الجيولوجيا العامة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية العلوم

الجيولوجيا العامة

الدكتور
عامر علي غبره
أستاذ مساعد في قسم الجيولوجيا

جامعة دمشق: 1430 -1430هـ

2008 -2009م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية العلوم

الجيولوجيا العامة

الدكتور

عامر علي غبره

أستاذ مساعد في قسم الجيولوجيا

جامعة دمشق

1430 -1431هـ

2008 -2009م

الفهرس

الموضوع	الصفحة
مقدمة	**11**
الفصل الأول: الأرض ضمن الفضاء الكوني	**13**
1-1- الفضاء الكوني	13
1-2- المجرات	15
1-3- المنظومة الشمسية	18
1-4- فرضيات أصل المنظومة الشمسية	35
الفصل الثاني: بنية وتركيب الأرض	**39**
2-1- مجموعة الأغلفة الخارجية	39
2-2- مجموعة الأغلفة الداخلية	49
الفصل الثالث: الفلزات.	**59**
3-1- تعريف	59
3-2- البنية البلورية	59
3-3- عناصر التناظر في البلورات.	61
3-4- الأنظمة البلورية	62
3-5- الخصائص الفيزيائية للفلزات.	67
3-6- التركيب الكيميائي للفلزات.	73
الفصل الرابع: الصخور النارية.	**87**
4-1- مقدمة.	87
4-2- الصخور النارية المندسة، والمخترجة.	88

4-3- البنية النسيجية للصخور.	89
4-4- أشكال توضع الصخور النارية.	91
4-5- التركيب الكيميائي، والفلزي للصخور النارية.	99
4-6- تبلور الصهير الماغماتي، سلسلة بوين التفاعلية.	102
الفصل الخامس: الصخور الرسوبية.	**105**
5-1- تعريف.	105
5-2- أصل المواد الرسوبية.	105
5-3- بيئات الترسيب.	106
5-4- منتجات التجوية، والنقل.	106
5-5- عمليات الترسيب.	107
5-6- الدياجينيز، وتشكل الصخور الرسوبية.	108
5-7- التركيب الكيميائي للصخور الرسوبية.	110
5-8- التركيب الفلزي للصخور الرسوبية.	112
5-9- الميزات الرئيسة للصخور الرسوبية.	113
5-10- السحن الرسوبية.	117
5-11- تصنيف الصخور الرسوبية.	118
الفصل السادس: التحول، والصخور المتحولة.	**127**
6-1- مقدمة.	127
6-2- عوامل التحول.	127
6-3- أنواع التحول.	130
6-4- تصنيف، وتحديد هوية الصخور المتحولة.	131

الفصل السابع: الزمن الجيولوجي.	**137**
7-1- أهمية الزمن في علم الأرض.	137
7-2- لمحة تاريخية.	137
7-3- اكتشاف النشاط الإشعاعي، وأثره في تحديد الزمن الجيولوجي.	140
7-4- مفهوم الزمن المطلق، والزمن النسبي.	140
7-5- العامود الجيولوجي.	155
الفصل الثامن: تشوه القشرة الأرضية، وتشكل الطيات، والفوالق.	**159**
8-1- مقدمة.	159
8-2- الطبقات الرسوبية.	160
8-3- الطيات.	164
8-4- الفوالق.	170
الفصل التاسع: الزلازل.	**177**
9-1- مقدمة.	177
9-2- بؤرة الزلزال، ومركزه.	178
9-3- الموجات الزلزالية.	179
9-4- أجهزة الرصد الزلزالي.	181
9-5- الشدة، والقدر الزلزالي.	184
9-6- تحديد بؤرة الزلزال، ومركزه السطحي، وإتجاهه.	186
9-7- تصنيف الزلازل، وأسباب حدوثها.	188
9-8- السونامي.	191

Damascus University

9-9- أهم المناطق الزلزالية.	193
9-10- الآثار الناجمة عن الزلازل.	194
9-11- التنبؤ بالزلازل.	195
9-12- ماذا نفعل عند وقوع الزلزال.	196
الفصل العاشر: الحادثة البركانية.	**199**
10-1- المواد الناتجة عن الثورانات البركانية.	199
10-2- أنواع الثورانات البركانية.	201
10-3- الظواهر ما بعد البركانية.	205
10-4- المناطق البركانية في العالم.	206
10-5- بعض المؤشرات على احتمال ثوران البركان.	208
الفصل الحادي عشر: التجوية.	**209**
11-1- تعريف.	209
11-2- التجوية الفيزيائية.	210
11-3- التجوية الكيميائية.	213
الفصل الثاني عشر: الفعل الجيولوجي للرياح.	**215**
12-1- مقدمة.	215
12-2- أنواع الأنظمة الريحية.	215
12-3- الفعل الجيولوجي للرياح.	218
الفصل الثالث عشر: الفعل الجيولوجي للمياه الجارية السطحية.	**229**
13-1- مقدمة.	229

13-2- الغسل المساحي.	229
13-3- الأنهار.	231
13-4- الفعل الجيولوجي للأنهار.	234
13-5- السهل الحتي.	241
13-6- البحيرات الهلالية.	241
13-7- الأسر، أو الاقتناص النهري.	241
13-8- القسر، أو الاقتحام النهري.	241
13-9- حادثة السبق النهري.	242
13-10- الدورة الحتية، ومراحل تطور المجاري المائية.	242
13-11- النقل النهري.	243
13-12- الترسيب النهري.	243
13-13- الدلتات، الفوهات، الأهوار.	245
13-14- المصاطب النهرية	250
الفصل الرابع عشر: الفعل الجيولوجي للبحار.	**249**
14-1- مقدمة.	249
14-2- تضاريس قاع البحار، والمحيطات.	250
14-3- حركة المياه في المحيطات.	254
14-4- الفعل الجيولوجي للبحار.	259
14-5- البحيرات.	269
14-5-1- أهمية دراسة البحيرات.	270

Damascus University

14-5-2- تصنيف البحيرات.	271
14-5-3- الفعل الجيولوجي للبحيرات.	274
14-6- الفعل الجيولوجي للمستنقعات.	277
الفصل الخامس عشر: الفعل الجيولوجي للمياه الجوفية.	**279**
15-1- المسامية، والنفوذية.	279
15-2- المستوي، أو المنسوب المائي.	280
15-3- حركة المياه الجوفية.	282
15-4- الطبقة المائية.	283
15-5- الينابيع.	283
15-6- الآبار، والآبار الارتوازية.	286
15-7- الحت الكارستي، وتشكل الكهوف، والصواعد، والنوازل.	289
15-8- صخور الترافرتين.	290
15-9- الانهيارات، والانزلاقات، الناجمة عن فعل المياه الجوفية.	290
الفصل السادس عشر: الفعل الجيولوجي للجليديات.	**293**
16-1- مقدمة.	293
16-2- خط الثلج.	294
16-3- حركة الجليديات.	294
16-4- أنواع الجليديات.	295
16-5- الفعل الجيولوجي للجليديات.	298
16-6- العصور الجليدية.	302
المصطلحات العلمية	**303**

مقدمة

الجيولوجيا هي علم الأرض، وهي علم موغل في القدم، يمكن أن ترجع جذوره إلى ذلك الزمن الذي بدأ فيه الإنسان يفكر بأسباب وجوده، وارتباطه بكوكب الأرض، وأصل هذا الكوكب، وتطوره مع الزمن، وموقعه في هذا الكون، وعلاقته مع بقية الأجرام السماوية، وأبعاده، وتركيبه..، ومن ثم محاولة بناء الفرضيات على أسس موضوعية للإجابة عن جميع التساؤلات، المتعلقة بتلك المواضيع.

إن علم الجيولوجيا في حقيقة الأمر، وثيق الارتباط ببقية العلوم الأخرى، كالرياضيات، والكيمياء، والفيزياء، وعلوم الحياة، والبيئة، والفلك..الخ، لذلك فإن التطور النوعي في هذه العلوم، قد أدى دوراً هاماً في تطور علم الجيولوجيا، وساهم بشكلٍ فعال في فهم وتفسير الكثير من الظواهر الطبيعية المرتبطة بكوكب الأرض، وتطوره.

يهتم علم الجيولوجيا الحديث، بشكلٍ رئيس، بفهم بنية الأرض، وتركيبها، وتطورها مع الزمن، ودراسة جميع أغلفتها، والدراسة الدقيقة لتركيب صخور القشرة الأرضية، بما تحتويه من فلزات، ومعادن، وبالبحث والتنقيب عن الثروات الطبيعة المفيدة، واستثمارها بشكلٍ مثالي، وكذلك بدراسة جميع الظواهر الطبيعية، كالثورانات البركانية، والزلازل، والفعل الجيولوجي للبحار، والأنهار، وغيرها، كما يهتم هذا العلم بدراسة بيئات الأرض القديمة وتطورها مع الزمن، وتأثيرها المتبادل مع مختلف الظواهر الجيولوجية. إن هذا الطيف الواسع من المواضيع التي يهتم بها علم الجيولوجيا، جعله في الحقيقة علماً عاماً يضم تحت لوائه الكثير من الفروع العلمية الجيولوجية، كعلم الترسيب، والبيئات القديمة، وجيولوجيا البترول، والجيوكيمياء، وعلم الصخور، والفلزات..الخ. لكنه لا بد قبل البدء في الداسة التخصصية في أي فرع من هذه الفروع من التعرف على بعض المفاهيم، والأسس، والمواضيع الجيولوجية العامة التي تعد أساساً لابد منه لأي فرع من هذه الفروع.

ألف هذا الكتاب ليغطي المواضيع المعتمدة في مقرر الجيولوجيا العامة، الذي يعطى لطلاب السنة الأولى في قسم العلوم البيئية، بمعدل ساعتين نظريتين أسبوعياً، ويأمل المؤلف أن يكون قد تمكن ، من خلال المدة الزمنية المخصصة للمقرر، من تقديم أقصى ما يمكن لفهم هذه المواضيع، بما يمكن طلابنا الأعزاء، من فهم مواضيع الجيولوجيا العامة، ويساعدهم على تشكيل قاعدة علمية، تمكنهم من استيعاب بقية المواضيع العلمية التي ستعطى لهم في بقية المقررات الجيولوجية، الخاصة بعلم البيئة.

المؤلف

الفصل الأول

الأرض ضمن الفضاء الكوني

1-1-الفضاء الكوني :

لقد شغلت أسئلة كثيرة فكر الإنسان منذ لحظة ولادته على هذه الأرض ، حاول دائماً الإجابة عنها، تتعلق بنشأة الكون، وعمره، وتطوره، و نشأة وتطور الحياة فيه، وهل الأرض هي الكوكب الوحيد الذي يتميز بوجود كائنات حية فيه، أم هناك أماكن أخرى في هذا الكون يمكنها أن تتميز بوجود مقومات الحياة، وهل من الضروري أن تتميز الحياة في تلك الأماكن إن وجدت بنفس ميزاتها على كوكب الأرض، وغير ذلك من الأسئلة الكثيرة التي تطلبت الإجابات عنها زمناً طويلاً من التفكير والعمل العلمي الشاق، وما زال كثير منها ينتظر الإجابة القاطعة وهو في مرحلة الفرضيات.

مهما كانت الإجابة عن تلك التساؤلات، فإن الكون كل متكامل، يخضع لقوانين وأنظمة معينة تتحكم بمصيره، ونشاطه، وكيفية حركته، منذ لحظة ولادته.

تتوزع المواد في الكون بشكلٍ غير متجانس إلى حدٍ بعيد، وهي عبارة عن دقائق بسيطة تائهة في الفضاء، أو ذرات مفردة، أو جزيئات عناصر متنوعة، أو مركبات كيميائية، أو سدم غازية، أو مكونة من الغبار. وتعد النجوم والكواكب أكثر هذه المواد كثافة.

على الرغم من الكتل الهائلة للنجوم، فإن كثافة الكون بشكلٍ عام قليلة جداً وتقدر ب $3.10^{-31} g \backslash Cm^3$ ، وتعد قوى الجاذبية من أعظم القوى التي تتحكم بحركة الأجرام السماوية، ويعتقد بأن هذه القوى هي المسؤولة عن تشكل الأجزاء الكونية المستقلة، كالكواكب، والنجوم، والسدم، والمجرات.

إن النجوم في الكون لا تضيء جميعها بنفس الشدة، ولا بنفس الطريقة، ويتعلق ذلك بمرحلة التطور التي يكون قد وصلها كل منها، فبينما يضيء بعضها بشكلٍ مستمر، يضيء بعضها الآخر بشكل ومضات، ويكون بعض النجوم شديد الإضاءة، بينما يكون بعضها الآخر غير مرئي(الثقوب السوداء). تبدو بعض النجوم زرقاء اللون، وهي نجوم فتية في بداية عمرها، بينما تبدو النجوم متوسطة العمر صفراء اللون، أما النجوم المعمرة فتبدو حمراء اللون، وهي نجوم في طريقها إلى الهلاك، ويعتقد بأن النجوم الصغيرة البيضاء في الرمق الأخير من حياتها.

يعتقد كثير من العلماء أن مواد الكون، وطاقته كانت تتركز في مكانٍ ضيقٍ يمكن تخيل أن أبعاده تنحصر في نقطةٍ رياضية لا أبعاد لها، وقد حدث لهذه الكتلة الصغيرة منذ زمن يقدر ب 10 إلى 20 مليار سنة مضت، ولسببٍ ما زال فوق طاقة التفسير انفجار هائل، يدعى الانفجار الكبير، أو الانفجار الكوني، مما أدى إلى بعثرة المادة الكونية بشكلٍ غير منتظم، إلى حدٍ كبير، وقد أخذت فيما بعد بعض المواد تقترب من بعضها، مشكلةً كتلاً كثيفة نسبياً بالمقارنة مع أجزاء الكون الأخرى، وقد أدت الحركة الدورانية المستمرة لهذه الكتل إلى جذب كميات كبيرة من الغازات، التي تتكون من عنصري الهيدروجين، والهليوم، ويعتقد أن هذه هي بداية تشكل المجرات، التي اختلفت أشكالها(حلزونية، بيضاوية) تبعاً لاختلاف العلاقة بين قوى الجاذبية، والقوى الطاردة المركزية.

يعتقد أن الكون محكوم بتوازن عاملين: يحمله الأول على التمدد، وهو فعل الانفجار الكبير، الذي أعطاه طاقة حركية عظيمة، بينما يتعلق الثاني بجذب أجزاء الكون بعضها إلى بعض بسبب التجاذب الثقلي، وهو ما يحمله على التقلص. و وفقاً لهذين العاملين، فإما أن يستمر الكون في التمدد إلى الأبد، أو أن تتمكن قوى الجاذبية من إيقاف تمدده، وحمله بعد ذلك على التقلص.

يسود الاعتقاد اليوم بأن الكثافة الوسطية للمواد الموجودة في الكون، تقع تماماً عند الحد الفاصل بين كونٍ يتمدد إلى اللانهاية، وآخر يمكن أن يصل بعد ذلك إلى حدٍ معين في تمدده، ليتقلص بعد ذلك.

تأتي معرفتنا عن وفرة العناصر الكيميائية في الكون من مصدرين رئيسين، هما:

1- تحليلات طيف الأشعة الضوئية المنبعثة من النجوم، وهي تشتمل على مقارنة شدة خطوط العناصر في أطياف النجوم.

2- التحليل الكيميائي للعينات النيزكية، وتعد هذه التحليلات مفيدة جداً لأنها تطبّق على أجسام مادية، بغض النظر عن الجدل القائم، فيما إذا كانت هذه الأجسام تمثل مادة الكون النموذجية.

تتميز وفرة العناصر في الكون بالميزات التالية:

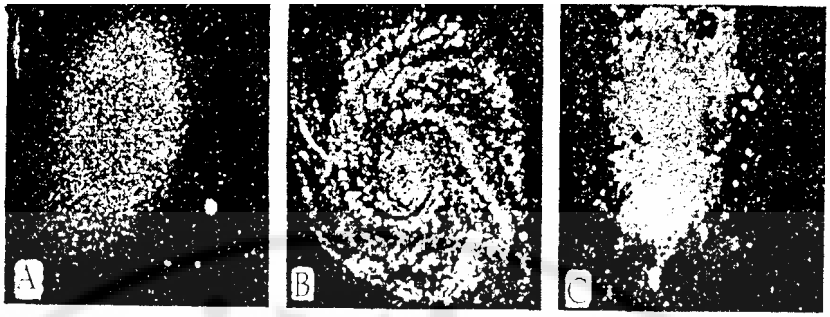
1- يشكل كل من الهيدروجين والهليوم أكثر من 99% وزناً من التركيب العنصري للكون.

2- تنخفض نسبة العناصر في الكون مع ازدياد العدد الذري لها.

3- تتميز العناصر ذات العدد الذري الزوجي بوفرة كبيرة بالمقارنة مع العناصر ذات العدد الذري الفردي.

1-2 المجرات(Galaxies):

تنتظم النجوم في الكون، وما يتبعها من كواكب وتوابع، وغبار كوني، وغازات، ضمن مجموعات كبيرة جداً، يتحرك كل منها في الفضاء ككتلة واحدة، ويتميز بشكل ونظام محددين، تدعى المجرات. من هذه المجرات ما يتميز بشكلٍ حلزوني، أو بيضوي، ومنها ما يتميز بأشكالٍ غير منتظمة متنوعة(الشكل1-1).



الشكل(1-1). بعض أشكال المجرات.

A- مجرة بيضاوية الشكل. B- مجرة حلزونية الشكل. C- مجرة غير منتظمة الشكل.

يحتوي الكون على عشرات المليارات من المجرات، وتحتوي كل واحدة من هذه المنظومات الكونية الهائلة عادةً على مليارات النجوم.

تنتمي المجموعة الشمسية التي نعيش على أحد كواكبها إلى مجرة شبهت بنهر من الحليب، مما أدى إلى تسميتها درب اللبانة(Milky Way Galaxy)، وكثيراً ما يطلق عليها أيضاً درب التبانة(الشكل1-2)، وهي تحتوي على حوالي 400 مليار من النجوم، التي يتركز معظمها في وسط المجرة، بالإضافة إلى تيارات من النجوم التي تتوزع في المحيط، لتأخذ شكلاً حلزونياً، وبشكلٍ عام فإن كثافة هذه النجوم تتناقص كلما ابتعدنا عن مركز المجرة، حيث تقدر المسافة الوسطية التي تفصل نجماً عن نجمٍ آخر في المناطق المحيطية بحوالي 300 سنة ضوئية، بينما تقدر هذه المسافة في مركز المجرة بحوالي ثلاث سنوات ضوئية فقط، لذلك فإن كثافتها التي تقدر بحوالي $10.^{5}7^{-24}g\backslash Cm^{3}$ تعد أكبر من كثافة الكون بأكثر من ثلاثة وعشرين مليوناً وثلاثمئة ألف مرة.

يقدر قطر مجرة درب التبانة بحوالي 120ألف سنة ضوئية، بينما تقدر سماكتها بحوالي 1600 سنة ضوئية، وهي تشترك مع مجرة المرأة المسلسلة(أو م- 31) التي تعد أقرب المجرات إلى مجرتنا، بالإضافة إلى عدد من المجرات المجاورة في تشكيل ما يسمى بالزمرة

المحليـة، حيـث تحتـوي هـذه الزمـرة علـى عشـرين مجـرة، وتسـير بسـرعة تقـدر بحـوالي 600كم/ثانية، في اتجاه عمودي على خط البصر الذي يصل بين مجموعتنا الشمسية ومركز درب التبانة، والملفت أن اتجاه هذه الحركة بعكس اتجاه الدوران المجري. وفي محاولةٍ لتفسير أسباب هذه الحركة توجد فرضيتان رئيستان:

- يمكن أن تكون هذه الحركة وفقاً للفرضية الأولى ناجمة عن الانفجارات التي حدثت في نفس الفترة التي تشكلت فيها المجرة.
- يمكن أن تكون هذه الحركة وفقاً للفرضية الثانية ناجمة عن قوى الجذب في مكان تتركز فيه المادة بشكلٍ كبيرٍ جداً، حيث يتكون الكون من أماكن مفرطة بالكثافة، وأخرى خالية نسبياً من المادة.

الشكل (1– 2). صورة جانبية(في الأسفل)، و علوية(في أعلى الشكل) لمجرة درب التبانة.

1–3– المنظومة الشمسية:

إن المنظومة الشمسية هي عبارة عن منظومة كونية تتكون من نجمٍ واحدٍ، هو الشمس، ترتبط به مجموعة من الكواكب والأقمار التابعة لها، والكويكبات، والمذنبات، والنيازك، والغبار.

تعد الحدود التي يتوقف عندها تأثير الشمس، هي الحدود الخارجية للمنظومة الشمسية، فعلى مسافة تقدر بضعفي إلى ثلاثة أضعاف بعد الشمس عن بلوتو، يصبح ضغط البروتونات، والإلكترونات الموجودة بين النجوم أكبر من الضغط الصغير جداً الناجم عن الريح الشمسية، ويعرف ذلك المكان بمنطقة توقف تأثير الشمس، وهو يمثل الحدود الخارجية للمنظومة الشمسية.

1-3-1- الشمس:

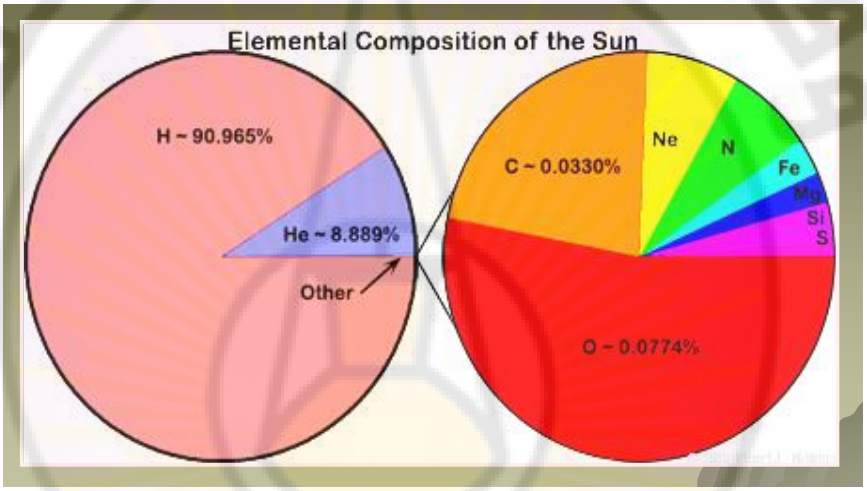
تعد الشمس مثالاً نموذجياً للنجوم التي تستمد طاقتها من احتراق الهيدروجين، ويمكننا تمثيلها بمفاعل نووي عملاق، يتحول في مركزه في الثانية الواحدة حوالي 600 مليون طن من الهيدروجين إلى هليوم، لذلك يمكن اعتبار الشمس كرة متوهجة ذات حرارة عالية جداً، حيث تقدر هذه الحرارة في أجزائها المركزية بحوالي 16 إلى 20 مليون درجة، مع العلم بأنه لم يتم الوصول إلى مثل هذه الدرجات العالية من الحرارة في الأرض، حتى في الانفجارات النووية، بينما تقدر درجة حرارة سطح الشمس بحوالي 6000درجة مئوية. ومن الجدير ذكره أن الشمس تعمل بطريقة التحكم الذاتي، فعندما تضطرم في داخلها التفاعلات النووية ترتفع حرارتها تلقائياً، ولكن المادة سرعان ما تتمدد، مما يؤدي إلى هبوط درجة الحرارة، وانخفاض معدل التفاعلات النووية، وبالعكس، فإنه عندما تضعف التفاعلات لنووية، فإن النواة تتقلص، وترتفع حرارتها، لتحتدم التفاعلات من جديد.

يقدر قطر الشمس بحوالي 1400000 كم، أي أكبر من قطر الأرض بحوالي 109مرات تقريباً(حسب خط الاستواء)، أما كتلتها فتقدر بحوالي $1,986.10^{27}$طن، وهي بذلك تكبر كتلة الأرض بحوالي 232ألف مرة.

تشغل الشمس مكاناً بعيداً عن مركز مجرة درب اللبانة، حيث تقع في أحد الأجزاء المحيطية لإحدى التيارات النجمية، ويقدر البعد الذي يفصلها عن أقرب نجم لها في المجرة بعشرة الآف ضعف البعد الذي يفصلها عن أقرب كوكب.

تدور الشمس بالإضافة للنجوم الأخرى حول الكتلة المركزية لمجرة درب اللبانة بفترة زمنية تقدر ب250مليون سنة أرضية.

تتكون الشمس بشكلٍ رئيس من عنصري الهيدروجين، والهليوم، اللذين يشكلان حوالي 99% من كتلتها، وقد تم اكتشاف حوالي سبعين عنصراً كيميائياً في جو الشمس، من أهمها بالإضافة إلى الهيدروجين والهليوم: الكربون، والأكسيجين، والآزوت.



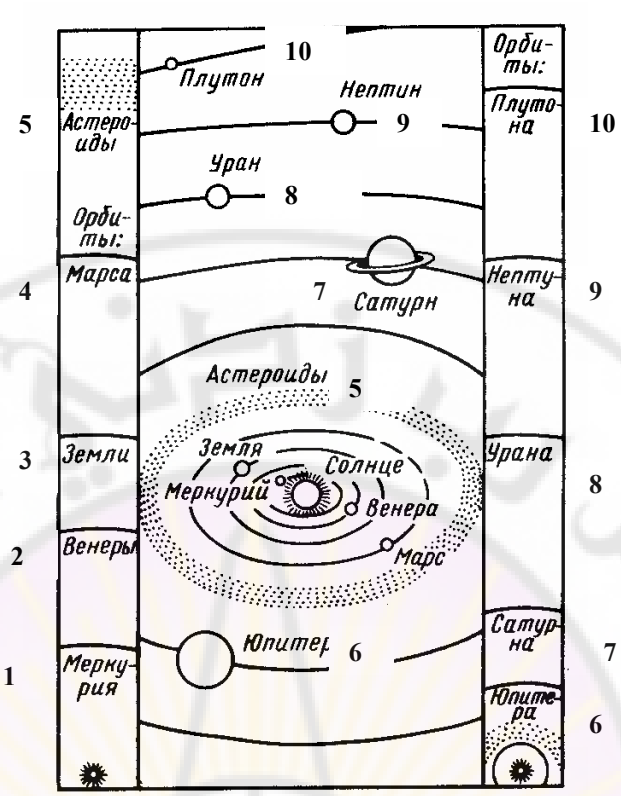
الشكل(1– 3).مخطط توضيحي للتركيب العنصري للشمس.

1–3–2–كواكب المجموعة الشمسية:

يدخل في تركيب المنظومة الشمسية تسعة كواكب، كما اكتشف مؤخراً كوكب جديد(الكوكب العاشر)، تدور جميع هذه الكواكب حول الشمس في نفس الاتجاه، وفي مدارات دائرية تقريباً أو بيضاوية، وتقع عملياً في مستوٍ واحدٍ، يقترب من مستوي خط

الاستواء الشمسي. تدور جميع كواكب المنظومة الشمسية حول محورها بنفس الاتجاه الذي تدور به حول الشمس، ما عدا كوكب الزهرة، الذي يدور في عكس هذا الاتجاه.كما أن الشمس تدور حول محورها بنفس الاتجاه الذي تدور فيه الكواكب الأخرى حولها.

اكتشف جوهان بود أن الكواكب لا تتوزع حول الشمس بشكلٍ عشوائي، بل إن المسافات التي تفصلها عن الشمس تخضع لقانونية معينة، عبر عنها بالأرقام التالية: 0- 3- 6- 12- 24- 48- 96- 192، حيث يمثل الرقم صفر عطارد، والرقم 3 الزهرة، وهكذا..، وبعد أن أضاف بود العدد 4 إلى كل واحدٍ من هذه الأعداد، ثم قسم النتيجة على العدد 10 تمكن من الحصول على أرقامٍ تكافئ إلى حدٍ بعيد المسافات التي تفصل الكواكب عن الشمس، مقدرةً بالوحدة الفلكية(وهي المسافة بين الأرض والشمس وتقدر ب150 مليون كيلومتر). لقد تجلت عبقرية بود بوضعه للرقمين 24، و 192، اللذين اعتبرا في ذلك الزمن بأنهما الخطأ الوحيد في حسابات بود، لكن الخطأ لم يبق خطأً، عندما اكتشف الفلكيون الكويكبات في الموضع 24، وكوكب أورانوس(في عام 1781م) في الموضع 192. لقد تبين فيما بعد أن حسابات بود تكاد تتفق مع الحسابات الحديثة للمسافات التي تفصل الكواكب عن الشمس، ولا يشذ عن القاعدة سوى نبتون، وبلوتو. لقد بينت الحسابات فيما بعد أن قطر كل مدار كوكبي يساوي 0.75 من نصف قطر الكوكب الخارجي الذي يليه.



الشكل(1– 4). توزع كواكب المجموعة الشمسية، ومداراتها حول الشمس. .

كواكب ترى بالعين المجردة: عطارد، الزهرة، المريخ، المشتري، زحل.

كواكب اكتشفت بالتلسكوب: أورنوس(1781)، نبتون(1846)، بلوتو(1930)، الكوكب الجديد(2005)

1– عطارد. **2–** الزهرة. **3–** الأرض. **4–** المريخ. **5–** الكوكبات. **6–** المشتري. **7–** زحل. **8–** أورانوس .**9–** نبتون. **10–** بلوتو..

تقسم كواكب المنظومة الشمسية إلى مجموعتين:

1- مجموعة الكواكب الداخلية(أو كواكب المجموعة الأرضية): وهي تتميز بأبعادها الصغيرة بالمقارنة مع أبعاد الأرض ، وكثافاتها العالية(يزيد متوسط الكثافة في هذه المجموعة عن كثافة الماء بحوالي 5 مرات)، وكتلها الصغيرة نسبياً، وفترات دورانها الصغيرة حول الشمس، وكذلك بحرارتها العالية. تتمثل هذه المجموعة بكلٍ من عطارد، الزهرة، الأرض، و المريخ.

1-3-2-1- كوكب عطارد:

لقد سمي كوكب عطارد بهذا الاسم إكراماً للإله الروماني القديم نصير الرحالة والتجار، وهو يعد أسرع كواكب المجموعة الشمسية، وأقربها من الشمس، حيث يتراوح بعده عنها بين حوالي 46 و 70 مليون كيلومتراً، وهو ما يجعل رؤيته غير ممكنة، إلا في ساعات الصباح الباكر، وفي ساعات الغسق، ويعد فصل الربيع من أفضل الفصول لرؤيته، حيث يبدو عند غروب الشمس فوق الأفق بقليل، وفي المكان الذي تغيب فيه الشمس، على شكل نجمة صغيرة، ناصعة، وصفراء اللون.

يقدر قطر كوكب عطارد بحوالي 4865كم(أي ما يعادل حوالي 0.38 من قطر الأرض)، وقد بينت الدراسات وجود تشابه كبير بينه، وبين القمر، من حيث حجمه ومظهره، إلا أنه خلافاً للقمر فإن عطارد كوكب كثيف جداً، وهو يحتوي على واجهات جبلية طويلة جداً، تمتد عبر السهول والفوهات.

يكبر اليوم العطاردي اليوم الأرضي بحوالي 58مرة(دوران بطيء حول نفسه)، بينما تقدر السنة العطاردية بحوالي 88 يوماً أرضياً(حركة سريعة حول الشمس)، وبسبب الاستمرار الزمني الكبير لكل من الليل والنهار في عطارد، فإن مجال التغير الحراري على سطحه كبير جداً، حيث يمكن أن ترتفع درجة الحرارة نهاراً لتصل إلى حوالي +510ْ م، وتنخفض ليلاً لتصل إلى حوالي 185 ْم تحت الصفر. يتكون الغلاف الجوي في عطارد بشكلٍ رئيس من الأرغون، والنيون، والهليوم، والهيدروجين.

1-3-2-2- كوكب الزهرة:

يعتقد أن هناك تشابهاً كبيراً بين كل من الأرض وكوكب الزهرة، من حيث التضاريس، وبعض المظاهر الطبيعية، مما حدا بالبعض إلى تسميته" توأم الأرض "، ويعد كوكب الزهرة إله الحب والجمال عند الرومان القدماء، وهو يبدو من الأرض أكثر الكواكب لمعاناً(يأتي في ذلك بعد القمر)، ويبدو عند بزوغ الفجر نحو الشرق على شكل نجمٍ ناصع،

وهو آخر ما يغيب عن الرؤية من الكواكب عند مراقبتها من الأرض، لذلك سماه العرب نجمة الصباح والمساء.

يعادل قطر كوكب الزهرة(12100كم) حوالي 97% من قطر الأرض ، بينما تعادل كتلته حوالي 95% بالمقارنة مع كتلة الأرض، ويماثل اليوم في الزهرة تقريباً اليوم الأرضي، بينما تقل السنة فيه عن ثلثي السنة الأرضية(حوالي 225 يوم)، ويتميز كوكب الزهرة بأنه يدور حول محوره في اتجاه معاكس لدوران بقية كواكب المنظومة الشمسية.

يتميز الغلاف الجوي في كوكب الزهرة بسماكاتٍ كبيرة، وهو يتكون بشكلٍ رئيس من ثاني أكسيد الكربون(حوالي 97%)، والنيتروجين(حوالي 2.5%)، بالإضافة إلى الأرغون ، وأول أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، وبخار الماء، وبعض المركبات الأخرى، كما تصادف مع الاقتراب نحو السطح كميات كبيرة من قطرات حمض الكبريت، التي تتفكك مع ازدياد الاقتراب من سطح الكوكب إلى أكسيد الكبريت، والماء.

تتكون تضاريس كوكب الزهرة من منخفضات، تصل أعماقها إلى 2- 3كم، وسلاسل جبلية تصل ارتفاعاتها إلى 3- 8كم، بالإضافة إلى مناطق سهلية واسعة صخرية، وقد دلت الدراسات التي أجريت على صخور هذا الكوكب أن تركيبها يشبه تركيب صخور البازلت. إن الضغط الجوي المرتفع جداً على سطح كوكب الزهرة(يفوق الضغط الأرضي بمقدار 90 مرة تقريباً)، وتركيب الغلاف الجوي، بالإضافة إلى درجات الحرارة المرتفعة جداً(يمكن أن تصل إلى حوالي 475ْ م)، تجعل فرص الحياة المعروفة لدينا غير محتملة، كما تستبعد إمكانية نزول مركبات فضائية مأهولة بالناس في المستقبل المنظور.

1-3-2-3- كوكب المريخ:

إذا كانت معظم النجوم تبدو لنا ليلاً بلونٍ أصفر، أو مائل إلى الزرقة أو البياض، فإن المريخ يتميز عن الجميع بلونه الأحمر، وربما هذا ما دعا الرومان القدماء إلى تسميته اله الحرب.

إن قطر المريخ أصغر من قطر الأرض بمرتين تقريباً، بينما تقل مساحته عن مساحة الأرض بحوالي عشر مرات، أما بالنسبة لليوم المريخي، فهو يساوي اليوم الأرضي تقريباً(23.31)، بينما تعادل السنة المريخية 1.88 سنة أرضية.

تقدر الحرارة الوسطية على سطح المريخ بحوالي -60ْ م ويمكن أن تهبط في المناطق القطبية شتاءً إلى حوالي 140ْ م تحت الصفر، بينما يمكن أن ترتفع في مناطق خط الاستواء لتصل إلى حوالي 30ْ م، يعتقد أن وجود المياه السائلة في المريخ ممكن فقط في مسام التربة، وذلك لأن الضغط الجوي المنخفض يستبعد امكانية وجود المياه الباردة بشكلٍ مكشوف على السطح لأنه لا يمكن لهذه المياه تجنب الغليان؛ ومن جهةٍ أخرى فإن كمية الأوزون في جو المريخ قليلة جداً بحيث لا يمكنها إعاقة مرور الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس من الوصول إلى سطح الكوكب، وبالتالي فإن قدرة هذه الأشعة على إبادة الجراثيم قد تكون سبباً في عدم وجود الحياة على سطح المريخ.

لقد كشفت الأبحاث التي طبقت على المريخ وجود سلاسل جبلية تصل ارتفاعاتها إلى عدة كيلومترات، وفوهات ذات أصل بركاني أو نيزكي شبيهة بتلك الموجودة على سطح القمر وعطارد، وأخاديد يصل طولها أحياناً مئات الكيلومترات، بالإضافة إلى مناطق سهلية واسعة.

يتكون جو المريخ بشكلٍ رئيس من ثاني أكسيد الكربون(حوالي 96%)، وقد اكتشف فيه أيضاً وجود الأرغون، والأكسيجين(0.3%)، وبخار الماء.

يوجد للمريخ تابعان صغيران، هما فوبوس، الذي لا يزيد قطره عن 20كم، وديموس، ويبلغ قطره حوالي تسعة كيلومترات فقط.

1-3-2-4- القمر:

لقد سمح التطور الهائل في علوم الفضاء بدراسة مستفيضة للقمر بالمقارنة مع بقية أعضاء المجموعة الشمسية(عدا الأرض)، مما سمح برسم أطلس لسطحه، وقد تبين أن تلك البقع السوداء التي ترى بوضوح على سطحه عن طريق العين المجردة ما هي إلا سهول مغطاة بصخور البازلت، أما الحقول المضيئة، فإنها مكونة من نوعٍ آخر من الصخور، تدعى الصخور الألومينوسيليكاتية، وذلك نسبةً إلى تركيبها الكيميائي، الذي يتكون بشكلٍ رئيس من الألمنيوم، والسيليسيوم، والأكسيجين؛ كما يتميز القمر بالإضافة إلى سهوله الواسعة بقمم جباله التي تضاهي بارتفاعاتها جبال الأرض، حيث يقدر ارتفاع أعلى ذروة قمرية بحوالي 8كم. وبآلاف الفوهات، التي تصل أقطارها أحياناً إلى عشرات الكيلومترات، والتي يعتقد بأن معظمها قد نجم عن الارتطامات النيزكية، بينما تشكل بعضها الآخر بفعل النشاط البركاني.

يقدر نصف قطر القمر بحوالي 1738كم(حوالي 0.372 من نصف قطر الأرض)، وهو يبعد عن الأرض حوالي 384000كم. وقد ميز بين نوعين من التضاريس القمرية، يتمثل الأول بمناطق الأراضي المرتفعة، وهي تشكل حوالي 85% من سطح القمر، وتتميز بوجود سلاسل ومرتفعات جبلية تتراوح ارتفاعاتها وسطياً بين 3 و 5كم، وهي تظهر بلونٍ فاتحٍ؛ بينما يتمثل الثاني بمنطقة الأراضي المنخفضة، وهي تتكون من سهولٍ منبسطة، تشغل حوالي 15% من سطح القمر وتبدو من الأرض بألوانٍ قاتمة، نتيجة سيطرة البازلت الغني بالحديد والتيتانيوم.

لقد دلت الدراسات على الصخور المجلوبة من القمر أن عدداً كبيراً منها عبارة عن صخور بازلتية، مما يدل على أنها تشكلت خلال عمليات تبلور الماغما. وبالمقارنة مع الأرض فإنه يعتقد بأن القمر يخلو من الصخور الغرانيتية(أو شديد الفقر بها)، والتي تدخل في تركيب الأرض بنسبٍ هامة.

يعرف في الأرض اليوم أكثر من 2200 نوعاً من الفلزات، أما بالنسبة للقمر فإنه يعد فقيراً بتنوعه الفلزي بالمقارنة مع الأرض، وعزى ذلك بشكلٍ رئيس إلى غياب الماء، والغلاف الجوي؛ كما أن القمر يعد أقل حرارةً وضغطاً من الأرض، ومن المعلوم أن لهذين العاملين دوراً هاماً في تشكل فلزات جديدة.

لقد اقترح عدد من الفرضيات التي حاولت تفسير نشأة وأصل القمر، ومن أهم هذه الفرضيات:

- لقد تكون القمر من سحابة سديمية واحدة،وبشكلٍ متزامن(كما في الشكل1-5)

الشكل(1-5). تشكّل القمر، والأرض بشكلٍ متزامن من سحابة سديمية.

.

- كان القمر يشكل جزءاً من الأرض، لكنه انفصل عنها في المراحل الأولى لتشكل أغلفتها الداخلية، وذلك بسبب سرعة دورانها العالية حول نفسها، ونتج عن انفصاله حفرة كبيرة يشغلها حالياً المحيط الهادي.

- ينتمي القمر والأرض إلى أصلين مختلفين من مكونات المنظومة الشمسية، ولكن الأرض التي تزيد كتلتها عن كتلة القمر حوالي 83 مرة استطاعت أن تجذبه إليها وتصطاده عند اقترابه منها، لتجعله تابعاً يدور حولها.

- كان القمر تابعاً لعطارد، لكنه انفصل عنه بآلية ما زالت غير معروفة. استندت هذه الفرضية على التشابه الكبير بين القمر وعطارد، من حيث احتواء كليهما على نسبة مرتفعة من المواد ذات درجات الانصهار العالية، ونسبة منخفضة من المواد الطيارة، ومن حيث تشابه سطحيهما؛ وقد رأت هذه الفرضية أن احتواء عطارد على نسبة عالية من الحديد والنيكل بالمقارنة مع القمر، يعود إلى أن الأخير قد انفصل عنه بعد تكوين نواته التي تركز فيها العنصران المذكوران.

2- مجموعة الكواكب الخارجية:

تضم هذه المجموعة كلاً من المشتري، زحل، أورانوس، نبتون، وبلوتو، وتتميز هذه الكواكب، بالمقارنة مع كوكب الأرض، بأبعادها الكبيرة (عدا بلوتو)، وبكثافاتها المنخفضة(متوسط كثافتها = 1.5 كثافة الماء)، وحرارتها المنخفضة، وبأغلفتها الجوية الكثيفة، والتي تحتوي على نسبٍ مرتفعة من كل من الهيدروجين، والهليوم، والميتان.

1-3-2-5- كوكب المشتري:

يعد كوكب المشتري عملاق المجموعة الشمسية، وهو كبير الآلهة عند الرومان القدماء. تبلغ كتلة المشتري بمفرده أكثر من ضعف كتلة بقية كواكب المجموعة الشمسية مجتمعةً، وهي تكبر كتلة الأرض بحوالي 318.4 مرة، وهو يتمتع بغلاف جوي سميك جداً (10- 15 ألف كم)، يحتوي على نسبٍ عالية من الهيدروجين، والهليوم، والميتان. لقد افترض بسبب الكثافة المنخفضة التي تميز هذا الكوكب، بأنه يتكون بشكلٍ رئيس من غازات صلبة، ولكنه يملك في الوقت نفسه نواة فلزية. ويعتقد بأن المشتري استطاع أن يحصل أثناء تكثف النظام الشمسي على معظم المواد المكونة من الغاز والغبار، التي لم تقذف إلى الفضاء الخارجي بين النجوم.

يعد يوم المشتري أقصر أيام كواكب المجموعة الشمسية، إذ يلزمه ليدور دورة كاملة حول نفسه حوالي 9 ساعات و 50 دقيقة فقط، أما السنة في المشتري فإنها تعادل حوالي 11.86 سنة أرضية.

يقدر المعدل الحراري على سطح المشتري بحوالي – 150° م، كما يتميز هذا السطح بوجود ضغط جوي عالي جداً(أكبر بحوالي مليون مرة من الضغط الجوي على سطح الأرض)، ويعتقد بأن هذا الضغط العالي قد سبب في تخريب ذرات الهيدروجين القريبة من السطح، ليتشكل الهيدروجين السائل.

يتميز كوكب المشتري أيضاً بوجود بقعة حمراء ذات شكل اهليلجي، يصل طولها إلى حوالي 40000كم، بينما يزيد عرضها عن ثلاثة أمثال قطر كوكب الأرض، وهي عبارة عن دوامة غازية، ومنطقة ضغط مرتفع في نصف الكرة الجنوبي للمشتري، بالقرب من خط الاستواء.

يدرو حول المشتري ستة عشرة تابعاً، أكبرها جانيميد، الذي تزيد كتلته عن كتلة كوكب عطارد.

1-3-2-6- كوكب زحل:

اعتبره الرومان القدماء نصير الزراعة، وهو يتميز عن بقية كواكب المجموعة الشمسية بوجود ثلاث حلقات في المستوي الاستوائي، بالإضافة إلى عدد كبير من الحلقات الصغيرة.

تكبر كتلة زحل كتلة الأرض بحوالي 95 مرة، بينما يكبر قطره الاستوائي قطر الأرض بحوالي 9.45مرة فقط، ويلزمه حوالي 46.29 سنة أرضية ليدور دورة كاملة حول الشمس، بينما يقدر اليوم في هذا الكوكب بحوالي عشر ساعات ودقيقة واحدة.

يملك كوكب زحل كما هو الحال بالنسبة للمشتري غلافاً جوياً سميكاً، تكثر فيه العواصف، كما يحتوي على بقع حمراء ثابتة، يصل طول أحدها إلى حوالي 12000كم،

ويتكون جوه بشكلٍ أساسي من الهيدروجين(89%)، والهيليوم(10%)، بالإضافة إلى النشادر، والميتان، والايتان، والاسيتيلين. يعد كوكب زحل أقل كواكب المنظومة الشمسية كثافةً إذ لا تتجاوز كثافته 0.7 كثافة الماء)

يملك كوكب زحل حوالي 18 تابع، أكبرها تيتان، الذي يعد أيضاً أكبر التوابع الموجودة في المنظومة الشمسية، حيث يقترب في حجمه من حجم المريخ، ويحتوي جوه على نسبة عالية من النيتروجين.

1-3-2-7- كوكب أورانوس:

هو إله السماء عند الإغريق القدماء، وهو قريب جداً في تركيبه من المشتري، وزحل إلا أنه أصغر منهما بكثير، حيث لا يزيد قطره عن قطر الأرض بأكثر من 2.4مرة.

يلزم أورانوس حوالي 84 سنة أرضية ليدور حول الشمس دورة كاملة(السنة في أورانوس) ويقدّر اليوم فيه بحوالي 10 ساعات و 42 دقيقة، ويقدر المعدل الوسطي للحرارة على سطحه بحوالي -210ْ م.

يدور حول أورانوس 15 تابعاً، أقربها إليه ميراند، ثم اربيل، اللذان يعتقد بأنهما قد تشكلا في عصرٍ جيولوجي حديث نسبياً، وهما يتمتعان بعاكسية أقوى من بقية توابع أورانوس.

1-3-2-8- نبتون:

وهو اله البحار عند الإغريق القدماء، وهو آخر الكواكب العملاقة في المنظومة الشمسية، إذ يكبر قطره قطر الأرض بحوالي 3.9 مرات، وكما تزيد كتلته كتلتها بحوالي 17.23 مرة.

يلزم نبتون حوالي 165 سنة أرضية ليتمكن من الدوران حول الشمس دورة كاملة، ويلزمه ليدور حول نفسه دورة كاملة 15 ساعة(اليوم في نبتون). يقدر معدل درجة

الحرارة على سطح هذا الكوكب بحوالي -220ْ م، وهو يتميز بغلاف جوي سميك يتكون بشكلٍ رئيس من النشادر والميتان.

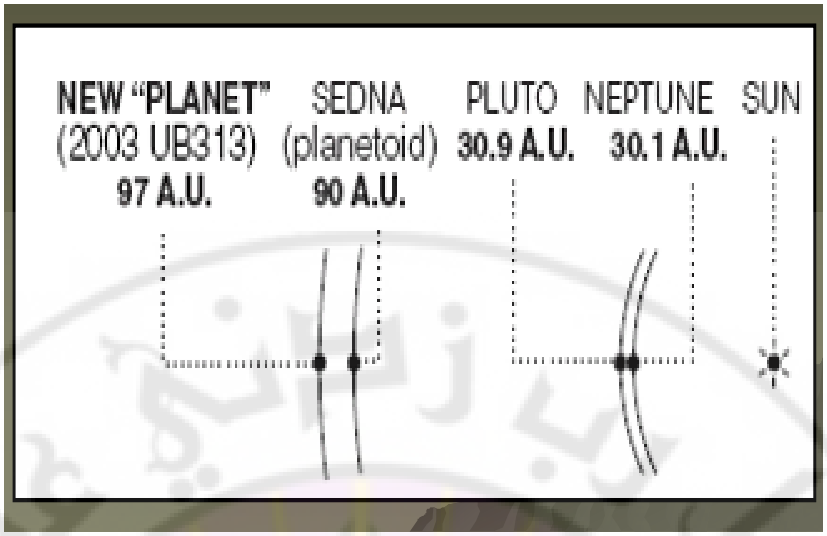
اكتشف لنبتون ثمانية توابع، أكبرها تريتون، الذي يقارب في حجمه حجم القمر.

1-3-2-9- بلوتو:

كان بلوتو يعد قبل اكتشاف الكوكب العاشر في عام 2003م أبعد كواكب المجموعة الشمسية المعروفة عن الشمس، وهو يختلف في بعض الأمور عن مجموعة الكواكب الخارجية التي ينسب إليها، وخاصةً من ناحية الحجم، والكتلة، فهو يصغر كوكب الأرض بحوالي 3 مرات. يعتقد بأن هذا الكوكب مكون بغالبيته من موادٍ طيارة، وقد أثبت أن جزءاً كبيراً من سطحه مغطى بثلج الميتان.

يقدر المعدل الحراري على سطح بلوتو بحوالي -230ْ م، وهو يدور حول نفسه دورة كاملة كل 6.4 يوم أرضي، بينما يلزمه حوالي 247.7 سنة أرضية ليكمل دورته حول الشمس. يعرف لبلوتو تابع واحد(شارون).

مما تجدر الإشارة إليه أنه تم في عام 2003م اكتشاف كوكبٍ جديدٍ في المجموعة الشمسية يبعد عن الشمس أكثر من بلوتو بثلاث مرات، وهو يعادل 1- 1.5 من حجم بلوتو، بالإضافة إلى جسم كوني عرّف كنجيم(planetoid).



الشكل(1–6). موقع الكوكب العاشر في المجموعة الشمسية ونجيم سدنا، بالمقارنة مع موقع كل من نبتون، وبلوتو بالنسبة للشمس(A.U= 150 مليون كم).

الجدول(1–1). بعد كواكب المجموعة الشمسية عن الشمس، وأنصاف أقطارها، وكتلها، وزمن دورانها بالمقارنة مع الأرض، وعدد توابعها.

	المسافة(AU)	نصف القطر*	الكتلة*	زمن الدوران*	عدد التوابع
الشمس	0	109	332.8	*36-25	10
عطارد	0.39	0.38	0.05	58.8	0
الزهرة	0.72	0.95	0.89	244	0
الأرض	1.0	1.00	1.00	1.00	1
المريخ	1.5	0.53	0.11	1.029	2
المشتري	5.2	11	318	0.411	16
زحل	9.5	9	95	0.428	18
أورانوس	19.2	4	17	0.748	15
نبتون	30.1	4	17	0.802	8
بلوتو	39.5	0.18	0.002	0.267	1

*** بالمقارنة مع الأرض**

1-3-3- الكويكبات:

هي عبارة عن أجسامٍ كونية(كواكب صغيرة)تشكل حزاماً في المنطقة الواقعة بين مداري المريخ والمشتري. تتراوح أقطار الكويكبات بين أقل من 1 كم و عدة مئات الكيلومترات، ويعد كويكب تسيريرا ، الذي يقدر طول قطره بحوالي 767كم أكبرها على الاطلاق، يليه سيريس(650كم)، ثم بالادا(483كم)، ثم فيستا(385كم)، ثم يونيون(193كم). لقد تم اكتشاف حوالي 2000 كويكب، مع العلم أن العلماء يعتقدون أن عدد هذه الكويكبات لا يقل عن 140000كويكب.

تختلف الكويكبات عن بقية كواكب المجموعة الشمسية بأشكالها الزاوية، وبمداراتها القريبة جداً من بعضها، و الشديدة الميول بالمقارنة مع مدارات بقية الكواكب، حيث يمكن أن تصل ميولها إلى 60 ْ.

يشبه تركيب الكويكبات تركيب كواكب المجموعة الأرضي، وعلى الرغم من أن مساراتها بعيدة عن الأرض بما فيه الكفاية، فإن بعضها يقترب من الأرض بشكل دوري ليصل إلى مسافات صغيرة نسبياً، فقد اقترب أحدها في عام 1937م إلى مسافة لا تزيد عن 800000كم، كما اقترب كويكب هيرمس(يقدر قطره بحوالي 400م) في عام 1976م إلى مسافة قدرت بحوالي 1.2مليون كيلومتر.

لقد وضع بهدف تفسير نشأة الكويكبات الفرضيتان التاليتان:

- ترى الفرضية الأولى التي اقترحها الفلكي الألماني خ. ف. أولبيرس في بداية القرن التاسع عشر أن الكويكبات هي عبارة عن بقايا حطام كوكب عاشر في المجموعة الشمسية، والدليل على ذلك المدارات القريبة جداً من بعضها.
- ترى الفرضية الثانية أن هذه الكويكبات قد تشكلت في نفس الفترة التي تشكلت فيها بقية أعضاء المجموعة الشمسية، وقد نتجت عن

تكاثف تجاذبي لتراب وأجسام كونية صغيرة متناثرة، وكان يمكن لها أن تشكل كوكباً لولا تأثير جاذبية كوكب المشتري العملاق التي حالت دون ذلك.

1-3-4- النيازك:

هي أجسام كونية صغيرة، تتراوح كتلها من بضعة غرامات وحتى عشرات الأطنان، وهي تدور حول الشمس كما تفعل بقية أعضاء المجموعة الشمسية، في مدارات بيضاوية، تنحرف في كثير من الأحيان عن مداراتها باتجاه أحد الكواكب، وهي تسخن بتأثير الاحتكاك بالغلاف الجوي الأرضي لترسم خطوطاً مضيئة، لذا كثيراً ما يطلق عليها تسمية النجوم الهاوية.

يسقط على الأرض في كل عام آلاف الأطنان من المواد النيزيكية، وفي فترات محددة تكون فيها كثافة المواد النيزكية الساقطة عالية جداً، فتدعى المطر النيزكي، وذلك كالثالث من كانون الثاني، و12، و22، 24 نيسان، وكذلك10، 11، 19، 30 تشرين الأول، و16، و27 تشرين الثاني، و12 كانون الأول.

للنيازك أهمية كبيرة تتجلى بشكلٍ رئيس في كونها أول الأجسام الكونية التي أمكن الحصول عليها ودراستها بشكل مباشرٍ ، لتساهم في تفسير أصل ونشأة المنظومة الشمسية. وقد قسمت النيازك وفقاً لتركيبها الكيميائي إلى ثلاثة أنواع:

- النيازك الحديدية: وهي تتكون بشكلٍ رئيس من الحديد(80- 90%) والنيكل(حتى 10%)، وكذلك الكوبالت.
- النيازك الحجرية: وهي تتكون بشكلٍ رئيس من الأكسيجين(34%)، الحديد(25%)، السيليسيوم(18%)، والمغنيزيوم(14%).
- النيازك الحديدية- الحجرية: يعد تركيبها بمثابة مزيج من تركيب النوعين السابقين، وتقدر نسبة الحديد فيها بين 45 و 55%.

1-3-5- المذنبات:

هي أجسام كونية تدور حول الشمس في مدارات بيضاوية شديدة التطاول، ويميز في المذنب بين كل من:

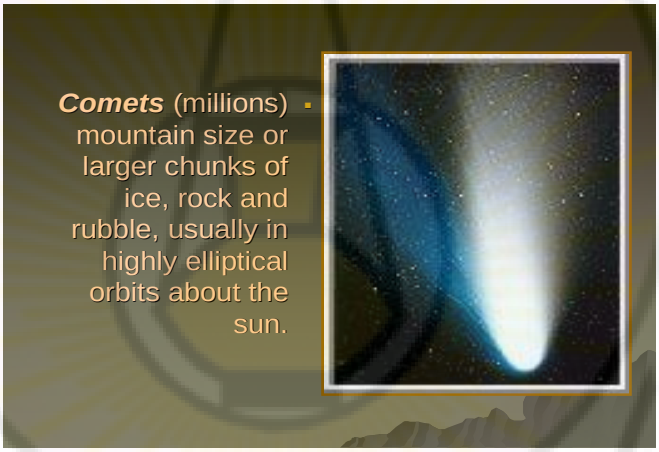
-النواة: وهي تكون الجزء الأكبر من كتلة المذنب لكنها أصغر أجزائه أبعاداً، إذ يتراوح قطرها بين 0.5و 50 كم، وتتألف من مواد صخرية، وجليد H_2O، وبلورات من ثاني أكسيد الكربون، والنشادر، والميتان.

- الرأس وهو يتكون من مجموع النواة بالإضافة إلى سحابة مضيئة تغلف هذه النواة، ويتراوح قطره بين عدة كيلومترات، وأكثر من مليون كيلومتر.

- الذيل: وهو عبارة عن سحابة طويلة متوهجة من الغازات يجرها المذنب خلفه، وهي تتشكل نتيجة ارتفاع حرارة النواة عند اقترابها من الشمس، واندفاع جزء منها باتجاه معاكس لاتجاه الشمس، وذلك بسبب ضغط الضوء المتكون من الغازات المتأينة.

يقدر العدد الكلي للمذنبات ب 10^{11} مذنباً، وهي تحتشد عند حافة المنطقة التي يسيطر عليها الجذب التثاقلي الشمسي، ونتيجةً لتأثير القوى التثاقلية للنجوم المارة قربها خلال مئات ملايين السنين كان ينطلق إلى الفضاء الخارجي بين النجوم عدد كبير من مذنبات هذه السحابة (التي سميت سحابة أورت)، بينما كان يدخل بعضها في مدارات تمر بمناطق قريبة نسبياً من الشمس، ونتيجةً لتأثير الاشعاع الشمسي، والرياح الشمسية(وهي عبارة عن تيار من الجسيمات المشحونة منطلق من الشمس) كان يتشكل حول نواة هذه المذنبات سحابة كروية من الغاز والغبار(تدعى ذوابة)، بالإضافة إلى ذيل يختلف طوله باختلاف خواص المذنب، ثم تقوم جسيمات الغبار الموجودة في السحابة الكروية والذيل ببعثرة الضوء، بينما يقوم الاشعاع الشمسي بتهييج الجزيئات في الغاز ويجعلها تتلألأ ليصبح المذنب مرئياً.

يعد مذنب هالي أشهر المذنبات المعروفة، وقد اقترب من الأرض عدة مرات، استطاع عدد من المجسات الفضائية في عام 1986 الاقتراب منه ودراسته عن قرب نسبياً(فقد اقترب من نواته المجسان الروسيان فيكا1 وفيكا2 إلى مسافة لا تزيد عن 900كم، بينما وصل المجس الأوروبي كيوتو إلى منطقة لا تبعد عن النواة أكثر من 600كم).وقد بينت رحلة المجس كيوتو بأن الغاز كان يصدر عن النواة بمعدل عشرين طن في الثانية الواحدة، كما بينت رحلات المجسات الفضائية بأن هذا الغاز يتكون بشكلٍ رئيس من بخار الماء(80%)، وأول أكسيد الكربون(10%)، وثاني أكسيد الكربون(3%)، والأهم من ذلك فقد تبين أن نسبة النظائر المختلفة للعناصر المنفردة(الكربون، المغنزيوم، السليكون، الحديد في الغبار ألمذنبي تنسجم بشكلٍ عام مع النسب النموذجية للنظام الشمسي الكلي، وهو ما يشير إلى أن هذا الغبار نشأ من نفس المادة التي نشأت منها بقية أعضاء المنظومة الشمسية.



الشكل(1-7).صورة فوتوغرافية لأحد المذنبات.

1-4- فرضيات أصل المنظومة الشمسية:

لقد طرحت مجموعة من الفرضيات التي حاولت أن تفسر منشأ المنظومة الشمسية، ويمكن تقسيم هذه الفرضيات إلى مجموعتين رئيستين:

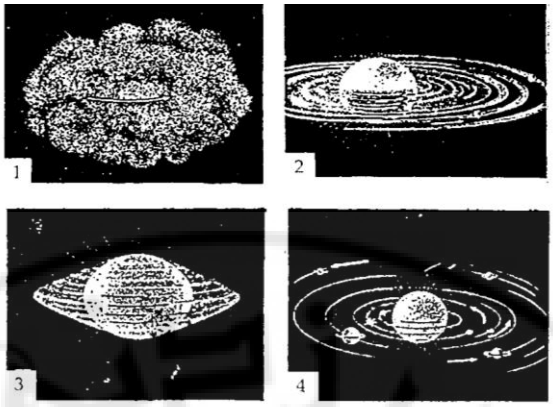
- ترى المجموعة الأولى(على رأسها فرضية هويل 1951)أن لأعضاء المنظومة الشمسية أصولاً مختلفة. لكن الذين نادوا بهذه الرؤية قلائل ولم تنل هذه الفكرة قبولاً عاماً من علماء الفلك والطبيعة.

- ترى المجموعة الثانية أن لجميع أفراد المنظومة الشمسية أصلاً مشتركاً واحد، وقد لاقت هذه الرؤية قبولاً عاماً من المختصين والمهتمين بعلم الفلك والطبيعة، مع العلم بأن أية فرضية لم تخل من الانتقادات.

نذكر من أشهر فرضيات أصل المنظومة الشمسية كلا من فرضية كانت- لابلاس، وفرضية شميدت.

1-4-1- فرضية كانت- لابلاس(1755- 1796):

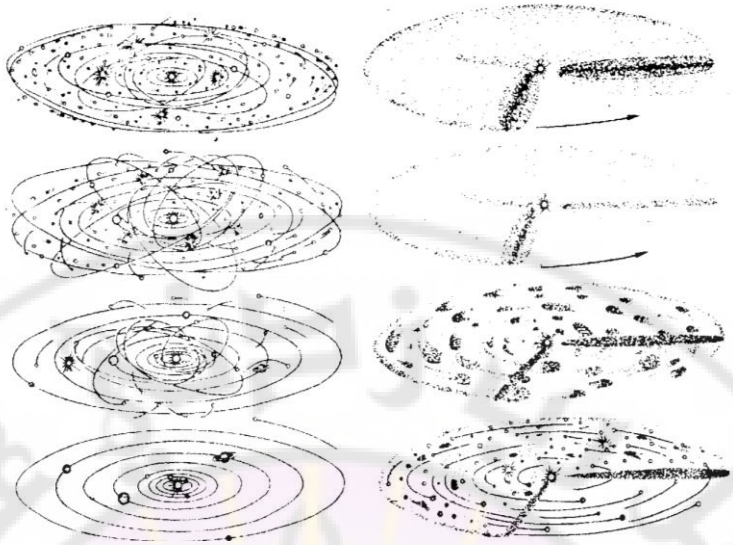
تعد هذه الفرضية من أشهر الفرضيات التي حاولت تفسير منشأ المنظومة الشمسية، وهي ترى أنه قبل وجود المنظومة الشمسية كانت هناك كتلة غازية ضخمة من الضباب تدور حول نفسها، وقد أدى تبرد هذه الكتلة مع الزمن إلى تناقص أبعادها، وبالتالي ازدياد سرعة دورانها، وخاصةً الجزء الخارجي منها، وهو ما تسبب في تغلب القوة النابذة على قوى الجذب المركزية، مما أدى إلى انفصال عشر حلقات استوائية متتالية من جسم السديم، تكثف منها تسع لتشكل كواكب المنظومة الشمسية المعروفة، بينما لم تستطع الحلقة السادسة التكثف وتشكل منها أعداد كبيرة من الكتل المتناثرة لتشكل حزام الكويكبات بين المريخ والمشتري، وتكثف الجزء المركزي من السديم ليشكل الشمس(**الشكل1 -8**)



الشكل(1-8). نشأة المنظومة الشمسية، وفقاً لفرضية كانت- لابلاس.

1-4-2- الفرضية النيزكية(شميدت، 1944):

تقول الفرضية النيزكية أن الشمس والكواكب التابعة لها قد تشكلت من مصادر مختلفة، ففي إحدى مراحل تطور الشمس(لم تتطرق هذه الفرضية إلى أصل الشمس) تمكنت من الاستيلاء على سديم من الغبار الغازي(الشكل1-9)، وقد أدى دوران هذا السديم في حقل الجاذبية القوي للشمس إلى إعادة توزيع معقد للجزيئات النيزكية حسب كتلها، وكثافاتها، وأبعادها، وقد أصبحت القوى النابذة نتيجة لهذه العملية في قسم من الأجسام النيزكية أضعف من قوى الجاذبية، مما أدى إلى امتصاصها من قبل الشمس. كما تشكلت نتيجة تصادم الجزيئات مع بعضها وحدات أكبر كانت تنضم إليها باستمرار جزيئات أصغر منها، وذلك نتيجة وقوعها في حقل جاذبيتها،وبهذا الشكل فإن الكواكب وتوابعها قد تشكلت من مواد أولية نيزكية الطبيعة .



الشكل(1–9). نشأة المنظومة الشمسية، وفقاً للفرضية النيزكية، التي قدمها شميدت عام 1944م.

الفصل الثاني

بنية وتركيب الأرض

تتميز الأرض ببنية وتركيب غير متجانسين، وهي تتكون من عدد من الأغلفة التي تقسم إلى مجموعتين رئيستين، هما:

- مجموعة الأغلفة الخارجية: وهي تتكون من كل من الغلاف الجوي، والمائي، والحيوي.
- مجموعة الأغلفة الداخلية: وتتكون من كلٍ من القشرة الأرضية، والمعطف الأرضي(الوشاح)، والنواة.

2-1-مجموعة الأغلفة الخارجية:

2-1-1- الغلاف الجوي:

يمكن تعريف الغلاف الجوي بأنّه طبقة غازية سميكة، تصل سماكتها إلى حوالي 2000كم، تحيط بالأرض إحاطة تامة، وترتبط بها بسبب الجاذبية الأرضية. وعلى الرغم من السماكة الكبيرة للغلاف الجوي، فإن الجزء الأعظم من كتلته(حوالي 90%) يتركز بالقرب من سطح الأرض على ارتفاعٍ لا يتجاوز 16كم. ويشكل الغلاف الجوي على سطح الأرض ضغطاً يسمى الضغط الجوي، وهو يعادل على واحدة المساحة على سطح البحر الضغط الذي يمكن أن يؤديه عمود من الزئبق طوله 76سم ومساحة مقطعه سنتيمتر مربع واحد.

– تركيب الغلاف الجوي:

لقد تحدد تركيب الغلاف الجوي الأرضي عن طريق العمليات التي كونت الأرض من مادة الكواكب، حيث انبعثت الغازات في البداية من الأرض حديثة النشأة، وقد تعرضت هذه الغازات إلى سلسلة من التفاعلات الكيميائية، التي أوصلتها إلى نوع من الاتزان، ويعتقد بأن أهم الغازات التي كانت متوفرة في ذلك الحين، هي: أول أكسيد الكربون، الميتان، بخار الماء، الهيدروجين، والنشادر، وكانت البراكين تساهم في إضافة كميات جديدة من الغازات إلى الغلاف الجوي الذي كان خالياً تقريباً من الأكسيجين، الذي كانت نسبته لا تزيد في أقدم الأزمان الجيولوجية عن 0.003% عن كمية الأكسيجين الموجودة حالياً في جو الأرض، لكن ولادة الاشنيات، والأنواع النباتية اللاحقة، التي تحتاج في عملياتها الحيوية إلى التركيب الضوئي، شكلت الانطلاقة الأولى لزيادة مستمرة في نسبة الأكسيجين الحر في الغلاف الجوي، وقد كان هذا الأكسيجين، وما زال يؤدي دوراً هاماً في عمليات جيولوجية هامة تجري في الأرض وتغير من معالمها.

يتكون الغلاف الجوي من خليط من الغازات، والمواد السائلة المعلقة، والمواد الصلبة الدقيقة جداً، إلا أن الغازات تشكل حوالي 99% من حجم الهواء الجاف، وهي تتكون بشكلٍ رئيس من الأكسيجين والنيتروجين(**الجدول2–1**)، وتزداد نسبة الأخير باتجاه أعلى الغلاف الجوي على حساب الأكسيجين، كما تنقص بنفس الاتجاه نسبة الغازات الثقيلة، كثاني أكسيد الكربون، ويبدأ غازا الهليوم والهيدروجين بالظهور على ارتفاع 80–100كم، إلا أن كلاً من الأكسيجين والنيتروجين يبقيان الغازين المسيطرين في الغلاف الجوي.

يمكن أن تصل نسبة بخار الماء إلى 5% أو أكثر من حجم الهواء الرطب وتعبر الرطوبة عن كمية بخار الماء في الجو، ويميز بين نوعين من الرطوبة، هما: الرطوبة المطلقة، وهي كمية بخار الماء في متر مكعب من الهواء الرطب، ويعبر عنها بضغط بخار الماء؛ والرطوبة

النسبية وهي مقدار ما يحتويه الهواء من بخار الماء بالنسبة إلى ما يمكن أن يحتويه منه في حالة الإشباع وفي نفس درجة الحرارة. يؤدي ازدياد الرطوبة إلى خفض الضغط الجوي، وذلك لأن بخار الماء أخف من الهواء، كما أن نسبة الرطوبة تزداد بازدياد درجات الحرارة. يمتص الماء عند انتقاله من الطور السائل إلى الطور الغازي كمية من الطاقة الحرارية، والعكس صحيح، وهو بذلك يؤدي دور المنظم الحراري، حيث يعمل على تخفيض الفوارق في درجات الحرارة.

الجدول(2–1).أهم مركبات الهواء الجاف في منطقة خط الاستواء.

الغاز	% (حجماً)	الكتلة الجزيئية
N	**78.09**	**28.016**
O	**20.95**	**32.000**
Ar	**0.93**	**39.944**
CO_2	**0.3**	**44.010**

تعد التربة المفتتة المصدر الرئيس للغبار في الجو، كما يعد كل من النشاط البركاني والنيزكي، والدخان الناجم عن احتراق مختلف المواد مصدراً هاماً للدقائق الصلبة في الهواء، ولوجود هذه المواد في الجو أهمية خاصة إذ أنها تخفض من شفافية الهواء، ومن نسبة الطاقة الحرارية الواردة من الشمس إلى الأرض، كما أن ذرات الغبار تشكل مراكز ليتكثف حولها بخار الماء، وبالتالي تؤدي دوراً هاماً في تشكل الغيوم. ويميز عادةً بين أنواع مختلفة من الغبار بالعلاقة مع المصدر الذي أتت منه، كالغبار الكوني الذي يدخل إلى الغلاف الجوي من الفضاء الخارجي، والغبار الحيوي كالأبواغ وغبار الطلع التي تحملها الرياح إلى الغلاف الجوي.

يميز في الغلاف الجوي الأرضي بين مجموعة من النطاقات، التي تختلف عن بعضها بتركيبها الكيميائي، وصفاتها الفيزيائية، وحركة الهواء فيها، وهي من الأسفل نحو الأعلى:

1- غلاف الأعاصير(Troposphere):

تبدأ هذه الطبقة اعتباراً من سطح الأرض، وتتغير سماكتها من 8-10كم فوق منطقتي القطبين، حتى 16- 18كم في المناطق الاستوائية، وهو يشكل 50- 70% من مجموع كتلة الغلاف الجوي، ويؤدي اختلاف قيم الضغط والحرارة في مختلف مناطق الأرض إلى وجود حركة مستمرة للهواء بالاتجاهين الرأسي، والأفقي، لذا تسمى هذه الطبقة طبقة الأعاصير؛ كما أن درجات الحرارة تنخفض فيها اعتباراً من سطح الأرض نحو الأعلى بمعدل 0.6ْ م\100م.

يعد التروبوسفير من أهم الطبقات الجوية بالنسبة للعمليات الجيولوجية، وذلك لأنّه يقع على تماس مباشر مع كل من الغلافين المائي والصخري للأرض، ولكونه يشكل الكتلة الأساسية من الغلاف الجوي.

يشكل الأكسيجين، والنيتروجين أكثر من 99% حجماً من تركيب التروبوسفير الجاف فوق خط الاستواء، ويأتي بعدهما من حيث الأهمية كل من الأرغون، وثاني أكسيد الكربون، والنيون. كما أن التأثير المتبادل بين كل من الغلاف الجوي، والمائي، والصخري، والحيوي يؤدي إلى تغيير دائم في عناصر الغلاف الجوي، لكن هذه التغيرات لا تؤثر على النسب الإجمالية للعناصر في الغلاف الجوي، مع العلم بأن التركيب العنصري لهذا الغلاف يختلف باختلاف خطوط العرض(الجدول2-2).

الجدول(2-2). تغير تركيب الهواء باختلاف خطوط العرض.

خط العرض	N	O	Ar	H_2O	CO_2
خط الاستواء	75.99	20.44	0.92	2.63	0.02
50 ْ	77.32	20.80	0.94	0.92	0.02

0.03	0.22	0.94	20.94	77.87	ْ 70

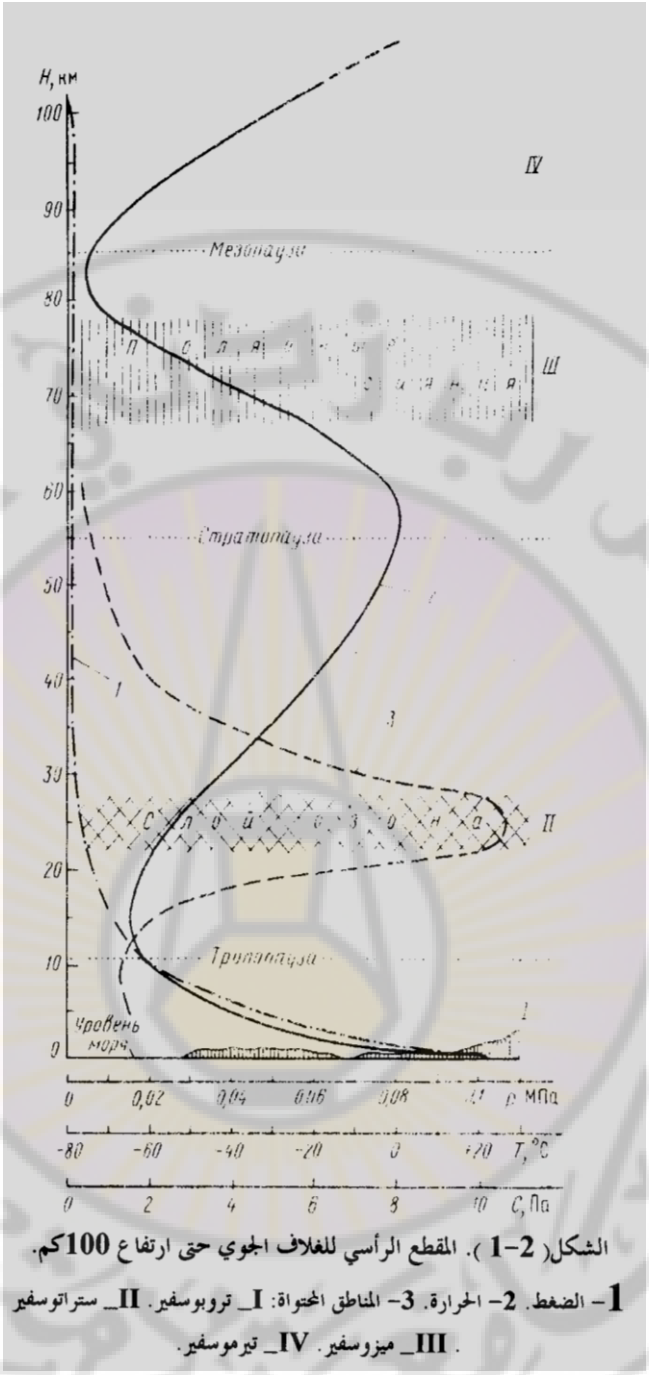
2- الغلاف الطبقي(Stratosphere):

تصل الحرارة في أعلى التروبوسفير إلى قيمة دنيا تبقى عندها شبه ثابتة، وهي تدخل في الحقيقة في تركيب طبقة جديدة، هي الستراتوسفير ، التي يمكن أن يصل ارتفاعها إلى حوالي 55كم، وهي تتميز عن التروبوسفير بارتفاع مستمر لدرجة الحرارة، بمعدل يقدر بحوالي 1- 2ْ م\كم، حيث يمكن أن تصل في أعلى هذه الطبقة إلى أكثر من الصفر المئوية. يحتوي الهواء في هذه الطبقة بالمقارنة مع التروبوسفير على نسبة أعلى من الغازات الخفيفة والنيتروجين، وهو يتكون من طبقات تتحرك بشكلٍ أفقي.

من أهم ميزات طبقة الستراتوسفير هي قدرتها على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية، الآتية من الشمس، في طبقة الأوزون، الذي يصل محتواه قيمته العظمى على ارتفاع حوالي 25كم فوق سطح البحر (**الشكل2-1**)

3- الغلاف المتوسط(Mesosphere):

يمتد هذا الغلاف من أعلى الستراتوسفير وحتى ارتفاع 80- 85كم عن سطح البحر، وهو يتميز على عكس الستراتوسفير بانخفاض مستمر في درجات الحرارة لتصل إلى حوالي -80ْ م. من ميزات هذا الغلاف أن الحرارة في الشتاء أعلى منها في الصيف، كما أن احتواءه على نسبة عالية من الغازات المتأينة، يسبب في حدوث إضاءة خاصة تدعى الإشراق أو الوميض القطبي.



الشكل(2-1). المقطع الرأسي للغلاف الجوي حتى ارتفاع 100كم.

1- الضغط. 2- الحرارة. 3- المناطق المحتواة: I_ تروبوسفير. II_ ستراتوسفير III_ ميزوسفير. IV_ تيرموسفير.

Damascus University

4- الغلاف الحراري(Thermosphere):

يقع هذا الغلاف في المجال 85- 800كم فوق سطح البحر، وهو يتصف بارتفاع مستمر لدرجات الحرارة لتصل إلى 1000- 2000ْ م على ارتفاع 800كم، ويبدأ اعتباراً من الارتفاع 200كم تفكك الجزيئات الغازية، وازدياد كبير في نسبة الهيدروجين والهليوم، كما يزداد مع زيادة الارتفاع دور الذرات المتأينة، والدقائق المشحونة الأخرى.

5- الغلاف الخارجي(Exosphere):

يقع هذا الغلاف في المجال 800-حوالي 2000كم فوق سطح البحر، ويسيطر على تركيبه أيونات الغازات الخفيفة والدقائق العنصرية يتميز هذا الغلاف بهواء مخلل ذي كثافة منخفضة جداً، حيث يتم انتقال تدريجياً إلى الفضاء الخارجي.

أخيراً يجمع الترموسفير والأكزوسفير أحياناً بغلاف واحد يدعى الغلاف الأيوني (الأيونوسفير).

2-1-2- الغلاف المائي:

يتكون الغلاف المائي من مجموع المياه في الأرض، بمختلف حالات وجودها، كمياه البحار، والبحيرات، والأنهار، والمياه الجوفية، ومياه الغلاف الجوي.

تتوزع المياه بشكلٍ غير متجانس بين كل من مياه البحار، والمحيطات، والأنهار، والبحيرات، والجليديات، والمياه الجوفية، فبينما لا تزيد كتلة المياه في المياه الجوفية القريبة من السطح، والجليديات عن 6% من الكتلة الإجمالية للمياه في الغلاف المائي، فإن نصيب مياه البحار والبحيرات والأنهار يصل إلى 94% من هذه الكتلة.

تغطي المحيطات أكثر من ثلثي مساحة الكرة الأرضية، وتشمل مياه المحيطات كل كتلة المياه في الحفر المحيطية والبحرية، والتي تملك اتصالاً مباشراً مع بعضها البعض.

تقسم المحيطات العالمية تبعاً للخصائص المورفولوجية لتضاريس الغطاء الصلب إلى أربعة محيطات، هي:

- المحيط الهادي: ويعد أكبر المحيطات الموجودة على سطح الكرة الأرضية، وتبلغ مساحته مع البحار التابعة له حوالي 179.7 مليون كيلومتر مربع.

- المحيط الأطلسي: تبلغ مساحة المحيط الهادي حوالي 93.36 مليون كيلومتراً مربعاً، ويقد وسطي عمق المياه فيه حوالي 3332م، بينما يبلغ العمق الأعظمي حوالي 9218م(في منخفض بورتوريكو)، ويستخرج من قاعه الكثير من الثروات الطبيعية، كالزركون، والمنغنيز، وغيرهما.

- المحيط الهندي: تبلغ مساحته حوالي 74.9 مليون كيلومتراً مربعاً، ويقدر العمق الوسطي لمياهه بحوالي 4كم، وقد اكتشف فيه عدد من الثروات الطبيعية، كالنفط والغاز، وفلزات الباريت، والزركون، وغيرها من الثروات المفيدة.

- المحيط المتجمد الشمالي: وهو أصغر المحيطات، حيث تقدر مساحته بحوالي 13مليون كيلومتراً مربعاً، ويبقى ثلثا هذا المحيط مغطى بالجليد على مدار السنة وقد اكتشف فيه النفط والغاز، وفلزات الحديد والكاستيريت، وغيرها من الثروات الطبيعية.

– الخواص الفيزيائية، والتركيب الكيميائي لمياه المحيطات والبحار:

تتميز مياه البحار والمحيطات عموماً بلون أزرق مخضر، وهو ما يعزى إلى أن هذه المياه تعكس الأشعة الزرقاء لطيف الضوء الآتي من الشمس، إلا أن هذا اللون يمكن أن يتغير في أماكن مصبات الأنهار إلى ليصبح على شكل ظلال صفراء، وذلك لما تحمله هذه الأنهار من قسيمات مختلفة التركيب. تقدر كثافة مياه البحار في السطح عند درجة الصفر المئوية بحوالي $1.3 g \setminus Cm^3$، مع العلم بأن مقدار هذه الكثافة يزداد مع ازدياد العمق، وذلك بسبب ازدياد الضغط والملوحة. يقدر وسطي حرارة المياه السطحية في المحيطات في المناطق الاستوائية بحوالي 26– 28ْ م، لكن هذه الحرارة تتناقص مع العمق، ومع الاقتراب من المناطق القطبية.

تقدر الملوحة الوسطية لمياه البحار والمحيطات بحوالي 35غ\ل، لكن قيم هذه الملوحة يمكن أن تتغير بشكل كبير باختلاف المناخ، وباختلاف الوارد المائي، فهي يمكن أن تنخفض في بحر البلطيق إلى أقل من 4غ\ل، بسبب مناخه البارد،وبسبب وارده المائي الكبير، بينما تزيد في البحر الأحمر عن 40غ\ل بسبب شدة التبخر. كما أن ملوحة المياه تزداد مع ازدياد العمق.

يتغير معدل وجود الأيونات والعناصر في مياه البحار بشكل واسع جداً، فهو يتراوح بين حوالي 1.10^{-7}ميكرو غرام\كغ للراديوم)، و 19.350ملغ\كغ للكلور(الجدول2-3).

تقسم الأيونات والمركبات المذابة في مياه البحر إلى مجموعتين، هما:

1- مجموعة المركبات المحافظة، وهي مركبات يبقى تركيزها بالنسبة إلى الكلور ثابتاً في أي مكانٍ من البحر المفتوح، مع أن مقدار الملوحة العام يمكن أن يتغير من مكانٍ إلى آخر. أهم أيونات هذه المركبات: $Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^{2-}, SO_4^{2-}$ (وهي الأيونات الرئيسة في مياه البحار).

2- المركبات أو الأيونات غير المحافظة: وهي مركبات، أو أيونات يتغير تركيزها بالنسبة إلى الكلور من مكانٍ إلى آخر مكانٍ من البحر المفتوح. أهم عناصر هذه المجموعة: الأكسيجين، ثاني أكسيد الكربون، الفوسفات، السيليكا، الكربون العضوي المذاب، العناصر الأثر.

الجدول(2-3). التركيب العنصري الوسطي لمياه البحار.

mg / kg	العنصر / أو الأيون	mg / kg	العنصر / أو الأيون
8	*Sr*	19,350	*Cl*
4.5	*B*	10,760	*Na*
1.30	*F*	2,710	*Sulfate*
0.5 – 10	*Silica*	1,290	*Mg*
0.1 – 6	O_2	411	*K*
0.005 – 2	NO_3	399	*Ca*
0.001 – 0.05	PO_4	142	HCO_3
0.3 – 2	*D.Org.C*	67	*bromide*

µg / kg	العنصر	µg / kg	العنصر
0.03	*Zr*	180	*Li*
0.01	*Nb*	6.10^{-4}	*Be*
10	*Mo*	2	*Al*
0.04	*Ag*	6.10^{-4}	*Sc*
0.05	*Cd*	1	*Ti*
0.01	*Sn*	2	*V*
0.2	*Sb*	0.3	*Cr*
60	*I*	0.2	*Mn*
0.4	*Cs*	2	*Fe*
10	*Ba*	0.05	*Co*
$10^{-3} – 10^{-4}$	*Rare.earth*	0.5	*Ni*
0.1	*W*	0.5	*Cu*
4.10^{-3}	*Au*	2	*Zn*
0.03	*Hg*	0.03	*Ga*
0.01	*Ti*	0.05	*Ge*
0.03	*Pb*	4	*As*
0.02	*Bi*	0.2	*Se*
1.10^{-7}	*Ra*	120	*Rb*
3.3	*U*	1.10^{-3}	*Y*

2-1-3- الغلاف الحيوي:

يعبر الغلاف الحيوي عن كل من أجزاء القشرة الأرضية، والغلافين المائي والحيوي، التي تنتشر فيها الحياة.

تقدر الكتلة الإجمالية للمادة الحية في مختلف الأغلفة بحوالي 36.4 مليار طن، يتركز أكثر من 82% منها في الغلاف المائي، وحوالي 17.86 في اليابسة، والنسبة الضئيلة الباقية في الغلاف الجوي.

على الرغم من أن كتلة المادة الحيوانية تزيد عن النباتية في المحيطات بحوالي 30 مرة، فإن معظم الكتلة الحية في اليابسة(98- 99%) تتكون من المادة النباتية، وهي تؤدي الدور الرئيس في تنظيم وجود الأكسيجين، وثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وبالتالي فهي تؤدي دوراً شديد الأهمية وإن كان غير مباشر في عمليات التجوية التي سنتطرق لها في فصلٍ لاحق.

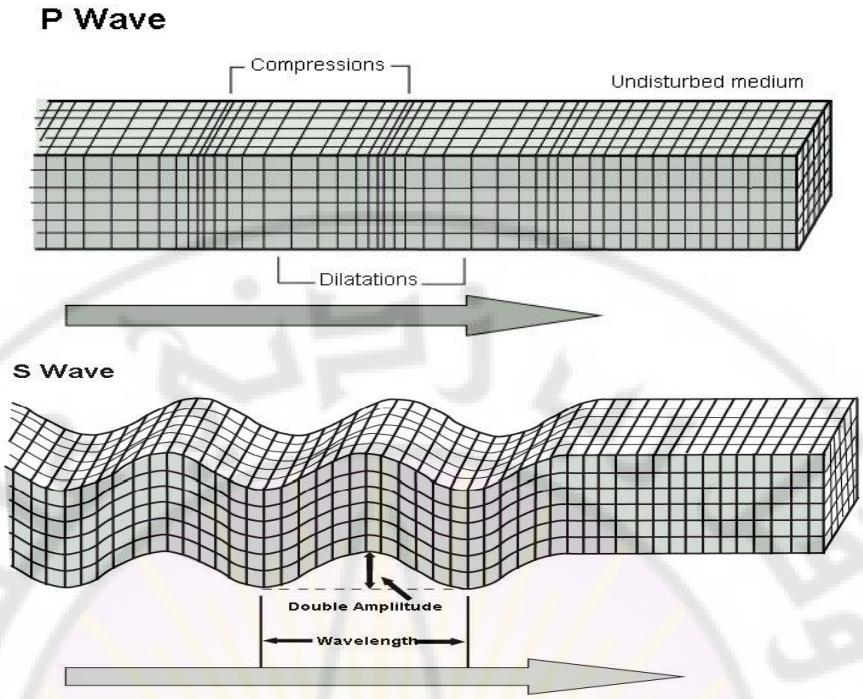
تتكون معظم كتلة المادة الحية من كل من الكربون، الأكسيجين، الهيدروجين، النيتروجين، والكبريت، كما أن هذه المادة يمكن أن تحتوي على مختلف بقية العناصر الكيميائية بنسبٍ ضئيلة جداً بالمقارنة مع العناصر السابقة الذكر.

2-2- مجموعة الأغلفة الداخلية:

2-2-1-دور الدراسات السيسمية في التعرف على البنية الداخلية للأرض:

تتولد عن الزلازل الأرضية، وعن أجهزة الدراسات السيسمية الخاصة موجات اهتزازية، تقسم إلى نوعين رئيسين، هما الأمواج الاهتزازية الطولية(أو الأولية لأنها تصل أولاً إلى أجهزة القياس)، وهي أمواج تتذبذب بنفس اتجاه انتقال الحركة، بشكل مشابه لحركة النابض(الشكل2-2)، ويمكنها أن تنتشر في جميع الأوساط، الغازية، السائلة، والصلبة. والأمواج العرضية(أو الأمواج الثانوية، لأنها تصل متأخرة عن الموجات الطولية)، وهي أقل سرعة من الأمواج الطولية، ولا تنتشر إلا في الأوساط الصلبة، وتتذبذب بشكل عمودي على اتجاه انتقال الحركة، كما يحدث عندما نهز حبلاً مثبتاً من أحد أطرافه، لذلك تسمى أيضاً أمواج القص Shear waves(الشكل2-2).

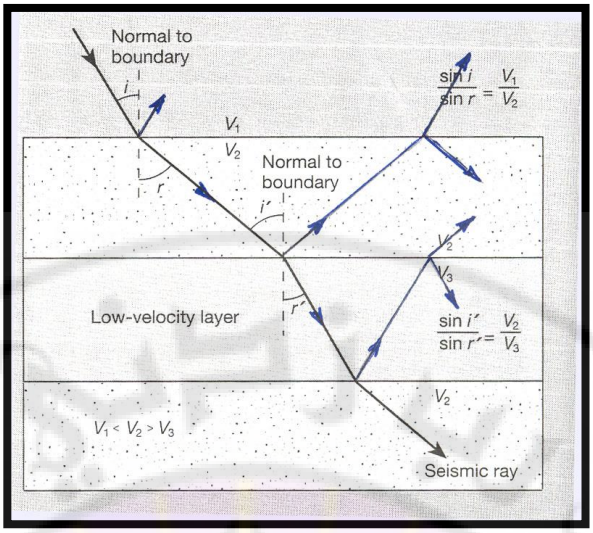
تزداد سرعة اللأمواج الاهتزازية بازدياد كثافة الأوساط التي تخترقها، والتي تتعلق بشكلٍ رئيس بالتركيب الكيميائي لها، وبمقدار الضغط الذي تعاني منه، كما أن هذه الأمواج تنعكس، أو تنكسر عند مرورها عبر الحدود الطبقية بين صخور مختلفة الخواص (الشكل2-3).



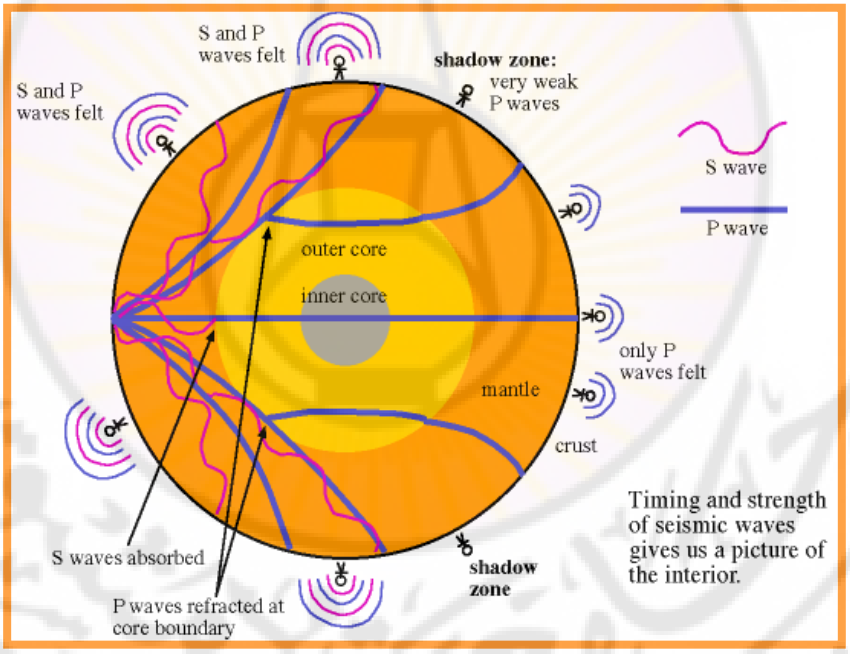
الشكل(2–2). مخطط توضيحي لحركة كل من الأمواج الطولية(في الأعلى)، والأمواج العرضية(في الأسفل).

يمكن من خلال أجهزة خاصة تدعى أجهزة السيسموغراف التقاط اللأمواج الاهتزازية(السيسمية) الاصطناعية، المرتدة من الحدود بين الطبقات مختلفة الخواص، أو التي تسببها الزلازل ولو على بعد الآف الكيلومترات عن محطات القياس، كما أن هذه اللأمواج يمكن التقاطها عند اختراقها الأرض من الجهة المقابلة.

لقد سمحت دراسة الأمواج الاهتزازية بتمييز ثلاثة أجزاء رئيسة تشكل الأغلفة الداخلية للأرض، وهي القشرة الأرضية، المعطف(الوشاح)، النواة.(الشكل2-4)



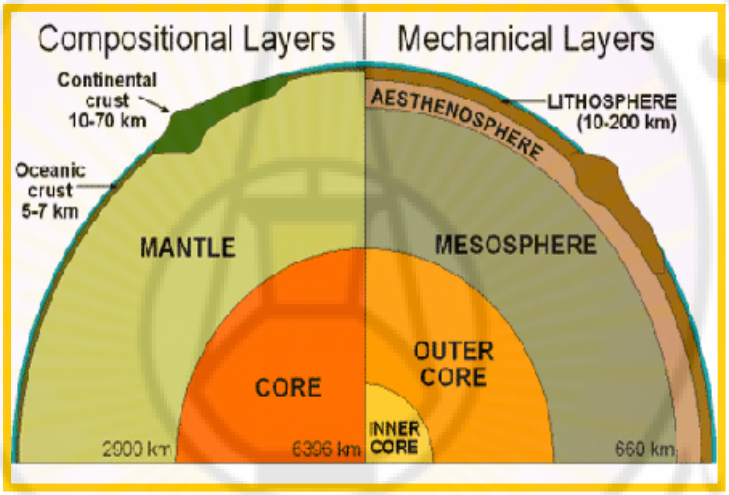
الشكل(2–3). مخطط يوضح انعكاس، وانكسار اللأمواج،
عند مروها عبر حدود الطبقات مختلفة الخواص.



الشكل(2–4). شكل يوضح كيف يمكن أن تساعد دراسة الأمواج

2-2-2- القشرة الأرضية:

تبدأ القشرة الأرضية اعتباراً من سطح الأرض، وحتى عمق يتغير بين 5- 10كم تحت قاع المحيطات، 30 و أكثر من 70كم تحت القارات، وتتغير سماكة هذه القشرة باختلاف التضاريس السطحية، حيث تزداد سماكتها في الأماكن المرتفعة من سطح الأرض، فهي تكون أسمك ما يمكن تحت الجبال، لذلك يقال أن للجبال جذوراً تحت سطح الأرض،وتزداد هذه السماكة كلما ازداد ارتفاع هذه الجبال لتصل قيمتها العظمى تحت أعلى قمم جبال الهيمالايا(حوالي سبعين كم)، بينما تتناقص هذه السماكة في المناطق السهلية والمنخفضة(الشكل 2-5).



الشكل(2-5) أغلفة الأرض، وفقاً للتركيب الكيميائي(إلى اليسار)، ووفقاً للصفات الميكانيكية إلى(اليمين)

يميز في القشرة الأرضية بين كلٍ من القشرة الأرضية القارية، والقشرة الأرضية المحيطية:

1- القشرة القارية: تتميز القشرة الأرضية القارية بسماكاتٍ كبيرة، تتراوح بين حوالي 30كم، وأكثر من 70كم(تقدر في جبال الهيمالايا ب60- 80كم)، وهي تتكون من الأعلى نحو الأسفل من:

- طبقة رسوبية: تتراوح سماكاتها بين الصفر(حيث الغياب الكامل)، وحتى 15-20كم في الوهاد العميقة، ويقدر معدل سرعة عبور الأمواج الاهتزازية في هذه الطبقة بحوالي 5كم/ثا.

- طبقة غرانيتية: يمكن أن تصل سماكتها حتى 20كم، لكن هذه الطبقة تغيب في بعض الأماكن لأسباب ما زالت غير مؤكدة التفسير، كما في منطقة الدرع البلطيقي، والجزء المركزي من غور بحر قزوين. تقدر سرعة عبور اللأمواج الاهتزازية في هذه الطبقة بحوالي 6.5- 7.2كم/ثا.

- طبقة بازلتية: تمتد حتى سطح موهوروفيتش، الذي يمثل الحد السفلي للقشرة الأرضية، وعمقه الوسطي تحت القشرة القارية حوالي 35كم. تقدر سرعة عبور الأمواج الاهتزازية في هذه الطبقة بحوالي 7.5كم/ثا.

2- **القشرة المحيطية:** تتميز القشرة المحيطية بسماكات قليلة(5- 10كم)، وتتميز بغياب الطبقة الغرانيتية، وبالسماكات القليلة للطبقة الرسوبية، وهي تتكون بشكل رئيس من البازلت. يميز في مقطع القشرة المحيطية بين:

- طبقة مائية ذات سماكة وسطية 4- 4.5كم.
- طبقة من الرسوبيات غير المتراصة، ذات سماكة وسطية 0.7- 1كم، وسرعة الموجات فيها 1.5- 4.5كم/ثا.
- طبقة رسوبية، ذات سماكة وسطية 1.7كم، وهي ذات كثافة أكبر من الطبقة الرسوبية السابقة، وتقدر سرعة الموجات الاهتزازية فيها بحوالي 5.1- 5.5كم/ثا.

– طبقة بازلتية لها مواصفات الطبقة البازلتية في القشرة القارية، وسماكتها الوسطية حوالي 4.2كم.

يمكن أن يتشكل قشرة مناطق انتقالية عند الانتقال من القشرة القارية إلى المحيطية، حيث تتميز هذه القشرة من حيث السماكة، والبنية، وكثافة الصخور، وسرعة انتقال الموجات الاهتزازية بصفات انتقالية بين القشرتين القارية والمحيطية؛ لكن كثيراً من يكون الانتقال بين هاتين القشرتين حاداً.

– التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية:

على الرغم من العدد الكبير للعناصر الكيميائية التي اكتشف وجودها في الأرض فإن تسعة منها فقط تشكل حوالي 98% من تركيب القشرة الأرضية، وهي الأكسيجين، السيلكون، الألومنيوم، الحديد، الكالسيوم، البوتاسيوم، الصوديوم، المغنيزيوم، والهيدروجين، ولا تشكل بقية العناصر الكيميائية المعروفة أكثر من حوالي 2%. لكن هذا لا يعني بالطبع أننا سنجد هذه العناصر التسعة في الطبيعة بشكل حر، فهي بسبب فعاليتها الكيميائية الشديدة تتحد مع بعضها، ومع بقية العناصر لتشكل عدداً هائلاً من المركبات الكيميائية، ويشذ الأكسيجين عن هذه العناصر حيث يتواجد في الغلاف الجوي بالحالة الحرة، بالإضافة إلى تواجده كعنصر ضمن مركبات كيميائية كثيرة. وبسبب احتواء القشرة الأرضية على نسبة عالية من السيلكون، والألومنيوم، فإنه يطلق عليها تسمية السيال(Si, Al).

أطلق فيرسمان على معدل محتوى أي عنصر من الجدول الدوري في القشرة الأرضية مصطلح كلارك هذا العنصر، وذلك تكريماً للعالم الأمريكي ف.و. كلارك، الذي تمكن من أن يعطي في عام 1889م توضيحاً، لانتشار العناصر الكيميائية في القشرة الأرضية. يبين الجدول(2-4) كلارك بعض العناصر الكيميائية في القشرة الأرضية.

الجدول(2–4)كلارك بعض العناصر في القشرة الأرضية، وفقاً لتقديرات كل من كلارك، واشنطن(1924)، فيرسمان(1933– 1939)، فينوغرادوف(1949)

العنصر	كلارك، و واشنطن 1924م	فيرسمان 1933–1939م	فينوغرادوف 1949م
H	0,88	1,00	0,15
He	–	1.10^{-6}	–
Li	0,004	5.10^{-3}	$6,5.10^{-3}$
Be	0,001	4.10^{-4}	6.10^{-4}
B	0,001	5.10^{-3}	3.10^{-4}
C	0,087	0,35	0,1
N	0,03	0,04	0,01
O	49,52	49,13	47,2
F	0,027	0,08	0,027
Ne	–	5.10^{-7}	–
Na	2,64	2,40	2,64
Mg	1,94	2,35	2,10
Al	7,51	7,45	8,80
Si	25,75	26,00	27,6
P	0,12	0,12	0,08
S	0,048	0,10	0,05
Cl	0,19	0,20	0,045
Ar	–	4.10^{-4}	–
K	2,40	2,35	2,60

2-2-3- المعطف/أو الوشاح الأرضي(Mantle):

يعد المعطف أكبر أجزاء الأرض، حيث يشغل حوالي 83% من حجمها، و66% من كتلها، وهو يقسم إلى الأجزاء التالية:

- المعطف العلوي، وهو يمتد اعتباراً من انقطاع موهو حتى عمق حوالي 400كم، ويميز فيه بين جزء علوي صلب، يشكل مع القشرة الأرضية غلافاً يسمى الليثوسفير(أو الغلاف الصخري)، وجزء سفلي يسمى الأستينوسفير، ويبدأ من عمق حوالي 30كم تحت المحيطات، و100كم تحت القارات، ويمتد حتى عمق حوالي 400كم تحت السطح. يتم التعرف على السطح العلوي للأستينوسفير من خلال الانخفاض المفاجئ لسرعة الموجات السيسمية ، وهو يعد منطقة لدنة نصف صلبة في المعطف، ويعزى تشكل هذه الطبقة إلى أن معدل تزايد درجة الحرارة فيها يفوق معدل تزايد الضغط، وبالتالي يكون تأثير الحرارة أكبر من تأثير الضغط. تعد هذه الطبقة مصدراً لمعظم الزلازل الأرضية والأنشطة المغماتية، وهي بالتالي تؤدي الدور الأهم في بنية وتركيب، واستقرار القشرة الأرضية.

- المنطقة الانتقالية(أو المعطف المتوسط): وهي تمتد اعتباراً من السطح السفلي للأستينوسفير(عمق حوالي 400كم)، وحتى عمق حوالي 1000كم، وتتميز بتزايد كبير في سرعة الأمواج السيسمية مع العمق، ويعزى هذا التزايد إلى ازدياد ارتصاص ذرات المواد وتغير ترتيبها، مما يؤدي إلى تزايد كثافتها.تتغير سرعة الأمواج السيسمية الطولية في هذه المنطقة بين 8.9 و 11كم/ثا.

- المعطف السفلي: وهو يبدأ من أسفل المنطقة الانتقالية، وحتى سطح فيهيرت-غوتنبيرغ، الذي يفصله عن النواة، وتتراوح أعماقه بين حوالي 1000و 2900كم.وتتميز مواد هذا الجزء بكثافتها العالية التي يمكن أن تصل إلى حوالي

9.4غرام/ سم^3، تزداد سرعة اختراق الأمواج السيسمية في المعطف السفلي بشكلٍ ثابتٍ ، ويمكن أن تصل إلى حوالي 13.6كم/ثا.

يتكون المعطف الأرضي بشكل رئيس من اتحاد معادن ثقيلة(خاصة الحديد والمغنيزيوم) مع كلٍ السيلكون، والألومنيوم، ويشكل كل من أكسيدي السيليسيوم والمغنيزيوم حوالي 88% من وزن المعطف لذلك يطلق على هذا الغلاف تسمية السيما.

2-2-4- النواة:

تشغل النواة حوالي 17% من الحجم الكلي للأرض، وحوالي 34% من كتلتها. ووفقاً للدراسات السيسمية فإن النواة تقسم إلى قسمين:

- النواة الخارجية: وهي تقع بعد انقطاع فيهيرت- غوتنبيرغ مباشرة، وتقدر سماكتها بحوالي 2300كم، وهي تتميز بانخفاض في سرعة الأمواج الاهتزازية، كما أنها لا تسمح للموجات الاهتزازية العرضية بالمرور من خلالها، لذا يعتقد بأنها في حالة شبه سائلة، وتعد حركة مادة هذا الغلاف الناجمة عن دوران الأرض المصدر الرئيس للحقل المغناطيسي الأرضي. تتكون النواة الخارجية من الحديد ، كما يعتقد بأن نسبة ضئيلة من الكبريت تدخل في تركيبها، وهي التي تفسر نقصان كثافتها بالمقارنة مع الحديد النقي. تنتهي النواة الخارجية بانقطاع ليمان(Lehman Discontinuity) الذي يفصلها عن النواة الداخلية.

- النواة الداخلية: تبدأ حدود هذه النواة اعتباراً من انقطاع ليمان، حيث تزداد سرعة الموجات الاهتزازية، وهي تقع ضمن المجال العمقي 5120- 6370كم، وتعد أكثف أغلفة الأرض، حيث تقدر كثافتها بحوالي 12- 13.6 غ/سم^3، ويعتقد بأنها تتكون من حوالي 80- 90% من الحديد، و10- 20% من النيكل.

يطلق على النواة بشكل عام تسمية النيفا، وذلك بسبب سيطرة الحديد والنيكل على تركيبها الكيميائي.

الفصل الثالث

الفلزات

3-1- تعريف:

تعرف الفلزات عادةً بأنها مواد لا عضوية ذات تشكل طبيعي، وذات تركيب كيميائي محدد يتميز ببنية ذرية ذات بنية عالية التنظيم. وبذلك فإن المواد التي تركب اصطناعياً لا تدخل ضمن قائمة الفلزات، كما أن هذا التعريف يستثني أيضاً المواد ذات الأصل العضوي. إلا أن الجمعية المينيرالوجية الدولية تبنت في عام 1995م تعريفاً جديداً للفلزات، وهو :أن الفلز عنصر أو مركب كيميائي، ذو بنية بلورية طبيعية، وقد تشكل نتيجة للعمليات الجيولوجية.

تتميز الفلزات بتوزيع عالي التنظيم للذرا ت، أو الأيونات الداخلة في تركيبها، وبتركيب كيميائي محدد، أو متغير ضمن حدود ضيقة، وبمواصفات فيزيائية محددة، وهي تشكل حجر البناء لمختلف أنواع الصخور. تتميز الغالبية العظمى من الفلزات بوجودها في الحالة الصلبة، وهناك من يشترط في تعريفها أن تكون في هذه الحالة تحديداً، إلا أنه يمكن لها في الحقيقة(وإن كان ذلك في حالات نادرة نسبياً) أن تكون في الحالة السائلة(كفلز الزئبق).

يعرف اليوم وفقاً لمعطيات الجمعية المينيرالوجية الدولية أكثر من 4000 فلز، منها 150 فلز يمكن أن تدعى فلزات شائعة، و50 فلزات عرضية، والبقية شديدة الندرة.

3-2- البنية البلورية(Crystal structure):

تعد البنية البلورية إحدى الخواص الفيزيائية شديدة الأهمية للفلزات، وذلك كونها تؤثر بشكلٍ كبير على بقية خصائصها الأخرى. وهي تعبر عن الترتيب الهندسي الخاص للذرات، أو الأيونات في البنية الداخلية للفلز، حيث تتميز البنية البلورية بترتيب داخلي منظم للذرات أو الأيونات في الفلز، وينعكس نمط هذا الترتيب على الشكل الهندسي الخارجي الذي تأخذه البلورة.

يوجد أربعة عشر نوعاً رئيساً من ترتيب الذرات في الشبكات البلورية في الأبعاد الثلاثة، يشار إليها بشبكات برافيس(Bravais Lattics). إن كل واحدة من هذه الشبكات يمكن أن تدخل ضمن واحدٍ من سبعة أنظمة بلورية.

يدخل كل فلز من الفلزات في نظام بلوري معين، ويمكن تمييز نظام التبلور في بعض الفلزات بوضوح، إلا أننا نحتاج لتمييز البنية البلورية في بعضها الآخر إلى استخدام الأشعة السينية.

إن التركيب الكيميائي للفلز، وبنيته البلورية هما اللذان يحددان كل الصفات التي يمكن أن يتميز بها الفلز.

تتميز بعض الفلزات بما يعرف بالتعدد الشكلي(Polymorphism)، حيث يكون لفلزين أو أكثر نفس التركيب الكيميائي إلا أنهما يختلفان عن بعضهما بنظام التبلور(نوع البنية البلورية)، مما يؤدي إلى اختلاف صفاتهما الفيزيائية بشكل كبير، فللغرافيت والألماس(Diamond) نفس التركيب الكيميائي(من الكربون النقي)، ويتميز الغرافيت بأنه طري جداً، بينما يتميز الألماس بأنه أقسى الفلزات جميعاً، وذلك لأن ذرات الكربون في الغرافيت تنتظم في وريقات يمكن فصلها عن بعضها بسهولة، بينما تشكل ذرات الكربون في الديامونـد شبكة بلورية ثلاثية الأبعاد شديدة التماسك. من جهةٍ أخرى يمكن أن تدخل بعض الفلزات على الرغم من اختلاف تراكيبها الكيميائية في نفس نظام التبلور، وذلك كالغالينا(PbS) والهاليت(NaCl)والبيركليز(MgO)، وتدخل جميعها في نظام التبلور المكعبي.

تتحدد البلورات بسطوح مستوية تسمى الأوجه، وتعبر أضلاع البلورة عن الخطوط المستقيمة التي تنتج عن تقاطع الأوجه. ويشكل تلاقي الأحرف رؤوس البلورة، ويسمى كل من الزوايا، والأحرف والوجوه البلورية بالعناصر الخارجية للبلورة.

لقد بينت الدراسات أن زوايا تلاقي وجوه البلورة تمثل أحد المظاهر الأساسية الثابتة في تحديد الفلز، حيث تكون هذه الزوايا ثابتة في الفلز الواحد مهما تبدل حجمه، وهو ما يعرف بقانون ثبات الزوايا بين وجوه الشكل البلوري.

3-3- عناصر التناظر في البلورات Symmetry Elements :

1- مركز التناظر Center of Symmetry : وهو عبارة عن نقطة وهمية داخل الشكل البلوري، إذا مر عبرها أي خط مستقيم، فإنه سيتقاطع مع الشكل البلوري بنقطتين متكافئتين، يفصلهما عنها بعدين متساويين.

إن لكل جسم بلوري مركز تناظر واحد يرمز له بالرمز C .

2- محور التناظر Axis of Symmetry: هو خط وهمي يمر من مركز التناظر، إذا دار الجسم البلوري حوله دورة كاملة ستتكرر الأجزاء المتكافئة منه مرتين على الأقل(يقال أن الجسم البلوري يكرر نفسه)، ويرمز له بالحرف L، ويقال إن محور التناظر من الدرجة الثانية إذا كرر الجسم نفسه مرتين L2، ومن الدرجة الثالثة L3 إذا كرر نفسه ثلاث مرات، ويمكن أن يوجد في البلورات محاور تناظر من الدرجة الثانية والثالثة والرابعة والسادسة. يمكن أن يوجد في الجسم البلوري أكثر من محور من نفس الدرجة، فإذا كان فيه محوران من الدرجة الثالثة نرمز لهما ب 2L3، وإذا كان عدد هذه المحاور ثلاثة نرمز لعدد المحاور هذه ب 3L3 ..الخ.

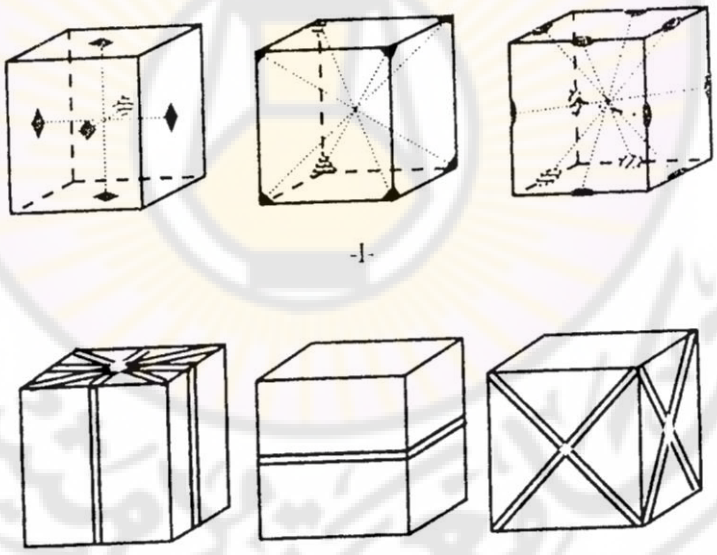
3- مستوي التناظر Plane of Symmetry : وهو عبارة عن مستوٍ وهمي يمر من مركز البلورة ويقسمها إلى نصفين متماثلين تماماً يمثل كل منها مرآة الآخر بالنسبة لهذا المستوي. يرمز لمستوي التناظر بالحرف P، ويمكن أن تحتوي البلورة على أكثر من مستوي تناظر فيوضع أمام رمز المستوي رقم يدل على عدد مستويات التناظر في البلورة، 4P, 3P, 2P ..الخ. وعموماً فإن عدد مستويات التناظر في البلورة الواحدة يساوي عدد محاور الدرجة الثانية فيها.

3–4– الأنظمة البلورية(Crystalline Systems):

يميز وفقاً للشكل الهندسي الذي ينجم عن ترتيب الذرات، أو الأيونات في الشبكات البلورية، بين عددٍ من الأنظمة البلورية، التي يتميز كل واحدٍ منها بعددٍ ثابتٍ من عناصر التناظر، وتقسم هذه الأنظمة البلورية على ثلاث فئات تناظرية، هي فئة التناظر العليا، وفئة التناظر الوسطى، وفئة التناظر الدنيا. إن أية بلورة من البلورات الفلزية تنتمي إلى واحدٍ من الأنظمة البلورية.

1– فئة التناظر العليا:

تضمّ هذه الفئة نظاماً بلورياً واحداً، وهو النظام المكعبي، وهو يتميز بوجود أكثر من محور تناظر أعلى من الدرجة الثانية، وصيغته التناظرية: 3L2 4L3 6L2 9P C . إن الشكل الهندسي النموذجي للبلورة في هذا النظام هو عبارة عن مكعب(**الشكل–3–1**).

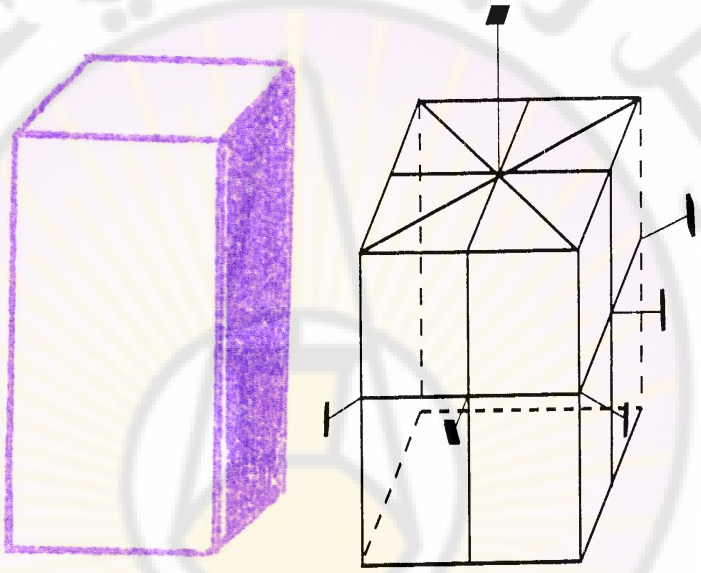


الشكل(3–1). عناصر ومستويات التناظر في النظام المكعبي

2– فئة التناظر الوسطى:

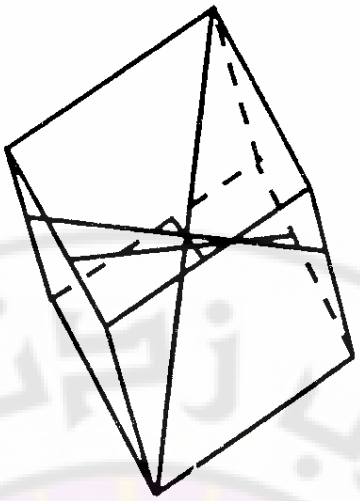
تحتوي البلورة التي تنتمي إلى هذه الفئة على محورٍ واحدٍ أعلى من الدرجة الثانية، وتنسب إلى هذه الفئة الأنظمة البلورية التالية:

1– النظام الرباعي(Tetragonal System): صيغته التناظرية: L4 4L2 5P C. تأخذ البلورة النموذجية(غير مكسرة الرؤوس، أو الأحرف) شكل موشور قائم قاعدتاه مربعان، وأوجهه الجانبية مستطيلات متساوية(**الشكل3–2**).



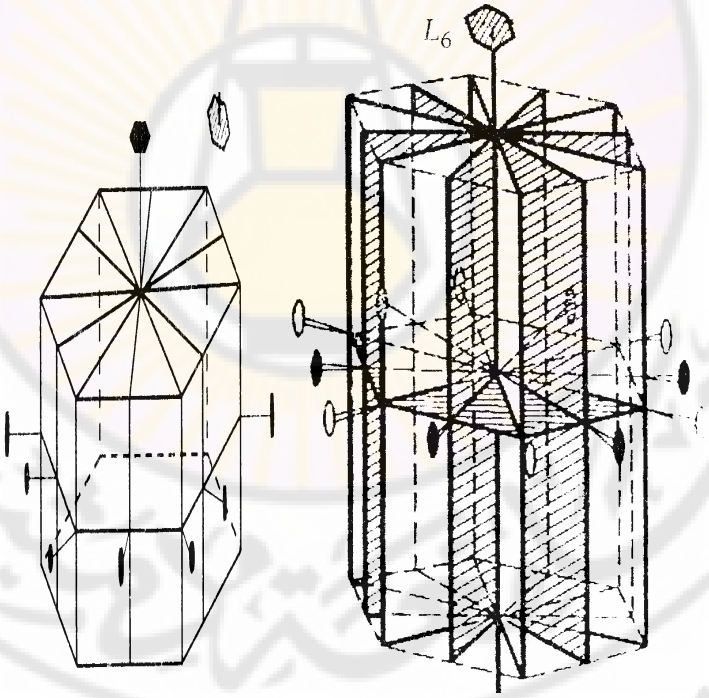
الشكل(3–2).عناصر التناظر في النظام الرباعي.

2– النظام المعيني/ أو الثلاثي (Rhombohedral/ or Trigonal System): صيغته التناظرية L3 3L2 3P C تكون البلورة النموذجية في هذا النظام عبارة عن موشور هندسي مائل جميع وجوهه معينات متساوية.



الشكل(3–3).محاور التناظر في النظام المعيني.

3– النظام السداسي(Hexagonal System):صيغته التناظرية L6 6L2 7P C. تكون البلورة النموذجية في هذا النظام على شكل موشور سداسي قاعدتاه مسدسان متساويان، وأوجهه مستطيلات متساوية.

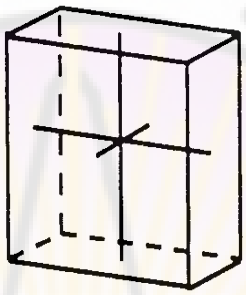


الشكل(3–4). عناصر التناظر في النظام السداسي.

3– فئة التناظر الدنيا:

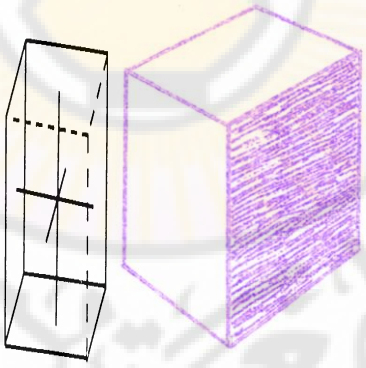
لا يوجد في بلورات هذه الفئة محاور تناظر أعلى من الدرجة الثانية، وهي تضم الأنظمة البلورية التالية:

1– النظام المعيني القائم(Orthorhombic System): صيغته التناظرية 3L2 3P C. تكون البلورة النموذجية في هذا النظام عبارة عن موشور قائم، قاعدتاه معينان متساويان، وأوجهه مستطيلات متساوية.



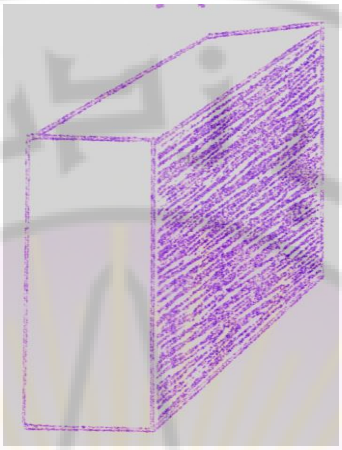
الشكل(3–5).محاور التناظر في النظام المعيني القائم.

2– النظام أحادي الميل(Monoclinic System): صيغته التناظرية L2 P C. تكون البلورة النموذجية في هذا النظام عبارة عن موشور مائل، قاعدتاه معينان متساويان، ووجوهه متوازيات أضلاع متساوية.



الشكل(3–6). بلورة أحادية الميل.

3- النظام ثلاثي الميل(Triclinic System): صيغته التناظرية C، أي لا تحتوي البلورات المنتمية إلى هذا النظام من عناصر التناظر إلا على مركز تناظر. وتكون البلورة النموذجية عبارة عن موشور مائل قاعدتاه متوازيا أضلاع، وأوجهه متوازيات أضلاع، وكل وجهين متقابلين متساويان.



الشكل(3-7). بلورة ثلاثية الميل.

3-5- الخصائص الفيزيائية للفلزات:

ينعكس التركيب الكيميائي للفلزات وبنيتها البلورية على خصائصها الفيزيائية، التي تساعدنا في تمييزها والتعرف عليها. يمكن في كثير من الحالات تحديد هوية الفلزات من خلال دراسة بسيطة لخصائصها الفيزيائية، بينما لا يمكننا في حالات أخرى تحديد هوية بعض الفلزات إلا من خلال التحاليل المخبرية، أو استخدام المجهر، كما يمكن أن يتم اللجوء لتحقيق هذه الغرض إلى استخدام الأشعة السينية، أو استخدام التحليل الطيفي.

تتضمن الخصائص الفيزيائية(بالإضافة إلى نظام التبلور)، والتي تستخدم في تحديد هوية الفلزات ما يلي:

3-5-1- القساوة(Hardness):

هي مقاومة السطح المصقول للفلز للخدش، وهي من الصفات الهامة في تحديد.

هوية الفلزات، ويعتمد في تحديد قساوة الفلزات على سلم موس للقساوة(Mohs scale)، وهو سلم نسبي ترقم الفلزات الداخلة فيه وفقا لتزايد قساواتها من 1 إلى 10. إن أي فلز يمكنه أن يخدش الفلز الذي يسبقه في السلم، بينما ينخدش من الفلز الذي يليه.

يتضمن سلم موس للقساوة الفلزات التالية، مرتبة وفقاً لتزايد قساواتها:

1- التالك $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$.

2- الجص $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

3- الكالسيت $CaCO_3$.

4- الفلوريت CaF_2.

5- الأباتيت $Ca_5(PO_4)_3(OH,Cl,F)$.

6- الأورثوكلاز $KAlSi_3O_8$.

7- الكوارتز $KAlSi_3O_8$.

8- التوباز $Al_2SiO_4(OH,F)_2$.

9- الكورندوم Al_2O_3.

10- الدياموند C

3-5-2- البريق(Lustur):

يدل البريق على الطريقة التي يتعامل معها سطح الفلز مع الضوء الساقط عليه، ويتعلق ذلك بنسبة الضوء المنعكسة عن سطح الفلز، وتتراوح الفلزات وفقاً لهذه الخاصة بين الكامدة، وحتى الفلزات ذات البريق الزجاجي.

يميز وفقاً الأنواع التالية من البريق:

1- فلزات ذات بريق معدني: تتميز هذه المجموعة بقدرتها على عكس نسبة كبيرة من الضوء الساقط عليها، وذلك كفلزي الغالينا، والبيريت.

2- فلزات ذات بريق شبه معدني: وهي تعكس نسبة من الضوء أقل قليلاً من ذات البريق المعدني، وذلك كفلز الماغنيتيت.

3- فلزات ذات بريق لا معدني، ويميز هنا بين الأنواع التالية من البريق:

- بريق الماسي، كالألماس.
- بريق زجاجي: يشبه بريق الزجاج المكسر، كالكوارتز.
- بريق لؤلؤي: كبريق فلز التالك.
- بريق صمغي: كبريق فلز الكبريت.
- بريق حريري: كبريق فلز الجص.
- يمكن أن يطلق على البريق أيضاً تسميات مختلفة لاعطاء أقرب تصور ممكن.

3-5-3- اللون(Color):

يشير اللون إلى مظهر الفلز في الضوء المنعكس، أو في الضوء النافذ إذا كان الفلز شفافاً، ويشير لون الفلز إلى قدرته على امتصاص ألوان الطيف، فإذا كان الفلز أحمر اللون، فإن ذلك يعني أنه قادر على امتصاص جميع الألوان عدا اللون الأخضر، وإذا كان أصفر اللون، فإن ذلك يشير إلى قدرته على امتصاص جميع الأوان الطيف الضوئي عدا اللون الأصفر..الخ. يكون اللون في بعض الفلزات ثابتاً، كما في الذهب(أصفر ذهبي)، والكبريت(أصفر)،الماغنيتيت(أسود)، المالاخيت(أخضر)، ولكنه يتغير إلى درجة كبيرة في معظم الفلزات وفقاً لأية نسبة من الشوائب يمكن أن تدخل في تركيب الفلز، أو أي تغير في نسب مكوناته، لذلك يعد اللون من الصفات التي لا يمكن الاعتماد عليها في تمييز الفلزات.

يتعلق اللون الذي يبديه الفلز بكلٍ من:

1- التركيب الكيميائي: حيث يتأثر لون الفلز بنوعية، وتكافؤ الأيونات الكيميائية الداخلة في تركيبه، وبنسب هذه الأيونات إلى بعضها، فعلى سبيل المثال تلون أيونات الكالسيوم، والبوتاسيوم، والصوديوم الفلزات بألوان فاتحة، بينما تلونها أيونات الحديد، والكروم، والنحاس، والنيكل بألوان قاتمة، ويضفي كاتيون الحديد الثنائي على الفلز لوناً أخضراً أو بنياً، بينما يلونه كاتيون الحديد الثلاثي باللون الأصفر، ويؤدي اجتماع الكاتيونين إلى تلوينه بالأسود.

2- البنية البلورية الداخلية: فلبعض الفلزات نفس التركيب الكيميائي، ولكنها تختلف عن بعضها بنظام التبلور، مما يؤدي إلى اختلاف ألوانها، كالغرافيت(نظام تبلور سداسي) والألماس(نظام تبلور مكعبي)، ووكالأورتوكلاز ($K(AlSi_3O_8)$) وحيد الميل)، والميكروكلين(ثلاثي الميل).

3- وجود الشوائب: تؤثر الشوائب إلى حدٍ كبير في تغيير ألوان الفلزات، وخاصة الفاتحة منها، أو عديمة اللون، ففلز الكوارتز النقي، هو فلز عديم اللون، ولكنه يمكن أن يظهر بألوان عديدة، كالكوارتز البنفسجي، والدخاني، والحليبي، والأسود.

3-5-4- المخدش(Streak):

يشير المخدش إلى لون مسحوق الفلز، وهي صفة يمكن الاعتماد عليها أكثر من اللون لأنها صفة ثابتة، مع العلم بأنه ليس شرطاً أن يتطابق لون المخدش مع لون الفلز الذي نتج منه، فلون المخدش في فلز الغالينا(فضي)، والملاخيت(أخضر) يتطابق مع لونيهما، بينما يختلف لون المخدش في البيريت(أسود) عن لون الفلز(أصفر).

3-5-5- الانفصام(Cleavage):

يعبر الانفصام عن الطريقة التي يمكن أن ينفصل فيها الفلز عن بعضه، في مستويات معينة، تسمى سطوح الانفصام. يتحكم في سطوح الانفصام الترتيب الداخلي للذرات في

البنية البلورية للفلز، وتمثل سطوح الانفصام الاتجاهات التي تكون فيها الروابط الذرية ضعيفة، لذلك فإن سطوح الانفصام تكون ثابتة في الفلز.

يمكن أن يكون للفلز سطح انفصام واحد، وذلك كفلز الميكا، الذي ينفصم بسهولة ليعطي بلورات سداسية رقيقة، بينما تتميز بعض الفلزات بوجود أكثر من سطح انفصام ، يمكن أن تتميز عن بعضها بدرجة سهولة فصلها، فللكالسيت على سبيل المثال ثلاثة سطوح انفصام، متساوية من حيث سهولة انفصامها، في حين للفلدسبار ثلاثة سطوح انفصام، غير متساوية من ناحية سهولة الانفصام.

يميز وفقاً لدرجة اكتمال الانفصام بين أنواع الانفصام التالية:

1- انفصام تام، وذلك كالانفصام الذي يتم في فلزات الجص، والميكا، والكالسيت، وغيرها.

2- انفصام واضح، وهو ليس بدرجة كمال النوع الأول ولكنه جيد الوضوح، وذلك كما في الفلدسبار القلوي.

3- انفصام غير تام، وذلك كما في فلز الألبيت.

4- انفصام غير واضح، وذلك كما في فلز الكوارتز.

3-5-6 المكسر(Fracture):

يشير المكسر إلى مظهر السطح المتشكل عندما يتكسر الفلز في اتجاهات مختلفة عن اتجاهات سطوح الانفصام، ووفقاً لهذا المظهر الذي يبديه سطح الفلز المتكسر، يميز بين الأنواع التالية:

- مكسر مستوٍ: كما في فلز الفلوريت(CaF_2).
- مكسر غير مستو: كما في فلز الباريت ($Ba(SO_4)$.
- مكسر محاري:يظهر سطح المكسر على شكل خطوط مقوسة متوازية شبيهة بخطوط نمو أصداف المحار، كما في فلز الكوارتز(SiO_2).

- مكسر ترابي: يظهر سطح المكسر بمظهر التراب، كما في فلز البوكسيت($AL_2O_3.2H_2O$).
- مكسر متشظ: يتشكل سطح مغطى بشظايا موجهة باتجاه واحد، كما في فلز السينابار يت(HgS).

يمكن أن يطلق على المكسر أيضاً تسميات أخرى مختلفة، في محاولةٍ لإعطائه وصفاً أدق ما يمكن، فيقال مثلاً مكسر إبري(كما في الجص الخيوطي، والأمفيبول، ومكسر ناعم، كما في الشيرت(أحد أنواع الصوان)..الخ.

3-5-7- الوزن النوعي(Specific gravity):

يعبر الوزن النوع عن كتلة حجم معين من المادة إلى كتلة نفس الحجم من الماء، وتعد هذه الصفة من الصفات الرئيسة في تمييز بعض الفلزات، حيث يمكن لبعض الفلزات أن تظهر بمظهر متشابه، ولكن يميز بينها بسهولة بسبب اختلاف الفرق الواضح في وزنها النوعي، وذلك كفلزي الكالسيت(وزنه النوعي 2.72)، والباريت(وزنه النوعي 4.5).

تتراوح الأوزان الجزيئية لمعظم الفلزات، بما فيها الفلزات الرئيسة المكونة للصخور بين 2.5 و 3.5، إلا أن هناك عدداً من الفلزات التي يزيد وزنها النوعي عن 3.5، كالماغنيتيت(5.2)، والكاستيريت(7)، والذهب(19.3)، بينما ينقص الوزن النوعي لعددٍ من الفلزات عن 2.5، وذلك كالكبريت(2)، والسلفيت(1.98).

3-5-8- خصائص فيزيائية أخرى:

تتميز بعض الفلزات بصفات فيزيائية خاصة جداً بها، تميزها عن بقية الفلزات الأخرى، وذلك كخاصية المغنطة التي يميز فلز الماغنيتيت، والمذاق قليل المرورة لفلز

السلفيت،والمذاق المالح للهاليت، والرائحة الترابية لفلزات الغضار، والملمس الصابوني للتالك، والدهني للغرافي والسربنتين، والناعم للكوارتز والفلدسبار، وخاصية الفوران لفلزات الكربونات عندما تعامل بحمض كلور الماء...الخ.

3-6- التركيب الكيميائي للفلزات:

تتميز بعض الفلزات بتركيب كيميائي بسيط، حيث يمكن أن تتكون من عنصر وحيد، وذلك كالألماس، والذهب، والغرافيت، أو أن تتكون من عنصرين كيميائيين، كالهاليت(NaCl)، والبيريت(FeS2)، بينما يمكن أن يكون التركيب الكيميائي لبعضهل شديد التعقيد، وذلك كبعض فلزات السيليكات. إن لكل فلز تركيباً كيميائياً ثابتاً.

تصنف الفلزات وفقاً لتركيبها الكيميائي إلى الصفوف التالية، مرتبة وفقاً لتوافراتها في القشرة الأرضية:

3-6-1- صف الفلزات السيليكاتية:

يعد هذا الصف من أكبر صفوف الفلزات، حيث تشكل السيليكات حوالي 95% من الفلزات المكونة لصخور القشرة الأرضيةوهي بشكلٍ رئيس من السليكون، والأكسيجين، بالإضافة إلى أيونات أخرى، كالألومنيوم، والمغنيزيوم، والحديد، والكالسيوم. تدعى السيليكات التي تحتوي على الحديد والمغنيزيوم السيليكات الحديدية المغنيزية، وتكون ذات الوان عاتمة.

تعد الفلزات السيليكاتية من أعقد أنواع الفلزات، ويتم تصنيفها وفقاً لبنيتها البلورية، التي يمكن التعرف عليها بواسطة الأشعة السينية.

تتكون الوحدة البنيوية الأساسية لفلزات السيليكات من رباعي وجوه، تشغل مركزه ذرة سيلسيوم واحدة، بينما تشغل رؤوسه الأربعة أربع ذرات من الأكسيجين

تتكون بعض السيليكات من رباعيات وجوه مفردة، بينما يتكون بعضها الآخر من سلسلة مترابطة من رباعيات الوجوه، كما يمكن للسلاسل السيليكاتية أن تتكرر بترتيب منتظم لتشكل بنيات سيليكاتية معقدة.

يعد كل من فلزات الفلدسبار، والكوارتز، والأوليفين، والبيروكسين، والأمفيبول، والغارنت، والميكا من أهم فلزات هذا الصف.

1 – فلزات الفلدسبار:

تعد فلزات الفلدسبار(الصفاح)، من أكثر أنواع الفلزات السليكاتية انتشاراً، وهي عبارة عن سيليكات الألومنيوم الكلسية، أو الصودية، أو البوتاسية. تعد الفلزات التالية أهم أنواع الفلزات السيليكاتية:

– الأورتوكلاز(Orthoclase): هو عبارة عن فلدسبار بوتاسي صيغته الكيميائية $6SiO_2.Al_2O_3.K_2O$، لونه عادةً أبيض، أو أبيض وردي أو مصفر، أو أحمر لحمي. مخدشه أبيض، قساوته 6، ووزنه النوعي 2.53- 2.54، بريقه على سطوح الانفصام صدفي، وهو يتبلور في الفئة أحادية الميل. يعد الأورتوكلاز من الفلزات الرئيسة في الصخور النارية، كما أنه يتواجد في الصخور المتحولة.

– المكروكلين(Microcline): وهو فلز سيليكاتي له نفس التركيب الكيميائي للأورتوكلاز، إلا أنه يتبلور في الفئة ثلاثية الميل، وهو ذو لون أبيض، أو رمادي، أو أخضر، و ذو مخدش أبيض، قساوته 6- 6.5، وزنه النوعي 2.54- 2.57، وتؤلف سطوح الانفصام فيه فيما بينها زوايا قدرها 90° . يتواجد المكروكلين في الصخور النارية الحامضية، وفي البغماتيت، كما يمكن أن يصادف في الصخور المتحولة ويكون على شكل كتلي، أو حبيبي.

– الألبيت(Albite): هو عبارة عن فلدسبار صودي، صيغته الكيميائية $6SiO_2.Al_2O_3.Na_2O$، وهو عادةً ذو لون أبيض إلى رمادي، مخدشه عديم اللون،

بريقه زجاجي، مكسره محاري، قساوته 2.6- 2.7، وهو يتواجد في الصخور النارية الحامضية، وفي الصخور المتحولة والبغماتيت، وتكون بلوراته في الصخور موشورية مسطحة، ويمكن أن تكون أحياناً حبيبية.

– الأنورتيت(Anorthite): وهو عبارة عن فلدسبار كلسي، صيغته الكيميائية $2SiO_2.Al_2O_3CaO$، لونه أبيض إلى رمادي، مخدشه أبيض، بريقه زجاجي، مكسره محاري غير مستوي، قساوته 6- 6.5، وزنه النوعي 2.6- 2.7، وهو يتواجد في الصخور النارية الأساسية، وفوق الأساسية، كما يمكن أن يتواجد في الصخور المتحولة.

يمثل الألبيت، والأنورتيت رأسي سلسلة لمجموع من فلزات الفلدسبار، التي تحتوي على كل من الصوديوم والكالسيوم بنسبٍ متدرجة، وتدعى باسم زمرة البلاجيوكلاز، وهي تضم كلاً من: الألبيت، الأوليغوكلاز، الأنديزين، اللابرادور، البيتونيت، الأنورتيت، حيث تزداد بنفس الترتيب المذكور نسبة الكالسيوم والألومنيوم، على حساب الصوديوم، والسيليسيوم.

2– الكوارتز(Quartz): هو عبارة عن أكسيد السيليسيوم(SiO_2). يكون عديم اللون عندما يكون نقياً، إلا أن أية كمية من الشوائب يمكن أن تضفي عليه ألوان مختلفة: بنفسجي، دخاني، أخضر، أبيض، بني محمر، أسود.. وزنه النوعي 2.65، قساوته 7، مكسره محاري، بريقه زجاجي أو دهني، وليس له سطوح انفصام.

على الرغم من أن الكوارتز من الأكاسيد إلا أنه يصنف مع السيليكات، وذلك بسبب بنيته البلورية الداخلية، وهو يتبلور في الفئة المعينية، ويبدو على شكل موشور سداسي ينتهي بهرمين(**الشكل 3–8**)، وقد يتلاشى الموشور السداسي ليأخذ شكل هرمين متلاصقين بقاعتيهما. يتواجد الكوارتز في الصخور النارية الحامضية، ويمكن أن يكون تحولياً أو خارجي المنشأ، ويعد الفلز الرئيس في الصخور الرملية.

2 **1**

الشكل(3–8) بعض أشكال الكوارتز: – كوارتز بنفسجي(أمتيست). 2– كوارتز دخاني.

3– الميكا(Mica) : هي عبارة عن سيليكات الألومنيوم مع واحد أو أكثر من أكاسيد البوتاسيوم، أو المغنزيوم، أو غيرهما، وتكون عادةً على شكل صفائح رقيقة، مرنة، سهلة الانفصام، سداسية الشكل. تتبلور الميكا في الفئة أحادية الميل، قساوتها 2.5، وزنها النوعي 2.7- 3.1، ووفقاً للتركيب الكيميائي يميز بين نوعي الميكا الرئيسن التاليين:

– البيوتيت(Biotite): وهي عبارة عن ميكا تحتوي على كل من الحديد والمغنزيوم، مما يضفي عليها لوناً أسود، أو بنياً داكناً، كما يمكن أن تكون ذات لون أخضر غامق، وتدعى الميكا السوداء، صيغتها الكيميائية:2(OH, F)3AlSi3O10 (Mg,Fe) ، برقا البيوتيت زجاجي، أو لؤلؤي، مخدشها عديم اللون، يمكن للميكا أن تتفكك بسهولة بتأثير عوامل التجوية، وهي توجد كفلز رئيس في الغرانيت، وفي العديد من الصخور النارية الحامضية والمتحولة.

– المسكوفيت(Muscovite): وهو فلز عديم اللون، أو أبيض فضي أو رمادي، يدعى الميكا البيضاء، صيغته الكيميائية 2(OH,F)KAl3Si3O10 . للمسكوفيت بريق زجاجي، أو حريري، أو لؤلؤي، مخدشها عديم اللون، سهلة الانفصام، وهي شائعة الانتشار في الغرانيت والصخور النارية الحامضية، كما يمكن أن توجد في بعض الصخور المتحولة.

4- الأوليفين(Olivine):هو عبارة عن فلز سيليكاتي،صيغته الكيميائية (Mg, Fe)2 SiO4، يمكن لنسبة الحديد، أو الأوليفين أن تتغير على حساب بعضهما البعض فيتشكل زمرة من فلزات الأوليفين طرفيها الفاياليت (Fe_2SiO_4)، والفورستريت(Mg_2SiO_4). تتميز فلزات الأوليفين عادةً بلون أخضر زيتوني إلى أصفر أو بني أو رمادي، مخدشه، وهو ذو مخدش عيم اللون أو أبيض، مكسره شبه محاري غير مستوي، بريقه في المكسر زجاجي إلى دهني، وزنه النوعي 3.2- 3.3. يكثر الأوليفين في الصخور الأساسية وفوق الأساسية. نظام التبلور في الأوليفين معيني قائم.

5- البيروكسين(Pyroxene): يمثل البيروكسين زمرة من الفلزات الحديدية المغنيزية، الكلسية أو الصودية، ويعد فلز الأوجيت من أهم فلزات هذه الزمرة، وهو عبارة عن فلز ذو لون أسود أو بني إلى أسود مائل إلى الخضرة، لون مخدشه أبيض إلى رمادي، صيغته الكيميائية [O_6 2(Si,Al)][(Mg, Fe, Al)(Ca, Na)]، بريقه زجاجي أو صمغي، قساوته 5- 6، يتبلور في الفئة أحادية الميل، وزنه النوعي 3.3- 3.5، وهو يتواجد عادة في الصخور النارية الأساسية والمتحولة.

6- الأمفيبول(Amphibole): وهو أيضاً عبارة عن زمرة من الفلزات الحديدية المغنيزية، الكلسية أو الصودية، التي من أهم فلزاتها الهورنبلاند، وهو عبارة عن فلز ذي لون أخضر قاتم أو رمادي مائل إلى الخضرة، مخدشه عديم اللون أو أبيض، قساوته 5- 6، وزنه النوعي 3.1- 3.3، بريقه زجاجي، يتبلور في الفئة أحادية الميل، مكسره خشن، ويكون عادةً على شكل مواشير سداسية، وهو يتواجد عادةً في الصخور النارية المتوسطة، كالديوريت، والسيانيت، والتراخيت، ويمكن أن يصادف أحياناً في الغرانيت، وفي الصخور البركانية والمتحولة.

3-6-2 صف الفلزات الكربوناتية:

يتكون صف الفلزات الكربوناتية من تلك الفلزات التي تحتوي على جذر الكربونات CO_3، ومن أهم فلزاتها الكالسيت $CaCo_3$، والأراغونيت $CaCo_3$، والدولوميت $CaMg(CO_3)_2$، والسيديريت $FeCO_3$، والماغنيزيت $MgCO_3$. تتكون الفلزات والصخور الكربوناتية عادة في البيئات البحرية من ترسب وتراكم هياكل البلانكتونات في قاع البحر، تصادف الكربونات أيضاً في مناطق تشكل المتبخرات، وفي مناطق الكارست. يتضمن صف الكربونات أيضاً النترات والبورات. وفيما يلي لمحة عن أكثر الفلزات الكربوناتية انتشاراً:

1- فلز الكالسيت(Calcite): يعد فلز الكالسيت من أكثر فلزات الكربونات شيوعاً، يغلب عليه اللون الأبيض، ولكنه يمكن أن يأخذ ألواناً متعددة، يتشكل الكالسيت من ترسيب كربونات الكالسيوم في المياه، إما بشكل مباشر ، أو بشكل غير مباشر بفعل الكائنات الحية التي تبني هياكلها من الكالسيت. يمكن للكالسيت أن ينحل بالمياه الطبيعية، ويعاد ترسبه في الشقوق ليشكل بلورات كاملة. يتبلور الكالسيت في النظام الثلاثي، وهو ذو بريق زجاجي، مخدشه أبيض رمادي، مكسره محاري، وهو ذو انفصام كامل معيني الوجوه، قساوته 3، ووزنه النوعي 2.72. يتواجد الكالسيت في الصخور الرسوبية. إذا كانت بلورات الكالسيت نقية جداً، فإن معيناته ستظهر انكساراً ثنائياً للضوء، فإذا ما وضع خلفها جسم ما فإنه سيظهر خيالاً ثنائياً(**الشكل بريطانيا**)، يدعى هذا الشكل النقي من بلورات الكالسيت أحياناً حجر ايسلندا.

2- فلز الأراغونيت(**Aragonite**): للأراغونيت نفس التركيب الكيميائي للكالسيت إلا أنه يختلف عنه في نظام التبلور إذ إنه يتبلور في النظام المعيني القائم، تتراوح ألوانه بين اللون الشفاف والأبيض إلى الرمادي الفاتح والأحمر والبنفسجي ويتعلق ذلك بما يحتويه من شوائب، لون مخدشه أبيض، بريقه زجاجي أو حريري، وشمعي على

المكاسر، مكسره محاري، وزنه النوعي 2.9- 3، قساوته 3.5- 4. الأراغونيت ذو منشأ رسوبي ولكنه من الفلزات شبه المستقرة حيث يتحول إلى الكالسيت.

3- فلز الدولوميت(Dolonite): الدولوميت هو فلز كربوناتي أيضاً يدخل في تركيبه عنصر المغنيزيوم بالإضافة الى الكالسيوم، وهو ينشأ بشكلٍ أساسي من تحول الكالسيت إلى دولوميت من خلال عملية تسمى عملية الدلتة. تتغير ألوان الدولوميت بين الرمادي أو الأبيض المائل للصفرة، لون مخدشه أبيض رمادي، مكسره محاري، وزنه النوعي حوالي 2.9، قساوته 3.5- 4، وهو يتبلور في النظام الثلاثي.

4- السيديريت(Siderite): وهو فلز تتغير ألوانه بين الأصفر، والرمادي، حتى الأخضر أو الأسود، مخدشه عديم اللون أو أبيض، بريقه زجاجي، يتبلور في النظام الثلاثي، قساوته 4- 4.5.

3-6-3- صف الفلزات السولفاتية(Sulfate class):

تحتوي جميع فلزات هذا الصف على **الجذر SO_4**.

من أهم فلزات السولفات:

1- الجص(Gypsum): وهو فلز سولفاتي تتغير ألوانه من عديم اللون، إلى الرمادي، والأحمر والبني، مخدشه أبيض. صيغته الكيميائية $Ca(SO_4).2H_2O$، قساوته ، ووزنه النوعي 2.3، وهو ذو بريق زجاجي، يتبلور في الفئة وحيدة الميل، ويمكن للجص أن يتواجد على شكل صفائح أو مواشير متطاولة.

2- الأنهدريت(Anhydrite): وهو فلز سولفاتي صيغته الكيميائية $CaSO_4$، يمكن أن يكون عديم اللون، رمادي، أبيض مزرق، بريقه أبيض رمادي، بريقه زجاجي، وهو يتبلور في النظام المعيني القائم، قساوته 3.5 ووزنه النوعي 3، يكون على شكل تجمعات ليفية أو كتلية أو حبيبية، وهو يترافق عادةً مع الجص.

3- الباريت(Barite): وهو فلز يتراوح لونه بين الأبيض والرمادي المحمر إلى الأصفر أو البني، مخدشه أبيض، بريقه زجاجي، يتبلور في النظام المعيني القائم، قساوته 3.5، ويتميز بوزن نوعي مرتفع(4.5). يكون الباريت على شكل تجمعات كتلية أو عقدية، وهو غالباً ذو منشأ هيدروترمالي، وكثيراً ما يترافق مع الكالسيت والفلوريت.

3-6-4- صف الهاليدات(Halides):

تتكون فلزات هذا الصف من أملاح طبيعية بسيطة، وهي تتميز ببريق زجاجي، وألوان فاتحة، وأوزان نوعية خفيفة. من أهم فلزات هذا الصف: الهاليت، والسلفيت، والفلوريت.

1- الهاليت Halite: هو كلوريد الصوديوم NaCl ، وهو فلز عديم اللون إلى أبيض، يكون عادة شفاف، يمكن أن يتغير لونه حسب الشوائب إلى اللون الأبيض المصفر أو الأحمر، يتميز بطعمه المالح، مخدشه أبيض، يتبلور في النظام المكعبي، وعندما يطرق ينفصم إلى مكعبات كاملة ، قساوته 2.5، ووزنه النوعي 2.2 .

2- السلفيت Sylvite: هو كلوريد البوتاسيوم، وهو فلز ذو بريق زجاجي، عديم اللون إلى أبيض حليبي، مخدشه أيضاً عديم اللون إلى أبيض حليبي، ذو مذاق مر، يتبلور في الفئة المكعبة، قساوته 2، ووزنه النوعي 1.98.

3- الفلوريت Fluorite: هو فلوريد الكالسيوم CaF_2، وهو فلز ذو بريق زجاجي، وألوان متغيرة: أضر فاتح، أصفر، ارجواني، بنفسجي، ويمكن لمخدشه أن يأخذ نفس الألوان، وهو يتبلور في النظام المكعبي، ويدخل ضمن سلم موس للقساوة(قساوته 4)، ووزنه النوعي 3.2.

3-6-5- صف فلزات الأكاسيد(Oxide Class):

تعد الأكاسيد شديدة الأهمية من الناحية المنجمية، كونها تشكل العديد من الخامات، التي يمكن أن يستخرج منها معادن مفيدة، كما أنها تحمل أفضل تسجيل لتغير الحقل المغنطيسي الأرضي، وهي عادةً تتواجد على شكل ترسبات بالقرب من سطح الأرض، وكنتائج أكسدة الفلزات الأخرى في مناطق التجوية، كما يمكن أن تتواجد كفلزات ثانوية في الصخور النارية. تتضمن فلزات الأكاسيد الشائعة كل من الهيماتيت، والماغنيتيت(من أكسيد الحديد)، الكروميت(أكسيد الحديد والكروم)، السبينيل(أكسيد المغنيزيوم والألومنيوم وهو مركب شائع في المعطف الأرضي)، وكذلك الروتيل(أكسيد التيتانيوم)، والجليد(أكسيد الهيدروجين). يتضمن صف الأكاسيد أيضاً الفلزات الهيدروكسيدية، كالأوبال(أكسيد السيليسيوم المائي). من أهم فلزات هذا الصف:

1- الهيماتيت(Hematite): يعد الهيماتيت من أهم خامات الحديد، صيغته الكيميائية Fe_2O_3، لونه أحمر إلى بني محمر(يسمى حجر الدم)، مخدشه أحمر، بريقه معدني، قساوته 5.5- 6.5، وزنه النوعي 5.2، يتبع نظام التبلور الثلاثي. نادراً ما يصادف الهيماتيت في الطبيعة على شكل بلورات هندسية جيدة الحفظ، لكنه تواجد غالباً على شكل كتل، أو حبيبات، أو ألياف.

2- الماغنيتيت(Magnetite):هو أكسيد الحديد المغناطيسي، صيغته الكيميائية Fe_3O_4، لونه أسود حديدي، مخدشه أسود، بريقه معدني، يتبلور في الفئة المكعبة، وغالباً ما يكون على شكل مثمنات، قساوته 5.5- 6.5، وزنه النوعي 5.1- 5.2. يتميز الماغنيتي بقدرة مغناطيسية، وهو يصادف في الصخور النارية الأساسية والمتحولة على شكل تجمعات بلورية كتلية وحبيبية.

3- الليمونيت(Lemonite): هو أكسيد الحديد المائي $Fe_2O_3.nH_2O$، يتراوح لونه بين الأصفر المائل إلى البني بلون الصدأ والني، لون مخدشه بني مصفر، مكسره محاري، بريقه زجاجي، أو حريري، أو دهني، مكسره محاري، وزنه النوعي 3.2- 4.

ينشأ الليمونيت من تجوية الخامات الحاوية على الحديد، ويكون على شكل حبيبي، وهو يتبع نظام التبلور المعيني القائم.

4- الأوبال(Opal): هو أكسيد السيلسيوم المائي $SiO_2. nH_2O$ ، لونه أبيض أو عديم اللون، مخدشه أبيض، بريقه زجاجي أو شحمي، غير متبلور، مكسره محاري، لا يحتوي على سطوح انفصام، قساوته 5- 6، وزنه النوعي 2.4- 2.5، يتشكل من تجوية الفلزات السيليكاتية، ومن المحاليل الهيدروترمالية.

5- الكروميت(Cromite): يعد الكروميت من أهم خامات الكروم، وهو أكسيد الكروم Cr_2O_3، ذو لون أسود، مخدشه بني، يتبلور في النظام المكعبي، قساوته 5.5- 6، وزنه النوعي 4.6، يتواجد في الصخور فوق الأساسية بشكل كتلي أو حبيبي.

6- السبينيل(Spinel): هو فلز عالي القساوة(8)، يتبلور في الفئة المكعبة، ذو بريق زجاجي، ومخدش أبيض، يأخذ ألوان مختلفة، حمراء أو بيضاء، أو زرقاء أو بنية، وزنه النوعي 3.5- 4، ويكون على شكل بلورات جميلة، رمزه الكيميائي $NgAl_2O_4$.

7- الروتيل(Rutile): هو أكسيد التيتانيوم TiO_2، يتبلور في النظام الرباعي، تتغير ألوانه بين الأصفر الداكن، والأحمر والبني والأسود، مخدشه أصفر إلى بني، وزنه النوعي 4.2، ومكسره محاري.

8- **الكورندوم(Corondum)**: هو فلز عالي القساوة(9)، ذو بريق ألماسي أو زجاجي، لونه غالباً رمادي مزرق أو رمادي مصفر، لون مخدشه أبيض، وزنه النوعي 4، وهو عبارة عن أكسيد الألومنيوم Al_2O_3.

9- البوكسيت(Bauxite): هو أكسيد الألومنيوم المائي، رمزه الكيميائي $Al_2O_3.2H_2O$، وهو فلز ذو بريق كامد، تتغير ألوانه بينم الأبيض، والرمادي، والبني المحمر، مخدشه عديم اللون، قساوته 1- 2، وزنه النوعي 2.5، ويكون غالباً على شكل ترابي.

3-6-6- صف الفلزات الكباريتية(Sulfide class):

تتشكل فلزات هذا الصف من اتحاد عناصر معدنية مع الكبريت، ومن أهم فلزاتها البيريت، والكالكوبيرت، والغالينا.

1- البيريت Pyrite: هو كبريت الحديد FeS_2، لونه غالباً أصفر ذهبي(يسمى ذهب المجانين)، مخدشه أسود مخضر، بريقه معدني، قساوته 6- 6.5، وزنه النوعي 4.9- 5.2، وهو يتبلور في الفئة المكعبية.

2- الكالكوبيريت Chalcopyrite: هو فلز أصفر نحاسي، صيغته الكيميائية $CuFeS_2$، مخدشه أسود مائل للإخضرار، بريقه معدني، قساوته 3.5- 4، وزنه النوعي 4.1- 4.3، وهو يتبلور في النظام الرباعي.

3- الغالينا Galena: هي عبارة عن كبريت الرصاص PbS، وهي الخام الرئيس للرصاص، يتميز فلز الغالينا بوزن نوعي عالي(7.4- 7.6)، وبريق معدني لامع، لونه رمادي رصاصي، ومخدشه رمادي قاتم إلى أسود، ينفصم على شكل مكعبات كاملة، ويتبلور في النظام المكعبي.

3-6-7- صف الفوسفات(Phosphate class):

تضم مجموعة الفلزات الفوسفاتية أي فلز من نظام التبلور الرباعي تحتوي صيغتها الكيميائية على AO_4 حيث A يمكن أن تكون فوسفور، أو أنتيمون، أو زرنيخ، أو فاناديوم. يعد الأباتيت من أهم فلزات هذا الصف.

الأباتيت Apatite : صيغته الكيميائية $Ca_5[PO_4]_3(F,Cl, OH,)$، وهو فلز ذو مخدش أبيض، وبريق زجاجي، يمكن أن يأخذ ألوان متعددة وفقاً لتغير نسب العناصر الداخلة في تركيبه، يتبلور في النظام السداسي، قساوته 5، ووزنه النوعي 3.2، يعد

الأباتيت الفلز الرئيس في الفوسفات، وقد وجد في تركيب أسنان، وعظام الكثير من الحيوانات.

3-6-8- صف العناصر (Element class):

تتكون فلزات هذا الصف من عناصر مفردة، ويميز فيه بين ثلاث مجموعات، هي:

- مجموعة الفلزات المعدنية، وتضم الذهب، والفضة، والنحاس.
- مجموعة فلزات أشباه المعادن، وتضم الأنتيمون، والبيزموث، والزرنيخ.
- مجموعة فلزات اللامعادن، وتضم الغرافيت، والألماس، والكبريت.

سندرس بعض هذه الفلزات:

1- **الذهب (Gold)**: لونه أصفر، وزنه النوعي 19.3، قساوته 2-3، وهو يتميز بقابليته العالية للسحب والتصفح، يصادف في الاندساسات المغماتية الحامضية، وفي العروق الهيدروترمالية ، وفي رسوبيات العروق المائية كناتج من نواتج تجوية الصخور الحاوية عليه، وهو يتبلور في النظام المكعبي.

2- الألماس Diamond:يتميز الألماس بقساوة مرتفعة جداً، وببريق ألماسي، وهو يتكون من الكربون، ويرتبط منشأه بالصخور فوق الأساسية، يتغير لونه حسب الشوائب من الشفاف إلى الأزرق الفاتح، أو الأصفر أو حتى الأسود، مخدشه عديم اللون، وزنه النوعي 9.8، وهو يتبلور في النظام الثلاثي.

3- الفضة(Silver): هي فلز ذون لون أبيض فضي، وبريق معدني، ومخدش أبيض فضي، وزنه النوعي 10.5، تتميز الفضة بقابلية كبيرة للسحب والتصفح. كثيراً ما تتواجد في الصخور على شكل تفرعات تشبه تفرعات الشجر، ويمكن أن تصادف على شكل صفائح أو قشور.

4- الغرافيت(Graphite): يتكون الغرافيت من الكربون، وعلى العكس من الألماس فإن قساوته منخفضة جداً(1-2)، وهو ذو بريق معدني، ولون أسود، ولون مخدشه أسود أيضاً، يتبلور في النظام السداسي، وزنه النوعي 2.2، ملمس الغرافيت دهني، وهو يترك أثراً على الأصابع.

5- الكبريت Sulfur: يتواجد الكبريت الحر على شكل تجمعات ترابية كتلية أو حبيبية، وهو ذو لون أصفر مميز، مخدشه أصفر، قساوته منخفضة(1- 2)، ووزنه النوعي منخفض أيضاً(2)، وهو يتبلور في النظام المعيني القائم.

3-6-9- صف الفلزات العضوية(Organic mineral class):

كان يشترط سابقاً في تعريف الفلزات أن تكون غير عضوية المنشأ، إلا أن الجمعية المينرالوجية الدولية لم تستثني في التعريف الذي وضعته في عام 1995، الأصل العضوي، ووافقت على ادخال صف الفلزات العضوية، وهي تتضمن مواد ذات أصل عضوي، تشكلت من خلال عمليات جيولوجية.

الفصل الرابع

الصخور النارية

4-1- مقدمة:

تعد الصخور النارية نتاجاً لما يسمى بالفعالية المغماتية، أو النشاط المغماتي(Magmatic activity)، الذي يرتبط بنشوء وتطور، وحركة، وتصلب الماغما، التي هي عبارة عن مادة صخرية مصهورة قادرة على الحركة، ذات منشأ طبيعي في باطن الأرض، وتتكون من محلول سيليكاتي ومائي وغازي ذي درجة حرارة مرتفعة، كما يطلق على مجموع الحادثات المعقدة المرتبطة بالنشاط الداخلي المغماتي في الكرة الأرضية، اسم

الحادثات الماغماتية(Magmatism)، سواء ما يتجلى منها بصعود الماغما حتى السطح، أو باندساسها في طبقات القشرة الأرضية.

يؤدي تبرد، وتصلب الماغما إلى تشكل صخور تدعى الصخور الماغماتية، لأن هذه الأخيرة نشأت من الماغما، أو الصخور النارية كونها نشأت من صهير ذي درجة حرارة مرتفعة جداً.

تنشأ الماغما في أسفل القشرة الأرضية، أو في أعلى المعطف الأرضي، في أماكن محلية ذات درجات حرارة عالية جداً بحيث تستطيع صهر الصخور الموجودة. يعتقد أن مصدر الحرارة اللازمة لصهر تلك الصخور الواقعة تحت ضغوط هائلة يعود إلى النشاط الإشعاعي لنظائر بعض العناصر، كالبوتاسيوم، والأكتينيوم، والثوريوم، واليورانيوم، التي يمكن أن تتواجد بكمياتٍ هامة في القشرة الأرضية على الرغم من أنها غير ثابتة منذ لحظة ولادتها، ومن جهةٍ أخرى فإن درجة انصهار الصخور تتأثر بكلٍ من:

- الضغط: وهو يؤدي إلى رفع درجة الإنصهار.
- المحاليل المائية: وهي تنقص درجة الانصهار، ويزيد تأثيرها مع تزايد الضغط.

إن اختلال التوازن في الشروط الترموديناميكية، وخاصةً بسبب انخفاض الضغط وزيادة درجة الحرارة، يمكن أن يؤدي إلى انصهار الصخور.

4-2- الصخور النارية المندسة، والمخترجة:

يدفع الضغط الكبير الذي يسببه تمدد الصهير المغماتي الناجم عن ارتفاع الحرارة بهذا الصهير للهروب من الضغط المرتفع وشق طريقه بالقوة نحو الأعلى باتجاه السطح.

يمكن للماغما أن تستمر في الصعود لتصل إلى سطح الأرض، مشكلةً ما يسمى بالحادثة البركانية(Volcanism)، حيث تتبرد الماغما على السطح لتشكل ما يسمى

بالصخور المخترجة(extractive rocks)، أو الصخور البركانية(Volcanic rocks) نسبةً إلى الاله فولكان، وهو اله النار وصنع الأدوات النارية في الأساطير الرومانية .

يميز عادةً بين ماغما حامضية، وهي ماغما غنية بالسيليكا(SIO_2)، وهي شديدة اللزوجة، وماغما أساسية(أو بازلتية)، وهي ماغما فقيرة نسبياً بالسيليكا، وتتميز بلزوجة منخفضة.

قد تفشل الماغما في كثير من الأحيان من الوصول إلى سطح الأرض، وتتبرد في الأعماق لتشكل ما يسمى بالصخور المندسة (Intrusive rocks)، أو الصخور الباطنية(Plutonic rocks)، نسبةً إلى الاله بلوتو اله الموتى والجحيم عند الإغريق والرومان. ويعزى فشل الماغما في الوصول إلى سطح الأرض لأحد سببين:

1- يمكن أن تصادف صخور أكثر برودة، مما يؤدي إلى تبردها وتصلبها، قبل وصولها إلى السطح.

2- أو ببساطة يمكن أن يتوقف دفع الماغما نحو الأعلى، لتستقر في أعماقٍ معينة تحت سطح الأرض، وتجد الوقت الكافي للتخلص من الطاقة الحارية ولتتصلب في الأعماق.

4-3- البنية النسيجية للصخور:

يمكن للصخور البركانية التي تتشكل على السطح أن تتبرد بشكلٍ سريعٍ ، وبالتالي يحدث التحول من حالة الصهير إلى الصخور المبلورة بشكلٍ مفاجئ، مما لا يسمح للبلورات أن تأخذ وقتها الكافي لتصبح كبيرة، حتى أنه يمكن أن يتشكل زجاج غير مبلور(non-crystalline glass) عندما يكون التبرد سريعاً جداً. أما عندما يتم التبرد في الأعماق فإن الحرارة تنتقل ببطء عبر الصخور المحيطة، مما يسمح بالزمن الكافي لتتشكل بلورات كبيرة.

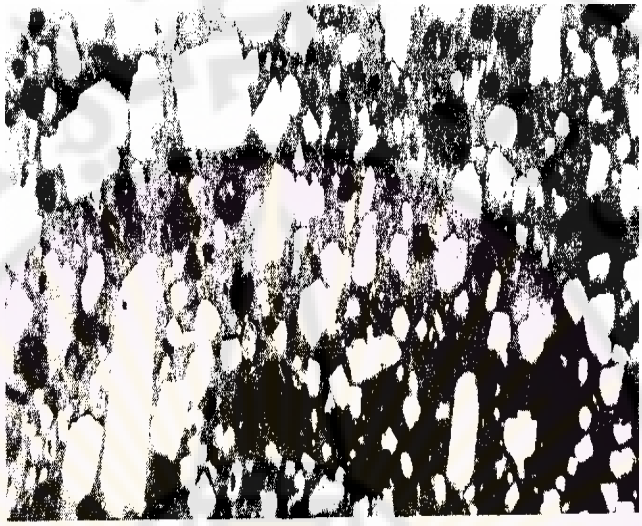
يمكن أن تصل أبعاد البلورات في الصخور المندسة بضعة ميلليمترات أو أكثر من ذلك، لذلك فإن أول ما يميز الصخور النارية المتشكلة في الأعماق عن الصخور المخترجة هو مقاييس البلورات، التي تبدو واضحة في العين المجردة في الأولى، وتزداد أبعادها كلما تبلورت في أعماقٍ أكبر، بينما تكون البلورات في الصخور البركانية دقيقة جداً، وغالباً لا تميز إلا عن طريق المجهر(الشكل 4-1)

1

2

الشكل(4–1). صورة فوتوغرافية تبين الفرق في نسيج صخر ناري عميق وهو الغابرو(1)، وصخر ناري بركاني مكافئ له من حيث التركيب، وهو البازلت(2).

يمكن في بعض الأحيان أن يتم خزن الماغما في الأعماق مما يسمح بتبرد بطيء وتشكيل بلورات كبيرة، لكن يمكن أن يحدث بعد ذلك تبرد سريع بسبب صعود المجموع نحو السطح، مما يؤدي إلى احاطة البلورات المتشكلة سابقاً ببنية ناعمة ودقيقة. إن هذا النسيج المتشكل يدعى نسيج بورفيريتي(Porphyrytic texture)، كما في الشكل(4-2).

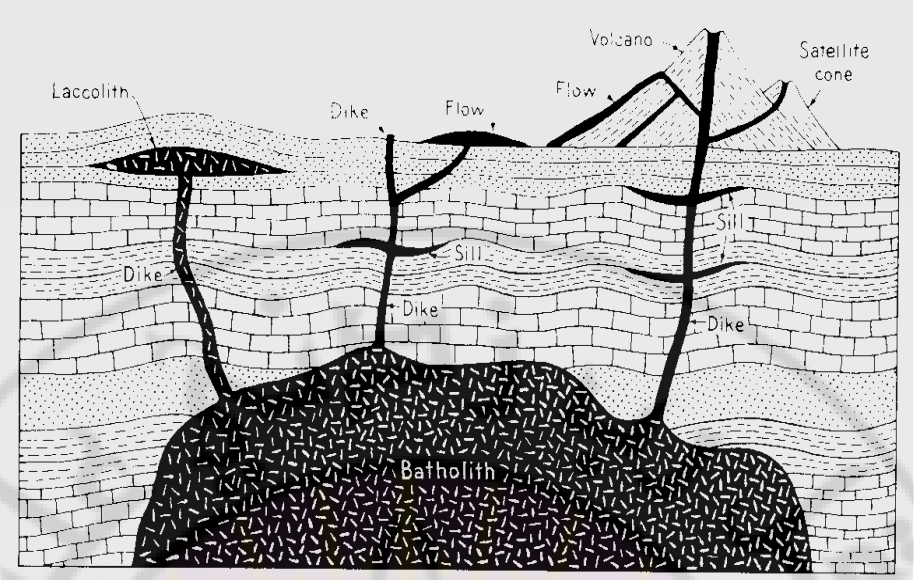


الشكل(4-2). صخر ناري ذو نسيج بورفيري.

4-4- أشكال توضع الصخور النارية:

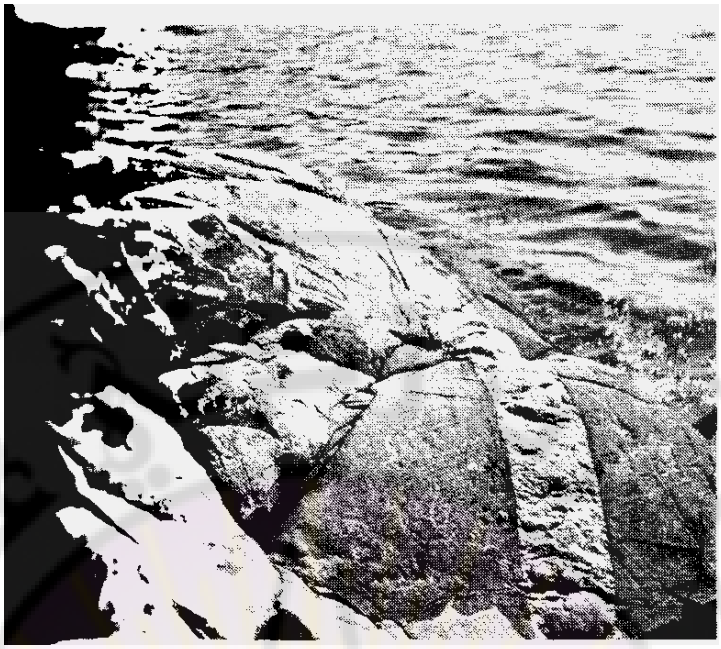
1- أشكال توضع الصخور النارية المندسة:

تصنف الأجسام النارية المندسة وفقاً لأشكالها، وأبعادها،وعلاقتها مع الصخور المحيطة إلى كلٍ من الجدر القاطعة، العتبات(أو السدود الأفقية)، الباثوليتات، الستوكات، اللاكوليتات، (الشكل 4-3):



الشكل(4–3). أشكال توضع الصخور النارية.

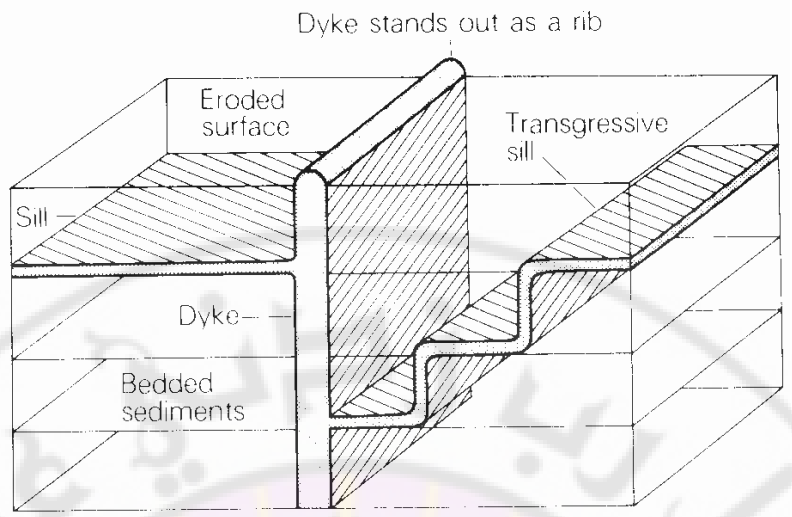
– الجدر القاطعة(Dykes): هي عبارة عن أجسام نارية اندساسية تشكلت من تبرد الماغما في الشقوق والصدوع القاطعة للصخور المحيطة. تتميز الدايكات(الجدر القاطعة) بسماكات محدودة تتراوح عادةً بين عدة سنتيمترات وعدة أمتار، ولكن يمكن أن تصل في حالات نادرة، كما في دايك ميدفورد(Medford) بالقرب من بوسطن إلى حوالي 500 قدم(الشكل 4–4)، لكن الدايكات كثيراً ما تمتد عشرات الكيلومترات. يمكن أن تكون الحبيبات في صخور الجدر القاطعة ناعمة، متوسطة الخشونة أو خشنة، ويعتمد ذلك على تركيبها، فترة تبردها.



الشكل(4-4) صورة فوتوغرافية لجدار قاطع غرانيتي(فاتح اللون) يقطع صخوراً نارية ذات ألوان أقتم.

– العتبات/ أو الجدر الموازية (Sills) : هي عبارة عن صخور نارية اندساسية تشكلت عن طريق اندساس الماغما، وتبردها بين طبقات الصخور الرسوبية، لتأخذ أشكالاً مسايرة لهذه الطبقات، فقد تكون هذه العتبات أفقية، مائلة، أو عمودية، ويتعلق ذلك بالوضع البنيوي للطبقات التي توضعت بينها. تتراوح سماكة العتبات بين أقل من الإنش، وحتى مئات الأقدام، تتميز العتبات غالباً بتركيب أساسي(ناتجة من ماغما بازلتية).

يمكن في بعض الأحيان للماغما أن تنتقل من طبقة رسوبية إلى أخرى لتشكل ما يسمى بالعتبة المتنقلة أو السلمية(الشكل 4-5).



الشكل(4–5) مخطط توضيحي للجدر القاطعة، العتبات، والعتبات المتنقلة في طبقات من صخور رسوبية

– **الباتوليتات(Batholiths)**: وهي عبارة عن أجسام نارية عميقة، ذات أشكال غير منتظمة، وتزيد أبعادها نحو الأعماق، وقد أتت تسميتها من الإغريقية Bathos وتعني عميق، و Lithos وتعني "حجر" أي أنها صخور الأعماق. تتميز الأجسام الباتوليتية بما يلي:

– أشكال غير منتظمة، حيث تكون على هيئة سقوف قبب غير منتظمة و. سفوح شديدة الانحدار.

– تتواجد اللاكوليتات في السلاسل الجبلية، ولم يتم العثور على أي باثوليت غير مرافق لسلاسل جبلية، مع أن بعض السلاسل الجبلية لا تحتوي على باثوليتات.

– تساير الباتوليتات عادةً محاور السلاسل الجبلية.

– غالباً ذات تركيب حامضي(غرانيت، وغرانوديوريت)، ويمكن أن تكون أساسية أحياناً قليلة جداً(غابرو)، وهي ذات تركيب متجانس.

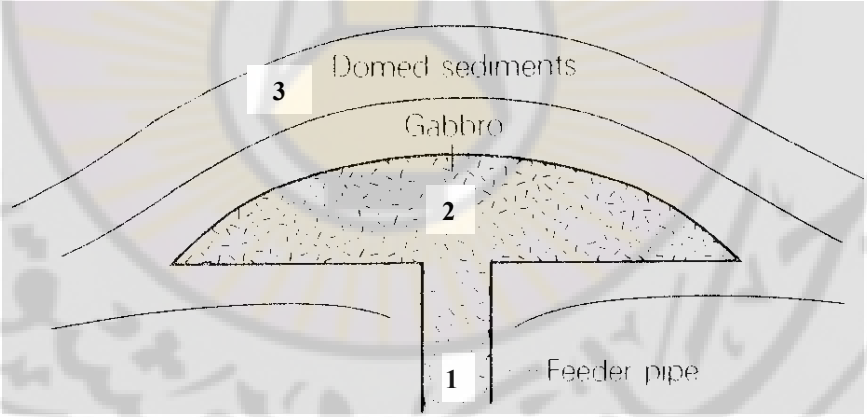
- بلورات خشنة.

- تزيد مساحة سطحها عن 100كم^2.

- **الستوكات(Stock)**: وهي أجسام نارية عميقة لها جميع مواصفات الباتوليتات، إلا أن مساحة مقطعها أقل من 100 كيلومتر مربع، كما أنها تتميز ببعد رأسي أكبر من الأفقي.

- اللاكوليتات(Laccoliths): هي عبارة عن أجسام نارية اندساسة كتلية، متناسقة مع الطبقات المندسة ضمنها، وهي تنتج عندما تدفع الماغما البنية الصخرية العلوية على شكل قبة. إذا كان معدل الامتداد الجانبي للجسم الاندساسي إلى ثخانته أقل من 10 يدعى لاكوليت، وإذا كان أكبر من 10، فإنه يدعى عتبة(Sill). تتميز أجسام اللاكوليت بما يلي:

- سطح علوي محدب وسفلي مستوي يتصل بقنوات تغذية.
- مقطع دائري تقريباً.
- أقطار صغيرة(مئات الأمتار إلى عدة كيلومترات).
- ماغما حامضية.



الشكل(4-6). مخطط توضيحي يبين مقطع اللاكوليت.

1- إنبوب تغذية. 2- غابرو. 3- رسوبيات مقببة.

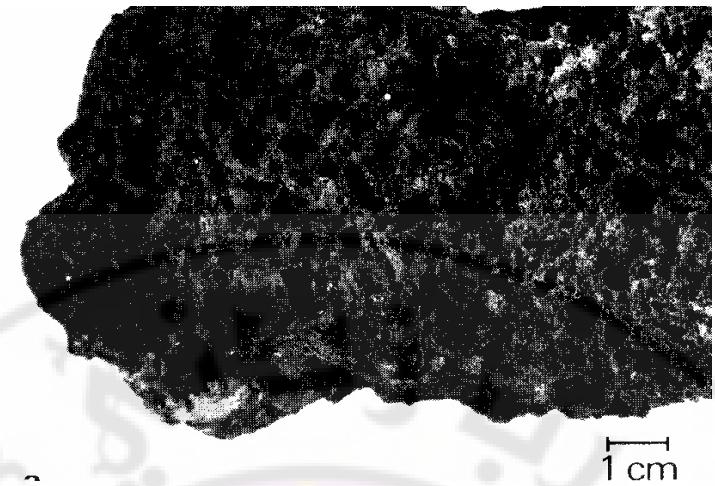
يميز في الأجسام الاندساسية أيضاً بين أشكالٍ أخرى، كاللوبوليت، الذي يكون على شكل عتبة تأخذ شكل الطية المقعرة، وهي ذات تركيب أساسي ويمكن أن تمتد مئات الكيلومترات، والفاكوليت، الذي يكون على شكل عدسات صغيرة في مفاصل الطيات المحدبة والمقعرة، وكذلك العروق وهي من أشكال الجدر القاطعة المائلة، وغالباً ما تتكون من فلزٍ واحدٍ.

2- أشكال توضع الصخور النارية المخترجة(البركانية):

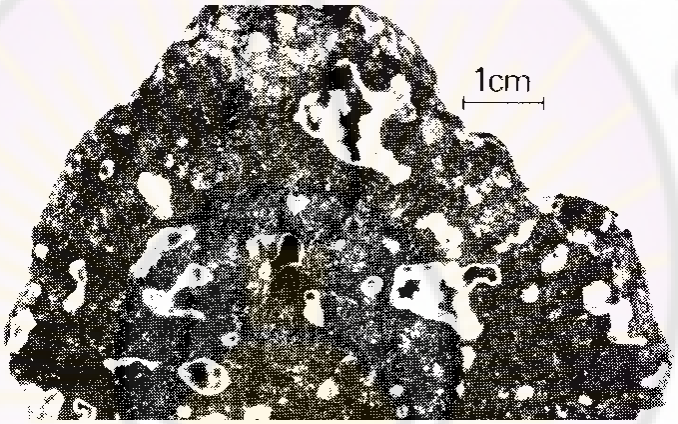
تتعلق بنية الصخور النارية البركانية بتركيب ولزوجة اللافا المنسكبة من البركان، حيث تميل الماغما المنسكبة لتشكل طبقات صخرية تتراوح سماكتها بين 2و10م، لتترقق كلما ابتعدت عن فوهة البركان، كما يمكن أن تكون متجانسة لمساحات كبيرة. إن هذه الطبقات تدعى طفوح اللافا(Lava flows).

تترافق اللافا غالباً مع غازات واقعة تحت ضغوطٍ عالية جداً. تتشكل عندما يتحرر الضغط عند وصول اللافا إلى السطح فقاعات غازية، مما يؤدي إلى تشكل ما يشبه الرغوة. وعندما يزال أعلى الرغوة ويتحرر الضغط، تظهر الاف الفقاعات الغازية الصغيرة، ويتشكل الزبد. تتجمد هذه الفقاعات على سطح طفح اللافا، لتتشكل صخور تدعى أحياناً صخور قرص العسل(Honeycomb rocks)، وتعرف باللابا الحويصلية(الشكل 4-7). يمكن في بعض الأحيان أن تحتوي اللافا على كمٍ هائل من الفقاعات لدرجة أنها يمكن أن تطفو على سطح الماء.

يمكن مع مرور الزمن أن ترسب المياه الجوفية المتغلغلة في فراغات الصخر الحويصلي بعض الفلزات، كالكوارتز، أو الكالسيت، كما في الشكل(4-8):



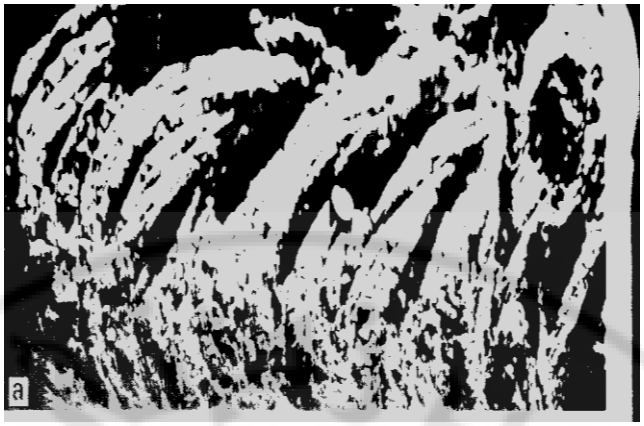
الشكل(4–7). لافا حويصلية.



الشكل(4–8). ترسب فلز الكالست(باللون الأبيض) في فراغات اللافا الحويصلية.

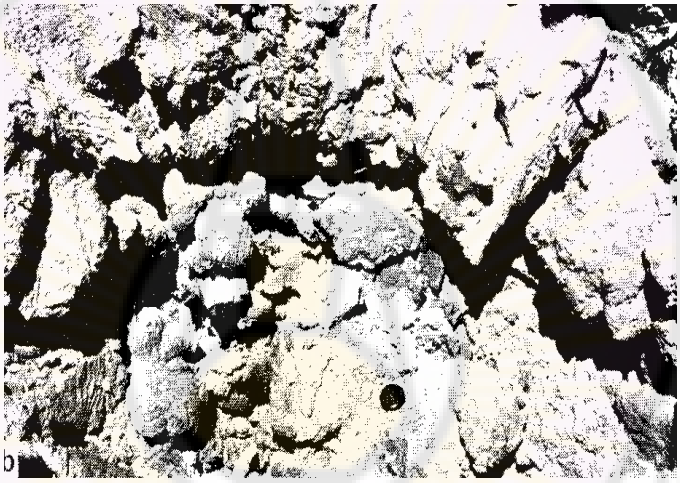
يتعلق شكل سطح اللافا بشكلٍ رئيس بتركيبها الكيميائي ولزوجتها، ويمكن أن يميز حسب السطح الخارجي لالافا بين:

– اللافا الحبالية(Ropy lava): تتدفق اللافا التي تحتوي على فقاعات كثيرة بانتظام أثناء تبردها لتعطي أشكالاً حبالية، وتدعى اللافا الحبالية(الشكل 4–9).



الشكل(4–9). لافا حبالية.

– اللافا الكتلية(Blocky lava): يصبح سطح اللافا المتدفقة هشاً إذا هربت الغازات، ويتكسر إلى كتل متعرجة(الشكل 4–10).



الشكل(4–10) لافا كتلية.

– اللافا الوسائدية(Pillow lava): تتصلب على سطح اللافا عند تدفقها، الماغما تحت سطح المياه طبقة رقيقة متجعدة تشبه الوسائد، وتدعى اللافا الوسائدية.

– أنفاق اللافا: وهي عبارة عن قنوات داخل اللافا، تتشكل بسبب تصلب السطوح الخارجيةبسرعة وتشكيل طبقة عازلة ممتازة حيث تستمر اللافا المنصهرة في الداخل بالتدفق على شكل قنوات.

الشكل(4–11). لافا وسائدية.

4–5– التركيب الكيميائي، والفلزي للصخور النارية:

تشكل تسعة عناصر كيميائية فقط حوالي من 99% من التركيب الكيميائي الحجمي، والوزني للصخور النارية. إن هذه العناصر، ونسبها الحجمية والوزنية موضحة في الجدول التالي:

الجدول(4–1). وفرة أكثر العناصر شيوعاً في الصخور النارية.

العنصر	الوفرة	
	%وزناً	%حجماً
الأكسيجين	46.60	91.97
السيليكون	27.72	0.80
الألمنيوم	8.13	0.77
الحديد	5.00	0.68
الكالسيوم	3.63	1.48
الصوديوم	2.83	1.60
البوتاسيوم	2.59	2.14
المغنيزيوم	2.09	0.56
التيتانيوم	0.44	0.03

يعبر عن التركيب الكيميائي للصخور النارية عادة عن طريق الأكاسيد، وليس عن طريق العناصر، وباعتبار أن الأكسيجين والسيليكون هما أكثر العناصر توافراً، وأن نسبة توافر أكسيد السيلسيوم تؤثر بشكلٍ كبيرٍ جداً على الصفات الفيزيائية لهذه الصخور فقد تم تمييز الأنواع التالية من الصخور النارية:

1- الصخور النارية الحامضية(أو الغرانيتية): وهي تحتوي على أكثر من 63% من السيليكا، وتتميز بألوانٍ فاتحة نسبياً، وأوزان نوعية منخفضة لامقارنة مع بقية أنواع الصخور النارية يعد صخر الغرانيت من أهم أنواع الصخور الحامضية وهو صخر يبلور في الأعماق، ويتكون بشكلٍ رئيس من الكوارتز والفلدسبار، بالإضافة إلى الميكا بنوعيها البيضاء، والسوداء، ويعد الريوليت المقابل السطحي للغرانيت حيث يتميز بنفس تركيب الغرانيت إلا أنه يتميز عنه ببنيته الناعمة، الناجمة عن تبرده السريع.

2- الصخور النارية المعتدلة، أو متوسطة الحامضية(أو الأنديزيتية): وتتراوح نسبة السيليكا فيها بين 52و 63%، تحتوي هذه الصخور على نسبٍ هامة من الفلزات الحديدية المغنيزية، كالأمفيبول والبيروكسين، ولكنها تحتوي أيضاً على بعض الكوارتز الحر، وهي تتميز بألوان رمادية، ومن أهمها صخور الأنديزيت، وهي ذات بنية ناعمة، والديوريت أو السيانيت، وهي ذات بنية خشنة.

3- الصخور النارية الأساسية(أو البازلتية): وتتراوح نسبة السيليكا فيها بين 45 و 52% وهي تحتوي على نسبة مرتفعة من الحديد، والمغنيزيوم، والكالسيوم، وهي صخور ثقيلة نسبياً، وذات ألوان رمادية قاتمة إلى سوداء، يعد البازلت وهو من الصخور البركانية من أهم أنواع هذه الصخور، وكذلك "الغابرو" وله

نفس تركيب البازلت إلا أنه يتبلور في الأعماق، لذلك يتميز ببنية خشنة، وفلزات واضحة بالعين المجردة.

4- الصخور فوق الأساسية: وهي تحتوي على أقل من 45% من السيليكا، وتتشكل بمعظمها من الفلزات الحديدية المغنيزية، كالأوليفين، والبيروكسين، والأمفيبول، ويعتقد أن تركيبها يشبه تركيب صخور المعطف، وهي قليلة التواجد على السطح، وتتميز بألوان قاتمة جداً، وأوزان نوعية عالية، ومن أمثلتها صخور البيريدوتيت.

الجدول(4–2). تصنيف الصخور النارية للمساعدة في تحديد هويتها.

Composition	Acid	Intermediate	Basic	Ultrabasic
Grain size: Glass	**Obsidian** **Pitchstone**			
Fine	**Rhyolite**	**Andesite**	**Basalt**	
Medium	Microgranite	Microdiorite or microsyenite	**Dolerite**	
Coarse	**Granite**	Diorite or syenite	**Gabbro**	Peridotite
Proportions of main minerals (100 / 50 / 0)	Free **quartz** (white or pink)	**Felspar** (white or grey)	(including black mica)	**Ferromagnesian minerals**
Colour	Light		Dark	
Density	Light		Heavy	

"

ملاحظة: يشير الخط الأسود العريض إلى الصخور الهامة."

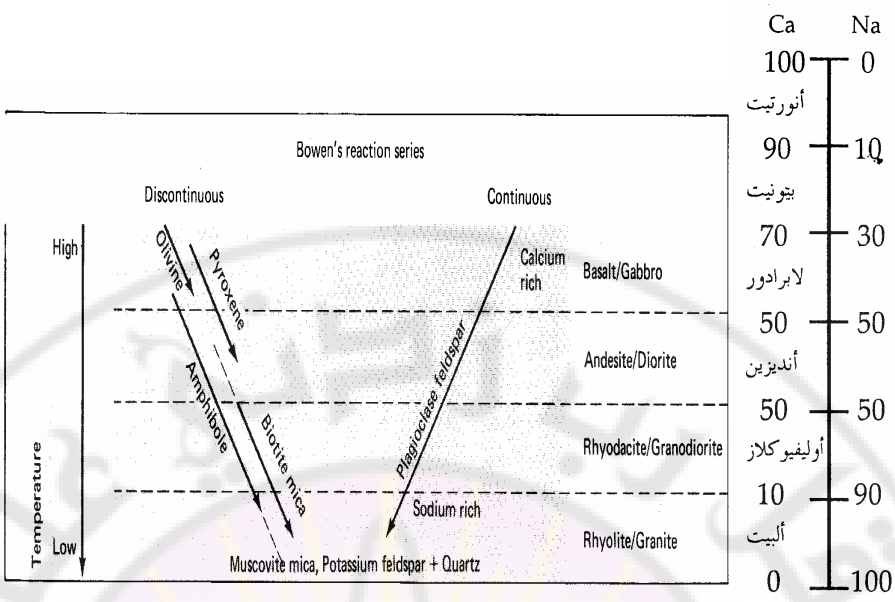
4-6- تبلور الصهير الماغماتي، وسلسلة بوين النفاعلية:

ما إن يبدأ الصهير الماغماتي بالتبرد حتى يبدأ بالتصلب وتبدأ الفلزات المكونة للصهير بالتبلور. إن أول الفلزات المتبلورة هي ذات درجات الانصهار الأعلى.

لقد رتب بوين(N. L. Bowen) الفلزات المكونة للصخور النارية وفقاً لتناقص درجة انصهارها. إن أكثر فلزين شائعين لهما أعلى درجة انصهار هما الأوليفين، والأنورتيت(الفلدسبار الكلسي). لاحظ بوين أن الأوليفين يتربع على رأس سلسلة من الفلزات هي بالترتيب الأوليفين- البيروكسين- الأمفيبول_ الميكا، وهي سيليكات ذات بنية معزولة(مفردة)، ثم سلسلة مفردة، ثم سلسلة مضاعفة، ثم ورقية، والسبب الذي جعل بوين يضع هذه المجموعة من الفلزات في سلسلة مع بعضها هو أنه لاحظ أن كل فلز في السلسلة يتفاعل مع السائل المتبقي لينتج الفلز الذي تحته، وبما أن البنية البلورية لكل فلز في التتابع: أوليفين، بيروكسين، أمفيبول، ميكا تختلف كلياً في ترتيبها عن بقية الفلزات في السلسلة من دون وجود بنية متوسطة بينها، فقد أطلق بوين على هذه السلسلة تسمية السلسلة غير المتصلة.

في الجانب الآخر من المخطط يمثل فلدسبار الكالسيوم والصوديوم محلول حقيقي، يمكنه إنتاج أية نسبة من التركيب الكيميائي، اعتباراً من الفلدسبار ذو الكالسيوم النقي، وحتى الفلدسبار ذو الصوديوم النقي، لذلك يطلق على هذا الجانب سلسلة التفاعل المتصلة(الشكل).

يبقى في المراحل الأخيرة من التبلور سوائل غنية بالمواد السيليسية، والمواد الطيارة، والفلزية المختلفة، لها أهمية كبيرة في تشكيل كثير من الخامات الاقتصادية المفيدة.



الشكل(4–12). مخطط يبين مجموعة فلزات الفلدسبار(1)، سلسلة بوين التفاعلية(2) يظهر فيها تمايز الماغما البازلتية، والصخور التي يمكن أن تتشكل في المراحل المختلفة من التبلور.

الفصل الخامس

الصخور الرسوبية

5-1- تعريف:

تطلق تسمية الصخور الرسوبية على تلك الصخور، التي تشكلت عن طريق تراكم الرسوبيات في المياه، أو من الهواء. يمكن لهذه الرسوبيات أن تتكون من كسارات صخرية، ذات مقاييس مختلفة، أو من بقايا المنتجات الحيوانية والنباتية، وكذلك من نتائج العمليات الكيميائية، أو من منتجات التبخر، ويمكن لبعضها أن يتكون من المواد الناتجة عن النشاط البركاني فوق اليابسة أو في المياه، كما يمكن أن تتكون من خليط من كل أو بعض المنتجات المشار إليها.

5-2- أصل المواد الرسوبية:

تأتي المواد المكونة للصخور الرسوبية عن طريقين:

1- نقل وترسب الفلزات والكسارات الصخرية الناجمة عن عمليات تجوية وتعرية الصخور المتكونة سابقاً، بجميع أنواعها الرسوبية، والنارية، والمتحولة. وتدعى الرسوبيات المتكونة بهذه الطريقة الرسوبيات الحطامية، وبالتالي يطلق على الصخور المتكونة من هذه الرسوبيات تسمية الصخور الرسوبية الحطامية. إن الحصى والرمال، والغرين، والطين، هي أمثلة عن الرسوبيات أو التوضعات الحطامية، والصخور الناجمة عنها، كما أن صخور الغونغلوميرا، والصخور الرملية، والغرينية، والطينية، هي أمثلة على الصخور الرسوبية الحطامية.

2- الترسب الناجم عن العمليات الكيميائية، والذي ينجم عنه توضعات رسوبية كيميائية المنشأ، ويطلق على الصخور الناجمة عن هذا الشكل من الترسب الصخور الرسوبية الكيميائية. يمكن للتوضعات المتشكلة كيميائياً أن تتشكل من

الترسب المباشر من المحاليل المائية بفعل العمليات غير العضوية، وذلك كما في حالة تشكل الرسوبيات الملحية الناجمة عن التبخر، أو بشكلٍ غير مباشر عن طريق تدخل الكائنات النباتية، أو الحيوانية، التي تستخدم بعض المواد المذابة في المياه من أجل نموها وبناء هياكلها، لتتراكم هياكل هذه الكائنات بعد موتها بما تحتويه من مواد مذابة ، مشكلةً رسوبيات تدعى الرسوبيات أو التوضعات البيوكيميائية، والتي ينتج عنها صخور رسوبية بيوكيميائية، وذلك كما في حالة المستعمرات المرجانية التي تستخدم كربونات الكالسيوم المذابة في مياه البحار، لتشكل في النهاية صخور كلسية بيوكيميائية(أو عضوية).

على الرغم من اختلاف منشأ الصخور الرسوبية الكيميائية، والحطامية، فإن هاتين المجموعتين من الصخور تتواجدان عادةً مع بعضهما ، حيث يمكن للصخور المتشكلة كيميائياً أن تحتوي على مواد حطامية، والعكس صحيح.

5-3- بيئات الترسيب:

يميز وفقاً للبيئة التي تراكمت فيها الرسوبيات، بين كل من البيئة البحرية، والنهرية، والبحيرية، والريحية، والجليدية.

5-4-منتجات التجوية، والنقل:

بعد تجوية الصخور بمختلف أنواعها تصبح المواد الناجمة عن هذه التجوية جاهزة للنقل إلى المكان الذي سيتم فيه تراكمها. وهي تنتقل عادةً من المستويات الأعلى إلى الأدنى، وذلك من خلال قوى الجاذبية، وبمساعدة وسائط النقل الطبيعية المختلفة، كالمياه الجارية، وحركة الجليديات، والرياح، والتيارات البحرية، وحركة المياه الجوفية.

تتمكن تجوية الصخور من تشكيل مواد حطامية، وأخرى مذابة، وتتأثر نوعية المواد الرسوبية الناتجة عن تجوية الصخور ونقل منتجات التجوية بكلٍ من:

- نوعية الصخور التي نشأت منها، فعلى سبيل المثال تختلف نوعية الرسوبيات الناتجة عن تجوية الصخور الكلسية عن تلك الناجمة عن تجوية الصخور الغرانيتية.
- نوعية التجوية السائدة، تنتج التجوية الميكانيكية للغرانيت، على سبيل المثال ، كسارات من صخر الغرانيت، وحبيبات من الفلزات المكونة له كالكوارتز والصفاح، والفلزات الحديدية- المغنيزية، بينما تنتج التجوية الكيميائية لنفس الصخر فلزات غضارية، وأملاح مذابة، وأكاسيد الحديد، والسيليكا.
- شدة عمليات التجوية، حيث تختلف نواتج تجوية الصخر نفسه، وفقاً لشدة واستمرارية عمليات التجوية.

5-5- عمليات الترسب:

تتوضع المواد الحطامية التي يحملها الوسيط الناقل عندما لا يعود لديه الطاقة الكافية لنقلها إلى مسافاتٍ أبعد، حيث تبدأ المواد المنقولة بالترسب وفقاً لكتلها، فتترسب بداية المواد ذات الكتل الكبيرة وتتوضع بعدها بقية المواد بشكلٍ تفاضلي، بما يتناسب مع تناقص كتلها. أما بالنسبة للمواد المنقولة على شكل محلول فإنها تبدأ بالترسب عندما تزيد نسبها في المحلول عن حد الاشباع. وعلى الرغم من أن عمليات الترسب تبدو بسيطة إلى حدٍ كبير إلا أنها عمليات في غاية التعقيد، وذلك لأنها تتأثر بكثير من العوامل، كالحرارة، وطاقة وسط الترسب، ودرجة قلوية وحمضية الوسط..الخ، لذلك فإن طبيعة ونوعية الرسوبيات الناتجة، ومن ثم الصخور الناجمة عنها ستختلف باختلاف أي من العوامل المؤثرة في عمليات الترسب.

5-6- الدياجينيز وتشكل الصخور الرسوبية:

تطلق تسمية الدياجينيز على مجمل العمليات الفيزيائية- كيميائية التي تحصل على الرسوبيات وتؤدي إلى تحولها إلى صخور رسوبية.

تتكون الرسوبيات الحديثة من موادٍ مفككة غنية جداً بالماء ومشبعة بمركباتٍ كيميائية متنوعة وفعّالة، وبالإضافة إلى احتواء هذه الرسوبيات على مكونات فلزية فإنها تحتوي أيضاً على مكونات عضوية متنوعة، تتمثل ببقايا العضوياتٍ الميتة، وبكائنات حية دقيقة.

يتميز وسط الرسوبيات الذي يتكون من ذلك الخليط غير المتجانس من المكونات بغياب الاتزان الفيزيائي- الكيميائي بين مكوناته الصلبة والسائلة والغازية، ويعد عدم الاتزان هذا العامل الرئيس في حدوث عمليات الدياجينيز.

تقوم الكائنات الحية الدقيقة باستهلاك الأكسجين الحر اللازم لحياتها من الوسط الرسوبي، ثم تقوم بالحصول على ما يلزمها من الأكسجين بعد استهلاك الأكسجين الحر عن طريق إرجاع هيدروكسيدات الحديد، والمغنيزيوم، والكالسيوم، وكذلك الكبريتات.

يتم في الوقت نفسه الذي يتم فيه استهلاك الأكسجين من الرسوبيات، انحلال تدريجي لبعض الفلزات الواقعة في الطور الصلب، ككربونات الكالسيوم، وكربونات المغنيزيوم، والسيليكا، حتى يصل المحلول في الفراغات بين الحبيبات الرسوبية إلى مرحلة الاشباع، وبالتالي فإن المياه بين الرسوبيات التي تكون في أول الأمر مشابهة لمياه حوض الترسيب، ستتغير بشكلٍ حاد لتغتني بغازات مختلفة، أهمها غازات ثاني أكسيد الكربون، وكبريت الهيدروجين، والميتان، بينما تخسر الأكسيجين، والكبريتات.

يقود تغير تركيب المياه في الفراغات المسامية إلى بداية حدوث عمليتين جديدتين:

- تتمثل العملية الأولى ببداية التأثير المتبادل بين مياه الرسوبيات، ومياه حوض الترسيب، حيث تنطلق من الرسوبيات غازات ثاني أكسيد الكربون، والميتان، وكبريت الهيدروجين، بينما ينتقل من مياه الحوض إلى مياه الرسوبيات كل من

الأكسيجين، والكبريتات، وكذلك ايوني المغنيزيوم والكالسيوم المرتبطين بهما. يقود مجمل هذه العمليات إلى استمرار التغيير وازدياد تركيز مياه الرسوبيات.

- تحدث العملية الثانية داخل الرسوبيات نفسها، حيث يبدأ تشكل فلزات جديدة، نتيجة وصول بعض الأيونات في المياه المسامية إلى مرحلة فوق الاشباع.

قد تتمكن الفلزات المتشكلة حديثاً من الانتشار بشكلٍ متجانس في الرسوبيات، أو أنها تتركز في بعض الأمكنة لتشكل عقداً وتخثرات فلزية محلية، لكن الخط العام للتحول يقود إلى حدوث نوع من الاتزان الفيزيائي- الكيميائي، بما يتناسب مع الظروف الجديدة داخل الرسوبيات.

في الوقت الذي تحدث فيه العمليات السابقة، يحدث أيضاً تراص للرسوبيات، وعصر للمياه المحتواة فيها، وذلك تحت تأثير ثقل الترسيب المستمر من جهة، ونتيجة لتشكل الفلزات الجديدة من جهة أخرى، مما يؤدي إلى تشابك الحبيبات الرسوبية والتحامها مع بعضها(السمنتة).

يقود مجمل الحوادث السابقة إلى تحول الرسوبيات في نهاية مرحلة الدياجينيز إلى صخور رسوبية، ذات درجات تراص وتصلب متنوعة، كما تصبح مكونات الصخور الرسوبية المتشكلة في حالة اتزان فيزيائي- كيميائي مع بعضها.

تتعلق شدة عمليات الدياجينيز بكلٍ من:

1- تنوع الرسوبيات: حيث تزداد شدة عمليات الدياجينيز، كلما ازداد تنوع المكونات الرسوبية.

2- ظروف وسط الترسيب: يختلف الدياجينيز في أوساط الترسيب المائية عنه في الأوساط الهوائية، حيث يكون في الأوساط الأولى التي تتميز بوفرة الماء في الرسوبيات أشد وأكثر تنوعاً.

تبقى الصخور الرسوبية المتشكلة في نهاية مرحلة الدياجينيز متواجدة في القشرة الأرضية، وذلك ما دامت واقعة ضمن الشروط الترموديناميكية، المميزة للسويات العليا من هذه القشرة، لكنها تبدأ بعد ذلك تعاني من تحولات في تركيبها وبنيتها في السويات العميقة، نتيجة لتعرضها لدرجات الحرارة والضغوط المرتفعة جداً، كما أنها ستعاني من بعض التحولات إذا تكشفت على سطح الأرض نتيجةً لعمليات التجوية والتعرية. لكن هذا لا يعني أن الصخور الرسوبية لا تعاني من تغيرات في المستويات العليا من القشرة الأرضية، إلا أنها تبقى في هذه السويات محتفظة بالمواصفات الرئيسة لبنياتها وتراكيبها الفلزية.

يطلق مصطلح الكاتاجينيز على مجموع العمليات التي تؤدي تغيرات في الصخور الرسوبية أثناء وجودها في السويات العليا من القشرة الأرضية، وذلك حتى بداية التحول الحراري، أو التحول الناجم عن التجوية والتعرية.

5-7- التركيب الكيميائي للصخور الرسوبية:

يتميز التركيب الكيميائي للصخور الرسوبية بتنوع كبير، وأكثر مما هو موجود في الصخور النارية، ويعود السبب في ذلك إلى التنوع الكبير في عمليات الترسيب. وعلى الرغم من أنه يمكن النظر إلى الصخور الرسوبية على أنها مشتقة أصلاً من الصخور النارية، إلا أن التركيب الكيميائي لهذين النوعين من الصخور ليس متشابهاً، ويعود ذلك إلى أسبابٍ عديدة من أهمها:

1- ضياع بعض العناصر، التي تميل للتتواجد في البحار والمحيطات على شكل محاليل.

2- زيادة نسبة العضويات خلال الأزمنة الجيولوجية، ومساهمتها في إضافة كمياتٍ هامة من كربونات الكالسيوم إلى الرسوبيات.

يعبر عادةً عن التركيب الكيميائي للصخور على شكل أكاسيد. إن هناك عدداً محدداً من الأكاسيد تشكل ما يقارب 100% من التركيب الاجمالي للصخور الرسوبية(الجدول)، مع العلم بأنه يمكن لأكاسيد معينة أن تسيطر في صخور محدد، فيمكن لأكسيد السيليسيوم أن يصل إلى 99% في بعض الصخور الرملية، كما يمكن لأكسيد الحديد أن يصل إلى أكثر من 75% في بعض الصخور الحديدية..الخ.

الجدول(5–1). التركيب الكيميائي الوسطي لأهم الصخور الرسوبية.

الأكسيد	الشيل	الصخور الرملية	الصخور الكلسية	وسطي الرسوبيات *	وسطي الرسوبيات **
SiO_2	58,10	78,33	5,19	57,95	44,5
TiO_2	0,65	0,25	0,06	0,57	0,6
Al_2O_3	15,40	4,77	0,81	13,39	10,9
Fe_2O_3	4,02	1,07	0,54	3,47	4,0
FeO	2,45	0,30		2,08	0,9
MgO	2,44	1,16	7,89	2,65	2,6
CaO	3,11	5,50	42,57	5,89	19,7
Na_2O	1,30	0,45	0,05	1,13	1,1
K_2O	3,24	1,31	0,33	2,86	1,9
H_2O	5,00	1,63	0,77	3,23	0,1
P_2O_5	0,17	8,08	0,04		13,4
CO_2	2,63	5,03	41,54	0,13	
SO_3	0,64	0,07	0,05	5,38	
BaO	0,05	0,05		0,54	
C	0,80				0,3
MnO				0,66	

*=حسب ليث، وميد(**Leith and Mead**). **= حسب بولدرفات(**Poldervaat**)

5–8– التركيب الفلزي للصخور الرسوبية:

على الرغم من أن العدد الكلي للفلزات المعروفة في الصخور الرسوبية كبير جداً، إلا أن عـدد الفلـزات المعروفـة والمسـيطرة في هـذه الرسـوبيات قليـل نسـبياً، وهـي: الكـوارتز، الفلدسبار، الكالسيت، الدولوميت، الفلزات الغضارية، بالإضافة إلى بعض الفلزات التي يمكن أن تكون متوفرة وغزيرة في بعض الصخور الرسوبية، وذلك كالهيماتيت، والأباتيت، والجص، والهاليت، وغيرها.

تعد فلزات الكوارتز والفلدسبار أكثر الفلزات الحطامية انتشاراً، لكن الفلدسبار أقل ثباتاً، ومقاومة للتجوية من الكوارتز، وبالتالي فإن تعرضه للتجوية الكيميائية سيؤدي إلى فساده وتحوله إلى فلزات أخرى.

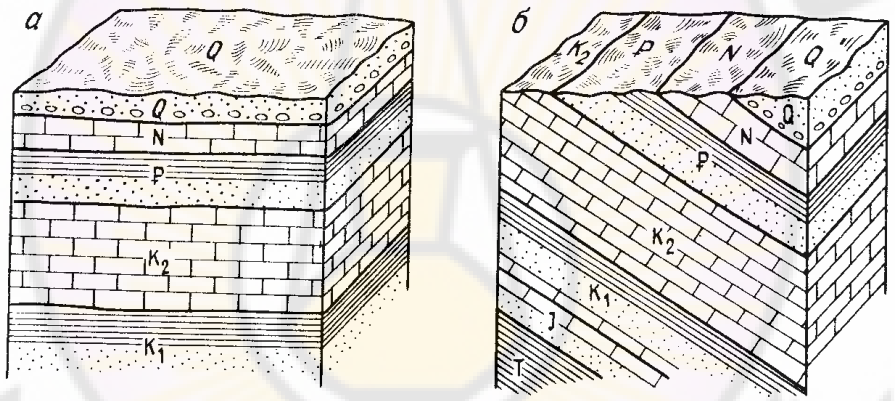
تتكون الصخور الكربوناتية بشكلٍ رئيس من فلز الكالسيت، الذي يمكن أن يتشكل عن طريق الترسيب من المحاليل، أو نتيجة للنشاط الحيوي للمتعضيات، كما يمكن أن يتشكل من تحول فلز الأراغونيت الذي يماثله من حيث التركيب الكيميائي، ويختلف عنه من حيث البنية البلورية، وهو أيضاً من الفلزات الشائعة في الصخور الكربوناتية. أما الفلز الكربوناتي الثالث واسع الانتشار في الصخور الكربوناتية فإنه فلز الدولوميت، وهو عبارة عن كربونات المغنيزيوم والكالسيوم، ويعد الفلز المسيطر في صخور الدولوميت.

يعد فلز الايلليت من أكثر الفلزات الغضارية انتشاراً في الصخور الرسوبية، يليه في ذلك الكاولينيت، وبنسبة أقل المونتموريلونيت. تتشكل الفلزات الغضارية من تجوية الفلزات السيليكاتية، وخاصةً فلزات الفلدسبار، وهي تعد المكون الرئيس للصخور الطينية وصخور الشيل.

5-9- الميزات الرئيسة للصخور الرسوبية:

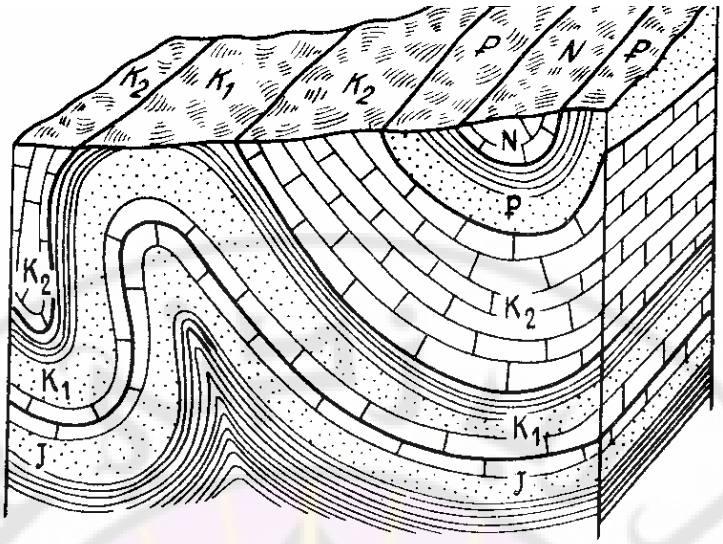
1- الطبقات وسطوح التطبق: تعد طريقة وجود الصخور الرسوبية على شكل طبقات من أهم الصفات التي تميزها عن بقية أنواع الصخور، ويطلق على السطوح الفاصلة بين الطبقات تسمية سطوح التطبق. وهي تعد مستويات ضعف، حيث تميل الصخور للانفصال أو الكسر على امتدادها عندما تتعرض للجهد، أو الطرق.

تمثل سطوح التطبق تغير في بيئة الترسيب التي كانت سائدة، فالتغير في بيئة الترسيب الذي يؤدي إلى تشكل الرمال بدلاً من الطين، سيقود إلى تبدل في النسيج والتركيب الفلزي ، وهذا التباين يتم حفظه حتى بعد أن تتحول الرسوبيات إلى صخور طينية، ورملية. يمكن للطبقات أن تكون أفقية، كما يمكنها أن تكون مائلة على الأفق بدرجات مختلفة، وقد تأخذ أشكالاً مختلفة، ويتعلق ذلك بجغرافية وسط الترسيب، والتطورات الجيولوجية اللاحقة، . (الأشكال5-1، 5-2، 5-3).

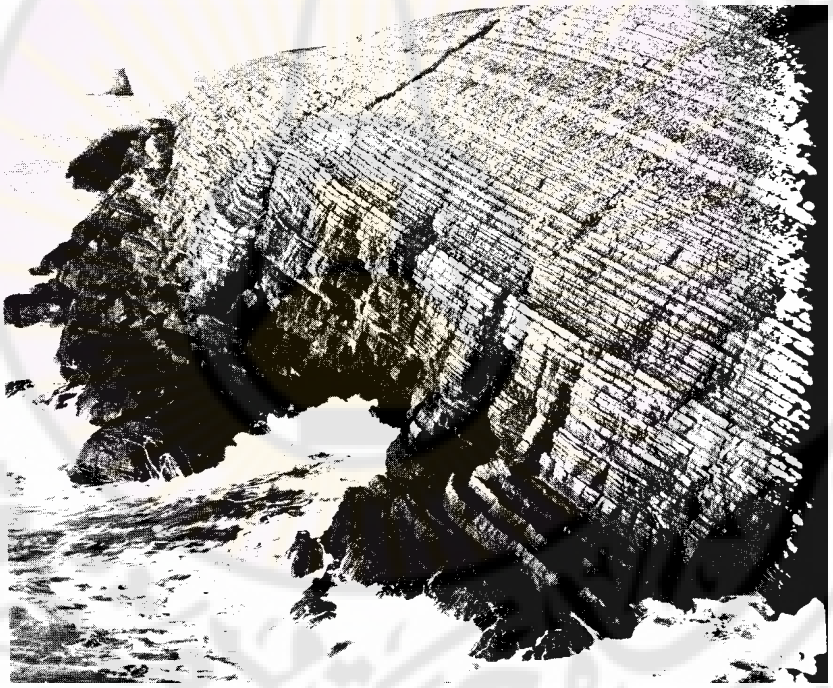


2 **1**

الشكل(5-1). طبقات رسوبية: مائلة (1) ، وأفقية (2).

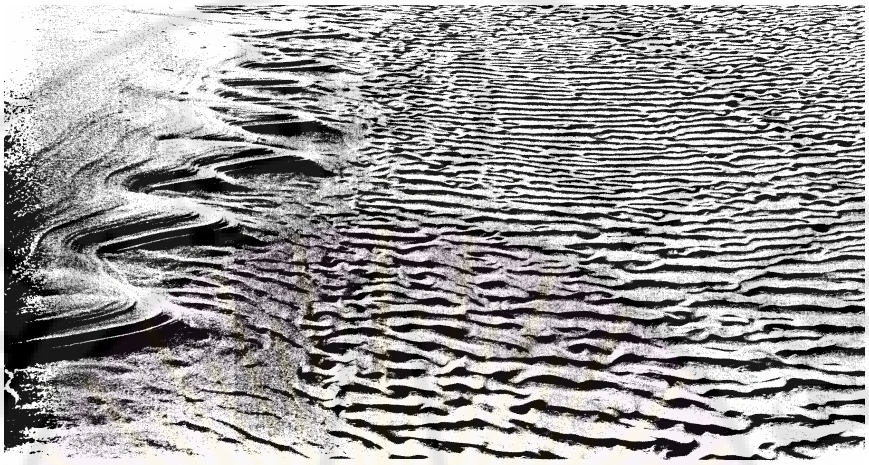


الشكل(5–2) طبقات رسوبية مجعدة.



الشكل(5–3) سطوح تطبق واضحة بين طبقات رسوبية متنوعة.

2- علامات الموج(Ripple marks): يمكن أن يظهر على امتداد سطوح التطبق ميزة أخرى من الميزات التي تخص الصخور الرسوبية وهي علامات الموج(أو علامات النيم)، وهي تشهد على آثار التيارات القديمة التي يمكن أن تبقى محفوظة في الرسوبيات(الشكلين 5-4، 5-5).



الشكل(5-4) صورة تظهر علامات النيم الحديثة على طول شاطئ جزيرة Assateague في فرجينيا. (تجري تيارات الموج نحو اليمين، وتوضع طبقات أفقية).

الشكل(5-5). صورة فوتوغرافية لعلامات موج قديمة في صخر رملي في أحد مناطق كولورادو.

3- تشققات الطين: يمكن أن يظهر على سطوح التطبق في الطبقات الطينية شقوق متقاطعة تشير إلى تعاقب فترات التبلل والجفاف، قبل أن يتم طمر الطبقة.

4- المستحاثات: يتميز الكثير من الصخور الرسوبية باحتفاظها بالمستحاثات التي هي عبارة عن البقايا المحفوظة من الكائنات التي عاشت في زمن الترسيب. يمكن لبعض هذه البقايا أن تمثل كامل الجزء الصلب من الكائن القديم، أو أن تمثل جزءاً منه، أو حتى ما يدل على وجوده، كما يمكن لبعضها أن يميز بشكلٍ واضحٍ في العين المجردة، ومنها ما

يحتاج لتبيزه إلى تكبيرات عالية في المجاهر. إن وجود هذه البقايا يعد شديد الأهمية لكونها تساعدنا على التنبؤ بالبيئات القديمة، وظروفها المختلفة.

الشكل(5–6). صورة لتشققات طين حديثة.

5–10– السحن الرسوبية(Sedimentary Facies):

من الواضح أن ظروف الترسيب تتغير من مكانٍ إلى مكانٍ آخر في أي وقتٍ من الأوقات، فيمكن أن تتشكل على امتداد الشواطئ برك أو بحيرات مائية صغيرة معزولة تسمى اللاغونات، تنفصل هذه اللاغونات عن البحر العميق بحواجز من الشواطئ الرملية، وبالتالي يمكن أن يتواجد ثلاثة أنواع من التوضعات أو الرسوبيات: الطين في اللاغونات باعتبارها بيئات هادئة، والرمال على طول الشاطئ، وربما خليط من الرمال

الناعمة والغرين أبعد قليلاً باتجاه البحر. إن هذا التغير من الطين إلى الرمال ثم إلى الغرين نسميه تغيّراً في السحنة الرسوبية، والسحنة الرسوبية هي عبارة عن أي وحدة طبقية من الرسوبيات تتميز بخصائص واضحة عن الرسوبيات المجاورة.

5-11- تصنيف الصخور الرسوبية:

تصنف جميع الصخور الرسوبية إلى مجموعتين رئيستين: صخور رسوبية حطامية(Clastic)، وصخور رسوبية غير حطامية(non- clastic).

5-11-1- مجموعة الصخور الرسوبية الحطامية:

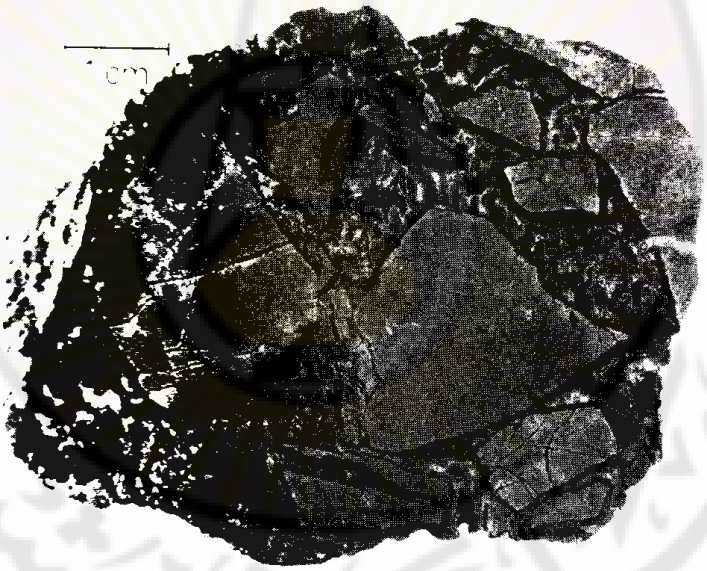
وهي عبارة عن صخور رسوبية تكونت من كسارات صخرية، أو حبيبات فلزية، ناتجة عن تحطم أية صخور موجودة سابقاً.

تقسم الصخور الرسوبية الحطامية عادةً حسب مقاييس الكسارات، أو الحبيبات المكونة لها، بينما لا يؤخذ التركيب في عين الاعتبار نظراً لتعدد العوامل التي تؤثر على هذا التركيب

- **صخور الكونغلوميرا:** تتكون هذه الصخور من مواد بمقاييس الحصى (أكبر من 2ملم) أو أكبر ، وهي ذات تركيب فلزي متنوع، يجمعها ملاط ذو نسيج أنعم من الحبات الحطامية المكونة للصخر.

يميز وفقاً لشكل الحبات في الكونغلوميرا بين كلٍ من صخور البودنغ، وتكون حباتها مستديرة الأطراف نتيجة لتآكل زواياها أثناء النقل الطويل(الشكل 5-7)، وصخور البريشيا وتسيطر فيها الحبات الزاوية مما يشير إلى أنها قريبة من مكان نشأتها(الشكل 5-8).

الشكل(5–7) بودنغ.



الشكل(5–8) بريشيا

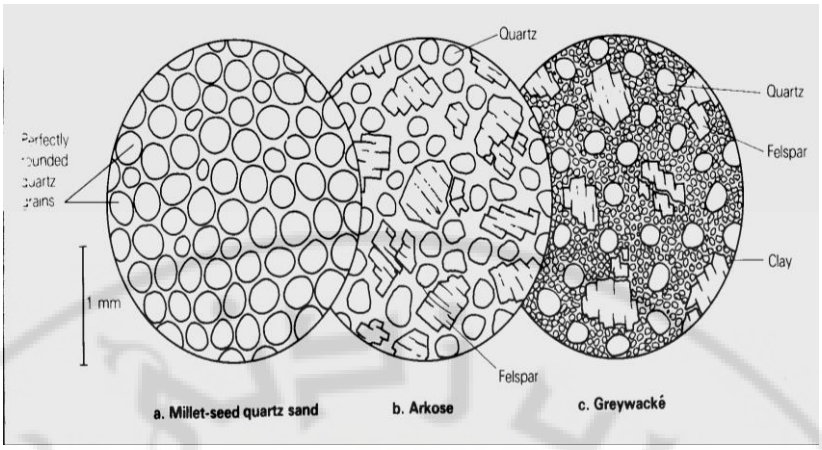
- **الصخور الرملية:**

تتراوح مقاييس الرمال بين 1\16 و 2ملم، وتطلق تسميةالصخر الرملي أو الحجر الرملي (Sandstone) على الصخور الرسوبية الحطامية التي تسيطر على تركيبها الحبات الرملية بمختلف المقاييس.

تتميز الصخور الرملية بملمسها الرملي، وإذا ما كانت الرمال مصنفة بشكل جيد في الصخور الرملية فإنها تصنف إلى صخور رملية خشنة، متوسطة الخشونة، وناعمة.

تقسم الصخور الرملية وفقاً لتركيبها الفلزي إلى أنواع عديدة من أهمها:

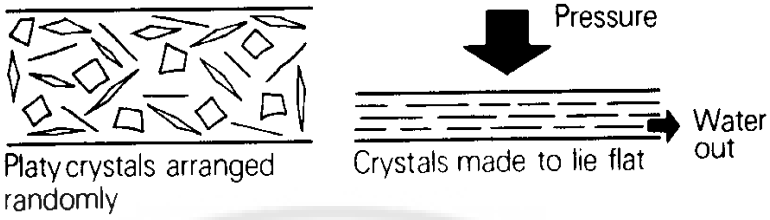
- الصخور الرملية الكوارتزية: وهي تتكون بشكلٍ رئيس من الكوارتز، ويمكنها أن تتشكل من صخور مصدرية شديدة الغنى بالكوارتز، كما يمكن للكوارتز في الصخر الرملي الكوارتزي أن يكون قد نتج عن التجوية الطويلة التي أدت إلى بقاء الكوارتز ذي المقاومة العالية للتجوية بعد إزالة الفلزات الأخرى الأقل مقاومة.
- الأركوز: وهو عبارة عن حجر رملي يحتوي في تركيبه على الفلدسبار بنسبة تزيد عن 20% . تشير النسبة العالية من الفلدسبار في الحجر الرملي إلى ترسيب وطمر سريعين، قبل أن تتمكن عمليات التجوية من تخريب فلزات الفلدسبار، أو إلى تشكل في مناخ بارد، تكون فيه التجوية الكيميائية بطيئة جداً .
- صخور الغريواكي(Greywake): وهي عبارة عن صخور رملية سيئة التصنيف، وتحتوي على فلزات الكوارتز، والفلدسبار، والغضار.



الشكل(5–9). أهم أنواع الصخور الرملية.

a= رمل كوارتزي(رمل كوارتزي من نمط بذور الدخن). **b =** أركوز. **c =** غريواكي.

- **الصخور السلتية(أو الغرينية– Siltstone)**: تتراوح مقاييس الحبات في هذه الصخور بين 1\16 و 1\256ملم.
- **الصخور الطينية(Clay)**: مقاييس الحبيات في هذه الصخور أقل من 1\256ملم، وهي تتكون بشكلٍ رئيس من فلزات جديدة، ناتجة عن عمليات التجوية تدعى الفلزات الغضارية، وتتكون بشكلٍ رئيس من الألومنيوم، والأكسيجين، والسيليسيوم، وهي ذات بلورات ناعمة جداً يمكن أن تصل كثافتها إلى الاف البلورات في الميليمتر المكعب، وإذا ما انطمرت هذه البلورات بشكلٍ سريع، فإنها ستختلط مع بعضها وتمتزج بكميات كبيرة من الماء، ويطلق على الصخر الناتج الحجر الوحلي Mudstone، وهو صخر لا يبدي بنية داخلية واضحة، ويتكسر باتجاهات مختلفة إذا تم طرقه بالمطرقة.
- **صخور الشيل(Shale rocks)**: يؤدي استمرار الترسيب وازدياد الحمل فوق الرسوبيات الطينية إلى ارتصاصها، وعصر المياه منها، وتشكيل صخور ذات طبقات رقيقة جداً يمكنها أن تنفصم من خلالها، تدعى هذه الصخور بصخور الشيل.



الشكل(5-10) تحول الصخور الطينية(a) نتيجة ثقل الرسوبيات فوقها إلى صخور الشيل(b).

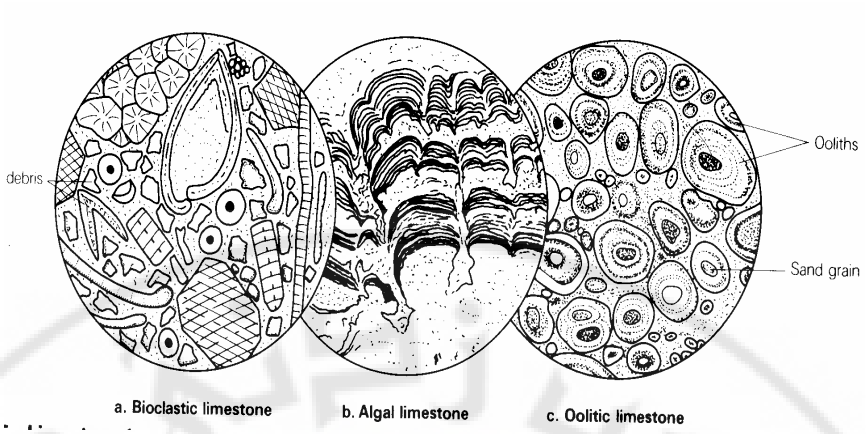
5-11-2- مجموعة الصخور غير الحطامية:

تشكلت صخور هذه المجموعة عن طريق الترسب الكيميائي، أو العضوي، وعن طريق تراكم المواد العضوية، حيث تؤدي هذه العمليات إلى استخلاص المواد من الوسط المحيط، بشكل خاص من مياه البحار، وترسبها، ليؤدي تطورها اللاحق إلى تشكيل صخور رسوبية متنوعة.

تصنف صخور هذه المجموعة وفقاً لتركيبها الفلزي والكيميائي إلى عدة أنواع من الصخور، أهمها:

- **الصخور الكلسية Limestones**: تتكون هذه الصخور بشكلٍ رئيس من فلز الكالسيت، وتتميز بتفاعلها مع حمض كلور الماء الممدد. كثيراً ما يكون لهذه الصخور منشأ عضوياً، كما يمكن أن تحتوي على مستحاثات واضحة.

يمكن للكالسيت أن يترسب مباشرةً من مياه البحر، وتتحكم نسبة ثاني أكسيد الكربون في المياه بكميات الكالسيت التي يمكن أن تبقى على شكل محلول، فيمكن لهذا الفلز أن يترسب على سبيل المثال إذا تم اختزال كميات ثاني أكسيد الكربون عن طريق تدفئة المياه، وذلك كما يحدث في المياه الضحلة في المناطق المدارية.



الشكل(5–11). أنواع مختلفة من الصخور الكلسية.

a = كلس قوقعي(بيوكلاستي).**b** = كلس طحلبي. **c** = كلس بيوضي.

الشكل(5–12) صورة فوتوغرافية لصخر كلسي مستحاثي.

- **الحوار Chalk**: وهو عبارة عن صخر كلسي طري أبيض اللون يتكون من تراكم كمياتٍ هائلة من القواقع المجهرية للكائنات الدقيقة.

يعد الحوار من الصخور الكلسية ذات النقاوة العالية، ويتكون بشكلٍ كامل من صفائح كالسيتية مجهرية شكلتها نباتات بلانكتونية بسيطة تدعى الكوكوليتات(Coccoliths).

الشكل(5-13) صورة لشريحة من صخر حواري مكبرة بالمجهر الإلكتروني.

- **الدولوميت Dolomite**: وهو يتكون بشكلٍ رئيس من فلز الدولوميت، وهو يتفاعل مع حمض كلور الماء لكن ببطء شديد، وتزداد شدة التفاعل إذا كان الصخر على شكل مسحوق. يتشكل صخر الدولوميت غالباً عن طريق استبدال ايون الكالسيوم في الكالسيت بايون المغنيزيوم، وتدعى العملية التي تؤدي إلى تحول الصخر الكلسي إلى صخر دولوميتي بعملية الدلتة.
- **الشيرت Chert**: هو عبارة عن صخر يتكون من السيليكا الناعمة خفية التبلور. يمكن للشيرت أن يتشكل عن طريق الترسيب المباشر من مياه البحر في الأماكن

التي تحرر فيها البراكين كميات كبيرة من السيليكا، لكن معظم صخور الشيرت تتشكل عن طريق تراكم القواقع السيليسية للكائنات الدقيقة الميتة، كالدياتوما، والشعاعيات، وبعض الاسفنجيات، التي تقوم أثناء حياتها، بازالة السيليكا المحلولة في المياه اللازمة لبناء هياكلها، التي تتراكم بعد موتها لتشكل صخوراً سيليسية مميزة. تتكون هياكل معظم هذه الكائنات من الأوبال(سيليكا مائية)، الذي يعاد تبلوره بسهولة ليشكل الشيرت.

يمكن للسيليكا أثناء إعادة التبلور أن تحل مكان مستحاثاتٍ وفلزاتٍ أخرى، كما يحدث عند سيلسة بعض المستحاثات في الصخور الكلسية والتي يمكن استخلاصها من الصخر عن طريق إذابته بحمض كلور الماء.

يمكن للشيرت أن يتواجد على شكل طبقاتٍ صخرية، أو على شكل عقد مميزة داخل الصخور.

تطلق تسمية الصوان على الشيرت ذي اللون الرمادي القاتم إلى الأسود، كما تطلق تسمية الآغات على الكالسيدوني الذي يتميز بوجود عصاباتٍ لونية متناوبة.

- **صخور المتبخرات(Evaporites)**: تصل بعض المواد المحلولة في المياه في بعض الظروف المناخية إلى مرحلة فوق الاشباع مما يؤدي إلى ترسبها لتشكل صخور المتبخرات. يعد الكالسيت أول الفلزات الذي يمكن أن يتشكل بهذه الطريقة، يليه الدولوميت، ويمكن بعد ذلك إذا استمرت الظروف المناخية القاسية أن تتشكل صخور الجص، التي تتكون بشكلٍ أساسيّ من فلز الجص، ثم الصخور الملحية التي تتكون من الهاليت.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

التحول والصخور المتحولة

6-1- مقدمة:

يعرف التحول بأنه إعادة تشكل الصخور بفعل العمليات الداخلية، الناتجة عن تغيرات الظروف الفيزيائية- الكيميائية في القشرة الأرضية. يمكن أن يتعرض لهذه التغيرات أي نوع من الصخور، سواء كانت نارية المنشأ، أم رسوبية، أو حتى صخور متحولة متشكلة من قبل، حيث تؤدي الظروف الفيزيائية، والكيميائية الجديدة، والمختلفة عن ظروف تشكل الصخور السابقة إلى تغيرات قد تشمل تغير في التركيب الفلزي للصخر، أو بنيته ونسيجه.

يمكن للتحول أن يحدث في بعض الحالات، دون أي تغير في التركيب الكيميائي للصخر، بينما يمكن في حالات أخرى أن يترافق مع تغيرات هامة في التركيب الكيميائي نتيجة لدخول مواد جديدة، أو خروج مواد من الصخر، أما بالنسبة لتغير بنية ونسيج الصخر، فإنها تحدث عادةً نتيجة لإعادة تبلور المواد. وتتميز عملية التحول بأنها تحدث مع الحفاظ على الطور الصلب للصخر. كما يمكن للتحول أن يكون تدريجياً(انتقالياً)، وذلك وفقاً لشدة العمليات التي نتج عنها.

6-2- عوامل التحول(Agents of metamorphism):

يمكن للتحول أن يحدث تحت تأثير أي من العوامل التالية: الحرارة، الضغط، الضغط الموجه، القص، والفعل الكيميائي للمحاليل، مع العلم أنه يمكن لهذا التحول أن يحدث بتأثير اجتماع بعض أو معظم العوامل المذكورة بنفس الوقت.

6-2-1- **الحرارة**: تعد الحرارة أحد أهم العوامل في التحول، والتي تؤدي إلى إعادة تشكل الفلزات في الصخر، وقد ينتج عنها مجموعات فلزية محددة.

يؤدي الارتفاع التدريجي لدرجات الحرارة إلى تزايد سرعة التفاعلات الكيميائية، وتزايد شدة عمليات إعادة التبلور.

تقود تسخين الصخور الناجم عن امتصاص الحرارة مع ازدياد عمق طمر الصخور إلى طرد المياه من بنية الفلزات الهيدروكسيدية، وطرد ثاني أكسيد الكربون من الصخور الكربوناتية، وتشكل الفلزات ذات الحرارة العالية الفقيرة بالمياه البنيوية.

يتراوح المجال الحراري الذي يتم فيه تحول الصخور بين 300 و1000ْ م، حيث لا يحدث التحول، أو يكون بطيء جداً في الدرجات الأقل من 300ْ م ، ويعود ذلك إلى التناقص الحاد في سرعة التفاعلات الكيميائية، بينما تبدأ الصخور في الدرجات الأعلى من 1000ْ م بالانصهار وتشكيل الماغما.

6-2-2-الضغط: ينتج الضغط عن ثقل الصخور العليا(ضغط ليتوستاتيكي)، ويمكن أن ينظر إليه وكأنه يؤثر على الصخر من جميع الاتجاهات، مما يؤدي إلى تراصّ الصخور ونقصان أبعادها، وتشكل فلزات ذات كثافات عالية. يؤدي الضغط الليتوستاتيكي أيضاً إلى رفع درجات حرارة انصهار الفلزات، مما يؤدي إلى توسيع مجال تغيرات الصخور وهي في الحالة الصلبة.

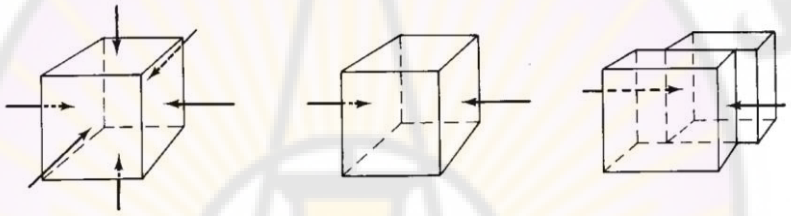
يؤدي تأثير عامل الضغط المتكافئ من جميع الجهات إلى تشكيل صخور كتلية ذات بنية نسيجية متجانسة.

- **الضغط الموجه(Directed pressure)**: ينتج هذا النوع من الضغط عن الحركات التكتونية، ويؤدي إلى تشوه الصخور، وتغيير في خواص بنيتها النسيجية. تتوجه الفلزات بسبب هذا الضغط بشكلٍ متعامد مع اتجاه الضغط، ليتشكل ما يسمى البنية الورقية، التي تميز الكثير من الصخور المتحولة.

يؤدي الضغط الموجه بالإضافة إلى ما سبق إلى تحريض عمليات إعادة التبلور، كما يمكن أن يقود إلى تحطم الصخور واعطاء المجال لمحاليل التحول في الحركة داخل الصخور.

إن دور الضغط الموجه يتناقص مع زيادة العمق(على العكس من الضغط الليتوستاتيكي)، ليصبح عملياً غير موجود في الأعماق التي تزيد عن عشرة كيلومترات، وذلك بسبب التناقص الكبير في أبعاد الصخور وفقدانها للفراغات(المسامات) بسبب الضغط الليتوستاتيكي العالي جداً.

– القص(Shear): يحدث القص عندما يتصدع الصخر ويتحرك بتأثير الضغط الموجه، كما في حالة حدوث الفوالق. إن دور هذا العامل أضعف من النوعين السابقين، ولكنه يمكن أن يساهم في تسهيل حركة المحاليل.



الشكل(6–1). القص(1)، الضغط الموجه(2)، الضغط المتماثل من جميع الاتجاهات(3).

6–2–3– الفعل الكيميائي للمحاليل(Chemically active solutions):

يعد الفعل الكيميائي للمحاليل العامل الثالث المؤثر في تحول الصخور، وقد يكون أهمها على الاطلاق، فحتى لو كانت قيم الحرارة والضغط عالية بما فيه الكفاية لتسبب حدوث تفاعلات التحول، فإنه لا بد من وجود بعض الماء لتحدث هذه التفاعلات. كما أن بعض التفاعلات تحتاج إلى وجود الماء كحاثٍ على التفاعل، وبغير ذلك ستكون التفاعلات بطيئة جداً.

يوجد الماء عملياً في جميع الصخور، ويعد وجوده ضرورياً، ولو بقشرة رقيقة جداً حول الحبيبات، وبالإضافة إلى ذلك فإن المياه يمكن أن تحتوي على مركبات أخرى تساهم، أو تساعد على التفاعل، كما أنه يمكن أن يجلب بعض العناصر إلى الصخر، أو يأخذها منه. إن وجود كمية ضئيلة جداً من المياه قد تكون كافية لإضعاف الصخر المتعرض للتحول. إلا أن كميات كبيرة من المحاليل المائية يمكن أن تتواجد بنتيجة النشاط الماغماتي، والمياه الجوفية الحارة.

3-6- أنواع التحول(Types of Metamorphism):

تقسم عمليات التحول تبعاً لدرجة انتشارها ومقاييسها إلى نوعين رئيسين، هما:

1- التحول المحلي:

ينتشر التحول الإقليمي ضمن وحدات تكتونية محددة، كأماكن الفوالق، والتماس مع الاندساسات النارية، ومناطق التشوهات التكتونية، ليشكل صخور متحولة تنتقل تدريجياً إلى صخور غير متحولة. يميز في التحول المحلي بين كل من التحول التماسي، والتحول الديناميكي.

- التحول التماسي(Contact metamorphism): وهو يظهر في أماكن الهالات الكيميائية والحرارية الناتجة عن فعل الاندساسات النارية في الصخور المحيطة.

يعد كل من الحرارة والمحاليل الكيميائية العاملين الرئيسين في هذا التحول، ويحدث هذا التحول ضمن قيم ضغوط منخفضة نسبياً،وفي درجات حرارة تقدر بين 550 و 900° م. تتغلغل مركبات الماغما الطيارةعلى شكل محاليل وغازات في الصخور المحيطة، وتتفاعل معها، لتحدث تغيراتٍ حادة في تراكيبها الكيميائية، ويكون تأثيرها أشد كلما كانت أكثر حامضية، بينما يكون التحول الحراري هو الأشد في التحول التماسي الناجم عن الماغما الأساسية، وفوق الأساسية.

تتعلق شدة التحول التماسي، وأبعاد هالة التحول بكلٍ من نوعية الصخور المحيطة، وتركيب، وكميات، وحرارة المحاليل والماغما. تدعى الصخور الموجودة ضمن هالة التحول التماسي الصخور القرنية، ويرتبط بهذا النوع من التحول الكثير من المكامن المفيدة، كمكامن القصدير، والذهب، والمولبيدنيوم، وغيرها.

- التحول الديناميكي(Dynamic metamorphism): يحدث التحول الديناميكي بفعل اتجاه الضغط، كما يحدث في الصخور المحطمة ميكانيكياً بفعل هذه الحركات، ويحدث هذا النوع من التحول عندما يفوق الضغط الموجه تماسك الصخر، مما يؤدي إلى حدوث تحول بدون تدخل عاملي الحرارة والمحاليل، لكن من النادر أن يحدث التحول الموجه دون أن يترافق مع تأثير كل من عاملي الحرارة والمحاليل لأن الصدوع والشقوق المتشكلة، تمثل طرقاً جيدة للمحاليل والتيارات الحرارية الآتية من الأعماق.

2- التحول الإقليمي(Regional metamorphism):

يحدث هذا النوع من التحول على مستوى إقليمي، ليضم حجوم هائلة من الصخور، التي يغيب فيها الانتقال التدريجي إلى الصخور غير المتحولة. يعمل كل من عامل الحرارة، والضغط، والمحاليل الكيميائية مع بعض في هذا النوع من التحول. كما تتميز الصخور الناجمة عن التحول الإقليمي بتنوعها الكبير.

يرتبط التحول الإقليمي عادةً بالمناطق ذات الانخفاس الفعال(الجيوسينكلينالات)، وتتعلق شدة التحول بالاعماق التي تصلها الصخور(وما ينتج عنها من تزايد تأثير الحرارة والضغط).

6-4- تصنيف وتحديد هوية الصخور المتحولة:

تصنف الصخور المتحولة وفقاً لبنيتها النسيجية إلى مجموعتين رئيستين، هما:

- مجموعة الصخور غير المورقة(Non-foliated): وتكون ذات مظهر كتلي متجانس.
- مجموعة الصخور المورقة(Foliated): ويكون لها مظهر موجه، أو ورقي.

6-4-1- مجموعة الصخور المتحولة غير المورقة(Non-foliated):

تضم هذه المجموعة الصخور القرنية التي توجد عادةً على شكل أحزمة ضيقة حول الاندساسات النارية، ويمكن أن تنشأ عن أي نوع من الصخور، وتكون عادةً ناعمة الحبيبة، صلبة، يصعب تحديد نوعها دون مساعدة المجهر، إلا إذا أمكن تمييزها في الحقل، حيث تتدرج من صخور معاد تبلورها بشكلٍ كاملٍ، من دون وجود أي مظهر يدل على أصلها، إلى صخور بالكاد تكون متحولة وهي ما زالت تحتفظ بمعظم معالمها الأصلية.

تنمو الفلزات الجديدة في بعض الصخور في مراحل التحول الأولى بشكلٍ شاذ، لتشكل ما يسمى بالصخور الملطخة(spotted rocks)، بينما تنمو الفلزات الجديدة في الأنواع الأخرى بشكل متجانس في جميع الاتجاهات، وخاصة إذا كانت هذه الصخور مكونة من فلزات وحيدة، كالكالسيت والكوارتز، حيث يتشكل في حالة الكالسيت صخر الرخام ذو البلورات الأكبر من بلورات الصخر الأصلي، بينما تكبر البلورات في الصخر الرملي الكوارتزي، ويتشكل صخر الكوارتزيت.

تتحول الصخور التي تتكون من فلزات ذات درجات حرارة تشكل عالية(كالأوليفين) في درجات الحرارة الأخفض، فيتحول على سبيل المثال الأوليفين في صخر الدونيت ليشكل فلز السربنتين، وهو فلز قاتم اللون إلى أخضر فاتح، وذو بريق شمعي أو شحمي، قساوته تتراوح بين 2 و5، له مظهر وملمس يشبه جلد الأفعى(لذلك يسمى صخر الأفعى)، يبدو أحيانا على شكل أبر الأسبست، ويدعى الصخر المتشكل السربنتينيت.

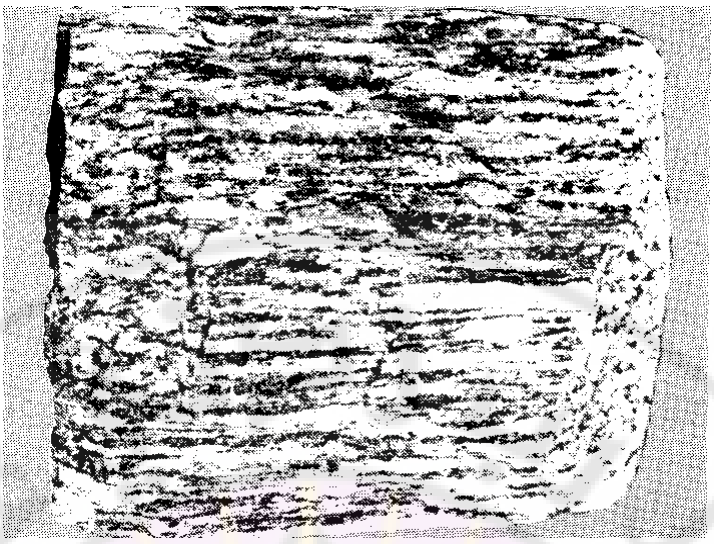
6-4-2- مجموعة الصخور المورقة(Foliated):

وهي الصخور المتحولة الأكثر انتشاراً، وأكثر تنوعاً، وتظهر بنيات ورقية واضحة. تتحول في درجات التحول المنخفضة ، على سبيل المثال فلزات الغضار في صخور الشيل إلى فلز الميكا ، بينما تتحول هذه الفلزات نفسها إلى فلدسبار في درجات التحول الشديدة. كما تتعلق نوعية الفلز المتشكل(ميكا، أو فلدسبار) بالتركيب الكيميائي العام.

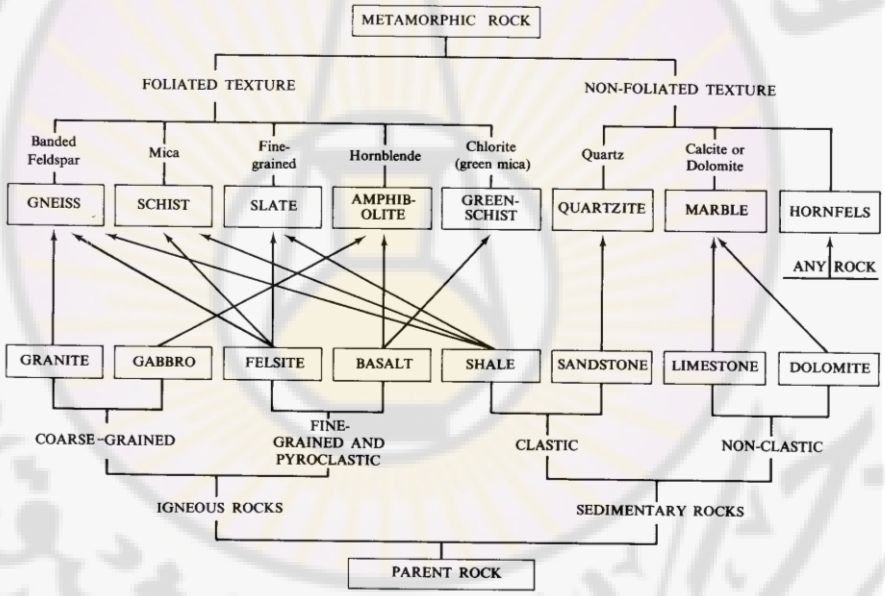
تميل الفلزات الورقية كالميكا لتتوجه بحيث تكون وريقاتها عامودية على اتجاه الضغط. يمكن أن يتشكل مظهر الأحزمة كما في الغنايس من تعاقب صفوف من فلزات مختلفة التركيب.

تظهر الأشكال التالية صوراً فوتوغرافية لبعض الصخور المتحولة المورقة، كما يبين الشكل الأخير أصل بعض أهم الصخور المتحولة.

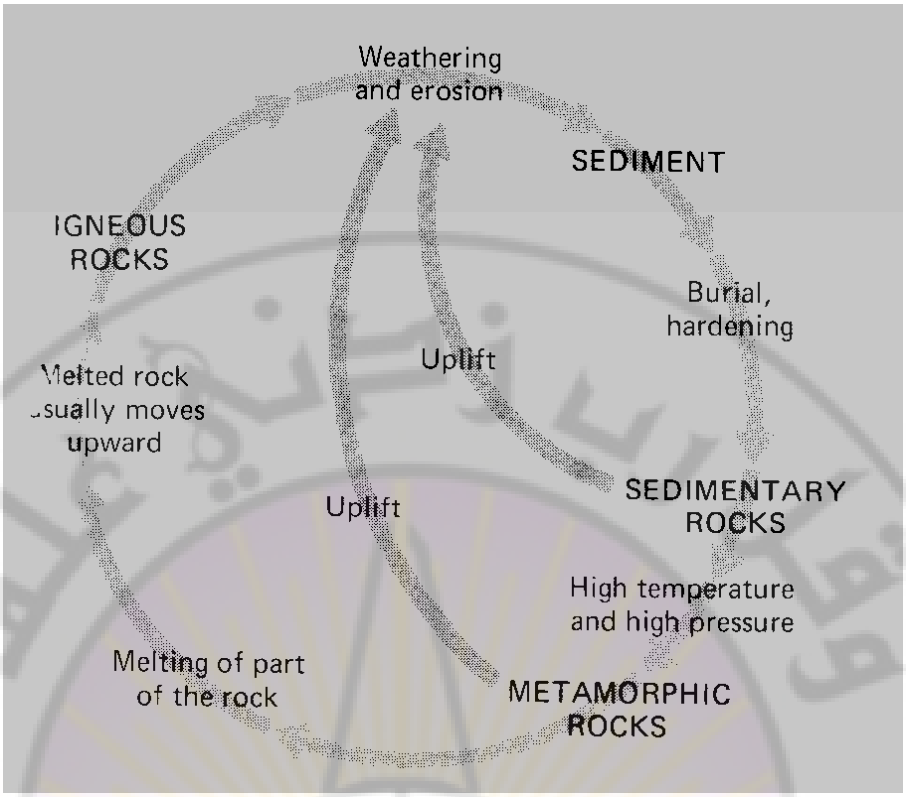
الشكل(6–2). صورة فوتوغرافية لصخور مورقة ومتطبقة من نوع الأردواز.



الشكل(6–2). صورة فوتوغرافية لصخر الغنايس، يظهر فيها تعاقب أحزمة من فلزات فاتحة، وأخرى قاتمة اللون.



الشكل(6–3). مخطط يوضح التركيب الفلزي المسيطر، وأصل بعض أهم الصخور المتحولة.



الشكل(**6–4**). مخطط يوضح دورة الصخور في الطبيعة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السابع

الزمن الجيولوجي

7-1- أهمية الزمن في علم الأرض:

تنبع أهمية الزمن في علم الأرض، من أهمية تحديد زمن بداية، ونهاية ظاهرة، أو عملية جيولوجية معينة، وعمر ما ينبثق عنها من نتائج، وهو ما يعد، بالإضافة إلى الأهمية العلمية النظرية، ذا أهمية عملية تطبيقية كبيرة، وخاصة بالنسبة للعمليات المتعلقة باستخراج الثروات الباطنية؛ ويعد تحديد عمر الأرض نفسها من العمليات شديدة التعقيد، والتي استمر الجدل فيها لفترة زمنية طويلة جداً.

7-2- لمحة تاريخية:

كانت المسائل المتعلقة بنشأة الأرض، وتطورها تعد حتى بدايات القرن الثامن عشر، من مواد علم اللاهوت، فقد رأى كبير الأساقفة جيمس أوشر(James Ussher) في العام 1650م، أن الأرض قد ولدت في العام 404 قبل الميلاد. وفي عام 1654م رأى نائب رئيس جامعة كامبريدج جون لايتفوت(John Lightfoot) أن الثالوث المقدس(Trinity) قد خلق السماء والأرض في نفس الفترة الزمنية، وذلك في الساعة التاسعة صباحاً في 26/ 10/ 4004 قبل الميلاد.

قام في العام 1825م الفلكي الإنكليزي الشهير إدموند هالي(Edmund Halley) بحساب عمر الأرض من خلال ملوحة المحيطات، وذلك اعتماداً على الفرضية القائلة أن ملوحة مياه المحيطات العالمية تأتي من الأملاح المنقولة إليها عن طريق الأنهار. فقد قام

هالي حسب رأيه بحساب ملوحة المحيطات بدقة عالية، وانتظر عشر سنوات ليقوم بتحديد هذه الملوحة من جديد، وبذلك قدر معدل الأملاح التي توردها إلى الأنهار سنوياً، وبحساب كمية الأملاح في المحيطات وتقسيمها على المعدل السنوي، توصل هالي إلى أن عمر الأرض يقدر بحوالي عشرة الآف سنة، وذلك باعتبار أن للأرض والمحيطات نفس العمر. لقد كان هذا التقدير قريباً من عمر خلق العالم الذي كان يعتقد فيه اللاهوت في ذلك الزمن، وهو 5- 7 الآف سنة).

قام جورج بيفون، المختص في العلوم الطبيعية، في القرن الثامن عشر أيضاً، بحساب عمر الأرض انطلاقاً من الفرضية القائلة بأن الأرض كانت في بداية تشكلها على شكل سائل ناري، وبحساب الزمن اللازم لتبردها إلى وضعها الحالي توصل بيفون إلى أن عمر الأرض هو 75ألف سنة على الأقل.

جاءت في نهايات القرن الثامن عشر أفكار العالم الأسكتلندي جيمس هيوتون(James Hutton)، لتشكل نقلة نوعية في علم الأرض، وذلك من خلال كتابه الشهير نظرية الأرض، الذي نشر في العام 1895م، حيث أكد هيوتون على أهمية العمليات الجيولوجية البطيئة جداً، ولكنها المستمرة في تشكل الأرض، ورأى أن العمليات الجيولوجية التي ما زالت مستمرة، هي التي شكلت الأرض، وأن تأثيرها سيبقى في المستقبل؛ ورأى هيوتون أنه لا يوجد أثر لنقطة بداية، ولا دليل على نهاية وجود الأرض.

أصبح المهتمون بعلم الأرض في النصف الأول من القرن التاسع عشر على قناعة بأن السجل الزمني الذي يمكن قراءته من الصخور، يشير إلى تاريخٍ طويلٍ جداً، من الفعل المستمر لنفس العمليات البطيئة التي يمكن أن نرى تعمل في الزمن الحالي، وقد رأوا أن هذا السجل المعقد، والذي تشكل ببطء يتطلب أزماناً طويلة جداً، بغض النظر عن تحديد رقمٍ دقيق.

في العام 1859م نشر تشارلز داروين كتاب أصل الأنواع، رأى فيه أن تطور الكائنات الحية يتطلب زمناً طويلاً من مقياس ملايين السنين، لكن داروين لم يكن قادراً على تحديد أرقاماً محددة، ومع ذلك فإن نظريته تعني أن عمر الأرض يقدر بملايين السنوات على الأقل.

جاء في أواسط القرن التاسع عشر الفيزيائي الأسكتلندي الشهير وليم تومسون، والذي عرف فيما بعد باللورد كيلفن(Lord Kelvin) بفكرة عدم محدودية بداية ونهاية كوكب الأرض، وقام بتدقيق حسابات بيفون، وتوصل في العام 1899م إلى أن عمر الأرض هو أكثر قليلاً من 20 مليون سنة. كانت حسابات تومسون واستنتاجاته تبدو في ذلك الزمن صعبة المعارضة، وقد أوقعت الجيولوجيين في صعوبات كبيرة، فحاول بعضهم من أجل عدم التناقض مع حسابات تومسون اختصار عمر الأرض إلى عدة عشرات ملايين السنين، وذلك انطلاقاً من أن العمليات الجيولوجية كانت تسير في الأزمان الغابرة بسرعة أكبر مما هي عليه اليوم، بينما استمر بعضهم الآخر في الأمل بأنه لا بد في النهاية من اكتشاف أي خطأ في حسابات اللورد كيلفن، وبالتالي لن يكون هناك تعارض في النتيجة بين المعطيات الجيولوجية، والقوانين الفيزيائية.

قام جون جولي(John Joly) في عام 1899م بتقدير عمر الأرض اعتماداً على نسبة الصوديوم التي تدخل المحيطات سنوياً، وقد توصل إلى أن عمر الأرض هو حوالي 90 مليون سنة، لكن جولي لم يأخذ بالحسبان دورة الصوديوم في الطبيعة، بحيث يصبح معدل وجوده في المحيطات ثابتاً. ثم قام جون جولي من جديد في مطلع القرن العشرين بتدقيق حسابات هالي، معتمداً على تقدير كمية أيونات الصوديوم، والكلور التي تحملها الأنهار سنوياً إلى المحيطات، وتوصل إلى أن عمر الأرض يتراوح بين 210 و 340 مليون سنة.

يعد الاعتماد على معدل الترسيب السنوي من الطرائق التي انتشرت في القرن التاسع عشر في تقدير عمر الأرض، إلا أن نتائج هذه الطرائق وغيرها كانت تتراوح ضمن مجالٍ واسع جداً، اعتباراً من 3 مليون سنة، لتصل إلى حوالي 1600000 سنة.

7-3- اكتشاف النشاط الإشعاعي وأثره في تحديد الزمن الجيولوجي:

في عام 1896م اكتشف الفيزيائي الفرنسي هنري بيكريل(Henri Becquerel)، أن عنصر اليورانيوم يبعث طاقة، تؤثر على الصور الفوتوغرافية، وقد سمى هذه العملية النشاط الإشعاعي. تم بعد ذلك اكتشاف أن اليورانيوم ليس هو العنصر الوحيد الذي يتميز بهذه الخاصية، وإنما أيضاً هناك عناصر أخرى كالثوريوم والبوتاسيوم والكربون، وأن هذا النشاط الاشعاعي يصدر حرارة، ويؤدي إلى تحول العنصر المشع إلى عنصر جديد، وبالتالي فقد تم اختراق حسابات تومسون، فالنشاط الاشعاعي الذي يقوم بعملية التسخين، يؤثر على فكرة التبريد المستمر للأرض والتي بنى عليها تومسون حساباته، وهكذا فقد انتهت فترة صعبة على الجيولوجيين المهتمين بعمر الأرض، أعطتهم درساً هاماً، يمكن التعبير عنه من خلال الرسالة التي بعث بها تشيمبيرلين إلى اللورد كيلفن: " إن سحر الحسابات والتحاليل الرياضية الدقيقة، وما تتضمنه من روح الوضوح، يجب أن لا تعمينا إلى ذلك الحد الذي لا نستطيع بعده رؤية العيوب في المقدمة، والتي تؤثر على العملية بمجملها ".

لقد أصبح بعد ذلك من البديهي أن للأرض تاريخاً طويلاً جداً، وإن عمرها هو في الحقيقة، أكبر بكثير من جميع التقديرات السابقة.

7-4- مفهوم الزمن المطلق ، والزمن النسبي:

يمكن لكثير من الأحداث، أو الظواهر الجيولوجية أن يحسب عمرها بعددٍ محددٍ من السنوات، إن هذا العمر المحدد ندعوه العمر المطلق، أما إذا كان عمر هذه الأحداث،

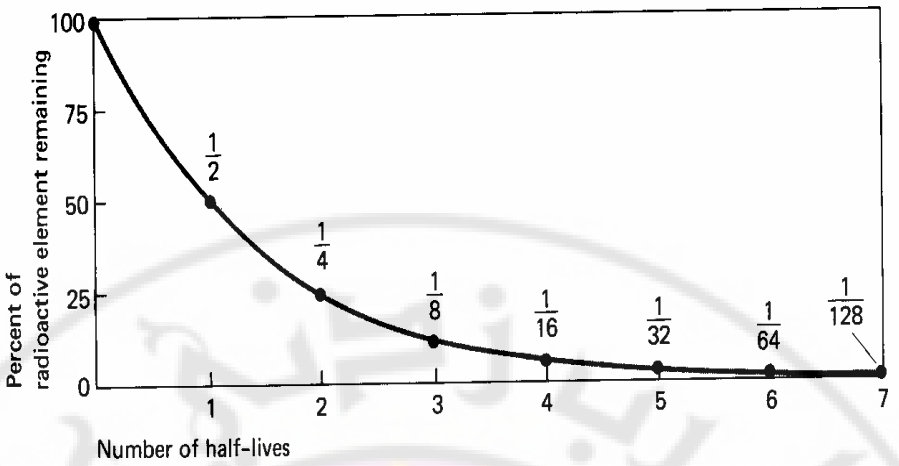
غير محدد بدقة، فإنه يتم اللجوء إلى إلى أحداث، أو ظواهر أخرى لمقارنتها معها إن كانت أحدث، أم أقدم، وهذا هو مفهوم العمر النسبي.

7-4-1- أهم الطرائق المستخدمة في تحديد العمر المطلق:

تعد الطرائق الاشعاعية هي الطرائق الأساسية التي تستخدم اليوم في تحديد العمر المطلق للصخور، وذلك على الرغم من وجود بعض الطرائق التي استخدمت، لهذا الغرض، أو التي يمكن أن تستخدم في بعض الحالات الخاصة، في غياب إمكانية استخدام الطرائق الإشعاعية. لكن جميع تلك الطرائق المعروفة إلى الآن هي تقريبية إلى حدٍ بعيد، وتعد أقل دقة من الطرائق الإشعاعية.

تنطلق فكرة تحديد العمر المطلق بالطرائق الإشعاعية من وجود بعض العناصر الطبيعية التي تتحلل ذاتياً إلى نظائر، وعناصر أكثر استقراراً، ومن أن سرعة هذا التحلل تعد ثابتة عبر الزمن، لذلك فإن لكل عنصر من هذه العناصر المشعة زمن انشطار نصفي يعبر عنه بالعمر النصفي، وهو يمثل زمن تحلل نصف ذرات العنصر الأم إلى عنصر آخر وليد، فإذا كان لدينا من عنصر مشع x 50 ذرة، وكان عمره النصفي يعادل 50000سنة، فإنه بعد انقضاء هذا الزمن سيبقى من العنصر x 25 ذرة(انظر الشكل7- 1).

يمثل الجدول (7-1) بعض أهم العناصر المشعة الأكثر استخداماً في تحديد العمر المطلق.



الشكل(7– 1). مخطط يوضح التفكك الاشعاعي، ونسبة ما يتبقى من العنصر المشع بعد انقضاء العمر النصفي.

الجدول(7– 1). العمر النصفي لأهم العناصر المشعة، المستخدمة في تحديد العمر المطلق.

العنصر الأصل	العمر النصفي	العنصر الوليد
الكربون 14	$5.73.10^3$	**النيتروجين 14**
البوتاسيوم 40	$1.30.10^9$	**الارغون40** (**12%**) + **الكالسيوم40** (**88%**)*
الروبديوم 87	47.10^9	**السترونتيوم 87**
اليورانيوم 235	713.10^6	**الرصاص 207**
اليورانيوم 238	$4.51.10^9$	**الرصاص 206**

*– يستخدم الآرغون فقط في تحديد العمر المطلق، وذلك لأن معظم العينات الصخرية يمكن أن تحتوي على كميات كبيرة من **الكالسيوم40** من مصادر أخرى.

7-4-1-1- طريقة الكربون14:

يتشكل الكربون 14 بشكل مستمر في الغلاف الجوي العلوي وذلك من خلال قذف النيتروجين الجوي بالأشعة الكونية. يتفاعل الكربون 14 المتشكل مع الأكسيجين ليشكل ثاني أكسيد الكربون، والذي يصبح بدوره جزءاً من الدورة الطبيعية لثاني أكسيد الكربون، ويخل قسم منه في كل أنواع الكائنات الحية. وعندما تموت هذه الكائنات فإنها تتوقف عن استيعاب أية كمية جديدة من الكربون بما فيها الكربون 14، وعندما يحدث هذا الأمر فإن كمية الكربون 14 تبدأ بالتناقص حيث تعود لتتحول إلى النيتروجين، وبالتالي فإن نسبة الكربون 14 المشع إلى الكربون 12(النظير الثابت والأكثر وفرة) ستبدأ بالتناقص، وبالتالي فإنه كلما كانت هذه النسبة في هيكل الكائن العضوي الميت أقل، كلما كان عمر هذا الكائن أكبر.

تستخدم طريقة الكربون 14 في تأريخ الأحداث التي لا يزيد عمرها غالباً عن 50.000 سنة، ويعود ذلك إلى العمر النصفي القليل للكربون 14(الجدول- 1).

7-4-1-2- طريقة اليورانيوم:

يعد اليورانيوم مثالاً على العناصر المشعة التي تتفكك من خلال سلسلة من العناصر الوليدة، التي تستمر بالتفكك حتى الوصول إلى الوليد الثابت.

يتميز اليورانيوم بوجود سلسلتين من التفكك، الأولى سلسلة اليورانيوم 238 التي تقود إلى تشكل الرصاص 206، والثانية، هي سلسلة اليورانيوم 235، التي تقود إلى تشكل العنصر الوليد الرصاص 207. فإذا بدأنا من اغ من اليورانيوم 235، فإنه سيبقى عند نهاية العمر النصفي نصف غرام منه، وبعد انقضاء العمر النصفي من جديد يبقى ربع غرام، وفي نفس الوقت تتزايد نسبة العنصر الوليد، وهو الرصاص 207، لذلك فإن نسبة العنصر الوليد إلى العنصر الأصلي ستتزايد مع الزمن. من الصعوبات التي تعترض هذه

الطريقة، هي معرفة فيما إذا كانت هناك أية نسبة من الرصاص الذي يمكن أن ينتج عن تفكك اليورانيوم موجودة أصلاً في الصخر قبل بداية عملية التفكك، وكذلك فيما إذا كانت العمليات الجيولوجية التي حدثت على مر الزمن أدت إلى ضياع أي جزء من اليورانيوم الأصلي في الصخر، أو أي جزء من العنصر الوليد، ومن الصعوبات أيضاً ندرة وجود العينات الصالحة للتحليل.

على الرغم من الصعوبات التي تعترض تطبيق هذه الطريقة، فإنها تعد طريقةً ذات أهمية كبيرة في التأريخ الجيولوجي، وهذا يعود من جهة إلى العمر النصفي الكبير لليورانيوم(الجدول7- 1)، ومن جهة أخرى(وهذا شديد الأهمية) إلى وجود سلسلتي تفكك، تسمح كل منهما بتدقيق نتائج الأخرى، فإذا تطابقت النتائج فإننا نكون أمام تأريخ صحيح للحدث الجيولوجي، أو الصخر الذي نقوم بتحديد عمره.

7-4-1-3- طريقتي البوتاسيوم والروبيديوم:

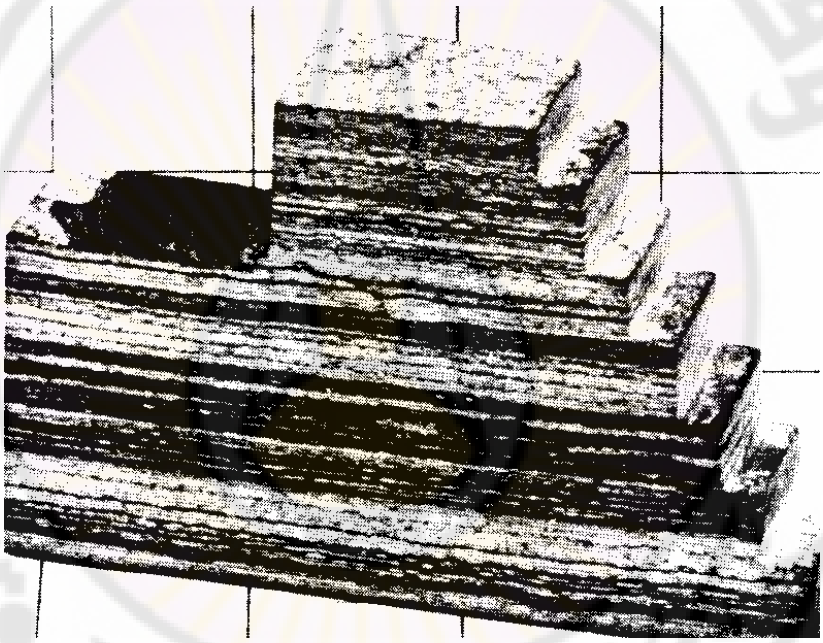
يستخدم كل من البوتاسيوم 40، والروبيديوم 87 بشكلٍ واسعٍ في التأريخ الجيولوجي، حيث يتميز الأول بعمر نصفي يقدر بحوالي $1.30.10^9$، بينما يقدر العمر النصفي للثاني بحوالي 47.10^9، وبالتالي يمكن استخدامهما في تقدير الأعمار الجيولوجية القديمة جداً، كما أنه يمكن استخدامهما في التعرف من خلال تقدير نسبة العناصر الوليدة الناتجة عنهما(الآرغون 40، والستونثيوم 87) إليهما في مجمل الصخر، وليس فقط في فلز محدد من مكونات هذا الصخر.

7-4-1-4- طريقة التعاقب الطبقي:

تظهر بعض الصخور الرسوبية تعاقباً لطبيقات رسوبية رقية(رقائق)، توجد بعض الدلائل في أمكنة معينة أن كل رقية من هذه الرقائق تمثل سنة واحدة من الترسيب،

ويمكن أن يظهر بعضها تأثير تعاقب فصول السنة على صفات الطبقات المترسبة، وبالتالي يمكن من خلال عد هذه الطبيقات معرفة عدد السنوات التي احتاجتها ليتكون مجموعها.

تعد رسوبيات الشيل في الوادي الأخضر(Green River)، من الأمثلة الجيدة على استخدام التعاقب الطبقي في تقدير الزمن الذي اسغرقه تشكل الصخور الرسوبية في ذلك المكان(الشكل7-2)، حيث وسطي سماكة كل رقيقة يبلغ 0.007 إنش، والسماكة الكلية للطبقات حوالي 2600 قدم، وبالتالي فقد احتاج تشكل مجموع هذه الرقائق حوالي 6.5 مليون سنة.



الشكل(7– 2). صورة فوتوغرافية لعينة من صخور الشيل في الوادي الأخضر يظهر فيها تتالي الطبيقات الرقيقة، التي تساعد في تقدير الفترة الزمنية التي احتاجتها هذه الصخور لتتشكل.

من عيوب هذه الطريقة أنه يمكن تطبيقها فقط على أنواع محددة من الصخور الرسوبية وفي أمكنة محددة، كما أنها تشير فقط إلى الزمن الذي استغرقه تشكل هذه الصخور دون أن تدل على بداية، ونهاية هذا الزمن.

7-4-2- العمر النسبي:

يصعب في كثير من الأحيان تحديد العمر المطلق لكثير من الظواهر الجيولوجية، فيتم عندها اللجوء إلى طرائق تحديد العمر النسبي، والتي في الحقيقة تم استخدامها منذ زمن بعيد، قبل التعرف على طرائق تحديد العمر المطلق.

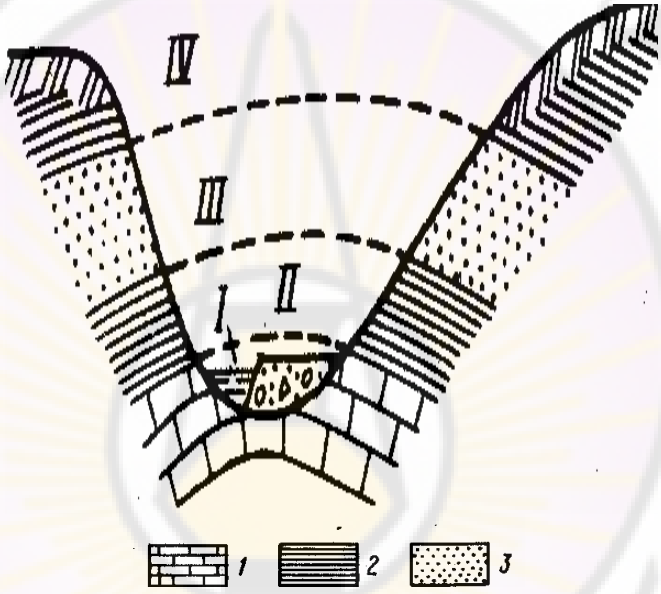
تعمل طرائق تحديد العمر النسبي على مبدأ المقارنة لتحديد الصخور أو الطبقات الصخرية الأقدم، والأحدث، وهي لا تسمح بوضع ظاهرة جيولوجية معينة في وحدة زمنية مطلقة، ولكنها تستطيع أن تحدد بدقة عالية العمر النسبي للصخور المتوضعة مع بعضها.

تعد كل من الطريقة الستراتيغرافية، والبتروغرافية، والباليونتولوجية، من أهم طرائق تحديد العمر النسبي.

7-4-2-1- الطريقةالطبقية(الستراتيغرافية):

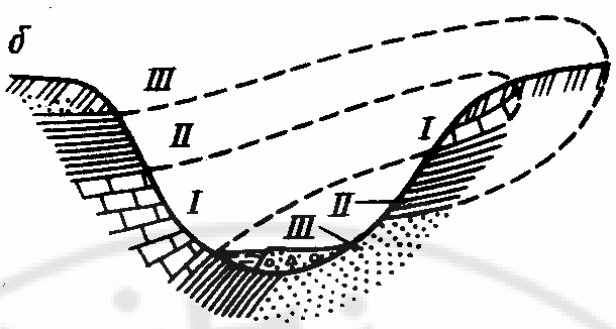
تعتمد هذه الطريقة على العلاقة بين مواقع الطبقات، وتنطلق من مبدأ ما يسمى بقانون الموقع الأميز(Law of superposition)، فعندما تتوضع الرسوبيات في أحواض الترسيب كالمحيطات، والبحيرات، فإن الرسوبيات المتوضعة أولاً ستكون دائماً فوق القاع مباشرةً، وستتوضع فوقها الرسوبيات الأحدث، فالأحدث، وبالتالي فإن الطبقات الأقل عمراً ستكون في أعلى التعاقب الطبقي، بينما يزداد عمر الطبقات بالاتجاه نحو الأسفل، يمكن لهذا النوع من التعاقب أن نراه في كثير من الأحيان في

الطبقات الصخرية المتكشفة على جوانب الأودية(الشكل 7- 3). لكن في كثير من الأحيان لا يكون توضع الطبقات المتكشفة في الطبيعة بتلك البساطة، كما هو الحال في التتابع النظامي للطبقات الأفقية، أو القريبة من الوضعية الأفقية، ففي كثير من الحالات تؤدي الحركات التكتونية إلى تجعد الطبقات، أو إلى تشكل الفوالق، التي تؤدي إلى تراكب الطبقات الأقدم فوق الطبقات الأحدث(الشكل 7-4)، وفي مثل هذه الحالات لابد في البداية من دراسة وجود الظاهرة الجيولوجية نفسها (كالفالق على سبيل المثال، ثم العمل على ربط الطبقات ومضاهاتها لتحديد الأقدم والأحدث منها.

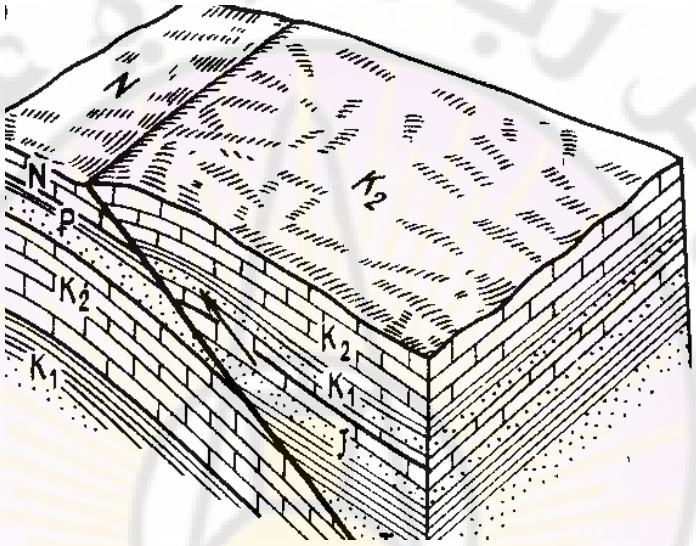


الشكل(7– 3). مثال على استخدام الطريقة الستراتغرافية في تحديد العمر النسبي للطبقات الصخرية، حيث يتناقص عمر الطبقات الصخرية، باتجاه أعلى جانبي الوادي، الذي تتكشف فيه(من I نحو IV).

1= صخور كلسية. **2=** صخور طينية. **3=** صخور رملية.



A



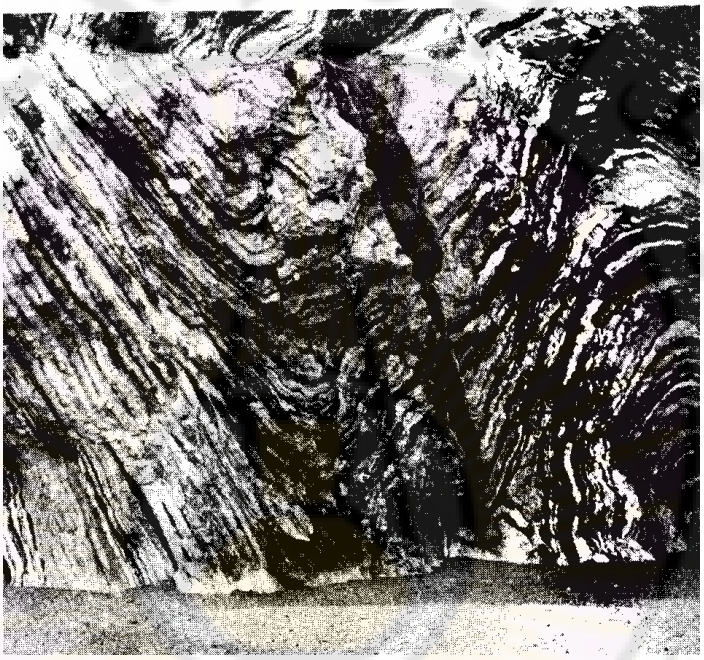
B

الشكل(7– 4). شكل يوضح كيف يمكن للتجعد الطبقي(A)، أو الفالق(B)، أن يؤدي إلى تراكب الطبقات الأقدم فوق الطبقات الأحدث.

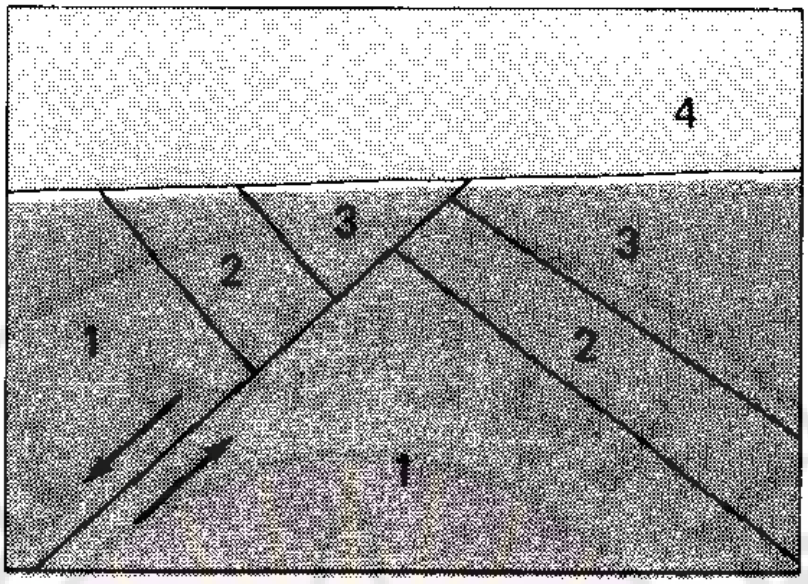
7-4-2-2– التقاطع والصخور المقتحمة:

عند مقارنة الأعمار فإن أية صخور مقتحمة لطبقات صخرية أخرى، كالاندساسات النارية، والجدر القاطعة، تعد أحدث من أحدث طبقة صخرية تمكنت من اقتحامها (**الشكل7– 5**). يمكن للصخور المقتحمة أحياناً أن تؤدي إلى فساد أو تحول في

الصخور المحيطة بمنطقة الاقتحام، وهو ما يساعد أيضاً في تحديد العمر النسبي. كما أن أي فالق يعد أحدث عمراً من جميع الصخور التي تمكن من قطعها، وأقدم من جميع الصخور التي توضعت فوقه(**الشكل7– 6**)، وفي حال وجود عدم توافق زاوي، أو عدم توافق طبقي، فإن الصخور الواقعة فوق سطح عدم التوافق، هي أحدث من الصخور الواقعة تحته.



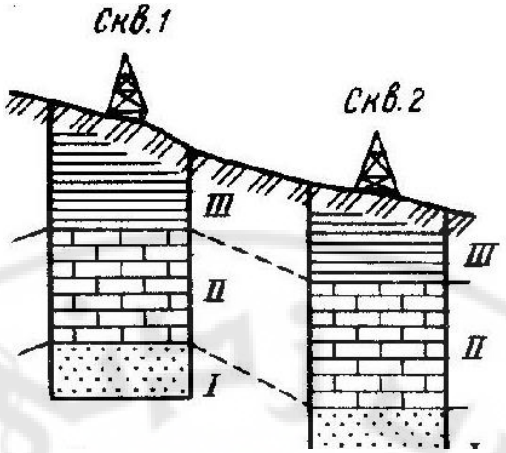
الشكل(7– 5). صورة فوتوغرافية لجدار ناري(Dyke)، يعد أقدم من جميع الصخور التي اخترقها.



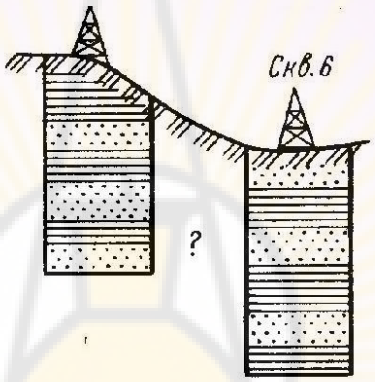
الشكل(7– 6). يوضح وجود فالق، هو أحدث عمراً من الطبقات الصخرية التي اخترقها(1، 2، 3)، ولكنه أقدم من الطبقة الصخرية التي لم يخترقها(4).

7–4–2–3– الطريقة البتروغرافية:

تعتمد الطريقة البتروغرافية على دراسة ومقارنة تركيب الصخور في الآبار المتجاورة، فإذا كان التتابع الطبقي في بئرين متجاورين يتمثل بطبقة رملية، تعلوها طبقة كلسية، ثم طبقة طينية(الشكل7– 7)، فإنه من الواضح أن هذه الطبقات تشكلت ضمن نفس الفترة الزمنية، وأن للطبقات المتماثلة أعمار متماثلة أيضاً. تتم مقارنة وربط الطبقات عادةً من خلال خطوط المضاهاة، وهو ما يسمح بتتبع تغيرات سماكات الطبقات المدروسة. إلا أنه يصبح من الصعب استخدام الطريقة البتروغرافية في حالة الطبقات المتغيرة جانبياً بشكلٍ سريع، أو التي يتكرر فيها التركيب الصخري بنوع من النظامية(الشكل7–8).



الشكل(7– 7). استخدام الطريقة البتروغرافية في مضاهاة الطبقات في بئرين متجاورين، وتحديد الأعمار النسبية لها.



الشكل(7– 8). مخطط يبين كيف يمكن لتكرار الطبقات في الآبار المتجاورة، ذات نفس التركيب الصخري، أن يصعب عملية ربطها.

7–4–2–4– الطريقة الباليونتولوجية:

تعتمد الطريقة الباليونتولوجية على دراسة هياكل العضويات الميتة(المستحاثات)، وتعد هذه الطريقة إحدى أهم طرائق تحديد العمر النسبي، وأكثرها انتشاراً.

تستند الطريقة الباليونتولوجية في تحديد الأعمار النسبية على مبدأ تطور العالم العضوي عبر الزمن الجيولوجي، فالكائنات البدائية الأولية ازدات أجسامها مع الزمن تنظيماً وتعقيداً، مما أدى إلى ظهور مجموعات جديدة من الكائنات الحية، وتناقص أو انقراض المجموعات القديمة، لذلك فإن كل طبقة صخرية رسوبية ستحتوي على بقايا الكائنات التي كانت تعيش في زمن ترسبها، وبالتالي فإن طبقة أو تشكيلة صخرية سيتميز مكوناتها من البقايا العضوية عن مكونات التشكيلات الصخرية الأقدم، والأحدث منها عمراً.

نجد من خلال ما تقدم أن الطريقة الباليونتولوجية تعتمد على مبدأين أساسيين، هما:

1- مبدأ التطور: وهو يؤكد على أن جميع أنواع الكائنات الحية تتطور بشكل مستمر غير عكوس، وبالتالي لا يمكن لهذه الكائنات أن تعيد نفسها أثناء تاريخ تطورها، حتى ولو تشابهت الظروف التي عاشت بها خلال الزمن الماضي.

2- مبدأ الهوية البايونتولوجية: وهو ينص على أنه إذا تميزت مجموعة من الطبقات، أو التشكيلات الصخرية، بنفس المكونات من المستحاثات المرشدة، فإن لهذه الطبقات، أو التشكيلات نفس العمر الزمني. حيث يشير مصطلح المستحاثات إلى بقايا، أو آثار الكائنات الحيوانية، أو النباتية، المحفوظة في القشرة الأرضية، بينما يشير مصطلح المستحاثات الدالة(أو المرشدة) إلى بقايا، أو آثار الكائنات الحية، التي انتشرت في فترة زمنية محددة، مما يجعل وجودها في طبقة صخرية ما، دليلاً على أن عمر تلك الطبقة يعود إلى ذلك الزمن الذي انتشرت فيه تلك الكائنات؛ وتتميز المستحاثات الدالة، بالصفات التالية:

1- انتشار رأسي محدود في المقاطع الجيولوجية، بحيث تميز فترات زمنية محددة.

2- انتشار أفقي واسع.

3- وفرة أنواعها المحفوظة في الصخور الرسوبية، مما يسهل عملية تمييزها، ووصفها، وتسميتها.

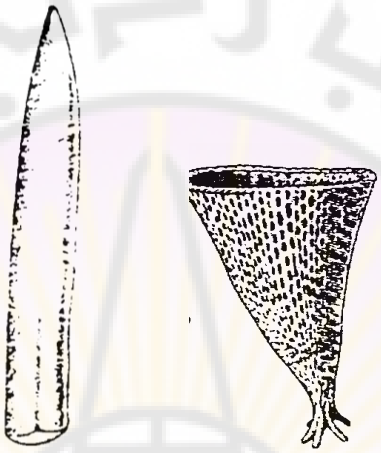
يظهر الشكل(7- 9) بعض أجناس المستحاثات، وفتراتها الزمنية المميزة.

يمكن للمستحاثات أن تكون جهرية، بحيث يمكن رؤيتها، وتمييزها بالعين المجردة، ويمكن أن تكون دقيقة بحيث لا يمكن تمييزها إلا عن طريق المجهر، فيطلق عليها تسمية المستحاثات المجهرية.

أخيراً فإن أقدم دليل مستحاثي، على وجود أثر للحياة البدائية على الأرض، يعود إلى حوالي 3.5 مليار سنة مضت، وذلك في مجموعة واراوونا الصخرية(Warrawoona Group) في شمالي غرب استراليا.

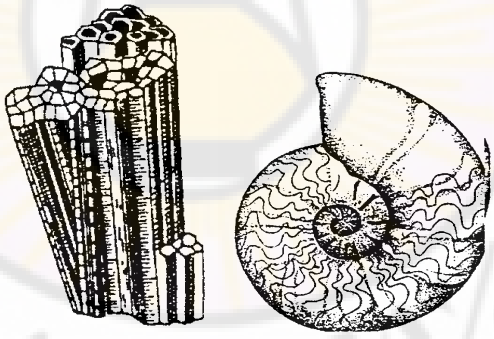
هانتيكينينا(Hantikenina)　　نموليت(Nummulites)

(إيوسين)　　(باليوسين- أوليغوسين)



فينتيكوليتس(Venticulitues)　　بيلمينيت(Belmnites)

(الكريتاسي)　　(جوراسي)



أمونيت(Ammonite)　　فافوسيتس(Favosites)

(ترياسي)　　(سيلوري- برمي)

الشكل(7– 9). بعض أجناس المستحاثات وفتراتها الزمنية المميزة.

7-5- العمود الجيولوجي:

العمود الجيولوجي هو عبارة عن ترتيب تأريخي للوحدات الصخرية على شكل عمود، بحيث تكون الوحدات الصخرية الأقدم في قاعدة العمود، وتنتظم فوقها الوحدات الأحدث، فالأحدث، وقد وضع للكرة الأرضية ككل عمود جيولوجي موحد، ويترافق تمثيل العمود الجيولوجي عادةً بسلم زمني يمثل بملايين السنين، بداية ونهاية كل وحدة زمنية.

يميز في التعبير الجيولوجي بين الوحدات الزمنية التالية، اعتباراً من الأكبر، نحو الأصغر: دهر(Eon)، حقب(Era)، دور(Period)، عصر(Epoch)، عمر(Age)، طور(Phase).

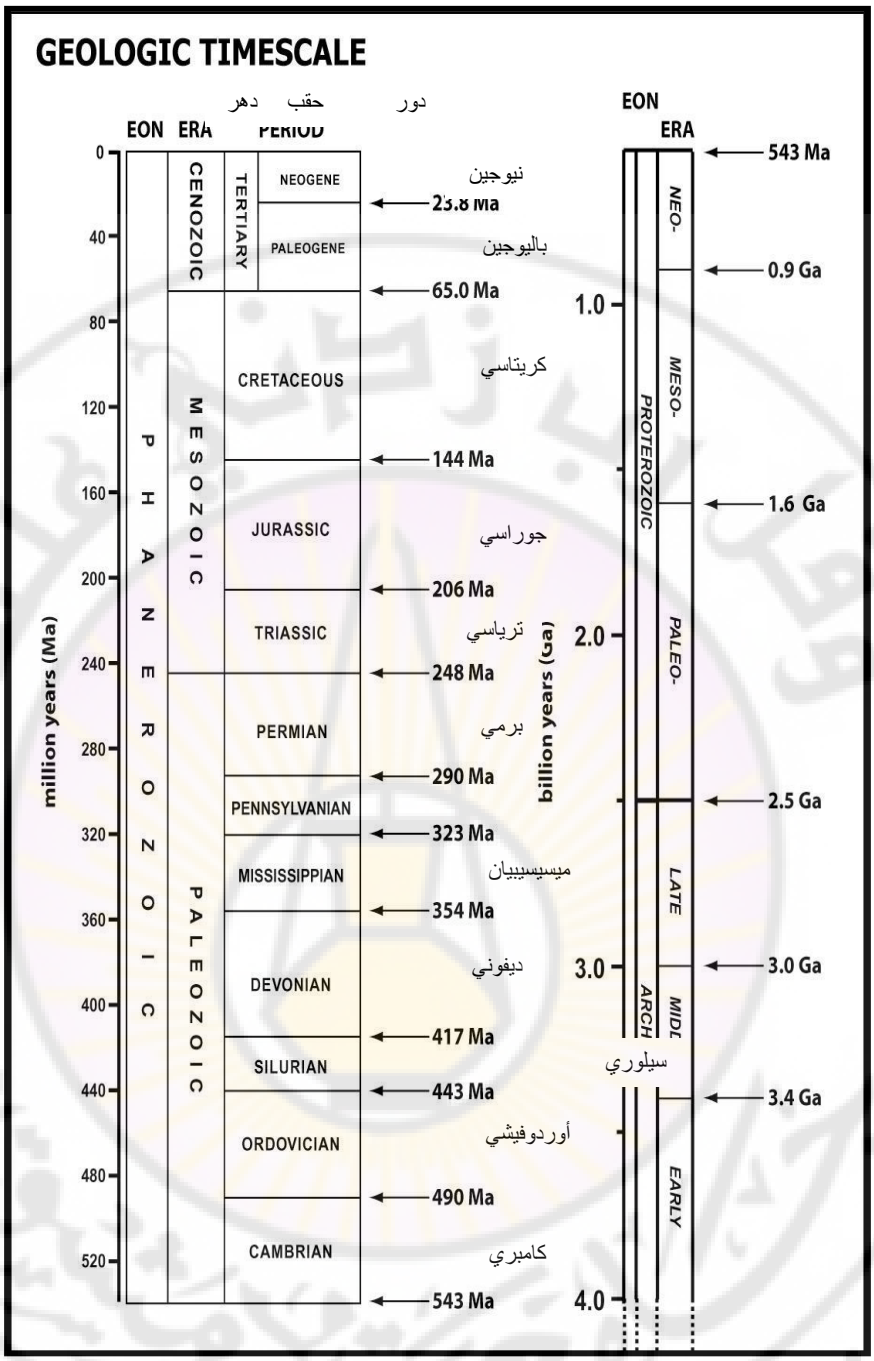
لقد ميز في تاريخ الأرض بين دهرين، هما:

- دهر الكريبتوزوي(Cryptozoic)، أو دهر الحياة الخفية، وهو يتكون من حقبين، هما حقب الآركي(Archean)، ويعني بدء الحياة، وحقب البروتيروزوي(Proterozoic)، ويعني طلائع الحياة.

يشكل دهر الكريبتوزوي معظم تاريخ الأرض(حوالي 4 مليار سنة)، وتتكون صخوره بشكلٍ رئيس من صخور نارية، ومتحولة، وبالتالي فإنه كان من الصعب استخدام المستحاثات في تأريخه، حتى عندما توجد صخور رسوبية فإنها خالية، أو تكاد تكون خالية من الشواهد المستحاثية. لذلك فقد قسم هذا الدهر بناءً على الطرائق الإشعاعية.

- دهر الفانيروزوي(Phanerozoic)، أو دهر الحياة المعروفة، وهو يتكون من ثلاثة أحقاب، هي: الباليوزوي(Paleozoic)، ويعني حقب الحياة القديمة، والميزوزوي(Mesozoic)، ويعني حقب الحياة الوسطى، والكينوزوي، أو السينوزوي(Cenozoic)، ويعني حقب الحياة الحديثة.

تميز دهر الفانيروزوي بازدهار الحياة الحيوانية، والنباتية، وتطورها، وتخلله فترات ازدهار أنواع محددة من الكائنات، أو انقراضها، مما سهل في عملية تأريخ هذا الدهر، والتمييز فيه بين وحدات زمنية أصغر، اعتماداً على أجناس، أو أنواع المستحاثات الدالة(جدولين السلم الجيولوجي + اهم أنواع الحياة.).



الشكل(7– 10).مقياس الزمن الجيولوجي.

الجدول(7-2). أهم مميزات الحياة في التاريخ الجيولوجي.

الدهر	الحقب	الدور	أهم مميزات الحياة
الفانيروزوي	الكينوزوي	الرباعي	ظهور الإنسان، انتشار الثديات، والطيور، والأسماك.
		النيوجين	ظهور الثديات، وفرة النباتات العشبية..
		الباليوجين	ظهور الخيول، انتشار الثديات الأولية، والنموليت.
	الميزوزوي	الكريتاسي	انقراض الديناصورات، ازدهار الزواحف، ظهور النباتات مغلفات البذور
		الجوراسي	ظهور الطيور، ازدهار الزواحف.
		الترياسي	ظهور الديناصورات الأولى، والبلمنيات(من رأسيات الأرجل)،والثديات الأولى، ازدهار الأسماك العظمية، تطور الصنوبريات، والمرجانيات السداسية.
	الباليوزوي	البرمي	ظهور الصنوبريات، وتطورها، تطور الزواحف، وعضديات الأرجل.
		الكربوني	ظهور الحشرات، ازدهار وانتشار نباتات المستنقعات، والمرجانيات الرباعية، والضفادع البرمائية، وعضديات الأرجل، والمنخربات، وشوكيات الجلد.
		الديفوني	ظهور السراخس الأولى، ازدهار الأسماك المدرعة، وعضديات الأرجل، والمرجانيات.
		السيلوري	تطور خفيات الإلقاح الوعائية، التي استوطنت اليابسة لأول مرة، ظهور أنواع جديدة من شوكيات الجلد، وثلاثيات الفصوص..
		الأوردوفيشي	ظهور أول الفقاريات(أسماك)، وظهور مجموعات جديدة من ثلاثيات الفصوص، وعضديات الأرجل، والطحالب،والأسماك المدرعة، والغرابتوليتات
		الكامبري	ظهور ثلاثيات الفصوص، وبعض الاسفنجيات، والنباتات خفيات الإلقاح، تطور الاشنيات، والجراثيم.
الكريبتوزوي	البروتيروزوي		وجود اشنيات أولية، وجراثيم، وبقايا عضويات لافقارية سيئة الحفظ.
	الأركي		آثار لأشكال عضوية أولية، وحيدة الخلية.

الفصل الثامن

تشوه القشرة الأرضية، وتشكل الطيات والفوالق

8-1- مقدمة:

تتوضع الرسوبيات عادةً في أوساط الترسيب على شكل طبقات أفقية مغمورة بالمياه، ويؤدي الطمر واستمرار التعمق وما يرافقهما من تغيرات إلى تحويل هذه الرسوبيات إلى صخور رسوبية، تأخذ شكا التوضع الأولي، لكن هذه الطبقات غالباً ما تنهض فوق مستوي البحر كنتيجة للحركات التكوتونية، التي لا تهدأ والتي تغير دائماً من معالم سطح الأرض، مما قد يؤدي إلى تعرضها للتشويه إلذي يمكن أن ينتج عنه تشكل الطيات، أو الفوالق، أو كلاهما معاً.

عندما تتعرض الصخور لتأثير قوى معينة جانبية، أو رأسية، فإنها يمكن أن تتصدع، أو يتشوه شكلها، تعد الفوالق والطيات بمثابة الشواهد على هذين النوعين من التغيرات التي تعبر عن استجابة الصخور لهذه القوى، وتتعلق نوعية هذه الاستجابة التي تبديها الصخور(فوالق، أم طيات) بمواصفات الصخور نفسها من جهة، حيث تميل الصخور الطرية، واللدنة لتتشوه على شكل ثنياتٍ وطيات، بينما تميل الصخور الهشة، والصلبة، للتتكسر وتتصدع لتشكل الفوالق، و وبالظروف الخارجية المسيطرة، من جهة أخرى، وذلك كقيم الحرارة والضغط ، والتي تتعلق بدورها بعمق وجود هذه الصخور، حيث تميل الصخور في الأعماق لتتشوه على شكل ثنيات وطيات، بينما تميل بالقرب من السطح للتصدع وتشكيل الفوالق.

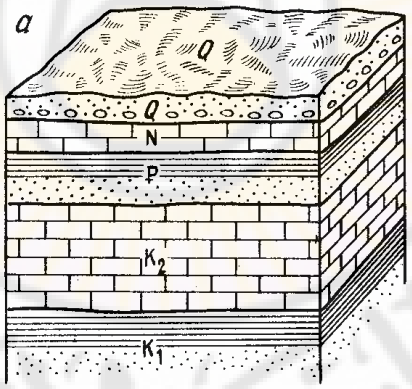
تؤدي الاجهادات الجانبية(أو المماسية)، إلى انثناء الطبقات الصخرية لتشكل سلسلة من الطيات المحدبة والمقعرة، وهي تؤدي إلى تقلص الأبعاد الأفقية للطبقات الصخرة، وإلى زيادة ارتفاعها.

غالباً ما تؤدي الاجهادات الرأسية إلى تشكل طيات منعزلة مفردة، تترافق في كثيرٍ الأحيان مع تشكل الفوالق.

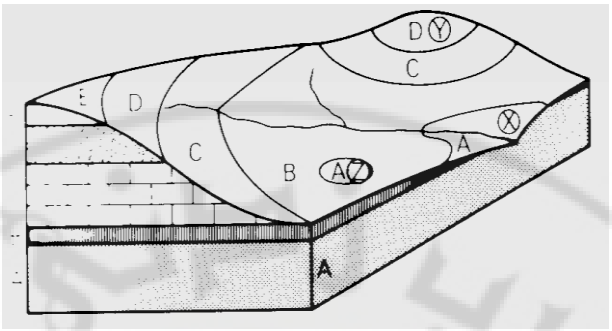
8-2- الطبقات الرسوبية:

تعرف الطبقة على أنها جسم جيولوجي مكون من صخور رسوبية متجانسة، تميزها عن الطبقات المجاورة لها، محددة بسطحين علوي وسفلي متوازيين، يدعى السطح العلوي سقف أو سطح الطبقة، ويدعى السطح السفلي قاعدتها أو أرضيتها، وتدعى السطوح الفاصلة بين الطبقات سطوح التطبق.

يمكن للطبقات، المتشكلة في قيعان الأحواض الرسوبية، أن تنهض في بعض الأحيان دون أن يحدث لها ميلان بالنسبة للأفق(الشكل8-1)، وفي هذه الحالة ستتكشف أحدث الطبقات على سطح الأرض، بينما لا تتكشف الطبقات الأقدم إلا في أماكن معينة، كجوانب الأنهار، والأودية، والسفوح الجبلية(الشكل8-2).



الشكل(8-1). توضع الطبقات الرسوبية بشكل أفقي، حيث تكون الطبقات الأحدث عمراً في الأعلى.



الشكل(8-2). تكشف طبقات رسوبية على جانب نهر.

يدعى جزء الطبقة الظاهر على سطح الأرض(على الرغم من أنه يمكن أن يغطى في بعض الأحيان بالتربة، أو بالغطاء النباتي) بتكشف الطبقة، وبما أن الطبقة أفقية، فإنه يمكن لهذا التكشف أن يأخذ طرقاً ملتوية جداً،فهو سيتبع تعرجات النهر الذي يتكشف فيه بشكل كامل، أو قد يشكل خطاً مغلقاً حول الهضاب المفردة والمعزولة.

يمكن للحركات التكتونية أن تؤدي إلى ميلان الطبقات بدرجات مختلفة، ليتشكل ما يسمى بالطبقات المائلة.

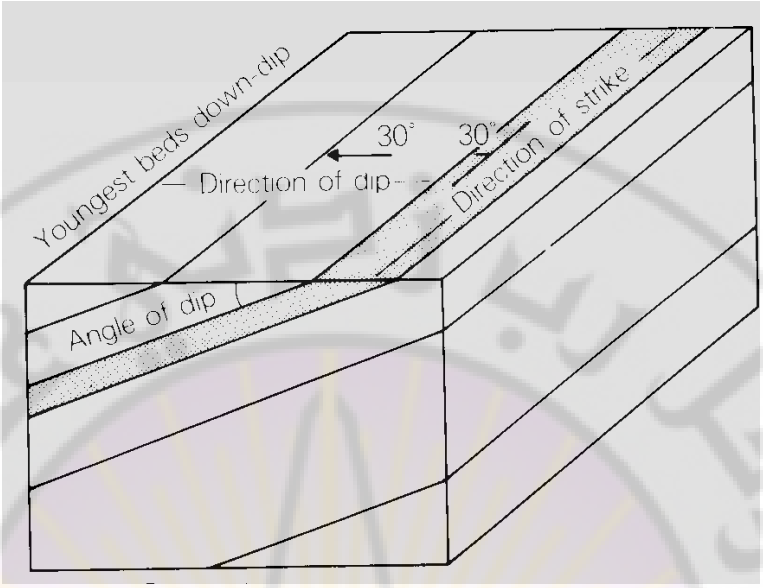
8-2-1- عناصر الطبقة:

يميز في الطبقة بين العناصر التالية(الشكل(8-3):

1- خط الامتداد،أو الاتجاه(Strike): وهو الخط الناتج عن تقاطع سطح الطبقة مع مستوي أفقي.

2- خط الميل(Dip): وهو الخط المتوضع على سطح الطبقة، والعمودي على خط الامتداد، وهو يدل على اتجاه ميل الطبقة.

3- زاوية الميل: وهي الزاوية بين سطح الطبقة والمستوي الأفقي، أو هي الزاوية بين خط الميل ومسقطه على المستوي الأفقي.



الشكل(8-3). مخطط مجسم لطبقات مائلة يظهر عناصر الطبقة.

8-2-2- أسباب التشوه:

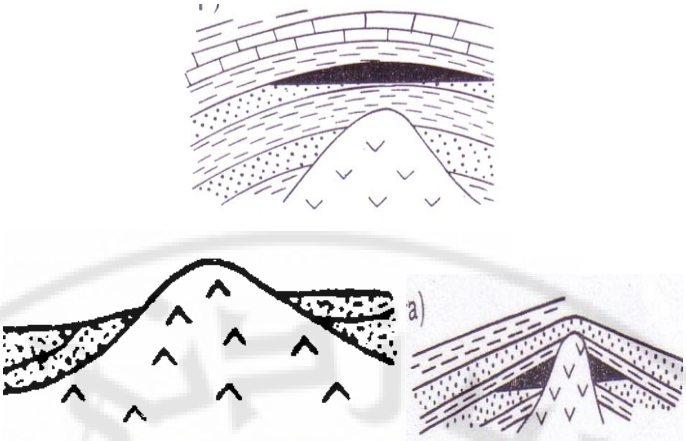
يمكن لعمليات طبيعية متنوعة أن تشارك في تشكيل الظروف المناسبة للإجهاد التفاضلي ، الذي يمكن أن يؤدي إلى تشوه دائم في الطبقات الصخرية، وذلك إذا ما فاقت قوى الإجهاد المطبقة قدرة الصخور على المقاومة. نبين فيما يلي أهم مصادر الإجهاد التي تؤدي إلى تشوه الصخور، وفقاً لتناقص أهميتها:

1- الإجهاد التكتوني(Tectonic stress): تعد العمليات التكتونية التي ترافق تحرك الصفائح التكتونية، التي تشكل الغلاف الخارجي للأرض، أهم مصادر الضغط التي تؤدي إلى تشوه القشرة الأرضية، حيث تتحرك الصفائح بالنسبة لبعضها البعض، وتتشكل أعظم الاجهادات على المناطق الحدودية بينها.

تؤدي هذه الإجهادات إلى تشكل الأخاديد، والسلاسل الجبلية، التي تترافق مع تشكل طياتٍ، وفوالق، وقد يرافقها أحياناً نشاط مغماتي. إن الإجهادات الرئيسة التي تسببها هذه الحركات هي الضغط، والشد، والقص.

2- الإجهاد الجذبي(Gravitational stress): يمكن للرسوبيات المتراكمة على المنحدرات أن تكون غير ثابتة من ناحية التوازن الجذبي، فيمكن لقاع البحر أن يكون منحدر تدريجياً، أو أن يختل الاتزان بفعل هزة أرضية ، مما قد يؤدي إلى انزلاق كامل لكتلة هائلة من الصخور، إن هذا الانزلاق يمكن أن يترافق مع تشكل فوالق وطيات.

يمكن من جهةٍ أخرى، لحركة المواد نحو الأعلى أن تحدث بسبب فرق الكثافة، فيمكن للصخور الملحية على سبيل المثال أن تطمر بصخور أكثر كثافة منها، مما يؤدي إلى ارتفاع الأجسام الملحية اللدنة وهروبها من الأماكن، التي تعاني فيها من ضغوط مرتفعة، بسبب ثقل الرسوبيات فوقها، نحو أماكن الضغط الثقلي المنخفض، مسببة تقبب الطبقات الأعلى، وأحياناً ثقب هذه الطبقات وظهور الكتل الملحية على السطح. يمكن أيضاً للأجسام النارية المتوضعة في القشرة الأرضية إن تؤدي إلى تقبب، وتصدع الصخور، فدرجات الحرارة العالية التي ترافق النشاط المغماتي ، وفرق درجات انصهار الصخور ، يجعل المواد المنصهرة أقل كثافة وبالتالي أكثر قدرة على الطفو من الصخور المغطية، وتقوم الماغما أثناء صعودها بتخريب، وتشويه الصخور الأقدم التي تخترقها.



الشكل(8–4). بعض أشكال التقببات الناجمة عن الكتل الملحية.

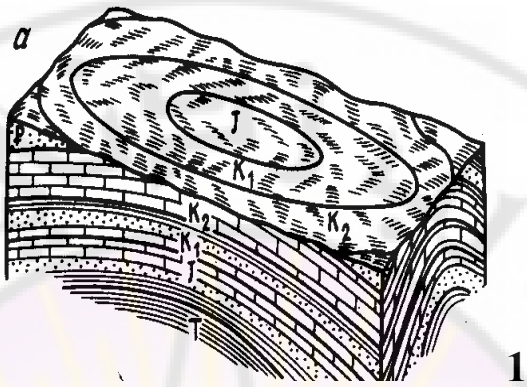
3- إجهاد المد(Tidal stress): ربما تكون حركات المد والجزر لمياه المحيطات والبحار معروفة بالنسبة لنا جميعاً، ولكن ربما الكثير لا يعلم بوجود المد الأرضي الذي تسببه الأجرام الفضائية الأخرى، وبشكل خاص القمر، وبما أن المواد الأرضية الصلبة أكثر مقاومة لتغيير شكلها من المياه، فإن ارتفاع المد الأرضي أقل بكثير من مد مياه المحيطات، ولكن مع هذا فإن المد الأرضي مع هذا موجود ، وهو ما أكدت عليه القياسات بالأجهزة الحساسة التي بينت وجود تمدد وتقلص مستمرين في سطح اليابسة. إن هذا التمدد والتقلص المستمرين يومياً يمكن أن يؤديا إلى تشقق الصخور.

8–3– الطيات:

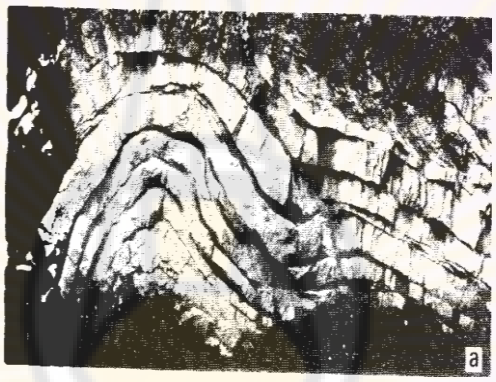
8–3–1– تعريف الطيات، وأنواعها:

تمثل الطيات انحناءات في الطبقات الرسوبية المتشكلة من قبل، بمقاييس وأشكال متنوعة، وهي تعد أحد أهم أشكال التخلعات التكتونية، وتنتج غالباً عن الضغوط الجانبية متعاكسة الاتجاهات، تقسم الطيات إلى نوعين رئيسين، هما:

1- الطيات الانتكلينالية(أو المحدبات): وهي عبارة عن ثنيات محدبة، تنغمس فيها الطبقات باتجاهين متعاكسين متباعدين، وتكون الطبقات الأقدم في الجزء المركزي من المحدب، بينما تتناقص أعمار الطبقات باتجاه الأطراف(الشكل8- 5).



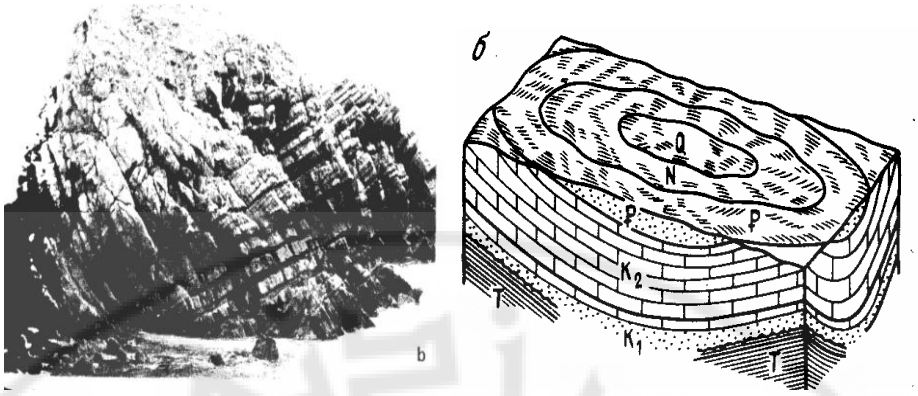
1



2

الشكل(5). مخطط مجسم لطية انتكلينالية(1)، وصورة فوتوغرافية لطية انتكلينالية(2).

2- الطيات السينكلينالية(أو المقعرات): وهي ثنيات مقعرة، تميل فيها الطبقات لتلتقي مع بعضها، وتكون الطبقات الأحدث في الجزء المركزي، بنما تكون الأقدم في الأطراف(الشكل8- 6).



2 **1**

الشكل(8–6).مخطط مجسم لطية سينكلينالية(1)،وصورة فوتوغرافية لطية سينكلينالية(2).

8–3–2– عناصر الطية(الشكل8– 7):

تتمثل عناصر الطية بما يلي:

1- الجناحان: وهما جانبا الطية.

2- خط المفصلة: وهو الخط المار من أكثر النقاط انثناء في أية طبقة من الطبقات المشكلة للطية.

3- المفصلة: وهي جزء الطية المجاور لخط المفصلة.

4- زاوية الطية: وهي الزاوية الناتجة عن تقاطع المستويين المماسين لجناحي الطية.

5- السطح المحوري: هو المستوي الذي يمر من خطوط المفصلة لجميع الطبقات المكونة للطية.

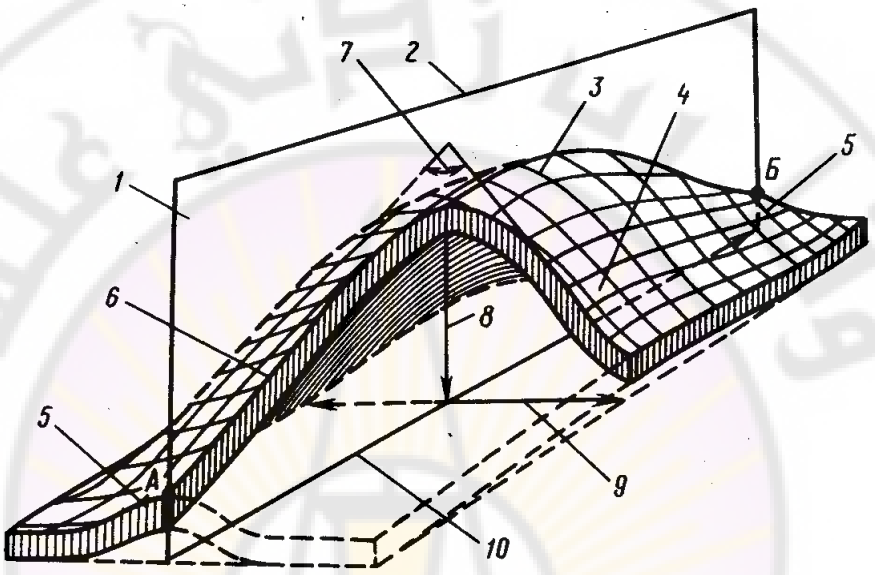
6- محور الطية: وهو الخط الناتج عن تقاطع السطح المحوري للطية مع مستوٍ أفقي.

7- النواة: وهي كتلة الصخور الرسوبية المكونة لإغلاق الطية الأنتكلينالية، أو السينكلينالية.

8- عرض الطية: ويمثل المسافة بين جناحي الطية، وفي حال وجود عدد من الطيات المتوازية فإن عرض الطية يمثل المسافة بين سطحين محوريين لمحدبين، أو مقعرين متجاورين.

9- ارتفاع الطية: هو المسافة بين خطي المفصلة لمحدب، ومقعر متجاورين.

10- طول الطية: وهو المسافة بين بداية ونهاية خط المفصلة.



الشكل(8– 7). عناصر الطية: 1– المستوي المحوري، 2– المحور، 3– المفصلة، 4– الجناح، 6– خط المفصلة. 7– زاوية الطية، 8– ارتفاع الطية، 9– عرض الطية، 10– طول الطية.

8–3–3– تصنيف الطيات:

1- تصنيف الطيات وفقاً لوضعية المستوي المحوري:

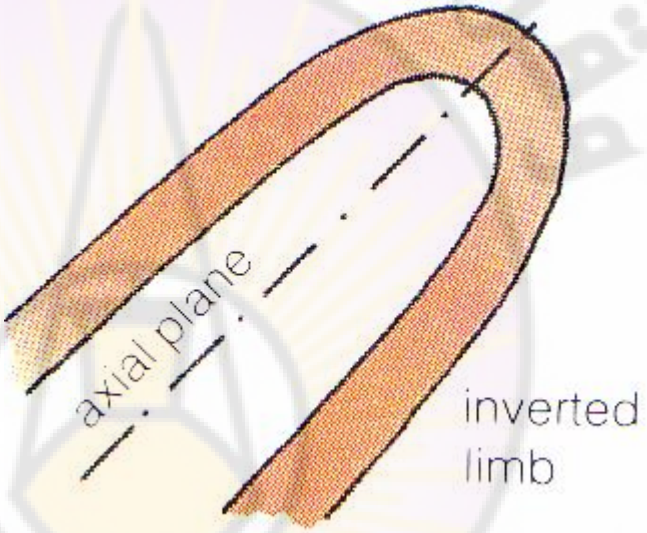
تصنف الطيات وفقاً لوضعية المستوي المحوري إلى الأنواع الرئيسة التالية(الشكلين 8-8 و8- 9):

1- الطية المستقيمة: ويكون المستوي المحوري للطية شاقولياً، وتنتشر الأجنحة في الجانبين بشكل متماثل.

2- الطية المائلة: ويكون المستوي المحوري للطية مائلاً، ويميل الجناحان بزاويتين، واتجاهين مختلفين.

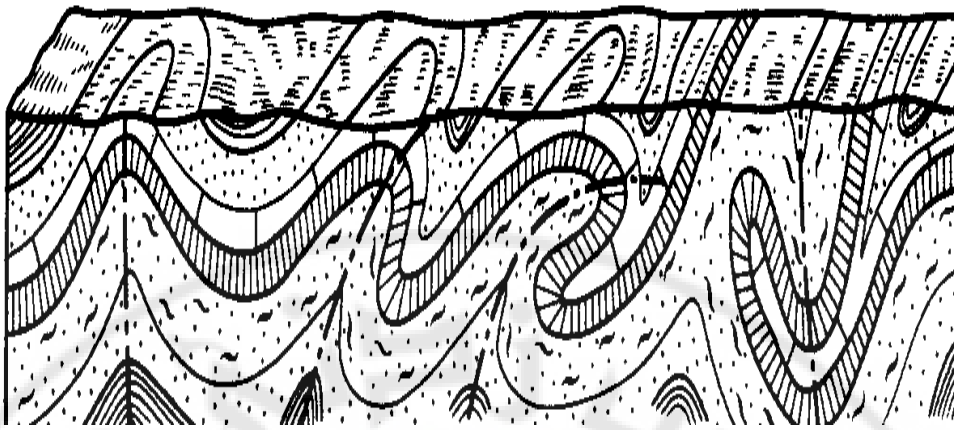
3- الطية المستلقية(Recumbent fold): يميل فيها الجناحان بنفس الاتجاه، ويكون المستوي المحوري قريباً من الوضع الأفقي.

4- الطية المقلوبة(Overturned fold): يكون المستوي المحوري بعيداً عن الوضع الرأسي، ويقع أحد جانبي الفالق(limb folds) فوق



الشكل(8-8). طية مقلوبة

الآخر.



الشكل(8–9). أنواع الطيات وفقاً لوضعية المستوي المحوري: 1– طية مستقيمة، 2– طية مائلة، 3– طية مستلقية، 4– طية مقلوبة.

2- التصنيف وفقاً لوضعية الأجنحة(الشكل8- 10):

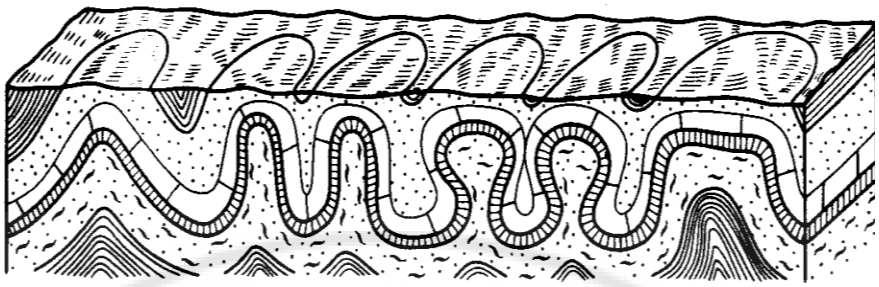
1- الطيات العادية(أو الزاوية): تتلاقى الأجنحة في زاوية حادة.

2- الطيات متماثلة الميل(Isoclinal folds): ويكون للطية إغلاق ضيق، وجناحان متوازيان، وموازيان للمستوي المحوري تقريباً.

3- الطيات المروحية(Fan-shaped folds,): وتتميز بإغلاق واسع، وبنواة مضغوطة.

4- الطية الصندوقية(Box fold): ويكون لجناحي الطية إغلاق واسع، وهما شديدا الانحدار، ويأخذ المقطع الأفقي شكل مربع تقريباً.

تسمى الطيات أحياناً وفقاً لأشكالها، بأسماء مختلفة أخرى، كالطيات العرفية، والطيات الزاوية، وغير ذلك، كما تصادف تصانيف أخرى، فهي تصنف مثلاً وفقاً لبنيتها إلى الطيات الخطية، حيث يزيد طول الطية عن عرضها غالباً بأكثر من عشر مرات، والطيات المتقطعة، التي لا يلاحظ وجود فرق كبير بين طولها وعرضها..الخ.



1 2 3 4

الشكل(8– 10).أنواع الطيات وفقاً لوضعية الأجنحة: 1– عادية، 2– متماثلة الميل، 3– مروحية، 4– صندوقية.

8–4– الفوالق (Faults):

8–4–1– تعريف:

الفالق هو عبارة عن انكسار في الطبقات الصخرية، يرافقه انزلاق بعض أجزاء هذه الطبقات بالنسبة لبعضها البعض.

8–4–2– عناصر الفالق:

تتمثل عناصر الفالق بما يلي(الشكل8– 11):

1– مستوي الفالق(مرآة الفالق): وهو سطح انزلاق الطبقات الصخرية بالنسبة لبعضها البعض.

2– اتجاه الفالق: وهو الخط الناتج من تقاطع مستوي الفالق مع مستوٍ أفقي.

3– ميل الفالق: وهو الزاوية بين مستوي الفالق، ومستوٍ أفقي.

4– جناحا الفالق: وهما الكتلتان الصخريتان الواقعتان على جانبي الفالق، ويميز بين كل من الجناح الصاعد، والجناح الهابط، وبين الجناح المستلقي، وهو الجناح الواقع تحت مستوي الفالق، والجناح المعلق، وهو الجناح الواقع فوق مستوي الفالق.

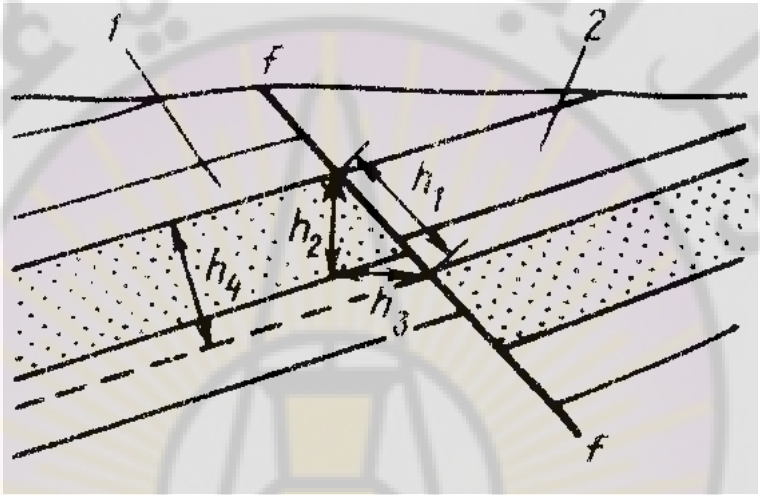
5– رمية الفالق: وهي المسافة بين الجناحين المنزلقين، ويميز بين كل من:

أ- الانـزلاق الحقيقـي: وهـو المسـافة في المسـتوي بـين سـطح، أو قاعـدة نفـس الطبقة في الجناحين المعلق والمستلقي.

ب- الإنـزلاق العـامودي(أو الرأسـي): وهـو مسـقط الانـزلاق الحقيقـي علـى مستوي عامودي.

ت- الإنزلاق الأفقي: وهو مسقط الانزلاق الحقيقي على مستوي أفقي.

ث- الانزلاق الطبقي: وهـو المسافة العمودية بين سقف، أو قاعدة طبقة ما في الجناحين المعلق، والمستلقي.

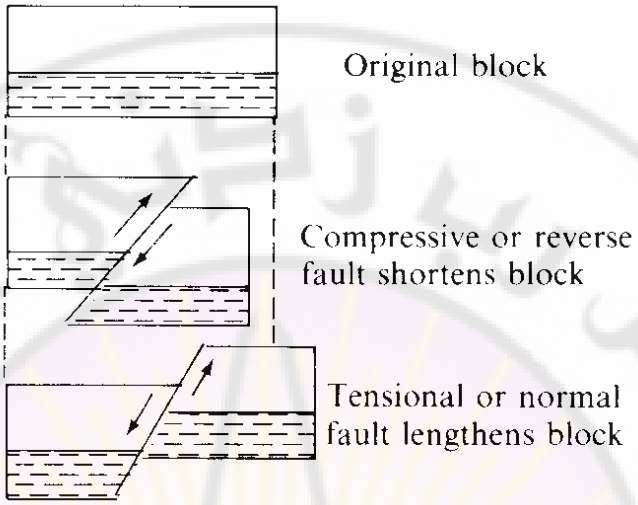


الشكل(8-11) عناصر الفالق: 1- الجناح المستلقي. 2- الجناح المعلق. f-f مستوي الانزلاق. h 1-الانزلاق الحقيقي. h 2- الانزلاق العامودي. h 3- الانزلاق الأفقي. h 4- الانزلاق الطبقي.

8-4-3- أنواع الفوالق:

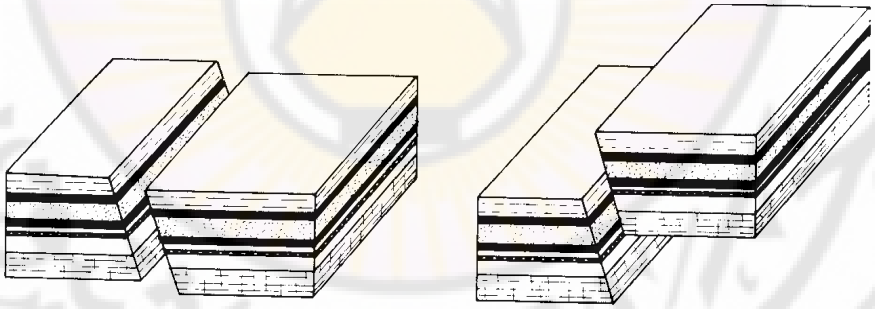
- الفوالق العادية: هي عبارة عن فوالق يكون الجناح المستلقي فيها هو الجناح الصاعد، وهي تنتج غالباً عن قوى الشد، مما يؤدي إلى تمدد القشرة الأرضية في منطقة الفالق. غالباً ما تكون زاوية ميل هذه الفوالق بين 40 و 60° (الشكل8- 12).

- الفوالق العكسية: وهي عبارة عن فوالق يكون الجناح المعلق هو الجناح الصاعد، وهي تنتج عن قوى الضغط، التي تؤدي إلى تقلص القشرة الأرضية في منطقة الفالق، وغالباً ما تكون زاوية ميل الفالق أكبر من 60° (الشكل8-12).



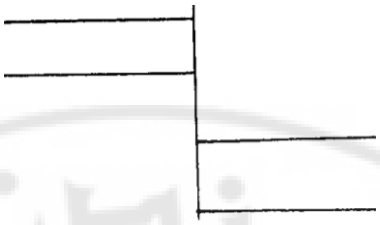
الشكل(8-12) مخطط يبين تشكل فالقين عادي في الأسفل، وعكسي في الوسط، من طبقة صخرية أولية، والتغيرات التي تحصل على طول الكتلة الصخرية.

- الفوالق ذات الانزلاق المزدوج: وهي فوالق ينزلق فيها أحد الجناحين في اتجاهين مختلفين في نفس الوقت(الشكل8- 13).



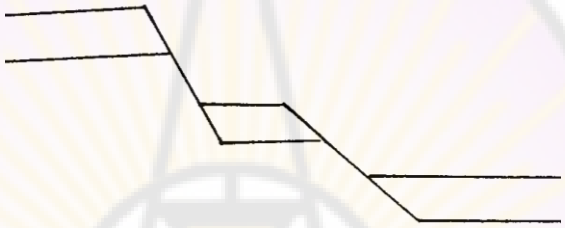
الشكل(8-13) فالقين عكسي إلى اليمين، وعادي(إلى اليسار) يتميزان بانزلاق مزدوج.

– الفالق القائم: وهو فالق يشكل فيه مستوي الفالق مع المستوي الأفقي زاوية قائمة(الشكل8- 14).



الشكل(8– 14). فالق قائم.

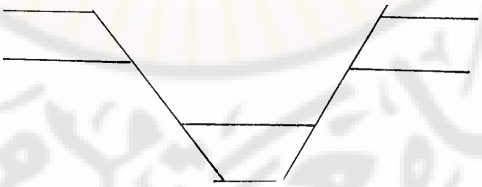
– الفوالق السلمية: وهي مجموعة من الفوالق المتتالية، تميل جميع مستويات انزلاقها باتجاه واحد(الشكل8- 15).



الشكل(8– 15). فوالق سلمية.

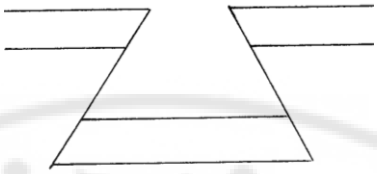
8–4–4– الغور والنجد:

– الغور هو عبارة عن منخفض محدد بفوالق عادية تميل مستوياتها لتقابل بعضها في الأسفل(الشكل8- 16).



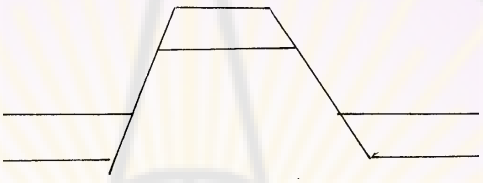
الشكل(8– 16). غور.

- الغور العكسي: هو عبارة عن منخفض محدد بفوالق عكسية تميل مستوياتها لتتقابل في الأعلى(الشكل8- 17).



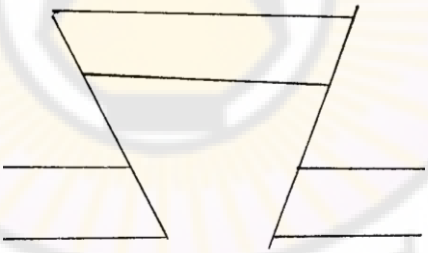
الشكل(8– 17) غور عكسي.

- النجد: هو عبارة عن مرتفع محدد بفوالق عادية، تميل مستوياتها لتقابل بعضها في الأعلى(الشكل(8- 18).



الشكل(8– 18). نجد.

- النجد العكسي: هو عبارة عن مرتفع محدد بفولق عكسية، تميل مستوياتها لتتقابل في الأسفل(الشكل8- 19).

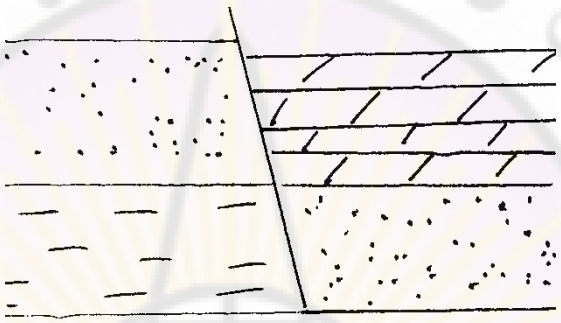


الشكل(8– 19) نجد عكسي.

8-4-5- المؤشرات الحقلية على وجود الفوالق:

كثيراً ما تكون الفوالق غير ظاهرة بوضوح فوق سطح الأرض، ويكون من المهم تحديدها، واتباع آثارها، وفي نفس الوقت قد تخدع بعض الظواهر، ويتم تحديد وجود فالق هو في الحقيقة غير موجود، لذلك من المهم التعرف على أهم الدلائل الحقلية، التي تؤكد لنا وجود الفالق قبل انزاله على الخريطة، ومن بين أهم هذه الدلائل مايلي:

1- وجود طبقات صخرية متجورة،ذات سحنات صخرية مختلفة عن بعضها بشكل واضح(الشكل8- 20).



الشكل(8- 20). اختلاف في نوعية الصخور المتجاورة، مما قد يدل على وجود فالق.

2- اختلاف امتداد وميل الطبقات المتجاورة(والمحتمل أن تشكل جناحي الفالق) بالقرب من مستوي الفالق(الشكل8- 21).

الشكل(8- 21). اختلاف ميل الطبقات المتجاورة، مما قد يشير إلى وجود فالق.

3- وجود مستوي مصقول، يدل على مرآة الفالق بين مواد حطامية زاوية، مختلفة المقاييس، وغير مصقولة، ولها نفس تركيب الصخور المجاورة المكونة للجناحين.

4- وجود ينابيع مائية عادية وحارة تمتد على استقامة واحدة تقريباً.

5- وجود مناطق شواذ مغناطيسية وثقلية مسايرة لخط الفالق.

Damascus University

الفصل التاسع

الزلازل

9-1- مقدمة:

تعد الزلازل من أكثر الكوراث الطبيعية قدرةً على التخريب، والتدمير، حيث يمكنها أن تدمر مدينة بكاملها، وتحيلها إلى أطلالٍ، وأنقاض خلال ثوانٍ معدودة. وتترافق الزلازل عادةً بتحرر كمياتٍ هائلة من الطاقة، التي تنطلق من مصدرها في باطن الأرض لتنتشر في جميع الاتجاهات، وتقدر الطاقة المتحررة من زلزال يبلغ قدره على مقياس ريختر8.6 درجة بما يعادل الطاقة، التي يسببها تفجير بليون طن من مادة ت.ن.ت.

يعرف الزلزال على أنه حركة مفاجئة لصخور القشرة الأرضية، ينتج عنها تحرير كمية كبيرة من الطاقة، تنتشر على شكل أمواج زلزالية في كافة الاتجاهات، يمكنها أن تسبب شقوقاً في سطح الأرض، وتصدعاتٍ في الأبنية، والمنشآت، وقد تؤدي في بعض الأحيان، إلى وقوع عددٍ كبيرٍ من الضحايا البشرية.

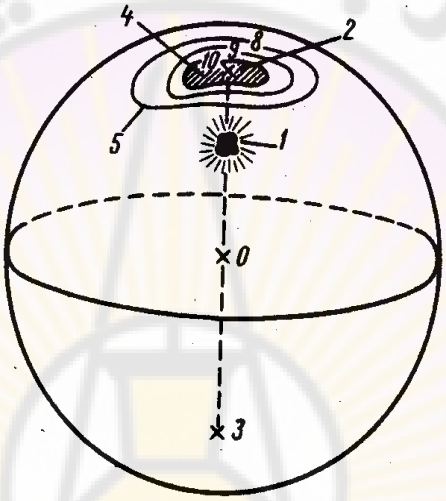
كما يمكن تعريف الزلازل على أنها ظواهر طبيعية تتعرض خلالها تدريجياً القشرة الأرضية، والجزء العلوي من المعطف الأرضي، إلى تأثير حقل قوى واسع، يمكن أن يسبب، وبشكلٍ مفاجئ، تشكل بعض التشققات في القطاعات الضعيفة من القشرة الأرضية، مما يؤدي إلى تحرر الطاقة المختزنة، وانطلاقها في جميع الاتجاهات على شكل أمواج، تدعى الأمواج الزلزالية.

يقدر عدد الزلازل التي يمكن رصدها على مستوى الكرة الأرضية بأكثر من مليون زلزال في العام الواحد، إلا أنه، ولحسن الحظ، فإن النسبة العظمى منها ضعيفة، حيث يقدر وسطي الزلازل الكارثية بزلزالٍ واحدٍ في العام، والمخربة بمئة زلزال سنوياً.

9-2- بؤرة الزلزال، ومركزه السطحي:

تطلق تسمية بؤرة الزلزال، أو المركز العميق للزلزال(Focus, or hypocenter) على مركز حدوثه، وانتشار الأمواج الزلزالية في باطن الأرض.

إن المركز السطحي للزلزال(Epicenter)، هو أقرب نقطة إلى بؤرته موجودة على سطح الأرض، وهي ناتجة عن مسقطه على السطح، وتطلق تسمية عكس مركز الزلزال، أو مرآة الزلزال على أبعد نقطة عن بؤرته موجودة على سطح الأرض، وهي ناتجة عن مسقطه في الاتجاه المعاكس لمركزه السطحي(الشكل 9-1).



الشكل(9-1). مكان بؤرة الزلزال، ومركزه السطحي، وعكس مركز الزلزال(مرآته).
1- بؤرة الزلزال. 2- مركز الزلزال السطحي. 3- عكس مركز الزلزال.

9-3- الأمواج الزلزالية:

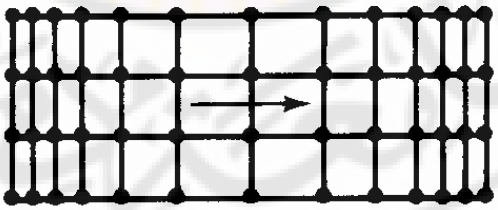
يتمثل الفعل الأول للزلزال بانتشار أمواج اهتزازية طولية، وعرضية، اعتباراً من بؤرة الزلزال لتنتشر في جميع الاتجاهات، ثم ينتج عنها أمواج سطحية.

يتم في حالة الأمواج العرضية(S) إزاحة المادة بشكل عمودي على اتجاه انتقال الحركة، أما في حالة الأمواج الطولية(P)، فإن الوسط ينضغط، ويتمدد بالتناوب في نفس إتجاه الحركة.

يتضمن انتقال الأمواج الطولية، تغيراً في حجم، وشكل المادة، التي تنتقل من خلالها، وتتميز هذه الأمواج بقدرتها على الانتقال في المادة بكافة أشكالها، الصلبة، والسائلة، والغازية. أما انتقال الأمواج الثانوية(العرضية)، فإنه يتضمن تغيراً في شكل المادة، دون أن يتغير حجمها، لذلك فإن هذه الأمواج تنتقل في الأوساط الصلبة فقط(وذلك لعدم وجود عامل القص في السوائل).

يوجد بالإضافة إلى كل من الأمواج الطولية، والعرضية، نوع آخر من الأمواج، يسمى الأمواج السطحية، وهي تنتقل اعتباراً من مركز الزلزال على سطح الأرض، عبر الطبقات الصخرية العليا للقشرة الأرضية.

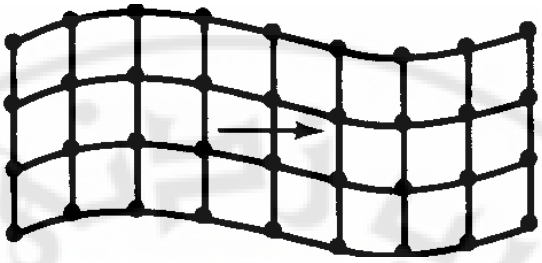
تعد الأمواج السطحية أشد تعقيداً من الأمواج الطولية، والعرضية، فهي تتحرك في مسارٍ دائريٍ تقريباً، وشبيه تأثير حركتها تأثير حركة أمواج البحر القوية على سفينة تطفو على سطحه، التي تؤدي بالإضافة إلى حركتها الرأسية، إلى حركة مترنحة من جانب إلى آخر. ويعتقد أن الدمار الذي يلحق بالمباني، والمنشآت، يعزى بشكلٍ رئيس إلى الحركة الناتجة عن اللأمواج السطحية، على الرغم من أن سرعة انتشار هذه الأمواج أقل من سرعة انتشار الأمواج العرضية، وسرعة انتشار الأمواج الطولية، التي تعد الأسرع(الشكل 2-9).



(1)

الأمواج الطولية، أو الانضغاطية.الرمز(P).

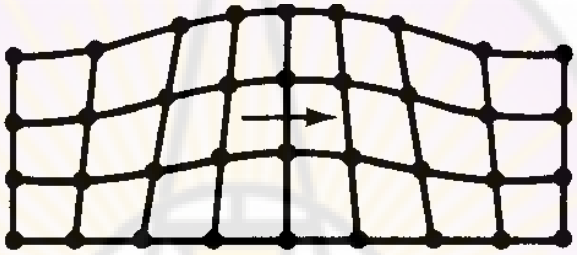
تنتشر في الأوساط الصلبة، والسائلة، والغازية.



(2)

الأمواج العرضية، أو القصية، الرمز(S).

تنتشر في الأوساط الصلبة فقط.



(3)

الأمواج السطحية، أو الكبيرة. رمزها(L).

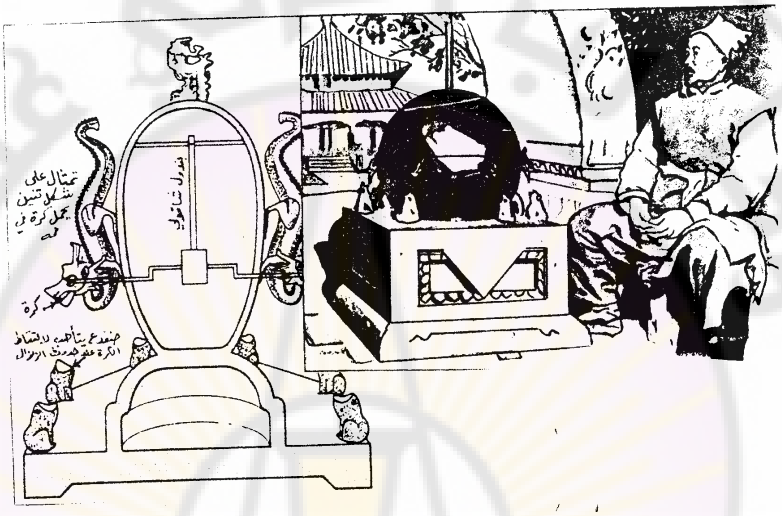
تنتشر في الأوساط الصلبة، والسائلة.

الشكل(9– 2). ميزات الأمواج الزلزالية(يشير السهم إلى اتجاه الإنتشار).

9–4– أجهزة التسجيل الزلزالي(Seismographs):

يطلق على جهاز رصد، و تسجيل الحركة الزلازلية تسمية السيسموغراف، ويعزى أول جهاز معروف لكشف الزلازل إلى الصيني شانج هنج، ويعود تاريخه إلى أكثر من ألفي سنة(الشكل9-3)، وهو عبارة عن جرة يبلغ قطرها حوالي 1م، وهي مغطاة بغطاء

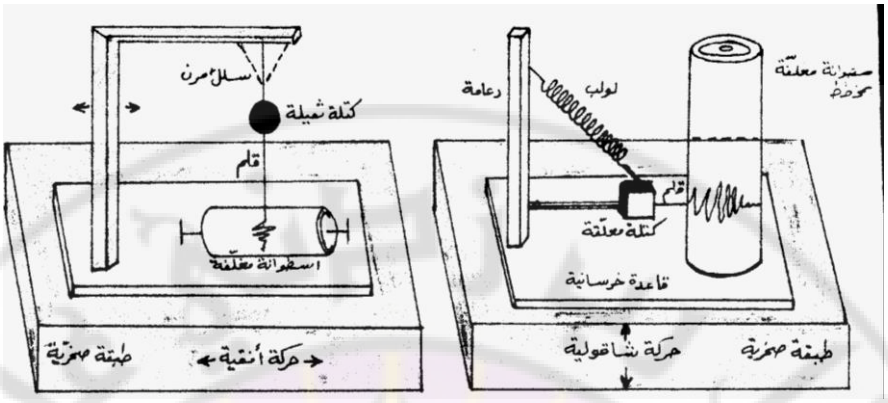
يتدلى منه بندول شاقولي، ويحيط بها من الخارج ثمانية تماثيل على شكل تنينات، تفصلها مسافات متساوية، ويوجد بين فكي كل تنين كرة صغيرة، يمكنها السقوط بسهولة، وهذه الجرة منصوبة على قاعدة عليها ثمانية تماثيل على شكل ضفادع، يفتح كل منها فمه، منتظراً سقوط الكرة من فم التنين الذي يعلوه، فإذا ما حدث زلزال، فإن البندول سيضرب ظهر أحد التنينات، المناسب لإتجاه حركة الزلزال، مما يؤدي إلى سقوط الكرة في فم الضفدع المتأهب دوماً.



الشكل(9– 3).جهاز شانج هانج للرصد الزلزالي.

تطورت أجهزة الرصد الزلزالي منذ اختراع جهاز شانج هنج بشكل كبير، على الرغم من أن مبدأ التسجيل يعد بسيطاً، حيث يتكون جهاز التسجيل الزلزالي من حيث المبدأ من كتلة ثقيلة معلقة بحرية بنهاية سلك مربوط بدعامة، لها شكل زاوية قائمة، ويرتكز طرفها السفلي على قاعدة خرسانية تتوضع على طبة صخرية أرضية، وتحتوي الكتلة على إبرة تلامس بأقل قدر من الاحتكاك اسطوانة مغلفة بمخطط، وهي تدور بشكلٍ آلي، وعندما يحدث الزلزال تتحرك الأرض، وتتحرك معها القاعدة الخرسانية، بينما تحفظ قوة العطالة الذاتية الكتلة من الحركة، فيمكن تسجيل الهزات الزلزالية، وحساب

قدرها، وبما أن للأمواج الزلزالية ثلاث مركبات حركة، رأسية، وأفقيتان، فقد تم تصميم الأجهزة الزلزالية لتسجل هذه المركبات الثلاثة(الشكل 9-4).

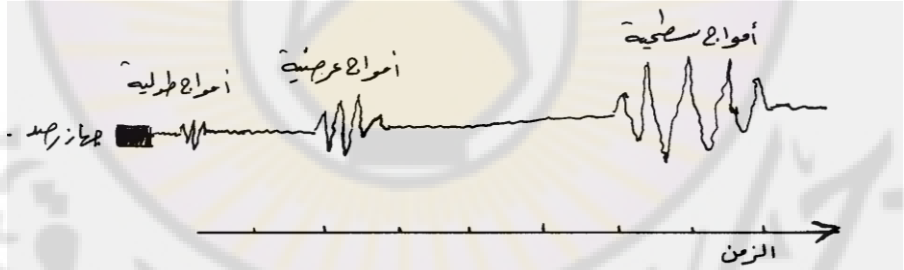


2 **1**

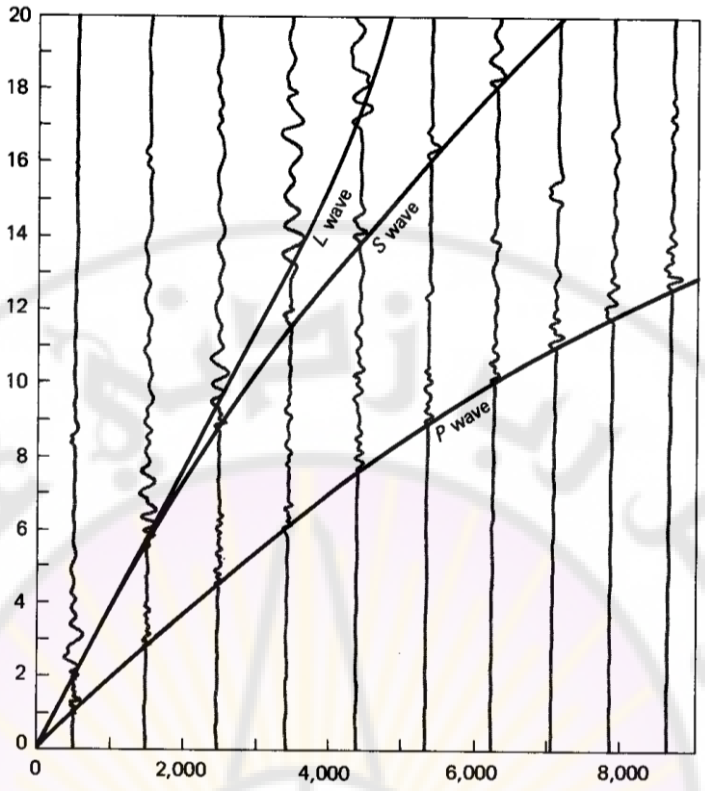
الشكل(9– 4). جهاز رصد زلزالي للحركات الرأسية(1)، والأفقية(2).

يتم في الوقت الحالي رصد حركة القشرة الأرضية عن طريق شبكة من المحطات، تدعى محطات الرصد الزلزالي، وهي مزودة بأجهزة تقوم، وبدقة عالية جداً بتسجيل زمن عبور الأمواج، وسعتها، وتستطيع رسم الأنواع الثلاثة من مركبات الحركة، التي يسببها الزلزال، حيث يتم أولاً تسجيل الأمواج الطولية، ثم العرضية، ثم السطحية(الشكل 9– 5).

يطلق على السجل الذي يخطه السيسموغراف تسمية السيسموغرام.



الشكل(9– 5). مخطط يبين تتالي وصول الأمواج الإهتزازية إلى أجهزة الرصد.



الشكل(9–6). زمن وصول الأمواج الزلزالية(P, S,L) إلى محطة الرصد الزلزالي كتابع لبعد المحطة عن بؤرة الزلزال.

يمثل المحور الرأسي الزمن(دقيقة) بعد حدوث الزلزال.

9– 5– الشدة، والقدر الزلزالي:

اعتمدت المحاولات الأولى في تقدير شدة الزلازل بشكلٍ أساسي على وصف الزلازل نفسها، لذلك فقد كانت تقديرات شدة الزلازل تقريبية، خاصةً وأن تقدير شدة الزلزال تختلف كثيراً من شخصٍ إلى آخر. قامت بعد ذلك محاولات عديدة لتصنيف شدة الزلازل اعتماداً على آثارها التخريبية، ومن أبرز هذه المحاولات، وأبرزها تصنيف جوسبيه

ميركاللي عام 1902م، الذي مازال مستخدماً في العديد من دول العالم(الجدول)، والذي اعتمد فيه بشكلٍ رئيس على مقدار الدمار، أو الخراب الذي يخلفه الزلزال في المباني.

يصعب إعطاء وصف واحد، في كل الأمكنة، للشدة الزلزالية وفق تصنيف ميركاللي وذلك لمجموعة من الأسباب، أهمها:

1- تختلف شدة تأثير الزلزال على منطقة ما، حسب بعدها، وقربها من مركز الزلزال.

2- يكون تأثير الزلازل، التي تحدث في منطقة مأهولةأكبر من تلك، التي لها نفس الشدة، ولكنها تحدث في مناطق غير مأهولة.

3- يتأثر مقدار الضرر، الذي يلحق بالمباني، ليس فقط بشدة الزلزال، وإنما أيضاً بمواصفات هذه المباني.

اقترح تشارلز ريختر في أوائل الثلاثينات من القرن العشرين طريقة جديدة لتصنيف الزلازل، عن طريق استخدام علاقة رياضية في وصف قدرها(Magnitude)، وهي تعتمد على قياس سعة الأمواج المسجلة على بعد معين من مركز الزلزال إلى سعة نموذجية ناتجة عن نفس النوع من الأمواج لزلزال ضعيف:

$$Ml = LogA - LogA_{\circ}$$

حيث: Ml= القدر الزلزالي، A السعة المسجلة، Ao السعة النموذجية(ثابت).

بما أن مقياس ريختر للقدر الزلزالي هو مقياس لوغاريثمي، فإن زيادة بمقدار درجة واحدة في القدر تعني زيادة في سعة الحركة الأرضية بمقدار عشر مرات، فالزلزال الذي قدره 8 درجات هو أشد بعشر مرات من الذي قدره 7 درجات، وبمئة مرة من ذلك الذي قدره 6 درجات، وبألف مرة من الذي قدره 5 درجات..الخ. مع العلم بأن قدر أعظم الزلازل المسجلة حتى الآن هو 9.5(في اندونيسيا) على مقياس ريختر(الجدول9-2).

الجدول(9–1). سلم الشدة الزلزالية حسب مقياس ميركاللي المعدل.

درجة الشدة	التأثير/ الآثار
1	لا يشعر به الناس، وتسجله المراكز المختصة آلياً.
2	تتأرج الأشياء المعلقة، وقد يشعر به عدد قليل من الناس، وهم في وضعية الراحة(خاصة في الأدوار العليا من المباني)
3	يشعر به عدد كبير من الناس، وخاصة سكان الطوابق العليا. ترتج النوافذ، والأبواب
4	ترتج النوافذ، والأبواب، وتتأرج السيارات المصطفة، ويشعر به عدد كبير من الناس، وخاصةً الموجوين داخل المباني.
5	يشعر به كل الناس تقريباً. تهتز الأشجار، وتتحطم الأطباق، ويتكسر زجاج بعض النوافذ.
6	يشعر به كل الناس، يتحرك الأثاث بشكل عام، ويمكن أن يتحرك بعض الأثاث الثقيل.
7	يشعر به راكبو السيارات المتحركة. تنهار بعض ضفاف الأنهار شديدة الانحدار.
8	تسقط المداخن، وأعمدة المصانع، والنصب التذكارية. تغيرالمياه مجاريها، تحدث تغيرات في منسوب المياه الجوفية، ويحدث دمار عظيم في الأبنية الضعيفة، وأضرار خفيفة في المباني المتينة.
9	دمار كبير في المباني المتينة، تحطم أنابيب المياه المدفونة في الأرض، ظهور الكثير من التشققات الأرضية، وحدوث انزلاقات، وانهيارات.
10	دمار بعض المباني الخشبية، دمار معظم المباني الأسمنتية، تشققات أرضية.
11	أخاديد واسعة في الأرض، دمار معظم الأبنية، تحطم الجسور، تحطم الأنابيب تحت سطح الأرض، انهيارات وانزلاقات أرضية كبيرة، تشوهات كبيرة في السكك الحديدية.
12	دمار شامل

الجدول(9–2). بعض مواصفات الزلازل وفقاً لقدرها حسب مقياس ريختر.

القدر	نصف القطر التقريبي للمنطقة التي يشعر بها الناس بالزلزال(كم).	المعدل السنوي للزلازل على مستوى الكرة الأرضية.	الطاقة المحررة من الزلزال (W/S)
3	30	150000	8.10^8

4.10^{10}	**15000**	**160**	**4**
8.10^{11}	**1500**	**300**	**5**
4.10^{13b}	**150**	**450**	**6**
8.10^{14a}	**15**	**800**	**7**
4.10^{16}	**1.5**	**1200**	**8**

a: **هذه الطاقة المتحررة تعادل تقريباً الطاقة الناتجة عن أكبر القنابل الهيدروجينية.**

b: **هذه الطاقة المتحررة تقارن بالطاقة الناتجة عن القنبلة الذرية العادية.**

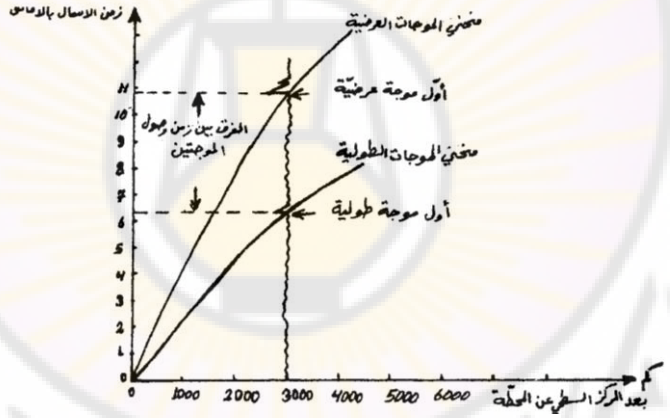
9-6- تحديد بؤرة الزلزال، ومركزه السطحي، وإتجاهه:

يحدد بعد المركز السطحي للزلزال(D) عن محطة الرصد من خلال العلاقة:

$$D= V(Ts- Tp)$$

حيث V= السرعة، Ts- Tp= الفرق بين زمن وصول الأمواج العرضية والطولية.

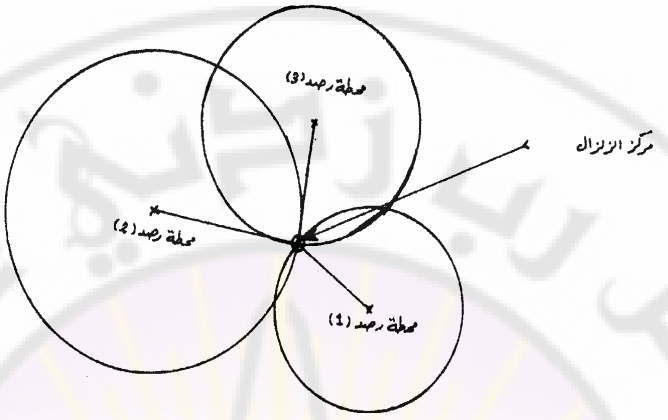
تمكن العلماء عن طريق استخدام عدد كبير من السجلات الزلزالية، من رسم منحنياتٍ نموذجية لأزمنة وصول الموجات بالعلاقة مع بعدها عن مركز الزلزال(الشكل9- 7).



الشكل(9- 7). تحديد بعد مركز الزلزال عن طريق منحني نموذجي.

يتم أيضاً بالإضافة إلى تحديد بعد الزلزال، تحديد مركزه السطحي، ويتم ذلك من خلال ثلاث محطات رصد على الأقل، لا تقع على خطٍ مستقيمٍ واحد، ثم يصار إلى رسم دوائر، تمثل محطات الرصد مراكزها، ويدل نصف قطر كلٍ منها على بعد محطة الرصد

المعنية عن مركز الزلزال. تتقاطع أوتار جميع الدوائر المرسومة في نقطة واحد تمثل مركز الزلزال(الشكل 9- 8).



الشكل(9-8). تحديد مركز الزلزال من خلال ثلاث محطات رصد لا تقع على استقامة واحدة.

يتم حساب عمق بؤرة الزلزال من خلال العلاقة:

$$h = \sqrt{(t_P V_P)^2 - \Delta^2}$$

حيث: Δ, V_P, t_P هي على التتالي: زمن وصول الموجات الطولية، وسرعتها، وطول المسافة بين المركز السطحي للزلزال ومحطة التسجيل.

9-7- تصنيف الزلازل، وأسباب حدوثها:

تصنف الزلازل حسب عمق بؤرها إلى الأنواع التالية:

1- زلازل سطحية: يمكن أن يصل عمق بؤرها حتى 10كم.

2- زلازل قليلة العمق: يتراوح عمق بؤرها بين 10 و 60كم.

3- زلازل متوسطة: يتراوح عمق بؤرها بين 60 و 300كم.

4- زلازل عميقة: يزيد عمق بؤرها عن 300كم.

يعزى حدوث الزلازل بشكلٍ عام للأسباب التالية:

1- تعرية القشرة الأرضية بسبب والانهيارات، وسقوط الكتل الصخرية بسبب الفراغات الطبيعية(كالكهوف والمغر). تكون بؤر الزلازل الناتجة عن هذا السبب سطحية جداً، ونادراً ما يكون قدرها كبيراً، كما أنها لا تؤدي دوراً هاماً في توازن القشرة الأرضية.

يعد زلزال البيرو، الذي حدث في عام 1974م، بسبب الانهيارات الصخرية والانزلاقات على طول نهر مانتارو، أحد الأمثلة على مثل هذا النوع من الزلازل.

2- النشاط البركاني: يمكن للزلازل أن تحدث نتيجةً للانفجارات العميقة للغازات المتحررة من الماغما، وللضربات الهيدروليكية للماغما المتحركة في قنوات، وقطاعات صخرية معقدة.

تنسب الزلازل البركانية من حيث العمق إلى الزلازلقليلة العمق، ونادراً ما يزيد عمق بؤرها عن 30- 50كم، وهي كثيراً ما تترافق مع ثورانات بركانية، أو يمكن أن تكون مقدمة لمثل هذه الثورانات، لما يمكن أن تسببه من تغير التوازن في غرف الصهير، لذلك يمكن أن يكون حدوثها في المناطق النشطة بركانياً دليلاً على إمكانية حدوث ثوران بركاني قريب.

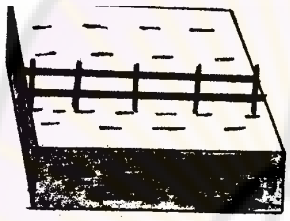
تكون الزلازل الناتجة عن الانفجارات البركانية عادةً ضعيفة القدر.

يعد زلزال باندائي سان في اليابان، الذي حدث نتيجة لثوران بركان ضخم في عام 1888م، من الأمثلة على هذا النوع من البراكين.

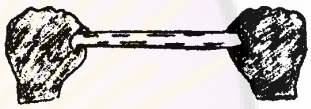
3- أسباب تكتونية: يشكل هذا النوع ما يقارب 95% من الزلازل، وهو يحدث نتيجة لتفريغ الحمولة الناتجة عن الجهد الميكانيكي، والذي يحدث نتيجةً لتحركات قطاعات الليتوسفير (القشرة الأرضية، والجزء العلوي من المعطف)، حيث تؤدي قوى الاحتكاك الناتجة عن هذه التحركات دورين هامين، فهي من جهة تحاول أن تحد من هذه الحركة، وتساهم من جهة أخرى في تراكم الطاقة الكامنة، وعندما تصل الطاقة الكامنة المتراكمة إلى قدرٍ كافٍ، فإن قوى التحريك تتغلب على على القوى المانعة

للحركة، فيحدث خلال فترة زمنية قصيرة تفريغ لجزء من الطاقة المتراكمة، فتتحرك القطاعات الأرضية وفق تكسرات عميقة، مسببةً انقطاعات في القشرة الأرضية، يمكن أن تشاهد بوضوح كبير على سطح الأرض، ويترافق تفريغ الحمولة بالطبع مع تشكل أمواج اهتزازية تنتشر في جميع الاتجاهات اعتباراً من بؤرة الزلزال.

استنبط هـ. ف. ريد نموذجاً مبسطاً يفسر ميكانيكية حدوث الزلازل نتيجةً لتعاظم الطاقة الكامنة، والتوتر الناتج عن الحركة في اتجاهين متعكسين، والانزلاق حسب خط التماس بين هذين الاتجاهين، وهو يشبه ما يحدث لعصا خشبية، عندما نزيد من القوى المطبقة عليها بهدف كسرها(الشكل 9- 9).

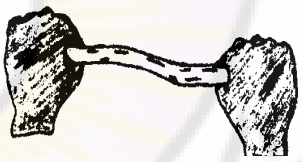


الصخور في وضعيتها الأصلية

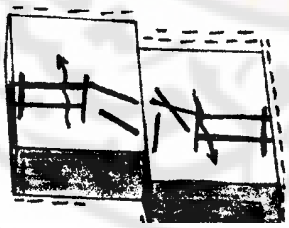


أ- العصا في وضعيتها الأولى.

قوى تحاول تحريك الصخور باتجاهين مختلفين ينتج عنها وعن مقاومة الاحتكاك قوى توتر كامنة.

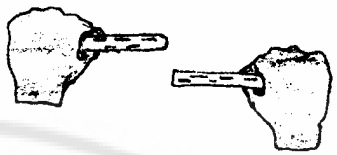


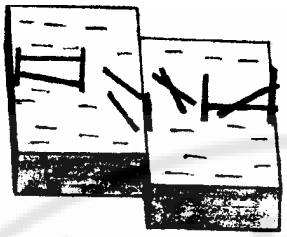
ب- محاولة كسر العصا، وثنيها باتجاهين مختلفين (تشكل قوى كامنة)



ج– وصول القوى المطبقة على العصا إلى الحد اللازم لكسرها، واهتزاز العصا عدة ثواني بعد الكسر.

وصول القوى الكامنة إلى نقطة حرجة، أدى إلى تشكل فالق وعدة هزات أرضية.





د– توقف العصا عن الاهتزاز، واستقرارها بعد انشطارها إلى قسمين.

إعادة الاستقرار بعد الهزات التي حدثت نتيجة الكسر، الذي حصل في أضعف منطقة، أو الانزياح الذي حدث، وأدى إلى تشكل الفالق.

الشكل(9–9). ميكانيكية حدوث الزلازل، كما استنبطها هـ. ف. ريد.

يعد زلزال سان فرانسيسكو في عام 1906م، والذي أدى إلى تشكل فالق سان أندرياس، من أشهر الأمثلة على هذا النوع من الزلازل(الشكل 9- 10).

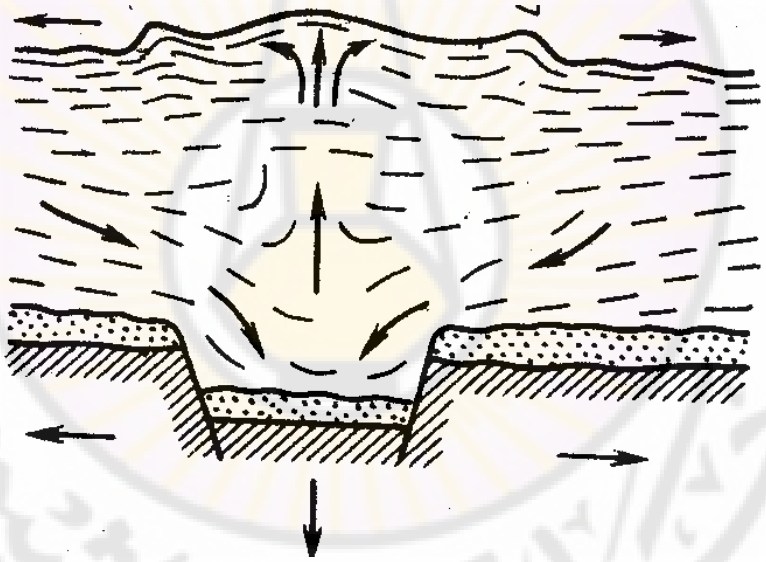
الشكل(9–10). فالق سان أندرياس الناجم عن زلزال سان فرانسيسكو، الذي يعد أحد الأمثلة الهامة على الزلازل التكتونية.

4- الزلازل الاصطناعية: وهي زلازل يمكن أن تحدث بفعل النشاط البشري، كأعمال الحفر الجائرة، والتفجيرات المقلعية، غير المدروسة، والتفجير النووي، وهي زلازل سطحية، وغير كبيرة القدر.

9- 8- التسونامي:

يؤدي وقوع مركز الزلزال في قاع البحر إلى تشكل أمواج بحرية، تدعى أمواج التسونامي، وهي تحدث نتيجةً للإزاحة الرأسية، في قاع البحر، أو المحيط، التي يمكن أن تحدث بسبب وقوع الزلزال.

تبدأ ظاهرة التسونامي بتشكل أمواج ناتجة عن الهبوط السريع في قاع البحر، أو المحيط، فيتشكل في مركز الزلزال أمواج تتجه نحو الأعلى، ثم تتحول عند سطح الماء، إلى ما يدعى بأمواج التسونامي، التي تنتشر اعتباراً من المركز بسرعةٍ يمكن أن تصل إلى 800كم/سا(الشكل 9-11).



الشكل(9-11). شكل توضيحي لتشكل التسونامي.

على الرغم من أن أمواج التسونامي يمكن أن تسبب آثاراً تدميرية هائلة في المناطق الشاطئية، إلا أن أثرها في مياه المحيط بعيداً عن الشاطئ، يمكن أن يكون غير محسوس،

ويعود ذلك إلى أن ارتفاع الأمواج في تلك الأماكن قد لا يتجاوز المتر الواحد، وتكون المسافة الفاصلة بين ذروتي موجتين متتاليتين كبيرة، ويمكن أن يصل طول الموجة إلى 700كم، لكن سرعة انتشار هذه الأمواج تخف بشكلٍ كبير مع اقترابها من المياه الشاطئية، مما يؤدي إلى تراكمها فوق بعضها البعض، لتصل إلى ارتفاعات كبيرة قد تتجاوز الأربعين متراً.

تبدأ أول علامات التسونامي بانحسار سريع في مياه البحر، يتلوه بعد فترة زمنية، قد تصل إلى نصف ساعة ارتداد المياه نحو الشاطئ على شكل موجة عارمة، متجاوزة خط الشاطئ القديم، لتغطي مساحات شاسعة من اليابسة، ثم ترتد نحو البحر من جديد بشكلٍ سريع، فاسحة المجال لموجةٍ أخرى تعقبها بحوالي 10- 60 دقيقة، وتتابع الأمواج بين مدٍ وجزر، حتى تخمد طاقتها تماماً.

9-9- أهم المناطق الزلزالية:

تتركز أكثر من 95% من الزلازل في العالم في أماكن ضيقة، ومتطاولة، تمتد آلاف الكيلومترات، وتسمى الأحزمة الزلزالية، ويميز على مستوى الكرة الأرضية بين الأحزمة الزلزالية التالية:

1- حزام زلزالي حول المحيط الهادي(حزام حلقة النار): ينسب إلى هذا الحزام حوالي 70% من زلازل العام. يتميز هذا الحزام بوجود زلازل شديدة القوة، يزداد عمق بؤر هذه الزلازل عموماً، من جهة المحيط الهادي، باتجاه نحو اليابسة.

2- حزام الألب هيمالايا: وهو حزام يمتد من جنوب شرق آسيا، ماراً باندونيسيا، وسومطرة، كما يمر من هيمالايا، وإيران، وتركيا، ويمتد نحو اليونان، وإيطاليا. ينسب إلى هذا الحزام ما يقارب 20% من زلازل العالم،

وتكون فعالية الزلازل غالباً شديدة في اندونيسيا، وسومطرة، وتتناقص هذه الفعالية كلما اتجهنا غرباً، حيث يزداد عرض الحزام بشكلٍ كبيرٍ.

3- حزامان زلزاليان على طول السلاسل المحيطية، يمتد أحدهما على طول المحيط الأطلسي من الجنوب باتجاه الشمال، بينما يمتد الآخر من الجزء الجنوبي الشرقي للمحيط الهادي، باتجاه المحيط الهندي. يتميز هذان الحزامان، بالمقارنة مع الحزامين السابقين، بعرضهما القليل جداً، وبأن فعاليتهما الزلزالية أضعف.

4- توجد بالإضافة إلى الأحزمة السابقة، التي تتركز بشكلٍ رئيس في المحيطات، أو في المناطق الحدودية بين القارات والمحيطات، أحزمة زلزالية أخرى أقل فعاليةً، وامتداداً، يمتد أحدها على سبيل المثال في مناطق داخلية في الصين، وينسب حزام آخر إلى بعض المناطق في إمريكيا الشمالية. يطلق على هذه الأحزمة تسمية الأحزمة القارية الداخلية.

9-10- الآثار الناجمة عن الزلازل:

يمكن أن يتسبب الزلزال بانهيارات، وانزلاقات، وانزياحات، وفوالق، كما يمكن أن يتسبب بإنهيار المباني، والمنشآت، وقد ينتج عنه آثار غير مباشرة، كتحطم أنابيب المياه، والحرائق، وانقطاع التيار الكهربائي. ويمكن أن تؤدي الآثار المباشرة، وغير المباشرة للزلزال إلى وقوع عدد كبير من الضحايا البشرية.

يتعلق مقدار الدمار والتخريب الذي ينتج عن الزلزال بمجموعة عوامل، هي:

1- قدر الزلزال: كلما كان قدر الزلزال أكبر، كانت نتائج التخريب، والدمار المتوقعة أكبر.

2- عمق بؤرة الزلزال: إذا حدث زلزالان في نفس المكان، وكان لهما نفس القدر، فإن الزلزال ذو البؤرة الأقل عمقاً، سيكون أكثر قدرةً على التخريب.

3- مكان وقوع الزلزال: تكون نتائج التخريب والدمار أكبر كلما كان مكان وقوعه أكثر كثافة سكانية، وكلما تركز فيه عدد أكبر من المباني، والمنشآت.

4- طبيعة الأرض: تعمل الرواسب غير المتماسكة على تضخيم الاهتزازات، إلى درجة أكبر من الطبقات الصخرية الصلبة.

5- مدة الزلزال: كلما استمر الزلزال فترة أطول كلما كانت الآثار الناتجة المتوقعة عنه أكبر.

6- طبيعة المباني، والمنشآت، الواقعة ضمن مجال تأثير الزلزال: إن المباني والمنشآت، التي تم تصميمها لمقاومة الحركة الزلزالية، ستكون أكثر قدرة على المقاومة، لذلك ستكون أكثر أمناً، وأقل تضرراً من غيرها.

9-11- التنبؤ بالزلازل:

يتم السعي دائماً من أجل التنبؤ بوقوع الزلازل، ودرء أخطارها، للإجابة عن الأسئلة الثلاثة التالية:

1- أين سيقع الزلزال.

2-ما هي شدته المتوقعة.

3- متى سيقع.

يتم التنبؤ بالإجابة عن السؤالين الأول، والثاني، عن طريق دراسة النشاط الزلزالي التاريخي، والآني لمنطقة الدراسة، ورسم الخرائط الزلزالية لها. أما الإجابة عن السؤال الثالث، فهي أشد صعوبةً، ولم يتم حتى الآن التوصل إلى طرائق تمكن من التنبؤ بدقة بزمن وقوع زلازل ما في منطقة محددة، لكن هناك بعض المؤشرات التي تستخدم كدلائل على إمكانية حدوث زلزال في فترة قريبة، من هذه المؤشرات:

1- ظهور بعض التشققات الدقيقة.

2- نمو شقوق متشكلة سابقاً.

3- حدوث تغيرات في الحقل المغناطيسي الأرضي.

4- حدوث تغيرات، في حرارة، ومستوى المياه الجوفية.

5- حدوث تغيرات في التركيب الكيميائي للمياه.

6- حدوث تغيرات في سرعة انتشار الموجات السيسمية.

9-12- إجراءات وقائية:

إذا كان لا يمكن للإنسان أن يمنع حدوث الزلازل الطبيعية، فإنه بالإمكان اتخاذ بعض الإجراءات الوقائية، التي يمكن أن تحميه، أو تخفف من شدة الضرر الذي يمكن أن يلحق به. من هذه الإجراءات ما يجب اتخاذها قبل الحدوث المحتمل للزلزال، ومنها ما يجب فعله أثناء وقوع هذا الزلزال، ومنها ما يجب فعله بعد حدوثه.

- نصائح يجب الأخذ بها قبل الحدوث المتوقع للزلزال:

يجب القيام بالخطوات التالية، إذا كان من المتوقع حدوث زلزال في وقت قريب:

1- رفع كافة اللوحات(بما فيها المرايا) عن الجدران ، وخاصةً تلك الموضوعة فوق الأسرة، وأمكنة الجلوس.

2- رفع جميع الأشياء الثقيلة، من فوق الخزائن، والمكتبات، والتأكد من تثبيت الرفوف، وقطع الأثاث بشكلٍ جيد.

3- الاحتفاظ بحذاء، ومصباح يعمل بالبطارية بالقرب من السرير.

- نصائح يجب الأخذ بها أثناء وقوع الزلزال:

من المهم أن نحتفظ بهدوئنا أثناء حدوث الزلزال، وخاصة أن مدة الزلزال لا تتجاوز عادةً ثوانٍ معدودة. وتتعلق الخطوات التي يجب اتخاذها أثناء وقوع الزلزال بالمكان الذي تتواجد فيه في هذه الفترة:

1- إذا كنت موجوداً داخل بناء(منزل، مدرسة، مكان عمل..)، يجب أن تنزلق تحت أقرب سطح صلب، كالطاولة، أو المقعد، وأن تحاول أن يكون كامل جسدك تحت هذا السطح، وأن تضع يديك خلف عنقك، و تمسك بإحدى قوائم السطح الصلب إذا شعرت أنه يتحرك، وتتحرك معه مبقياً على رأسك محمياً تحته بشكلٍ دائمٍ. أما إذا لم يكن هناك سطحاً صلباً يمكن الاحتماء تحته، فعليك التوجه بسرعة نحو إحدى الجدران الداخلية للمبنى، بعيداً عن النوافذ، والأشياء المعلقة، وتضع يديك فوق رأسك.

2- إذا كنت تسير في الشارع، عليك التوجه نحو مكانٍ مفتوح، كحديقة، أو ساحة، مبتعداً عن الأبنية، وعن أسلاك، وأعمدة الكهرباء والهاتف، وعن الأشجار، وضع دائماً يديك فوق رأسك لحمايته.

3- إذا كنت تقود سيارة، تصرف بهدوء، وحاول أن توقف السيارة على جانب الطريق، بعيداً عن أعمدة وأسلاك الكهرباء، والشاخصات الطرقية، وإشارات المرور، وأبق داخل السيارة حتى توقف الزلزال، واضعاً يديك خلف رأسك وعنقك.

- نصائح يجب الأخذ بها بعد انتهاء الزلزال:

يجب بعد انتهاء الزلزال أن تقوم بتفحص نفسك، ومن حولك، واستخدم الأدراج، وليس المصاعد، إذا أردت مغادرة البناء، وإذا علقت في أحد الأمكنة، أحم فمك، وأنفك، وعينيك من الغبار، باستخدام منديل، أو قطعة قماش من ملابسك، ومن ثم حاول إعلام الآخرين عن مكان تواجدك باستخدام جهاز الهاتف النقال(الموبايل)، أو الصفارة، أو بالطرق على أحد الجدران الثابتة، عدة مرات كل بضع دقائق. و حاول الابتعاد عن الشاطئ إذا كنت قريباً منه، وذلك تحسباً من حدوث أمواج التسونامي.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل العاشر

الحادثة البركانية

تطلق تسمية الحادثات المهلية على مجموع الحادثات المعقدة المرتبطة بالنشاط الداخلي المغماتي في الكرة الأرضية، سواء منها ما يتجلى بصعود الماغما حتى السطح، أو باندساسها في طبقات القشرة الأرضية. بينما تطلق تسمية الحادثة البركانية (Volcanism) على الحادثة المغماتية التي تؤدي إلى صعود الماغما حتى السطح. والماغما هي عبارة عن مواد طبيعية ذات حرارة انصهار عالية جداً، تتشكل في أسفل القشرة الأرضية وفي المعطف العلوي، وتتكون من خليط في غاية التعقيد، من المركبات الكيميائية، المؤلفة من سيليكات المعادن المختلفة، ومن بعض الأكاسيد، بالإضافة إلى كمياتٍ محدودة من العناصر، والمركبات الطيارة، كالفلور، والكلور، وثاني أكسيد الكربون، والماء، وغيرها.

10- 1- المواد الناتجة عن الثورانات البركانية:

تقسم المواد الناتجة عن الثورانات البركانية إلى منتجات غازية، وسائلة، وصلبة.

10-1-1- المنتجات الغازية:

تتكون المواد الغازية المنطلقة من الثورانات البركانية بشكلٍ أساسي من بخار الماء (70%) وثاني أكسيد الكربون (15%) ومركبات النيتروجين (5%) ومركبات

الكبريت (5%) بالإضافة إلى بعض الغازات الأخرى التي من أهمها الهيدروجين والكلور والآرجون . ويميز عادةً بين المنتجات الغازية التالية:

1- نواتج غازية جافة: درجة حرارتها حوالي 500°م وتكون غنية بمركبات الكلور ولا تحتوي على بخار الماء.

2- نواتج حامضية: تحتوي على بخار الماء وكلور الهيدروجين، ويمكن أن تصل حرارتها إلى 400°م.

3- نواتج قلوية: حرارتها الوسطية حوالي 180°م وتحتوي بشكلٍ رئيس على كلور الأمونيوم الذي يمكن أن ينتج عنه بالانفجارات غاز النشادر الحر.

4- غازات تنفصل عند الدرجة 100°م تقريباً وتتكون بشكلٍ رئيس من ثاني كبريت الهيدروجين وبخار الماء.

5- غازات تتحرر بدرجات حرارة أقل من 100°م وتتكون بشكلٍ رئيس من ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.

10-1-2- المنتجات السائلة:

تتراوح حرارة هذه المنتجات بين 600و 1200°م ولها تراكيب كيميائية متنوعة وتقسم تبعاً إلى نسبة السيليس التي تحتويها إلى:

- لابا حامضية (ريوليتية): تتميز بألوان فاتحة تشوبها ظلال رمادية، وتتميز باحتوائها على كميات كبيرة من المحتبسات الغازية، وبلزوجتها العالية وبالتالي حركتها البطيئة (5- 50م/ساعة) وذلك حسب درجة الانحدار .

- لابا أساسية(بازلتية): وهي ذات ألوان قاتمة وسيولة عالية، وتبرد بطيء وذات سرعة جريان عالية 10-300م/ساعة وقد تصل في بعض الحالات إلى 30كم/ساعة وهي تشغل مساحات واسعة اعتباراً من فوهة البركان.تتميز بسطحٍ أملس ترتسم فوقه

تجاعيد على شكل حبال كلما استمرت اللابا بالتقدم، لذلك أطلق عليها اللابا ذات الحبال.

وينتج عن تبرد اللابا تحت سطح المياه أشكال وسائدية تدعى البيلولابا.

10-1-3- المنتجات الصلبة:

وهي عبارة عن منتجات استطاعت التصلب قبل الوصول إلى السطح وهي تسقط على مسافات مختلفة تبعاً لقوة قذفها ومقدار كتلتها، حيث تسقط الشظايا الكبيرة بالقرب من الفوهة، بنما تصل المواد الدقيقة إلى مسافاتٍ بعيدة جداً (عشرات الكيلومترات)، وتقسم إلى :

- كتل بركانية هوائية ضخمة.
- قنابل بركانية يتراوح قطرها من عدة سنتيمترات إلى أكثر من متر وتكون غالباً مغزلية الشكل أو كروية.
- حصى بركانية: تتراوح أقطارها بين 1.5 و 3سم وأشكالها شبيهة بأشكال القنابل البركانية.
- رمال بركانية : 1- 5ملم.
- رماد بركاني : < 1ملم.

10-2- أنواع الثورانات البركانية:

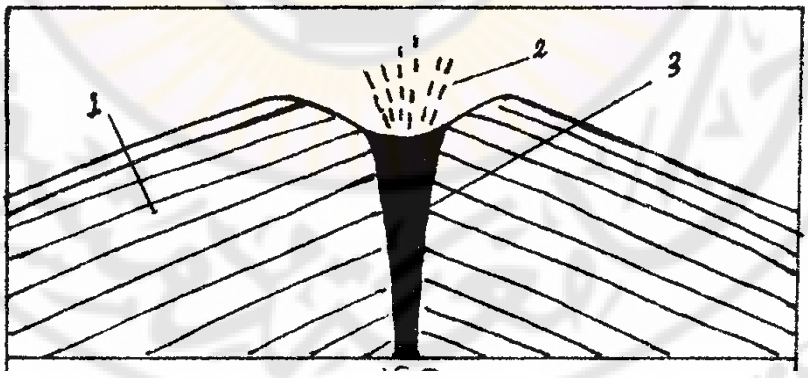
تحدث الثورانات البركانية بأشكال مختلفة، فقد تكون على شكل انفجارات شديدة العنف، أو على شكل انفجارات متقطعة، وقد تسيل اللابا بشكلٍ هادئ، أو على شكل نافورات من المواد المشتعلة. وتعود هذه الاختلافات في طبيعة الثورانات البركانية بشكلٍ أساسي إلى الاختلافات في كلٍ من : درجة حرارة الماغما، تراكيبها الكيميائية، وكمية الغازات المنحلة فيها. حيث تؤثر هذه العوامل في درجة لزوجة الصهير المغماتي،

وبالتالي في كيفية حركته...الخ. فيمكن للسيليكا التي تعتبر من أهم الأكاسيد الداخلة في تركيب الماغما أن تتحد مع بعضها بسهولة لتكوّن سلاسل طويلة حتى قبل بداية التبلور، لذلك فإنه كلما ازدادت نسبة السليكا في الماغما ازدادت لزوجتها، وصعبت حركتها، وبالعكس فإن زيادة كمية الغازات المحلولة في الماغما أو ارتفاع درجة حرارتها سيزيد من قدرة الصهير على الحركة ويضعف لزوجته.

تجمع الأنواع المختلفة للثورانات البركانية في أربعة نماذج بركانية رئيسة اتخذت تسميتها من نسبة إلى عددٍ من أشهر وأعنف البراكين المعروفة في العالم، وهي:

10-2-1- النموذج الهاوايي :

اتخذت تسمية هذا النموذج نسبة إلى براكين هاواي، حيث يسبق ثوران البركان عادةً صعود الصهير وتراكمه في خزانات أو غرف الصهير، ومع تزايد الضغط الناجم عن استمرار التراكم تبدأ اللابا البازلتية قليلة اللزوجة بالفيضان من خلال الفوهة والسيلان من السفوح. تتميز البراكين هنا بأشكال مقببة واسعة تشبه الدروع، وبسطوح انحدار لطيفة غالباً لا تتجاوز 5 درجات، وقد تصل في حالات نادرة إلى 15 درجة، ويؤدي تتابع فيضان اللابا في أزمنة متتالية إلى تشكل طبقات متتابعة من اللابا المتبردة. يمكن أن تحدث بعض الفوهات الجانبية ويصبح الثوران في المراحل الأخيرة متقطعاً وتتغير مواصفات اللابا ويتغير بالتالي النموذج البركاني.

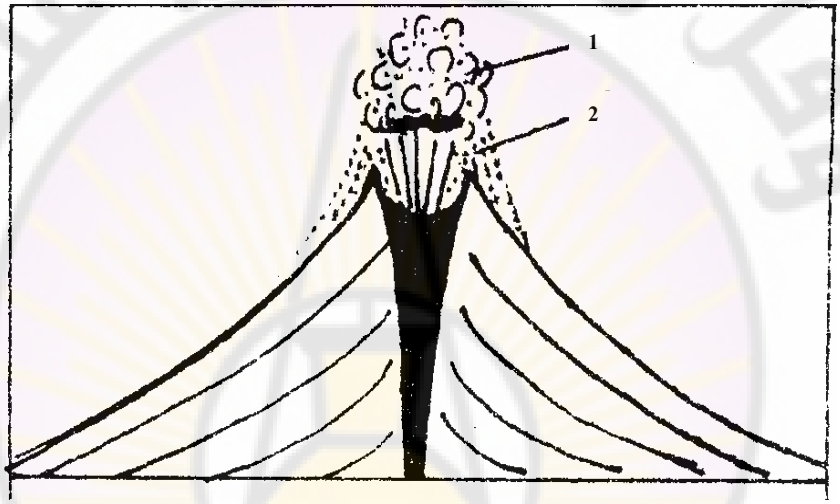


الشكل(10–1). النموذج البركاني الهوايي.

1– لابا متبردة. 2– لابا مصهورة. 3– قناة البركان.

10–2–2– النموذج السترمبولي:

اتخذت تسمية هذا النموذج نسبة إلى جزيرة سترمبولي في إيطاليا، وتتميز اللابا هنا بأنها أكثر لزوجة وبالتالي أقل قدرة على الحركة من النموذج السابق. تنطلق الغازات المحتواة في الصهير بشكلٍ عرضي على هيئة انفجارات فتقذف اللابا المتوهجة من خلال الفوهة وتتشكل القنابل والحصى البركانية ويتشكل مخروط من حطام ذي انحدار حاد نسبياً (30-45˚).



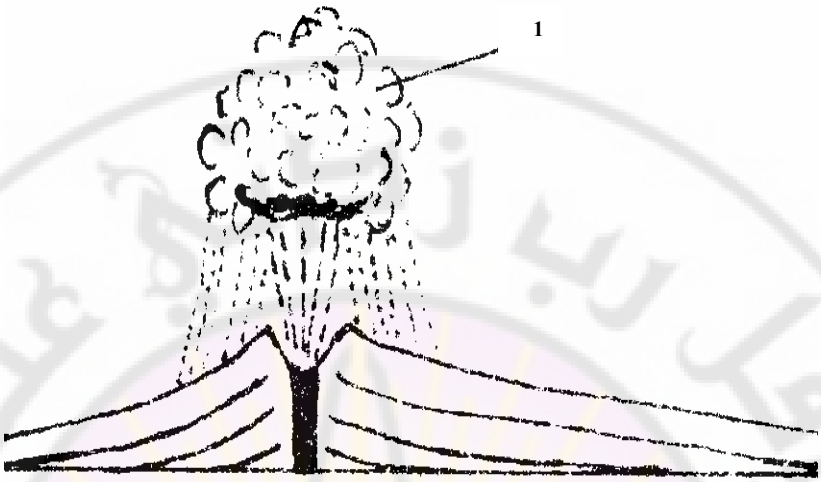
الشكل(10–2). النموذج البركاني السترمبولي.

1– غيمة من الغازات والرماد. 2– رماد، وقنابل بركانية.

10–2–3– النموذج الفيزوفي:

ينسب هذا النموذج إلى بركان فيزوف بالقرب من ميناء نابولي وإلى جانب مدينة بومبي في إيطاليا، ويعتبر من أشهر البراكين في تاريخ الكرة الأرضية الحديث، وكان آخر ثوران له في عام 79 ميلادي وأدى إلى دفن مدينة بومبي بسكانها وكذلك هرقلنيوم وعدد من القرى. يتم في هذا النموذج انطلاق كميات كبيرة من الماغما المشبعة بالغازات،

وتنطلق منتجاتها على شكل سحبٍ سوداء يتساقط منها وابل من الرماد البركاني، وتتشكل التيارات الطينية، ويمكن أن تنسكب اللابا من شقوق جانبية.

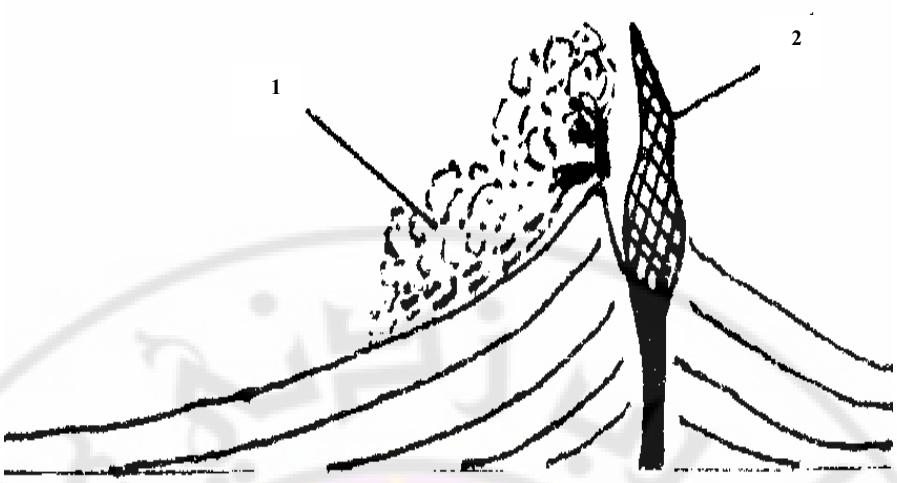


الشكل(10–3). النوذج البركاني الفيزوفي.

1– غيمة سوداء من الغبار

10–2–4– نموذج مون بيليه:

ينسب هذا النموذج إلى بركان جبل مون بيليه في جزيرة المارتينيك، إحدى جزر الأنتيل الصغرى. وهو يسبق عادةً بعدة هزات أرضية قوية، ويتميز بصهير ماغماتي لزج جداً ويترافق الثوران مع انفجارات عنيفة وانطلاق كميات كبيرة من الغازات، وتشق الماغما طريقها عبر شقوق جانبية كما تغطي المواد الفوهة على شكل قبة. حيث يؤدي خروج المواد المنصهرة نحو السطح إلى تشكل سدادة ضخمة على شكل مسلة في القناة المركزية تتراكم تحتها كميات كبيرة من الغازات الملتهبة، والرماد، وفقاعات اللابا مما يؤدي إلى تراكم ضغوط هائلة تساعدها على شق طريقها بالقوة محدثة انفجارات وسحباً ملتهبة. تنطلق الغازات المحملة بالرماد الملتهب على هيئة سحابة قريبة من السطح دون احتكاك.



الشكل_ 10–5). بركان من نموذج مون بيليه.

1– غيمة كبيرة. 2– مسلة من اللابا اللزجة

10–3– الظواهر ما بعد البركانية:

يلاحظ في مناطق النشاط البركاني الحالي أو في مناطق البراكين الخامدة بعض الظواهر الطبيعية التي ارتبط وجودها بالحادثات البركانية، ومن أهم هذه الظواهر:

– **التيارات الغازية :**

حيث تخرج من فوهة البركان ومن الشقوق الموجودة على سفوح المخروط البركاني والمناطق المحيطة به تيارات غازية (اليحموم). تختلف درجة حرارة هذه الغازات وتركيبها الكيميائي، ويميز بين كل من اليحموم الجاف الذي يكون خالياً من أبخرة المياه أو يحتوي على نسبة ضئيلة منها ويمكن أن تزيد حرارته عن 50°م، واليحموم الحامضي الذي يحتوي على نسبة مرتفعة من حمض الكبريت وحمض كلور الماء بالإضافة إلى بخار الماء وحرارته بين 300و 400°م واليحموم القلوي الذي يتكون بشكلٍ رئيس من كل من كلور وكربونات اللأمونيوم وكبريت الهيدروجين وبخار الماء ودرجة حرارته حوالي 100°م، واليحموم البارد وتقل حرارته عن 100°م ويتكون بشكل رئيس من كبريت الهيدروجين أو من ثاني أكسيد الكربون.

من الجدير ذكره أن نشاط اليحموم يمكن أن يستمر آلاف السنوات كما يتغير نوعه مع مرور الزمن حيث يبتدأ نشاطه باليحموم الجاف لينتقل إلى اليحموم الحامضي ثم القلوي ثم البارد.

- **الينابيع الحارة:**

تكثر هذه الينابيع في المناطق البركانية الحالية أو الخامدة وتنتج عن تغلغل المياه السطحية إلى باطن الأرض لتسخن وتعود ثانية نحو السطح حاملة معها العديد من المواد الكيميائية التي استطاعت إذابتها. يمكن أن تصل حرارة هذه الينابيع إلى 100°م، ويتعلق ذلك بالعمق الذي وصلت إليه المياه المتغلغلة.

- **الفوارات الحارة:**

وهي عبارة عن ينابيع مياه حارة وأبخرة تنطلق في أوقات معينة على شكل فوارات تتراوح حرارتها بين 80 و 100°م وترتفع في الجو إلى ارتفاعات مختلفة يمكن أن تصل إلى 50م حاملة معها كميات كبيرة من المواد المعدنية وخاصة السيليكا. تنشأ هذه الفوارات بسبب وجود قنوات ذات امتدادات كبيرة ومتعرجة ومليئة بالمياه والأبخرة فوق درجات الغليان وتحت ضغوط مرتفعة وعندما يصل الضغط داخل القناة حداً حرجاً تبدأ المياه بالخروج من فوهة القناة ببطء في البداية ثم تنطلق بشكل سريع بسبب انخفاض الضغط حيث تأخذ المياه بالتبخر السريع وتنطلق مع الأبخرة والغازات المرافقة على شكل عامود يمكن أن يصل ارتفاعه إلى عشرات الأمتار.

10-4- المناطق البركانية في العالم:

لا تتوزع البراكين في جميع أنحاء العالم بشكلٍ متجانس، فهي تحتشد في بعض الأماكن بكثافة، بينما تخلو أماكن أخرى من أي أثر لوجودها. إن لكيفية هذا التوزع علاقة وثيقة مع الصفات البنيوية للأرض، وقد أمكن تقسيم طبيعة انتشار البراكين بالعلاقة مع هذه الصفات إلى ثلاثة أقسام:

1- تنتشر براكين القسم الأول على طول السلاسل المحيطية المتوسطة، ويعتقد أن السبب الرئيس في انتشار البراكين هنا يعود إلى عمليات التباعد في الغلاف الصخري الصلب باتجاهين متعاكسين ينتج عنه تشكل فراغ يتم ملؤه عن طريق صعود كميات جديدة من الصهير المغماتي، ويؤدي التباعد إلى إنقاص كبير في مقدار الضغط المؤثر على الصخور العميقة مما يؤدي إلى إنقاص درجة انصهار صخور المعطف وبالتالي حدوث انصهار جزئي ينتج عنه كميات كبيرة من الصهير البازلتي سهل الحركة والذي لا يجد صعوبة كبيرة في الارتقاء نحو الأعلى ليشكل طفوحا واسعة من اللابا أو المخاريط البركانية.

2- تنتشر براكين القسم الثاني في أماكن انغماس الصفائح كما يحدث لصفيحة المحيط الهادي التي تغوص تحت الصفائح القارية في مناطق حزام النار. يختلف الصهير في هذا القسم عن صهير القسم الأول بأنه أغنى بالمواد السيليسية.

3- تنتشر براكين القسم الثالث داخل الصفائح ، ومازال سبب حدوثها غير معروف تماماً لكنه يعتقد بأنها يمكن أن تنتج عن انصهار جزئي لصخور المعطف العلوي حيث يعتقد بأن هذا المعطف يحتوي على بعض الجيوب المملوءة بالصهير على عمق 100- 250كم تسمى البقع الساخنة، ويعتقد بأن ألسنة من هذا الصهير يمكن أن تصعد إلى الأعلى لتشكل البراكين.

أما من الناحية الجغرافية فيمكن تمييز ثلاثة أحزمة:

1- يمتد الحزام الأول على شواطئ المحيط الهادي أو بالقرب منها (حلقة المحيط الهادي أو حزام النار) حيث ينتشر عدد كبير من البراكين النشطة والخامدة وتشكل البراكين النشطة هنا حوالي 60% من البراكين النشطة المعروفة في العالم.

2- حزام البحر الأبيض المتوسط-هيمالايا ويمتد من الألب مروراً بجبال القفقاس حتى جبال آسيا الصغرى.

3- الحزام الثالث وهو أصغرها ومعظم براكينه خامدة ويمتد ضمن مناطق المحيط الأطلسي من ايسلندا مروراً بجزر الكنار حتى جزر الرأس الأخضر.

10-5- بعض المؤشرات على احتمال ثوران البركان:

يعتبر التنبؤ بحدوث الثورانات البركانية من أهم أهداف دراسة البراكين وأكثرها صعوبة، وقد خطا العلم في هذا المجال خطوات هامة جداً، كما ساهمت المراقبة المستمرة للثورانات البركانية المتواصلة تقريباً وخاصة في بركان كيلاويه في فهم آلية تطور هذه البراكين وما يرافقها من تغيرات على سطح الأرض أو داخلها وبالتالي فقد خطا علم التنبؤ بالثورانات البركانية الذي يعتمد بشكل أساسي على مراقبة هذه التغيرات ومتابعة تطوراتها خطوات هامة نحو الأمام.

يوجد عدد من المؤشرات التي يمكن أن تشير إلى إمكانية ثوران البركان، من أهمها:

1- حدوث بعض التشوهات في شكل سطح الأرض، كالتقببات، وتغير ميل سطح البركان، حيث يتم مراقبة نقاط معينة موزعة على سطح البركان ومواقعها والمسافات بينها محددة بدقة، ويتم تسجيل جميع التغيرات التي تحدث على هذه المواقع والمسافات والتي تعود أسبابها إلى تدفق المهل إلى الخزانات الموجودة بالقرب من السطح وتسمح التقنيات المستخدمة من خلال المراقبة عن طريق الأقمار الصناعية في معرفة عمق وحجم المهل ويسعى العلماء إلى معرفة معدل التموين من المواد المهلية إلى الخزانات وبالتالي توقع الوقت اللازم لحدوث ثوران بركاني جديد.

2- حدوث بعض الهزات الأرضية في مناطق البراكين النشطة.

3- ارتفاع حرارة الغازات الآتية من المهل وكذلك حرارة التيارات المائية الحارة.

4- حدوث بعض التغيرات الكيميائية في تركيب الغازات المنطلقة، وذلك كانخفاض النسبة $\frac{Cl}{SO_4}$ في بداية مرحلة الاندفاع.

5- حدوث تغيرات في حقول الجاذبية والمغناطيسية.

الفصل الحادي عشر

التجوية

11-1- تعريف:

التجوية هي مجموعة التغيرات التي تطرأ على الصخور والفلزات المكونة لها على سطح الأرض، أو بالقرب منه، تحت تأثير المياه، والعوامل الجوية، وفعل الأشياء الحية(إن كانت حيوانية، أم نباتية).

يمكن يطرأ على صفات، وتركيب الصخور نتيجة التجوية تغيرات هامة، بما يتناسب مع الظروف الجوية السائدة في منطقة التجوية، فالصخور النارية الاندساسية على سبيل المثال تشكلت تحت سطح الأرض، حيث الحرارات والضغوط المرتفعة، وحيث لا تعيش كائنات حية، فعندما تتكشف هذه الصخور على سطح الأرض نتيجة للأفعال التكتونية، فإنها ستصادف ظروفاً تختلف جذرياً عن ظروف تكونها، ولا بد لها لكي تتمكن من التأقلم مع البيئة الجديدة وتصل معها إلى مرحلة الاتزان، من أن تعاني من بعض التغيرات، التي يمكن أن تكون تغيرات ميكانيكية، كأن تتفتت إلى أجزاء صغيرة، حيث يبقى تركيبها الكيميائي والفلزي كما هو، وقد تكون التغيرات الميكانيكية في بعض البيئات غير كافية للوصول إلى مرحلة الاتزان مع الوسط الجديد فتتعرض هذه الصخور إلى تغيرات فلزية، وكيميائية.

تقسم التجوية حسب الظروف السائدة، والتغيرات التي تحصل على الصخور إلى مجموعتين رئيستين، هما التجوية الفيزيائية، أو الميكانيكية، والتجوية الكيميائية.

11-2- التجوية الفيزيائية:

تعرف التجوية الفيزيائية على أنها عملية تفتيت الصخور المتكشفة على السطح، وتحطيم الروابط الميكانيكية بين مركباتها، دون التغيير في تركيبها. يميز في التجوية الفيزيائية حسب العوامل الفيزيائية المسيطرة بين الأنواع التالية:

1- التجوية الحرارية: وهي عبارة عن تخريب الصخور المتكشفة على السطح تحت تأثير التذبذبات الحرارية اليومية، والموسمية. فالمكونات الصخرية يمكن أن تتمدد تحت تأثير التسخين الناجم عن الأشعة الشمسية في النهار، ثم تعود لتتقلص ليلاً. إن التكرار المستمر لهذه العملية يمكن أن يؤدي إلى تفتيت الصخور وخاصة الأجزاء السطحية منها.

تتأثر التجوية الحرارية بالعوامل التالية:

1- وجود أو عدم وجود غطاء نباتي: فالتجوية الحرارية تكون أشد إذا غاب عن المكان الغطاء النباتي الذي يمكن أن يخفف من شدة التذبذبات الحرارية.

2- طبيعة التضاريس: تكون التجوية الحرارية أشد وضوحاً في المناطق المرتفعة، والمنحدرات.

3- درجة التجانس في التركيب الفلزي: تزداد شدة التجوية الحرارية كلما ازداد تنوع الفلزات المكونة للصخور.

4- درجة التجانس الحبي: كلما كانت مقاييس الحبات المكونة للصخر أكثر تجانساً، كلما ازدادت قدرة الصخر على مقاومة التجوية الحرارية.

5- لون الفلزات المكونة للصخور: حيث تتأثر الفلزات القاتمة بالتجوية الحرارية بشكلٍ أسرع من تأثر الفلزات الفاتحة.

6- البنية النسيجية للصخور: فالصخور الكتلية أكثر مقاومة من تلك الصخور ذات النسيج الفراغي، أو المتطبق.

7- عوامل أخرى: يمكن أن تتأثر سرعة التجوية الحرارية للصخور بعوامل أخرى، فالصخور الهشة أقل مقاومة للتجوية الحرارية من الصخور الصلبة، وكذل فإن الصخور المشققة أقل مقاومة من الصخور الصماء.

2- التجوية بتأثير تناوب التجمد والذوبان: يعد تناوب التجمد والذوبان أحد أهم أنواع التجوية الميكانيكية. تعزى شدة تأثير هذه العملية إلى الخاصة التي يتفرد بها الماء، وهو أنه يتمدد عندما يتجمد، ليزداد حجمه بمقدار 9.2%، فالمياه التي تتغلغل في المسامات الصخرية، والشقوق ومختلف أنواع الفراغات في الصخور، تمارس عند تجمدها داخل هذه الفراغات ضغوطاً هائلة تؤدي إلى تحطم الصخور وتفتيتها.

تتأثر شدة التجوية بتأثر تجمد المياه بالعوامل التالية:

1- درجة الاشباع بالماء: فكلما كانت كميات المياه في الفراغات الصخرية أكبر، كلما استطاعت أن تمارس على الجوانب الداخلية للفراغات ضغوطاً أشد.

2- وجود الأملاح: يمكن أيضاً للأملاح المحلولة بالمياه أن تمارس على الصخور ضغوطاً شديدة حين تبلورها في داخلها.

3- طبيعة المناخ السائد: تتمكن على سبيل المثال التجوية بالتجلد في الأماكن الواقعة فوق خط الثلج الدائم أن تتغلغل إلى أعماقٍ أكبر بالمقارنة مع الأماكن التي ترتفع وتنخفض فيها الحرارة بشكٍ يومي، وبالتالي فإن نواتج التجوية بالتجلد ستختلف بين هذه الأمكنة.

4- صفات الصخور: تتمكن الصخور ذات المسامية الدقيقة، والسعة المائية الكبيرة أن تحتفظ بكمياتٍ هامة من المياه دون أن تسمح لها بارتشاح والنفوذ من خلالها، وبالتالي فإن تجمد المياه فيها سيؤدي إلى تفتيتها وتحطيمها بشكلٍ أسرع من الصخور ذات الفراغات الكبيرة والتي تسمح للجزء الأعظم من المياه أن يرتشح من خلالها.

3- التجوية الميكانيكية تحت تأثير النشاط الحياتي للكائنات الحيونية والنباتية: يمكن للكائنات الحيوانية الحفارة(كالديدان والنمل)، والتي تتوافر في الترب بأعدادٍ هائلة، أن تساهم في إضعاف الروابط الميكانيكية في الصخور، واعدادها كخطوة أولى لعوامل التجوية الأخرى. كما يمكن للصخور أن تتحطم تحت تأثير نمو جذور النباتات التي يمكنها أن تتغلغل حتى في أصغر الفراغات والشقوق، مسببةً مع استمرار نموها في تشكيل ضغوط مستمرة لتتمكن في النهاية من تحطيم الصخور وتفتيتها.

لا بد من الإشارة إلى أنه على الرغم من أن النباتات يمكن أن تؤدي دوراً هاماً في تفتيت الصخور، واضعاف الروابط الميكانيكية فيها، حيث لابد من أن يراعى هذ الأمر عند زراعة بعض الأشجار التي يمكن أن تمتد جذورها إلى أساسات الأبنية والمنشآت وتساهم في تخريبها، إلا أنه يمكن للغطاء النباتي أن يؤدي أيضاً دوراً هاماً في تثبيت الترب ومنع انزلاقها في المنحدرات والسفوح شديدة الميول، وهي تعمل على التخفيف من شدة الجريانات المطرية، وعلى إذابة الثلوج المتراكمة فوق المرتفعات ببطء.

تساهم الأعمال الجيولوجية التي تقوم بها الرياح والمياه الجارية والتي تتمثل في حت ونقل نواتج التجوية إلى أماكن أخرى في تعريض سطوح جديدة من الصخور للتجوية، وهي بالتالي تساهم بشكل غير مباشر في استمرار وشدة التجوية الميكانيكية.

11-3- التجوية الكيميائية:

تؤثر التجوية الكيميائية(على عكس التجوية الفيزيائية) على التركيب الكيميائي للمواد المجواة، لتحولها إلى موادٍ جديدة تختلف عنها، كما أنه يمكن للتجوية الكيميائية أن تصل إلى أعماقٍ أكبر من تلك التي تصلها التجوية الفيزيائية.

كثيراً ما تؤدي التجوية الكيميائية إلى تخريبٍ كاملٍ للصخور، وتشكيل فلزات جديدة تماماً يمكنها أن تتلائم مع الظروف الجوية الجديدة. إن هذه التجوية تنشط بوجود الأكسيجين، وثاني أكسيد الكربون، والماء، والأملاح المذابة في المياه.

تحدث أثناء التجوية الكيميائية جملة من التفاعلات الكيميائية، أهمها الأكسدة، الإنحلال، الحلمهة، الإماهة.

1- الانحلال: تنحل الفلزات المكونة للصخور بسرعات مختلفة، وأسرع هذه الفلزات انحلالاً هي الكلوريدات، كالهاليت، والسلفيت، وتأتي بعدها فلزات السولفات كالجص، ثم الكربونات كالكالسيت.

2- الإماهة: تقوم الفلزات من خلال الإماهة بامتصاص كمياتٍ من المياه التي تدخل ضمن بنيتها البلورية، مما يؤدي إلى تشكيل فلزات جديدة، وذلك كتشكيل الجص من إماهة الأنهدريت، وتشكيل الليمونيت من إماهة الهيماتيت.

$$CaSO_4 + 2H_2O = CaSO_4.2H_2O.$$

$$Fe_2O_3 + nH_2O = Fe_2O_3.nH_2O.$$

3- الحلمهة: الحلمهة تفاعل كيميائي بين الماء وأي مركب كيميائي آخر، وتعني هذه الكلمة للجيولوجيا بشكلٍ خاص تفاعل الفلزات مع الماء، سواء كان

على شكلٍ سائل، أو على شكل بخار، وذلك كتفاعل الماء مع الأورتوكلاز بوجود ثاني أكسيد الكربون، والذي يؤدي إلى تشكل الكاولينيت.

4- الأكسدة: تحدث الأكسدة بشكلٍ خاص في الفلزات التي يدخل في تركيبها عناصر كيميائية بقيمها الاتحادية الصغرى، وذلك كالحديد والكبريت، كتفاعل أكسدة البيريت بوجود الماء، وتحوله أولاً إلى كبريتات الحديد ثم إلى ليمونيت.

$$FeS_2 + O_2 + H_2O = Fe_2(SO_4)_3 = Fe_2O_3.nH_2O$$

أخيراً يمكن للكائنات الحيوانية والنباتية أن تقوم بالإضافة إلى دورها في التجوية الفيزيائية بدورٍ هامٍ في التجوية الكيميائية، وذلك من خلال فرزها لبعض الحموض التي تتفاعل مع الصخور وتغير من تركيبها، وكذلك من خلال امتصاصها لبعض العناصر الكيميائية التي تحتاجها في حياتها من الترب والصخور المحيطة.

الفصل الثاني عشر

الفعل الجيولوجي للرياح

12-1- مقدمة:

يؤدي التسخين غير المتجانس لسطح الأرض، بسبب اختلاف زوايا سقوط الأشعة الشمسية، واختلاف قدرة عكس هذه الأشعة في الأماكن المختلفة من سطح الأرض، وبسبب التوزع الرأسي للحرارة في الغلاف الجوي، وتقلباتها الموسمية، إلى حركة أفقية، ورأسية للهواء في الغلاف.

ينتج عن حركة الهواء اختلافات في الضغوط الجوية، يمكن أن تصل إلى أكثر من 10% من الضغط الجوي الطبيعي على مستوى سطح البحر، والذي يقدر ب101 كيلو باسكال، وقد سجل أقل قيمة معروفة للضغط الجوي في إعصار إيدا، في المحيط الهادي، وهي 87 كيلو باسكال.

تعد الرياح، التي هي عبارة عن حركة الهواء في الغلاف الجوي، أحد العوامل الهامة، المؤثرة في شدة العمليات الجيولوجية على سطح الأرض.

12-2- أنواع الأنظمة الريحية:

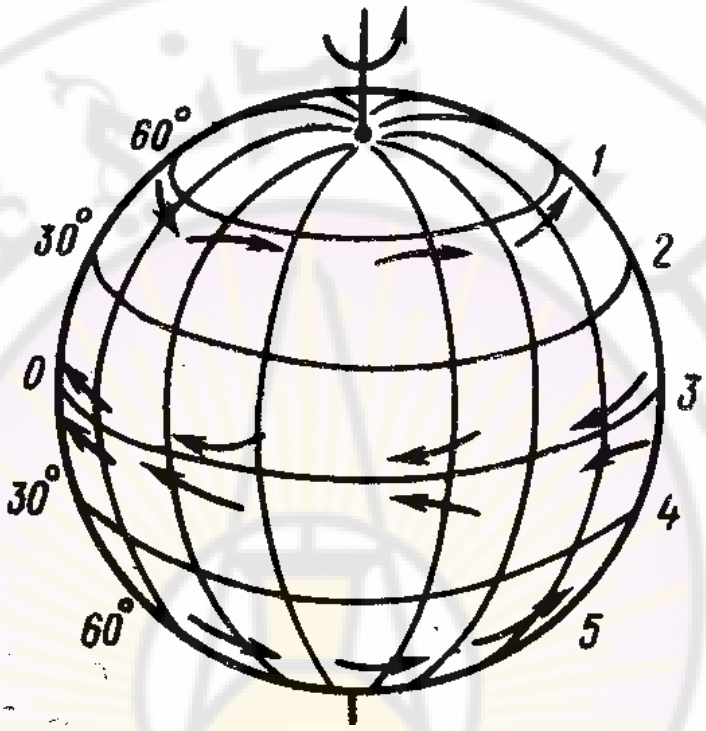
يميز بشكلٍ عام في طبقات الغلاف الجوي القريبة من سطح الأرض بين ثلاثة أنواع من أنظمة الرياح، وهي الرياح الدائمة، الرياح غير الدائمة الدورية، والرياح غير الدائمة، وغير الدورية.

12-2-1- الرياح الدائمة:

ينسب إلى هذا النوع الرياح ثابتة الاتجاه، التي تهب على طول خط الاستواء من الشرق نحو الغرب؛ وهي عبارة عن حركة مستمرة للهواء، من المناطق شبه الاستوائية، باتجاه خط

الاستواء، لكن حركة الأرض تحرفها نحو الغرب، لذلك فإن هذه الحركة تتجه في نصف الكرة الشمالي من الشمال الشرقي، وفي نصف الكرة الجنوبي، من الجنوب الشرقي.

ينسب إلى الرياح الثابتة أيضاً، تلك الرياح التي تتجه نحو الشرق في الأماكن الواقعة بين خطي العرض 40° و 60°(الشكل 12-1).



الشكل(12-1). نظام الرياح الدائمة في كوكب الأرض.

1،5= رياح غربية. 2،4= منطقة هادئة. 3= رياح شرقية.

12-2-2- الرياح غير الدائمة الدورية:

يؤدي اختلاف سرعة تسخين اليابسة، والماء إلى وجود مجموعة من الرياح دورية الفعالية. ينسب إلى هذه الرياح، الرياح الموسمية المتعلقة بذبذبات حرارة الجو الفصلية، والتي تتجه في الصيف من البحار نحو اليابسة، وبالعكس في الشتاء، وكذلك رياح

النسيم، الناتجة عن التغيرات اليومية للحرارة، والتي تتجه بشكلٍ دوري، من البحار إلى اليابسة في النهار، وينعكس الاتجاه في الليل.

12-2-3- الرياح غير الدائمة، وغير الدورية:

ينتج هذا النوع من الرياح من محصلة تأثير مجموعة كبيرة من العوامل، كالضغط، والحرارة، وغيرها، وتحدث بشكلٍ غير متوقع، ويكون التنبؤ بحدوثها صعباً إلى حدٍ كبير. ينسب إلى هذه الرياح كل من الزوابع ، الأعاصير القمعية، والعواصف الاستوائية.

غالباً ما ترتبط الزوابع بأماكن معينة، حيث تأخذ فيها تسمياتٍ محلية، كالرياح الإفغانية في آسيا الوسطى، والسموم في المنطقة العربية، ورياح الخماسين في الصحراء الكبرى، وغيرها. ويطلق على هذه الزوابع في البحر المفتوح تسمية العواصف. أما بالنسبة للأعاصير القمعية، فهي عبارة عن زوابع تدور حول نفسها، وهي قمعية الشكل، يكمن أن يصل ارتفاعها إلى 2-3كم، بينما لا يتجاوز قطرها على سطح الأرض عدة مئات الأمتار. تصل سرعة دوران الهواء في العواصف القمعية 50- 100م/ثا، مما يعطيها قدرةً كبيرةً على التخريب، وغالباً ما تتراوح سرعة انتقالها 50- 70كم.

تعد العواصف الإستوائية أخطر أنواع العواصف، وهي عبارة عن زوابع أو أعاصير جوية ضخمة، يمكن أن يصل قطرها عشرات، أو حتى مئات الكيلومترات، وقد يصل ارتفاعها 10- 15كم. وهي تحدث في خطوط العرض الاستوائية.

تمتلك العواصف الاستوائية قوة طاردة مركزية هائلة، مشكلةً في مركز العاصفة منطقة ذات ضغط جوي سالب. يكون جدار العاصفة الإستوائية على شكل غيمة سميكة، ويكون في نفس الوقت مركز أو عين العاصفة منطقة واضحة نسبياً وذات طقس جيد.

تبدو العاصفة الاستوائية على سدشكل زوبعة هائلة حلزونية الشكل، وتحدد صفات دوران الأرض اتجاه دورانها، فهي تدور دائماً باتجاه دوران عقارب الساعة في نصف الكرة الشمالي، وبالعكس في نصف الكرة الجنوبي. لا تتجاوز سرعة انتقال العاصفة غالباً

25كم/ ساعة، بينما يمكن أن تصل سرعة الرياح(سرعة الدوران) في الأطراف أكثر من 350كم/ساعة.

تعد سرعة الرياح الهائلة، والأمطار، والأمواج التي ترافق العاصفة الاستوائية، كوراث طبيعية حقيقية بالنسبة للسفن، وسكان السوحل البحرية. كما يسبب الضغط السالب في مركز العاصفة مداً بحرياً، حيث يمكن أن ترتفع المياه 8- 10م.

12-3- الفعل الجيولوجي للرياح:

يرتبط الفعل الجيولوجي للرياح إلى حدٍ بعيد بسرعتها الكبيرة، التي يمكن أن تساعدها على حمل ليس فقط الغبار، والرمال، وإنما أيضاً الحصى، والأحجار ذات المقاييس الكبيرة.

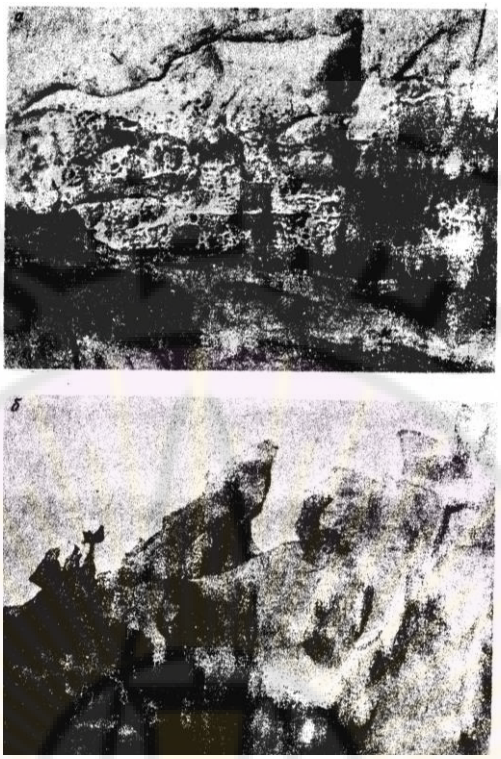
يؤدي الفعل الجيولوجي للرياح إلى حت وتخريب الصخور، ونقل منتجات التخريب، ووضعها في أمكنة جديدة.

12-3-1- الحت الريحي:

تتعرض الصخور المتكشفة على السطح، وخاصةً في حال غياب الغطاء النباتي، الى التخريب، ليس فقط بفعل قوة الرياح، وإنما أيضاً بما تحمله هذه الرياح من رمال ومواد حطامية ناعمة، حيث تقوم هذه المواد إلى ضرب الصخور المتكشفة على السطح بشكلٍ متكرر، مما يؤدي إلى تخريب، وقلع الأجزاء الأكثر طرواةً من الصخور، وتشكيل مكانها، حفر مختلفة الأشكال، و ميازيب، وأخاديد. وتدعى هذه العملية الحت، أو التآكل الريحي.

تظهر آثار الحت الريحي على الصخور بأشكالٍ مختلفة، فيمكنها أن توسع الشقوق، التي كانت قد تشكلت سابقاً، بفعل التجوية، وأن تؤدي إلى تشكل أشكال تضاريسية

متنوعة (الشكل12- 2)، ويعد وجود كتل صخرية معزولة، وغريبة الأشكال من ميزات الحت الريحي



الشكل(12–2). صورتان فوتوغرافيتان تظهران أثر الحت الريحي، في الصخور الكلسية(في الأعلى)، وفي الصخور الرملية(في الأسفل) .

يترافق الحت الريحي عادةً ، بنفخ ونقل نواتج حت الصخور الأصلية، وهو ما يدعى بالتذرية الريحية. تتعلق سرعة التذرية الريحية بقوة الرياح، وبصفات توضع، ومقاومة الصخور. تؤدي عملية الحت والتذرية الريحيان في المناطق السهلية إلى إزالة الطبقة الرقيقة السطحية، ويمكن أن تؤدي في الأماكن الجافة إلى إزالة الطبقة الملحية من السبخات، ويمكن لهذه العملية أن تؤدي في الوهاد بين الجبلية بنتيجة حت وتذرية الطبقات المتكشفة الأكثر طراوة بسرعة أكبر من الطبقات الأكثر مقاومة، إلى تكوين أشكال مختلفة الأعماق.

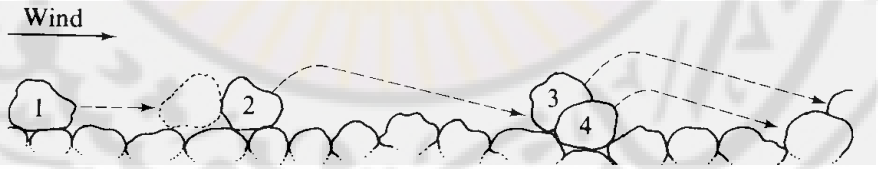
تؤدي التذرية الريحية، أحياناً، عدا إزالة المستويات السطحية، إلى تشكيل أخاديد على شكل طرق، وتحدث هذه العملية بشكلٍ خاص في الصخور الهشة، غير المتراصة، ويمكن أن يصل عمق هذه الأخاديد إلى ستة أمتار، وتصل أحياناً إلى 30م. يسمى هذا النوع من التذرية التذرية الخطية.

12-3-2- النقل الريحي:

تنقل الرياح المواد الحطامية الصغيرة الناجمة عن الحت والتعرية، على شكل مواد معلقة، بينما بينما تقوم بجر وسحب الحصى الكبيرة على سطح الأرض، وتكون مقاييس معظم المواد الحطامية التي تنقلها الرياح عادة أقل من 1ملم.

يمكن للرياح أن تنقل المواد الدقيقة ، كالغبار إلى مسافات بعيدة جداً، يمكن أن تصل إلى أكثر من ألفي كيلومتر، وتتعلق مقاييس الحبيبات التي يمكن للرياح أن تنقلها بسرعة هذه الرياح، فيمكن للرياح التي تبلغ سرعتها 6.5كم/ث أن تنقل بسهولة الحبيبات التي تصل مقاييسها إلى 0.25ملم، بينما يمكن للرياح ذات السرعة 20م/ثا أن تنقل بسهولة الحصى التي تبلغ أقطارها 4ملم/ثا.

يمكن للرياح أن تنقل الغبار إلى مسافة آلاف الكيلومترات، كما يمكنها أن تنقل المواد الحطامية ذات المقاييس 0.5- 2ملم مئات الكيلومترات، ويمثل الشكل 12-3 آلية حركة الحبات الرملية التي تسحبها الرياح على السطح، فحبة الرمل رقم 1 تتدحرج على السطح ، وتضرب الحبة رقم 2، التي تقفز إلى الأعلى وتضرب الحبتين 3و 4، اللتان تقفزان بدورهما وتضربان حبات جديدة..الخ.



الشكل(12-3). آلية نقل الرياح للحبات الرملية على سطح الأرض.

تتدحرج الحبة1، وتضرب الحبة2، لتعطيها طاقة تجعلها تقفز وهي تتدحرج لتضرب الحبتين 3و4، وهكذا.

12-3-3- الترسيب الريحي:

تبدأ المواد الحطامية التي تحملها الرياح بالتوضع، عندما تضعف قدرة هذه الرياح على حملها، مشكلةً توضعات رملية- طينية تدعى التوضعات الريحية.

تزداد نسبة التوضعات الريحية بشكلٍ خاص في المناطق ذات المناخ الجاف، ذات التذبذبات الحرارية اليومية، والموسمية الحادة.

تتميز الرسوبيات الريحية عادةً بأنها أفضل تصنيفاً إلى حدٍ بعيد من الرسوبيات النهرية، ويعود ذلك إلى أنه يمكن للرياح أن ترفع الحبيبات من مقاييس الرمال عدة أقدام فقط فوق سطح الأرض، بينما يمكنها أن ترفع الغبار الآف الأقدام

تدعى الأماكن القاحلة، التي تفوق فيها كمية التبخر من السطح المكشوف، نسبة تساقط الأمطار المناطق الصحراوية، ويمكن لهذه المناطق بالعلاقة مع شكل التضاريس، أن تكون مناطق سهلية، أو جبلية.

12-3-2- الصحاري:

يميز وفقاً للعمليات المسيطرة، والتوضعات الريحية، بين كلٍ من الصحاري الحجرية، وهي تتشكل عندما تسيطر التذرية الريحية، والصحارية الرملية، والطينية، وذات الترب الصفراء، عندما يسطر الترسيب الريحي.

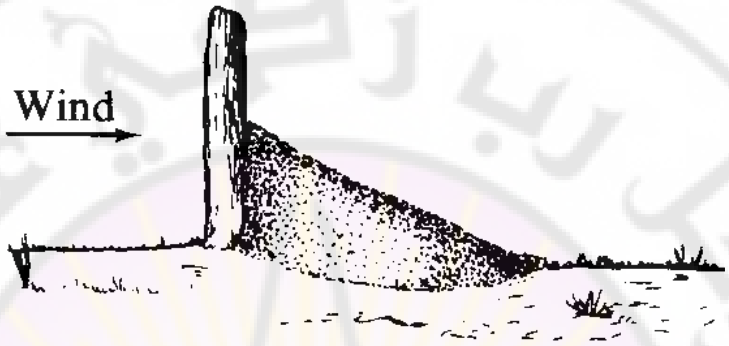
تشغل الصحاري مساحات واسعة جداً من الأراضي اليابسة في الكرة الأرضية، فتشكل هذه الصحاري في القارة الآسيوية ما يعادل 5.4% من مساحة هذه القارة، بينما تصل نسبة الأراضي الصحراوية في إفريقيا إلى حوالي 21.6% من مساحة القارة.

12-3-2-1 الصحاري الرملية:

تعد الصحاري الرملية أكثر أنواع الصحاري انتشاراً، وهي تتميز بوجود أشكالٍ تضاريسية خاصة، من أهمها:

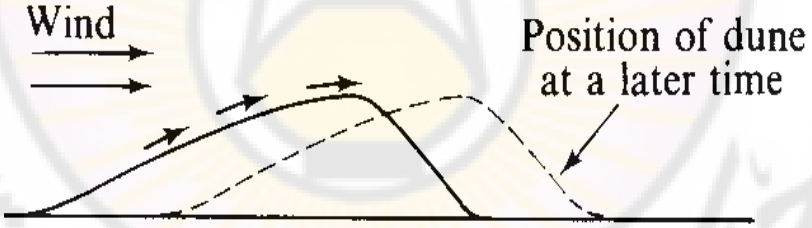
– الكثبان الرملية(Dune): تمثل الكثبان الرملية تراكمات طبيعية من التلال الرملية، التي تبنيها الرياح، وهي ذات أشكال متطاولة، وذرى دائرية، يمكن أن يصل ارتفاعها، كما في الصحراء الكبرى إلى 500م.

تتشكل معظم الكثبان الرملية نتيجة لوجود حواجز، أو عقبات طبيعية تعترض طريق الرياح، فتتراكم الرمال في الجانب المحمي من هذه العقبات(الشكل12-4)



الشكل(12-4). تراكم الرمال وبداية تشكل كثيب رملي بسبب وجود حاجز طبيعي.

إذا لم تثبت الرمال في الكثبان بحاجز طبيعي ثابت، كالنباتات، فإنها تنتقل عبر الصحراء ببطء، حيث تنقل الرياح الحبات الرملية المفردة على سطح الكثيب، إلى أن تسقط من أعلى الجانب الأشد انحداراً(الشكل 12-5).



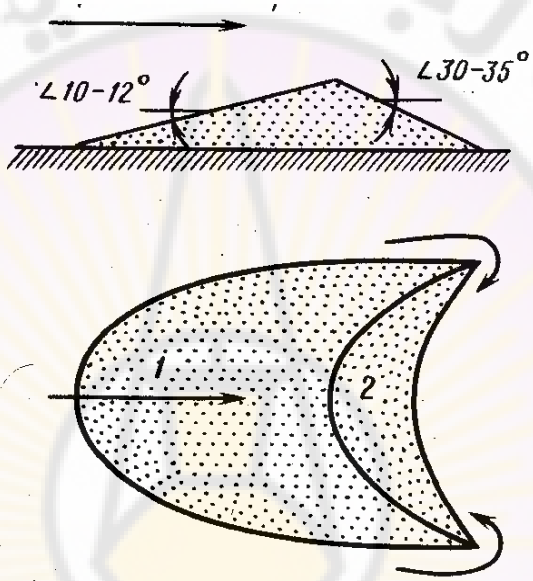
الشكل(12-5). حركة الحبات الرملية، التي تؤدي في النهاية إلى انتقال الكثيب الرملي.

يميز بين عدة أنواع من الكثبان، واسعة الانتشار، وهي:

1– الكثبان الرملية الهلالية(Barchan dunes): وهي عبارة عن تلال رملية غير متناظرة، هلالية الشكل(الشكل12-6)، تتشكل عندسيطرة اتجاه ريحي واحد، ويكون الوجه المقابل للرياح ذو ميل لطيف نبيا، بينما يكون الوجه الآخر أكثر ميلاً.

تتواج الكثبان الهلالية في الصحاري الرملية عادةً على شكل سلاسل، مكونة من مئات الكثيبات المتشابهة، وتتعامد أطوال تلك السلاسل مع اتجاه الرياح السائدة، ويمكن أن تصل إلى أكثر من 20كم، بعرض 1كم، وتفصلها مسافات من 1.5 إلى 2كم.

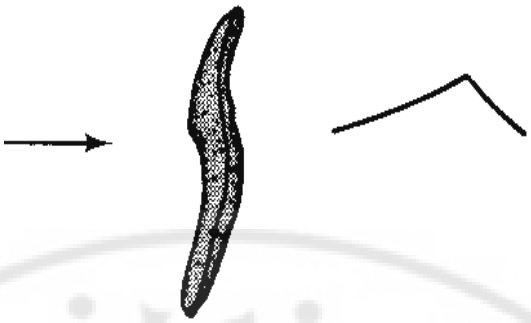
يمكن أن يصل إرتفاع الكثيب الهلالي إلى 30- 140م، وطوله إلى 300م.



الشكل(12–6). كثيب رملي هلالي(Barchan).

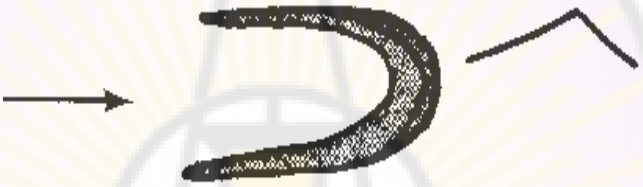
1– الوجه المقابل للريح. 2– الوجه البعيد.(أو المحمي). يشير السهم إلى اتجاه الريح.

2– الكثبان المستعرضة(**Transverse dunes**): وهي كثبان يشبه مقطعها العرضي مقطع الكثبان الهلالية، إلا أنها ليست منحنية، وتتطاول بشكل متعامد مع اتجاه الرياح السائدة، وتتشكل في الصحاري التي تتميز برياحٍ قوية، وبوفرة رمال كبيرة(الشكل12-7).



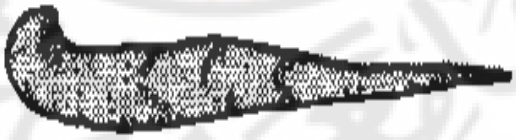
الشكل(12–7). كثيب مستعرض(يشير السهم إلى اتجاه الريح).

3– الكثبان الإهليلجية(Parabolic dunes): وهي كثبان تتشكل في الصحاري ذات الرياح المعتدلة، والتي يتوفر فيها بعض النباتات، وهي تدعى بسبب انحنائها الشديد كثبان دوس الشعر(Hairpin)، وهي شائعة في الصحاري الشاطئية، ويمكن أن يصل ارتفاع الكثيب إلى 30م(الشكل 12–8).



الشكل(12–8). كثيب هلالي(يشير السهم إلى اتجاه الرياح السائدة).

4– الكثبان المتطاولة(Longitudinal dunes): وهي تتكون في الصحاري ذات الرياح المتقلبة، والتي لا يتوفر فيها إلا كمياتٍ قليلة من الرمال. يقدر معدل ارتفاع هذه الكثبان بحوالي 3م، لكنه يمكن أن يصل إلى 90م، وطولها بحوالي 60م، ولكنه يمكن أن يصل إلى 100كم(الشكل12–9).



الشكل(12–9). كثيب متطاول.

يمكن للكثبان أيضاً أن تأخذ أشكالاً متعددة، غير تلك الموجودة في التصانيف الشائعة، والمذكورة أعلاه، وذلك كما في كثبان منطقة الوادي الامبراطوري(Imperial valley) في كاليفورنيا(**الشكل12–10**).

الشكل(12–10). صورة جوية للشكل المعقد للكثبان في الوادي الإمبراطوري في كاليفورنيا.

12–3–2–2– الصحاري الطينية:

تتميز هذه الصحاري بوجود قشرة من المواد الحطامية ذات المقاييس الطينية، والغرينية، وتشكل عند تشققها سطحاً يتكون من الصفائح الطينية، متعددة الزوايا، والتي يمكن أن تصل مقاييسها الطولية إلى 7–12ملم.

ينسب أيضاً إلى الصحاري الطينية الصحاري السبخية، أو الصحاري المالحة، والتي تتشكل في أماكن البحيرات المالحة، وتغطيها طبقات طينية، وملحية مفككة.

12–3–2–3– صحاري الترب الصفراء(Loess desert):

تتغطى هذه الصحاري بأنعم الحبيبات الحطامية التي تجلبها الرياح(الغبار)، والتي تتراوح مقاييسها غالباً بين 0.01 و 0.05ملم، وتؤدي إلى تشكل صخور مفككة، ذات مسامية عالية تدعى اللوس. يتغطى سطح هذه النوع من الصحاري عادةً بشبكة كثيفة من الأخاديد، والمسيلات الضيقة المكونة من تساقط مياه الأمطار,

يشكل اللوس طبقة سميكة من التوضعات، غير المصنفة، بسبب تكونها من حبيبات متجانسة إلى حدٍ بعيد، وهي غالباً من مقاييس الغرين(**الشكل 12–11**)

الشكل(12–11). صورة لتوضعات اللوس بالقرب من Vicksburg, Mississippi، نلاحظ فيها اختلافاً بين طبقتي اللوس العليا، والسفلى(على الرغم من أته يمكن للوس أن يقف على شكل جرف قائم، إلا أنه من السهل تخريبه بالمياه الجارية).

الفصل الثالث العاشر

الفعل الجيولوجي للمياه الجارية السطحية

13-1- مقدمة:

تساهم المياه الجارية السطحية بجملة الأعمال الجيولوجية المتمثلة بالحت، والنقل، والترسيب، وينسب إليها المسيلات السطحية، التي تتحرك على سطح الأرض تحت تأثير قوى الثقالة، متخذة أشكال جداول، أو أودية، أو أنهار.

يؤدي هطول الأمطار من الغلاف الجوي، والتي تقدر كميتها السنوية بما يقارب 110.000كم^3/سنة إلى تشكل شبكات متفرقة من المياه، التي ما تلبث أن تلتقي مع بعضها لتتمركز في قنوات صغيرة، يمكنها أن تجتمع مع بعضها في مجاري مائية كبيرة لتشكل أودية، وأنهار.

يقدر نصيب الأنهار والبحيرات الوسطي، من الهاطل المطري السنوي بحوالي 35.000كم^3/سنوياً، أي ما يقارب 32% من هذا الهاطل، حيث تصرف النسبة الباقية على البخر، وترطيب التربة، وإذا أخذنا بعين الاعتبار حجم الأنهار والبحيرات، فإننا نجد أن مياه الأنهار يمكن أن تتجدد بكاملها كل حوالي اثني عشر يوماً.

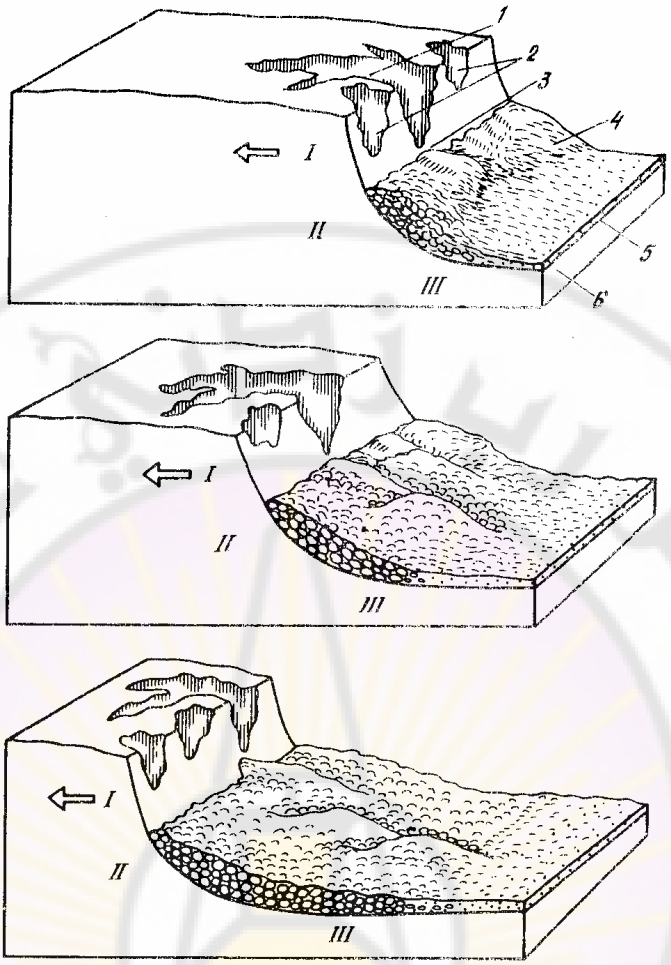
13-2- الغسل المساحي:

يمكن أن تتشكل عند هطول الأمطار طبقة مائية متصلة على شكل غشاء، لا تلبث أن تتجمع على شكل مسيلات، مشكلةً تيارات مائية مؤقتة، ذات طاقة حركية كبيرة. يقود

الفعل التخريبي لهذه المسيلات إلى إذابة بعض الفلزات، وجرف ونقل بعض المواد الحطامية ضعيفة التماسك، مشكلةً ما يسمى بمنطقة، أو ساحة الغسل. تتعلق شدة الغسل المساحي بسرعة التيارات المائية، التي تتعلق بدورها بشدة انحدار السطح، حيث تزداد القدرة الحتية للمياه مع ازدياد انحدار السطح، ويمكن أن تؤدي في الحيود الشديدة إلى انهيات صخرية، وجرف للتربة، حيث تنتقل المواد الناجمة عن الحت نحو قاعدة المنحدر مشكلةً رواسب منحدرات، وسفوحاً حطامية.

تتصف القوة الحتية للمياه خلال عملية الغسل المساحي بأنها مؤقتة، حيث تظهر فقط أثناء هطول الأمطار، وفي زمن ذوبان الثلوج، وبأن انتقال المواد الحطامية خلال هذه العملية يتم إلى مسافات صغيرة نسبياً، لذلك تتميز رواسب المنحدرات الناجمة عن هذه العملية بأنها ضعيفة الصقل، والتماسك، والفرز، وتتكون عادة من مواد حطامية زاوية، ذات قياسات، وأشكال مختلفة، يمكن تمييزها بسهولة عن التوضعات الريحية، ذات الصقل والتصنيف الجيدين.تتأثر سرعة الحت المائي المساحي أيضاً بنوعية الصخور المتكشفة على السطح، ودرجة تماسكها، وصلابتها، فالصخور الهشة يمكن حتها بسرعة كبيرة بالمقارنة مع الصخور المتماسكة، وذات المقاومة الكبيرة.

يؤدي تتابع عمليات الغسل المساحي إلى تخريب المنحدر وتراجعه باتجاه القمة، مما يؤدي إزدياد تدريجي في المساحة التي تشغلها قاعدة، وحطاميات السفوح، وتراجع تدريجي للقمة، التي تحل مكانها سفوح حطامية، تتراجع بدورها تدريجياً لتتحول بشكلٍ منسجم إلى القاعدة (الشكل13- 1).



الشكل(13– 1).مخطط يوضح تخرب أحد الحيود الطبيعية بواسطة المياه الجارية السطحية

1 –مسيل. 2– صخور وترب منهارة. 3– جلاميد. 5– رسوبيات. 6– الصخور الأصلية.

(يشير السهم إلى اتجاه الحت التقهقري)

13–3– الأنهار:

تتشكل بالإضافة إلى التيارات المائية المؤقتة، تيارات مائية دائمة، تتركز في مجاري محددة، ضيقة، تدعى الأنهار، يمكن أن يمتد بعضها الآف الكيلومترات.

تؤدي الأنهار دوراً عظيماً في تخريب الصخور، ونقل منتجات التخريب، وترسيبها في أحواض الترسيب.

لابد من أجل وجود النهر من توفر شرطين أساسيين، هما توفر مصدر تغذية، ووجود تضاريس مناسبة تسمح بحركة الكتل المائية.

تتكون مصادر تغذية الأنهار من ثلاثة أنواع:

1- تغذية سطحية، من تجمع المياه السطحية الناتجة عن هطول الأمطار، وتعد من أهم مصادر تغذية الأنهار.

2- الجليديات، وتستفيد منها الأنهار ذات العلاقة بالألسنة الجليدية، وتتأثر كمياتها بتذبذبات الحرارة السنوية الوسطية.

3- تغذية جوفية، ويختلف مقدارها من منطقة إلى أخرى، وتتعلق أيضاً بتضاريس، ونوعية صخور المناطق التي تجري فيها الأنهار.

تقسم الأنهار وفقاً لمصادر تغذيتها إلى مجموعتين:

1- أنهار مصادر تغذيتها ذوبان الثلوج في الربيع، بمشاركة الأمطار، وينسب إليها مجموعة كبيرة من الأنهار السهلية.

2- أنهار تعتمد بشكلٍ رئيس في تغذيتها على الأمطار، وذلك كنهري النيل، والأمازون.

تشارك المياه الجوفية في تغي الأنهار التابعة لكلٍ من هاتين المجموعتين.

13-3-1 الحوض المائي للنهر:

تدعى مجموعة الأخاديد، أو القنوات، مهما كانت مقاييسها، والتي تصب في نظام مائي واحد، يتم ضمن حدوده جمع السيول السطحية، بساحة جمع النهر، أو الحوض المائي للنهر.

يمكـن أن تصـل مسـاحة الأحـواض النهريـة إلى ملايـين الكيلـومترات المربعـة، فتقـدر مساحة حوض نهر الأمازون على سبيل المثال بحوالي 705000كم^2، والمسيسيبي بحوالي 3248000كم^2، والنيل 2800000كم^2.

تدعى الحدود الطبيعية بين الأنهار، والتي تتكون من مرتفعات تضاريسية، اعتباراً من السلاسل قليلة الارتفاع، وحتى الجبال العملاقة، بخطوط تقسيم المياه.

يتأثر شكل الحوض النهري بشكلٍ رئيس بشكل تضاريس سطح الأرض ، فهو يأخذ شكل متطاول في المناطق الجبلية، بينما يؤدي الشكل المعقد للمسيلات، ووجود الأعداد الكبيرة من الروافد إلى تشكل حوض نهري ذو أبعاد منسجمة تقريباً(إيزومتري).

يمكن للحوض النهري أن يكون مفتوحاً باتجاه البحر، ويمكنه أن يكون مغلقاً، وفي هذه الحالـة الأخـيرة فإنـه يقـوم بتغذيـة البحـيرات الواقعـة ضـمن حـدوده، في أكثـر الأمـاكن انخفاضاً.

13-3-2- أقسام النهر:

يميز في النهر عـادةً ضمن حوضه بين كلٍ من المنبع، وهو يمثل المكـان الـرئيس لتغذية النهر بالمياه، والمجرى، والمصب، الذي يمثل نهاية رحلة النهر ومكان تفريغ مياهه.

يكـون للمجـرى المـائي عـادةً شـكل معقـد تحـدده التغيرات في انحـدار السـطح، ويقـيم شكل مجرى النهر عادةً من خلال ما يسمى بمعامل التعرج، أو الانعطاف K، وهو يمثل العلاقة بين طول النهر L(بحساب جميع التعرجات)، وأقصر مسافة بين المنبع والمصب l: .K=L/l

13-3-2- المستوى العلوي للنهر:

يعـى أعلـى مسـتوى يصـله النهـر(في مرحلـة ذوبان الثلـوج) بالمسـتوى العلـوي للنهـر، وتدعى المرحلة التي يتم فيها ارتفاع مستوى الماء في النهر بمرحلة الفيضان.

يمكن أن ترتفع المياه في الأنهار أثناء مرحلة الفيضان أكثر من مترين، وقد يرتفع مستوى المياه في الأنهار الضخمة 15- 20م، فتتجاوز المياه ضفاف النهر، لتغمر مساحات يمكن أن تمتد عشرات الكيلومترات على جانبي النهر.

13-4- الفعل الجيولوجي للأنهار:

تقوم المياه أثناء جريانها بأعمال الحت، والنقل، والترسيب. ويحدد تاريخ تطور النهر شدة كل من هذه الأعمال، وزمن ظهورها.

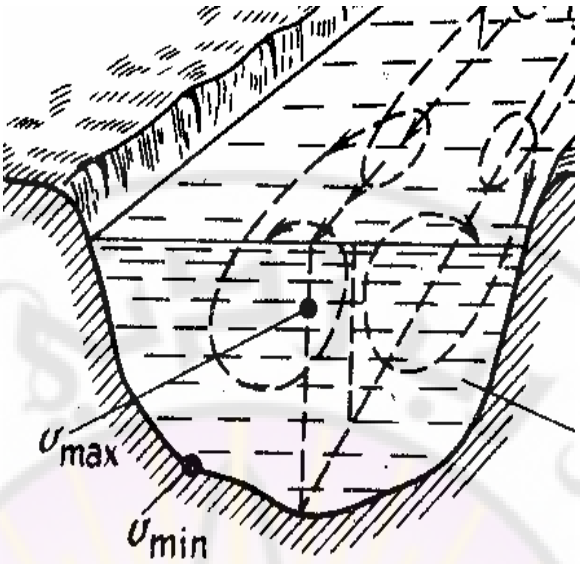
13-4-1- الحت النهري:

تبدأ الأنهار عملها الحتي منذ لحظات ولادتها الأولى، وتحاول إزالة كل أنواع الحواجز التي تعترض طريقها، كالجروف الصخرية، أو النتوءات، وهي تنجز أثناء جريانها فوق الأنواع المختلفة من الصخور أعمالاً حتية ميكانيكية هامة، بينما يكون عملها الكيميائي صغيراً بالمقارنة مع فعلها الميكانيكي ، وتتعلق القدرة الحتية للأنهار بشكلٍ عام بالعوامل التالية:

1- الطاقة الحركية للمياه الجارية في النهر: وهي تتأثر بكلٍ من كمية المياه في النهر، وبسرعة الجريان، وفقاً للعلاقة التالية:

$$E = mv^2 / 2$$

فكلما كانت سرعة، وكمية المياه الجارية في النهر أكبر، كانت قدرته أكبر على حمل المواد الحطامية، وبالتالي كلما ازدادت قدرته الحتية، وقد بينت بعض الدراسات أنه عندما تزداد سرعة المياه الجارية إلى الضعف، فإن طاقة النهر الحتية تزداد بمقدار 64 مرة، لكن سرعة جريان المياه تختلف من نقطة إلى أخرى في مقطعه العرضي الحي، وهي تتعلق بصفات مجرى النهر، وبانحداره العام، وبكمية المياه فيه، وتكون أقصى سرعة فوق أعمق جزء من المقطع العرضي الحي للنهر، على عمق يعادل 1\3 من العمق الأعظمي(الشكل13-2)، أما أقل سرعة فتكون في أضحل جزء من المقطع العرضي الحي للنهر، في الجزء الملامس للقعر، حيث تتأثر سرعة الجريان بالاحتكاك بين المياه الجارية، وقعر النهر.



الشكل(13– 2). مخطط يوضح سرعة الجريان العظمى، والصغرى، في المقطع العرضي الحي للنهر.

2– كمية ونوعية المواد الحطامية التي تحملها: تزداد القدرة الحتية للنهر كلما كانت كمية المواد التي يحملها أكبر، وكلما كانت هذه المواد أكثر صلابةً، حيث تصطدم هذه المواد أثناء حركتها بقعر المجرى المائي، وبجوانبه، مؤدية إلى تشكل تحززات، وأخاديد، وحفر، ووجود مواد فتاتية جديدة، كما تحتك هذه المواد أثناء حركتها ببعضها البعض، مما يؤدي إلى سحجها، وتفتيتها إلى حبيبات أصغر.

يمكن للمواد الحطامية الصلبة أن تساهم بشكلٍ فعال في تعميق مجرى النهر، حيث تقوم نتيجةً لحركتها الدورانية، التي تتأثر بالحركات الاضطرابية للمياه، بحفر فجوات في قاع المجرى المائي، تسمى الحفر الوعائية، يمكن لهذه الحفر أن تكبر ، وتتصل ببعضها البعض، مما يؤدي إلى تعميق المجرى.

3- ميل المجرى المائي: يؤدي هذا العامل دوره من خلال تأثيره على سرعة حركة المياه، فكلما اشتد الميل ازداد الفارق بين منسوب مصدر المياه، ومنطقة المصب، وبالتالي ازدادت سرعة المياه، وقدرتها الحركية.

4- الإذابة: يمكن لمياه الأنهار أن تحل بعض العناصر الموجودة في الصخور، مما يؤدي إلى اضعاف الروابط بين مكونات هذه الصخور، وجعلها أقل قدرةً على مقاومة عوامل الحت الميكانيكي، كما يمكن لهذه المياه بفضل ما تحتويه من غازات، ومواد منحلة أن تذيب بعض أنواع الصخور، كالصخور الكربوناتية، لذلك تكون الأودية النهرية، التي تمر في المناطق التي تسيطر فيها الصخور الكربوناتية أضخم من تلك التي تمر فوق الصخور الاندفاعية.

يميز عادة في العمل الحتي للأنهار بين كلٍ من الحت الرأسي، والحت الجانبي.

13-4-1-1 الحت الرأسي، وبروفيل التوازن:

تضعف شدة الحت الشاقولي للنهر عادةً، كلما اقترب النهر من المستوى الذي يحدد الميل العام للمجرى، أي من مستوى الحوض الذي يصب فيه، ويعد هذا المستوى حاجزاً طبيعياً لتعمق النهر، ويدعى قاعدة الحت، وهي تعبر عن أدنى مستوى يمكن أن تصل إليه عملية الحت الرأسي، فإذا كان النهر يصب في البحر، فإن قاعدة الحت ستنطبق على مستوى مياه سطح البحر، وإذا كان النهر يصب في بحيرة، أو في نهرٍ آخر، فإن قاعدة الحت ستنطبق على مستوى المياه في تلك البحيرة، أو ذلك النهر. يعكس تغير ارتفاع النهر على طول مجراه، بالنسبة لقاعدة الحت، الميل العام للسطح، وإن هذا التغير يتأثر بصفات البنية الجيولوجية للمنطقة التي يجري فوقها النهر، وتطلق تسمية المقطع الطولي للنهر على القوس الذي يمثل تغير ارتفاع قعر النهر.

تتحكم مجموعة من العوامل بشكل المقطع الطولي للنهر، وذلك كشكل التضاريس الأولية لسطح الأرض اعتباراً من المنبع، وحتى المصب، والاختلاف في ارتفاع المنبع،

والمصب، وعدد الروافد النهرية، وأماكن التقائها مع النهر، ومقاومة الصخور التي يمر فوقها. تقود الروافد النهرية على سبيل المثال إلى زيادة كمية المياه في النهر، وبالتالي زيادة قدرته الحتية، كما أن القدرة الحتية في الصخور المفككة كالرمال والغضار أكبر منها في الصخور المتماسكة كالدولوميت والأحجار الرملية الصلبة، وتؤدي هذه العوامل بدورها إلى اختلاف في شدة العمل الحتي للنهر على طول مجراه، وإلى وجود أشكال مختلفة في قعر النهر كالحفر، والشلالات المائية.

يدعى خط النهر على طول كل المسافة، التي يصلها عند حصول التوازن بين القدرة الحتية للنهر، ومقاومة الصخور المقطع الطولي التوازني للنهر، وتتميز عملياً الأنهار، التي وصلت إلى مرحلة التوازن، بغياب عمليات حت القعر على طول المجرى النهري.

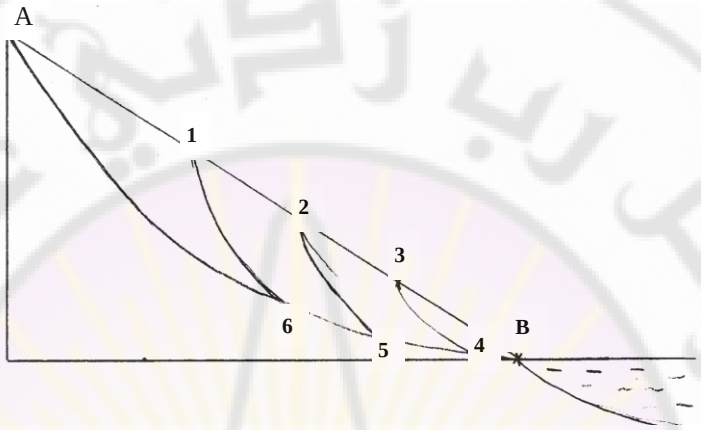
يلزم لوصل النهر إلى المقط الطولي الاتزاني(أو التوازني) أن تكون الصخور التي يمر فوقها متجانسة، وبما أن هذا الشرط صعب التحقيق في الطبيعة، بسبب اختلاف مقاومات صخور مجرى النهر، فإن المقط الطولي الاتزاني لا يتحقق عادةً في كل مجرى النهر، وإنما في أجزاء مستقلة منه.

13-4-1-2-الحت التقهقري:

تزداد كمية المياه في النهر اعتباراً من المنبع باتجاه المصب، وذلك بسبب تزايد عدد الروافد التي تصب فيه، وبالتالي فإن القدرة الحتية للنهر ستزداد بنفس الإتجاه، وهو ما يؤدي إلى اتجاه الحت النهري من سافلة النهر نحو عاليته، وهو ما يدعى بالحت التقهقري.

يوضح الشكل(13- 3)، عملية الحت التقهقري، فإذا كانت تضاريس اليابسة تنطبق في لحظة ولادة النهر على الخط AB، وإذا كانت النقطة B تمثل المصب، وإن النقاط 1، 2، 3 تمثل مصبات روافد مختلفة في النهر، فإن القدرة الحتية للنهر ستكون في النقطة 3 أكبر منها في 2، وفي 2 أكبر منها في 1، وبالتالي فإن أكبر قوة للحت ستكون في

الجزء 3-B، وستبدأ المياه بحفر القاع وتعميق المجرى في هذا الجزء أكثر من غيره، ليتحقق بروفيل التوازن فيه أولاً(3-4)، ثم يتحقق في الجزء الذي يليه باتجاه الأعلى(2-5)، وتستمر هذه العملية حتى يتحقق بروفيل التوازن A-6-5-4- B، وتؤدي إلى وجود جزء علوي من النهر شديد الانحدار، وجزء سفلي ذي ميل ضعيف قريب من الأفقي.



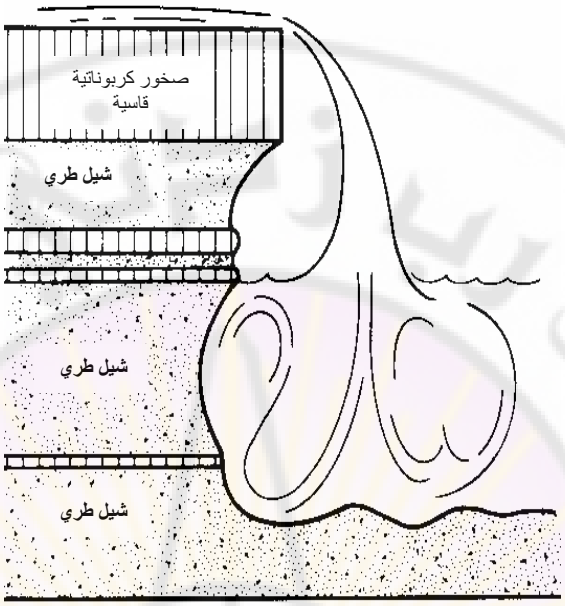
الشكل(13- 3). مخطط توضيحي لعملية الحت النهري التقهقري.

13-4-1-3- العتبات والشلالات النهرية:

يكون العمل الحتي للأنهار في الصخر الطرية أكبر منه في الصخور القاسية، وإذا تناوب في مجرى النهر هذين النوعين من الصخور، فإن سرعة الحت الأكبر نسبياً في الصخور الطرية ستؤدي إلى نوع من التدرجات في مجرى النهر تسمى العتبات النهرية.

تتشكل الشلالات المائية عندما ترتكز طبقات صخرية قاسية، وذات ميول ضعيفة جداً، في مجرى النهر، على صخور طرية تتآكل بسرعة، وذلك كشلالات المزيريب، وشلالات فكتوريا في إفريقيا، التي تسقط فيها المياه من ارتفاع 120م، وشلالات نيغارا (الشكل13- 4)، التي تقع في المنطقة الحدودية بين الولايات المتحدة الإمريكية، وكندا، والذي تسقط فيه المياه من ارتفاع 914م.

يتشكل بالإضافة إلى العتبات، والشلالات في الأنهار أشكال بينية، تدعى المنحدرات المائية، لا تسقط فيها المياه رأسياً كما في الشلالات، وإنما على قعر شديد الانحدار.



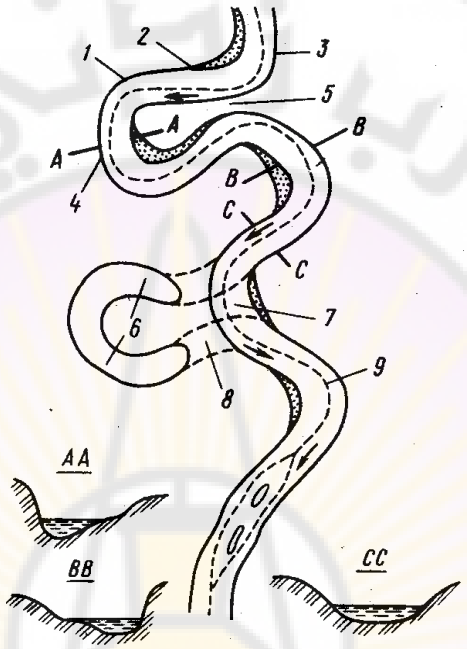
الشكل(13–4). مقطع طولي في شلالات نيغارا، يظهر تأثير العمل الحتي، خاصةً في الصخور الطرية.

13–4–1–4– الحت الجانبي:

على الرغم من أن الحت الرأسي والجانبي يعملان في نفس الوقت، إلا أن الحت الرأسي يكون هو المسيطر في معظم مراحل عمر النهر، و يبدأ دور الحت الجانبي بالازدياد مع الاقتراب من مرحلة الاتزان النهري.

تندفع المياه الجارية بسرعة نحو الضفاف المقعرة، وتقوم بحتها بسرعة، وخاصة في الأجزاء السفلية منها، مما يؤدي في النهاية إلى إنهيار الأجزاء العلوية، وازدياد تقوس النهر، وتشكل ضفة مقعرة شديدة الميل، بينما تترسب المواد الحطامية التي تجلبها معها في

الضفة المحدبة المقابلة، حيث تكون سرعة المياه أقل نسبياً، لتشكل ضفة نهرية قليلة الانحدار(الشكل13- 5). تتابع المياه بعد ذلك سيرها لترتطم من جديد بقوة بالضفة المقعرة التالية، وتتكرر العملية السابقة، وبالتالي يؤدي الحت الجانبي إلى توسيع مجرى النهر، وانتقاله نحو الضفاف المقعرة تارة إلى اليمين، وتارةً أخرى إلى اليسار.



الشكل(13– 5).مخطط تشكل البحيرات الهلالية(Meanders)، والسرير النهري القديم( ).1– ضفة مرتفعة. 2– منطقة ضحلة. 3– ضفة منخفضة. 4– أعمق مكان. 5– ضفتين متقاربتين. 6– مجرى قديم. 7– مكان اختراق منطقة الانعطاف. 8– رسوبيات المجرى القديم. AA,BB,CC= مقاطع عرضية في أماكن مختلفة من النهر تظهر الاختلاف في ميل جانبي النهر بين الجهتين المحدبة، والمقعرة.

13-5- السهل اللحقي:

تـتراكم التوضـعات الحطاميـة، الناتجـة عـن الحـت النهـري في الجهـة المحدبـة مـن النهـر، لتشكل نطاقاً من الرسوبيات التي تسمى الرسوبيات اللحقية النهرية. يغذى الترسيب في السهل اللحقي بواسطة المجرى المائي نفسه، ويتسع نطاق اللحقيات أثناء الفيضانات، لتتشكل سهول لحقية يمكن أن يصل عرضها إلى أكثر من 10كم.

13-6- البحيرات الهلالية:

يتوسع مجرى النهر في الجهة المقعرة من المنعطفات، بينما يضيق تدريجياً في الجهة المقابلة، وتزداد القوة الحتية للنهر أثناء الفيضانات، مما يساعده على حفر مجرى جديد يختصر فيه المسافت الكبيرة التي يحتاجها في مروره في التعرجات القديمة، فتتحول المنعطفات النهرية القديمة بعد أن تعزلها الرسوبيات اللحقية عن المجرى الجديد للنهر إلى تجمعات مائية هلالية الشكل، تدعى البحيرات الهلالية، الشكل(13- 5).

13-7- الأسر/ أو الاقتناص النهري(River Capture):

يمكن أن تكون الطاقة الحتية في أحد نهرين متجاورين أكبر من الطاقة الحتية في النهر الآخر، وبالتالي فإن سرعة تعميق المجرى ستكون فيه أيضاً أسرع، وهو يوسع حوضه المائي ليستولي على مياه النهر الآخر، أو أحد روافده. تدعى هذه العملية الأسر النهري، ويطلق على المجاري المائية المهجورة بالوديان الميتة، أو المبتورة، وتكون عادةً مغطاة بالرسوبيات النهرية، التي تدل على أصلها.

13-8- القسر/ أو الاقتحام النهري(Superimposed stream):

كثيراً ما يصادف النهر في طريقه، وأثناء تعميقه لمجراه كتلاً صخرية قاسية، يجد نفسه مضطراً لاختراقها كي يتمكن من متابعة طريقه، فمسار النهر قد فرض عليه المرور عبر هذه الكتل قسراً، لذلك فإن هذه العملية تدعى القسر النهري. يكون النهر عادةً في منطقة القسر النهري ضيقاً بالمقارنة مع بقية أجزائه.

13-9- حادثة السبق النهري(Antecedent stream):

يمكن لحادثة تكتونية ما أن تؤدي إلى نهوض بطيء لأحد أجزاء مجرى النهر، فإذا ما كانت قدرة النهر على الحفر قوية فإنه سيستمر في طريقه دون أن يضطر لتغيير مجراه، وبما أن النهر قد سبق بوجوده الحادثة التكتونية، فإنه يطلق على هذه الحادثة تسمية السبق النهري(وهي تعد حالة خاصة من حالات القسر النهري)

13-10- الدورة الحتية، ومراحل تطور المجاري المائية:

يميز أثناء تطور المجرى المائي للنهر، اعتباراً من لحظة ولادته، ، بين المراحل الثلاث التالية:

1- مرحلة الشباب:

تتميز هذه المرحلة بجريان مائي غير منتظم، وخاصةً في الأجزاء العليا من النهر، ويتميز النهر بكثرة الروافد، والفروع، والشلالات، والمنحدرات،و بحت رأسي شديد، وبكثرة عمليات الأسر النهري. يأخذ المقطع العرضي للنهر في هذه المرحلة شكل الحرفي الإنكليزي V.

2- مرحلة النضج:

يكون بروفيل النهر في هذه المرحلة قد اقترب من مرحلة الاتزان إلى حدٍ كبير، لذلك كثيراً ما تسمى هذه المرحلة بمرحلة الاتزان.

يمكن في مرحلة النضج التمييز بوضوح بين عالية النهر، حيث يغلب الحت، وسافلته، حيث يغلب الترسيب. يتطور في هذه المرحلة أيضاً الحت الجانبي، الذي يتفوق في تأثيره على الحت الرأسي. تتميز مرحلة النضج أيضاً بندرة، أو اختفاء الشلالات، كما يقل التفاوت في الارتفاع بين المنبع، والمصب، وتكثر حوادث الأسر النهري، وكذلك تشكل الجزر في مجرى النهر، ويأخذ المقطع العرضي للنهر شكل الحرف U.

3- مرحلة الشيخوخة:

يضعف في هذه المرحلة الفعل الحتي للنهر، بينما ينشط الفعل الترسيبي، وتتحول المرتفعات إلى سهول منبسطة، ويسير النهر فوق سهول لحقية من الرسوبيات، وتكثر فيه المنعطفات، لأن النهر يكون غير قادرٍ على التغلب على الحواجز التي تعترض طريقه، كما يمكن أن تتشكل في هذه المرحلة البحيرات الهلالية.

يمكن للدروة الحتية أن تتجدد، ويستعيد النهر شبابه، بسبب حركات القشرة الأرضية، التي يمكنها أن ترفع عاليته، أو تخفض منطقة المصب.

13-11- النقل النهري:

تنقل الأنهار المواد الناتجة عن الحت، والتي تنهال من السفوح التي تخترقها، وتكون المنقولات النهرية على شكلين:

1- محاليل حقيقية، كالهاليدات، والكبريتات، والكربونات، أو غروية، كالأكاسيد، والهيدروكسيدات، وتكون نسبة هذه المواد المحلولة في الأنهار السهلية أكبر منها في الأنهار الجبلية.

2- حمولة صلبة مكونة من مواد حطامية معلقة، كالحبيبات الغضارية والغرينية، ذات الأقطار الصغيرة، ومجرورة على القاع، كالرمال الكبيرة، والحصى، والكتل الصخرية. تكون الحمولة الصلبة في الأنهار التي تمر من مناطق جبلية أكبر بكثير منها في الأنهار التي تمر في مناطق سهلية.

13-12- الترسيب النهري:

يقوم النهر عندما تضعف قوته بترسيب حمولته من المواد المختلفة، وعلى الرغم من أن الجزء الأعظم من منقولات النهر تترسب في الأحواض التي تصب فيها(البحار، والبحيرات، والمحيطات)، إلا أنه يمكن لجزء من الحمولة أن يترسب في أجزاء مختلفة من مجرى النهر.

يرسب النهر أولا المواد الحطامية الكبيرة والثقيلة، التي يصبح عاجزاً عن حملها، ثم يرسب الأصغر، والأقل وزناً، فالأقل، والأقل، لذلك فإن الرسوبيات النهرية تتميز عادةً بأنها مرتبة حسب مقاييسها، وأوزانها النوعية، وتزداد درجة صقل، واستدارة المواد الحطامية كلما ابتعدنا عن المنبع باتجاه المصب.

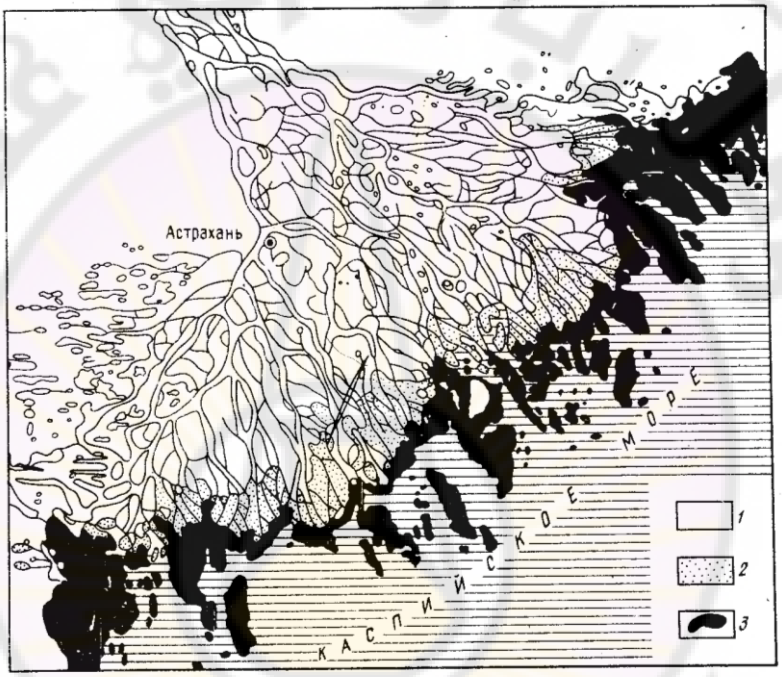
يمكن أن تصل سماكة الرسوبيات النهرية بضعة عشرات الأمتار، وهي تتميز عادةً بغلبة الرمال السيليسية، كما يمكن أن تتواجد فلزات ثقيلة، كالأمفيبول، والبيروكسين، والزركون، وقد تحتوي على بعض العناصر الثمينة كالذهب والماس، التي نتجت عن حت الصخور التي مرت بها.

13-13- الدلتات، الفوهات، الأهوار:

يتشكل في مكان التقاء النهر مع البحر، او المحيط ظروف فيزيائية- كيميائية، وحركية خاصة، تختلف عن الظروف الموجودة في البحر، أو النهر، فالتغيرات المفاجئة في سرعة الحركة تؤدي إلى ترسيب سريع للمواد الحطامية، التي يجلبها النهر، كما يؤدي اختلاط المياه البحرية المالحة مع المياه النهرية الحلوة إلى تخثر المواد المعلقة وترسيبها، إلا أنه يمكن للأمواج والتيارات البحرية أن تسحب المواد الخفيفة نحو داخل البحر. تؤدي العلاقة المتبادلة بين البحر والنهر إلى تشكل نوعين من المصبات، هما: - الدلتات: وهو جزء ينسب إلى اليابسة، انتزعه النهر من البحر، لذلك فإن الدلتا تؤدي إلى ازدياد مساحة اليابسة على حساب البحر. تغلب على الدلتا الرسوبيات اللحقية، وهي منطقة سهلة ذات انحدار ضعيف نحو البحر. تأخذ الدلتات شكل الحرف اليوناني Δ تتجه ذروته نحو النهر. يتميز كثير من الأنهار العالمية اليوم بوجود الدلتا، وذلك كنهر النيل، والمسيسيبي، والفولغا(الشكل- 7)، وغيرها.

– الفوهات: وهي أجزاء من مصبات الأنهار، تتوغل كثيراً في حدود اليابسة، على شكل خليج ضيق، وهو يتشكل بسبب انخفاض غير بعيد في القشرة الأرضية، ليصبح جزءاً من مجرى النهر تحت سطح البحر، فالمكان الذي تشغله الفوهة كان في القديم تابعاً لليابسة.

تتساوى في بعض الأحيان سرعة انخفاض القشرة في مكان المصب مع سرعة الترسيب، ويمكن في هذه الحالة للمصب أن يمتلىء بالمواد الحطامية الناعمة، ليتحول إلى جزر صغيرة ذات اتصال ضعيف مع بعضها بأحوض مائية صغيرة، وتدعى" أهوار ".



الشكل(13– 6). تطور دلتا نهر الفولغا، خلال مراحل زمنية مختلفة( ).

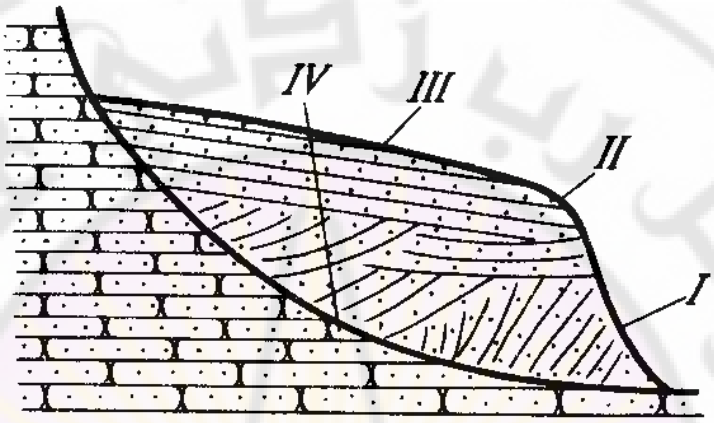
1– 1879. 2– 1927. 3– 1945م.

13–14– المصاطب النهرية(River Terraces):

تبدو المصاطب النهرية على شكل تدرجات على جانبي النهر، وهي تنشأ نتيجةً لتعاقب مراحل الحت، والترسيب، لذلك فإن كل مصطبة نهرية تعد شاهداً على مرحلة

من مراحل تطور النهر، حيث تشير إلى أن تعديلات جديدة طرأت على عناصر النهر الأساسية، كارتفاع منطقة المصب، أو انخفاض مستوى الأساس، أو ازدياد قدرته الحتية.

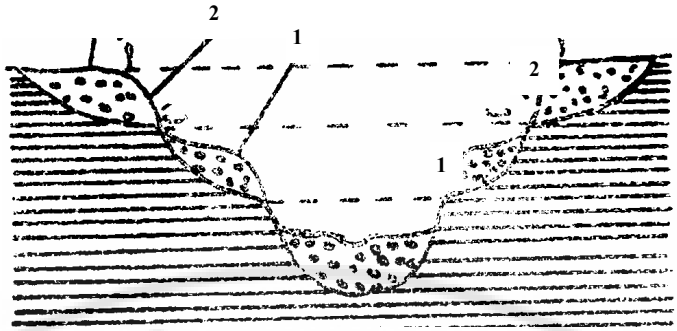
يميز في المصطبة النهرية(الشكل13- 7) بين سطح المصطبة، ويكون عادة على شكل منطقة منبسطة، تميل نحو المصب بشكل خفيف ، وبين جدار المصطبة، وبين حرف المصطبة، وهو يصل بين الجدار، والسطح.



الشكل(13– 7). مخطط يمثل مصطبة نهرية وعناصرها.

I– جدار المصطبة. II– حرف المصطبة. III– سطح المصطبة.IV– الصخور الأصلية.

يلاحظ في الانهار القديمة عادة بين مجموعة من المصاطب النهرية المتدرجة نحو مجرى النهر، حيث يزداد عمر المصطبة في الاتجاه من النهر باتجاه الأعلى(الشكل- 8).



الشكل(8) مصطبتين نهريتين(1و 2). المصطبة 2 في الأعلى أقدم من المصطبة 1 الأقرب من مجرى النهر الحالي.

13-14-1- أنواع المصاطب النهرية:

يميز في المصاطب النهرية وفقاً للعلاقة بين الرسوبيات النهرية، والصخور الأصلية، الأنواع الثلاثة التالية:

1- مصاطب الطمي(أو المصاطب الركامية): وهي مصاطب تتكون بكاملها من اللحقيات النهرية وتكون سماكة رسوبيات الطمي في هذه المصاطب عادةً أكبر من ارتفاعها فوق مستوى ماء النهر. تدل المصطبة اللحقية على أن النهر قد وصل إلى مرحلة متأخرة من مراحل تطوره، بحيث نشطت عملية الترسيب، وشكل سهله اللحقي، ثم تغيرت الظروف، التي ساعدته على تجديد شبابه.

2- المصاطب الحتية: وهي مصاطب شكلها النهر في الصخور الأصلية، التي كون مجراه فيها، وهي لا تكون مغطاة باللحقيات، أو مغطاة بطبقة رقيقة جداً، ويشير هذا النوع من المصاطب إلى حدوث تطور في مرحلة مبكرة من عمر النهر عندما كان الحت مسيطراً، لكن التطور الجديد ساهم في تعزيز القدرة الحتية للنهر، ليعمق مجراه ويترك فوقه مصطبة من الصخور الأصلية.

3- المصاطب المختلطة، أو المصاطب، ذات القاع الصخري، والمغطاة باللحقيات: وهي مصاطب تمثل من حيث العمر، والبنية حالة متوسطة بين النوعين السابقين، حيث يتكون أعلى الجدار وسطح المصطبة من اللحقيات، وتتكشف الصخور الأصلية في أسفل الجدار.

13-14-2- أسباب تشكل المصاطب النهرية:

يعزى تشكل المصاطب النهرية إلى الأسباب الرئيسة التالية:

1- حركات تكتونية في القشرة الأرضية، أدت إلى تغيرات في بروفيلات التوازن النهرية، كفض سافلة النهر، أو رفع عاليته.

2- ازدياد كمية المواد الحطامية المنقولة.

3- زيادة كتلة المياه الجارية بسبب تغيرات المناخ.

لابد من الإشارة أخيراً إلى أهمية دراسة المصاطب النهرية، حيث تعد اللحقيات النهرية أماكن جيدة لتجمع بعض المعادن الثمينة، كالذهب، والألماس، كما تسمح دراسة المصاطب القديمة بتكوين فكرة، عن المناخات التي تعاقبت على المنطقة، ويمكن أن تساهم في التعرف على خصائص حركات القشرة الأرضية في هذه المنطقة.

الفصل الرابع عشر

الفعل الجيولوجي للبحار

14-1- مقدمة:

تتميز دراسة البحار والمحيطات في علم الجيولوجيا بأهمية خاصة، من الناحيتين، العملية التطبيقية، والنظرية، وذلك لأن هذه البحار، والمحيطات تشغل الجزء الأكبر من من سطح الكرة الأرضية(حوالي 71%)، التي تقدر مساحتها بحواي 500 مليون كم^2، كما أن الجزء الأكبر من الصخور الرسوبية، التي تدخل في تركيب القشرة الأرضية، قد تشكل من رسوبيات بحرية المنشأ، كما تعد البحار والمحيطات مسرحاً لعمليات جيولوجية، وظواهر طبيعية هامة جداً، ففي أعماق المحيطات تثور البراكين، وتتشكل السلاسل الجبلية، وتحدث زلازل أرضية تترافق في كثير من الأحيان مع أمواجٍ بحرية عارمة، قد يصل تأثيرهاإلى اليابسة لتحدث فيها تغيرات هامة، وكوراث خطيرة. وبالإضافة إلى كل هذا، فإنه تكمن في قيعان المحيطات، والبحار أسرار تشكل ثروات باطنية هامة، ومتنوعة، كالنفط، والغاز، والخامات المعدنية المتنوعة.

تزداد أهمية الدراسات الجيولوجية للبحار والمحيطات يوماً بعد يوم، بسبب التناقص التدريجي للثروات الباطنية المكتشفة في القارات.

يعد توزع المحيطات في الكرة الأرضية، وما يرافق هذا التوزع من من اختلاف في بنية القشرة الأرضية المحيطية، والقارية، من المسائل الجيولوجية الهامة، التي مازال العلماء غير متفقين على تفسير موحّد لسببه، وآليته، مع العلم بأن التوصل إلى استنتاجاتٍ صحيحة،

وأكيدة حول سبب هذا الاختلاف بين بنية القشرتين المحيطية والقارية، يمكن أن يساهم في حل كثير من المسائل الجيولوجية الهامة.

لابد لنا قبل أن نتكلم عن الفعل الجيولوجي للبحار، والمحيطات، من أن نتعرف على تضاريسها، وحركة المياه فيها.

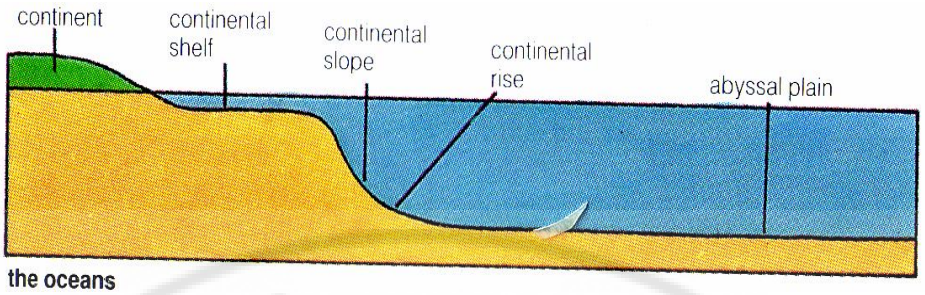
14-2- تضاريس قاع البحار والمحيطات:

يتميز الغلاف الصلب تحت مياه البحار والمحيطات، بتضاريس معقدة، تحتوي سلاسل جبلية، وهضاب، ومخاريط ركانية، وحفر مائية، وميازيب عميقة.

يقدر العمق الوسطي للمحيطات بحوالي – 3880م، أما أعمق نقطة فتقع في منخفض ماريان في المحيط الهادي(حوالي - 11034م).

إذا لم نأخذ بالحسبان مناطق الجبال المرتفعة، والمنخفضات المائية العميقة(نسبياً لا تشغل مساحات كبيرة)، فإنه يمكن أن نميز على سطح الأرض مستويين رئيسين، هما مستوى البلاتفورما القارية، بارتفاع حوالي 1000م، ومستوى قاع المحيطات بعمق بين – 2000و – 6000م، ويتحد هذان المستويان بواسطة منطقة انتقالية شديدة الانحدار نسبياً، تعرف بالمنحدر القاري. يمتد المنحدر القاري نحو اليابسة من خلال الرف القاري، الذي يمكن اعتباره الجزء الخارجي، والأقل انحدارا من المنحدر القاري. وعلى هذا الأساس فإن الخطوط الشاطئية المرئية لا تمثل الحدود الحقيقية الفاصلة بين المحيطات والقارات، وإنما الحدود الخارجية للمنحدر القاري.

تقسم تضاريس قاع البحار والمحيطات بشكلٍ عام إلى المناطق الأربع الرئيسة التالية:



الشكل(14– 1). التقسيمات الرئيسة لقاع البحار والمحيطات.

1- المنطقة الشاطئية(Littoral Zone):

وهي المنطقة المحصورة بين المستوى الأعلى للمد، والحد الأدنى للجزر. على الرغم من أن هذه المنطقة يمكن أن تكون غنية بالكائنات الحية، إلا أن الصخور الرسوبية المتشكلة فيها لا تحتوي على الكثير من بقايا هذه الكائنات، وذلك لأن ظروف الوسط السائدة فيها تؤدي إلى تخريب النسبة العظمى من البقايا العضوية قبل وصولها إلى مرحلة التحجر.

يمكن أن يتشكل في المنطقة الشاطئية بحيرات شاطئية متطاولة، وذلك نتيجة لانفصال جزء من مياه البحر خلف بعض الأكوام الرملية المتطاولة بشكلٍ موازٍ للشاطئ.

تتميز المنطقة الشاطئية بوجود رسوبيات بحرية وقارية في آنٍ واحد، كما يميز فيها ما يسمى بالمنطقة البيلاجية، وهي منطقة غنية بالحيوانات العائمة ، والسابحة، تمتد على طول المنطقة الشاطئية.

تقسم الشواطئ وفقاً لاختلاف أشكال الخط الشاطئي فيها إلى نوعين رئيسين، هما:

1- الشواطئ من النموذج الأطلسي، وهي مقطعة بشكلٍ واضحٍ، تتوافر فيها الخلجان، والرؤوس، وشبه الجزر.

2- شواطئ من نموذج المحيط الهادي، تتميز بوجود خطوط شاطئية منسجمة، تمتد عشرات، أو مئات الكيلومترات.

2- منطقة الرف القاري/ أو منطقة المياه الضحلة(Continental shelf/ or neritic zone):

تلي هذه المنطقة المنطقة الشاطئية باتجاه البحر، وتمتد على طول الشواطئ على شكل شريطٍ يمكن أن يصل طوله مئات الكيلومترات، وهي تعد امتداداً لليابسة، حيث تشبهها من الناحية الجيولوجية إلى حدٍ كبيرٍ، وهي تمتد بين الحد الأدنى للجزر، وحافة المنحدر القاري، الذي يزداد فيه انحدار قاع البحر بشدة، وبشكلٍ مفاجئ.

يشغل الرف القاري حوالي 7.6% من المساحة الاجمالية للمحيطات العالمية، إلا أن هذه النسبة يمكن أن تكون أكبر من ذلك في بعض المحيطات، كما في المحيط الأطلسي، حيث تشغل حوالي 9% من مساحته الاجمالية.

يختلف بعد حد الرف القاري الذي يبدأ بعده المنحدر القاري من مكانٍ إلى آخر، وهو يتراوح بين 90 و 500م، والبعد الوسطي عموماً حوالي 132م.

تدل دراسة تضاريس الرف القاري على وجود وجود عمليات تعرية، ليست بحرية فحسب، وإنما أيضاً نهرية، وجليدية، وهو ما يدل على وجود حركات شاقولية متغيرة الاتجاه كانت تتعرض لها مياه البحار، وهو ما كان يؤدي في المناطق الفاصلة بين المحيطات والقارات، إلى سيطرة ظروف قارية، في بعض الأزمنة، وبحرية في أزمنةٍ أخرى.

يقدر العمق الوسطي للمياه في منطقة الرف القاري بحوالي 200م، كما يقدر وسطي ميل قاع البحر باتجاه الأعماق بحوالي 0.07ْ ، وتتميز هذه المنطقة بنشاط حركي كبير للمياه، يظهر على شكل حركات مد وجزر، وتيارات بحرية، وأمواج.

أخيراً تتميز منطقة الرف القاري بأهمية خاصة في أعمال البحث والتنقيب عن الخامات المفيدة.

3- المنحدر القاري/ أو منطقة الأعماق(Continental slop/ or Bathyal zone):

تبدأ منطقة المنحدر القاري بانغماس حاد نسبياً للتضاريس باتجاه الأعماق، حيث يقدر وسطي زاوية ميل المنحدر القاري بحوالي 4- 6ْ (مقارنة مع 0.07ْ في الرف القاري)، ويمكن أن تصل في كثير من الأحيان إلى 10- 15 ْ.

يشغل المنحدر القاري حوالي 15% من المساحة الاجمالية للمحيطات العالمية، وهو يتميز بتضاريس مفصلة بشكلٍ حاد: روابٍ تتخللها ميازيب عميقة، وجروف، ومنخفضات متطاولة، مع العلم بأن الحد بين المنحدر القاري، ومنطقة الأعماق السحيقة، يكون أقل وضوحاً منه بين هذا المنحدر ومنطقة الرف القاري، ويعود ذلك إلى عمليات تخريب المنحدر، التي تؤدي إلى تشكل ما يسمى بالقاعدة(أو العتبة) القارية.

يتشكل أثناء تخريب المنحدر القاري تيارات تدعى تيارات العكر، وهي تحمل معها إلى القاعدة القارية كميات كبيرة من الرسوبيات.

يتراوح عمق المنحدر القاري بين 200 و 2500م، ولكن يمكن للقاعدة القارية أن تمتد إلى أعماق قد تصل إلى حوالي 5000م تحت سطح البحر.

4- منطقة الأعماق السحيقة(Abyssal zone):

تشغل منطقة الأعماق السحيقة(بما فيها القاعدة القارية) حوالي 76.2% من مساحة قاع المحيطات، وهذ ذات ميل معتدل إلى شديد(أقل من المنحدر القاري). تتراوح الأعماق في هذه المنطقة بين 2500 و أكثر من 11000م، لكن أكثر من 75% منها يقع ضمن الأعماق 3000- 6000م.

تتعقد تضاريس منطقة الأعماق السحيقة بوجود ميازيب ومنخفضات مائية عميقة، ومرتفعات على شكل روابٍ، أو نجود، أو هضاب، وكذلك سلاسل جبلية تسمى السلاسل المحيطية الوسطى، تمتد أحيانا عشرات آلاف الكيلومترات، وتقدر المساحة الاجمالية التي تشغلها هذه السلاسل بحوالي ثلث المساحة الاجمالية للمحيطات العالمية،

بينما تشغل الميازيب والحفر المائية العميقة حوالي 1.2% فقط من هذه المساحة، وهي تتركز بشكلٍ رئيس في أطراف المحيط الهادي.

14-3- حركة المياه في المحيطات:

إن لدراسة حركة المياه في المحيطات أهمية كبيرة من الناحية الجيولوجية، وذلك لكون أعمال جيولوجية هامة ترتبط بشكلٍ مباشر، أو غير مباشر، بشدة، وطبيعة هذه الحركة، وذلك كعمليات الحت، ونقل المواد من أمكنة معينة، وترسيبها في أمكنة أخرى.

تنتج حركة المياه في المحيطات عن عوامل طبيعية مختلفة، كالرياح، وجاذبية القمر، والشمس، وتغيرات درجات الحرارة والملوحة.

تنتقل المياه تحت تأثير العوامل سابقة الذكر على شكل تيارات بحرية، وأمواج، وحركات مد وجزر.

1- التيارات البحرية:

إن التيارات البحرية هي عبارة عن حركة كتل متصلة من المياه تحت تأثير عوامل مختلفة، أهمها الاختلاف في درجات الحرارة وملوحة المياه، وقوة الرياح، حيث تتولد تبعاً لاختلاف نوع وشدة هذه العوامل أنواع مختلفة من التيارات، وذلك كالتيارات الموسمية والدائمة، السطحية والعميقة، الباردة والحارة..الخ.

تنتشر التيارات السطحية الدائمة الناتجة عن التسخين غير المتكافئ للمياه من المناطق الاستوائية، باتجاه القطبين، بينما تتبرد المياه في المناطق القطبية، وتغوص نحو القاع لتبدأ بالحركة نحو المناطق الاستوائية، مشكلةً تيارات عميقة قرب قاعية، وهكذا يتشكل ما يشبه الدائرة المغلقة من الكتل المائية دائمة الحركة.

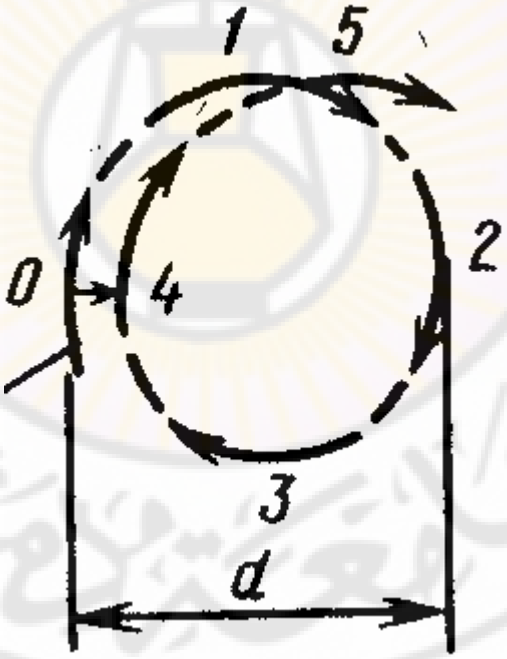
تنشط في فترات محددة من السنة تيارات مائية، تدعى التيارات الموسمية، كونها تنشط في مراحل زمنية معينة بينما تهدأ أو تتوقف في مراحل أخرى.

كما تتأثر التيارات بالعوامل الخارجية كشدة واتجاه الرياح، فإنها تتأثر أيضاً بصفات قاع البحر نفسه كشكل الخط الشاطئي، ودرجة ميل قاع البحر، ودرجة تعقيد تضاريسه.

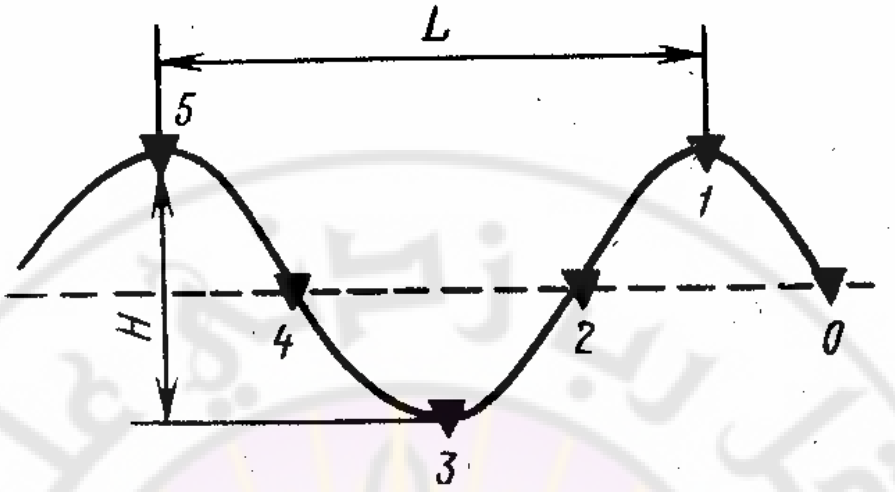
2- حركة الأمواج:

إن حركة الأمواج البحرية هي عبارة عن حركة جزيئات المياه البحريةتحت تأثير الرياح في مستوي شاقولي.

يتراوح ارتفاع الأمواج في البحار المفتوحة عادةً بين 1.5 و 4.5م، ويمكن أن يصل أثناء العواصف الشديدة إلى أكثر من30م، ويتراوح الطول الموجي في مثل تلك الحالات ما بين 60 و 210م، ويمكن أن تصل سرعة الحركة إلى أكثر من 100كم/ساعة. إن الذي يتحرك في الاتجاه الأفقي هو الموجة فقط وليس كتلة المياه كلها، ويفسر ذلك بأن كل جزيئة(قسيمة صغيرة من المياه) مياه تتحرك في لحظة ولادة الموجة وفق مدار شبه دائري يساوي قطره ارتفاع الموجة، وبهذه الحالة فإن جزئيات الماء تشارك في نفس الوقت في حركة أفقية ورأسية(الشكل14-2).

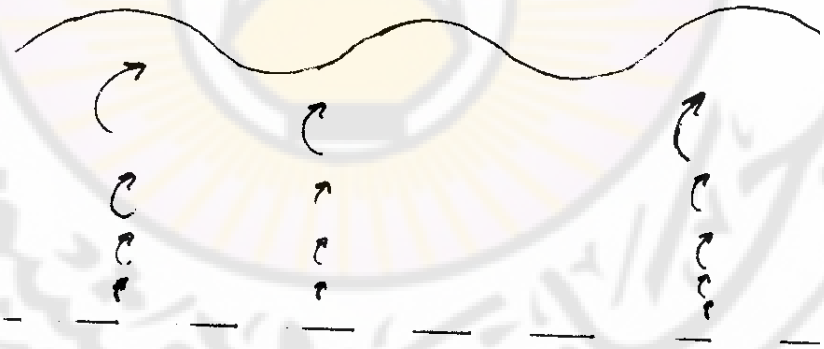


الشكل(14– 2). مخطط يوضح مدار حركة الجزيئات المائية السطحية في مستوي شاقولي.



الشكل(14– 3). الحركة الجيبية لموجة طولها L، وارتفاعها H.

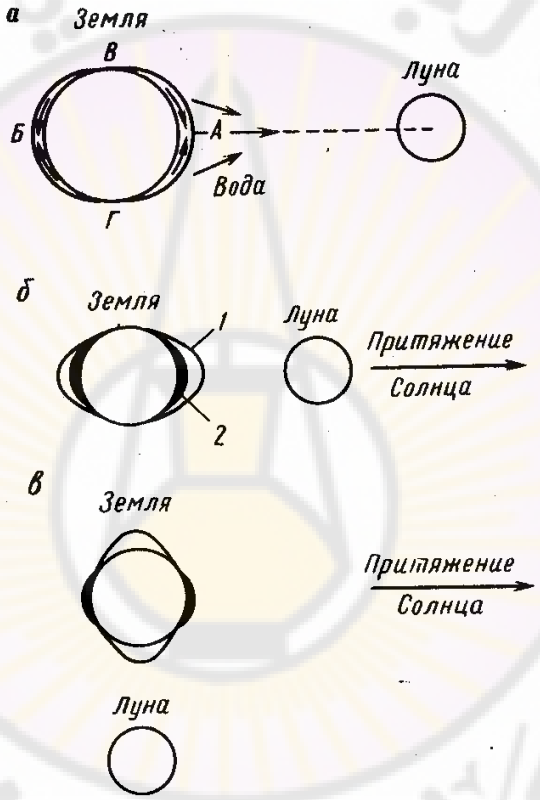
تشمل الحركة الموجية أثناء العواصف الشديدة سماكة كبيرة من المياه، لكن شدة الحركة تتناقص بشكلٍ حادٍ مع العمق، ويدعى العمق الأعظمي الذي تصله تذبذبات المياه قاعدة الموجة(الشكل14– 4)، ويحدد هذا العمق سماكة التأثير الموجي، التي من النادر ما تصل إلى 150– 200م(في حالة العواصف الشديدة). يقدر عمق القاعدة الموجية بثلث إلى نصف طول الموجة تقريباً.



الشكل(14– 4) تخامد حركة الموجة مع العمق لتصبح شبه معدومة في العمق الذي يعادل نصف طول الموجة.

3- المد والجزر:

إن المد والجزر هما عبارة عن ارتفاع وهبوط دوري في مستوى مياه البحار والمحيطات، تحت تأثير قوة الجاذبية القمرية، والشمسية، فكل 12 ساعة و26 دقيقة يرتفع مستوى مياه البحار والمحيطات، لتمتد نحو اليابسة، وهذا هو المد، لتعقبها عملية انسحاب نحو البحر، وهذا هو الجزر، وتتم عملية مد وجزر كاملة كل 24ساعة و 52دقيقة(الشكل14- 5).



الشكل(14– 5). ميكانيكية المد والجزر كما شرحها نيوتن:– في الأعلى المد بتأثير القمر وانتقال المياه من النقطتين ج و د(في الأعلى والأسفل) باتجاه أ، و ب(في الجانبين.– في

الوسط يتوافق اتجاه المد الشمسي(2)، مع اتجاه المد القمري. – في الأسفل، يتعامد اتجاه المد القمري مع اتجاه المد الشمسي.

فالقدرة الحركية العالية للسوائل بالمقارنة مع الأجسام الصلبة تجعل المياه تنجذب بفعل الجاذبية القمرية أو الشمسية(النقطة أ) أكثر من الغلاف الصخري الصلب، مما يؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر في النقطة المذكورة، بينما تجري المياه من النقطتين ج و د، مما يؤدي إلى انخفاض مستوى المياه فيهما (وبالتالي حدوث الجزر في النقطتين المذكورتين)، ثم ومن خلال دوران الأرض، فإن كل خط طول يتعرض بشكل دوري إلى ارتفاع وانخفاض المياه بفاصل زمني قدره 24 ساعة و52دقيقة، أمّا سبب عدم تطابق هذا المجال الزمني مع اليوم الأرضي فيعود إلى أن القمر يتمكن خلال هذا الزمن من الابتعاد قليلاً عن مكانه السابق.

يشبه تأثير الشمس في حدوث عمليتي المد والجزر تأثير القمر، إلا أنه ذو مقاييس أصغر، وذلك بسبب البعد الكبير بين الشمس والأرض، بالمقارنة مع مثيله بين القمر والأرض.

يكون المد والجزر أعظميين عندما يقع كل من الشمس والقمر في نفس الاتجاه بالنسبة للأرض، وتحدث هذه العملية مرتين في الشهر(عندما يكون القمر في مرحلة الهلال، وفي مرحلة البدر.

تكون حركات المد والجزر واضحة في مناطق الرف القاري، وفي أماكن مصبات الأنهار الكبيرة، حيث يمكن أن تمتد المياه لمسافات تزيد عن عشرين متراً، بينما تكون حركات المد والجزر أقل وضوحاً في المحيطات المفتوحة، وقد لا تتعدى الأمتار القليلة. كما يبلغ المد ارتفاعه الأعظمي في شواطئ البحار المفتوحة، كبحر المانش، أما في الأحواض البحرية من نمط البحر الأبيض المتوسط، والبحر الأسود، فإن المد لا يملك ارتفاعات كبيرة، مع العلم بأن شدة هذه العملية تتأثر بصفات الحفر المحيطية، وأبعادها وأشكالها.

يمكن لتيارات المد أن تكون في بعض الأحيان من القوة لدرجة تحريك حطاميات صخرية كبيرة قادرة على تخريب القاع، خلال حركتها نحو الشاطئ، وعلى امتداده، بينما تكون تيارات الجزر أقل قدرةً على الحت ونقل المواد.

14-4 – الفعل الجيولوجي للبحار:

يتمثل الفعل الجيولوجي للبحار بعمليات الحت، والنقل، والترسيب البحرية.

14-4-1- الحت البحري:

يحدث العمل التخريبي للمياه البحرية تحت تأثير عوامل مختلفة، من أهمها قوة ارتطام الأمواج، وضربات المواد الحطامية، وكذلك الفعل الكيميائي للمياه، الذي يؤثر بشكلٍ خاص على الصخور الرسوبية المكونة للشاطئ. ينتج عن هذه الأعمال تخريب قيعان البحار وتخريب شواطئها، مسببة تراجعها، أو ظهور أشكال مختلفة عليها.

غالباً ما تعمل عوامل التخريب مجتمعة، مما يزيد في قوة تأثيرها، ويدعى مجموع الأعمال التخريبية، التي تقوم بها مياه المحيطات العالمية بالحت، أو السحج البحري.

تكتسب الأمواج البحرية عند هبوب رياح قوية طاقة حركية عالية، تساعدها على الانتقال نحو الشواطئ بسرعة لتضرب صخورها بقوة كبيرة، تقدّر في كثير من الأحيان بعدة أطنان على المتر المربع الواحد، وبالإضافة إلى ذلك فإن هذه الأمواج تدفع أثناء تقدمها الهواء في الشقوق الصخرية، مؤدية إلى احداث ضغوط داخلية عالية جداً، وأثناء تراجعها يندفع الهواء بسرعة إلى الخارج، محدثاً تفريغاً فجائياً. يساهم تناوب هاتين العمليتين بشكلٍ كبير في تحطيم صخور الشواطئ، وتفتيتها.

تزداد طاقة الأمواج بشكلٍ حاد مع ازدياد ارتفاعها، كما يزداد الضغط الموجي الذي تتعرض له الصخور المكونة للشواطئ، كلما ازدادت سرعة حركة الأمواج.

تتعلق سرعة تخريب الصخور بفعل الأمواج البحرية بمجموعة من العوامل، من أهمها:

1- صفات الموجة، وسرعة حركتها: حيث تزداد القدرة الحتية للموجة، كلما ازداد ارتفاعها، وازدادت سرعتها. وتحسب شدة ضرب الأمواج من خلال العلاقة:

$$P= 0.18\Pi L/g$$

حيث:

L: طول الموجة.

g: تسارع الهبوط الحر.

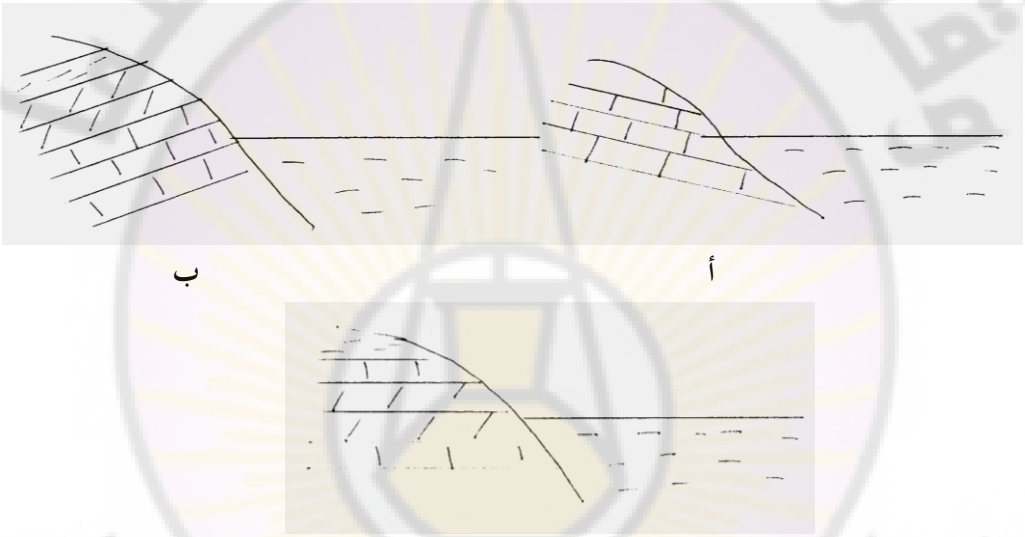
2- كمية، ونوعية المواد الحطامية: كلما ازدادت كمية المواد الحطامية التي تحملها الموجة، وكلما ازدادت قساوة هذه المواد، كلما كانت قدرتها التخريبية أشد.

3- شدة انحدار الشاطئ: تفقد الأمواج طاقتها تدريجياً في الشواطئ لطيفة الانحدار، ترتد بعد اصطدامها باليابسة، دون أن تنتج عملاً حتياً كبيراً، ويمكن لها في حالة السرعات الكبيرة أن تقوم بجرف المواد الرسوبية الموجودة أصلاً على الشاطئ، ثم تقوم في فترات الهدوء بغسل الشواطئ، ويتشكل نتيجة هذه العمليات ما يسمى بالرف الشاطئي، الذي يتكون من تراكم الرسوبيات الحطامية. أما في حالة الشواطئ ذات الميول الشديدة، فإن الأمواج تتمكن من ضربها بقوة أكبر، وبالتالي تعمل على تحطيمها بسرعة أكبر.

4- اتجاه ميل الطبقات الصخرية المكونة للشاطئ: لقد بينت المراقبة المستمرة أن أشد عمليات التخريب تحدث في الشواطئ التي تميل طبقاتها الصخرية باتجاه اليابسة(الشكل14-6 ب)، وتكون شدة التخريب في قيمتها الدنيا في الشواطئ التي تميل طبقاتها الصخرية نحو البحر(الشكل14- 6أ)، وتمثل قوة التخريب في حالة الشواطئ ذات الطبقات الأفقية حالة متوسطة بين الحالتين السابقتين(الشكل14-6ج).

تحدث عمليات تخريب الشاطئ بشكلٍ مستمر مما يؤدي في نهاية المطاف إلى تخريب الشاطئ شديد الانحدار، ويتشكل خلال عملية التخريب حفرة تسمى

حفرة الأمواج المضطربة(الشكل14-7ج)، وهي تتعمق في جدار الشاطئ بشكلٍ مستمر، حتى تصل إلى اللحظة التي يسقط فيها سقفها تحت تأثير قوى الثقالة.



ب أ

ج

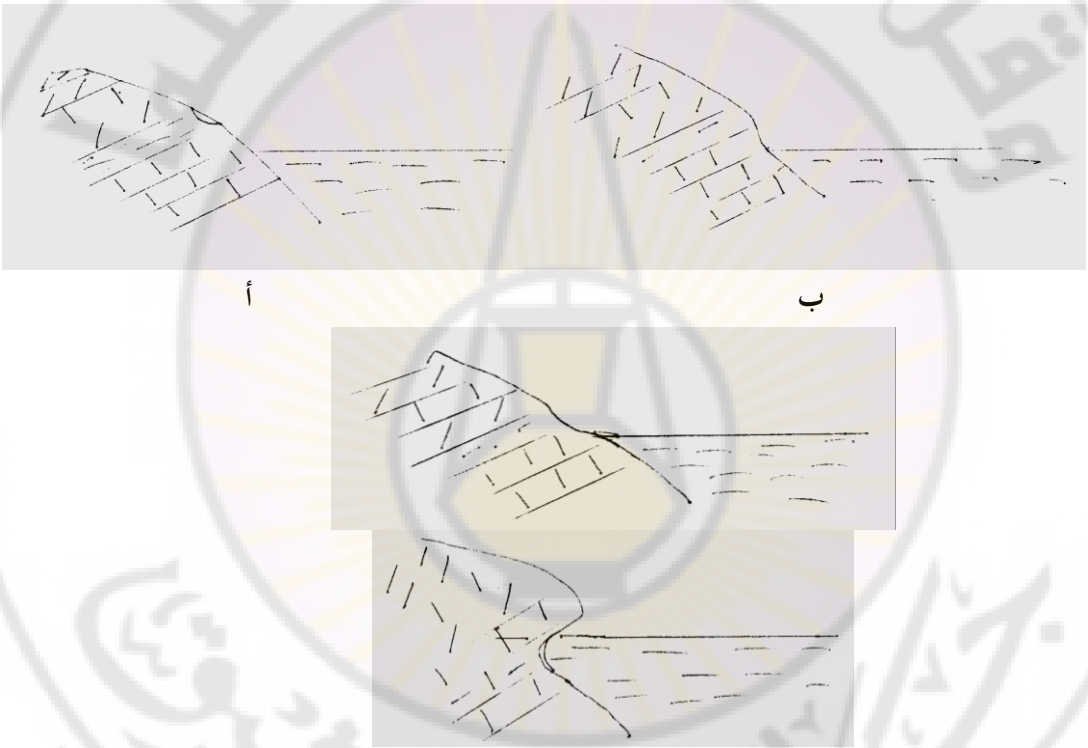
الشكل(14– 6). اختلاف ميل الطبقات الصخرية المجاورة للشاطئ: أ– طبقات تميل باتجاه البحر.

ب– طبقات تميل باتجاه اليابسة. ج– طبقات أفقية.

يتراجع الشاطئ شديد الانحدار وفقاً لهذه الالية تدريجياً نحو اليابسة، ويتشكل مكان حفرة الأمواج المضطربة مصطبة، تسمى مصطبة الأمواج المضطربة(الشكل14-7د).

يتكشف الجزء العلوي من مصطبة الأمواج المضطربة أثناء الجزر، بينما يبقى الجزء السفلي مغطى بالمياه بشكل دائم، حيث يتراكم في هذا المكان الحصى، والرمال وغيرها من المواد الناجمة عن تحطيم الصخور الأصلية للشاطئ، ويدعى هذا الجزء من المصطبة، الجزء التراكمي، أو الترسيبي، لكن هذه المواد تنقل مع الزمن باتجاه المناطق الأعمق.

يدعى جزء مصطبة الأمواج المضطربة، الذي يتكون فقط من الصخور الأصلية، بسبب نقل المواد الحطامية منه إلى الأماكن العميقة، المصطبة المصقولة.



الشكل(14– 7) تشكل حفرة الأمواج المضطربة، ثم مصطبة الأمواج المضطربة.

أ- قبل تشكل الحفرة. ب- بداية تشكل حفرة الأمواج المضطربة. ج- حفرة الأمواج المضطربة.

د- تشكل مصطبة الأمواج المضطربة.

يتشكل عند تعرض الشواطئ لحركات تكتونية صاعدة، أو هابطة تشكل عدداً من حفر ومصاطب الأمواج المضطربة، حيث تتوضع هذه المصاطب تحت المستوى الجديد لسطح البحر إذا كان الشاطئ قد تعرض لحركات هابطة، والعكس صحيح عند تعرضه لحركات صاعدة.

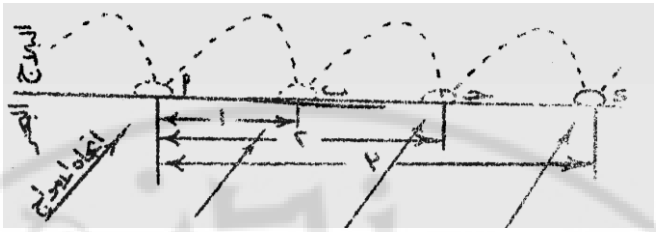
تدعى السواحل التي تتكون إما بارتفاع الشواطئ، أو بانخفاض مستوى سطح البحر السواحل المنبثقة، بينما تدعى السواحل التي تتكون بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر، أو انخفاض المنطقة المجاورة السواحل المغمورة.

14-4-2- نقل المواد الحطامية، وتكون الرسوبيات الشاطئية:

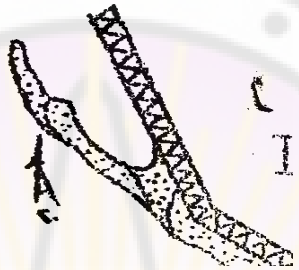
يمكن للأمواج البحرية أن تصل إلى أعماق مختلفة، وإذا ما تمكنت من الوصول إلى القاع بقوة كافية، فإنها ستقوم بنقل المواد المترسبة عليه، وتكنسها بكاملها، مكونةً ما يسمى بالقاع الصلب(Hard ground)، أما في الحالات العادية، فإن الحبات الصغيرة من الرسوبيات، تنزلق نحو الأسفل، وتستقر حيث لا تعود الأمواج قادرةً على نقلها، بينما تبقى الحصى الكبيرة والجلاميد في مكانها. إن هذه العملية يمكن أن تؤدي إلى تشكل حاجز كبير من الطمي، إذا كانت الأمواج تضرب الشاطئ باتجاه عامودي، أما إذا كانت الأمواج تضرب الشاطئ بصورة مائلة، فإنها ستؤدي إلى نقل المواد الحطامية جانبياً على طول الشاطئ، مما قد يؤدي إلى تكوّن بعض الأشكال الشاطئية، من أهمها:

- اللسان الشاطئي(Spit): تبلغ سرعة انتقال المواد حدها الأقصى عندما تكون زاوية ورود الأمواج إلى الشاطئ قريبة من 45ْ ، ولهذا السبب تتناقص السرعة عند الانتقال من أ ب إلى ب ج، في الشكل التالي(الشكل14-8)، وتطوق بعض المواد في أول الأمر نقطة الانعطاف ب، لكن كتلة المواد الحطامية الكبيرة، تمتد في

نفس الاتجاه أ ب مشكلةً ما يسمى باللسان الشاطئي(الشكل14- 9)، الذي يمكن أن يمتد أحياناًحتى 100كم.

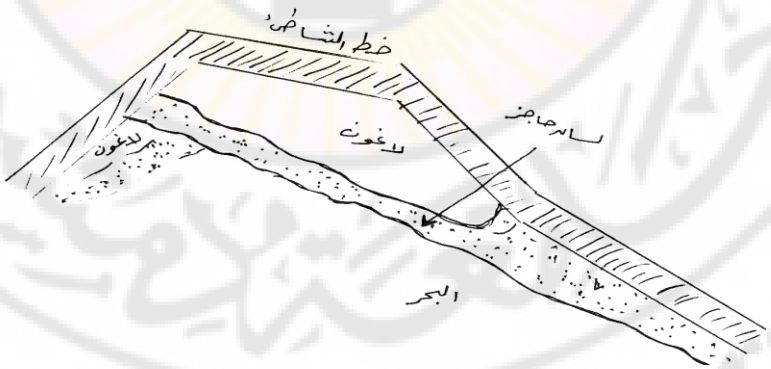


الشكل(8). الانتقال الطولاني للرسوبيات.



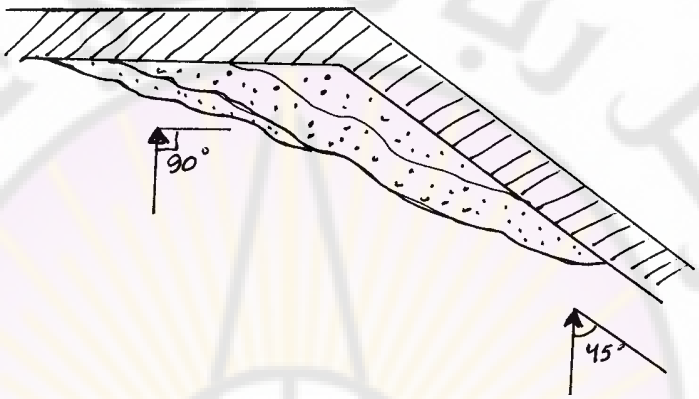
الشكل(14– 9). تشكل اللسان الشاطئي بسبب انعطاف الشاطئ.

قد تتلاقى نهاية اللسان الشاطئي مع الشاطئ الملتوي، أو مع نهاية لسان شاطئي آخر، مما يؤدي إلى تشكل ما يسمى باللسان الحاجز(Bay barrier)، الذي يمكن أن يحجز بينه وبين الشاطئ بحيرات تسمى اللاغونات(Lagoons)، وهي بحيرات ذات ملوحة عالية، بسبب شدة البخر من جهة، ولقلة اختلاطها بمياه البحر من جهة أخرى(الشكل14- 10).



الشكل(14– 10). تشكل اللسان الحاجز، والبحيرات اللاغونية نتيجة لسانين شاطئيين، أو لسان شاطئي وخط شاطئي منعطف.

تتجمع المواد الحطامية على جانبي نقطة الانعطاف، عندما يكون انعطاف خط الشاطئ باتجاه البحر، وذلك نظراً لتغير زاوية ورود الموجة من جهة، ولشكل الشاطئ الذي يوقف تأثير الموجة من جهةٍ أخرى، وهو ما يؤدي إلى تكون المصاطب الرملية. (الشكل14-11)



الشكل(14– 11). تشكل المصاطب البحرية بسبب تغير زاوية ورود الموجة الناجم عن انعطاف خط الشاطئ باتجاه البحر.

- التومبولو(Tombolo): يؤدي وجود جزيرة على بعدٍ معين من الشاطئ إلى انحراف الأمواج المتجهة نحوه، وهو ما يؤدي إلى وجود منطقة بين الجزيرة، والشاطئ، تكون فيها قوة الأمواج ضعيفة جداً، وهو ما يسبب في ترسب المواد الحطامية في هذه المنطقة، وربط الجزيرة في النهاية مع الشاطئ. يدعى هذا الشكل من الرسوبيات التومبولو(الشكل14- 12).

الشكل(14– 12) تشكل التومبولو بسبب وجود جزيرة قريبة من الشاطئ.

- الأقواس والكومات البحرية: يمكن أن تتشكل بسبب حت الأمواج في الأجزاء البارزة من الشاطئ نحو البحر، كهوف تسمى الكهوف البحرية. يتشكل بالقوس البحري من التقاء كهفين بحريين، وعند تحطم القوس البحري تشكل بقاياه، التي تبقى معزولة داخل المياه، ما يسمى بالكومة البحرية.

14–4–3– الرسوبيات البحرية:

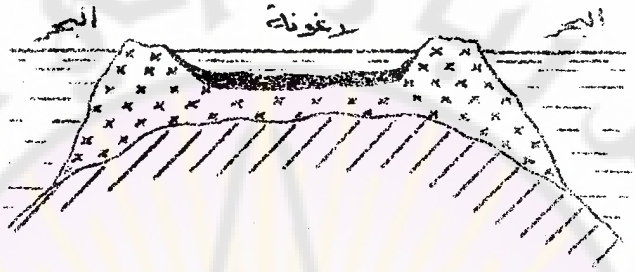
1- رسوبيات الرف القاري:

تتميز منطقة الرف القاري بكثرة، وتنوع الحياة العضوية فيها، وكذلك بمياهها المضطربة، وبتوافر الأكسيجين. تنعكس هذه الميزات على تنوع الرسوبيات في هذه المنطقة(حطامية، كيميائية، وعضوية)، حيث تكون الرسوبيات القريبة من الشاطئ خشنة، وذلك كالرمال، التي تزداد نعومتها كلما ابتعدنا عن اليابسة باتجاه البحر.

تساهم المواد المنحلة في مياه البحر، في تكوين تكوين هياكل العديد من الكائنات البحرية، وتظهر التوضعات الكلسية العضوية في الأماكن التي تكون فيها المجلوبات

الحطامية معدومة تقريباً، كما يمكن للمركبات الكيميائية المختلفة، التي تزيد عن حاجة العضويات، أن تشكل رسوبيات كيميائية نقية، وتعد الرسوبيات الكربوناتية، والفوسفاتية من أهم هذه الرسوبيات في منطقة الرف القاري.

يؤدي وجود المستعمرات المرجانية إلى تشكل أرصفة تدعى الأرصفة المرجانية، يمكن أن تساهم في بنائها كائنات أخرى أيضاً، كالإشنيات، والرخويات، والمنخربات..الخ(الشكل14-13).



الشكل(14– 13). بنية جزيرة مرجانية تساهم في تشكيل بحيرة لاغونية.

يرتبط وجود الأرصفة المرجانية وتطورها بالشروط التالية:

1- مياه دافئة لا تقل حرارتها عن 18 درجة مئوية، وتعد درجات الحرارة 23-25ْ أفضل درجات الحرارة لنمو المرجانيات.

2- أن تكون المياه ذات ملوحة نظامية، حيث لا تعيش المرجانيات في المياه العذبة، أو شديدة الملوحة.

3- قاع ضحل لا يتجاوز عمقه الوسطي 40- 50م، وأفضل الأعماق هي التي تتراوح بين 10 و20م.

4- مياه مشبعة بكربونات الكالسيوم.

5- مياه صافية، ذات كمية كافية من الأكسيجين.

2- رسوبيات المنحدر القاري:

يكون فعل النقل الميكانيكي للرسوبيات معدوماً تقريباً في منطقة المنحدر القاري، وذلك لأن المياه هنا ضعيفة الحركة، باستثناء الأماكن المعرضة للتيارات تحت البحرية، كما أن تنوع ووفرة الحياة العضوية يكون ضعيفاً جداً بسبب الحرارة المنخفضة، ونقص الأكسيجين، وعدم تسرب الضوء، لذلك يكون دور الكائنات الحية في الترسيب ضعيفاً، باستثناء العوالق التي يمكن أن يكون لها دوراً هاماً في بعض الأمكنة.

3- رسوبيات الأعماق السحيقة:

يكون دور الحطاميات هنا شبه معدوم، بينما تشكل التوضعات العضوية الرسوبيات الرئيسة، ويميز في هذه الرسوبيات بين كلٍ من:

- الأوحال الكلسية: وهي تتكون بشكلٍ خاص من قواقع الغلوبيجيرينا، التي تكثر في المناطق الحارة والمعتدلة من المحيطات، ويكون للرسوبيات مظهراً حوارياً، وتغلب عليها الألوان الوردية، أو الصفراء، أو الزرقاء.
- الأوحال السيليسية: وهي تنتج بشكلٍ خاص عن بقايا المشطورات، وهي عبارة عن نباتات وحيدة الخلية، تعيش في الطبقات المائية العليا، التي تصلها أشعة الشمس، وتكثر في البحار الباردة، وكذلك عن بقايا الشعاعيات، وهي حيوانات وحيدة الخلية سيليسية القواقع، وتعيش في الأماكن الحارة.

14-5- البحيرات:

إن البحيرات هي عبارة عن أحواض مائية مغلقة، ليس لها التصلاً مباشراً مع المحيطات العالمية، وهي تتغذى، عن طريق الأمطار، والمياه الجارية السطحية، والمياه الجوفية، وتعد الأنهار المصدر الرئيس للمياه في البحيرات.

تختلف مساحة البحيرات من منطقة إلى أخرى، وذلك حسب الخصائص الجيولوجية للمكان، الذي تقع فيه، وحسب ظروف نشأتها، ومراحل تطورها، فتوجد بعض البحيرات التي لا تزيد مساحتها عن كيلومتر مربع واحد، وذلك كبحيرة جينيف في سويسرا، التي تبلغ مساحتها 600م^2، والاف البحيرات في الكاريل، بينما تبلغ مساحة بعض البحيرات الاف الكيلومترات المربعة، كبحيرة البايكال في سيبيريا(30000كم^2)، وبحيرة فيكتوريا في إفريقيا(69400 كم^2)، وبحر الخزر(395000 كم^2)، وتعادل المساحة الإجمالية للبحيرات في الكرة الأرضية تقريباً مساحة البحر الأبيض المتوسط(2.7 مليون كيلومتر مربع). أما أعماق البحيرات فهي تتغير ضمن مجالٍ واسعٍ جداً، فقد لا تزيد عن المتر الواحد، كبحيرة إيلتون(80سم)، ويمكن أن تزيد عن ألف متر، كبحيرة البايكال(1740م)، والتي تعد أعمق بحيرات العالم.

تطلق تسمية البحار على بعض البحيرات الكبيرة، وذات المياه المالحة بسبب تشابهها الكبير مع البحار، التي تختلف عنها بوجود اتصال مباشر بينها، وبين المحيطات، وذلك كبحر الخزر، والبحر الأسود، والبحر الميت(أخفض بحيرة في الكرة الأرضية).

14-5-1- أهمية دراسة البحيرات:

إن لدراسة البحيرات، وكيفية تشكلها، وتاريخ تطورها، والظروف الكيميائية، والفيزيائية السائدة فيها، أهمية كبيرة من الناحيتين، النظرية، والتطبيقية، ويعود ذلك للأسباب التالية:

1- تنتشر البحيرات بشكلٍ واسعٍ في مختلف مناطق سطح الكرة الأرضية، وهي تشكل في بعض البلدان نسبة كبيرة من مساحة أراضيها، وذلك كما هو الحال في فنلندا، التي تشغل البحيرات حوالي 15% من مساحتها.

2- تعد البحيرات العذبة مصدراً لمياه الشرب.

3- يتشكل في البحيرات خلال مراحل تطورها الكثير من الخامات المفيدة، كالأملاح، والرمال، التي تستخدم في الصناعات الزجاجية، والكاولينيت، الذي يستخدم في صناعة الخزف، والأوعية المقاومة للحرارة.

4- يمكن الاستفادة منها في الزراعة وتربية الأسماك.

5- تساعد دراسة تطور البحيرات على فهم بعض الظواهر الطبيعية، وذلك كحدوث بعض الحركات التكتونية، التي تؤدي إلى تشكل بحيرات كبيرة، وعميقة، أو بعض التغيرات المناخية، التي تقود إلى تغيراتٍ جوهرية في تركيب المياه، ونسبة الملوحة فيها.

14-5-2- تصنيف البحيرات:

تصنف البحيرات، حسب العوامل التي أدت إلى تشكل أحواضها، إلى بحيرات خارجية، يتعلق تشكلها بعوامل فوق سطحية، أي عملت فوق سطح الأرض، أو بالقرب منه، وبحيرات داخلية، تشكلت أحواضها نتيجةً لإنعكاس تأثير عوامل داخلية على سطح الأرض.

14-5-2-1- البحيرات الخارجية:

1- بحيرات جليدية: وهي بحيرات يرتبط تشكل أحواضها بالنشاط الحتي، أو الترسيب للجليديات، وهي تشكل النسبة العظمى من بحيرات العالم. يعد كل من البحيرة البيضاء، واسوداء في جبال الفوج الفرنسية، والبحيرات الخمس العظمى في إمركا الشمالية، وعدد كبير من بحيرات غرينلاند من الأمثلة على هذا النوع من البحيراتز من الجدير ذكره بأنه يعتقد أن بحر البلطيق قد تكوّن في منطقة حدودية من الغطاء الجليدي، الذي كان موجوداً في زمن التجلد الأخير(6000- 7500 سنة قبل الميلاد.

2- بحيرات الحفر النهرية: تتشكل هذه البحيرات نتيجة التطور الذي يحصل على مجاري الأنهار، ويميز فيها بين بحيرات الحفر النهرية، التي تشغل أعمق الأماكن في المجاري النهري

القديمة، والتي كثيراً ما تتحد مع بعضها عن طريق تيارات مائية نهرية جديدة، والبحيرات الهلالية، التي تنتشر في السهول اللحقية، والبحيرات الدلتاوية، التي تتشكل في نهاية المجرى النهري عندما يفقد أحد فروع الدلتا اتصاله بالبحر، نتيجةً لتراكم الرسوبيات.

3- البحيرات الشاطئية: وهي بحيرات تنتشر في المناطق الشاطئية، نتيجةً لعزل جزء من مياه البحر خلف الكثبان الرملية الشاطئية، أو خلف ألسنة الرسوبيات على طول الشاطئ، مشكلةً بحيرات مالحة معزولة. يمكن أحياناً للأمواج، والتيارات المائية أن تساهم في بناء حواجز تؤدي إلى عزل بعض الخلجان، واللاغونات البحرية، فتحولها إلى بحيرات مالحة معزولة.

يمكن للبحيرات الشاطئية أن تتحول تدريجياً إلى بحيرات عذبة، إذا تأمن لها مصدر تغذية مستمر بالمياه العذبة السطحية، وكانت نسبة مياه التغذية أكبر من نسبة البخر من سطح البحيرة.

4- بحيرات السدود: وهي بحيرات تتشكل خلف السدود الصنعية، أو الطبيعية، كتلك التي تتشكل في بعض الأودية، نتيجة للإنهيارات، والانزلاقات الأرضية من المناطق الجبلية المجاورة.

5- بحيرات المياه الجوفية: وهي تنشأ نتيجة للفعل الجيولوجي للمياه الجوفية، وتكثر بشكلٍ خاص في مناطق الصخور القابلة للانحلال، وفي الأماكن، التي تكثر فيها المغر، والكهوف، الناجمة عن الحت الكارستي، لذلك فإنها كثيراً ما تسمى البحيرات الكارستية، وذلك كبحيرة جعيتا في لبنان.

14-5-2-2- البحيرات داخلية المنشأ:

وهي بحيرات تشكلت أحواضها نتيجةً لانعكاس تأثير العوامل الداخلية على السطح، ويميز فيها بين البحيرات البركانية، والبحيرات التكتونية.

1- البحيرات البركانية: وهي بحيرات تشغل فوهات البراكين الخامدة، كبحيرة مسعدة، وقد تتشكل نتيجة تشكيل المنتجات البركانية حواجز في مجاري الأودية، والأنهار.

2- البحيرات التكتونية: وهي بحيرات تنشأ نتيجةً لتجعدات القشرة الأرضية، وتخلعاتها المحلية، ويميز فيها بين ثلاثة أنواع:

- بحيرات ناتجة عن تشوهات لها شكل مقعرات، كبحيرة شط الجريد(تونس)، وبحر الخزر.
- بحيرات ناتجة عن انخفاسات لها شكل مقعرات، كالبحر الميت، وبحيرة طبريا.
- بحيرات ناتجة عن نهوضات في مجاري الأودية، تشكل حواجز تقف عندها المياه، كبعض بحيرات السهل السويسري.

تصنف البحيرات أيضاً حسب نظامها المائي، حيث تقسم إلى ثلاثة أنواع:

1- بحيرات ذات تصريف خارجي: وهي بحيرات تتغذى بمياه الأمطار، و/ أو الأنهار، وتصرف مياهها بالإضافة إلى البخر، والرشح بواسطة أحد المجاري المائية، وهي في غالبة الأحيان بحيرات عذبة، وذلك كبحيرة طبريا، التي يدخل ويخرج منها نهر الأردن.

2- بحيرات ذات تصريف داخلي: وهي بحيرات لا تنساب منها مجاري مائية، وهي مالحة عادة، وذلك كالبحر الميت، وبحر قزوين.

3- بحيرات ذات تصريف متغير: وهي بحيرات يمكن تنساب منها مجاري مائية في المواسم الماطرة، وهي عادةً متوسطة الملوحة.

من الجدير ذكره أن هناك تصانيف أخرى كثيرة للبحيرات، وذلك كتصنيفها اعتماداً على درجة ملوحتها، أو تركيبها الكيميائي..الخ.

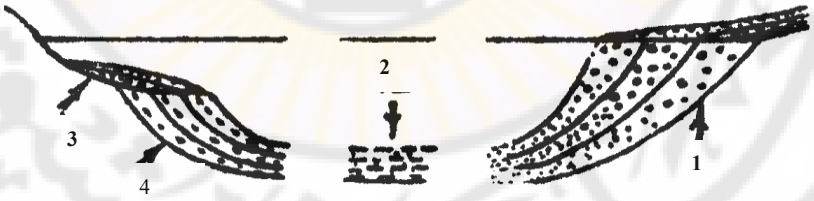
14-5-3- الفعل الجيولوجي للبحيرات:

1- الحت البحيري: على الرغم من أن الفعل الحتي للبحيرات، هو أضعف بكثير بالمقارنة مع الفعل الحتي لكل من البحار، والأنهار، والجليديات، إلا أنه موجود، وقد يكون هاماً في كثير من الأحيان، وخاصة في البحيرات الكبيرة، وتؤدي الأمواج الدور الرئيسي في الحت البحيرة، ويمكن أن تؤدي إلى هدم الشاطئ، وتراجعه تدريجياً نحو اليابسة.

2- الترسيب البحيري: يعد الترسيب البحيري الفعل الجيولوجي الرئيس في البحيرات، وهو يتعلق بالعديد من العوامل كالمناخ، والنظام المائي للبحيرات، ونوعية التضاريس، والصخور المحيطة.

يميز في الرسوبيات البحيرية بين كلٍ من:

1- الرسوبيات الحطامية: وهي رسوبيات تحملها الأنهار إلى مصاتها في البحيرات، وتكثر في البحيرات القريبة من المناطق الجبلية، حيث تترسب الحبيبات الخشنة بالقرب من الشاطئ، وتزداد نعومة هذه الحبيبات باتجاه وسط البحيرة، كما تترسب المواد الحطامية عادةً على شكل طبقات مائلة تتناوب فيها الطبقات الخشنة، والناعمة(الشكل 14- 14).



الشكل(14- 14). مخطط توضيحي لبنية بحيرة.

1- دلتا. 2- رسوبيات ناعمة حوارية. 3- سفح لحقي. 4- سفح.

2- الرسوبيات الكيميائية، وهي رسوبيات الأملاح المحلولة في مياه البحيرة عند وصولها إلى مرحلة ما فوق الإشباع، وهي تتكون بشكلٍ أساسي في الصيف، وفي مواسم الجفاف، إلا أنه يمكنها أن تترسب أحيانا في الشتاء، وذلك لأن درجة الإشباع تنخفض مع انخفاض الحرارة، وتترسب الأملاح الذابة في مياه البحيرات بالترتيب حسب تزايد درجة إشباعها، أو قدرتها على الانحلال في الماء، فالأقل انحلالاً هي التي تترسب أولاً. يعد كل من الكربونات، والكبريتات، وأملاح الصوديوم، من أشهر الرسوبيات الكيميائية في البحيرات، كما يمكن أن تترسب الأكاسيد المائية للحديد(كالليمونيت) وللألومنيوم(كالبوكسيت).

3- الرسوبيات العضوية: تنشأ هذه الرسوبيات عن تراكم بقايا الكائنات الحية بعد موتها، ومن منتجات نشاطها الحيوي، وهي تتركز بشكلٍ رئيس في وسط البحيرة، وتتكون بشكلٍ أساسي من الحوار، والطف الكلسي، والترافرتان.

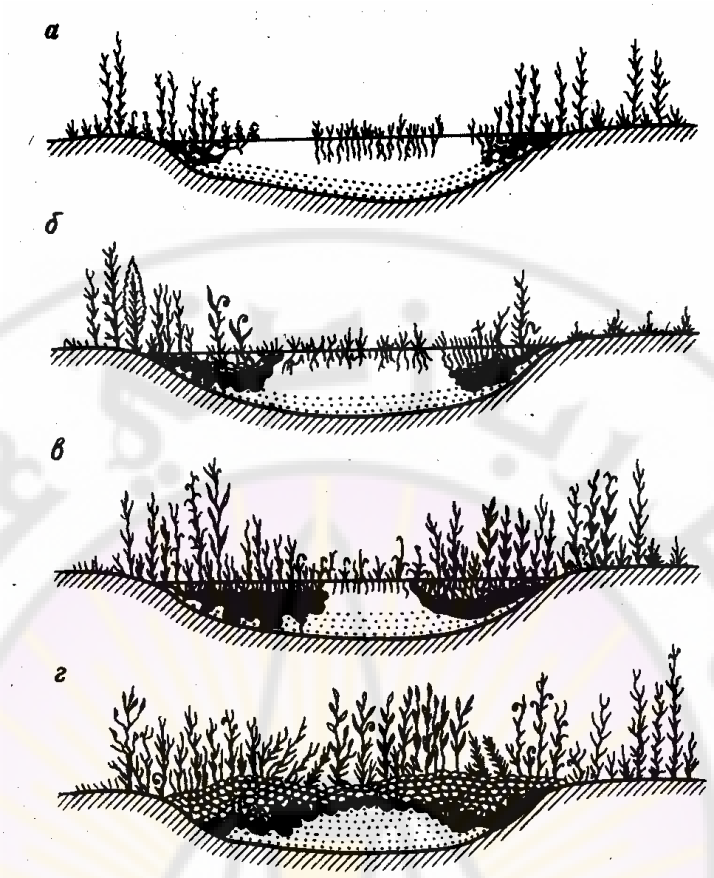
تختلط الرسوبيات العضوية مع الرسوبيات الكيميائية، ويتميز المقطع الرأسي للحوار البحيري، بوجود طبقات، أو نطاقات متناوبة، لا يتجاوز سمك الواحد منها 1\10ملم، فاتحة، وقاتمة اللون، وهي تدل على تأثير التغيرات الموسمية، حيث يزداد ترسب المواد الغضارية الناعمة، والغنية بالمواد العضوية، وذات اللون القاتم في الشتاء، بينما تزيد نسبة الكربونات فاتحة اللون في الصيف.

14- 5-4- زوال البحيرات، وتحولها إلى مستنقعات:

يمكن لأحد، أو لكلي السببين التاليين، أن يؤدي إلى زوال البحيرات ، وتحولها تدريجياً إلى مستنقعات(الشكل 14- 5):

1- امتلاء البحيرة بالرسوبيات، وخاصةً الحطامية التي تجلبها الجداول، والأنهار التي تصب فيها.

2- انخفاض سوية الماء في البحيرة ، عندما يعمق النهر المصرف مجراه، مما يؤدي إلى قطع عتبتها بالتدريج، وإذا استمر انخفاض سوية الماء، فإن الرسوبيات تمتد تدريجياً نحو مركز البحيرة، التي تزول مع زوال مياهها.



الشكل(14–5) مراحل نمو النباتات في البحيرة وتحولها إلى مستنقع.

14–6– الفعل الجيولوجي للمستنقعات:

تعرف المستنقعات على أنها أجزاء من سطح الأرض، تتميز برطوبة تربة وغطاء صخري عالية، وينمو فيها غطاء نباتي كثيف؛ كما تعرف على أنها أحواض مائية ذات غطاء نباتي كثيف.

يتمثل الفعل الجيولوجي الرئيس في المستنقعات بالترسيب، وتراكم البقايا النباتية في وسطٍ عالي الرطوبة.

تتراكم البقايا النباتية بكمياتٍ كبيرة في قاع المستنقع، وبسبب عدم كفاية الأكسجين، فإنها لا تتفكك بشكلٍ كافٍ، ومن هذه البقاريا يتشكل التورف، الذي هو عبارة عن كتلة متصلبة غنية بالكربون من البقايا النباتية.

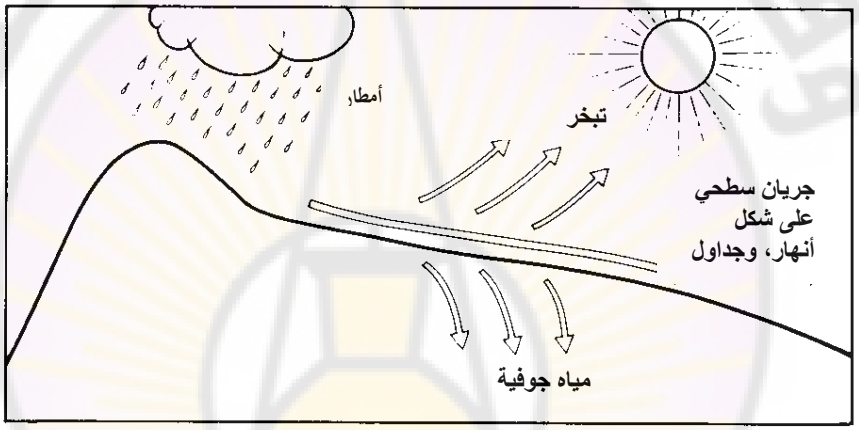
ينتج فساد البقايا النباتية في ظروف المستنقعات غازات ثاني أكسيد الكربون، والميتان، وحموض عضوية مختلفة، مما يضفي على مياهها ظلال عكرة.

تتحول البقايا النباتية غير كاملة التفكك إلى مواد فحمية سوداء اللون، ويؤدي الضغط الناتج عن التراكم المستمر، وارتفاع الحرارة إلى تفكك كامل للنسج النباتية، وازدياد تراص التورف، وتناقص نسب الأكسيجين، والهيدروجين فيه، مما يؤدي إلى تحول التورف إلى فحم الليغنيت، الذي يتحول بدوره مع استمرار ارتفاع الحرارة والضغط إلى الفحم الحجري

الفصل الخامس عشر

الفعل الجيولوجي للمياه الجوفية

تتوزع مياه الأمطار عندما تسقط على سطح الأرض إلى أربعة أقسام: قسم يسيل على السطح ليغذي المجاري المائية السطحية، ويمكن أن يصل إلى الأحواض، وقسم يتبخر، وآخر تمتصه النباتات، وقسم يتغلغل إلى باطن الأرض، ليغذي المياه الجوفية، وتتعلق نسبة المياه المتسربة إلى تحت السطح بكلٍ من كثافة الغطاء النباتي، وشدة انحدار الأراضي(ارتباط عكسي)، وكمية الأمطار، ودرجة نفوذية الصخور.



الشكل(15-1). توزع مياه الأمطار بين المياه الجارية ا لسطحية، والبخر، والمياه الجوفية.

15-1- المسامية، والنفوذية(Porosity and Permeability):

تعد حركة المياه الجوفية بطيئة جداً بالمقارنة مع حركة المياه الجارية السطحية، وهذا يعود إلى أن معظم المياه الجوفية تتحرك في الصخور من خلال شقوق ضيقة جداً، أو من خلال فراغات مسامية دقيقة بين القسيمات، أو الفلزات المكونة للصخور.

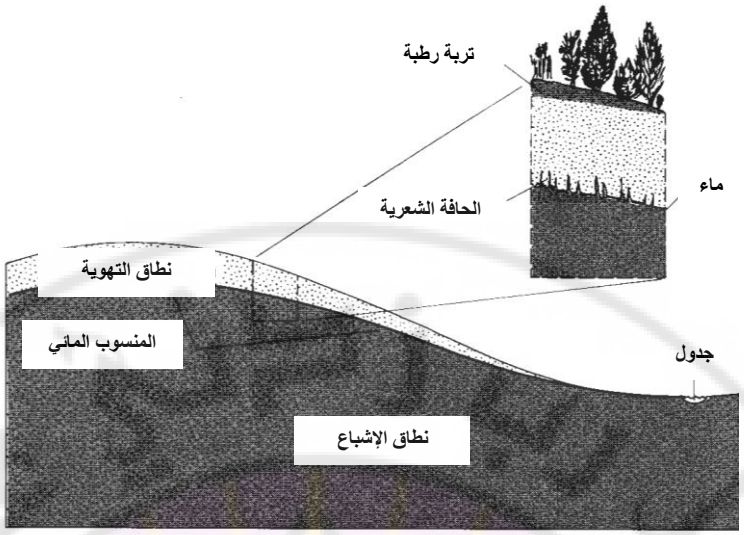
تتعلق حركة المياه في الصخور بميزتين، أو مفهومين، هما المسامية، والنفوذية. تعد المسامية مقياساً لمجموع حجوم الفراغات في الصخر، بينما تعبر النفوذية عن قدرة الصخر على امرار المياه.

على الرغم من أن وجود المسامية العالية، أو بحدٍ أدنى يعد ضرورياً ليكون الصخر نفوذاً، إلا أنه ليس من الضروري أن يكون كل صخر ذي نفوذية عالية هو صخر نفوذ، ويعود ذلك إلى سببين، الأول أنه يمكن أن تكون المسامات في الصخر عالي المسامية دقيقة جداً لدرجة أنه لا يمكن للمياه العبور من خلالها، والثاني أنه يمكن أن تكون الفراغات المسامية كبيرة إلا أنها معزولة، وغير متصلة مع بعضها بما يمكن الماء من الانتقال عبرها.

تطلق تسمية الصخور الخازنة على تللك الصخور التي تتميز بمسامية ونفوذية كافيتين لتسمحا للصخر بخزن المياه، والسماح لها بالحركة، بينما تطلق تسمية الصخور الكتيمة على تللك الصخور غير النفوذة، أو التي تتميز بنفوذية ضعيفة جداً بحيث لا تسمح للمياه بالمرور عبرها ومنها. تعد الصخور الرملية من الأمثلة الجيدة على الصخور التي يمكن أن تؤدي دور الصخور الخازنة، بينما تعد الصخور الغضارية، والملحية من الأمثلة النموذجية على الصخور الكتيمة.

15-2- المستوي/ أو المنسوب المائي(Water table):

تتغلغل نسبة كافية من مياه الأمطار إلى التربة تحت السطح، وإذا لم يتم استخدام هذه المياه من قبل النباتات، أو تتبخر إلى الجو، فإن النسبة الزائدة عن ترطيب التربة سوف تتابع سيرها نحو باطن الأرض، لتصل إلى منطقة تكون فيها كل الفراغات المسامية مملوءة تماماً بالمياه. يطلق على السطح العلوي لهذه المياة تسمية المنسوب المائي، ويطلق على المنطقة الواقعة تحت المنسوب المائي نطاق الاشباع، وعلى المنطقة الواقعة فوقه تسمية نطاق التهوية(**الشكل 15-2**).

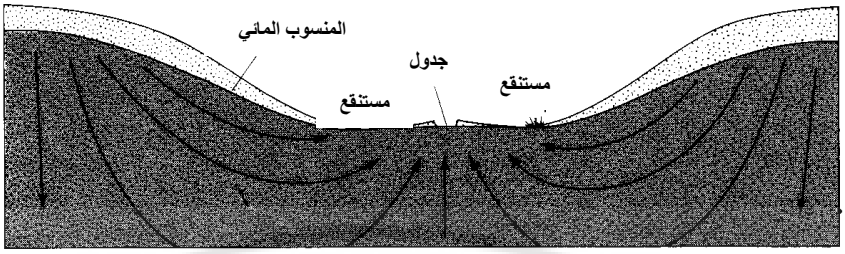


الشكل(15-2). تمر المياه المتسربة من السطح عبرنطاق التهوية، ذات المسامات المملوءة بالهواء. يمكن لبعض الماء أن يحجز بالتربة، وأن تستخدمه النباتات، وتصل بقية المياه أخيراً إلى نطاق الإشباع، حيث تكون كل الفراغات مملوءة بالمياه. يطلق على السطح العلوي لهذا النطاق تسمية المنسوب المائي، ويمكن للمنسوب المائي أن يغطي بالحافة الشعرية.

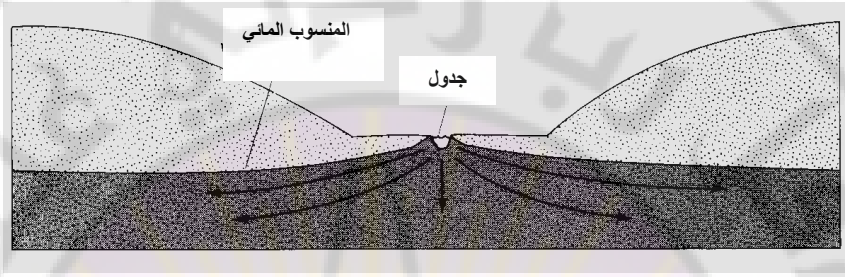
يعكس شكل المنسوب المائي شكل التضاريس التي تعلوه، حيث يكون مرتفعاً تحت المرتفعات، وينخفض مع انخفاض الارتفاع الطبوغرافي للتضاريس فوقه(الشكل السابق).

يتغير عمق المنسوب المائي مع تغير نسبة المياه المغذية الراشحة من الأعلى، فهو يرتفع عندما تزداد التغذية، والعكس صحيح.

يمكن للبحيرات، والمجاري المائية، والمستنقعات في المناخات الرطبة أن تمثل أماكن تقاطع المنسوب أو المستوي المائي مع سطح الأرض، حيث تساهم المياه الجوفية بتغذيتها(**الشكل 15- 3**)، بينما يكون المستوي أو منسوب المياه الجوفية منخفضاً في المناطق ذات المناخ الجاف، وتساهم المياه الجارية والبحيرات في المنطقة بتغذية المياه الجوفية(**الشكل 15-4**).



الشكل(15– 3). مناخ رطب تساهم فيه المياه الجوفية في تغذية المستنقعات، والبحيرات، والجداول.



الشكل(15– 4). مناخ جاف، الجدول النهري يغذي المياه الجوفية.

15–3– حركة المياه الجوفية:

تتحرك المياه الجوفية بفعل الجاذبية من الأعلى نحو الأسفل، وفقاً لانحدار المنسوب المائي، وما يسمى بالتدرج الهيدروليكي. ويحسب التدرج الهيدروليكي بين نقطتين عن طريق الفرق بين ارتفاع منسوب المياه بين هاتين النقطتين، مقسوماً على طول المسافة الفاصلة بينهما .

اقترح هنري دارسي(Henri Darcy) العلاقة التالية للتعبير عن سرعة جريان المياه الجوفية:

$$V = \frac{K(h_2 - h_1)}{L}$$

حيث V= السرعة، K= معامل يتعلق بالنفوذية، وبلزوجة المياه، وبالتسارع الجذبي، h_2, h_1 = فرق الارتفاع بين النقطتين اللتين يتم القياس بينهما، L= طول المسافة بين النقطتين المعنيتين.

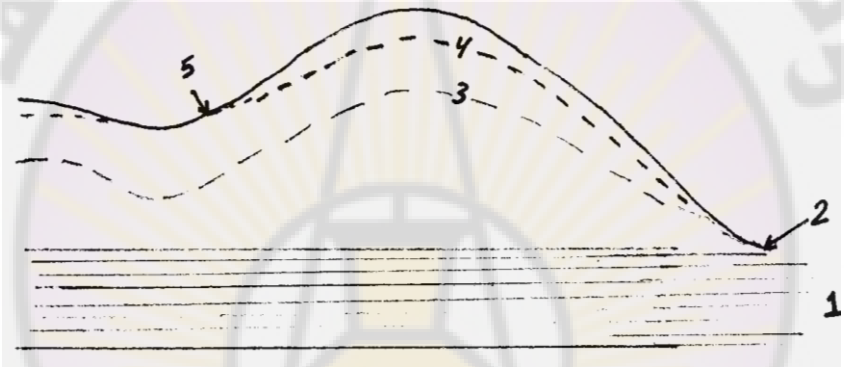
15-4-الطبقة المائية(Aquifer):

تطلق تسمية الطبقة المائية أو الطبقة الحاملة، على تللك الطبقة الصخرية تحت سطح الأرض، التي تختزن المياه، وتسمح له بالحركة نحو الآبار عند الانتاج.

15-5-الينابيع (Springs):

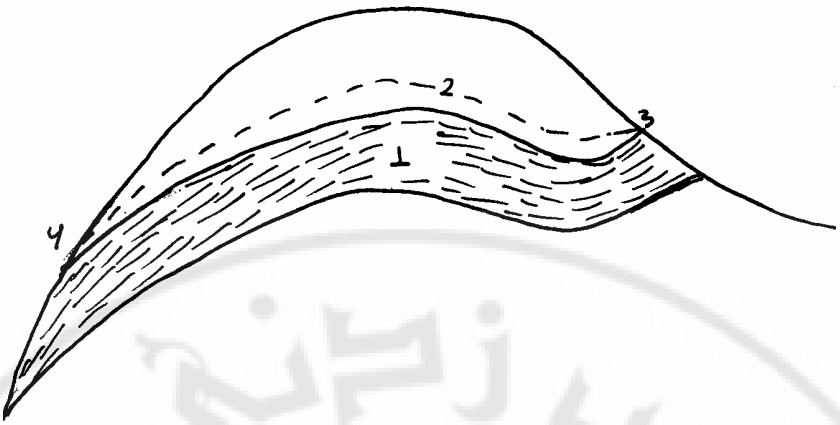
يؤدي تقاطع منسوب المياه الجوفية مع سطح الأرض إلى تدفق هذه المياه على السطح مشكلةً ما يسمى بالينابيع. ويميز عادةً بين عدة أنواع من الينابيع، وهي:

1- ينابيع الوادي: وهي ينابيع موسمية، تتواجد عادةً في المناطق الجبلية، وتتشكل نتيجةً لتقاطع منسوب المياه الجوفية مع سطح الأرض في الأودية(الشكل 15- 5).



الشكل(15- 5). مخطط توضحي لتكون كل من ينبوع الوادي، والينبوع الطبقي.
1- طبقة كتيمة. 2- نبع طبقي. 3- المنسوب المائي. 4- سوية المنسوب المائي في الموسم الماطر. 5- نبع وادي.

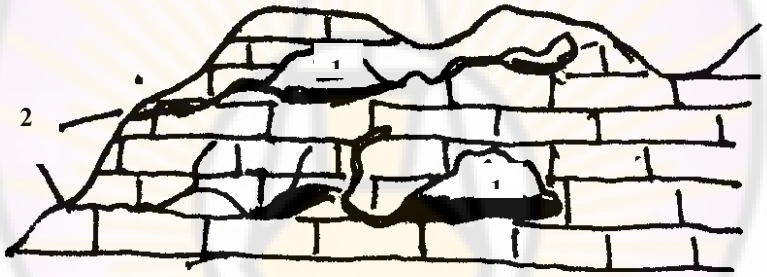
2- ينابيع طبقية: وهي تنتج عن تقاطع الطبقة الكتيمة التي تحمل فوقها المياه مع سطح الأرض، و يميز عندما تكون الطبقة الكتيمة ملتوية بين كلٍ من الينابيع الصاعدة، وذلك عندما تقطع السطح في إحدى نقاط نهوضها، وينابيع الانصباب، وذلك عندما تقطع السطح في إحدى نقاط انحدارها(الشكل 15- 6)



الشكل(15–6). مخطط توضيحي للينابيع الصاعدة، وينابيع الانصباب.

1– طبقة كتيمة. 2– المنسوب المائي. 3– نبع صاعد. 4– نبع انصباب.

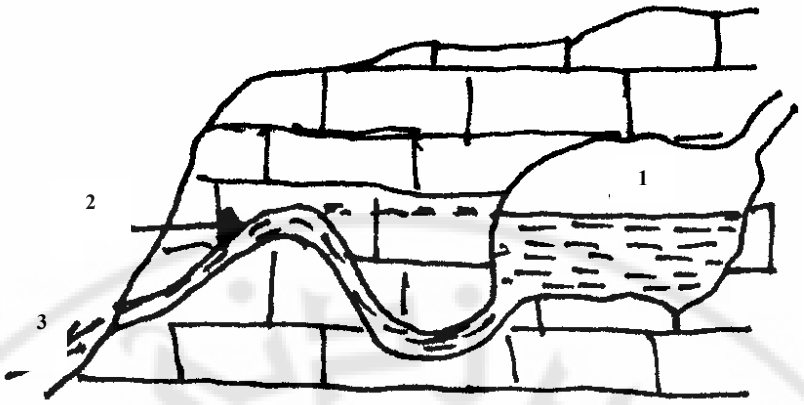
3– ينابيع السواقي الجوفية: تكثر هذه الينابيع في المناطق الجبلية المكونة من صخور كربوناتية، وتتشكل نتيجة حفر المياه الجوفية حفراً وكهوفاً في الصخور الكربوناتية وتستمر في الحفر لتشق طريقها إلى السطح(**الشكل 15– 7**).



الشكل(15– 7). رسم توضيحي لينابيع السواقي.

1– بحيرة جوفية. 2– ينابيع سواقي

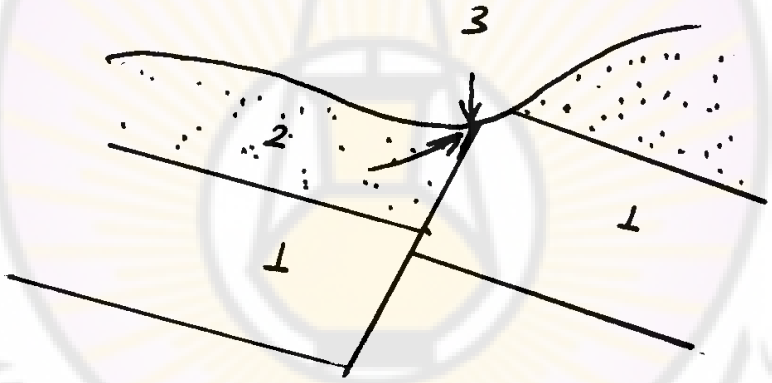
كما يمكن أن يتعقد طريق السواقي التي تغذي ينابيع السواقي، ويؤدي إلى تشكل ينابيع تظهر حيناً، وتختفي حيناً آخر، فتسمى الينابيع المتقطعة(الشكل15–8).



الشكل(15– 8). رسم تخطيطي لنبع متقطع.

1– بحيرة جوفية. 2– ممص. 3– نبع متقطع.

4– الينابيع الفالقية: وهي تتشكل نتيجة لتقابل طبقتين كتيمة، وحاملة على جانبي فالق(**الشكل 15– 9**).



الشكل(15– 9). نبع فالقي.

1– طبقة كتيمة. 2– طبقة نقوذة. 3– نبع فالقي.

5– الينابيع الحارة: وهي عبارة عن ينابيع اكتسبت حرارتها من التسخين الداخلي للأرض، وتطلق تسمية الينابيع الحارة على تلك الينابيع، التي تزيد درجة حرارة مياهها عن حرارة الجو المحيط بها بمقدار ست درجات مئوية أو أكثر. ترتبط معظم

هذه الينابيع بحواف الصفائح التكتونية، وبالمناطق البركانية، حيث تتسخن المياه الجوفية المتسربة، وعندما تسمح لها الظروف الطبيعية تظهر من جديد على شكل ينابيع حارة.

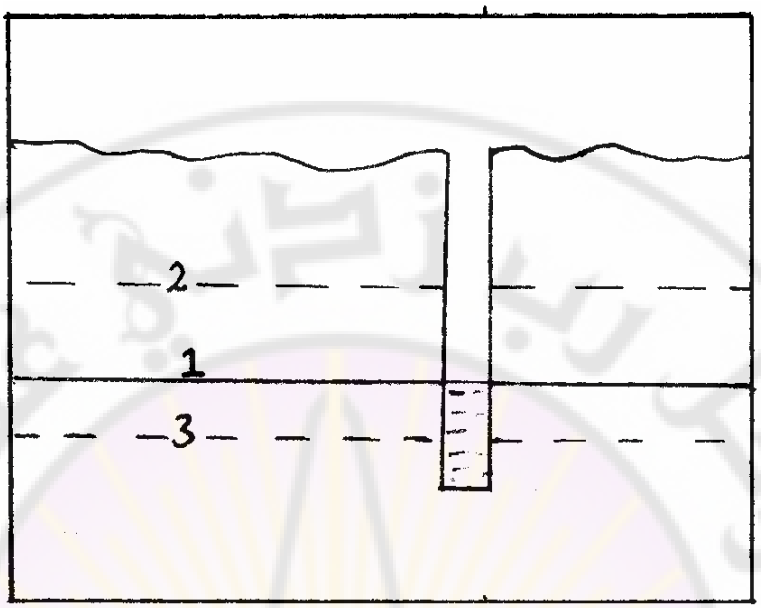
6- الفوارات الحارة(Geysers): تعد الفوارات الحارة نوعاً من الينابيع الحارة، لكن بدلاً من أن تتدفق بلطف وبشكل مستمر فإن مياهها تتدفق بنوع من العنف، وبشكلٍ متقطعٍ، حيث تؤدي طبيع ترتيب الممرات المائية والتغذية تحت السطح إلى تراكم الضغط ليؤدي إلى اندفاع فجائي للمياه نحو الأعلى، وتحرر الضغط، وانخفاضه، ثم يتراكم الضغط من جديد، ليصل إلى المرحلة التي تندفع فيها المياه من جديد، وهكذا.

15-6- الآبار، والآبار الإرتوازية(Wells an artesian wells):

يتم اللجوء عادةً إلى حفر الآبار المائية لسد الحاجة المتزايدة إلى مياه الشرب، أو مياه الري، ويقدر عدد الآبار التي تحفر سنوياً على مستوى الكرة الأرضية بمئات الآف، أو حتى ملايين الآبار، فيقدر عدد الآبار التي تحفر سنوياً في الولايات المتحدة الأمريكية لوحدها بحوالي 400.000 بئر. لا شك بإن هذا العدد الكبير من الآبار، سيؤثر على مستوى المياه الجوفية، وخاصةً في الأماكن ذات المناخات الجافة، أو شبه الجافة، كما أن الخطأ في الحفر يمكن أن يؤدي إلى غور مياه الطبقة الحاملة إلى أعماق الأرض، كما يمكن أن يؤدي الاستغلال الجائر لآبار المياه إلى جفاف هذه الآبار نهائياً.

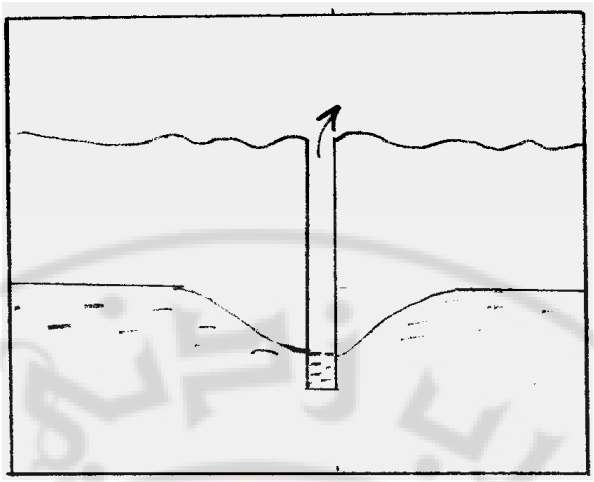
تندفع مياه الطبقة المائية الحاملة نحو البئر، لتملؤه إلى مستوي منسوب المياه(الشكل 15- 10)، وإذا ما تم ضخ المياه من البئر، فإنه سيتم تعويضه من مياه الطبقة الحاملة بشكلٍ دائم، ولكن إذا كانت سرعة ضخ المياه من البئر، أكبر من سرعة تعويضها من الطبقة المائية حوله، فإن منسوب المياه حول البئر سينخفض عن منسوب المياه العام،

ليأخذ شكلاً مخروطياً، يدعى مخروط الإنخفاض(Cone of depression)(الشكل 15- 11),



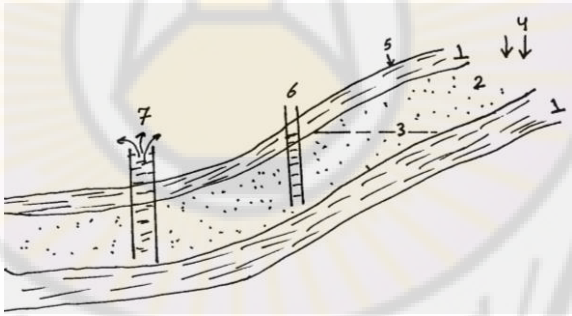
الشكل(15– 10). امتلاء البئر بالمياه حتى الوصول إلى المنسوب المائي، وتغير المنسوب المائي بين الفترات الماطرة، وفترات الجفاف.

1– المنسوب المائي. 2– ارتفاع المنسوب المائي في فترة الهطول الغزير للأمطار. 3– هبوط المنسوب المائي في فترة الجفاف.



الشكل(15– 11). تشكل مخروط الانخفاض حول البئر بسبب زيادة سرعة ضخ المياه عن سرعة تعويضها من الطبقة المائية

يمكن للمياه أن تتدفق من بعض الآبار تلقائياً، وتسمى الآبار في هذه الحالة الآبار الإرتوازية. تتشكل الآبار الإرتوازية عندما تتواجد المياه في طبقة مائية مقعرة تمتد حتى المرتفعات المجاورة الشكل، محصورة بين طبقتين كتيمتين، وتتم تغذيتها بشكلٍ كافٍ من المرتفعات، ويكون مستوى موقع البئر أخفض من المنسوب العام للمياه في الطبقة الحاملة(الشكل 15– 12).).



الشكل(15– 12). مخطط توضيحي لبئر عادي، وبئر إرتوازي.

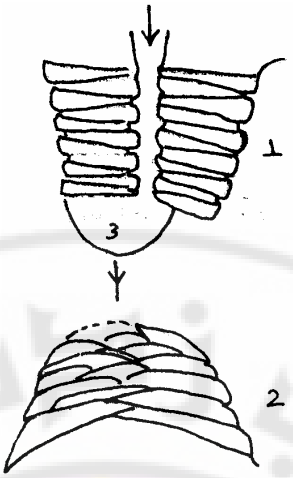
1– طبقة كتيمة. 2– طبقة حاملة. 3– منسوب الماء. 4– مياه تغذية. 5– سطح الأرض. 6– بئر عادي. 6– بئر إرتوازي.

15-7- الحت الكارستي وتشكل الكهوف، والصواعد والنوازل(Caves, stalagmite, stalactite) :

تقوم المياه الجوفية بحل الصخور الكلسية، وبسرعة أقل الصخور الدولوميتية، مشكلة أنواع مختلفة من الفجوات،والغرف، والتعرجات مختلفة المقاييس. يمكن للمياه الجوفية أن تحل أيضاً صخور الجص، والصخور الملحية، لكن وبسبب سرعة الانحلال العالية لهذه الصخور فإنها سرعان ما تتهدم تحت ثقل الطبقات العليا.

تتمثل المرحلة الأولى في تشكل الكهوف بمرحلة الانحلال تآكل، وإذابة الصخور الكربوناتية، لتشكل فراغات، وحفر، وغرف صغيرة، تجتمع لتشكل كهوف كبيرة، وتستمر العملية تحت المنسوب المائي، وتمتلئ الكهوف بالمياه، ومع انخفاض المنسوب المائي، وتصريف المياه من الكهوف تبدأ المرحلة الثانية، وهي مرحلة الترسيب. تحمل المياه المتسربة إلى الكهوف من الجدران والسقوف في هذه المرحلة بيكربونات الكالسيوم المذابة، والتي تترسب بأشكالٍ متنوعة، أهمها النوازل، التي تنمو من سقف الكهف نحو الأسفل، وتتميز بوجود قناة مركزية تمر منها قطرات الماء المتساقطة من سقف المغارة، وتتشكل نتيجة لتحرر غاز ثاني أكيد الكربون، وترسب كربونات الكالسيوم التي ترتصف بصورة شعاعية حول القناة المركزية؛ والصواعد، التي تنمو من أرضية الكهف نحو الأعلى، وتتشكل من بقايا كربونات الكالسيوم التي سقطت مع قطرة الماء، وتكون ممتلئة، ومؤلفة من طبقات متتالية (الشكل 15- 13).

إذا ما كبرت مقاييس الكهوف بقدر كافٍ، فإن الطبقات العليا تبدأ بالسقوط ويدعى الشكل الطبوغرافي الناتج بالكارست(Karst)، وذلك نسبة إلى منطقة كارست في شمال شرق إيطاليا، وشمال غرب يوغوسلافيا السابقة.



الشكل(15– 13). رسم توضيحي لنازلة، وصاعدة.
1– نازلة. 2– صاعدة. 3– قطرة ماء.

15–8– صخور الترافرتين(Travertine rocks):

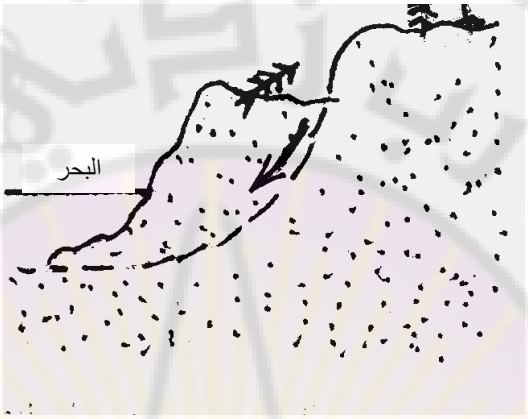
يمكن أن يترسب حول بعض الينابيع رسوبيات مكونة بشكلٍ رئيس من كربونات الكالسيوم، تدعى الترافرتين(Travertine)، وهي عبارة عن صخور فاتحة اللون، صلبة، ومرتفعة المسامية، وتدعى صخور الترافرتين المرتفعة المسامية إلى حدٍ كبير بالطف الكلسي(calcareous tufa) . يشكل الترافرتين الصواعد، والنوازل في الكهوف، والمغر الكلسية، كما يملأ بعض العروق، والأقنية في الينابيع الحارة.

يمكن للطف(Tufa) أن يكون سيليسي التركيب، وخاصة حول الينابيع الحارة، حيث يتكون بشكلٍ رئيس من أكسيد السيليسيوم المائي، كما يمكن أن يكون غنياً بأكاسيد الحديد المائية.

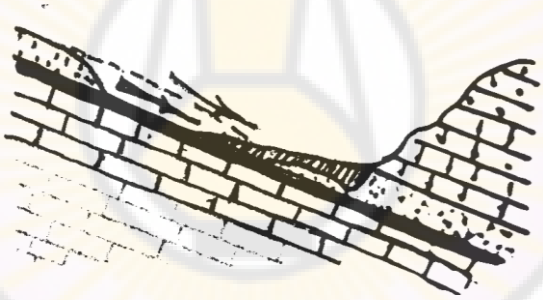
15–9– الانهيارات، والانزلاقات الناجمة عن فعل المياه الجوفية:

تحدث الانزلاقات، والانهيارات الأرضية في المناطق المنحدرة، عندما تتواجد طبقة نفوذة فوق طبقة كتيمة، وخاصة إذا كانت هذه الأخيرة غضارية التركيب، حيث تصبح

هذه الطبقة زلقة عندما تشبع بالمياه، وتصبح الطبقات الصخرية فوقها غير قادرة على الاستقرار، بحيث يمكن أن يؤدي أي سقوط غزير للأمطار، أو أية هزة أرضية إلى انزلاقها نحو أسفل المنحدر، كما يمكن للإنزلاق والإنهيار أن يحدث تحت تأثير الحت النهري لجوانب المجرى، والحت البحري للشواطئ المجاورة، وكذلك بفعل أعمال الحفر المفتقرة للدراسات الكافية(الشكلين 15- 14 و 15- 15).



الشكل(15– 14). انزلاق أرضي بفعل الحت البحري.



الشكل(15– 15). انزلاق أرضي بفعل الحت النهري.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس عشر

الفعل الجيولوجي للجليديات

16- مقدمة:

الجليدية هي كتلة ضخمة من الجليد، تشكلت نتيجةً لتراكمٍ وتراصٍ مستمرين للثلوج.

تختلف الجليدية عن الجليد العادي بأنها تكونت من الثلج مباشرةً، وليس من تبرد المياه، حيث يؤدي تراكم الثلوج في الفترات الباردة من السنة بكمياتٍ أكبر من نسبة الذوبان في فترات الدفء، إلى تراص الثلوج، وتحول بلوراتها السداسية إلى كتلٍ حبيبية تدعى الثلج الحبيبي، ثم يؤدي استمرار التراص، تحت تأثير استمرار التراكم، إلى تحول الثلج الحبيبي إلى جليد حبيبي، تصل كثافته إلى 0.909 غ/سم^3، أي أقل بقليل من كثافة الجليد النهري، التي تبلغ 0.917 غ/سم^3.

تقدر كتلة متر مكعب واحد من الثلج العادي، بعد الهطول مباشرةً بحوالي 85كغ، بينما تصل هذه الكتلة في الجليد الحبيبي إلى 600كغ، وفي الجليد الحبيبي إلى 909كغ.

يختلف حجم الحبيبات في الجليد الحبيبي، اعتباراً من حجم حبة الحمص، إلى حجم بيضة الدجاج. تتوزع الحبيبات في الجليدية بشكلٍ غير منتظم، وذلك على عكس الجليد النهري، الذي تكون بلوراته منتظمة، وموجهة عامودياً على السطح، وذات مقاييس متماثلة تقريباً، كما أنها تمتاز بالتطبق.

16-2- خط الثلج:

تزيد كمية الهطول الثلجي في بعض المناطق الباردة عن، عن كمية الذوبان، لذلك فإن هذه المناطق تبقى مغطاة بالثلوج، التي تتحول مع الزمن إلى جليديات، ويسمى الخط الذي لا يتمكن الجليد الواقع فوقه من الذوبان بشكلٍ كاملٍ في فصل الصيف، خط الثلج، أو خط الثلج الدائم.

يتعلق ارتفاع خط الثلج الدائم بالظروف المناخية، فهو يرتفع نحو الأعلى كلما ازدادت درجات الحرارة، أو نقص الهاطل الثلجي، ويكون ارتفاعه في المناطق القطبية قريباً من مستوى سطح البحر، بينما يمكن أن يصل هذا الارتفاع في المناطق الجبلية إلى عدة كيلومترات فوق مستوى سطح البحر، وذلك كما في جبال هيمالايا، حيث يقع بين 5.1 و 6كم.

16-3- حركة الجليديات:

يمكن لجسم الجليدية أن يتحرك بكامله، كما يمكن للجليدية أن تتحرك على شكل طبقات تنزلق فوق بعضها البعض.

يسهل ذوبان الجليد في قاعدة الجليدية حركتها، ويعزى هذا الذوبان إلى الأسباب التالية:

1- انخفاض درجة حرارة الذوبان، بسبب ازدياد الضغط.

2- وجود طاقة حرارية ناجمة عن إعادة تجمد المياه.

3- حرارة منبعثة من باطن الأرض.

تتأثر سرعة حركة الجليدية بكثير من العوامل، أهمها:

1- كتلة الجليدية: تزداد سرعة حركة الجليدية مع ازدياد كتلتها.

2- ميل السطح: تزداد سرعة الحركة مع ازدياد ميل السطح الذي ترتكز عليه الجليدية.

3- التغيرات المناخية: حيث يساعد إرتفاع الحرارة، وذوبان أجزاء من الجليدية في ازدياد سرعة حركتها.

4- ظروف التغذية: تساعد زيادة كميات الهاطل الثلجي، واستمرار التغذية في زيادة سرعة الحركة.

5- التعرجات، والانعطافات في القعر: يمكن للتعرجات في الأراضي التي تسير فوقها الجليدية أن تعيق حركتها، وتقلل من سرعة هذه الحركة.

تجدر الإشارة إلى أن حركة الجزء المركزي من الجليدية أسرع من الأجزاء الجانبية، التي تعاني من الاحتكاك مع جوانب الوادي، ويؤدي هذا الاختلاف في سرعة الحركة إلى تشكل شقوق جانبية،وإقليمية.

تتميز بعض الجليديات، بتناوب فترات حركة سريعة، وأخرى بطيئة، وتطلق تسمية التمّور على فترة الحركة السريعة.

16-4- أنواع الجليديات:

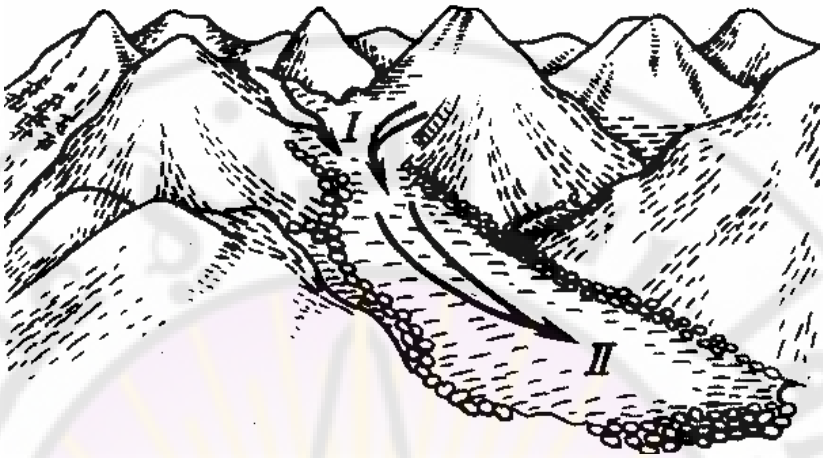
تقسم الجليديات، وفقاً لحجومها، وأشكالها، وعلاقة منطقة التغذية(وهي منطقة تراكم الثلوج، وتحولها إلى جليد) مع منطقة الجريان، إلى ثلاثة أنواع، هي: الجليديات الجبلية(أو النموذج الألبي)، الجليديات الغطائية(أو النموذج القاري)، الجليديات البينية(القبعات الجليدية).

16-4-1- الجليديات الجبلية:

يوجد هذا النوع من الجليديات فوق الجبال العالية، كجبال الألب، وهيمالايا، والقفقاس، وغيرها.

تمتاز الجليديات الجبلية بسماكات قليلة، وتميز فيها منطقة التغذية بوضوح، حيث تكون على شكل حلبات، تقع فوق خط الثلج الدائم، وتحاط بمدرجات مرتفعة من القمم،

والأعراف(الشكل16- 1)، ويميز في الجليديات الجبلية، جليديات الوهاد، والجليديات المعلقة.



الشكل(16- 1). العلاقة بين منطقة التغذية(I) ومنطقة الجريان(II) في جليدية من النموذج الألبي.

يطلق على الجليديات الجبلية أحياناً تسمية جليديات الوادي، ويميز فيها بين الجليديات البسيطة، وهي تكثر في جبال الألب، والجليديات المركبة، وفيها يتفرع عن الوادي الجليدي الأساسي الكثير من الأودية الفرعية، ويكثر هذا النوع في جبال القفقاس، والهمالايا.

على الرغم من أن الدور الذي يؤديه هذا النوع من الجليديات، يعد محدوداً في الوازن الجليدي العام، فإن بعضها يمتلك مساحاتٍ كبيرة جداً، فتقدر مساحة الجليديات في هيمالايا، على سبيل المثال بحوالي 60000كم^2، وفي تيان-شان 20000كم^2.

16-4-2- الجليديات الغطائية(القارية):

ينتشر هذا النوع من الجليديات في المناطق القطبية، ويكون ارتفاعها قريباً من مستوى سطح البحر، وتمتد على مساحات واسعة جداً، كما أنها تمتاز بسماكاتٍ كبيرة، وخلافاً للجليديات الجبلية، فإنه من الصعب التمييز بين منطقتي التغذية، والجريان، كما أن شكلها لا يتأثر بتضاريس الفراش، ولها سطح قليل التحدب في جزئه المركزي.

من الأمثلة النموذجية على هذا النوع من الجليديات، جليديات غرينلاندا في القطب الشمالي، حيث تقدر مساحتها بحوالي 2مليون كيلومتراً مربعاً، وسماكتها الأعظمية حوالي 3.3كم، وكذلك جليدية القطب الجنوبي، التي تقدر مساحتها بحوالي 14 كم²، بسماكة أعظمية حوالي 3.6كم.

16-4-3- الجليديات البينية:

وهي عبارة عن جليديات الهضاب، التي تتشكل فوق الجبال ذات الانحدار اللطيف، أو القمم، لطيفة التحدب، وهي تدعى جليديات بينية كونها تتميز بصفات مشتركة بين النوعين السابقين.

يمكن أن تغطي الجليدية في هذا النوع مساحات كبيرة قد تصل إلى مئات الكيلومترات المربعة، وهي تصادف في المناطق القريبة نسبياً من المناطق القطبية، ويميز فيها بين كلٍ من النموذج الاسكندنافي، وتغطي في الجليديات مساحات كبيرة من الجبال، القمم المحدبة وقليلة الارتفاع، والنموذج الالاسكي، وتغطي فيه الجليدية مساحات كبيرة من السهول المنتشرة في أسفل الجبال، ويعزى تشكلها إلى التحام مجموعة من جليديات الأودية الهابطة من أعلي الجبال المجاورة.

16-5- الفعل الجيولوجي للجليديات:

16-5-1- الحت والتعرية:

يدعى عمل الجليدية، الذي يتجلى في حت، وتعرية صخور القاع، بالحت، والتعرية الجليدية.

تعد المواد الحطامية، التي تحملها الجليدية، هي أدوات الحت الجليدي الرئيسة، وذلك لأن قساوة الجليد غير كافية لتخري معظم أنواع الصخور.

تتم عملية التعرية الجليدية بطريقتين، هما:

1- الكشط(الحت): حيث تقوم الجليدية، وحمولتها المتحركة، ببرد الطبقة الصخرية، الموجودة في القاع.

2- الاقتلاع، أو الاحتجاز: حيث تقوم الجليدية، عند مرورها فوق طبقة صخرية متصدعة، بخلع، ورفع محتوياتها وأسرها ضمن حركة الجليدية.

يتعلق معدل التعرية الجليدية بكلٍ من العومل التالية:

1- سرعة حركة الجليدية: تزداد قدر الجليدية على الحت، والتعرية، كلما ازدادت سرعة حركتها.

2- سماكة الجليدية: يزداد معدل التعرية مع ازدياد سماكة الجليدية.

3- شكل، ووفرة، وصلابة المواد الحطامية، المتواة في الجليدية، في الأماكن الملامسة للمجرى.

4- درجة مقاومة، أو قابلية السطح الصخري، الذي تمر فوقه الجليدية.

5- ذوبان، وتجمد المياه: يؤدي ذوبان الجليد، المحمل بالمواد الحطامية، إلى تشكل سيول تسهل حركة الجليدية، وتندفع أمامها، لتحفر لها طرقاً على شكل أخاديد، تتابع الجليدية عملها الحتي فيها. كما أن إعادة تجمد المياه المذابة في الشقوق الصخرية يولد ضغوطاً داخل هذه الصخور، مما يساعد على تفتيتها.

16-5-2- أعمال النقل والترسيب الجليدي:

تنقل الجليدية أثناء سيرها كميات كبيرة من المواد الحطامية مختلفة الأحجام، حصلت عليها نتيجة الحت والتعرية الجليدية، أو من المواد الحطامية المنهارة من السفوح الجبلية التي تمر بينها. يطلق على هذه المواد تسمية الركام الجليدي، أو المورينات.

تمتص المواد الحطامية التي تدخل في تكوين المورينات الطاقة الحرارية بشكل جيد وتتسخن بتأثير الشمس، مما يمكنها من إذابة الجليد حولها، والتعمق فيه تدريجياً، بينما تعكس المواد الفاتحة الأشعة الشمسية، وتكون أشكالاً تشبه الفطر، ترتفع فوق سطح الجليدية، وفي النتيجة يأخذ سطح الجليدية بسبب التسخين، والإذابة غير المتكافئين لمكوناته شكلاً معقداً إلى حدٍ كافٍ.

تقسم المورينات إلى نوعين رئيسين، هما:

1- المورينات المتحركة: وهي مورينات لا تزال الجليدية الحالية تحملها (الشكل16-2).

يميز في هذا النوع من المورينات بين كلٍ من:

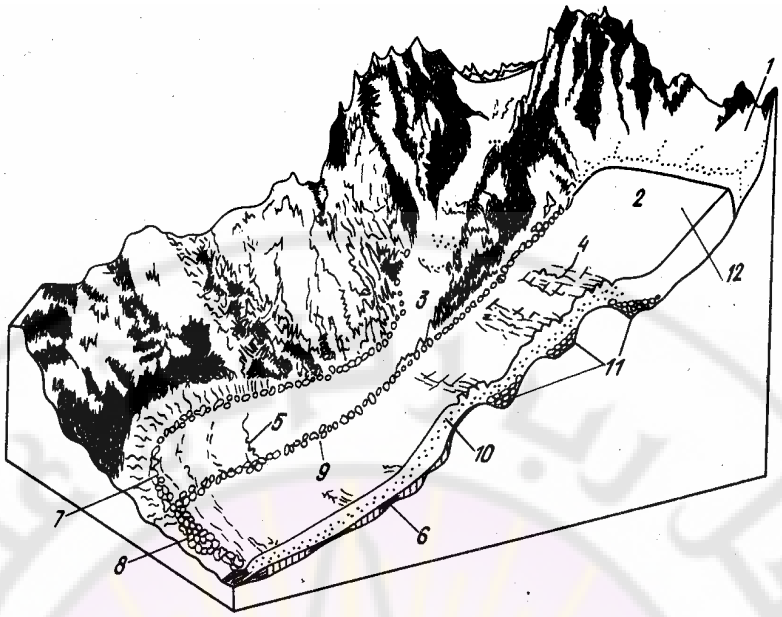
- المورينات السطحية: وهي مورينات تنشأ من المواد الحطامية، والقطع الصخرية المنهالة على سطح الجليدية، ويميز هنا بين مورينات سطحية جانبية، تنشأ من المواد الحطامية المنهالة من سفوح الأودية الجليدية؛ ومورينات سطحية وسطية، تنشأ من امتزاج مورينات سطحية جانبية في واديين جليديين متجاورين.
- المورينات الداخلية: تنشأ هذه المورينات من تسرب المورينات السطحية عبر الشقوق إلى داخل جسم الجليدية، أو عندما تتغطى الجليدية بطبقات جديدة من الثلوج، أو من المواد الحطامية، المتركمة داخل الجليدية أثناء تشكلها.
- المورينات القاعية: وهي تتكون من المواد الناتجة عن الحت الجليدي للمجرى الصخري، ومن المورينات الداخلية المتسربة إلى القاع.

2- المورينات المترسبة، أو غير المتحركة: وهي مورينات ترسبت بعد ذوبان الجليدية، أو تراجعها. يميز في هذا النوع من المورينات بين كلٍ من:

- المورينات الأساسية: وهي عبارة عن توضعات بقيت بعد ذوبان الجليدية، على امتداد كل الوادي، وتتشكل من خلال الترجع التدريجي، والمستمر للجليدية.
- المورينات الجبهية(أو النهائية): وهي مواد حطامية متركمة في نهاية الجليدية المتوقفة عن الحركة.

تتميز المورينات المترسبة بأنها سيئة التصنيف، وبصقل وتحزز محتوياتها.

يرتبط بنشاط الجليديات أيضاً التوضعات التي تحملها التيارات المائية، المتشكلة أثناء ذوبان الجليديات، حيث تجرف هذه التيارات، أو السيول المواد الحطامية(المورينات)، وتحملها إلى خارج حدود الجليدية. تتراكم المواد الحطامية الكبيرة المحمولة في هذه السيول بالقرب من حدود الجليدية، بينما تنتقل المواد الأنعم إلى مسافاتٍ أبعد، لذلك فإن هذه التوضعات تكون على خلاف المورينات المترسبة، سابقة الذكر، مصنفة إلى حدٍ ما، ويكون التطبق فيها قريباً إلى الشكل النهري، إلا أنها أقل صقلاً من المواد المنقولة بالأنهار.



الشكل(16– 2). أمكنة الأنواع المختلفة من المورينات.

1– ثلج جليدي. 2– الجليدية الرئيسة. 3– رافد. 4– تشققات. 6– مورينات ناتجة عن جريان المياه تحت الجليدية. 7– مورينة جانبية. 8– مورينة نهائية(جبهية). 9– مورينة وسطية. 10– مورينة داخلية. 11– مورينات قاعية. 12– حلبة جليدية.

16–6– العصور الجليدية وأسباب التجلد:

يدل التحليل الجيولوجي لتاريخ الأرض على أن أجزاء مختلفة من القارات الحالية، كانت تقع في فترات معينة تحت سماكاتٍ كبيرة من الغطاءات الجليدية، كما يشير هذا التاريخ إلى أنه مرت على الأرض خلال المليوني سنة الماضية أربع مراحل جليدية، تم خلالها انقراض الكثير من الكائنات، وأدت إلى تغيرات كبيرة على سطح الأرض، كالتغيرات في مجاري الأنهار، وانخفاض، وارتفاع مستوى سطح البحر.

لقد وضع من أجل تفسير أسباب تشكل الجليديات، عدد كبير من الفرضيات، وعلى الرغم من أن هذه الفرضيات تختلف عن بعضها بشكلٍ من الأشكال، إلا أن جميعها لا يتعارض مع كون التجلد يتعلق بتغيرات مناخية شاملة على مستوى الكرة

الأرضية، ويمكن تقسيم العوامل التي طرحت، كعوامل مؤدية إلى حدوث تغيرات مناخية ، ارتبط بها وجود عصور جليدية، وأخرى بين جليدية، إلى عوامل فلكية، وعوامل جيولوجية.

- العوامل الفلكية: ينسب إلى هذه العواملالتغيرات الدورية في حركة الأرض، كتذبذبات مدارها، وتغير زاوية ميل محورها بالنسبة لمستوي الأبراج، وتغيرات شدة الاشعاعات الشمسية. يمكن لهذه العوامل أن تعمل منفردة أو مجتمعة، وتؤدي إلى زيادة أو نقصان كبيرين في المعدل الوسطي للحرارة في هذا، أو ذلك الجزء من سطح الكرة الأرضية.
- العوامل الجيولوجية: وهي تتعلق بشكلٍ رئيس بالحركات التكتونية، فيعتقد على سبيل المثال أن هناك علاقة أكيدة بين الفترات الجليدية، وفترات تشكل الجبال، التي تترافق بنشاط بركاني كثيف، مما يؤدي إلى قذف كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الجو، وتشكل حمض الكربون، ذي التأثير الدفيء. بينما يؤدي التطور الكبير للغابات، والزيادة الكبيرة في أعداد، وأنواع الكائنات البحرية، التي تكون هياكلها من كربونات الكالسيوم إلى استهلاك كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، حيث تعد تغيرات نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أحد العوامل الجيولوجية الهامة، التي تؤدي إلى تبرد دوري ، وحدوث تغيرات مناخية شاملة.

المصطلحات العلمية

Absolute age	**عمر مطلق**	**Cone of depression**	**مخروط الانخفاض**
Abyssal zone	**منطقة الأعماق السحيقة**	**Continental slope**	**منحدر قاري**
Antecedent stream	**سبق نهري**	**Core**	**نواة**
Aquifer	**طبقة مائية**	**Crystal structure**	**بنية بلورية**
Artesian well	**بئر ارتوازية**		
Asteroid	كويكب	**Crust**	**قشرة– قشرة أرضية**
Asthenosphere	**استينوسفير**	**Crystalline system**	**نظام بلوري**
Atmosphere	الغلاف جوي	**Dip**	**خط الميل**
Axis of symmetry	**محور التناظر**	**Directed pressure**	**ضغط موجه**
Bay barrier	**لسان حاجز**	**Dyke**	**جدار قاطع**
Barchan dune	**باركان/كثيب هلالي**	**Dynamic metamorphism**	**تحول ديناميكي**
Bathyal zone	**نطاق/أو منطقة الأعماق**	**Earthquake magnitude**	**قدر الزلزال**
Biosphere	**الغلاف الحيوي**	**Epicenter**	**المركز السطحي للزلزال**
Blocky lava	**لافا كتلية**	**Erosion**	**حت**
Box fold	**طية صندوقية**	**Exosphere**	**الغلاف الخارجي**
Cave	**كهف**	**Fan-shaped fold**	**طية مروحية**
Center of symmetry	**مركز الاتناظر**	**Fault**	**فالق**
Cleavage	**انفصام**	**Fracture**	**مكسر**
Comet	**مذنب**	**Fold**	**طية**
Continental zone	**رف قاري**	**Foliated rock**	**صخر مورق**
Galaxy	**مجرة**	**Mars**	**المريخ**

Geologic timescale	مقياس/ أو عامود/أوسلم الزمن الجيولوجي	Mercury	عطارد
Geyser	فوارة حارة	Mesosphere	غلاف متوسط
Glacier	جليدية	Metamorphism	تحول/استحالة
Graben	غور	Meteorite	نيزك
Hardness	قساوة	Milky way galaxy	مجرة درب اللبانة
Hexagonal	سداسي	Mineral	فلز
Horst	نجد	Moho-discontituity	انقطاع موهو
Hypocenter	بؤرة الزلزال	Monoclinic system	نظام أحادي الميل
Igneous rock	صخر ناري	Mohs scale	سلم موس
Inner core	نواة داخلية	Neptune	نبتون
Intrusive rock	صخر مندس	Neritic zone	منطقة المياه الضحلة
Isoclinal fold	طية متماثلة الميل	Parabolic dune	كثيب إهليلجي
Jupiter	المشتري	Permeability	نفوذية
Karst	كارست	Pillow lava	لافا وسائدية
Lagoon	لاغونة	Plane of symmetry	مستوي التناظر
Lava flows	طفوح اللافا	Pluto	بلوتو
Leman discontinuity	انقطاع ليمان	Plutonic rocks	صخور باطنية
Lithosphere	غلاف صخري	Polymorphism	تعدد شكلي
Littoral zone	منطقة شاطئية	Porosity	مسامية
Luster	بريق	Orthorhombic	معيني قائم
Longitudinal dune	كثيب طولي/ طولاني	Outer core	نواة خارجية
Magmatism	حادثة مهلية/ ماغماتية	Plutonic rocks	صخور باطنية
Mantle	معطف/وشاح	Relative age	العمر النسبي
Regional	تحول إقليمي	Streak	مخدش

			metamorphism
مضرب/خط اتجاه	**Strike**	نظام معيني	**Rhombohedral system**
قسر/أو اقتحام نهري	**Superimposed stream**	علامات الموج	**Ripple marks**
عناصر التناظر	**Symmetry elements**	أسر نهري	**River capture**
نظام رباعي	**Tetragonal system**	مصطبة نهرية	**River Terrace**
الغلاف الحراري	**Thermosphere**	لافا حبالية	**Ropy lava**
تومبولو	**Tombolo**	زحل	**Saturn**
كثيب مستعرض	**Transverse dune**	ترسيب	**Sedimentation**
نظام ثلاثي الميل	**Triclinic system**	سحن رسوبية	**Sedimentary facieses**
غلاف الأعاصير	**Troposphere**	سيسموغراف/جهاز تسجيل زلزالي	**Seismograph**
الكون	**Universe**	عتبة/جدار موازي	**Sill**
أورنوس	**Uranus**	المنظومة الشمسية	**Solar system**
الزهرة	**Venus**	لسان شاطئي	**Spit**
بركان	**Volcano**	نبع	**Spring**
بركنة/حادثة بركانية	**Volcanism**	نازلة	**Stalactite**
المنسوب/أو المستوي المائي	**Water table**	صاعدة	**Stalagmite**
		الغلاف الطبقي	**Stratosphere**

المراجع

- الخيمي، مُحَمَّد نصوح؛ و مُحَمَّد أنور محفوظ. 1986. الجيولوجيا العامة. منشورات جامعة دمشق، كلية العلوم، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، مطبعة رياض.
- عيسى، مُحَمَّد عبدالله؛ و عامر علي غبره. 2006. جيوكيمياء(2). منشورات جامعة تشرين، كلية العلوم، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية
- غبره، عامر. 1999. أسرار عالم الزلازل والبراكين. منشورات دار علاء الدين، دمشق.
- غبره، عام
- مُحَمَّد، أحمد مُحَمَّد. 2005. الجيولوجيا الفيزيائية-1. منشورات جامعة تشرين، كلية العلوم، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية
- معلولة، كايد. 2008. علم المستحاثات(2).منشورات جامعة دمشق، كلية العلوم، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية.
- ميلنتشوك ف. س؛ م. س. أراباجي. 1989. الجيولوجيا العامة.موسكو. نيدرا.(باللغة الروسية).
- يرمنكو ن. أ. 1990. الكون كما يراه علماء الأرض. موسكو. عامر غبره.،مترجم عن اللغة الروسية. 1997. دمشق، منشورات دار علاء الدين.

- Arthur Beiser; and Konrad B. Krauskopf. 1975. Introduction to Earth Science. McGraw-Hill, Inc, USA.
- Dictionary of Geological Terms. 1976. Prepared under the direction of the American Geological Institute.
- Martin Strip. 1980. Geology the Science of the Earth. Cambridge University Press.
- Robert J. Foster. 1979. Physical Geology. Bell& Howell company. Columbus.

- Sheldon Judson; Kenneth S. Deffeyes; and Robert B. Hargraves. 1976. Physical Geology. Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Rock(geology). http://en.wikipedia.org/wiki/Rocks.

Damascus University

اللجنة العلمية:

أ.د. إبراهيم الأدهمي

أ.د. أحمد خالد المالح

أ.م.د. كايد معلولة

المدقق اللغوي:

أ.د. نبيل أبو عمشة

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات