تمتَّد آلاف الأميال المُربعَّة، وعلى سماكاتٍ كبيرة، ويُعدُّ من أوسع أشكال التحوُّل.

أمَّا أهم أسباب حدوث عمليَّات التحوُّل الإقليمي حدوث الحركات التكتونيَّة، والتقلُّصات الباطنيَّة في باطن الأرض، وتعرُّض صخور القشرة الأرضيَّة لضغط وحرارة شديدين.

وينشأ عن عمليَّة التحوُّل الإقليمي للصخور معادن جديدة بفعل الضغط والحرارة معاً، وتأثير المحاليل الطيَّارة والسائلة في الأعماق الكبيرة التي توجد فيها الصخور الخاضعة للتحوُّل، وهذا موجود ضمن حدود الركائز (Platforms)، كالركيزة البلطيقيَّة، والأوكرانيَّة، والعربيَّة والسيبيريَّة وغيرها.

وقد حُدِّدت ثلاثة نطاقات أو مستويات للتحوُّل الإقليمي هي:

أ- التحوُّل في المناطق قليلة العمق.

ب- التحوُّل في المناطق المتوسطة الأعماق.

ت- التحوُّل في المناطق العميقة.

وأهم الصخور المتحوِّلة هي:

الغنايس (Gneiss): يتألَّف من حُبيبات خشنة كبيرة الحجم، يحتوي أحياناً بلورات كبيرة من الأورتوز المُتطاولة واللوزيَّة، وهو من الصخور الحمضيَّة، يتألَّف من المرو والصفاح والميكا البيضاء على شكل أشرطة وطبقات رقيقة متوازية، مُلوَّنة مُميِّزة للصخر، إمَّا أبيض أو أخضر أو أسود، وهو صخر حامضي ناجم عن تحوُّل شديد للصخور الاندفاعيَّة.



صورة رقم (٦٢): الغنايس

الرُخام (Marble): وهو صخر مُتحوِّل عن صخور كلسيَّة ودولوميتيَّة، أهم مُميزاته أنَّه عديم التشقُّق، بلوراته كبيرة الحجم، مظهره سكري، لونه أبيض ثلجي ناصع، إلَّا أنَّه قد يختلط ببعض الشوائب المعدنيَّة، وهي بدورها تؤدِّي إلى تشكيل ألوان الصخر، مثلاً:

- الرُخام الأسود بسبب وجود المواد الفحميَّة البيتومينيَّة.
- والرُخام الأخضر نتيجةً لوجود الديبوسيد والهورنبلاند والسربنتين.
- والرُخام الأحمر لارتفاع نسبة أوكسيد الحديد والهيماتيت.
- والرُخام البُني بسبب وجود الليمونيت في الصخر.



صورة رقم (٦٣): الرُخام

الشيست (Schist): يتميَّز الشيست ببلوراته الدقيقة الحجم، وبنسيجه الورقي أو الصفائحي، يكثُر هذا النوع من الصخور في مناطق التحوُّل الإقليمي، وقد تؤدِّي الميكا إلى فصل صفائح الشيست بعضُها عن بعض، يتألَّف الشيست من الكوارتز الفلسبار ونسبة قليلة من معادن الأوجيت والهورنبلاند، والعقيق، وعندما ترتفع نسبة الكلوريت والأبيدوت في الصخر يُعرف باسم الشيست الأخضر (Green Shist).



صورة رقم (٦٤): الشيست

وقل رب زدني علما
Damascus University

الباب الثاني

أوجه النشاط الداخليَّة التي تتعرَّض لها الكرة الأرضيَّة

العمليَّات الديناميكيَّة الداخليَّة المنشأ (Enoday namics)

الفصل الأول: حركات القشرة الأرضيَّة

الفصل الثاني: القوى الداخليَّة البطيئة:

آ- الالتواءات / البُنية الالتوائية /

ب- الصدوع / الانكسارات /

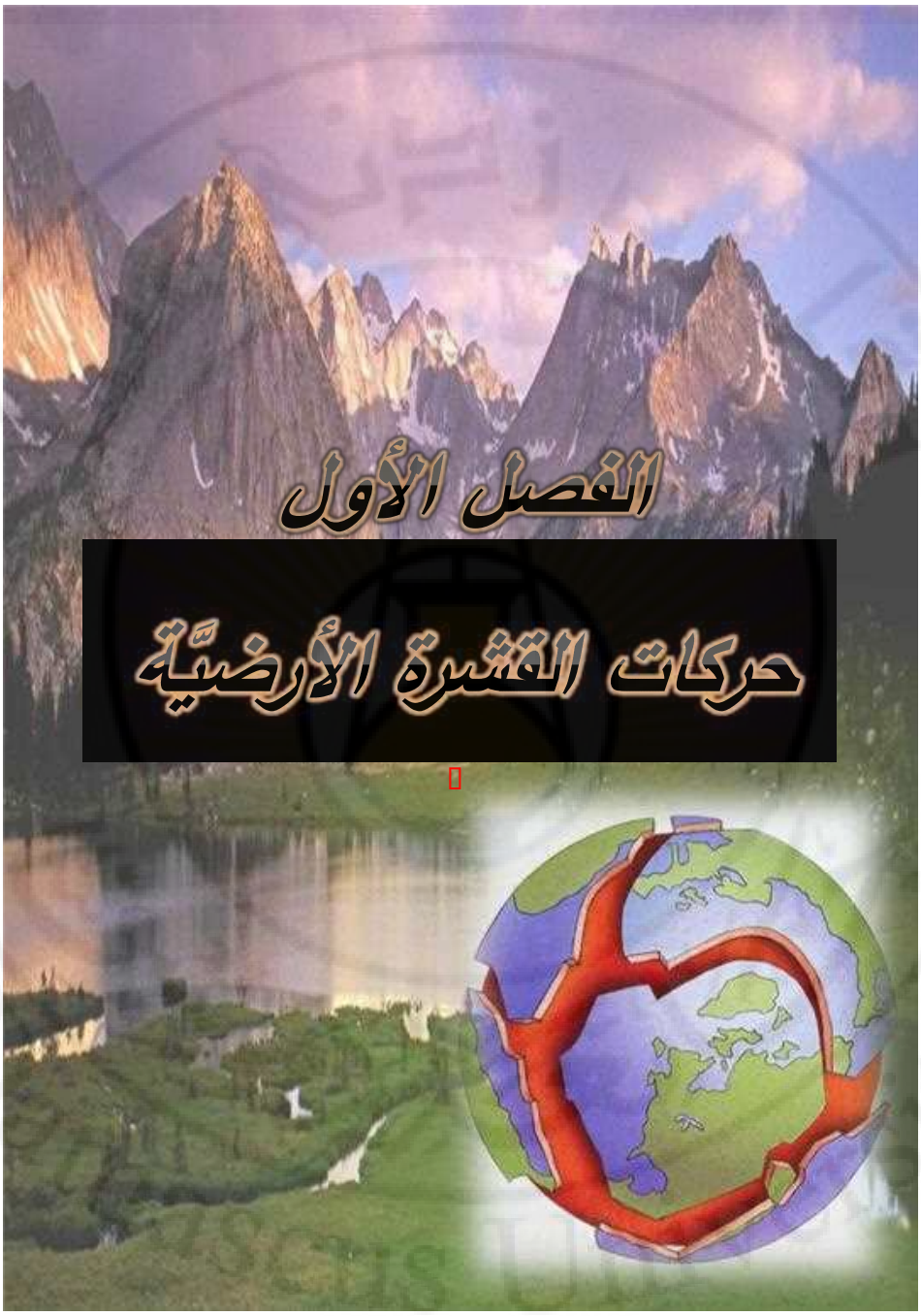
الفصل الثالث: القوى الداخلية السريعة:

آ- الزلازل

ب- البراكين (التضاريس الاندفاعيَّة)

الفصل الرابع: الوحدات البنيوية الكُبرى

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University


الفصل الأول
حركات القشرة الأرضيَّة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

حركات القشرة الأرضيَّة

حركات القشرة الأرضيَّة:

تتعرَّض كتلة قشرة الأرض لضغوطٍ كبيرة، تكاد تكون مُستمرَّة، وهذا بدوره يؤدِّي إلى عدم استقرارها، وبالتالي استمرار تحرُّكها.

وتنقسم **حركة القشرة الأرضية** إلى قسمين أساسيين:

أ- **حركة كتل سريعة** وتتمثل في : - الزلازل

- البراكين

ب- **حركة كتل بطيئة**، تستغرق آلاف السنين وملايين السنين، وتتمثل في : - تشكل الجبال

- تشكل القارات

وترجع الضغوط التي تتعرَّض لها القشرة الأرضيَّة إلى:

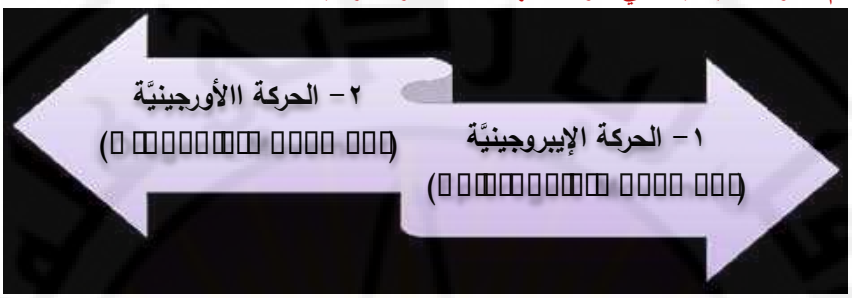
١- **عوامل باطنية:** أي بنائية ناشئة عن ارتكاز القشرة على مادة المعطف، الذي يرتكز بدوره على النواة اللزجة.

٢- **عوامل سطحية:** ناتجة عن الترسيب والإزاحة الناشئين عن تأثير العوامل الخارجية: كاتساع الغطاء الجليدي أو اختفائه أو امتلاء حوض مائي بالرواسب أو تفريغه، وما يُسببه الماء أو الجليد من ضغط على سطح القشرة الأرضية

وعلى الرغم من تقسيم العوامل المؤثّرة في تضاريس سطح الأرض، وأشكالها وملامحها العامّة إلى عوامل داخليّة، وأُخرى خارجيّة، ينبغي ألّا يغيب عن بالنا أنّ هذه العوامل تتعاون وترتبط مع بعضها ارتباطاً وثيقاً، بحيثُ يصعب علينا أن نفهم ظاهرات أشكال سطح الأرض إذا ما حاولنا

الفصل بينها، على الرُغم من ذلك، وبهدف تسهيل فهمها وتوضيح دورها فإنّنا سوف نُسلّط الضوء على أهميّة الدور الذي يؤدّيه كُلٌّ منها.

- أهم الحركات البنائيّة التي تعرّضت لها كتلة القشرة الأرضيّة:



- الحركة الإيبروجينيَّة (Epierogeic Movement):

وهي حركة بناء للقارات، تتميَّز بأنَّها حركة رأسيَّة تحدُث من أسفل القشرة الأرضيَّة إلى أعلاها أو العكس، وهذا يؤدِّي بدوره إلى رفع القشرة الأرضية أو خفضها، وغالباً ما يظهر ذلك بشكلٍ جلِّي على السواحل.

ترتبط هذه الحركة بالزلازل، وتتميَّز بأنَّها حركات سريعة، كما هي الحال في هبوط سواحل البحر المتوسط عند جزيرة بالمور إلى نحو (64) متراً، بين عامي (1822 - 1875م) في أعقاب حركات زلزاليَّة، ويُمكن تفسير هذه الحركات بنظرية التوازن، جاءت تسمية هذه الحركة من (Epeiros) تعني قارَّة، ويُقصد بها حركة القارات.

- الحركة الأورجينيَّة(Orogenic Movement):

وهي حركة مولِّدة للجبال، تتمثَّل بتضاغط القشرة الأرضية ممَّا يؤدِّي إلى التوائها وطيَّها، أمَّا سبب تضاغط القشرة فيعود إلى:

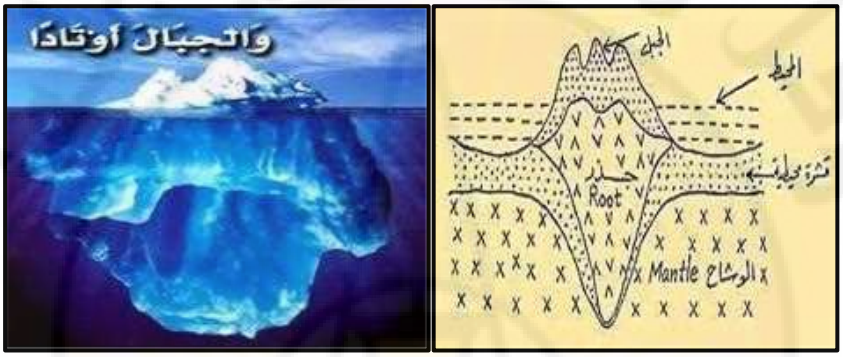
- زحزحة الكتل والقارات وضغطها وتشكُل الطيَّات.
- اختلاف التوازن في القشرة الأرضية.

جاءت تسمية هذه الحركة من (Oros) تعني جبلاً.

وتُفسَّر الحركة الأورجينيَّة بعدَّة نظريَّات أهمُّها:

١- نظريَّة التوازن، أو حركات التوازن الستاتيكي للأرض (□□□□□□□□□□).	٢- نظريَّة انزياح القارَّات (فغنر) (□□□□□□ □).
٣- نظريَّة التيَّارات الصاعدة (تيارات الحملان)- (□□□□□□□□□□

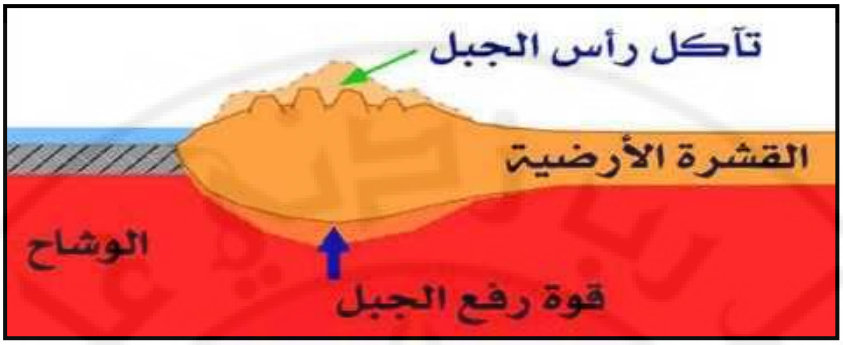
ومن خلال الدراسات تبينَّ أنَّ الهضاب والجبال العالية فوق سطح البحر لا تضمن قاعدتها على مستوى سطح الأرض الذي تقع عليه، بل لها جذور عميقة جدًّاً تزيد عن خمسة أمثال ارتفاع هذه الجبال فوق سطح الأراضي المجاورة، وكلَّما تعرَّضت هذه الجبال لحركات ارتفاع جديدة، أدَّى ذلك إلى زيادة أعماق جذور هذه الجبال في باطن الأرض (أي أنَّ هُناك حالة من التوازن بين المرتفعات فوق القشرة الأرضية وأجزائها المنخفضة)، (شكل٥٨).



شكل رقم (٥٨): حالة التوازن للجبال

وإذا استطاعت عوامل الحت والتعرية المختلفة إزالة بعض أجزاء من القمم الجبلية وترسيبها في المنخفضات وقيعان البحار، فإنَّ ذلك يؤدِّي بدوره إلى زيادة الضغط على طبقات السيما، ممَّا يُسبب انسياب السيما السُفليَّة بفعل الضغط، وانتقالها إلى مواقع أخرى، ويؤدِّي إلى حركات رفع تكتوني لإعادة التوازن الاستاتيكي من جديد.

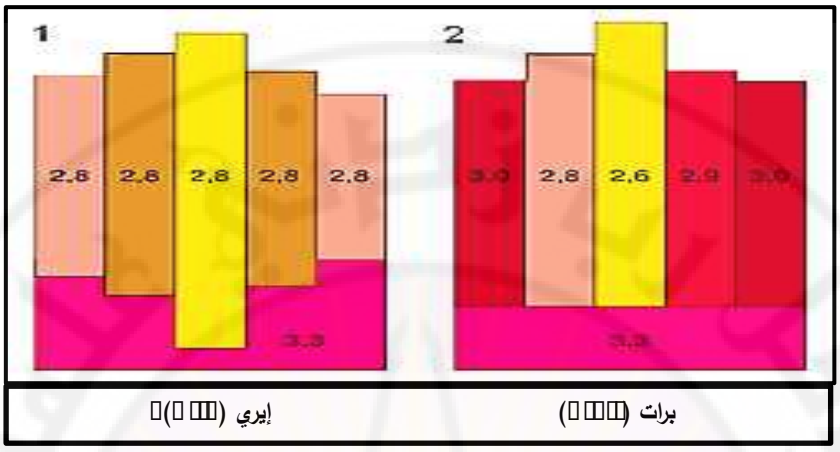
ولكن لا نستطيع تعميم ذلك: ففي خليج كاليفورنيا، يصل سمك الرواسب القاريَّة (15 كم)، ومع ذلك لا تطفو تلك المنطقة حسب نظريَّة التوازُن، وذلك بسبب كون المنطقة تتعرَّض لعمليَّة شد باتجاه الأسفل، (شكل٥٩).



شكل رقم (٥٩): نظرية التوازن

ومن هُنا نرى أنَّ كُلَّاً من العالمين إيري (Airy)، والعالم داتون (Dutton)، أثبتا أنَّ كثافة كتل السيال فوق سطح الأرض تتناسب عكسيَّاً مع ارتفاع كلٍّ منهما، كما رجَّحت أبحاثهم بأنّه عند عمق (100كم) من سطح الأرض تزول الاختلافات في كثافة صخور السيما، وعلى ذلك يتميز مستوى التوازن باستقامته ووقوعه عند أعماق متساوية بالنسبة لمختلف حجم الكتل السيالية القارية التي تطفو فوقه.

أمَّا العالم برات (Pratt) قال: إنَّه لا توجد أدلَّة تؤكد وجود مستوى التوازن، فهو افتراضي، (وهذا ما أثبتهُ العالم اليوغسلافي موهوروفيتش؛ 1909 م)، إذ إنَّ مواد السيما نفسها تختلف فيما بينها من حيث الكثافة تبعاً لتركيب المواد، وأكدَّ أنَّ كثافة مواد باطن الأرض تزداد كُلَّما اتجهنا نحو مركز الأرض، ولهذا وضع حدَّاً جديداً اسمهُ نطاق موهوروفيتش، وهو يفصل بين القشرة الأرضيَّة، وبين المعطف الأعلى (Mantel)، (شكل٦٠).



شكل رقم (٦٠): مبدأ التوازن حسب نظريَّة برات، وإيري

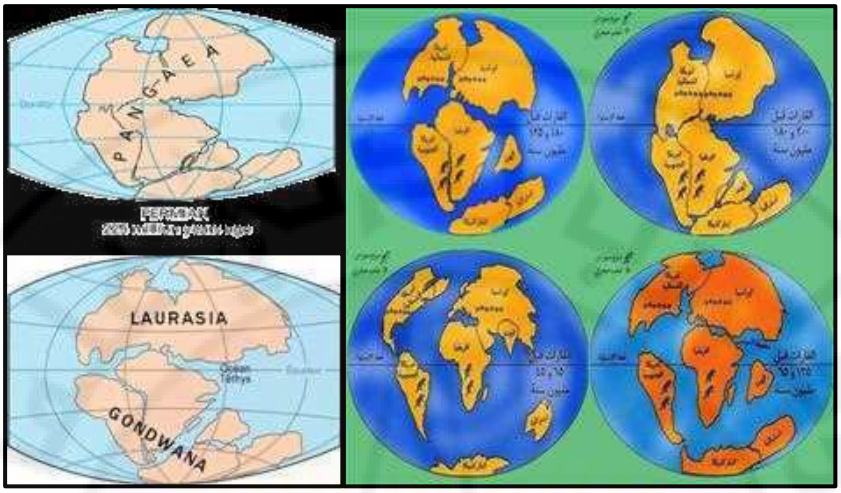
٢- نظريَّة انزياح القارات (فغنر) (Wegnar):

تعود فكرة انزياح القارات إلى فرانسيس بيكون في القرن (17)، ثُمَّ نادى بها العالم الألماني فغنر (1912 م) حيث قال: إنَّ اليابس كان كُلَّه كتلة واحدة أواخر العصر الفحمي سمَّاها بنجايا (Pangaea) تتكوَّن من قسمين:

- القسم الشمالي: ويُسمَّى لوراسيا يشمل آسيا وأمريكا الشمالية وأوروبا
- القسم الجنوبي: ويُسمَّى غندوانا، يشمل أمريكا الجنوبية واستراليا وأفريقيا

} يفصل بينهما بحر تيتس (Tyths)

كانت الكتلة بكاملها تتحرَّك حول القطب الجنوبي، وتحيط بها المياه من كلِّ الجوانب، وفي نهاية العصر الكربوني تعرَّضت هذه الكتلة لعوامل الإنكسارات والزحزحة، وأخذت أجزاؤها تتحرَّك بعيداً عن بعضها حتَّى أخذت في النهاية مواضعها وشكلها الحالي، (شكل٦١).



شكل رقم (٦١): نظريَّة فغنر، وكيف تزحزحت القارَّات

أهم الشواهد التي تؤيِّد نظريَّة انزياح القارَّات:

١ التشابه بين سواحل بعض القارات، وإمكانيَّة انطباق السواحل الشرقية والغربية للمحيط الأطلسي، ممَّا يدل على كونها كانت كتلة واحدة، (شكل٦٢).

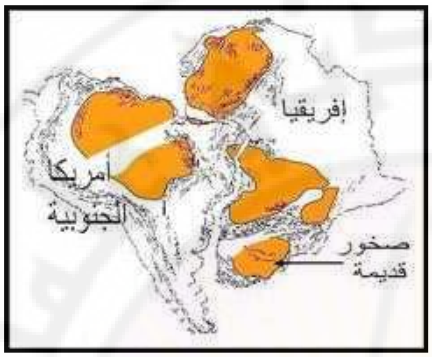


شكل رقم (٦٢): تشابه السواحل

٢ دلائل المُناخ القديم: حيثُ توجد آثار ورواسب جليدية قديمة في جنوبي إفريقيا والهند والبرازيل، وهذه الجهات حالياً أبعد ما تكون عن المناطق القطبية.

٣ شواهد جيولوجية وبنيوية: حيث تتشابه بعض التكوينات الجيولوجيَّة وأنواع الصخور على أطراف المحيطات، كالتكوينات الكاليدونيَّة في غربي أوروبا، وشمال أمريكا الشماليَّة، وتشابه

تعاقب الطبقات الرسوبيَّة في الهند وجنوبي إفريقيا، ممَّا يؤكِّد على أنَّها كانت تُشكِّل سلسلة جبليَّة مُستمرَّة، ثُمَّ تجزأت وانفصلت بعد انزياح القارَّات، (شكل٦٣).



شكل رقم (٦٣): تشابه التكوينات الجيولوجيَّة

٤ شواهد حيوية وحفرية: حيثُ تتشابه بعض المستحاثات (الأحافير) النباتية المعروفة باسم (Glassoptris)، التي عُثر عليها في قارَّات نصف الكرة الجنوبي، إذ تُعدُّ الأحافير دليلاً مُهمَّاً في دراسة هذه النظريَّة، كما تتشابه بعض الفصائل الحيوانيَّة كحيوان الكنغر مثلاً، (شكل٦٤).



شكل رقم (٦٤): تشابه المُستحاثات

– أسباب تحرُّك وانزياح القارات حسب نظرية فغنر:

إنَّ أهم أسباب انزياح القارات حسب رأي فغنر أنَّها تعود إلى:

١. **<u>قوتين هي:</u>**

أ- **قوَّة الطرد:** التي دفعت الكتل المتكسِّرة القديمة، وتحرَّكت باتجاه الشمال نحو خط الاستواء من جهة.

ب- **قوَّة المد**: الناجمة عن جذب الشمس والقمر للأرض، أدَّت إلى تباعد الكتل المُنفصلة نحو الغرب كالأمريكيَّتين مثلاً.

٢. يرى فغنر أنَّ **انخفاض كثافة اليابسة بالنسبة إلى الصخور التي ترتكز عليها** ممَّا يُساعد على تحرُّكها.

ولكن من أهم الاعتراضات التي وجِّهت لهذه النظرية أنَّها لم تُعطِ تفسيراً عن القوَّة التي كانت سبباً في تحرُّك كتل اليابسة في اتجاهات مُختلفة.

٣- نظريَّة التيارات الصاعدة (تيارات الحملان) (Theory Convection Current):

وضع هذه النظرية آرثر هولمز (A.Holmes)، وهو جيولوجِّي بريطاني، من أهم مؤيِّدي نظرية انزياح القارات، حاول إيجاد تفسير معقول لميكانيكيَّة وعمليَّة زحف القارات من خلال جانبين:

الأول: تحديد وضع القارات كجزء من القشرة الأرضيَّة نفسها.

الثاني: تحديد القوَّة التي يُمكنها أن تُحرِّك وتفصُل هذه القارات.

لتفسير وضع القارَّات يجب العودة إلى بُنيَّة الأرض، وتركيب القشرة الأرضيَّة، إذ أنَّها مُكوَّنة من طبقتين:

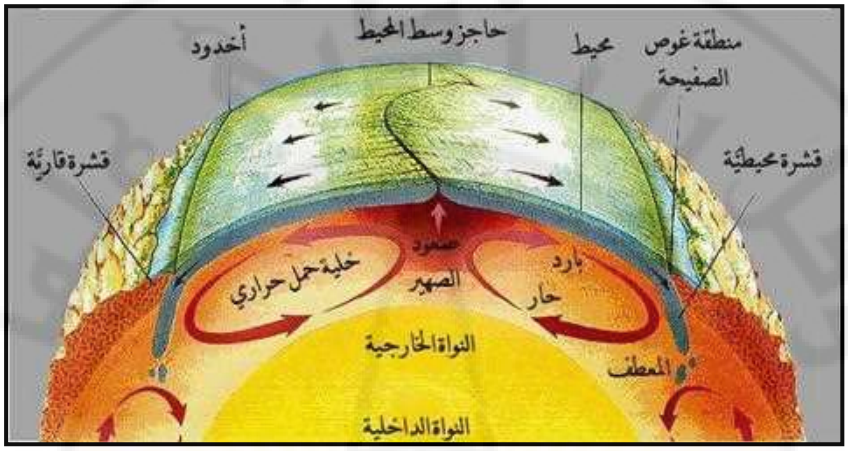
أ- الطبقة العُليا (السيال)، وكثافتها من (2.5 – 3غ/سم^{٣}).

ب- الطبقة السُفلى (السيما)، وكثافتُها من (3 – 3.5غ/سم^{٣}).

تتكوَّن القارة والجزر الكُبرى من السيال، وهي تسبح فوق السيما نظراً لأنَّ السيما شديدة الصلابة، وكل ما يحدث فيها يعود إلى المرُونة البسيطة التي تسمح لكتل السيال بالتعمُّق والتحرُّك فوقها ببطءٍ شديد.

أمَّا القوَّة التي أدَّت إلى فصل القارات فيعزوها هولمز إلى تيارات حرارية كانت تصعُد من باطن الأرض باتجاه السطح أثناء مراحل تشكُّلها الأولى، وعندما كانت تصل هذه التيارات إلى السطح، تتوزَّع على الجوانب مُسببةً قوَّة شد عنيفة عند مركز التوزيع، هذه القوَّة أدَّت إلى تصدُّع طبقة

السيال، وانقسامها إلى كتل منفصلة عن بعضها، وبالتالي أخذت كل كتلة تتحرَّك في الاتجاه الذي تفرُضُه التيارات الحرارية، (شكل٦٥).



شكل رقم (٦٥): تيَّارات حرارية تحرِّك الصفائح

وتستمر حركة التيارات طالما لم يقف في وجهها أي عقبة، أمَّا إذا اعترضتها منطقة ثابتة وصلبة (كقاع المحيطات القديمة، أو إحدى الكتل الصلبة الثابتة (Platforme))، فإنَّها تتوقَّف عن الحركة مُشكِّلة ضغطاً شديداً يؤدِّي إلى تجعُدها والتوائها وارتفاعها بشكل نطاق جبلي طولي على امتداد التقائها، وقد تنثني إلى أسفل لتحتل مكاناً أعمق في السيما، وتتكوَّن في نقطة التقاء في قاعدة المحيط القديمة منطقة بحرية عميقة.

أمَّا سبب وجود تلك التيارات وسرعتها فتعود إلى:

- حركة المهل الناتجة عن التفاوت في تكوين القشرة والمعطف، الأمر الذي يؤدِّي إلى حدوث عمليات كيميائية داخل المُهل.
- هُناك من يُرجع نشأتُها إلى برودة السطح التي تتفاوت درجتها بين سطح اليابسة وسطح القشرة المُحيطيَّة.

تُعدُّ هذه النظريَّة أكثر النظريَّات دقةً وشمولاً في تفسير الظواهر التضريسيَّة، إذ أنَّها لا تقتصر على تفسير أسلُوب بناء الجبال فحسب بل تشمُل جميع الظواهر بما فيها تفسير ظاهرة انزياح القارَّات.

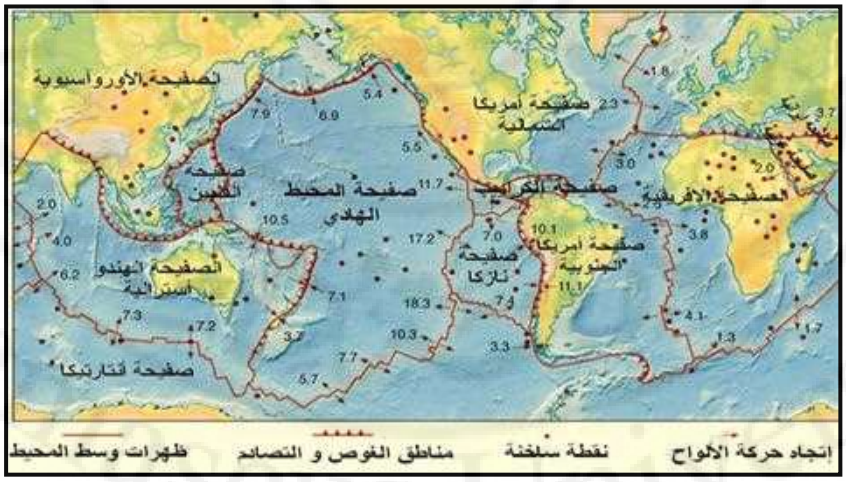
٤- نظريَّة الصفائح التكتونيَّة (Tectonic Plates):

تفترض هذه النظريَّة: أنَّ القشرة الأرضية تتألَّف من مجموعة صفائح قاريَّة ومُحيطيَّة، يبلغ عددُها (12) لوحاً كبيراً وَ (14) لوحاً أصغر، تطفو هذه الألواح فوق سطح طبقة المعطف، ويتراوح سمك اللوح تحت المحيطات (80 – 100 كم)، وتحت القارات (100 – 250 كم).

تأتي أهميَّة هذه النظرية من حيث أنَّها:

١) تُقدِّم وصفاً لملامح واتجاهات حركة القارات، مفسِّرةً أسبابها ونشأتها وتطورها.
٢) تُقدِّم تفسيراً لبعض الظاهرات التضريسيّة مثل: حركة القارات، واتساع بعض البحار.
٣) تُفسر أسباب نشوء السلاسل الجبلية الالتوائيَّة، وتضاريس قيعان المحيطات، مثل: السلاسل المُحيطيَّة الوسطى، والخوانق المُحيطيَّة العُظمى، وحدوث الزلازل والبراكين.

بدأت حركة الصفائح مُصاحبةً لتكوين القشرة الأرضيَّة، وبالتالي انفصال أجزاء من قارة بنجايا على سطح الأرض منذُ (200) مليون سنة، (شكل٦٦).



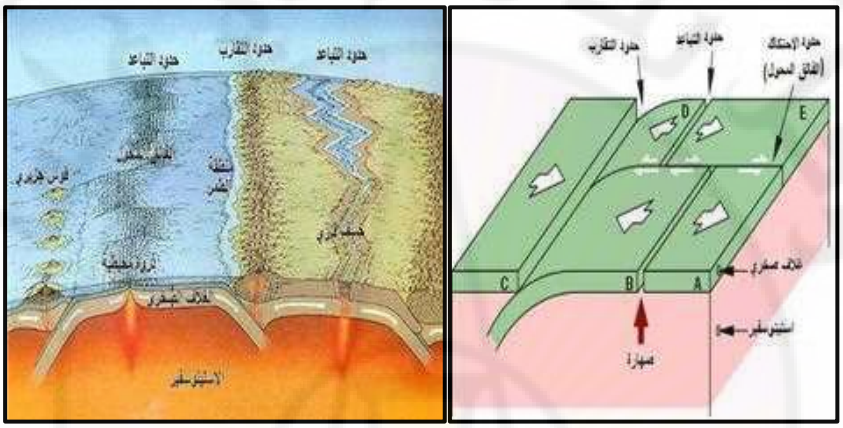
شكل رقم (٦٦): الصفائح واتجاهات حركتها

هذه الصفائح دائمة الحركة، تفصل بينها حدود مُعيَّنة، وتأخذ حركتها عدَّة أشكال:

١- تباعُد الصفائح التكتونيَّة

٢- تقارُب الصفائح التكتونيَّة

٣- تصادُم الصفائح التكتونيَّة

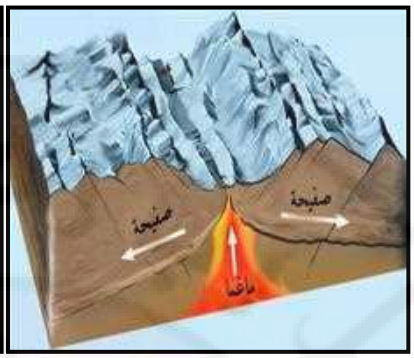


شكل رقم (٦٧): حركات الصفائح التكتونيَّة

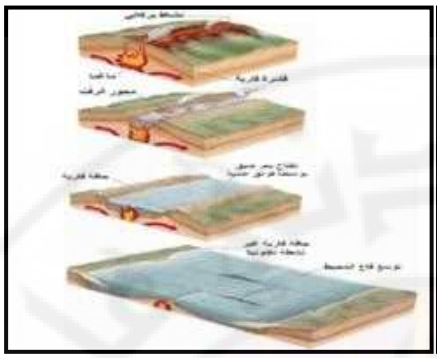
- تباعُد الصفائح التكتونية (Plates Separation):

وفيه تبتعد الصفائح بعضها عن بعض، ممَّا يؤدي إلى خروج المهل من المعطف الخارجي مكوِّناً قشرة صخرية جديدة بين الحدود المتباعدة (الحدود البنَّاءة)، مثل: تباعد الأمريكيَّتين عن إفريقيا وأوروبا، ينتج عن هذا التباعد عدَّة مظاهر تضريسية تحدُث أواسط المحيطات مثل:

- توسيع قاع المحيط (Ocean Floor Expansion).
- ونشأة قاع المحيط (The Origin of Ocean Floor).



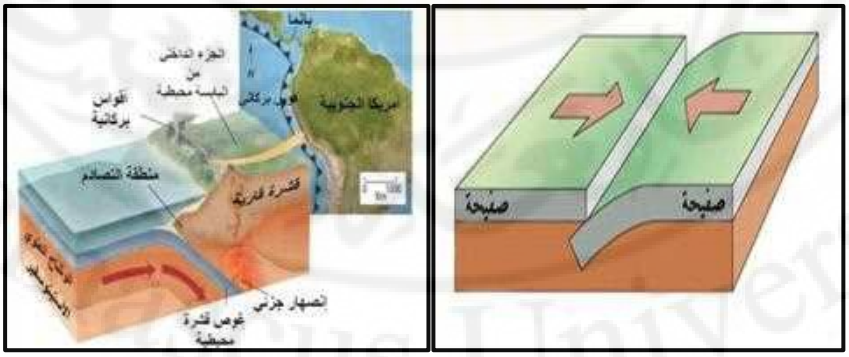
شكل رقم (٦٨): تباعد الصفائح



شكل رقم (٦٩): توسُّع قاع المحيط

- تقارب الصفائح التكتونية (Plates Convergence):

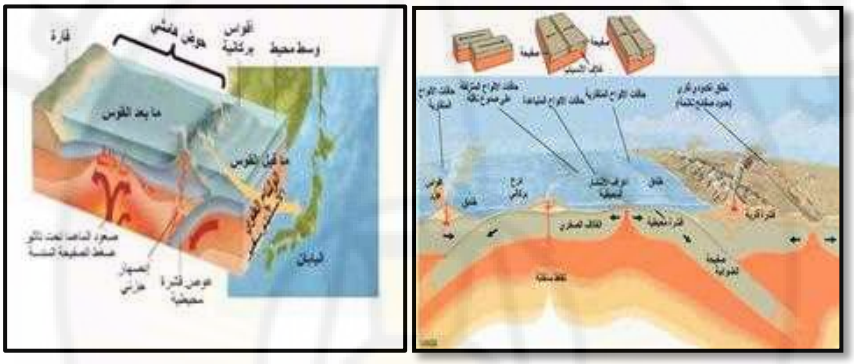
عندما تقترب صفيحة محيطية مع صفيحة قارية فإنَّ أطراف الصفيحة المُحيطية (Sima) التي تتميَّز بارتفاع كثافتها عن الصفيحة(Sial)، ممَّا يؤدِّي إلى غوص الصفيحة المحيطية داخل الغلاف المائع أسفل الصفيحة القارية عند نطاق الخوانق المحيطية العظمى، وأثناء غوص الصفيحة المحيطية ترتفع درجة حرارتها وتتصهر مكوِّناتها تدريجيًّاً، ويتم تلاشي أطرافها مُشكلَّة خوانق (خانق الفلبِّين)، ومن الأمثلة على ذلك: غوص بعض أجزاء من قاع المُحيط الهادي تحت جزر اليابان والفلبِّين، وغوص الأجزاء الشماليَّة من شبه الجزيرة العربيَّة أسفل الكتل الإيرانيَّة (حركة التقارُب)، (شكل٧٠).



شكل رقم (٧٠): تقارب الصفائح التكتونيَّة

أ- تقارب صفيحة محيطية مع صفيحة محيطية:

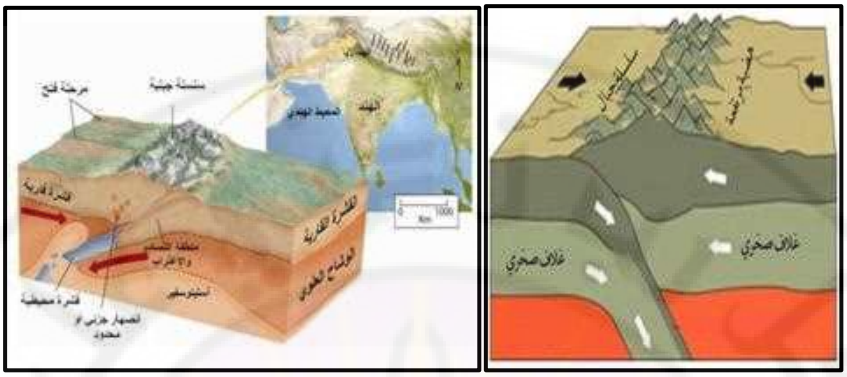
عندما تلتقي صفيحتان محيطيَّتان، تغوص الصفيحة المحيطية ذات الكثافة المرتفعة تحت الصفيحة الحديثة الأقل كثافة مشكِّلة أخاديد محيطيَّة، وتزداد درجات الحرارة مع العمق حتَّى تصل درجة الانصهار الجزئي، فتنصهر الصفيحة المُحيطيَّة البازلتيَّة، وما تحمله من رسوبيَّات مشبَّعة بالماء مشكِّلة صهارة أنديزيتية، تخرج على شكل براكين مكوِّنة جزر بركانية قوسيَّة، (شكل ٧١).



شكل رقم (٧١): تقارب صفيحة محيطية مع صفيحة محيطية

ب- تقارب صفيحة قارية مع صفيحة قارية:

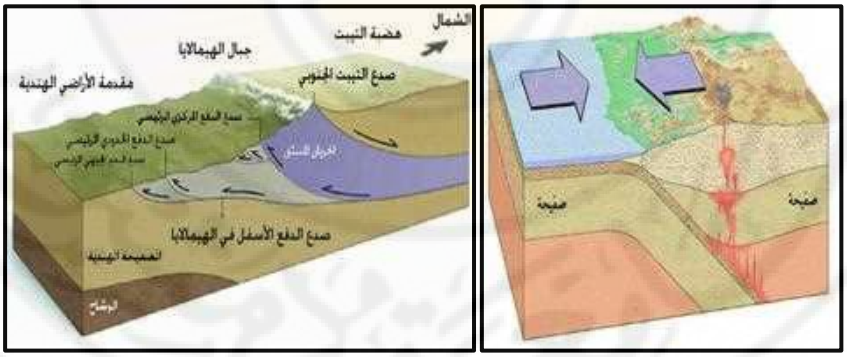
يتم هذا التقارب بين صفيحتين قاريَّتين تفصل بينهما باستمرار صفيحة محيطية، تصطدم الصفيحتان فتنزلق إحداهما تحت الأخرى لمسافةٍ قصيرة، ولكنَّها لا تغوص داخل الوشاح لأنَّ كثافته أكبر من الغلاف القاري، يؤدِّي هذا التصادم إلى التحام الصفيحتين على طول مواقع الغوص القديمة، وتتكوَّن على نطاق الإلتحام طيَّات تحوي بقايا أقواس بركانية وصخور نارية باطنية، (شكل ٧٢).



شكل رقم (٧٢): تصادم صفيحة قارية مع صفيحة قارية

- تصادم الصفائح التكتونية (Collision of Plates):

وفيها تصطدم صفيحتان مُتقابلتان، وعند منطقة التصادم تتقلَّص وتشغُل مساحة أقل من قبل حدوث التصادم، ويُساعد على التصادم قوَّة الدفع التي تنشأ عن السلاسل المحيطية العظمى، التي تُسبب ضغطاً يؤدِّي إلى بروز الجبال الالتوائية (حدود هدَّامة)، وقد نشأت جبال هيمالايا نتيجةً لتصادم الكتلة الهندية بالصفيحة الآسيوية، (شكل٧٣).

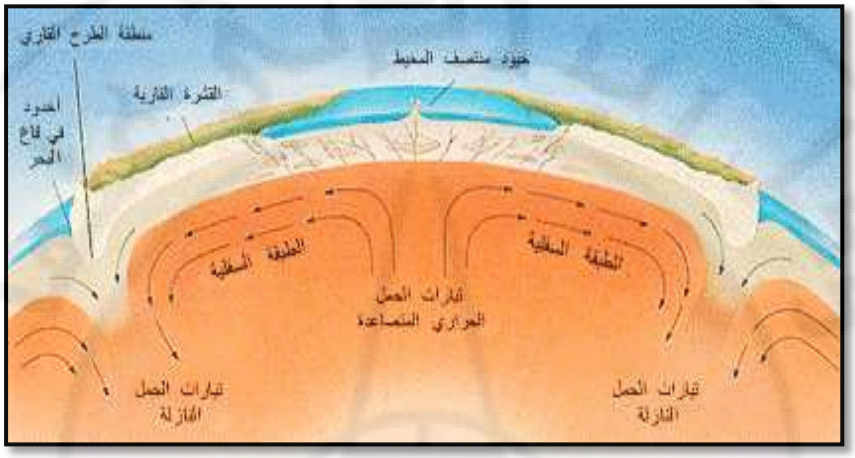


شكل رقم (٧٣): تصادم الصفائح التكتونية شكل رقم (٧٤): نشأة جبال هيمالايا

ويعود تفسير حركة الصفائح إلى:

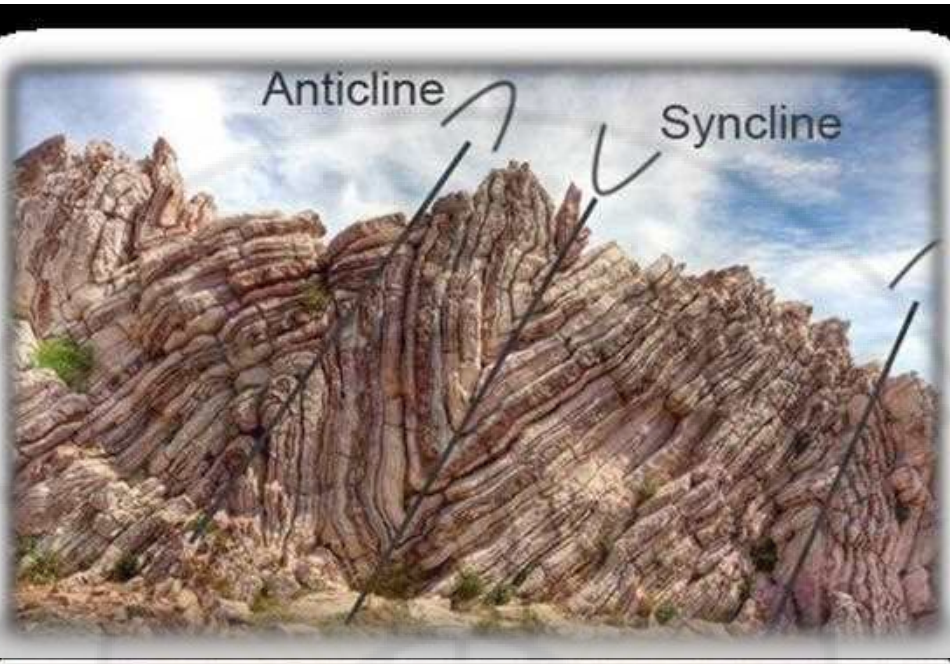
- خروج تيارات حملان من المغما.

- حركات في الطبقة الصخرية المُكوِّنة للقشرة الأرضية، بسبب اندفاع المهل في مناطق الحدود البنَّاءة، وسقوط أجزاء من القشرة الأرضيَّة في نطاق الأتنوسفير، وهذا يعود إلى حركة الصفائح.



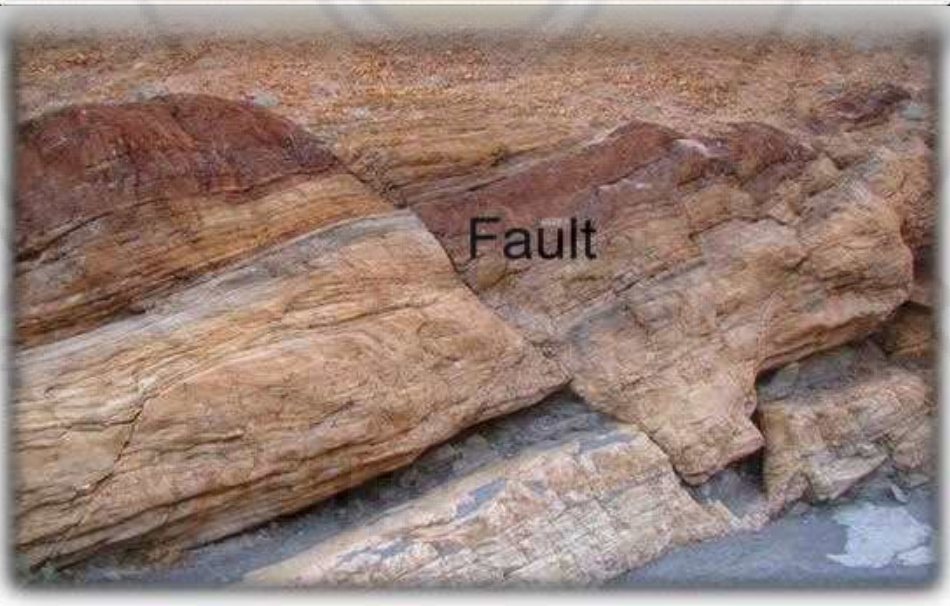
شكل رقم (٧٥): خروج تيارات الحملان من الماغما

تُعدُّ حدود الصفائح من أهم مناطق الضعف في القشرة الأرضيَّة، إذ تكثُر البراكين والزلازل.



الفصل الثاني: القوى الداخليَّة البطيئة

الالتواءات و الصدوع



وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني

القوى الداخليَّة التدريجيَّة البطيئة

أ- الالتواءات / البُنيَّة الالتوائيَّة/

تتعرَّض الطبقات الصخرية للقشرة الأرضيَّة لحركات تكتونيَّة بطيئة خلال التاريخ الجيولوجي، وتعود أسباب هذه الحركات إلى: الاضطرابات والتغييرات التي تحدُث في باطن الأرض، (انظر الحركات الديناميكيَّة).

وعلى الرُغم من أنَّ جميع أنواع صخور القشرة الأرضيَّة تتعرَّض لعمليَّات الرفع التكتوني، ولكن بعضُها ينكسر بسبب صلابته، وبعضُها يلتوي ويتجمَّد كالصخور الرسوبيَّة الحديثة العمر، والعظيمة السماكة.

الالتواءات – الطيَّات (Folds):

تتوضَّع الصخور الرسوبيَّة بصورةٍ عامَّة بعضُها فوق بعض على شكل طبقات مُنتظمة، القديمة في الأسفل، والحديثة في الأعلى، تتجمَّع المواد الرسوبيَّة مُختلفة المنشأ من المواد المُفتتة بفعل عوامل التعرية المُختلفة، التي انتقلت وتوضَّعت ضمن مُقعرَّات أرضيَّة (جيوسينكلينال) كالبحار والمُحيطات على شكل طبقات أُفقيَّة، ولكنَّها عندما تتعرَّض لقوى وحركات تكتونيَّة (بنائيَّة) يتغيَّر النظام الأوَّلي لبُنية الطبقات الهشَّة، حيثُ إنَّ الطبقات تتأثَّر بقوى ضغط جانبيَّة تندفع عندها الطبقات نحو الأطراف مُشكلةً تموُّجات وتجعدات وهذا ما يُسمَّى بالالتواءات، فإذا تعرَّض القسم الأوسط من الطبقات الصخريَّة لحركة رفع نجد أنَّها تؤدِّي إلى ثني الطبقات الأعلى مكوِّنة ثنيات مُحدَّبة (Anticlines)، تفصل بينها مُقعرَّات مُحدَّبة (Synclines)، (شكل٧٦).



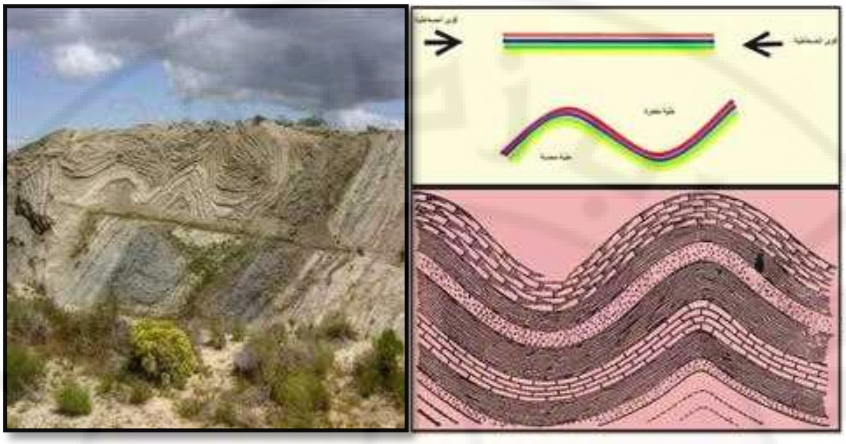
شكل رقم (٧٦): كيفيَّة تكوُّن الالتواءات **صورة رقم (٦٦): طيَّة نموذجيَّة**

إنَّ عمليَّات الالتواء هي من نماذج العمليَّات البطيئة جدًّاً، و أغلب الالتواءات التي نُشاهدُها حاليًّاً نشأت في أعماق القشرة الأرضيَّة، وفي ظروف من الضغط والحرارة التي كانت سائدة آنذاك، ويعود سبب التواء الصخر إلى:

١- قوى الضغط البطيء الجانبي في اتجاهين متضادين.

٢- طبيعة الترسيب ممَّا أعطاها صفة اللدونة (Plasticity).

ولكن عند ازدياد الضغط على الطبقات الرسوبية التي تعجز بدورها عن تحمُّله لأنَّها تجاوزت عتبة اللدونة ووصلت إلى عتبة الانقطاع، (تكون عتبة اللدونة مُنخفضة جدًّاً في الطبقات الجافَّة، إذ أنَّه يُمكن أن يسيل في درجة الحرارة العاديَّة، غير أنَّ هذه العتبة تكون مُرتفعة جدًّاً في حالة الصخور الكلسيَّة (غير كاملة التصلُّب بعد)) عندها يتكوَّن الالتواء، وتتَّخذ المحدَّبات منه صفة الجبال، والمُنخفضات صفة المقعَّرات والأودية التي ترسُم شبكة مائيَّة تبعاً للانحدارات السائدة، (شكل٧٧).



شكل رقم (٧٧): رسم تخطيطي يُبيِّن تكوُّن الطيَّات تحت تأثير القوى الانضغاطيَّة

صورة رقم (٦٧): طيَّة

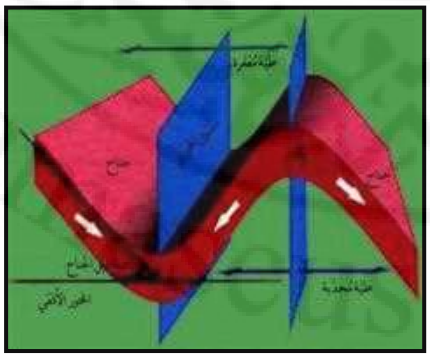
عناصر الطية (Element fold):

تتكوَّن كل طيَّة سواء كانت محدَّبة أو مقعَّرة من عدَّة أجزاء هي:

١- **المُحدَّب أو الالتواء (Anticlinal):** وهو الجزء المقوَّس إلى الأعلى من الطيَّة.

٢- **المقعَّر قاع الثنية (Synclinal):** وهو الجزء المقوَّس إلى الأسفل من الطيَّة.

٣- **الجناحان (Linbs):** تُمثل جانبي الطيَّة سواء أكانت محدَّبة أم مقعَّرة، تميل فيها الطبقات الصخريَّة في اتجاهين متقابلين.

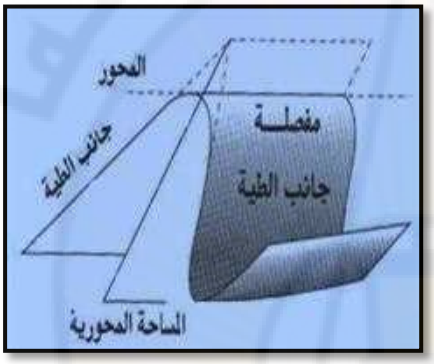


شكل رقم (٧٨): عناصر الطيَّة

٤- **المفصلة:** وهو الخط النظري الذي يربُط جناحي الطيَّة.

٥- **المستوى المحوري (Axial surface):** وهو الخط المار في منتصف الطيَّة تماماً، ويكون ماراً بمحورها.

٦- **محور الطية (Axis of fold):** وهو المحور الذي تنثني على طرفيه الطبقات الصخريَّة، وقد يكون هذا المحور أفقيَّاً أو عاموديَّاً أو مائلاً، ويُشكِّل تقاطعاً للمستوى المحور مع المستوى الأفقي، وهو الخط الذي يمرُّ من مركز الطيَّة، (شكل٧٩).



شكل رقم (٧٩): عناصر الطيَّة

أنواع الطيات (Types of fold):

غالباً ما تتشكَّل الطيَّات ضمن الطبقات الرسوبيَّة على شكل زُمر أو مجموعات، وتأخُذ الطيَّات أشكالاً مختلفة حسب:

أ- قوَّة الضغط واتجاهه.

ب- سمك الطبقات ونظامها وقوَّة مقاومتها، وتباين المقاومة من طبقةٍ إلى أخرى، أو من موضعٍ لآخر.

لذلك قُسِّمت الطيَّات حسب حجمها وشكلها ومنشأها إلى نوعين أساسين:

النوع الأوَّل: الطيَّات البسيطة (Simple Folds).

النوع الثاني: الطيَّات المركبَّة (Composite Folds).

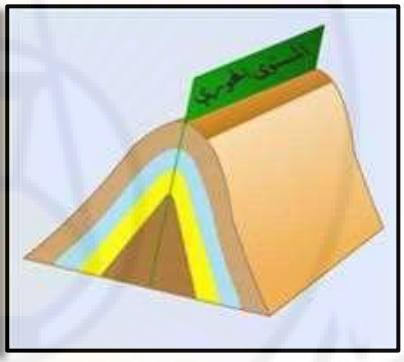
النوع الأوَّل: الطيَّات البسيطة:

تأخُذ أشكالاً مُتعددة، ولكن يُمكن تقسيمُها إلى مجموعتين:



آ- الطيَّة البسيطة المُتماثلة (Simple Symmetrical Fold):

وفيها تكون زاويتا ميل الطبقات على جانبيها مُتساويتين، كما تظلُّ طبقاتها مُحافظةً على نظامها الأصلي.



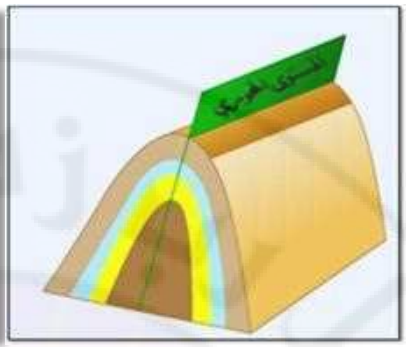
شكل رقم (٨٠): الطيَّة المُتماثلة



صورة رقم (٦٨): الطيَّة المُتماثلة

ب- الطيَّة البسيطة غير المُتماثلة (Simple Asymmetrical Fold):

وهي طيَّة بسيطة لا تتساوى زاوية ميل الطبقات على جانبيها.



شكل رقم (٨١): الطيَّة غير المُتماثلة

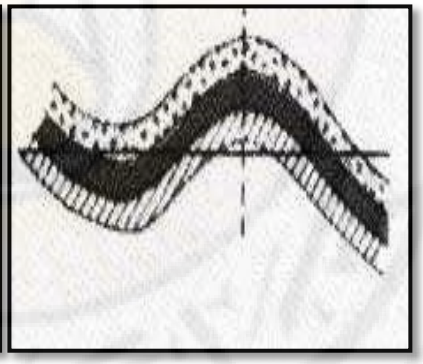


صورة رقم (٦٩): الطيَّة غير المُتماثلة

وعُموماً تشمل **الطيَّات البسيطة** عدَّة أنواع:

١- الطيَّة المُتناظرة (Asymmetrical Antie Line):

وفيها يكون المستوى المحوري متعامداً مع المستوى الأفقي، كما أنَّ المستوى المحوري يقسُم الطيَّة إلى جزأين مُتناظرين، (شكل٨٢).



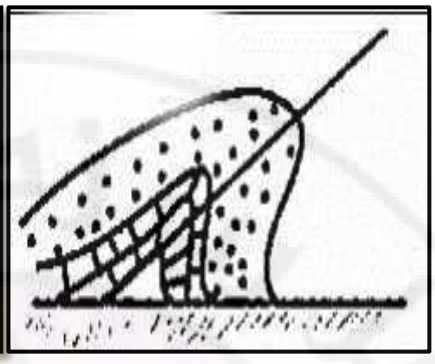
شكل رقم (٨٢): طيَّة مُتناظرة



صورة رقم (٧٠): طيَّة مُتناظرة

٢- الطيَّة المائلة:

يكون فيها المستوى المحوري مائلاً على المستوى الأفقي، وتظهر فيها زاويتا السطحين مختلفتي الميل على الأفق، (شكل٨٣).



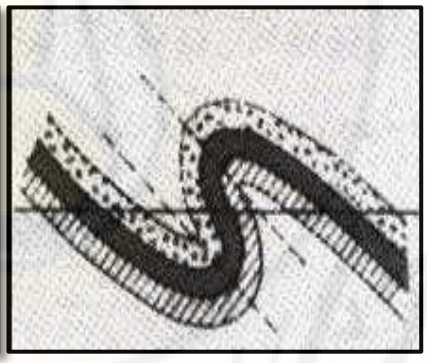
شكل رقم (٨٣): طيَّة مائلة



صورة رقم (٧١): طيَّة مائلة

٣- الطيَّة شديدة الميل:

ويكون فيها ميل جناحي الطيَّة على الأفق شديداً جدًّا، (شكل٨٤).



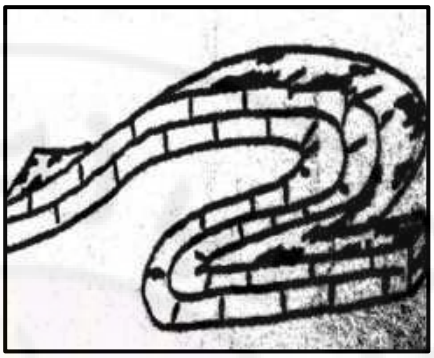
شكل رقم (٨٤): طيَّة شديدة الميل



صورة رقم (٧٢): طيَّة شديدة الميل

٤- الطيَّة المتوازية:

تأخذ فيها ميلان جناحي الطيَّة اتجاهاً واحداً، نتيجة حدوث ضغط غير متساوٍ على جناحي الطيَّة، (شكل٨٥).



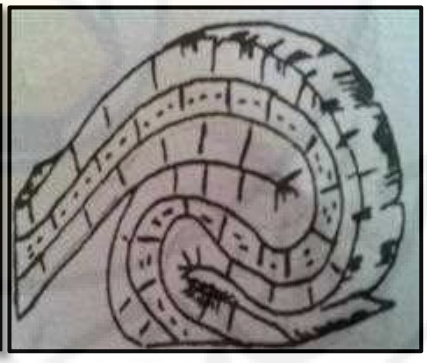
شكل رقم (٨٥): طيَّة متوازية



صورة رقم (٧٣): طيَّة متوازية

٥- الطيَّة المقلوبة (Over turned Folds):

يميل محور هذا النوع من الطيَّات بزاويةٍ تصل إلى أكثر من (45°) عن المستوى المحوري، يتكوَّن هذا النوع من الطيَّات في المناطق الناشطة تكتونيَّاً، يأخُذ فيها تعاقب الطبقات الجيولوجيَّة شكلاً مقلوباً، (شكل٨٦).



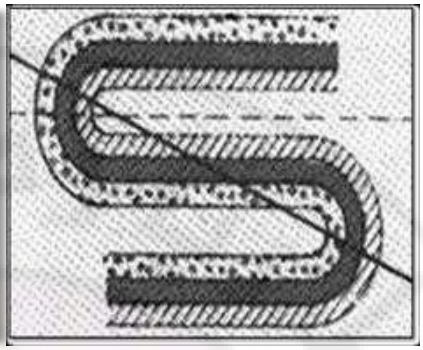
شكل رقم (٨٦): طيَّة مقلوبة



صورة رقم (٧٤): طيَّة مقلوبة

٦- الطيَّة النائمة (Recumbent Folds):

يكون فيها المستوى المحوري موازياً للمستوى الأفقي، حيثُ تلتوي طبقاتها بشدَّة حتَّى تلتقي على الطبقات المُتاخمة لها، (شكل٨٧).



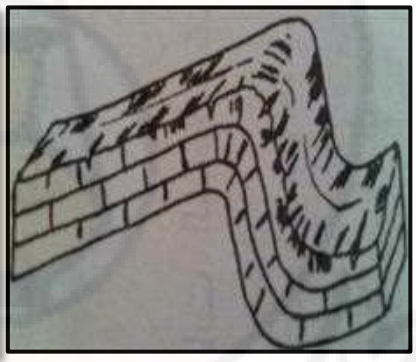
شكل رقم (٨٧): طيَّة نائمة



صورة رقم (٧٥): طيَّة نائمة

٧- الطيَّة وحيدة الجانب (Folds Monocline):

تأخُذ الطيَّة شكل الرُكبة، ويكون فيها أحد جناحي الطيَّة قائماً والآخر مستلقيَّاً، (شكل٨٨).



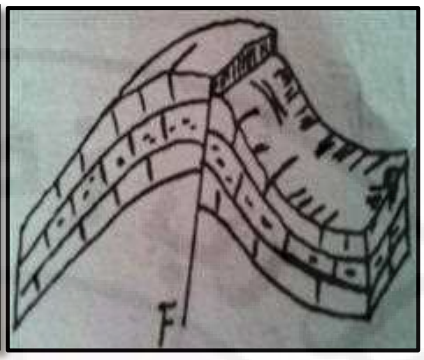
شكل رقم (٨٨): طيَّة وحيدة الجانب



صورة رقم (٧٦): طيَّة وحيدة الجانب

٨- الطيَّة المصدوعة (Over Thrust Folds):

وفيها تتعرَّض الطيَّة للكسر عند محورها، نتيجة الضغط الشديد للطبقات الصخريَّة القاسيَّة، (شكل٨٩).



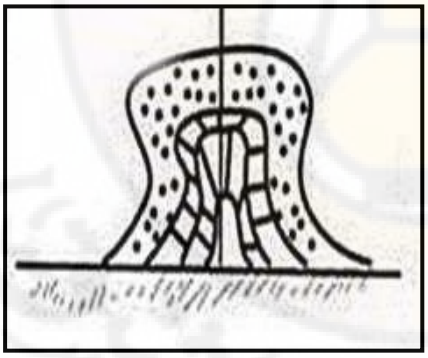
شكل رقم (٨٩): طيَّة مصدوعة



صورة رقم (٧٧): طيَّة مصدوعة

٩- الطيَّة المروحية (Fav Shapeal):

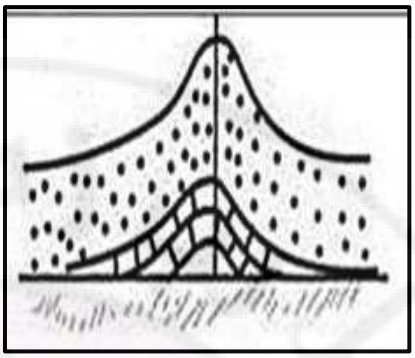
يؤلِّف فيها السفحان زاوية مفتوحة نحو الأعلى في الأسنمة، ونحو الأسفل في الأجواف، (شكل ٩٠).



شكل رقم (٩٠): طيَّة مروحيَّة

١٠- الطيَّة العُرفيَّة (Comb Folds):

يأخذ فيها السفحين عند التقائهما زاوية حادَّة، (شكل ٩١).



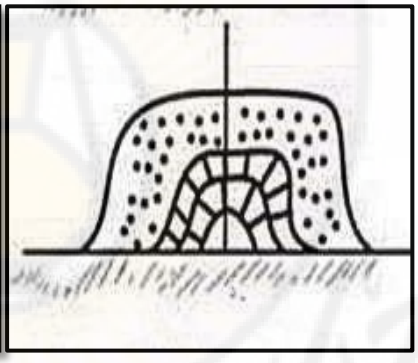
شكل رقم (٩١): طيَّة عرفيَّة



صورة رقم (٧٨): طيَّة عرفيَّة

١١- الطيَّة الصندوقيَّة (Box Folds):

يأخذ فيها ظهر الطيَّة (المحدَّب) شكل صندوقي، فيكون واسعاً وعريضاً، (شكل٩٢).



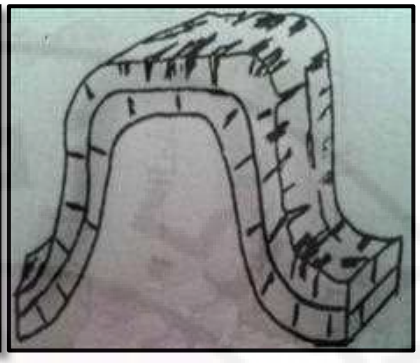
شكل رقم (٩٢): طيَّة صندوقيَّة



صورة رقم (٧٩): طيَّة صندوقيَّة

١٢- الأغشية المسحوبة:

يندفع السفح المضغوط ليُغشِّي مناطق بعيدة ليس لها علاقة بالطيَّة، وتحدث هذه نتيجة الضغط الجانبي الشديد الذي أدَّى إلى انقطاع في الطبقات النائمة، (شكل٩٣).



شكل رقم (٩٣): الأغشية المسحوبة



صورة رقم (٨٠): الأغشية المسحوبة

النوع الثاني: الطيَّات المركبة:

وهي الطيَّات المُعقدَّة، تتكوَّن من نوع واحد أو أكثر من مجموعة الطيَّات البسيطة، تمتد على مساحاتٍ واسعة من سطح الأرض، حيثُ تتعرَّض الطبقات الرسوبيَّة العظيمة السمك لحركة نهوض عُظمى، ينتُج عنها تكوين زُمر من الطيَّات المُحدَّبة الكبيرة الحجم، تضم مجموعة من الطيَّات الثانويَّة، ومن أهم هذه النماذج:

١- الالتواءات الجوراسيَّة

٢- الالتواءات الألبيَّة

١- الالتواءات الجوراسية:

تأخُذ طيَّات هذا النوع شكلاً مُتناظراً أو مُنتظماً من حيث التباعد والارتفاع، كما هي الحال في جبال الجورا نسبةً إلى العصر الجوراسي، وذلك للتطوُّر الذي تمَّ في تكوينات جبال الجورا في فرنسا (منتصف الحُقب الثاني)، وهي تأخُذ شكلاً مُقوَّساً يمتد لمسافة (240 كم)، تأخُذ فيه الالتواءات شكلاً مُكثَّفاً، ابتداءً من الحافة الجنوبيَّة لانكسار الراين، حتَّى وادي الرون الأوسط قُرب ليون.

٢- الالتواءات الألبية:

بدأ تكوين هذه الالتواءات في أواخر الزمن الثاني، وأخذت شكلها الحالي في الزمن الثالث مع استمرار تأثيراتها خلال الزمن الرابع حتى وقتنا الحاضر.

تتمثَّل هذه الالتواءات في مُرتفعات غربي الأمريكيَّتين، وأقواس الجُزر التي قد تمتد قرب السواحل الشرقيَّة لآسيا، وتمتد في اتجاه عرضي من المُحيط الاطلسي غرباً، إلى المُحيط الهادي شرقاً، وتتمثَّل في جبال حوض البحر المُتوسط في شمال إفريقيا، وجبال أطلس، وفي جنوبي أوروبا كسلاسل الألب وامتداداتها شرقاً وغرباً.

كما تشمُل مجموعة عظيمة من السلاسل الجبليَّة التي تمتد في قارة آسيا مُمثلةً في مُرتفعات آسيا الصغرى غرباً، حتَّى جُزر أندونسيا شرقاً، ومن أشهرها جبال هيمالايا.

وتأخذ الطيَّات في الالتواءات الألبيَّة شكلاً غير مُتناظر، ذات اتجاهات مُختلفة مُشكلَّةً سلاسل مروحيَّة مُركَّبة، وهي شديدة الارتفاع، وذات جوانب شديدة الانحدار لعدم توغل عوامل التعرية فيها، ومن أهم الأمثلة في سوريا السلسلة التدمرية، وجبال العلويين (الجبال الساحلية)، وهي جبال التوائية تعرضت للكسر.

الحركات الالتوائية الكُبرى خلال الأزمنة الجيولوجية:

تعرَّضت القشرة الأرضيَّة خلال الأزمنة الجيولوجيَّة المُختلفة إلى حركات تكتونيَّة أسهمت في تكوين أشكال تضريسيَّة كُبرى تشغل نطاقات ضخمة في مُختلف القارَّات.

أهم هذه الأشكال التضريسيَّة: الجبال التي تشكلَّت على مراحل، تعرَّضت قشرة الأرض خلالها إلى حركات تكتونيَّة عنيفة، إلى جانب الالتواءات كالنشاط البُركاني، والصدوع.....الخ.

وقد حدثت هذه الحركات خلال ثلاثة أزمنة جيولوجيَّة، الزمن الأول، والثاني، والثالث، ومن أهم هذه الحركات:

١- الحركات الكاليدونية (Calidonian Movements):

سُمِّيت بهذا الاسم نسبةً إلى مرتفعات كاليدونيا شمال اسكتلنده، تكوَّنت أواسط الزمن الجيولوجي الأول(الديفوني – السيلوري)، وهي الجبال التي كوَّنت القارات، أشهرها: مرتفعات شمالي اسكتلنده، ومرتفعات الأبلاش، ثُمَّ اكتملت في الحركات الهرسينيَّة.

٢- الحركات الهرسينية (Hercynian Movments):

ويُطلق عليها اسم الحركات الأرموريكيَّة (Armorrican Movment)، أو الفارسكيَّة (Variscan Movments)، تكوَّنت هذه الحركات خلال القسم الأعلى من الزمن الأول (الفحمي – البيرمي)، وهي أحدث من الحركات الكاليدونيَّة بعدَّة ملايين من السنين.

توجد في كل الأماكن التي ظهرت فيها الحركات الكاليدونيَّة، بالإضافة إلى: جنوبي إيرلندة، وجنوبي ويلز، وجبال غربي أوروبا، وهضبة فرنسا، وبعض مرتفعات إسبانيا، وجبال الأورال، وأندونسيا، ومرتفعات استراليا والملايو، وأرمينيا، كما أسهمت في بناء جبال الآبلاش، ولكنَّها أكثر ارتفاعاً منها.

٣- الحركات الألبيَّة (Alpiene Movements):

سبق الحديث عنها في انواع الطيَّات المُركبة.

تأثير عوامل الحت و التعرية على الالتواءات (Foldes and Erosion):

تُقدِّم لنا الالتواءات مظاهر تضريسيَّة واسعة الانتشار على سطح القشرة الأرضيَّة، والتي تمثَّلت بالوحدات الجبليَّة، والثنيَّات، والهضاب العالية التي سبق ذكرها، إذ نجد أنَّ الطيَّات تُشكِّل على سطح الأرض شكلاً مُشوَّشاً للطبقات، تحتوي المُحدَّبات والمُقعرَّات، وبشكلٍ عام تؤدِّي القوى الداخليَّة دوراً أساسيَّاً في نشوء البُنيات التضاريسيَّة المُختلفة.

تُقدِّم لنا الالتواءات مظاهر تضريسيَّة واسعة الانتشار على سطح القشرة الأرضيَّة، والتي تمثَّلت بالوحدات الجبليَّة، والثنيَّات والهضاب الناهضة العالية التي سبق ذُكرها.

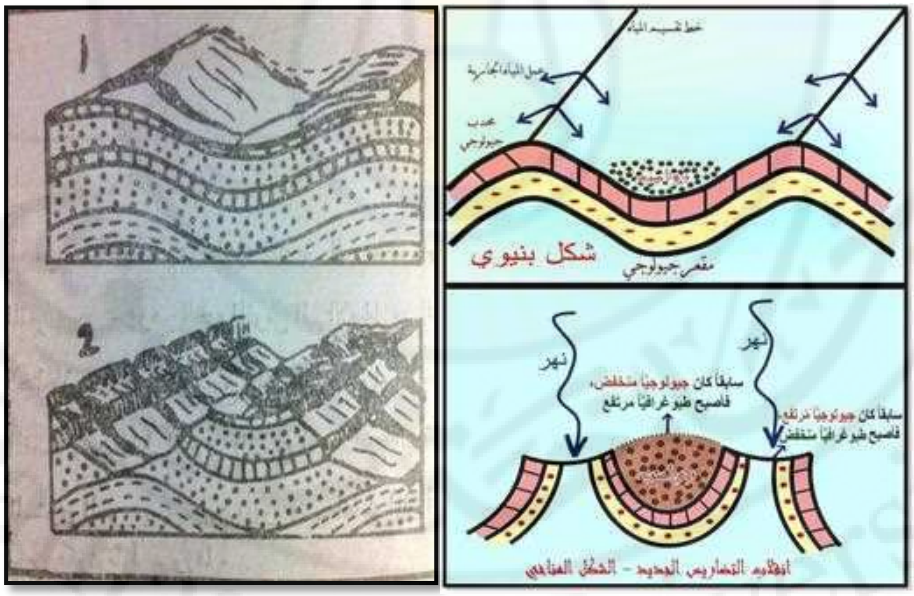
وبعد ظهور هذه البُنيات من قيعان المُقعرَّات الأرضيَّة على سطح الأرض، أي بعد أن تصبح بتماس مع الغلاف الجوي ومؤثراته وعناصره، تبدأ القوى الخارجية المُتمثِّلة بعوامل التجوية و التعرية و الحت بإزالة الشذوذ والمرتفعات العالية، وترسيب المواد في المُنخفضات، وهذا بدوره يؤدِّي للوصول إلى التوازن – ولكن الوصول إلى حالة التوازن غير ممكنة على سطح القشرة الأرضية، لأنَّ القشرة الأرضية غير مستقرة تكتونيَّاً – كما ذكرنا سابقاً في نظرية التوازن – بدأ تأثير العوامل الخراجيَّة فور انتهاء تشكُّلها البنيوي، إذ إنَّ العوامل الخارجية تبدأ عملها أولاً في

مناطق الضعف الجيولوجي في الصخور وإزالة الطبقات اللينة، وتفتيت الصلبة وإزالتها لاحقاً بشكلٍ تدريجي.

مرحلة انقلاب التضاريس (Invrsio of relief):

تتعرَّض قمم وأعالي الطيَّات المُحدَّبة لفعل عوامل التعرية – ولا سيما عمل المياه الجارية – ابتداءً من مضرب الطبقات وعلى طول المستوى المحوري (المفصلة).

وباستمرار عمليَّات الحت الرأسي والجانبي تتآكل القمَّة ليحِّلَ محلها منطقة مُنخفضة خانقيَّة، ومع استمرار عمليَّات الحت وإزالة الصخور عن منطقة قمَّة المُحدَّب فيتحوَّل المُحدَّب إلى منطقة مُنخفضة المنسوب، وهو طيَّة مقعرَّة السطح، في حين تتحوَّل المُقعرَّات الأصليَّة الجيولوجيَّة إلى مناطق هضبيَّة مرتفعة نسبيَّاً تُجمع الرواسب فيها، يُطلق على هذه العمليَّة انقلاب التضاريس (Invrsio of relief)، ونُشاهد هذه الحال بكثرة في المناطق الجبليَّة القديمة جيولوجيَّاً، التي تعرَّضت بدورها خلال مراحل زمنيَّة طويلة لفعل عوامل الحت والتعرية، (شكل٩٤).



شكل رقم (٩٤): ظاهرة انقلاب التضاريس الالتوائيَّة

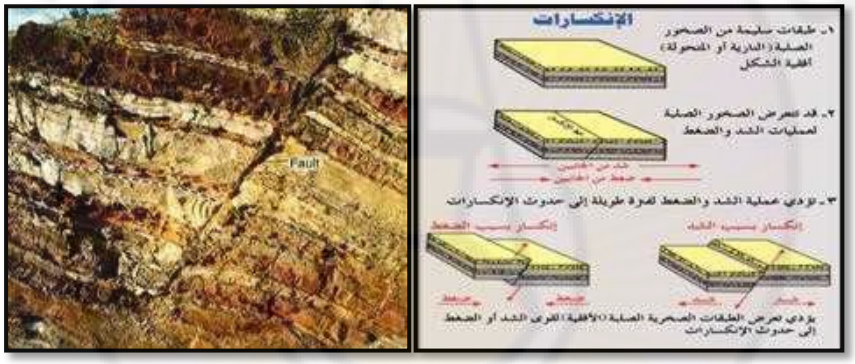
وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

القوى الداخليَّة التدريجيَّة البطيئة

ب- الصدوع/الانكسارات/ Faults

الصدوع (Faults):

عبارة عن كسر يصيب طبقات القشرة الأرضية، تؤدِّي الحركات البنائية دوراً مُهمَّاً في التأثير على سطح الأرض، وتغيير ملامحها العامَّة، فإذا كانت الحركات شديدةً وسريعة، وكانت الصخور صلبة فإنَّها تتكسَّر، وتنخلع ويصحبُها زحزحة في بعض أجزاء الطبقات رأسيَّاً أو أُفقيَّاً، يُطلق عليها اسم صدوع، (شكل٩٥).



شكل رقم (٩٥): الصدوع

صورة رقم (٨١): الصدع

ولكن قد تُصاب الطبقات بالتشقق (Cracks Fractures)، والفواصم الصخرية (Diaclosesjoints)، بعضها في الصخور الرسوبيَّة، والآخر في الصخور الباطنيَّة، فالتي تنشأ في الصخور الرسوبية تُعزى إلى:

١- عمليَّات تقلُّص الصخور الرسوبية، وانكماشها أثناء تجففها وتصلبها النهائي بعد ظهورها فوق سطح البحر.

٢- نتيجةً لعمليات الالتواء التي تصيب الصخور أثناء تعرضها لقوى الشد والضغط العالية.

أمَّا في الصخور النارية فإنَّ سبب الفواصم يعود إلى:

عمليَّات التبرُّد التي تؤدِّي إلى تقلُّص هذه الصخور وانكماشها بعد تحوُّلها من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة،

وتأخذ هذه الفواصم أشكالاً كثيرة ترتبط بـ :

- درجة التبرد
- حجم الجسم الناري وشكله

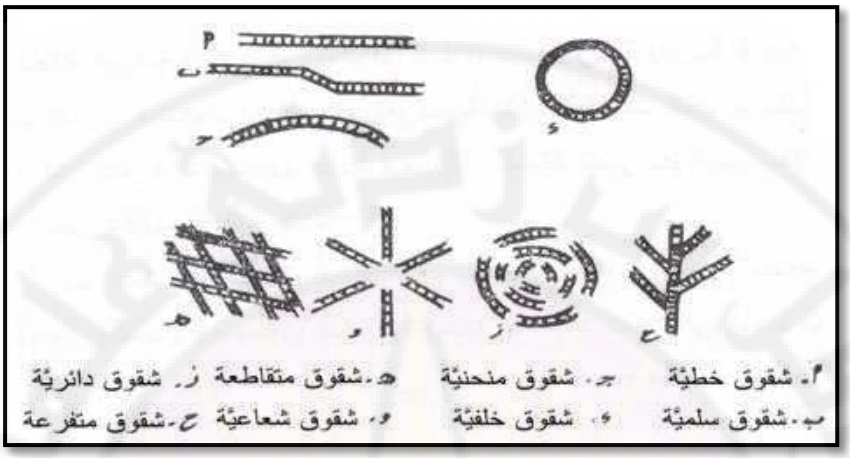
فمثلاً : الصخور الغرانيتية ذات الحبيبات الكبيرة تنقسم إلى كتل كبيرة، والصخور ذات الحبيبات الدقيقة تتميَّز بفواصم متقاربة لها قطع صغيرة ذات حواف حادة.

تُساعد الفواصم المفتوحة على سهولة قطع الصخور، والسماح للمياه بالتغلغل والحركة ضمن الطبقات الصخرية، وقد تُملأ بالرواسب المعدنيَّة ذات القيمة الاقتصادية.

وتُقسم الشقوق حسب زاوية ميلها لعدَّة أنواع، كما يُبيِّنُها الجدول الآتي:

جدول رقم (١٤): أنواع الشقوق حسب زاوية ميلها

زاوية الميل	نوع الشقوق	
0 – 10°	شقوق أفقية	أي أنَّ الشقوق قد تكون: – خطية – منحنية – سُلَّميَّة – حلقية
10 – 30°	شقوق ضعيفة الميل	
30 – 50°	شقوق متوسطة الميل	
50 – 80°	شقوق شديدة الميل	
80 – 90°	شقوق شاقوليه الميل	

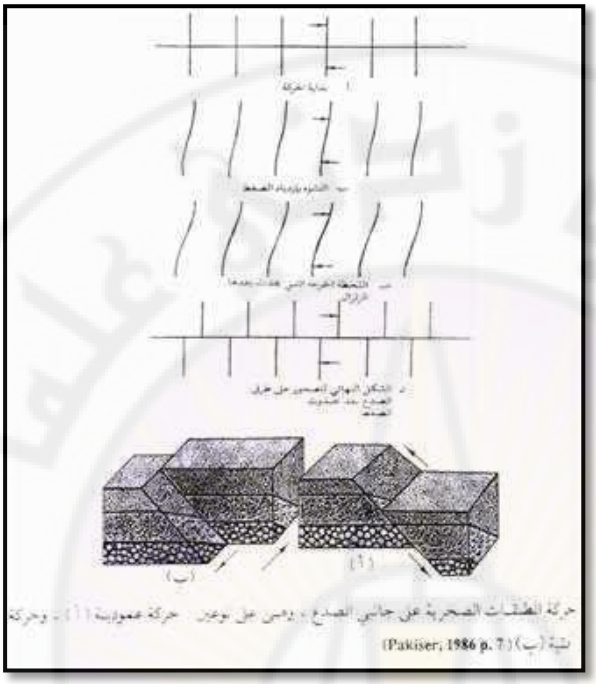


شكل رقم (٩٦): أنواع الشقوق

إذاً الفوالق (الصدوع) (Faults) تتحرّك الطبقات فيها أُفقيّاً أو شاقوليّاً، أو الاثنين معاً، بتأثير قوّة الضغط والشد والثقالة، وتُسمَّى هذه العمليَّة بحركة التصدُّع (Faulting)، وتُقسم الصدوع حسب وجودها في الطبيعة إلى مجموعتين:

١- الصدوع السطحية الظاهرة
(□□□□□□□□□□□□□□□□)

٢- الصدوع تحت السطحية المستترة
(□□□□□□□□□□□□□□□□



شكل رقم (٩٧): حركة الصدوع

-أجزاء الصدوع وعناصره:

يُمكن للصدوع (الفوالق) أن تتشكَّل في كُل أنواع صخور القشرة الأرضيَّة، ولكنَّها تظهر بشكلٍ واضح وجلِّي في الصخور الرسوبية، إذ يُمكن قياسها، والتعرُّف عليها، وتحديد اتجاهاتها في الصخور الباطنيَّة، يُمكن التعرُّف إليها عبر تحديد العروق المعدنيَّة التي تُصادف فيها، ولهذه العروق أهميَّة اقتصاديَّة كبيرة.

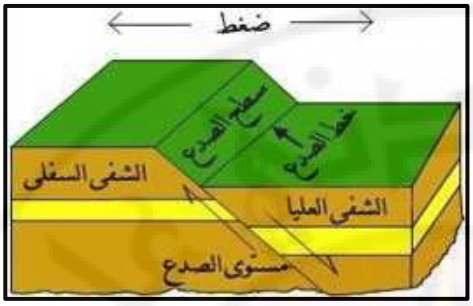
إذا تعرَّضت طبقة ما من الصخور إلى حركات التصدُّع، وتزحزحت بعض أجزائها رأسيًّاً على طول سطح الصدع، يُمكن أن نُميِّز العناصر الآتية:

١- سطح الصدع (Fault Surface):

وهو السطح أو المستوى الذي تتحرَّك الطبقات على امتداده أفقياً أو رأسياً، وإذا تأثَّرت الطبقات الصخريَّة بعدة أسطح لصدوع مُتجاورة، ومُتقاربة فيتكوَّن في هذه الحالة النطاق الصدعي (Faultzone).

٢- رمية الصدع (Throwof Fault):

ويُقصد به البُعد أو المسافة الرأسية (العمودية) التي تتحرَّك فيها الطبقات على جانبي الصدع وينبغي أن يكون مُقياس رمية الصدع عمودياً على اتجاه الطبقات.



شكل رقم (٩٨): عناصر الصدع

٣- شفتي الصدع: ويُقصد بها الطبقات المصدوعة على جانبي الصدع وهي:

- الشفة العليا (Up throuw): وهي الطبقة المرتفعة، ويُطلق عليها أحياناً اسم الحائط المُعلَّق (Hanginy wall).

- الشفة السُفلى (Down throw side): وهي الطبقة الصخرية الهابطة، ويُطلق عليها اسم الحائط الأسفل (Foot wall)، (شكل٩٨).

٤- مضرب الصدع (Strike of the fault):

وهو تقاطع الصدع مع المستوى الأفقي، أي إنَّه الخط العمودي على ميل الصدع (خط ظهوره).

٥- زاوية ميل الصدع (Dip of fault):

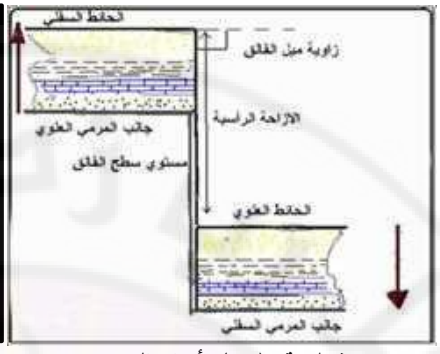
وهو مقدار الزاوية المحصورة بين ميل الصدع ومستواه الأفقي.

٦- مرآة الصدع - مستوى الفالق - (mirror of the fault):

وهو السطح الذي تنزلق عليه الطبقات الصخريَّة، ويكون هذا السطح أملس وكأنَّه خاضع لعملية صقل، لذلك سُمِّي مرآة الصدع.

٧- الحافة الانكسارية (Fault scahp):

وهي الحافة الصخريَّة التي تُمثل الجزء الظاهر من سطح الصدع، وغالباً ما تكون الحافات الانكسارية على شكل جروف شديدة الانحدار يصل ارتفاع بعضها مئات الأمتار، (شكل٩٩).



شكل رقم (٩٩): أجزاء الصدع



صورة رقم (٨٢): أجزاء الصدع

أنواع الصدوع: تُصنف الصدوع عادةً على أساس:

- مُقدار التحرُّك، والانتقال الظاهر للكتل الصخريَّة على جانبي الصدع.
- نوع الحركات المؤدِّية إلى تكوين الصدوع.

ويُستدل على الصدوع من خلال دراسة الطبقات التي أصابتها الحركة، ووفقاً لذلك يُمكن تمييز الصدوع الآتية:

١- الصدع العادي البسيط

٢- الصدع المُعاكس - المُخالف -

٣- الصدوع السُلَّميَّة - المُدرَّجة -

٤- الصدع المُتباعد أُفقيَّاً

٥- الأغوار الصدعيَّة - غرابن

٦- الضهور الصدعيَّة - نجد -

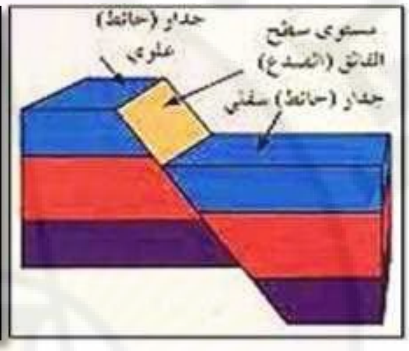
٧- الصدوع ذات التباعُد المُزدوج

٨- الصدع الأُفقي

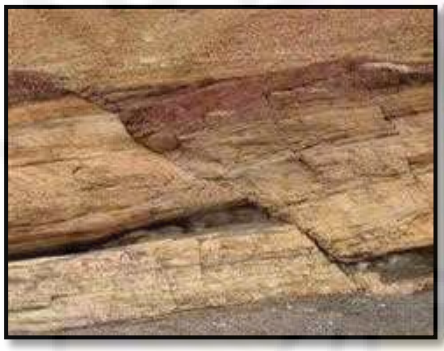
١- الصدع العادي البسيط (Normal Fault):

وهي الصدوع التي تشكلَّت نتيجة حركات الشد الصخريَّة، وتتميَّز بانزلاق الحائط المُعلَّق على طول سطح الانكسار، ويهبط إلى الأسفل بالنسبة إلى الحائط الأساسي.

وتتراوح زاوية سطح الانكسار عادةً بين (45 - 90°)، وفيه يتفّق اتجاه كُل من ميل الصدع ورميته، (شكل١٠٠).



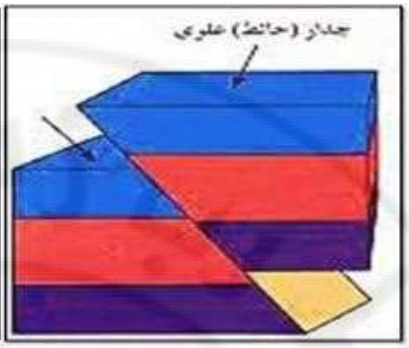
شكل رقم (١٠٠): الصدع العادي



صورة رقم (٨٣): الصدع العادي

٢- الصدع المُعاكس - المُخالف - (Reverse Fault):

يتشكَّل هذا النوع من الصدوع نتيجةً لعمليَّات الضغط أكثر من عمليَّات الشد، ويتميَّز هذا الصدع بأنَّ زاوية سطح الصدع حادة جدًّا، تتراوح مع المستوى الأُفقي (40°) أو أقل، ويكون اتجاه ميل الصدع عكس اتجاه الطبقات التي رُميت إلى الأسفل، وهذا ما يُميِّزه عن الصدع العادي، (شكل١٠١).



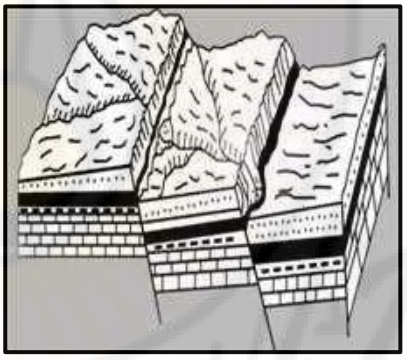
شكل رقم (١٠١): الصدع المعكوس



صورة رقم (٨٤): الصدع المعكوس

٣- الصدوع السُلَّميَّة – المُدرَّجة- (Step Fault):

وفيه تتعرَّض الطبقات الصخريَّة لانكسارات متوازية تؤدِّي إلى هبوط الطبقات أو الكتل الصخريَّة على جوانبها هبوطاً مُنتظماً على شكل زمرة من المُدرجات المُتناسبة، (شكل١٠٢).



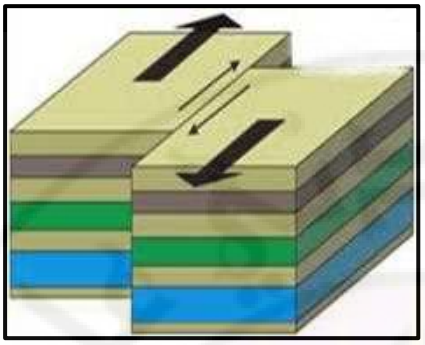
شكل رقم (١٠٢): الصدع السُلَّمي



صورة رقم (٨٥): الصدع السُلَّمي

٤- الصدع المُتباعد أُفقيَّاً (Strike – slip Fault):

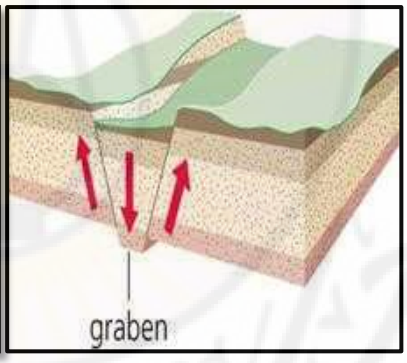
تأخُذ فيه حركات الطبقات شكلاً أُفقيَّاً وموازياً لخط ظهور الانكسار، يتكوَّن هذا النوع من الصدوع بتأثير قوى الشد، وفي هذه الحالة تبقى مرآة الصدع دون صقل، تملأ المنطقة بالحطام، والمواد اللحقيَّة المحمولة مع المياه السطحيَّة، أو تملأ بالمواد البُركانيَّة التي تؤلِّف ضمنه اندساسات وجدر لابيَّة (دايك)، (شكل١٠٣).



شكل رقم (١٠٣): الصدع الأفقي

٥- الأغوار الصدعيَّة – غرابن – (Grabens):

وفيه تهبُط الطبقات أو الكتل الصخريَّة السميكة بين كسرين، فينشأ عن ذلك حوض أو مُنخفض يُسمَّى جيومورفولوجيَّاً (Rifl Features)، كما هي الحال بالأودية، والأغوار الأخدوديَّة، (شكل١٠٤).



شكل رقم (١٠٤): غور



صورة رقم (٨٦): غور

ومن أهم الصدوع الأخدودية الصدع الآسيوي الأفريقي: الذي يبدأ في القسم الشرقي من إفريقيا ببحيرة نياسا، وتقع فيه مجموعة البحيرات الأخدودية الإفريقية، ثمَّ البحر الأحمر وخليجا السويس والعقبة، والبحر الميت ووادي الأردن، وينتهي شمالي سوريا جنوبي مرتفعات طوروس، (شكل١٠٥).



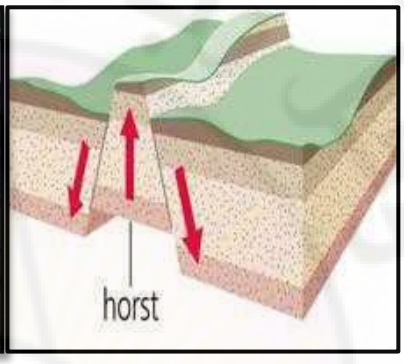
المنطقة البُركانيَّة في مثلث عفار التي تخرُج منها الصهارة من منطقة الستار، حيثُ يُعتقد أنَّها تدفع الصفائح الثلاث: العربيَّة، الأفريقيَّة، والصوماليَّة في الإتجاهات المُشار إليها في الخريطة.



شكل رقم (١٠٥): خريطة توضِّح فالق البحر الأحمر، والصدوع العرضيَّة، التي تكون أكثر ما تكون عرضة لحدوث الزلازل والبراكين (Hall et al, 1977).

٦- الضهور الصدعيَّة – نجد – (Horsts):

وهي كتلة أو طبقات انكسارية نشأت عن مجموعة من الانكسارات التي تسببت في رفع كتل صخريَّة وسطى إلى أعلى، أو هبوط الكتل الصخريَّة على طول الانكسارات الجانبيَّة، بينما تبقى الكتلة الوسطى بارزة، (شكل١٠٦).



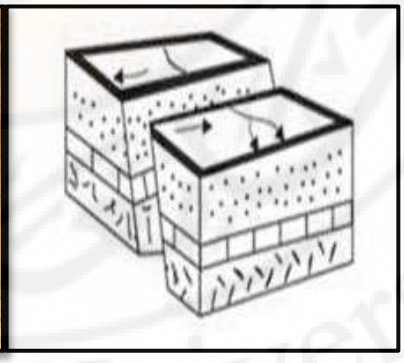
شكل رقم (١٠٦): نجد



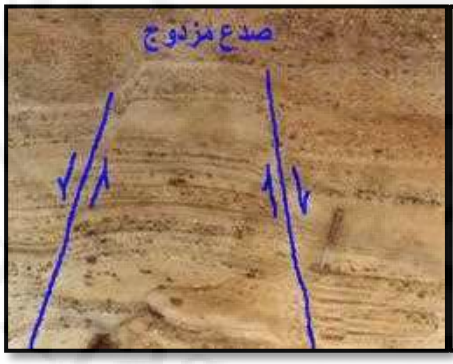
صورة رقم (٨٧): نجد

٧- الصدوع ذات التباعُد المزدوج:

وهي الصدوع التي تتحرَّك فيها الكتل الصخريَّة، أو الطبقات المكوِّنة لشفتي الصدع في اتجاهين مُختلفين بوقتٍ واحد – شاقولي وأُفقي –، (شكل١٠٧).



شكل رقم (١٠٧): الصدوع ذات التباعُد المزدوج



صورة رقم (٨٨): صدع مزدوج

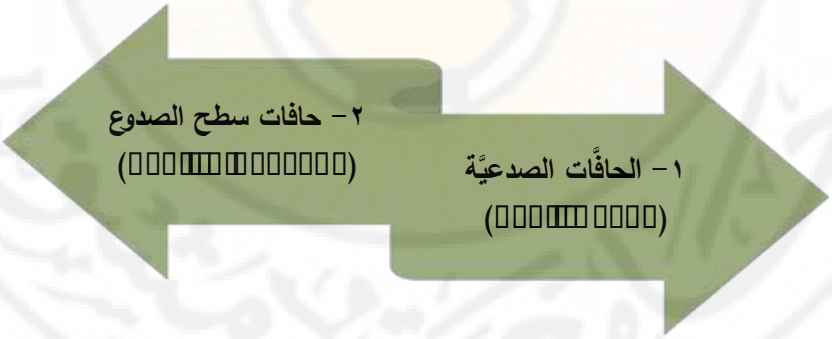
٨- الصدع الأفقي:

ينتُج هذا النوع من الصدوع عن حركات شد للطبقات على طول اتجاه خط ظهور الصدع أو مضرب الصدع، وفيه لا تتحرَّك الطبقات شاقولياً أي نحو الأسفل أو الأعلى، بل تتزحزح على طول المحور الأُفقي فقط.

الظاهرات الجيومورفولوجيَّة التي تتكوَّن في المناطق الصدعية:

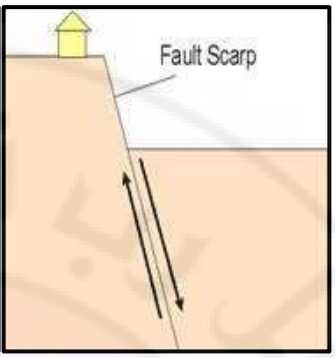
تـؤدِّي الصـدوع إلـى تغييـر نظـام بُنيـة الطبقـات الصـخريَّة، ممَّـا يـدعو الباحـث الجيولـوجي والجيومورفولوجي إلـى بـذل جهد كبير فـي الحقل لتمييز حالـة التضـريس الأولـي قبـل الصـدع، وتـأثير الصـدوع علـى شكل تضـاريس سطح الأرض ومظهرها، فقد تؤدِّي الصدوع إلى تشكيل سطح الأرض بظواهر جيومورفولوجيَّة مُتعددة، تكوَّنت عن تحرُّك الطبقات الصخريَّة رأسيَّاً وأُفقيَّاً – أنواع الصدوع –.

ولكن أهم ظاهرة تضاريسيَّة تنشأ بفعل حركات التصدع هي ظاهرة **الحافَّات الصدعيَّة**، وأهم من درس هذه الظاهرة موريس ديفر (W.M.Davis)، ولكن أوَّل من أطلق تعبير حافَّة صدعيَّة هو الباحث راسيل (Russell)، وقد ميَّز بين نوعين من الحافَّات الصدعيَّة وهي:



١- الحافَّات الصدعيَّة (Fault Scaps):

وهي الحافَّات الصخريَّة التي تشكَّلت مباشرةً بعد عمليَّات التصدُّع، ويتفق سطح الصدع مع اتجاه الحافة وهي التضاريس البنيوية، (شكل١٠٨).



شكل رقم (١٠٨): حافَّة صدعيَّة



صورة رقم (٨٩): حافَّة صدعيَّة – جبال كازاخستان –

٢- حافات سطح الصدوع (Fault Linescaps):

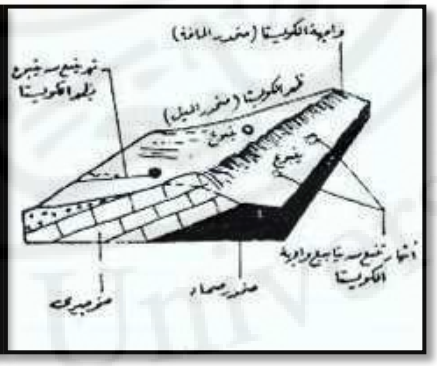
وهي الحافَّات الصخريَّة التي تأثَّرت بفعل عوامل الحت والتعرية، وباستمرار فعل هذه العوامل تتراجع الحافة وتتباعد بشكل تدريجي عن سطح الصدع، ممَّا يؤدِّي إلى تراجع الشكل البنيوي للتضريس وتحوُّله إلى تضريس مُناخي.

ويُمكن أن نميِّز **أنواع أخرى من الحافَّات بناءً على العوامل المختلفة التي أدَّت إلى تشكُّلها:**

١- حافَّات الكويستات (Guesta Scarps): ومن أهم أسباب تشكُّلها:

أ- تعاقب صخور قاسية ورخوة.

ب- أثر فعل الأنهار.



شكل رقم (١٠٩): حافة كويستا



صورة رقم (٩٠): حافة كويستا- معلولا

٢- **الجروف الصخريَّة البحريَّة (Marine Cliffs)**: والتي تنتج عن فعل الأمواج على الجدار الساحلي.



صورة رقم (٩١): جروف صخريَّة بحريَّة في جزيرة ماريًا - استراليا

٣- **حافَّات جوانب الأودية العميقة والأودية الجليدية.**



صورة رقم (٩٢): حافَّة أودية جليديَّة في شبه جزيرة أنتاركتكا – القطب الجنوبي

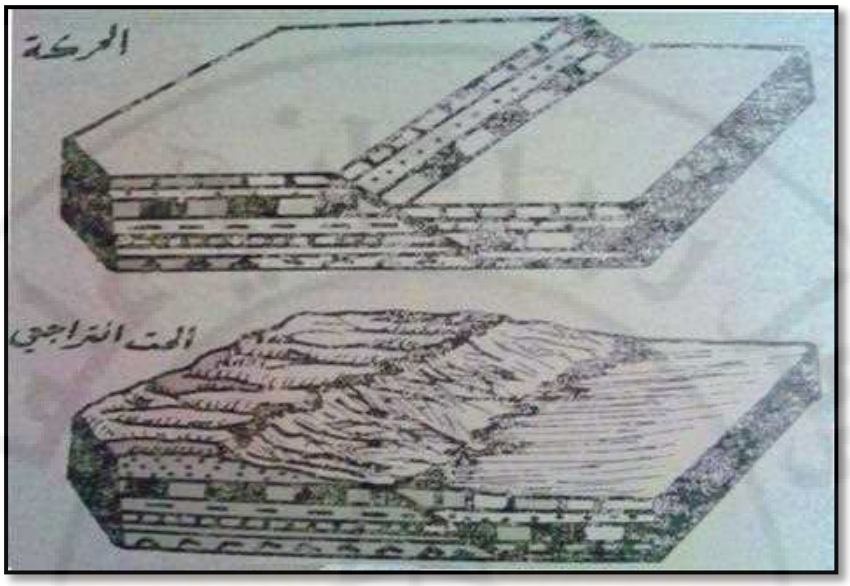
٤- **مُقدمات المرتفعات الجبليَّة:** التي تبدو على شكل حواف صخريَّة، وتُشرف على سهول مستوية نتيجة عوامل الحت والتعرية.



صورة رقم (٩٣): مرتفعات جازان في السعودية

ومن المعروف أنَّه مجرَّد ما تشكلَّت الحافَّة الانكساريَّة، تبدأ العوامل الخارجيَّة بالتأثير فيها من خلال عوامل الحت والتعرية، ممَّا يؤدِّي إلى خفض ارتفاعها والتخفيف من شدَّة الانحدار إذا ما توقفت تدريجيَّاً، وتتراجع عن خط الصدع حتَّى تصل إلى مرحلة التسوية الكاملة، ويُطلق عليها اسم مرحلة شبه السهل أو السهل الحتِّي، حيثُ تزول فروق الارتفاع بين شفتي الصدع، ويؤدِّي تبايُن قساوة الصخر دوراً مُهمَّاً في تسريع عمليَّات الحت والتعرية.

فعندما يحدُث الانكسار تظهر على جانبيه صخور مُتباينة القساوة والتركيب، عندها تعمل التعرية على إزالة الطبقات اللينة، بينما تبقى الصخور الصلبة بارزة ومُرتفعة على الجانب الآخر نتيجة لمُقاومتها عوامل الحت والتعرية، أمَّا الحافَّات الصدعيَّة التي تشكلَّت على أطراف الضهور (Horsts) أو الأغوار (Graben)، فيُمكن أن تتآكل حافَّات الضهور الصدعيَّة المُكوَّنة من الصخور اللينة، لتترسَّب موادها في المناطق المُنخفضة بشكلٍ تدريجي، ممَّا يؤدِّي إلى تحوُّل الحافات الصدعيَّة إلى أحواض صدعيَّة، عندها يُصبح المظهر الجيومورفولوجي (Inversion Relief) للمنطقة غير مُتوافق مع تركيبه وبُنيته الصخريَّة، تُعرف هذه العمليَّة باسم **انقلاب التضريس**، ومن أهم الأمثلة على هذه الظاهرة مرتفعات أواسط ولاية تكساس، (شكل١١٠).



شكل رقم (١١٠): انقلاب التضاريس الصدعيّة

أهميَّة الصدوع:

١- من أهم المظاهر التضريسية التي تشكَّلت عن الصدوع الشاقولية والأفقية هو انقطاع في استمرار الطبقات الصخريَّة، فالخفس الذي حصل في الحقب الثالث في وسط البحر المتوسط، فصل تونس عن جزيرتي صقيلية وكالاباري.

٢- إنَّ لارتفاع الحواف الصدعيَّة والنجود دوراً مُناخياً، حيث يؤدِّي إلى تكاثف بخار الماء وسقوط الأمطار.

٣- تؤثر الصدوع في المجالات الاقتصادية مثلاً تكون الضهور عائقاً للمواصلات، والأغوار سبيلاً إجبارياً لها، كغور البُقاع مثلاً.

٤- يؤدِّي رفع الطبقات إلى تكشُّف بعض الثروات الباطنيَّة، وبالتالي سهولة استثمارها.

٥- يؤدِّي إلى ارتفاع الغشاء المائي المُتوضِّع فوق الطبقات الكتيمة، ممَّا يُسهِّل تدفُّق الينابيع، كينابيع شمالي بانياس على الساحل السوري نبع السن.



الفصل الثالث: القوى الداخليَّة السريعة

الزلازل و البراكين

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

القوى الداخليَّة السريعة

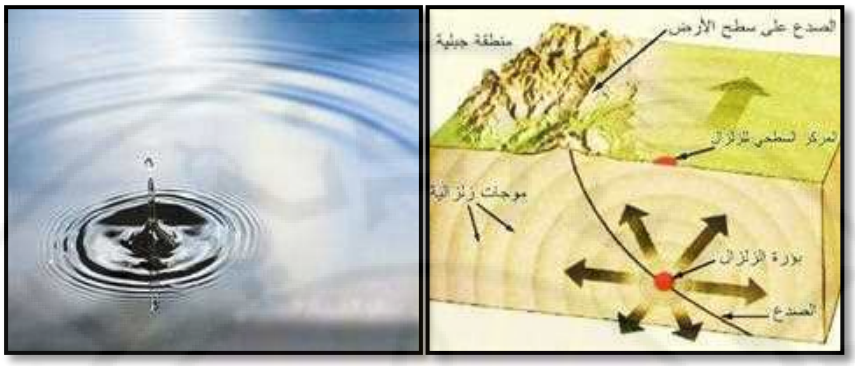
أ – الزلازل

تتعرَّض القشرة الأرضيَّة لضغوطٍ كبيرة ومستمرَّة، تؤدِّي إلى حركة القشرة الأرضيَّة، وهذا بدوره يؤدِّي إلى عدم استقرارها، وبالتالي استمرار تحرُّكها، فالقارَّات غيَّرت مواقعُها عبر التاريخ الجيولوجي الطويل، نتجت هذه الحركة عن وجود طاقة داخل الأرض تكمُن أسفل القشرة الأرضيَّة، تؤدِّي إلى حركة القشرة السياليَّة الخارجيَّة باتجاهاتٍ مُختلفة، ممَّا يؤدِّي إلى اصطدام هذه الكتل أو الألواح التكتونيَّة مع بعضها مولِّدةً اهتزازات تتناسب في قوَّتها وشدَّتها مع قوَّة التصادم والتماس، تُسمَّى هذه الاهتزازات بالزلازل.

الزلازل:

هي عبارة عن حركات أرضيَّة فُجائيَّة، سريعة، وخاطفة، تُصيب القشرة الأرضيَّة، وتنتشر على شكل موجات، وتأخذ هذه الهزات شكلاً أُفقيّاً أو دائرياً أو شاقولياً، تنبعث من مركز مُتوضِّع داخل الأرض على أعماق مُختلفة تُسمَّى بالبؤرة الزلزالية (Focus of Eathquakes) نحو مركز سطحي، ومنه تتوزَّع نحو أطراف هذا المركز (Epicenter)، والذي يُعدُّ أكثر المناطق تأثراً بالزلازل، وتتناقص كلَّما ابتعدنا عن هذا المركز، ويُمكن تمثيله بإلقاء حجر وسط بُحيرة راكدة، حيثُ تتشكَّل حلقات مُتَّحدة المركز، تضعُف قوَّتها كُلَّما ابتعدنا عن مكان سقوط الحجر.

ويُسمَّى العلم الذي يَدرس الزلازل بـ (علم الزلازل – Seismology) ذات الأصل اليوناني (Seimos) معناها الزلازل، (شكل١١١).



شكل رقم (١١١): البؤرة الزلزاليَّة، وتمثيل آليَّة تأثيرها

إنَّ ظاهرة الزلازل قديمةً قدم الأرض نفسها، وقد عرفتها البشريَّة مُنذُ أنزل الله آدم عليه السلام على الأرض، ويُقال إنَّ أول هزَّة أرضيَّة شعر بها الإنسان حدثت عندما قتل قابيل أخاهُ هابيل، إذ رجفت الأرض مدَّة سبعة أيام.

وقد ورد ذكر الزلازل في القرآن الكريم في قوله سُبحانه وتعالى:

﴿ إذا زُلزلتِ الأرضُ زِلزالهَا ◘ وأخرجتِ الأرضُ أثقالها ◘ وقال الإنسانُ ما لها ◘ يومئذٍ تُحدِّثُ أخبارهـــــــا ◘ بـــــــأنَّ ربَّـــــــك أوحـــــــى لهـــــــا ﴾

سورة الزلزلة (١-٥).

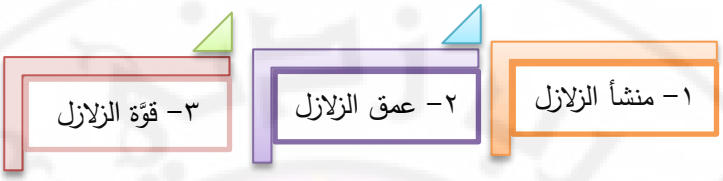
ومُنذُ ذلك الحين حتَّى الآن تُعاني البشريَّة من هذه الظاهرة الطبيعيَّة، حيثُ يحدُث بين الحين والآخر زلزال مُدمِّر وفُجائي مُسبباً الدمار والهلاك والخسائر.



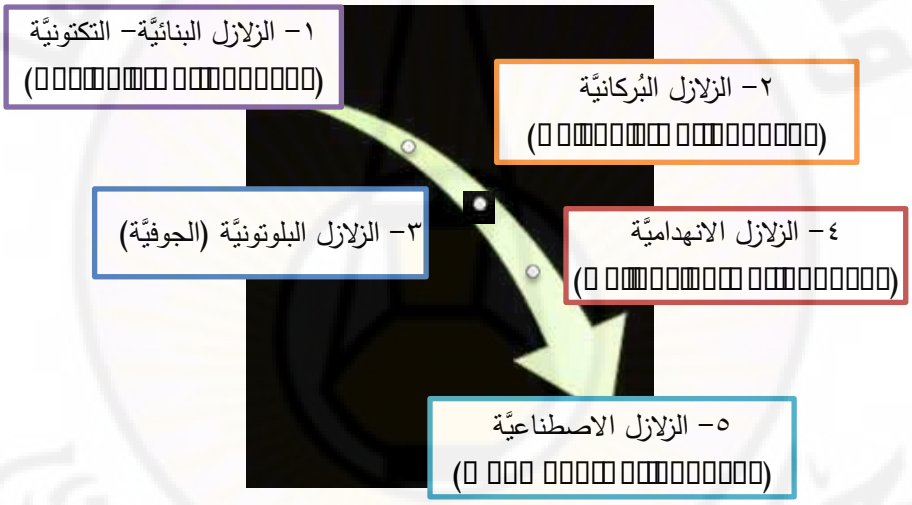
صورة رقم (٩٤): زلزال تشيلي قوَّته (8.8)، تسبب بمقتل (525) شخصاً

أنواع الزلازل (Types of Earthquakes):

تُقسم الزلازل حسب:



أولاً: أنواع الزلازل حسب المنشأ: وتضم:



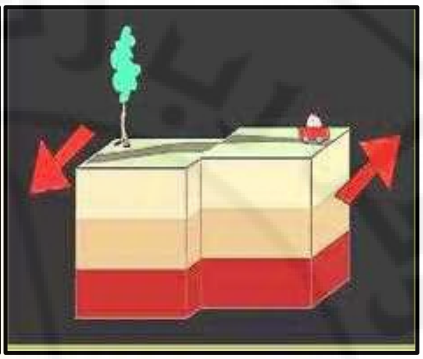
١ الزلازل البنائية (التكتونية) (

يكثُر هذا النوع من الزلازل في المناطق التي تحدُث فيها حركة مُفاجئة للقشرة الأرضيَّة كالفوالق وخطوط الصدوع، فهذا النوع من الزلازل شائع وكثير الحدُوث، ويشمُل حوالي (95%) من إجمالي الهزَّات الأرضية، وتمتاز هذه الهزَّات بعمقها الضحل نسبيًّا، إذ تتركَّز في القشرة الأرضيَّة على عُمق لا يتجاوز (20 – 40) كيلو متر، وتؤدِّي هذه الزلازل إلى إحداث تغييرات على سطح القشرة الأرضيَّة تتمثَّل في:

- التأثير على مورفولوجيَّة المجاري المائيَّة.
- تكوين البُحيرات.
- حدوث الكثير من مظاهر التخريب في المنشآت العمرانية، واندلاع الحرائق.

- حدوث الانزلاقات الأرضيَّة وتشقُّق سطح الأرض.

ومن أمثلة هذا النوع: زلزال سان فرانسيسكو الذي حدث على طول سان اندرياس في كاليفورنيا (1906م)، (شكل١١٢).



شكل رقم (١١٢): الزلالزل التكتونيَّة

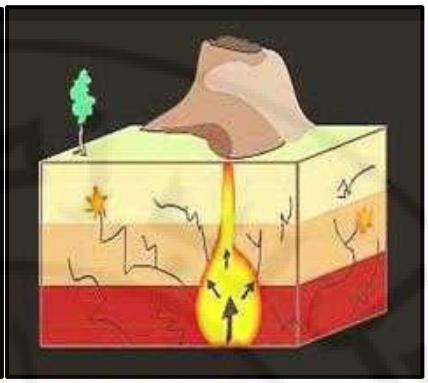


صورة رقم (٩٥): تشقُّق الأرض بسبب زلزال

٢- الزلازل البركانية (Volcanic Earthquakes):

يرتبط هذا النوع من الزلازل بالنشاط البركاني، واندفاع المواد الصخريَّة المُنصهرة من جوف الأرض إلى سطحها، مثال ذلك: ما يصحب براكين جُزر هاواي من زلازل قويَّة، عندما ثار بركان كراكاتاو في إندونيسيا الواقع في خليج سندا بين جزيرتي سومطرة، وجاوا عام (1883 م)، أحدث الكثير من التدمير والتخريب، كما أحدث خسائر فادحة في المُمتلكات والأرواح نتيجة الهزَّات الزلزاليَّة التي أثارت مياه البحر على شكل أمواج ضخمة غمرت وأغرقت السهول الواقعة في الجُزر الغربيَّة.

ومع ذلك فإنَّ مُعظم الهزّات الزلزالية الناجمّة عن أسباب بُركانية هي هزَّات محلِّية ذات قوَّة ضعيفة ومحدودة المساحة، (شكل١١٣).



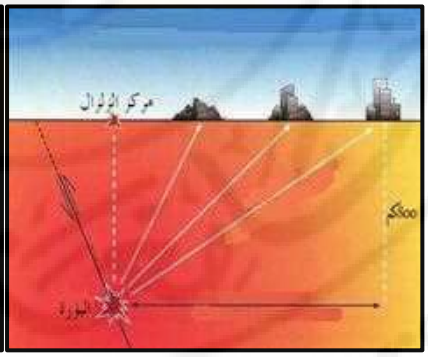
شكل رقم (١١٣): الزلازل البُركانيَّة



صورة رقم (٩٦): زلزال مُرتبط بالانفجارات البُركانيَّة – إدارة المسح الجيولوجي الأمريكيَّة

٣- الزلازل البلوتُونيّة (الجوفيَّة): نسبةً إلى بلوتو، إلى باطن الأرض عند الإغريق:

تنشأ في الأعماق السحيقة من باطن الأرض، وتحدُث على أعماق تصل إلى نحو (800 كم) في شرقي آسيا، ولا يوجد تعليل مؤكَّد لحدوث هذه الزلازل، ويُمكن أن تكون نتيجةً مُباشرة لإعادة تكوين الصخور بسبب تغيُّر المعادن لجُزيئاتها بغير انتظام، ممَّا يُسبِّب ضُعف في تلك المواضع، وهذا يؤدِّي إلى حدوث انكسارات مُفاجئة مصحوبةً بزلازل، (شكل١١٤).



شكل رقم (١١٤): الزلازل البلوتونيَّة

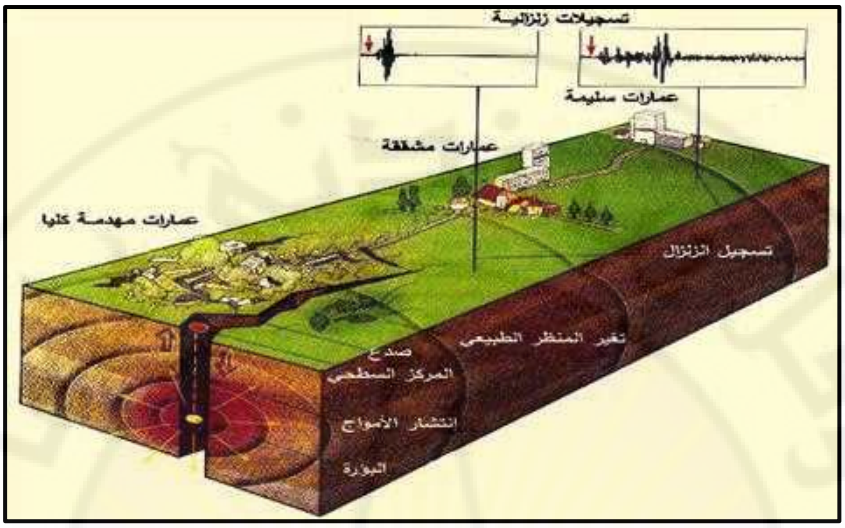


صورة رقم (٩٧): زلزال ضرب اليابان

٤- الزلازل الانهدامية (Collapsing Earthquakes):

يحدُث هذا النوع من الزلازل بسبب الانهيارات التي تحدُث في الفراغات الموجودة ضمن القشرة الأرضيَّة، فعند حدوث الانهيارات تُحدِث الصخور المُنهالة صدمة على أرض المغارة مُسببة اهتزاز الصخور المُجاورة، وهذا النوع من الزلازل لا ينتشر بعيداً عن مكان حدوثه الأولي.

٥- الزلازل الاصطناعية (□□□

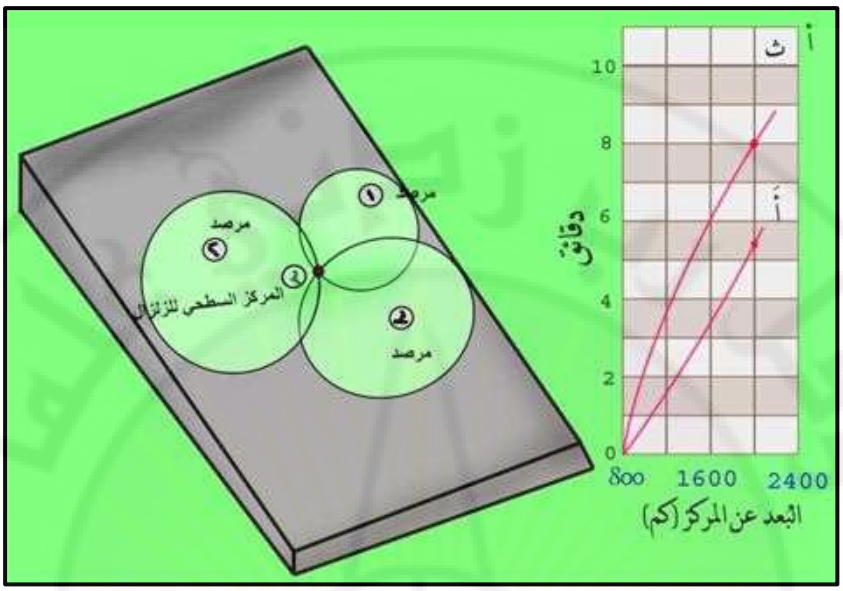


شكل رقم (١١٥): بؤرة الزلزال، ومركزه السطحي

ويُمكن تحديد المركز السطحي للزلزال بالطريقة التالية:

تختلف سرعة الموجات الزلزاليَّة من زلزالٍ إلى آخر، وإذا تمَّ حساب الفارق الزمني بين انبعاث الموجات الزلزاليَّة، ووصولها إلى محطَّة الرصد، يُمكن معرفة موقع المركز السطحي للزلزال، الذي يقع على نقطة من محيط دائرة مركزُها محطَّة الرصد.

ولا يُمكن تحديد موقع المركز السطحي للزلزال إلَّا إذا توافرت ثلاث محطَات رصد موزَّعة على ثلاث مناطق مُختلفة، وكل محطَّة تقوم برسم دائرة حولها، نُصف قطرها يُساوي بُعد مركز الزلزال السطحي عن محطَّة الرصد، ويتحدَّد عندها موقع المركز السطحي للزلزال عند تقاطع الدوائر الثلاث، (شكل١١٦).



شكل رقم (١١٦): تعيين مركز الزلزال السطحي بواسطة ثلاث مراصد زلزاليَّة

ثانياً: أنواع الزلازل حسب العُمق:

يُمكن تقسيم الزلازل على أساس عُمق المركز الداخلي للهزَّات الأرضيَّة، إلى المجموعات التالية:

١- المراكز الضحلَّة أو العاديَّة (□□ □□□ □□ □□□):

يصل عمقُها إلى (□□كم).

٢- المراكز الانتقاليَّة أو المتوسطَّة (□□□□ □□□□□ □□□□□ □□□□):

ويتراوح عُمقُها بين (□□□□□□□□□□ كم).

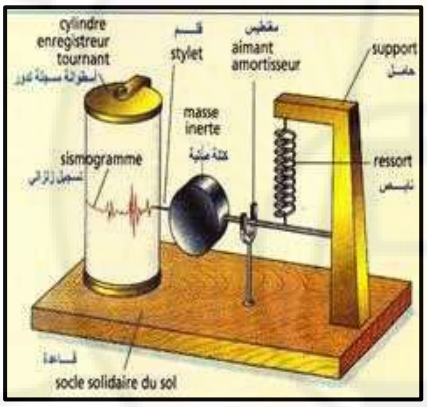
٣- المراكز العميقة (□□□□□□□□□□□□□□□□):

تتركّز على أعماق ما بين (□□□كم) وَ (□□□كم).

تسجيل الزلازل ورصدُها:

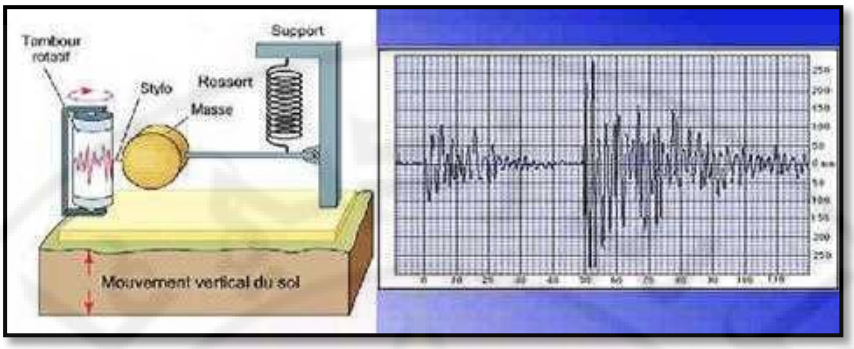
الهزَّة الزلزالية: وهي عبارة عن ارتجاج يحدُث للجزء السطحي من القشرة الأرضيَّة، ناجمة عن تأثُّره بمجموعةٍ من الموجات الزلزاليَّة.

يُمكن تُسجيل الإشارات الموجيَّة الاهتزازيَّة التي تحدُث في الأرض وتذبذباتها وتأرجحها وسرعاتها بدقة، بوساطة جهاز خاص يُسمَّى (السيسموغراف) (Seismography): وهو جهاز يُسجِّل الموجات الاهتزازيَّة، يتألَّف من نواس (نابض) يحمل كتلة معدنيَّة مُعلَّقة بذراع به، إمَّا مرآة صغيرة تعكُس حزمة ضوئية أو إبرة، تُسقط هذه الحزمة الضوئية على ورقة تصوير، أو ورقة ميلمترية ملفوفة على اسطوانة تدور، مُثبتَّة على الأرض بقاعدة إسمنتيّة، (شكل ١١٧).



شكل رقم (١١٧): السيسموغراف ذو الحزمة الضوئيَّة

وعندما تتحرَّك القشرة الأرضيَّة أثناء حدوث الزلزال ترسم الحزمة الضوئيَّة أو الإبرة على ورقة التصوير أو الورق الميلمتري خطوطاً مُتعرِّجة تُسمَّى بالسيسموغرام، تُشير إلى حركة القشرة الأرضيَّة في حالة ثبات واستقرار ترسُم الحزمة الضوئيَّة أو الإبرة على الورقة خطاً مستقيماً، ومن خلال تحليل هذا الخط البياني، يستطيع المُختصّون تحديد موقع المركز السطحي للهزَّة وشدَّتها (على مقياس ريختر) ومدتَّها أي المدة الزمنيَّة التي استغرقتها الهزَّة، (شكل١١٨).



شكل رقم (١١٨): السيسموغرام

ثالثاً: أنواع الزلازل حسب قوَّة الزلزال:

قوَّة الزلازل: و هي مقياس للطاقة المُنبعثة من الزلازل، وتُقاس بمُقياسيين:

• المقياس الثاني

قوَّة الزلزال (□□□□□□□□□□ □)

هو مقياس وضعه العالم الأمريكي ريختر وسُمّي باسمه، (مقياس ريختر (□□□□□□)) وهو مقياس يعتمد على قياس الطاقة المُطلقة المُتحررة من الزلازل بالمقدار الزلزالي، ويقع مداهُ من (□) إلى (□□□) درجات، وهو مقياس لوغاريتمي تُحسب قيمتُه من الموجات الزلزالية التي تُسجلُها محطَّات الزلازل المُختلفة.

شدَّة الزلزال (□□□□□□□□□□):

وهو مقياس وصفي، يصف ما يُحدثُه الزلزال من تأثير على الإنسان وممتلكاته.

مقياس ميركالي: وهو مقياس لحجم الضرر الناجم عن الهزَّات الأرضية.

• المقياس الأول

صُنِّفت الزلازل حسب فعَّاليتها التخريبية إلى أربع مجموعات مُقسَّمة إلى (١٢) درجة، كما هي مُبيَّنة في الجدول الآتي:

جدول رقم (١٥): تصنيف الزلازل حسب فعاليتها التخريبية

المجموعة	شدَّة الزلزال	تأثيراته
المجموعة الأولى	1 – 3°	تُمثل الهزَّات الأرضيَّة الخفيفة التي لا يشعُر بها الإنسان في أغلب الأحوال، ولكن بعض الحيوانات تستطيع أن تشعُر بها، إذ ينتصب وبر القطط ويبدو عليها الاضطراب، أمَّا الطيور فتطير مبتعدة عن أماكن الهزَّات، كما أنَّ الأشخاص مُفرطي الحساسيَّة والعصبيين يشعرون بهذه الهزَّات.
المجموعة الثانية	4 – 6°	وتشمُل الهزَّات الأرضيَّة المتوسطة، وهذه الهزَّات يُمكن أن يحسُّ بها جميع الناس في منطقة الزلزال، إذ تهتز المصابيح الكهربائية، وقد تتصدّع بعض المنازل قليلة المتانة.
المجموعة الثالثة	7 – 9°	يُطلق عليها الهزَّات المُخربَّة أو المُدمِّرة، وفيها تتهدَّم المباني العالية، وتتشقَّق الأرض أحياناً وتبتلع ما فوقها، وكثيراً ما يحدُث خسائر في الأرواح.
المجموعة الرابعة	10 – 12°	كثيراً ما تُسبب كوارث حقيقيَّة بشريَّاً واقتصاديَّاً وجيومورفولوجياً، كما حدث في الزلزال الذي وقع في طوكيو عام (1923م)، الذي يعدُّ من أفظع الزلازل التي حدثت، فمن استطاع أن ينجو من الزلزال والموت تحت الأنقاض، أو السقوط في الفجوات التي ظهرت على سطح الأرض قضت عليه الحرائق التي استمرَّت أربعة أيام.



شكل رقم (١١٩): درجة الزلازل تبعاً لشدتها

أنواع الموجات الزلزالية:

الهزّة: هي اهتزاز سطح القشرة الأرضيَّة نتيجة لوصول موجة زلزاليَّة إليها.

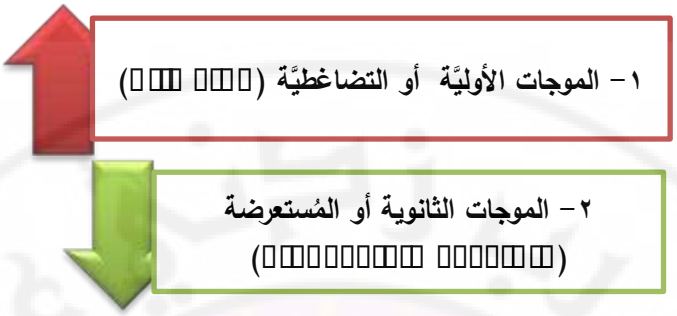
يُمكن تصنيف الموجات الاهتزازيَّة على اختلاف أنواعها إلى مجموعتين هُما:

١- الموجات التي تنتشر في جميع طبقات الكرة الأرضيَّة (الموجات الأوليَّة والثانويَّة).

٢- الموجات السطحيَّة (الطويلة) التي تنتشر على سطح الأرض.

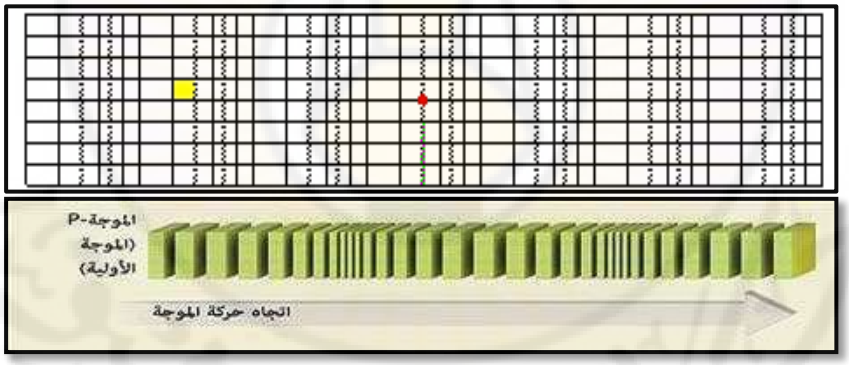
١- الموجات الأوليَّة والثانويَّة:

وهي الموجات التي تخترق طبقات الكرة الأرضيَّة، وتُقسم إلى:



أ- الموجات الأوليَّة (أو التضاغطية):

ويُرمز لها بالحرف (P- Prima) وهي موجات طويلة تتحرَّك فيها الجزيئات إلى الأمام والخلف في اتجاه سيرها كالأمواج الصوتيَّة، وذلك باتجاه منحى الموجة المُتقدِّمة، لذا تتعرَّض كُل جزيئة صخريَّة للتشوُّه أثناء مرور الموجة، وهي أكثر الأمواج سرعة، وتبلغ سرعتها (13 كم/ثا)، وهي تخترق الأجسام الصلبة والسائلة والغازية، (شكل١٢٠).

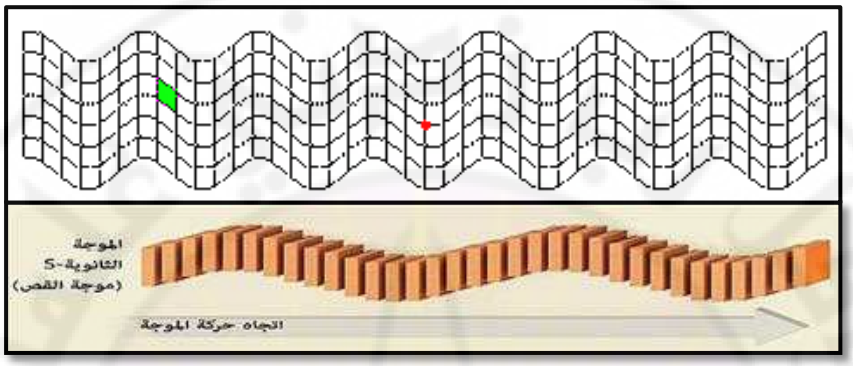


شكل رقم (١٢٠): الموجات التضاغطيَّة(P)

ب - الموجات الثانوية أو المستعرضة (- S -Transvers waves):

تأخُذ حركة الجزيئات فيها اتجاهاً عموديَّاً على مستوى اتجاه سيرها، وهي أبطأ من الموجات الأوليَّة، تبلغ سرعتها بين (3.2 – 7.3 كم/ثا)، تتميَّز الأمواج الثانوية عن الأمواج الطوليَّة بعدم انتقالها في السوائل لأنَّ التماسك بين جزيئاتها ضعيف، وهي تصل إلى محطَّات الرصد بعد فترة من الزمن مُقارنة بالأمواج الأوليَّة، ومن هُنا عُرفت بالأمواج اللاحقة أو الثانية (Secundar)،

وتتميَّز بأنَّها لا تُغيِّر حجم الوسط الذي تمرُّ فيه، ولكنَّها تغيِّر من شكله، وتتسبب في دفع أو دوران المواد باتجاه مُعاكس، (شكل١٢١).

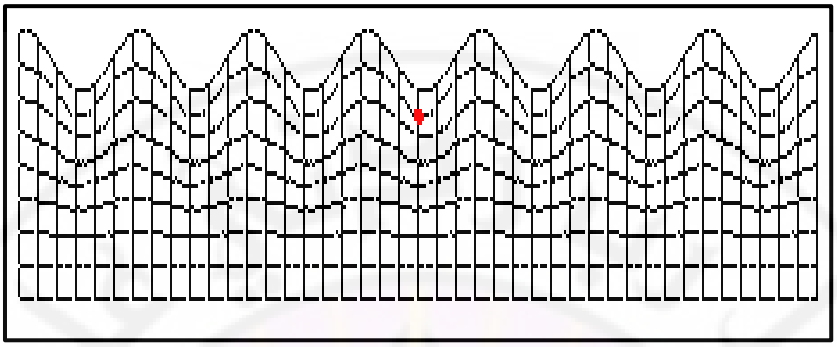


شكل رقم (١٢١): الموجات المُستعرضة (S)



٢- الأمواج الطويلة (Long – L):

عُرفت بهذا الاسم لأنَّ حركتها تتمركَّز قرب السطح، وهي تتولَّد عن طاقة الموجات الأوليَّة، وتتميَّز بأنَّها ذات سعة ودور زمني أطول من النوعين السابقين، يُمكن لهذه الأمواج أن تظهر في مناطق انتقالها من وسط إلى آخر سواء كان صلباً أو غازيَّاً، وتُشبه في حركتها تموجات الماء التي تشق سطح البُحيرة، تقل أهميَّة هذه الموجات كُلَّما تعمقنا في باطن الأرض، (شكل١٢٢).



شكل رقم (١٢٢): الأمواج الطويلة (L)

آثار ومخاطر الزلازل (Earthquake Hazards):

تتباين الهزَّات الزلزاليَّة من حيث درجة قوَّتُها، فمنها الضعيف الذي يحدُث ولا يكاد يحسُّ به أحد، ومنها العنيف المُدمِّر الذي يُسبِّب خسائر كبيرة في مناطق العُمران، ويتوقف حجم الدمار على الطاقة المُنطلقة من بؤرة الزلزال بشكل موجات اهتزازيَّة تُؤثِّر على مساحات واسعة من الأرض واقعة على أطراف مركز الزلزال، ويُمكن إجمال آثار الزلازل فيما يلي:

١- قد تسبب تزحزُحاً وانتقالاً لأجزاء من القشرة الأرضية في الاتجاهين الأفقي والرأسي.



صورة رقم (٩٨): زلزال ضرب اليابان

٢- انهيارات وانزلاقات وتشققات أرضية تُدمِّر المنشآت العمرانية، وتُخرِّب الطُرق، ومن أهم الانهيارات الأرضيَّة الذي حدث في نفق للسكك الحديديَّة، إثر زلزال كاليفورنيا (1925م)، أمَّا أهم الانزلاقات الأرضيَّة التي حدثت شمالي الصين عام (1927م).



صورة رقم (٩٩): زلزال ضرب ألاسكا وخلَّف شقاً كبيراً

٣- دمار البُنية التحتيَّة، واندلاع الحرائق، حيثُ تؤدِّي الزلازل إلى انفجار أنابيب الغاز، ومحطات توليد الكهرباء ممَّا يؤدي إلى حدوث حرائق، أشهرها احتراق مصفاة البترول الرئيسيَّة في زلزال أزميت بتركيا.



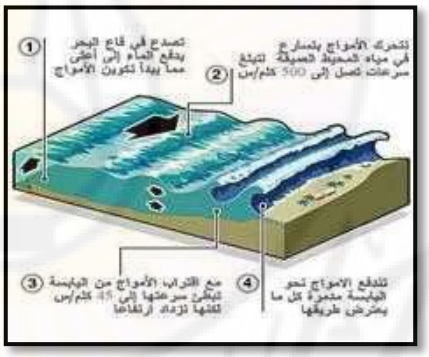
صورة رقم (١٠٠): حريق في محطّة أوناجاوا النوويَّة في اليابان بسبب حدوث زلزال

٤- انهيار المُنشآت العمرانية: تُحدث الزلازل القويَّة التي تفوق قوَّتها (6°) على مقياس ريختر تدميراً شاملاً للمنشآت العمرانيَّة، والتي تؤدِّي إلى قتل مئات بل آلاف الأشخاص، ولا سيما المنشآت التي لم تُصمَّم لمُقاومة الزلازل، أشهر الأمثلة على ذلك ما حدث عام (2004م) في إيران (بام).



صورة رقم (١٠١): انهيار مباني بسبب زلزال ضرب تركيا

٥- قد تحدُث الزلازل في قاع البحار، ممَّا يؤدي إلى حدوث أمواج مائيَّة عملاقة تُدعى تسونامي (Tsunami)، يتراوح ارتفاعها بين (30-37) متراً، وبسرعة (750 كم/سا)، مُحدثة خسائر فادحة على السواحل التي هاجمتها، (شكل١٢٣).



شكل رقم (١٢٣): آليَّة حدوث التسونامي



صورة رقم (١٠٢): أمواج تسونامي في اليابان

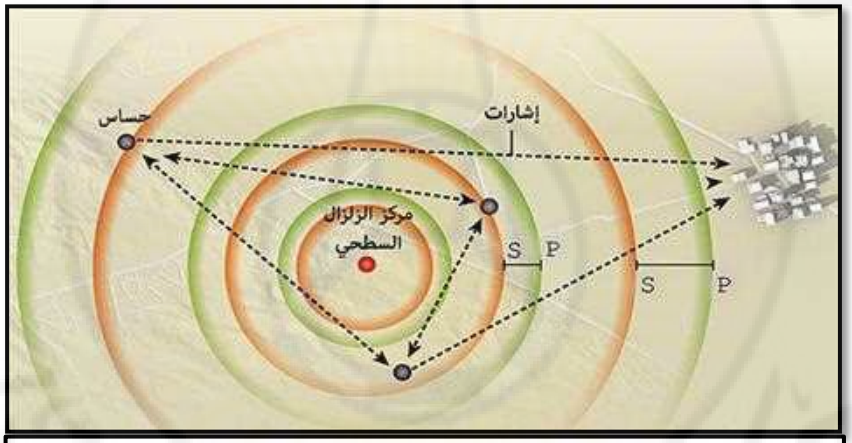
التنبؤ بالزلازل وأساليب الحدِّ من مخاطرها:

لقد زاد الاهتمام في الوقت الحاضر بدراسة الزلازل والتنبؤ بها، لكثرة حدوثها وتكرارها حديثاً، وكمحاولة لتجنُّب الخسائر الماديَّة والبشريَّة الكبيرة التي تنجم عنها.

على الرُغم من التقدُّم العلمي والتقني في مجالات علوم الأرض المُختلفة، إلَّا أنَّ التنبؤ بحدوث الزلازل أمرٌ لم يتحقق حتى الآن، نظراً للتعقيدات والتداخلات المُختلفة في التركيب البنائي للقشرة

الأرضيَّة، والغموض الذي يكتنف موضوع زحف الصفائح التكتونيَّة، والتي تعدُّ من أهم العوامل المُسبِّبة للزلزال.

وكل ما يفعله العُلماء في هذا الشأن هو مجرَّد تخمين، ولكن من خلال دراسة وتحليل الموجات الناتجة عن الزلازل، استطاع العلماء معرفة طبيعة الزلازل وميكانيكيتها، والمناطق الأكثر تعرُّضاً لها على الكرة الأرضيَّة، وقوَّة الزلازل المتوقعة لهذه المناطق حيثُ تمَّ إيجاد بعض أنواع الخرائط التي تُحدد المناطق على وجه التقريب، والتي يستفيد منها المهندسون والمخططون عند دراسة التمدُّد العمراني للمدن، واختيار المواقع المُناسبة للمنشآت الاقتصاديَّة، ونوعيَّة التصاميم المقاومة للزلازل المطلوبة لها، (شكل١٢٤).



تجمع نظم التحذير من الزلازل الإشارات من شبكة المحطات الزلزالية لتقارن بين الهزات الكبيرة وتُحدّد مراكزها، وبعد ذلك يرسل النظام إنذاراً إلكترونياً مبكراً قبل وصول الموجة (). وبقدر ما تكتشف محطات إضافيَّة للاهتزازات، تصبح التنبؤات بحجم الزلازل ومراكزها أكثر دقة.

شكل رقم (١٢٤): إمكانيَّة التنبؤ بالزلازل

أمَّا بالنسبة إلى تحديد الزمن الذي سيحدُث فيه الزلزال، فلا زال تحت الدراسة على الرُغم من وجود **بعض المؤشرات المختلفة التي قد تدلُّ على قرب حدوث زلزال ما في منطقةٍ ما** مثل:

١- الاهتزازات الخفيفة التي تُسببها حركة الصهارة في المناطق البركانية، أو حركة الصدوع، أو تغيُّر درجات الحرارة، وتغيُّر منسوب الآبار والينابيع.

٢- يُمكن ملاحظة تحرُّكات القشرة الأرضيَّة عن طريق الصور الجويَّة والصور الفضائيَّة المُرسلة من الأقمار الصناعيَّة، إذ تُظهر تشوهات واسعة النطاق على مورفولوجيا الأرض، والتي تدلُّ على قُرب حدوث الزلازل.

٣- يسبُق حدوث الزلازل الضخمة ارتفاع أو انخفاض كتل من القشرة الأرضيَّة وذلك على طول خط عمودي، بالإضافة إلى حدوث بعض التشوُّهات الأرضيَّة.

٤- لاحظ العلماء أنَّ بعض الحيوانات تبدو عليها علامات الاضطِّراب وتقوم بتصرفاتٍ غريبة، كنبح الكلاب، واضطِّراب الخيول، وحركة الأسماك غير الطبيعية.

وهذا ما استفاد منه الصينيون عندما قاموا بإخلاء مدينة (هايشنغ) قبل حدوث زلزال عام (1975م) بساعاتٍ قليلة، ممَّا ساعد على إنقاذ الآلاف من الناس.

ولكن هذه المؤشِّرات ليست بالظواهر المؤكَّدة لتحديد الوقت الذي سيحدُث فيه الزلزال، فقد يحدُث بعد ساعات أو أيام أو شهور، أو قد لا يحدُث.

وتبعاً لذلك لا بُدَّ من اتباع عدَّة أساليب للوقاية والتقليل من حجم الخسائر البشريَّة والماديَّة منها:

١- القيام بدراسة جيولوجيَّة وزلزاليَّة لطبقات القشرة الأرضيَّة، وتحليل قوام التربة وسمكها قبل تشييد المشاريع العمرانية.

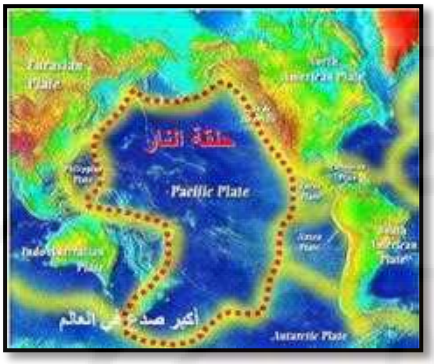
٢- عدم إقامة مشاريع عمرانية واقتصادية في أحزمة الزلازل العنيفة، وتطوير أساليب البناء المُقاوم للزلازل.

٣- الحد من الأنشطة البشرية التي تُهدد توازن القشرة الأرضيَّة، كإزالة الكتل الجبليَّة الضخمة، أو إنشاء البُحيرات الصناعيَّة الكُبرى.

٤- عدم اللجوء للتفجيرات الضخمة سواء في الإنشاءات أم الحروب.

مناطق توزع الزلازل على سطح الكرة الأرضية:

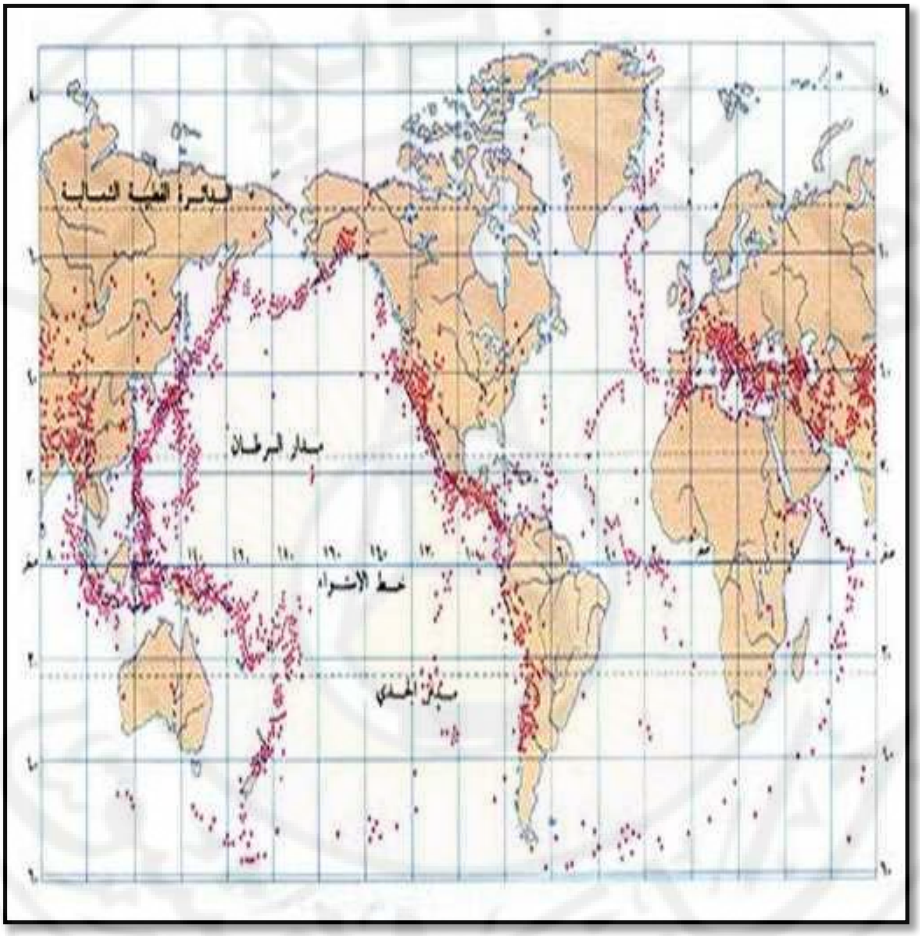
على الرُغم من تعرُّض مناطق مُختلفة من سطح الكرة الأرضيَّة للزلازل على مرِّ التاريخ، إلَّا أنَّ هُناك مناطق مُعيَّنة تتركَّز فيها الزلازل، وهي عادةً مناطق ضعف تكتوني في القشرة الأرضيَّة، أي مناطق التقاء وانفصال الصفائح ومناطق الجبال الالتوائية.



شكل رقم (١٢٥): حلقة دائرة النار

وتتمثل المناطق الرئيسة التي تحدث فيها الزلازل:

المنطقة	نسبة الزلازل من العالم	أسباب عدم استقرار المنطقة
١- المناطق المحيطة بسواحل المحيط الهادي، إلى جانب الجزر المتناثرة بهذا المحيط مثل جزر هاواي الفلبِّين، يُطلق عليها اسم دائرة النار (Ring of Fire).	(41%) من الزلازل في العالم	عدم التوازن، أي تجاور أخاديد بحرية عميقة مع سلاسل جبلية شاهقة ممَّا يؤدي إلى استمرار الحركة.
٢- مناطق الأقواس الجبلية الممتدَّة جنوبي أوربا من الغرب إلى الشرق، مُتمثلة في الأقواس الألبيَّة في أوروبا، وجبال طوروس في تركيا وزاغروس وهيمالايا في جزر الهند الشرقيَّة جنوبي شرقي آسيا.	(21%) من الزلازل في العالم	ظهور مناطق ضعف للقشرة الناتج عن التقاء الجبال الحديثة مع الكتل القديمة.
٣- منطقة امتداد الأخدود الآسيوي الأفريقي العظيم شرقي إفريقيا، وجنوبي غربي آسيا.	---	---
٤- نطاق طولي ممتَّد وسط المحيط الأطلسي، ويتَّفق مع الحواجز المُحيطة الوسطى.	---	لوجودها على طول الخط الفاصل بين صفيحتين قاريَّتين ممَّا يجعلُها عرضة لحركة التباعد.



شكل رقم (١٢٦): توزيع المناطق الزلزاليَّة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

القوى الداخليَّة السريعة

ب- التضاريس الاندفاعيَّة – البُركانيَّة

تشمُل البركنة كُل العمليَّات التي تندفع من باطن الأرض المُخترقة للقشرة الأرضيَّة الخارجيَّة بواسطة المواد الصلبة والسائلة والغازية، مُشكّلةً من تبرُّد المُهل بتماس مع الغلاف الغازي أشكالاً تضريسيَّة طارئة ليس لها علاقة بالبنيَّة الأساسية للمنطقة، مُعرقلة لاستمراريَّة النشاط الجيومورفولوجي في الدورة الحتيَّة تُعرف **بالتضاريس البركانية (الاندفاعية – البركانية)** مؤلَّفةً من صخور ناريَّة تأخُذ أشكالاً مخروطية أو هضبية واسعة على شكل صبَّة يُطلق عليها بعض الأحيان اسم حرَّة، ويُطلق اسم البراكين على المخاريط أو القُبب المُتشكلة فوق الشقوق، أو الثقوب الناشئة نتيجة الانفجار البُركاني، وتُشكِّل هذه الشقوق والثقوب ممرَّات للمُهل والرماد البُركاني، والغازات التي تنطلق من باطن الأرض، ويُمكن أن تتم عمليَّة انطلاق المواد المُهليَّة بهدوء (البراكين نموذج هاواي)، ولكن غالباً ما يترافق ذلك بانفجارات عنيفة، ومن الطبيعي أن يتجمَّع المُهل، والكتل الصخريَّة الكبيرة حول فوهة البُركان مُشكلةً المخاريط، والمُرتفعات فوق التضاريس الأصليَّة.

و تُعدُّ التضاريس الاندفاعية – البركانية في مرحلة الشباب من الدورة الجيومورفولوجيَّة من التضاريس البُنيوية المُهمَّة التي تحتفظ بأشكالها الأوليَّة الأصليَّة، والتي تتعرَّض مع الزمن إلى الحت والنقل والترسيب لتصل بالبركان إلى مرحلة الشيخوخة، لذا إنَّ البراكين حالة تضريسيَّة مؤقَّتة، ونادراً ما يتشكَّل المخروط من اندفاع بُركاني وحيد، وإنَّما يتشكَّل في أغلب الأحيان من مجموعات دوريَّة، أو غير دوريَّة من الاندفاعات.

كما أنَّ المواد المُهليَّة يُمكن أن تخرُج من خلال الشقوق على شكل صخور طفحيَّة، تقوم ببناء أشكال سطحيَّة يسهُل انسيابها على السطح الطبوغرافي مُشكلةً طبقة رقيقة أو سميكة، يُطلق عليها اسم **الأغشية الاندفاعيَّة (الدروع البُركانيَّة).**

تؤدِّي البراكين دوراً عظيماً في العمليَّات الجيولوجيَّة المُهمَّة، التي تؤثِّر في تاريخ تطوُّر القشرة الأرضيَّة، وتشكلها.

تعدُّ مراقبة النشاط البُركاني في الوقت الحاضر من أفضل الوسائل في التعرُّف إلى سير العمليَّات الداخليَّة، وكذلك فإنَّ دراسة البراكين تُفيد إضافةً إلى أهميَّتها العلميَّة في التعرُّف على الهزَّات الأرضيَّة، وتحديد مدى خطرها على المُنشآت العُمرانيَّة القريبة منها، مثال: بُركان مارابي في جزيرة جاوه الذي أدَّى إلى قتل أكثر من (300) ألف نسمة، عام (1931 م).

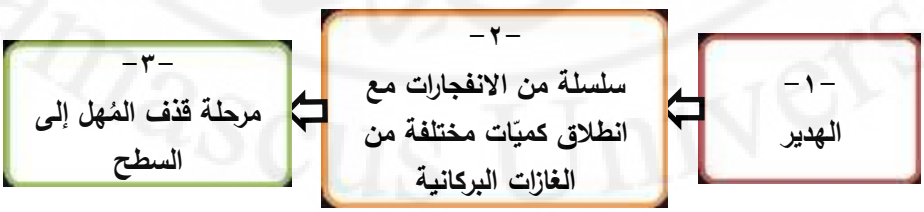
يخضع انطلاق المُهل من باطن الأرض إلى سطحها لعاملين أساسيين:

١- الضغط الهيدروستاتيكي (التوازُني)

٢- ازدياد حجم منظومة المواد المُنصهرة الادياباتي (الذاتي) التي تبلُغ حرارتها داخل الجيوب نحو (□□□□°)

١- الضغط الهيدروستاتيكي (التوازُني): عندما يكون ضغط صخور القشرة الأرضيَّة أكبر من الضغط القادم من باطن الأرض أو مُساوياً له، يبقى المُهل وغازاته ضمن الخزَّان، ولكن عندما يختلّ التوازن نتيجة الحوادث البنائيَّة التكتونيَّة للقشرة الأرضيَّة، وتكسُّرها بالصدوع يتفوَّق الضغط الباطني، وتأخُذ مواد الخزَّان بالارتفاع نحو السطح مُتسربةً خلال الشقوق لتظهر على السطح، ويختلف ظهور المواد على السطح حسب شدَّة الضغط، والتركيب الكيميائي والفيزيائي للمُهل وغازات الخزَّان، لتخرُج إمَّا على شكل مواد مائعة أو لزجة مُشكِّلةً أغشية اندفاعيَّة، أو مخاريط بُركانيَّة.

٢- ازدياد حجم منظومة المواد المُنصهرة الادياباتي (الذاتي) التي تبلُغ حرارتها داخل الجيوب نحو (1300°): تمر عمليَّة قذف المُهل بمراحل عدَّة:



ويكون اندفاع المُهل إمَّا:

- بشكلٍ هادئ
- على شكل نافورة

} (حسب طبيعة الضغط، والتركيب الكيميائي والفيزيائي للمُهل)، وعندما تتوقَّف طاقة المنبع المُهلي نهائيّاً يتوقَّف نشاط البركنة

لذا يجب التمييز في الطبيعة بين **نماذج البراكين حسب نشاطها:**

١- البراكين الناشطة
(□□□□□□)

٢- البراكين الهادئة
(□□□ □□□)

٣- البراكين الخامدة
(□□□□□□)

١- البراكين الناشطة (Active):

وهي البراكين التي لا زالت تبعث بالمُهل إلى سطح الأرض، وتعدُّ هذه البراكين موضوعاً مُهمَّاً في البحث العلمي والمراقبة الميدانيَّة للبراكين في الوقت الحاضر، لأنَّها تُشكِّل نافذة لباطن الأرض، كما هي الحال في بُركان فيزوف، ويُقدَّر عدد البراكين الناشطة في الوقت الحاضر نحو (800) بركان موزَّعة في كُل القارَّات.



صورة رقم (١٠٣): بركان إتنا النشط في صقلية

٢- البراكين الهادئة (Dormant):

وهي براكين كانت ناشطة منذ عصور جيولوجيَّة ليست بعيدة، ولكنَّها في الوقت الحاضر في حالة هدوء، وتعرَّضت إلى عمليَّات تخريب متوسطة.



صورة رقم (١٠٤): فوهة بركان خامد في ماوي- هاواي

٣- البراكين الخامدة (Extinct):

ويُقصد بها البراكين التي ظهرت في العصور الجيولوجيَّة المُختلفة، ثمَّ توقف نشاطها منذ زمن بعيد، ولم يعُد يبدو عليها أي مظهر من مظاهر النشاط، ولم يعد من المحتمل أن يظهر عليها أي نشاط في المستقبل بعد أن استقرَّت المناطق التي توجد فيها، ومثل هذه البراكين كثيرة جدًّاً ومُنتشرة في كُل القارَّات، وتُقدَّر أعدادُها بالآلاف، ولا يزال بعضُها مُحتفظاً بشكله المخروطي الواضح، يبلُغ عدد المخاريط البركانية الخامدة والهادئة (470) مخروطاً.



صورة رقم (١٠٥): بركان الملساء الجزيرة العربية

وتُقدَّر المساحات المُغطَّاة بالمخاريط البُركانية، والأغشية الاندفاعيَّة و العائدة للماضي الجيولوجي بحوالي (2) مليون كم^{٢}، وتُقدَّر مساحة الغطاء الاندفاعي – البُركاني في جنوب

سورية، وشمال الأردن (33.000 كم^2)، أو بضع مئات الكيلومترات المُربَّعة في البادية السورية، أو منطقة الحص وشبيت في شمالي سوريا.

عناصر البُركان:

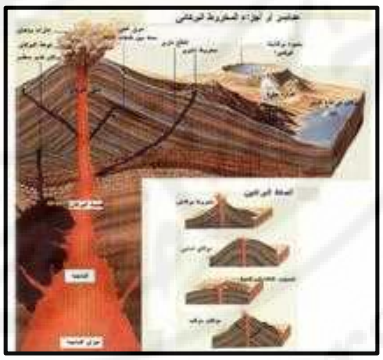
البركان (Volcano):

عبارة عن فتحة في القشرة الأرضيَّة دائريَّة الشكل تقريباً، تخرُج منها أو كانت تخرج منها مواد منصهرة وغازات وأبخرة ومقذُوفات بركانيَّة أخرى، تتراكم هذه المقذوفات البركانية والمصهرات حول فوهة البركان مكوِّنةً شكل مخروطي هو المخروط البركاني، ويتألَّف من :

١- الفوهة البركانية (Crater): وهي الفتحة العُليا من المخروط البركاني التي تنبعث منها اللابة والغازات.

٢- المدخنة (القصبة) (Neck): وهي التجويف الأسطواني العميق، يقع تحت الفوهة، يخترق القشرة الأرضيَّة، وتمرُّ منها الحاصلات البُركانية (المغما) القادمة من باطن الأرض إلى السطح.

٣- المخروط البركاني (Cone): وهو جسم البركان نفسه الذي تكوَّنَ من تراكم المقذوفات البُركانيَّة حول المدخنة، وقد يكون المخروط بسيطاً عندما يكون له مدخنة واحدة، أو مركَّباً عندما يكون له عدَّة مداخن ثانوية، (شكل١٢٧).



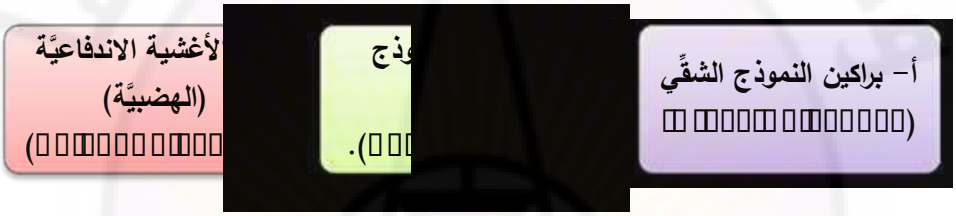
شكل رقم (١٢٧): عناصر البركان



صورة رقم (١٠٦): نموذج بركاني مخروطي (نغوروهي) نيوزلندة

وتتباين المخاريط البُركانيَّة تبايُناً كبيراً في الحجم، والشكل، مثال: بُركان آتنة في جزيرة صقيلية، يرتفع (3500) متر فوق سطح البحر، وفي إفريقيا يبلُغ ارتفاع مخروط جبل كليمجارو إلى (6010) وجبل كينيا (56010) متر.

إنَّ ظهور أي بُركان على سطح الأرض بمظهر أو بآخر مُرتبط بأشكال النشاط والاندفاعات البُركانيَّة وأنواع المواد والصخور المقذوفة، لذا يُمكن تمييز أنواع البراكين على أساس شكل الممرَّات التي سلكها المُهل (Magma)، كمدخل لدراسة التضاريس الناجمة عنها دراسة جيومورفولوجيَّة:



أ- براكين النموذج الشقّي (Cracks Volcanoes):

يتدفق المُهل الشديد الميوعة ذو الحرارة المُرتفعة جدّاً، من خلال شقوق تعرَّضت لها القشرة الأرضيَّة، ويُغطّي مساحات واسعة من القشرة الأرضيَّة، ويأخُذ المُهل بعد تبرُّده وتحوُّله إلى الحالة الصلبة شكل السطح الطبوغرافي الأصلي للمنطقة التي تدفق عليها، وفي هذه الحالة يتشكَّل فوق الشق مباشرة مخاريط الخبث البُركاني، أو حواجز كاملة من الخبث، ولكن هذه الأشكال تتعرَّض بسرعةٍ إلى التعريَّة، يكثُر هذا النوع من البراكين في إيسلندا لذا يُطلق عليها النموذج الإيسلندي، أو البراكين اللابيَّة.

ب- براكين النموذج المركزي (Volcanic Cones):

تأخُذ براكين هذا النوع شكل المخروط الناقص، وقد تبدو في بعض الأحيان على شكل قُبَّة، يتشكَّل المخروط من اللابَّة اللزجة، ممَّا يساعد على تراكُمها رأسيَّاً على شكل طبقات من الحمم والرماد البُركاني، وتُشكِّل قمَّة هذا المخروط فتحة على شكل قمع، يُطلق عليها اسم الفوهة (Carter)، وتتصل الفوهة بالمدخنة التي تنقُل المُهل من الخزَّانات الداخليَّة باتجاه السطح،

وتحتَّل الفوهة في بعض الأحيان في البراكين الخامدة بُحيرة صغيرة ناجمة عن تجمُّع مياه الأمطار.

يحدُث في بعض الحالات الاندفاعيَّة البُركانيَّة ذات الانفجارات الغنيَّة بالغازات أن تتخرَّب الأجزاء الداخليَّة عن البُركان، وتقذُف صخورها على شكل قطع مُختلفة الأشكال والأحجام، وتتشكَّل في هذه الحالة مناطق فارغة (مغائر) داخل الجهاز البُركاني، ويُمكن لمثل هذه الفراغات أن تتشكَّل أيضاً في حالة توقُّف المُهل (Magma) عن الخروج.

ج- الأغشية الاندفاعيَّة (الهضبيَّة) (Shiehd Volcanoes):

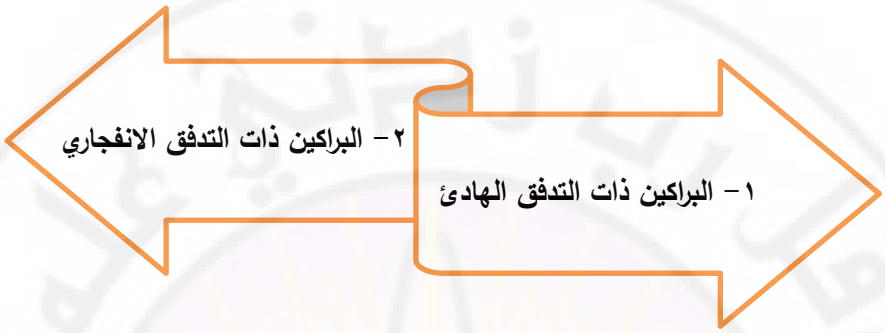
وهي هضاب واسعة من اللابة التي انبعثت نحو سطح الأرض من خلال الشقوق، قد يصل طول الشقوق إلى (10 – 40 كم)، وتمتد عُمقاً في القشرة الأرضيَّة حتَّى تصل إلى منطقة المُهل الباطني، وهذا ما يُميِّزها من المخاريط المركزيَّة، كما أنَّ خروج اللابة لا يُصاحبه أي انفجارات، بل يكون على شكل انسيابي هادئ، تتميَّز مواد الأغشية الاندفاعيَّة بسيولتها، وسرعة حركتها، وهي فقيرة بالسيليس، وذات درجة حرارة عاليَّة جدَّاً (1200 – 1300°م)، فقيرة بالغازات، نظراً لسرعة حركتها، فهي تنتشر على مساحات واسعة فوق سطح الأرض، وتتراكم على شكل طبقات مُتتاليَّة كُلَّما تكرَّر خروج اللابة الأساسيَّة (البازلتيَّة).

يصل سمك كُل طبقة من الطبقات المُتراكمة من بضعة أمتار إلى (1000) متر، ويختلف سمك كُل غشاء وامتداده حسب الطفرة الاندفاعيَّة، ودرجة سيولة المُهل وكميَّته، وحسب طبوغرافيَّة السطح الذي غطَّاه، ففي المُنخفضات والأوديَّة يتجمَّع المُهل بسماكاتٍ أكبر من التلال.

لهذا نجد أنَّ الأغشيَّة الاندفاعيَّة تُشكِّل سطوحاً جيومورفولوجيَّة منبسطة واسعة متموَّجة تكون انحداراتها من مصدر المُهل باتجاه الأطراف ضعيفة جدَّاً تقل عن (5°)، وقد يقبع فوق هذه الأغشيَّة بعض البراكين ترتصف بشكلٍ مُنتظم في مناطق الضعف في مرحلة تالية بعد تشكُّل الأغشيَّة، والأمثلة على ذلك كثيرة في سورية (صبَّة اللجاة، صبَّة الصفا) جنوبي شرقي حوضة دمشق(Lava Sheets)، وفي أنحاء العالم المُختلفة.

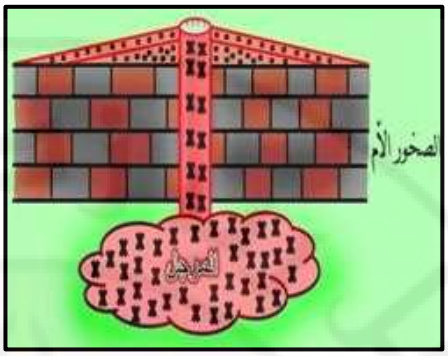
تعدُّ الأغشيَّة الاندفاعيَّة مقاومة لأعمال الحت والتعرية نظراً لقساوتها (بازلتيَّة) فهي تحتفظ بمورفولوجيتها الأوليَّة مدَّة طويلة جدَّاً، أمَّا تطوُّرها الجيومورفولوجي سيرد لاحقاً.

يُمكن تصنيف البراكين على أساس شكل المخروط، وحسب طبيعة الاندفاع البُركاني، وطبيعة المواد المُندفعة، وكميَّتها، إلى مجموعتين من البراكين حسب تصنيف لاكروا:



١ – البراكين ذات التدفق الهادئ:

يدخُل ضمن هذه المجموعة نموذج وحيد هو نموذج هاواي (Hawaiiaan Type)، نسبةً إلى جزر هاواي، تتميَّز براكين هذا النموذج بالميوعة الشديدة وسهولة حركة اللابة المؤلَّفة من المواد البازلتيَّة، وبفقرها بالغازات وبحراراتها المرتفعة التي تصل إلى (1300°م)، وتتم عمليَّة اندفاع المواد بهدوء ودون انفجار، وحين تمتلئ الفوهات باللابة تفيض وتتحرَّك من حوافها على جوانب البراكين تحت تأثير عامل الثقالة والانحدار، حيثُ تصل سرعتها إلى (8 – 15 م/ثا)، وتصل أحياناً إلى عدَّة كيلومترات عن مركز البركان، تقوم الغازات بدفع المُهل إلى السطح على شكل نوافير من اللابة قد يصل ارتفاعها إلى عدَّة أمتار، وتتميَّز بالسيولة، والتي تمتد لمسافاتٍ كبيرة، وذات سماكة قليلة وانحدار قليل، يأخذ شكل الترس يصل انحدار أطرافه ما بين (5 – 15°)، (شكل١٢٨).



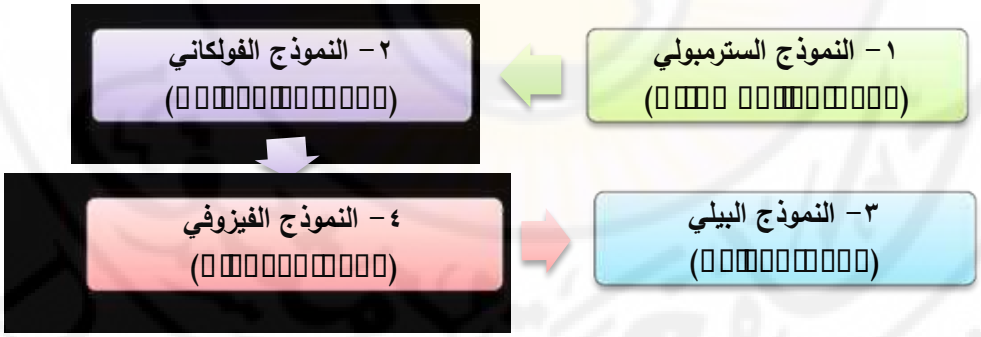
شكل رقم (١٢٨): بركان هاواي



صورة رقم (١٠٧): بركان كيلوا

٢- البراكين ذات التدفق الانفجاري:

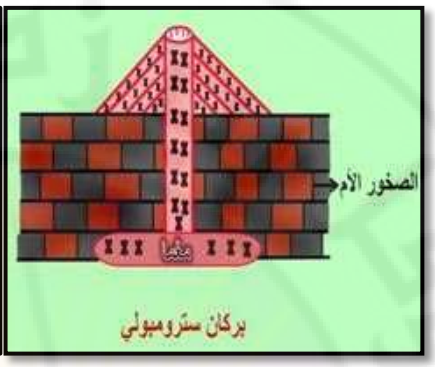
يأخُذ هذا النوع شكل الجبال البُركانية المخروطيَّة الشكل، تُرافق خروج مواده بعمليَّات انفجاريَّة، ويُمكن للمواد المُختلفة أن تندفع بشكلٍ مُتتابع مُختلطة مع اللابة مُشكلَّة مخروطاً ذا بُنية طبقيَّة (البراكين المُتطبِّقة)، وعلى أساس خصائص عمليَّة الاندفاع وتركيب المواد والبنيَّة الصخريَّة وشكل البراكين وأجسامها إلى أربعة نماذج رئيسة:



١- النموذج السترمبولي (Stromboli Volcano):

نسبةً إلى بُركان سترومبولي في جُزر ليباري شمالي شرق جزيرة صقيلية، وهو شكل انتقالي عن براكين نموذج هاواي، تتَّصف اللابة المُنبعثة من هذا النوع بقلَّة ميوعتها، درجة حرارة موادها بين (1000 - 1100° م)، لذا فإنَّ ثوراناتها تتم بشكلٍ مُتقطِّع، يتصاحب بانطلاق الغازات التي تؤدِّي بدورها لانبعاث كميَّات طائلة من الرماد والمقذوفات، تأخُذ شكل مخروط شديد الانحدار

بسبب عدم انتشار المواد على مساحاتٍ واسعة تُغشِّي أسطُحها كتل بارزة مُتجمِّدة، ينتمي إلى هذا النوع بركان أسالكو في أمريكا الوسطى، (شكل١٢٩).



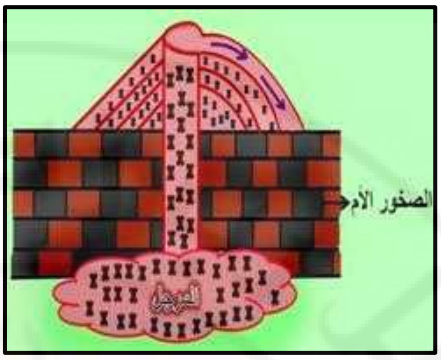
شكل رقم (١٢٩): بركان سترمبولي



صورة رقم (١٠٨): بركان سترمبولي – إيطاليا

٢- النموذج الفولكاني (Vulcanian Type):

نسبةً إلى بُركان فولكانو (Vulcano) من مجموعة جُزر ليباري، وينشأ هذا النوع من البراكين حينما تكون اللابَّة الشديدة اللزوجة تتصلَّب بسرعةٍ، وهي حامضيَّة قليلة التدفق والانسياب فوق السطح لدرجةٍ أنَّها كثيراً ما تؤدِّي إلى انسداد المدخنة، ومنع الغازات من الخروج ممَّا يزيد من ضغطها، ثُمَّ تخرُج فجأة منطلقة إثر انفجارات عنيفة، مُسببةً تناثُر الطفوح، تُصاحبها سحب كثيفة من الرماد البُركاني المُلتهب، والأحجار والقنابل البُركانيَّة، ويُلاحظ أنَّ المخروط شديد انحدار الجوانب، ومشدوق الفوهة في بعض الأحيان، يُشكِّل هذا النوع من البراكين كوارث خطيِّرة، (شكل١٣٠).



شكل رقم (١٣٠): بركان فولكاني

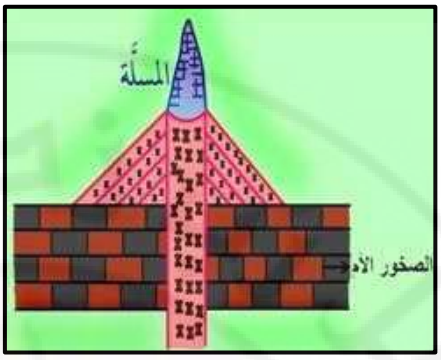


صورة رقم (١٠٩): بركان ساكوراجيما في اليابان

٣- النموذج البيلي (Pelean Type):

سُميَّ كذلك نسبةً إلى بركان مونت بيلي في جزيرة المارتينيك في جُزر الهند الغربيَّة، تتميَّز هذه البراكين بشدَّة لزوجة اللابة التي تعمل على انسداد فوهة البُركان، وحبس كميَّات كبيرة من الغازات أسفلها التي تزيد من الضغط مُسبِّبة دفع المدخنة فوق الفوهة بشكلٍ بطيء على شكل قبَّة لزجة جدَّاً من المواد الانديزيتيَّة، على شكل مسلَّة يزيد ارتفاعها على (200 م)، ولها قمَّة مُدببة، وهذه المسلَّة هي سدادة الكرات التي تشكلَّت من المهل الشديد اللزوجة والقساوة، ونتيجةً للانفجار تشكلَّت سحابة مُلتهبة تزيد حرارتها (1000°م).

كما إنَّ مواد وغازات هذا النوع من البراكين لا ترتفع نحو الأعلى، وإنَّما تتوضَّع على السفوح المُجاورة مُسبِّبةً حرق كُل ما تجدُه في طريقها وتخريبه، وفي عام (1902 م)، حدثت انفجارات أُخرى في مدينة سانت بير الواقعة بجوار البُركان فوق جُزر المارتينيك (الانتيل الصُغرى)، وقد أبادت (30000) نسمة خلال ثوران البُركان، (شكل١٣١).



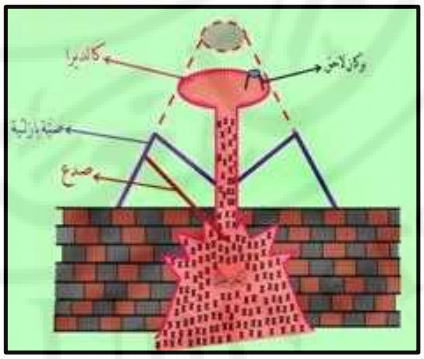
شكل رقم (١٣١): بركان بيلي



صورة رقم (١١٠): بركان بيلي

٤- النموذج الفيزوفي (Visuvan Type):

يتميَّز هذا النوع من البراكين بأنَّ لابته حامضيَّة شديدة اللزوجة، قليلة الحركة، تندفع أثناء الانفجار كميَّات كبيرة من المواد الكتليَّة الصلبة المؤلَّفة من قنابل بُركانيَّة، رماد، خبث، ومن أهم مميِّزات هذا النوع من البراكين، تكرار نشاطها، إذ تستعيد نشاطها كُلَّما ازدادت كميَّة الغازات والمواد في الخزَّان، تؤدِّي الثورانات الشديدة لهذا النموذج من البراكين إلى تهدُّم قمَّة المخروط البركاني، واتساع فوهته اتساعاً كبيراً ممَّا يحوِّلها إلى فوهة ذات الحوض المُستدير الواسع والجدران الشديدة الانحدار، ينتمي إلى هذا النوع من البراكين مُعظم براكين البحر المتوسط، وأمريكا الجنوبيَّة ومنها بركان فيزوف، (شكل١٣٢).



شكل رقم (١٣٢): بركان فيزوف



صورة رقم (١١١): بركان فيزوف

وبالنسبة إلى بُركان فيزوف فإنَّه يقع مكان بُركان قديم يُدعى بُركان سوما، حيثُ بدأ فيزوف يتشكَّل على أنقاض المخروط المُتداعي القديم، حتَّى وصل ارتفاعه الآن إلى (1200 م)، وقد تجدَّد نشاطُه ثلاث مرَّاتٍ بشكلٍ عنيف، وذلك في أعوام (1631 – 1906 – 1979 م)، كما تمَّ التعرُّف إلى ثلاث مراحل من نشاطه في أثناء ثورانه في عام (1906 م):

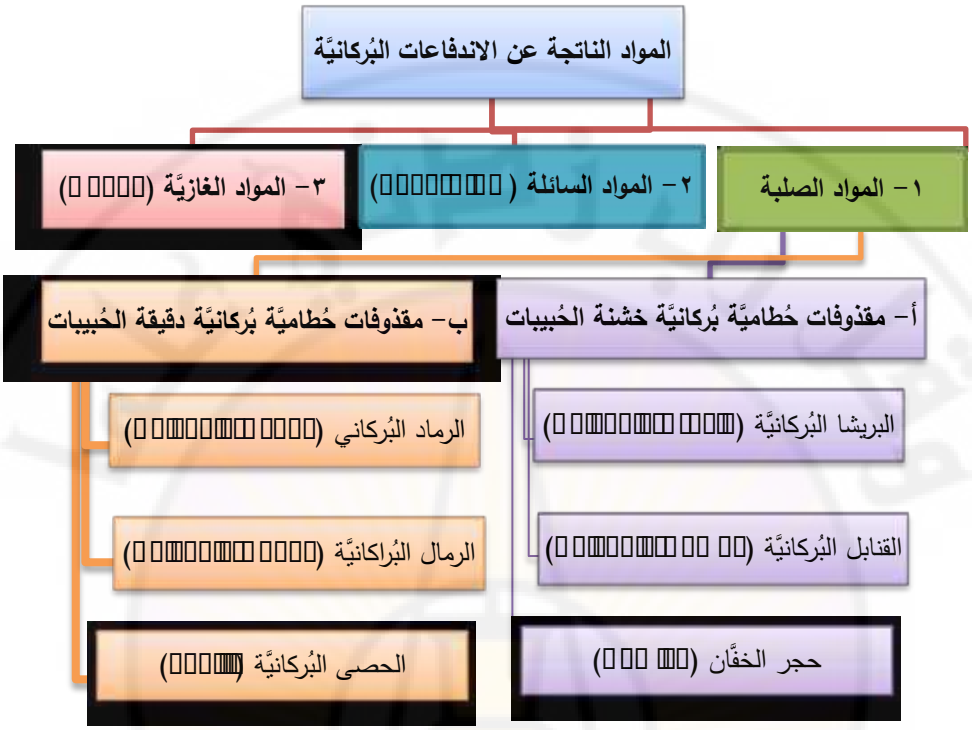
المرحلة الأولى: استمرَّت هذه المرحلة أربعة أيام خرجت خلالها كميَّات هائلة من اللابة، كما حدثت انفجارات عنيفة قذفت المواد البُركانيَّة مئات الأمتار في الجو.

المرحلة الثانيَّة: أخذَ البُركان خلالها ينفُث كميَّاتٍ كبيرة من الغازات التي صعدت في الجو، على شكل كتلة مُتراصَّة، وصلت إلى ارتفاع (13 كم) ثُمَّ أخذت تتوزَّع على شكل سُحب كتليَّة، استمرَّ ذلك نهاراً كاملاً (8 نيسان).

المرحلة الثالثة: فقد تميَّزت بخروج الرماد البُركاني الداكن على شكل انفجارات مُتفرقة وقويَّة، وقد دام نشاط البُركان في مراحله المُختلفة (18) يوماً، حتَّى وصل خلالها اتسَّاع فوهة البُركان إلى (660) متراً، وعمق (600 م).

المواد الناتجة عن الاندفاعات البركانية:

تخرُج من فتحة البراكين أثناء ثورانها أنواع مختلفة من المواد منها:



وتتراكم كُل هذه المقذوفات البركانيَّة، والمصهورات حول فوهة البُركان، وهي متباينة بين بركانٍ وآخر.

١- المواد الصلبة:

تختلف المواد الصلبة التي انبثقت عن الانفجارات البُركانيَّة من حيث الشكل، والحجم، والتركيب، ويتشكَّل معظمها في أثناء الانفجار عندما تكون المواد مُختلطة بكميَّات من الغازات، وتنقسم المقذوفات الصلبة حسب حجمها إلى عدَّة أنواع:

أ- مقذوفات حطاميَّة بُركانيَّة خشنة الحبيبات ومنها:

البريشا البُركانيَّة (Volcanic Brecia): وهي مُجمَّعات صخريَّة حُطاميَّة من الصخور الأصليَّة للمنطقة، قبل ظهور فوهة البُركان، تتجمَّع المُفتتات الصخريَّة بعد اختلاطها بالمُهل على شكل كتل تُعرف باسم البريشا البُركانيَّة.



صورة رقم (١١٢): البريشا البُركانيَّة

القنابل البركانية (Volcanic Bombs): وهي أكبر المواد البُركانية حجماً عندما تنبثق من فوهة البركان تتطاير في الجو، وتدور بشكلٍ حلزوني ممَّا يكسبها الشكل البيضوي المغزلي. وقد تندفع المواد نحو الجو، وتسقُط على الأرض تحت تأثير الجاذبيَّة، ممَّا يُعطيها شكل رغيف الخبز المُتشقق السطح، يُطلق عليها اسم (Bread Grustbombs).



صورة رقم (١١٣): قنابل بركانيَّة

حجر الخفان:(Pumice Stone): وهو حجر ذو وزن نوعي مُنخفض، يطفو على سطح الماء غني بالمسامات نتيجة لاختلاط المواد المُهليَّة بكميَّة كبيرة من الغازات.



صورة رقم (١١٤): حجر الخفَّان

ب- مقذوفات حطامية بركانية دقيقة الحبيبات ومنها:

الرماد البركاني (Volcanic ashes): وهو عبارة عن مواد معدنية دقيقة أو مجهرية، تخرج من فوهة البركان وتتطاير إلى أعلى لمسافات عالية مع الغازات وتنقله الرياح إلى مسافاتٍ بعيدة، لونه رمادي ضارب إلى البياض أو السواد، على سبيل المثال: شوهد رماد بركان فيزوف فوق مدينة اسطنبول بعد إحدى ثوراته.



صورة رقم (١١٥): الرماد البُركاني الذي يطلقه جبل سانت هيلين – الولايات المُتحدة الأمريكيَّة

الرمال البركانية (Volcanic sands): وهي أكبر حجماً من الرماد، ومُختلطة مع البلورات.



صورة رقم (١١٦): الرمال البُركانيَّة

اللوبيات – الحصى البركاني (Labilli): وهي شبه كروية يتراوح قطرها بين (1مم – 10سم)، يظهر الكثير منها بحجم البازلاء، تتطاير إلى الأعلى لعدَّة مئات من الأمتار فوق فوهة البُركان قبل أن تتساقط بعيداً عنه، وهي غنيَّة بالزجاج الأسمر المُخضَّر.



صورة رقم (١١٧): الحصى البُركانيَّة

٢- المواد السائلة (المنصهرة) (Lava Flow):

وهي عبارة عن مصهورات بركانية، تخرُج إمَّا من فوهات البراكين أو الشقوق لتصل إلى سطح الأرض مكوِّنةً البراكين أو الأغشيَّة الاندفاعيَّة مُشكِّلةً اللابة، أمَّا إذا بقيت المواد المصهورة داخل القشرة الأرضية، ولم تتعرَّض إلى التبرُّد، سُميَّت باسم المُهل (Magma)، يختلف مظهر اللابة عند وصولها إلى سطح الأرض نظراً لطبيعة تركيبها الكيميائي، ودرجة سيولتها، وكميَّة الغازات فيها وحرارتها.

تتراوح درجة حرارة اللابة القاعدية البازلتيَّة عند وصولها إلى سطح الأرض بين (600°-1200°م)، وهي شديدة الليونة، تكثُر بها الغازات، وتنساح إلى مسافاتٍ كبيرة قبل التبرُّد، أمَّا اللابة الحامضيَّة أي الغنية بالسيليس تتميَّز بأنَّها شديد اللزوجة، متماسكة وثقيلة الوزن وبطيئة الانسياب، تتراكم حول فوهات البراكين والشقوق.

يأخُذ شكل سطح اللابة بعد تبرُّدها نوعين:

أ- **شكل كتل (Block Lava):** تُسمَّى باسم ((Aa or AhAh ToTo))، وهي اللابة شبه المُتصلِّبة التي تتسرَّب منها الغازات فجأةً، وعند انسياب اللابة على سطح الأرض غطَّتها على شكل كتل مُختلطة مع بعض المقذوفات الحُطاميَّة.



صورة رقم (١١٨): Block Lava

ب- **شكل خيطي (حبليَّة) (Roby Lava):** وتُعرف بـ باهو هو ((Pu hoe hoe))، وهي لابة تأخُذ سطحاً أملس على شكل حبال قوسيَّة مُلتفَّة على شكل حزوز وخيوط مُتجاورة، تكوَّنت عند خروج اللابة، وتسرُّب الغازات منها ببطئ وهدوء، ثُمَّ تصلَّبت على شكل فرشات بازلتيَّة سميكة على سطح الأرض بعد تبرُّدها، يتعرَّض سطحها إلى التشقُّق، بشقوق سُداسيَّة رأسيَّة وعرضيَّة ممَّا يُعطيها صفة العمدان (Columnar Structure).



صورة رقم (١١٩): Roby Lava

٣- المواد الغازية (Cases):

إنَّ المواد الغازيَّة التي تنطلق في أثناء الاندفاع البُركاني كثيرة ومُتنوعة، تُقدَّر ما بين (1-5%) من مجموع المقذوفات البُركانيَّة، أهمُّها بخار الماء الذي يكوِّن وحده (75-95%) من مجموعها، ولهذا السبب تسقط الأمطار بعد ثوران البركان، وبعض غازات الكبريت والكلور، والهيدروجين، والآزوت، الميتان، والحديد، النحاس، الزنك، الزرنيخ، والأملاح والمعادن القلويَّة، وثاني أوكسيد الكربون، والأمونياك، ويُمكن التعرُّف على الكبريت من خلال رائحته النفَّاذة.

وما زال مصدر الماء الذي تطلُقه البراكين غير معروف بالضبط، ولكن يُمكن أن يكون مُستمدَّاً من المياه المحجوزة ضمن صخور باطن الأرض منذُ نشأتها الأولى، أو أنَّه نشأ حديثاً عندما امتزج الهيدروجين مع أوكسجين الهواء، يُطلق العلماء على هذه المياه اسم المياه الجديدة (Juvenile Water).

تتم عمليَّة طرح الغازات من المُهل في أثناء عمليَّة التبلوُّر، إنَّ ظاهرة الاندفاع الانفجاري للغازات تحدُث بشكلٍ عام في البراكين المركزيَّة، ومن فوهات البراكين النشيطة، وفي المرحلة النهائيَّة للبراكين الخامدة، حيثُ لا ينفُث البُركان سوى الدُخان بشكلٍ هادئ، وتُشكِّل المواد المُندفعة من المُهل قوَّة دافعة عظيمة تضغط على المواد الأخرى، وتدفعُها باتجاه السطح.

- **التطور الجيومورفولوجي للمخاريط البركانية:**

وتُقسم إلى قسمين:

- أولاً: التطوُّر الجيومورفولوجي للمخاريط البُركانيَّة.
- ثانياً: التطوُّر الجيومورفولوجي للأغشية الاندفاعيَّة.

أولاً: التطوُّر الجيومورفولوجي للمخاريط البُركانيَّة:

ينضوي تحت هذه المجموعة من التضاريس البُركانيَّة جميع البراكين المُرتفعة عمَّا حولها مُشكلَّةً جبالاً إمَّا مُنفردة، أو سلسلة من الجبال المخروطيَّة، كما تشمل جميع نماذج البراكين الهاواي، السترمبولي، الفولكاني، بيلي، وتلك البراكين المُركبَّة، أي ذات البُنيَّة المؤلَّفة من اللابة والبازلت والأحجار والقنابل والرماد وغيرها، أي البُنية التي تغلُب عليها المواد الصلبة، وجميع هذه النماذج تتميَّز بسفوح مُنحدرة (30°) قد تكون أكثر أو أقل.

تتنوَّع أشكال البراكين الجبليَّة المخروطيَّة بتنوُّع النشاطات الاندفاعيَّة، قد تكون المخاريط ذات فوهة مشدوقة، أو مستديرة أو تكون مُهدمة القمَّة نتيجة انفجار أطاح بسدادة ارتفعت فوقها، كما في نموذج بيلي، أوقد تكون مُعقدة التداخُل نتاج الثورانات والانفجارات المُتعاقبة بعد مراحل الهدوء في بُركان واحد، كما هي الحال في بركان فيزوف مثلاً، يتزايد تعقيد التضاريس البُركانيَّة الجبليَّة عندما تتداخل العوامل الخارجيَّة (المُناخيَّة) مع العوامل الباطنيَّة (البنيوية البنائيَّة) في نشأة التضاريس.

و التضاريس الاندفاعيَّة تبقى تضاريس بنيويَّة مُحافظةً على شكلها الأساسي البنيوي طالما لم تؤثِّر فيها العوامل الخارجيَّة (المُناخيَّة)، ولكن ما إن تكاد اللابة تتبرَّد وتتوقَّف عن الخروج من المدخنة، وفوهة البُركان حتَّى يأخُذ السطح الخارجي للمخروط البُركاني بالتأثُّر بالغلاف الغازي، والأعمال الجيومورفولوجيَّة، بدءاً من أعمال التجوية وانتهاءً بأعمال الرياح والمياه الجاريَّة أو الجليديَّات.

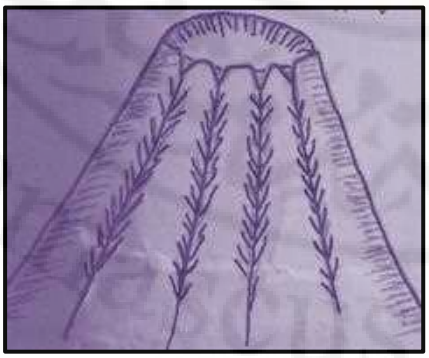
أمَّا التطوُّر الجيومورفولوجي الذي تتعرَّض له البراكين المخروطيَّة ودراستها يُمكن تعميمه على جميع نماذج المخاريط البُركانيَّة حسب الشروط الطبيعيَّة الجُغرافيَّة، والبُنية الجيولوجيَّة التي تختلف من مخروطٍ لآخر.

لمَّا كانت أعمال المياه الجارية تقوم بالدور الأساس في تطوُّر المخاريط البُركانيَّة الخامدة، والتأثير فيها، لذا ستقتصر دراستنا لتطوُّر التضاريس البُركانيَّة على شبكة الأوديَّة الناجمة عن الحت، وبالأشكال التضاريسيَّة المُرافقة لكل مرحلة من مراحل تطوُّر المخروط البُركاني (في الدورة الجيومورفولوجيَّة)، كما أنَّ قوانين العمل الحتِّي والنقلي والترسيبي للمياه (أنهاراً كانت أو سيولاً) لا تختلف عن أشكال التضاريس النهريَّة، ففي بداية العمل الجيومورفولوجي للمياه تظهر على صفحات المخروط البركاني العُليا بدءاً من حافَّة الفوهة البُركانيَّة وقمَّة المخروط أخاديد صغيرة، تأخُذ شكلاً شُعاعيَّاً مركزهُ حافَّة القُمَّة، تختلف أبعاد هذه الأخاديد من بضع سنتيمترات عمقاً وعرضاً، إلى عشرات بل مئات الأمتار طولاً، يغلُب على هذه الأخاديد المحور المُستقيم نظراً لـ :

١- الانحدار الشديد في القطاع الأعلى من المخروط.

٢- وجريان المياه بسرعة لا تسمح بتعرُّج المجاري.

تُعرف هذه الأخاديد بـ البرانكو (Barrancos)، ويُسميها بدو ديرة التلول في سورية، حيثُ ينتشر هذا النوع من الأخاديد (الخر)، من خرير مياه السيول (مرحلة الشباب)، (شكل١٣٣).



شكل رقم (١٣٣): مرحلة الشباب – البرانكو

أمَّا إذا كانت قمَّة المخاريط عالية وداخلة ضمن نطاق الثلج الدائم فتكون عندئذٍ مُغطَّاة بالجليد مُشكلةً ألسنة جليديَّة (أي عمل الجليد).

مع استمرار الحت الرأسي للمياه الجارية تتعمَّق أخاديد البرانكو في جسم المخروط البركاني، ويُرافق هذا التعمُّق تراجع لجوانب البرانكو، ممَّا يؤدِّي في النهاية دون أدنى شك إلى تقاطع الجوانب وإزالة السطوح الفاصلة بين الأخاديد، ويصل هذا التقاطع على حافَّة الفوهة فتُؤتَكَل وتُصبح مُسننَّة حول القمَّة بعد أن كان شكلها مُستمرَّاً دائريَّاً أو شبه دائري، ويتزايد التعمُّق، وتقاطع الجوانب.

فيأخُذ المخروط البركاني بالانخفاض لزوال الإطار المُحيط بالفوهة البركانيَّة نتيجة الحت والتعرية، كما يزول قسم كبير من الصخور المُشكلَّة للسطح الأصلي للمخروط، وتندمج الأخاديد في أخاديد، أو أودية عميقة تصل إلى قاعدة المخروط، وتعدُّ هذه الحالة (نهاية لمرحلة الشباب) في التطوُّر الجيومورفولوجي للمخاريط البُركانيَّة، وهُنا لا زال التضريس مُحافظاً على شكله البنيوي، و مع استمرار عمليَّات الحت، وتعمُّق الأودية الشُعاعيَّة في جسم البُركان، تأخُذ معالم القمَّة بالزوال، وتُعتبر بداية المرحلة الثانية، وهي (مرحلة النضج).

ونتيجةً لاستمرار عمل الحت والتخريب في جسم المخروط الأقل قساوةً من المدخنة التي تبقى مُقاومة لأعمال الحت تنقلب فوهة البركان المُتصلة بالمدخنة إلى مسلَّة آخذة بالبروز في وسط البُركان، نظراً لأنَّ قساوة المدخنة أكبر وأشد مقاومة من جسم المخروط.

ومع استمرار بروز المسلَّة وسط البركان، تأخُذ الأودية الشعاعية بالتعمُّق على أطرافها، التي كانت تفصل بينها صفحات مُثلثيَّة الشكل، رؤوسها باتجاه قلب المخروط والمسلَّة، وقواعدُها باتجاه أسفل وقاعدة البُركان، تُشبه في ذلك وردة لم تتفتَّح أكمامها تماماً، تُسمى هذه المرحلة بمرحلة البلانيز (Planeze)، أي (مرحلة النضج) حسب الدورة الجيومورفولوجيَّة، وعندها يفقُد البُركان شكله الأصلي البنيوي ليتحوَّل إلى تضريس مُناخي.

يختلف طول هذه المرحلة حسب اختلاف الشروط الطبيعيَّة التي وجد فيها البُركان، والمواصفات الجيولوجيَّة من بركانٍ لآخر.

في هذه المرحلة تتحوَّل سطوح تقسيم المياه التي كانت تفصل بين الأوديَّة إلى خطوط تقسيم المياه، (شكل١٣٤).

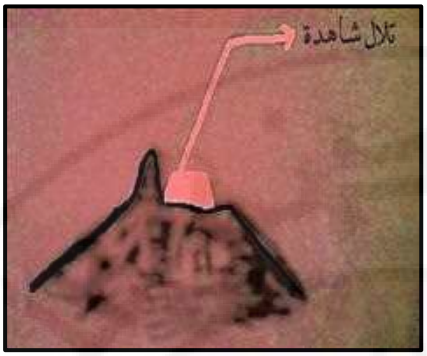


شكل رقم (١٣٤): مرحلة النضج – البلانيز

مع استمرار عمل الحت والتعرية، يبدأ تأثير الشبكة الشُعاعيَّة على المسلَّة (التي كانت سابقاً مدخنة)، وبزوال جسم البُركان المخروطي، وانجراف مواده وصخوره بالمياه إلى الأراضي المُحيطة بالبُركان، لا يبقى من البُركان إلَّا شواهد متخلِّفة عن جسم المسلَّة، على شكل نواشز أو أعمدة مُنتصبة فوق سطح مستوٍ، وقد تُشاهد مع بقايا المسلَّة كجدار من اللابات البازلتيَّة الصلبة الناجمَّة عن تهدُّم كتلة البُركان وزواله بالعوامل الخارجيَّة وبقاء أجزاء من المسلَّة القاسيَّة.

أمَّا **الدايك أو الجدار البازلتي:** فهو عبارة عن اندساس اللابات وتصلُّبها ضمن الصخور الأم، على امتداد شقوق جانبيَّة في المخروط بشكلٍ شاقولي.

إضافةً إلى ذلك يُمكن الاستدلال من خلال التلال الشاهدة على وجود بركان سابق، حيثُ تبقى الشبكة المائيَّة الشُعاعيَّة واضحة المعالم، ومنطبقة على السطح الجيومورفولوجي الجديد الموجود سابقاً قبل أن يُغطَّى بالمخروط البُركاني الطارئ، وهذه تُعدُّ المرحلة الأخيرة من مراحل تطوُّر المخاريط البُركانيَّة وتُسمَّى (مرحلة الهرم)، (شكل١٣٥).



شكل رقم (١٣٥): مرحلة الهرم – الشيخوخة

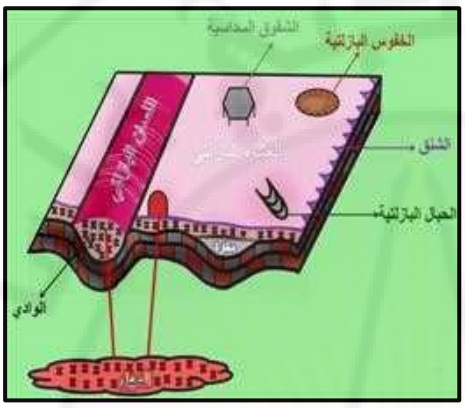
تنطبق المراحل السابقة على مُعظم البراكين، إلَّا إذا اختلفت المواد المُشكلَّة للبركان، أو اختلف الوسط الذي وجد في البُركان، مثال: براكين الرماد أو الخبث البُركاني _ هو ذو مساميَّة كبيرة تبتلع المياه _ ممَّا يؤخِّر تأثُّر البُركان بالمياه الجارية، على عكس وجود هذا النوع في الصحاري، حيثُ يتطوَّر بسرعةٍ كبيرة بالتعرية الريحيَّة.

– التطوُّر الجيومورفولوجي للأغشية الاندفاعيَّة (الهضاب):

تتميَّز الأغشية الاندفاعيَّة بأنَّها تُغطِّي مساحاتٍ واسعة من السطح الطبوغرافي، وهي سائلة وفقيرة بالغازات وقاسيَّة، والأغشيَّة الاندفاعيَّة غنيَّة بكثير من المظاهر الناتجة عن طبيعة المُهل البازلتي وتبرده وتصلُّبه على سطح الغشاء، وأطرافه الخارجيَّة قبل الأجزاء الداخليَّة والقريبة من مصدر المُهل (تُسمَّى بالأشكال البنيويَّة).

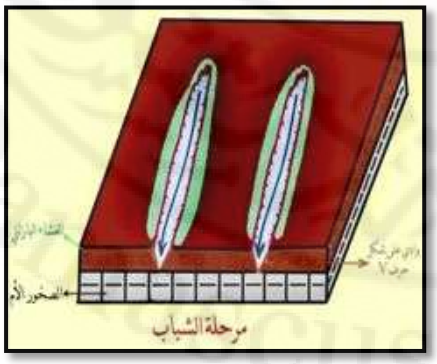
يُسبِّب هذا التفاوت في التصلُّب، وسرعة التبرُّد في نشوء مغاور وحُفر وفراغات مُختلفة الأحجام في جسم الغشاء، كما يؤدِّي إلى نشوء حافَّات شديدة الانحدار تُحيط بأطراف الغشاء، وتُعرف في سورية باسم (الشنق)، بينما الغشاء مع الحافَّة يُسمَّى بـ (اللحاف)، كما أنَّ التبرُّد على سطح الغشاء الأُفقي يُسبِّب شقوقاً تتعامد مع خط انسياح اللابة، هذه الشقوق تأخُذ شكل أعمدة سُداسيَّة الشكل تُعرف باسم (الأرغن البازلتي).

كما تكثُر الخفوس والأحواض والتلاع على سطوح الأغشيَّة كُلها ناجمة عن تبرُّد المُهل وتصلُّبه بعد وصوله إلى السطح، وبعد انتهاء تشكُّل الغشاء تبدأ العوامل الخارجيَّة (المُناخيَّة) عملها، وتأثيرها على الغشاء البنيوي، (شكل١٣٦).



شكل رقم (١٣٦): الأشكال البنيويَّة للأغشية الاندفاعيَّة

ولكن التطوُّر الجيومورفولوجي للأغشية الاندفاعية بطيء جدًّا نظراً لقساوة الصخور، وصعوبة حفر المياه لأوديتها على سطحها البازلتي القاسي، ولكن عندما تخترق المياه الغشاء البازلتي إلى القاعدة الصخريَّة الرسوبيَّة أو غيرها من الصخور، فإنَّ أعمال الحت والتعمُّق تُصبح أسرع وأنشط، خصوصاً إذا كانت هذه القاعدة طريَّة تكون الأوديَّة في البداية فوق الغشاء البازلتي القاسي خانقيَّة وضيِّقة وعميقة ذات جوانب شديدة الانحدار **(مرحلة الشباب)**، (شكل١٣٧).



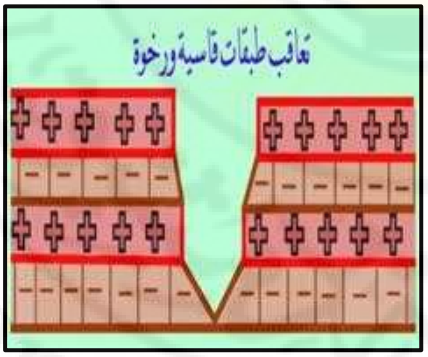
شكل رقم (١٣٧): مرحلة الشباب

ومع استمرار أعمال المياه، يزداد عرض الأودية وتعمُّقها حتَّى تخترق القاعدة الأقل قساوة، مُشكلَّةً مقطعاً عرضيَّاً قائم الجوانب في الغشاء البازلتي على شكل حرف (V) في الصخور الطريَّة **(مرحلة النضج)**، كما هو الحال في وادي اليرموك على هوامش هضبة الجولان جنوب غرب سورية، (شكل١٣٨).



شكل رقم (١٣٨): مرحلة النضج

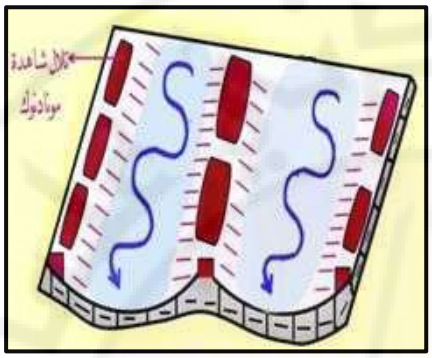
وبشكلٍ عام فإنَّ التطوُّر الجيومورفولوجي للأغشيَّة الاندفاعيَّة لا يختلف في قوانينه عن التضاريس الناشئة عن البُنية الأُفقيَّة التطبُّق، ولكن الفرق بين النوعين في اختلاف البُنية الجيولوجيَّة الصخريَّة، (شكل١٣٩).



شكل رقم (١٣٩): وادي مُدرَّج – كانيون

أمَّا المرحلة الأخيرة لتطوُّر الغشاء الاندفاعي هو تجزئة الغشاء المُتصِّل إلى مساحاتٍ مُتفرقة على شكل هضاب، أو موائد أو تلال صغيرة حسب مرحلة التطور الجيومورفولوجي التي وصل

إليها الغشاء **(مرحلة الشيخوخة)**، مثال: تلال وجبال الحص، وشبيت، وأبو الظهور، ومُرتفعات حماة الواقعة بين الجبال شمالي سورية، ومنطقة حماة – السلميَّة، (شكل ١٤٠).



شكل رقم (١٤٠): مرحلة الشيخوخة – الهرم

الأشكال البُركانيَّة الأُخرى، والظواهر الشبيهة بالبراكين:

ويُمكن تسميتها الظاهرات الجيومورفولوجيَّة التي تتكوَّن بفعل البراكين، هُناك ظواهر يرجع أصلُها لعوامل بُركانيَّة تنتشر في مناطق النشاط البُركاني وحقوله في العالم، ومن هذه الظواهر:



١ – الكالديرا (Calderas):

وهي فوهة بُركانيَّة واسعة، تعني بالإسبانيَّة الصحن الواسع، يُحيط فوهة البركان حائط ينفتح من أحد جوانبه يُطلق عليه (السوار)، يبلُغ عرض الكالديرا عدَّة كيلومترات، أمَّا عُمقها فيبلُغ مئات

الأمتار، و في أغلب الأحيان ينشأ داخل الكالديرا مخروط بركاني جديد، يظهر عُقب كُل انبثاق للبُركان، ويبرُز المخروط الثاني على شكل جزيرة داخل الكالديرا، إذا امتلأت بالمياه.

يُمكن تفسير نشوء الكالديرا بسببين اثنين:

أ- بسبب انفجار تالٍ أطاح بالجزء الأكبر من المخروط البُركاني، وشكَّل الفوهة الواسعة.

ب- بسبب خفس الجزء العلوي من البركان، بسبب ميوعة المواد الموجودة ضمن المدخنة، وقرب المرجل من الفوهة مؤديًّاً إلى خفس الفوهة، وتشكيل فوهة واسعة.



صورة رقم (١٢٠): بُحيرة فوهة بركان كالديرا في ولاية أوريغون- الولايات المُتحدة الأمريكيَّة، تحوي على جزيرة تُسمَّى (Wizard)

٢- المار (Mar):

يُشبه الكالديرا، شكلُه دائري حتَّى بيضوي، مُحاط بسوار ذي جوانب شديدة الانحدار نحو الداخل، وضعيفة الانحدار نحو الخارج، ولكن المار يختلف عن الكالديرا بأبعاده الصغيرة عمقاً وعرضاً، وقد تكون الحُفرة ممتلئة بالمياه فتُشكِّل بُحيرة، أو بغشاء من الترسُّبات الناعمة والحجرية.

فالمار إذاً هو مظهر جيومورفولوجي يُشبه فوهات البراكين العاديَّة، ولكن دون تشكُّل مخروط بركاني، وهو فوهة انفجاريَّة غازيَّة ذات أهميَّة جيومورفولوجيَّة محدودة، إذ يقذف الانفجار بصخور المنطقة التي اخترقتها، ويُوضِّعها على شكل فتات و أنقاض صخرية على أطراف مركز الانفجار الغازي (الفوهة).



صورة رقم (١٢١): جبل مار في حرَّة رهاط
في المملكة العربية السعودية

٣- المداخن الفوماورل (Fomaroles) و السولفاتار (Solfataras):

السولفاتار:

هو عبارة عن فوهات براكين خامدة، ينبعث منها بخار الماء وغاز الهيدروجين والكبريت، درجة حرارته تتراوح بين (90°- 300°م)، تنتشر في معظم المناطق البُركانيَّة، وهذه بمجرَّد تعرُّضها للجو وملامستها للغلاف الغازي، يُرسِّب منها معدن الكبريت حول فوهة البُركان، وقد تتراكم هذه الرواسب على شكل طبقات سميكة صالحة للاستغلال، يكثُر هذا النوع من البراكين في جنوبي إيطاليا.



صورة رقم (١٢٢): السولفاتار
في (en Hverir) في إيسلندة

الفوماورل (Fomaroles) مُشتَّق من (Fomare) معناها يُدخِّن:

وهي بخار الماء مُختلط بثاني أكسيد الكربون والهيدروجين والكلور والميتان، تتراوح حرارتها بين (50°- 600°م)، ويُعدُّ واحداً من أهم مصادر الطاقة، أمَّا أهم مناطق وجود هذا النوع في

نيوزيلندا، وإيطاليا، والولايات المُتحدة الأمريكيَّة، تتكوَّن المداخن نتيجة وجود خزَّان للمياه الجوفيَّة بالقرب من مصدر حراري، فترتفع درجة حرارة المياه، ويزداد حجمها، وتتسرَّب الغازات والأبخرة من خلال الشقوق والفواصل.



صورة رقم (١٢٣): الفوماورل في ويلستون
– الولايات المتحدة الأمريكيَة –

٤- نافورات الجيزر (Geyser) والينابيع الحارة:

يُشاهد هذا النوع من النافورات في المناطق التي يكون النشاط البُركاني فيها في مراحله النهائيَّة، وهي نافورة تتفجَّر على مراحل مكوِّنة أعمدة من الأبخرة والمياه الساخنة، مصدر المياه الحارة هو تسرُّب المياه ووصولها إلى أعماق كبيرة، درجة حرارتها عالية جدًّا، ممَّا يزيد من حجمها وضغطها مُحاولة إيجاد طريق للوصول إلى السطح، وقد تُذيب المياه عند خروجها بعض الأملاح والمعادن مثل أملاح الكبريت التي لها قيمة طبيَّة، (شكل ١٤١).

وهي تشبه البُركان من حيث وجود الفوهة والمدخنة والمخروط المُتشكِّل من رواسب معدنيَّة، ولكن الفرق في الحجم كبير يتركَّز وجودها في عدَّة مناطق كجزيرة إيسلندة، وجزيرة نيوزيلندا، ومنطقة بلستون بارك، وفي الأخيرة نافورَّة تُسمَّى (أولد فيثفول)، تنفجر كُل (66) دقيقة، وتقذف بعمود من المياه الحارَّة ارتفاعه (30– 50 م)، وينبثق منها مع كُل انفجار كميَّة كبيرة من المياه.



شكل رقم (١٤١): نافورة الجيزر

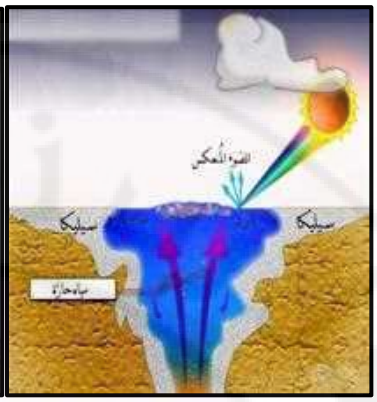


صورة رقم (١٢٤): نافورة الجيزر في يلوستون الولايات المتحدة

٥- العيون الحارة (Hot Spring):

وهي عيون من المياه الجوفيَّة، تندفع من باطن الأرض ذات درجة حرارة عالية، تكون في بعض الأحيان مُشبعة بمواد معدنية مثل الكبريت والسليكا والكالسيت أو الأملاح الأخرى، وقد تتسرَّب هذه الأملاح حول فوهة الينبوع بعد تبخُّر مياهها، وتكوُّن الرواسب مخاريط قمعيَّة الشكل، أو مُدرجَّات مُتتابعة من الترافرتين، يضم كُل مُدرَّج منها حوضاً تتجمَّع فيه المياه الحارَّة قبل انسيابها إلى المُدرَّج الأسفل، وتندفع عن طريق الشقوق، أو أسطح الصدوع المُختلفة، وقد يكون اندفاع المياه قويَّاً مُشكلَّةً فورات حارَّة، (شكل١٤٢).

يكثُر وجود هذا النوع من الينابيع بجوار المداخن في الأقاليم البُركانيَّة، ويُستغل استغلالاً اقتصاديَّاً كما هي الحال في منطقة الحمَّة جنوبي غرب سوريا.



شكل رقم (١٤٢): العيون الحارّة



صورة رقم (١٢٥): العيون الحارّة في اليابان

٦- البراكين الطينية (Mud Volcanoes):

وهي رواسب طينيَّة تنبعث من باطن الأرض، مصحوبة بغازات كربونيَّة أو هيدروكربونيَّة، وهي أشباه براكين ظاهريَّة النشأة (Exogenous origin)، وهي تبدو على شكل مخاريط ذات فوهات يتدفَّق منها الطين والغازات البترولية، تتراوح أحجامها بين بضعة أمتار إلى مئات الأمتار، تتألَّف هذه البراكين من حُطام صخري اختلط بالمواد الطينيَّة مُترابط بملاط، تختلط المواد الطينيَّة بمياهٍ تحتوي على أملاح كلوريد الصوديوم، واليود، والبرومين، والبورون، يفيض هذا الخليط الحار بهدوء من خلال الفوهة.

ينتشر هذا النوع من البراكين في حقول البترول، وتوجد فوق عيوب في الطبقات السطحيَّة من القشرة الأرضيَّة، وتُعدُّ من العلامات الدَّالة على وجود زيت البترول في باطن الأرض.



صورة رقم (١٢٦): براكين طينيَّة في أذربيجان

أخيراً هُناك بعض الأشكال البُركانيَّة الكاذبة الشبيهة بالفوهات البُركانيَّة:

أ- منها الفوهات النيزكيَّة ب- والقُباب الملحيَّة.



صورة رقم (١٢٧): فوهة نيزكيَّة في الأغواط – الجزائر-



صورة رقم (١٢٨): القباب الملحيَّة في بوليفيا

التوزع الجغرافي للبراكين والتضاريس البركانية:

يزيد عدد البراكين الناشطة عن (500) بُركان ما عدا الآلاف من البراكين الخامدة، ويُقدَّر عددها بنحو (4000) بُركان، تقع معظم هذه البراكين إمَّا على حواف أحواض البحار والمُحيطات العميقة أو بالقرب منها، وإمَّا في مناطق الضعف في القشرة الأرضيَّة.

يمكن القول بصفة عامَّة إنَّ التوزع الجغرافي للبراكين ينحصر في عدَّة نطاقات هي:

١- نطاق المُحيط الهادي:

وهو أهم النطاقات البُركانيَّة في العالم، يمتَّد حول المُحيط الهادي، لذا يُسمَّى بـ (دائرة النار) (Ringe of Fire)، ففي هذا النطاق يتركَّز نحو (88%) من براكين العالم، منها الناشط والخامد والهادئ.

يمتَّد هذا النطاق من جنوبي أمريكا الجنوبيَّة نحو الشمال على طول جبال الأنديز مروراً بأمريكا الوسطى والمكسيك حتَّى آلاسكا.

ومن هُنَّا يواصل هذا النطاق امتداده في جزر الوشيان، وشبه جزيرة كامشتكا، ثُمَّ جزر كوريل، اليابان والفلبيِّن، تتركَّز مُعظم البراكين على حافَّات الكتل الانكساريَّة أو الالتواءات الجبليَّة أو تجاور أعلى منطقة في العالم مع أخفض منطقة في العالم.

٢- نطاق البحر المتوسط:

ويشمُل المُقعَّر الجيولوجي الألبي، ابتداءً من الحدود الغربيَّة لأوروبا، حتَّى النهاية الجنوبيَّة الشرقيَّة لآسيا، ليشمُل أرخبيل الملايو، وتتميَّز أوروبا الوسطى والجنوبيَّة الواقعة ضمن هذا النطاق ببراكينها الخامدة، كما هي الحال في إقليم أوفريي /فرنسا/، وبعض البراكين الناشطة مثل بركان فيزوف في إيطاليا.

٣- نطاق المُحيط الأطلسي:

يضم هذا النطاق أكثر من (10%) من براكين العالم، يمتَّد من الشمال الغربي من المحيط الأطلسي قرب السواحل الأفريقية (براكين جزر كناري).

٤- نطاق المحيط الهندي:

يشمُل براكين شرقي إفريقيا التي لها علاقة بمنظومة الكسور العميقة، كمنطقة الأخدود الإفريقي الآسيوي، يُعرف هذا الإقليم بالغرابن الإفريقي الكبير حيث يكثُر على أطرافه النشاط البركاني، (شكل١٤٣).

نُشاهد ممَّا تقدَّم أنَّ للتضاريس الاندفاعيَّة أهميَّة جيومورفولوجيَّة بسبب تشابُه بُنيتها الصخريَّة وشكلها في جميع نطاقات الكرة الأرضيَّة، مع اختلاف الشروط المُناخيَّة، والأعمال

الجيومورفولوجيَّة ضمن كُل نطاق، وهذا ما يُسهِّل دراسة تطوُّر هذه التضاريس جيومورفولوجيَّاً، وإمكانيَّة تقدير التصوُّر المُستقبلي المُحتمل للتضاريس الاندفاعيَّة البُركانيَّة.



شكل رقم (١٤٣): توزُّع البراكين في العالم

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University



الفصل الرابع

الوحدات البنيويّة الكُبرى

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

الوحدات البنيويَّة الكُبرى وتطورها

مرَّت القشرة الأرضيَّة خلال تطوُّرها، بدوراتٍ مُحددَّة منها عمليَّات داخليَّة، ومنها عمليَّات ديناميكيَّة خارجيَّة.

أمَّا العمليَّات الداخليَّة (الباطنيَّة): فهي تُشكِّل المناطق الالتوائيَّة وغيرها من العمليَّات، ولا تكون هذه العمليَّات مُتشابهة تماماً فلكُلٍ منها خصائصه، وخطوطه البنيويَّة العريضة المُحددَّة ، لذلك يُمكن القول إنَّ تطوُّر القشرة الأرضيَّة يتم على شكل دائري، ولا يُمكن الإجابة على كثير من التساؤلات إلَّا من خلال دراسة الوحدات البنيويَّة الأساسيَّة في القشرة الأرضيَّة والتي تشمُل:



١- نطاقات المُقعرَّات الجيولوجيَّة (الجيوسينكلينالية) وتطوُّرها:

تُعدُّ النطاقات الجيوسينكلينالية من أهم الوحدات البنيويَّة الكُبرى في القشرة الأرضيَّة، وهي القاعدة التي تشكلَّت عليها فيما بعد الوحدات البنيويَّة الأُخرى، وتطوُّر المناطق الجيوسينكلينالية مُرتبط بنشوء الانكسارات العميقة في القشرة الأرضيَّة التي تُحدِّد خواص الجيوسينكلينال الخطيَّة، وتُعطيه مخططه العام، وقد تشكلَّت المناطق الجيوسينكلينالية، وتطوَّرت في مُختلف العصور

الجيولوجيَّة، ويُفهم تحت مصطلح جيوسينكلينالياًّة أكثر أجزاء القشرة الأرضيَّة حركة، إذ إنَّ الحركات التكتونيَّة فيها مُختلفة النماذج من حيث الشدَّة، والوضوح، والاتجاه.

وتتميَّز المناطق الجيوسينكلينالياًّة بالخصائص التالية:

١- تتميَّز المُقعرَّات الجيولوجيَّة بحركاتٍ عمودية كبيرة وسريعة، وذات مدى كبير يصل إلى مسافاتٍ عميقة في القشرة الأرضيَّة.

٢- تتوضَّع فيها كميَّات كبيرة من التوضُعات الصخريَّة، التي تبلُغ سماكتها (10 – 15 كم).

٣- التطوُّر الواسع للعمليَّات المهليَّة التي تظهر على شكل اندفاعات بُركانيَّة، إمَّا على شكل طفوح، أو على شكل مخاريط، أو اندساسات مُختلفة الأشكال للمُهل داخل القشرة الأرضيَّة.

٤- التحوُّل الشديد للصخور، ويظهر هُنا جميع أشكال التحوُّل الإقليمي والتماسي، والديناميكي.

٥- تُشكِّل مناطق تتجمَّع فيها المواد الأوليَّة ذات العلاقة مع المهل داخل القشرة الأرضيَّة.

٦- انتشار الهزَّات الأرضيَّة العنيفة.

٧- المُعدَّل الحراري[١] المُرتفع (يُصبح مُعدَّل ارتفاع درجة الحرارة درجة مئويَّة واحدة كُل (– 30 15) متر.

٨- البُنية الالتوائيَّة القويَّة بشكلٍ عام، وتُشكِّل منظومة التشوُّهات الانقطاعيَّة المُرتبطة بهذه الالتواءات، وتتميَّز المُقعرَّات الجيولوجيَّة بالالتواءات الخطيَّة والمائلة.

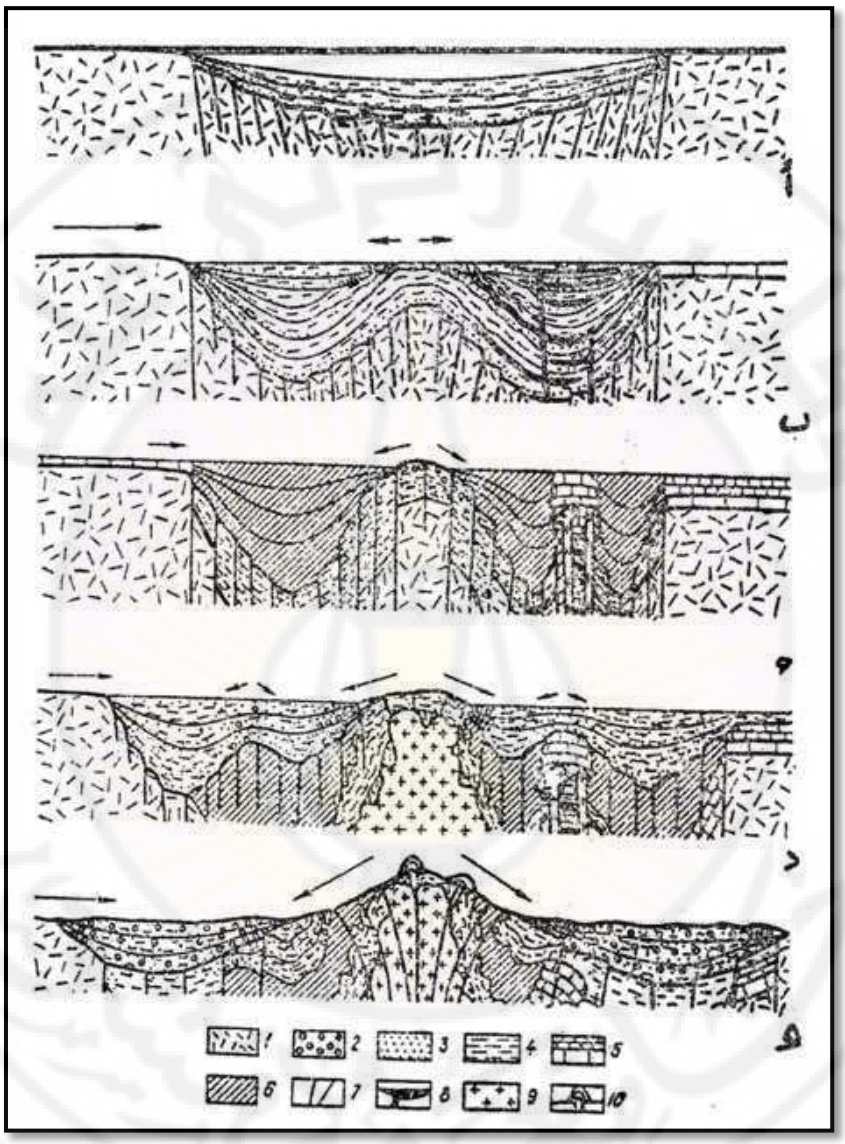
٩- النهوض العنيف والملحوظ في المرحلة النهائيَّة في تطوُّر المُقعرَّات الجيولوجيَّة، وتُشكِّل السلاسل الجبليَّة الالتوائيَّة مكان المُقعَّر الجيولوجي.

١٠- تتميَّز التشكيلات الصخريَّة بتركيبها الخاص.

١١- تعرُّض المُرتفعات الجبليَّة للعوامل الخارجيَّة (التعرية) من فور نهوضها.

مراحل تطوُّر المناطق الجيوسينكلينالياًّة خلال دورة تكتونيَّة واحدة تمرُّ بعدَّة مراحل هي: (شكل ١٤٤):

[١] - المعدَّل الحراري: هي المسافة العمودية داخل القشرة الأرضيَّة التي ترتفع فيها درجة الحرارة درجة مئويَّة واحدة.



شكل رقم (١٤٤): مُخطَّط تطوُّر المنظومة الجيوسينكلينالِيَّة

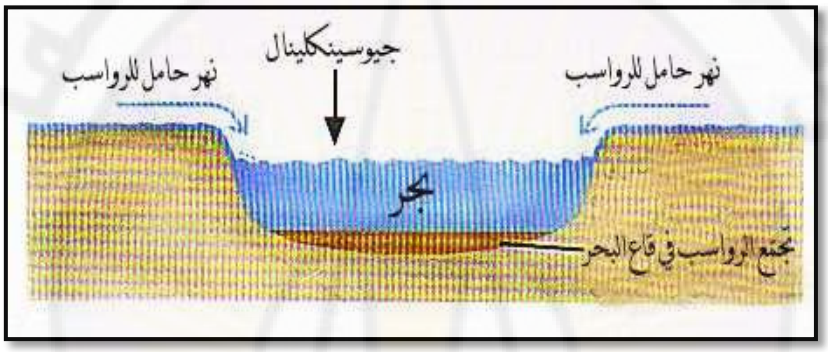
١- الأساس أو الركيزة، ٢- كونغلوميرا، ٣- توضُّعات رمليَّة واليفروليت، ٤- غضار، ٥- أحجار كلسيَّة، ٦- فليش، ٧- تشوُّهات انقطاعيَّة (انكسارات)، ٨- اندساسات وتدفُّقات للصخور الأساسيَّة، ٩- غرانيت وبلاغيوغرانيت، ١٠- تشكيلات بُركانيَّة.

تُشير الأسهم إلى الاتجاه والشدَّة النسبيَّة للانتقال

المرحلة الأولى:

ويكون الجيوسينكلينال على شكل مُقعَّر واسع يغمرُه البحر، ولا يكون للنهوضات التي تقسم قعرهُ أي دور، أو تكون على شكل تقبُّبَات طفيفة.

وتمتاز هذه المرحلة بأنَّها تُشكِّل مرحلة الشباب للجيوسينكلينَّال، وتراكُم الرواسب التي تحملها الأنهار القادمة من السهول المُجاورة، أو المناطق قليلة الارتفاع، ويستمِّر التطوُّر في هذه المرحلة إلى أن يُصبح المُقعَّر الواسع مجموعة من المُقعرَّات الأصغر (شكل١٤٥).

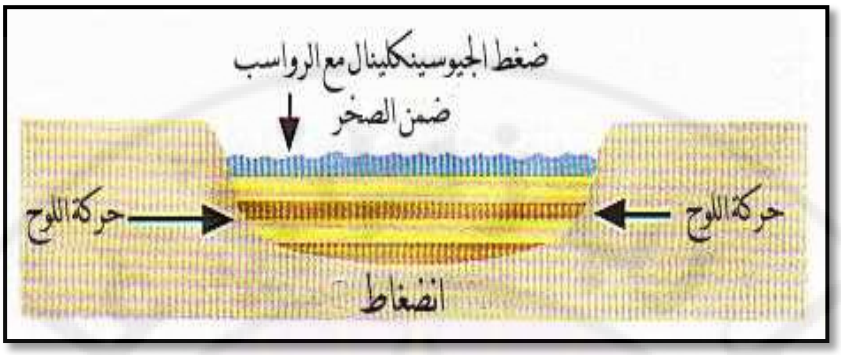


شكل رقم (١٤٥): مرحلة الشباب من تطوُّر الجيوسينكلينال

وتستمِّر في كُل مكان عمليَّة ترسيب المواد الغُضاريَّة، والغُضاريَّة الرمليَّة، إذ تبلُغ في هذه المرحلة أكبر سماكاتها داخل المُقعَّر، ثُمَّ تتحوَّل هذه المواد تحت تأثير عمليَّات التحوُّل التالية إلى صفاح غضاري قاسي، أمَّا عمليَّة ظهور النشاط المُهلي في بعض المُقعرَّات المُتشكلَّة بعد النهوض فيتم بشكلٍ مُتباين، وأخيراً المرحلة الأولى بالاندفاعات ذات الصخور الأساسيَّة، وفوق الأساسيَّة.

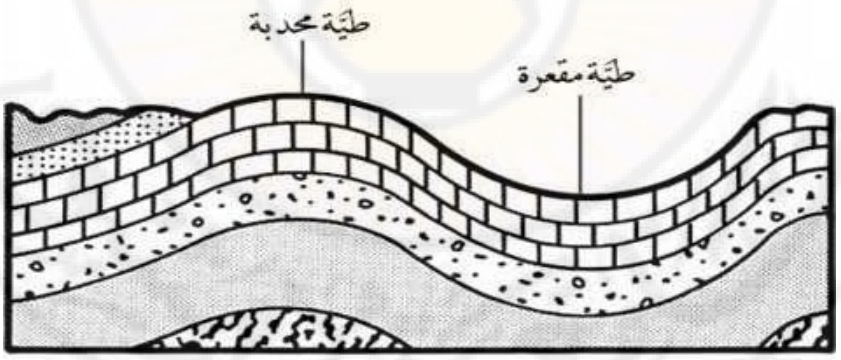
المرحلة الثانية:

ويُمكن أن نُطلق على هذه المرحلة مرحلة النضج، حسب مفهوم الدورات، وتتميَّز باستمرار تقعُّر الجيوسينكلينال، واستمرار الحركات التكتونيَّة في تحديدها للمنطقة بشكلٍ واضح (شكل١٤٦).



شكل رقم (١٤٦): مرحلة النضج من تطوُّر الجيوسينكلينال

ففي هذه المرحلة تنقسم المنطقة الجيوسينكلينالية إلى سلسلة من المُقعرَّات والمُحدَّبات المحصورة بمجموعة من الانكسارات الكبيرة، ونتيجةً لذلك تشكلَّت مجموعة من الجُزر وفق امتداد خطِّي تحتل أعالي المُحدَّبات، أمَّا مكان المُقعرَّات فتُشكِّل المضائق البحريَّة، أمَّا في المُقعرَّات التي تتطوَّر بشكلٍ عنيف فتتراكم سماكاتٍ مُعيَّنة من التوضُعات يُطلق عليها اسم الفليش[١].



[١] - الفليش: تشكيلات رسوبيَّة بحريَّة بشكل أساسي، تتميَّز بتناوُب ثلاث أشكال إلى أربعة من التوضُّعات الصخريَّة، وكُل مجموعة من هذه الطبقات مُختلفة الأشكال تُسمَّى دورة، وفي كُل دورة تتشكَّل التوضعات الحُبيبيَّة الكبيرة في الأسفل، والأكثر نعومة ودقة في الأعلى، وتُقاس سماكة كُل شكل من التوضُّعات بعشرات السنتمترات وحتَّى أقل، أمَّا سماكة جميع التوضُّعات فتبلُغ مئات السنتمترات.

وفي هذه المرحلة تبدأ الطبقات الصخريَّة بالانحناء والالتواء على شكل طيَّات، ويظهر المهل على شكل لابة ذات تركيب أكثر حامضيَّة عمَّا كانت عليه في المرحلة الأولى، وفي هذه المرحلة تبدأ الرسوبات القاريَّة بالتشكُّل، وتنشأ على نطاق واسع الصخور المُهليَّة المُرتبط تدفُّقها بعمليَّة الطغيان البحري على الأقسام الهامشيَة من الركائز (العتبات القاريَّة).

المرحلة الثالثة:

يتغيَّر تطوُّر المنطقة الجيوسينكلينياليَّة تطوُّراً كاملاً وملحوظاً، فالهبوط العام الذي كان يُميِّز المرحلتين السابقتين يتحوَّل هُنا إلى نهوض، وأوَّل عمليَّة نهوض وأعنفها تكون في الأجزاء المركزيَّة من الجيوسينكلينال، حيثُ تتشكَّل المُرتفعات، كما يُطلق عليها اسم المُرتفعات المركزيَّة. وتستمر عمليَّة الالتواءات العنيفة حتَّى تشمُل المُرتفعات بشكلٍ تدريجي كامل المنطقة الجيوسينكلينياليَّة، ولا يبعد منها إلَّا مناطق صغيرة على شكل بحار ضحلة (لاغون)، وبصورةٍ استثنائيَّة تُشكِّل الأقسام الجانبيَّة للمنطقة الجيوسينكلينياليَّة ما يُسمَّى المُقعرَّات الجانبيَّة أو الهامشيَّة، أو المُقعرَّات ما بين الجبليَّة، وبسبب تزايُد النهوض المركزي تخضع التوضُّعات الصخريَّة إلى عمليَّة التحوُّل الإقليمي والتبلوُّر، كما تأخُذ التضاريس في هذه المرحلة شكلها ونظامها التكتوني، وتتوافق هذه المرحلة مع مرحلة الشيخوخة، (شكل١٤٧).



شكل رقم (١٤٧): مرحلة الشيخوخة من تطوُّر الجيوسينكلينال

المرحلة الرابعة:

وتتميَّز بشدَّة الحركات التكتونيَّة الإيجابيَّة (الصاعدة) في القشرة االأرضيَّة التي ينجُم عنها نهوض كبير وتُشكِّل القمم الجبليَّة، وتسارع غوص المُقعرَّات الهامشيَّة والمُقعرَّات ما بين الجبليَّة، ومع النهوض الكبير للقمم الجبليَّة يتجدَّد نشاط الأنهار، وبالتالي تحمُل كميَّات كبيرة من المواد الصخريَّة وتُرسبها في هذه المُقعرَّات، وأهم هذه المواد الكونغلوميرات (الرصيص)، والصخور الرمليَّة والغضاريَّة، وكُلَّها توضُّعات قاريَّة، وتترافق عمليَّة نهوض الجبال بعمليَّات تصدُعيَّة وانكساريَّة جديدة تُرافقها اندفاعات بُركانيَّة إلى سطح الأرض، ويُكمل الجيوسينكلينال دورتهُ التطوريَّة الطويلة بتحوُّلَه إلى منطقة جبليَّة التوائيَّة مُعقدة التركيب، وبهذه العمليَّة يحدُث ما يُطلق عليه عادةً موت الجيوسينكلينال، أو مرحلة الهرم الجيوسينكلينالي.

الجيوسينكلينال في الوقت الحاضر:

يُمكن أن يدخُل مجموعة السينكلينالات المُعاصرة منظومات أقواس الجُزر المُحيطة، بالمُحيط الهادي والبحار الهامشيَّة بها، والوهدات (ميزاب) البحريَّة، مثل قوس كامشتكا جزر الكوريل في اليابان، وقوس الوتسكي والانتيل، وجميع هذه المناطق تشهد حركة تكتونيَّة، ونشاط بُركاني وهزَّات أرضيَّة قويَّة، وتوجد ظروف مُشابهة في مناطق أُخرى لأقواس الجزر مثل الأرخبيل الأندونيسي، وغيره.

كما أنَّ عدداً من الباحثين يضمُّون إلى مجموعة السيكلينالات المُعاصرة وهدة البحر المتوسط، والبحر الأسود والقسم الجنوبي لبحر قزوين، حيثُ تتميَّز هذه المناطق بهزَّات أرضيَّة قويَّة، وباندفاعات بُركانيَّة موضُعيَّة.

٢- مراحل العمليَّات الالتوائيَّة وتشكُّل الجبال:

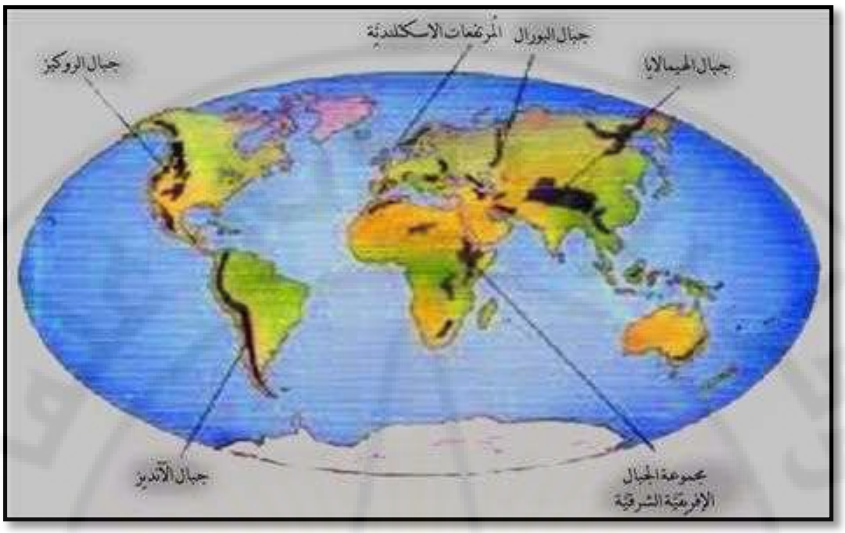
يتميَّز تاريخ تطوُّر الكرة الأرضيَّة بعدَّة عصور تميَّزت بعمليَّاتٍ التوائيَّة عنيفة وتُشكِّل الجبال، وتظهر الجبال الالتوائيَّة كسلاسل كبيرة تمتَّد على طول خطوط مستطيلة أو أقواس.

إنَّ الالتواءات التي حدثت في مرحلة ما قبل الكامبري أدَّت إلى تغيُّر كامل في القشرة الأرضيَّة، وتحوُّل جميع الصخور التي تعود إلى ما قبل الآركي.

ولكن معارفنا عن هذه المرحلة واهية جدًّا لعدم توفُّر صخورها على سطح الأرض، أمَّا معرفتنا عن الحقب الأول فهي أفضل بكثير، ففي حقب ما قبل الكامبري حدثت التواءات البايكاليَّة التي ظهرت في أواخر هذا الحقب، وانتهت في الكامبري.

وما يُميِّز هذه المرحلة تشكُّل البُنيَّة الالتوائيَّة لسلسلة اليانيساي وسايان الشرقي وجبال البايكال – باتومي، أمَّا المراحل المعروفة بشكلٍ جيِّد فهي الكاليدونية، والهرسينيَّة، والكمبرجية (المُحيط الهادي)، والحركات الألبيَّة، وإنَّ نُظُم الجبال الالتوائيَّة تمتَّد على هوامش الدروع، وتكون الجبال القديمة بشكلٍ عام أقل ارتفاعاً، والجديدة أكثر ارتفاعاً، وقد حصرنا النُظُم الالتوائيَّة السابقة حسب تاريخ الحركات التي نشأت فيها كما يلي:





شكل رقم (١٤٨): خارطة جبال العالم

١- الحركات الالتوائيَّة الكاليدونيَّة (Calidonian):

وتُعدُّ أقدم الحركات الرئيسة ولا تزال آثارها باقية حتَّى الآن، حدثت هذه الحركات في بداية الأزمنة الأولى، واستمرَّت حتَّى أواسطها، وقد لوحظت فيها عدَّة مراحل ظهرت في فترات مُختلفة على أجزاء مُعيَّنة من القشرة الأرضيَّة، وأوسع انتشار لمرحلة الالتواءات الكاليدونيَّة كان في نهاية الدور السيلوري، في هذه الفترة تشكلَّت البُنيَّة الالتوائيَّة للجبال الاسكندنافيَّة، وجبال شرقي غرينلندوسان ويلز في استراليا والتاي وسيان الغربيَّة والأقواس الغربيَّة لجبال تيان شان، أمَّا الآن فتُمثِّل هذه الجبال في شمالي اسكتلندة وشمالي غرب أوروبا، وقد كانت هذه الجبال عالية جدَّاً، ولكن عوامل التعرية لم تبق منها سوى مزق.



صورة رقم (١٢٩): جبال اسكتلندة

٢- الحركات الالتوائيَّة الهرسينيَّة أو الفارسكيَّة (Varriscon):

سبق هذه الحركات فترة هدوء عملت فيها التعرية التي استمرَّت حتَّى بداية الدور الفحمي، ثُمَّ حدثت حركة بناء جبال جديدة امتدَّت حتَّى البيرمي، ومنه ظهرت هذه الحركات على أشدَّها، أُعطيت هذه الحركات أسماء مُختلفة كالحركات الهرسينيَّة (نسبةً إلى جبال الهارتز) شملت هذه الجبال مساحات واسعة في أوروبا، وقسماً كبيراً من كازاخستان، وآسيا الوسطى، ويُطلق على الالتواءات المُعاصرة لهذه الفترة في الجُزر البريطانيَّة وشمالي غرب فرنسا بالالتواءات الأرموريكيَّة (Armorrican)، ويرتبط بهذه الحركات تشكُّل البُنية الالتوائيَّة لجبال الأورال والتاي الجونغاريَّة والتاي وسيان والقوس الجنوبي لجبال تيان شان والفوج والغابة السوداء وبوهيميا والآبلاش وغيرها.



صورة رقم (١٣٠): جبال الأورال

٣- الحركات الالتوائيَّة في الحقب الثاني، أو الكمبرجيَّة، أو التواءات المُحيط الهادي:

ويُطلق عليها (الحركات الحديثة)، ظهرت بشكلٍ أساسي خلال الدورين الجوراسي والكريتاسي، ويرتبط مع هذه الحركات تشكُّل الجبال الالتوائيَّة في شمالي شرق سيبيريا والشرق الأقصى.



صورة رقم (١٣١): جبال في سيبيريا

٤- الحركات الالتوائيَّة والهيمالائيَّة:

وهي أحدث الحركات، ظهرت في الحقب الثالث، وفي هذا الزمن تشكلَّت جبال الألب والأبنين والكاربات والقفقاس وهضبة بامير وجبال هيمالايا وطوروس وغيرها من المنظمات الجبليَّة، وقد ارتفعت جبال الألب خلال النيوجين، والزمن الرابع (3 – 4 كم)، والقفقاس وهيمالايا (2 – 3 كم)، وبامير (5 كم)، وتتألَّف نطاقات الالتواءات الألبيَّة من عدد من السلاسل الجبليَّة المرتفعة والأحواض العميقة التي تتميَّز في أغلب الأحوال بنشاط قوِّي للهزَّات الأرضيَّة، وفي بعض الأماكن المُتفرقة بنشاط بركاني، وهذا دليل على استمرار الحركات التكتونيَّة في القشرة الأرضيَّة، ففي جبال الألب إذ ظهرت بشكلٍ واضح دورتان تكتونيَّتان:

- دورة هرسينيَّة كاملة انتهت بتشكُّل الجبال، وتراص القشرة الأرضيَّة، مع حدوث عمليَّات تالية سوت التضاريس وبرتها.
- الدورة الألبيَّة: التي تشكلَّت بموجبها التضاريس الحاليَّة لجبال الألب، وفي بعض الحالات الأخرى كما هي الحال في جبال الأورال، كانت الحركات الكاليدونيَّة الإيجابيَّة (الصاعدة) ضعيفة نسبيَّاً، وفي مطلع الحقب الأول ظهر غوص وكأنَّه تمهيد للحركات

الهرسينيَّة التي استكملت بتشكُّل الجبال الالتوائيَّة، وكأنَّه بهذا الشكل ظهرت دورة مزدوجة بدأ فيها الغوص في الكامبري، واستمرَّ حتَّى الفحمي المُبكِّر.



صورة رقم (١٣٢): جبال الألب

٣- الركائز (الصفائح) وتطوُّرها (Plat forme):

يُطلق اسم الركائز على الأقسام الثابتة نسبيّاً من القشرة الأرضيَّة، وهي سهول مائديَّة واسعة تحتل مساحات كبيرة في القشرة الأرضيَّة، مثل هذا الوضع يكون مُرتبطاً بمجموعة من الانكسارات الكبيرة التي تفصل هذه الركائز عن المناطق الجيوسينكلينياليَّة المُتحرِّكة والمُجاورة لها كما تفصلها عن الجبال أيضاً، ومن الأمثلة على تلك الركائز: ركيزة شرقي أوروبا، والركيزة السيبيريَّة، والركيزة العربيَّة، والركيزة الكنديَّة، وتتميَّز الركائز بما يلي:

أ- تتشكَّل بنية الركائز من نطاقين (طابقين) بنيويين أساسيين، نطاق أسفل، ونطاق أعلى.

النطاق الأسفل: تشكَّل في المرحلة الجيوسينكلينياليَّة (قبل المائديَّة)، ويتألَّف من صخور مُتحولة، تختلط مع مواد مهليَّة وتقطعها انكسارات عميقة، ويكون ملتوياً أحياناً على شكل قاعدة مُتراصَّة.

النطاق الأعلى: ويُشكِّل الغطاء الرسوبي المائدي الذي يُغطِّي الركيزة بسماكاتٍ مُتفاوتة، وفي الأماكن التي تتكشَّف فيها الركيزة على السطح، يُطلق على القسم الظاهر كما هو الحال في الدرع العربي غربي شبه الجزيرة العربيَّة اسم الترس، وهُما تعبيران مُترادفان كترس البلطيق شرقي أوروبا، ودرع الدان في السيبيرية، والدرع الكندي في قاعدة أمريكا الشماليَّة.

ب- تتميَّز الركائز (الصفائح) بحركاتٍ تكتونيَّة عموديَّة ضعيفة وبطيئة مداها قليل نسبيَّاً، فمُعدَّل سرعتها أقل بعشر مرَّات عمَّا هي عليه في المناطق الجيوسينكلينياليَّة، وترتبط مع خاصيَّة التبدُّل والتغيُّر للحركات التكتونيَّة في هذه المناطق عمليَّات الطغيان، والانحسار البحري عليها.

ج- بالمُقارنة مع سماكة الغطاء الرسوبي في المناطق الجيوسينكلينياليَّة، فإنَّ سماكته في الركائز ليست كبيرة (حتَّى 2 – 4 كم)، وهذا أقل ممَّا هو في المناطق الجيوسينكلينياليَّة بعدَّة مرَّات، لذلك فإنَّ تغيُّر الركائز، وتبدُّلها يكون تدريجيَّاً للغايَّة.

د- تركيب التوضُّعات الصخريَّة فوق الركيزة مُتجانس إلى حدٍّ ما:

ففي البحار المُحاطة بالركائز تتجمَّع فيها إمَّا التوضُّعات الكربونيَّة (الحجر الكلسي والدولوميت)، أو التوضُّعات الرمليَّة الغضاريَّة، وفي فترة انحسار البحر، تتجمَّع في المنطقة التي انحسر البحر عنها توضُّعات قاريَّة (بحريَّة، نهريَّة، مُستنقعيَّة، وفي ظروف المُناخ الجاف المحطومات الموضعيَّة الرمليَّة، وترسُّبات البحار الضحلة)، تتطوَّر بينها التوضُّعات الحمراء الطينيَّة الرمليَّة، ومركبَّات من التشكيلات الملحيَّة الجبسيَّة، وترتبط مع هذه المراحل من التطور القاري عمليَّة تشكُّل القشرة الحتيَّة المؤلَّفة من البوكسيت، والحديد، والنيكل.

و- يكون توضُّع الرسوبات فوق الركيزة بشكلٍ أُفقي، أو قريب من الأُفقي، ويتعقَّد تركيبه بطيَّات محليَّة ضعيفة.

هـ- لا يظهر المُهل إلَّا في الركائز المُتحرِّكة، وعلى امتداد الانكسارات الكبيرة، التي تقطع الركيزة مع الغطاء معاً، وتظهر العمليَّات المهليَّة في الركائز إمَّا في المراحل الأولى من تطوِّرها، وإمَّا في المرحلة التي تتوافق مع مرحلة تشكُّل الجبال والالتواءات في الجيوسينكلينالات المُجاورة، ففي هذه المرحلة يُمكن أن تتعرَّض الركيزة إلى نهوض واضح.

ي- لا يظهر التحوُّل الإقليمي في صخور الغطاء، وإنَّما التحوُّل المُمكن هو التحوُّل بالتماس فقط.

عمر الركائز (الصفائح):

يتحدَّد عمر الركائز بعمر الركيزة الملتويَّة (وتتوافق مع نهاية التطوُّر الجيوسينكليناليي) والغطاء الرسوبي معاً، ومن حيثُ العمر، فإنَّ الركيزة الملتوية تُقسم إلى قديمة، وشابَّة.

ومن الأمثلة على الركيزة القديمة: يُمكن ذكر ركيزة شرق أوروبا والركيزة السيبيرية، والركائز التي تشكلَّت في فترة ما قبل الكامبري، وعلى هذا الأساس يُطلق على الركائز غالباً ركائز ما قبل الكامبري، أمَّا بالنسبة إلى الركائز الشابَّة فيُمكن ذكر الركيزة الالتوائيَّة البايكاليَّة، أو الكاليدونيَّة، أو الهرسينيَّة.

يرتبط تطوُّر الركائز مع الدورات التكتونيَّة للمناطق الجيوسينكلينياليَّة المُجاورة، وقد حدَّد عدد من الباحثين القوانين العامَّة لهذا التطوُّر، فبعد مرحلة التطوُّر الجيوسينكالينالي تجري على سطح المنطقة الالتوائيَّة عمليَّات عنيفة من الحت والتعرية، غايتها التقليل من الارتفاع، وبالتالي تسويَّة التضاريس.

وتظهر في تطوُّر الركائز ضمن كُل دورة تكتونيَّة مرحلتان واضحتان، ففي المرحلة الأولى للركائز: يحدُث الطغيان البحري، وتراكُم الرسوبات البحريَّة، وبالانتقال إلى النصف الثاني من الدورة يتغيَّر اتجاه الحركة العموديَّة، وتبدأ بالنهوض، عندها يبدأ البحر بالانحسار التدريجي، وهي المرحلة الثانية للدورة التكتونيَّة، وبالنشاط التكتوني في الركائز، وتشكُّل النطاقات الأورغرافيَّة ما بعد المائديَّة.

إنَّ النطاقات الجبليَّة المُرتفعة لآسيا الوسطى التي تتكوَّن من جبال تيان شان، والتاي وسيان، وغيرها، لم تتشكَّل في المناطق الجيوسينكلينياليَّة مثل جبال الألب والقفقاس، وإنَّما كان يحتَّل مكانها ركائز، فجبال تيان شان التي درسها شولتس وجد أنَّ تيان شان الشمالي تحوَّل بعد الدورة الكاليدونيَّة، وتيان شان الجنوبي بعد الدورة الهرسينيَّة إلى مستوٍ مائدي، واستمرَّ خلال الحقبين الأول والثاني، إذ سُويَّت التضاريس نتيجة عمليَّات الحت والتعرية، وفي الحقب الثالث تعرَّض تيان شان إلى حركات تكتونيَّة أنهضتهُ، وشكلَّت الجبال الحاليَّة، وقد نظر إليها الباحثون كنموذج خاص لبُنيَّة القشرة الأرضيَّة، وأطلقوا عليها اسم الجبال المُتجدِّدة، أو النطاقات الجبليَّة بعد المائديَّة.

٤- النطاقات الانهداميَّة:

تنتسب النطاقات الانهداميَّة في القارَّات إلى نموذج خاص من البُنية للنطاقات الجبليَّة ما بعد المائديَّة، ومن الأمثلة عليها: يُمكن أن نذكُر النطاق الانهدامي البايكالي، الذي يبلُغ امتداده العام

(2500 كم)، (بُحيرة كوسو غول وحتَّى وحدة توكين)، إذ يُشكِّل منظومة من المنخفضات الانهداميَّة مُعقدة التركيب، ومن بينها وهدة البايكال، التي تمتَّد نحو (800 كم)، ويبلُغ المدى العمودي لحركة الطبقات الصخريَّة نحو (5 كم)، وقد امتلأ هذا المُنخفض في قسمٍ هام منه بالتوضُّعات الثُلاثيَّة والرُباعيَّة، التي تُحدِّد العمق الحالي لبحيرة بايكال بـ (1650 م).



صورة رقم (١٣٣): بحيرة بايكال في روسيا

والمثال الآخر المُهم عن المناطق الانهداميَّة هو: الانهدام الإفريقي الآسيوي، يمتَّد هذا الانهدام على مسافة تزيد على (3000 كم)، موازيةً للشاطئ الشرقي لإفريقيَّة، وينقسم إلى عدَّة مُنخفضات انهداميَّة (غرابن)، وتُفسَّر نشأته بأنَّها نتيجة لتمدد شرق القارة الإفريقيَّة بوساطة تكدُّس التيارات التصاعديَّة في منطقة البحر الأحمر، ثُمَّ تبع ذلك تمزُّق القشرة الأرضيَّة الكينيَّة، (شكل١٤٩).



شكل رقم (١٤٩): الانهدام الأفريقي

بدأ تشكُّل العقبة في الباليوجين، وقد وصل ارتفاعها في البليوسين إلى نحو (2 كم)، حدث في ذلك الوقت هبوط عام للركيزة، بلغ في الشمال والجنوب (300–400 م)، أمَّا في الوسط فقد بلغ (2.5 كم)، والهبوط العام أكثر من (4000 م).

وتُشكِّل الانكسارات التي تُحيط بالغرابن حوافاً شديدة الانحدار باتجاه وسط الغرابن، وأكبر هذه الانكسارات هو فالق الغيس الذي تطوَّر على شكل سلسلة من التكسُّرات المُتتابعة، حيثُ بلغ مداه العمودي (3.5 كم)، ويُوجد في القسم المركزي للانهدام فوالق طولية قصيرة المدى، تُشكِّل شبكة كثيفة من الفوالق تحصُر بينها عدداً كبيراً من المُنخفضات (الغرابن) والضهور، ومن حيثُ الامتداد فلا تتجاوز هذه الفوالق عدَّة أمتار، أمَّا من حيث تشكُّلها فله علاقة مع عدم التجانُس في كثافة الصخور التي تُغطِّي الوادي الانهدامي.

والإزاحة مع الانقطاع ليس لها أهميَّة كبيرة، أمَّا من حيث قيمة الإزاحة العرضيَّة لجوانب الانهدام فإنَّا لا تزيد على أكثر من (10 كم)، وتُغطِّي المنطقة الانهداميَّة توضُّعات من المواد الرسوبيَّة

والبركانيَّة، إذ تبلُغ سماكة التشكيلات البُركانيَّة (2.5 كم)، وأنَّ المراكز البُركانيَّة مرتبطة بشكلٍ رئيس مع القسم الشمالي للانهدام.

يُوجد إلى الشمال من المنظومة الانهداميَّة الآسيويَّة، وضمن حدود الانهدام الاثيوبي المنخفض الانهدامي أفار مُثلثي الشكل الذي ينفصل ويتمدَّد بانهدام البحر الأحمر، وخليج عدن، ويُمكن أن يُشكِّل انهدام البحر الأحمر مثالاً عن الانهدام القاري الانتقالي من القاري إلى المُحيطي.



يُشكِّل النطاق الانهدامي للبحر الأحمر حوضاً تكتونيَّاً مُستقيماً وضيِّقاً، يبلُغ طوله (2000 كم)، وعرض البحر الأحمر (400 كم)، وعمقه أكثر من (2800 م)، وينقسم انهدام البحر الأحمر في نهايته الشماليَّة إلى مُنخفضين انهداميين يخرُجان على شكل زاوية حادَّة ليُشكِّلا خليج السويس، ومجموعة من المُنخفضات الانهداميَّة في فلسطين ولبنان وسورية، حيثُ يمتَّد من خليج العقبة باتجاه الشمال بشكلٍ مواز للساحل الشرقي للبحر المتوسط، (شكل١٥٠).



صورة رقم (١٣٤): خليج السويس

توجد أكبر سماكة للتوضُّعات الرسوبيَّة في الأقسام الهامشيَّة من البحر الأحمر (شليف)، حيثُ تبلُغ (4.2 كم)، أمَّا على جوانب الكتف المحوري في قاع البحر، فإنَّ الترسُّبات تتناقص إلى (1.8 كم)، وفي القاع المحوري لا تزيد على /1 كم/، أمَّا على الأقسام المُنحدرة من القاع فتختفي التوضُّعات الناعمة تماماً.



شكل رقم (١٥٠): مخطط تكتوني في غطاء الركيزة لإقليم البحر الأحمر، مع الإشارات إلى العناصر البنيوية وانتشار التوضعات البُركانية للحقب الثالث

١- المحاور النشيطة والمعاصرة للانكسارات، ٢- اتجاه الإزاحة، ٣- الأقاليم المُتشكلَّة حديثاً في عمليَّة إزاحة القشرة الأرضيَّة، ٤- مناطق التوضُّعات البركانيَّة، ٥- الفوالق الكبيرة مع الانتقال حسب الامتداد، ٦- الإزاحة (الإزاحة – اتجاه الإزاحة)، ٧- النطاق الالتوائي لجبال زاغروس، ٨- الصخور الكلسيَّة القلويَّة المرتبطة بغشاء شبه الجزيرة تحت الأوراسيَّة، ٩- نطاقات السدود البازلتيَّة، ١٠- الأفيولويت

يقع انهدام البحر الأحمر في القسم المحوري لنهوض النوبة – شبه الجزيرة العربيَّة، والذي يمتَّد على سطح الأرض بتكشُّف صخور ما قبل الكامبري على السطح (الدرع العربي) المكوِّنة للركيزة العربيَّة الإفريقيَّة، وجوانب هذا المُنخفض الانهدامي محاطة بانكسارات عميقة وطويلة تقطع

القاعدة بشكلٍ كامل، وتمتَّد على مدى (100–200 كم) بشكلٍ تتقابل فيه الانكسارات على الجانبين، وتُوجد أيضاً بشكلٍ مُتناظر بالنسبة إلى الخط المتوسِّط للبحر منظومتان كبيرتان من الفوالق تمرَّان بقرب الرصيف القاري على الجانبين وتمتَّدان نحو (15–40 كم)، وتبلُغ أعمق نقاط البحر الأحمر أكثر من (2000 م)، وتترافق مع الوهدة المحوريَّة المُحاطة بكتفين يقعان على عمق (800–900 م).

يرجع عُمر التوضُّعات الصخريَّة إلى الأوليغوسين الأعلى والرباعي، وتتوضَّع في القسم الأعلى من المقطع التشكيلات المرجانيَّة الهشَّة بسماكة تصل إلى (500 م)، وتتوضَّع تحتها الرسوبات الكلسيَّة كالمارن والدولوميت، ويُوجد تحت هذه التوضّعات الإيغوريت والبازلت اللذان يُغطيَّان الركيزة البلوريَّة مُباشرةً، ولكن غطاء الإيغوريت مثقب بشبكة كثيفة من الحواجز (الدايك) المهليَّة الأساسيَّة، وتبلُغ سماكة الإيغوريت (2 كم)، وسماكته مع البازلت (3 كم)، وأحياناً أكثر، ويرجع عمر التوضُّعات البركانيَّة والرسوبيَّة إلى ما بعد الإيوسين.

دُرست الوهدة المحوريَّة في عام (1979–1980 م) من قبل البعثة الروسية البحريَّة، وقد بلغ عرض هذه الوهدة في منطقة الدراسة (20 كم)، أمَّا من حيث تطورها قد تمَّ خلال (5) ملايين سنة الأخيرة، ويُشكِّل قاع الوهدة سطحاً شديد التقطيع تحتلَّه مجموعة كبيرة من الأحواض والسلاسل المُحاطة في أغلب الأحيان بجروفٍ بلوريَّة شديدة الانحدار، حيثُ يزيد انحدارها على (40°) خصوصاً الجدار العمودي الشرقي المُحيط بالوهدة المحورية، والذي يرتفع إلى (450 م). وقد حُددَّ عمر الجروف (الجدار) على أساس الغطاء اللابي القابع فوقها، ويُقدَّر بين (1) مليون سنة وَ (300.000) سنة، ويُوجد في قاع الوهدة المحورية سلسلة من البراكين الشابَّة التي يُقدَّر عمرها بعشرات الآلاف من السنين، وشكلَّت هذه البراكين مخاريط قليلة الارتفاع تحتَّل قممها فوهات على شكل كراتر، وتخرُج كميَّات من البازلت على شكل تكدُّسات لابيَّة فوق التي يعود إلى عُمر أقدم، ويفصلها عن البراكين النشيطة بحزام من البراكين الخامدة، يصل ارتفاعها إلى (30–50 م)، ولم تُغطى اللابة في القسم المحوري بالتوضعات الرسوبيَّة، وتظهر التوضعات الرسوبيَّة، وتزداد سماكتها كُلَّما ابتعدت عن الأقسام ذات النشاط البركاني الحديث حيث يتدفق البازلت.

والصفة المميِّزة لانهدام البحر الأحمر أنّ الوهدة المحورية تترافق مع محاليل حارّة (أكثر من 20) تزيد درجة حرارتها على(65°) حاملة للمعادن (السلكات ، النحاس، الرصاص ، الزنك، أكسيد الحديد ، المغنزيوم)، وهذه المواد الخام لها أهميَّة صناعيَّة، أمّا عن بداية هبوط القاعدة البلوريَّة وغوصها في منطقة البحر الأحمر فيرجع إلى دور الأوليغوسين – الميوسين، إذ إنَّه بلغ متوسط سرعة توسُّع الانهدام خلال (25) مليون السنة الأخيرة 0.75 سم/سنة (7.5 مم).

وتظهر الحركات العمودية على السدود (الدايك) الموجودة على أكتاف الوهدة المحوريَّة التي نشأت نتيجة المط، والوهدة المحورية نفسها تحتوي على قشرة نموذج محيطي بدأت تتطوَّر في البلوسين، وحسب رأي هيدلر فإنَّ تباعد الانهدام ترافق بحركة هامَّة نحو اليسار، تتشكَّل بفعل هذه الحركة المُتجهة بزاوية (45°) بالنسبة للوهدة الانهداميَّة، ونتيجة لوجود شبه الجزيرة العربية (الركيزة) تحوَّل إلى الشمال، بمساحة لا تقل عن (90 كم)، حيثُ كان السبب في تشكُّل خليج عدن، كما شكَّلت الحدود الغربيَّة لامتداد شبه الجزيرة منظومات المُنخفضات الانهداميَّة في فلسطين ولبنان وسورية.

نطاقيَّة التضاريس الجبليَّة:

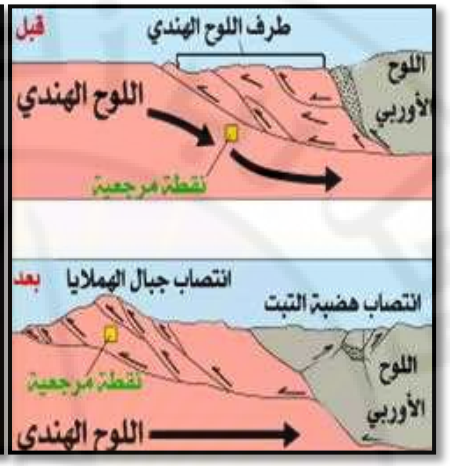
تُوجد مساحات من سطح الكرة الأرضيَّة لا بأس بها مشغولةً بالجبال العالية، وفي كل منظومة جبليَّة تُوجد تضاريس من الدرجة الثانية، وتضاريس من الدرجة الأولى الأشد ارتفاعاً.

فمجموعة الجبال من الدرجة الأولى تُشكِّل منظومات من السلاسل العالية الأحواض، وفي أثناء تعرُّض المنظومات الجبليَّة للعوامل الخارجيَّة، تُصبح مناطق واقعة تحت تأثير عمليَّات الحت والتعرية والتحزُّز، أمَّا الأحواض والمُنخفضات ما بين الجبليَّة، أو الواقعة ما قبل الجبال فتكوِّن مناطق تراكم وتجمُّع للمواد المُفتَّتة والمحتوية المنقولة من الجبال، ويُلاحظ في عدد من دول العالم التوسُّع التدريجي والمُستمر للمنظومات الجبليَّة على حساب المُنخفضات والأحواض ما بين الجبال وما قبلها، وتُلاحظ مثل هذه الصورة أثناء عملية تطوُّر المنظومات الجبليَّة شديدة الارتفاع، فالقمم المتزايدة الحجم تجرُّ معها إلى الأعلى الأحواض الجبليَّة المجاورة لها وتتوسَّع على حسابها، ونتيجةً لذلك تقلَّصت الأحواض الجبليَّة حتى الوقت الحاضر، وذلك بالمقارنة مع أبعادها التي كانت عليها في بداية المرحلة الأولى لتشكُّل المنظومة الجبليَّة، فضمن حدود

الأحـواض والمُنخفضـات مـا بـين الجبليَّـة، ومـا قبـل الجبـال تكـون السـيادة لعمليَّـات التقـوُّس والانحناء.



صورة رقم (١٣٥): سلسلة جبليَّة



شكل رقم (١٥١): تشكُّل الجبال

وحسب معطيات بعض الباحثين تبيَّن أنَّ المناطق الجبليَّة تتوجَّه نحو النطاقيَّة الجيومورفولوجيَّة، وذلك بعلاقتها مع المراحل المحددة لظهورها فوق سطح الماء، وقد تمَّ تحديد أربعة نطاقات جيومورفولوجيَّة:

١- **النطاق الأول(الداخلي):** فيكون في الجزء المركزي من النهوض العام للتضريس المتوسِّط قليل التحزُّز (مناطق من التضاريس العالية).

٢-**النطاق الثاني (الخارجي):** وهو النطاق المجاور للنطاق الأول، ويتوافق مع سفوح التضريس العام، ويتميَّز بالحت الشديد والأخاديد الحتيَّة العميقة، وهذا النطاق من أوسع النطاقات في المناطق الجبليَّة.

٣-**النطاق الثالث:** ويشمُل مناطق ما قبل الجبال المُحيطة بالمنظومة الجبليَّة، وتمتَّد على سفوح الأحواض، وتمثل مناطق على شكل مدرَّجات، وقد تشكَّلت مناطق ما قبل الجبال وأحواض ما بين الجبال، إذ إنَّ الأجزاء الهامشية من هذه الأحواض كانت قد ارتفعت وتوسَّعت أثناء النهوض العام.

٤- النطـاق الرابــع: ويشـمُل سـهول تحـت الجبـال، وتشـمُل الأقسـام التـي خضـعت للانحنـاء الأعظمي، وتراكُم التوضعات الصخريَّة.

تتميَّز البلاد الجبليَّة بنطاقيَّة مُناخيَّة عمودية (حسب الارتفاع)، يرتبط ظهورها بنوع مُعيَّن من العمليَّات الحتيَّة، وهُناك عوامل مُحددة لها علاقة مُترابطة فيما بينها، وهي التضاريس والمُناخ والحركات التكتونيَّة، والعلاقة بين هذه العوامل الثلاثة تُحدِّد شكل المنظومة الجبليَّة، وكذلك تجب الإشارة إلى أنَّ الخصائص النطاقيَّة العموديَّة للبلاد الجبليَّة مُتنوعة للغاية، حيثُ أنَّها تُشكِّل انعكاساً لمجموعة من العوامل أهمَّها الموقع الجُغرافي، وتاريخ تطوُّر كُل منطقة جبليَّة، وعلى أساس العلاقة بين هذه العوامل تتشكَّل تشابكات مُحددة للعمليَّات الخارجيَّة المُشكلة لتضاريس في مختلف النطاقات الجبليَّة، مثال عن هذه التشابُكات الألبي، ثُمَّ النطاق المُميز للمناطق القاحلة شديدة البرودة.

تُحدِّد النطاقيَّة العموديَّة في البلاد الجبليَّة قوانين تُشكِّل غطاء التُربة وتعاقُب تغيُّر نطاقاتها مع الارتفاع، ويُمكن أن يُقارن هذا التغيُّر إلى درجة مُعيَّنة حسب خطوط العرض الجُغرافي، فالنطاقيَّة الأُفقيَّة التي يظهر فيها بشكلٍ واضح أثر المُناخ ودوره في تطوُّر الغطاء النباتي، وتبدُّل مُختلف نماذج التُرب في أثناء الانتقال من شمال الكرة الأرضيَّة باتجاه خط الاستواء، ولكن هذا تقريبي بشكلٍ عام، فكلَّما كان ارتفاع المنظمة الجبليَّة أكبر كان ظهور النطاقيَّة العموديَّة للغطاء النباتي وللتُربة أوضح، وعلى العكس من ذلك فكُلَّما كان الجبل قليل الارتفاع كانت النطاقيَّة حسب الارتفاع قليلة الوضوح، ونظراً للانحدارات القويَّة لسفوح النطاقات العالية في منظومات الجبال العالية، فإنَّ أنسب الأماكن للأعمال الزراعيَّة هي نطاقات السهول ما قبل الجبليَّة، والسهول تحت الجبال، والجبال القديمة المحتوتة ذات الوديان المُستخدمة بشكلٍ جيد.

وبالعلاقة مع النطاقيَّة المُناخيَّة الفلكيَّة العامَّة (على مستوى كوكب الأرض)، فإنَّ نماذج التُرب الجبليَّة وتطوُّرها وتغيُّرها العمودي (مع الارتفاع) يكون مُتبايناً بين النطاقات الجغرافيَّة المُختلفة، فعلى سبيل المثال في البلاد الجبليَّة الواقعة ضمن العروض الجنوبيَّة تتطوَّر التُرب السمراء الداكنة، والتُرب واسعة الانتشار هي التُرب التي تتطوَّر على غطاء نباتي من المروج، وهذه التُرب مُميِّزة للنطاقات الجبليَّة العالية والألبيَّة وشبه الألبيَّة، وفي الوقت نفسه تنتشر في البلاد

الواقعة في العروض الشماليَّة على سبيل المثال: الأورال الشمالي أشكال مُختلفة من التُرب للتوندرا الجبليَّة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الباب الثالث (الجيولوجيَّة الفيزيائيَّة)

العمليَّات الديناميكيَّة الخارجيَّة المنشأ (Exody namics) التي تُسهم في تشكيل سطح اليابس

الفصل الأول: التجوية:

آ- التجوية الفيزيائيَّة

ب- التجوية الكيميائيَّة

ت- التجوية الحيويَّة

الفصل الثاني:

أ- عمل المياه الجوفيَّة

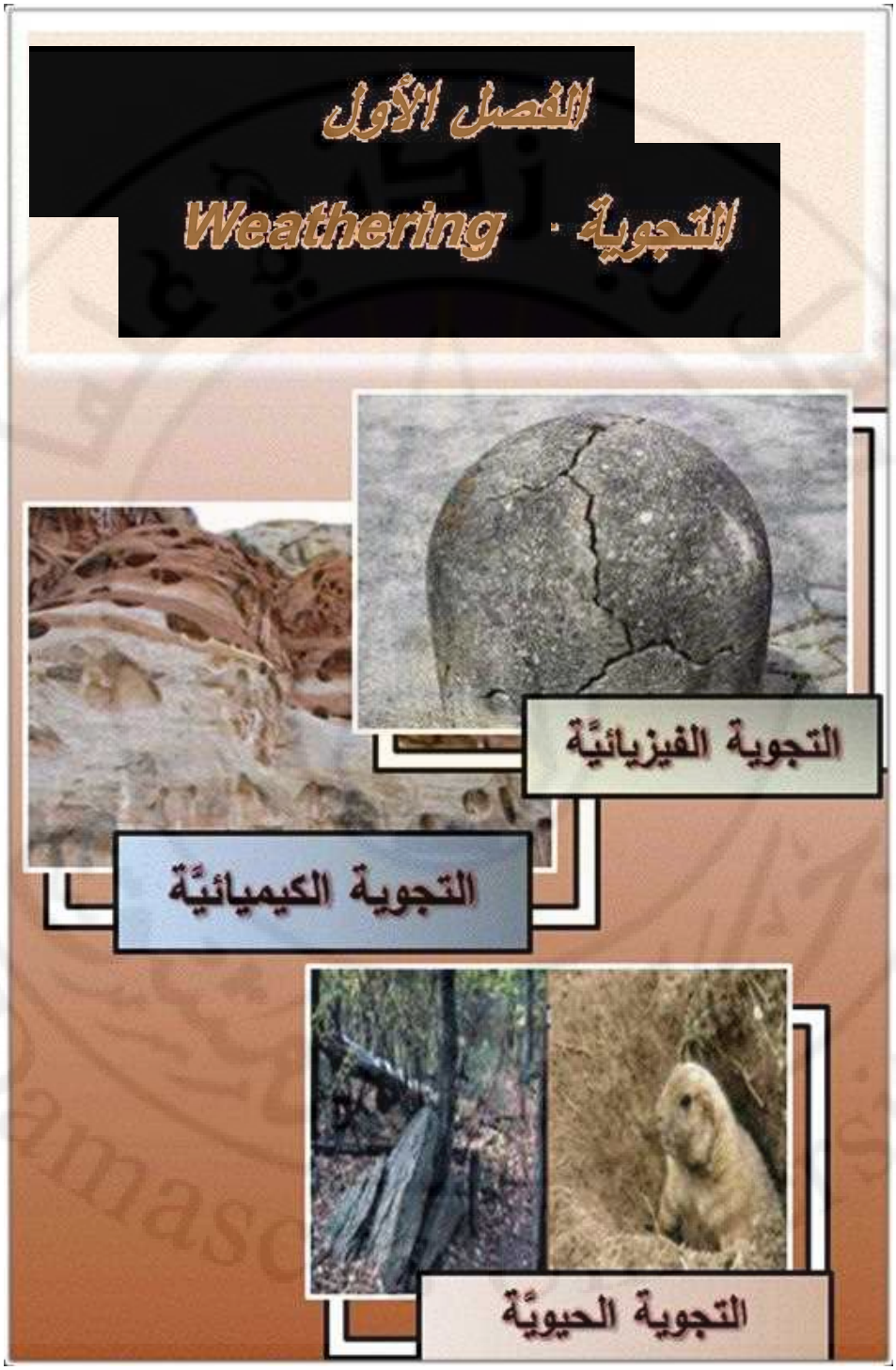
ب- عمل البُحيرات

ج- عمل المياه الجاريَّة

الفصل الثالث: العمل الجليدي

الفصل الرابع: العمل البحري

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University


الفصل الأول
التجوية - Weathering
التجوية الفيزيائيَّة
التجوية الكيميائيَّة
التجوية الحيويَّة

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الأول

التجوية Weathering

تعمل القوى الداخلية (Endodynamica) على إنشاء البناء الداخلي لتركيب وتضاريس القشرة الأرضيَّة، وهي المسؤولة عن تشكُّل الجبال والهضاب والمُنخفضات سواء بالالتواءات أو الانكسارات، أو النشاط البركاني والزلازل، وحالما تظهر هذه التضاريس على سطح الأرض تبدأ القوى الخارجية (Exodynamics) بالتأثير عليها مُتمثلةً في التجوية والتعرية والحت.

التجوية (Weathering):

تُعدُّ التجوية بمثابة نشاط جيومورفولوجي بالغ الخطورة والحساسية والأهميَّة، تتعرَّض له صخور اليابسة نتيجةً لتماسها مع المُؤثرات الخارجيَّة لكلٍّ من الغلاف الغازي، والمائي، والحيوي.

وتُمثِّل التجوية النشاط الأولي (Initial) المسؤول عن تكوُّن التضاريس وتطوُرها (Morphogenese)، إذ إنَّ سرعة نشاط التجوية وأهميته يُحدِّد بشكلٍ أو بآخر سرعة نشاط عمليَّات الحت والتخديد اللاحقة وأهميتُها، كما أنَّ مُختلف أوجه أو نماذج التجوية هي المسؤولة عن ظهور مجموعة من المظاهر التضريسيَّة ابتداءً من التخاريب الصغيرة ومروراً بالخدوش الكارستيَّة (Lapies) انتهاءً بالكهوف والمغاور والشبكات المائيَّة الباطنيَّة ذات المنشأ الكارستي، وبعبارةٍ أُخرى: تُعد التجوية بمجملها بمثابة نشاط جيومورفولوجي يلعب دوراً جوهرياً في تكيُّف الكثير من المظاهر التضريسية بصورة مباشرة.

إنَّ العوامل والقوى وأوجه النشاط التي تُسبب التجوية هي في مُجملها عمليات (Processus) شديدة التعقيد والتشابك والتنوُّع، تكمُن أهميتها في التهيئة المباشرة للوسط أو للبيئة التي تُمارس فيها أوجه النشاط الجيومورفولوجي اللاحقة، بالإضافة إلى كونها مسؤولة بصورةٍ مباشرة عن تكوُّن التُرب وتطوُّرها، وتتباين نتائج التجوية من منطقة إلى أخرى تبعاً لـ:

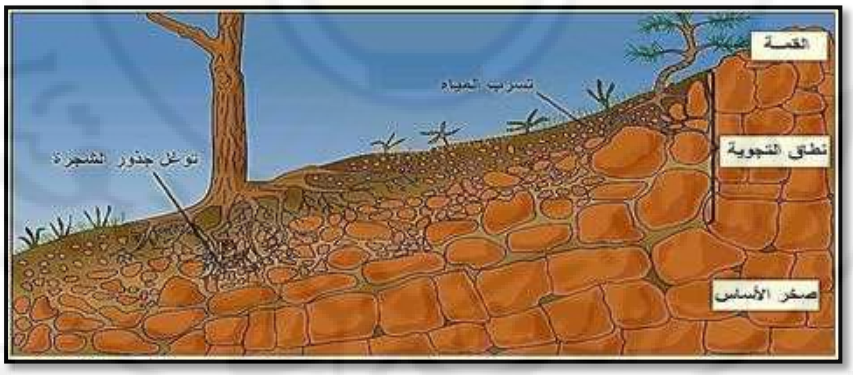
أ- تبدُّل نشاط التجوية السائد من جهة.

ب- تبدُّل الخصائص الطبيعية للوسط االذي تمَّت فيه التجوية من جهةٍ أخرى.



صورة رقم (١٣٦): أثر التجوية على الصخور

إنَّ القوى وأوجه النشاط التي تُسبب التجوية تؤدِّي إلى تفتُّت الصخور وتجزئتها وتفكيكها (Disintegration) إلى جزيئات أصغر، وإلى إضعاف صلابتها ودرجات تماسكها وتحويلها إلى أنقاض مختلفة الأحجام أو تُحللها (Decay) في مواضعها (Insitu) دون نقلها أو تحريكها. إنَّ تأثير الصخور بعوامل التجوية المُختلفة لا يقتصر على الطبقات السطحية لها، بل إنَّ العمق الذي تطاله هذه المؤثرات قد يصل إلى أكثر من (1000 م) في المناطق التي شهدت نشاطاً بنائياً تكتونياً بالغ الأهميَّة، (شكل١٥٢).



شكل رقم (١٥٢): نطاق التُربة

أمَّا **شدة التجوية** رهينة بمجموعة من العوامل أهمَّها:

أ- مجموعة العوامل الداخلية (بالنسبة للصخر): أو التي يمكن تلخيصها بالسحنة، كنسيج الصخر (Exfoliation)، والعوامل التكتونية كوجود المفاصل (Joints) والشقوق (Fissures) وسطوح الانفصال والانكسارات والبُنية الداخلية (Rock Structurs)، وحالة وضعيَّة التبلور، ولون الصخر، وتجانس تركيبه، وتجانس لونه.

ب- مجموعة العوامل الخارجية: والتي يُمكن تلخيصها بـ:

- العوامل المُناخية: كالحرارة والرطوبة.
- العوامل البيولوجيَّة: كوجود المواد العضوية التي تُسهم في تحلل الصخر بوسائل كيميائيَّة.

ج- درجة تفاعل العوامل آنفة الذكر: أو درجة تجاوب الصخر مع الظروف الخارجيَّة ومؤثراتها.

وما يجب الإشارة إليه منذُ البداية هو أنَّ الفصل والتمييز بين أشكال التجوية وأنواعها هو فصل وتمييز نظري بحت، لأنَّ أوجه النشاط التي تُسبب التجوية غالباً ما تعمل مُتضافرة معاً، وفي وقتٍ واحد، وترتبط التجوية بشكلٍ وثيق بالعوامل المُناخيَّة بالدرجة الأولى، مثال ظهور التجوية الكيميائيَّة في ظل الظروف المُناخيَّة المُعتدلة، وغيابها في المناطق الصحراوية الجافة، تبعاً لاختلاف الطرق التي تتآكل بواسطتها الصخور عند تعرُّضها لفعل التجوية.

يُمكن تصنيف التجوية عموماً إلى ثلاث نماذج رئيسة هي:

١- التجوية الفيزيائيَّة (□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□)

٢- التجوية الكيميائيَّة (□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□)

٣- التجوية الحيوية أو العضوية (□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□)

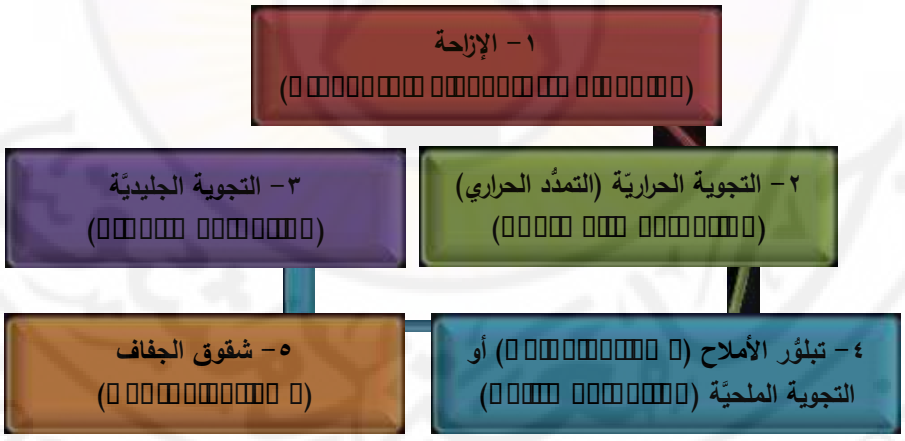
أولاً: التجوية الفيزيائيَّة (Physical Weathering):

تُسمَّى كذلك بالتجوية الميكانيكيَّة، وفيها يتم: تفكُّك الصخر وتفتُّته إلى جزيئاتٍ أصغر مع بقائه في مكانه، ومع المُحافظة على صفاته الفيزيائيَّة والكيميائيَّة، أي دون التأثير على مُكونات الصخر المعدنيَّة، ويُطلق عليها عملية **التفتيت (Rock Breaking)**.



صورة رقم (١٣٧): التجوية الفيزيائية – الميكانيكية

ويُمكن تحديد عدَّة أنماط للتجوية الفيزيائيَّة:



١- الإزاحة (Pressure Release or Unloading):

ويُقصد بها تحرُّر الصخر من ضغط صخور أُخرى كانت قابعة فوقه.

إنَّ الصخر عندما يتعرَّض لضغطٍ ما نتيجة لثقل الرواسب والتكتونيَّات التي فوقه تزداد قوَّة تماسكه من خلال شدَّة اقتراب جزيئاته من بعضها، كما هي الحال في صخور الغرانيت

والشيست وغيرها التي تكونت في أعماق بعيدة عن سطح الأرض، فعندما تتكشَّف هذه الصخور بإزالة ما فوقها من رواسب (Overlying – deposits) بفعل عمليَّات إمَّا خارجية كالتعرية والحت، أو بفعل حركات تكتونية، يضعف ويزول الثقل فوقها الذي أدَّى إلى ضغطها وزيادة تماسكها وقوَّتها، ينتُج عن ذلك انكشافها وتعرُضها للتمدُّد المرن (Elastic Expansion) بشكلٍ بطيء.



صورة رقم (١٣٨): الإزاحة

هذا التمدُّد سيكون في اتجاه رأسي متعامد مع مجموعة الشقوق والفواصل الأفقية (فواصل غطائية (Sheet Joints)، عندها تتقاطع الفواصل الرأسيَّة (Vertical Joints) مع الشقوق الأفقية تنفصل قطع الصخور بشكلٍ مكعَّبي (Cuboidal Jointin) مُحدثةً تفكُّك للصخور التي تُفصلها، يصحب هذه الظاهرة فرقعة تُشبه فرقعة (البوشار).



صورة رقم (١٣٩): التمدد الرأسي

٢- التجوية الحراريَّة (التمدُّد الحراري) (Thermal Weathering):

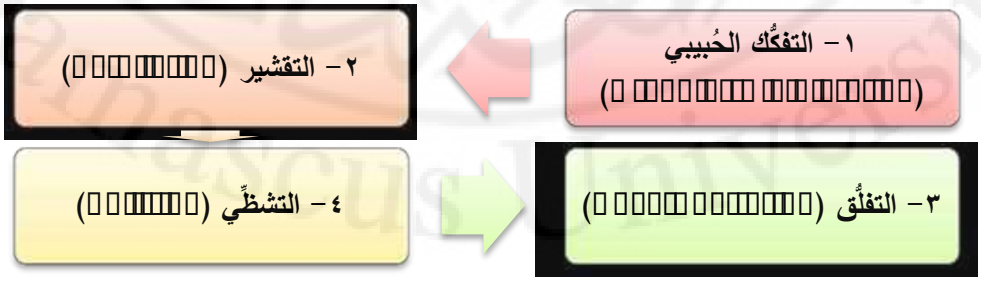
يعني بها تفتُّت الصخر وتجزؤه تحت تأثير التباينات الشديدة لدرجات الحرارة (التمدد والانكماش) دون تدخُّل الرُطوبة، وهو النتيجة المباشرة لتسخُّن الصخور وتبرُّدها تبعاً لاختلاف درجات الحرارة ومؤثِّرات الأشعة الشمسيَّة المُختلفة، ممَّا يؤدِّي إلى تفكُّك وتحطُّم الصخور (الحطاميَّة الحراريَّة – Thermclastis)، خصوصاً إذا كانت الصخور تتكوَّن من معادن ذات تمدُّد حراري مُتباين.



صورة رقم (١٤٠): التمدد الحراري للصخور

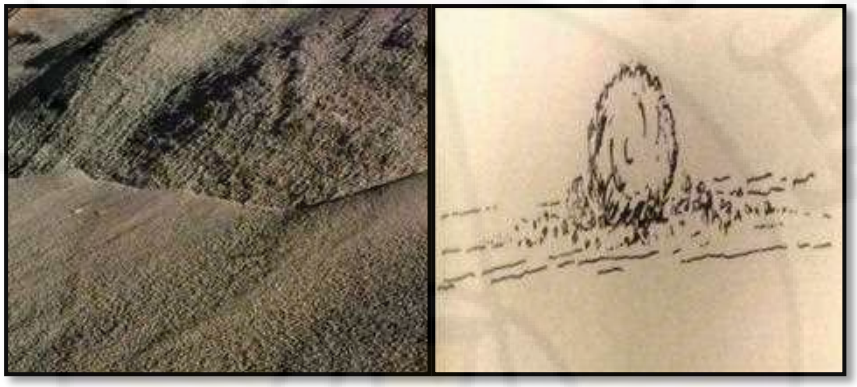
ذلك أنَّ ارتفاع درجات الحرارة نهاراً في كثير من المناطق الصحراوية الجافة إلى أكثر من (60°م) يؤدِّي إلى تمدُّد الصخور، وتعود فتتقلَّص ليلاً نتيجةً لانخفاض درجات الحرارة إلى الصفر أحياناً، إنَّ تتالي هذه العملية يؤدِّي إلى إضعاف بُنية الصخور وتماسكها.

ومن البديهي إنَّ الطبقات السطحية للصخور هي التي تتأثَّر بهذه الآلية بصورةٍ محسوسة، وتخُف حدَّة هذه المؤثرات باتجاه أعماق الصخر، ومع تكرار حدوث التقلُّص والتمدُّد تنفصل الطبقات السطحية عن جسم الصخور الأم، ويختلف شكل انفصال وتفكُّك هذه الصخور تبعاً لنسيج الصخور ونوعيَّتها التي تعرَّضت إلى الحرارة، ويكون على عدَّة أشكال هي:



١- التفكك الحُبيبي (Granular Disinleration):

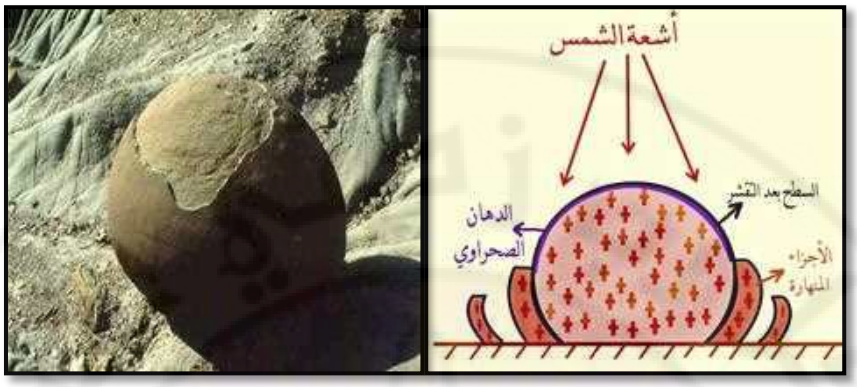
وهو انفراط (Exudation) أو تفكُّك حُبيبات الأسطح الخارجيَّة من الصخر بانفصال جُزيئات من هذا السطح على شكل بلورات مجتمعة أو مُنفردة، كما هو الحال عندما تتفرط صخور الغرانيت مكوِّنةً رواسب الأركوز (Arkose) على شكل مجموعات من الرمال الخشنة التي تكثُر في الصحاري، (شكل١٥٣).



شكل رقم (١٥٣): التفكك الحبيبي صورة رقم (١٤١): التفكك الحبيبي

٢- التقشير (Exfoliation):

وهو عبارة عن انفصال الصخور على شكل صفائح أو قشور رقيقة أو سميكة من أسطح الصخر، وتكثُر هذه الظاهرة في صخور الغرانيت والصوَّان، ويكون التقشُّر إمَّا على شكل تقشُّر بصلي (Onion Weathering) لأنَّ تقشُّرَه يُشبه قشور البصل، أو على شكل تقشُّر شريطي (Sheeting Weathering)، (شكل١٥٤).



شكل رقم (١٥٤): التقشُّر　　صورة رقم (١٤٢): التقشُّر

٣- التفلُّق (Rock Shattering):

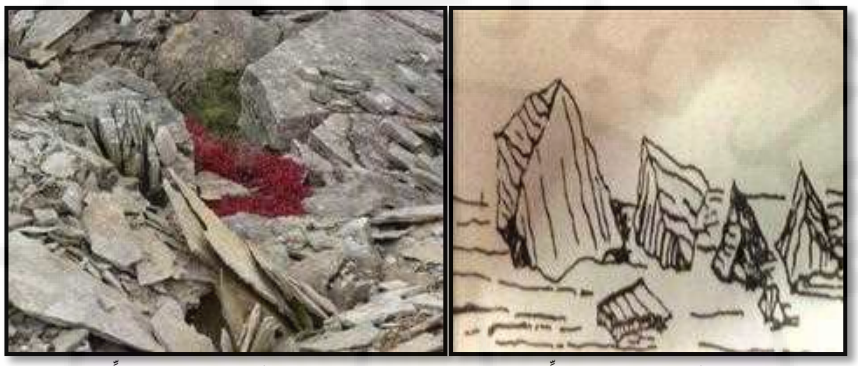
وهو تكسُّر أو انفصال جسم الصخر إلى أجزاء أصغر فأصغر، وانقسامه على طول خطوط المفاصل وسطوح الانفصال ومناطق الضعف، ويكون الانفصال عادةً إلى مجموعات كتلية أصغر مُختلفة الاتجاهات تتقاطع مع بعضها بزوايا مختلفة، تعود هذه الظاهرة إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الصخر بشكلٍ كبير صيفاً ثم تبرُّدهُ شتاءً وبسبب سقوط الأمطار الإعصاريَّة فجأة، ممَّا يؤدِّي إلى تفلُّق الصخور وتحوُّلها إلى حُطام وكتل أصغر تُحدِّدها الشقوق والمفاصل، (شكل١٥٥).



شكل رقم (١٥٥): التفلُّق　　صورة رقم (١٤٣): التفلُّق

٤- التشظِّي (Splitting):

ويُقصد بها تكسُّر وانشطار وتشظِّي الصخور إلى شرائح وشظايا على طول الشقوق والفواصل بزوايا حادَّة إلى كتل صغيرة (شكل١٥٦).



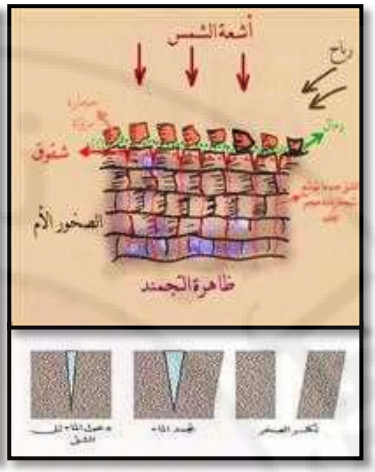
شكل رقم (١٥٦): التشظِّي

صورة رقم (١٤٤): التشظِّي

٣- التجوية الجليديَّة (Frost Weathering):

وتتمثَّل في تفتُّت الصخور وتجزئتها تحت تأثير تتالي دورة التجمُّد والذوبان، أي إنَّها ناجمة عن تأثير تباينات درجات الحرارة تحت وفوق الصفر المئوية، شريطة وجود الماء ضمن شقوق الصخر من مسامه (مفاصله)، حيثُ أنَّ انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوية يؤدِّي إلى تجمُّد الماء، وبالتالي ازدياد حجمه بنسب تصل إلى (10%) من حجمه الأولي قبل التجمُّد، نظراً لنمو بلورات الجليد وتزايُد حجمها مُسبِّباً ضغطاً على مساحات وفواصل الشقوق الصخريَّة وجدرانها المجاورة، ممَّا يؤدِّي إلى تمزُّقها ثمَّ تفتُّتها.

إن تتالي دورة التجمُّد والذوبان (Geldegel) لعددٍ كبير من المرَّات هو المسؤول عن تفتُّت الصخور إلى أعماق أكبر، وعلى هذا فإنَّ تجمُّد السطح الطويل الأمد دون انفكاك وذوبان لا يسمح بملاحظة آثار هذه العملية، لأن الجليد يلعب دور ملاط يمنع الفُتات الصخري من التساقُط (شكل١٥٧).



شكل رقم (١٥٧): التجمُّد والذوبان



صورة رقم (١٤٥): تفلُّق الصخر بفعل تجمُّد المياه

وبشكلٍ عام فإنَّ العملية المذكورة تتمُّ وفقاً لثلاث مراحل هي:

عندما يبدأ تشكُّل الجليد في نقطةٍ ما، فإنَّه يقوم باجتذاب المياه الموجودة في محيطه بوساطة الامتصاص التدريجي، وهذا ما يؤدِّي إلى تزايد حجم الجليد، ويبدأ بممارسة ضغط محسوس على الجدران الداخلية للشق اعتباراً من اللحظة التي يمتلأ فيها الفراغ بالجليد، أي يرتبط بجداري الشق، ولا تُشاهد هذه الآليَّة عموماً إلَّا في الصخور ذات المساميَّة المُنخفضة جدَّاً، إذ أنَّ الصخور وحدها هي التي تسمح بحدوث هجرة مُماثلة لما ذُكر آنفاً (هجرة الماء بالامتصاص نحو الجليد)، (شكل١٥٨).



شكل رقم (١٥٨): تأثير التجمُّد في عمليَّة التجوية

عندما تكون مسامات الصخر وشقوقه مشبعة بالماء فإنَّ تجمده وتزايد الحجم الناجم عن هذا التجلُّد يُمارس ضغطاً هامَّاً جدَّاً، ويتم جزء هام من هذا التزايد في الحجم باتجاه السطح الخارجي في مطلع حادثة التجلُّد، أمَّا الماء الباقي ضمن الصخر وتحت الطبقة المُتجلدة يتجلَّد في ظلِّ ضغط أكثر ارتفاعاً، ودرجات حرارة مُنخفضة.

وهكذا يؤدِّي هذا الجليد دور إسفين يعمل على ممارسة ضغطه على جوانب الجدران وقاع الشقوق المُختلفة.

عندما لا تكون الشقوق ممتلئة تماماً بالمياه فإنَّ تشكُّل الجليد في مداخلها يؤدِّي إلى الضغط على الهواء المحصور تحت السُدادة الجليديَّة، وهذا بدوره يقوم بالضغط على الصخر وتوسيع الشق باتجاه الأسفل عادةً.

إنَّ تتالي عملية التجلُّد والذوبان (التجمُّد الكبير) ضمن الصخر يعمل على تفكُّك الصخر وتفتُّته إلى أجزاء خشنة، ولكن (التجمُّد الصغير) ضمن التربة أي المجهري يؤدِّي إلى إعطاء فتاتاً ناعماً جدَّاً.

٤- تبلور الأملاح (Haloclastisme) أو التجوية الملحيَّة (Salt Weathering):

تنجُم هذه العملية عن ولوج المياه المُحمَّلة بالأملاح ضمن الصخر بوساطة الخاصَّة الشعرية (Capillarity)، لتعود هذه المياه وتتبخر ثانيةً تاركة الأملاح المُترسبة في أماكنها مُتبلورة، وعلى مر الزمن تمتص الأملاح الرطوبة الجوية ممَّا يزيد من حجمها زيادة تصل إلى (30%)، ممَّا يسمح بتحريك الحجيرات أو الأحجار حول الأملاح المُترسبة، ويبدأ عندها عمل التجوية وخلخلة بُنية التوضُّعات الجيولوجيَّة التي تحتضنُها (شكل١٥٩).



شكل رقم (١٥٩): تبلور الأملاح

صورة رقم (١٤٦): تبلور الأملاح

٥- شقوق الجفاف (Hydroclastisme):

وهي ناجمة عن تفاوت كميَّات المياه الموجودة ضمن الصخور وضمن التوضُّعات الجيولوجيَّة المُختلفة، تأخُذ هذه العملية أهميَّتها الجيومورفولوجيَّة وأبعادها بوجود توضُّعات أو وريقات مارنية (كدانية) أو غضارية تتغيَّر أبعادها وحجمها بوجود الماء، ولكن زيادة الحجم هُنا تختلف باختلاف طبيعة الغضار فهو قليل في حالة الكاولين، وكثير في حالة الغضار، ويكون أثر هذا النوع من التجوية بالغ الأهميَّة على صعيد التكشُّفات والتوضُّعات الجيولوجيَّة الطبقيَّة.

فلو كان لدينا تكشُّف توضُّعات جيولوجيَّة، تتألَّف من تتالٍ لطبقات كلسية أو طبقات من الغرية وأخرى من الغضار المارن فإنَّ الماء بوصوله إلى طبقة الغضار هذه سوف يتوقف عن الولوج إلى الأعماق، لأنَّ توضُّعات الغضار كتيمة، وتمتص الماء أيضاً مشكِّلة نوعاً من العجينة

المُنتفخة، وهذا ما يؤدِّي إلى خلخلة بُنية الطبقات العلوية بمُجملها، ولا سيما عندما تجُف طبقات الغضار هذه وتفقد مياهها، وتعود إلى حجمها الأصلي أو الأولي فتتولَّد هُنا فراغات محصورة بين طبقات الكلس ووريقات الغضار التي كانت تحتوي على الماء، وهذا بدوره يؤدِّي إلى حدوث خفس في جسم طبقة الكلس العلوية، كما أنَّ وجود الحجارة والحصيات المختلفة ضمن توضُّعات الغضار والحصى مثلاً يؤدِّي إلى ارتفاعها نحو السطح أثناء عمليات التنقيب وظهور الترب المُضلَّعة الحجرية، الشبيه بتلك التي تحدُث في المُناخات الصقيعيَّة (الأشكال الحوجليديَّة) مع اختلاف الوسط.



صورة رقم (١٤٧): شقوق الجفاف (تصوير المؤلفة)

ثانياً: التجوية الكيمائية (Chemical Weathering):

تنتج عملية التجوية الكيمائيَّة للصخر عن اتحاد الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون أو الماء مع العناصر الصخرية القابلة للتحلل.

يتمثَّل هذا النوع من التجوية بالعلاقة ما بين المياه المُشبعة بالأحماض العضوية أو الكربونيَّة، وبين الصخور القابلة للتحلل، وينجُم عن هذه العلاقة تبدُّل وتغيُّر كبيرين في بنية الصخر وفي تركيبُه الكيميائي، وبالتالي لا يُمكن أن تجري تجوية كيميائيَّة دون توافر المياه.

ويُمكن للمواد التي تنحل وتذوب عادةً بوجود المياه فإنَّها قد تبقى في مكانها أو تُغادرها لتتوضَّع في مكان آخر، متنقلة مع حركة الماء وجريانه التي أذابتها.



صورة رقم (١٤٨): التجوية الكيميائية

ومن هُنا يُمكن القول إنَّ الفارق الأساسي بين التجوية الكيميائيَّة والفيزيائية يكمُن في أنَّ الصخور تُحافظ على تركيبها الكيميائي عند تعرُّضها للتجوية الفيزيائيَّة، في حين أنَّ هذه الصخور تتحلَّل إلى أيونات وجزيئات جديدة لها خصائص تختلف تماماً عن خصائص المعادن الأصليَّة للصخر وذلك من حيث الشكل والصلابة وقابليتها للذوبان.

لذا نجد أنَّ التجوية الكيميائيَّة للصخر تعمل على تفكيكه وتحليله، إمَّا بتكوين معادن جديدة أقل مقاومة لعوامل الحت الأصلية، أو بوساطة قوَّة التمدُّد الناجمة عن ازدياد حجم معادن الصخر، إذا ما تعرضت للتأكسُد أو التموء (التميه).

تتم التجوية الكيميائيَّة بوساطة أربع عمليات رئيسة مُختلفة، يعود اختلافها إلى:

- البيئات المُناخية التي توجد فيها الصخور.
- إلى خاصيَّة الصخور نفسها من مساميَّة ونسيج ومفاصل.
- طبيعة الصخور من حيث مدى استجابة مكوناتها للتغيرات الكيميائيَّة.
- إضافةً إلى طبيعة مياه المطر، ويختلف ماء المطر عن الماء النقي في مدى نشاط عملية التجوية الكيميائية ومدى تأثيرها.

فماء المطر يحمل معه الأوكسجين الجوي الذائب وثاني أوكسيد الكربون، إضافةً إلى قدر من الأملاح وأكاسيد النيتريك وهذه تُكوِّن حامض النيتريك، كذلك يحمل معه أكسيد الكبريت ويذوب

مكوِّناً حامض الكبريتيك وتتضافر كل هذه المركبات الكيميائيَّة الموجودة في ماء المطر ممَّا تزيد من قدرته على تحلُّل الصخر.

عمليات التجوية الكيميائيَّة:



١- الأكسدة (Oxidation):

ويُقصد بها اتحاد الأوكسجين بأحد العناصر المكونة للصخر وتحوُّله إلى أوكسيد، ويظهر أثره واضحاً في حالة اتحاد الماء بالأوكسجين (Fervistat) مع الحديد، وهو العنصر الذي يدخل في كثير من معادن الصخور مثل البيوتيت، الأوجيت، الهونبلاند، فيتحوَّل لونه من الأسود المزرق أو الرمادي أو اللون الأحمر أو البني، وتُعدُّ أكاسيد الحديد أقل صلابة وأقل مقاومة من الفلز نفسه، كتحلُّل معدن البيريت وهو من المعادن الشائعة في كثير من أنواع الصخور ويتم حسب المعادلة الآتية:

$$FeS_2 + 2O_2 \longrightarrow FeSO_4 + S$$

كبريت + كبريتات الحديدوز ⟵ أوكسجين + بيريت

وكبريتات الحديد الناتجة سهلة الذوبان في الماء وتتحوّل عادةً بشكلٍ سريع إلى مواد أُخرى، أمَّا الكبريت فإنَّه يتأكسد بسرعة متحوِّلاً لحمض كبريتيك، وهذا يتفاعل مع الألمونيا أو الكربونات لتكوُّن الكبريتات القابلة للإذابة وهذا ما يُساعد على تحلُّل الصخور.



صورة رقم (١٤٩): الأكسدة



أكسدة الكبريت: عندما يتعرض للهواء يتحول إلى اللون البني نتيجة أكسيد الحديد

صورة رقم (١٥٠): أكسدة الكبريت

٢- عملية التكربن (الكربنة) (Carbonation):

ويتُم فيها تفاعل حمض الكربونيك الناشئ عن ذوبان ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الهواء، وهو مخفَّف جدًّاً ومعامله الهيدروجيني (PH)، ولكن تزداد كميَّة تركيزه عندما يتغلغل الماء الذي يحمله إلى ما تحت السطح حيثُ يذوب ثاني أوكسيد الكربون الموجود في التربة، وبالتالي تضعف المواد الكلسية وتتحوَّل هذه المواد إلى بيكربونات الكالسيوم التي تتميَّز بقابليتها الكبيرة للإذابة في الماء، أي إنَّ هذه العملية تكون ملازمة لعملية الإذابة (Solution)، تسود هذه العملية في المناطق المُعتدلة الرطبة والمناطق التي يهطل فيها المطر المُحمَّل بثاني أوكسيد الكربون المحلول في الجو.



الكرينة : يتفاعل حمض الكربونيك بدوره مع الصخور الجيرية مكوناً بيكربونات الكالسيوم وهى مادة ذائبة حيث ينشأ عن هذا التكون ظهور الفجوات والكهوف والمغارات في الصخور الجيرية

صورة رقم (١٥١): الكربنة

إنَّ الغالبية الساحقة من صخور اليابسة تتفاعل بشكلٍ أو بآخر مع المياه المُشبعة بالأحماض الآنفة الذكر، ولكن أكثرها تأثُّراً على الإطلاق ملح الطعام (NaCl) وهو سريع الانحلال في الماء، حيثُ إنَّ ليتر من الماء قادر على إذابة (350) غراماً من الملح، يليه الجص (Ca_2O_4 $2H_2O$) والانهدريت والصخور الكلسية والدولوميَّة.

والجدير بالذكر أنَّ تزايد الأحماض في الماء يزيد من قدرته على حل هذه الصخور وإذابتها، ففي ظل درجة حرارة قدرها (+15°) فإنَّ ليتراً واحداً من الماء المُقطَّر قادر على حل (14 ملغ) فقط من كربونات الكالسيوم وإذابتها، في حين أنَّ الماء المُشبع بغاز ثاني أوكسيد الكربون مثلاً يتمكَّن من حل (1000 غرام) من كربونات الكالسيوم وإذابتها.

$$H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H_2CO_3$$
$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$$

٣- عملية (التميه) الهدرجه (Hydratio):

يُقصد بها اتحاد بعض العناصر التي تتألَّف منها معادن الصخور بالماء أو بخار الماء، وينشأ عن هذا الاتحاد عنصر آخر أضعف وأقل تماسُّكاً وصلابة ومقاومة لعمليَّات الحت من العنصر الأصلي، لأنَّه يزيد من حجم الصخر الذي يصل أحياناً إلى (88%) من الصخر الأصلي، فيترتب على ذلك زيادة عدد سطوحها الخارجيَّة بينما تظل كتلتها الداخلية ثابتة، ممَّا يُساعد على انفصال قشورها مثل تحوُّل الفلسبار في الصخور الغرانيتية إلى طين الكاولين (Kalution) وعملية التموء تزيد من حجم الصخر.

٤- عملية الإذابة (Solution):

وتُعد من أهم العمليات وأكثرها إسهاماً في تفكُّك الصخور التي تتألَّف معادنها من عناصر قابلة للذوبان.

تؤدِّي هذه العملية إلى زيادة الفراغات البيئيَّة التي توجد بين جزيئات الصخر مثلاً عندما تتعرَّض كربونات الكالسيوم التي تتألَّف منها الصخور الكلسية لمياه الأمطار المُنحل بها غاز ثاني أوكسيد الكربون المُسمَّى بالماء الحامضي يبلغ مُعدَّل حموضته (PH-R-7) التي تعمل على إذابة الصخور الكلسية بشكلٍ ملحوظ.

إنَّ النتيجة عن عملية الإذابة هي إمَّا تحوُّل الصخور من حالة التماسك والصلابة إلى حالة من التفكك وعدم التماسك، ممَّا يسهل عملية حتِّه وإزالته بوساطة عوامل التعرية والحت المُختلفة، وقد تؤدِّي إلى إزالة أجزاء كاملة من الصخور.



صورة رقم (١٥٢): الإذابة

أخيراً لا بُدَّ من ذكر بعض **أشكال التجوية الكيميائية (Chemical Weathering Landforms)** منها:

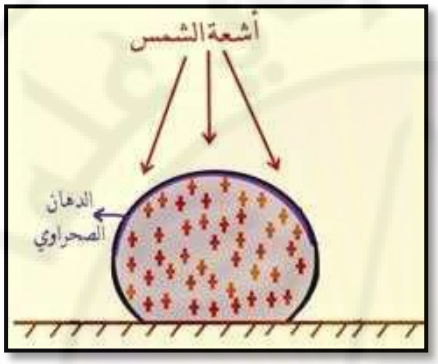
- تجوية الرطوبة والجفاف التي تتعرَّض لها المناطق الساحلية:



صورة رقم (١٥٣): أثر تجوية الرطوبة والجفاف

- الدهان الصحراوي (Desert Varrish):

ويُسمَّى الدرع الصحراوي، وهو طبقة متماسكة من الطلاء تشكَّل بالخاصَّة الشعرية المُحمَّلة بالأملاح الذائبة، والتي تتوضَّع على سطح الصخر ممَّا يكسبه قساوة وألواناً تختلف باختلاف الأكاسيد إمّا أزرق أو أحمر أو أخضر، (شكل١٦٠).



شكل رقم (١٦٠): الدهان الصحراوي

- التلال المخروطية (أقماع السكر) (Sugar Loaves):

وهي تلال مُنعزلة مخروطيَّة الشكل، تتألَّف من صخور الغرانيت، وتتميَّز بتقعُّر مُنحدراتها، تنتشر على سطوحها الحفر والكهوف والحذوذ والنتوءات، وتنشأ بدايةً عن انفصال الكتل الغرانيتية عبر مناطق الضعف مشكلة أجزاء مكعبيَّة أو مستطيلة تتحوَّل إلى شكل شبه كروي أو بيضوي متأثِّرة حوافه بعملية التميؤ، على حين تُزال الأجزاء المُتاخمة لها تماماً لتبدو على شكل كتل منعزلة.


تلال مخروطية ناتجة عن تجوية بسيطة في الحجر الجيري

صورة رقم (١٥٤): التلال المخروطية

- التافوني- تكهفات التجوية (Cavernous Weathering tafoni):

ويُطلق اسم التافوني على الكهوف الصغيرة الحجم الناتجة عن فعل التجوية الكيميائيَّة فوق الصخور الغرانيتية الخشنة والأحجار الرملية والكلسية والشيست، تتراوح أبعادها بين بضعة سنتمترات والمتر، وهي حفر دائرية الشكل مجوفة من الداخل، تحدث هذه الظاهرة في المناطق التي تتمتع بتغيُّرات كبيرة في درجات الحرارة بالإضافة إلى هبوب رياح قوية قادرة على إزالة المواد المنحلَّة من داخل التجاويف، تنتشر في الأقاليم المدارية وشبه الجافة.

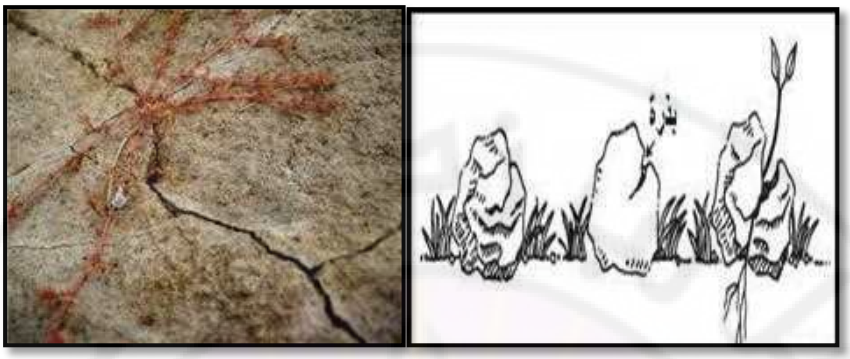


صورة رقم (١٥٥): التافوني

ثالثاً: التجوية العضوية (Organic Weathering) أو التجوية الحيوية (Biotic Weathering):

وهي مجموعة من التجوية الفيزيائيَّة والكيميائيَّة التي تقوم بتفكُّك وتحلُّل الصخور، ويتم هذا النوع من التجوية بتأثير بعض الكائنات الحيَّة إذ تُسهم في تفتيت جزئيات الصخور وإضعافه جيولوجيَّاً.

فلجذور الأشجار طاقة ميكانيكيَّة هائلة على توسيع الشقوق الصخرية سواء كانت هذه الجذور وتدية أو شعاعية فإنَّها تؤثر كثيراً على تفكُّك الصخور وتعريضها للأنوار خصوصاً فوق الحافات الجبلية المُرتفعة ممَّا يؤدِّي إلى تراجع الحافَّة الجبليَّة (شكل١٦١).



شكل رقم (١٦١): أثر الجذور كتجوية فيزيائية

صورة رقم (١٥٦): أثر الجذور كتجوية فيزيائية

أمَّا التأثير الكيميائي للجذور فعندما تتغلغل جذور النباتات في التربة يزيد من نسبة ثاني أوكسيد الكربون داخل الفراغات الصخرية، ممَّا يُساهم في توليد مركَّبات عضوية ذات تأثير كبير على زيادة تحلُّل الصخور.



صورة رقم (١٥٧): التأثير الكيميائي للجذور

كما تُسهم الديدان والقوارض المُختلفة في تفتيت التربة إذ إنَّها تنحت في جوف التربة مُخلِّفة عدداً من الثقوب أو المسارب، ممَّا يزيد من مساميَّة وتسرُّب المياه داخلها.



صورة رقم (١٥٨):أثر القوارض في التجوية الحيوية



صورة رقم (١٥٩): نشاط حيوي بسبب ديدان الأرض

وعندما تموت الكائنات الحيَّة، وتتعفَّن بقاياها فإنَّها تختلط بالمواد السطحية، وتدخل مع الماء في تركيب أحماض عضويَّة تُنشِّط عملية التجوية الكيميائيَّة إلى جانب الفيزيائيَّة التي تؤثِّر بدورها في إضعاف تماسك وقوَّة الصخر.

ويُعدُّ الإنسان من أهم العوامل التي يساهم بإزالته للنبات الطبيعي في تنظيم عمليات التجوية والتعرية في الصخور، وبناء الطرق وشق الممرَّات والأنفاق وتسوية الأرض، كل هذه الأعمال تؤدِّي إلى تجديد نشاط التجوية الكيميائيَّة كنتيجةٍ حتميَّة لتزايد كميَّات الملوثات والغازات ونواتج الاحتراق المُختلفة التي تطلقها المعامل ووسائل النقل، حيثُ تقوم مياه الأمطار بإزالة هذه الغازات لتتحوَّل إلى أمطار حامضيَّة تسهم بفعاليَّة في عمليات التجوية الكيميائيَّة.



حرق مساحه من الأرض وهذا له أثار كيميائية على التربة وهذا أيضا يؤثر على المياه الباطنية للتربة حيث تتبخر هذه المياه و يدخل الأكسجين إلى طبقات التربة الداخلية ويؤثر أيضاً على التركيب الكيميائي للمياه كلها و غيرها من أعمال قام الانسان بعملها فى تخريب سطح الأرض

صورة رقم (١٦٠): أثر الإنسان في التجوية

أخيراً فإنَّ سرعة تخرُّب الصخور بأعمال التجوية المُختلفة مُتفاوتة تبعاً للتركيب المعدني للصخور (بناء الصخر ونسيجه ومظهره) والمُناخ، حيثُ يؤثِّر في أنواع التجوية، فالتجوية الميكانيكيَّة تسود في الأقاليم الباردة والجافة (الذوبان والتجمُّد، والفروق الحرارية)، بينما التجوية الكيميائيَّة تسود في الأقاليم الرطبة سواء كانت معتدلة أو حارة (الكربنة، الإذابة، الأكسدة، التميوء)، كما أنَّ للزمن دوراً هامَّاً فكُلَّما طال زمن تعرُّض الصخر للتجوية كُلَّما اشتدَّ عمقها وزاد تأثُّر الصخر بها.

التجوية كعامل جيومورفولوجي:

إنَّ عملية التجوية بشكلٍ عام تقوم بخلق ملامح تضريسية كبرى ولكنها تُسهم في تغيير مظاهر سطح الأرض كبيرها وصغيرها، فهي تؤدِّي إلى إضعاف مقاومة الصخور مع تهيئته للأنشطة الجيومورفولوجيَّة من حت، وتعرية فتُسهل عملها في اقتلاع الصخور من مكانها ونقلها إلى مسافاتٍ تُقدَّر حسب أسلوب النقل قبل ترسُبها.

وأهمَّ من ذلك فإنَّ عملية التجوية يمكن تشبيهها بأسنان الطبيعة التي تسحق الصخور وتُحللُها، لتهيئتها لجميع الأعمال الجيومورفولوجيَّة، **ومن أهمَّ ظاهرات السطح التي تسهم بها عمليات التجوية هي:**

أ- طبوغرافية المناطق الكلسية: فتتكوَّن الكهوف والأودية العمياء، وغيرها من ظاهرات الأرضيَّة الكارستيَّة.

ب - التربة: الحطام الصخري المتآكل، المُتحلِّل بفعل التجوية هو مصدر التُربة بأنواعها.


الفصل الثاني:
أ – عمل المياه الجوفيَّة
ب – عمل البُحيرات
ج- عمل المياه الجارية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني

أ- عمل المياه الجوفيَّة (الباطنيَّة)

تتشكَّل المياه الجوفيَّة نتيجةً لتساقُط الأمطار على سطح الأرض وتوزعها إلى أربعةِ أقسام:





شكل رقم (١٦٢): المياه الجوفيَّة

تتمثَّل المياه الجوفيَّة بـ:

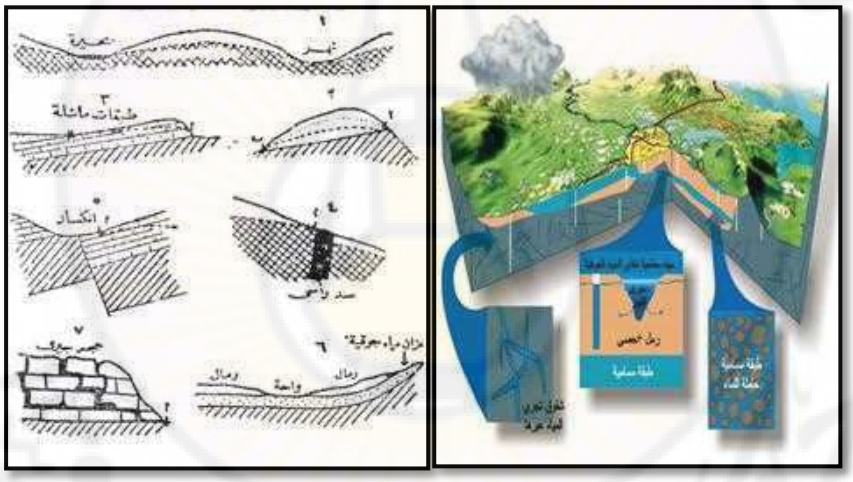
آ- الأغشية المائيَّة الباطنيَّة المُتجمِّعة فوق التوضُّعات الجيولوجيَّة الكتيمة كالمارن، والغضار مثلاً.

ب- إضافةً إلى المياه الموجودة ضمن مساحات الغلاف الصخري والشقوق والكسور والفواصم الصخريَّة.

أمَّا المصادر الرئيسة لتغذية المياه الجوفيَّة شديدة التنوُّع، وأهمَّها:

١- **الميـاه الجوفيـة:** مصـدرُها ميـاه الأمطـار والثلـوج الذائبـة، وتعـدُّ المصـدر الرئيسـي للميـاه الجوفيَّة، ويتأثَّر تسرُّب الماء ضمن الصخور بعدَّة عوامل:

- المساميَّة (مساميَّة الصخر ومدى نفوذيَّتهُ).
- ميل الطبقات الصخريَّة.
- الشقوق والفوالق والكسور والفواصم الصخرية.
- تباين معدَّلات انحدار السطح، حيثُ تتناقص كميَّات الأمطار المُتسرِّبة إلى الأعماق، كُلَّما تزايدت معدَّلات الانحدار، (شكل١٦٣).



شكل رقم (١٦٣): العوامل المؤثرة في تسرُّب الماء ضمن الصخور

٢- **المياه الجوفيَّة العذبة** المُتسرِّبة من مياه المجاري النهرية التي تحفُر مجاريها فوق توضُّعات جيولوجيَّة مساميَّة نسبيَّاً.

٣- **المياه المُتخلِّفة:** وهي مياه جوفيَّة مالحة أو عذبة، ناجمة عن اختزانها وترسبُّها أثناء مراحل تشكُّل الصخور الرسوبيَّة وتكوُّنها.

٤- **المياه المُتسرِّبة** من البحار والمُحيطات وتُعرف بالمياه المُحيطيَّة.

٥- **المياه المعدنيَّة:** تُعرف بالمياه المهليَّة، تُختزن هذه المياه في الطبقات الصخريَّة تبعاً لتجمُّع المياه الساخنة أثناء حدوث الثورانات البُركانيَّة (أي فترات النشاط البُركاني).

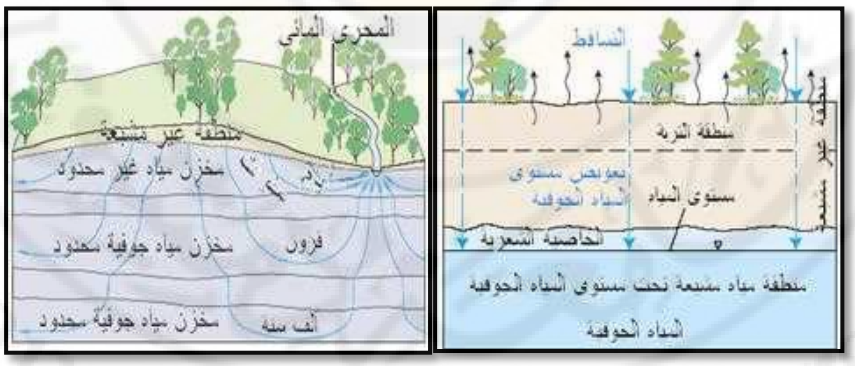
يتميَّز مستوى المياه الجوفيَّة بعدم ثباته، ويختلف عُمقهُ من مكانٍ لآخر تبعاً لغزارة الأمطار، ففي المناطق الجافَّة ينخفض مستوى الماء الجوفي على عكس المناطق غزيرة الأمطار التي تتميَّز بقُرب مستوى الماء الجوفي من سطح الأرض، ويتباين هذا المستوى أيضاً من فصلٍ إلى آخر.

وتبعاً لاختلاف مدى تشبُّع الطبقات الصخريَّة بالمياه، يمكن تمييز ثلاث طبقات:

أ- الطبقات عديمة التشبُّع: تقع على السطح مشكلةً الطبقات الصخريَّة العلويَّة التي تُعدُّ بمثابة ممرَّات طبيعية، تُساعد على تسرُّب المياه إلى الأعماق عبر مساماتها وشقوقها دون اختزان هذه المياه.

ب- الطبقة مُتقطعة التشبُّع: تقع دون الطبقة السابقة، تنحصر بين أدنى منسوب للمياه الجوفيَّة أو أعلاه.

ج- الطبقة دائمة التشبُّع: وهي الطبقة التي يتجمَّع الماء فيها ويستقر فوق طبقة صخريَّة صمَّاء، أو فوق توضُّعات جيولوجيَّة كتيمة تمنع تسرُّب المياه إلى الطبقات السُفليَّة الأكثر عُمقاً، (شكل١٦٤).



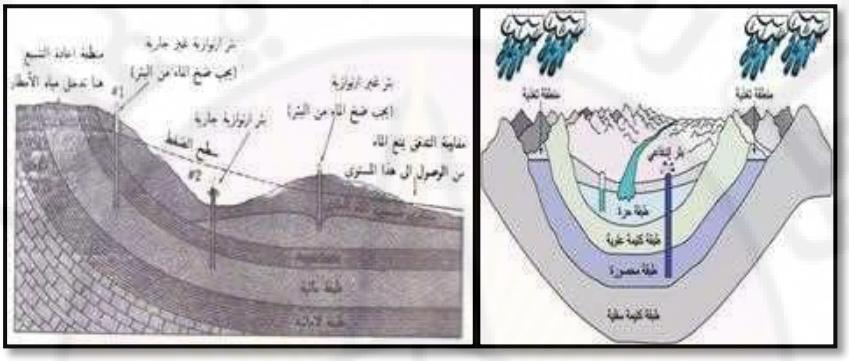
شكل رقم (١٦٤): الطبقات الصخريَّة ومدى تشبُّعها بالمياه

من هُنا يُمكن القول: إنَّ كميَّة المياه التي تحتويها الطبقات الصخريَّة تخضع لتبايُنات هامَّة تبعاً لـ:

أ- اختلاف مساميَّة الطبقات.

ب- كميَّة المياه المُتسرِّبة، فالطبقات الرمليَّة والحصويَّة ذات نفاذيَّة أكبر من الطبقات الطينيَّة أو الصلصاليَّة.

ت- تباين مُعدَّلات الميول الجيولوجيَّة والانحدارات الطبوغرافيَّة، (شكل١٦٥).



شكل رقم (١٦٥): الطبقات الخازنة للمياه الجوفيَّة

مظاهر المياه الجوفيَّة:

أهم مظاهر المياه الجوفيَّة على سطح الأرض:

١- الينابيع.

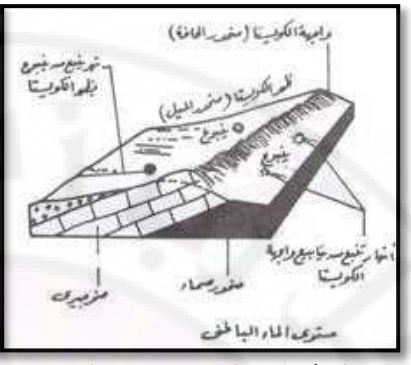
٢- الآبار.

٣- الينابيع الحارَّة.

١- الينابيع:

وهي مخارج طبيعيَّة للمياه الجوفيَّة على سطح الأرض، وقد تكون مخارج بطيئة أو مُتدفقة، وقد تكون دائمة أو مُتقطعة، وقد تكون عذبة أو معدنيَّة.

يرتبط توزُّع الينابيع ووجودها بالتكوينات الجيولوجيَّة، فهُناك ينابيع تتشكَّل في حضيض الأحواض الصخريَّة، والمُنحدرات (حواف الكويستات)، (شكل١٦٦).



شكل رقم (١٦٦): ينابيع حواف الكويستات



صورة رقم (١٦١): ينبوع

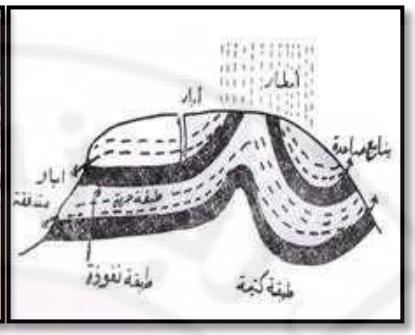
وهُناك ينابيع ناجمة عن الانكسارات والصدوع الهامَّة ولا سيما في المناطق الكارستيَّة.

٢- الآبار:

وتُعرف بالآبار الإرتوازيَّة (نسبةً إلى إقليم ارتوا في فرنسا)، وهي حُفرة أو مُنخفض على سطح الأرض، يمتد إلى مستوى الماء الجوفي، وقد تصل المياه إلى السطح نتيجة الضخ، أو الضغط الهيدروستاتيكي (نظريَّة الأواني المُستطرقة).

تتأثَّر الآبار الإرتوازيَّة بشكلٍ محسوس بعدَّة عوامل:

- شكل الطبقات الصخريَّة المُشبعة بالمياه.
- شكل السطح الطبوغرافي.
- عُمق الطبقة المُشبعة بالمياه.



شكل رقم (١٦٧): الآبار الارتوازيَّة



صورة رقم (١٦٢): حفرة بئر

٣- الينابيع الحارَّة (Hot Spring) والجيزر (Gysers):

الينابيع الحارَّة (Hot Spring):

وهي الينابيع الناجمة عن تسرُّب المياه الباطنيَّة إلى أعماق كبيرة أدَّت إلى ارتفاع حرارتها، وما إن وَجدَت هذه المياه طريقها إلى السطح حتَّى ظهرت على شكل ينابيع حارَّة.

ولهذا النوع من المياه قدرة محسوسة على إذابة المعادن أكثر من الماء البارد، لذلك تكون مُعظم هذه المياه معدنيَّة غنيَّة بالمُركبات الكبريتيَّة، وبمُركبات كربونات الكالسيوم والمغنزيوم.

يُمكن للينابيع الحارَّة أن تنشأ أيضاً إذا استطاعت المياه المُهليَّة الناجمة عن تبرُّد الصخور الناريَّة الوصول إلى سطح الأرض، لذا يُمكن القول إنَّ نشوء الينابيع الحارَّة مُرتبط بالنشاط البُركاني بشكلٍ أو بآخر (انظُر فصل البراكين).



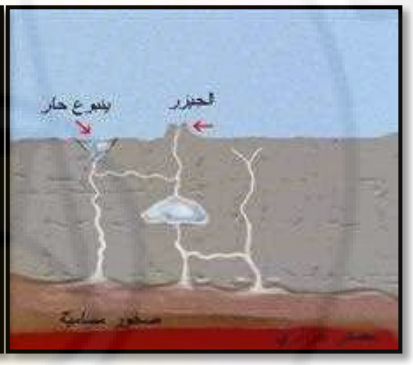
صورة رقم (١٦٣): ينبوع حار في كاليفورنيا

الجيزر (Gysers):

هي ينابيع حارّة ذات تدفُّق فصلي أو دائم، تنبثق مع مياه هذه النافورات كميَّة من الغازات والمعادن الذائبة والأبخرة الحارَّة، تصل درجة الحرارة فيها إلى الغليان (انظر بحث البراكين) (الحمَّة جنوب غرب سورية)، يخرُج قسم منها من فتحات على مستوى السطح الطبوغرافي، ومنها ما يندفع نحو الأعلى، ومُعظم هذه المياه من أصل مُهلي.

أهم العوامل التي تؤثِّر في طبيعة انبثاق المياه الجوفيَّة على شكل نافورات حارَّة:

- كميَّة المياه والغازات المُتجمعة في المرجل (الخزَّان).
- التوازُن بين منسوب مصدر مياه النافورة وفوهتها.



شكل رقم (١٦٨): الجيزر

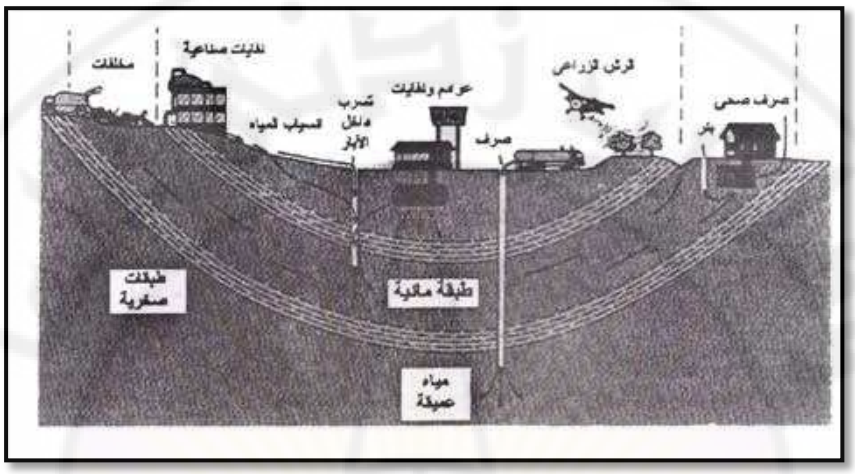


صورة رقم (١٦٤): الجيزر في إيسلندة

أخيراً يجب الإشارة إلى أنَّ للمياه الجوفيَّة أهميَّة اقتصاديَّة كبيرة جدَّاً لأنَّها تعدُّ المخازن الأساسيَّة لأحد مصادر التغذية ألا وهو الماء، الذي قد يتعرَّض للتلوُّث الذي يُهدِّد المياه الجوفيَّة في المناطق الكارستيَّة بالدرجة الأولى، وأهم أسباب تلوُّث المياه الجوفيَّة:

- تسرُّب المياه المالحة لتصل إلى الطبقات الحاملة للمياه الجوفيَّة.
- عدم التوازن بين وارد الماء السطحي المُغذِّي للطبقات الحاملة للماء، واستنزاف هذه المياه.
- يُسهم تسرُّب النفط وعمليَّات استخراجه في تلوُّث المياه الجوفيَّة.

- التوسُّع الرأسي في الزراعة، وما رافقه من استخدام الأسمدة الكيميائيَّة التي تُسرَّب بعضُها إلى الطبقات الحاملة للماء، (شكل١٦٩).



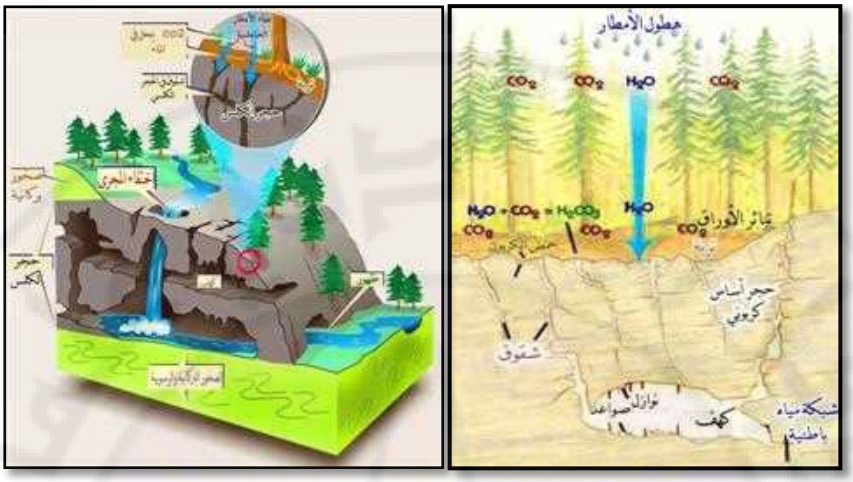
شكل رقم (١٦٩): مُلوثات المياه الجوفيَّة

العمل الجيولوجي للماء الباطني:

تقوم المياه الباطنيَّة بعملٍ جيولوجي هام من خلال التآكُل والنقل والترسيب، خلال تحرُّكها ضمن مسام الصخور وشقوقها بسرعة بطيئة، وهو يختلف عن العوامل الجيولوجيَّة الأُخرى، كما أنَّه يترُك بصماته في الصخور التي يمرُّ من خلالها بصورٍ مُختلفة كما يلي:

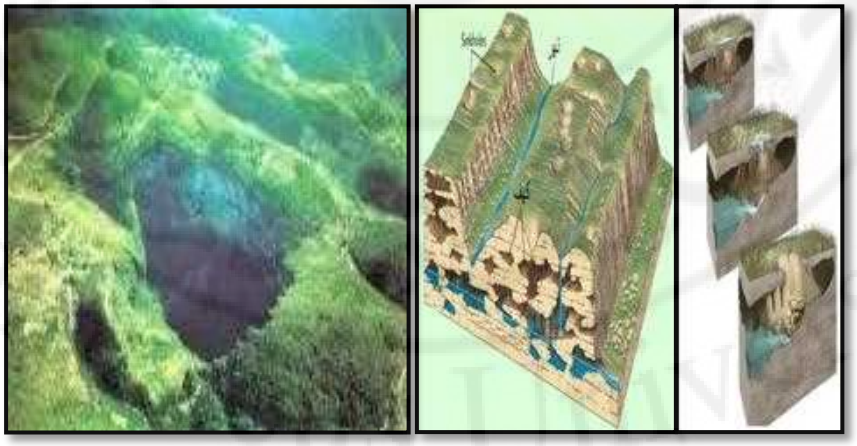
النقل والتآكُل (Transportion and Ersion):

ينتقل الماء الباطني المحصور في مسام وفتحات الصخور ببطء، يتركَّز عملهُ الجيولوجي على إذابة مادة الصخر، وأكثر الصخور تأثُّراً بالإذابة بالمياه الباطنيَّة هي الصخور الكلسيَّة، حيثُ أنَّ الماء المُحمَّل بثاني أكسيد الكربون له قدرة كبيرة على إذابة كربونات الكالسيوم والمغنزيوم، وفي مناطق وجود الصخور الكلسيَّة (الحجر الكلسي، الدولوميت، الرُخام) ينشُط عمل الماء الباطني المُتمثِّل في إذابة هذه الصخور في أثناء تحرُّكه ضمن الشقوق والفواصل ومستويات التطبُّق فيها، فيعمل على توسيعها وتشكيل الفراغات فيها، وينشأ عن هذه الإذابة نظام مُتشعِّب من الفراغات والممرَّات تحت مستوى الماء الباطني.



شكل رقم (١٧٠): العمل الجيولوجي للماء الباطني

وهكذا تقوم المياه الباطنيَّة بتشكيل نظام صرف مُتشابك تحت سطح الأرض تجري فيه أنهار تحت سطحيَّة مُشكلةً الكهوف والمغارات، وبازدياد الإذابة تنمو الفراغات تحت السطحيَّة إلى الحد الذي يؤدِّي إلى انهيار أسقُف الكهوف والمغاور والصخور فوقها مُشكلةً حُفراً عميقة شبه مُستديرة تُسمَّى (Sinkhole)، وقد تمتلئ بعض هذه الأحواض بالماء مكونةً بُحيرات شبه مُستديرة، أو تتصل عدَّة أحواض مع بعضها مكونةً (خندقاً).



شكل رقم (١٧١): Sinkhole **صورة رقم (١٦٥): Sinkhole**

ويُمكن أن تتشكَّل بعض الرواسب ضمن الكهوف والمغاور الناجمة عن تشبُّع الماء بكربونات الكالسيوم، فالأشكال الهابطة من سقف المغاور تُسمَّى بالنوازل الناجمة عن تساقُط قطرات الماء من السقف من نقطة ثابتة وتُبخرُها على الأرض، فإنَّ كربونات الكالسيوم تنمو أيضاً من الأرض إلى الأعلى ويُطلق عليها اسم الصواعد (Stalagmites)، وقد يلتقي الصاعد مع النازل مكوِّناً عموداً كارستيَّاً (Column).



صورة رقم (١٦٦): صواعد ونوازل في مغارة كفربهم في سورية



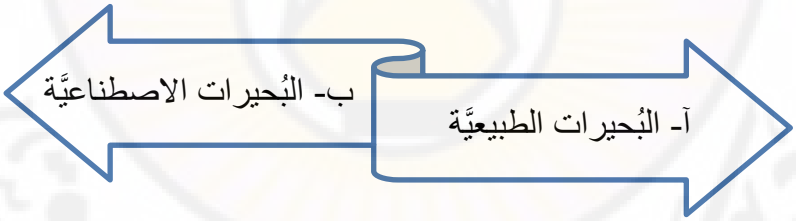
صورة رقم (١٦٧): عمود كارستي (تصوير المؤلفة)

كما تقوم المياه الباطنيَّة بدورٍ رئيسٍ في تحويل الصخور الرسوبيَّة المُفككة إلى صخور مُتماسكة، بترسيب مواد لاحمة (Cementing material)، كما تقوم المياه الباطنيَّة بملء بعض الفراغات الكبيرة نسبيَّاً وترسيب ما به من أملاح، وهكذا تنمو البلورات إلى الداخل فيُسمَّى بالحشو (Cavityfilling)، كما تقوم بعض الفلورات والينابيع الحارَّة على ترسيب بعض المواد المُذابة فيها، وأكثر المواد ترسُّباً هي كربونات الكالسيوم وتُعرف باسم التوفا الكلسيَّة (Calcareoustufa)، والسيلكا، ويُصاحب هذه الترسُّبات معادن الزئبق والزرنيخ.....الخ.

ب- عمل البُحيرات

البُحيرات: هي مُنخفضات قاريَّة مُغلقة تتجمَّع فيها المياه بسبب كون قيعانُها كتيمة، أو لكون قيعانُها واقعة تحت مستوى سطح الماء الباطني في مناطق وجودها، وتكون هذه البُحيرات إمَّا مالحة أو عذبة معزولة عن البحر، أو تكون مُتصلة بوادٍ نهري يمدُّها بالمياه، على الرُغم من أنَّ المساحة التي تشغلُها البُحيرات لا تتعدَّى (1.8%) من مساحة اليابسة، فإنَّها تؤدِّي دوراً بالغ الأهميَّة من النواحي الجيومورفولوجيَّة، والبشريَّة والاقتصاديَّة، ولا تُقاس أهميَّتها إطلاقاً بالمساحات التي تحتلَّها، بل الدور الذي تلعبُه حيثُ أنَّ لبعض البُحيرات أهميَّة كبيرة بالنسبة إلى الإنسان، فهي تُستخدم كمصدر لمياه الشُرب، وبعضُها الآخر يُشكِّل طُرُقاً للنقل المائي، كما أنَّ بعضُها يُعدُّ مصدراً مُهمَّاً للأسماك، والعلم الذي يدرُس البُحيرات يُسمَّى (علم البُحيرات Limnologie).

تتوزَّع البُحيرات على سطح اليابسة بصورةٍ عشوائيَّة، وتُصنَّف في زُمرتين رئيسيتين هُما:



أمَّا الشروط الأساسيَّة لتشكُّل البُحيرات فتتمثَّل بـ:

١- بوجود المُنخفضات الأرضيَّة عديمة المخارج من جهة.

٢- وتوافُر مصادر التغذية المائيَّة من جهةٍ ثانية.

وهذا ما يُفسِّر ندرتُها وانعدامُها شبه المُطلق في المناطق القاحلة، وتختلف خصائصها الكيميائيَّة، وصفاتُها المورفولوجيَّة تبعاً لأسباب نشأتها.

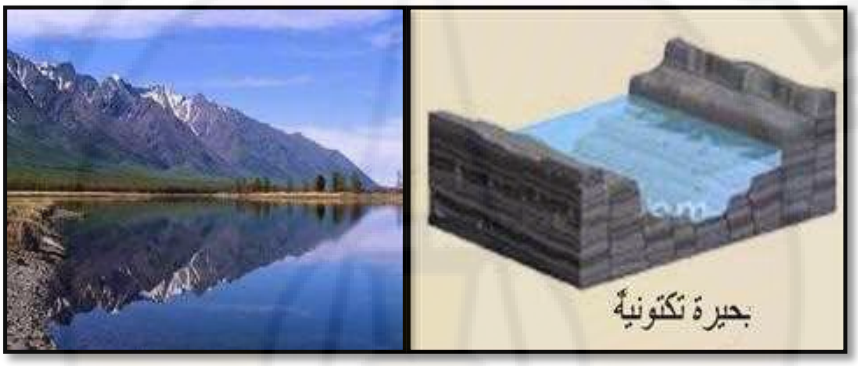
علماً بأنَّهُ يُمكن **تصنيف البُحيرات من حيث المنشأ إلى:**

١- البُحيرات التكتونيَّة (ذات المنشأ البنائي Tectonic Lakes):

تنشأ هذه البُحيرات إمَّا عن:

- حركات التوائيَّة كما هي الحال في بحر قزوين، بُحيرة آرال.

- أو حركات انهداميَّة محليَّة أصابت القشرة الأرضيَّة كبُحيرة طبريَّة (-192 م)، والبحر الميت (-392م) تحت مستوى سطح البحر، وبُحيرة بايكال في روسيا، وبُحيرتي تنجانيقا وآلبرت في إفريقية، (شكل١٧٢).



شكل رقم (١٧٢): بحيرة ذات منشأ تكتونيَّة **صورة رقم (١٦٨): بحيرة بايكال في روسيا**

٢- البُحيرات ذات المنشأ البُركاني (Volcanic Lakes):

يتشكَّل هذا النوع من البُحيرات بسبب النشاط الباطني، حيثُ تحتل بعض البُحيرات فوهات بُركانيَّة خامدة (كالديرا)، كبُحيرة توبا في سومطرة، وبُحيرة بافان (Pavin) في الكتلة المركزيَّة في فرنسا، أو تتشكَّل بسبب خروج طفوح من المواد البازلتيَّة التي تقوم بتشكيل نوع من السدود الطبيعيَّة عندما تُشكِّل حواجز مُهمَّة تعترض مجاري أودية نهريَّة عاديَّة، كما هو الحال في بُحيرة قطِّينة في سوريا، (شكل١٧٣).



شكل رقم (١٧٣): بحيرة ذات منشأ بركاني

صورة رقم (١٦٩): بحيرة قطينة في سورية

٣- البُحيرات الكارستيَّة:

تسود هذه البُحيرات في مناطق وجود الصخور القابلة للذوبان، وغالباً ما تحتَّل هذه البُحيرات قيعان الجوبات (الدولينات) أو المنزلات (الأوفالات) أو الدارات الكارستيَّة (البولية) في الأراضي الكلسيَّة، كبُحيرة بوبوفر (Popovr) في يوغسلافيا السابقة، وبُحيرة سكوتاري (Scutari) وقد تكون هذه البُحيرات جوفيَّة أو باطنيَّة كتلك التي تحتل قاع مغارة جعيتَّا الكارستيَّة في لبنان، والبُحيرة التي تحتَّل مدخل مغارة ونهر باديراك (Paddirac) في هضبة غراما الفرنسية، (شكل١٧٤).



شكل رقم (١٧٤): بحيرة كارستيَّة

صورة رقم (١٧٠): بُحيرة كارستيَّة في كرواتيا

٤- البُحيرات الاصطناعيَّة:

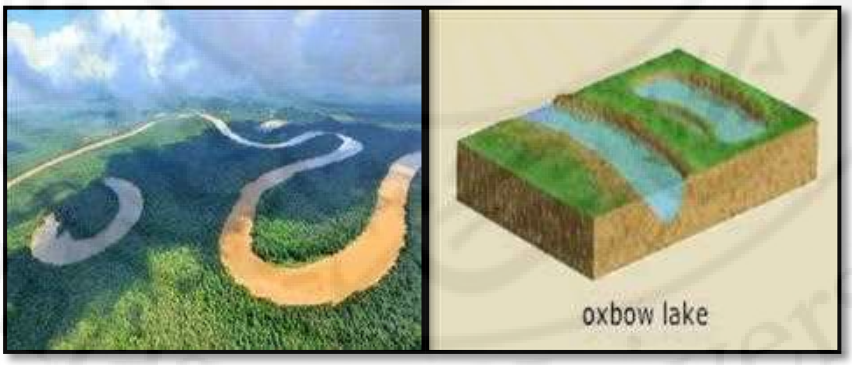
وهي بُحيرات من صنع الإنسان تتشكَّل خلف السدود الاصطناعيَّة التي يشيدها بهدف السيطرة على الفيضانات الهامَّة، كبُحيرة الأسد على نهر الفرات في سورية، وبُحيرة ناصر على نهر النيل في جمهورية مصر العربية، (شكل١٧٥).



شكل رقم (١٧٥): بحيرة اصطناعيَّة صورة رقم (١٧١): بحيرة الأسد في سورية

٥- البُحيرات الناجمة عن بعض أوجه نشاط العمل النهري:

إذ تحتضن بعض الأكواع النهرية المهجورة نماذج مُحددة من البُحيرات المنقطعة الهلالية (Oxbow Lakes)،(شكل١٧٦).



شكل رقم (١٧٦): بحيرة ناجمة عن نشاط نهري صورة رقم (١٧٢): نهر كيناباتانجان في ماليزيا

٦- البُحيرات الجليدية (Glacier Lakes):

يقوم الجليد بعمل حتِّي وترسيبي، فتتشكَّل مُنخفضات وسدود أرضيَّة تحتلَّها البُحيرات في مرحلة لاحقة أي بعد ذوبان الجليد وانحساره أو تراجُعه، كما تُسهم الأمطار اللاحقة في تغذية هذه البُحيرات، كما هي الحال في البُحيرات الكُبرى في كندا، (شكل١٧٧).



شكل رقم (١٧٧): بحيرة جليديَّة صورة رقم (١٧٣): بحيرة جليديَّة في آلاسكا

٧- البُحيرات الساحلية:

تشكلَّت هذه البُحيرات إمَّا خلف أشرطة الرسوبات المتوضعة على طول الشاطئ تُعرف باللاغونات، أو بوساطة الترسبات القاريَّة (الدالات)، أو خلف الكثبان الشاطئيَّة.

٨- البُحيرات الناجمة عن الانزلاقات الأرضية في المناطق الجبلية:

إذ تتراكم الكتل المنزلقة لتشكِّل سدوداً تعترض سير المياه، كبُحيرة البيرنية في جبال الجورا بفرنسا.

٩- البُحيرات النيزكيَّة:

تُشكِّل حُفراً قد تحتلَّها المياه مُشكلةً بُحيرات عند اصطدام النيازك بالأرض، كحُفرة شوب في كندا.

١٠- البُحيرات ذات المنشأ الريحي أو المطري:

قد تسود البُحيرات في المناطق الجافَّة، حيثُ تقوم الرياح بالتعرية الريحيَّة (التذرية الكُليَّة) لتُشكِّل المُنخفضات، وعقب سقوط الأمطار تنقلب إلى بُحيرات مؤقتَّة جدَّاً تُسمَّى (Pluvial Lakes).

أمَّا من حيث الخصائص الكيميائيَّة لمياه البُحيرات فيُمكن التمييز بين:

- بُحيرات المياه العذبة.
- بُحيرات المياه المالحة.

البُحيرات العذبة: هي البُحيرات التي تخرُج منها مياهها عبر الأنهار كالبُحيرات العُظمى في كندا، وبُحيرة بايكال في سيبيريا، وبُحيرات نهر النيل.

أمَّا **البُحيرات المالحة:** فهي البُحيرات التي تنتهي إليها المجاري المائيَّة ولا يخرُج منها نهر كبُحيرة تشاد، وبُحيرة سولت ليك في أمريكا، تزداد هُنا ملوحة الماء بسبب نشاط البحر، وغالبيَّة هذه البُحيرات تكون مؤقتَّة أو فصليَّة.

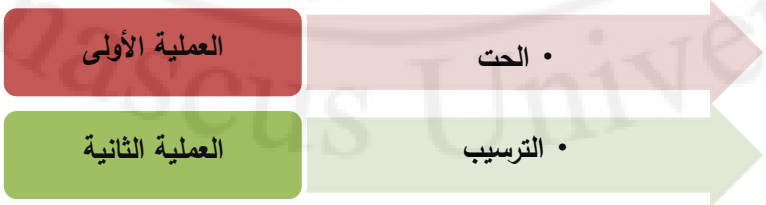
وقد يختلف تركيب مياه البُحيرات تبعاً لطبيعة الأراضي التي تمرُّ عليها روافد البُحيرة، فتحتوي على أملاح الكلور، الكبريت، الكلسيَّة، السيلسيَّة، المغنيزيَّة، الحديديَّة، الصوديَّة كالبحر الميت الذي تبلغ ملوحة الماء فيه (350) غراماً في الليتر الواحد.

أخيراً للبُحيرات أهميَّة هيدرولوجيَّة، ومُناخيَّة، واقتصاديَّة، فهي تعمل على ضبط الفيضان النهري وتنظيمه، وتُساعد على حفاظ مستوى مياه النهر وتؤثِّر في المُناخ المحلِّي (Micro Climate).

تعُدُّ بعض البُحيرات مصدراً هامَّاً لمياه الشرب والأسماك، وقد تلعب البُحيرات دوراً هامَّاً في توليد الطاقة الكهربائيَّة، كما تُشكِّل شواطئها أحياناً مناطق اصطياف وانتجاع وتُمارس على سطوحها رياضات ترفيهيَّة تتمثَّل بسباقات الزوارق الشراعيَّة، كما هو الحال في غالبيَّة البُحيرات الإيطالية والأمريكيَّة.

الفعل الجيولوجي للبُحيرات:

تؤدِّي حركة المياه ضمن البُحيرات دوراً بالغا الأهميَّة كعامل جيولوجي، وجيومورفولوجي، مُتمثلاً بعمليَّتي:

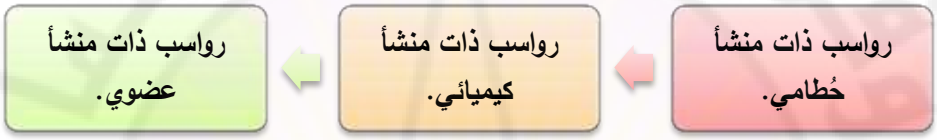


الحت البحري:

يتم بتأثير فعل حركة الأمواج وارتطامها بشواطئ البُحيرات ذات البيئة المُختلفة، ممَّا يؤدِّي إلى تخريبها وتحطيمها وتفتيتها مؤديةً إلى توسيع البُحيرات مع الزمن على حساب اليابسة.

ترتبط عمليَّة الحت البُحيري كما هي في الحت البحري (الساحلي) بقوَّة الأمواج، وطبيعة الشاطئ، ونوعيَّة صخوره، ودرجة انحداره الطبوغرافي.

الترسيب البُحيري: تأخُذ الرواسب البُحرية عدَّة أنواع حسب منشأ هذه الرواسب:



- رواسب ذات منشأ حُطامي:

تتكوَّن من تجمُّع الرسوبات التي تحملُها الأنهار عند اجتيازها البُحيرات أو التي تصبُّ فيها، ومن المواد المُتفككة عن حت الشاطئ الناجم عن الأمواج.

تتألَّف هذه الرواسب من حصى ورمال وأوحال غُضاريَّة ناعمة، تتوضَّع على شكل طبقات مُتعاقبة تُدعى في البُحيرات الجليديَّة (بالفارف) أو الرواسب الحوليَّة.

- رواسب ذات منشأ كيميائي:

تتشكَّل هذه الرواسب من الأملاح المُختلفة في البُحيرات المُغلقة أو التي تُحاذي مياه البحر خاصَّةً في المناطق الصحراويَّة، حيثُ تترسَّب توضُعات ملحيَّة كيميائيَّة نتيجة التبخُّر الشديد فتتوضَّع الكلوريدات (ملح الطعام والبوتاسيوم)، والكبريتات (جص وانهدريت).

- رواسب ذات منشأ عضوي:

يتم هذا الترسيب وسط البُحيرة، ويتكوَّن من تكدُّس بقايا الكائنات الحيَّة التي تعيش في طبقات الماء السطحيَّة، والإشنيَّات، والطحالب في قيعان البُحيرات، كتشكُّل الحوَّار البُحيري، وقد تتفكَّك وتتحلَّل هذه البقايا بعيداً عن أوكسجين الهواء لتُعطي مواد هيدروكربونيَّة (غاز طبيعي) أو فحميَّة (التورب والليغنيت)، أمَّا وجود المشطورات فيؤدِّي إلى إعطاء رواسب وصخور سيليسيَّة كصخور الدياتوميت.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

ج- عمل المياه الجارية

الأنهار: يُعرَّف النهر بأنَّه كل ماء جارٍ ضمن قناة طبيعية ذات جوانب مُحدَّدة واضحة، وذلك بغض النظر عن نظام الجريان، والتغذية (دائم – موسمي – مؤقت "سيول")، وعن أطوالها، فهُنالك أنهار طويلة كالأمازون (7025 كم/6000 كم)، مع صبيب قدرهُ (150000 م^3/ ثا)، وعرض متوسط لمجراه قدرُه (3 كم)، أمَّا إذا أضفنا سهل الفيضان فإنَّ هذا العرض يتضاعف بضع مرات، وتتحوَّل المنطقة إلى نطاق مُشبع تماماً بالماء يُدعى (Varjea) يصبُغ مياه المحيط لمسافة (100كم) بلون الطمي والغريه الذي يحمله (لون العكر)، للمجرى الرئيس للنهر عدَّة أقنيَّة موازية (يتفرَّع أحياناً ويلتقي أحياناً أُخرى)، (شكل ١٧٨).

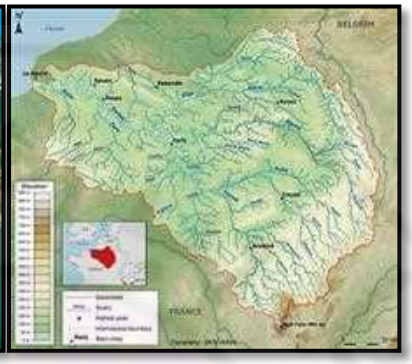


شكل رقم (١٧٨) : نهر الأمازون **صورة رقم (١٧٤): نهر الأمازون**

كذلك نهر السين طوله (776 كم) فله مجرى وحيد، بعرض متوسط قدره (100 م)، وصبيبه أقل بـ (300 مرة) من صبيب الأمازون، (شكل١٧٩).



صورة رقم (١٧٥): نهر السين



شكل رقم (١٧٩): نهر السين

أمَّا نهر الدورانس طوله (350 كم)، في مجراه الأدنى يتحوَّل إلى مجموعة من الخيوط المائية ينفصل بعضها عن بعض بكتلٍ مُختلفة الأحجام، وصبيبه مساوٍ تماماً لصبيب السين، (شكل ١٨٠).



صورة رقم (١٧٦): نهر الدورانس



شكل رقم(١٨٠): نهر الدورانس

وإلى جانب هذه الأمثلة هُنالك الأنهار والنهيرات الصغيرة التي لا يتجاوز طولها بضع كيلومترات، ولا يزيد صبيبها عن بضعة أمتار مُكعَّبة، ورغم ذلك فإنَّ تسمية نهر تنطبق عليها تماماً كما تنطبق على أكبر الأنهار وأهمُّها.

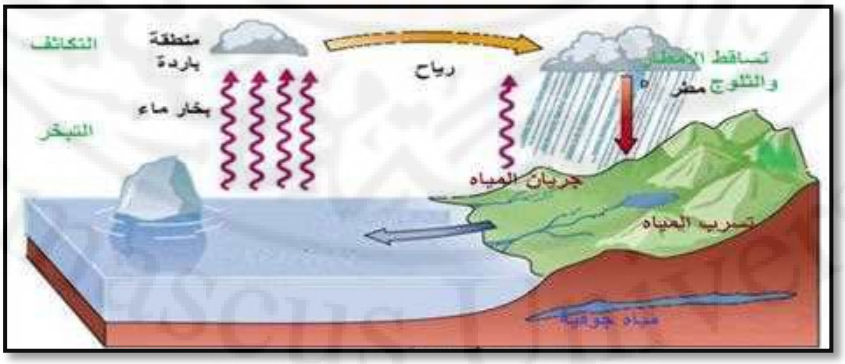
تتشكَّل الأنهار نتيجة الأمطار بالدرجة الأولى، حيث تُعتبر الأمطار المصدر الرئيس لكافَّة أنواع المياه التي تجري على سطح الأرض، والتي تتسرَّب أيضاً لتُشكِّل المياه الجوفية، فالماء الجاري

هو الماء الذي ينساب على السطح من العالية إلى السافلة تحت تأثير الجاذبية، وعند انسيابه يحفر لنفسه مجرى خاص به يُسمَّى بالأنهار، (شكل١٨١).



شكل رقم (١٨١): تكوُّن الأنهار

ويقوم الماء في أثناء جريانه بحمل المواد المفكَّكة ونقلها من مكانٍ إلى آخر خلال العمليات الجيومورفولوجية (حت، نقل، ترسيب) وهذا ناجم عن الطاقة التي تولَّدت نتيجة الانحدار الطبوغرافي، أي جريان النهر ليصل بالنهاية إلى مستوى أساس له وهو البحار والمحيطات، ثُمَّ يعود ليتبخر من جديد ويرتفع إلى الطبقات الجوية العليا ويتكاثف مسقطاً الأمطار أو الثلوج، التي تعود من جديد إلى سطح الأرض مشكِّلاً بذلك الدورة الهيدرولوجية،(شكل١٨٢).



شكل رقم (١٨٢): دورة الماء في الطبيعة

تبدأ المياه الجارية حركتها على شكل صفائح رقيقة وعريضة تُسمَّى بالتدفق الصفي، وتتأثَّر كميَّة المياه على سطح الأرض بعدَّة عوامل وهي:



أمَّا المجرى المائي يُستخدم للدلالة على القنوات المائية الصغيرة والكبيرة التي تتجمَّع مشكِّلةً مياه النهر، وقد تأخذ منذ تشكُّلها عدَّة أشكال:

١- التدفقات العشوائية (Over land flows): وهي التدفقات التي لا تتبع مجرى محدداً واضح المعالم بل تنتشر على شكل أغطية رقيقة (shoe flows) وسريعة فوق السطح.



صورة رقم (١٧٧): التدفُّقات العشوائية

٢- جداول صغيرة (Shoe string ills): وهي مرحلة وسط بين التدفقات العشوائية والقنوات الدائمة، وهي مجار عديدة تتشكَّل بعد سقوط أمطار عاصفة، تتخذ مسارات شبه متوازية قليلة العمق على سطح التلال.



صورة رقم (١٧٨): الجداول الصغيرة

٣- **القنوات النهرية الدائمة (Stream channels):** تأخذ هذه المجاري أقصر طريق في انحدارها، وتُشكِّل بدورها شبكة نهرية متكاملة (حوض نهري)، (شكل١٨٣).



شكل رقم (١٨٣): شبكة التصريف المائي

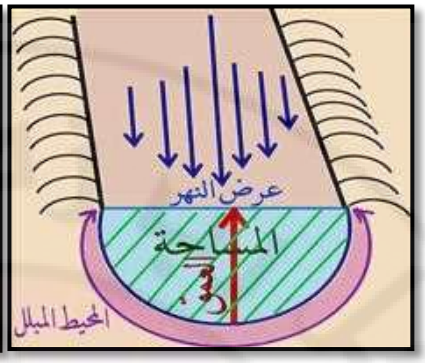
تتجمَّع المجاري العشوائية لتُشكِّل جداول صغيرة وانحدارات، يجتذب الكبير منها الصغير فتسمَّى ظاهرة **اختزال الجداول**، لتصل إلى المجرى الرئيس الثابت المحدد وهو عبارة عن: قناة طويلة ضيقة أو واسعة.

يُقدَّر **عرض المجرى المائي:** بالمسافة بين حافة الماء من نقطة على أحد الجانبين وبين نقطة أخرى على الجانب المقابل في خط مستقيم يتعامد مع اتجاه التيار.

أمَّا **عُمق المجرى فهو:** المسافة العمودية بين سطح الماء وقاع المجرى في مكانٍ محدَّد، (شكل١٨٤).



صورة رقم (١٧٩): عرض المجرى المائي

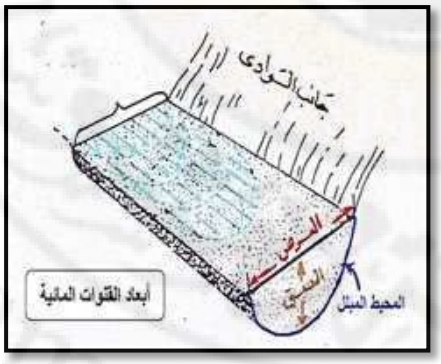


شكل رقم (١٨٤):عرض وعمق المجرى المائي

والمحيط المبلل (Primeterw hed) فهو: طول المسافة في قوسٍ مباشر بين النقطتين التي قِيسَ عندها عرض المجرى.

أمَّا المساحة النصف قطرية (ح) فهي: السطح الذي يحدُث عند قطاع عرضي قائم في المجرى.

ونصف القطر الهيدروليكي (Hydrolic Radious) (ط) عبارة عن: النسبة بين المساحة (ح) المقسومة على طول المحيط المبلل (م) أي ط=ح/م، (شكل١٨٥).



شكل رقم (١٨٥): أبعاد القنوات المائية

وقبل أن نتعرَّض لدراسة العمليات الجيومورفولوجية للمياه الجارية والأشكال الناجمة عنها، يجب أن نضع في الاعتبار أنَّ:

حوض التصريف النهري: نظام بيئي طبيعي معقَّد يتضمن داخل حدوده (خط تقسيم المياه) أنواعاً غايةً في التنوع من التكوينات الصخرية السطحية والتربة، ومن النباتات الطبيعية وغيرها من مكوناته كنظامٍ طبيعي، لأنَّ مياه النهر تتعرَّض للعديد من العمليات كالبخر والتسرُّب في التكوينات الصخرية، واستهلاك النباتات إلى جانب ما يستخدمه الإنسان من مياهٍ لسدِّ حاجاته.

إذا كان الماء جارياً طول العام سُميَّ نهراً دائماً (Permanent Stream)، أمَّا إذا كان لا يجري إلَّا على فتراتٍ متباعدة كلَّ عدَّة سنوات مثلاً سُميَّ نهراً جافاً (Dry Stream) وهذا سائد في وديان الأراضي الجافة.

رُغم كُل ما سبق، فإنَّ التضريس النهري العادي النموذجي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالأنهار المستمرةِ الجريان على مدار السنة بالدرجة الأولى، وذلك يسمح لنا بالكلام عن وجود نوع من القدرة والطاقة مُرتبطتين بتحرُّك الماء الجاري مُولدَّاً أوجه نشاط جيومورفولوجي مُتباينة تماماً من قطاعٍ إلى آخر، ومن نقطةٍ إلى أُخرى (حت – ترسيب – نقل).

– نظام جريان الأنهار (River regimen):

يُقصد بنظام جريان الأنهار: التفاوت الفصلي لكميَّة المياه التي يحملها النهر، ويرجع هذا التفاوت إلى كميَّة التساقط واختلاف مواسم سقوطها تبعاً للعوامل التالية:

١– يُمكن أن يأخذ التساقط شكل أمطار أو ثلوج أو برد .....إلخ، وقد تختلف كميَّة هذا التساقط فصلياً.

٢– درجة الانحدار الطبوغرافي: حيثُ أنَّهُ كلما اشتد الانحدار كلما ازدادت سرعة الماء و الصرف (صرف مياه النهر)، وذلك بسبب سرعة تدفق المياه.

٣– طبيعة الصخور: فهناك الصخور النفوذة (Permeqbility) أي ذات المسام فهي تعمل على امتصاص المياه أثناء الفيضان وترجَع بها وقت الجفاف (كنهر النيل).

٤– خصائص الغطاء النباتي: حيثُ إنَّ كثافة الغطاء النباتي تُعيق سير المياه، وتقلِّل من تدفُّقِهَا.

كما أنَّ مرور النهر في بحيرات يؤدِّي إلى تنظيم مياه النهر، حيث تحتجز البحيرات المياه الفائضة وتُغذِّيه بها أثناء انخفاض مستوى مياهه.

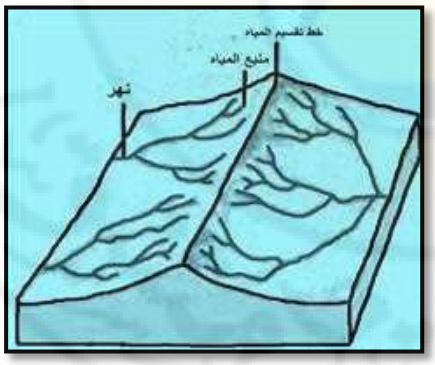
ومن خلال اختلاف مصادر تغذية الأنهار تختلف فترات فيضانها:

– فإذا كان النهر يتغذَّى نتيجة ذوبان الثلوج على المرتفعات من منابعه، تكون فترة فيضانه إبان فصل الربيع وأوائل الصيف.

– أمَّا في حالة الأنهار التي تستمدُّ مياهها من الأمطار وحدها، فنجد أنَّ منسوب المياه يرتفع في فترة سقوط الأمطار، وينخفض في فصل الجفاف أو فصل الصيف.

– أمَّا في العروض المدارية فيتوافق ارتفاع منسوب الماء مع فترة سقوط الأمطار، وذلك لارتفاع درجة الحرارة وارتفاع نسبة التبخر.

يتشكَّل النهر الرئيس من مجموعة مجاري مائيَّة، تلتقي الصغيرة مع بعضها وتُسمَّى بالروافد (Tributary)، ولكلٍّ من هذه الروافد روافد أصغر منها حتى تصل إلى أصغر الروافد عند قمم المرتفعات تلك المناطق التي تُجمِّع مياه الأمطار، فتقوم بتجميعها وتوصيلها إلى النهر الرئيسي، ومن ثمَّ إلى المصب، ويُسمَّى النهر الرئيسي وروافده بالنظام النهري أو بنظام الصرف، أمَّا المناطق المرتفعة التي تُغذِّي النهر وتفصل بين حوضين نهرين فتُسمَّى بخط تقسيم المياه (Water shed)، (شكل١٨٦).



شكل رقم (١٨٦): حوض نهري

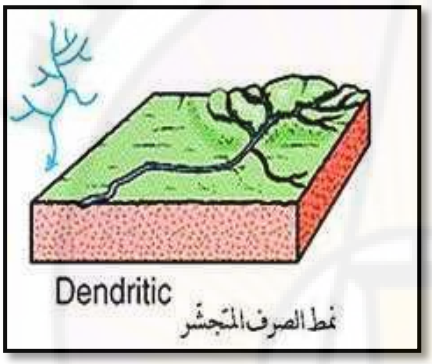
أنماط الصرف:

تختلف المجاري النهرية من مجرى إلى آخر تبعاً لتنوع مظهرها الجيومورفولوجي وسرعة جريانها، واختلاف درجة انحدارها، ومراحل تطورها وعمرها ونشأتها وعلاقتها بالتركيب الصخري، ونظام بنية طبقات الصخور التي كشفتها هذه الأنهار.

عند جريان المياه على سطح الأرض فإنَّها تجري في أسهل مجرى أمامها، أي أنَّها تسلُك مناطق الضعف وخطوط الفوالق والشقوق، وهي التي تُحدِّد أشكال المجاري المائية، وكيفية التقائها مع بعضها، ويُسمَّى هذا بخط الصرف وهناك أربعة أنماط من الصرف هي:

١- نمط الصرف المتشجِّر أو المتفرِّع (Dendriticd Rainage Pattern):

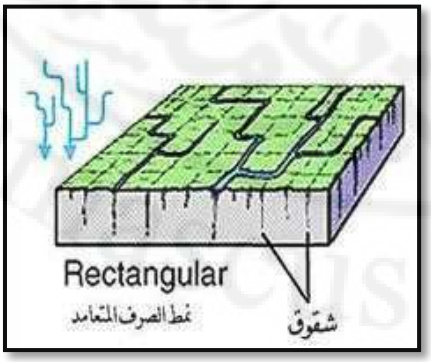
تأخُذ فيه الشبكة المائية شكل الشجرة بأغصانها، ويسود هذا النمط من الصرف فوق الصخور النارية والمتجانسة، (شكل١٨٧).



شكل رقم (١٨٧): نمط الصرف المُتشجِّر

٢- نمط الصرف المتعامد (Rectangular Drainage Pattern):

يسود هذا النمط فوق تراكيب جيولوجية ذات اتجاهات متعامدة على بعضها، وتتَّخذ فيها المجاري اتجاهاً مستقيماً، كما تتلاقى الروافد أيضاً بزوايا قائمة، وذلك بسبب سلوك الأودية مناطق الضعف كالكسور والفواصم، وهي تتحكَّم في اتجاهات المجاري المائية، (شكل١٨٨).

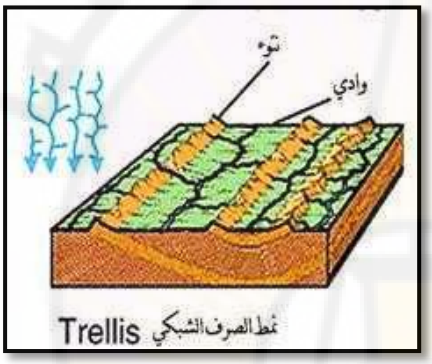


شكل رقم (١٨٨): نمط الصرف المُتعامد

٣- نمط الصرف الشبكي (Trellis Drainage Pattern):

يتكوَّن في المناطق ذات الصخور المنطبقة، حيثُ تجري الأنهار الرئيسية على طول سطح الأرض الفاصلة بين الطبقات وتتصل بها الروافد متجاورة وعمودية عليها.

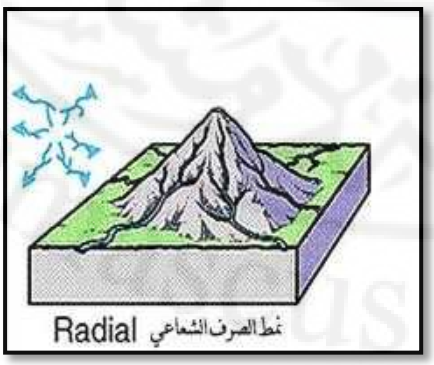
ويتكوَّن هذا النظام في المناطق التي تتألَّف من طبقات صلبة بينهما طبقات ذات مقاومة أقل، أي عندما تبرز الصخور الصلبة أمَّا الضعيفة المقاومة مشكلَّة أحزمة متوازية تقريباً، (شكل١٨٩).



شكل رقم (١٨٩): نمط الصرف الشبكي

٤- نمط الصرف الشعاعي (Redial Drainage Pattern):

يأخذ فيها صرف المياه شكل شعاعي، يتشكَّل فوق المناطق المرتفعة المركز، وتنحدر في جميع الاتجاهات، كما هو الحال فوق المخروط البركاني وتراكيب القباب المرتفعة، (شكل١٩٠).



شكل رقم (١٩٠): نمط الصرف الشعاعي

- العوامل المؤثِّرة في أنظمة الأنهار:

أ- التغذية ب- الطُبوغرافيا ج- الليتولوجيا

د- العوامل الحيوية، وأهميَّة الهوموس في زيادة مساميَّة التربة، وعرقلة الجريان السطحي) واستغلال الإنسان لها.

هـ- المُناخ:

$$Er = \frac{p}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

وسطي درجة الحرارة = T المعدَّل السنوي للتهطالات = P

معدَّل البخر- النتح السنوي مُقدَّراً بالمم = Er

L = مُتغيِّر يُحسب بالعلاقة التالية: $L= 300+25T+0.05T^3$

و- فيضانات الأنهار، وأهميَّتها الجيومورفولوجية إضافةً إلى أخطارها.

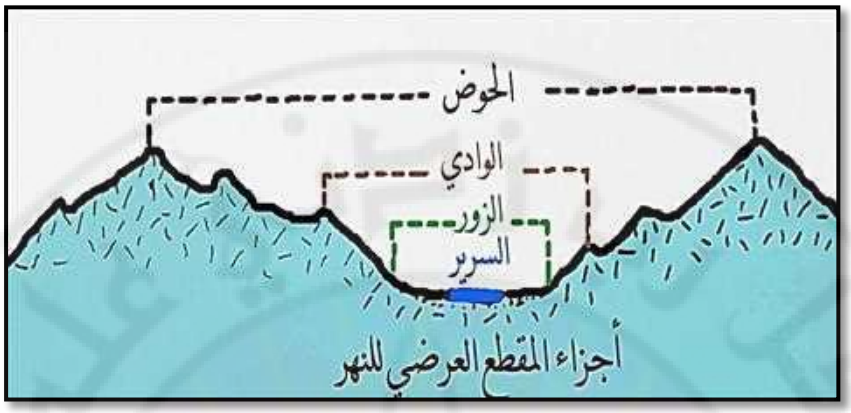
ي- كميَّات الحمولة من الأمور الهامَّة التي تشغل الإنسان، فإنَّ ما تحملهُ الأنهار إلى البحار والمحيطات كافٍ لأن يُخفِّض مستوى سطح الأرض بمقدار (1سم) كُل (300 سنة)، وهذا معناه أنَّ سطح الأرض سوف يُسوَّى تماماً بعد (25000000 سنة.....؟).

إذاً تكمن الأهميَّة الكُبرى لعمل الانهار في أنَّها تنقُل إلى البحار ما يزيد عن (90%) من الرسوبيَّات التي تتلقاها هذه البحار، مُقابل (7%) تنقُلهُ الجليديات، في حين أنَّ الرياح لا تنقُل أكثر من (1%).

- أقسام الجهاز النهري:

آ- المقطع العرضي: حوض - وادي - السهل الفيضي - سرير

الحوض: هو المساحة المحصورة والتي يُحددُها خط تقسيم المياه، وتشمُل جميع القطاعات التي إذا سال عليها الماء فإنَّه ينتهي بصورةٍ مُباشرة أو غير مباشرة إلى مجرى النهر الرئيسي الذي ينتهي بدوره عند مستوى أساس مُعيَّن (مُطلق - مُؤقت)، (شكل١٩١).



شكل رقم (١٩١): أجزاء المقطع العرضي للنهر

الوادي: ويتألَّف من الجوانب المُشرفة مُباشرةً على النهر، أو أنَّه المُنخفض المُتطاول الذي يحتَّلُ السرير قاعهُ، ويُشرف مُباشرةً على سرير النهر.

السهل الفيضي أو الزور: وهو الجزء الذي يحتلَّه المياه خلال فترة الفيضان.

السرير: وهو عبارة عن الخط الذي يصل بين أعمق النقاط في وادٍ ما، وتحتلَّهُ المياه بصورة دائمة.



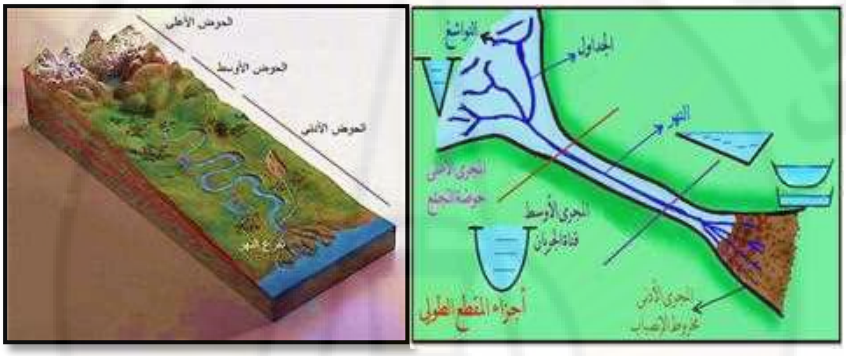
صورة رقم (١٨٠): الوادي النهري

ب- المقطع الطولاني:

*حوض التجمُّع – القطاع الأعلى (عالية النهر): والنشاط الجيومورفولوجي حت.

*قناة الجريان – القطاع الأوسط (واسطة النهر): والنشاط الجيومورفولوجي نقل + ترسيب مع وجود الحت الجانبي.

*مخروط الانصباب – القطاع الأدنى (سافلة النهر): والنشاط الجيومورفولوجي ترسيب، ضعف الانحدار يؤدِّي إلى تناقُص السرعة، وبالتالي تناقُص القدرة ⟵ تبدأ الرسوبات بالتوضُّع، وتُصبح الرسوبات أكثر دقَّة كُلَّما اقتربنا من المصب، وهذه المواد تُشكِّل مخروطاً مروحي الشكل قاعدتهُ باتجاه المصب، (شكل١٩٢).



شكل رقم (١٩٢): أجزاء المقطع الطولي

أمَّا إذا انتهى النهر في البحر مُباشرةً دون وجود مخروط انصباب بالإضافة إلى ضعف الانحدار الطبوغرافي يؤدِّي إلى ظهور ما يُعرف بـ (الدلتا).



صورة رقم (١٨١): مصب النهر في البحر

- حركة المياه في الأنهار والفعل الهيدروليكي (Hydroulic Action):

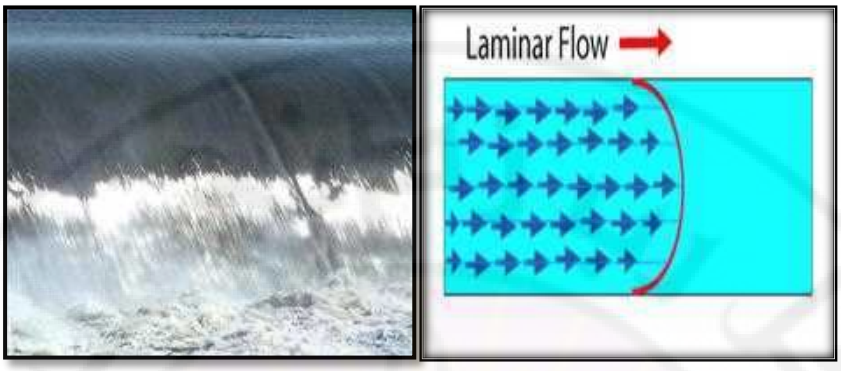
إنَّ الأساس في عمل الأنهار هو حركة الماء، لأنَّ الماء غير المُتحرك عاجز عن القيام بأيِّ نشاط جيومورفولوجي إلَّا إذا قام بالتحلل الكارستي، وعُنصر الحركة هذه أو طبيعتها تتخذ أشكالاً لا حصر لها، تتغيَّر طبيعتُها بتغيُّر العناصر التي تؤثِّر فيها وأهمَّها:



ولمَّا كانت هذه العناصر مُتغيِّرة من مكانٍ إلى آخر، ومن قطاعٍ إلى آخر (ضمن النهر الواحد)، فإنَّ الحركة ذاتها تُصبح مُتغيِّرة جدَّاً تبعاً لتغيُّر العناصر المؤثِّرة فيها، وتبعاً لتفاعل العناصر ذاتها، وعلى العموم يُمكن أن نُميِّز بين شكليين أساسيين للحركة:

آ- الشكل الخطِّي الانسيابي (Laminar Flow):(جريان مائي على شكل خطوط موازيَّة لمحور قناة الجريان).

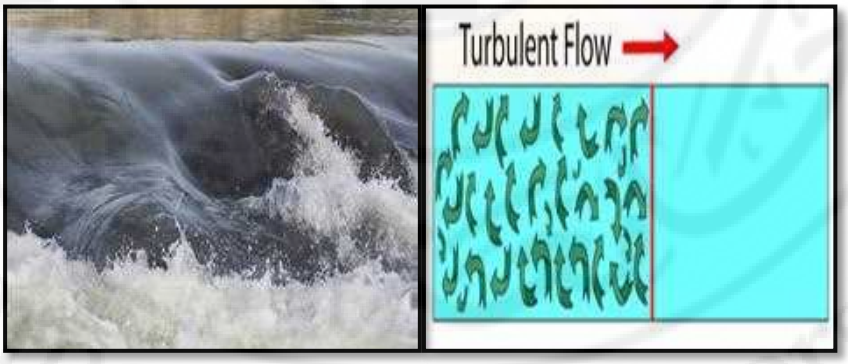
وفيها تتحرَّك تيارات الماء على شكل خطوط مستقيمة متوازية، تبلغ أقصى سرعة لها في منتصف المجرى تحت السطح بقليل، ولكنَّها تقلُّ بالتدرُّج كلما اقتربنا من جانبي المجرى وقاعه، ويكون الجريان هادئاً، ويُلاحظ الجريان الانسيابي هذا في أجزاء الأنهار القليلة العمق، والضعيفة الانحدار، حيثُ السرعة منخفضة (0.5-0.6 م/ ثا)، (شكل ١٩٣).



شكل رقم (١٩٣): الحركة الانسيابية صورة رقم (١٨٢): الحركة الانسيابية للمياه

ب- الشكل المُضطرَّب الدوامّي: (جريان مائي دوراني، مائل، عمودي، مُعترض،.....الخ بالنسبة لمحور قناة الجريان).

بالنظرة الفاحصة لحركة مياه النهر السطحية نجد أنَّها تكون أسرع وسط القناة المائية بالمقارنة لحركتها قرب الجانبين، حيثُ تتناقص السرعة تدريجياً من الوسط باتجاه الجانبين، ولكن بسبب عدم انتظام شكل القناة المائية تتكون حركة شبه دواميَّة للمياه تظهر باتجاه أعالي النهر، وتُعرف هذه بالحركة الدواميَّة (Turbulent Flow). (شكل١٩٤).



شكل رقم (١٩٤): الحركة المُضطربة صورة رقم (١٨٣): الحركة المُضطربة للمياه

إلى جانب ذلك تحدُث حركة دواميَّة رأسيَّة (Vertical Turbulence) تنتُج عن زيادة سرعة المياه السطحيَّة بالمُقارنة بسرعةِ المياه عند قاع النهر.



صورة رقم (١٨٤): الحركة الدواميَّة للمياه

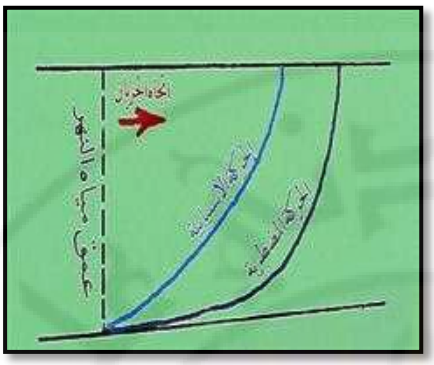
وتتمثل أهمَّية التيارات الدوامية في زيادة فعالية الحت النهري، وتُسبب مزجاً لمياه النهر.

ونتيجةً للحركة الدواميَّة للمياه تظهر أشكال كبيرة لها مظهر الأقماع المفتوحة نحو السماء تدور المياه حولها باتجاه الأعماق بأسلوب حلزوني لولبي له أهميَّة حتيِّة كبيرة (قدور الجبابرة).



صورة رقم (١٨٥): قدور الجبابرة

ويَتمُّ دراسة أسلوب جريان مياه الأنهار، والفصل بين الجريان الانسيابي والدوامي بمعادلات رياضيَّة منها:



شكل رقم (١٩٥): الحركة الانسيابية والمضطربة

مُعادلة فرويد اختصاراً لـ (Fr) وهي:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * D}}$$

V= متوسط سرعة

D= العمق

G= الثقالة

فإن كانت النتيجة أقل من (1) كانت الحركة انسيابية، وإن زادت عن (1) كانت الحركة دواميَّة مُضطرَّبة، علماً أنَّ عُنصر الثقالة (الجاذبية الأرضية) رقم ثابت.

معادلة أو عدد رينولد اختصار لـ (Re):

فعندما يكون الناتج في هذه المعادلة أقل من (500) تكون حركة المياه انسيابية خطيَّة، أمَّا إذا تجاوز الناتج (750) فتكون الحركة دواميَّة.

- سرعة التيار (Current Velocity) :

وهي العنصر الأهم في الأعمال الجيومورفولوجيه وفي شكل جريان الماء، وتمثِّل سرعة جريان الماء في مجرى النهر، وتعتمد أساساً على الانحدار، كما تتأثَّر بمدى خشونة قاع النهر وجوانبه، فكلَّما ازدادت النتوءات فيها كلَّما كان احتكاك الماء بها أكثر، وبالتالي يؤدِّي إلى نقص سرعة الماء، كما أنَّ شكل المجرى يُحدّد السرعة فالقناة النصف دائرية يكون الانسياب فيها أسرع من غيرها لأنَّ السطح المُلامس للماء فيها يقلُّ عن القناة ذات المقطع المستطيل، وكذلك تتأثَّر

سرعة التيار بكميَّة الماء التي تصل إلى المجرى، فكلَّما زادت هذه الكميَّة زادت السرعة، (شكل١٩٦).



شكل رقم (١٩٦): تأثير شكل القناة على السرعة

ومُعادلة تشيزي تُعطينا فكرة عن السرعة والعوامل المؤثِّرة فيها:

$$v = C\sqrt{R * I}$$

V= السرعة C= مُعامل الاحتكاك وهو ثابت متوسطه (0.5)

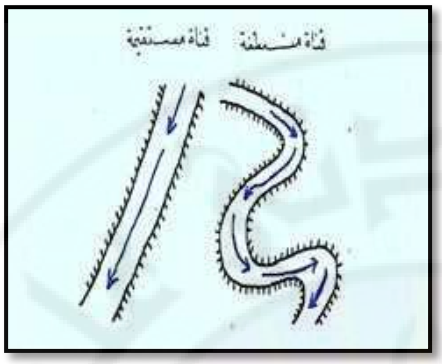
I= الانحدار R= نصف القطر الهيدروليكي

$$R = \frac{S}{P}$$

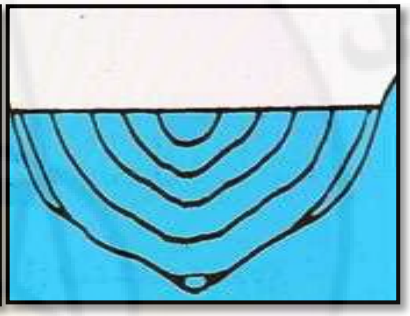
S=مساحة سطح مقطع عرضي قائم في مجرى النهر

P=طول المحيط المُبلّل للمقطع العرضاني ذاته

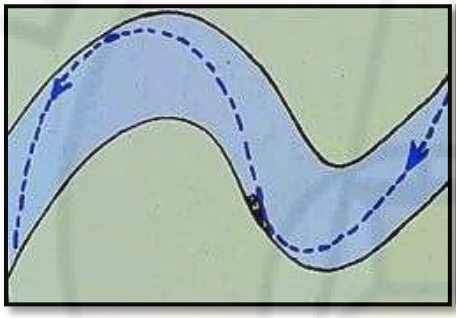
أمَّا على الصعيد العملي وفي الطبيعة، وفي المجاري النهرية المُستقيمة ذات المقطع العرضاني المُتناظر، فإنَّ أسرع أجزاء النهر تكون في وسط النهر ومنتصفه وتحت السطح بعُمقٍ قليل جدَّاً، أمَّا أقل السرعات فنجدها على الضفاف والقعر حيثُ يزداد عامل الاحتكاك، وبالتالي تتزايد المُقاومة، أمَّا في التعرُّجات والأكواع فإنَّ محور السرعة القُصوى على السطح يترنَّح من ضفةٍ إلى أُخرى مُقترباً من الضفة المُقعرَّة ومُبتعداً عن المُحدَّبة، (شكل١٩٧).



شكل رقم (١٩٧): قناة المستقيمة والمنعطفة



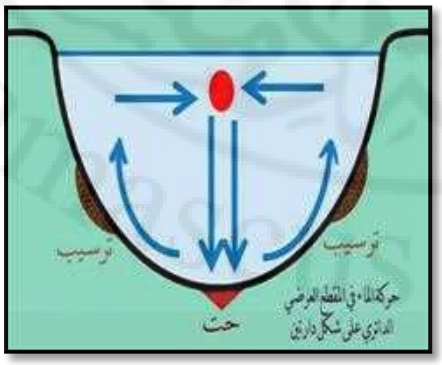
شكل رقم (١٩٨): خطوط السرعات القصوى نهرٍ ذو مجرى متعرِّج



شكل رقم (١٩٩): خطوط السرعات المتساوية في عرضاني متناظر

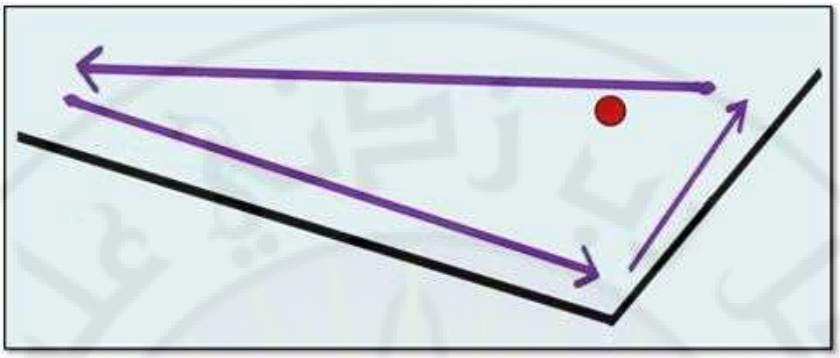
أمَّا فيما يتعلَّق بالحركات العمودية والجانبية في المقطع العرضاني:

في مقطع عرضاني مُتناظر لدينا الحركتين الدائرتين التاليتين: (شكل٢٠٠).



شكل رقم (٢٠٠): مقطع عرضي متناظر؛ تشكل فيه حركة مياه النهر دارتين

أمَّا في مجرى مقطع عرضي غير مُتناظر فإنَّنا نُلاحظ وجود حركة دائرية واحدة، (شكل٢٠١).



شكل رقم (٢٠١): مقطع عرضي غير متناظر؛ تشكل فيه حركة مياه النهر دارة واحدة

من هُنا يُمكن القول: إنَّ هذه النماذج قد تتعاقب على طول المجرى الواحد حسب تغيُّر طبيعة مقطع النهر وشكله.

– قدرة الأنهار (القدرة الخام والقدرة الصافيَّة):

كل كتلة ماء متحرِّكة لها قدرة معينة تتعلَّق بالكتلة ذاتها أو الصبيب، وبمربَّع السرعة، حيثُ إنَّ سرعة النهر هي مُحصلة انحداره، ونظريَّاً لو افترضنا أنَّ مياه النهر نقيَّة، بدون مُقاومة على القاع وبدون حمولة (ذائبة أو مُعلَّقة)، فإنَّ هذه السرعة سوف تتزايد إلى مالا نهاية حسب تزايد الانحدار، دون أن تتناقص إطلاقاً شريطة انتظام قاع المجرى، وخُلوِّه من المُنحدرات العكسيَّة في مجراه.

وهذه النظرية لا تنطبق على الواقع طبعاً، وذلك لأنَّ قسماً من القدرة آنفة الذكر لابدَّ من حذفها للتغلب على مقاومة لزوجة الماء، وجزء أخر يُصرف في التغلب على مقاومة وعورة وخشونة السرير النهري، وجزءاً ثالثاً يُصرف على نقل المواد أو الأنقاض والمجروفات المختلفة (الذائبة أو المعلقة أو الطافية والمجرورة على القاع).

وهذا ما يدعونا للتمييز بين ما يُدعى بالقدرة الصافيَّة (Puissancenehe)، والقدرة الخام (Puissance):

فالقدرة الخام هي: إجمالي الطاقة والقدرة الناجمة عن حركة المياه الجارية في فترةٍ زمنيَّة مُحدَّدة، وفي نقطةٍ مُحدَّدة من المجرى، على حين أنَّ **القدرة الصافيَّة** هي: القدرة الخام مطروحاً منها القدرة المصروفة على الاحتكاكات بأنواعها المختلفة (مياه + احتكاك بالقاع + مقاومة الهواء)، وعلى نقل المواد الذائبة والعالقة والمجرورة سحباً أو قفزاً على القاع.

$$PN = PB - PC$$

PN= القدرة الصافيّة PB= القدرة الخام

Pc= القدرة الضائعة: وهي القدرة المصروفة على الاحتكاكات الداخلية، مُضافاً إليها القدرة المصروفة على نقل حمولة النهر.

إذا كانت (PC) أقل من (PB) فإنَّ قيمة (PN) تكون موجبة، وعندها يتمكَّن النهر من الحفر والتعمُّق في النقطة المعنيَّة، ولكن بحفره هذا تزيد حمولته وتزيد الطاقة المصروفة على النقل والاحتكاك، ممَّا يؤدِّي إلى تناقُص القدرة الصافيَّة من جديد لدرجةٍ تصل معها إلى قيمه معدومه تساوي الصفر، وعندها تُصبح طاقة النهر كلُّها مصروفة على الاحتكاكات، وعلى نقل الحمولة فقط، وعندها لدينا:

$PB = PC = 0$ أي لا يوجد لا حفر ولا ترسيب.

وبالمُقابل إذا كانت (PC) أكبر من (PB) فإنَّ (PN) تُصبح ذات قيمة سلبية، وعندها يضطرَّ النهر إلى التخلي عن حمولته، ويتناقص هُنا انحدارهُ، وبالتالي طاقته لدرجةٍ نعود معها إلى التوازن السابق، أي تُصبح قدرة النهر فقط مُعادلة للطاقة المصروفة على الاحتكاكات، وعلى نقل الحمولة (انحدار التوازن).

– القدرة على الحت والنقل:

رأينا أنَّ قدرة النهر بزيادتها على الطاقة المصروفة على النقل والاحتكاك، أي عندما تكون (PN) إيجابية، فإنَّ النهر سوف يبدأ عمليَّة الحفر والحت، وهذه القدرة تتعلَّق حكماً بالسرعة، وبكميَّة الماء المارَّة في المقطع النهري، حيثُ:

$$V = \frac{D}{T}$$

V= السرعة D= كتلة أو كميَّة الماء المارَّة في مقطع النهر T= وحدة زمنيَّة مُعيَّنة

ومنه: $D = V*T$

وكما نعرف فإنَّ تغيُّرات السرعة لا حصر لها على طول مجرى نهرٍ ما، وكل ازدياد فيها يؤدِّي إلى زيادة القدرة، وبالتالي إلى زيادة المواد المنقولة التي يستخدمُها الماء سلاحاً إضافيَّاً لضرب صخور مجراه ونحتها، ممَّا يؤدِّي إلى تغيُّرات مستمرَّة في شكل المقطع العرضاني للنهر.

أمَّا فيما يتعلَّق بالحمولة فإنَّ زيادتها عن حدٍّ مُعيَّن (كنَّا قد بيَّناهُ سابقاً) تؤدِّي إلى ضعف أو تراجع قدرة الماء، وبالتالي القدرة على الحت، أمَّا إن كانت الحمولة في حدودٍ معقولة فإنَّها تُزيد كثافة الماء، وبالتالي تزداد كتلة السائل، ومن هُنا تزداد قدرته، ويُصبح قادراً على نقل وجرف عناصر أكثر أهميَّة من العناصر والمواد التي ينقلُها الماء النقي.

وخير مثال على ذلك هو الماء المُشبَع بالرماد البركاني في إحدى مناطق المكسيك (1943م)، وصلت كثافة هذا الماء إلى (2)، ممَّا سمح لها من نقل وتحريك كتل وصلت كثافتها إلى (2.95).

وتغيُّر الانحدار بصورةٍ مفاجئة يؤدِّي إلى أن يقوم بالتخلِّي عن جزء من حمولته مُبتدئاً بالمواد الأكثر خشونة أو المواد الأكبر حجماً.

- الحمولة وأشكالها : (النقل):

تُؤلِّف المواد التي تلتقطها مياه النهر من مجراه مباشرة، أو تلك التي تجلبُها إليه روافده من بقاعِ حوضه المختلفة، بالإضافة إلى المواد التي تغسلُها مياه الامطار، والتدفقات من جوانب المنحدرات، ما يُعرَّف باسم حمولة النهر من المواد الصلبة.

يقوم النهر بنقل هذه الحمولة إلى مصبه حيثُ مُستقرَّهُ النهائي، ويُلاحظ أنَّ أيِّ مجرى نهري لا يستطيع أن ينقُل حمولة تزيد عن طاقته يبدأ بالترسيب، أمَّا إذا كانت الحمولة تُعادل الطاقة يقوم النهر بعملية النقل فقط.



صورة رقم (١٨٦): حمولة النهر

وينقل النهر حمولته بالوسائل التالية:

١- الجر أو السحب (Traction Load):

إنَّ الحمولة ذات الأحجام الكبيرة يتم تحريكها بواسطة عملية الجر والسحب، حيثُ تتدحرج هذه الرواسب على طول قاع النهر، لذا تُسمَّى بحمولة القاع (Bed Load) أو حمولة الجر (Traction Load)، وكلَّما ازدادت سرعة المياه وكميَّتها، استطاعت نقل كتل صخرية كبيرة، ويتعاظم هذا في فترة الفيضانات، كما يقوم النهر في فترة الشح بسحب وجرِّ الفتات الصخري الصغير الحجم.

٢- القفز (Satation Load):

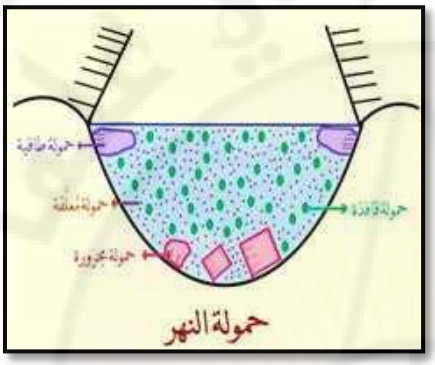
إنَّ حُبيبات الرواسب الصغيرة من فتات الصخر يتمُّ نقلها ودفعها بقوَّةِ التيار المائي عن طريق القفز (jumping)، فهي ترتطم بقاع النهر ثُمَّ تندفع إلى أعلى، وتتكرَّر هذه العملية على طول مسار النهر، وسرعان ما تتمكن المياه من تكوير الحصيَّة، وإذا ما تمَّ تصغيرها تحوَّلت إلى حمولة عالقة.

٣- التعلُّق (Suspension) - الحمولة المعلَّقة (Suspeneded Load):

وهي ما يستطيع الماء الجاري أن يحملُها لمسافاتٍ طويلة، تتألَّف من موادٍ دقيقة أثناء رحلة النهر من المنبع إلى المصب.

٤- الحمولة الذائبة (Dissolved Load - Solution):

وهـي الأمـلاح والمـواد القابلـة للـذوبان فـي المـاء، والتـي تنـتج بفعـل التجويـة الكيمائيـة بالتحلُّـل والإذابة، بالإضافةِ إلى المياه الحامضيَّة، لذا نرى مياه الأنهار تحوي حمولة ضخمة من المواد الذائبـة، فالأمطـار التـي تُغذِّي الأنهـار تُذيب أثنـاء هطولهـا ثـاني أوكسـيد الكربـون الموجـود فـي الجو، (شكل٢٠٢)



شكل رقم (٢٠٢): حمولة النهر

إنَّ تحرُّك المجروفات السابقة في الأنهار، وقيامها بأعمال الحت مُرتبطة ارتباطاً وثيقاً بعُنصري كتلة الماء وسرعتها، كما يظهر من مُعادلة الطاقة الحركيَّة أو الطاقة الحتيَّة في الأنهار وهي:

$$\boldsymbol{P = \frac{D * V^2}{2}}$$

P= طاقة حركيَّة　　D= كتلة الماء　　V= السرعة

إنَّ زيـادة السـرعة هُنـا يُقابلُهـا حتمـاً زيـادة الطاقـة، فلـو فرضـنا أنَّ كميَّـة المـاء تسـاوي (10 م^3) والسرعة (2 م/ ثا)، فإنَّ الطاقة تُساوي:

$$\boldsymbol{P = \frac{10 * 4}{2} = 20}$$

ولو ضاعفنا السرعة هُنا مرة واحدة أي لو أصبحت (4 م/ ثا)، مع المُحافظة على الكتلة، فإنَّ الطاقة الناتجة تُصبح:

$$\boldsymbol{P = \frac{10 * 16}{2} = 80}$$

أي أنَّ مُضاعفة السرعة مرة واحدة رافقها تضاعُف الطاقة أربع مرات.

وعلى العكس لو ضاعفنا كميَّة الماء لوجدنا:

$$P = \frac{20 * (2)^2}{2} = \frac{80}{2} = 40$$

فإنَّ القدرة تضاعفت مرة واحدة فقط.

إنَّ الطاقة السابقة تُستخدم من قبل مياه النهر بالتضافر مع حمولته (بأنواعها) على مُهاجمة مجرى النهر وفق أساليب ثلاثة تتضافر فيما بينها، وتعمل معاً في سبيل تطوير المجرى النهري.

العمل الحتي للمياه الجارية (Erosion):

تقوم الأنهار بعمل حتِّي خلال جريانها بمساعدةِ الحمولة، أو بقدره المياه على إذابة بعض أنواع الصخور، حيثُ يَتمُّ الحت بواسطة اندفاع الماء (Hydrolication)، وقدرته على اقتلاع الصخور وانتزاع القطع الصخرية على طول مسار النهر سواءً من القاع أو الجدران، كما تُساهمُ المياه بإذابة الصخور القابلة للذوبان بواسطة الأحماض، نتيجةً لانحلال ثاني أكسيد الكربون، وقد تلعب كلًّا من التجوية الميكانيكية والكيميائية في آنٍ واحدٍ دوراً في تعميق المجرى وتوسيع الجدران.

ويُمكن للنهر أن يقوم بعمله الحتِّي بثلاثِ أساليبٍ هي:

١- الحت الرأسي ٢- الحت الجانبي ٣- الحت التراجعي أو الصاعد.

ولكن لا يُمكن الفصل بين هذه الأساليب لأنَّها تعمل في كلِّ القطاعات النهرية المُعرَّضة للحت، ويتمُّ الحت عندما تكون طاقة المياه وقدرتها أكبر من الحمولة.

١- الحت الرأسي (Vertical corrosion):

يعمل النهر على تعميق مجراه، ويُساعده على ذلك ما يحمله من رواسب، وتُعدُّ هذه أسلحة يستخدمها النهر في عملية التعميق، بالإضافة إلى انحدار المجرى وسرعة جريان الماء.

ويَتمُّ هذا الأسلوب من الحت (أي تعميق القاع) ضمن الصخور القاسية من خلال سيادة القوَّة الشاقولية على القوة الأُفقية في المقطع العرضي، وذلك بوجود ثلاثة أساليب مساعدة:

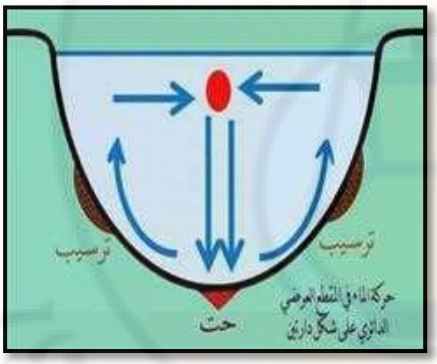
١- أسلوب الحت العادي.

٢- أسلوب التفريغ الغازي (التحرُّر من الضغط).

٣- أُسلوب الدوامَّات المائيَّة، وتكَوُّن الحفر الوعائية (Pat-holes) في قاع المجرى.

ولسرعةِ الماء، وانحدار المجرى، وشكل المقطع العرضي، تأثير كبير على حركة المياه ضمن هذا المقطع، وهو الذي يفرِضُ أُسلوب الحت.

ففي المقطع العرضي المُتناظر يتحرَّك الماء من الجانبين باتجاه القاع مشكِّلاً دارتين، وسبب هاتين الدارتين هو تركُّز سرعة الماء في الوسط ودون السطح قليلاً فوق أكبر الأعماق، ونتيجةً لحركة المياه باتجاه القاع تضغط على القاع فيبدأ الحت في القعر ويُرسِّب على الأطراف، ولكن في المجاري ذات الانحدار الشديد لم تسمح له الفرصة لترسيب الحمولة على الأطراف بل تحملها مياه النهر لترسبها في مكانٍ ما إذا تغيرت الظروف الطبوغرافية للمجرى، (شكل٢٠٣).



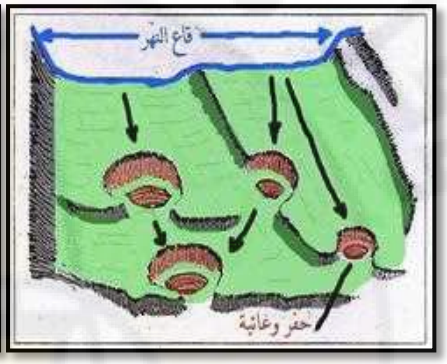
شكل رقم (٢٠٣): حركة الماء في المقطع العرضي

- أسلوب الدوامات :

عرفنا فيما سبق أنَّ حركة الماء غير المُنتظمة في الأنهار المضطَّربة (الدواميَّة الجريان) ينتُج عنها انطلاق الماء في دوَّامات واتجاهاتٍ مُختلفة، تأخُذ هذه الدوّامات شكلاً حلزونياً إسفينياً مُتَّجهاً نحو قاع النهر، وأحياناً تتشكَّل على جدران المجرى تُسمَّى دوامة جدارية.

مثل هذه الحركة للمياه تعمل بقوَّةٍ كافيَّة على اقتلاع جُزئيات القناة ومكوّناتها وترفعها وسط المياه المُندفعة، وبهذه الطريقة تعمل قوَّة المياه الجارية على حت المواد عديمة التماسك، وكلَّما ازدادت قوَّة تيارات الماء كُلَّما ازدادت مقدرتُها على الحت والتي تؤدِّي إلى تشكيل ما يُشبه القدور، يُطلق عليها قدور الجبابرة أو الحفر الوعائية.

تشكَّلت هذه الحفر عندما يتحرك الماء بحركةٍ حلزونيّة مُحملَّة بالمواد الصلبة، تشكلَّت في قعر السرير، تثبُت عندها الدوامَّة مُشكلَّةً حفرة صغيرة تتسع شيئاً فشيئاً على شكل قدر ضيِّق من الأعلى وعريض من الأسفل، وذلك بسبب دوران تيار الماء مع المواد الصلبة الموجودة في أرضية القدر، وبسبب الجاذبيّة الأرضية تدور المواد الصلبة فتندفع نحو الأطراف نتيجة لقوَّة الطرد، (شكل٢٠٤).



شكل رقم (٢٠٤): الحفر الوعائية



صورة رقم (١٨٧): حفرة وعائية

تتسِّع هذه الحفر لتتصل مع بعضها بعضاً مُعمِّقة قعر المجرى، أو موسعَّه جدران المجرى التي سبق أن شكلَّت أنصاف دوائر.

- أسلوب التفريغ الغازي:

فهو يحدُث نتيجة التحرُّر المفاجئ من الضغط في مجرى النهر غير المنتظم القاع، فتمرُّ عليه المياه هادرةً وبسرعةٍ كبيرة، حيثُ تضغط المياه فوق المنخفضات فتتولَّد فقاعات من الغاز و البخار، ومع تحرُّر هذه المنخفضات من ضغط الماء تتولَّد طاقة تخريبية في قاع المجرى مشكِّلةً شقوقاً ومناطق ضُعف تُساعد الحت الرأسي، (شكل٢٠٥).

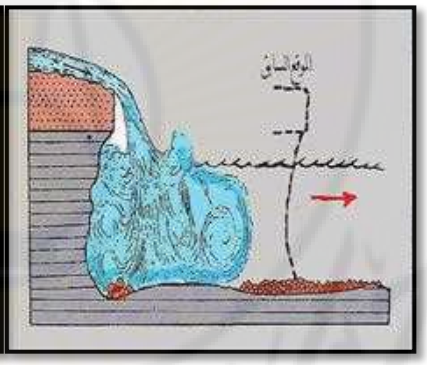


شكل رقم (٢٠٥): أسلوب التفريغ الغازي

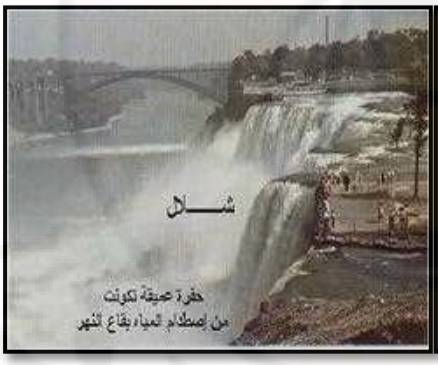


صورة قم (١٨٨): أسلوب التفريغ الغازي

يكثُر هذا الاسلوب في قيعان الأودية غير المُنتظمة، وفي الأنهار الهادرة والشلالات التي تولِّد دورات هامَّة عند المساقط، وفي أنهار المناطق الجبلية حيثُ السرعات الكبيرة، (شكل٢٠٦).



شكل رقم (٢٠٦): أسلوب تشكُّل الشلالات



صورة رقم (١٨٩): شلال

- الحت الجانبي (Lateral Corrasion):

يتوقف عمل المياه الجارية عن الحت الرأسي عندما يقلُّ انحدار المجرى الطولي في مرحلة النضج، ممَّا يؤدِّي إلى ترنُحِه وتجمُّع طاقة النهر على جانب دون آخر وذلك لعدم انتظام المقطع العرضي، وهو أهم مُسبِّب لنشاط الحت الجانبي، خاصَّة في المجاري الوُسطَّى والدُنيَّا من الأنهار، ويقوم الحت الجانبي بضرب وإئتكال جوانب الأنهار وأوديتها فيوسِّعُها عرضانيَّاً.

(نتيجة ضعف القدرة ⟵ تراجُع الحت الرأسي ⟵ تجمُّع طاقة النهر في جهة دون أخرى ⟵ حالة عدم التناظُر في مجرى النهر ⟵ ضفة حتيَّة وضفة ترسيبية).



صورة رقم (١٩٠): الحت الجانبي

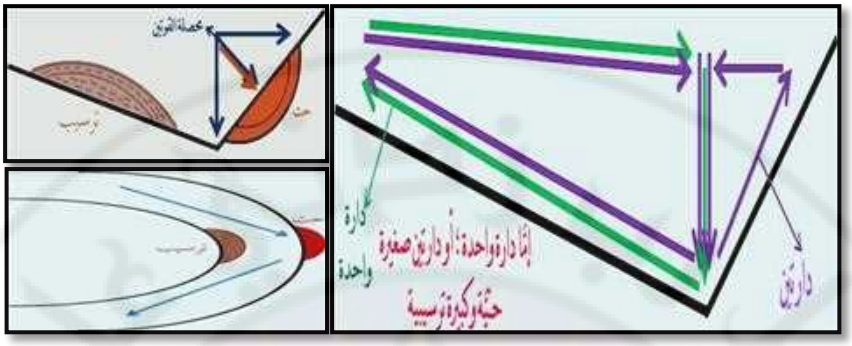
وهُنا تلعب قوَّة الدفع دوراً هاماً، وهي قوَّة لا يُستهان بها، تُعادل:

$$K=\frac{1}{2} D * V^2$$

K = قوَّة الدفع D= كتلة V= سرعة

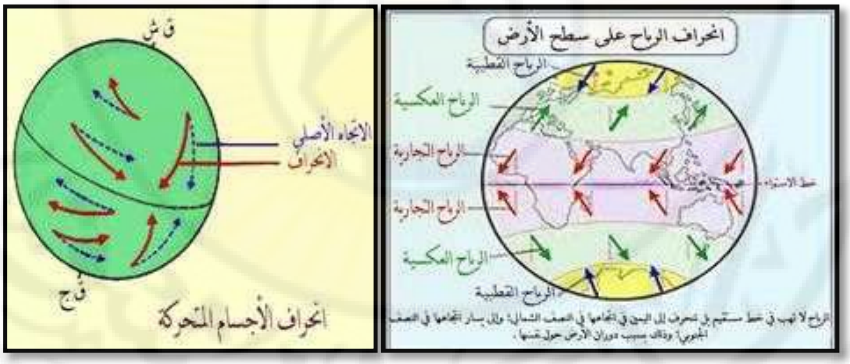
أمَّا أسباب عدم التناظُر فيُمكن تلخيصُها بما يلي:

١- إنَّ القوَّة المُؤثِّرة في الحت الجانبي هي محصلة القوتين العمودية والأفقية للنهر، ممَّا يُغيِّر من استقامة النهر، ويؤدِّي إلى تغيير موقع مجرى النهر باتجاه الضفة المقعَّرة أولاً، وباتجاه المصب ثانياً، وهذا ما يزيد من عدم تناظر المقطع العرضاني، فينقلب المقطع العرضاني من الشكل المثلثي (V) إلى المقطع المفتوح غير المُتناظر خاصَّة في المناطق القليلة الانحدار، (شكل٢٠٧).



شكل رقم (٢٠٧): عدم التناظر في المقطع العرضي

٢- إنَّ دوران الأرض حول نفسها يؤدِّي إلى انحراف الأجسام الثائبة نحو اليمين في نصف الكرة الشمالي، ونحو اليسار في نصفها الجنوبي، ومن هذه الأجسام الثائبة (المتحركة) الأنهار، والرياح، وتُسمَّى هذه القوَّة بقوَّة كوريوليس، وهذا يؤدِّي بدوره إلى تركُّز طاقة النهر على جهةٍ دُون أُخرى، (شكل٢٠٨).



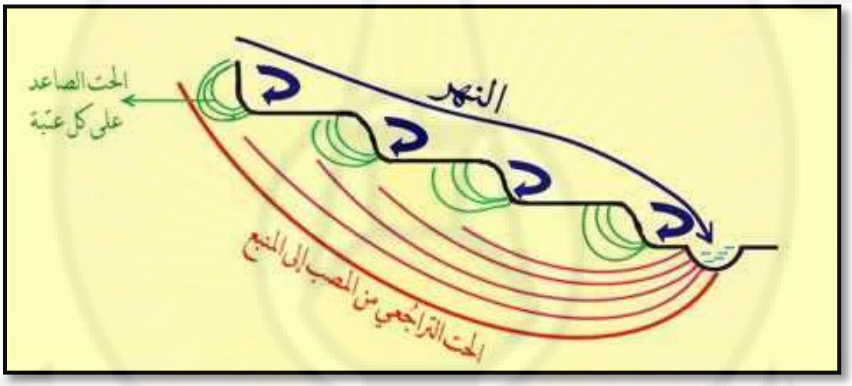
شكل رقم (٢٠٨): انحراف الرياح على سطح الأرض

٣- اختلاف قساوة الصخور (عامل ليتولوجي) على جانبي المجرى النهري، ممَّا يُسبِّب انحراف النهر عن الصخور القاسية مؤديًاً إلى تشكيل ضفَّة شديدة الانحدار، وضفَّة قليلة الانحدار، وهو بداية التعرجَّات الأوليَّة التي تتقلب مع الزمن إلى أكواع نهرية.

ج- الحت التراجُعي (الصاعد):

الحت التراجعي من العوامل الهامَّة التي تؤدِّي إلى زيادة طول المجرى النهري، وفيها يتجه الحت من المصب إلى المنبع في المجاري الشديدة الانحدار، ومن المناطق الأقل انحداراً إلى المناطق الأشد انحداراً، كما هو الحال في الركب والسقطات (الشلالات).

يعمل الحت الصاعد على خفض مستوى قاع النهر، والوصول به إلى مرحلة التوازن (مقطع الاتزان)، وهي المرحلة التي يصلها بواسطة الاعمال الجيومورفولوجية (بإزالة فروق الارتفاع والركب والشلالات وذلك ابتداءً من المصب باتجاه المنبع، والترسيب في المنخفضات)، (شكل٢٠٩).



شكل رقم (٢٠٩): الحت التراجعي

يتركَّز الحت عادةً في أسفل أشدِّ المناطق انحداراً، وخيرُ مثالٍ على ذلك هي الشلالات، حيثُ تنشأ الشلالات للأسباب الآتية:

- عندما ينحدر مجرى النهر من منطقة مرتفعة إلى منطقة منخفضة.
- إذا اعترضت طبقة صخرية صلبة مقاومة للحت مجرى النهر، وكانت الطبقات الصخرية التي تقع أسفلها أقلَّ صلابة.

فمثلاً شلالات تل شهاب جنوب سورية تسقط المياه من حافة طبقة صخرية قاسية بازلتية دونها طبقة كلسية ثلاثية أقل قساوة، ترتطم المياه بقوَّةٍ فوق الطبقات اللينة، أي أسفل أشد المناطق

انحداراً، مشكلّةً حفراً وعائية ومع استمرار وتزايد التفريغ الغازي تضعف الصخور اللينة، وتتآكل فتبرُز الطبقة القاسية على شكل شرفة تنهار مع الزمن نظراً لازدياد وزنها ممَّا يؤدِّي إلى تراجع حافَّة الشلال باتجاه المنبع.



صورة رقم (١٩١): شلال تل شهاب
(تصوير المؤلفة)

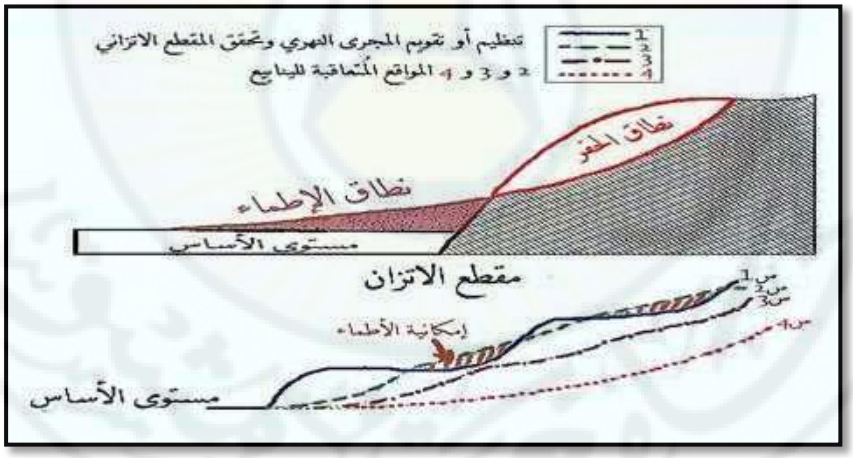
- مقطع الاتزان:

كُنَّا قد بينَّا فيما سبق بأنَّ القدرة الخام (Puissance brute) لنهرٍ ما تُصرف على نقل الحمولة، وعلى الاحتكاكات بأنواعها، والباقي من القدرة يُعرف بالقدرة الصافية (Puissance nette) وهذه الأخيرة يُمكن أن تكون ذات قيمة موجبة (عندها ينشُط العمل الحتِّي)، كما يُمكن أن تكون ذات قيمة سالبة (عندها ينشُط عمل الترسيب)، والنتيجة الحتمية للنشاطين الآنفي الذكر هي الوصول بالقدرة الصافية إلى قيمةٍ تُعادل الصفر، أي أنَّها تصبح معدومة، وهذا ما ينطبق عادةً على تحقيق النهر لما دعوناه آنفاً بانحدار التوازن النهري.

عندما تتزايد قدرة النهر فإنَّ مياهه تبدأ بعمل الحت الرأسي الذي يظهر بصورةٍ غير منتظمة في البداية، وذلك انطلاقاً من حدوث الدوامَّات المائية (Tourbilloys) المسؤولة عن نشوء الحفر التي تتعمَّق باستمرار على طول المجرى النهري، طالما أنَّ القدرة تسمح بالعمل الحتِّي، وهذا ما يؤدِّي بدوره أيضاً إلى تزايد أهميَّة الحركات الدواميَّة المضطَّربة التي تمتَّص جزءً هامَّاً من القدرة النهرية، هو الجزء المصروف على الاحتكاكات الداخليَّة المُتزايدة الأهميَّة في ظلِّ مثل هذه الحركات الدورانيَّة المُضطَّربة، أمَّا الباقي من القدرة فإنَّه يُصرف على العمل الحتِّي الذي يهدف

إلى تحقيق معدَّل الانحدار للوصول إلى شروط التوازن، وإذا ما توصَّل النهر إلى تحقيق هذا الانحدار في كافَّة نقاط مقطعه الطولاني فإنَّه يتوقَّف عن الحت والترسيب، عندها يمكن القول بأنَّ النهر قد حقق مقطع اتزانه الطولاني المؤقَّت، ويُقصَد به ذلك الانحدار الذي يسمح للنهر بتصريف حمولته، وهذا المقطع ليس نهائياً ذلك لأنَّ العمل الحتي يبقى سمة ظاهرة في عالية النهر بدليل وجود الحمولة في مياه النهر ذاتُه، وعلى هذا فإنَّ مُجمل الحوض النهري يتعرَّض لأعمال الحت والبري، وهكذا يُمكننا أن نتصوَّر نظرياً بأننا سوف نصل إلى مرحلة تتناقص فيها الحمولة تدريجيَّاً إلى أن تنعدم نهائيَّاً يوماً ما، عندها يُصبح معدل الانحدار كافياً لتصريف المياه الخالية من كل حمولة، عندها فقط يكون النهر قد حقق مقطع الاتزان النهائي أو المثالي.

ولكن ذلك لا ينطبق على الواقع إطلاقاً ولا يعدو كونه ضرباً من ضروب الفرضيات غير القابلة للتحقيق، وفي الواقع فإنَّ المعادلات والقوانين التي تُعطي قيم انحدار مثل هذه المقاطع لا يمكن أن تُقدِّم لنا نتائج عمليَّة واقعيّة، (شكل٢١٠).



شكل رقم (٢١٠): مقطع الاتزان

إنَّ مقطع الاتزان يُشكِّل مجموعة من النقاط ذات العلاقة المرتبطة ، حيثُ أنَّ كل ما يجري باتجاه العالية، أو باتجاه السافلة، يؤثِّر على معدل انحدار المقطع بمجمله، فلو افترضنا انخفاض مُستوى قطاع ما من المجرى (مهما كان السبب)، فإنَّ مُعدَّل انحدار المجرى باتجاه سافلة

القطاع الآنف الذكر سوف يتناقص، وبالتالي تتناقص السرعة ويبدأ النهر تبعاً لذلك بالتخلي عن جزء من حمولته نظراً لتناقص قدرته أو طاقته، ويحدُث العكس تماماً باتجاه عالية القطاع المذكور، حيثُ ينشُط ما يُعرَف بالحت التراجُعي (Erosion Regressive).

وفي كلِّ الأحوال ينتهي النشاط الجيومورفولوجي هُنا إلى تحقيق مقطع الاتزان وفقاً لمستوى أساس المجرى المائي أو النهر مهما كان نوعه: (مستوى أساس محلي أو عام)[1].

مُميزَّات مقطع الاتزان:

١- يتحقق مقطع الاتزان عند حدوث التوازن بين مجموعة من المتغيرات منها: الصبيب، السرعة، الحمولة.

والسرعة هي المتغيِّر الوحيد الذي يستطيع النهر تعديله مباشرةً عن طريق تغيُّر الانحدار العام للمجرى، وهذا الانحدار (انحدار التوازن) ينشأ عن تضافر عمليتي الحت التراجُعي والرأسي، وعمل الترسيب بصورةٍ يسمح معها للسرعة بتحقيق التوازن بين القدرة المرتبطة أصلاً بعنصُري الصبيب والسرعة من جهة، وبالحمولة من جهةٍ ثانية.

٢- للأسباب السابقة لا تُوجد مُبرِّرات منطقيَّة كافية لاعتبار انحدار التوازن وكأنَّهُ عبارة عن شكل ثابت يمكن تمثيلُه بمنحنٍ مقعَّر باتجاه السماء، فإذا انخفض الصبيب مثلاً في قطاعٍ ما من العالية باتجاه السافلة دون أن يُرافقه انخفاض في الحمولة، أو في أبعاد وحجوم المواد المنقولة، كحالة نهر الدانوب بين بودابست ورافده الذي يُدعى (Drave)، فإنَّ المقطع في هذا القطاع يجب أن يُصبح مُحدَّباً حيثُ أنَّ شروط التوازن هُنا تتطلَّب حُدوث تزايد للانحدار باتجاه السافلة هذا من جهة، ومن جهةٍ ثانية فإنَّ كُل رافد من روافد الأنهار العاديَّة، وابتداءً من نقطة تلاقيه مع المجرى الرئيسي يؤدِّي إلى حدوث تغيير في العلاقة بين الصبيب وبين الحمولة، وهذا ما يُؤثِّر على شكل مقطع الانحدار، وهكذا في حالة نهر الرون مثلاً فإنَّ الانحدار يخفُّ بعد أن يصُب فيه نهر (saone) الأقل حمولة بكثيرٍ من نهر الرون، في حين يحدُث العكس تماماً بعد تلاقيه مع نهر الـ (Isere) ذو المنشأ الألبي المُرتَفع الحمولة.

[1] - حاج حسن، فائد، بحث غير منشور.

٣- رُغم ما تقدَّم، فإنَّ الشكل العام الغالب على مقطع الاتزان الطولاني لمُعظم الأنهار هو الشكل المقعَّر للأسباب التالية :

أ- تزايد الصبيب من المنبع إلى المصب.

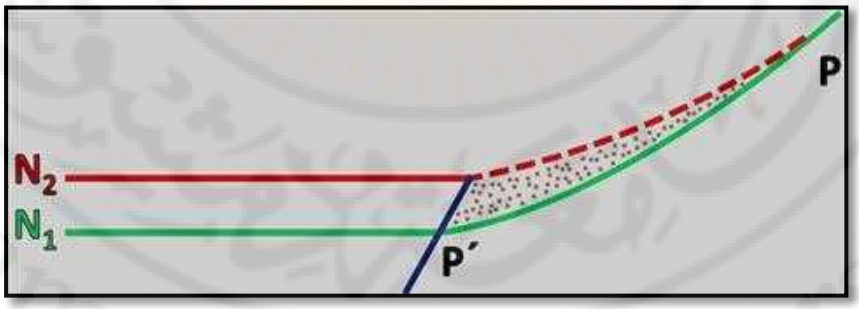
ب- تناقُص الحمولة بفعل تناقُص أبعادها وحجومها، نتيجةً لاهترائها بفعل عملية النقل، وبالترسيب المُتتالي الذي تتعرَّض له المواد الخشنة، بصورةٍ أسرع من المواد الناعمة.

ج- تزايد عرض الأودية باتجاه السافلة، وما يُرافق ذلك من تبدلَّات هامَّة على مستوى قدرة النهر وطاقته، وعلى حمولة النهر التي تغلُب عليها العناصر الدقيقة والناعمة هُنا.

٤- كافَّة نُقاط مقطع الاتزان الطولاني تُشكِّل حلقات في سلسلة واحدة واقعة على سويَّة طبوغرافية مختلفة، وهي معرَّضة لتبدُّلاتٍ مُتكاملة ومُتناسقة باستثناء مستوى الأساس الذي يخضع بدوره لتبدلَّات خاصَّة لها آثار بالغة الأهميَّة.

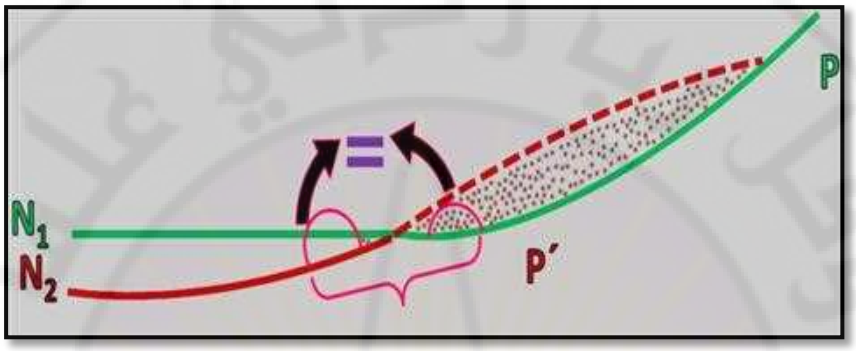
٥- يتأثَّر مقطع الاتزان الطولاني بصورةٍ محسوسة بتغيُّرات مستوى الأساس، والتي يمكن أن تُلخَّص بما يلي:

أ- الحركات الايجابية لمستوى الأساس: وتؤدِّي إلى تناقص الانحدار ابتداءً من السافلة، وهذا ما يؤدِّي إلى نشاط عمل الترسيب، وهو نشاط كان واسع الحدوث وقت الانحسار النهائي لجليديات الحقب الجيولوجي الرابع، وما رافقه من ارتفاعٍ لمستوى الأساس العام أو المُطلَّق.

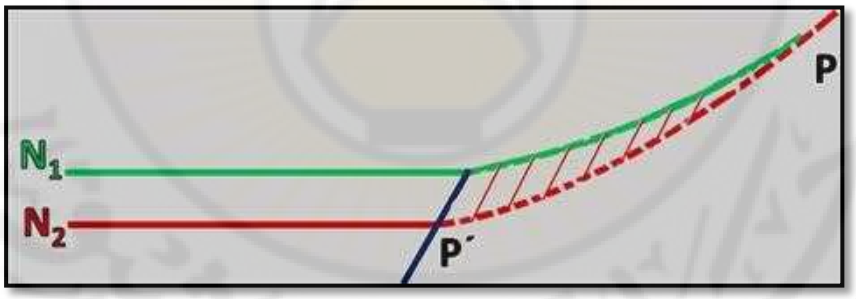


ب- الحركات السلبية لمستوى الأساس: تؤدِّي إلى تكشُّف مساحات قارية جديدة على حساب الامتداد السابق للبحر، وهذا بدوره يؤدِّي إلى تزايد أطوال الأنهار، أمَّا الأثر الجيولوجي الهام فيكمُن في النشاط الناجم عن مثل هذه الحركة، وهنا يجب التمييز بين الأمرين التاليين:

١- إذا كان معدَّل انحدار القسم القاري المُتكشَّف، والذي تراجعت عنه المياه بفعل انخفاض مستوى الأساس أقل من انحدار مقطع التوازن أو الاتزان، فإنَّ النشاط الجيومورفولوجي الناجم عن مثل هذه الحركة هو نشاط الترسيب أيضاً.



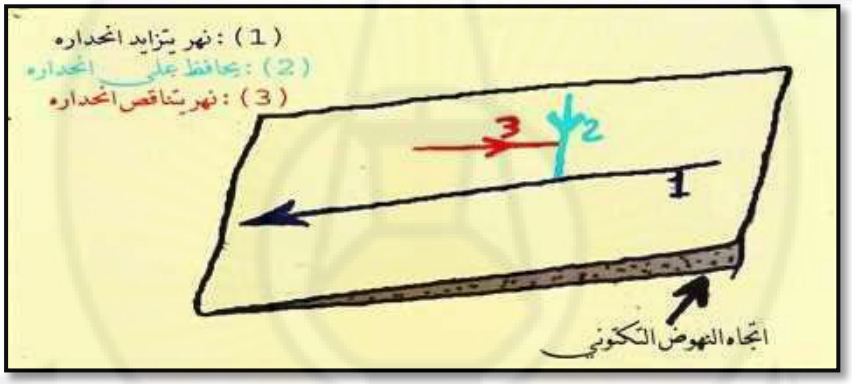
٢- أمَّا إذا كان معدَّل انحدار القسم القاري المتكشِّف أكبر من مُعدَّل انحدار مقطع التوازن، فإنَّ النشاط الجيومورفولوجي الناجم المُستجِّد هو عمل التعمُّق والحت التراجُعي.



٦- عند دراسة الآثار الجيومورفولوجية لحركة نهوض تكتونية تُصيب القارَّة يجب أن نأخُذ بعين الاعتبار، اتجاهات جريان الأنهار المُختلفة بالمقارنة مع الحركة التكتونية الآنفة الذكر، ذلك أنَّ النشاط الجيومورفولوجي المُستجِّد بفعل هذه الحركات يتباين من نقطةٍ إلى أُخرى ضمن نفس القطاع، وذلك تبعاً للعلاقة بين الحركة التكتونية، وبين اتجاه المجرى والجريان المائي أو النهري، فقد يسود الحت والتعمُّق الرأسي والتراجعي في نقطةٍ ما في نفس الوقت الذي ينشُط فيه الترسيب

في نقطةٍ أُخرى بغيَّة التوصُّل إلى تحقيق مقطع اتزان جديد مُنسجِّم مع الظروف المُستجدَّة الناجمة عن الحركة التكتونيَّة الآنفة الذكر.

ولكن ما يجب الانتباه إليه هُنا هو أنَّ: نشاط الحت والتعمُّق الرأسي والتراجعي سوف يسودان لاحقاً في حالتي النهرين رقم (2) ورقم (3)، وذلك أنَّ مستوى الأساس المحلي لهما (النهر رقم (1)) سوف يتعمَّق حتمَّاً بسبب الحركة التكتونية وتزايد الانحدار، علماً بأنَّ النشاط الأولي للنهر رقم (3) سوف يكون نشاطاً ترسيبيَّاً بسبب تناقص انحداره، ولن يبدأ تعمُّقه بالحت التراجعي إلَّا بعد أن يصل مستوى أساسهُ المحلِّي (نهر رقم 2) إلى تحقيق مقطع توازنه الجديد المُنسجِّم من تعمُّق النهر رقم (1)، كما في الشكل رقم (٢١١).



شكل رقم (٢١١): أثر الحركة التكتونيَّة على الأسر النهري

الترسيب النهري (River sedementation):

* تتناقص قدرة النهر بتناقص سرعته.

* يمرُّ النهر بمواقعٍ كثيرة على طول مجراه تقلُّ فيه قدرته على الحمل فيرسِّب جزءاً من حمولته.

* ومن أهمِّ العوامل التي تؤدِّي إلى انخفاض سرعة الماء في النهر هي:

١- ضعف الانحدار.

٢- اتساع المجرى فجأة.

٣- اعتراض العوائق والعقبات التي تُبطِّئ تيَّار النهر، كتغيُّر اتجاهه أو سقوط كتل صخرية.

٤- دخول النهر إلى بحيرة.

ينشأ نُقصان كميَّة الماء في النهر نتيجةً لمرور مياه النهر في مناطق جافَّة، يزداد فيها معدَّل البخر، أو مروره فوق صخورٍ مساميَّة جافة حيثُ يتسرَّب فيها الماء، كما أنَّ مُعظم الرواسب التي تحملها الأنهار تصل إلى البحر وتترسَّب فيه، فإنَّ الحديث هُنا سيُقتَصر على الرواسب التي تتكوَّن على اليابسة، وتُرسِّبها الأنهار في أثناء جريانها، أو عند التقائها بالبحر.

ومن **أهمِّ مظاهر الترسيب:**

١-السهول الرسوبية: تتشكَّل في البحر إذا كانت الرواسب التي يجلِبُها النهر ذات كميَّات كبيرة، وكان يصبُّ في بحرٍ قليل العمق، وخاليَّاً البحر من التيارات البحرية، مُشكلَّةً الدالات التي تتكوَّن عندما تصب الأنهار في البحار أو البحيرات.

٢-الأكواع النهرية: تُساهم عملية الترسيب في تكوين الأكواع النهرية، سنشرحها فيما بعد.

٣- الدَّالات: تتكوَّن الدالات عندما تصبُّ الأنهار في البحار أو البحيرات.

- الدَّالات:

ولكي تتشكَّل الدَّالات لابدَّ من توفُّر عدَّة شروط منها:

- وفرة الرواسب النهرية.
- ضعف تيار النهر وإلى حد كبير.
- ضعف عمق البحر الذي يصب فيه النهر.
- قلَّة وجود التيارات البحرية، وهدوء حركة مياه البحر كالأمواج وحركة المد والجزر.
- عدم طغيان مياه البحر لليابسة، إمَّا بسبب حركات تكتونية لليابسة، أو ارتفاع مستوى أساس البحار والمحيطات.

وتُعرَّف الدلتا بأنَّها عبارة عن سهل رسوبي، مثلث الشكل قاعدته باتجاه البحر (▽).



صورة رقم (١٩٢): دلتا

ونتيجةً لتفرُّع النهر:

آ- قد تكون دلتا النهر ذات فرعين متكافئين في القوَّة، كما هو الحال في نهر النيل، (شكل٢١٢).

ب- وقد تكون ذات فروع عديدة مثل دلتا الغانج بالهند.



صورة رقم (١٩٣): دلتا نهر الغانج



شكل رقم (٢١٢): دلتا نهر النيل

وعندما يقترب النهر المحمَّل بالرواسب من مستوى أساسه المطلق بانحدارٍ قليل يبدأ بالترسيِّب، وينفرَّع إلى فروع قد تشغلُها في البداية المستنقعات، ثُمَّ تتقلَّص تدريجيَّاً بما يحملُه النهر من رواسب.

تأخُذ الدَّالات عدَّة أشكال منها:

أ- دالات مروحيَّة الشكل (Arcuate Deltas): كدلتا النيل.

ب- دالات أصبعيَّة الشكل (Digitated delta): والتي تُشبه قدم الطائر كدلتا المسيسبي.

ت- دالات المصبَّات الخليجية (Estuarine delta): تظهر هذه الدالات عند مصبات الأنهار المغمورة على شكل خليجي، مثلما الحال في أنهار الألب (في ألمانيا) والأوب في (روسيا) ومصب نهر الأمازون (في البرازيل).



صورة رقم (١٩٤): دلتا أصبعية



صورة رقم (١٩٥): دلتا مروحية



شكل رقم (٢١٣): دلتا مصبات خليجية

ويُمكن تصنيف الدلات حسب النشاط إلى :

أ- دلتا نشطة: وفيها تتقدَّم مياه النهر المُحملَّة بالرواسب باتجاه البحر.

ب- دلتا متوازنة: وفيها ما يحمله النهر من الرواسب تحملهُ التيارات البحرية.

ت- دلتا معطلَّة: وفيها تحمل التيارات البحرية الرواسب النهرية السابقة.

- المصاطب النهرية:

من أهم الأشكال التضاريسيَّة المُميِّزة لمُعظم الأنهار وعلى الأخص في المجاري الدُنيا والوسطى، وهي عبارة عن أشرطة من التوضعات اللحقيَّة والرسوبيَّات ذات الطبيعة المُتباينة (حسب منشأ وأصل هذه الرسوبات)، وهذه الأشرطة محصورة بين جوانب الوادي وأرض الزور، وهي لحقيّة وحجرية (صخرية)، سويتُها الطبوغرافية أكثر ارتفاعاً من أرض الزور، لذلك من البديهي أن تكون في منأى عن مياه الفيضانات.

ودور المصاطب النهرية يكمُن في أنَّها تعكُس لنا خصائص جيومورفولوجيَّة، تكتونيَّة، مُناخيَّة، اقتصاديَّة، وتاريخيَّة في غاية الأهمِّية:

- فعلى الصعيد الجيومورفولوجي: تُعطينا فكرة عن أهم أوجُه النشاط المورفولوجي التي مارستها مياه الأنهار (حفر - ترسيب - توسيع ثُمَّ تعمُّق جديد مرَّة ثانية ضمن الرُسوبيات، وذلك نتيجةً لظروف خاصَّة وطارئة.....).

- مُناخيَّاً: تعكُس التطورات أو التبدُلات المُناخيَّة المُتتاليَّة خلال مراحل التاريخ الجيومورفولوجي، وما رافق هذه التطورات من تغيرَّات هامَّة على أنظمة الأنهار وعلى مستويَّات الأساس (المحلِّية والعامَّة)، وتأثير ذلك على الصعيد الجيومورفولوجي.

- اقتصاديَّاً: تُشكِّل المصاطب النهرية أهم الأماكن الصالحة للزراعة، ولذلك فإنَّها أجتذبت أولى الحضارات من القدم (الرافدين، النيل،.....).

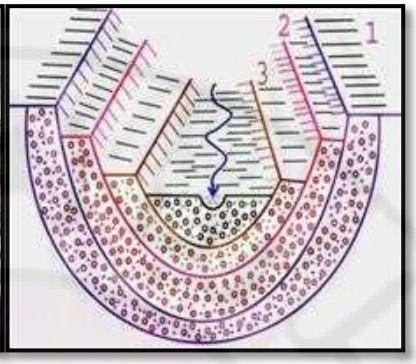
- تاريخيَّاً: آثار ومُخلَّفات الحضارات القديمة وشواهدها، نجدها على ضفاف الأنهار.

آليَّة تشكُّل المصاطب النهرية اللحقية: تشكيل الأودية المفتوحة بالحت الجانبي توضُع رُسوبيَّات ولحقيَّات ⟵ تعمُّق المجرى ضمن توضعات النهر نفسه، وذلك بواسطة تجدد الحت الرأسي (أسبابه مُناخيَّة أو تكتونيَّة أو جيومورفولوجيَّة كحالة اقتطاع الأكواع مثلاً).

إنَّ تعمُّق النهر المذكور قد يتجاوز طبقة اللحقيَّات ليقوم بالحز في صخور الوادي ذاته ليُقدِّم واديَّاً بمقطع عرضاني شديد الانحدار، (شكل٢١٤).



صورة رقم (١٩٦): المصاطب اللحقية



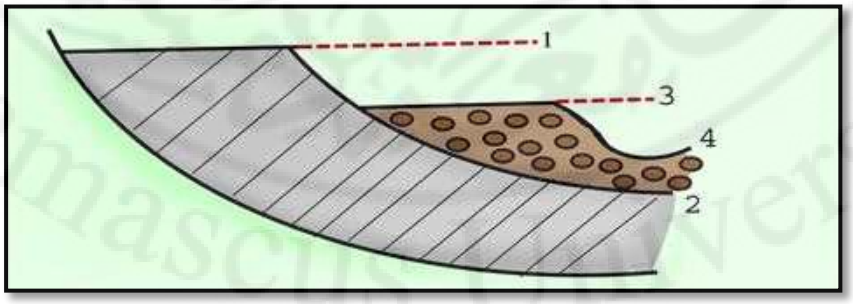
شكل رقم (٢١٤): المصاطب اللحقية

– ويرتبط عدد المصاطب بعدد تتالي مرات تجدُّد النشاط والتعمق الرأسي ضمن الوادي، وقد يصل عددها إلى (10) أحياناً، وتُقسم المصاطب عادةً إلى قسمين:

١– المصاطب اللحقية. ٢– المصاطب الصخرية (الحجريَّة).

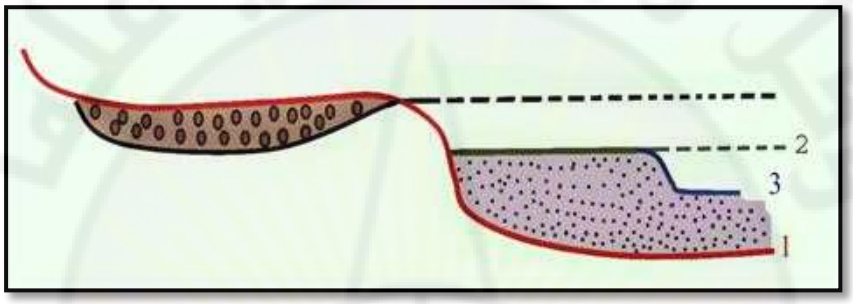
١– المصاطب اللحقية: وتُقسم إلى:

١– المصاطب المُصندَقة: وهي ناجمة عن وجود نشاط ترسيبي واسع ضمن الوادي النهري لدرجةٍ تصل معها الرسوبيَّات إلى السويَّة الطُبوغرافية (1) على الشكل المرفق، يليه تعمُّق رأسي قليل الأهميَّة نسبياً مستوى رقم (2) وغير كافٍ للوصول إلى قاعدة الرسوبيَّات الأوليَّة أو الأصليَّة، يلي ذلك حدوث نشاط ترسيبي آخر يوضِّع اللحقيات حتى السويَّة رقم (3)، يليها تعمُّق رأسي آخر حتى السويَّة رقم (4).....وهكذا، (شكل٢١٥).



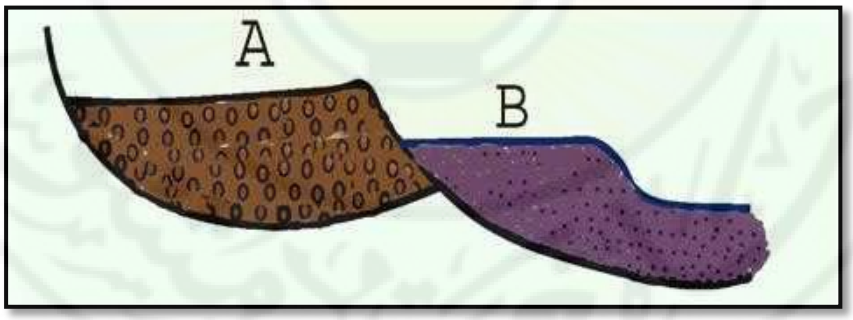
شكل رقم (٢١٥): المصاطب المصندقة

٢- المصاطب المُدرَّجة: وفيه يصل التعمُّق الرأسي الأولي إلى مستوى أخفض من سويِّة قاعدة الرسوبيَّات الأصليَّة ليُطال جزءً من الصخر الأُم (مستوى رقم (1) في الشكل)، وعلى هذه القاعدة تتوضَّع رسوبيات ثانيةً لتَصل حتى السويَّة رقم (2)، يليها تعمُّق رأسي حتى السويَّة رقم (3) الذي يشغلهُ المجرى الحالي، وعلى هذا الأساس، وعلى خلاف النوع السابق تبقى قُمَّة المصطبة الثانية أقلُّ ارتفاعاً من قاعدة المصطبة الأولى، (شكل٢١٦)



شكل رقم (٢١٦): المصاطب المدرجة

٣- المصاطب المُصندَقة جزئياً: وهُنا يتحوَّل جزء بسيط فقط من القطاع السفلي للمصطبة العليا (A) إلى قسم مستحاث بتوضُعات لحقيات المصطبة الدُنيا (B)، (شكل٢١٧)



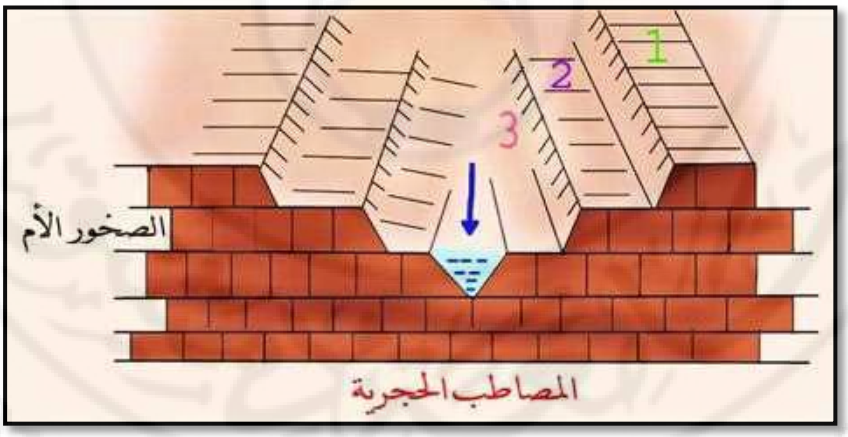
شكل رقم (٢١٧): مصاطب المُصندقة جزئياً

وفي معظم الحالات فإنَّ أطراف المصاطب النهرية تستند على أطراف أو حواف الأودية عادةً، ولكن قد توجد هذه المصاطب ضمن سهول ذات أصل رسوبي قليل المقاومة، وفي هذه الحالة فإنَّ هذه المصاطب تُشكِّل نموذجاً خاصاً من الهضاب التي تكوِّن الفواصل النهرية التي تُشرف

على المجاري الحالية بجوانب محسوسة الانحدار، كما هو الحال في المصاطب (Randan) الواقعة في أواسط فرنسا، عندها نكون أمام ظاهرة انقلاب تضريسي حقيقي، ذلك أنَّ التوضُعات اللحقية لقاع الوادي القديم توجد في هذه الحالة على سويَّة طبوغرافية عالية مُشرفة على أسرَّة الأودية الحالية، والتي كانت تُشكِّل في الأصل فواصل نهرية.

٢- المصاطب الصخرية (الحجريَّة):

وهي عبارة عن مُدرجَّات صخريَّة شبه مُنتظمة، عادةً محفورة ضمن الصخر الأم بفعل التغيُّرات المُتتالية لمستوى الأساس ممَّا أدَّى إلى تعمُّق الأنهار ضمن الصخور، وجرف اللحقيات في بعض قطاعات الأنهار، وقد يتلوها تعمُّق رأسي للنهر، وقد تظهر هذه المصاطب في المجاري العُليا من الأنهار، وقد تكون دراسة هذا النوع من المصاطب صعبة للغايَّة سيما إذا أردنا تحديد عددها، ويُمكن حل هذه المشكلة الجيومورفولوجية بدراسة عدد المصاطب النهرية لنفس النهر بعد خروجه من المناطق الصخرية القاسيَّة، ودخوله في قطاعات جيولوجية أكثر ملائمة لتَشكُّل المصاطب اللحقية، (شكل٢١٨).



شكل رقم (٢١٨): المصاطب الحجرية

- الأكواع النهرية (Meander belt):

إحدى الظواهر الجيومورفولوجية المُميزة للقطاعات الدُنيا لمُعظم الأنهار، دون أن تكون هذه الظواهر غائبة تماماً في المجاري أو القطاعات الوسطى.

ويُمكن تمييز نوعين من الأكواع النهرية:

١- الأكواع النهرية الحُرَّة (المُترنِّحَة): وهي صفة مُميزَّة للأنهار ذات القاع العريض المفتوح والمفروش تماماً باللحقيات المحددة بجانبين غير مُتناظرين، ذو انحدار واضح تماماً، ونظراً للطبيعة الحركيَّة للمياه في هذه القطاعات، فإنَّنا نُلاحظ نوعاً من التلوِّي والتنقُّل للنهر باتجاه المصب (تلوِّي وتنقُّل الأكواع طبعاً) وهذا ما يُبرِّر تسميتُها بالأكواع المُترنِّحَة أيضاً.

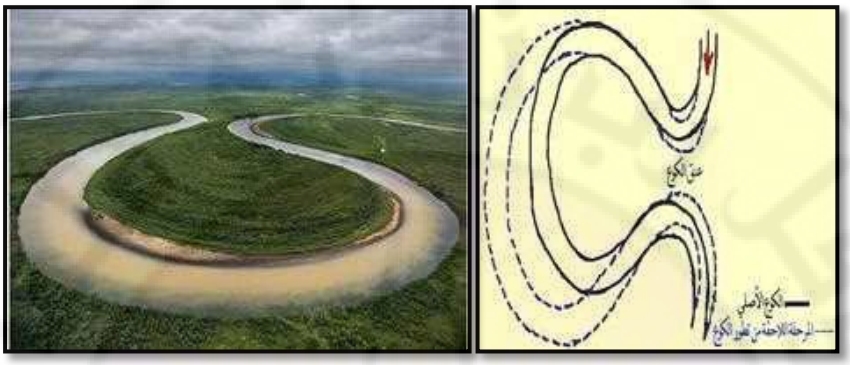
آليَّة تشكُّل الأكواع النهرية الحُرَّة: ترجع إلى الطبيعة الحركية للمياه، إضافةً إلى تزايُد أهميَّة الحت الجانبي في مجرى عريض، وتركُّز هذا الحت على جانب من الوادي دون الجانب الآخر، ممَّا يؤدِّي إلى انتقال مركز عمل الماء وثقله من مركز ووسط المجرى باتجاه أحد الجانبين ممَّا يؤدِّي إلى بداية نشوء الكوع النهري، حيثُ يَتمُّ الحت على الجانب المقعَّر في كلِ كوع، وهو يتعرَّض بدوره إلى طاقة الماء الجانبية، بينما تحدُث عملية الترسيب على الجانب المقابل المُحدَّب من الكوعِ نفسُهُ، (شكل٢١٩).



شكل رقم (٢١٩): آليَّة تشكل الكوع النهري

فكلَّما كان المجرى كبيراً كلَّما زاد مقدار الكوع، وبسبب انحدار القناة فإنَّ الحت يكون أكثر تأثيراً عند ناحية التعرُّج السفلي منها عند الناحية المقابلة.

وعليه فبالإضافة إلى الحركة الجانبية فإنَّ هذه الأكواع تتحرك بموقعها إلى الامام باتجاه المصب، وبالتدريج يضيق الفاصل بين الكوعين (عنق الكوع) إلى أن ينقَطع،(شكل٢٢٠).



شكل رقم (٢٢٠): تطوُّر الكوع النهري **صورة رقم (١٩٧): تطوُّر الكوع النهري**

وتُسمَّى القناة الجديدة والقصيرة هُنا بقناة القطع، أمَّا الكوع المقطوع والمهجور (Meander scar) فيُشكِّل بحيرات هلاليَّة تُسمَّى (oxbow)، أمَّا الجزيرة المُستويَّة تُسمَّى حُويجة، تشكَّلت من توضعات النهر نفسُهُ، (مثال ذلك أكواع نهر الفرات)، (شكل٢٢١).



شكل رقم (٢٢١): بحيرة هلالية **صورة رقم (١٩٨): كوع نهري حُر**

هذا وتتشكَّل الأكواع النهرية الحُرَّة نتيجة الحت الجانبي الناجم كما أسلفنا سابقاً عن طبيعة حركة الماء، حيثُ أنَّ طاقة النهر مُتجمعَّه في جهةٍ دون أُخرى، وأيضاً هناك قوة انحراف الأجسام المتحركة على سطح الأرض (قوة كوريوليس) الناجمة عن دوران الأرض حول نفسها، والمؤدِّية

إلى انحراف الأجسام الثائبه نحو اليمين في نصف الكرة الشمالي، ونحو اليسار في نصفها الجنوبي.

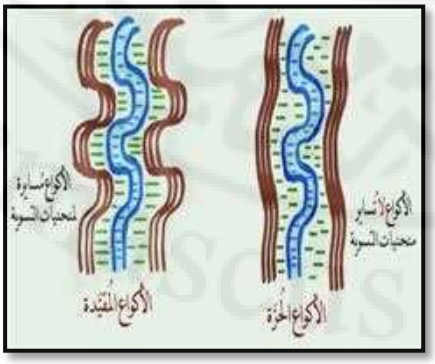
٢- الأكواع النهرية المُتعمقَّة (المُقيَّدة):

تتشابه في خطوطها العامَّة مع الأكواع الحُرَّة، مع اختلاف جوهري: هو أنَّ اقتطاع الأكواع المُقيَّدة يؤدِّي إلى ما يُعرَّف بالجبل المقطوع، (شكل٢٢٢).



شكل رقم (٢٢٢): جبل مقطوع **صورة رقم (١٩٩): جبل مقطوع**

كما أنَّ الكوع هُنا يتعلَّق بالوادي النهري بمجمله (بسبب حت النهر في الصخور القاسية)، في حين أنَّهُ في الأكواع الحُرَّة يتعلَّق بمجرى النهر فقط، وهذ ما تُبينَّه المُصورات الطبوغرافية عندما تُساير منحنيات التسوية سرير النهر (أكواع مُقيدة)، وعندما لا تُساير منحنيات التسوية (أكواع حُرَّة)، (شكل٢٢٣).



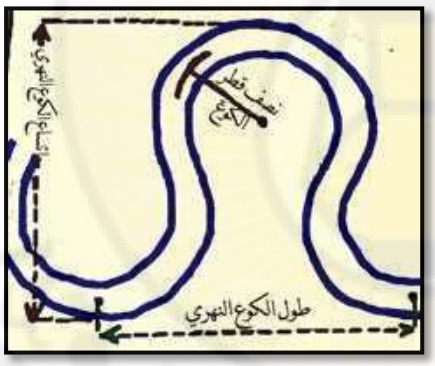
شكل رقم (٢٢٣): الأكواع النهرية حسب منحنيات التسوية

– أمَّا أهم نظريَّات تشكُّل الأكواع المُقيدَّة هي:

١– نظريـة العـالم الإنكليـزي رمسـي (1878م): حيـثُ اعتبـر أنَّ الأكـواع المُتعمِّقـة هـي أكـواع مورُوثة عن أكواع حُرَّة نتيجةً لتعاقُب طبقات رخوة وقاسية.

٢– إنَّ الاتجاه الحديث لتفسير الأكواع المُتعمِّقة: هي نتيجة لحت رأسي مُتعمِّق وناشط ضمن توضُّعات صخريَّة قاسيَّة، ولكن دون إغفال دور الكسور والصدوع، باعتبارها مناطق ضعف تستغلُّها المياه في عملها الحتِّي، وأيضاً دور العوائق الطبيعية (مخاريط الأنقاض مثلاً)، كما وتلعب التبايُنات الليتولوجية على جانبي النهر دوراً هامَّاً في تشكُّل هذه الأكواع.

– إنَّ الأكواع النهرية من حيثُ أبعادها تخضع لقوانين ومُعادلَّات رياضيَّة، وقد وُجدَ أنَّ الأنهار تُشكِّل أكواعاً إذا كانت نسبة طول المجرى إلى المسافة المُحوريَّة مُعادلة لِ (1.5) أو أكثر، وارتباط ذلك بتعاقُب الحُفر والعلوات في الكوع النهري.



شكل رقم (٢٢٤): أبعاد وعناصر الكوع النهري

(المسافة بين كُل حُفرتين أو علوتين تُساوي ½ طول الكوع، وَ (5) أضعاف عرض المجرى المائي).

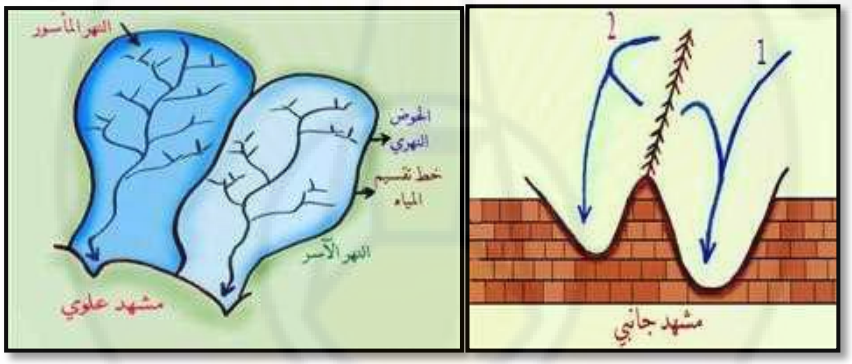
– الأسر النهري:

من أكثر العوامل إن لم نقل أهمُّها على الإطلاق في تطوير الشبكات النهرية، وفي تغيير أشكالُها ومساحات أحواضُها، حيثُ أنَّ الأنهار خلال تطورِّها وسعيها إلى تحقيق مقاطع الاتزان بواسطة الحت التراجُعي، الحت الرأسي، والحت الجانبي، تقُوم بتوسيع أحواضُها، وكُل توسُّع الأحواض في منطقة حوض التجمُّع يؤدِّي إلى تغييرات هامَّة على نطاق خط تقسيم المياه،

لاسيما إذا وجد حوض نهري مُجاور يسعى إلى تحقيق نفس التوسُّع والتوازن، وهذا كلُّه يؤدِّي إلى حدوث نوع من الصراع بين النهرين يُعرف بـ الصراع حول خط تقسيم المياه ، والنتيجة سوف تكون لصالح أحد النهرين حتمًاً، وتولُّد ما يُعرف بحوادث الأسر النهري الذي يفترض جملة من الشروط أهمُّها:

١- وجود نهر آسر وآخر مأسور.

٢- وجود نهرين مُختلفي الغزارة والصبيب، والقدرة على الحت، العوامل الطبوغرافية، بُنية الصخر، ممَّا يؤدِّي إلى توسُّع حوض أحدهما، أي أنَّ خط تقسيم المياه ينتقل مُبتعداً عن مجرى النهر الأقوى، أي النهر الآسر مُستقبلاً، (شكل٢٢٥).



شكل رقم (٢٢٥): الأسر النهري

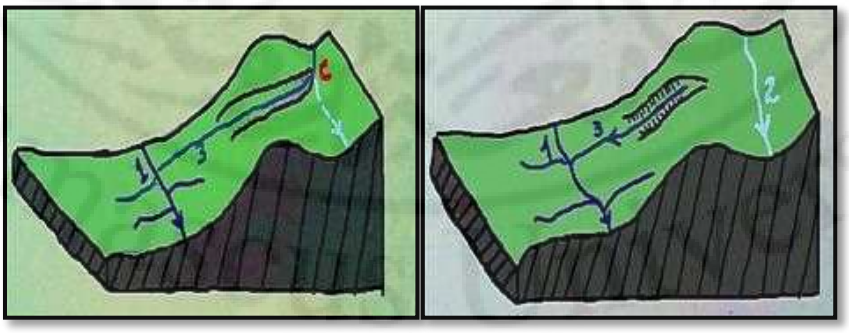


صورة رقم (٢٠٠): تجاور حوضين نهريين

– حالات الأسر النهري: سوف نتعرَّض هُنا للحالتين أو للنموذجين الأكثر تكراراً أو شيوعاً في الطبيعة بشرحٍ أكبر من الحالتين الثانويتين، وهُما:

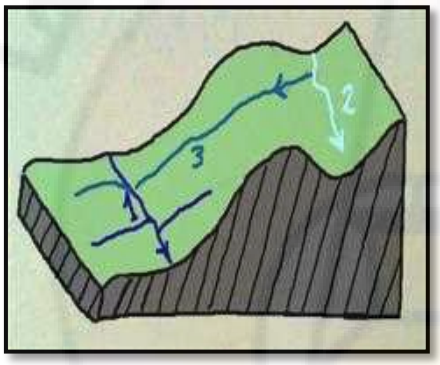
١– الأسر بواسطة تراجُع الرأس (عالية النهر): لو فرضنا وجود نهرين رقم (١) ورقم (٢) يجريان في مستويين مُتباينين طُبوغرافيَّاً، (ولنفترض كون النهر رقم (٢) مُعلَّقاً بالنسبة للنهر رقم (١))، على السطح الفاصل بين المجريين، سوف تقوم روافد النهر رقم (١) بالتراجُع (حت تراجُعي)، وطالما أنَّها تقع في سويَّة طُبوغرافيَّة أدنى من النهر رقم (٢)، فإنَّ تراجعها المُستمر أمر بديهي (ولنفترض وجود أحد هذه الروافد فقط، ولنرمز له بالرقم (٣)) فالتراجع المُستمر لهُ سوف يؤدِّي إلى تلاقيه مع النهر رقم (٢)، ولمَّا كان النهر رقم (٣) واقعاً على سويَّة طُبوغرافيَّة أكثر انخفاضاً وانحدارهُ أشد نسبيَّاً من انحدار النهر رقم (٢)، فإنَّ هذا الأخير سوف يندفع باتجاه النهر رقم (٣) ابتداءً من نقطة التلاقي (C)، وبالتالي فإنَّ قدرة هذا النهر (٣) سوف تزداد نظراً لتزايُد الصبيب يُعطي تزايُد الطاقة الحركيَّة أو الحتيَّة، ممَّا يؤدِّي إلى تعمُّق جديد لهذا النهر كي يتلاءم مع الوضع الهيدروغرافي المُستجِّد.

من هُنا يُمكن تسمية النهر رقم (١) بالنهر الآسر أو المُستفيد (River Capture) ، والنهر رقم (٣) بواسطة الأسر أو بالنهر الساحب ، على حين أنَّ النهر رقم (٢) يُدعى بالنهر المأسور، والنقطة (C) التي اندفعت عندها مياه النهر رقم (٢) في مياه النهر رقم (٣) تُعرف بكوع الأسر، وسافلة النهر رقم (٢) تُعرف بالوادي الميِّت، ويتميَّز بوجود اللحقيَّات فيه، إضافةً إلى وضعهُ الطُبوغرافي المُعلَّق بالمُقارنة مع الجهاز النهري المُستجِّد، (شكل٢٢٦).



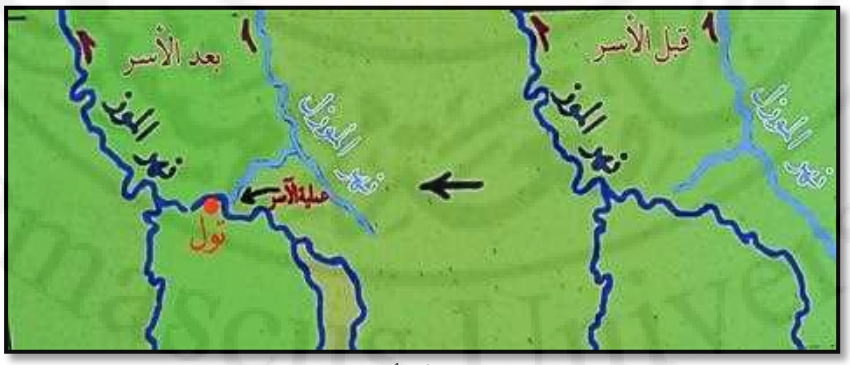
شكل رقم (٢٢٦): الأسر بواسطة تراجع النهر (عالية النهر)

٢- الأسر بالانسكاب: لنفترض الآن وجود نفس النهرين السابقين، وبنفس الوضعيَّة السابقة، ولكن مع كون النهر رقم (٢) في مرحلة لم تسمح له بعد بالوصول إلى مقطع اتزانه الطولاني، فلو فرضنا أنَّ مياهُهُ تعرضَّت أو نقلت حمولة مرتفعة جدَّاً لدرجة أدَّت إلى توضُّع رسوبات ذات سماكة سمحت لمياه النهر في فترة فيضانٍ ما مثلاً باجتياز الفواصل الصخريَّة التي تفصل النهر رقم (٢) عن النهر رقم (١)، وبسبب فرق الارتفاع والانحدار فإنَّ هذه المياه سوف تنسكب باتجاه النهر رقم (١) عن طريق النهر رقم (٣)، ومن هُنا يبدأ النهر الجديد بحفر مجراه الجديد وتعميقه هاجراً المجرى السابق، (شكل٢٢٧).



شكل رقم (٢٢٧): الأسر بالانسكاب

مثال الأسر النهري: الموزل الأعلى الذي كان يصبُّ في نهر الموز، ولكن أحد رافد الموتي موزل استطاع أن يأسرهُ عند مدينة (Toul)، والوادي القديم تحتلَّهُ مياه فصليَّة الجريان عاجزةً تماماً عن حفر الوادي الحالي بأكواعه المتطورة، (شكل٢٢٨).



شكل رقم (٢٢٨): حالة الأسر لنهر الموزيل

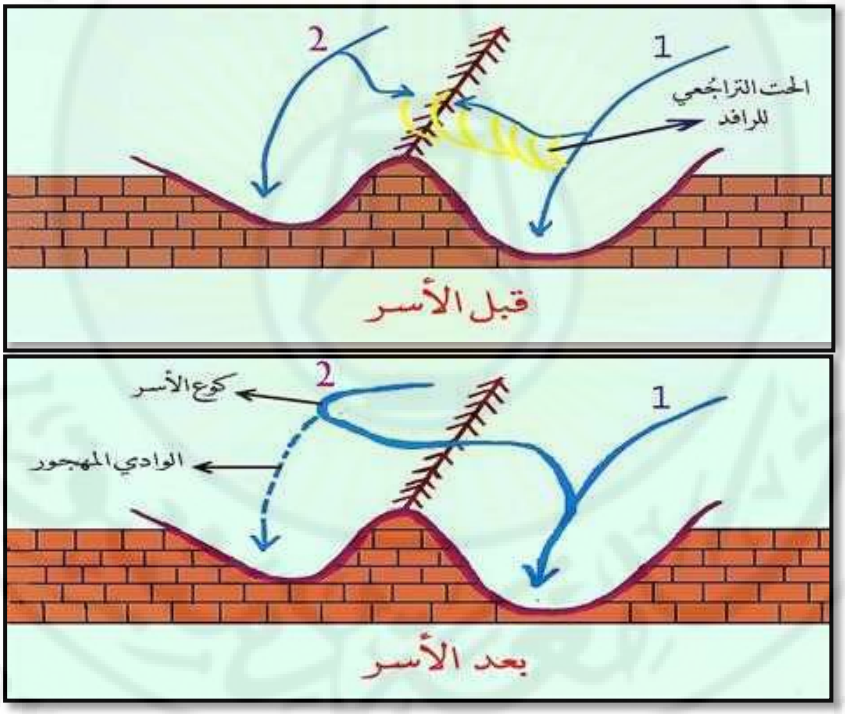
لتفسير هذه الحالة ظهرت:

١- أسلوب الأسر عن طريق توسُّع الجوانب:

حيثُ تُسبب أعمال حت وتعرية جوانب الأودية تراجُعها، وخفض تقسيم المياه حتَّى مستوى يسمح لمياه النهر المأسور بالانصباب في النهر الآسر الأدنى مستوى، ويكثُر هذه الأسلوب في المجاري العُليا، وفي المواد الطريَّة نسبيًّاً، وفي مرحلة شباب النهر.

٢- أسلوب الأسر عن طريق الحت التراجُعي (الصاعد) للروافد:

وهو الأسلوب الأكثر شيوعاً، يقوم النهر الآسر بعملية الحت التراجعي، والتي تصل إلى النهر المأسور، ممَّا يؤدِّي إلى عملية أسرُهُ.



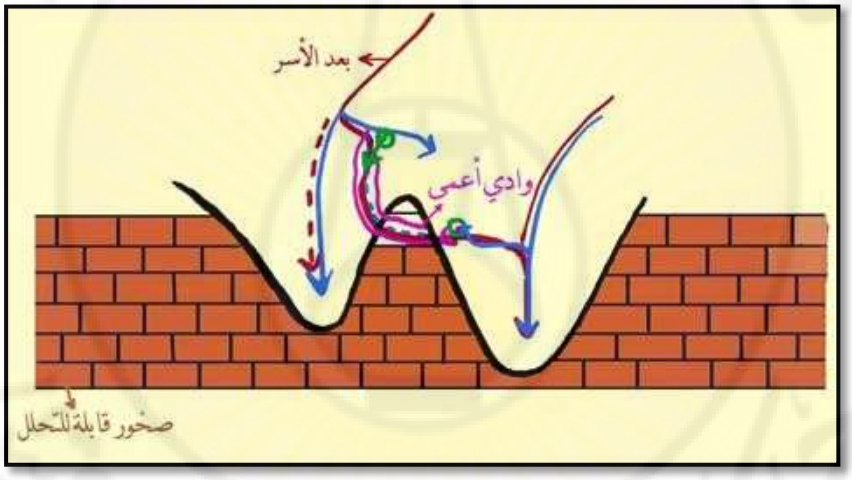
شكل رقم (٢٢٩): الأسر عن طريق الحت التراجعي للروافد

٣- أسلوب الأسر عن طريق التوسُّع الجانبي للأنهار:

ويكثُر انتشارهُ في الأنهار ذوات الأكواع المُترنِّحة أو المُتعمِّقة تُجاورُها أنهار أضعف، وأعلى مستوى، حيث يزيل الكوع النهري المُتنقل جانبيَّاً الفاصل التضريسي بينهُ وبين النهر المُجاور فيأسِّر مياهه.

٤- أسلوب الأسر الضمني:

ويتُم بأعمال التحلل السائدة في المناطق الكارستية خاصَّةً، وفي الصخور القابلة للتحلل والذوبان الضُمني عامَّةً، وكثيراً ما يُسبِّب هذا الأسلوب نشوء الجُسور الطبيعية بين النهر الآسر والنهر المأسور.



شكل رقم (٢٣٠): الأسر الضمني

أمثلة عن أهمية العوامل المُناخية في عملية الأسر:

- أنهار جنوب الهيمالايا (رطوبة عالية بسبب سيطرة الرياح الموسميَّة).
- أنهار السفوح الغربية للأنديز (المُشرفة على المُحيط الباسيفيكي) دفعت بخط تقسيم المياه إلى ما يزيد عن (200 كم) باتجاه الشرق (ضمن الأراضي الأرجنتينية).

ويمكن أن يتم الأسر أيضاً بأسلوب التوسُّع الجانبي للأنهار كالأنهار ذوات الأكواع النهرية، أو بأسلوب الأسر الضمني ضمن الصخور القابلة للتحلل.

الدورة الجيومورفولوجية:

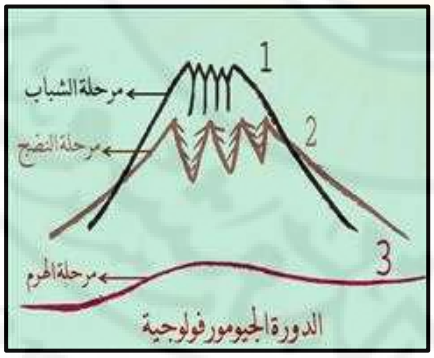
تُحاول الأنهار جاهدةً على توسيع مجاريها وتعميقها بواسطة الأعمال الجيومورفولوجية (الحت، النقل، الترسيب)، وهي تعمل بهذا على إحداث تغيُّرات وتبدلًات هامّة في تضاريس القشرة الأرضية، تُسفر عن تخفيض مستوى الأرض المرتفعة، وإزالة التضريس، حتى يتحوَّل سطح الارض إلى سهل مُنخفِض ذي سطح مستوٍ يُدعى مرحلة شبه السهل،

أي عندما تشقُّ الأنهار مجاريها وتوسِّع أوديتها للبلوغ إلى مقاطع اتزانها (profilesof Equilibrium) يُطلق على مجموعة هذه التغيُّرات التي يتعرَّض لها النهر وحوضه من بداية جريانه على سطح الأرض إلى أن يتم خفض الأرض المُرتفعة التي ينحدر عليها حتَّى يصل إلى مستوى القاعدة، وتتحوَّل المنطقة التي يجري بها إلى أرضٍ مُنخفضة ومستويَّة، يُطلَّق عليها الدورة الحتيَّة، أي التضريس يمرُّ في ثلاثِ مراحل، كل مرحلة تتميَّز بخصائص ومُميزَّات واضحة وهذه المراحل هي:

١- مرحلة الشباب.

٢- مرحلة النضج.

٣- مرحلة الشيخوخة، (شكل٢٣١).



شكل رقم (٢٣١): الدورة الجيومورفولوجية

جاء تعبير الدورة الحتيَّة التي ابتدعها الأمريكي (W.M.Davis) (1899م) وبالاختصار فإنَّ مفهوم الدورة الحتيَّة عنده هو عبارة عن فترة حت وتعرية للتضريس طويلاً، تسبقُها فترة نهوض سريعة وتُزامِنُها فترة هدوء نسبيَّة طويلة جدًّا بالمُقارنة مع فترة النهوض.

وفرضيَّة (Davis) هذه تُحدِّد الشروط الواجب توفرها إذا أردنا الحديث عن وجود دورة حت عاديَّة وهي :

١- وجود مياه جارية ومنتهية في مستوى الأساس العام (أنهار تنتهي في البحار والمُحيطات – وهي تُشكِّل (72%) من مساحة الأرض)، وعلى هذا تكون الأنهار المُنتهيَّة في بُحيرات داخليَّة واقعة خارج حدود مفهوم الدورَّة الحتيَّة، وذلك لأنَّ مُستوى البُحيرات هُنا خاضع لتبدُّلات فصليَّة (تُشكِّل (11%) من مساحة الأرض، مع المناطق ذات الجريان الضمني)، كذلك لا يدخُل في الاعتبار المناطق التي لا تحوي مياهاً جارية مُنتظمة الجريان (تُشكِّل (17%) من مساحة اليابسة)، تُستثنى كذلك المناطق ذات الجريان الضمني أو المناطق الكلسية.

٢- وجود غطاء تُربي مستمر، (غطاء مستمر مُكوَّن من تراكُمات خشنة نسبيَّاً ناجمة عن تفكك الصخر الأم).

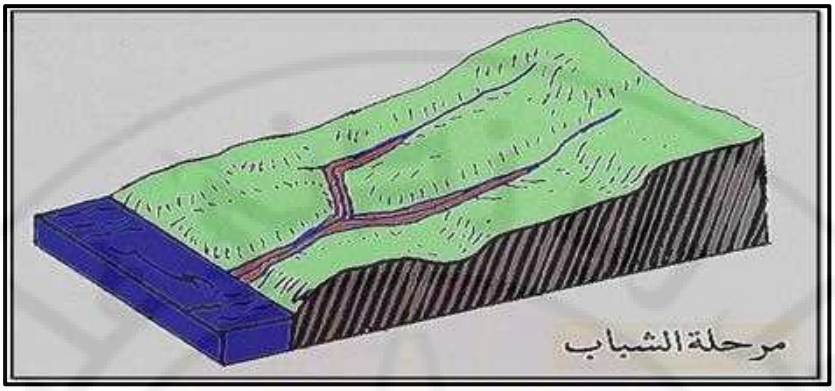
كما يلعب الغطاء النباتي دوراً هامَّاً في العمليَّة بمُجملها، كُل ذلك باستثناء المُنحدرات الشديدَّة طبعاً.

٣- إنَّ الأرض الجديدة التي نهضت بسرعة عن مستوى سطح البحر، ظلَّ منسوبها في حالة من الاستقرار والثبات (Stationary) (بالنسبة لمستوى البحر) لفترةٍ طويلة تكون كافية لإتمام الدورة واكتمالها.

وعلى أساس هذه الافتراضات استطاع (ديفس) أن يوجز التغيُّرات التي تطرأ على الأرض في كل مرحلة من مراحل الدورة الحتيِّة على النحو التالي:

١- مرحلة الشباب: من أهم ميزاتها:

- سيطرة الشكل البنيوي على التضريس ذي الانحدارات الشديدة.
- بداية تشكُّل الأنهار وتعمقها الرأسي، حيثُ تأخُذ مقاطعها شكل (V).
- تكثر الانزلاقات والانهيالات، وحوداث الأسر النهري.
- تتميَّز الأودية النهرية بوجود كثرة الفجوج والخوانق.
- تتميَّز المقاطع الطولانيَّة للأنهار بغناها بالمساقط، وأماكن الإسراع والشلالات، (شكل٢٣٢).

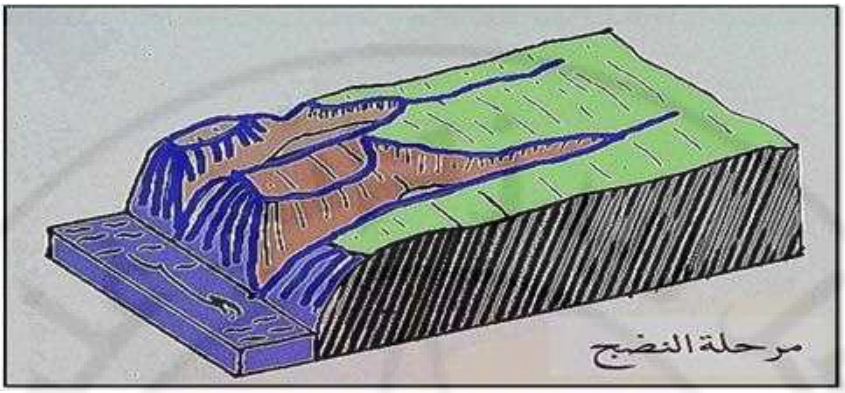


شكل رقم (٢٣٢): مرحلة الشباب

٢- مرحلة النضج: من أهم ميزاتها:

- يسعى النهر الوصول إلى مقطع الاتزان الطولاني، وما يُرافق ذلك من نشاط جيومورفولوجي (نشاط الحت الجانبي).
- نشوء الأكواع المُترنحة لازدياد نشاط الحت الجانبي.
- يُصبح خط تقسيم المياه مُكوَّناً من مجموعة من القمم الحادَّة، وهكذا تكون فروق الارتفاع في هذه المرحلة أعظميَّة.
- تحوُّل التضريس من الشكل البنيوي إلى الشكل المُناخي.

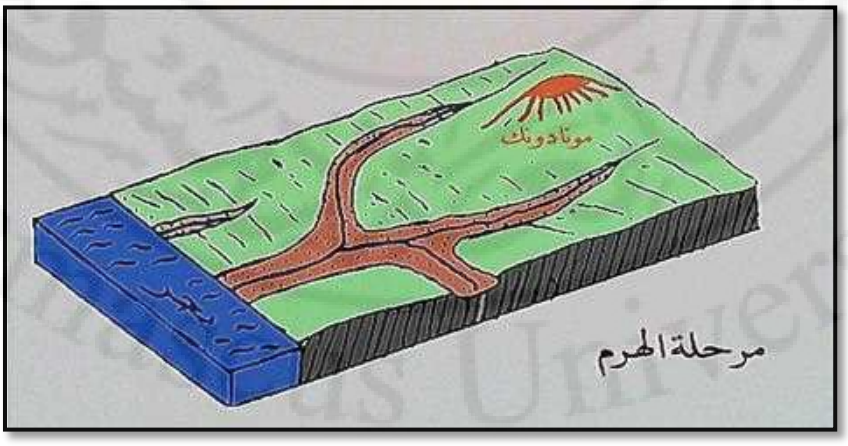
أي أنَّ هذه المرحلة تتميَّز إجمالاً بسيطرة التضاريس الجبلية العنيفة، لاسيما إن كانت الصخور قاسيَّة ومقاومة جدَّاً، (شكل٢٣٣).



شكل رقم (٢٣٣): مرحلة النضج

٣- مرحلة الهرم: وفيها يصل تطوُّر التضريس إلى النهاية، حيثُ تتميَّز هذه المرحلة:

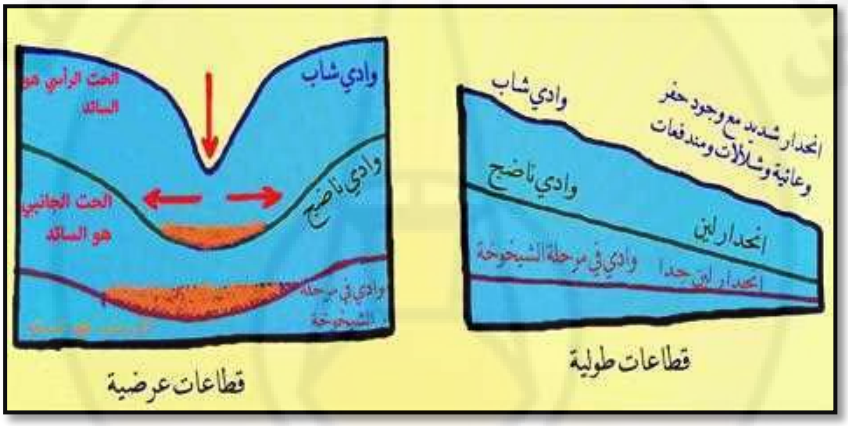
- ضِعُف عمليَّات الحت، وزيادة عمليَّات التراكُم (الترسيب)، ممَّا يؤدِّي إلى تقليل فروق الارتفاع.
- يأخُذ السطح في هذه المرحلة شكلاً قليل التموُّج (شبه السهل) حسب تعريف ديفس، حتى يبلغ مستوى القاعدة أو الحد الأدنى، وهذا ما يُميِّز نهاية الدورة الحتيَّة.
- تبرُز في مناطق خطوط تقسيم المياه السابقة بعض الظهرات ضعيفة الارتفاع، يُطلق عليها التلال الشاهدة (مونادنونك Monadnocks)، (شكل٢٣٤).



شكل رقم (٢٣٤): مرحلة الهرم

ولتعيين الحدود بين مرحلة الشباب ومرحلة النضج على الأخص، يُمكن الاعتماد حسب رأي واضع النظريَّة على الميزة الهامَّة التاليَّة:

طالما تُوجد شواهد أو معالم من السطح الأولي أو الرئيسي السابق على فترة الشباب (السابق على كسر، أو انخفاض مستوى الأساس مثلاً)، فإننا أمام مرحلة الشباب، أمَّا إذا كان انخفاض الفواصل النهرية قد وصل إلى مستوى طبوغرافي أدنى من مستوى النقاط السابقة فإنَّ الطبوغرافيا الجديدة هي طبوغرافيا مرحلة النضج، (شكل٢٣٥).



شكل رقم (٢٣٥): القطاعات الطولية والعرضية للمجرى حسب الدورة الجيومورفولوجية

من هُنا كانت نظريَّة هاك (1960م) التوازن الحركي – الديناميكي:

الطاقة المبذولة في الحت والتعرية يجب أن تتوازن مع الطاقة المصروفة في أعمال الترسيب

إنَّ نظريَّة هاك تُفسِّر التعقيد والتشابُك في التضاريس عبر مراحل تطورها على النطاقات المُناخيَّة المُختلفة، وجوهر النظرية مبني على كون عناصر التضاريس وأشكالها مرتبطةً ببعضها بشكلٍ وثيق، وتتطوَّر بصورة منسجمة، كما أنَّ هناك توازن الطاقات في القوانين الطبيعية، فالطاقة المبذولة على الحت والتعرية في حوض التجمُّع يجب أن تتوازن مع الطاقة المصروفة على أعمال الترسيب في مخروط الإنصباب، وهذا ما يؤدِّي إلى الحديث عن الطَّاقات المُتوازنة، وهي

حالة تتناسب فيها الطَّاقات مع أشكال التضاريس (انحدار المجرى الطولاني والمقطع العرضي، جوانب الأوديَّة، وسفوح المُنحدرات مثلاً).

ولمَّا كانت حالة التوازن والثبات السابقة ناجمةً عن تفاعل مجموعة من العوامل التي تُشكِّل هيكل التطور الجيومورفولوجي (بُنية الصخر، التكتونيك الليتولوجي، الستراتيغرافيا، المُناخ، العامل الحيوي.....الخ) وهذه العوامل بحدِّ ذاتها غير مُستقرَّة، فإنَّ أي تبدُّل في أحدها يؤدِّي إلى حدوث سلسلة من التغيُّرات التي تهدُف إلى تحقيق التوازن والثبات من جديد.

وهكذا فإنَّ نظريَّة التوازن الحركي – الديناميكي في الجيومورفولوجيا تعني أنَّ المادة والعامل والهندسة تُشكِّل توازناً ذاتيَّاً بين بعضها البعض.

نقد نظريَّة ديفس:

١– النهوض السريع لليابسة لا يوجد إلَّا في مُخيِّلة الكاتب، لأنَّ نهوض اليابسة يتم عادةً ببطء شديد، كما أنَّ الاستقرار الطويل الأمد هو نادر جدَّاً في الطبيعة.

٢– ميزَّات المراحل السابقة تختلف باختلاف طبيعة الصخور، أي أنَّه في مرحلة الشباب يُمكن أن نُلاحظ ميزات مرحلة النضج إن كانت الصخور قليلة المُقاومة.

٣– السهل أو شبه السهل هو أمر مستحيل الوصول إليه، وذلك لأنَّه يستند إلى فرضيَّة مُستحيلة وهي "استقرار اليابسة" والتبدلَّات المُناخية.

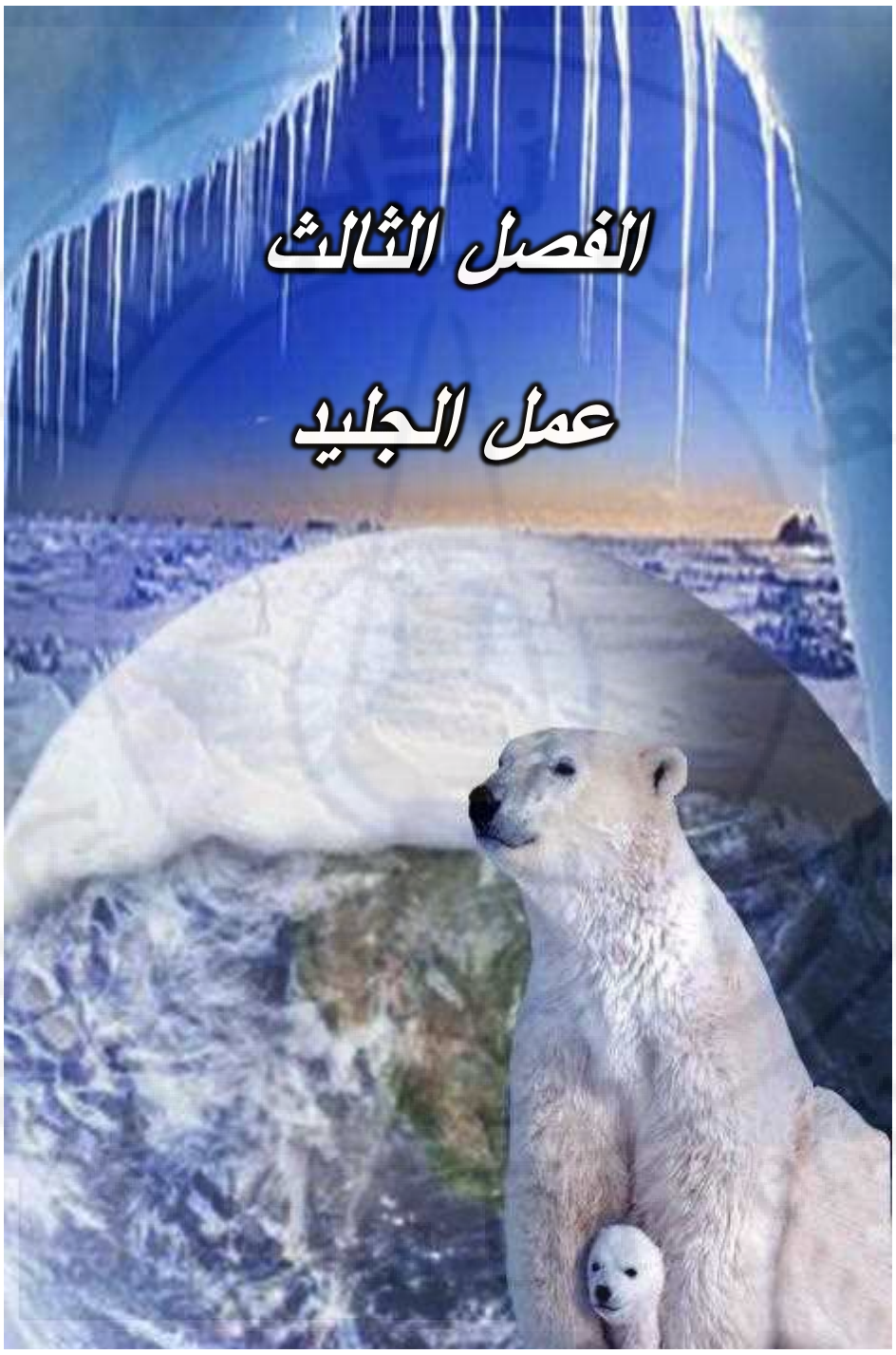
٤– لا تنطبق صفات الدورة المعنيَّة على المناطق الجافَّة.

٥– إنَّ ديفس يُهمل تماماً قضيَّة تجدُّد التضريس.

إنَّ انتشار هذه الآراء يجب أن لا يحجُب الفكرة الأساسيَّة عن توازن الثقالة لكامل الكرة الأرضيَّة وتضاريسها وتأثرها بمناسيب النهوض من جهة، ومقادير الحت والتعرية من جهةٍ أُخرى، حيثُ أنَّ النهوض البنائي حاليَّاً هو أسرع من التعرية، حيثُ يُقدَّر النهوض العام لأجزاء مُختلفة من العالم بمتوسط قدرهُ (4 – 12 م/1000سنة)، بينما لا يزيد معدَّل التعرية في الجبال العاليَّة عن (1 – 1.5 م/ 1000سنة)، وهذا المُعدَّل ينخفض كثيراً في السُهول.

أمَّا مُعدَّل التعرية للعالم فلا يزيد عن (8 سم/ 1000سنة)، إنَّ مُقارنة الأرقام السابقة يسمح لنا بالقول إنَّ: مرحلة شبه السهل التي أشار إليها ديفس هو أمر يستحيل تحقيقهُ، كما يسمح لنا في

الوقت نفسه إلى استخلاص حالة كون قوانين التوازن هي التي تتحكَّم في تطور التضاريس عبر مراحل التاريخ الجيومورفولوجي.


الفصل الثالث
عمل الجليد

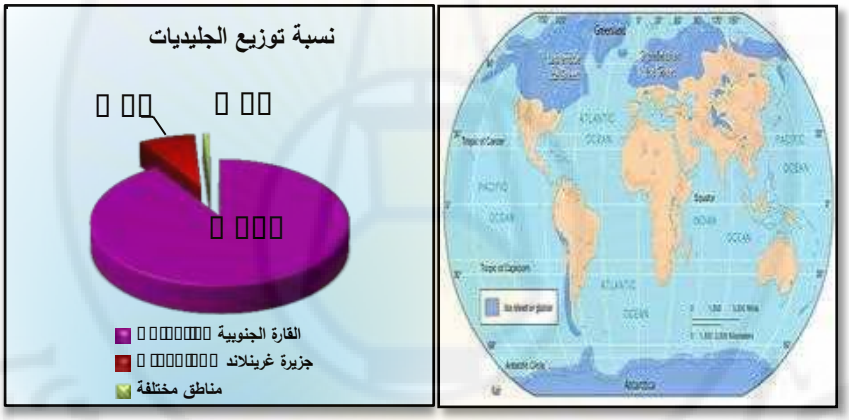
وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

عمل الجليد (الحت الجليدي)

Geologic Action of Glaciers

تحتَّل الجليديَّات الحاليَّة ما يقرُب من(15) مليون كم^{2} من إجمالي مساحة اليابسة، أي نحو (10%) من مساحتها الكليَّة، وهذه المساحة موزَّعة على الشكل التالي: (91%) يتركَّز في القارَّة الجنوبيَّة (Antastica)، (8%) في جزيرة غرينلاند (Greenland)، (1%) جليديَّات موزَّعة في مناطق مُختلفة،(شكل٢٣٦).



شكل رقم (٢٣٦): توزيع الجليديَّات

وقد كانت الجليديَّات تشغل في الحقب الجيولوجي الرابع (23%) من إجمالي مساحة اليابسة، أي ما يقرُب مساحة تُقدَّر بنحو (42) مليون كم^{2}، وبعبارةٍ أُخرى انحسرَ الجليد عن مساحة كبيرة تظهر عليها أشكال التضاريس التي مارس عليها الجليد نشاطهُ، وعمله الجيولوجي والجيومورفولوجي، وهذا ما يُبرِّر انفراد دراسة الجليديَّات بعلم الجليديَّات (Glaciology)، التي يكمُن جوهرها بـ:

١. دراسة الجليديَّات الحاليَّة، والعوامل المُؤثِّرة في تكوينها في ظل الظروف المُناخيَّة الحاليَّة.

٢. التحديد الدقيق لمدى تأثيرها في الجليد الحالي، وخصائصه.

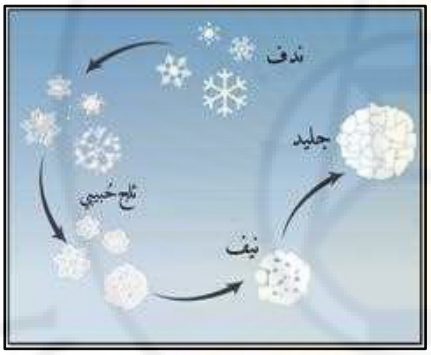
٣. يتعرَّض هذا العلم لدراسة الأوديَّة الجليديَّة التي تُشكلُّها الألسنة الجليديَّة.

٤. يهتم بدراسة الجليديَّات القاريَّة خلال الفترات الجليديَّة القديمة، والتي كان لها دور مُهم في تشكُّل المظاهر الجيومورفولوجيَّة لمناطق شاسعة على سطح الكرة الأرضيَّة.

يتفق الجيولوجيون والجيومورفولوجيون بهذا المضمون لعلم الجليد، مع زيادة اهتمام الجيومورفولوجيين بدراسة ظاهرات السطح بصورةٍ أكثر تفصيلاً من الجيولوجيين.

الثلج والجليد:

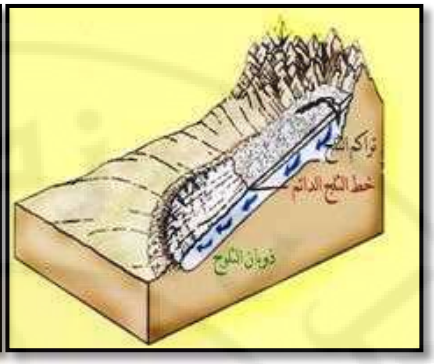
تتساقط الثلوج نتيجةً لتكاثف بُخار الماء، وتحوُّلَه من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة، لتأخُذ بلوراته أشكالاً هندسيَّة مختلفة، فتتساقط على شكل ندف (Snow Flakes)، (شكل٢٣٧).



شكل رقم (٢٣٧): الأشكال الهندسية للثلج

يكون الثلج هُنا غنيَّاً بالهواء، ولونه أبيض، ذا كثافة تبلغ (0.1) ومساميَّة (90%)، لذا لا يقوم بدورٍ فعَّال على سطح الأرض الذي يقبع فوقها إلَّا من خلال البُقاع التي تُغطِّيها الثلوج بكميَّاتٍ كبيرة في الفصل البارد، وتذوب في الفصل الدافئ، عندها يتأثَّر سطح الأرض جيومورفولوجيَّاً مُشكِّلاً المظاهر الحقيقية التي تظهر غالباً دون حدود خط الثلج الدائم (Snow Line)[١]، (شكل٢٣٨).

[١] - هو النطاق المحصور بين البُقاع المُغطَّاة بالثلوج الدائمة، والبُقاع التي يكون دونها الثلج مؤقَّتاً أو فصليَّاً، وارتفاع هذا الحد مُرتبط بعدَّة عوامل أهمُّها: درجات الحرارة، الإشعاع الشمسي، حركة الهواء، الأمطار والرطوبة، درجة العرض، يتصاعد النطاق المذكور مُرتفعاً فوق مستوى سطح البحر، أو باتجاه خط الاستواء.



شكل رقم (٢٣٨): خط الثلج الدائم



صورة رقم (٢٠١): خط الثلج الدائم

عندما تتكدَّس الثلوج دون ذوبان من عامٍ لآخر فوق سطح الأرض، تُشكِّل ما يُعرف بـ **(حقول الـثلج)**، وإذا سادت ظروف الحرارة المُتدنيَّة لفتراتٍ طويلة، ازداد الجليد، وطُرد الهواء بتتالي الضغط من بين مسامه، وازدادت طبقاته قساوةً وتماسُكاً، لترتفع كثافته النوعيَّة التي تغدو ما بين (0.72 – 0.91) تُعرف باسم **(Firn)**، ويغدُو الثلج ذا لون أبيض مُزرَّق، يتحوَّل مع مرور السنين إلى حُقول جليدية (Ice Fields)، ونتيجةً لتضاغُط كتل الجليد يتحرَّك ببطء على اليابسة بعيداً عن مكان تجمُّعه.



صورة رقم (٢٠٢): حقل جليدي

وينساب الجليد من الحقول الجليدية تحت تأثير الجاذبية، إذ أنَّهُ يكتسب لدُونة تحت تأثير الضغط الناشيء من تراكُمهِ بسمكٍ كبير، ويُسمَّى هذا الجليد المُتحرِّك بـ **الجليدية (Glacier)**،

ومن خلال تلك الحركة يقوم الجليد بعمله الجيومورفولوجي من حتٍّ ونقل وترسيب، وتُعدُّ الجليديات أكثر العوامل الخارجيَّة شدَّةً بعد المياه الجاريَّة.

في حين تُعرَّف ألسنَّة الجليد المُنبعثة عن الحقول باسم **الألسنَّة الجليدية (Glaicer Ice)**، التي تفقُد أجزاء من هوامشها وأطرافها نتيجةً للذوبان، أمَّا الجليديات التي تتحرَّك من اليابسة نحو الماء فتتكسَّر نهايتها مكوِّنةً جبال الجليد (Ice Berg = Eicberg).



صورة رقم (٢٠٣): اللسان الجليدي

- الجليديَّات (Glaciers):

تُصنَّف الجليديَّات تبعاً لحجُومها، ومواضعها (طبيعة الأراضي التي تستقرُّ عليها) في ثلاث زُمر رئيسة هي:

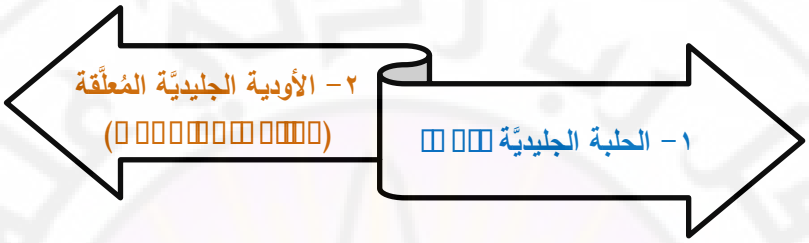


أ- جليديات الأودية (Valley Glaciers) أو الجليديات الألبيَّة (Alpine Glaciers):

وهي أكثر أنواع الجليديَّات انتشاراً، بالرُغم من أنَّها لا تُكوِّن إلا حوالي (6%) من مجموع مساحة الجليديَّات في العالم، وهي كتل جليدية تجمَّعت ضمن الأودية الجبليَّة الواضحة المعالم مُشكلةً ما

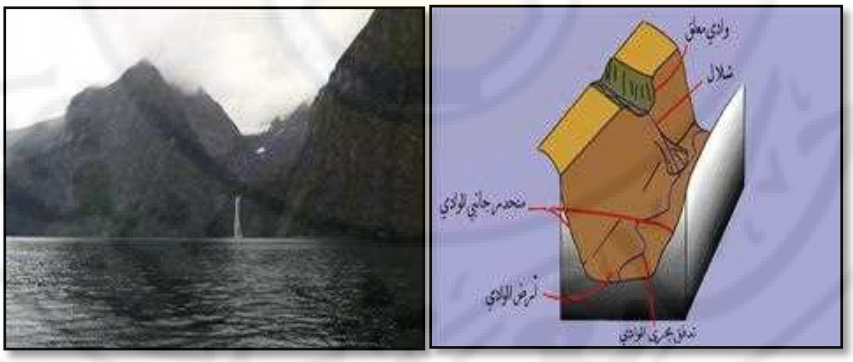
يُعرف **بالألسنة الجليديَّة**، التي تنساب وتتحرَّك من مراكز نشوئها في المناطق الجبلية المُرتفعة نحو المناطق المُنخفضة، وقد تُسمَّى أحياناً **(بالجليديَّات الألبيَّة)**.

وتتغذَّى الجليديَّة فوق خط الثلج الدائم (Snow Line) بالثلوج المُنسابة إليها من:



تمتاز الأودية الجليديَّة بخصائص بارزة أهمَّها:

١. استقامة الأودية الجليديَّة، ولمسافاتٍ طويلة.
٢. المقطع العرضي للوادي على شكل حرف (U).
٣. تتَّصف بطون الأودية بتضرُّسها (الصخور الغنميَّة).
٤. وجود الأودية المُعلَّقة، والأودية المُتراكبة، (شكل٢٣٩).



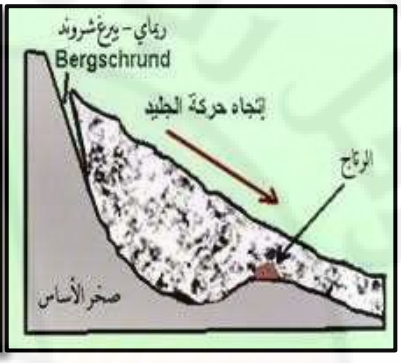
شكل رقم (٢٣٩): عناصر الوادي الجليدي

صورة رقم (٢٠٤): عناصر الوادي الجليدي

الحلبات الجليديَّة (Kar):

تُعدُّ الحلبات الجليديَّة (Kar) من أهم مصادر تغذية جليديَّات الأودية، وهي وهاد أرضيَّة تتمركَّز بين الذُرى، قيعانها مستوية نسبياً، تُحاط بجوانب شديدة الانحدار وخاصَّة باتجاه العالية، ينفرج

طوقها في الاتجاه المقابل للجدار الخلفي مُشكلاً بداية الوادي الجليدي، غير أنَّ تلك المخارج لا تخلو من أعتاب صخرية قاسية يُطلق عليها اسم (الرتاج)، تتمركز فوق الرتاج في معظم الأحيان أنقاض جليدية (ركام جليدي)، تحجُز خلفَها بُحيرات عذبة صغيرة ناجمة عن حجز المياه الذائبة صيفاً تُدعى (Tarns)، (شكل٢٤٠).



شكل رقم (٢٤٠): الحلبة الجليديَّة



صورة رقم (٢٠٥): الحلبة الجليديَّة وتطوُّرها

تعود أُصول الحلبات إلى مُنخفضاتٍ طبوغرافيَّة صغيرة ناجمة عن عوامل بنائيَّة أو حتيَّة قبل أن يحتلَّها الجليد، توسَّعت هذه المُنخفضات وتعمَّقت نتيجة للتآكل الذي سببته التجوية الناجمة عن الانجماد المُتمثِّل بتتالي تجمُّد الماء وذوبانه ضمن الشقوق والفواصل والمسامات الصخريَّة، ممَّا يؤدِّي إلى تراجع حواف الحلبات المذكورة لتتحوَّل إلى أعراف جبلية حادَّة ومُسنَّنَة (كارلينغ) تُسمى **القمم الهرمية أو القرون (Horns)** (ومن أجمل الأمثلة جبل ماتر هون في سويسرا)، ومع استمرار تراجع الأعراف الجبلية تندمج الحلبات بعضها ببعض، (شكل٢٤١).



شكل رقم (٢٤١): القمم الهرميَّة (القرون)



صورة رقم (٢٠٦): جبل ماترهون في سويسرا

خصائص جليديَّات الأودية: وتضم:

١- الشقوق الجليديَّة

٢- حركة جليديَّات الأودية

٣- الرُكام الجليدي – المورينات

١- الشقوق الجليديَّة:

تتغذَّى الأودية كما سبق وأسلفنا من قطَّاعات خاصَّة تُدعى بالحلبات، التي يكون فيها انحدار الجليد مُتناسباً مع انحدار قيعان الحلبات المذكورة من الجدار الخلفي للحلبة نحو الرتاج مُشكلاً لساناً جليديَّاً مُقبباً محصوراً ضمن الوادي.

يتميَّز الجدار الخلفي للحلبة بوجود شق كبير أو هوى سحيقة تُعرف بـ **بيرغ شروند (Bergchrund)**، وهذه تُشكِّل خطورة لأنَّها محجوبة بمجروفاتٍ ثلجيَّة، (شكل٢٤٢).



شكل رقم (٢٤٢): بيرغ شروند　　صورة رقم (٢٠٧): بيرغ شروند

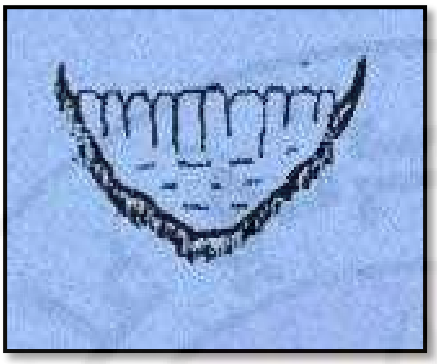
يتعرَّض هذا اللسان المُقبب للتشقق مع بداية اجتيازه للرتاج، وذلك بسبب اختلاف سرعة تحرُّك الجليد، وانتقاله ضمن الجليديَّة ذاتها، وتأخذ الشقوق أشكالاً مُختلفة، قد تكون:





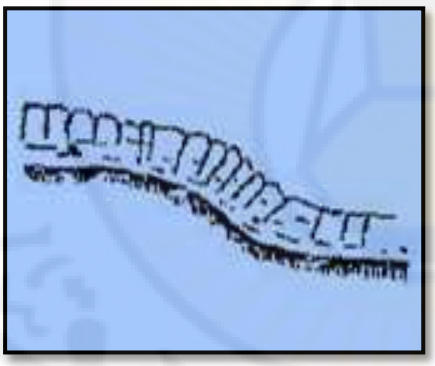
شكل رقم (٢٤٣): الشقوق الجليديَّة

- **الشقوق الطولانية:** هي شقوق متوازية طولانية، تُرتسم باتجاه زحف الجليديَّة، وهي ناجمة عن اتساع عرض الوادي، وتباين سرعة زحف الجليد بين وسط اللسان وأطرافه التي تتباطأ فيها سرعة الجليد بسبب الاحتكاك بالحواف الصخرية، (شكل٢٤٤).



شكل رقم (٢٤٤): الشقوق الطولانيَّة

– **الشقوق العرضانيَّة:** وهي شقوق يُعزى تشكُّلها ونشؤها إلى تضرُّس قاع الوادي، وتباينات معدَّل انحداره، وهذا ما ينعكس على تفاوت تضاغط الجليدية وسرعتُها، (شكل٢٤٥).



شكل رقم (٢٤٥): الشقوق العرضانيَّة

وإذا تداخلت الشقوق الطولانية مع العرضانية أدَّت إلى انقسام كتل الجليد على شكل بوارز تُعرف باسم **سيراك.**

وقد تتشكَّل على حواف الجليديَّة شقوق هامشية ناجمة عن تفاوت سرعة جسم الجليدية، وقد يتَّسع المقطع العرضي للوادي في نهايته مُشكلاً شقوقاً مروحية في نهاية اللسان الجليدي.

كما تظهر على سطح اللسان الجليدي عدد من الثقوب الاسطوانيَّة العميقة (Dustwall)، وهي ناجمة عن امتصاص الجليد للغبار، وأثر مياه الذوبان السطحي في تشكُّل هذه الثقوب، كما أنَّ القطع الصخرية المُتساقطة على سطح الجليد تُذيب الموضع الذي ترتكز عليه.



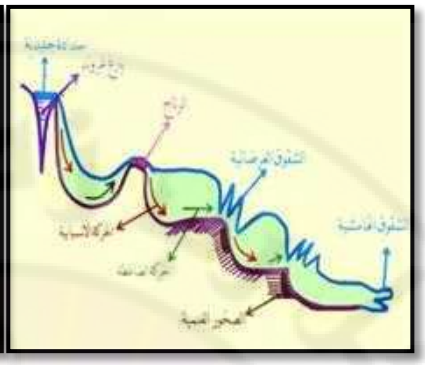
صورة رقم (٢٠٨): الثقوب الاسطوانيَّة

<u>- حركة جليديات الأودية:</u>

تتوقَّف حركة الجليديَّات على عدَّة عوامل:

- انحدار الوادي الجليدي، حيثُ يُساعد على انزلاق الجليد.
- إشعاع الحرارة من الأرض، وأثره في الحيلولة دون تثبيت الجليديَّة في مكانها.
- التغذية: حيثُ أنَّ ازدياد التغذية في الحلبة يؤدِّي إلى الضغط على اللسان، ممَّا يزيد من سرعة حركته.

وتبلُغ سرعة اللسان الجليدي أقصاها عند نهايته، كما أنَّ هذه السرعة تزيد في الصيف عنها شتاءً، وتُقدَّر سرعة حركة جليديَّات جبال الآلب بين (40 – 150) في السنة، (شكل٢٤٦).



شكل رقم (٢٤٦): حركة اللسان الجليدي



صورة رقم (٢٠٩): حركة اللسان الجليدي

٣- الرُكام الجليدي – المورينات (Glacial Moraines):

هي الأنقاض المؤلَّفة من الأحجار والصخور والمواد الناعمة التي يحمِلُها اللسان الجليدي منها: الرُكام الجانبي (Lateralm)، والأوسط (Meedialm)، والنهائي (Endm)، والقاعي (Groundm)، والرُكام الداخلي، (شكل٢٤٧).

١- الرُكام الجانبي ([illegible]):

وهو أنقاض صخرية مُتفككة هبطت على سطح الجليد، أو مُقتلعة من جوانب جدران الواد[illegible]

تؤدِّي استمرار حركة الجليدية مع انقاضها إلى عملٍ مزدوج من جرٍّ ودفع وتخديش وصقل للأنقاض ولقاع الوادي على حدٍّ سواء، ممَّا يُعطي تُراباً ناعماً يُسمَّى (المسحوق الرُكامي)[illegible]

٢- الرُكام الأوسط ([illegible]):

وهي التحام لسانين جليديين يتوضَّع الرُكام بشكلٍ خطِّي في الوسط.

٣- الرُكام القاعي ([illegible]):

وهو جلاميد من أنقاض صخرية مُفتتة فوق قاع الوادي

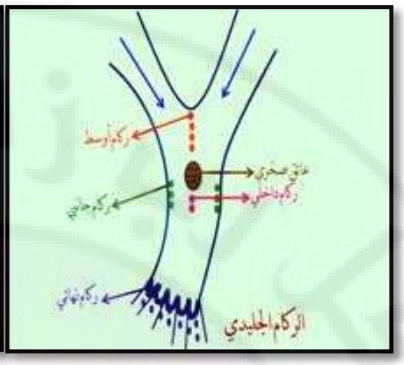
٤- الرُكام الداخلي:

وهو الفتات المُتراكم خلف بروز وعائق صخري أمام مسار اللسان الجليدي.

٥- الرُكام النهائي ([illegible]) – الجبهي:

وهو التوضعات الجليدية عند نهاية اللسان الجليدي، وتُشكِّل أقواساً هلالية، لها مظهر جدار جبلي يُحيط بنهاية اللسان الجليدي.

هذا بالإضافة إلى العمل الحتِّي المُهم الذي يُمارسه الجليد المُتحرِّك بشكلٍ عام.



شكل رقم (٢٤٧): الرُكام الجليدي



صورة رقم (٢١٠): الرُكام الجليدي

- الأشكال الجيومورفولوجيَّة المُرتبطة بجليديَّات الأودية:

تميَّز الحُقب الرابع بحدوث أربع فترات جليديَّة، تفصل بينها فترات دافئة"[1]"، وتبعاً لتوضُّعات هذه الفترات قُدِّر عُمر كلٍّ منها.

يُتضَّح من الجدول المُرفق أنَّ الفترات الجليديَّة، والفترات الدفيئة الفاصلة بينها، تكاد أن تتفق فيها المراحل الجليديَّة في جبال الألب مع تلك التي حدثت في شمال ألمانيا.

جدول رقم (١٦): الفترات الجليديَّة في مناطق جبال الألب وأواسط أوروبا وأمريكا الشماليَّة

فترات الجليد في جبال الألب وأواسط أوروبا	فترات الجليد في أمريكا الشماليَّة
الفورم	ديسكونسين
المندل	كانسن
الجينز	نبراسكا

[1] - ارجع إلى بحث الأحقاب الجيولوجيَّة (الحقب الرابع).

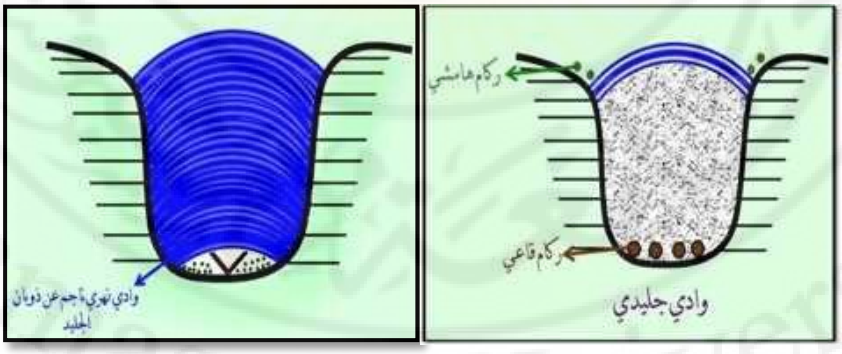
وقد أوضحت الدراسات الجيومورفولوجيَّة كما سبق وبينَّا بأنَّ الجليديَّات كانت تُغطِّي مساحاتٍ أكبر، وألسنتها كانت تمتد على مسافات أطول، وقد سهل دراستها تراجُع الجليديَّات، وانكشاف أقسام كبيرة من اليابسة.

يبدأ العمل الجيومورفولوجي والجيولوجي للجليد من المصادر العُليا له (الحلبة)، وتُعدُّ الحلبة شكلاً من الأشكال التضريسيَّة التي طورها الحت الجليدي (كما أسلفنا سابقاً) بدءاً من تشكُّل الشقوق العميقة جدَّاً في عالية الحلبة تُسمَّى (ريماري وبيرغ شروند Bergschrund).

تُعزى هذه الشقوق:

- إمَّا إلى تتالي حدوث عمليات التجمُّد والذوبان في عالية الحلبة.
- أو بفعل المياه الذائبة، والمُتجمِّعة أسفل الجليد ضمن الحلبة، وعند إعادة تجمُّدها تتكسَّر الكتل الصخرية وتتكوَّن هذه الفتحات.

عندما ينساب اللسان الجليدي ضمن الوادي، الذي يُعاد تشكيلهُ من جديد بوساطة الجليد ليُحولَّه إلى مقطع عرضي على شكل حرف (U) (علماً بأنَّ الأودية الجليديَّة كافَّة ليست معلفيَّة الشكل، كما أنَّ الأودية المعلفيَّة الشكل ليست جليديَّة المنشأ)، أمَّا الأودية الجانبية للجليد تبدو على شكل أودية مُعلَّقة (Hanging Glasiers)، حيثُ لا يصل مستوى قاعها إلى مستوى الجليد نفسه، (شكل٢٤٨).



شكل رقم (٢٤٨):الوادي الجليدي قبل وبعد الذوبان

وقد تتشكَّل بعض المظاهر الجيومورفولوجية منها:

- **الأحواض المُغلقة:** الناجمة عن تجمُّع المياه الذائبة خلف تجمُّع المورينات النهائية (تُسمَّى بالألمانية تسونغ بيغن – Zung Bechen).

- **المُدرجَّات الجبلية الإرسابيَّة.**



صورة رقم (٢١١): مُدَّرج جبلي ناتج عن زحف الجليد

- **الصخور الغنمية:** التي تُعرف بالفرنسية باسم (Rocher mutonnees)، و بالألمانية بالظهور المُدوَّرة (Rund hocher)، تبدو هذه الصخور متجعدَّة على شكل فرو الخراف مصقولة ومحدبة ومُحززة من جهة العالية، (شكل٢٤٩).



صورة رقم (٢١٢): الصخور الغنميَّة في جبال الألب



شكل رقم (٢٤٩): الصخور الغنميَّة

لا يقتصر العمل الجيولوجي و الجيومورفولوجي على الحت والترسيب الجليدي، بل هُناك أثر للمياه الذائبة التي تُشكِّل سيولاً تحفر خوانق على شكل حرف (V) في مُقعَّر الوادي الجليدي.

أمَّا إذا صبَّت جليديَّات الأودية في البحر فإنَّها تُشكِّل ظاهرة الفيوردات (Fiord) وهي نهاية جليديَّة غاطسة تحت البحر، ناجمة عن الحت الجليدي دون مستوى سطح البحر، ومن أمثلتها (سواحل النروج)، وقد تنفصل الكتل الجليدية عن اللسان الجليدي مُشكلةً جبالاً جليدية طافية (Icebergs).

ب- الجليديات القارية (Continental):

وتُسمَّى أيضاً فرشات الجليد (Icesheets)، وتُغطِّي القارة القطبيَّة الجنوبيَّة (Antarctica) في الجنوب، وآلاسكا وكندا وغرينلاند وسيبيريا، أي إنَّ الجليديَّات القاريَّة تُغطِّي الأراضي المنبسطة والهضاب القطبية، كما تُشكِّل قبعات فوق بعض الجزر، وتتميَّز بضخامة حجمها، وقلَّة تضرُّسها، فهي تُغطِّي ما يقرُب من ثلاثة أرباع مساحة غرينلاند التي يصل سمك الجليد فيها إلى (3000 م)، باستثناء بعض البوارز الصخريَّة تُسمَّى نوناتاك (Nunataks)، التي تدل على أنَّ خط الثلج الدائم قريب جدَّاً من مستوى سطح البحر، (شكل٢٥٠).



شكل رقم (٢٥٠): الجليديَّات القاريَّة صورة رقم (٢١٣): الجليديَّات القارية في غرينلاند

كما تُغطِّي الجليديَّات القاريَّة القارة القطبيَّة الجنوبيَّة بمساحة تُقدَّر بنحو (13.4) مليون كم^2، وهي تُشكِّل (97%) من مساحة جليديَّات سطح الأرض، وتكون هذه المناطق خالية من النباتات ما عدا بعض الفطريات الحمراء التي تصبُغ الجليد بلونها فيُسمَّى الثلج الأحمر (Red Snow).



صورة رقم (٢١٤): الثلج الأحمر في هيمالايا

تتحرَّك الجليديَّات القارية ببطء نتيجةً لاستواء السطح الطبوغرافي، ولكن تزداد سرعتها (أي الجليديَّة) عندما يزداد تراكم الجليد وتضاعفه الذي يؤدِّي إلى تكسُّر قطع من أطراف الجليديَّة وانفصالها مُشكلَّة جبالاً طافية (Iceberg)، (شكل٢٥١).



شكل رقم (٢٥١): Iceberg

صورة رقم (٢١٥): Iceberg في القطب الشمالي الكندي

إنَّ انحسار الأغطية الجليديَّة الكُبرى وتراجُعها، سهلَّ دراسة الأشكال التضريسيَّة الناجمة عن عمل الجليديَّات القاريَّة (حتَّاً وترسيباً على حدٍّ سواء).

تختلف طبوغرافيَّة الجليديَّة القارية عن جليديَّات الأودية بسطوحها المُتموِّجة ذات فروق الارتفاع القليلة، وينعكس ذلك على نشاط الجليديَّات القارية، وعملها الجيومورفولوجي والجيولوجي، إذ لا تُمارس نشاطاً حتيَّاً مُهمَّاً باستثناء تسوية بعض فروق الارتفاع، وبعض الفجوات، والحزوز

الناجمة عن الصخر أثناء زحف الجليد، وبعض الكتل الحجرية المُنهارة من جوانب الأودية، وتُعدُّ المورينات أشبه بأظافر تخرِّش سطح اليابسة على شكل حزوز وأخاديد (Straited).



صورة رقم (٢١٦): شقوق ناتجة عن حركة وزحف الجليد

ومن الأشكال التي يخلُفها الحت الجليدي في المناطق الصخريَّة:

- الصخور الغنميَّة.
- الحفر الأرضيَّة الطوليَّة.

الصخور الغنميَّة أو (المدوَّرة): وهي بوارز صخريَّة مصقولة ومُحززة تُشكل تلالاً بين انحدارين مُختلفين (كما هو الحال في الأودية الجليديَّة)، ولا سيما أطراف الجليدية، (شكل٢٥٢).





صورة رقم (٢١٧): الصخور الغنميَّة **شكل رقم (٢٥٢): الصخور الغنميَّة**

الحُفر الأرضية الطولية: وهي ناجمة عن نحت الجليد، قد تكون مُغطَّاة بالجليد، أو مملوءة بالمياه نتيجة تراجع الجليد مُكونة بُحيرات إصبعية (Finger Lakes).



صورة رقم (٢١٨): حُفرة مملوءة بالمياه



صورة رقم (٢١٩): حفرة طولانيَّة ناجمة عن نحت الجليد

وأحياناً تكون هذه الحفر منتهية في البحر، أو مفتوحة قيعانها دون مستوى سطحه مُكوِّنةً الفيوردات، وهذه إحدى نظريَّات تشكُّل (الفيورد).



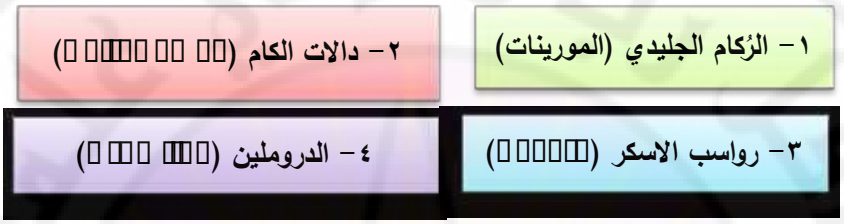
صورة رقم (٢٢٠): الفيورد في النرويج

- الأشكال التراكُميَّة في مناطق الجليديَّات:

تكون الأشكال التراكُميَّة التي انحسر عنها الجليد في فترات الدفء كثيرةً ومُتنوِّعة، منها الموروث، ومنها الحديث العائد إلى جليديَّة الفورم، **تُقسم التَّرسبَّات إلى نوعين:**

- **ترسُبات طباقية:** تتألف من مواد مُصنَّفة من رمال وطين وحصى ناجمة عن ذوبان الجليد.
- **ترسُبات مُتنوعة ومُركَّبة تُعرف باسم (Till).**

ومن أهم الأشكال التراكُميَّة:



١- الرُكام الجليدي (المورينات):

تأخُذ المورينات (الرُكام الجليدي) خصائصها حسب موقعُها ضمن الجليديَّة فمنها:

١- **المورينات الأرضيَّة:** التي تنتشر على مساحات غير مُنتظمة، تتخلَّلها بعض القباب والحفر التي تحتلَّها البُحيرات الناجمة عن الجليد الذائب.

٢- **الرُكام البيني (Interlobate-M):** وهو يتشكَّل عندما يتجاور غشاءان جليديان، تُشكِّل رواسبُهما هذا الرُكام.

٣- **رُكام التراجع (Recessional):** وهي على شكل أقواس متصلة موازية للرُكام النهائي، وهي ناجمة عن توضُّعات الجليد خلال فترة تقدمه.

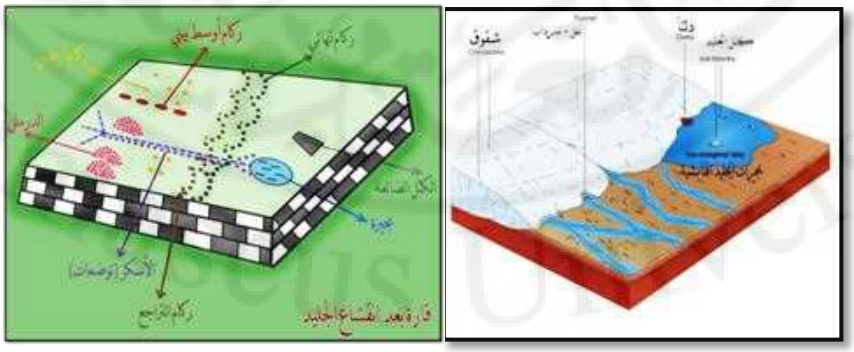
٤- **الرُكاميات النهائية (Recessional-M):** وهي مجموعة من التوضُّعات على شكل أقواس، أو تلال، تُظهر الحد الأدنى الذي وصلته الجليديَّة في مراحل تقدُّمها، (شكل٢٥٣).



شكل رقم (٢٥٣): الرُكام الجليدي

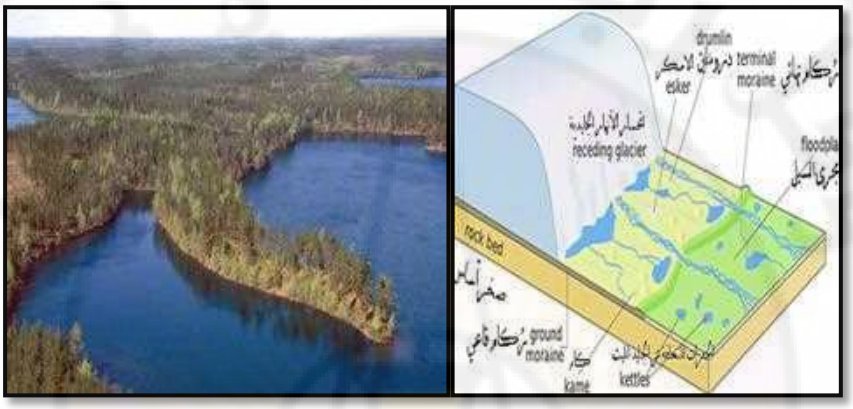
٢- دالات الكام (DeltaKames):

أمَّا إذا كان انحدار السطح الطبوغرافي قليلاً، تتشكل بُحيرات هامشيَّة، وقد تتوضَّع ضمن قاع هذه البُحيرات طبقات من الغرين والطين تُعرف بالرقائق الحولية (Varves)، وتُشكِّل مياه الجليد الذائب فيها دالات جليديَّة، وهي ترسُّب مياه البحيرات الساكنة، تأخُذ هيئة تلال معزولة ذات انحدار قليل تُسمَّى دالات الكام (الكيم) (Deltakames)، أمَّا المنطقة المحصورة بين حائط الوادي والجليد فتُسمَّى مُدرجات الكام، ناجمة عن رواسب الأنهار، وقد يتشكَّل سهل مُنبسط خلف الرُكامات النهائية مُكوَّن من مجروفات دقيقة وناعمة يُعرف باسم سهل الغسل (Outwasch plain)، (شكل٢٥٤).



شكل رقم (٢٥٤): حالة الجليد أثناء تغطية الجليد، وبعد انقشاع الجليد

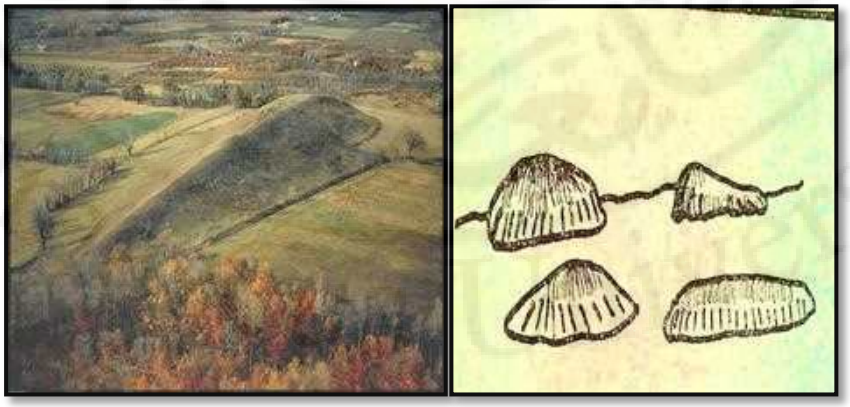
٣- رواسب الاسكر (Eskers): فهي حواجز طويلة وضيِّقة من الرمل والحصى، قد تكون مُستقيمة أو ملتوية، تصل طولها أحياناً إلى (150 كم)، وهي ذات جوانب محسوسة الانحدار، ويُعتقد بأنَّ نشأة الاسكر تعود إلى وجود نفق أو سرداب أسفل الجليدية يُصرِّف مياهها الذائبة مع ما تحمُلُه من ترسُبَّات، (شكل٢٥٥).



شكل رقم (٢٥٥): الاسكر

صورة رقم (٢٢١): الاسكر

٤- الدروملين (Drumline): وهي تلال بيضوية الشكل تُعرف بالنباك الجليديَّة، مؤلَّفة من التراب والأنقاض الجليدية، قد يتخلَّل هذه الأشكال بعض الحفر أو المُقعرَّات المُتخلِّفة عن الجليد الميت يُطلق عليها اسم (Kettle) التي تتألف وتتشكل من بقايا عمود جليدي ذائب، (شكل٢٥٦).



شكل رقم (٢٥٦): الدروملين

صورة رقم (٢٢٢): الدروملين

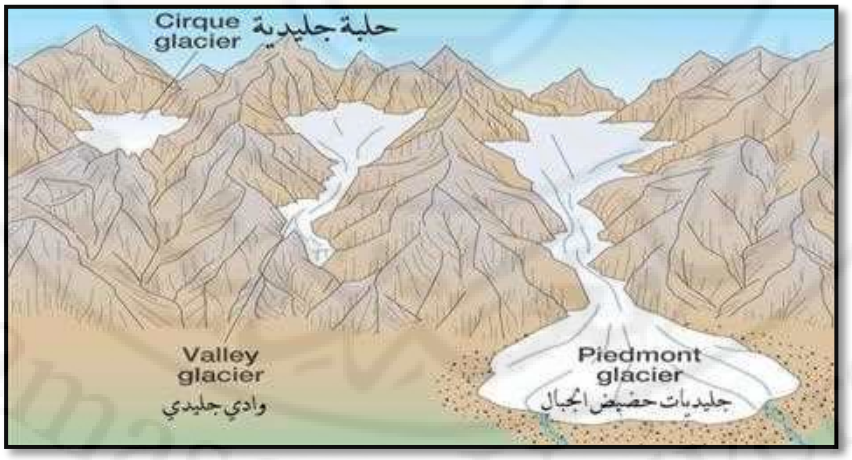
وأخيراً هُناك بعض الصخور التي تبدو غريبة في تكوينها الجيولوجي عن تكوينات المنطقة التي تقبع فوقها هي الصخور الضالة (Erraticblocks)، والتي نقلها الجليد بعيداً عن مصادرها الأصليَّة، ممَّا يؤكد ذلك شكلُها المستدير والخدوش الكثيرة على سطوحها.



صورة رقم (٢٢٣): صخرة ضآلة

ج- جليديات هوامش الجبال:

وهي الجليديَّات التي تتشكَّل عند خروج عدَّة وديان جليدية من سفوح جبلية، مؤلَّفة أقواساً كبيرة قد تتحرَّك هذه الجليديَّة بسرعة لتصل إلى النطاقات الدافئة تاركةً عند ذوبانها أكواماً من الأغشية النقضية[١]، كما هو الحال في بعض الجليديات الألبية وجبال هيمالايا، (شكل٢٥٧).



شكل رقم (٢٥٧): جليديَّات حضيض الجبال

[١] - مصطلح شخصي قابل للنقاش العلمي.

خلاصة القول:

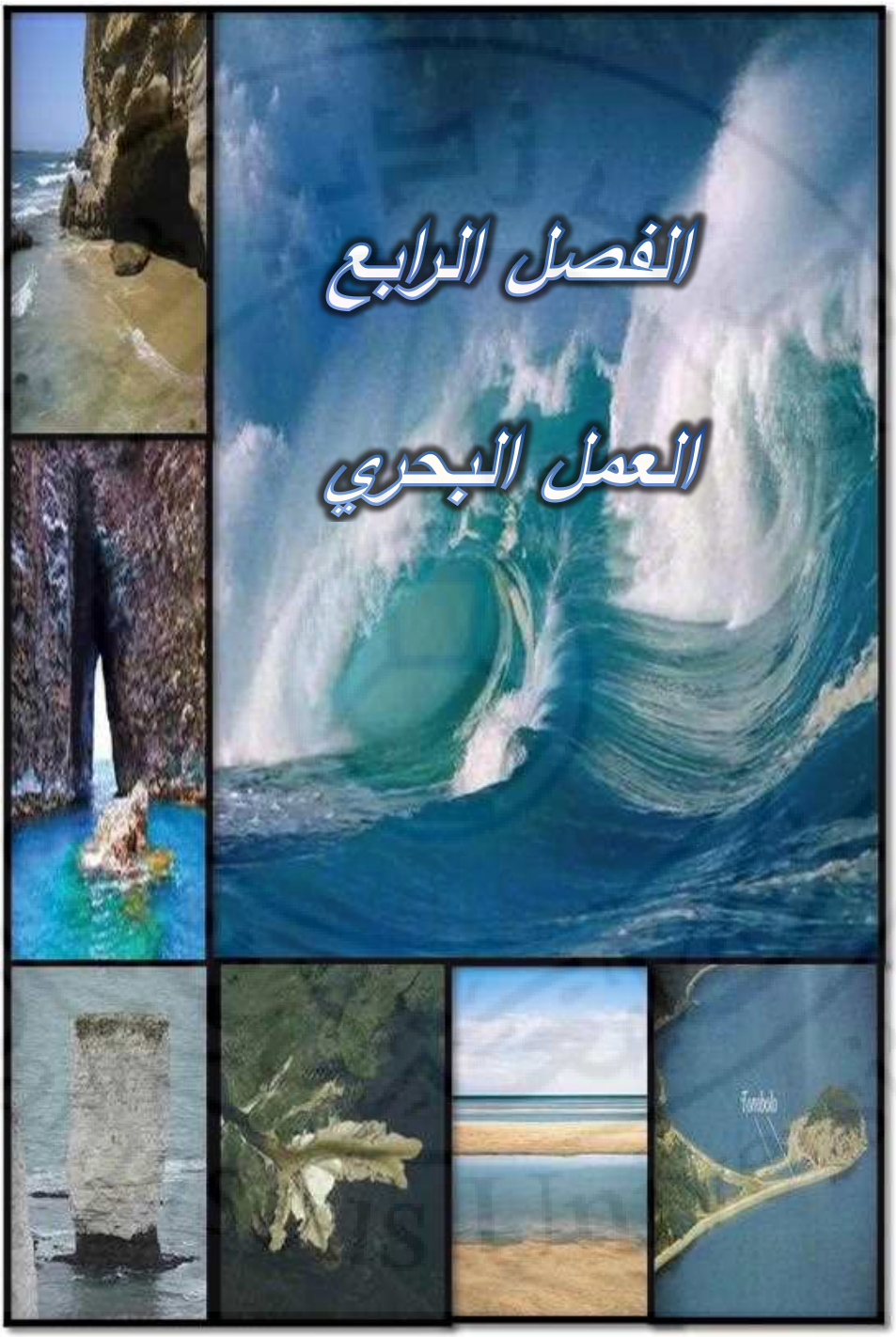
إنَّ أشكال التضاريس الناجمة عن جليديات الأودية، أو الجليديَّات القارية، أو جليديَّات هوامش الجبال، تشترك وتتصف بكونها:

١- أشكالاً غير مُنتظمة كالصخور.

٢- ومقاطع أوديتها ذات الشكل المعلفي في الغالبية الساحقة، من الحالات.

٣- وجميعها تجتمع في كون رسوباتها مؤَّلفة من مورينات، وبعض الأنقاض الناجمة عن ذوبان الجليد.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University


الفصل الرابع
العمل البحري

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

العمل البحري (الحت البحري)

تُغطِّي البحار والمُحيطات نحو (358) مليون كم^{2}، أي نحو (71%) من سطح الكُرة الأرضية، ويبلُغ حجم الماء الموجود فيها نحو (1350) مليون كم^{2}، (شكل٢٥٨).

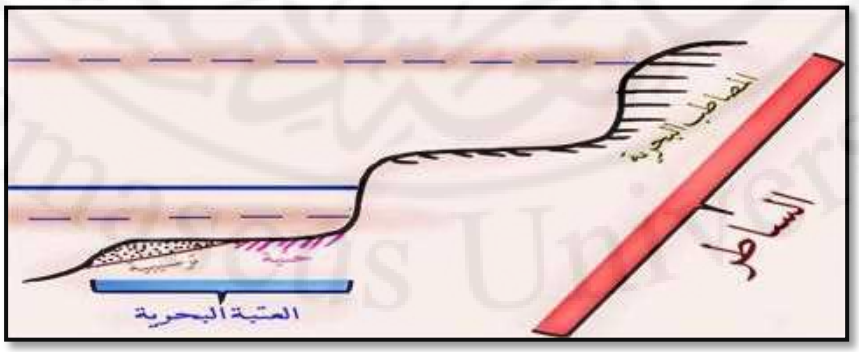


شكل رقم (٢٥٨): توزُّع اليابسة والماء على سطح الأرض

تؤدِّي مياه البحر دوراً كبيراً في تطوير السواحل، فبعضُها يتراجع بسبب عمليَّات الحت، وبعضـهُا الآخر يتقدَّم نحو اليابسة على حساب البحر بفعل عمليَّات الترسيب.

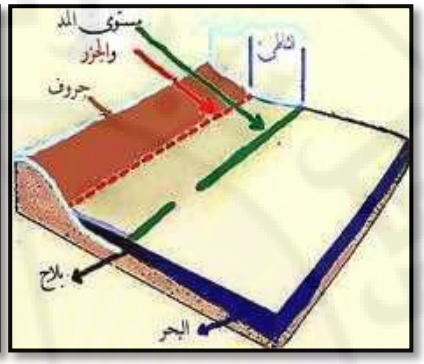
بعض المصطلحات المُهمَّة في دراسة العمل البحري:

الساطر: وهو المجال المُنحصر بين أعلى مستوى لسطح البحر، وأدنى مستوى لـه، والذي يتم عندهُ التماس بين اليابسة والبحر، وهو النطاق المُتأثِّر بشكلٍ مُباشر بعمل البحر الجيولوجي والجيومورفولوجي، (شكل٢٥٩).



شكل رقم (٢٥٩): الساطر

السواحل (Coast): هي مناطق الاحتكاك بين اليابسة والماء، وقد تظهر السواحل على هيئة نطاقات، يؤدِّي البحر دوراً كبيراً في تطوير السواحل، فبعضها يتراجع بسبب عمليَّات الحت، وبعضها يتقدَّم نحو اليابسة على حساب البحر بفعل عمليَّات الترسيب، (شكل٢٦٠).



شكل رقم (٢٦٠): الساحل



صورة رقم (٢٢٤): الساحل

سيف البحر (Beach Line): هو خط الماء المُباشر، وهو خط مُتغيِّر حسب حركة المد والجزر، إذ يتقدَّم نحو اليابس في فترة المد، ويتراجع مستوى البحر في فترة الجزر.

الشاطئ (Beach): هو الخط الذي تلتقي فيه مياه البحر مع اليابسة، وقد تُغطِّي سطحهُ رواسب من الرمال والحصى.

ويُمكن التمييز بين:

- **الشط الأمامي (Front Beach):** وهو المنطقة من الساحل، التي تُغطِّيها مياه البحر على الدوام.
- **الشط الخلفي (Back Beach):** وهو جزء من المنطقة الساحلية، لا يتغطَّى بمياه البحر إلَّا في حالة الارتفاع الأقصى لمياه البحر (المد العالي للمياه)، (شكل٢٦١).

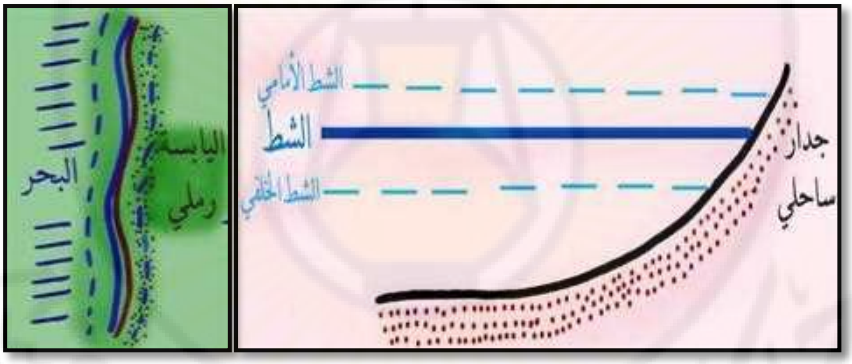


شكل رقم (٢٦١): الشاطئ



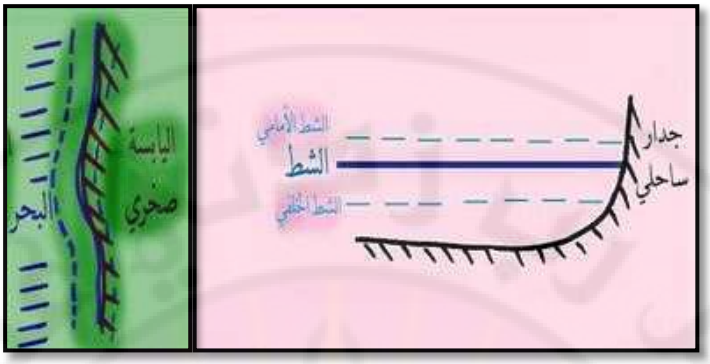
صورة رقم (٢٢٥): الشاطئ

يؤدِّي شكل الساحل الطبوغرافي دوراً في تغيُّر مستوى البحر، أي عندما يكون الساحل سهلياً، نجد أنَّ خط الشاطئ مُتنقِّل، ويكون تغيُّر مستوى الماء أُفقيّاً، (شكل٢٦٢).



شكل رقم (٢٦٢): جدار ساحلي قليل الانحدار

أمَّا إذا كان الساحل صخريّاً شديد الانحدار، فإنَّ تغيُّر مستوى مياه البحر يكون شاقولياً فلا يطرأ تبدُّل كبير على تغيّر خط الشاطئ، (شكل٢٦٣).



شكل رقم (٢٦٣): جدار ساحلي شديد الانحدار

تختلف بعض السواحل عن بعضها الآخر بسبب اختلاف العمليَّات الجيومورفولوجيَّة المؤثِّرة عليها، وهذه بدورها تتأثَّر بعدَّة عوامل هي:

١- تأثُّر السواحل بحركات مياه البحر (الأمواج – التيارات البحرية – حركات المد والجزر): وتعدُّ هذه الحركات من أهم عوامل الحت والنقل والترسيب.

٢- بنية الصخر ونوعه ومدى تجانسه ([redacted])، وقساوة صخوره (ليِّنَة أو قاسيَّة)، وتركيبه ([redacted])، وهندسة طبقاته أي تركيبه الجيولوجي إذا كان مؤلفاً من صخور رسوبيَّة ذات تطبُّق أُفقي، أو مائل باتجاه البحر أو عكسه، ودرجة مقاومته لعوامل الحت المُتأثِّر بحركات مياه البحر.

٣- الوضع الطبوغرافي للساحل: إمَّا أن يكون قليل الانحدار أو شديد الانحدار (جدار ساحلي)

٤- تأثُّر المنطقة الساحلية بارتفاع وانخفاض مستوى مياه سطح البحر: بسبب إمَّا نهوض اليابسة أو خفسها، أو ارتفاع وانخفاض مستوى الأساس.

٥- تدخُّل النشاط البشري في تعديلات وتغيُّرات المناطق الساحلية: والتي بدورها تُغيِّر من النشاط الجيومورفولوجي (سواحل البحر الأحمر شرم أبحر).

٦- الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية لمياه البحار والمحيطات وتأثيرها.

ومن الخصائص الفيزيائيَّة والكيميائيَّة لمياه البحار والمُحيطات:

- قيمة (PH): بين (8.4-8.7).
- درجة حرارة الماء.
- كثافة مياه البحر: حيث تزداد الكثافة بازدياد الملوحة، وانخفاض درجة الحرارة.
- اللون: حيثُ يتأثر لون مياه البحر بلون السماء، ولكن اللون الأصلي للمياه هو اللون الأزرق يظهر بوضوح عند خط الاستواء، يُعزى إلى وجود البلانكتون، وتزداد لون مياه البحر اخضراراً باتجاه القطبين، بسبب وجود المشطُورات الشفَّافة التي تتأثر بالعمق والمحتوى، حيث تحتوي مياه البحر على عدد كبير من الأملاح كملح الطعام، وكلور المغنيزيوم وكبريتات الكالسيوم والكربونات .....الخ.

الأشكال الساحليَّة من أهمِّ الأشكال الناجمة عن عوامل خارجية، والعامل المؤثِّر فيها هو مياه البحر، وحركاتها المُتمثِّلة في:

١- الأمواج (□□□□ □):



• وهي المؤثِّر الرئيس في عمليَّة الحت.

٢- حركة المد والجزر:



• وهي تؤثِّر في توسيع نطاق الإئتكال، ونقل الأنقاض (تُساعد عمل الأمواج).

٣- التيارات البحريَّة:



• وهي تعمل على نقل الأنقاض وتقويم الساحل

أوَّلاً: الأمواج (Waves):

تعُدُّ الأمواج من أهم وأكثر العوامل أثراً في ديناميكيَّة السواحل نظراً لطاقتها الكبيرة والكامنة والتي تتمكَّن من تحريرها لتحقيق العمل المورفولوجي الساحلي.

والأمواج: هي حركات شاقولية اهتزازية، تُشاهد من وقتٍ لآخر على المسطحات المائية، تنشأ غالباً عن هبوب الرياح، والعواصف، واختلافات الضغوط الجويَّة على سطح البحار، وتستمر الموجة في تحرُّكها من مكان نشأتها في أعالي البحار حتَّى تصل إلى الشاطئ (وهو نطاق التقاء الماء مع اليابسة)، وهُنا تقوم الموجة بعملها الجيولوجي الذي تُفرِّغ فيه طاقتها التي اكتسبتها من الرياح.

ولفهم طبيعة عمل الأمواج يجب التمييز بين:

- **الأمواج في المياه العميقة** التي لا تصل فيها الحركة الموجيَّة إلى القاع، ولا تتأثر به، ففي هذه المياه العميقة نجد أنَّ سطح الماء يتذبذب ارتفاعاً وانخفاضاً في مراحل مُتتالية عند مرور مجموعة من الموجات المُتتابعة به.
- **والأمواج في المياه الضحلة** التي تصل فيها الحركة الموجيَّة إلى القاع، وتؤثِّر فيه وتتأثَّر به.

- عناصر الموجة:

قمَّة الموجة (Crest): هي أعلى نقطة على سطح الموجة.

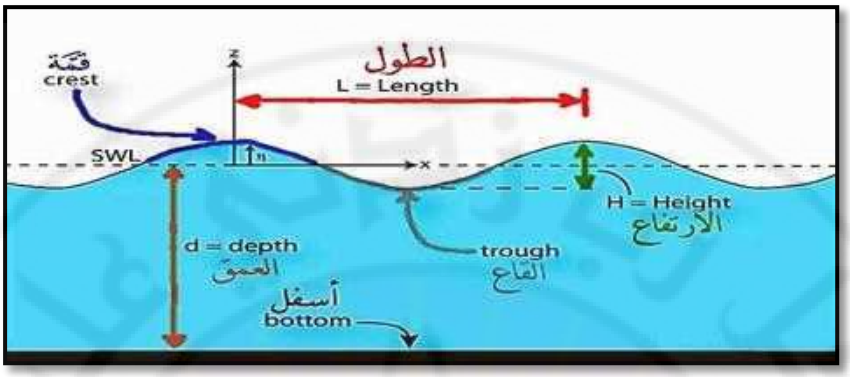
قاع الموجة (Trouth): هي أدنى نقطة للموجة.

ارتفاع الموجة: هو الفرق بين أعلى نقطة، وأخفض نقطة.

طول الموجة (Length): هي المسافة بين قمَّتها، وقمَّة الموجة التالية لها.

مدة الموجة (Wave period):هي المدة الزمنيَّة بين قمَّتين مُتتاليتين في نقطةٍ واحدة.

سرعة الموجة: هي المسافة التي تقطعُها الموجة خلال مدَّة زمنيَّة مُعينة، (شكل٢٦٤).



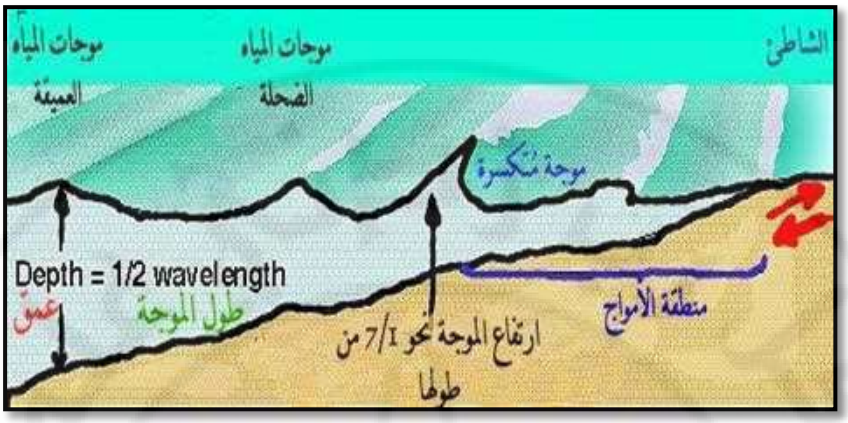
شكل رقم (٢٦٤): عناصر الموجة

ويُلاحظ أنَّ المياه في الأعماق الكبيرة أكثر من (50 م) لا تتحرَّك الأمواج باتجاه السواحل، أو باتجاه الرياح، بل إنَّ جُزيئات الماء في الموجة تدور في أماكنها تقريباً في مدار دائري أو إهليلجي يتعامد مع اتجاه الموجة، فإذا وضعنا أي جسم طافٍ فوق سطح الماء نُشاهد أنَّ هذا الجسم يصعد على ظهر الموجة، ويهبُط إلى باطنها دون أن يُغيِّر مكانه، ونحنُ لا نرى على سطح الماء سوى الحركة التموجيَّة التي تتأثر بعمق المياه، وبحركة الرياح، (شكل٢٦٥).

لذا يجب التفريق بين:

١. أمواج عرض البحر (Weaves of Oscillalion).

٢. الأمواج الساحليَّة (Waves of Translation).



شكل رقم (٢٦٥): انكسار الموجة على الشاطئ، وعودة الماء على هيئة تيار السحب مرة أخرى إلى البحر

أ- أمواج عرض البحر (Weaves of Oscillalion):

تؤدِّي الرياح، واختلاف الضغوط الدور الأكبر في تشكُّل هذه الأمواج، وتتميَّز هذه الأمواج باتساع المجال، ويُعبَّر عنه **بطول الامتداد (Length Fetch)**: وهي المسافة التي تقطعها الأمواج مدفوعة برياح دائمة الهبوب في اتجاه واحد دون أن يعترضها عائق.

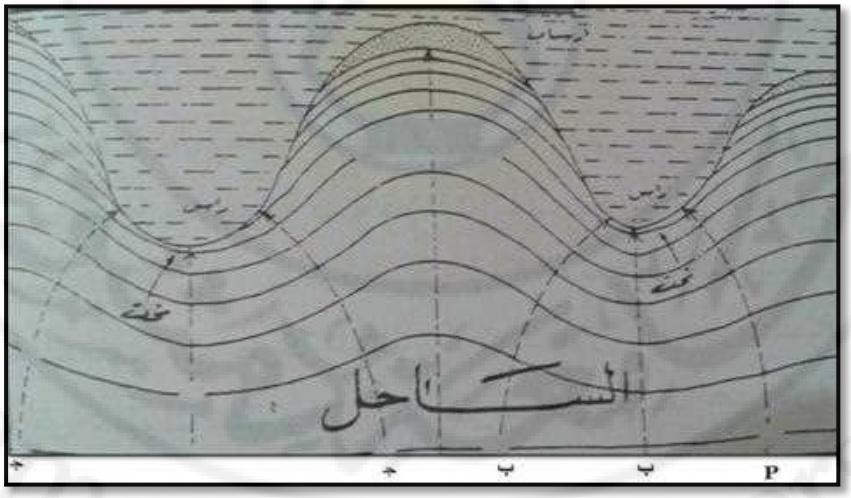
وكُلَّما كبُر امتداد الامواج، كُلَّما ازداد ارتفاعها، كامتداد الأمواج في المُحيطات التي تدفعها رياح تصل سرعتها (1000 كم/سا)، هذه الأمواج لا نجدُها في البحار الضيِّقة، ويزداد ارتفاع الموجة مع ازدياد المسافة التي هبَّت عليها الرياح، وكُلَّما ازدادت سرعة حركة الأمواج، ازدادت فترات الأمواج وارتفاعها مُتأثرة بعمق القاع، تتهالك الأمواج وتضعُف ويُغطيِّها الزبد، ويصل ارتفاعها سبع المسافة إلى القمَّة (ارتفاع الموجة نحو 7/1 من طولها)، وتزداد المسافة بين قمم الأمواج المُتتالية، وتتحرَّك بسرعةٍ ليصل مداها إلى (250 كم/سا).

إنَّ هذه الحركة التموجيَّة، وأمواج عرض البحار ليست لها أهميَّة جيولوجيَّة وجيومورفولوجيَّة تُذكر، إذ إنَّ الأعماق الكبيرة تسمح لذرات وجُزيئات الماء بالدوران بشكلٍ دائري أو بيضوي دون أدنى مُقاومة، ولكن عندما تبدأ الأعماق بالانخفاض باتجاه السواحل، فإنَّ الحركة الدورانيَّة

لجزيئات الماء تنعدم، وذلك نظراً لاصطدامها بالقاع، لذا تتعرَّض مُجمل الحركة إلى تغيُّرات هامَّة لا سيما فيما يتعلَّق بمميزاتها واتجاهاتها.

ب- الأمواج الساحلية (Waves of Translation):

أي في المياه الضحلة قرب السواحل، عندما تصل الأمواج إلى المناطق الضحلة فإنَّ خصائصها وأبعادها تتغيَّر، حيثُ تُصبح الأعماق أقل من نصف طول الموجة فتتكسَّر الأمواج، وتصبح حركة جُزيئات الماء موازية للقاع لانعدام الحركة الدورانيَّة، وتحوُّلها إلى حركة أُفقيَّة يترتّب على هذه الحركة الأُفقيَّة نشاط جيولوجي في غاية الأهميَّة، حيثُ إنَّ طبوغرافيَّة القاع تلعب دوراً هامَّاً في مجال تركُّز طاقة الأمواج وتبعثُرها، ففي حالة الجروف الصخريَّة الشديدة الانحدار المُتقدمة على شكل رؤوس، نرى أنَّ طاقة الأمواج تتجمَّع ذلك لأنَّ هذه الرؤوس مسبوقة عادةً بنطاق، أو بشريط تضريسي مغمور بمياه قليلة العمق نسبيَّاً، في حين أنَّه في حال الرأس القليل الانحدار والعمق (Baies) المسبوقة بمُنخفضات نحت بحريَّة فإنَّ طاقة الأمواج تتبعثر كما يُرينا الشكل (٢٦٦).



شكل رقم (٢٦٦): قوَّة الموج حسب أشكال السواحل

من خلال الشكل نجد أنَّ المسافات المتساوية بين الخطوط المُتعامدة مع حركة الأمواج، تُحدِّد توزعاً متساوياً للطاقة في عرض البحر، ولكن خطوط تساوي الطاقة تقترب من بعضها عند اقترابها من الجدار الساحلي (تركُّز الطاقة)، في حين أنَّنا في حالة الـ (Plage) نُلاحظ العكس تماماً.

ومن هُنا نجد أنَّ اصطدام هذه الحركة بعوائق طبيعيَّة يؤدِّي إلى ارتداد المياه، وتبعثُر الطاقة وارتدادها، وهذه الطاقة المُرتدَّة تزداد أهميتها وشدتها تبعاً لقرب العائق من الشكل القائم.

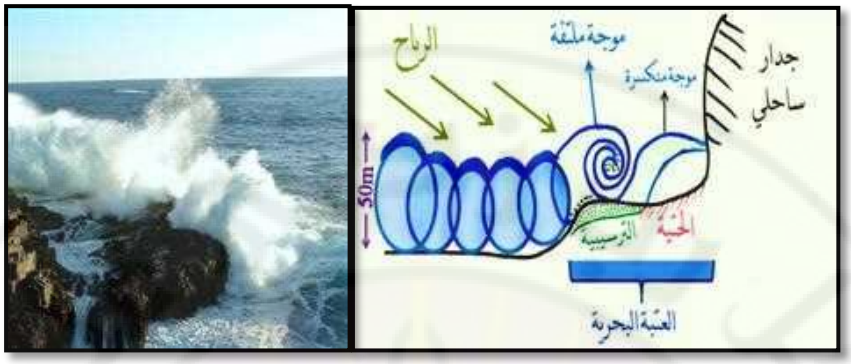
إذاً لتناقص الأعماق قرب السواحل دور رئيس في تغيُّر اتجاه الحركة التموجيَّة وانقلابها إلى حركة أُفقيَّة، أي تُصبح جزيئاتها موازية لخطوط تساوي الأعماق، وهذا يؤدِّي إلى اصطدامها بالساحل عمودياً، يترتب على ذلك نتائج جيولوجيَّة وجيومورفولوجيَّة بالغة الأهميَّة والخطورة.

ومع استمرار تناقُص الأعماق تتباطأ سرعة التموُّج بسبب ازدياد الاحتكاك، ويبدأ تكسُّر الأمواج (Refraction) كُليَّاً ويبدأ تحولها الأفقي من اللحظة التي يُصبح العمق فيها مُعادلاً لـ (1.3) من ارتفاع الموجة، ولمَّا كان ارتفاع الأمواج ذاتُها مُختلفاً فإنَّ الخطوط أو القطاعات التي يبدأ عندها انكسار الأمواج، وظهور الحركة الأُفقيَّة تتباين وتختلف بدورها أيضاً.

هذه الحركة الأُفقيَّة موروثة عن الحركة العمودية في الأعماق الكبيرة تُسبِّب تحرُّك الرمال والحصى (حركة مُتدحرجة)، ولكن يجب أن لا ننسى دور عامل الاحتكاك والجاذبيَة والثقالة، والرياح عندما تهب من القارة تُضعف من تقدُّم الموجة (أي تضعف الحركة الأُفقيَّة).

ويُمكن تقسيم أمواج المياه الضحلة أي الأمواج المُتكسِّرة (Waves Refraction) على الشاطئ تبعاً للتباين في العوامل التي أدَّت إلى تكسُّرها، مثل انحدار الشاطئ، وعمق المياه ودرجة انحدار الموجة وقوَّة اتجاه الرياح إلى ثلاثة أنواع:

١- الموجة المُنحدرة (Breaer – Plunging): وهي موجة مُحيطيَّة طويلة، ومُنخفضة تكسَّرت على شاطئ شديد الانحدار، تَعدُّ هذه الأمواج من الأمواج المُدمِّرة، (شكل٢٦٧).



شكل رقم (٢٦٧): الموجة المُنحدرة



صورة رقم (٢٢٦): الموجة المُنحدرة

٢- الموجة المُتدفقة المُنسكبة (Spilling Freoker): وهي عادةً من الأمواج البنائيَّة التي تعمل على الترسيب، حيثُ تتقدَّم إلى الأمام باتجاه شاطئ ضعيف الانحدار، (شكل٢٦٨).

شكل رقم (٢٦٨): الموجة المُنسكبة

صورة رقم (٢٢٧): الموجة المُنسكبة

٣- الأمـواج المُندفعـة (Surging): وهـي أمـواج غيـر مُتكسِّـرة، تتقـدَّم علـى شـاطئ شـديد الانحدار، تتميَّز السواحل أمامها بعُمقها الكبير، (شكل٢٦٩).



صورة رقم (٢٢٨): الموجة المُندفعة

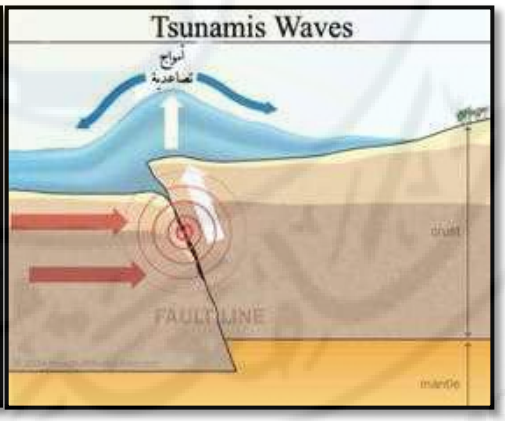


شكل رقم (٢٦٩): الموجة المُندفعة

ومن الأمواج العالية ما يُعرف **بالأمواج الزلزالية (Tsunamis)**، التي يصل ارتفاعها إلى (37 م) تنشأ نتيجةً للهزَّات الزلزالية التي تُصيب عادةً الأخاديد والأحواض في القاع المحيطي العميق، وقد تعرَّضت سواحل كثيرة للدمار نتيجة هذه الأمواج خلال مراحل التاريخ، منها سواحل البحر المتوسط الشرقي، وسواحل شبه جزيرة إيبريا، وسواحل اليابان، وجزر هاواي، وآخرها سواحل جزيرة أندونيسيا، (شكل ٢٧٠).



صورة رقم (٢٢٩): أمواج تسونامي



شكل رقم (٢٧٠): أمواج تسونامي

وأخيراً نرى العمل الحتّي للأمواج ناجم عن عدَّة عوامل هي:

* العامل الهيدروليكي (Hydraulic Action).
* الحت (Corrasion).
* الاحتكاك (Ahrition).
* الإذابة (Solution).

ثانياً: حركة المد والجزر (High – Tide and Low – Tide):

وهي حركة ناجمة عن قوَّة جذب القمر والشمس بالتضافر مع القوَّة النابذة، وتأثيرها على مياه البحار والمُحيطات، ونظراً لقُرب القمر من الأرض، فإنَّ دوره أكبر بكثير من دور الشمس، إذ إنَّ قوَّة جذب الشمس لا تزيد عن (11/5) من قوَّة جاذبية القمر لمياه البحار والمُحيطات.

- **المد:** هو ارتفاع المياه وتغطيتها جزء من اليابسة
- **الجزر:** هو انخفاض مستوى المياه وانحسارها، وتكشُّف جزء من اليابسة

} مياه عليا ومياه دُنيا والمدَّة الفاصلة بينهما (Ridal Range) هي (12.25)

والمستوى المُتوسِّط يُعرف بالمياه المتوسطة، وفترات حصول المد والجزر تتأخر يوميَّاً لمدَّة (50) دقيقة، (شكل ٢٧١).



شكل رقم (٢٧١): منسوب الماء أثناء المد والجزر

صورة رقم (٢٣٠): منسوب الماء أثناء المد والجزر

وينقسم المد والجزر إلى ثلاثة أنواع:

النوع الأول: وهو اليومي
(□□□□□□□□□□□□)

•ويحدث فيه مد واحد وجزر واحد خلال (□□) ساعة

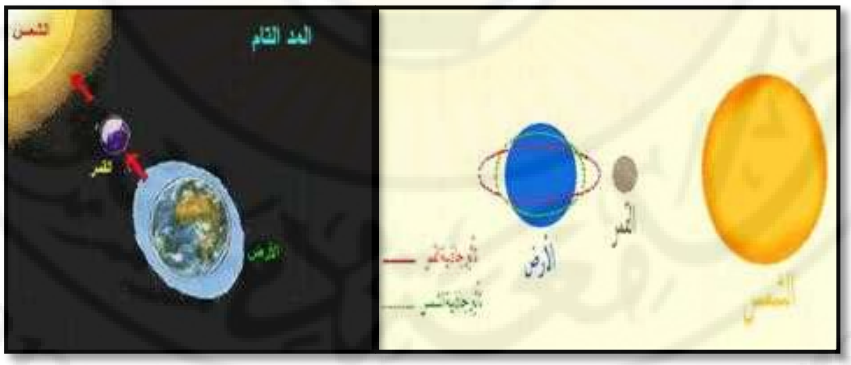
النوع الثاني: نصف يومي
(□□□ □□□□□□□□□□□□)

•ويحدُث فيه مدان وجزران خلال (□□) ساعة

النوع الثالث: وهو نوع مُختلط بين النوعين السابقين

•وهو أكثر الأنواع تعقيداً

وعلى هذا فإنَّ تأثير قوة جذب الشمس للمياه على سطح الكرة الأرضية ضعيف نسبيًّاً إذا ما قورن بتأثير جذب القمر، ولكن حينما يقع القمر والشمس والأرض على استقامة واحدة كما يحدُث في حالتي المحاق والبدر، فإنَّ قوَّة المد والجزر تبلغ ذروتها، ويُطلق على هذه الحالة **بالمد العالي (Spring tides)**، (شكل٢٧٢).



شكل رقم (٢٧٢): تأثير كُلٍّ من جاذبية الشمس والقمر – المد العالي

أمَّا إذا وقع كلٌّ من الشمس والقمر بالنسبة للأرض على ضلعي زاوية قائمة رأسها مركز الأرض، فإنَّ جذب القمر أقل منه في حالة المد العالي، إلَّا أنَّه أعظم من تأثير الشمس، ومن ثُمَّ تخف حدَّة ارتفاع منسوب المد ويُطلق عليه **المد المعتدل**، (شكل٢٧٣).



شكل رقم (٢٧٣): تأثير كُلٌّ من جاذبية الشمس والقمر – المد المعتدل

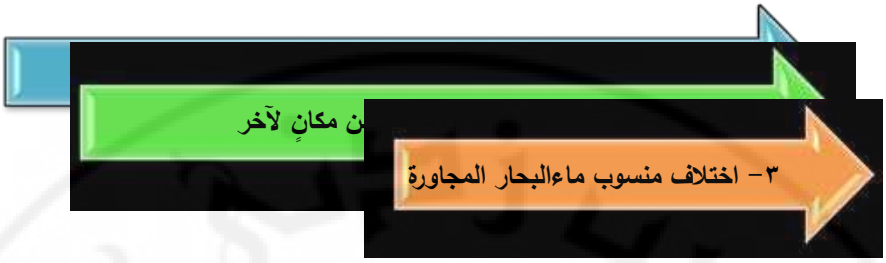
تنقلب الحركة العامودية لمياه البحار والمحيطات نتيجة المد والجزر من حالة شاقوليَّة إلى حالة أفقيَّة، ممَّا يؤدِّي إلى غمر الماء وانحساره عن اليابسة.

ثالثاً: التيارات البحرية:

يُقصد بالتيَّارات البحريَّة حركة الكتل المائيَّة في مناطق مُعيَّنة من البحار والمحيطات أُفقيَّاً ورأسيَّاً، وفي اتجاهاتٍ مُعيَّنة ثابتة تقريباً، أي إنَّ المياه السطحيَّة في المُحيطات تتحرَّك بشكلٍ مُنتظم.

وتؤثِّر التيارات البحريَّة بشكلٍ كبير من الناحية المُناخيَّة، ولكنَّها تقوم بدورٍ محدود في تشكُّل السواحل، فالتيارات الساحليَّة تحمل المواد الناعمة التي تُصادف في طريقها بجوار الشواطئ، وتنقلها إلى حيثُ تقوم بترسيبها في منطقة شاطئيَّة أخرى كالخلجان، حسب الظروف الطُبوغرافيَّة للساحل والقاع، ولهذه العمليَّة أهميَّتها حيثُ تتعرَّض الرؤوس الصخريَّة البارزة لأعمال الحت البحري، وتكشف أسفل الجروف التي تتعرَّض من جديد لعمل الأمواج.

تنشأ التيَّارات البحرية نتيجةً لعدَّة عوامل منها:



١- قوَّة الرياح:

تدفع الرياح المياه السطحية في اتجاه هبوبها مُحدثةً تيارات سطحية تتفق في اتجاهها العام مع الدورة العامَّة للرياح.

٢- كثافة المياه من مكانٍ لآخر: حيثُ تختلف الكثافة حسب درجة الحرارة والملوحة والضغط الجوي، فالمياه المالحة أعلى كثافة من المياه العذبة، والمياه الباردة أعلى كثافة من المياه الدافئة، وبناءً على هذه الفروق تهبط الكتل المائية عالية الكثافة من السطح باتجاه القاع، وتصعد الكتل المائية قليلة الكثافة من الأسفل إلى الأعلى مُكونَّة ما يُسمَّى بالتيارات الصاعدة (Convection Currents).



كما يؤدِّي اختلاف كثافة المياه إلى إحداث تيارات سطحية، كتبادل الكتل المائية بين البحر المُتوسط (مياه مالحة ذات كثافة عالية)، والمُحيط الأطلسي (كثافة المياه فيه أقل من البحر المتوسط) عن طريق مضيق جبل طارق، ممَّا يؤدِّي إلى انبعاث تيار سطحي من المحيط إلى البحر، ومن البحر إلى المحيط يتجه تيار آخر عميق، (شكل٢٧٤).

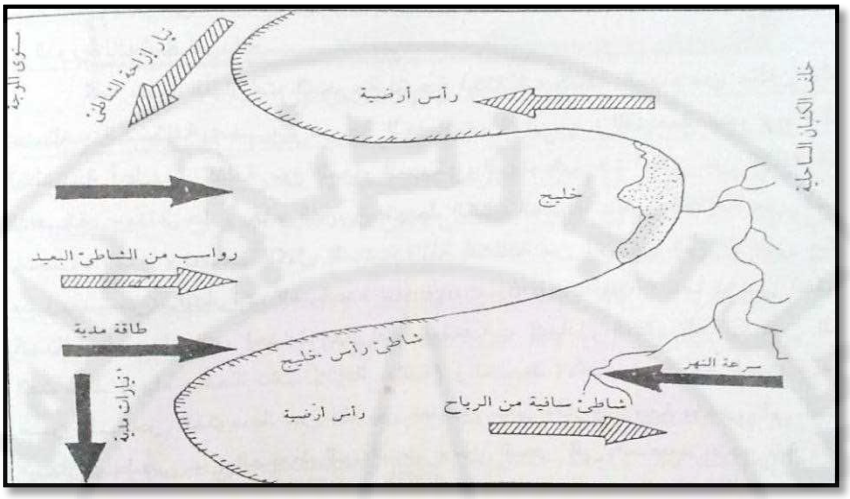


شكل رقم (٢٧٤): اختلاف الكثافة ما بين البحر المتوسط، والمحيط الأطلسي

٣- اختلاف منسوب ماء البحار المتجاورة:

يؤدِّي اختلاف منسوب ماء البحار المتجاورة إلى تحرُّك المياه السطحية على شكل تيارات بحرية، نتيجةً لزيادة التساقط وكثرة المياه التي تصب في بعض البحار من مياه الأنهار والثلوج المنصهرة، على عكس التبخر الشديد الذي يؤدِّي إلى انخفاض مستوى البحر فتندفع المياه من جميع الجهات باتجاه هذه المنطقة.

ولكن ما يُهمُّنا من التيارات كجيولوجيين وجيومورفولوجيين هو التيارات القريبة من الساحل بشكلٍ خاص، ممَّا يزيد من ضغط المياه بتماسِّها مع القاع، ولكن أثر هذه التيارات على الصخور الصلبة ضعيف، في حين أنَّها قادرة على جرف ونقل الأنقاض والذرات الناعمة من الرواسب إلى مسافاتٍ كبيرة (الرمل الناعم المُعلَّق)، أو المسحوب على القاع، كما وقد تستطيع جرف بعض الحُصيَّات (دحرجة + قفز)، (شكل٢٧٥).



شكل رقم (٢٧٥): تأثير التيارات على السواحل

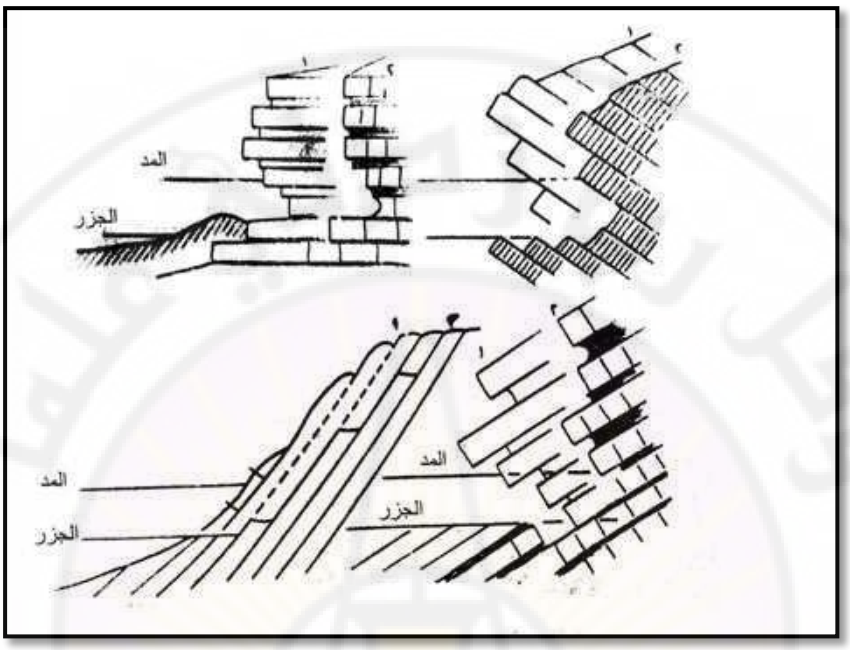
وهُناك نوع آخر من التيارات الناشئة على اصطدام الأمواج مع الساحل بزاوية أقل من (10°) ممَّا يؤدِّي إلى تشكُّل تيار موازٍ نسبيًّاً للساحل، (أي المنطقة المحصورة بين خط الشاطئ وخط تكسُّر الأمواج)، تتوَّقف سرعة هذه التيارات على مقدار تلاقي الأمواج مع اليابسة، كما تؤدِّي وعورة السطح الذي تتشكَّل فوقه دوراً مُهمًّاً أيضاً.

عمل مياه البحر الجيولوجي:

الحت الساحلي:

- تتنوَّع الظاهرات الجيومورفولوجيَّة الساحليَّة تبعاً لِـ :

طبيعة السواحل واختلاف نشأتها ، وأشكالها ، وتركيبها الصخري، وتبعاً لعوامل التعرية المُختلفة، ويُعدُّ اختلاف التركيب الصخري، وهندسة الطبقات، كما أسلفنا سابقاً أهم هذه العوامل في تشكيل المظهر الجيولوجي والجيومورفولوجي العام لخط الساحل، (شكل٢٧٦).



شكل رقم (٢٧٦): تطوُّر السواحل حسب هندسة الطبقات

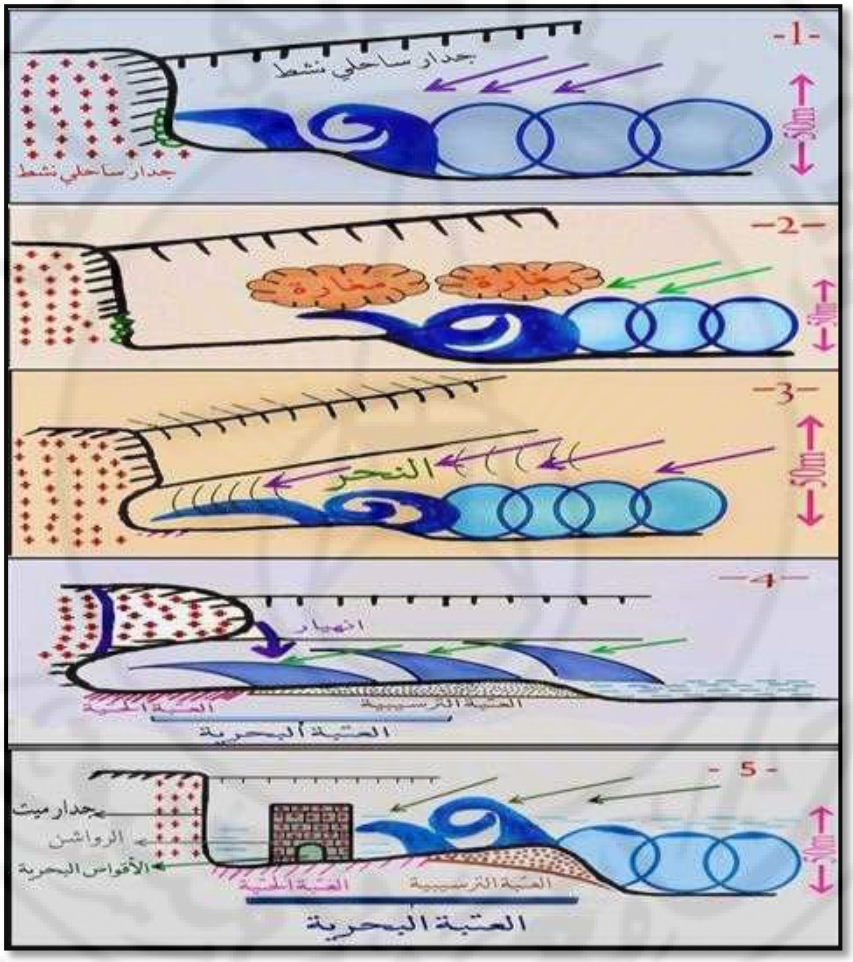
إذا كانت الجروف البحريَّة تتركَّب من طبقات مُختلفة القساوة، لينة تقع أسفل طبقات صخريَّة صلبة، فقد يُساعد هذا التركيب الجيولوجي، بالإضافة إلى هندسة الصخر على حدوث عمليَّة الانزلاق التي تُساهم بتراجع الجروف البحريَّة.

أمَّا إذا ازداد مُعدَّل انحدار الجروف البحريَّة بصورةٍ محسوسة، فإنَّها تتعرَّض لفعل الحت انطلاقاً من نقاط الضعف كالشقوق والفوالق، ومع مرور الزمن تتسع هذه الشقوق والفتحات، وتكوُّن فجوات داخليَّة في جوف الصخر، تتآكل الصخور الليِّنة والسفلى، وتبدو الصخور العليا على شكل جدار صخري عالٍ (النحر).

تعمل الأمواج بما تُسببه من ضغط شديد على مناطق الضعف على تكوين فجواتٍ وكهوف (Caves).

وتتعرَّض هذه الطبقات للسقوط ويتراجع الجدار الساحلي تاركاً أمامه عتبة مستوية يُطلق عليها اسم العتبة البحريَّة (العتبة الحتيَّة + العتبة الترسيبيَّة) (Wave cut Plaform) (– Wave

terrace built) مُشكلاً بعض الظاهرات الجيومورفولوجيَّة كالكهوف، والفجوات الهوائيَّة، والأقواس البحريَّة (Sea Stacks)، كُل هذه الأشكال نتجت عن تطوُّر الجدار الساحلي (Sea Cliffs)، (شكل٢٧٧).



شكل رقم (٢٧٧): الأشكال الناجمة عن تطوُّر الجدار الساحلي

تتعرَّض هذه الأشكال بدورها لضربات الأمواج من جديد لتقدُّم رواسب قاريَّة جديدة تنهار نحو الأعماق فوق العتبة الحتيَّة، وهذا ما نجده على سواحل مدينة بيروت تُعرف باسم مسلَّة الروشة طولها (30 م).



صورة رقم (٢٣١): المسلَّة البحريَّة



صورة رقم (٢٣٢): الأقواس البحريَّة

وأخيراً يجب ألَّا ننسى تأثير التحلُّل الذي يقوم به الرذاذ على الجدار الساحلي، لا سيما إذا كان الصخر كلسيًّاً كما تُسهم في إضعاف هذا الصخر.

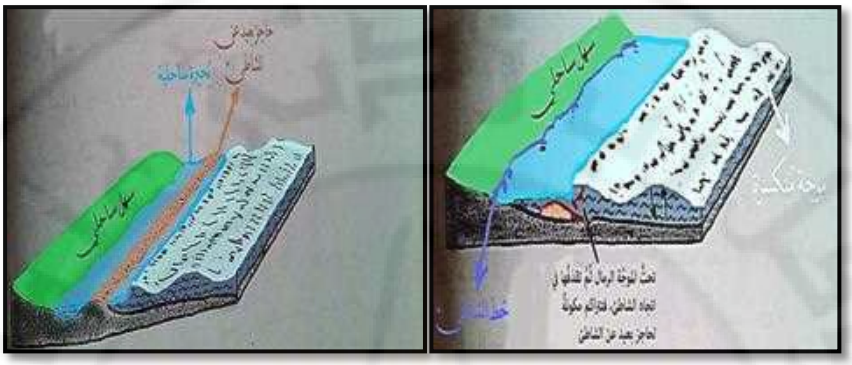
لو فرضنا أنَّ مستوى البحر يبقى ثابتاً، فإنَّ تراجع الجدار سوف يتباطأ مع الزمن بسبب ازدياد مساحة عتبة الحت البحريَّة، وتباطؤ عمل الأمواج وضعف أهميَّتها، ولكن هذا التراجع (تراجع الجروف أو الجدار الساحلي) لن يتوقَّف أبداً، وذلك لأنَّ سطح العتبة ذاته ينخفض باستمرار تحت تأثير عمل المياه أيضاً، وذلك لتصريف الأنقاض، ونقلها إلى عتبة الترسيب البحريَّة.

إذاً يُمكن القول: إنَّ الجدار الساحلي يتراجع باستمرار، ويقُل انحداره تدريجيًّاً.

العمل الترسيبي لمياه البحر:

تترسَّب المواد الصلبة والأنقاض التي تآكلت عن طريق الأمواج من هوامش اليابس عندما تجد مُستقرًّاً لها في البحر، وعندما تعجز مياه البحر عن نقل وتحريك هذه الأنقاض، كما أنَّ احتكاك المياه بالعتبة البحريَّة هو الذي يؤدِّي إلى تناقُص طاقة الماء لدرجة تقترب فيها من الصفر، وهذا ما يؤدِّي إلى تراكُم الأنقاض وترسيبها، وفي الاتجاه المعاكس بالإضافة إلى الرواسب التي تحملها مياه الأنهار عند مصبَّاتها على البحر، عندها تتناقص قدرتها أيضاً لدرجة تقترب فيها من الصفر، ممَّا يؤدِّي إلى تخلِّيها عن حمولتها، هذه الرسوبات والأنقاض (ليمون، رمال،

أرجيل، حصيَّات، أو حتَّى جلاميد تتزايد أبعادها عن (20 سم))، تتحرَّك ضمن النطاق الساحلي، مُتأثِّرةً بحركة الأمواج والتيارات البحرية، (الشكل٢٧٨).



شكل رقم (٢٧٨): العمل الترسيبي لمياه البحر

وفي النهاية تترسَّب المواد على قاع البحر أسفل مستوى تأثير الأمواج، أو تتحرَّك بعامل أو بآخر من عوامل النقل البحري لتتراكم مكونة أشكالاً ساحليَّة ترسيبيَّة تختلف من مكانٍ لآخر، منها مستقيم، ومنها ما هو مُقعَّر باتجاه البحر أو مُحدَّب، ولكن بمرور الزمن فإنَّ نقل الأنقاض وتحرُّكها يهدُف في النهاية إلى ما يُعرف بتقويم الساحل، إمَّا تعريض الشريط الساحلي الترسيبي البلاج (Beach)، أو الحافات الحصويَّة (Beach –ridge)، وهذا ما تُحدده كميَّة المواد المُترسبَّة وحجمها دون إغفال أهميَّة انحدار العتبة البحريَّة، وقدرة الأمواج والتيارات على جرف هذه الأنقاض وكنسها، ونقلها بعيداً دون إغفال دور الرياح أيضاً.

وتتم حركة الأنقاض هُنا على نوعين:

- حركة عموديَّة بالمقارنة مع اتجاه الساحل (تُسببها الأمواج)
- حركة موازية للساحل (تُسببها التيارات).

- الأشكال الساحليَّة الناجمة عن عمل الترسيب:

١- الحبال الساحلية ([illegible])، والألسنة الرملية ([illegible])	
٢- التومبولو (الحبال الرابطة) [illegible]	٣- الدالات [illegible]

١- الحبال الساحلية (Sand Bars)، والألسنة الرملية (Sand Splits):

تختلف المظاهر الجيومورفولوجيَّة للسواحل عن طريق تكوين الحواجز الرمليَّة أو الحصويَّة ونموّها.

الحبال الساحليَّة:

وهي عبارة عن أشرطة من الرواسب الرملية التي تتكوَّن في المياه الشاطئية الضحلة، نتيجةً لحركة المياه الموازية لخط الشاطئ، فهذه المياه تنقل المواد الرملية والحصوية باتجاه حركة الأمواج أو التيارات الساحلية، وكثيراً ما تكون مطمورة تحت الماء، ولكنَّها قد تظهر على السطح خاصَّة في أثناء حدوث الجزر.

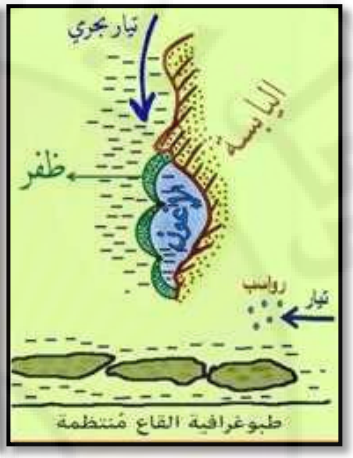


صورة رقم (٢٣٣): الحبال الساحليَّة

وبسبب وجود بعض العقبات التضريسية أمام هذه المياه الجارفة للأنقاض (رأس بارز، جزيرة مثلاً)، فإنَّ قدرة المياه وطاقتها تضعف، وبالتالي تضطر للتخلي عن حُمولتها تدريجيَّاً، ممَّا يؤدِّي إلى تشكُّل خط متطاول من الرمال يتزايُد طوله وارتفاعه باتجاه حركة الماء، وهذا يتعلَّق بـ:

- كميَّة الرواسب.
- طبوغرافيَّة القاع.

وقد تتصل هذه الحواجز بالشاطئ من أحد أطرافها فتحصُر بينها وبين الساحل مناطق بحيرية مقفلة تتكون منها بحيرات شاطئية (لاغون – Lagoon)، المعروفة أحياناً باسم هاف، وفي الخليج العربي في حال كانت مفتوحة باسم حيل (ج:حيول)، (شكل٢٧٩).



شكل رقم (٢٧٩): الحبال المُتصلة

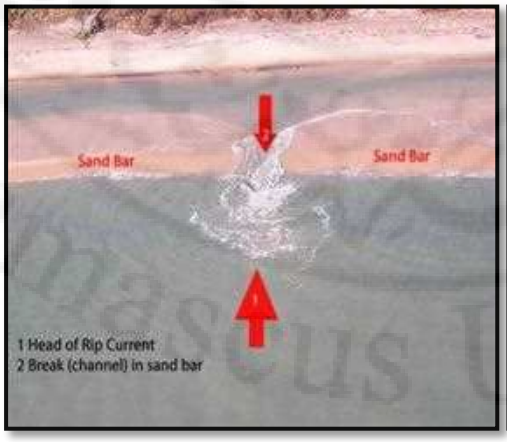


صورة رقم (٢٣٤): لاغون

وقد تتكوَّن الحبال الساحلية على شكل شريط غير مُتصِّل – مُتعلِّق بطبوغرافية القاع – تخترق مياه البحر هذا الحاجز من الحبال الساحلية لتدخل البحيرات، وذلك عن طريق ممرات صغيرة تُعرف باسم مداخل (Inlet)، (شكل٢٨٠).



شكل رقم (٢٨٠): الحبال المُنفصلة



صورة رقم (٢٣٥): مداخل (حيل)

وقد تُشاهد الحبال مُنفصلة عن اليابسة مُكونَّة جُزراً شريطية طولانية على امتداد السواحل، دون أن يرتبط أي طرف من أطرافها بالبر.

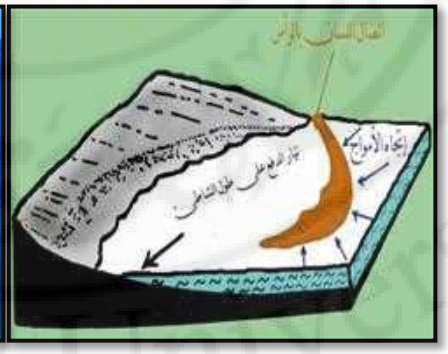


صورة رقم (٢٣٦): جزيرة شريطية طولانيَّة

أمَّا **الألسنة الرملية(Sand Splits)**:

هي ظاهرة ترسيبية تنمو وتتطوَّر على طول خطوط الشواطئ التي تكون فيها عمليات الترسيب قويَّة، ومع حدوث تغيُّر في اتجاه الشاطئ بشكلٍ مفاجئ من البحر باتجاه اليابس.

والألسنة: عبارة عن حافة رمليَّة أو حصويَّة ضيِّقة تتصل باليابس في أحد أطرافها، وينتهي طرفها الآخر في المياه العميقة، ومنذُ تكوُّن جزء من اللسان يمتد في البحر، يبدأ تيار الدفع في نقل الرواسب على طوله، ومن ثُمَّ يؤدِّي إلى ازدياد نموِّه باستمرار تجاه البحر، إلى أن يصل إلى مياه عميقة فيتوقف نموه بسبب وجود الأمواج الهدَّامة، (شكل٢٨١).



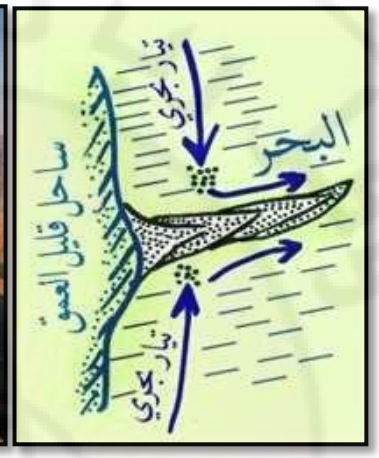
شكل رقم (٢٨١): الألسنة الرمليَّة



صورة رقم (٢٣٧): اللسان الرملي

وقد يتكوَّن نمطان من الألسنة:

الأول : يتكوَّن من اليابسة باتجاه البحر مُشكِّلاً مع امتداد الساحل زاوية كبيرة يُطلق عليه **الأسهم البحرية**، إذا تلاقى تيَّاران بحريان، (شكل٢٨٢).



شكل رقم (٢٨٢): الأسهم البحريَّة



صورة رقم (٢٣٨): الأسهم البحريَّة

الثاني: يمتد موازيًّاً للساحل، ويشمُل هذا النمط:

آ- الألسنة التي تمتد عبر المصبَّات النهرية.

ب- الألسنة التي تمتد موازية للخلجان البحرية.

وفي حالة ظهور اللسان أمام خليج مُتسِّع، فإنَّ اندفاع الأمواج نحو داخل الخليج، وحركة التيارات البحرية أمامه يؤدِّيان إلى تقوُّس اللسان نحو الداخل، ويُطلق عليه اسم **اللسان المُقوَّس (Recurved Spit)** أو **الخطاف (Sandy Hook)** أو **الكلَّابة**.

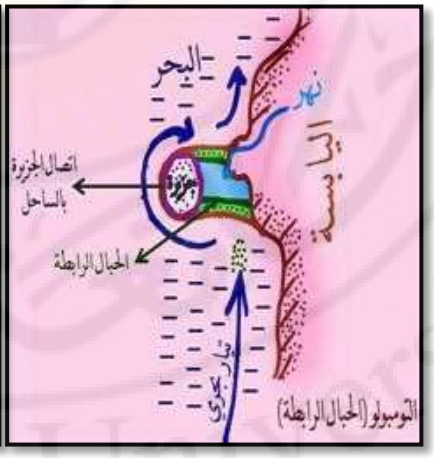


صورة رقم (٢٣٩): اللسان المُقوَّس

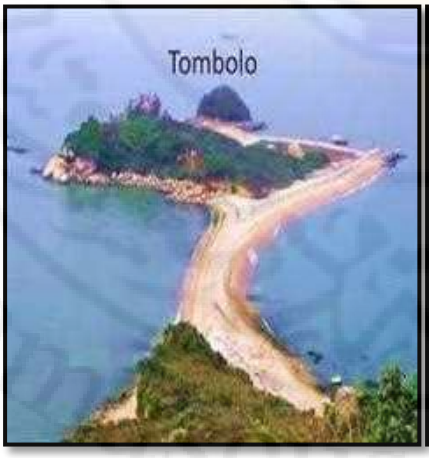
٢- التومبولو (الحبال الرابطة) (Tombolo):

تعني السهم، وهي عبارة عن حبال أو أسهم وحواجز رملية ترسيبيَّة، تربُط بين القارة وجزيرة واقعة أمام الساحل، ممَّا يجعل الجزيرة جزءاً من القارة، وتتشكَّل هذه الحبال نتيجةً لتغيُّر وتبدُّل في طبيعة الأمواج وطاقتها لاقترابها من القارة، واصطدامها بالجزيرة قبل وصولها إلى اليابسة، أو أنَّها تشكلَّت نتيجةً لتوضُّع الرسوبات الناجمة عن تلاقي خطَّي حركة تموجيَّة ما خلف الجزيرة المعنيَّة.

وقد يُساهم في تشكُّل هذه الحبال التيارات البحرية المُحملَّة بالرواسب، (شكل٢٨٣).



شكل رقم (٢٨٣): التومبولو



صورة رقم (٢٤٠): التومبولو

وقد تكون أشكال التومبولو بسيطة مؤلَّفة من حبلٍ واحد، أو مركبَّة مؤلَّفة من حبلين أو ثلاثة، وهذا ما يؤدِّي إلى ظُهور بحيرة ساحلية بين الحبال تُعرف بـ (Lagoon)، وقد تتمكَّن التوضعات القارية المنشأ من ردم هذه البحيرة لتنقلب تدريجيَّاً إلى مستنقع، ثمَّ أرض مرتفعة عن سطح البحر مُشكلَّة رؤوساً مُتقدمَّة باتجاه البحر، (مثال رأس بيروت).

٣- الدالات (Marine Deltas):

وهي مظهر رُسوبي خاص ناجم عن توضُّع حمولة ورواسب الأنهار في مياه البحار الضحلة، شريطةً أن:

١- يكون تأثير التيارات البحرية والأمواج وتيارات المد والجزر ضعيفاً، لأنَّ التيارات البحرية القويّة تستطيع حمل ونقل ما تقذفُه الأنهار إلى البحر من مواد.

٢- أن لا يكون قاع الساحل ومصب النهر معرَّضين لأعمال خفس بنائي أسرع من أعمال الترسيب.

ويتوافر هذان الشرطان عادةً في البحار المُغلقة، وفي البُحيرات والبحر المُتوسط والأسود وخليج المكسيك مثلاً.

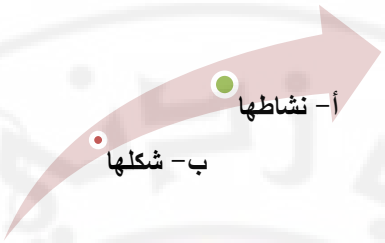
وفي ظلِّ هذه الظروف تتجمَّع الرسوبيَّات، وتتراكم على جانبي الجزء الأدنى من النهر عند مصبه، وتتقدَّم اليابسة على حساب البحر تدريجياً.

أمَّا إذا كانت حركة التيارات والأمواج شديدة فإنَّها تجرُف وتكنُس ما توضِّعه الأنهار من رواسب، وبالتالي لا تتشكَّل الدالات، وقد يزداد منسوب وارتفاع اللحقيات والرسوبات أحياناً لدرجة تُجبر النهر معها على حفر مجراه وتعميقه ضمن التوضعات نفسها، وذلك لكي تستطيع الأنهار تصريف مياهها، وهذا يؤدِّي إلى نُشوء ما يُعرَّف بالمخارج النهريَّة.



صورة رقم (٢٤١): الدلتا

يُمكن تمييز الدالات حسب:



أ- حسب نشاطها:

١- الدلتا النشطة: وفيها تتقدَّم الرواسب النهريَّة باتجاه البحر برأسٍ بارز باستمرار أو بعدَّة رؤوس ممتدَّة في البحر، مثال: دلتا نهر التيرك على بحر قزوين.

٢- الدلتا المُعطَّلة: وهي الدِّلات التي تصبُّ فيها مياه النهر المُحملَّة بالرواسب في البحر، والمُعرَّضة لتيار يحمل ما توضعه الأنهار، مثال: دلتا نهر النيل.

٣- الدلتا المُتوازنة: وهي الدلتا التي لا تتقدَّم ولا تتأخَّر، أي ما تحملُه الأنهار من رواسبُها تجرُفها التيَّارات البحريَّة.

ب- حسب شكلها:

١- الدالات المروحية (Fans Delta): المُثلثية الشكل، وفيه تكون قاعدة المثلث باتجاه البحر، ورأسه باتجاه مجرى النهر الذي يُشكِّل الدلتا، وإنَّ ازدياد المخارج النهريَّة التي سبق الحديث عنها أدَّى إلى إعطاء الدلتا شكلاً مروحيًّاً، كدلتا نهر النيل، (شكل٢٨٤).



شكل رقم (٢٨٤): الدلتا المروحيَّة



صورة رقم (٢٤٢): دلتا مروحيَّة

٢- الدالات الإصبعيَّة الشكل: وتظهر عندما تتطوَّر وتتعمَّق المخارج النهرية المحفورة في جسم الدلتا لدرجة تأخُذ معها شكل أصابع اليد أو قدم الطائر، حاجزةً فيما بينها أشرطة رسوبيَّة مؤلَّفة من توضعات دقيقة ومُتماسكة، وأكبر الأمثلة عليها دلتا نهر المسيسبي، (شكل٢٨٥).



شكل رقم (٢٨٥): الدلتا الإصبعيَّة **صورة رقم (٢٤٣): دلتا أصبعيَّة**

وبشكلٍ عام: إنَّ تقدُّم الدالات على حساب البحر لا يكون مُستمرَّاً إلى مالا نهاية وذلك لسببين:

١. إنَّ كل ذراع يمتد ضمن البحر يعمل على تخفيف شدَّة انحداره الطولاني إلى أن يُصبح محروماً من الماء.

٢. إنَّ قدرة التيارات والأمواج البحرية تتزايد باتجاه عرض البحر، لدرجةٍ تُصبح معها قادرة تماماً على منع تقدُّم الذراع أو الدلتا.

على الرُغم من ذلك كلَّه فإنَّ تقدُّم بعض الدالات قد يصل إلى مسافات تصل بين (10 – 50 م/ سنوياً) قبل أن يتوقَّف تقدمها بفعل السببين الآنفي الذكر.

وأخيراً يُمكن أن نجد أنَّه على نطاق الدلتا الواحد قطاعات أو أذرع ناشطة تتقدَّم ضمن البحر، وأُخرى ثابتة أو مُعطلَّة أو تتعرَّض للتراجع لسيطرة العمل الحتِّي البحري وسيادته على قدرة الترسيب.

وأخيراً يجب التنويه:

بأنَّ الهدف الأساسي الذي يسعى إليه العمل البحري

(الحتي والترسيبي) هو إزالة الفروق التضريسية بحتِّ الرؤوس وملء الخلجان.

أي الحت من الرؤوس البارزة، والترسيب في الخلجان، ممَّا يُقلِّل من فروق تعاريج خط الشاطئ شيئاً فشيئاً حتى يُصبح مُستقيماً (مُقومَّاً) كساحل فلسطين.

أنواع السواحل:

تتنوَّع السواحل تبعاً لِـ: – عوامل تشكُّلها الجيولوجي والطبوغرافي.

– تطورها الجيومورفولوجي.

– التبدلات المُناخيَّة التي أدَّت إلى تذبذبات مستوى سطح البحر.

ولقد سعى الاختصاصيون إلى وضع تصنيفات لأنواع السواحل، ونماذجها، لتسهيل التعرُّف عليها ودراستها، ويُعدُّ تقسيم جونسون (Johnson;1919) أكثر التقسيمات شيوعاً، حيثُ قسَّم السواحل حسب اختلاف نشأتها إلى:

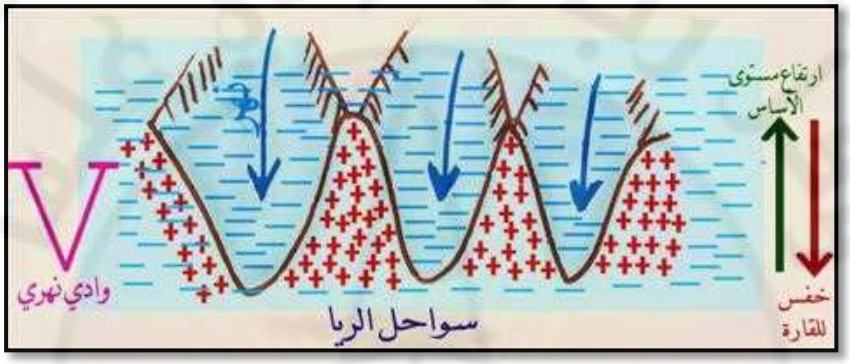
١ – السواحل المُغرقة أو الغاطسة	**٢ – السواحل العائمة أو البارزة**
٤ – السواحل المُركبَّة	**٣ – السواحل المُحايدة**

١ – السواحل المُغرقة أو الغاطسة (Submergence Coasts):

وهي السواحل التي غُمرت بمياه البحر، إمَّا لانخفاض سطح اليابسة، أو ارتفاع مستوى الماء، ويُمكن أن نميِّز عدَّة أشكال للسواحل تتمثَّل في:

١- سواحل الريا (Ria Coasts):

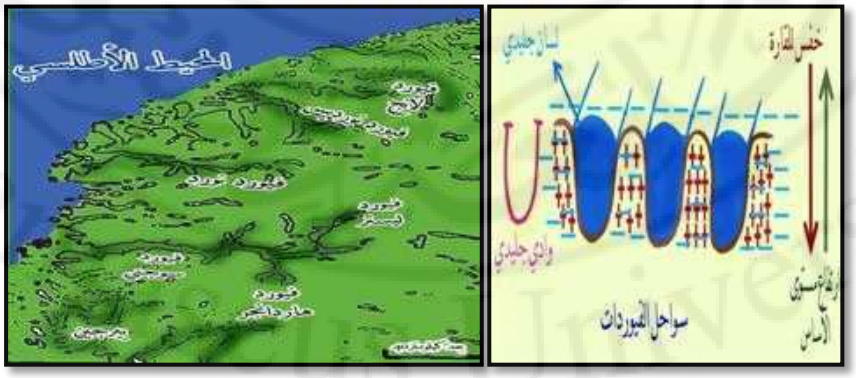
وهي خلجان مُتجاورة لأودية نهرية سابقة قبل تغريقها، لها مقطع عرضي مُثلثي، غرقتها مياه البحر إثر ذوبان الجليد في فترة الفورم (الحقب الجيولوجي الرابع)، أفضل الأمثلة سواحل غربي إيرلندة، (شكل٢٨٦).



شكل رقم (٢٨٦): سواحل الريا

٢- سواحل الفيوردات (Fiord Coasts):

وهي خلجان متوغلة في اليابسة ذات جوانب شديدة الانحدار، عميقة، لها شكل (U)، كانت سابقاً أودية جليديَّة محفورة في الصخر تحتلَّها الألسنة الجليديَّة، غرقت الفيوردات نتيجة لخفس بنائي في نهاية الحقب الرابع، تكثُر نماذج الفيوردات على سواحل النرويج وشيلي، (شكل٢٨٧).



شكل رقم (٢٨٧): سواحل الفيوردات غربي النرويج

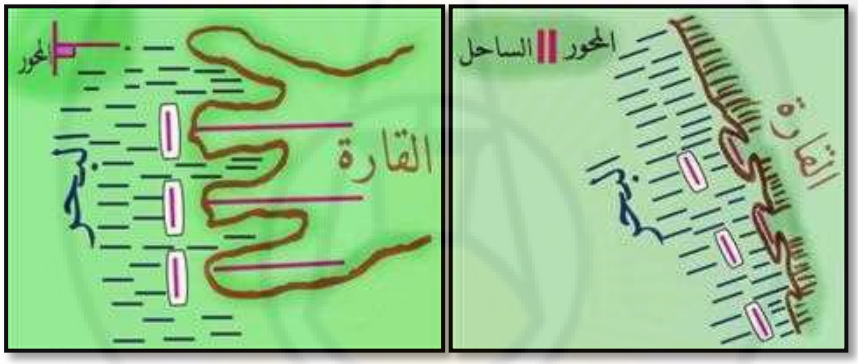
٣- السواحل البنيوية الدالماسية والبروتانية:

وهي سواحل صخرية عالية، تعود نشأتها إلى حركات بنائيَّة التوائيَّة.

السواحل الدالماسيَّة: تتفق محاور الالتواءات فيها مع خط الساحل، كسواحل بحر الأدرياتيك في يوغسلافيا، (شكل٢٨٨).

السواحل البروتانيَّة: وفيها تتعامد محاور التواءاتها مع خط الساحل، كشبه جزيرة بروتانية في فرنسا، (شكل٢٨٩)

في كلا النموذجين تعرَّضت الالتواءات الساحليَّة للتغريق، ممَّا حصر الماء على شكل أقنية طولانيَّة، وخلجان في المُقعرَّات.



شكل رقم (٢٨٨): السواحل الدالماسيَّة

شكل رقم (٢٨٩): السواحل البروتانيَّة

٢- السواحل العائمة أو البارزة (Emergence Coasts):

وهي السواحل التي تشكلَّت إمَّا لانخفاض مستوى البحر، أو لارتفاع اليابسة، كما هي الحال في السواحل القريبة لفلندًا.

٣- السواحل المُحايدة (Neutral Coasts):

وهي سواحل لا ترجع نشأتها إلى فعل انخفاض منسوب مستوى مياه البحر، أو نهوض اليابسة، ولكنَّها في الغالب ناجمة عن عمليات بناء مواد اليابسة، وتشمُل السواحل المُحايدة:

أ- سواحل الدالات (Delta Coasts).

ب- سواحل السهول المروحيَّة (Alluvial Plain Coasts).

ج- سواحل السهول الرسوبيَّة (Out Wash Plain Coasts).

د- سواحل البراكين (Volcano Coasts): وهي السواحل التي تبرُز فيها البراكين فوق سطح مياه البحر.

هـ- السواحل الصدعيَّة (Fault Coasts): وهي نوع قليل الانتشار، نشأ عن الحركات البنائيَّة الانهداميَّة، وفيه يحتلّ خط الساحل مرآة الصدع.



شكل رقم (٢٩٠): سواحل الدالات



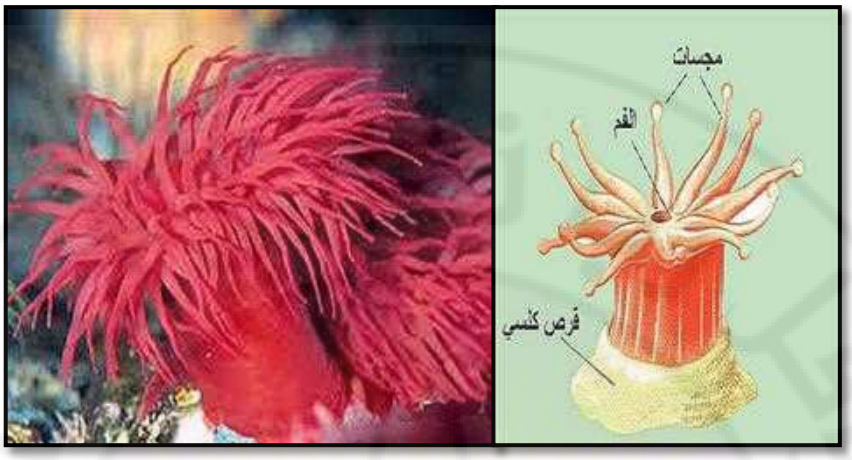
شكل رقم (٢٩١): السواحل البركانيَّة



شكل رقم (٢٩٢): السواحل الصدعيَّة

و- سواحل الحواجز المُرجانيَّة (Coral – Reef Coasts): التي كوَّنتها كائنات عضوية في المياه الضحلة.

يتألَّف المرجان من مستعمرات كبيرة، تُشكِّل الكائنات الحيَّة فيها غطاءً للميِّتة، وبهذا الأسلوب ينشأ نوع من الصخر الكلسي المُكوَّن من هياكل شديدة التماسُك، تلتحم بفضل توافُر العناصر الكلسيَّة التي تلعب دور ملاط نموذجي.



شكل رقم (٢٩٣): حيوان المرجان **صورة رقم (٢٤٤): حيوان المرجان**

تتكاثر هذه الكائنات ضمن شروط مُعيَّنة:

١. درجة حرارة الماء ما بين / 18 – 20°/.
٢. أعماق مياه لا تتجاوز / 80 م/ .
٣. كون الماء نقيّاً غنيّاً بالأوكسجين.
٤. تعرُّض المياه إلى التهوية الجيِّدة، بالإضافة إلى الغذاء المُناسب لهذه الكائنات.
٥. ملوحة مُرتفعة تتراوح ما بين / 27‰– 40‰ / ولكن تُعدُّ نسبة /35/ بالألف البيئة المثاليَّة لنمو المرجان.
٦. ندرة الوحول الطينيَّة، وهذا يُفسِّر عدم وجوده عند مصبَّات الأنهار في الخلجان.
٧. لا يُمكن أن ينمو المرجان فوق مستوى مياه الجُزر، لأنَّه لا يستطيع العيش خارج الماء لفترةٍ طويلة.

إنَّ هذه الشروط تُفسِّر التوزُّع الجُغرافي للأرصفة المرجانيَّة على سطح الكرة الأرضيَّة، إذ لا يُمكننا العثور على أرصفة حيَّة إلَّا في البحار المداريَّة التي لا تصل إليها التيارات الباردة، ولا تحدُث فيها حركات صعود للمياه العميقة الباردة نسبيَّاً.

لذا تكثُر هذه الأرصفة على طول السواحل المدارية كشرقي استراليا وأواسط المحيط الهادي والبحر الأحمر، حيثُ نُصادف أكثر المُرجانيَّات جمالاً وروعة بألوانها المُتعددة، وبأشكالها الكتليَّة، والمُتشعبة، وتعيش فيها أسماك ذات نوعيَّة خاصَّة.



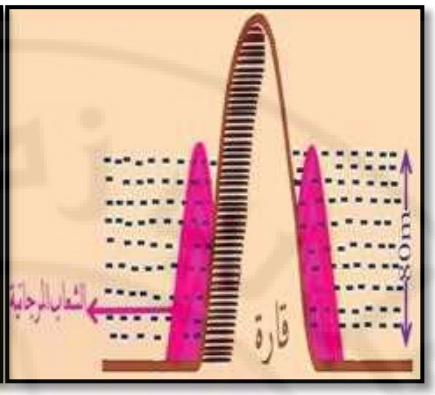
صورة رقم (٢٤٥): الشعاب المرجانيَّة

وتُقسم التكوينات المُرجانيَّة إلى ثلاثة أنواع:



١- الأرصفة اللاصقة (Fran Geants)، أو حول الشواطئ والجُزر:

وتكون هذه الأرصفة مُتلاحمة ومُتلاصقة مع خط الساحل، مُشكلَّةً قشرة خارجية ضحلة (Shallow Shelf)، كما أنَّ هذه الأرصفة تكون شديدة الانحدار باتجاه البحر، ومستوية تقريباً باتجاه الساحل، كما هي الحال على سواحل البحر الأحمر، (شكل٢٩٤).



شكل رقم (٢٩٤): الأرصفة اللاصقة

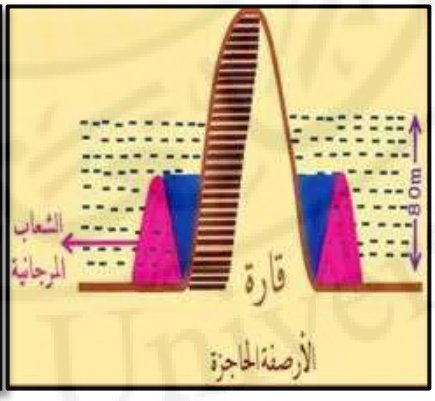


صورة رقم (٢٤٦): الأرصفة اللاصقة

٢- الأرصفة الحاجزة (Barrier Reefs):

تتشكَّل الأرصفة الحاجزة موازية لخط الساحل، ولكنَّها تبعُد عنه بمسافة، تفصلُها عنه قناة طويلة وعريضة من مياه البحر، تتقطَّع أحياناً بممرات، لتتحوَّل إلى بُحيرات ساحليَّة ضحلة تُغطِّي قيعانها الرواسب، وفُتات الشعاب المُرجانيَّة، ويكون انحدار جوانب الشعاب المُرجانيَّة باتجاه الساحل قليلة ولطيفة، وباتجاه البحر شديدة الانحدار.

ويُعتبر رصيف كويتر لاند الكبير في شمالي شرق استراليا أفضل الأمثلة على هذا النموذج، (شكل٢٩٥).



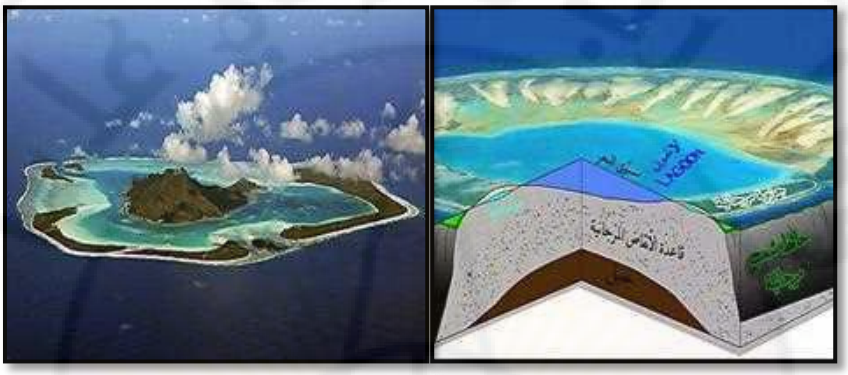
شكل رقم (٢٩٥): الأرصفة الحاجزة



صورة رقم (٢٤٧): الأرصفة الحاجزة

٣- الجزر أو (المشيِّدات) الحلقيَّة (Atolls):

وهي عبارة عن أحزمة مُرجانيَّة، تزيد أطوال أقطارها عن عدَّة كيلومترات تحجُز ضمنها بُحيرات مركزيَّة، تصل أعماقها حتى (80 كم)، ولا يقلُّ عمقُها عن (20) متراً، يفصل بينها وبين عرض البحر ممرَّات ومعابر أو قطاعات بأعماق مُتباينة، (شكل٢٩٦).



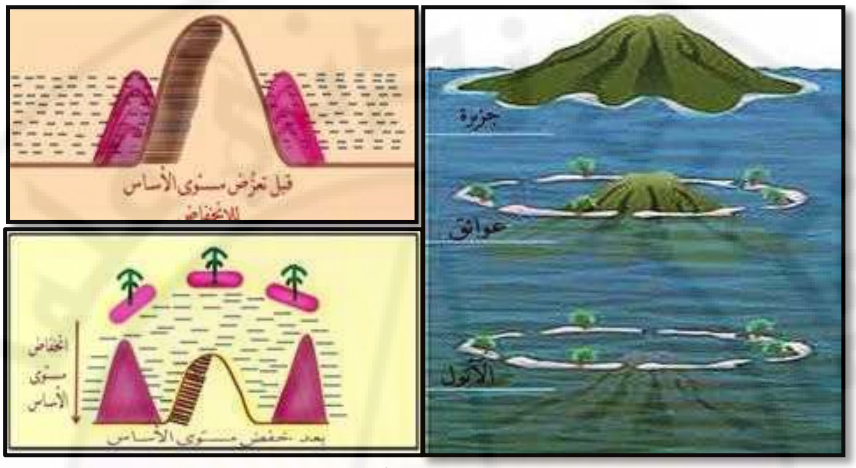
شكل رقم (٢٩٦): المُشيِّدات الحلقيَّة صورة رقم (٢٤٨): المُشيِّدات الحلقيَّة

ويُمكن تقسيم المُشيِّدات الحلقيَّة تبعاً لأعماق المُشيِّدات عند قواعدها إلى:

- **المُشيِّدات الحلقيَّة المُحيطيَّة (Ocanic Atolls):** وهي تتشكَّل حول المخاريط البُركانيَّة التي تتجاوز أعماقها (5000 م).
- **مُشيِّدات الرفاف القاريَّة (Shelf Atolls):** ينمو هذا النوع من المُشيِّدات على الرفارف القاريَّة الضحلة التي لا يزيد عمق قاعدتها عن (500 م).
- **المُشيِّدات الحلقيَّة المُركبَّة (Compound Atolls):** وهي تجمع بين النوعين السابقين، يكثُر هذا النوع في جزر المالديف في المحيط الهندي والهادي.

تُعدُّ نظريَّة داروين في تفسير نشوء الجُزر (المُشيِّدات الحلقيَّة) مقبولةً إلى حدٍّ كبير، حيثُ تقول نظريَّته: إنَّ المُشيِّدات الحلقيَّة هي أرصفة حاجزة في أصلها تُحيط وتُطوِّق جزيرة بارزة فوق سطح البحر، تعرَّضت هذه الجزيرة للخفس البنائي التدريجي، ويترافق هذا الخفس مع نمو المُرجانيَّات نحو سطح البحر للحفاظ على العمق الضروري لتكوينها، ومع استمرار خفس الجزيرة

تختفي الجزيرة تحت الماء، بينما يبقى الرصيف المُرجاني عالياً يصل إلى سطح البحر، وحسب رأي داروين تتحوَّل الأرصفة اللاصقة إلى حاجزة، ثُمَّ إلى آتول، (شكل٢٩٧).



شكل رقم (٢٩٧): آليَّة تشكُّل المُشيِّدات الحلقيَّة

وهُناك رأي آخر (دالي؛ 1915 م) يقول بأنَّ: أسباب تشكُّل المُشيِّدات الحلقيَّة هو تغيُّرات مستوى البحار والمُحيطات نتيجة سيادة الفترات الجليديَّة، التي رافقها انخفاض مستوى أساس البحار والمُحيطات، والفترات الدافئة التي أدَّت إلى ذوبان الجليد، وعودة المياه إلى الأحواض البحريَّة ممَّا أدَّى إلى ارتفاع مستوى المياه، ومع ارتفاع مستوى مياه البحر تنمو المُرجانيَّات مُشكلةً الآتول.

٤- السواحل المُركبة (Compound Coasts):

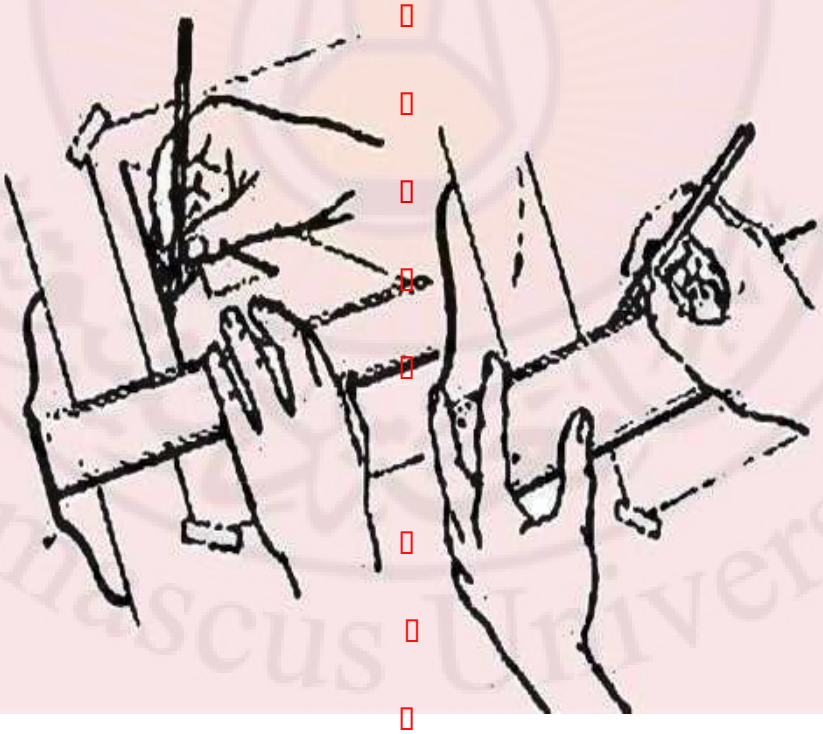
وهي السواحل التي يعود تشكيلها إلى أكثر من عامل واحد من العوامل المذكورة سابقاً.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

القسم العملي

الفصل الأوَّل: الخارطة الجيولوجيَّة، ورسم المقطع الجيولوجي

الفصل الثاني: التحليل المورفومتري لشبكة التصريف النهري

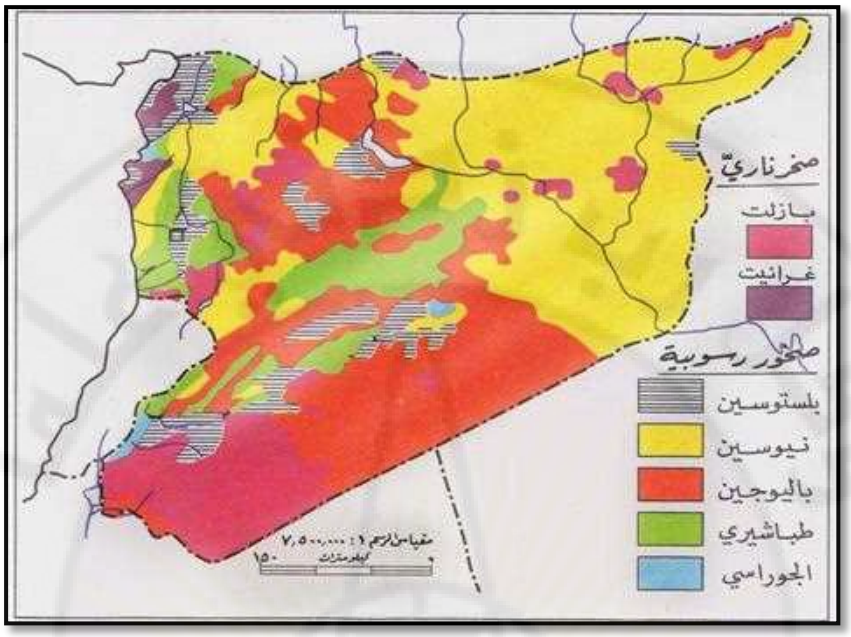


الفصل الأول

الخارطة الجيولوجيَّة ورسم المقطع الجيولوجي

تُعدُّ الخارطة الجيولوجيَّة من الوسائل الهامَّة في التعرُّف على الطبيعة الجيولوجيَّة لمنطقةٍ ما، خاصةً عندما يصعب الوصول إلى منطقة الدراسة وإجراء الأعمال الميدانيَّة، وخلال السنوات الماضيَّة تمَّ وضع مجموعة من الخرائط الجيولوجيَّة مُختلفة المقاييس والتي غطَّت القطر وخاصَّة الخرائط ذات المقياس (1/100000)، والمقياس (1/200000) وهي مصوَّرات الأركان العثمانيَّة، والخرائط ذات المقياس (1/50000)، وُضعت من قبل القوَّات الفرنسيَّة مع السلطات الانكليزيَّة، ثُمَّ قامت إدارة المساحة العسكريَّة في سوريا برسمها وطبعها ثانيةً بعد تعريبها وإدخال بعض التفاصيل عليها كالطرائق المُستحدثة، وهي الخرائط التي سنستخدمُها في تدريباتنا لتوافرها بين أيدينا.

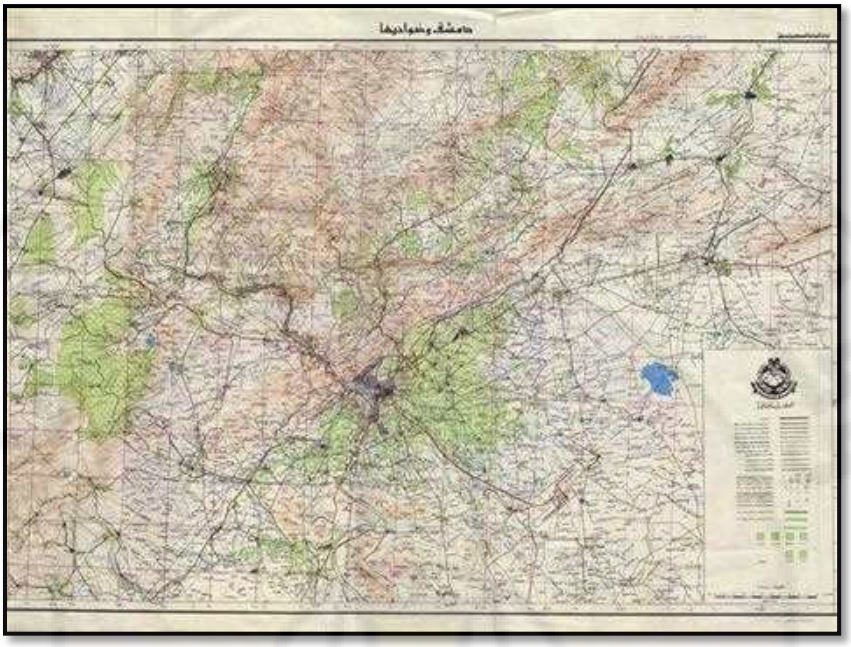
أمَّا الخرائط ذات المقياس الأكبر فقد وضِعَت من أجل أهداف اقتصاديَّة، وتُغطِّي مساحات مُعيَّنة من القطر، وهذا النوع من الخرائط يحتوي على كميَّة كبيرة من المعلومات ذات الأهميَّة العلميَّة والاقتصاديَّة، ومن الطبيعي أن تزداد الظاهرة التضريسيَّة وضوحاً مع كبر المقياس.



شكل: خريطة سورية الجيولوجيَّة

الخارطة الطبوغرافيَّة:

نظراً لأهميَّة الخارطة الطبوغرافيَّة في رسم المقطع الجيولوجي، فلا بُدَّ من تعريف مُبسَّط لها، فهي كالخارطة الجيولوجيَّة صورة مُصغرَّة لسطح المنطقة المدروسة، أمَّا كلمة خارطة طبوغرافيَّة: فهي تعني (في اليونانيَّة توبوس أي مكان).

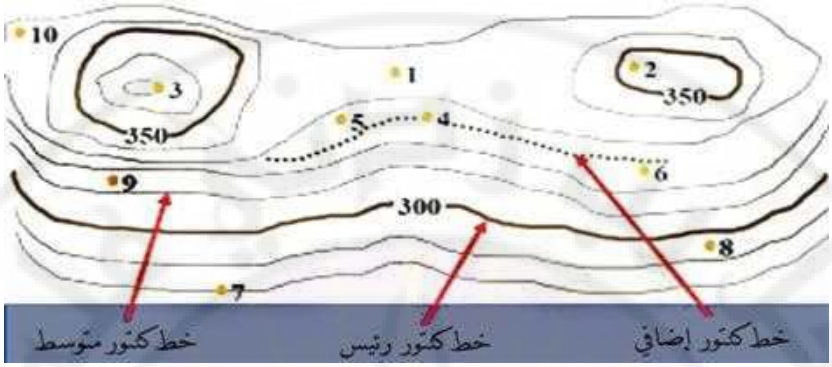


شكل: خريطة طبوغرافية لدمشق وضواحيها

وتهتم الخارطة الطبوغرافيَّة بشكلٍ رئيس بوضع منحنيات التسوية التي تُمثِّل درجة تباين مُعدلات الارتفاع عن سطح البحر، أي المظاهر التضريسيَّة – وتمثيل قسم من سطح الأرض بمستو– وهُناك نسبة تباعُد مُحددة بين مُنحنيات التسوية.

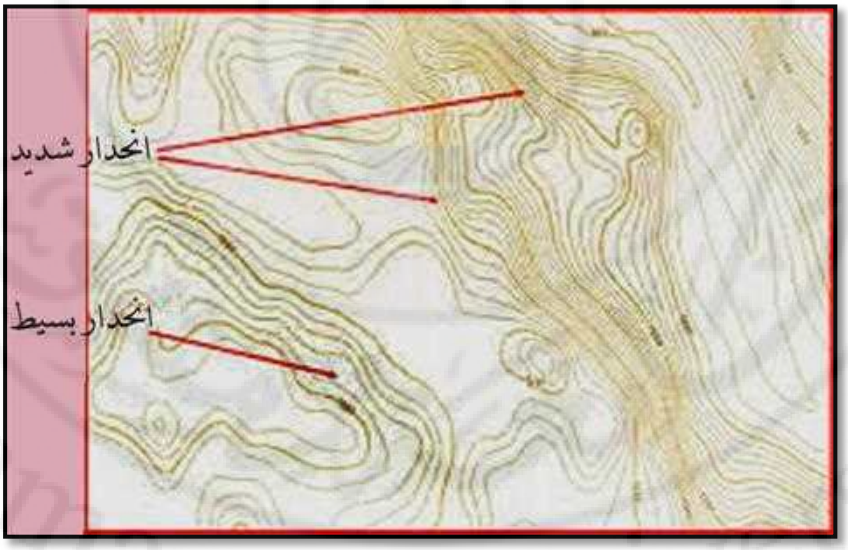
ويُمكن تعريف مُنحنى التسوية بـ:(الخط الواصل بين نقاط السطح الطبوغرافي التي تتمتَّع بارتفاع واحد عن سطح البحر)، وتُقسم مُنحنيات التسوية إلى قسمين:

أ- رئيسة ب- فرعيَّة



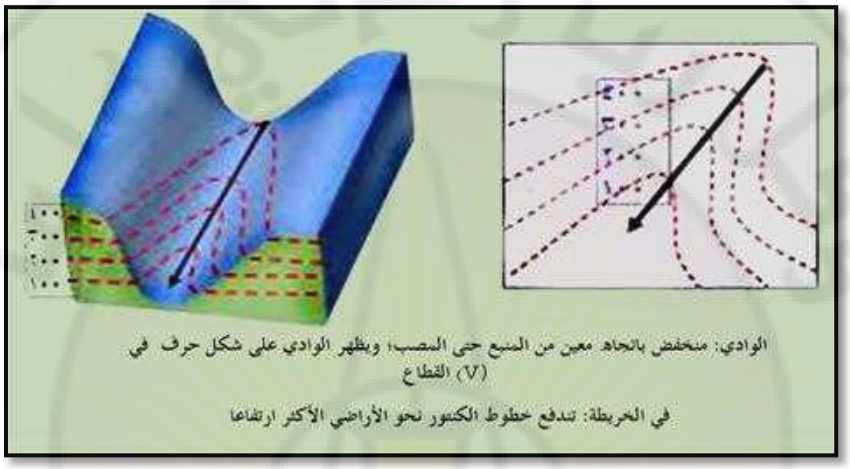
شكل: مُنحنيات التسوية

فإذا كانت المُنحنيَّات مُتراصَّة ومُتقاربة تدل على شدَّة التضرُّس والتبايُن في الارتفاع بشكلٍ كبير بالنسبة للمسافات الأُفقيَّة الواحدة، أمَّا إذا كان التباعُد بين مُنحنيَّات التسوية كبيراً، فإنَّ المنطقة تكون أقرب إلى المناطق قليلة الانحدار أو السهليَّة.



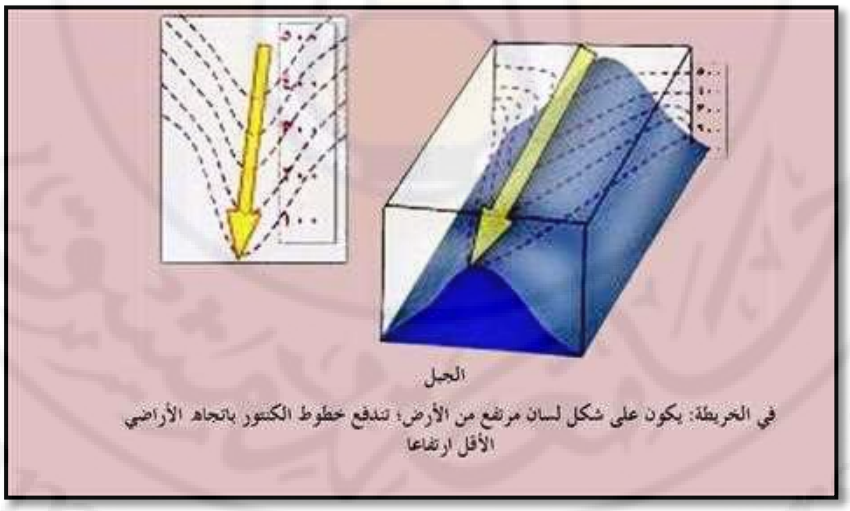
شكل: انحدار المنطقة تبعاً لمُنحنيَّات التسوية

ويكون لمُنحنيَّات التسوية شكل مُنحن تحدُبه نحو الأعلى، أي باتجاه القمَّة الجبليَّة إذا مرَّت من الوديان، ويُصبح رأس التحدُّب باتجاه المنطقة المُنخفضة إذا كانت المنطقة على شكل لسان سنامي.



الوادي: منخفض باتجاه معين من المنبع حتى المصب؛ ويظهر الوادي على شكل حرف (V) في القطاع

في الخريطة: تندفع خطوط الكنتور نحو الأراضي الأكثر ارتفاعا

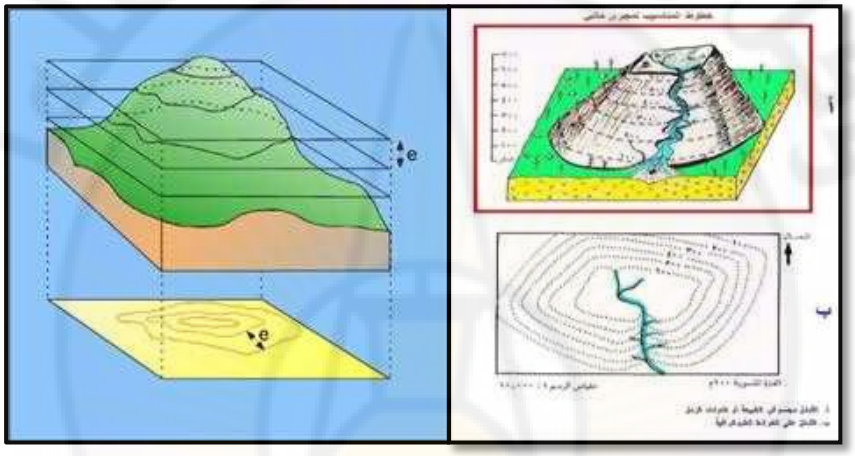


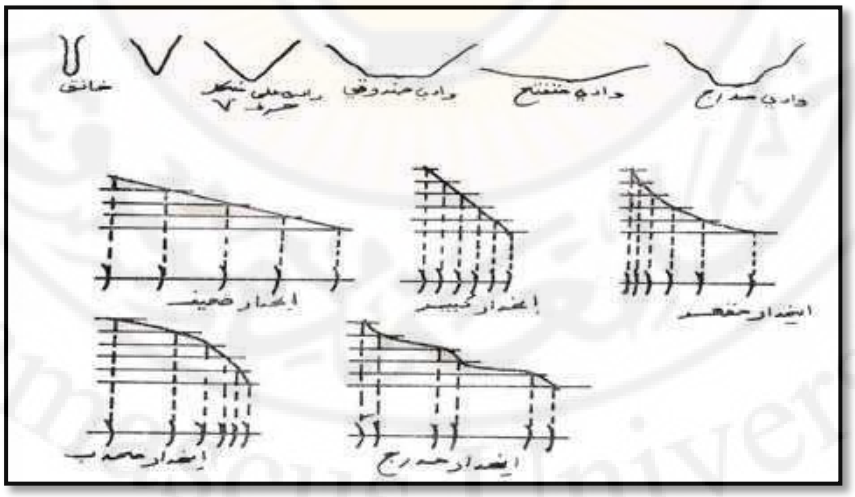
الجبل

في الخريطة: يكون على شكل لسان مرتفع من الأرض؛ تندفع خطوط الكنتور باتجاه الأراضي الأقل ارتفاعا

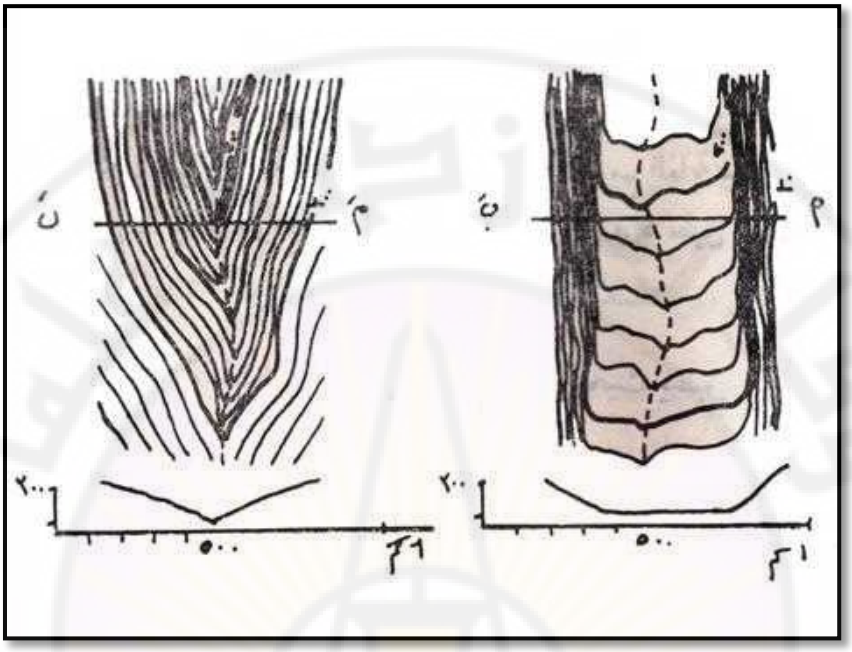
وتضم أيضاً الشبكة المائيَّة التي يصعب فيها تحديد شكل الأوديَّة إلَّا من خلال مُنحنيات التسوية، منها: الأودية على شكل حرف (V)، ومنها الصندوقي(ـــــ)، ومنها العادي (ᑌ)، ومنها على شكل حرف (U) (وادي معلفي).

وهُنك الكثير من الخصائص التي لا نتمكَّن من التعرُّض لها هُنا، لأنَّها تدخُل في مجال مقرر المُصورات العامَّة.





شكل: شكل الأودية



شكل: شكل الأودية من خلال منحنيات التسوية

رسم المقطع الطبوغرافي والجيولوجي:

لا بُدَّ لرسم المقطع الجيولوجي من المرور بمرحلتين:

آ- مرحلة استخدام الخارطة الطبوغرافيَّة لرسم المقطع الطبوغرافي.

ب- مرحلة استخدام الخارطة الجيولوجيَّة لرسم المقطع الجيولوجي.

ومن الطبيعي أن يكون مقياس الخارطتين واحداً.

المرحلة الأولى لرسم المقطع الجيولوجي: هي رسم المقطع الطبوغرافي، وعند اختيار منطقة المقطع يجب أن يكون خطُّه عموديَّاً على عناصر التضريس المُراد إظهارها ودراستها، ويُنفَّذ رسم المقطع وفقاً للخطوات التالية:

١- تحديد إحداثيَّات المقطع، وهي نقطة البداية ونقطة النهاية، ويكون ذلك بطريقتين:

الأولى: حسب الإحداثيَّات الجُغرافيَّة (خطوط الطول والعرض)

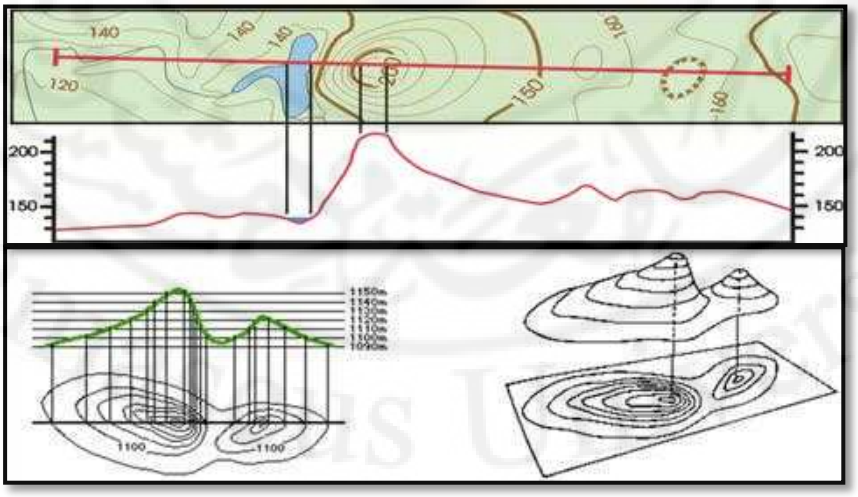
الثانيَّة: على أساس المُربعات الكيلومتريَّة المُحمَّلة على الخارطة.

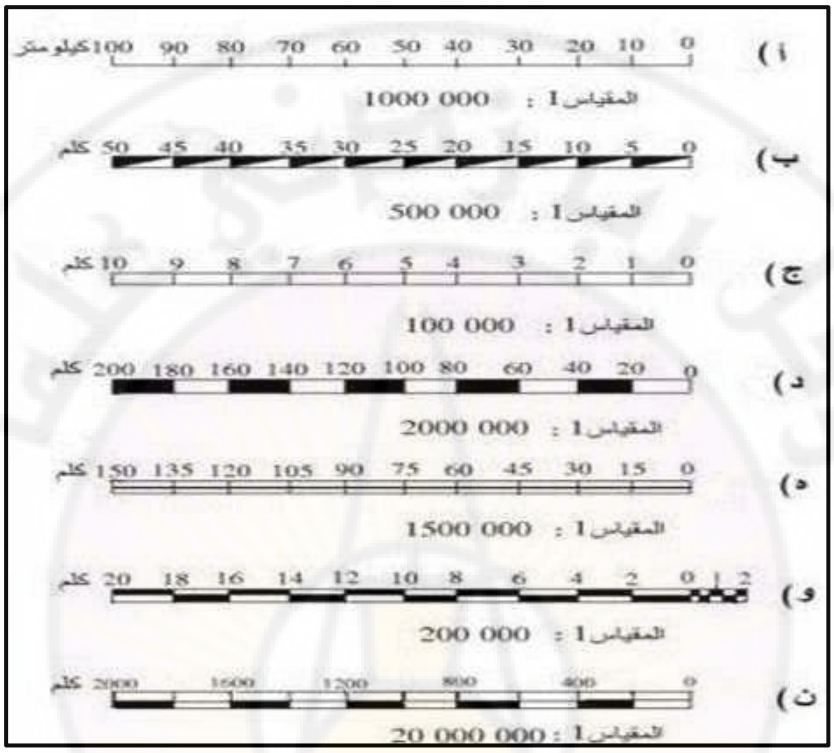
فعند تحديد النقطة (آ) لا بُدَّ من معرفة خط الطول وخط العرض الذي تقع عليهما هذه النقطة، وكذلك بالنسبة للنقطة (ب)، فمثلاً لرسم المقطع الطبوغرافي من خارطة صيدا مقياس (1/50000)، والذي يبدأ من النقطة (آ) الواقعة على تقاطع إحداثي الطول (127)، مع إحداثي العرض (200)، ومُنتهي إلى النقطة (ب) الواقعة على تلاقي إحداثي الطول (127) والعرض (194).

٢- نصل بوساطة المسطرة وقلم الرصاص المُدبَّب بين النقطة (آ) والنقطة (ب) بخط دقيق، وننزل على النقطة (آ) خطّاً عموديّاً بطول (2-3 مم)، الغاية منه معرفة خط البداية بدقَّة حتَّى لا يتغيَّر موقع الورقة الميليمتريَّة في كُل مرة تُطبَّق فيها على الخارطة.

٣- نأتي بالورقة الميليمتريَّة، ونثني طرفها الأبيض بحيث ينطبق حرفها على الخط الميليمتري الأوَّل.

٤- تُحدَّد على الورقة الميليمتريَّة محور السينات (المقياس الأُفقي)، ومحور العينات (مقياس الارتفاع)، بحيث يكون المقياس الأُفقي مقياس الخارطة الطبوغرافيَّة نفسه (1/50000)، أي التباعُد بين كُل سم وآخر (500 م)، ويكون مقياس المحور العمودي حسب الطلب في المسألة، فإذا كان المطلوب مقياس الارتفاع (1/10000) فيكون التباعُد بين كل (1 سم) وآخر (100 م).



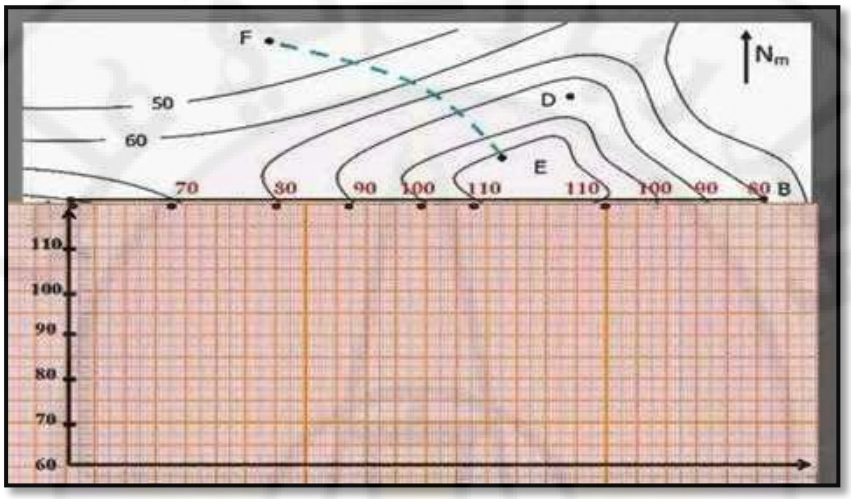


وهُنا يجب ألَّا نبدأ من الصفر دائماً، بل علينا أن نتعرَّف على المنطقة، ونُحدِّد أدنى نقطة فيها وأعلى نقطة، وتبدأ الترقيمات من المئة التي تسبق أدنى نقطة وحتَّى المئة التي تلي أعلى نقطة، فعلى سبيل المثال: إذا كانت أدنى نقطة (375 م)، وأعلى نقطة (1150 م)، فمن الممكن أن يبدأ مقياس الارتفاع من (300 م) وحتَّى (1200 م).

٥- نُطبِّق حرف الورقة الميليمتريَّة على الخط المرسوم على الخارطة (آ –ب)، بحيث يتعامد امتداد محور العينات مع النقطة (آ)، وفي هذه الحالة يكون حرف الورقة الميليمتريَّة قد قطع مُنحنيَّات التسوية كافَّةً، المُتقاطعة مع الخط (آ – ب).

٦- نقوم بتحديد النقاط كافَّة التي تتقاطع مع الورقة الميليمتريَّة، ونُثبتُها على الورقة الميليمتريَّة في نقطة التقاطع بالقلم الرصاص، كما يُمكن تحديد هذه النقاط على ورقة بيضاء خارجيَّة، ثُمَّ نُطبقُها على محور السينات، ونرفع النقاط حسب الارتفاع.

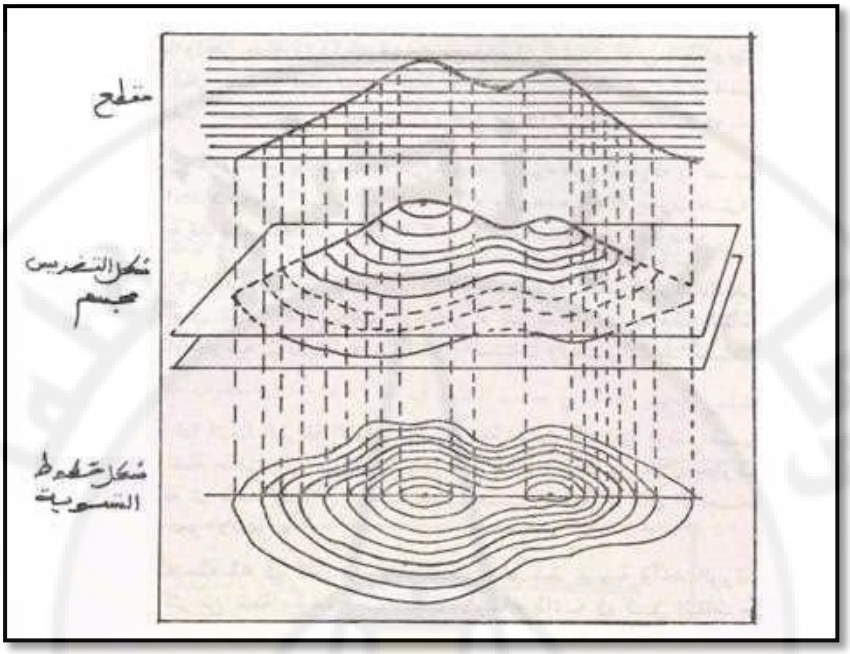
٧- أمَّا إذا اتَّبعنا الطريقة الأولى، نرفع الورقة الميليمتريَّة، ونبدأ بوضع قيم للارتفاع لكل نقطة حملت على الورقة الميليمتريَّة، ويكون ذلك من خلال خطوط التسوية المعروفة ثُمَّ بالعد التنازُلي أو التصاعُدي حسب المنطقة إن كان الاتجاه نحو الأعلى أو نحو الأسفل.



وتجب المُلاحظة أنَّه في كثير من الأحيان قد يقطع خط تسوية واحد الورقة الميليمتريَّة في أكثر من نقطة، وهُنا يجب تثبيت الارتفاع ذاته في كُل النقاط، ويُساعدُنا على معرفة مدى الدقَّة في وضع الارتفاعات، ثُمَّ مُنحنيات التسويَّة التي تكون من مُضاعفات الـ (50) (50 – 100 – 150 – 200)، حيث تكون هذه الخطوط مُميَّزة بشكلٍ أكثر من حيث العرض واللون الأشد، وهكذا نُثبِّت الارتفاعات كافَّة لمُنحنيات التسوية المُتقاطعة مع الورقة الميليمتريَّة، أي مع خط المقطع (آ – ب).

٨- نقوم بإسقاط هذه النقاط على الرسم الباني الذي رسمناه على الورقة الميليمتريَّة، فيتشكَّل لدينا مُنحن مُعيَّن من النقاط.

٩- نقوم بوصل هذه النقاط مع بعضها، فنحصل على المقطع الطبوغرافي المطلوب.



شكل: نقل مُنحنيَات التسوية إلى مقاطع

المرحلة الثانية:

وتعتمد على استخدام الخارطة الجيولوجيَّة، وتحويل المقطع الطبوغرافي إلى مقطع جيولوجي، وتمر بالخطوات التالية:

١- تحديد مكان النقطة (آ – ب) على الخارطة الجيولوجيَّة، (الطريقة السابقة نفسها عند تحديدها على الخارطة الطبوغرافيَّة).

٢- نصل بين النقطتين (آ – ب)، فنحصل على خط المقطع (آ – ب) على الخارطة الجيولوجيَّة، وهُنا يجب المُلاحظة أنَّه في بعض الحالات لا تنطبق النقطتان (آ – ب) على الظواهر نفسها في الخارطتين، فالقُمَّة الجبليَّة أو المجرى النهري قد ينحرف قليلاً في الخارطة الجيولوجيَّة أو الطبوغرافيَّة، ومرد ذلك لأسباب فنيَّة عند تصميم الخارطة.

٣- نُطبِّق الورقة الميليمتريَّة على خط المقطع كالسابق، فيتقاطع حرف الورقة مع حدود الطبقات الصخريَّة المُتكشفَّة، وعندها نقوم بإسقاط خط طوله نحو (1 سم) في كُل نقطة تتقاطع فيها

الطبقات الصخريَّة مع الورقة الميليمتريَّة، وإذا مرَّ صدع أو عدَّة صدوع على خط المقطع فنقوم بإسقاطها أيضاً، ولكن مع مُراعاة أن يكون الخط النازل المُمثِّل للصدع أطول من الخط المُمثِّل لتقاطع الطبقات، وليكن (3 سم) مثلاً، وذلك حتَّى نستطيع التمييز بين الظاهرتين.

٤- نقوم بإسقاط الحدود الفاصلة بين الطبقات، وكذلك الصدوع على المقطع الطبوغرافي الذي رسمناه.

٥- نُحدِّد بوساطة الخارطة الجيولوجيَّة أسم كُل طبقة على الورقة الميليمتريَّة، وذلك بكتابة رمزها على الورقة فوق موقع الطبقة على المقطع الطبوغرافي.

٦- نُنزل خط الصدع بشكلٍ عمودي على المقطع الطبوغرافي ليقطع الطبقات التي ستُرسم فيما بعد.

٧- نبحث حول خط المقطع (آ – ب) في الخارطة الجيولوجيَّة عن إشارات الميل، وننقلُها كما هي، وبالطول نفسه على الورقة الميليمتريَّة فوق المقطع الطبوغرافي.

٨- نبدأ بتحديد الطبقات على المقطع الطبوغرافي، ويكون ذلك ابتداءً من أحدث الطبقات بحيث نُراعي اتجاه الميل ودرجته، والدرجة الحتيَّة التي وصلت إليها الطبقة السطحيَّة المُتكشفَّة وسماكتها، ونتعرَّف على السماكة من مفتاح الخارطة وهكذا نُحدِّد الطبقات كافَّة، ويتم تحديد سماكة كُل طبقة بدءاً من الحدود الدُنيا للطبقة الأحدث وهكذا.

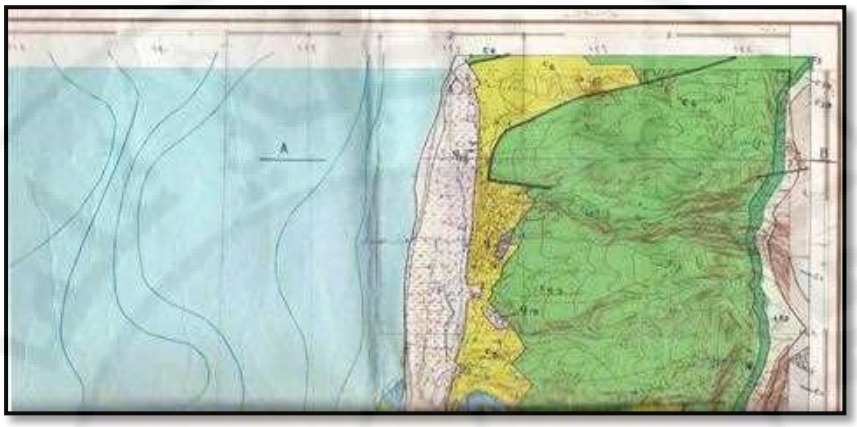
٩- بعد وضع حدود الطبقات ورسم هيكلُها العام نقوم بتوزيعها إلى مسافات، وذلك بتقسيم الطبقة الواحدة إلى أشرطة متساوية العرض وموازية لخط الطبقة، ثُمَّ نقطع هذه الأشرطة إلى مستطيلات متساوية مع وضع إشارات ورموز خاصة بكل طبقة على حدة، وتثبيت ذلك في مفتاح المقطع.

١٠- بعد استكمال الرسم نقوم بتثبيت ذلك بوساطة الحبر الأسود مُستخدمين قلم تحبير خاص، بحيث يُصبح المقطع الجيولوجي مرسوماً بالحبر الأسود بشكلٍ كامل.

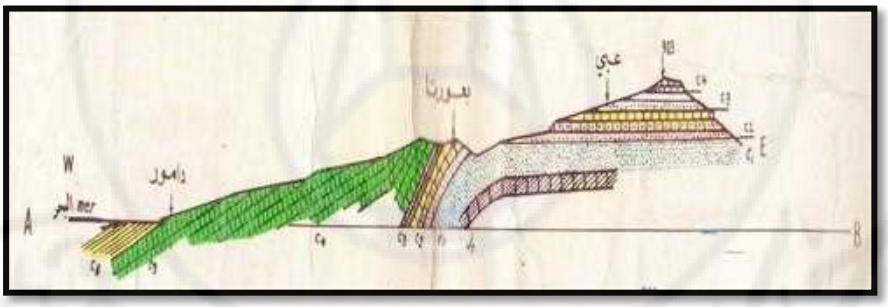
١١- نختار الألوان المُناسبة لكل طبقة، بحيث لا تتعارض مع الألوان المُتعارف عليها دوليَّاً، وتُلوَّن بها الطبقة في المقطع والرمز بالمفتاح.

١٢- نُثبِّت إلى جانب المقطع أو أسفلهُ المعلومات التاليَّة:

اسم الخارطة التي رُسم منها المقطع، مقياسُها، مقياس الارتفاع، إحداثيَّات النقطة (آ) والنقطة (ب)، مفتاح الطبقات وألوانها ورموزها، وبهذه الطريقة يكون المقطع الجيولوجي قد أُستُكمل.



شكل: خريطة صيدا الجيولوجيَّة (مقياس 1/50000)



شكل: مقطع عرضي من النقطة (آ) إلى النقطة (ب) في خريطة صيدا الجيولوجيَّة

الخارطة الجيولوجيَّة:

الخارطة الجيولوجيَّة: هي في الأصل خارطة طبوغرافيَّة، لها مقياس مُعيَّن، تمَّ عليها توزيع التكشُّفات الصخريَّة التي تظهر على سطح الأرض تبعاً لمساحتها وأعمارها التي تُحدِّدها غالباً مُستحاثاتها ومكوِّناتها الفيزيائيَّة والكيميائيَّة، وقد مُثِّلَت بألوان مُتعارف عليها فوق الخارطة، وتلعب عوامل التعرية دوراً أساسيَّاً في زيادة مساحة التكشُّفات الصخريَّة، لذلك فإنَّ التكشُّفات الصخريَّة للطبقات الأقدم من الطبقات السائدة في المنطقة أوَّل ما تتكشَّف في نواة المُرتفعات

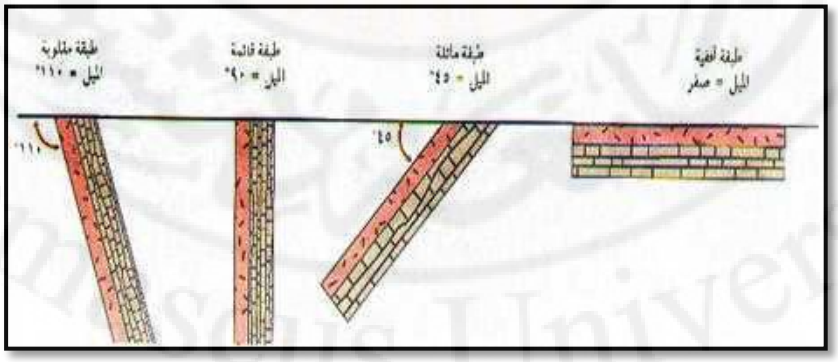
والسنامات، بينما تكون المُنخفضات عرضةً لتراكم المجروفات والأنقاض والمواد الرُباعيَّة وتجمُّعها.

ولسهولة دراسة الخارطة، والتعرُّف على التكشُّفات الصخريَّة للأعمار المُختلفة، تكون هذه التكشُّفات بألوان مُعيَّنة مُتفَّق عليها دوليَّاً، وتتناسب مع عُمر الطبقة المُتكشفَّة، فعلى سبيل المثال: تكون تكشُّفات الزمن الأوَّل باللون البنفسجي، والجوراسي باللون الأزرق، وتكشُّفات الكريتاسي باللون الأخضر، ثُمَّ الرُباعي بألوان مُختلفة حسب ما هو موضَّح عليه، وبهذه الطريقة تتقلب الخارطة الطبوغرافيَّة إلى خارطة مُغطَّاة ببقعٍ من الألوان المُحدَّدة التي تُشير إلى أدوار وأزمنة مُعيَّنة.

وكذلك تحمُل الخارطة الجيولوجيَّة بمجموعة من الرُموز التي تُساعد على التعرُّف بالمنطقة، وأهم هذه الرموز:

رموز الميل:

ويُشار إليها بالرمز ( ) حيثُ أنَّ اتجاه الخط المُعترض يُشير إلى اتجاه ميل الطبقة، وطوله يُشير إلى درجة الميل، فكُلَّما كان طول الخط أكبر كانت الطبقات أقرب إلى الأُفقيَّة، وكُلَّما كان أقصر أشتدَّ ميل الطبقات، فالإشارة ( ) تعني أنَّ الطبقات في هذه المنطقة أشد ميلاً من المنطقة المُجاورة والتي تُوجد فيها الإشارة بسهمٍ أطول ( )، أمَّا بالنسبة للطبقات الأُفقيَّة فيُشار إليها بالإشارة (+) والإشارة (ا) ميل عمودي.



شكل: حالات مُختلفة لميل الطبقات

ونظراً لكون الطبقات الصخريَّة قد تعرَّت خلال مراحل تطوُّرها الطويلة إلى عمليَّات داخليَّة تكتونيَّة، فإنَّ المنطقة يُمكن أن تكون قد تصدَّعت وتكسرَّت، وللإشارة إلى الصدوع يُستخدم الخط الأسود العريض نسبيَّاً بالنسبة للخط الفاصل بين الطبقات(——)، ويجب الإنتباه إلى أنَّ الخط الفاصل بين الطبقات هو خط أسود أيضاً، ولكنَّه أدق ويُساير الحدود الفاصلة بين الألوان والمُشيرة للطبقات، ويكون عادةً أكثر تعرُّجاً من خط الصدع الذي يخترق أكثر من طبقة صخريَّة في أغلب الأحيان، ويكون أقرب للاستقامة، وكثيراً ما تكون الصدوع على شكل تجمُّعات في منطقة مُعيَّنة، أو تتوزَّع باتجاهاتٍ مُختلفة، ولهذه الصدوع امتداد أُفقي مُحدَّد تشكَّل نتيجة لقوَّة الحركة التكتونيَّة التي أصابت الطبقات الصخريَّة، ويُمكن حساب مدى الامتداد الأُفقي للصدوع بسهولة، وذلك بقياس هذا الامتداد بوساطة المسطرة وتحوُّله حسب مقياس الخريطة، فإذا كان طول الصدع على الخارطة ذات المقياس (1/50000) (7 سم)، فإنَّ طوله على الحقيقة هو:

7 × 50.000 = 350000 سم أو 3.5 كيلو متراً.

أمَا بالنسبة لمدى الصدع العمودي فهُناك صعوبة في تحديدُه، ويتم ذلك على أساس آبار السبر، فمن خلال الآبار العميقة أو الأمواج الاهتزازيَّة يُمكن تحديد الطبقات التي يمرُّ فيها الصدع.

وهُناك ظاهرة أُخرى يُمكن أن نُلاحظها على الخرائط الجيولوجيَّة، وخاصَّةً بالنسبة للصدوع التي حدثت قبل الزمن الرابع، ففي المناطق التي تُصبح منطقة تراكُم، فإنَّ الصدع في هذه المنطقة يتغطَّى بالمجروفات والأنقاض الرُباعيَّة، ويُطلق عليها في هذه الحالة اسم الصدع المُخفي، ويُمكن الاستدلال عليه من خلال امتداد الصدع على جانبي المنطقة التراكُميَّة، ويُمكن أن يظهر الصدع على أحد جانبي المنطقة التراكُميَّة فقط، وهُنا يصعُب تحديد مدى استمراره في منطقة التراكُم بالطُرق العاديَّة، ويُمكن أن تظهر على الخارطة (الفرنسيَّة) أماكن الالتواءات المُقعرَّة السانيكلينال >---<، والمُحدَّبة الآنتي كلينال <---<.

وكذلك فإنَّ الطبقات الصخريَّة التي توضَّعت ضمن ظروف مُعيَّنة، واستمرَّت فترة الترسيب مدَّة مُعيَّنة، لذلك فإنَّ سماكة الترسيب في الأحواض تكون مُتباينة، ولتحديد هذه السماكات في كُل طبقة صخريَّة لا بُدَّ من حفر آبار السبر في المناطق المُختلفة أو بالطُرق الأخرى.

ونستطيع التعرُّف على سماكات الطبقات الصخريَّة من خلال مفتاح الخارطة المُرافق لها، حيثُ تكتب عليها سماكة كُل طبقة من الطبقات، ولا بُدَّ من معرفة طبيعة الصخور المُشكلَّة للطبقات، لأنَّ ذلك له أهميَّة كبيرة في تحديد طبيعة التطوُّر المُقبلة للمنطقة، وخاصة مدى تأثير العمليَّات الحتيَّة والمُناخيَّة في هذه الصخور، فالصخور الكلسيَّة ضمن المناخ الرطب تتحلَّل بسرعة، وتتشكَّل فيها مجموعة من المظاهر الكارستيَّة، بينما الصخور نفسها في المناطق الجافَّة فتكون عرضةً لنوع آخر من التجويَّة هو التفكُّك الميكانيكي وللتجوية الريحيَّة، ومن الطبيعي أنَّ كُل نوع من الصخور له خصائصهُ الفيزيائيَّة والكيميائيَّة المُحدَّدة وذلك بعلاقته مع العوامل الطبيعيَّة الأُخرى، لذلك فإنَّ مفتاح الخارطة يحتوي على الأنواع الصخريَّة المُشكلَّة لكُل طبقة من الطبقات، ويُمكن بتعرُّفنا على هذه العناصر إقامة دراسة جيولوجيَّة للخارطة الجيولوجيَّة الموجودة بين أيدينا.

مقياس الخريطة:

وهو نسبة التصغير للمساحة على الطبيعة، أي أنَّ المقياس هو: نسبة البُعد الخطِّي على الخارطة الطبوغرافيَّة أو الجيولوجيَّة، والبُعد الحقيقي على الطبيعة، ويُكتب المقياس إمَّا بشكل كسر عادي تُمثل الصور (البسط) البُعد على الخارجة والمخرج (المقام) البُعد الحقيقي مثل ($\frac{1}{1000}$)، أي أنَّ كُل (1) سم على الخارطة يُقابله (1000) سم، (10) م على الطبيعة، فلو قسنَا بالمقياس نفسه طول صدع على الخارطة بلغ (5) سم، فما علينا إلَّا أن نُطبِّق علاقة التناسُب البسيطة في حساب طول الصدع الحقيقي فنقول:

كُل (1) سم على الخارطة يُقابله (1000) سم على الطبيعة

كُل (5) سم على الخارطة يُقابله (س) على الطبيعة

س = 1000 × 5 = 5000 أو 50 م

أو (1/50000) كُل (1) مم على الخريطة يُقابله (50) م على الطبيعة.

إمَّا أن يُرسم المقياس بشكلٍ خطِّي، وهو المُقياس العددي نفسُه مقلوباً إلى مقياس خطِّي، ويُقسم الخط إلى أطوال متساوية تتناسب مع أبعاد حقيقيَّة متساوية.

مفتاح الخارطة:

وهو مفتاح التطبُّق الستراتيغرافي للخارطة، حيثُ يضم جميع الطبقات الصخريَّة المُتوضعة ستراتيغرافيَّاً، والموضوعة ضمن الخريطة الجيولوجيَّة.

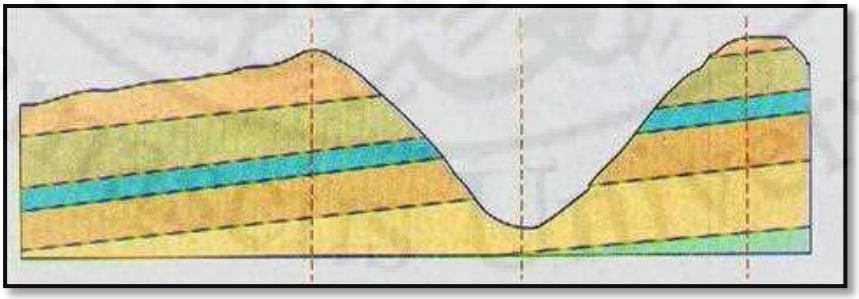
ويُوجد المفتاح في الخريطة الجيولوجيَّة (1/50000) للقطر العربي السوري على شكلين:

آ- إمَّا أن تكون الطبقات القديمة في أعلى السُلَّم، والحديثة في الأسفل، أو العكس تكون الطبقات الحديثة في الأعلى والقديمة في الأسفل، أي تتوافق مع التوضُّع الستراتيغرافي الحقيقي، وهذه المسألة ليست كبيرة الأهميَّة، ويُبيَّن على المفتاح كما ذكرنا سماكة الطبقات، والطوابق الصخريَّة وأنواعها وتركيبها وأعمارها، وفي كثير من الأحوال المُستحاثات الموجودة فيها، وجميع هذه المصطلحات لها استعمال عالمي، وقد أُقرَّت في مؤتمرات جيولوجيَّة دوليَّة.

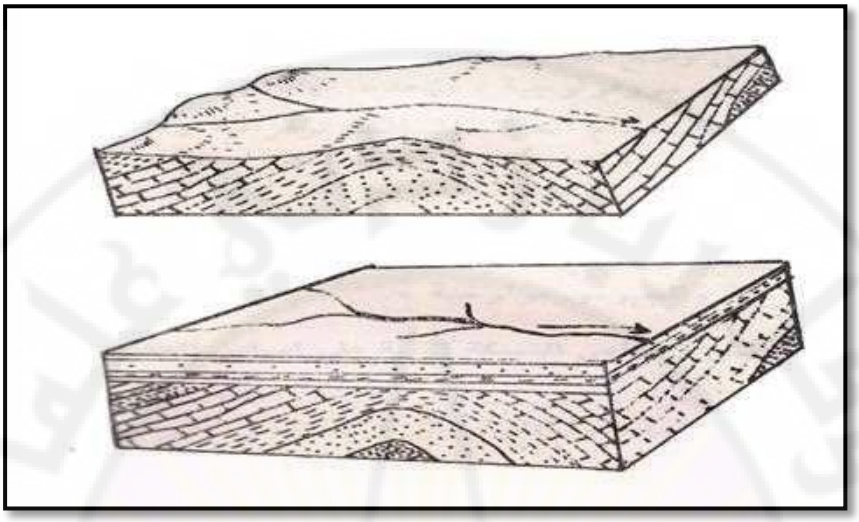
مفهوم ميل الطبقة وعلاقته مع الانحدار:

يُشير هذان المُصطلحان إلى مفهومين مُختلفين عن بعضهما، فميل الطبقات هو الهندسة الطبقيَّة التي تشكلَّت بموجبها طبيعة الطبقات وتوضعها فوق بعضها، وتلعب الحركات التكتونيَّة في هذا التوضُّع الدور الأساسي، لذلك يُمكن تعريف الميل بأنَّه: الزاوية المحصورة بين سطح الطبقة والمستوى الأُفقي.

أمَّا الانحدار فيُمثِّل السطح الخارجي الطبوغرافي، وهو أيضاً يُمثِّل العلاقة بين السطح الخارجي والمستوى الأُفقي، ولكن الفارق أنَّ العوامل الخارجيَّة تلعب دوراً كبيراً في تغيير الانحدار، فكثيراً ما يُصادف في الطبيعة أنَّ طبقات صخريَّة ذات ميول شديدة سوَّت سطحها عوامل التعرية، وحوَّلتها إلى منطقة مستوية قليلة الانحدار، بينما ما زالت شديدة الميل.



شكل: العلاقة بين الميل والانحدار



شكل: مقطع جيولوجي – جيومورفولوجي تمثيلي

معنى تكشُّف الطبقات الصخريَّة:

التكشُّفات الصخريَّة أقسام ظاهرة على سطح الأرض من الطبقات الأعمق، وتلعب الدور البارز في هذه التكشُّفات العوامل الخارجيَّة (أنهار – ثلوج – رياح.....الخ)، وطبيعة توضُّع الطبقات الداخليَّة لها أهميَّة كبيرة في مدى اتساع المساحة المُتكشفة من الطبقات، ففي المناطق ذات البُنية المائديَّة أو القريبة منها يكون تكشُّف الطبقات أوسع بكثير من تكشُّف الطبقات في المناطق ذات البُنيات شديدة الميل.

الفصل الثاني

التحليل المورفومتري لشبكة التصريف النهري

يُمكن تعريف التحليل المورفومتري (morphametris analysis) بأنَّه هو : التحليل الجيومورفولوجي لسطح الارض بالاعتماد على الأرقام والبيانات المُستخلصة من المصوَّرات الطبوغرافيَّة، وتحليل حوض نهري، أو دراسة كويستا، أو مجموعة كثبان رملية، أو تحليل لسان جليدي، وقد حلَّ التحليل المورفومتري محلَّ الدراسات والبحوث الجيومورفولوجيَّة الوصفيَّة.

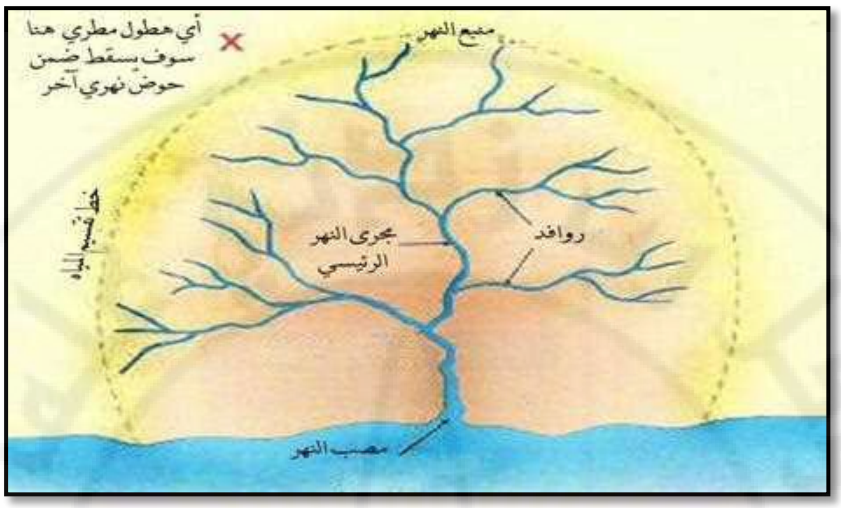
نتعرَّض في هذه الفقرة بإيجاز لبعض وسائل التحليل المورفومتريَّة الخاصَّة بشبكة التصريف النهريَّة، ودراسة العلاقة بين أحواض التصريف والمقارنة بينهما، بالاعتماد على طرق موضوعية وأساليب كميَّة (quantitative means) .

- الخصائص المورفومترية للحوض النهري :

إنَّ القياسات المورفومتريَّة للأحواض النهرية ترجع أساساً إلى:

١- اختلاف مساحة الحوض.
٢- كثافة الشبكة المائية.
٣- أعداد الروافد.
٤- معدَّل التضرس.
٥- نسبة التكرار.

} وهي متغيِّرات مرتبطة بعضها ببعض



شكل: الحوض النهري

١- مساحة الحوض النهري:

مساحة الحوض النهري: هو متغيِّر مورفومتري، يتأثَّر بحجم التصريف المائي داخل الحوض. كلَّما ازداد حجم التصريف ازدادت مساحة الحوض، ويُمكن حساب مساحة الحوض من خلال الخريطة الطبوغرافية ومنحنيات التسوية وتحديد خط تقسيم المياه (هو الخط الفاصل بين حوضين نهرين)، ومن أهم طرق قياس المساحات:

أولاً: طريقة البلانميتر:



وهي وسيلة دقيقة ويجب قياس المساحة عدَّة مرات لدقة النتائج

ثانياً: هناك طرق تقليدية للقياس تتمثَّل في:

تقسيم الحوض النهري المراد قياس مساحته على الخريطة إلى عدد من المربعات أو المثلثات، ثُمَّ القيام بحساب مساحة كل مربَّع أو مثلث على حده، ثُمَّ جمعها لمعرفة مساحة الحوض كاملاً.

٢- عرض الحوض (Basin Width):

يُمكن قياس عرض حوضٍ ما بإنشاء خطوط متساوية من المصب إلى المنبع، وقياس هذه الخطوط، وحساب متوسط عرض الحوض، أمَّا شكل الحوض فيتم معرفته وتقديرهُ من خلال المعادلة التالية:

$$\text{شكل الحوض} = \frac{\text{مساحة الحوض}(\text{كم}^2)}{\text{طول الحوض}}$$

٣- طول الحوض (Basin length):

يُمكن تحديده بخط يمتد بين المصب وأعلى نقطة فوق خط تقسيم المياه عند المنبع.

٤- محيط الحوض:

يُمكن أن نحدِّد الحوض بواسطة مناطق تقسيم المياه (أو خطوط الذرى)، ويُمكن قياس محيط الحوض بواسطة عجلة قياس خاصة (divider)، أو بواسطة الخيط أو المسطرة أو الفرجار، ومن خلال محيط الحوض يُمكن تحديد شكله.

ويُعتبر شكل الحوض أهم مظهر من مظاهر التطور الجيومورفولوجي للحوض.

٥- معامل الاستدارة للحوض النهري (Basin circularity):

يُمكن حساب معدل الاستداره من خلال المعادلة التالية:

$$\text{معامل الاستدارة} = \frac{\text{مساحة حوض نهري ما}(\text{كم}^2)}{\text{مساحة دائرة محيطها يساوي محيط الحوض نفسه}}$$

((وكلما كان الناتج قريباً من الواحد الصحيح كان شكل الحوض قريباً من الدائرة)).

٦- استطالة الحوض (Basin longation):

يُمكن حسابه من خلال:

$$\text{استطالة الحوض} = \frac{\text{قطر دائرة مساحتها تساوي مساحة الحوض}}{\text{أقصى طول للحوض}}$$

– تضرس الحوض النهري:

يُعتبر تضرس الحوض النهري انعكاساً لنشاط عمليات الحت والتعرية وأثرها في تشكُّل سطح الأرض ضمن حدود الحوض، كما يعدُّ انعكاساً لأثر أنواع الصخور وخصائصها الليتولوجيه والبنيوية.

١– معامل التضرس (Relief ratio):

يُمكن حساب معامل التضرس من خلال:

$$\text{معامل التضرس} = \frac{\text{أعلى نقطة داخل الحوض} - \text{أدنى نقطة في الحوض}}{\text{طول الحوض}}$$

((علماً بأنَّ معدَّل التضرس يتناسب طرداً مع درجة التضرُّس))

٢ – التضاريس النسبية (Relative relief):

تتم من خلال المعادلة التالية:

$$\text{نسبة التضرُّس} = \frac{\text{التضرُّس الكلِّي للحوض (م)}}{\text{محيط الحوض (كم)}} \times ١٠$$

تُبين هذه العلاقة بوجود ارتباط كبير بين نوعية صخور الشبكة المائية أي مقاومة الصخور لعمليات التعرية .

٣– معدَّل ارتفاع المنطقة ضمن الحوض (Elevation relief ratio):

يُمكن حساب معدَّل الارتفاع وفقاً للمعادلة التالية:

$$\text{مُعدَّل الارتفاع} = \frac{\text{متوسط ارتفاع المنطقة} - \text{أدنى نقطة في المنطقة}}{\text{التضرس الكلِّي}}$$

من خلال معدَّل الارتفاع يُمكننا تحديد متوسط ارتفاع المنطقة، وطبيعة سطحها، وكما أسلفنا سابقاً هناك علاقة وثيقة ما بين شكل الحوض والروافد للأنهار، وبين خصائص صخور المنطقة

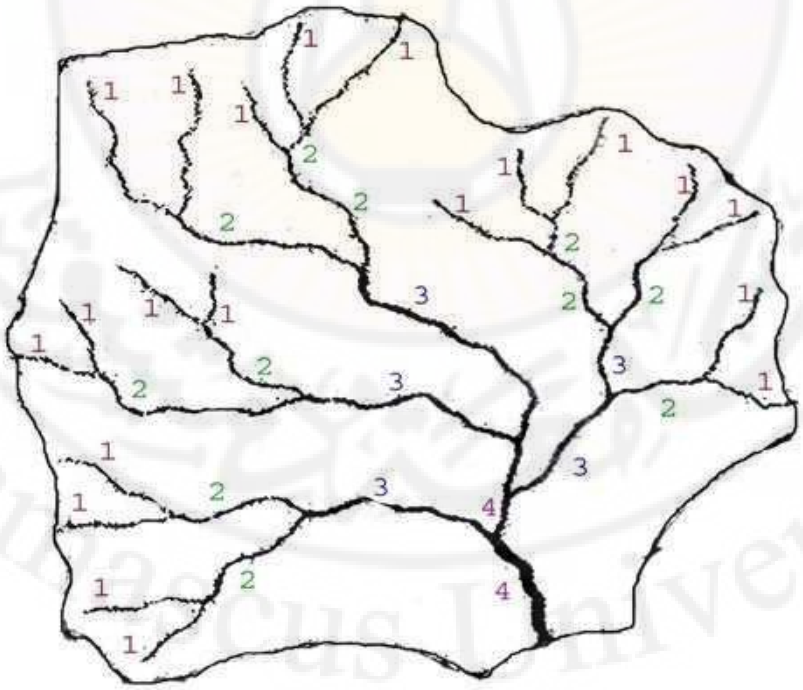
وتركيبها، بالإضافة إلى ظروف المناخ القديم والحديث، ويُمكن قياس خصائص التصريف النهري من خلال حساب معدل التشعب (bifurcation ratios) ويُقصد به:

$$\text{معدَّل التشعُّب} = \frac{\text{عدد المجاري لرتبةٍ ما}}{\text{عدد المجاري للرتبة التي تليها مباشرةً}}$$

يُمكن حساب نسبة التشعب من خلال متوالية هندسية، حيث تأخذ مجاري المرتبة الأولى الروافد التي تلي مباشرةً خطوط تقسيم المياه، وكلَّما اجتمع رافدين من الدرجة الاولى أخذت المرتبة الثانية وهكذا... إلى أن نصل إلى مرتبة النهر الرئيسي.

ويُمكن حساب نسبة التكرار من خلال:

$$\text{نسبة التكرار} = \frac{\text{عدد مجاري النهر بالكامل}}{\text{مساحة الحوض}(\text{كم}^2)}$$



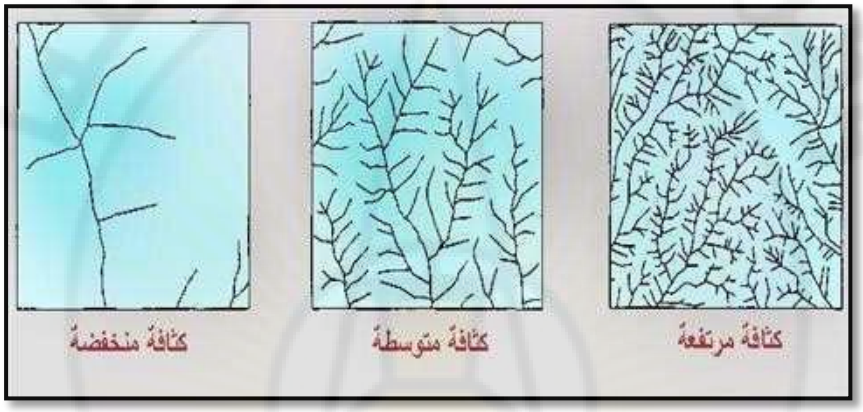
شكل: مراتب الروافد في حوض نهري

- كثافة التصريف (drainage density):

يُمكن الحصول عليها من خلال المعادلة التالية:

$$\text{كثافة التصريف} = \frac{\text{طول الشبكة المائية}}{\text{مساحة الحوض بالكامل}(\text{كم}^2)}$$

ومن خلالها يمكن تحديد نوع الصخر والتربة والغطاء النباتي والإنسان وأثرها على الشبكة المائية.



شكل: كثافة التصريف النهري

جدول المصطلحات العلميَّة

مُرتبة وفق الأحرف الأبجديَّة الإنكليزيَّة

المصطلح العلمي باللغة العربيَّة	المصطلح العلمي باللغة الأجنبيَّة
-A-	
حت بري (بفعل الرياح)	Abrasion
التجميع (المائي)	Abstraction
صخور عميقة	Abyssal Rocks
الطوارئ	Accidents (Climatic – Volcanic)
الاتساق القمي	Accordance of Summit Levels
المخروط الوليد	Adventive Cone
الرواسب الهوائيَّة	Aeolian deposits
الردم	Aggradation
ثغرة الهواء	Air (Wind) gap
الباستر	Albaster
البيت	Albite
الرواسب الفيضيَّة	Alluvial deposits
المراوح الفيضيَّة	Alluvial fans
أمونيتات	Ammonoidea
برمائيَّات	Amphibia
أُمفيبول	Amphibole
انديزيت	Andesite
انهدريت	Anhydrite

Antecedent Vallery	الوادي السالف
Anthracite	انتراسيت
Anticline	محدَّب
Anticline ridge	عرق تحدُّبي
Apatite	أباتيت
Aquifer	مستودع الماء الجوفي
Aragonite	ارغوانيت
Archeozoic	حقب فجر الحياة
Arches, marine	الأقواس البحريَّة
Arenaceous Rocks	الصخور الرمليَّة
Aretes	القمم المُسنَّنة
Argillaceous Rocks	الصخور الطينيَّة (الغُضاريَّة)
Arid erosion	التعرية الجافة
Arthopoda	مفصليَّات الأرجل
Ash, Volcanic	الرماد البُركاني
Asthenosphere	استنوسفير (طبقة ضمن المعطف الأعلى)
Atmosphere	الغلاف الغازي (الجوي)
Atoll	جزيرة مرجانيَّة
Atolls	الحلقات المرجانيَّة
Attrtion	التفتُّت بالاحتكاك
Augite	أوجيت
Avalanches	انهيارات (جليديَّة)
Azonal Soils	تربات لانطاقيَّة

-B-	
Beach	الشاطئ
Back Slopes	السفوح الخلفيَّة
Back – Wearing (in Deserts)	الحت الخلفي
Bahadas	البهادات
Barite	باريت
Barrier – Beaches	الشواطئ الحاجزة
Bars	حواجز
Basalt	بازلت
Basalt domes	القباب البازلتيَّة
Base – Level	مستوى القاعدة (الأساس)
Batholiths	صخور الأعماق
Bauxite	بوكسيت
Bed (Stream)	قعر – قاع
Bedding Planes	سطوح الانفصال
Bedrocks	صخر الأديم
Beheaded Rivers	الأنهار المقطوعة
Belemnites	النصليَّات
Benches	مصاطب
Bergschrund	الهوة الجليديَّة
Berm	الشاطئ النهري
Betrunked Rivers	الأنهار المغمورة المصبَّات
Biology	علم الأحياء

Biosphere	الغلاف الحيوي
Biotite	بيوتيت
Blastoidea	برعمانيَّات
Bogaz	البوجاز (التشرشر الجيري)
Boulders	جلاميد
Box Fold	طيَّة صندوقيَّة
Brachiopoda	عضديَّات الأرجل
Braided Streams	الأنهار المُتعددة المجاري (المُضفرة)
Breakers	أمواج الساحل
Breccia	بريش
Brook	جدول
Buttes	الشواهد
-C-	
Caldera	كالديرا
Capillarity	الخاصَّة الشعريَّة
Canyon	أخدود
Cap-rock	السطح الصلد
Cap-rock falls	مساقط السطوح الصلدة
Cavern	مغارة
Centripetal drainage	التصريف المركزي
Corrosion	التحلُّل (الحت الكيميائي)
(Kar Cirques)	الحلبات
Crystalline rocks	صخور بلوريَّة

Carbonation	التكربن
Coagulation	تعقُّد
Clastic rocks	صخور حطاميَّة
Clay (residual)	الصلصال الموضعي
Cliffs	جروف (جمع: جرف)
Coast	ساحل
Col	ثغرة الحلبة الجليديَّة
Composite falt scraps	حافَّة مركبة
Consequent streams	أنهار تابعة (أصليَّة)
Continental platform	الرصيف القاري
Continental Shelf	الرفرف القاري
Coral reefs	شعاب المُرجان
Corrasion	الحت الميكانيكي (التفكُّك)
Corries	الحلبات المُعلَّقة
Coulees	أنهار اللابة (أنهار المهل)
Crater	فوهة البُركان
Creep (Soil)	زحف التربة
Crevass	صدع الجليد
Cuesta	الكويستا
Cuspate Shores	السواحل المُسنَّنة
Cwms	الحلبات (اسم محلي في ويلز)
Cut-offs (meander)	قطوع (الثنيَّات)
Collapse sinks	البالوعات الإنهياريَّة

Coalescing glaciers	أنهار جليديَّة مُندمجة
Cementation	التحام
Contact metamorphism	تحوُّل احتكاكي
Conformable strata	طبقات مُنتظمة
Concordant strata	طبقات مُتوافقة
Conglomerates	الصخور التجميعيَّة (الرصيص)
Cometent beds	طبقات مُتكافئة
Cycle (erosion)	دورة التعرية
Cleavage	انشطار
Coherence	تماسك
Centrifugal force	القوة الطاردة المركزيَّة
Cumulo-dmes	قباب التراكُم
Columnar jointing	التشقُّق العمدي
Confluence	مقرن
Calcite	كالسيت
Caldera	كالديرا (فوهة بُركانيَّة)
Cambrian	كمبري
Carbonates	كربونات
Carboni ferrous	كربوني (دور)
Cenomanian	سينوماني
Cenzoic	حُقب الحياة الحديثة
Cephalopoda	رأسيَّات الأرجل
Chalk	حوَّار

Canal – hannel	قناة
Chemical Weathering	التجوية الكيميائيَّة
Chromosphere	الكروموسفير (طبقة الضوء الأحمر المُحيطة بالشمس)
Chlarite	كلريت
Clacialogy	علم الجليد
Clay	غُضار
Clay rock	صخر غُضاري
Cleavage	انفصام
Coast	ساحل
Colour	لون
Comb–shaped fold	طيَّة عُرفيَّة
Comet	مُذنَّب
Compression	انضغاط
Concave	مُقعَّر
Conformity	توافُق طبقي
Contact metamorphism	تحوُّل تماسي
Continental glaciers	جليديَّات قاريَّة
Convex	مُحدَّب
Compound coast	ساحل مُركَّب
Cretaceous	كريتاسي (دور)
Crown	تاج الشمس
Crustacea	قُشريَّات

Crystal system	نظام بلوري
Cubic system	نظام مُكعَّبي
-D-	
Delta Kame	دلتا كام
Delta Coast	ساحل الدلتا
Devonian	ديفوني (دور)
Diamond	ماس
Diatomite	دياتوميت
Diorite	ديوريت
Dolomite	دولوميت
Drmlins	كثيب جليدي
Dust Wall	ثُقب اسطواني عميق
Dyke	جدار بازلتي
-E-	
Earth	الأرض
Earth Core	نواة الأرض
Earth Crust	القشرة الأرضيَّة
Earth quake	زلزال
Eclogite	إكلوجيت
Echinodermata	شوكيَّات الجلد
Economic geology	الجيولوجيا الاقتصاديَّة
Elasticity	مرونة
Emergence Coast	ساحل ناهض

End Moraine	مورين نهائي
Endo-dynamic	العمليَّات الداخليَّة
Engineering geology	الجيولوجيا الهندسيَّة
Eocene	إيوسين (عصر)
Eperogenic movement	الحركة الإيبروجينيَّة
Epoch	عصر
Era	حُقب
Erratic-block	كتلة ضالَّة
Esker	الاسكر
Exosphere	الغلاف الخارجي
Exogenetic	العمليَّات الخارجيَّة
-F-	
Fan-Shaped fold	طيَّة مروحيَّة
Fault	صدع (فالق)
Fault Coast	ساحل صدعي
Feld spar	صفاح
Finger Lake	بُحيرة إصبعيَّة
Fiord Coast	ساحل الفيورد
Firn	فيرن (ثلج مرصوص)
Flint	صوَّان
Flora	مجموع نباتي
Flurite	فلوريت
Fold	طيَّة

Foraminifera	مُنخربات
Fossil	مستحاثَّة (أحفورة)
Freatic Water	مياه جوفيَّة
Fracture	مكسر
Frost Weathering	التجوية الجليديَّة (التجمنُّد)
-G-	
Gabbro	غابرو
Galena	غالينا
Gastropoda	معديات الأرجل
Genus	جنس
Geoid	جيوئيد
Geology	علم الجيولوجيا
Geomorphology	علم أشكال الأرض
Geophysics	جيوفيزياء
Geothermal gradient	تدرُّج الحرارة الباطنيَّة
Geyser	فوَّارة حارَّة (جيزر)
Glaciology	علم الجليديَّات
Glacier Lake	بُحيرة جليديَّة
Glacier Ice	لسان جليدي
Granite	غرانيت
Graben	غور
Graptolites	غرابتوليتات
Group	مجموعة

Gneiss	غنايس
Gypsum	جص
-H-	
Halite	هاليت
Hanging Valley	وادي مُعلَّق
Hardness	قساوة
Hematite	هيماتيت
Hestorical geology	جيولوجيا تاريخيَّة
Hexagonal system	نظام سُداسي
Horn	قرن جبلي
Hornblende	هورنبلند
Horst	نجد
Hot springs	ينابيع حارَّة
Hedrogeology	هيدروجيولوجيا
Hydrology	هيدرولوجيا
Hedroclastisme	شقوق التجفُّف
Hydrosphere	الغلاف المائي
Hercyniane	هرسينيَّة (التواءات)
-I-	
Ice berg	جبل جليدي
Ice fild	حقل جليدي
Igneous rocks	صخور ناريَّة
Inclined fold	طيَّة مائلة

Inner Core	نواة داخليَّة
Intrusive rocks	صخور مندسَّة
Insecta	حشرات
Invertebrate	لافقاريَّات (حيوانات)
Inverted fold	طيَّة مقلوبة
Isoclinal fold	طيَّة متماثلة الميل
–J–	
Jupiter	المشتري
Jurassic	جوراسي (دور)
–K–	
Kame	كام (أشكال جليديَّة)
Kaolinite	كاولينيت
–L–	
Laccolith	لاكوليت
Lagoon	بُحيرة مالحة (لاغون)
Lamellibranchia	صفيحات الغلاصم
Lateral Moraine	رُكام جانبي
Laterite	لاتيريت
Lava	لابة
Leavis	ليافا (أمواج اهتزازيَّة)
Liassic	لياسي (عصر)
Lignite	ليغنيت
Limb	جناح الطيَّة

Limnology	علم البُحيرات
Limonite	ليمونيت
Lustre	بريق
-M-	
Magma	مهل
Magnesite	ماغنيزيت
Magnetite	ماغنيتيت
Malachite	مالاكيت
Mammalia	ثديَّات
Mammillated surface	سطح غنمي
Mantle	معطف (الغلاف الأوسط في الأرض)
Marble	رخام
Marl	مارن
Mars	مريخ
Medial moraine	رُكام أوسط
Mercury	عُطارد
Mesosphere	الغلاف المتوسِّط
Mesozoic	حُقب الحياة الوسطى
Metal	معدن
Metamorphic rocks	صخور متحولة
Meteorite	نيزك
Mica	ميكا
Micaschiste	ميكاشيست

Micro ctimate	مُناخ أصغري (محلِّي)
Mineral	فلز
Mineralogy	علم الفلزَّات
Miocene	ميوسين (عصر)
Mollusca	رخويَّات
Monocline	طيَّة وحيدة الميل
Moraine	رُكام جليدي
Morphogenese	تكوُّن التضاريس وتطوُّرها
Mother rocks	صخور الأم
Mud	طين
-N-	
Neogene	نيوجين (دور)
Neolithic	نيوليتي (عصر)
Neptun	نبتون
Neutral Coast	ساحل مُحايد
Nife	نيف (النواة)
Nuna taks	بوارز صخريَّة
-O-	
Obsidian	أوبسيديان
Oligocene	أوليغوسين (عصر)
Olivine	أوليفين
Onyx	أونيكس
Outer Core	نواة خارجيَّة

Out wanch plain	سهل الغسل
Optical properties	صفات ضوئيَّة
Ordovician	أوردوفيشي (دور)
Organic weathering	تجوية حيويَّة
Organic movement	حركة أورجينيَّة
Orthoclase	أورتوكلاز
Orthorhomic system	نظام معين مستقيم
Ox boow lake	بُحيرة هلاليَّة
Oxidation	أكسدة
Oxide	أكسيد
–P–	
Palacontology	علم المستحاثات
Paleocene	باليوسين (عصر)
Paleogene	باليوجين (دور)
Paleolithic	باليوليتي (عصر)
Paleozoic	حُقب الحياة القديمة
Pegmatite	بغماتيت
Pelecypoda	صفيحات الغلاصم
Peridotite	بيريدوتيت
Period	دور (تقسيم زمني)
Permain	برمي (دور)
Petrography	علم الصخور
Phosphates	فوسفات

Photosphere	فوتوسفير
Physical properties	صفات فيزيائيَّة
Physical Weathering	تجوية فيزيائيَّة
Pedmont glaciers	جليديَّات حضيض الجبال
Placental	مشيميَّات
Plagioclase	بلاجيوكلاز
Plante	كوكب سيَّار
Plasticity	لدونة
Platinum	بلاتين
Pleistocene	بليستوسين (عصر)
Plat formen	عتبات قاريَّة (ركائز)
Pluto	بلوتو
Pluvial Lake	بُحيرة ناجمة عن التفريغ الريحي
Plutonic Earth quakes	زلازل بلوتونيَّة
Precambrian	بريكامبري (حُقب)
Pressure	ضغط
Process	عمليَّة
Protista	وحيدات الخليَّة
Proterozoic	حُقب الحياة الأولي
Pudding	بودينغ
Pyrite	بيريت
Pyroxene	بيروكسين
-Q-	

Quartz	مرو (كوارتز)
Quarternary	رابع (حُقب)
-R-	
Recent	حديث (عصر)
Recumbent fold	طيَّة مستلقيَّة
Red snow	ثلج أحمر
Refracion	انكسار
Refeaction, Wave	انكسار الموجة
Regional metamorphism	تحوُّل إقليمي
Relative	نسبي (عمر)
Relative chronology	طرائق نسبيَّة لتحديد عمر الصخور
Reley	ريليا (أمواج زلزاليَّة)
Reptilia	زواحف
Reversal of topography	انقلاب التضاريس
Reverse fault	صدع عكسي
Rhyolite	ريوليت
Ria coast	ساحل الريا
Rock	صخر
Rock crystal	بلور صخري
Rock salt	ملح صخري
-S-	
Sand	رمل
Sand stone	صخر رملي

Saturm	زُحل
Scleractinia	مرجانيَّات سُداسيَّة
Scorpinida	عقربيَّات
Sedimentary rocks	صخور رسوبيَّة
Sedimentation	ترسيب
Seismic wave	موجة اهتزازيَّة
Seismograph	جهاز تسجيل الهزَّات
Seismogram	سجل زلزالي
Seismology	علم الهزَّات (الزلازل)
Senonian	سينوني (طابق)
Sial	سيال
Silica group	مجموعة السيليكات
Silicates	سيليكات
Silurian	سيلوري (دور)
Sima	سيما
Snow Flake	ندف الثلج
Snow line	خط الثلج
Solar constant	ثابت الشمسي
Specific gravity	الوزن النوعي
Sphalerite	سفاليريت
Spire	حلزون
Sponges	اسفنجيَّات
Spring tide	مد عالي

Stalactites	نوازل
Stalagmites	صواعد
Stegocephals	سقفيَّات القحف
Step fault	صدع مدرَّج
Stratigraphy	علم التطبُّق
Streak	مخدش
Structure geology	جيولوجيا بنيويَّة
Submergence coast	ساحل مغمور
Sulfates	كبريتات
Sulfur	كباريت
Superposition	مبدأ تعاقب الطبقات
Syenite	سيانيت
Syncline	مُقعَّر
-T-	
Taste	مذاق
Tectonic	تكتوني
Tectonic Earth quakes	زلازل تكتونيَّة
Tectonic Lake	بُحيرة تكتونيَّة
Teritary	الحُقب الثالث
Tetracoralla	مرجانيَّات رُباعيَّة
Tetragonal system	نظام رُباعي
Thermal spring	ينبوع حار
Tombolo	تومبولو (حبال رابطة)

Trachyte	تراخيت
Transparency	شفافيَّة
Transportation	نقل
Triassic	ترياسي (دور)
Triclinic system	نظام ثلاثي الميل
Trigonal system	نظام ثلاثي
Trilobita	ثُلاثيَّات الفصوص
Troposphere	تروبوسفير
Tsunemis	موجة زلزاليَّة
Tuffite	صف بركاني بحري
–U–	
Uncoformity	عدم توافق طبقي
Uraninte	أورانيتيت
Uranus	أورانوس
–V–	
Valley glaciers	جليديَّة الأودية
Valve	مصراع
Venus	زهرة (كوكب)
Volcanic –Earth quakes	زلازل بركانيَّة
Volcanic tuff	طف بركاني
Volcanism	بركنة
Volcano	بركان
Volcanic Lake	بحيرة بُركانيَّة

Volcano Coast	ساحل بركاني
-W-	
Wall	جدار
Water table	منسوب المياه الجوفيَّة
Wave	موجة
Weathering	تجوية
-Z-	
Zone	نطاق
Zoology	علم الحيوان

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

فهرس الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل
الشكل رقم (١)	الصخور وتوضعاتها
الشكل رقم (٢)	الفلزَّات
الشكل رقم (٣)	شكل الأرض وأبعادها
الشكل رقم (٤)	الجيوكيمياء
الشكل رقم (٥)	الزلزال
الشكل رقم (٦)	هيدرولوجيا المياه
الشكل رقم (٧)	أشكال سطح الأرض
الشكل رقم (٨)	الجيولوجيا التاريخيَّة
الشكل رقم (٩)	طبقات القشرة الأرضيَّة
الشكل رقم (١٠)	الترسيب
الشكل رقم (١١)	جيولوجيا البترول
الشكل رقم (١٢)	البلورات
الشكل رقم (١٣)	مجرَّة درب التبانة
الشكل رقم (١٤)	مجموعة الكواكب حول الشمس
الشكل رقم (١٥)	عناصر الشمس
الشكل رقم (١٦)	كواكب المجموعة الشمسيَّة
الشكل رقم (١٧)	مجموعة الكواكب القريبة والبعيدة عن الشمس
الشكل رقم (١٨)	مدارات الكواكب حول الشمس
الشكل رقم (١٩)	القوى المؤثرة في حركة الكواكب
الشكل رقم (٢٠)	مراحل تطوُّر القمر
الشكل رقم (٢١)	المذنب في مداره

الشكل رقم (٢٢)	تركيب المذنب
الشكل رقم (٢٣)	أجزاء المذنب
الشكل رقم (٢٤)	نظريَّة شميث
الشكل رقم (٢٥)	طبقات الكرة الأرضيَّة
الشكل رقم (٢٦)	القشرة الأرضيَّة
الشكل رقم (٢٧)	توزُّع السيال والسيما
الشكل رقم (٢٨)	الوشاح
الشكل رقم (٢٩)	نواة الأرض
الشكل رقم (٣٠)	شكل الأرض وأبعادُها
الشكل رقم (٣١)	الشكل الحقيقي للأرض
الشكل رقم (٣٢)	الجيوئيد
الشكل رقم (٣٣)	مصادر حرارة الأرض
الشكل رقم (٣٤)	صخور تكدَّست خلال الزمن
الشكل رقم (٣٥)	حالة تراكُب الطبقات تحت تأثير القوى الجانبيَّة
الشكل رقم (٣٦)	حالة الصخور الاندفاعيَّة
الشكل رقم (٣٧)	حالة المصاطب النهريَّة
الشكل رقم (٣٨)	حالة التوضُّعات تحت الأرضيَّة
الشكل رقم (٣٩)	توافق طبقي
الشكل رقم (٤٠)	عدم توافق طبقي
الشكل رقم (٤١)	توضُّع غير مُتوافق
الشكل رقم (٤٢)	امتداد الجليديَّات في فجر البريكامبري مُتبعاً لنظريَّة انسياح القارَّات (١- جليديَّات مُحتملة – ٢- جليديَّات فعليَّة)
الشكل رقم (٤٣)	امتداد الجليديَّات في أواخر الفحمي والبرمي

الشكل رقم (٤٤)	مناطق انتشار النموليت والليبيد وسيكلين
الشكل رقم (٤٥)	التسلسُل الزمني للأحقاب الجيولوجيَّة
الشكل رقم (٤٦)	الأحقاب الجيولوجيَّة ونشأة الحياة على سطح الأرض
الشكل رقم (٤٧)	عناصر التناظُر في بلورة الموشور ثلاثي الميول
الشكل رقم (٤٨)	النظام السُداسي ،المعين المستقيم، ووحيد الميل، وثُلاثي الميل
الشكل رقم (٤٩)	خصائص وتركيب وجود المعادن الشائعة في الصخور
الشكل رقم (٥٠)	دورة الصخور
الشكل رقم (٥١)	دورة الصخور الناريَّة
الشكل رقم (٥٢)	تكوُّن الصخور الرسوبيَّة
الشكل رقم (٥٣)	الصخور الرسوبيَّة الحُطاميَّة
الشكل رقم (٥٤)	الصخور الرسوبيَّة الكيميائيَّة
الشكل رقم (٥٥)	الصخور الرسوبيَّة العضويَّة المنشأ
الشكل رقم (٥٦)	الصخور المُتحوِّلة
الشكل رقم (٥٧)	حالة التوازن (نظريَّة التوازن)
الشكل رقم (٥٨)	حالة التوازن للجبال
الشكل رقم (٥٩)	نظرية النوازن
الشكل رقم (٦٠)	مبدأ التوازن حسب نظريَّة برات وإيري
الشكل رقم (٦١)	نظريَّة فغنر
الشكل رقم (٦٢)	تشابه السواحل
الشكل رقم (٦٣)	تشابُه التكوينات الجيولوجيَّة
الشكل رقم (٦٤)	تشابُه المُستحاثَّات
الشكل رقم (٦٥)	التيَّارات الحرارية
الشكل رقم (٦٦)	الصفائح واتجاه حركاتها

الشكل رقم (٦٧)	حركات الصفائح التكتونيَّة
الشكل رقم (٦٨)	تباعُد الصفائح
الشكل رقم (٦٩)	توسُّع قاع المُحيط
الشكل رقم (٧٠)	تقارُب الصفائح التكتونيَّة
الشكل رقم (٧١)	تقارُب صفيحة مُحيطيَّة مع صفيحة مُحيطيَّة
الشكل رقم (٧٢)	تصادُم صفيحة قاريَّة مع صفيحة قاريَّة
الشكل رقم (٧٣)	تصادُم الصفائح التكتونيَّة
الشكل رقم (٧٤)	نشأة جبال هيمالايا
الشكل رقم (٧٥)	خروج تيارات الحملان من الماغما
الشكل رقم (٧٦)	كيفيَّة تكوُّن الالتواءات
الشكل رقم (٧٧)	رسم تخطيطي يُبيِّن تكوُّن الطيَّات تحت تأثير القوى الانضغاطيَّة
الشكل رقم (٧٨)	عناصر الطيَّة
الشكل رقم (٧٩)	عناصر الطيَّة
الشكل رقم (٨٠)	الطيَّة المُتماثلة
الشكل رقم (٨١)	الطيَّة غير المُتماثلة
الشكل رقم (٨٢)	طيَّة مُتناظرة
الشكل رقم (٨٣)	طيَّة مائلة
الشكل رقم (٨٤)	طيَّة شديدة الميل
الشكل رقم (٨٥)	طيَّة متوازيَّة
الشكل رقم (٨٦)	طيَّة مقلوبة
الشكل رقم (٨٧)	طيَّة نائمة
الشكل رقم (٨٨)	طيَّة وحيدة الجانب
الشكل رقم (٨٩)	طيَّة مصدوعة

الشكل رقم (٩٠)	طيَّة مروحيَّة
الشكل رقم (٩١)	طيَّة عُرفيَّة
الشكل رقم (٩٢)	طيَّة صندوقيَّة
الشكل رقم (٩٣)	الأغشية المسحوبة
الشكل رقم (٩٤)	ظاهرة انقلاب التضاريس الالتوائيَّة
الشكل رقم (٩٥)	الصدوع
الشكل رقم (٩٦)	أنواع الشقوق
الشكل رقم (٩٧)	حركة الصدوع
الشكل رقم (٩٨)	عناصر الصدع
الشكل رقم (٩٩)	أجزاء الصدع
الشكل رقم (١٠٠)	الصدع العادي
الشكل رقم (١٠١)	الصدع المعكوس
الشكل رقم (١٠٢)	الصدع السُلَّمي
الشكل رقم (١٠٣)	الصدع الأُفقي
الشكل رقم (١٠٤)	غور
الشكل رقم (١٠٥)	خريطة توضِّح فالق البحر الأحمر، والصدوع العرضيَّة
الشكل رقم (١٠٦)	نجد
الشكل رقم (١٠٧)	الصدوع ذات التباعُد المزدوج
الشكل رقم (١٠٨)	حافَّة صدعيَّة
الشكل رقم (١٠٩)	حافة كويستا
الشكل رقم (١١٠)	ظاهرة انقلاب التضاريس الصدعيَّة
الشكل رقم (١١١)	البؤرة الزلزاليَّة، وتمثيل آليَّة تأثيرها
الشكل رقم (١١٢)	الزلازل التكتونيَّة

الشكل رقم (١١٣)	الزلازل البُركانيَّة
الشكل رقم (١١٤)	الزلازل البلوتونيَّة
الشكل رقم (١١٥)	بؤرة الزلزال ومركزه السطحي
الشكل رقم (١١٦)	تعيين مركز الزلزال السطحي بواسطة ثلاث مراصد زلزاليَّة
الشكل رقم (١١٧)	جهاز السيسموغراف ذو الحزمة الضوئيَّة
الشكل رقم (١١٨)	السيسموغرام
الشكل رقم (١١٩)	درجة الزلازل تبعاً لشدتها
الشكل رقم (١٢٠)	الموجات التضاغُطيَّة (p)
الشكل رقم (١٢١)	الموجات المُستعرضة (S)
الشكل رقم (١٢٢)	الموجات الطويلة (L)
الشكل رقم (١٢٣)	آليَّة حدوث التسونامي
الشكل رقم (١٢٤)	إمكانيَّة التنبؤ بالزلازل
الشكل رقم (١٢٥)	حلقة دائرة النار
الشكل رقم (١٢٦)	توزيع المناطق الزلزاليَّة
الشكل رقم (١٢٧)	عناصر البركان
الشكل رقم (١٢٨)	بركان هاواي
الشكل رقم (١٢٩)	بركان سترمبولي
الشكل رقم (١٣٠)	بركان فولكاني
الشكل رقم (١٣١)	بركان بيلي
الشكل رقم (١٣٢)	بركان فيزوف
الشكل رقم (١٣٣)	مرحلة الشباب – البرانكو
الشكل رقم (١٣٤)	مرحلة النضج – البلانيز
الشكل رقم (١٣٥)	مرحلة الهرم – الشيخوخة

الشكل رقم (١٣٦)	الأشكال البنيويَّة للأغشية الاندفاعيَّة
الشكل رقم (١٣٧)	مرحلة الشباب للأغشية الاندفاعيَّة
الشكل رقم (١٣٨)	مرحلة النضج للأغشية الاندفاعيَّة
الشكل رقم (١٣٩)	وادي مُدرَّج – كانيون
الشكل رقم (١٤٠)	مرحلة الشيخوخة – الهرم للأغشية الاندفاعيَّة
الشكل رقم (١٤١)	نافورة الجيزر
الشكل رقم (١٤٢)	العيون الحارَّة
الشكل رقم (١٤٣)	توزُّع البراكين في العالم
الشكل رقم (١٤٤)	مُخطَّط تطوُّر المنظومة الجيوسينكلينالِيَّة
الشكل رقم (١٤٥)	مرحلة الشباب من تطوُّر الجيوسينكلينال
الشكل رقم (١٤٦)	مرحلة النضج من تطوُّر الجيوسينكلينال
الشكل رقم (١٤٧)	مرحلة الشيخوخة من تطوُّر الجيوسينكلينال
الشكل رقم (١٤٨)	خارطة جبال العالم
الشكل رقم (١٤٩)	الانهدام الإفريقي
الشكل رقم (١٥٠)	مُخطَّط تكتوني في غطاء الركيزة لإقليم البحر الأحمر، مع الإشارة إلى العناصر البنيويَّة وانتشار التوضُّعات البُركانيَّة للحُقب الثالث
الشكل رقم (١٥١)	تشكُّل الجبال
الشكل رقم (١٥٢)	نطاق التربة
الشكل رقم (١٥٣)	التفكُّك الحُبيبي
الشكل رقم (١٥٤)	التقشُّر
الشكل رقم (١٥٥)	التفلُّق
الشكل رقم (١٥٦)	التشظِّي
الشكل رقم (١٥٧)	التجمُّد والذوبان

الشكل رقم (١٥٨)	تأثير التجمُّد في عملية التجوية
الشكل رقم (١٥٩)	تبلوُّر الأملاح
الشكل رقم (١٦٠)	الدهان الصحراوي
الشكل رقم (١٦١)	أثر الجذور كتجوية فيزيائيَّة
الشكل رقم (١٦٢)	المياه الجوفيَّة
الشكل رقم (١٦٣)	العوامل المؤثرة في تسرُّب الماء ضمن الصخور
الشكل رقم (١٦٤)	الطبقات الصخريَّة ومدى تشبُّعها بالمياه
الشكل رقم (١٦٥)	الطبقات الخازنة للمياه الجوفيَّة
الشكل رقم (١٦٦)	ينابيع حواف الكويستات
الشكل رقم (١٦٧)	الآبار الارتوازيَّة
الشكل رقم (١٦٨)	الجيزر
الشكل رقم (١٦٩)	مُلوثات المياه الجوفيَّة
الشكل رقم (١٧٠)	العمل الجيولوجي للماء الباطني
الشكل رقم (١٧١)	Sinkhole
الشكل رقم (١٧٢)	بحيرة ذات منشأ تكتوني
الشكل رقم (١٧٣)	بحيرة ذات المنشأ البُركاني
الشكل رقم (١٧٤)	بحيرة كارستيَّة
الشكل رقم (١٧٥)	بحيرة اصطناعيَّة
الشكل رقم (١٧٦)	بحيرة ناجمة عن نشاط نهري
الشكل رقم (١٧٧)	بحيرة جليديَّة
الشكل رقم (١٧٨)	نهر الأمازون
الشكل رقم (١٧٩)	نهر السين
الشكل رقم (١٨٠)	نهر الدورانس

الشكل رقم (١٨١)	تكوُّن الأنهار
الشكل رقم (١٨٢)	دورة الماء في الطبيعة
الشكل رقم (١٨٣)	شبكة التصريف المائي
الشكل رقم (١٨٤)	عرض وعمق المجرى المائي
الشكل رقم (١٨٥)	أبعاد القنوات المائيَّة
الشكل رقم (١٨٦)	حوض نهري
الشكل رقم (١٨٧)	نمط الصرف المُتجشِّر
الشكل رقم (١٨٨)	نمط الصرف المُتعامد
الشكل رقم (١٨٩)	نمط الصرف الشبكي
الشكل رقم (١٩٠)	نمط الصرف الشُعاعي
الشكل رقم (١٩١)	أجزاء المقطع العرضي للنهر
الشكل رقم (١٩٢)	أجزاء المقطع الطولي للنهر
الشكل رقم (١٩٣)	الحركة الإنسيابيَّة
الشكل رقم (١٩٤)	الحركة المُضَّطربة
الشكل رقم (١٩٥)	الحركة الإنسيابيَّة والمُضطربة
الشكل رقم (١٩٦)	تأثير شكل القناة على السرعة
الشكل رقم (١٩٧)	القناة المستقيمة والمنعطفة
الشكل رقم (١٩٨)	خطوط السرعات القصوى – نهر ذو مجرى مُتعرِّج
الشكل رقم (١٩٩)	خطوط السرعات المتساوية في عرضاني مُتناظر
الشكل رقم (٢٠٠)	مقطع عرضي مُتناظر
الشكل رقم (٢٠١)	مقطع عرضي غير مُتناظر
الشكل رقم (٢٠٢)	حمولة النهر
الشكل رقم (٢٠٣)	حركة الماء في المقطع العرضي

الشكل رقم (٢٠٤)	الحفر الوعائيَّة
الشكل رقم (٢٠٥)	أسلوب التفريغ الغازي
الشكل رقم (٢٠٦)	أسلوب تشكُّل الشلالات
الشكل رقم (٢٠٧)	عدم التناظُر في المقطع العرضي
الشكل رقم (٢٠٨)	انحراف الرياح على سطح الأرض
الشكل رقم (٢٠٩)	الحت التراجُعي
الشكل رقم (٢١٠)	مقطع الاتزان
الشكل رقم (٢١١)	أثر الحركة التكتونيَّة على الأسر النهري
الشكل رقم (٢١٢)	دلتا نهر النيل
الشكل رقم (٢١٣)	دلتا مصبَّات خليجيَّة
الشكل رقم (٢١٤)	المصاطب اللحقيَّة
الشكل رقم (٢١٥)	المصاطب المُصندقة
الشكل رقم (٢١٦)	المصاطب المُدرجة
الشكل رقم (٢١٧)	مصاطب المُصندقة جزئيَّاً
الشكل رقم (٢١٨)	المصاطب الحجريَّة
الشكل رقم (٢١٩)	آليَّة تشكُّل الكوع النهري
الشكل رقم (٢٢٠)	تطوُّر الكوع النهري
الشكل رقم (٢٢١)	بُحيرة هلاليَّة
الشكل رقم (٢٢٢)	جبل مقطوع
الشكل رقم (٢٢٣)	الأكواع النهريَّة حسب مُنحنيَّات التسوية
الشكل رقم (٢٢٤)	أبعاد وعناصر الكوع النهري
الشكل رقم (٢٢٥)	الأسر النهري
الشكل رقم (٢٢٦)	الأسر النهري بواسطة تراجع الرأس (عالية النهر)

الشكل رقم (٢٢٧)	الأسر بالانسكاب
الشكل رقم (٢٢٨)	حالة الأسر لنهر الموزيل
الشكل رقم (٢٢٩)	الأسر عن طريق الحت التراجعي للروافد
الشكل رقم (٢٣٠)	الأسر الضمني
الشكل رقم (٢٣١)	الدورة الجيومورفولوجيَّة
الشكل رقم (٢٣٢)	مرحلة الشباب من الدورة الجيومورفولوجيَّة
الشكل رقم (٢٣٣)	مرحلة النضج من الدورة الجيومورفولوجيَّة
الشكل رقم (٢٣٤)	مرحلة الهرم من الدورة الجيومورفولوجيَّة
الشكل رقم (٢٣٥)	القطَّاعات الطولية والعرضيَّة للمجرى حسب الدورة الجيومورفولوجيَّة
الشكل رقم (٢٣٦)	توزيع الجليديَّات
الشكل رقم (٢٣٧)	الأشكال الهندسيَّة للثلج
الشكل رقم (٢٣٨)	خط الثلج الدائم
الشكل رقم (٢٣٩)	عناصر الوادي الجليدي
الشكل رقم (٢٤٠)	الحلبة الجليديَّة
الشكل رقم (٢٤١)	القمم الهرميَّة (القرون)
الشكل رقم (٢٤٢)	بيرغ شروند
الشكل رقم (٢٤٣)	الشقوق الجليديَّة
الشكل رقم (٢٤٤)	الشقوق الطولانيَّة
الشكل رقم (٢٤٥)	الشقوق العرضانيَّة
الشكل رقم (٢٤٦)	حركة اللسان الجليدي
الشكل رقم (٢٤٧)	الرُكام الجليدي
الشكل رقم (٢٤٨)	الوادي الجليدي قبل وبعد الذوبان
الشكل رقم (٢٤٩)	الصخور الغنميَّة

الشكل رقم (٢٥٠)	الجليديَّات القاريَّة
الشكل رقم (٢٥١)	جبل جليدي (Ice berg)
الشكل رقم (٢٥٢)	الصخور الغنميَّة
الشكل رقم (٢٥٣)	الرُكام الجليدي
الشكل رقم (٢٥٤)	حالة الجليد أثناء تغطية الجليد وبعد انقشاع الجليد
الشكل رقم (٢٥٥)	الاسكر
الشكل رقم (٢٥٦)	الدروملين
الشكل رقم (٢٥٧)	جليديَّات حضيض الجبال
الشكل رقم (٢٥٨)	توزُّع اليابسة والماء على سطح الأرض
الشكل رقم (٢٥٩)	الساطر
الشكل رقم (٢٦٠)	الساحل
الشكل رقم (٢٦١)	الشاطئ
الشكل رقم (٢٦٢)	جدار ساحلي قليل الانحدار
الشكل رقم (٢٦٣)	جدار ساحلي شديد الانحدار
الشكل رقم (٢٦٤)	عناصر الموجة
الشكل رقم (٢٦٥)	انكسار الموجة على الشاطئ
الشكل رقم (٢٦٦)	قوَّة الموج حسب أشكال السواحل
الشكل رقم (٢٦٧)	الموجة المُنحدرة
الشكل رقم (٢٦٨)	الموجة المُنسكبة
الشكل رقم (٢٦٩)	الموجة المُندفعة
الشكل رقم (٢٧٠)	أمواج تسونامي
الشكل رقم (٢٧١)	منسوب الماء أثناء المد والجزر
الشكل رقم (٢٧٢)	تأثير كُلٍّ من جاذبيَّة الشمس والقمر (المد التام)

الشكل رقم (٢٧٣)	تأثير كُلٍّ من جاذبيَّة الشمس والقمر (المد المعتدل)
الشكل رقم (٢٧٤)	اختلاف الكثافة ما بين البحر المتوسط والمُحيط الأطلسي
الشكل رقم (٢٧٥)	تأثير التيارات على السواحل
الشكل رقم (٢٧٦)	تطوُّر السواحل حسب هندسة الطبقات
الشكل رقم (٢٧٧)	الأشكال الناجمة عن تطوُّر الجدار الساحلي
الشكل رقم (٢٧٨)	العمل الترسيبي لمياه البحر
الشكل رقم (٢٧٩)	الحبال المُتصلة
الشكل رقم (٢٨٠)	الحبال المُنفصلة
الشكل رقم (٢٨١)	الألسنة الرمليَّة
الشكل رقم (٢٨٢)	الأسهم البحريَّة
الشكل رقم (٢٨٣)	التومبولو
الشكل رقم (٢٨٤)	الدلتا المروحيَّة
الشكل رقم (٢٨٥)	الدلتا الإصبعيَّة
الشكل رقم (٢٨٦)	سواحل الريَّا
الشكل رقم (٢٨٧)	سواحل الفيوردات غربي النرويج
الشكل رقم (٢٨٨)	السواحل الدالماسيَّة
الشكل رقم (٢٨٩)	السواحل البروتانيَّة
الشكل رقم (٢٩٠)	سواحل الدالات
الشكل رقم (٢٩١)	السواحل البُركانيَّة
الشكل رقم (٢٩٢)	السواحل الصدعيَّة
الشكل رقم (٢٩٣)	حيوان المُرجان
الشكل رقم (٢٩٤)	الأرصفة اللاصقة
الشكل رقم (٢٩٥)	الأرصفة الحاجزة

الشكل رقم (٢٩٦)	المُشيِّدات الحلقيَّة
الشكل رقم (٢٩٧)	آليَّة تشكُّل المُشيِّدات الحلقيَّة

Damascus University

فهرس الصور

رقم الصورة	عنوان الصورة
الصورة رقم (١)	تشوُّهات الصخور
الصورة رقم (٢)	الترسيب
الصورة رقم (٣)	الجيولوجيا الهندسيَّة
الصورة رقم (٤)	خندق بترول
الصورة رقم (٥)	جيولوجيًّا التعدين
الصورة رقم (٦)	علم البراكين
الصورة رقم (٧)	الشُهب
الصورة رقم (٨)	النيازك
الصورة رقم (٩)	نيزك حديدي
الصورة رقم (١٠)	نيزك حجري
الصورة رقم (١١)	حفرة أرزونا
الصورة رقم (١٢)	مُذنَّب هالي
الصورة رقم (١٣)	حالة صخور تكدَّست خلال الزمن
الصورة رقم (١٤)	حالة تراكُب الطبقات تحت تأثير القوى الجانبيَّة
الصورة رقم (١٥)	حالة الصخور الإندفاعيَّة
الصورة رقم (١٦)	مصاطب نهريَّة
الصورة رقم (١٧)	الصواعد والنوازل
الصورة رقم (١٨)	توافق طبقي
الصورة رقم (١٩)	عدم توافُق طبقي
الصورة رقم (٢٠)	عدم توافُق زاوي
الصورة رقم (٢١)	صخور حقب الحياة القديمة في بحيرة ميد

الصورة رقم (٢٢)	الأمفيبوليت
الصورة رقم (٢٣)	صخور البريكامبري
الصورة رقم (٢٤)	البكتيريا الزرقاء
الصورة رقم (٢٥)	مفصليَّات الأرجل
الصورة رقم (٢٦)	حيوان رخوي بحري
الصورة رقم (٢٧)	نبات السرخس
الصورة رقم (٢٨)	ثلاثيَّات الفصوص
الصورة رقم (٢٩)	شوكيَّات الجلد
الصورة رقم (٣٠)	الفقاريَّات
الصورة رقم (٣١)	حيوانات حقب الحياة القديمة
الصورة رقم (٣٢)	التين
الصورة رقم (٣٣)	آثار للقشريات
الصورة رقم (٣٤)	الأمونيت
الصورة رقم (٣٥)	حيوانات حقب الحياة المتوسطة
الصورة رقم (٣٦)	جوزة السرو
الصورة رقم (٣٧)	حيوانات حقب الحياة الحديثة
الصورة رقم (٣٨)	فرع من شجرة الدُلب الأمريكيَّة
الصورة رقم (٣٩)	بلورات الكالسيت ($CaCo_3$)
الصورة رقم (٤٠)	المكسر المحاري
الصورة رقم (٤١)	مظهر الحمم في الطبيعة بعد خروجها من باطن الأرض مُباشرةً
الصورة رقم (٤٢)	صخر الغرانيت
الصورة رقم (٤٣)	البازلت
الصورة رقم (٤٤)	الريوليت

الصورة رقم (٤٥)	الكوارتز
الصورة رقم (٤٦)	الفلسبار
الصورة رقم (٤٧)	الغرانيت
الصورة رقم (٤٨)	البغماتيت
الصورة رقم (٤٩)	الإبسيديان
الصورة رقم (٥٠)	الخفَّان
الصورة رقم (٥١)	الديوريت
الصورة رقم (٥٢)	الإنديزيت
الصورة رقم (٥٣)	السيانيت
الصورة رقم (٥٤)	البازلت – مواشير من البازلت
الصورة رقم (٥٥)	الغابر
الصورة رقم (٥٦)	البيريدوتيت
الصورة رقم (٥٧)	التجمُّعات
الصورة رقم (٥٨)	البريشا
الصورة رقم (٥٩)	الحجر الرملي
الصورة رقم (٦٠)	الحجر الطيني
الصورة رقم (٦١)	الصواعد والنوازل
الصورة رقم (٦٢)	الغنايس
الصورة رقم (٦٣)	الرُخام
الصورة رقم (٦٤)	الشيست
الصورة رقم (٦٥)	حالة التوازن (نظريَّة التوازن)
الصورة رقم (٦٦)	طيَّة نموذجيَّة
الصورة رقم (٦٧)	طيَّة

الصورة رقم (٦٨)	الطيَّة المُتماثلة
الصورة رقم (٦٩)	الطيَّة غير المُتماثلة
الصورة رقم (٧٠)	طيَّة مُتناظرة
الصورة رقم (٧١)	طيَّة مائلة
الصورة رقم (٧٢)	طيَّة شديدة الميل
الصورة رقم (٧٣)	طيَّة متوازيَّة
الصورة رقم (٧٤)	طيَّة مقلوبة
الصورة رقم (٧٥)	طيَّة نائمة
الصورة رقم (٧٦)	طيَّة وحيدة الجانب
الصورة رقم (٧٧)	طيَّة مصدوعة
الصورة رقم (٧٨)	طيَّة عُرفيَّة
الصورة رقم (٧٩)	طيَّة صندوقيَّة
الصورة رقم (٨٠)	الأغشية المسحوبة
الصورة رقم (٨١)	الصدع
الصورة رقم (٨٢)	أجزاء الصدع
الصورة رقم (٨٣)	الصدع العادي
الصورة رقم (٨٤)	الصدع المعكوس
الصورة رقم (٨٥)	الصدع السُلَّمي
الصورة رقم (٨٦)	غور
الصورة رقم (٨٧)	نجد
الصورة رقم (٨٨)	صدع مزدوج
الصورة رقم (٨٩)	حافَّة صدعيَّة – جبال كازاخستان –
الصورة رقم (٩٠)	حافَّة كويستا – معلولا –

الصورة رقم (٩١)	جروف صخريَّة بحريَّة في جزيرة ماريًّا – استراليا
الصورة رقم (٩٢)	حافَّة أودية جليديَّة في شبه جزيرة أنتاركتكا – القطب الجنوبي
الصورة رقم (٩٣)	مرتفعات جازان في السعوديَّة
الصورة رقم (٩٤)	زلزال تشيلي
الصورة رقم (٩٥)	تشقُّق الأرض بسبب زلزال في السعوديَّة
الصورة رقم (٩٦)	زلزال مُرتبط بالانفجارات البُركانيَّة – إدارة المسح الجيولوجيَّة الأمريكيَّة
الصورة رقم (٩٧)	زلزال ضرب اليابان
الصورة رقم (٩٨)	زلزال ضرب اليابان
الصورة رقم (٩٩)	زلزال ضرب آلاسكا
الصورة رقم (١٠٠)	حريق في محطَّة أوناجاوا النوويَّة في اليابان بسبب حدوث زلزال
الصورة رقم (١٠١)	انهيار مباني في تركيا بسبب زلزال
الصورة رقم (١٠٢)	أمواج تسونامي في اليابان
الصورة رقم (١٠٣)	بركان إتنا النشط في صقليَّة
الصورة رقم (١٠٤)	فوهة بركان خامد في ماوي – هاواي
الصورة رقم (١٠٥)	بركان الملساء في الجزيرة العربيَّة
الصورة رقم (١٠٦)	نموذج بركاني مخروطي (نغوروهي) نيوزلندَّة
الصورة رقم (١٠٧)	بركان كيلوا
الصورة رقم (١٠٨)	بركان سترمبولي في إيطاليا
الصورة رقم (١٠٩)	بركان ساكوراجيما في اليابان
الصورة رقم (١١٠)	بُركان بيلي
الصورة رقم (١١١)	بُركان فيزوف
الصورة رقم (١١٢)	البريشا البُركانيَّة

الصورة رقم (١١٣)	قنابل بُركانيَّة
الصورة رقم (١١٤)	حجر الخفَّان
الصورة رقم (١١٥)	الرماد البُركاني الذي يطلقه جبل سانت هيلين في الولايات المُتحدة الأمريكيَّة
الصورة رقم (١١٦)	الرمال البُركانيَّة
الصورة رقم (١١٧)	الحصى البُركانيَّة
الصورة رقم (١١٨)	اللابة (Block Lava)
الصورة رقم (١١٩)	اللابة (Roby Lava)
الصورة رقم (١٢٠)	بُحيرة فوهة بركان كالديرا في ولاية أوريغون في الولايات المُتحدة الأمريكيَّة
الصورة رقم (١٢١)	جبل مار في حرَّة رهاط في السعوديَّة
الصورة رقم (١٢٢)	السولفاتار في إيسلندة
الصورة رقم (١٢٣)	الفوماورول في ويلستون في الولايات المُتحدة الأمريكيَّة
الصورة رقم (١٢٤)	نافورة الجيزر في يلوستون في الولايات المُتحدة الأمريكيَّة
الصورة رقم (١٢٥)	العيون الحارَّة في اليابان
الصورة رقم (١٢٦)	براكين طينيَّة في أذربيجان
الصورة رقم (١٢٧)	فوهة نيزكيَّة في الأغواط في الجزائر
الصورة رقم (١٢٨)	القباب الملحيَّة في بوليفيا
الصورة رقم (١٢٩)	جبال اسكتلندَّة
الصورة رقم (١٣٠)	جبال الأورال
الصورة رقم (١٣١)	جبال في سيبيريا
الصورة رقم (١٣٢)	جبال الألب
الصورة رقم (١٣٣)	بحيرة بايكال في روسيا

الصورة رقم (١٣٤)	خليج السويس
الصورة رقم (١٣٥)	سلسلة جبليَّة
الصورة رقم (١٣٦)	أثر التجوية على الصخور
الصورة رقم (١٣٧)	التجوية الفيزيائيَّة – الميكانيكيَّة
الصورة رقم (١٣٨)	الإزاحة
الصورة رقم (١٣٩)	التمدُّد الرأسي
الصورة رقم (١٤٠)	التمدُّد الحراري للصخور
الصورة رقم (١٤١)	التفكُّك الحُبيبي
الصورة رقم (١٤٢)	التقشير
الصورة رقم (١٤٣)	التفلُّق
الصورة رقم (١٤٤)	التشظِّي
الصورة رقم (١٤٥)	تفلُّق الصخر بفعل تجمُّد الماء
الصورة رقم (١٤٦)	تبلوُّر الأملاح
الصورة رقم (١٤٧)	شقوق الجفاف
الصورة رقم (١٤٨)	التجوية الكيميائيَّة
الصورة رقم (١٤٩)	الأكسدة
الصورة رقم (١٥٠)	أكسدة الكبريت
الصورة رقم (١٥١)	الكربنة
الصورة رقم (١٥٢)	الإذابة
الصورة رقم (١٥٣)	أثر تجوية الرطوبة والجفاف
الصورة رقم (١٥٤)	التلال المخروطيَّة
الصورة رقم (١٥٥)	التافوني
الصورة رقم (١٥٦)	أثر الجذور كتجوية فيزيائيَّة

الصورة رقم (١٥٧)	التأثير الكيميائي للجذور
الصورة رقم (١٥٨)	أثر القوارض في التجوية الحيويَّة
الصورة رقم (١٥٩)	نشاط حيوي بسبب ديدان الأرض
الصورة رقم (١٦٠)	أثر الإنسان في التجوية
الصورة رقم (١٦١)	ينبوع
الصورة رقم (١٦٢)	حفرة بئر
الصورة رقم (١٦٣)	ينبوع حار في كاليفورنيا
الصورة رقم (١٦٤)	الجيزر في إيسلندة
الصورة رقم (١٦٥)	Sinkhole
الصورة رقم (١٦٦)	صواعد ونوازل في مغارة كفربهم في سورية
الصورة رقم (١٦٧)	عمود كارستي
الصورة رقم (١٦٨)	بحيرة بايكال في روسيا
الصورة رقم (١٦٩)	بحيرة قطينة في سورية
الصورة رقم (١٧٠)	بحيرة كارستيَّة في كرواتيا
الصورة رقم (١٧١)	بحيرة الأسد في سورية
الصورة رقم (١٧٢)	نهر كيناباتانجان في ماليزيا
الصورة رقم (١٧٣)	بحيرة جليديَّة في آلاسكا
الصورة رقم (١٧٤)	نهر الأمازون
الصورة رقم (١٧٥)	نهر السين
الصورة رقم (١٧٦)	نهر الدورنس
الصورة رقم (١٧٧)	التدفُّقات العشوائيَّة
الصورة رقم (١٧٨)	الجداول الصغيرة
الصورة رقم (١٧٩)	عرض المجرى النهري

الصورة رقم (١٨٠)	الوادي النهري
الصورة رقم (١٨١)	مصب النهر في البحر
الصورة رقم (١٨٢)	الحركة الإنسابيَّة للمياه
الصورة رقم (١٨٣)	الحركة المُضطربة للمياه
الصورة رقم (١٨٤)	الحركة الدواميَّة للمياه
الصورة رقم (١٨٥)	قدور الجبابرة
الصورة رقم (١٨٦)	حمولة النهر
الصورة رقم (١٨٧)	حفر وعائيَّة
الصورة رقم (١٨٨)	أسلوب التفريغ الغازي
الصورة رقم (١٨٩)	شلال
الصورة رقم (١٩٠)	الحت الجانبي للنهر
الصورة رقم (١٩١)	شلال تل شهاب
الصورة رقم (١٩٢)	دلتا
الصورة رقم (١٩٣)	دلتا نهر الغانج
الصورة رقم (١٩٤)	دلتا إصبعيَّة
الصورة رقم (١٩٥)	دلتا مروحيَّة
الصورة رقم (١٩٦)	مصاطب لحقيَّة
الصورة رقم (١٩٧)	تطوُّر الكوع النهري
الصورة رقم (١٩٨)	كوع نهري حُر
الصورة رقم (١٩٩)	جبل مقطوع
الصورة رقم (٢٠٠)	تجاور حوضين نهريين
الصورة رقم (٢٠١)	خط الثلج الدائم
الصورة رقم (٢٠٢)	حقل جليدي

الصورة رقم (٢٠٣)	اللسان الجليدي
الصورة رقم (٢٠٤)	عناصر الوادي الجليدي
الصورة رقم (٢٠٥)	الحلبة الجليديَّة وتطوُّرها
الصورة رقم (٢٠٦)	جبل ماترهون في سويسرا
الصورة رقم (٢٠٧)	بيرغ شروند
الصورة رقم (٢٠٨)	الثقوب الإسطوانيَّة
الصورة رقم (٢٠٩)	حركة اللسان الجليدي
الصورة رقم (٢١٠)	الرُكام الجليدي
الصورة رقم (٢١١)	مُدرَّج جبلي ناتج عن زحف الجليد
الصورة رقم (٢١٢)	الصخور الغنميَّة في جبال الألب
الصورة رقم (٢١٣)	الجليديَّات القاريَّة في غرينلاند
الصورة رقم (٢١٤)	الثلج الأحمر في هيمالايا
الصورة رقم (٢١٥)	(Ice berg) في القطب الشمالي الكندي
الصورة رقم (٢١٦)	شقوق ناتجة عن زحف وحركة الجليد
الصورة رقم (٢١٧)	الصخور الغنميَّة
الصورة رقم (٢١٨)	حُفرة مملوءة بالمياه
الصورة رقم (٢١٩)	حُفرة طولانيَّة ناتجة عن نحت الجليد
الصورة رقم (٢٢٠)	الفيورد في النرويج
الصورة رقم (٢٢١)	الإسكر
الصورة رقم (٢٢٢)	الدروملين
الصورة رقم (٢٢٣)	صخرة ضآلة
الصورة رقم (٢٢٤)	الساحل
الصورة رقم (٢٢٥)	الشاطئ

الصورة رقم (٢٢٦)	الموجة المُنحدرة
الصورة رقم (٢٢٧)	الموجة المُنسكبة
الصورة رقم (٢٢٨)	الموجة المُندفعة
الصورة رقم (٢٢٩)	أمواج تسونامي
الصورة رقم (٢٣٠)	منسوب الماء أثناء المد والجزر
الصورة رقم (٢٣١)	المسلَّة البحريَّة
الصورة رقم (٢٣٢)	الأقواس البحريَّة
الصورة رقم (٢٣٣)	الحبال الساحليَّة
الصورة رقم (٢٣٤)	لاغون (Lagoon)
الصورة رقم (٢٣٥)	مداخل (حيل)
الصورة رقم (٢٣٦)	جزيرة شريطيَّة طولانيَّة
الصورة رقم (٢٣٧)	اللسان الرملي
الصورة رقم (٢٣٨)	الأسهم البحريَّة
الصورة رقم (٢٣٩)	اللسان المُقوَّس
الصورة رقم (٢٤٠)	التومبولو
الصورة رقم (٢٤١)	الدلتا
الصورة رقم (٢٤٢)	دلتا مروحيَّة
الصورة رقم (٢٤٣)	دلتا أصبعيَّة
الصورة رقم (٢٤٤)	حيوان المرجان
الصورة رقم (٢٤٥)	الشعاب المرجانيَّة
الصورة رقم (٢٤٦)	الأرصفة اللاصقة
الصورة رقم (٢٤٧)	الأرصفة الحاجزة
الصورة رقم (٢٤٨)	المُشيِّدات الحلقيَّة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

فهرس الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول
الجدول رقم (١)	تركيب الغلاف الجوي
الجدول رقم (٢)	التركيب الكيميائي لصخور القشرة الأرضيَّة
الجدول رقم (٣)	أدوار البريكامبري
الجدول رقم (٤)	أدوار الحقب الجيولوجي الأول
الجدول رقم (٥)	أدوار الحقب الجيولوجي الثاني
الجدول رقم (٦)	أدوار الحقب الجيولوجي الثالث
الجدول رقم (٧)	درجات الحرارة خلال الحقب الجيولوجي الثالث
الجدول رقم (٨)	الفترات المُناخيَّة خلال الحقب الجيولوجي الرابع
الجدول رقم (٩)	التركيب الكيميائي لقشرة الأرض
الجدول رقم (١٠)	سُلَّم موهز للقساوة (Mohs Scale of Hardness)
الجدول رقم (١١)	أهم العناصر التي تدخل في تركيب القشرة الأرضيَّة
الجدول رقم (١٢)	تصنيف الصخور حسب التركيب المعدني
الجدول رقم (١٣)	أحجام حُبيبات الصخور الحُطاميَّة حسب زير شينغر
الجدول رقم (١٤)	أنواع الشقوق حسب زاوية ميلها
الجدول رقم (١٥)	تصنيف الزلازل حسب فعاليتها التخريبية
الجدول رقم (١٦)	الفترات الجليديَّة في مناطق جبال الألب وأواسط أوروبا وأمريكا الشماليَّة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع

المراجع العربيَّة:

- الخوري، يوسف – معطي، مخائيل، المدخل إلى علم الجيولوجيا، دمشق، ١٩٧١م.
- أبو العينين، حسن سيد، أصول الجيومورفولوجيا، الاسكندريَّة، ١٩٨٩م.
- أدهمي، مبادئ الجيولوجيا للجُغرافيين، جامعة دمشق، ١٩٨٢م.
- آغا، شاهر جمال، الزلازل حقيقتها وآثارُها، عالم المعرفة، الكويت، ١٩٩٥م.
- باشا، إبراهيم– فؤاد، علي، علم الفلزَّات ، الدراسة العلميَّة والتطبيقات المخبريَّة، منشورات جامعة حلب، ١٩٩٥م.
- باشا، إبراهيم – ورفاقه، الجيولوجيا العامة (١) الجيولوجيا الفيزيائيَّة، منشورات جامعة حلب ، ١٩٩٠م.
- بحيري، صلاح الدين، أشكال الأرض، دار الفكر، دمشق، ١٩٧٩م.
- تراب، محمد مجدي، أساسيَّات الجغرافية الطبيعيَّة، مكتبة دار الفلاح، قطر، ٢٠٠٣م.
- جودة، حسنين جودة، معالم سطح الأرض، دار النهضة، ١٩٨٠م.
- خيمي، محمد نصوح، الوجيز في الجيولوجيا العامة، مطبوعات جامعة دمشق، ١٩٨٠م.
- خيمي، محمد نصوح – معطي، مخائيل، المدخل إلى الجيولوجيا العامة، دمشق، ١٩٨٣م.
- صادق، حسن، الجيولوجيا، القاهرة، ١٩٣٥م.

– صفي الدين، محمد، قشرة الأرض، القاهرة، ١٩٥٧م.

– طربوش، أمين، دراسة الأرض من الفضاء، دار الفكر، سوريا– دمشق، ١٩٨٢م.

– عبد السلام، عادل، أشكال الأرض، جامعة دمشق، الطبعة الرابعة، ٢٠٠٠م.

– عسل، محمد سامي، الجغرافية الطبيعية، القاهرة، ١٩٨٥م.

– محمد عبده، طلعت أحمد – جاد الله، حورية محمد حسين، جغرافية البحار والمحيطات، دار الخريجي للنشر والطباعة، الطبعة الثانية، الرياض، ١٩٩٧م.

– نصيف، عبد الله – ورفاقه، علم الأرض، مكتبة ذر جدَّة، الطبعة الأولى، ١٩٩٧م.

– المراجع المُترجمة:

– بومبرول_ش وغيره، الصخور الرسوبيَّة، ترجمة: حميده،عبد الرحمن وغيره، مطبوعات.

– بيلوسوف–ف، الجيولوجيا البنيويَّة، موسكو، ١٩٧١م.

– د.هاملتوت ورفاقه، المعجم الجيولوجي المصور في المعادن والصخور والحُفريَّات، ترجمة: عوض الله، محمد فتحي، المهنية المصرية العامة للكتاب، ١٩٩٩م.

– دومارتون، المُفصَّل في الجغرافية الطبيعيَّة، ترجمة: الحكيم، عمر، ، دمشق، ١٩٧٠م.

– ماكس دوبرتريه، مبادئ الجيومورفولوجيا، ترجمة: حميدة، عبد الرحمن، دمشق، ١٩٨٢م.

– يوبلت، محدد الفلزات، مترجم عن الألمانيَّة إلى اللغة الروسيَّة، موسكو، ١٩٧٨م.

المراجع الأجنبيَّة

- Arnolld.E.Text book of Geology, 1949.

- ANERSON, D.I- The San Andreas Faultsc, Amerv,225,n5, p52-67, 1971.

- Bates , RL, Walter, G.S, cutgardpo, Geology Health, co, London , 1973.

- Bloom, A.Geomorphology, Prentice Halle, 1979.

- Bryan, K,The place of Geomorphology in Geographic Science, Ann Assoc , Nmer, Geog, Vol.40.Hqeo.

- Cailleux, A.Cealogie general, Terre, lune rlanetes Masson Paris, 1976.

- Compton, R.R.Manual of Field Gealagywiley and sons, New york, 1962.

- Dury, G.H. The Face of the Earth (Penguin Books 1959).

- Don Leef, ef al.Physical Geology, 1971.

- Gorshkov G.and Yakus HovA,A, Physical geology Mir publisher, Moscow, 1979.

- HCHner, A,Dieobrflachen formen des Festen Landes Leipzig , 1928.

- Holmes, A,Principles of Physical Geology Ronald press ,co, New york, 1965.

- Kraus ,E,Die Entwicllungs geschichte der Kantinenteuncl der Ozeane Leipzig , 1958.

- Lobeck, A.K. Geomorphology New york, 1939.

- Louish , Allgemeine Geomorphologia Munchen, 1996.

- Marcinek, J,Cletrcher der Erele Leipzig , 1984.

- Parkoff, R.L.Erosiondes Gofes , France, 1981.

- Sporks, B.W.Geomorphology London, 1961.

- Wagner ,J.Lehrbock der Geographic Hanover, 1949.

- Weler, H.Die ober blachen formendes Fest Landes Berlin, 1958.

- Wergete ph.G.A.Text book of Geomorphology N,Y, 1958.

Damascus University

اللجنة العلميَّة:

الأستاذ الدكتور شاهر جمال آغا

الأستاذ الدكتور علي حسن موسى

الأستاذ الدكتور ناظم عيسى

المدقق اللغوي: الأستاذ الدكتور محمود سالم

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديريَّة الكتب والمطبوعات الجامعيَّة