أساسيات علم الأشكال الأرضية

(الجيومورفولوجي)

Geomorphology

الأستاذ الدكتور

عبد الله سالم المالكي

كلية الآداب – جامعة البصرة

مكتبة دجلة
للطباعة والنشر والتوزيع

أساسيات علم الأشكال الأرضية
(الجيومورفولوجي)

الإهداء
المكتبة كلية الآداب
جامعة الكوفة
ع الأمانات

أساسيات علم الأشكال الأرضية

(الجيومورفولوجي)

الأستاذ الدكتور

عبدالله سالم المالكي

كلية الآداب – جامعة البصرة

الطبعة الأولى

2016

مكتبة دجلة
للطباعة والنشر والتوزيع

دار الوضاح للنشر

أساسيات علم الأشكال الأرضية (الجيومورفولوجي)

الأستاذ الدكتور عبدالله سالم المالكي

حقوق الطبع محفوظة

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو أي جزء منه إلا بإذن خطي من الناشر

رقم الايداع لدى المكتبة الوطنية (2016/2/625)

ISBN: 9957-582-75-3

دار الوضاح للنشر

المملكة الأردنية الهاشمية – عمان

شارع الملك حسين – مجمع الفحيص التجاري

هاتف:0096264613076

هاتف:0096264654794

dar.alwadah@yahoo.com

مكتبة دجلة

للطباعة والنشر والتوزيع

جمهورية العراق . بغداد

ساحة التحرير – مدخل شارع السعدون

هاتف:0096418170792

موبايل:009647705855603

dijla.bookshop@yahoo.com

﴿إِنَّ فِي خَلْقِ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ وَٱخْتِلَٰفِ ٱلَّيْلِ وَٱلنَّهَارِ وَٱلْفُلْكِ ٱلَّتِي تَجْرِي فِي ٱلْبَحْرِ بِمَا يَنفَعُ ٱلنَّاسَ وَمَآ أَنزَلَ ٱللَّهُ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مِن مَّآءٍ فَأَحْيَا بِهِ ٱلْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِن كُلِّ دَآبَّةٍ وَتَصْرِيفِ ٱلرِّيَٰحِ وَٱلسَّحَابِ ٱلْمُسَخَّرِ بَيْنَ ٱلسَّمَآءِ وَٱلْأَرْضِ لَأٓيَٰتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ﴾[البقرة:164]

محتويات الكتاب

الموضوع	الصفحة
فهرست الأشكال	12
فهرست الجداول	16
المقدمة	17
الفصل الاول: فلسفة علم اشكال سطح الأرض	**19**
مفهوم علم اشكال سطح الأرض	21
علاقة علم اشكال سطح الأرض بالعلوم الاخرى	23
الاتجاهات الحديثة لعلم اشكال سطح الأرض	26
فلسفة ديفز وفالتر بنك	26
فلسفة ثورمبري	28
الفصل الثاني: علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية	**33**
مقدمة عن كوكب الأرض	35
النظريات الحديثة التي تفسر علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية	37
دوران الأرض حول الشمس	39
حركة الأرض وعلاقتها بحركة القمر	40
الفصل الثالث:النظريات الحديثة التي تفسر توزيع اليابس والماء	**43**
اولاً: نظرية زحزحة القارات	45
ثانياً: نظرية التيارات الصاعدة	47
ثالثاً: نظرية انتشار قاع المحيط	49
رابعاً: نظرية الصفائح التكتونية	50

المنحنى الهبسومتري لتوزيع اليابس والماء	56
المعالم التضاريسية لأحواض المحيطات	57
الفصل الرابع: المكونات الأساسية للغلاف الصخري	**61**
طبقات الغلاف الصخري	63
المعادن	66
انواع الصخور	70
اولاً: الصخور النارية	70
ثانياً: الصخور الرسوبية	76
ثالثاً: الصخور المتحولة	81
دورة الصخور في الطبيعة	83
الفصل الخامس: الأشكال الأرضية الناتجة عن القوى الباطنية	**87**
اولاً: الصدوع	89
انواع الصدوع	91
ثانياً: الطيات	94
انواع الطيات	95
أولا: القوى الباطنية السريعة (الزلازل والبراكين)	99
الزلازل وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض	99
التوزيع المكاني للزلازل في العالم	104
ثانيا: البراكين وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض	107
تصنيف البراكين	110
التوزيع المكاني للبراكين في العالم	114

الفصل السادس: التجوية – انواعها ونتائجها	**117**
التجوية الميكانيكية	117
التجوية الكيميائية	122
العوامل المؤثرة في درجة ونوعية التجوية	125
نواتج التجوية	126
الفصل السابع: المنحدرات وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض	**131**
مفهوم المنحدر	133
العوامل المتحكمة في نشوء وتطور المنحدرات	134
حركة المواد الصخرية على سفوح المنحدرات	136
الأشكال الأرضية الحتية في بيئة المنحدرات	139
الأشكال الأرضية الترسيبية في بيئة المنحدرات	144
الفصل الثامن: الأنهار وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض	**147**
مفهوم النهر	149
مصادر مياه الأنهار	150
نظم جريان الأنهار	150
طبيعة جريان المياه في الأنهار	152
المقطع العرضي والمقطع الطولي للنهر	153
جيومورفولوجية الأنهار	154
اولاً: الخصائص الجيومورفيه للأنهار	154
ثانياً: عمل النهر	156
مستوى القاعدة	159

ثالثاً: مظاهر الحت والترسيب النهري	160
المرحلة الاولى: مرحلة الشباب	161
المرحلة الثانية: مرحلة النضج	166
المرحلة الثالثة: مرحلة الشيخوخة	170
تصابي الأنهار	179
المظاهر الأرضية ذات العلاقة بظاهرة تصابي الأنهار	180
الفصل التاسع: جيومورفولوجية حوض التصريف المائي	**183**
خصائص الحوض المائي	185
اولاً: الخصائص المساحية	185
ثانياً: الخصائص الحوضية الشكلية	187
ثالثاً: الخصائص التضاريسية للأحواض	194
رابعاً: خصائص الشبكة المائية للحوض	198
انماط التصريف النهري	203
الفصل العاشر: المياه الجوفية وتأثيرها في تشكيل مظاهر الكارست	**207**
المياه الجوفية	209
مصادر المياه الجوفية	210
العوامل المؤثرة في مستوى المياه الجوفية	212
تأثير المياه الجوفية في تشكيل مظاهر الكارست	214
الأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للمياه الجوفية	215
الدورة الجيومورفولوجية في مناطق الكارست	223

الفصل الحادي عشر: الأمواج وتأثيرها في تكوين الأشكال الأرضية في مناطق السواحل	**225**
خصائص الأمواج	228
العمل الحتي للأمواج والأشكال الأرضية الناجمة عنه	231
الأشكال الأرضية الترسيبية للأمواج البحرية	236
الفصل الثاني عشر: جيومورفولوجية الرياح في المناطق الجافة وشبه الجافة	**241**
الأشكال الأرضية الحتية	243
النقل بفعل الرياح	249
الأشكال الأرضية الترسيبية للرياح	251
اولاً: الترسبات الرملية	251
ثانياً: رواسب اللوس	256
الفصل الثالث عشر: الجليد وتأثيره في تكوين الأشكال الأرضية	**259**
تحول الثلج إلى جليد	262
انتشار الجليد	262
الثلاجات	264
الأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للجليد	268
اولاً: الأشكال الأرضية الناجمة عن الحت الجليدي	269
ثانياً: الأشكال الأرضية الناجمة عن الترسيب الجليدي	275
مصادر الكتاب	**281**

فهرست الأشكال

رقم الشكل	عنوانه	الصفحة
1	دورة الأرض حول الشمس	41
2	دوران القمر حول الأرض	41
3	خسوف القمر	42
4	قارة بنجايا وقارات العالم بعد تكسر القارة القديمة	46
5	التيارات الصاعدة وانتشار قاع المحيط	51
6	الصفائح التكتونية الرئيسة	52
7	حركة الصفائح في مناطق التقابل	55
8	المنحنى الهبسومتري	57
9	طبقات الغلاف الصخري	65
10	صخور البازلت والكرانيت	73
11	اوضاع الصخور النارية الباطنية والظاهرية	74
12	احد انواع الصخور الرسوبية	80
13	احد انواع الصخور المتحولة	84
14	دورة الصخور في الطبيعة	85
15	عناصر الصدع	90
16	انواع الصدوع	93
17	عناصر الطية	95
18	الطيات المحدبة والمقعرة المتماثلة	96

19	اشكال الطيات	98
20	جهاز تسجيل الزلازل	103
21	التوزيع المكاني للزلازل في العالم	106
22	مكونات البركان	109
23	افاق مقد التربة	129
24	زحف التربة	138
25	سقوط الصخور	138
26	البيدمنت والتلال المنفردة	141
27	مروحة فيضية	145
28	المقطع الطولي لمجرى نهري والمقطع العرضي للاجزاء الثلاثة من مجراه	154
29	مستوى القاعدة العام والمحلي	160
30	الحفر الوعائية	162
31	منعطفات الشباب	163
32	حالات تراجع الشلال نحو الوراء وتناقص في الارتفاع	165
33	الأسر النهري	169
34	مراحل تكوين السهل الفيضي	173
35	كيفية تكوين البحيرة الهلالية	174
36	كيفية تكوين الجسور الطبيعية	175
37	تكوين الدلتا	176
38	دلتا نهر النيل وفروعها	177

39	عدد من مظاهر الحت والترسيب النهري خلال الدورة الجيومورفية	178
40	مدرجات نهر الراين	181
41	المراتب النهرية	201
42	انماط التصريف النهري	204
43	المياه الجوفية جزء من دورة الماء في الطبيعة	210
44	اشكال الطبقات الحاملة للمياه الجوفية	212
45	الأشكال الأرضية في منطقة كارستية	216
46	احد الكهوف	219
47	مخطط داخلي لكهف	220
48	الأعمدة الصاعدة والأعمدة النازلة	221
49	الساحل والشاطئ والبلاج والجروف	228
50	الأمواج البحرية	229
51	تكسر الأمواج عند الساحل	231
52	تأثير ميل الطبقات الصخرية	232
53	الجروف الساحلية	234
54	الجروف البحرية	234
55	الكهوف والأقواس البحرية	235
56	الحواجز الرملية	239
57	تكوين المنخفضات الصحراوية بفعل الرياح	245
58	الموائد الصخرية	246

59	الأعمدة الصحراوية	247
60	تضاريس الياردانج	249
61	الجبال المنفردة أو الجزيرية	249
62	التموجات الرملية	252
63	عدد من انماط الكثبان الرملية	253
64	الكثبان الهلالية والكثبان الطولية	253
65	التوزيع المكاني لرواسب اللوس في شمال الصين	257
66	عدد من الأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للجليد	269
67	عناصر الوادي الجليدي	272
68	الوادي المعلق	272
69	الحلبة الجليدية	273
70	الفيوردات	274
71	الركام الأوسط	276
72	حقول الكثبان الجليدية	277
73	تلال الاسكرز	278
74	تلال الكام	279
75	الأحواض	280

فهرست الجداول

رقم الجدول	عنوانه	الصفحة
1	المعادن الرئيسة وبعض امثلتها	69
2	المساحات الحوضية وحجم التصريف المائي لعدد من الأنهار الرئيسة في العالم	186
3	نسب التشعب للمجاري المائية في احد الأحواض المائية	202
4	اقطار الحبيبات (ملم) وسرع الرياح الأولية اللازمة لحركتها	250
5	الفترات الجليدية في بعض الأقاليم	264

المقدمة

الحمد لله رب العالمين الذي اعاننا على تأليف هذا الكتاب المتضمن العوامل والعمليات الجيومورفولوجية التي اسهمت في رسم الصورة الحقيقية لأشكال سطح الأرض. وقد اقدمنا على الكتابة في موضوع علم الأشكال الأرضية على الرغم مما يتطلبه من جهد كبير مستعينين بالمؤلفات السابقة في هذا الصدد ومعتمدين على المفردات التي تضمنها المنهج المقرر في اقسام الجغرافيا – كليات التربية. وقد زود الكتاب بعدد لابأس به من الأشكال التوضيحية لكي يسهل على طلبتنا الأعزاء فهم ماورد فيه بسهولة.

تضمن الكتاب ثلاثة عشر فصلاً اختص الفصل الأول بفلسفة علم اشكال سطح الأرض، وتناول الفصل الثاني علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية، واهتم الفصل الثالث بالنظريات الحديثة التي تفسر توزيع اليابس والماء، وعالج الفصل الرابع المكونات الأساسية للغلاف الصخري، وخصص الفصل الخامس إلى الأشكال الأرضية الناتجة عن القوى الباطنية، ووضح الفصل السادس التجوية – انواعها ونتائجها، وكرس الفصل السابع إلى المنحدرات وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض، وتناول الفصل الثامن الأنهار وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض، وتضمن الفصل التاسع جيومورفولوجية حوض التصريف المائي، واهتم الفصل العاشر بالمياه الجوفية وتأثيرها في تشكيل مظاهر الكارست، وعالج الفصل الحادي عشر الأمواج وتأثيرها في تكوين الأشكال الأرضية في مناطق السواحل، واختص الفصل الثاني عشر بجيومورفولوجية الرياح في المناطق الجافة وشبه الجافة، أما الفصل الثالث عشر فقد تناول الجليد وتأثيره في تكوين الأشكال الأرضية.

وفي الختام نتوجه إلى الباري عز وجل شاكرين حامدين على توفيقه لنا في اتمام هذا الكتاب الذي لا ندعي فيه الكمال لان الكمال لله وحده، ونأمل أن يشكل اضافة علمية جيومورفولوجية ومادة تعليمية تكون عوناً للتدريسيين والطلبة، والله من وراء القصد.

المؤلف

الفصل الأول

فلسفة علم اشكال سطح الأرض

الفصل الأول

فلسفة علم اشكال سطح الأرض

مفهوم علم اشكال سطح الأرض Geomorphology:

يعد الجيومورفولوجي احد العلوم الجغرافية الحديثة التي لم تعرفها المناهج العلمية الا منذ اواخر القرن التاسع عشر. وان كلمة جيومورفولوجي تعبير مركب مشتق من عدد من المقاطع اليونانية القديمة، فكلمة Geo معناها الأرض وكلمة Morph معناها الشكل وكلمة Logos معناها علم، وعليه فان المعنى الحرفي لكلمة Geomorphology علم اشكال الأرض.

لقد اورد رودس وثورن Rhoads & Thorn عام 1996عدد من التعاريف لعلم اشكال الأرض وكالآتي:- (الدراجي، 2010، 27)

1- ان علم الجيومورفولوجي مكرس لتوضيح تضاريس سطح الأرض وفهم العمليات التي تكون وتعدل اشكال سطح الأرض.

2- علم الجيومورفولوجي هو دراسة اشكال سطح الأرض من حيث طبيعتها وأصلها وعمليات تطورها وتركيب المادة.

3- علم الجيومورفولوجي دراسة اشكال سطح الأرض بشكل كلاسيكي وقد درس العلماء تلك الأشكال التي صنفت وسميت من لدن علماء الجيومورفولوجي أو من لدن علماء الجيولوجي.

4- علم الجيومورفولوجي دراسة اشكال سطح الأرض ذات الصلة التي تقع بين الغلاف الصخري والغلاف المائي والغلاف الجوي، اي لاتقتصر على اشكال سطح الأرض القارية وما يتعلق بهوامشها البحرية، وانما تشمل شكل قاع البحر أو المحيط.

5- علم الجيومورفولوجي دراسة اصل وتطور المظاهر التضاريسية التي تتأثر بالعمليات الفيزيائية والكيميائية الموجودة على أو قرب سطح الأرض.

6- يهتم علم الجيومورفولوجي بتراكيب ومواد وعمليات وتاريخ اشكال سطح الأرض المتغيرة وان هذه المكونات الأربعة هي المكونات الضرورية لدراسة طبيعة واصل سطح الأرض الحديث.

7- علم اشكال سطح الأرض هو وصف وتحليل وفهم تلك الأشكال.

8- يعرف علم الجيومورفولوجي بشكل واسع بانه العلم الذي يدرس ماضي وحاضر ومستقبل اشكال سطح الأرض.

وقد اتسع مجال هذا العلم في الآونة الأخيرة، حيث اشتملت موضوعاته على التوزيع المكاني لظاهرات سطح الأرض ودراسة نشأتها ومراحل تطورها والازمنة التي تكونت فيها، كما اهتمت بدراسة توزيع المسطحات المائية والعلاقة بين مناسيب اليابس واشكال قاع المحيط، مؤكداً على تحديد العوامل التي ساهمت في تكوين تضاريسها والتي لا تزال تعمل على تغييرها لحد الآن.

وبهذا المفهوم فان علم اشكال سطح الأرض يهتم بدراسة جميع معالم سطح الأرض بغية التعرف على صيغها وظروف نشأتها والعوامل التي اشتركت في تشكيلها وتتبع مراحل تطورها، اي انه يهتم بالبعد الزمني للظاهرة ويجيب على اسئلة متى وكيف؟ بمعنى متى تكونت تلك الظاهرة؟ وكيف تكونت اي ما العوامل التي ساهمت في تكوينها؟ ويلاحظ كذلك اهتمامه بالتوزيع الجغرافي لمظاهر سطح الأرض وبذلك فهو يجيب على اسئلة اين ولماذا؟ بمعنى اين توجد تلك الظاهرة؟ ولماذا تكونت في هذا المكان دون غيره؟

علاقة علم اشكال سطح الأرض بالعلوم الاخرى:

تعد الدراسة الجيومورفولوجية حلقة الربط بين كل من علمي الجيولوجيا الطبيعية Physical Geology والجغرافية الطبيعية Physical Geography، لذا فانه يشكل فرعاً مهماً من فروع علم الأرض وكذلك فرعاً مهماً من فروع الجغرافيا الطبيعية. تعالج الجيومورفولوجيا اشكال السطح اليابس من الكرة الأرضية كنتيجة لعمليات جيولوجية، يضاف اليها في بعض الاحيان فعل الأنشطة البشرية. ونظراً لقدم معظم اشكال الأرض واستمرار خضوعها لهذه العمليات، فان الجيومورفولوجيا تركز على تاريخ اشكال الأرض الذي يمتد في القدم ويستمر حاضراً ومستقبلاً. وهنا تبرز علاقة الجيولوجيا بدراسة ماضي اشكال الأرض، وفي هذا الاطار تسعى الجيولوجيا كعلم من علوم الأرض إلى تفسير اشكال سطح الأرض من وجهة نظر تاريخية مع تحديد المراحل التاريخية لتطورها. وقد ساهم العديد من الجيولوجيين في وضع الكثير من الاسس النظرية لعلم الجيومورفولوجيا.

لقد اعتبر علم الجيومورفولوجيا في اوربا فرع من فروع الجغرافية الطبيعية لكونه يفسر اشكال سطح الأرض ضمن اطار العمليات الجيولوجية المستمرة التي ترتبط بعناصر البيئة المختلفة مثل الغطاء النباتي والمناخ، وان نظرة الجغرافيين لعلم الجيومورفولوجيا تستند على دراسة اشكال سطح الأرض بوضعها الحالي التي نتجت عن عمليات لاتزال تعمل وتمارس نشاطها.

يستند علم الجيومورفولوجيا في استقاء معلوماته غلى العديد من العلوم الاخرى ذات الصلة بمحيطه وفيما يأ تي توضيح علاقة علم اشكال سطح الأرض بالعلوم الاخرى:-

1- علم قياس الأرض Geodesy: يهتم هذا العلم بتحديد مواقع وارتفاعات نقاط معلومة على سطح الأرض، وبالتالي فان علم الجيومورفولوجي بحاجة ماسة إلى مثل هذه القياسات لمعرفة التباين التضاريسي على سطح الأرض، وعلى قاع البحار والمحيطات ليتمكن بدوره من اعطاء التفسيرات العلمية لهذا التباين التضاريسي.

2- علم الطبيعة الأرضية Geophysics: وهو العلم الذي يكشف لعلم الجيومورفولوجي خبايا قوى باطن الأرض المتمثلة بالزلازل والبراكين والتي يتحدد من خلالها ايضاً مناطق الضعف الجيولوجي للأرض، وهنا يأتي دور المتخصص في علم الجيومورفولوجي لكي يكون تصور نظري لهذه القوى وما مقدار فاعليتها في اعادة رسم الصورة التضاريسية على سطح الأرض؟ وما الكوارث الطبيعية التي تترتب على حدوث الزلازل والبراكين؟ وكيفية مجابهتها والتقليل من مخاطرها.

3- علم الأرض Geology: يمثل علم اشكال سطح الأرض همزة وصل بين علم الأرض وعلم الجغرافيا، وعليه فان علم الأرض يوفر للمتخصص في علم الجيومورفولوجي العمر الزمني والتطور التاريخي ونظام بنية الطبقات لكل ظاهرة تضاريسية على سطح الأرض.

4- علم الجغرافيا Geography:حينما نضع دراسة اشكال سطح الأرض في اطار البيئة الجغرافية فان الطريق يصبح سهلاً لفهم الرباط المتين بين علم اشكال سطح الأرض وبين علم المناخ Climatology والجغرافية النباتية والخرائط. فاشكال سطح الأرض تتأثر بالمناخ ويتأثر المناخ بالتضاريس كما تؤثر التضاريس في النبات الطبيعي.

5- علم الأحياء Biology: لكي نفهم طبيعة النباتات والحيوانات التي عاشت في الأزمنة القديمة فان الباحث الجيومورفولوجي يلجأ إلى علوم الحياة للتوصل إلى تفسيرات للظواهر الجيمورفية وتوزيعها وتاريخ تطورها.

6- علم الفيزياء Physics: يهتم علم الفيزياء بدراسة طبيعة المواد وحركتها وبالتالي فهو يساعد في تفسير انواع القوى الفيزيائية التي تؤثر في الأرض ورد فعل المواد لهذه القوى. ويستفيد الباحث الجيومورفولوجي من دراسة الخصائص الفيزيائية للمواد وحركة الرواسب التي تدخل ضمن التجوية الفيزيائية.

7- علم الكيمياءChemistry: يهتم هذا العلم بدراسة تركيب المواد وما يحدث لها من تغيرات، ولما كان الباحث الجيومورفولوجي يهتم بدراسة تحليل الخصائص الكيميائية للصخور فانه بحاجة ماسة لهذا العلم.

8- الرياضيات Mathmatics: يحتاج الباحث الجيومورفولوجي إلى علم الرياضيات لاسيما وان احد الاتجاهات الحديثة في علم الجيومورفولوجي يتمثل بالدراسات الكمية للوصول إلى الدقة في التفسير.

يستدل مما تقدم ان لعلم الجيومورفولوجي علاقة بالعلوم الاخرى وفي الوقت ذاته فهو يخدم الكثير من العلوم الحديثة وخاصة علم التربة والهيدرولوجي وعلم التعدين والهندسة المدنية والعلوم العسكرية والتخطيط الأقليمي، لذا فقد استحدث العلماء فرعاً جديداً في الدراسة الجيومورفولوجية يختص بالاستفادة من المعلومات الجيومورفولوجية عند اقامة المشروعات المختلفة ويعرف هذا الفرع باسم الجيومورفولوجية التطبيقية Applied geomorphology.

الاتجاهات الحديثة لعلم اشكال سطح الأرض:

يمكن تلخيص الاتجاهات الحديثة لعلم اشكال سطح الأرض بالنقاط الآتية:- (صفي الدين، 1971، 18-19).

1- ميل علم الجيومورفولوجي -وخصوصاً في الولايات المتحدة الامريكية- للاقتراب من علم الجيولوجيا اكثر من الجغرافية الطبيعية. ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة اعتماد الدراسات الجيومورفولوجية على علم الأرض بشتى فروعه.

2- تطور الدراسات الجيومورفولوجية الأقليمية اي دراسة أقليم معين من سطح الأرض وتمييز الظاهرات الجيومورفولوجية فيه وتفسير التوزيع المكاني لها وتتبع نشأتها ومراحل تطورها، ثم جمع هذه الظاهرات وتقسيمها إلى اقاليم جيومورفولوجية ثانوية مثل أقليم الجبال وأقليم الهضاب وأقليم السهول... الخ.

3- الاتجاه بدراسة علم اشكال سطح الأرض نحو ابراز الأهمية النفعية لهذا العلم في ميادين التربة والمياه الجوفية والتعدين والعمليات الانشائية وغيرها.

4- ظهور الاهتمام بالوسائل الكمية والتجريبية في الدراسات الجيومورفولوجية لغرض زيادة فهم العمليات الجيومورفولوجية، بحيث تصبح نتائج الدراسات علمية محددة بدلاً من ان تكون دراسات وصفية عامة.

فلسفة ديفز وفالتر بنك:

يعد العالم الامريكي وليم ديفز 1850-1934 مؤسس علم الجيومورفولوجي، اذ استطاع من خلال دراساته للجوانب الجيمورفولوجية وما اقترحه من نظريات وما اكتشفه من حقائق علمية واعتماده على نتائج ابحاثه الحقلية، ان يضع لعلم الجيومورفولوجي قواعده واصوله وان يميزه عن غيره من

العلوم الاخرى. وقد نشر ديفز بحوثاً كثيرة حول مشاكل جيومورفولوجية متعددة كالآثار التي يكونها الجليد والجزر المرجانية والصحاري. ووضع ديفز اشكال سطح الأرض في قالب زمني تضمن ثلاث مراحل تطورية تشكل بمجموعها دورة التعرية، وهذه المراحل هي: مرحلة الطفولة Young Stage ومرحلة الشباب Mature Stage ومرحلة الشيخوخة Old Stage. وتتفاوت خصائص اشكال الأرض في هذه المراحل حسب ثلاثة ابعاد تتمثل في البناء الجيولوجي والعملية والزمن. وفي حالة مرور الظاهرة التضاريسية بجميع هذه المراحل بانتظام فانها تكون قد اكملت دورة تحاتية كاملة A complete Cycle. اما اذا اضطربت الدورة التحاتية بسبب حدوث حركات تكتونية جديدة تؤدي إلى ارتفاع سطح الأرض واعادة مظهر الطفولة للمنطقة فتعود مرحلة الطفولة من جديد وتعرف في هذه الحالة باسم الدورة التحاتية الناقصة Partial Cycle.

وبفضل انتشار ابحاث ديفز بعدد من اللغات منها الانكليزية والفرنسية والالمانية والايطالية والاسبانية استطاع ان يؤسس مدرسة علمية تتبع منهجه عرفت باسم (المدرسة الجيومورفولوجية الدافيزية أو الأمريكية).

ظلت افكار المدرسة الدافيزية أو الأمريكية شائعة في الفكر الجيومورفولوجي العالمي حتى بداية القرن العشرين، حيث عورضت افكار ديفز حول الدورة الجيومورفولوجية من لدن بعض الكتاب واشهرهم فالتر بنك Penck عام 1920 الذي اعتقد بان التعاقب الذي جاء به ديفز لمراحل الدورة الجيومورفولوجية لايكون شائعاً، وان هناك تأثيرات مناخية في الظواهر الجيومورفولوجية، وان الدورة تبدأ في المعتاد بتعرض المنطقة إلى حركات رافعة بطيئة جداً تزداد سرعة بعد ذلك، مما يحول دون مرور المنطقة بالمراحل التي تحولها

إلى شبه سهل منخفض، وان سطح الأرض في بعض المناطق نادراً مايظل في حالة من الثبات لفترة طويلة تسمح باكتمال الدورة الجيومورفولوجية.(صفي الدين، 1971، 18)

فلسفة ثورمبري Thornbury:

لخص وليم ثورمبري فلسفته في عشرة افكار تعد المفاهيم الاساسية في علم الجيومورفولوجي وتشتمل هذه الأفكار على ما يأتي:- (كوبل، 1986، 25- 34)

الفكرة الاولى: (القوى التي تشكل سطح الأرض اليوم هي نفسها التي شكلته خلال العصور الجيولوجية السابقة ولكن بدرجات متفاوتة من عصر إلى آخر)

يقصد بالعملية الجيومورفولوجية القوة التي غيرت وما تزال تغير من مظاهر سطح الأرض وتضم العمليات الجيومورفولوجية عمليات باطنية Internal واخرى ظاهرية External، تضم العمليات الباطنية العمليات البانية للقارات والعمليات البانية للسلاسل الجبلية والعمليات المرتبطة بالنشاط البركاني والزلزالي، وان القوى التي تسبب تلك العمليات مرتبطة بالنشاط التكتوني الباطني للقشرة الأرضية وتكون هذه العمليات بنائية. وتضم العمليات الظاهرية التجوية والمياه السطحية الجارية والجليد والثلاجات والرياح والأمواج والمياه الباطنية. ويكون عمل هذه المجموعة هدمياً حيث تؤدي في اغلب الأحيان إلى تسوية التضاريس والوصول بها إلى قاعدة التعرية.

ان العمليات الظاهرية والباطنية كانت جميعها موجودة خلال الأزمنة والعصور الجيولوجية الا أن شدة عملها لم تكن على وتيرة واحدة، فقد اشتد نشاط الكثير من العمليات الجيومورفولوجية بواسطة الجليد خلال الفترات الجليدية التي

حدثت في البلايوستوسين، وتعرضت مساحات واسعة إلى العمل النهري وهي الآن عبارة عن صحاري خالية من المجاري النهرية.

الفكرة الثانية: (تعتبر البنية الجيولوجية عاملاً مسيطراً في تطور الأشكال الأرضية وتنعكس فيها)

تعني البنية Structure نوعية الصخور ووضعيتها ضمن القشرة الأرضية. فالصخور تختلف في درجة صلابتها ومقدار مقاومتها للعمليات الجيومورفية، كما ان للنظام المفصلي الذي تحتويه الصخور دوراً آخراً في مقدار استجابتها للعمليات الجيومورفية، فحينما توجد مفاصل واسعة وعميقة فان تأثر تلك الصخور بالتعرية يكون اسرع من تلك التي يكون نظامها المفصلي غير متطور.

وتعني وضعية الصخور مقدار استجابتها وتأثرها بالعمليات الباطنية كالحركات الالتوائية والانكسارية والنشاط البركاني. فالبنية التي تمثلها الصخور التي تكون سهلاً ساحلياً تختلف عن البنية التي تتكون من طبقات صخرية افقية الامتداد. ولكل بنية من البنيات مجموعة من التضاريس المتعلقة بها، اذ تختلف الأشكال الأرضية التي تحتويها بنية التوائية تماماً عن التضاريس التي تظهر فوق سهل ساحلي على الرغم من ان التضاريس في كلتا الحالتين نتجت من عملية جيومورفية واحدة وفي مرحلة واحدة من الدورة الجيمورفية.

الفكرة الثالثة: (تؤدي العمليات الجيومورفية دورها بمعدلات متباينة ولهذا السبب تمتلك الأرض تضاريسها)

يجب ان لانربط بين تكوين التضاريس وبين تباين الصخور في درجة مقاومتها فقط، اذ تتأثر عمليات التعرية بظروف محلية تزيد أو تقلل من شدة التعرية

مثل درجات الحرارة والارتفاع ودرجة التضرس وكثافة الغطاء النباتي. وهذا ما نلاحظه عند مقارنة تأثير التعرية على سفح جبل وبطن واد، أو بين الأرض الجرداء والأرض المكسوة بالغطاء النباتي. كما ان الأنهار ليست متساوية جميعها في عملها وتأثيرها وكذلك الثلاجات والرياح... الخ.

الفكرة الرابعة: (تترك العمليات الجيومورفولوجية آثارها المتميزة على الأشكال الأرضية، وتطور كل عملية جيومورفية مجموعتها الخاصة من الأشكال الأرضية)

يمتلك كل شكل أرضي خصائصه المميزة التي تعتمد على نوع العملية التي كونته، فالسهول الفيضية والسهول المروحية هي نتاج عمل النهر، والحفر البالوعية والكهوف هي نتاج عمل المياه الباطنية، والكثبان الرملية هي نتاج عمل الرياح. وعليه يتمكن الباحث الجيمورفولوجي من ان يميز الأشكال الأرضية وان يحدد العملية التي كونتها حتى وان كانت تلك العملية غير موجودة في الوقت الحاضر.

الفكرة الخامسة:(ينتج تعاقب مرتب للأشكال الأرضية بينما تؤدي عوامل تعرية مختلفة عملها فوق سطح الأرض)

تتطور الأشكال الأرضية ضمن مايعرف بالدورة الجيومورفولوجية التي اعتقد بها ديفز ابتداء من مرحلة النشوء ثم الشباب والنضج والشيخوخة وان هذا التعاقب يكون مرتباً، فمرحلة النضج التي يمر بها اي مظهر أرضي تأتي بعد الشباب وتكون كل عملية جيمورفية مسؤولة عن تطوير اشكال أرضية خاصة بها. وان الشكل الجيومورفولوجي عند ديفز عبارة عن تفاعل بين العوامل الآتية:

الشكل الأرضي = البنية+ العملية + المرحلة. وان اي تبدل في احدها يجب ان يؤدي إلى تغير في العوامل الاخرى المكونة لها.

الفكرة السادسة: (التعقيد اكثر شيوعاً من البساطة في التطور الجيومورفولوجي)

يعني التطور الجيومورفولوجي البسيط ان مظهراً أرضياً معيناً يتعرض لتأثير عملية جيومورفية واحدة ويمر خلال دورة جيومورفولوجية واحدة. غير ان هذا التطور غير موجود في الطبيعة الا بنطاق محدود جداً، اذ لاتوجد الا جهات قليلة تؤثر عليها عملية جيومورفية واحدة بل يحدث نوع من التداخل في تأثير عدة عمليات، ففي الوادي الجليدي الذي يكون نتاجاً اساسياً لعمل الجليد تقوم عوامل التجوية والمياه السطحية بدورها فيه ايضاً. كما ويمر القليل من المظاهر الأرضية بدورة جيومورفية متكاملة واحدة، حيث ان الدورات المقطوعة شائعة الوجود في عملية تطوير التضاريس.

الفكرة السابعة: (قسم قليل من تضاريس الأرض اقدم من الزمن الثالث ولا يزيد عمر معظمها عن البلايستوسين)

توجد سطوح تعرية تعود إلى عصور جيولوجية بعيدة ولكن هذه الظواهر قليلة جداً نتيجة للتعرض المستمر لعمليات التعرية خلال الحقب الجيولوجية الطويلة. وان حوالي 90٪ من التضاريس الحالية نشأت في الفترة التي تلت الزمن الثالث.

الفكرة الثامنة: (لايمكن تفسير وجود تضاريسنا الحالية دون تصور دقيق لتأثير التغيرات الجيولوجية والمناخية التي حدثت خلال البلايستوسين)

لقد كان للتغيرات المناخية التي حصلت خلال البلايستوسين تأثيراً مهماً جداً في التضاريس الموجودة حالياً على سطح الأرض. ففي الفترات الجليدية اثرت التعرية الجليدية على مساحات شاسعة من سطح الأرض. كما زادت كمية الأمطار في المناطق الصحراوية وظهرت عليها آثار لعمل نهري، وأدى هبوط مستوى البحر

خلال العصر الجليدي إلى تكوين ظاهرة السواحل المرتفعة، وتعرضت الأنهار التي كانت تصب في المحيطات إلى اعادة مرحلة الشباب وما يصاحبها من مظاهر جيومورفية خاصة. لذلك ولكي نستطيع ان نفسر وجود بعض التضاريس التي لاتوجد عليها العملية التي كونتها لابد من الرجوع إلى الوضع المناخي والجيولوجي الذي كان سائداً في البلايستوسين.

الفكرة التاسعة: (لتفهم الأهمية المتباينة لمختلف العمليات الجيمورفية لابد من معرفة لمناخات العالم)

لايمكن الفصل بين العمليات الجيومورفية الظاهرية عن عامل المناخ، فالتجوية تؤثر في الصخور وتتأثر بعناصر المناخ كدرجات الحرارة والرطوبة والأمطار، والرياح عنصر مناخي يؤثر في التعرية. ويرتبط عمل المياه السطحية الجارية ارتباطاً وثيقاً بطبيعة المناخ السائد، لذا فمن الضروري ان تكون للباحث الجيومورفولوجي خلفية مناخية خاصة تمكنه من معرفة طبيعة العمليات الجيمورفية السائدة في الأقليم الذي يقوم بدراسته مثل طبيعة تساقط الأمطار وسرع الرياح واتجاهاتها وغيرها من المعلومات المناخية.

الفكرة العاشرة: (على الرغم من ان الجيومورفولوجيا تهتم بدراسة مظاهر الأرض الحالية الا انها تصل ذروة فائدتها من خلال توسعها التاريخي)

ظهرت قيمة هذه الفكرة من خلال الاهتمام الحالي بدراسة مايعرف بالمظاهر الجيومورفولوجية القديمة. وتحتاج عملية دراسة هذه المظاهر وخاصة المطمورة منها إلى خلفية تقنية خاصة واساليب علمية متطورة للكشف عنها ومعرفتها. وان الهدف من الجيومورفولوجي لايقتصر على وصف الأشكال الأرضية وقياس ابعادها وانحداراتها بل ان الجيومورفولوجي يساهم في تطوير بلاده اقتصادياً، اذ انه يساعد في الكشف عن المظاهر المطمورة التي ستساهم بصورة أو باخرى في مجال التطور الاقتصادي.

الفصل الثاني

علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية

الفصل الثاني

علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية

مقدمة عن كوكب الأرض:

تتكون المجموعة الشمسية من الشمس والكواكب السيارة والأجرام الفلكية الاخرى مثل الشهب والنيازك والمذنبات والكويكبات. وتعد الأرض ثالث الكواكب من حيث البعد عن الشمس، اذ تبعد عنها حوالي 150 مليون كم، ولها تابع واحد وهو القمر. ويشبه شكل الأرض جسماً كروياً غير مكتمل تقريباً فهي مفلطحة عند القطبين، يبلغ نصف قطرها الاستوائي 6378 كم ويبلغ متوسط كثافة الأرض 5.5غم/ سم3 وتقل الكثافة في القشرة الخارجية، حيث تبلغ 7. 2غم/ سم^3 وتزداد بالاتجاه نحو المركز.

تتكون الأرض من الأغلفة الآتية:

1- الغلاف الغازي Atmosphere:

يتألف الغلاف الغازي من النطاق الذي يحيط بالكرة الأرضية ويحتوي على خليط من الغازات. وتحتفظ الأرض بغلافها الغازي بفعل قوى الجاذبية الأرضية التي تجذبه وتبقيه حولها. وابرز الغازات التي يتكون منها الغلاف الغازي هي النتروجين بنسبة 78٪ والاوكسجين 21٪، فيما تتشكل النسبة الباقية من غازات مختلفة مثل ثاني اوكسيد الكاربون والارجون والهليوم والكاربون والهيدروجين وبخار الماء واوكسيد الكبريت. كما يوجد نطاق من غاز الاوزون الذي يمثل نطاقاً عازلاً للأشعة فوق البنفسجية يمنعها من الوصول إلى سطح الأرض (شحادة، 2009، 34).

وتتمثل في الغلاف الغازي كل صور الجو وظواهره التي تؤثر تأثيراً كبيراً في تشكيل سطح الأرض وتغييره.

2- الغلاف المائي Hydrosphere:

يتمثل الغلاف المائي في مياه المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار والمياه الجوفية ويغطي حوالي 71٪ من اجمالي مساحة الأرض. ويقوم الغلاف المائي بعمليات جيومورفية متعددة مثل التعرية والترسيب وحمل الفتات الصخرية بواسطة الأنهار إلى البحار والمحيطات، وعندما تترسب تلك المفتتات تتكون الصخور الرسوبية. كما ان عملية النحت والارساب تؤدي إلى تغيير سطح الأرض.

3- الغلاف الحيوي Biosphere:

يطلق على الغلاف الحيوي تعبير غلاف الحياة لانه يشتمل على مختلف الكائنات الحية التي تعيش على اليابس أو في المياه أو في الجو. وينشأ الغلاف الحيوي في نطاق متداخل نتيجة التفاعل المتبادل بين ثلاثة اغلفة لكوكب الأرض هي الغلاف الصخري الصلب والغلاف المائي والغلاف الغازي، وتعيش في هذا الغلاف الكائنات الحية. وتكمن اهمية هذا الغلاف بالتفاعلات البايلوجية التي تحدث فيه، وتأثير الكائنات الحية على صخور القشرة الأرضية.

4- الغلاف الصخري Lithosphere:

يشمل الغلاف الصخري القشرة الأرضية وجزء من باطن الأرض يقع اسفل القشرة. ويتشكل من القارات التي تحيط بها المنخفضات والأحواض التي تمثل قيعان البحار والمحيطات. وتوجد في مراكزالقارات كتل من الصخور النارية والمتحولة التي تعرف بالدروع القارية والتي يعود تاريخها إلى عصر ماقبل الكامبري. وسنتطرق إلى مكونات الغلاف الصخري في الفصل الرابع.

النظريات الحديثة التي تفسر علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية:

1- النظرية السديمية:

تقدم بهذه النظرية العالم الفرنسي لابلاس عام 1796، وتتلخص هذه النظرية في ان المجموعة الشمسية كانت عبارة عن كتلة هائلة من الغازات المتوهجة تدور حول نفسها بعكس اتجاه عقرب الساعة. واخذت هذه الكتلة السديمية تتقلص بسبب فقدان الحرارة فانكمش حجمها وزادت سرعة دورانها وانبعجت عند المنطقة الاستوائية وتفلطحت عند القطبين. ونتيجة للقوة الطاردة عن المركز والدوران السريع انفصلت من السديم كتل غازية على شكل اقراص اخذت تدور حول نفسها وحول السديم في ذات الوقت وفي نفس الاتجاه للسديم الاصلي، ثم مالبثت هذه الكتل الغازية ان اخذت تفقد حرارتها وتصلبت اجزاؤها الخارجية فانكمشت وتجمعت مادتها وكونت اجساماً كروية هي الكواكب السيارة. وقد وجهت انتقادات كثيرة إلى هذه النظرية.

2- نظرية فيسنكوف:

تقدم بهذه النظرية العالم ف. ج. فيسنكوف عام 1945 وترى هذه النظرية ان نشأة الأرض مرت بمراحل عديدة منذ بدء تكوينها حتى بردت وهذه المراحل هي: (تراب، 2005، 48).

أ- انفصلت الأرض من الشمس على هيئة حلقة من السديم تجمعت فيها دقائق الغبار والغازات مكونة كتلة صلبة لايوجد حولها غلاف غازي.

ب- ارتفعت درجة حرارة الحلقة السديمية مما ادى إلى انفصالها واعادة ترتيب مكوناتها حسب الكثافة النوعية للمواد، فالأكثر كثافة إلى الداخل والأخف إلى

الخارج. وقد برز من هذا المكون الخفيف غازات وابخرة احاطت بكوكب الأرض مكونة غلافاً غازياً يحتوي على نسبة ضئيلة من بخار الماء.

ج- بردت الأرض وتكاثف بخار الماء على هيئة سحب وهطل المطر على سطحها وبعد ذلك برز اليابس الأرضي على هيئة جزر بركانية متباعدة ثم تقاربت بفعل عوامل النحت والتعرية وانتظمت مواد القشرة الأرضية وظهرت مختلف الصخور.

د- ترى هذه النظرية ان تاريخ الكون يرجع إلى 20 بليون سنة وتعود نشأت الشمس إلى 16 بليون سنة والأرض إلى حوالي 4. 6 بليون سنة، واما تاريخ المياه على الأرض فهو حديث نسبياً لايزيد عن 2 بليون سنة.

هـ - تأثرت الأرض بعد ذلك بقوى عديدة ادت إلى تمزقها ونتج عن ذلك القارات والمحيطات والتضاريس المختلفة.

3- نظرية الانفجارات النووية:

اقترح هذه النظرية العالم الفلكي جورج لاميتر عام 1931 وايدها العالم الروسي جورج جامو عام 1946. وتفترض ان قسماً من الفضاء الكوني كان يقع بين مدار الأرض حول الشمس يتألف من غازات كثيفة وبمرور الزمن اتحدت ذرات تلك الغازات مع بعضها وكونت الخلايا النووية، وقد صاحب تكوين تلك الخلايا انفجارات عظمى ادت إلى تناثر الأجزاء الكونية في محيط اكبر حجماً من المحيط الذي كانت تشغله الغازات من قبل. وبعد عملية الانفجارات النووية بدأت تتكثف الغازات من جديد وتولدت كواكب جديدة في الفضاء الخارجي.

4- يجمع معظم العلماء ان الكون كان عبارة عن بقايا كرة هائلة من النار تولدت قبل حوالي 20 بليون سنة اثر انفجار ذري عظيم، ثم تناثرت شظاياها مولدة اجراماً كونية تدور في حلقة تتسع وتبتعد عن مركز الانفجار لتكون الأجرام السماوية المعروفة.

دوران الأرض حول الشمس:

تدور الأرض حول الشمس في مدار اهليلجي من الغرب إلى الشرق بسرعة معدلها 30كم في الثانية وتكمل دورتها بمدة 365 يوم وربع اليوم، ولما كان مدار الأرض حول الشمس اهليليجياً فان المسافة بين الأرض والشمس ليست متساوية تماماً في المواقع المختلفة على ذلك المدار، ويطلق على اقرب نقطة للأرض عن الشمس اسم نقطة الحضيض حيث تبلغ المسافة بينهما 147 مليون كيلومتر، في حين يطلق على ابعد نقطة للأرض عن الشمس اسم نقطة الأوج التي تبلغ مسافتها حوالي 152 مليون كيلومتر. وعند دوران الأرض في مدارها حول الشمس فانها لاتغير في محورها المائل الذي يميل عن المحور العمودي على مسار الأرض بزاوية مقدارها 23.5 درجة، بل يظل هذا المحور المائل موازياً دائماً لنفسه في مختلف المواقع على طول المدار، وينجم عن ذلك تغير تعامد الشمس على الأرض على مدار السنة، مما يؤدي إلى اختلاف مساحة اجزاء سطح الأرض المعرضة للشمس في مختلف دوائر العرض بنصفي الكرة الأرضية، ومن ثم فان اختلاف طول الليل والنهار وحدوث الفصول الأربعة تعد نتيجة للدورة السنوية للأرض حول الشمس وميل محور الأرض على مستوى مدارها، فعندما تتعامد الشمس على خط الاستواء في 21 آذار و 23 ايلول يتساوى طول الليل والنهار ويحدث الاعتدالين الربيعي والخريفي، وعندما تتعامد الشمس على مدار الجدي في 21 كانون الاول (الانقلاب الشتوي) يحدث الشتاء في النصف الشمالي من الكرة الأرضية والصيف

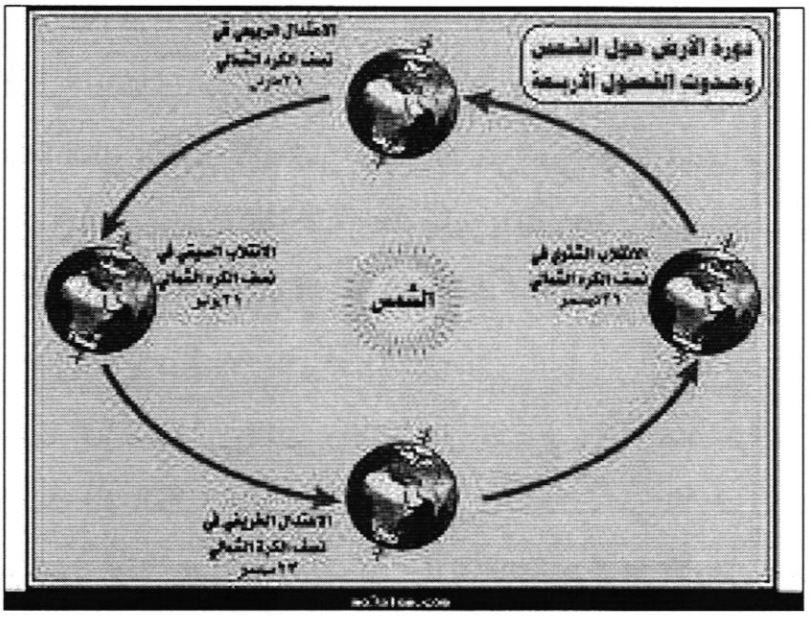
في نصفها الجنوبي، أما حينما تتعامد الشمس على مدار السرطان في 21 حزيران (الانقلاب الصيفي)فيحدث الصيف في النصف الشمالي والشتاء في النصف الجنوبي ويوضح الشكل (1) دورة الأرض حول الشمس.

وتدور الأرض حول محورها من الغرب إلى الشرق بسرعة 1660 كم/ساعة وتتم دورتها خلال 24 ساعة ينتج عنها تعاقب الليل والنهار. وتؤثر هذه الحركة في انحراف الرياح والتيارات البحرية إلى يمين اتجاهها في نصف الكرة الشمالي والى يسار اتجاهها في نصف الكرة الجنوبي والتي تسمى بقوة الكوريوليس.

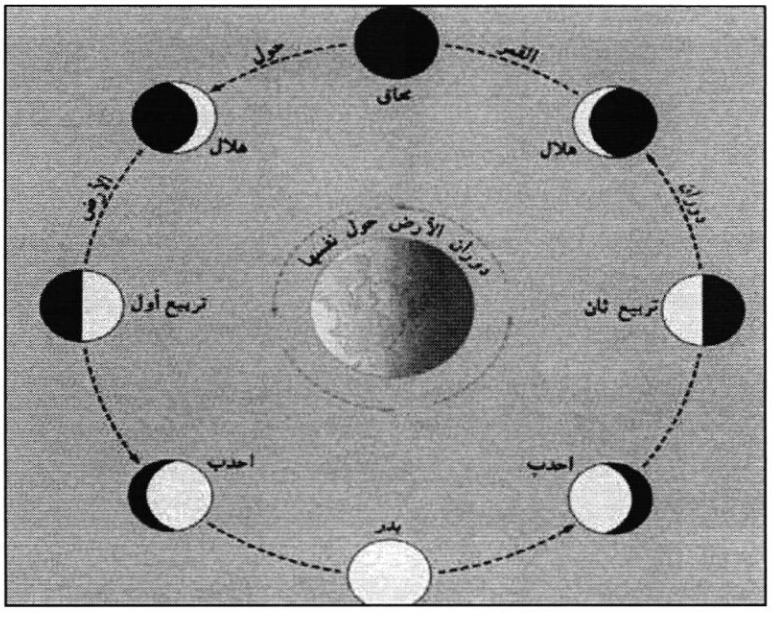
حركة الأرض وعلاقتها بحركة القمر:

للأرض تابع واحد هو القمر الذي يدور حولها في مدار اهليلجي تقع الأرض في احدى بؤرتيه خلال مدة تبلغ 27 يوماً و7 ساعات و43 دقيقة و11 ثانية، وفي هذه المدة تكون الأرض قد دارت حول الشمس في مدارها 30 درجة تقريباً ولابد للقمر ان يدور هذه المسافة ايضاً ويستغرق ذلك حوالي يومين، لذا فان طول الشهر القمري 29 يوماً و12 ساعة و44 دقيقة. وخلال هذه المدة يمر القمر بجميع مراحله من الهلال إلى التربيع الاول إلى البدرفالتربيع الثاني فالهلال ثم المحاق وكما يتضح من الشكل (2). ويدور القمر حول محوره خلال نفس المدة التي يدور فيها حول الأرض، ولذلك يواجه القمر الأرض دائماً في وجه واحد وهو الوجه المضئ بالنسبة لنا.

شكل (1) دورة الأرض حول الشمس



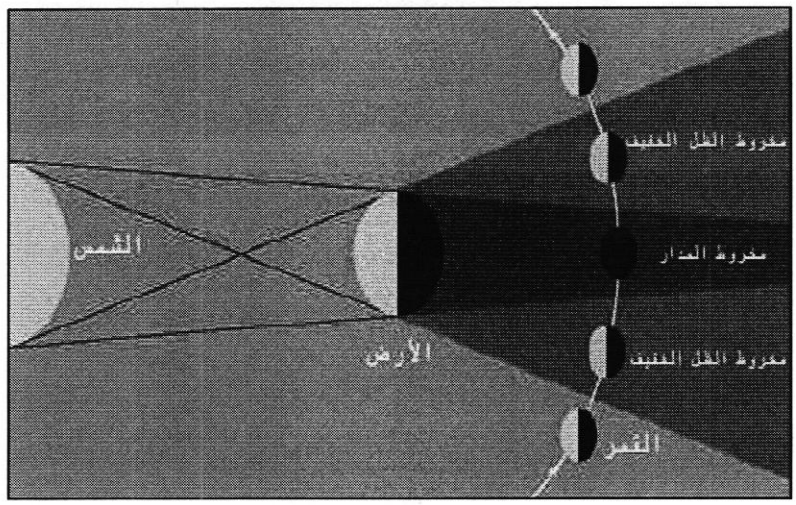
شكل (2) دوران القمر حول الأرض



ونتيجة لحركة الأرض تحدث ظاهرة خسوف القمر عند وقوعه في منطقة ظل أو شبه الظل للأرض، بحيث تقع الأرض بين الشمس والقمر فتحول دون وصول اشعة الشمس لتنعكس على سطح القمر كما في الشكل (3)، ففي حالة دخول القمر منطقة الظل الكامل لاينعكس ضوء الشمس على القمر نهائياً فيبدو معتماً تماماً. وعندما يدخل القمر منطقة شبه الظل يظهر باهتاً ويخفت ضوءه، وتستمر فترة خسوف القمر حوالي ساعتين وقد تقل عن ذلك تبعاً لموقع القمر في مداره حول الأرض وموقع الأرض في مدارها حول الشمس.

عندما تقع الشمس والقمر والأرض في مستوى واحد عند حركة الأرض والقمر يحدث المد العالي، وعندما تقع الشمس في جانب من الأرض والقمر في جانب معاكس بحيث يصنع مع الشمس زاوية قائمة مركزها الأرض، فان تأثير جذب كل من الشمس والقمر يكون معاكساً للآخر فيحدث المد الواطيء.

شكل (3) خسوف القمر



الفصل الثالث

النظريات الحديثة
التي تفسر توزيع اليابس والماء

الفصل الثالث

النظريات الحديثة التي تفسر توزيع اليابس والماء

اولاً: نظرية زحزحة القارات

اقترح نظرية زحزحة القارات العالم الالماني فاجنر Wegnar الذي اعتقد بان قارات اليابس كانت تشكل قارة واحدة مركزة حول القطب الجنوبي خلال العصر الكاربوني اطلق عليها اسم قارة بنجايا Pengaea، وكانت تتكون من قسمين كبيرين احدهما شمالي اطلق عليه اسم لوراسيا Laurasia ويتكون من قارات اسيا واوربا وامريكا الشمالية، والقسم الآخر جنوبي اطلق عليه اسم كوندوانا Gondwana التي تتكون من افريقيا واستراليا وامريكا الجنوبية والقارة القطبية الجنوبية، وكان يفصل بين هذين القسمين بحر كبير يسمى بحر تيثس Tethys وكما يتضح من الشكل (4).

تعرضت قارة بنجايا بعد انتهاء العصر الكاربوني لعدد من الانكسارات العميقة في طبقة السيال الكرانيتية، ونجم عن تلك الانكسارات انقسام القارة القديمة إلى عدد من الأجزاء بدأت تتحرك مبتعدة عن بعضها فوق طبقة السيما بموجب قوتين: احدهما قوة الطرد عن المركز الناتجة عن دوران الأرض حول نفسها، والثانية قوة المد الناتجة عن جذب الشمس والقمر للأرض. وانفصلت قارة امريكا الشمالية عن اوربا، وامريكا الجنوبية عن افريقيا واتجهتا صوب الغرب بتأثير قوة المد، وقامت قوة الطرد عن المركز بدفع الكتل المتكسرة باتجاه خط الاستواء وهي التي ادت إلى تحرك استراليا وافريقيا وشبه جزيرة العرب والهند باتجاه الشمال نحو خط الاستواء.

لقد جاء فاجنر ببعض الأدلة والبراهين التي تؤيد نظريته ابرزها ما يأتي:-

1- وجود تطابق بين السواحل الشرقية للأمريكتين مع السواحل الغربية لقارة افريقيا، مما يدل على ان القارات كانت ملتصقة مع بعضها.

2- تشابه بعض التكوينات الجيولوجية على جانبي المحيطات كما في غرب اوربا وامتداداتها في شمال امريكا الشمالية، وكما في شرق امريكا الجنوبية والنصف الجنوبي لقارة افريقيا. فضلاً عن تساوي العمر الجيولوجي للسلاسل الجبلية في اوربا وكرينلاند وشمال افريقيا، مما يشير إلى انها جميعاً كانت تشكل سلسلة جبلية واحدة تجزأت فيما بعد بسبب تكسر وزحزحة القارات.

شكل (4) قارة بنجايا وقارات العالم بعد تكسرالقارة القديمة

3- التشابه في الحفريات التي تكونت منذ 200 مليون عام والتي تثبت ان الحيوانات والنباتات كانت تعيش على قارة متصلة انتشرت عليها.

4- وجود الفحم الحجري في بعض جهات القارة القطبية الجنوبية، الأمر الذي يؤكد ان مناخها كان يميل إلى الدفئ لانها كانت تحتل مكاناً غير مكانها الحالي.

5- وجود دلائل على حصول تعرية جليدية منذ 200 مليون سنة في مناطق تقع الآن قرب خط الاستواء.

وقد وجهت اعتراضات لنظرية زحزحة القارات منها:-

1- ان قوة المد وقوة الطرد عن المركز غير كافية لزحزحة الكتل القارية ولاتوجد قوى تستطيع ان تحطم القارة القديمة إلى اجزاء.

2- حدثت الجبال الالتوائية نتيجة للحركات الرأسية التي تعرضت لها القشرة الأرضية وليست ناتجة عن دفع طبقة السيال الكرانيتية لطبقة السيما البازلتية، لان الثانية اكثف واكثر صلابة من الاولى.

3- لاينطبق الساحل الغربي لقارة افريقيا على الساحل الشرقي لقارة امريكا الجنوبية تماماً، كما ان الحافة الأطلسية الوسطى تتواجد بين ساحلي المحيط الاطلسي.

ثانياً: نظرية التيارات الصاعدة Convection Current Theory

اقترح هذه النظرية الجيولوجي البريطاني آرثر هولمز A.Holmes عام 1928 وهو من انصار فكرة زحزحة القارات وكان يعتقد بما يأتي:(جودة، 1996، 90 – 94)

1- كان اليابس يتكون من كتلتين قاريتين هما لوراسيا وكوندوانا لاند وكانت الثانية اعظم مساحة من الاولى.

2- يفصل بين هاتين الكتلتين بحرين هما بحر تيثس المحدود المساحة والمحيط الهادي العظيم المساحة.

3- كانت نقطة القطب الجنوبي تقع في منطقة ناتال جنوب افريقيا التي كانت جزء من كتلة كونوانا لاند.

4- نشأت تيارات صاعدة تحت كل من الكتلتين القاريتين ثم توزعت حول المناطق البحرية التي كانت تحيط بهما والمتمثلة ببحر تيثس والمحيط الهادي. علماً بان مبعث التيارات الصاعدة حرارة الباطن الشديدة وان الأرض تستطيع ان تعوض حرارتها التي تفقدها بالاشعاع عن طريق الاشعاع الراديومي الذي ينتج عن وجود معدن الراديوم في صخور باطن الأرض، كما ان مناطق التحام طبقة السيال بطبقة السيما تتولد عنهما حرارة ينتج عنها تحول صخور هذه الأجزاء إلى حالة منصهرة، مما يترتب على ذلك تكون تيارات صاعدة واخرى هابطة يمكن ان تؤدي إلى تحريك هذه القشرة.

يرى هولمز ان هذه التيارات الصاعدة استطاعت ان تزحزح كتلة افريقيا نحو الشمال مبتعدة عن نقطة القطب، واستطاعت ان تزحزح الهند من الكتلة وتدفعها نحو الشمال فتكونت جبال الهملايا. ومعنى ذلك ان كتلتي لوراسيا وكوندوانالاند تمزقتا واتجهت اجزاؤهما نحو المحيط الهادي وبحر تيثس فنشأت السلاسل الجبلية الالتوائية، حيث تكونت حول كتلة لوراسيا السلاسل الغربية لامريكا الشمالية والسلاسل الممتدة في جزر الهند الشرقية والسلاسل في اقواس الجزر الممتدة في شرق آسيا. كما تكونت السلاسل الشمالية من النطاق الألبي الذي يمتد من جبل طارق حتى شبه جزيرة الملايو.

تكون في وسط لوراسيا المحيط الأطلسي الشمالي والمحيط المنجمد الشمالي ليشغلا الفراغ الذي حدث بسبب تكسر كتلة لوراسيا، فيما تكون المحيط الأطلسي الجنوبي في وسط كتلة كوندوانالاند ليشغل الفراغ الذي نشأ عن ابتعاد امريكا الجنوبية عن افريقيا وتكونت على اطراف كوندوانا لاند سلاسل جبال الانديز.

لقد حاولت هذه النظرية تقديم تفسير لوجود الآثار الجليدية في الاطراف الجنوبية من افريقيا والهند واستراليا، وكذلك تفسير نشأة السلاسل الجبلية الالتوائية. ولكن تحتاج تلك النظرية إلى المزيد من الدراسة فهل ان التيارات الصاعدة لها قوة كبيرة لزحزحة القارات؟

ثالثاً: نظرية انتشار قاع المحيط Sea Floor Spreading

اقترح هذه النظرية هاري هيس عام 1962 وتستند على حقيقة ان قاع المحيط عبارة عن حزام نأقل كبير تتحرك عليه قشرة محيطية جديدة تنشأ في مناطق الحافات الوسط محيطية باتجاه الأغوار والخنادق المحيطية حاملة معها التلال البحرية القاعية والجزر المحيطية والهضاب المحيطية القاعية وحتى القارات احياناً (كربل، 1985، 52).

وتحدث ميكانيكية الانتشار من خلال وجود خلايا تصعيدية كبرى في طبقة المانتيل العليا، ويكون المنحدر الحراري بين المانتيل الأعلى وسطح الأرض كبيراً بحيث يكون كافياً لقيام حركة تصعيد حراري في المانتيل الأعلى. ويصل التيار الصاعد من المانتيل الأعلى إلى سطح الأرض من خلال مناطق الحافات الوسط محيطية متمثلاً بالنشاط البركاني الذي يتركز حول هذه الحافات، ثم ينتشر هذا التيار فوق قاع المحيط ويبرد ويغوص اخيراً في مناطق الأغوار والخنادق المحيطية، ويبدو ان عملية الانتشار تكون بطيئة جداً بحيث لايتجاوز معدلها بضعة سنتيمترات في العام. ومما يؤيد عملية الانتشار ان النشاط البركاني ينشأ اول الأمر عند الحافات الوسط

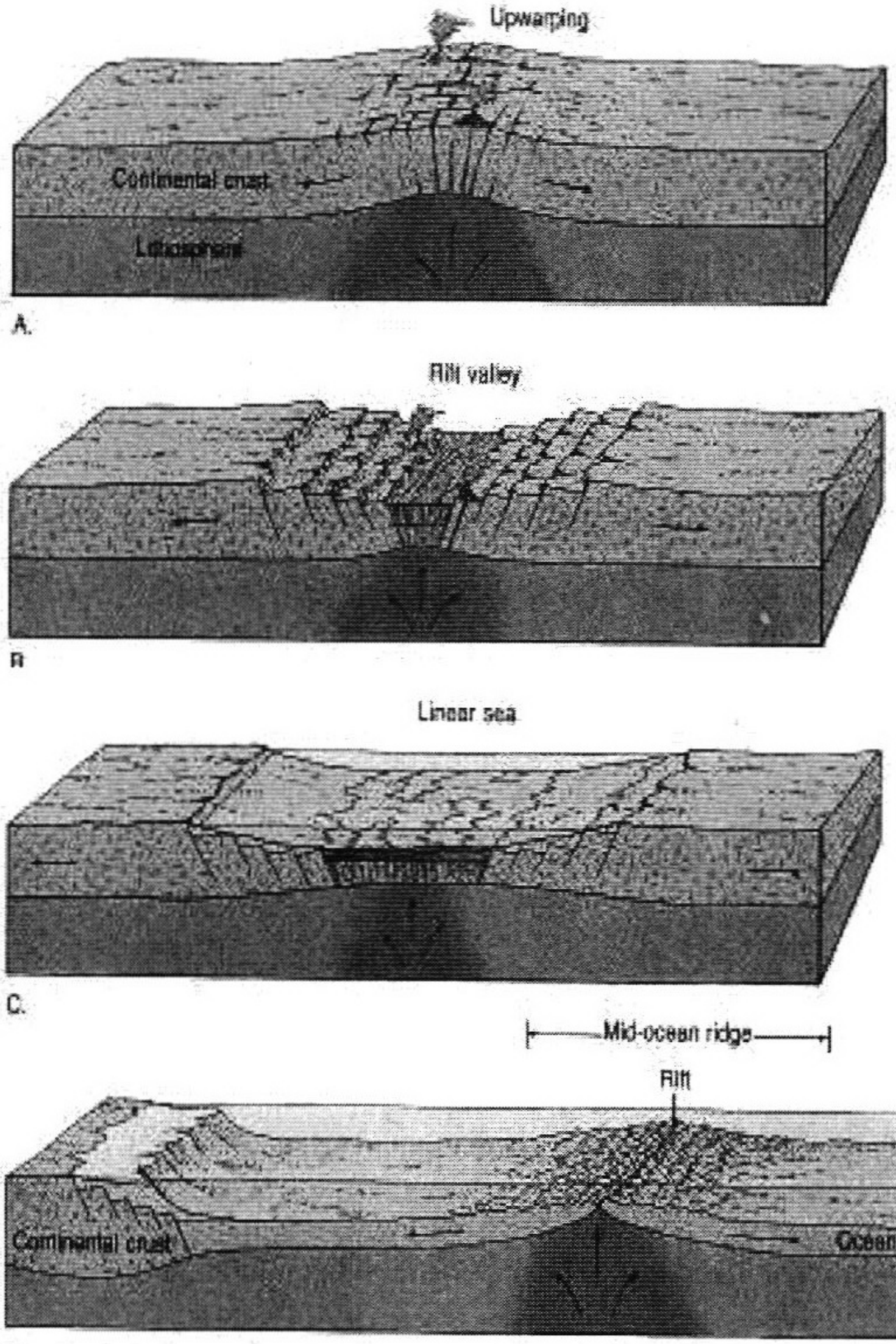
محيطية ثم تبتعد الجزر والمخاريط البركانية عن الحافات مدفوعة بقوة الانتشار ولذلك فان الجزر القريبة من الحافات تكون أقل عمراً من تلك البعيدة عنها، فعلى سبيل المثال ان عمر جزيرة ايسلندا الاقرب إلى الحافة 13 مليون سنة وعمر جزر الآزور البعيدة عن الحافة 15 مليون سنة. ويوضح الشكل (5) نظرية انتشار قاع المحيط.

رابعاً: نظرية الصفائح التكتونية Tectonic Plates

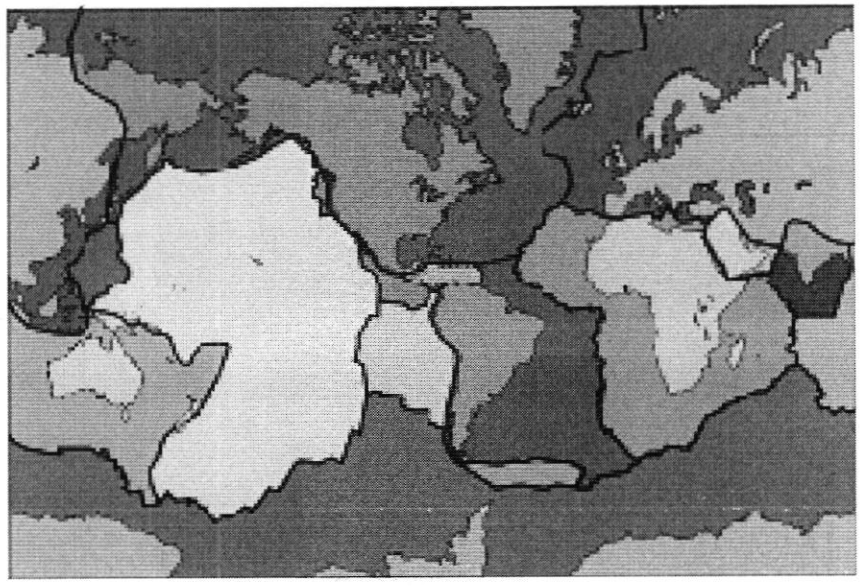
تفترض هذه النظرية ان قشرة الأرض تتألف من مجموعة من الصفائح القارية والمحيطية يبلغ عددها 12 صفيحة كما يتضح من الشكل (6) تحيط بالمانتيل وتوجد فوقها القشرة الصلبة (المحيطية والقارية)، فضلاً عن 14 صفيحة اصغر حجماً وهناك بعض الصفائح تحتوي على قشرة قارية واخرى قشرة محيطية وهناك صفائح تحتوي على القشرتين. ويطلق على التجمع لكل هذه الصفائح مصطلح الليثوسفير الذي يطفو فوق الغلاف المرن الاثنوسفير Asthenosphere بحيث تسمح هذه الطبقة لطبقة الليثوسفير بالحركة إلى اتجاهات مختلفة.

تفترض هذه النظرية ان حركة الصفائح بدأت مصاحبة لتكوين القشرة الأرضية، وترجع حركتها إلى خروج تيارات الحمل من المناطق الساخنة في القسم السفلي من القشرة الأرضية، حيث تؤدي تلك المناطق الساخنة إلى تكوين تيارات صاعدة من المواد المنصهرة الساخنة Magma، ويرى بعض العلماء ان سبب سخونتها يعود إلى وجود تركيز عال للنظائر المشعة فيها.

شكل (5) التيارات الصاعدة وانتشار قاع المحيط



شكل (6) الصفائح التكتونية الرئيسة



اسم الصفيحة	المنطقة 10^6 كيلومتر مربع
الصفيحة الأفريقية	78. 0
صفيحة القارة القطبية الجنوبية	60. 9
صفيحة أستراليا	47. 2
الصفيحة الأوراسية	67. 8
صفيحة أمريكا الشمالية	75. 9
صفيحة أمريكا الجنوبية	43. 6
صفيحة المحيط الهادئ	103. 3

تتخذ حركة الصفائح اشكالاً متعددة وكما يتضح من الشكل (5 c) والشكل (7) وهي:-

1- تباعد الصفائح Plates Separation: يحدث هذا النوع في اواسط المحيطات وفيه تبتعد الصفائح عن بعضها وينبثق على طول هذه الحدود المواد المنصهرة من طبقة الاثنوسفير الحارة، ثم تبرد هذه المواد بشكل بطيء لكي تعطي غطاءً جديداً بين الحدود المتباعدة. ومن ابرز المظاهر التضاريسية الناجمة عن تباعد الصفائح ما يأتي:-

أ- نشأة قاع المحيط: يعتقد بعض العلماء ان القارات تتعرض في بعض الاحوال (مثل القارة الام بنجايا) إلى عملية صعود الماكما من طبقة الاثنوسفير، ونتيجة لذلك فان الغلاف الصخري يتمدد ويتشقق وينقسم في نهاية الامر إلى صفيحتين، ولذلك تتباعد هاتين الصفيحتين عن بعضهما ويتكون بحر ضيق يتسع فيما بعد. ومن اشهر الامثلة على ذلك البحر الاحمر الذي يقع بين صفيحتين قاريتين هما الصفيحة الافريقية والصفيحة العربية.

ب- توسيع قاع المحيط: عندما تبرد مادة الصهير المنبثقة من طبقة الاثنوسفير يتكون غلافاً صخرياً جديداً بين الحدود المتباعدة وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة توسع قاع المحيط، ومن امثلتها ظهور قمم بركانية على سطح البحر مكونة جزر مثل جزيرة ايسلندا.

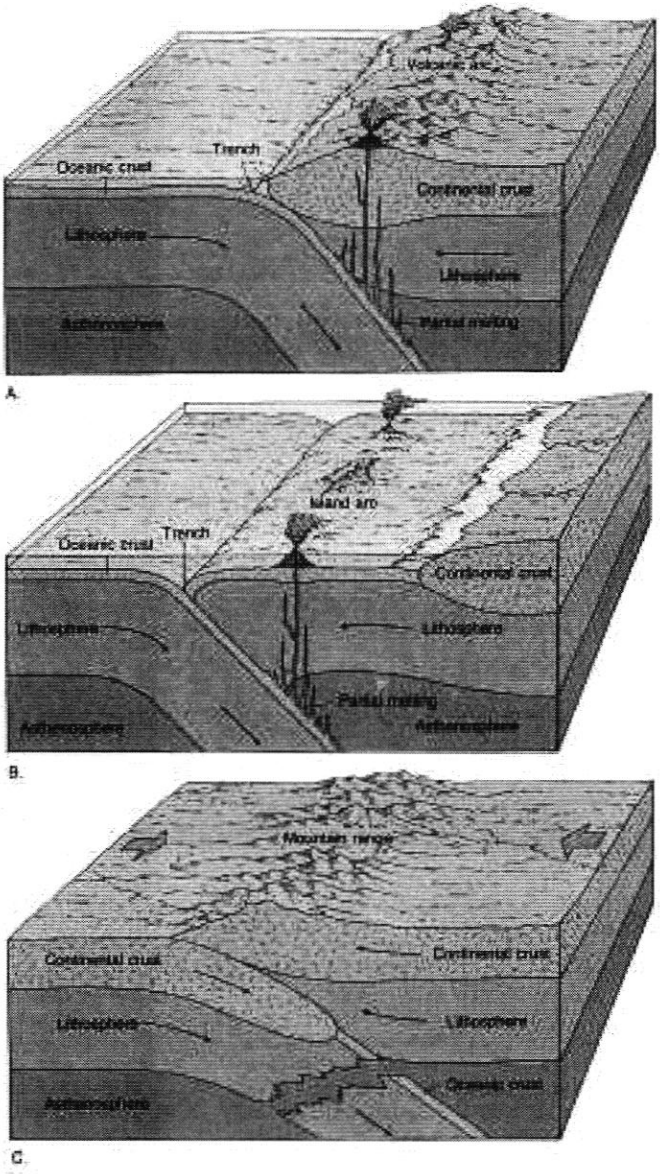
2- تقارب الصفائح Plates Convergence: تتولد في مناطق تباعد الصفائح قشرة حديثة، ولكون مساحة الكرة الأرضية يجب ان تبقى ثابتة فان القشرة الحديثة يجب ان تتحطم في مكان ما بمعدل يشبه معدل تولدها، وتعتبر مناطق تقارب الصفائح ملائمة لهذا التحطم. فعندما تتقابل صفيحتين فان حافة

احداهما سوف تنحني باتجاه الأسفل متوغلة باتجاه طبقة الاثنوسفير الحارة وتبدأ بالتسخين وفقدان صلابتها، ويمكن ان تتوغل الصفيحة إلى عمق يصل إلى 700 كم وتختلط كلياً بمادة المانتيل.

عندما تتقابل صفيحتان احداهما قارية والاخرى محيطية فان القشرة القارية الخفيفة تطفو، في حين تندفع القشرة المحيطية الكثيفة داخل الاثنوسفير فيتكون خندق محيطي مجاور نطاق التحطم، ويمكن ان يتراوح عمقه ما بين 8 – 11كم ومن امثلته اخدود بيرو- تشيلي الذي يقع غرب امريكا الجنوبية ونتج عن انزلاق طبق Nazca المحيطي اسفل طبق قارة امريكا الجنوبية وعندما تتقابل صفيحتان محيطيتان تندفع احداهما اسفل الاخرى فيتكون نشاط بركاني فوق قاع المحيط، واذا تكرر هذا النشاط فانه سيؤدي إلى ظهور اراضي يابسة تعرف بجزر الأقواس مثل جزر الوشيان وماريانا، كما تتكون خوانق محيطية مثل خانق الفلبين وخانق ماريانا.

أما عندما تتقابل صفيحتان قاريتان فان القشرة القارية تتجمع وتتكسر مكونة نظاماً جبلياً معقداً وهزات أرضية، كما حدث عندما اقتربت الهند من آسيا وتكونت جبال الهملايا.

شكل (7) حركة الصفائح في مناطق التقابل



(freederick &Edward,1979, 243-244)

المنحنى الهبسومتري لتوزيع اليابس والماء:

المنحنى الهبسومتري Hipsometric شكل بياني كما يتضح من الشكل (8) نستخلص منه الحقائق الآتية:-

1- ندرة وجود المرتفعات التي يزيد ارتفاعها عن 6000 متر فوق مستوى سطح البحر وندرة المناطق التي يزيد عمقها عن 6000 متر تحت مستوى سطح البحر، ولاتشكل تلك المناطق الا 1٪ من سطح الأرض.

2- ان معدل عمق المحيط اكثر من ارتفاع اليابس، اذ ان معدل عمق المحيط 3800 متر وان معدل ارتفاع اليابس 850 متر فقط.

3- ان معظم مساحات اليابس ذات ارتفاع حوالي 300 متر فوق مستوى سطح البحر وان معظم مساحة المحيط تكون ذات اعماق تتراوح ما بين 4000 – 5000 متر دون مستوى سطح البحر .

4- من خلال المنحنى الهبسومتري يمكننا ان نميز المناسيب والمناطق الهامة الآتية:-

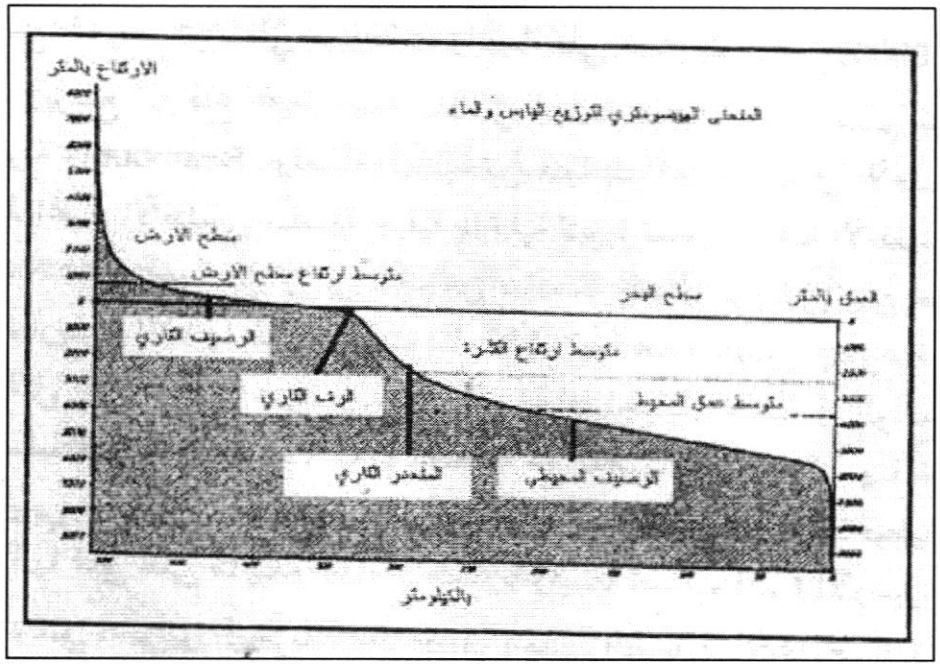
أ- الرصيف القاري Continental Platform: يمتد من مستوى ارتفاع اليابس 1000 متر فوق مستوى سطح البحر حتى منسوب البحر تقريباً.

ب- الرصيف المحيطي Oceanic Platform: يمتد من مستوى متوسط عمق المحيطات الذي يبلغ 3800مترتحت مستوى سطح البحر.

ج- المنحدر القاري Continental Slope: هو المنحدر الذي يربط بين الرصيف القاري والرصيف المحيطي.

د- الرف القاري Continental Shelf: يمثل الحافة الخارجية للرصيف القاري ويمتد من ساحل البحر إلى عمق 200 متر.

شكل (8) المنحنى الهبسومتري



المعالم التضاريسية لأحواض المحيطات

تتشابه المعالم التضاريسية لأحواض المحيطات مع تلك التي تتمثل فوق اليابس من حيث شكلها العام أو نشأتها وابرز تلك المعالم ما يأتي: (تراب، 2005، 345-348).

1- الرفوف القارية: تمثل مناطق هامشية ضحلة بين خط الساحل وخط عمق 200 متر، ويتشابه تركيبها الجيولوجي مع اليابس القاري المتاخم لها وبذلك تنتمي لليابس القاري اكثر من تبعيتها لقاع المحيط. يختلف اتساعها من منطقة إلى اخرى، حيث يزداد اتساعها امام المصبات النهرية والدلتاوات على وجه الخصوص وتضيق عند السواحل الانكسارية النشأة.

2- المنحدر القاري: يعد المنحدر القاري نطاق شديد الانحدار يمتد مباشرة بعد الرفوف القارية إلى اعماق سحيقة تشغلها السهول المحيطية العظمى. يتراوح عمق المنحدر القاري ما بين 200 إلى 2000 متر، ويعتبر نطاق حدي يفصل بين التكوينات الجيولوجية القارية وصخور قاع المحيط العميق.

3- المرتفع القاري: يمتد بين نهاية المنحدر القاري وبين قاع المحيط العميق، وتكون من الرواسب القارية ويقع عادة عند اعماق تتراوح ما بين 1400 – 1500 متر، وتتراوح درجة انحدار سطحه ما بين 0. 5 – 25 متر لكل كيلو متر.

أما اهم المعالم التضاريسية في الاعماق السحيقة فهي:-

1- السهول المحيطية العظمى Ocean plains: تقع معظم هذه السهول بين الحافة القارية والحافات الوسط محيطية ويتراوح عمقها ما بين 3000 – 6000 متر، وتشكل حوالي 42٪ من مساحة قاع المحيط، ويتميز سطحها بالانبساط بسبب كثرة الرواسب التي تؤدي إلى طمر التضاريس الصغيرة الموجودة فوقها.

2- الحافات المحيطية الوسطى Mid– ocean Ridges: تعد الحافات المحيطية الوسطى سلاسل جبلية تمتد خلال كل المحيطات كما في الحافة الاطلسية الوسطى في المحيط الاطلسي التي تمتد لمسافة 16000 كم، ويصل اتساعها حوالي 800كم وارتفاعها حوالي 3000 متر فوق قاع المحيط. وترتفع بعض قمم هذه الحافة فوق مستوى سطح البحر بشكل مجموعات من الجزر مثل جزر الآزور وجزيرة ايسلندا. وتمتد الحافة الوسطى في المحيط الهندي اعتباراً من جنوب شبه القارة الهندية نحو القارة الجنوبية، ويكون ارتفاعها أقل من ارتفاع الحافة الأطلسية الوسطى واكثر منها اتساعاً.

3- الخوانق المحيطية العظمى Deep ocean Trenches: عبارة عن منخفضات طولية وضيقة تمتد بشكل قوس في القاع المحيطي، ويكثر وجودها على طول جوانب حوض المحيط الهادي، ووجد بعضها في المحيطين الاطلسي والهندي. تبلغ اطوالها آلاف الكيلومترات واتساعها حوالي 100كم. واهم تلك الخوانق خندق ماريانا الذي يبلغ عمقه 11 ألف متر وخندق كوريل بعمق 5. 10 ألف متر وخندق جاوه بعمق 7450متر وتتصف الخوانق المحيطية بانها ذات شكل يشبه حرف V وتنحدر انحداراً شديداً من الجهة القارية، فيما تكون درجة انحدارها أقل من الجهة الاخرى.

الفصل الرابع

المكونات الأساسية للغلاف الصخري

الفصل الرابع

المكونات الأساسية للغلاف الصخري

لقد اشير سابقاً إلى ان الغلاف الصخري يشمل القشرة الأرضية وجزء من باطن الأرض يقع اسفل القشرة، ويتشكل الغلاف الصخري للأرض من سطح منبسط تتخلله الارتفاعات الشاسعة التي تتمثل بالقارات وتحيط بها منخفضات أو احواض تمثل قيعان البحار والمحيطات.

طبقات الغلاف الصخري:

ينقسم الغلاف الصخري لكوكب الأرض إلى مجموعة من الطبقات المتتابعة التي يوضحها الشكل (9) وهي: (تراب، 2005، 75-78).

1- القشرة الأرضية Earth Crust: عبارة عن نطاق صخري رقيق جداً يصل سمكه في المتوسط 15كم ويكون سمكه في الكتل القارية حوالي 15كم، وان سمك القشرة المحيطية يبلغ في المتوسط حوالي 5كم ويصل اكبر سمك للقشرة الأرضية في عدد من المناطق الجبلية إلى حوالي 60كم. تشغل القشرة الأرضية حوالي 2. 1٪ من حجم الكرة الأرضية وتنقسم إلى طبقتين هما:

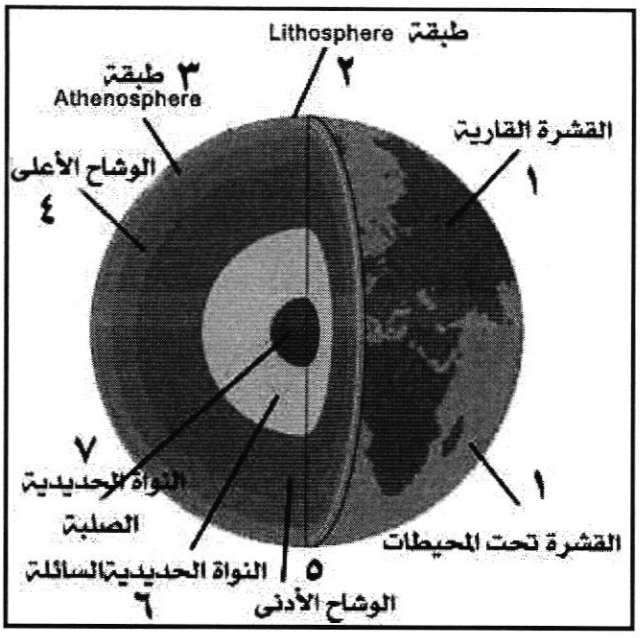
أ- طبقة السيال Sial السطحية التي تتكون من صخور كرانيتية وتتألف من السليكون والالمنيوم ولا تزيد كثافتها عن 8. 2 غم/ سم^3 ويتراوح سمكها ما بين 2-15كم، ويزيد سمكها على اليابس ويقل على قيعان المحيطات.

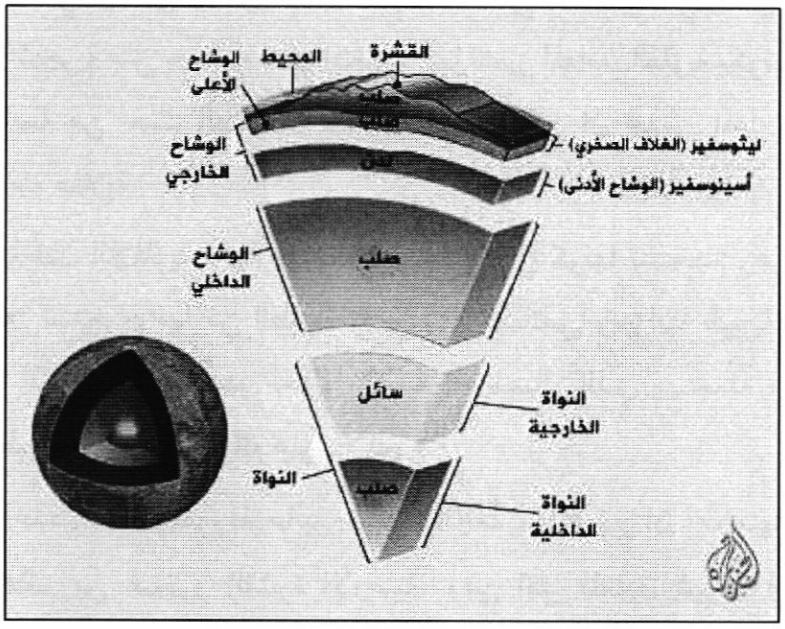
ب- طبقة السيما Sima تتكون من صخور نارية قاعدية وتقع اسفل طبقة السيال مباشرة وتصل كثافتها إلى 4. 3غم/سم^3 وتتكون من السليكون والمغنسيوم، ويبلغ سمكها حوالي 120كم.

2- المانتيل Mantle: ان الحد الفاصل بين القشرة الأرضية وطبقة المانتيل يسمى حد موهو نسبة إلى العالم اليوغسلافي موهو ويختلف عمق هذا الحد من منطقة إلى اخرى. تشكل طبقة المانتيل حوالي 80 ٪ من حجم الكرة الأرضية، وتشكل معظم تكوينات الجزء العلوي من المانتيل صخور نارية متبلورة، وتقدر درجة حرارة هذه الطبقة عند عمق 100كم بحوالي 500 °م وتزداد بازدياد العمق.

3- نواة الأرض Core: تتكون من قسمين النواة الخارجية التي تتكون من الحديد بنسبة 60٪ والسليكون بنسبة 30٪ والنيكل بنسبة 10٪. والقسم الثاني هو قلب الأرض الذي يتكون من الحديد والنيكل لذا يسمى باسم NiFe، ويعتقد بان وجود قلب حديدي للأرض كان سبباً في اكتسابها الخاصية المغناطيسية.

شكل (9) طبقات الغلاف الصخري





المعادن Minerals:

تتكون الصخور من معادن التي هي عبارة عن وجود طبيعي لمواد غير عضوية تكون تركيباً كيمياوياً خاصاً ولها تركيب ذري خاص. وتعتبر المعادن من الناحية الكيمياوية عبارة عن مركبات ويكون معظمها بلورياً. والبلورات عبارة عن اشكال هندسية صلبة تكون حدود اوجهها متطابقة مع البلورات الاخرى المكونة لنفس المعدن. وتتكون المعادن عادة من اتحاد بعض العناصر مع بعضها الآخر، فعلى سبيل المثال يتكون معدن الكالسايت Calcite من اتحاد عناصر الكالسيوم والكاربون والاوكسجين، ويتكون معدن الدولومايت Dolomite من اتحاد العناصر السابقة مضافاً اليها المغنسيوم.

لقد جرى العرف على تقسيم المعادن إلى معادن فلزية ومعادن لافلزية، فالمعادن الفلزية مثل الذهب والنحاس والحديد والنيكل ذات الوان طبيعية ثابتة ولها بريق معدني وشكل خاص، حيث تكون اما كلوية الشكل مثل بعض معادن الحديد، أو شجرية مثل بعض معادن المنغنيز. كما تتميز المعادن الفلزية بكونها ذات صفات خاصة من حيث الصلادة، فالمعدن الصلد يمكن ان يخدش المعدن الذي يكون أقل منه صلابة.

أما المعادن اللافلزية فانها تختلف عن الفلزات في كونها تستخدم وهي على صورتها التي تستخرج بها من الطبيعة لما لها من خصائص وميزات طبيعية وليس لخصائصها الكيميائية، كما هو الحال بالنسبة للصلصال الذي يستعمله الانسان لخواصه الطبيعية وليس لاحتوائه على الالمنيوم.

يبلغ عدد المعادن المعروفة حالياً حوالي 2000 معدن غير ان 24 منها يكون القسم الاعظم من صخور القشرة الأرضية. ومن اكثر المعادن شيوعاً في تلك الصخور مجموعة معادن السليكات التي توجد في الصخور النارية، وهي عبارة عن

مركبات تتكون من اتحاد عنصري السليكون والاوكسجين مع عنصر أو اكثر من العناصر الفلزية. ويعتبر معدن الكوارتز Sio_2 من بين اكثر معادن السليكات شيوعاً في الصخور.

هناك عدد من التصنيفات للمعادن الا أن اكثرها شيوعاً واستعمالاً التصنيف على اساس التركيب الكيمياوي للمعادن، ويوضح الجدول (1) الاصناف الرئيسة للمعادن وبعض امثلتها، حيث تتكون معظم المعادن التي يوضحها الجدول من اكثر من عنصر كيميائي واحد كما هو الحال في معدن الكوارتز الذي يتكون من عنصري الاوكسجين والسليكون.

وتنقسم المعادن ايضاً إلى قسمين رئيسين هما:- (صفي الدين، 1979، 48).

1- المعادن الأولية: ويقصد بها تلك المعادن التي تكونت اثناء فترة تكوين المعادن في بداية حياة الكرة الأرضية، وكان تكوينها نتيجة صعود محاليل كيميائية مركزة من باطن الأرض إلى قشرتها الخارجية ثم ترسبت فيما بعد.

2- المعادن الثانوية: تضم المعادن التي تغيرت طبيعتها الاولى نتيجة تأثر المعادن الأولية بعوامل التجوية والتحول.

هناك عدد من الطرائق التي يمكن بواسطتها تشخيص المعادن والتي تعتمد على الخصائص الفيزيائية من ابرزها ما يأتي: (الصائغ والعمري، 1974، 69 – 74).

1- اللون Colour: يعد لون المعدن من ابرز الخصائص الفيزيائية للتعرف على بعض المعادن مثل الكبريت الذي يكون لونه اصفر ومعدن الماكنيتايت ذو اللون الأسود ومعدن البايرايت ذو اللون الاصفر البرونزي، فيما يظهر قسم من المعادن بالوان مختلفة بسبب احتوائها على شوائب ملونة.

2- البريق Lustre: يقاس بريق المعدن بمقدار الضوء المنعكس من سطحه، وينقسم إلى قسمين هما البريق الفلزي والبريق اللافلزي، ومن امثلة القسم الأول الذهب والفضة، أما القسم الثاني فيشمل عدد من الأنواع كالبريق الزجاجي مثل بريق الكوارتز، والماسي مثل بريق الماس والحريري مثل بريق الجبس. وقد يكون سطح المعدن معتماً غير براق مثل معدن الكاؤولينايت.

3- الشفافية Transparency: يقصد بالشفافية قدرة المعدن على تمرير الضوء من خلاله، حيث ان هناك معادن شفافة مثل الكوارتز ومعادن نصف شفافة مثل الاوبال، ومعادن معتمه.

4- الصلادة Hardness: ويقصد بها مقاومة سطح المعدن لعملية الخدش، فالمعادن الصلدة تخدش الأقل صلادة، فالماس يخدش الياقوت والكوارتز يخدش الهيماتايت الذي بدوره يخدش الكالسايت وهكذا.

5- التشقق Cleavage: يعني قابلية المعدن للتشقق والانقسام إلى اجزاء في اتجاهات معينة ومنتظمة اذا ماطرقت طرقاً خفيفاً. فالميكا مثلاً يتشقق على شكل شرائح رقيقة جداً في اتجاه واحد، والهورنبلند يتشقق في اكثر من اتجاه.

6- التكسر Fracture: الطريقة التي ينكسر بها المعدن دون ان يتشقق، فبعض المعادن اذا ماكسرت يصبح سطحها أملساً ويصبح سطح البعض الآخر ذي سطح خشن غير منتظم.

7- الوزن النوعي Specific Gravity: قد تتشابه المعادن في عدد من الخصائص آنفة الذكر ولكنها تختلف في وزنها النوعي الذي يقصد به كثافة المعدن بالنسبة لكثافة الماء. ويعد المعدن خفيفاً اذا كان وزنه النوعي 5. 2 ومتوسطاً اذا تراوح وزنه النوعي ما بين 3 – 4، وثقيلاً اذا بلغ وزنه النوعي 5. 4 فأكثر.

جدول (1) المعادن الرئيسة وبعض امثلتها

الصنف	الامثلة والتركيب الكيمياوي
العناصر الحرة	الذهب Au
	النحاس Cu
	الحديد Fe
الكبريتيدات	الكبريت S
	الكالين Pbs
	البايرايت Fes_2
الاوكسيدات والهيدروكسيدات	المكنتايت Fe_3o_4
	الهماتايت Fe_2o_3
	البروسايت $Mg(OH)_2$
الهاليدات	الهالايت Nacl
	الفلورايت Caf_2
الكاربونات	الكالسايت $Caco_3$
	الدولمايت $CaMg(co_3)_2$
السلفات	الانهايدرايت $Caso_4$
	الجبس $Caso_4 . 2H_2o$
الفوسفات	الابتايت $Ca_5F(Po_4)_3$
السليكات	الكوارتز Sio_2
	الالبايت $NaAlsi_3o_8$

انواع الصخور:

يعرف الصخر بانه مادة صلبة تتكون من معدن واحد أو مجموعة من المعادن تراكمت في مكان واحد نتيجة ظروف تكوين معينة. يمكن ان تصنف الصخور تبعاً لتركيبها الكيمياوي أو لمكوناتها المعدنية، ومن التصنيفات الشائعة تصنيف الصخور تبعاً لنشأتها أو تكوينها، وعلى هذا الاساس تصنف الصخور إلى ثلاثة انواع هي الصخور النارية والصخور الرسوبية والصخور المتحولة.

اولاً: الصخور النارية The Igneous Rocks

تكونت هذه الصخور من خلال تصلب مواد منصهرة، ويطلق عليها احياناً اسم الصخور الأولية لكونها الصخور التي اشتقت منها بقية الأنواع الاخرى بصورة مباشرة أو غير مباشرة. وتؤلف الصخور النارية اربعة اخماس صخور القشرة الأرضية في الوقت الحاضر. وعلى الرغم من انها اقدم الصخور على سطح الأرض فان قسماً منها يمكن ان يعتبر احدثها تكويناً على الأرض لان الثورات البركانية لاتزال مستمرة وتزود الأرض بالمزيد من الصخور البركانية.

للصخور النارية خصائص معينة يمكن ايجازها بالآتي:-

1- تسود فيها صفة البلورية حيث يكون نسيجها بلورياً لان هذه الصخور سبق وان مرت في فترة تكونها بحالة الانصهار ثم التبرد بعد ذلك.

2- لا تحتوي على المتحجرات وذلك لاستحالة عيش الكائنات الحية فيها بسبب درجة حرارتها الهائلة التي كانت عليها قبل تصلبها.

3- لا تظهر فيها صفة الطباقية، اذ انها تأخذ الوضعية التي كانت عليها لحظة تحولها من صهير إلى صخور نارية.

4- تكون شديدة الصلابة وعديمة المسام ولذلك فهي تقاوم عمليات التجوية والتعرية.

تصنيف الصخور النارية:

تصنف الصخور النارية تبعاً لتكوينها المعدني ونسيجها وحجم حبيباتها ومنطقة وجودها بالنسبة إلى سطح الأرض. تقسم الصخور النارية إلى مجموعتين رئيستين كبيرتين تحتوي احداهما على كميات كبيرة من الكوارتز والفلدسبار ويكثر وجود عنصري السليكون والالمنيوم في هذه المجموعة الباهتة اللون، ويعتبر الجرانيت اشهرها. كما يتضح من الشكل (10).

أما المجموعة الرئيسة الاخرى فتتكون من معادن مثل الايوكايت والاولفين ومن معادن اخرى ذوات الوان داكنة وغنية بعنصري المغنسوم والحديد، ويعتبر البازلت اشهرها.

تقسم الصخور النارية اعتماداً على موقع وجودها الاصلي الى:-

لصخور النارية المتداخلة (الباطنية) Intrusive Rocks:

يطلق عليها اسم الصخور البلوتونية Plutonic وتضم كافة الصخورالنارية التي تكونت من تصلب المواد المنصهرة التي اندفعت خلال تكوينات القشرة الأرضية الاخرى. تتصف بانها ذوات درجات تبلور عالية بصورة عامة نظراً لكونها تبردت بشكل بطيء لعدم ملامستها إلى سطح الأرض أو الغلاف الغازي أو المائي، وكلما كان موقع تصلب الصهير في مكان ابعد عن سطح الأرض كلما زادت الفترة التي يحتاجها لكي يتبرد، فضلاً عن الضغط المستقر الكبير المسلط عليه. وقد عملت عوامل التعرية والحركات الأرضية على كشف اجزاء كبيرة من الصخور النارية الباطنية كما في المناطق التي تعرضت إلى التعرية الشديدة في سلسلة جبال سيرانيفادا وأجزاء واسعة من الانديز.

توجد الصخور النارية الباطنية بالاوضاع الآتية التي يوضحها الشكل(11).

1- الكتل النارية القبابية (الباثوليث Batholith): عبارة عن كتلة من صخور نارية ذات حجم كبير تحتل مساحة عدة آلاف من الكيلومترات المربعة، ويرتبط وجودها احياناً مع محاور الالتواءات الكبرى في القشرة الأرضية. ونظراً للمساحة الكبيرة التي يحتلها الباثوليث، يكون عادة محاطاً بانواع مختلفة من الصخور، حيث تحيط به صخور نارية قديمة ومتحولة ورسوبية. وقد تظهر هذه الكتل فوق سطح الأرض نتيجة احتمالين احدهما ازالة الطبقات التي تغطيها بواسطة عوامل التعرية والآخر تعرض هذه الكتل لحركة رفع تكتونية.

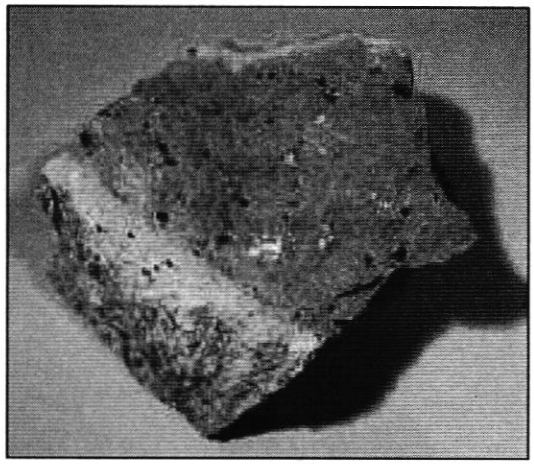
2- الكتل النارية المحدبة (اللاكوليث Laccolith): وهي كتل صخرية نارية كبيرة الحجم كانت في بداية تكونها صهيراً صخرياً ثم اندفع خلال طبقات صخرية رسوبية بقوة اندفاع غير كافية للوصول إلى سطح الأرض، ولذلك بقي في الفراغات المنتشرة بين طبقات الصخور الرسوبية داخل القشرة الأرضية، ويبدو سطحها العلوي على هيئة بروز محدب الشكل متصل بخزانات الصهير من اجزاءه السفلية.

3- الكتل النارية المقعرة (فاكوليث Phacolith): تتكون من خزانات ضخمة من الماكما تشغل الفراغات المحصورة بين الطبقات الصخرية وتتميز سطوحها العلوية بشكلها المقعر، وهي تساعد على تجميع خزانات المياه الجوفية بسبب عدم نفاذية صخورها.

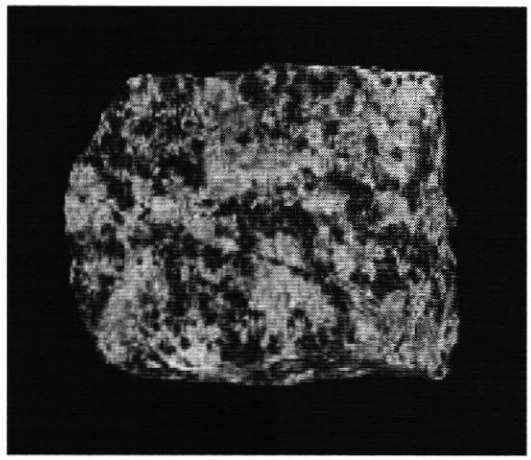
4- السدود الافقية Sheet or Sill: كتل من الصخور النارية الباطنية تشبه الطبقات اندفعت بين طبقات الصخور الرسوبية أو المتحولة، ويطلق على السميكة منها اسم Sill والرقيقة اسم Sheet.

5- السدود العمودية Dikes: وهي ذات امتدادات عمودية أو قريبة من العمودية وتتباين في حجمها من صغيرة في حالة العروق إلى كبيرة يزيد اتساعها عن عدة مئات من الامتار. ويرتبط وجود هذه السدود بالمناطق التي حصل فيها اندفاع كبير للصخور الباطنية وفي المناطق التي توجد فيها حركات للقشرة الأرضية بنطاق واسع (Frederick & Edward,1979,62-64).

شكل (10) صخور البازلت والكرانيت

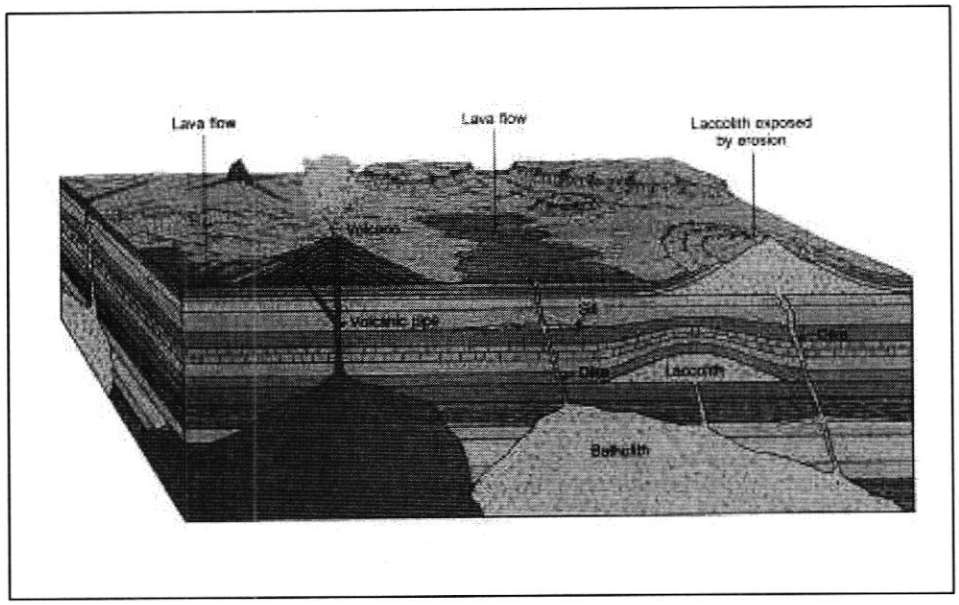


صخور البازلت



صخور الكرانيت

الشكل (11) اوضاع الصخور النارية الباطنية والظاهرية



الصخور النارية الظاهرية Extrusive Rocks:

تضم الصخور النارية الظاهرية كل المواد التي تخرج إلى سطح الأرض من الفوهات البركانية على مواقع فوق القارات أو على قيعان المحيطات. وتتبرد هذه المواد حال خروجها بسرعة مكونة تضاريس مختلفة. وتتصف هذه المجموعة من الصخور بان درجة بلوراتها واطئة، حيث انها تتكون من بلورات صغيرة جداً لايمكن رؤيتها الا بالميكروسكوب.

تنقسم الحمم البركانية (اللافا Lava) إلى انواع متعددة حسب وجود السليكا فيها، وكقاعدة عامة تطلق صفة الحامضية عليها اذا كانت غنية بالسليكا ولكنها تكون قاعدية اذا كانت وفيرة باكاسيد الفلزات. ويمكن تقسيم الصخور النارية حسب نسبة وجود ثاني اوكسيد السليكون (السليكا) فيها الى:-

1- صخور فوق القاعدية تقل فيها نسبة السليكا عن 45٪ من وزنها.
2- صخور نارية قاعدية تتراوح نسبة السليكا ما بين 45 – 52٪ من وزنها.
3- صخور متوسطة تتراوح نسبة السليكا ما بين 1. 52 – 65٪ من وزنها.
4- صخور حامضية تتراوح نسبة السليكا ما بين 1. 65 – 75٪ من وزنها.
5- صخور فوق الحامضية تزيد فيها نسبة السليكا عن 75٪.

تتصف الحمم الحامضية بدرجة لزوجتها العالية وكونها سميكة القوام لذا فان الأشكال الأرضية الناجمة عنها تكون مرتفعة لانها تتصلب بسرعة ولاتجري بعيداً عن الفوهة البركانية. وكلما زادت قاعدية الحمم البركانية كلما انسابت عند خروجها إلى مسافة ابعد عن الفوهة البركانية لانها تكون خفيفة القوام، فضلاً عن كونها لاتتصلب بسرعة، ولذا تتميز الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عنها بقلة ارتفاعها وسعة المساحات التي تشغلها مثل الهضاب والسهول البركانية.

يطلق على الحمم التي تخرج من الفوهات البركانية وتسيل فوق سطح الأرض اسم الطفوح البركانية Lava Flow وهي في الاصل الصهير البركاني (الماكما) الذي تتراوح درجة حرارته ما بين 500 –1300°. ويزداد ارتفاع الأشكال الناجمة عن خروج الطفوح البركانية من جراء تكرار حدوثها لمرات عديدة وتغطي تلك الطفوح مساحات واسعة ويبلغ سمكها احياناً عدة مئات من الأمتار. وتعتبر هضبة الدكن واحدة من بين اكبر الطفوح البركانية في العالم وكذلك هضبة الحبشة وهضبة كولومبيا.

يوجد حطام الصخور النارية الناتج عن الانفجارات البركانية العنيفة باشكال وباحجام مختلفة وتكون القطع الكبيرة منها مثقبة بسبب تجمع وخروج الغازات منها خلال عملية تصلبها. ويطلق على الصخور الكبيرة اسم القنابل البركانية. ويطلق اسم الرماد البركاني أو الغبار البركاني على المواد الدقيقة جداً، ويكون الرماد البركاني عندما يتجمع على سطح الأرض أو يترسب داخل المحيطات طبقات من الرواسب التي تتماسك لتعرف باسم Tuff. وعندما تختلط الحمم البركانية الحديثة الخروج مع بعض مكونات المخروط البركاني تتكون صخور المجمعات البركانية (البريشا)التي تتكون من خليط لمواد ناعمة وخشنة ذوات زوايا حادة. ومن اشهر الصخور النارية البازلت والكرانيت والريوليت والديوريت.

ثانيا: الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks

تكونت الصخور الرسوبية فوق سطح الأرض من تفتت الصخور النارية والمتحولة نتيجة عمليات التجوية والتعرية ثم انتقلت مكوناتها بفعل المياه أو الرياح أو الجليد فترسبت في بيئات مائية أو على اليابسة، حيث تتماسك وتتصلب بفعل عوامل التلاحم والضغط والتجفيف وتتحول إلى صخور رسوبية. وتتميز عن انواع

الصخور الاخرى بمظهرها الطبقي واحتوائها على المتحجرات وقلة المعادن المتبلورة فيها. واهم العوامل التي تؤدي إلى تماسك الرواسب وتحويلها من حبيبات مفككة إلى صخور متماسكة مايأتي:-

1- التلاحم Cementation: هي العملية المسؤولة عن التحام حبيبات الصخور بترسيب بعض المواد اللاحمة التي تعمل على تماسكها كالسليكا وكاربونات الكالسيوم واكاسيد الحديد والكوارتز، وحينما تتخلل محاليل هذه المواد الفراغات البينية الفاصلة بين حبيبات الرواسب وتستقر فيما بينها على نحو يساعد على تماسكها، فانها تتحول إلى طبقة من الصخور المتماسكة.

2- الانضغاط Compaction: عندما تتراكم طبقات رسوبية سميكة فوق رواسب هشة غير متماسكة في احواض الترسيب يتكون ضغط ناجم عن ثقل هذه الطبقات المترسبة، مما يساهم في تقارب حبيبات الرواسب وتقليل المسام بينها وطرد الماء الذي يتخلل الفراغات بين هذه الحبيبات فتجف وتتماسك مكونة صخوراً رسوبية.

3- التلاحم الحراري Thermal Cementation: تزداد درجات الحرارة كلما زاد عمق حوض الترسيب الذي يحتوي على حبيبات الرواسب، مما يؤدي إلى تماسكها. كما يؤدي صعود الماكما إلى تماسك الحبيبات نتيجة التماس بينها، ومن ثم تتحول الحبيبات الهشة إلى صخور رسوبية.

تصنيف الرواسب:

تصنف الرواسب حسب مكان الترسيب وطبيعة العوامل التي ارسبتها إلى نوعين هما:-

1- الرواسب القارية Continental Sediments: تشتمل الرواسب القارية على المواد التي ترسبت على سطح اليابس أو على قيعان البحيرات والانهار بفعل الرياح أو مياه الانهار، كما تؤدي الانهار الجليدية إلى تجميع الرواسب وتراكمها بعد ذوبان الجليد حينما ترتفع درجة الحرارة.

2- الرواسب البحرية Marine Sediments: تتكون في مياه البحار والمحيطات وتشتمل على الحصى والرمل والطين والرواسب العضوية.

تصنيف الصخور الرسوبية حسب نشأتها:

تصنف الصخور الرسوبية حسب نشأتها(تكونها)الى ثلاث مجموعات: (كربل، 986، 64-70)

1- الصخور الرسوبية الميكانيكية النشأة: تتكون هذه الصخور نتيجة لترسيب المفتتات الصخرية التي تنتقل بواسطة المياه الجارية والرياح والثلاجات وتترسب في بيئات معينة دون ان تتعرض لأي تغير كيميائي، لذا يطلق عليها اسم الصخور الرسوبية الفتاتية. واهم انواع تلك الصخور ما يأتي:-

أ- صخور المجمعات (الكونكلوميرات) Conglomerates: تتكون من تجمع للحصى والجلاميد والرمال وربما كميات قليلة من الطين. وتحتوي حبيبات الكونكلوميرات على الكوارتز، وتكون بعضها مقاومة لعوامل التعرية اذا كانت مكوناتها تحتوي على نسب عالية من السليكا، وتتصف هذه الصخور بكونها مسامية.

ب- الصخور الرملية Sand Stones: تتكون من حبيبات معدنية فتاتية تلتحم معاً بواسطة مواد لاصقة اخرى وتتحكم تلك المواد اللاصقة في لون الصخور، اذ يكون اللون مائلاً إلى الاحمرار عندما تكون المادة اللاصقة اوكسيد الحديد، وتصبح الصخور بيضاء اللون عندما تكون المادة اللاصقة كاربونات الكالسيوم وهكذا. والصخور الرملية ذو خاصية مسامية تكون خزانات عظمى للمياه الباطنية.

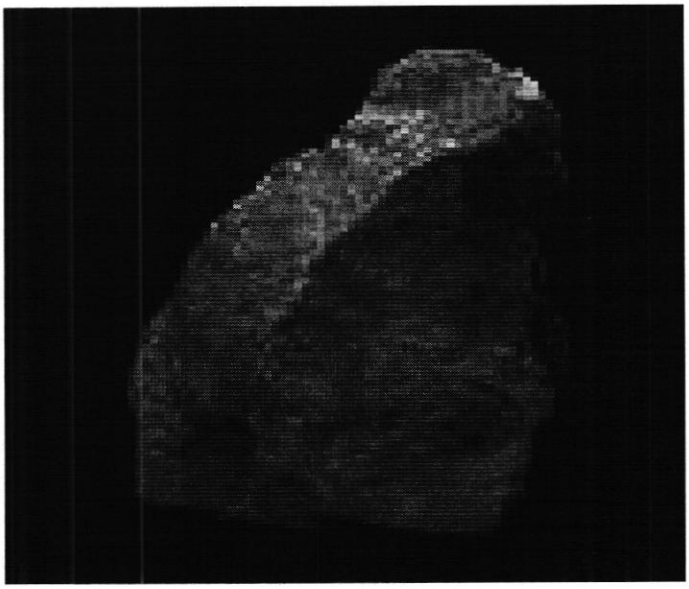
ج- الصخور الطينية Clay Stones: تتكون من رواسب ناعمة دقيقة من الطين والغرين ترسبها الأنهار في مياه عميقة أو تتراكم على قيعان البحيرات، وقد تتماسك حبيباتها بعد ذلك نتيجة لجفافها بسبب الضغط الذي يقع على تلك الرواسب الناجم عن تراكم طبقات من الرواسب الأحدث فوقها. وتعرف الصخور التي تنتج من تماسك الطين والغرين باسم صخور الطفل Shale.

2- **الصخور الرسوبية الكيميائية النشأة:** تتشكل من الرواسب التي تكون بشكل مواد ذائبة في المياه وخاصة المياه الجوفية التي تحتوي على كميات كبيرة من الأملاح ويكون تركيز ثاني اوكسيد الكاربون فيها كبيراً، فضلاً عما يوجد من حرارة عالية وضغط عال، مما يساعد على زيادة قابلية الماء الجوفي في اذابة الصخور. وتترسب هذه المواد اما بسبب التبخر ويطلق عليها اسم صخور المتبخرات أو بسبب تناقص الضغط. ومن اهم الصخور الكيميائية النشأة الصخور الجيرية والصخور الملحية والصوان والدولمايت. ويوضح الشكل (12) احد انواع الصخور الرسوبية.

3- **الصخور الرسوبية العضوية النشأة:** يتكون هذا النوع من الصخور من بقايا الكائنات الحية سواء الحيوانية أم النباتية، ومن اهم امثلتها الصخور الجيرية

المرجانية التي تتكون من تلاحم بقايا الشعب المرجانية الميتة المشبعة بكاربونات الكالسيوم المستخلص من مياه البحر، وحجر الطباشير الذي يتكون من تماسك بقايا حيوانية ونباتية مجهرية، وحجر الفحم الذي يتكون من النباتات المتحللة بعد طمرها وتعرضها للتفحم بتأثير عاملي الحرارة والضغط.

شكل (12) احد انواع الصخور الرسوبية



اهمية الصخور الرسوبية:

تأتي اهمية الصخور الرسوبية بالنسبة لنا من حيث اتساع انتشارها فهي تغطي ثلاثة ارباع سطح اليابسة اضافة إلى قيعان البحار والمحيطات التي تمثل اماكن مناسبة لترسيب هذه الصخور وتكمن اهمية الصخور الرسوبية في الآتي:-

1- تمثل المواد الخام التي نحتاجها لاعمال البناء.

2- تعتبر مكامن لمصادر الطاقة كالنفط والغاز الطبيعي والفحم.

3- تعد المصدر الأساس لبعض المعادن كالفوسفات والأملاح المعدنية.

4- تساعد الصخور الرسوبية الجيولوجيين في دراسة التاريخ الجيولوجي للأرض بما تحتويه من متحجرات تمثل الحياة السابقة على سطح الأرض.

ثالثاً: الصخور المتحولة Metamorphic Rocks

نعني بالصخور المتحولة تلك الصخور التي نتجت عن تحولات طرأت على شكل وخصائص الصخور الأصلية وجعلتها تختلف عنها. وتنحصر العوامل الرئيسة المسببة للتحول بالحرارة والضغط ووجود المحاليل. فقد ترتفع درجة حرارة الصخور اما بسبب وجود صخور في اعماق سحيقة من الأرض أو نتيجة لوجودها قرب الصهير، وتتراوح درجات الحرارة التي يتم فيها التحول ما بين 200 إلى اكثر من 570°م. وهناك مصدر آخر للحرارة التي تتحول نتيجتها الصخور آت من الطاقة الميكانيكية المصاحبة للحركات الأرضية البانية للسلاسل الجبلية

أما التحول بالضغط فينجم عن الضغط المباشر الناتج عن حركات أرضية والضغط الثابت الناتج عن ثقل الطبقات الصخرية الموجودة فوق الصخور المتحولة. وتقوم المحاليل بدور مهم في عملية التحول عندما تنقل الأيونات من مكان إلى آخر داخل الصخرة نفسها أو من صخرة إلى اخرى، ويعد الماء اكثر السوائل اهمية في نقل تلك الايونات، في حين يعد ثاني اوكسيد الكاربون اهم الغازات في تكوين تلك المحاليل.

بيئات عمليات التحول:

تنشأ الصخور المتحولة غالباً في احدى البيئات الثلاث الآتية:-

1- التحول في المناطق الصدعية (الانكسارية) Metamorphism in Faulted Areas: ينتج في الأقاليم التي تتعرض إلى الحركات الصدعية بسبب الضغط المباشر وحرارة الاحتكاك الناتجة عن امتداد النطاق الصدعي.

2- التحول الحراري أو التماسي Thermal or Contact Metamorphism: ينتج هذا النوع من التحول من تعرض الصخور إلى حرارة عالية دون ان يصاحب ذلك ضغط شديد، ويتم عندما يدخل الصهير بين الصخور المجاورة فتؤدي الحرارة العالية إلى اعادة تبلور المعادن.

وينشأ عن ذلك معادن جديدة مميزة للصخور المتحولة.

3- التحول الأقليمي Regional Metamorphism: يحدث التحول الأقليمي عند تعرض منطقة شاسعة من القشرة الأرضية للضغط الشديد والحرارة العالية المنبثقة من المواد الساخنة المصاحبة للأجسام النارية المتداخلة، وتكون مصاحبة عادة للعمليات البانية للجبال، فاثناء حدوث تلك العمليات يتم الضغط على جزء كبير من القشرة الأرضية، ويؤدي تأثير الحرارة إلى اعادة تبلور المعادن المكونة للصخور الأصلية وظهور معادن جديدة. ومن امثلة ذلك تحول حجر الكلس إلى رخام وفحم البتيومين إلى فحم الانثراسايت الشديد الصلابة.

أهم الصخور المتحولة:

تقسم الصخور المتحولة تبعاً لنوعية الصخور الاصلية إلى نوعين هما:-

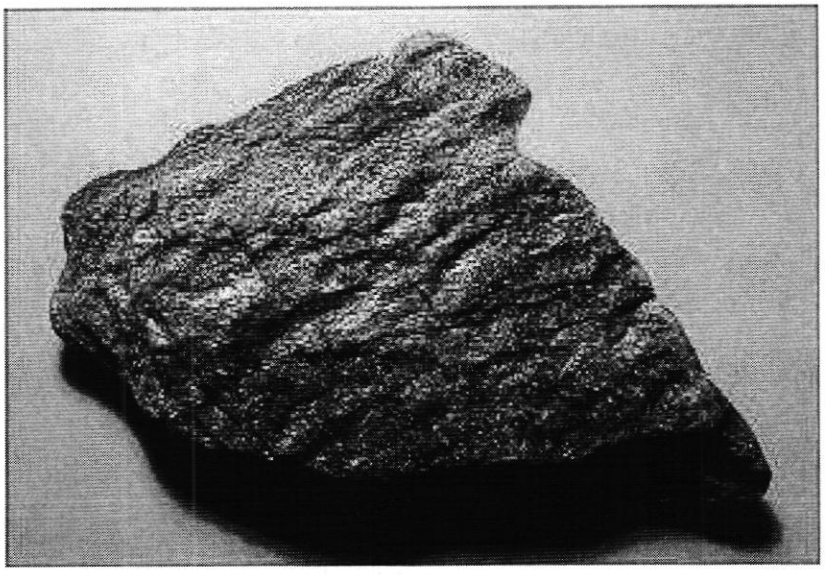
1- الصخور المتحولة ذوات الأصل الرسوبي: تتمثل هذه الصخور في الاردواز واصله صخر طيني ويتكون من صفائح رقيقة يمكن فصلها عن بعضها بسهولة. ويعتبر الرخام من بين اهم الصخور المتحولة من اصل رسوبي، وينشأ من جراء تعرض الصخور الكلسية للضغط الشديد والحرارة العالية، وهو بلوري مقاوم شديد لعمليات التعرية وبخاصة في الأقاليم الجافة.

2- الصخور المتحولة ذوات الاصول النارية: تشتمل على صخور الشيست Schist التي تتكون من حبيبات خشنة وصفائح متلاصقة. كما تشتمل على صخور النايس Gneiss التي تتواجد فيها معادن الكوارتز والفلسبار والبوتاسيوم وهو صخر متحول عن الكرانيت، ويتبين من الشكل (13) احد انواع الصخور المتحولة.

دورة الصخور في الطبيعة:

يعود منشأ واصل الصخور إلى الصهير الصخري (الماكما) الذي يندفع من باطن الأرض نحو سطحها، وقد يتصلب في الأجزاء العليا من القشرة الأرضية مكوناً الصخور النارية المتداخلة، أو ربما يصل إلى سطح القشرة الأرضية ويسيل عليه على شكل (لافا) اي طفوح بركانية ثم يتصلب فوق السطح مكوناً الصخور النارية البركانية أو السطحية. وعليه فان اول انواع الصخور هي الصخور النارية التي تنشأ نتيجة برودة الصهير وتتصلب مكونة صخور ذات سمات تميزها عن انواع الصخور الاخرى.

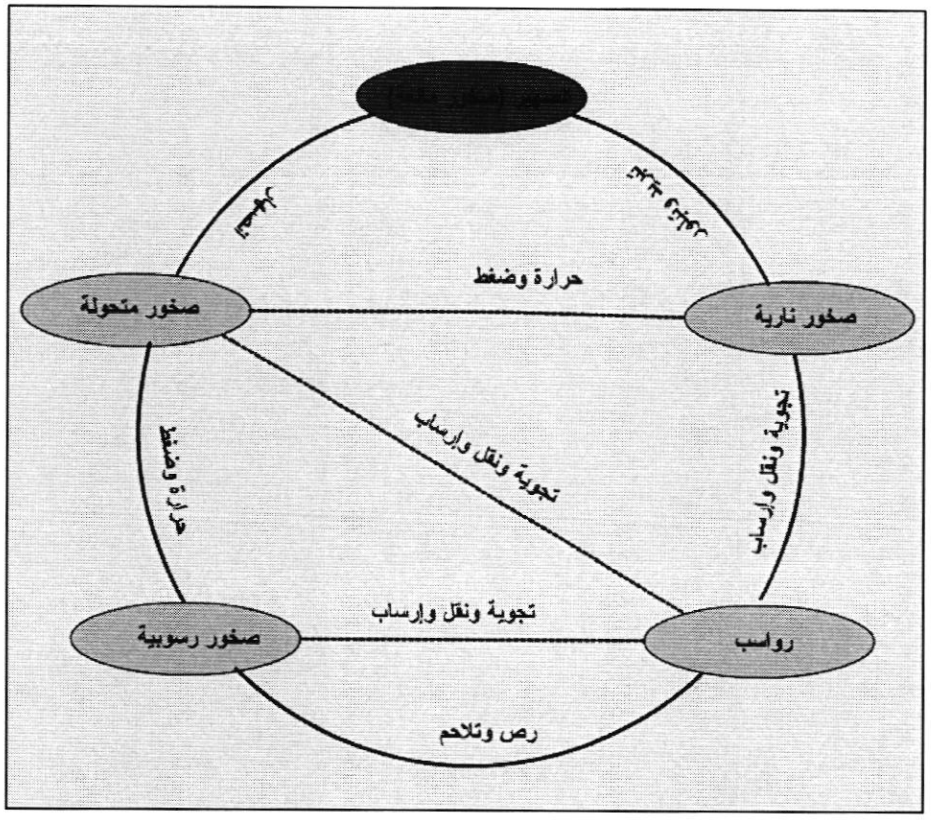
شكل (13) احد انواع الصخور المتحولة



عندما تنكشف الصخور النارية فوق سطح الأرض فانها تتعرض لعمليات التجوية التي تعمل على تفتيتها بمرور الزمن، ثم تنقل هذه المفتتات وترسب بعيداً عن المنشأ الأصلي. وهذه مهمة عوامل التعرية المختلفة مثل المياه الجارية والجليد والرياح والأمواج، وعند تراكم الرواسب على شكل طبقات افقية في بيئة ترسيبية مناسبة سواء كانت بحرية مثل قيعان المحيطات أم بيئة قارية مثل السهول الفيضية للأنهار، أو بيئة ترسيبية هامشية أو انتقالية مثل البحيرات الساحلية والسبخات الساحلية، عندئذ تبدأ عملية تحول المفتتات إلى صخر صلب متماسك، وتتصخرالرواسب عندما تتضاغط تحت ثقل الطبقات التي فوقها أو عندما تلتحم مع بعضها فتتكون الصخور الرسوبية. وقد تتعرض الصخور الرسوبية لضغوط شديدة اذا مادفنت تحت اعماق كبيرة في باطن الأرض أوحرارة عالية نتيجة اقترابها من خزانات الصهير، مما يؤثر في سماتها الصخرية ويطلق على هذه العملية مصطلح التحول الصخري، اي تحول الصخور النارية والرسوبية إلى صخور

متحولة. وحينما تتعرض الصخور المتحولة إلى حرارة وضغط شديدين فانها تنصهر مرة اخرى مكونة بذلك الصهير الذي قد يتصلب بالبرودة ويتبدل إلى صخور نارية لتكرر دورتها مرة اخرى وكما يتبين من الشكل (14).

الشكل (14) دورة الصخور في الطبيعة



الفصل الخامس

الأشكال الأرضية
الناتجة عن القوى الباطنية

الفصل الخامس

الأشكال الأرضية الناتجة عن القوى الباطنية

تقسم القوى الباطنية إلى قوى باطنية بطيئة واخرى سريعة تتمثل في الزلازل والبراكين. فالقوى الباطنية البطيئة تتمثل في الحركات الالتوائية الافقية التي تؤدي إلى التواء الصخور وانثنائها، ومن ثم تتكون الجبال الالتوائية، وحركات رأسية إلى الأسفل أو إلى الأعلى تعمل على رفع الهضاب والكتل الصخرية. وقد يصحب الحركات الرأسية حركات افقية والعكس صحيح ايضاً.

تنشأ الالتواءات والانكسارات عن قوى الضغط الناتجة عن باطن الأرض، وتتوقف قابلية الصخور للالتواء والانكسار على مدى صلابتها ومقدار الضغط الذي تتعرض له، فاذا تعرضت طبقات من الصخور اللينة لضغوط جانبية فانها تلتوي، بينما اذا تعرضت الصخور الصلبة لمثل هذه الضغوط فانها تتكسر.

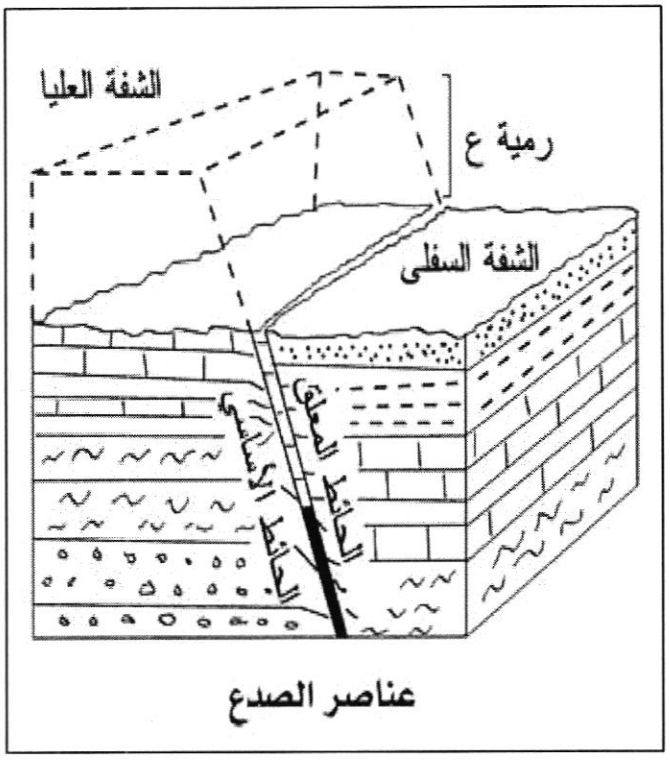
اولاً: الصدوع (الانكسارات) Faults

يقصد بالصدوع حدوث كسر في الطبقات الصخرية يصحبه تحرك بعض اجزاء هذه الطبقات أما رأسياً أو افقياً. وتحدث الحركات الانكسارية نتيجة قوى الشد والضغط التي تتعرض لها صخور القشرة الأرضية من جهة واحدة أو من عدة جهات. ويعني الانكسار شقاً أو صدعاً في القشرة الأرضية يصحبه تغير في مواقع الصخور على جانبيه.

يتكون الصدع من اجزاء وعناصر متعددة وكما يتبين من الشكل (15) وكالآتي: (ابو العينين، 1974، 322-323).

1- سطح الانكسار Fault surface: السطح أو المستوى الذي تتحرك الطبقات على امتداده سواء رأسياً ام افقياً.

شكل (15) عناصر الصدع



2- زاوية ميل خط الانكسار Dip of fault: الزاوية المحصورة بين ميل سطح الانكسار ومستواه الافقي، ويعرف الخط العمودي على ميل الانكسار باسم مضرب الانكسار أو خط الظهور.

3- الجانب المرفوع Up throw side: جانب الانكسار الذي ارتفع إلى اعلى على طول سطح الانكسار، وقد يطلق عليه احياناً اسم الحائط المعلق وهو الكتلة الصخرية الواقعة فوق مستوى الصدع.

4- الجانب الهابط Down throw side: جانب الانكسار الذي هبط إلى اسفل على طول خط الانكسار، وقد يطلق عليه اسم الحائط الاسفل وهو الكتلة الصخرية الواقعة اسفل مستوى الصدع.

5- مرمى الانكسار Throw of fault: يسمى ايضاً الزحزحة الرأسية، اي البعد أو المسافة الرأسية التي تتحركها الطبقات عبر سطح الانكسار بشرط ان يتم القياس عمودياً على اتجاه الطبقات.

6- الزحزحة الجانبية Lateral shifting: المسافة التي تتحركها الطبقات عبر سطح الانكسار جانبياً (افقياً) بشرط ان يتم القياس بصورة عمودية على مضرب الصدع.

7- الزحزحة الكلية Slip: المسافة الكلية التي تتحركها الطبقات على طول سطح الانكسار.

أنواع الصدوع: هناك عدد من انواع الصدوع التي يوضحها الشكل (16) وكالآتي:-

1- الصدع العادي البسيط Normal Fault: ينتج هذا النوع من عمليات شد الطبقات الصخرية اكثر من عمليات الضغط ويتميز بوجود الحائط المعلق اسفل مستوى الانكسار، أما الحائط الاسفل فهو يقع اعلى مستوى الانكسار، وتتراوح زاوية سطح الانكسار بين 45 و90°.

2- الصدع العكسي Reverse Fault: يتميز هذا النوع بان اتجاه ميل الانكسار يكون في عكس اتجاه الطبقات التي هبطت إلى اسفل، وتتراوح زاوية ميل سطح الانكسار بين 45-60° وهو من صدوع الدفع.

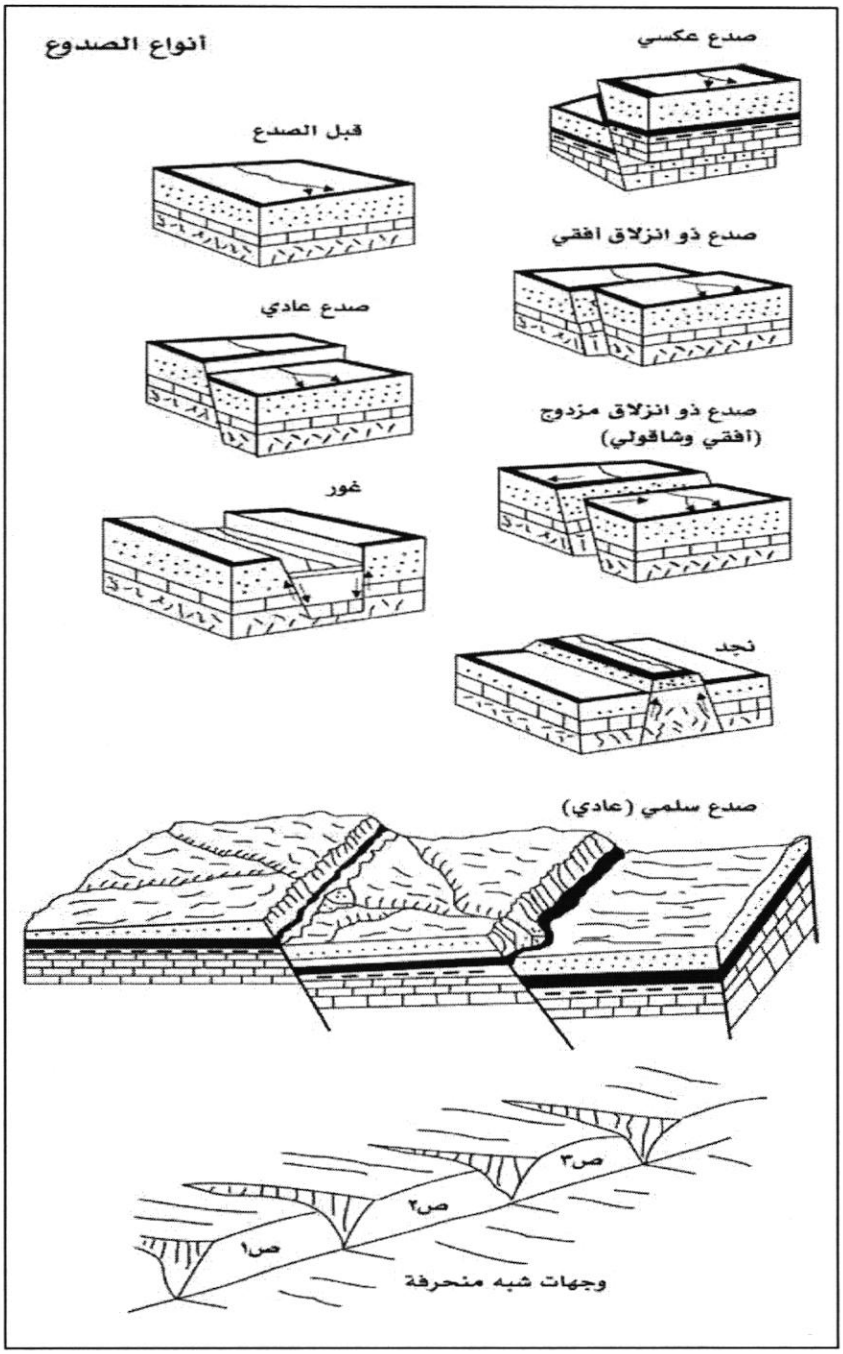
3- الصدع الافقي Lateral Fault: يتكون الصدع الافقي بتأثير قوى الشد حينما تتفق مع خط مضرب الطبقات الصخرية، وفي هذه الحالة تكون قيمة الزحزحة الرأسية صفر، ويقتصر تحرك الطبقات على المحور الافقي فقط، لذا تصبح قيمة الزحزحة الافقية مساوية للزحزحة الكلية.

4- الصدع المدرج Step Fault: يتكون هذا النوع من الصدوع نتيجة لتأثر المنطقة بأكثر من سطح انكساري، ينجم عنه تكوين مجموعة متتابعة من المصاطب المتدرجة، وتكون خطوط الانكسار عادة متوازية وتتفق مع توجيه رمياتها.

5- الصدع المتهضب Horsts: تحدث الهورست حينما تبرز كتلة صخرية بمنسوب مرتفع بالنسبة لأجزاء سطح الأرض المجاورة لها، وتتميز اسطح الانكسار الحائطية للصدع المتهضب بشدة انحدارها وانصقال جوانبها.

6- الأغوار الصدعية Grabens: تنشأ الأغوار الصدعية في طبقات صخرية عظيمة السمك بحيث يهبط القسم الأوسط من الكتلة الصخرية إلى الأسفل مكوناً منطقة حوضية، وقد ترتفع في نفس الوقت الطبقات الصخرية المجاورة لها إلى الأعلى. وينتج عن الأغوار الصدعية الظاهرات الجيومورفولوجية التي يطلق عليها مصطلح الاشكال الاخدودية مثل الأغوار والأودية الاخدودية Rift Valleys (السنوي وآخرون، 1979، 346 – 349).

شكل (16) انواع الصدوع



ثانياً: الطيات (الالتواءات) Folds

تتعرض القشرة الأرضية إلى حركات رفع تكتونية بطيئة خلال فترات طويلة من التاريخ الجيولوجي، وتعد الطبقات الصخرية الرسوبية الحديثة العمر الجيولوجي من انسب الصخور استجابة لحركات الطي والثني. فاذا تعرض القسم الأوسط من الطبقات الصخرية لحركة رفع تكتوني فانها تؤدي إلى ثني هذه الطبقات إلى الأعلى مكونة طيات محدبة Anticlines تفصل بينها طيات مقعرة Synclines. يمكن تلخيص عناصر الالتواء بالآتي:- الشكل (17).

- قمة الالتواء Crest: اعلى نقطة في الطية المحدبة.

- قاع الالتواء Trough: ادنى نقطة في الطية المقعرة.

- جانب الالتواء Limb: الجانبان اللذان تميل فيهما الطبقات الصخرية في اتجاهين متقابلين.

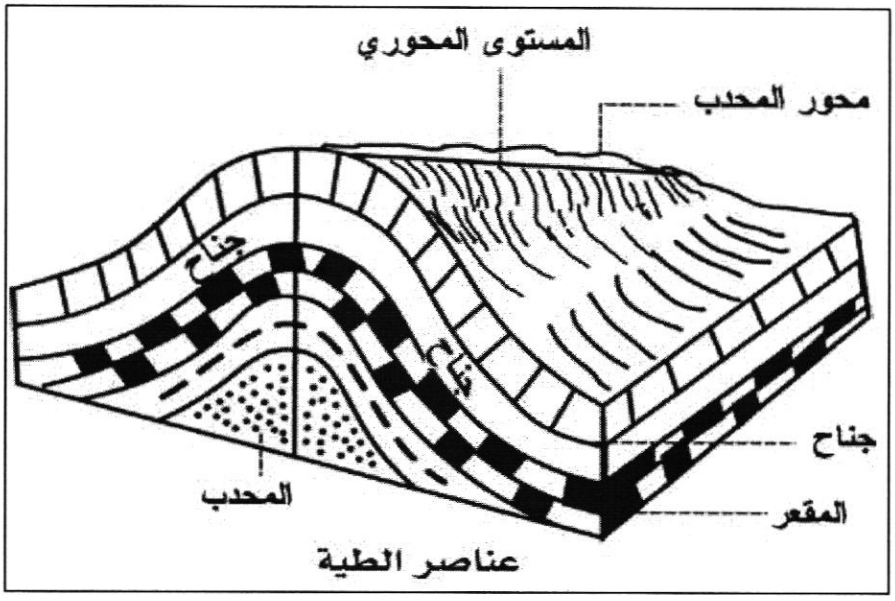
- محور الالتواء Axis of Fold: المحور أو المستوى الذي تنثني حوله الطبقات الصخرية وقد يكون هذا المحور افقياً أو عمودياً أو مائلاً.

- زاوية مستوى المحور Pitch: الزاوية التي يصنعها خط قمة الطية مع المستوى الافقي.

- طول الطية Fold Length: المسافة التي تمتد فيها الطية مع مضرب الطبقات.

- عرض الطية Fold Width: المسافة التي تشكلها الطية في اتجاه ميل الطبقات.

شكل (17) عناصر الطية



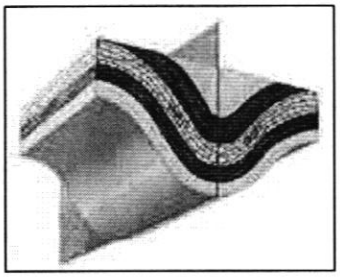
انواع الطيات Types of Folds

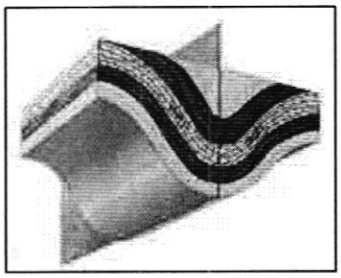
يمكن تصنيف الطيات المحدبة والمقعرة إلى مجموعتين رئيستين هما:-

1- الطيات المحدبة والمقعرة المتماثلة Symmetrical: وهي التي تتساوى زاوية ميل الطبقات الصخرية على جانبيها، وتكون جوانب الطيات متساوية في الطول ومتشابهه في الشكل العام وفي هذه الحالة ينصف المحور الطية المحدبة أو المقعرة إلى قسمين متساويين متشابهين. وكما يتضح من الشكل (18).

2- الطيات المحدبة والمقعرة غير المتماثلة Asymmetrical: وفيها يختلف مقدار زاوية ميل الطبقات الصخرية على جانبي محور الطيات المحدبة والمقعرة، وفي هذه الحالة لاتتساوى جوانب الطية المحدبة أو المقعرة في الطول أو في الشكل، ولا ينصف محور الطيات المحدبة أو المقعرة اي منها إلى قسمين متساويين.

شكل (18) الطيات المحدبة والمقعرة المتماثلة





وتبعاً لاختلاف زاوية ميل الطبقات الصخرية وخصائصها العامة تقسم الطيات إلى الاشكال الآتية وكما يتضح من الشكل (19): (ابو العينين، 1974، 314- 317).

1- طيات وحيدة الجانب Folds Monocline: تتكون محلياً في بعض اجزاء المناطق الالتوائية. ويتميز هذا النوع من الطيات بوجود جانب أو جناح واحد فقط أما الجانب الآخر فيصبح غير واضح وتكاد تكون فيه الطبقات افقية الميل. ومن امثلة الطيات الوحيدة الجانب هضبة كلورادو في الولايات المتحدة الامريكية التي تحركت طبقاتها رأسياً حوالي 4000 متر ولمسافة 250كم.

2- طيات مقلوبة Overturned Folds: تتمثل في المناطق التي تعرضت إلى حركات التوائية شديدة، ويميل محور هذا النوع من الطيات بزاوية تصل إلى اكثر من 45° عن المستوى الرأسي. كما ان اغلب الطيات المقلوبة نادراً ماتكون متماثلة.

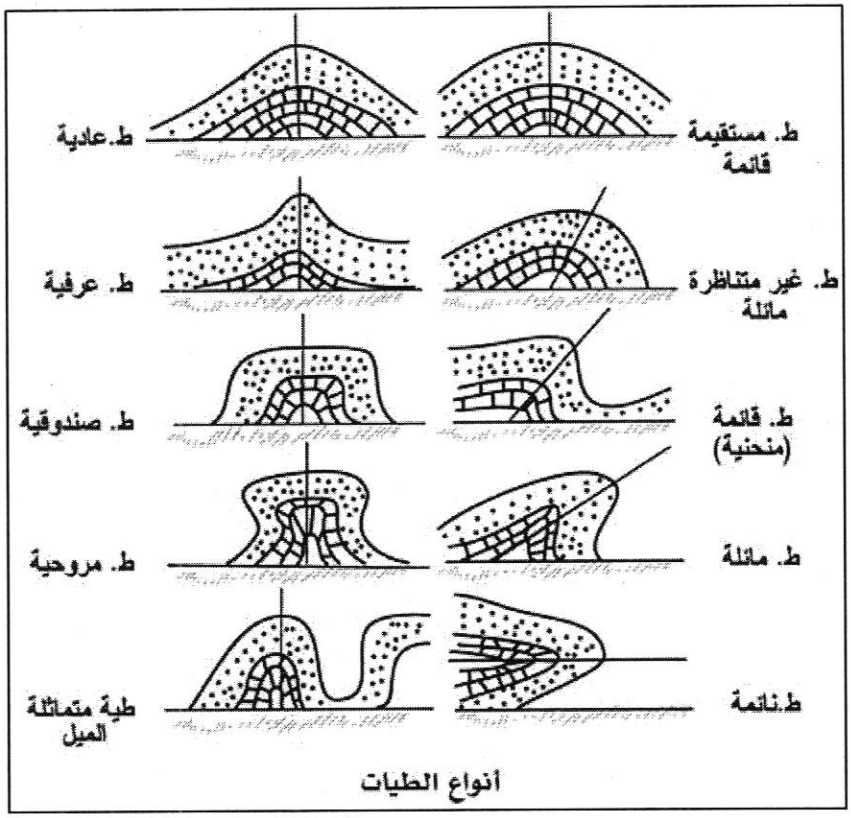
3- طيات نائمة أو مضطجعة Recumbent Folds: يميل محور هذه الطيات بزاوية تتراوح بين 70-80° عن المستوى الرأ سي، حيث تلتوي طبقاتها بشدة وتستلقي أو ترتكز على الطبقات الصخرية المتاخمة لها. ولا تحدث هذه الطيات الا في المناطق التي تعرضت إلى حركات رفع تكتونية شديدة والتي تؤدي إلى بناء الجبال العظمى كما هو الحال في جبال الهملايا والروكي والألب.

4- طيات نائمة صدعية Over- Thrust Folds: يتشابه هذا النمط من الطيات مع الطيات النائمة السابقة، الا انها تتكون من طبقات صخرية اكثر صلابة بحيث لاتستجيب لحركة الطي والانثناء فتتكسر طبقاتها اثناء عملية الالتواء. وتتمثل في المناطق الضعيفة جيولوجياً التي تتعرض إلى حركات رفع تكتونية عنيفة كما هو الحال في مناطق المرتفعات العظمى بجبال الألب والهملايا والروكي.

5- الطيات الملتوية والمتوازية Parallel Folds: عبارة عن مجموعة طيات محدبة متتابعة تفصل بينها مجموعة من الطيات المقعرة. وقد تكون هذه الطيات المحدبة رأسية الشكل اي ان محاورها عمودية تماماً، وتتماثل درجات ميل جوانبها وتمتد بانتظام، لذا تعرف بالطيات الملتوية أو الزجزاجية Zigzag Folds.

6- الطيات المحدبة والمقعرة العظمى: حينما تتعرض النطاقات الالتوائية الضخمة إلى حركة رفع عظمى ينتج عنها تكوين ثنية محدبة كبيرة الحجم يطلق عليها اسم Anti clinorium تضم في داخلها مجموعة من الثنيات المحدبة والمقعرة الثانوية. وعندما تقع ثنيات محدبة واخرى مقعرة متوسطة الحجم داخل نطاق ثنية مقعرة عظمى فيطلق عليها اسم Synclinorium، وتتمثل هذه الحالة في المرتفعات العظمى التي تعرضت إلى حركات رفع عنيفة خلال عدد من المراحل المتعاقبة.

شكل (19) اشكال الطيات



القوى الباطنية السريعة (الزلازل والبراكين)

تنشأ القوى الباطنية السريعة نتيجة للاضطرابات التي تحدث في جوف الأرض بسبب تحرك الماكما في الفراغات المتمثلة في القشرة الأرضية واجزاء من طبقة المانتيل الداخلية، وتحدث هذه التحركات بصورة فجائية وتسبب اخطار ضخمة للسكان. اذا تحركت الماكما تحت سطح الأرض تحدث الهزات الأرضية، أما اذا خرجت الماكما فوق سطح الأرض فانها تشكل الطفوح البركانية باشكالها المتعددة.

اولاً: الزلازل وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض

مفهوم الزلازل: الزلازل Earthquakes عبارة عن هزات سريعة تنتاب بعض اجزاء القشرة الأرضية بصورة فجائية ولا تستغرق الهزة الواحدة اكثر من بضع ثوان وقد تصل إلى اكثر من ثلاث دقائق في الزلازل العنيفة. وقد تكون الهزات قوية نشعر بها، أو ضعيفة لايشعر بها سوى آلات الرصد الزلزالي (السيسموغراف).

تنشأ الزلازل في نقطة داخل الأرض تدعى البؤرة Focus أو المركز الباطني للزلزال، تتوالد منها الموجات الزلزالية وتتجه إلى الخارج، فيما تعرف النقطة التي تقابلها على سطح الأرض بالمركز السطحي للزلزال. وتنتقل الطاقة المنبعثة من البؤرة إلى جميع الاتجاهات على هيئة موجات زلزالية، وتنتقل بعض الموجات نحو باطن الأرض وينتقل بعضها الآخر فوق سطح الأرض، وتتحرك الموجات السطحية بصورة اسرع من الموجات الداخلية. وتستطيع الموجات الزلزالية اختراق جميع طبقات الغلاف الصخري للأرض ماعدا باطن الأرض أو القلب بسبب ارتفاع الكثافة، ولكن يمكنها اختراق طبقتي القشرة الأرضية والغطاء الداخلي

بسبب انخفاض كثافتهما، لذلك لايقتصر تسجيل الموجات الصادرة عن الهزات الأرضية على اجهزة رصد الزلازل في المنطقة المتاخمة لبؤرته وانما يمكن تسجيلها على الجانب المقابل من الأرض في غضون 21 دقيقة.

اسباب حدوث الزلازل: من اهم اسباب حدوث الحركات الزلزالية تعرض القشرة الأرضية للاضطرابات والتصدعات التي تؤدي إلى احتكاك الصخور التي يتألف منها الغلاف الصخري، مما يولد هزات تختلف في سرعتها وشدتها حسب اختلاف طبيعة الطبقات الصخرية التي تخترقها. تحدث الزلازل عندما ينزلق جزء من القشرة الأرضية، وتكون هذه الحركة عنيفة ومتقطعة بسبب الاحتكاك بين الجزء المتحرك والاجزاء الملامسة له، وتتسبب هذه الحركة في حدوث اهتزازات في الأرض تسمى بالموجات الزلزالية. وان عنف الحركة المسببة للاهتزازات يحدد قوة الموجات الزلزالية بين الضعيفة التي تكاد لاتحس والقوية التي تؤدي إلى الكوارث.

انواع الزلازل Types of Earthquakes:

تقسم الزلازل على اساس القوى التي تسببها إلى مايأتي:(تراب، 2005، 192-193).

1- الزلازل التكتونية Tectonic Earthquakes: تحدث بصورة فجائية في المناطق التي تتعرض إلى الصدوع، لذا يرتبط حدوث هذه الزلازل بمناطق الانكسارات. وهذا النوع من الزلازل كثير الحدوث ويشمل حوالي 90٪ من اجمالي الهزات الأرضية. وتمتاز هذه الهزات بعمقها الضحل نسبياً الذي يتراوح ما بين 20- 40 كم. وتؤدي إلى احداث تغيرات على سطح القشرة الأرضية تتمثل في التأثير على مورفولوجية المجاري المائية وتكوين البحيرات، وحدوث الكثير من مظاهر التخريب في المنشآت العمرانية، فضلاً عن حدوث الانزلاقات الأرضية وتشقق سطح الأرض. ومن امثلتها زلزال سان فرانسسكو الذي حدث على طول صدع سان اندرياس في كالفورنيا عام 1906.

2- الزلازل البركانية Volcanic Earthquakes: يرتبط حدوث هذه الزلازل بالنشاط البركاني وتتميز المراكز الباطنية للزلازل التي تصاحب حدوث البراكين بانها قريبة من سطح الأرض، وتقتصر موجاتها الزلزالية على منطقة محدودة الأبعاد تتركز بشكل خاص في منطقة البراكين نفسها. ومن امثلتها الزلازل البركانية التي صاحبت حدوث بركان كاركاتاو Karkatau في خليج سوندا عام 1883.

3- الزلازل البلوتونية Plutonic Earthquakes: تنشأ في الأعماق السحيقة من باطن الأرض على اعماق تصل إلى حوالي 800 كم.

4- الزلازل الانهيارية Collapsing Earthquakes: يحدث هذا النوع من الزلازل بسبب الانهيارات التي تحدث في الفراغات الموجودة ضمن القشرة الأرضية، نتيجة حركة الماكما داخل القشرة الأرضية، فعندما تتحرك الماكما حركة رأسية للاسفل تعمل على حدوث بعض الانهيارات للطبقات الصخرية التي تعلوها مسببة اهتزاز الصخور المجاورة، وهذا النوع من الاهتزازات لاينتشر بعيداً عن مكان حدوثه الأولي.

5- هناك نوع من الزلازل ينجم عن التفجيرات التي يقوم بها الانسان في مناجم الفحم والتفجيرات النووية التي تتم في باطن الأرض.

اعماق الزلازل

يمكن تقسيم الزلازل تبعاً لاختلاف اعماق مراكزها الداخلية إلى ثلاث مجموعات هي:-

1- الزلازل قليلة العمق أو الضحلة التي لايزيد عمقها البؤري عن 50 كم.

2- الزلازل المتوسطة العمق التي يتراوح عمقها ما بين 50 -250 كم.

3- الزلازل العميقة وتظهر على اعماق تزيد عن 250 كم.

وقد اوضحت الحسابات ان معظم الهزات الأرضية تقع مراكزها الداخلية على عمق يتراوح ما بين 10 -40 كم.

انواع الموجات الزلزالية:

1- الموجات الأولية (P) Preliminary Waves: وهي موجات سريعة جداً واول من يصل إلى اجهزة الرصد الزلزالية وتتراوح سرعتها بين 5.5-13.8كم/ ثانية.

2- الموجات الثانوية (S) Secondary Waves: وهي موجات اهتزازية تكون ابطأ من الموجات الأولية وتتراوح سرعتها ما بين 3.2-7.3 كم/ ثانية.

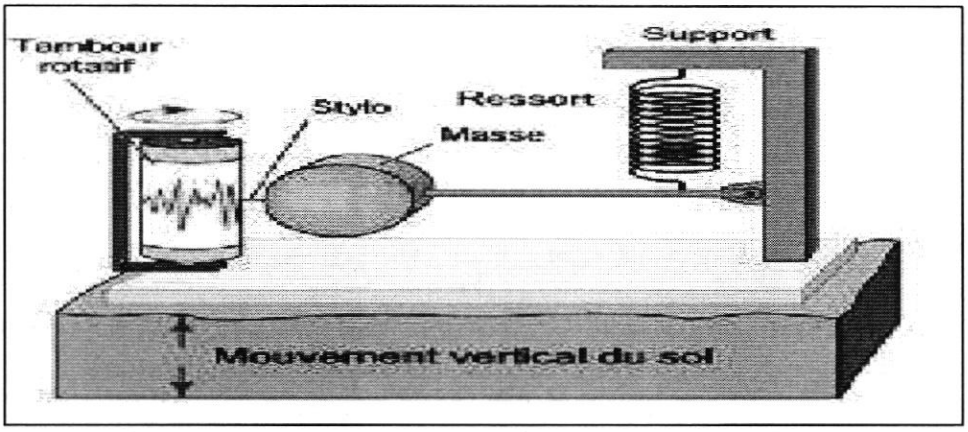
3- الموجات الطويلة (L) Long Waves: وهي موجات مستعرضه تجتاز الطبقات الصخرية العليا لقشرة الأرض وتنتشر اساساً من المركز السطحي للزلزال، وبما ان قشرة الأرض غير متجانسة وقليلة الكثافة فان الموجات الزلزالية فيها تنكسر إلى الأعلى والى الأسفل. وتتراوح سرعتها ما بين 4-4.4كم/ ثانية. وان اسباب التدمير للمنشآت العمرانية يعزى اساساً إلى انتشار الموجات الطويلة التي تنتشر من المركز السطحي للزلزال.

تسجيل الزلازل:

تسجل الهزات الأرضية الزلزالية على اختلاف قوتها بجهاز السيسموكراف كما في الشكل (20) الذي يتألف في ابسط صوره من ثقل مثبت على عمود افقي ومشدود بسلك ربط إلى قائم ثابت، ففي لحظة حركة القشرة السطحية الناتجة عن الهزات الأرضية يبدأ الثقل المعلق بالحركة على مؤشر يحدد الهزة بواسطة مؤشر

يسجل على اسطوانة ورقية اتجاه الحركة ويسمى هذا الخط الناتج السيسموكرام، ومن تحليل هذا الخط البياني يستطيع المختصون تحديد موقع المركز السطحي للهزة وشدتها على مقياس رختر نسبة إلى العالم الامريكي Richter الذي يحتوي على 12 درجة، فالزلزال الذي قوته 2 درجة لايشعر به الانسان ولايؤدي إلى خسائر واذا زاد عن 6 درجات يعد من الهزات العنيفة المدمرة.

شكل (20) جهاز تسجيل الزلازل (السيسموكراف)



تأثيرات الزلازل:

ادت الزلازل التي حدثت في انحاء العالم خلال الفترة بين 1967 و 1991 إلى مقتل حوالي 646 ألف شخص. ومن التأثيرات الاخرى الناجمة عن الزلازل مايأتي:-

1- صدوع أرضية عمودية أو افقية: نتج عن زلزال سان فرانسسكو عام 1906 صدوع افقية عرضها حوالي 6 أمتار، وادى زلزال كالفورنيا عام 1874 إلى نشوء صدوع عمودية بلغ ارتفاعها 7 أمتار، وان هذه الصدوع تدمر الجسور والأبنية وتقطع الطرق.

2- انهيارات وانزلاقات وتشققات أرضية: تسبب احد الزلازل التي ضربت اليابان عام 1891 في 10 آلاف انزلاق أرضي. وقد تحدث تشققات أرضية كبيرة مثل التشقق الذي ظهر نتيجة الزلزال الذي ضرب كاليفورنيا عام 1940 والذي بلغ عرضه 5. 4 متر.

3- انهيار المنشآت العمرانية: تؤدي الزلازل التي تزيد قوتها على 6 درجات في مقياس رختر إلى انهيار منشآت عمرانية وبخاصة تلك التي لم تصمم لمقاومة الزلازل، ولعل اشهر مثل على ذلك ماحدث في ارمينيا عام 1988.

4- دمار البنية التحتية واندلاع حرائق ضخمة: مثل انقطاع المياه وخطوط الكهرباء والغاز الطبيعي واندلاع الحرائق.

5- طغيان مياه البحر بفعل الأمواج العملاقة: تحدث الزلازل العنيفة امواجاً مائية عملاقة تدعى تسونامي تتكون في اعماق مياه البحر، وتتحرك الأمواج باتجاه السواحل بسرعة 750كم في الساعة وبارتفاع يتراوح ما بين 30 و40 متراً وقد تؤدي إلى خسائر افدح من خسائر الزلزال نفسه.

التوزيع المكاني للزلازل في العالم:

تكثر الزلازل في مناطق معينة من الكرة الأرضية يطلق عليها اسم احزمة الزلازل، بينما تقل أو تنعدم في مناطق اخرى، حيث انها تتركز في مناطق الجبال الالتوائية الحديثة والنطاقات غير المستقرة تكتونياً، وتقل في مناطق الكتل الصلبة القديمة مثل الكتلة الكندية والاسكندنافية والرصيف الروسي والكتلة العربية. وتتمثل المناطق الرئيسة التي تحدث فيها الزلازل بما يأتي:- وكما يتضح من الشكل (21).

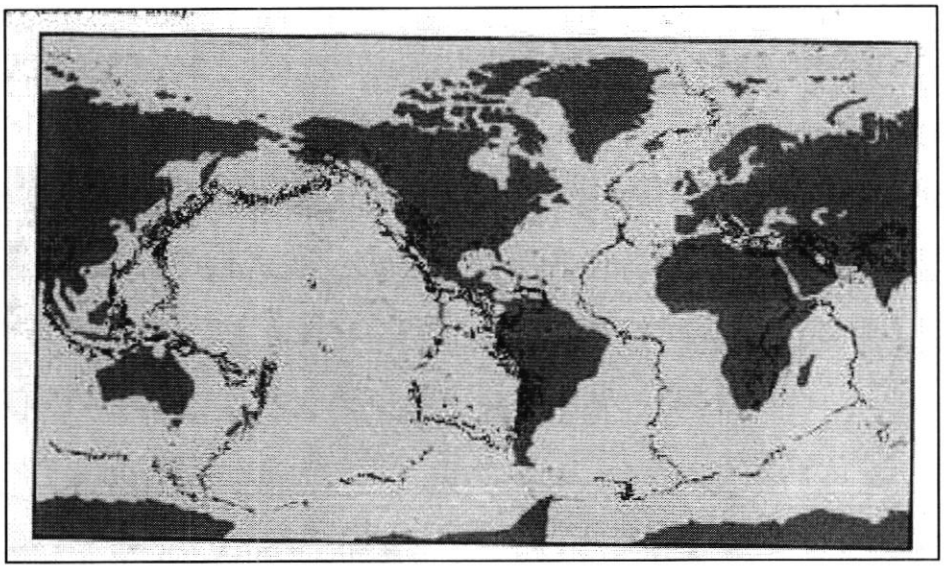
1- النطاق الأول: النطاق الحلقي حول سواحل المحيط الهادي الذي يطلق عليه اسم حلقة النار Ring of Fire ويتمثل فيه اكثر من 40٪ من مجموع الزلازل في العالم. ويعتقد بان الأسباب الرئيسة في كثرة الزلازل في هذا النطاق تعود إلى كونه ضعيف جيولوجياً ومنطقة تماس بين صخور السيال القارية مع صخور السيما المحيطية، ووجود الأخاديد البحرية العميقة إلى جوار السلاسل الجبلية الشاهقة، مما يسبب ضعفاً في القشرة الأرضية وعدم استقرار توازنها. ويضم هذا النطاق سلاسل المرتفعات التي تحيط بالمحيط الهادي في امريكا الجنوبية وامريكا الشمالية وآسيا، كما يضم بعض الجزر مثل جزر الوشيان واليابان والفلبين.

2- النطاق الثاني: يضم هذا النطاق حزام عرضي يمتد من الشرق إلى الغرب حيث يبدأ من امريكا الوسطى مخترقا المحيط الأطلسي، ثم يمتد على سواحل البحر المتوسط ثم جبال القوقاز والهملايا ومنها إلى الجنوب الشرقي عند جزر اندونيسيا. ويعزى وجود الزلازل في هذا النطاق إلى ظهور مناطق ضعف القشرة الناتج عن التقاء الجبال الحديثة مع الكتل القديمة.

3- النطاق الثالث: يمتد هذا النطاق طولياً من شمال جزيرة آيسلنده إلى الطرف الجنوبي من المحيط الأطلسي، ويتفق توزيع الزلازل هنا مع الحواجز المحيطية الوسطى، وتعد من مناطق الضعف في قاع المحيط وذلك لوجودها على طول الخط الفاصل بين صفيحتين قاريتين مما يجعلها عرضة لحركات التباعد.

4- النطاق الرابع: يشمل هذا النطاق منطقة الأخاديد في شرق افريقيا وجنوب غرب آسيا، ويرتبط حدوث الزلازل في هذا النطاق بوجود ضعف في القشرة الأرضية الناجم عن الاخدود الأفريقي العظيم الذي حدث في اواخر الزمن الجيولوجي الثاني.

شكل (21) التوزيع المكاني للزلازل في العالم



ثانياً: البراكين وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض

مفهوم البركان ومكوناته: البركان Volcano عبارة عن انبثاق للمواد المنصهرة والغازات والأبخرة المحبوسة في جوف الأرض عبر مناطق ضعف جيولوجي في قشرة الأرض تسمح بخروج هذه المواد الحارة إلى سطح الأرض، حيث تبرد وتتحول إلى صخور نارية متصلبة.

والبركان هو شكل مخروطي يدعى المخروط البركاني، ويعزى سبب تكوين المخروطات البركانية الهرمية الشكل إلى طبيعة التركيب الكيميائي للماكما والمصهورات البركانية عبر فتحة كبرى رئيسة تعرف باسم قصبة البركان Volcanic Neck، وتصل قصبة البركان بين مصدر الماكما في باطن الأرض واعالي المخروط البركاني على سطح الأرض. وتتخذ المصهورات البركانية طريقها الى سطح الأرض عبر القصبة الرئيسة للبركان. وعندما تصل تلك المصهورات إلى سطح الأرض تتجمع وتساهم في بناء المخروط البركاني Volcanic Cone.

ويطلق على الأطراف العليا للقصبة البركانية وفتحتها التي تخرج منها المصهورات البركانية اسم الفوهة البركانية Volcanic Crater التي يختلف حجمها واتساعها من فوهات صغيرة لايزيد نصف قطر كل منها عن عدة امتار، إلى فوهات بركانية عظمى يزيد نصف قطرها عن عشرات الامتار. وليس من الضروري ان يكون للبركان فوهة واحدة، بل قد يتمثل على جوانب المخروط البركاني عدد من الفوهات الثانوية تستمد اللافا من شقوق وفتحات ثانوية تتصل بالقصبة الرئيسة للبركان، ويوضح الشكل (22) مكونات البركان.

اسباب النشاط البركاني:

يعتقد الكثير من العلماء ان اهم اسباب حدوث البراكين يرجع إلى ارتفاع درجة حرارة الطبقات السفلى من القشرة الأرضية (طبقة السيما) التي تتاخم الطبقة العليا للمانتيل، وتحولها نتيجة ذلك من حالتها المرنة إلى حالة منصهرة ثم خروجها إلى سطح الأرض خلال مناطق الضعف في القشرة الأرضية.

انواع المقذوفات البركانية:

يمكن تصنيف المواد التي تنبعث من فوهات البراكين إلى ثلاثة انواع هي: (ابو العينين، 1974، 261-263)

1- طفوح اللافا Lava Flow: تنبثق الحمم البركانية من فوهات البركان سواء الرئيسة أو الثانوية، وتنساب الحمم السائلة إلى مسافات متباينة تبعاً إلى تباين لزوجة المواد المنبثقة وتركيبها المعدني وبخاصة درجة الحموضة والقلوية. حيث تتميز اللافا القاعدية بانها عظيمة السيولة وتنساب إلى مسافات بعيدة بعكس اللافا الحامضية اللزجة وذات الكثافة العالية التي تتميز ببطء حركتها وتتراكم عادة حول فوهات المخروطات البركانية.

2- الغازات البركانية Gases Volcanic: ينبثق مع المصهورات البركانية الصلبة والسائلة كميات كبيرة من بخار الماء والغازات تقدر بحوالي 5٪ من اجمالي حجم المصهورات البركانية، وتشير الادلة المستمدة من النشاط البركاني في جزيرة هاواي بان الغازات المندفعة تحتوي على 70٪ من بخار الماء و15٪ من ثاني اوكسيد الكاربون و5٪ من مركبات النتروجين و5٪ من مركبات الكبريت مع كميات أقل من الكلور والهيدروجين والأركون. ويعتقد ان الغازات المنبثقة من البراكين مسؤولة عن تشكيل الممرات والأنفاق والفجوات الضيقة التي تصل

خزانات الصهير بسطح الأرض، وعند توسيع هذه الممرات يبدأ الصهير في انبثاقه نحو سطح الأرض وتمتلئ القناة البركانية بالمواد التي لم تتمكن من الخروج من الفوهة فتسده من جديد حينما تبرد وتتصلب، ثم يثور البركان مرة اخرى فتعمل الغازات المتفجرة على ازالة المواد التي كانت تعترض انسياب الماكما المندفعة إلى الخارج.

شكل (22) مكونات البركان

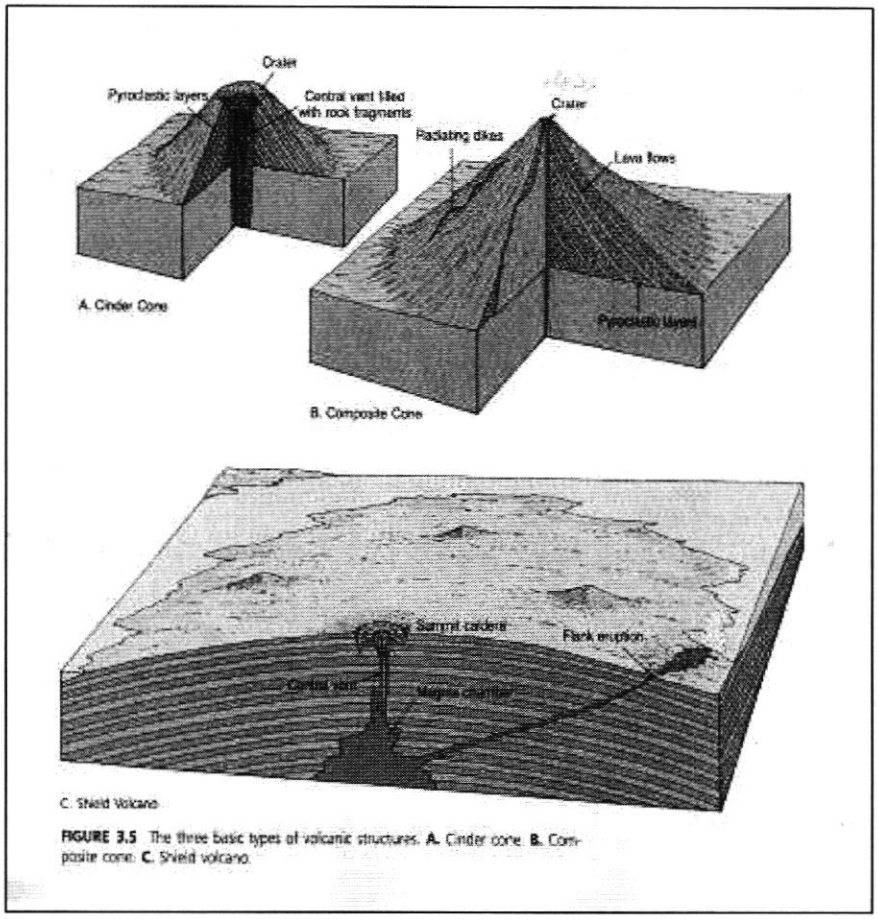


FIGURE 3.5 The three basic types of volcanic structures. **A.** Cinder cone. **B.** Composite cone. **C.** Shield volcano.

3- المواد الصلبة التي تشتمل على:-

أ- الرماد البركاني Volcanic Ash: يتكون الرماد البركاني من حبيبات دقيقة يصل قطرها إلى ملليمتر واحد ويميل إلى اللون الرمادي. وتظل حبيبات الرماد البركاني معلقة في الجو فترات زمنية طويلة حتى يسقط على سطح الأرض بشكل غطاء كثيف يتناقص سمكه كلما ابتعدنا عن موقع البركان.

ب- القنابل البركانية Volcanic Bombs: وهي اكبر المواد البركانية الصلبة حجماً، اذ يتراوح مقطعها العرضي بين 3 سم وحتى عدة امتار وتزن احياناً عشرات الأطنان. وتتكون القنابل البركانية من مواد اللافا المتصلبة بالقرب من سطح الأرض، وتندفع من فوهة البركان بتأثير انحباس الغازات في القصبة فتكتسب قوة اندفاع هائلة تقذف بها إلى مسافات بعيدة، وتتميز بتعدد اشكالها فمنها الكروية والبيضاوية.

تصنيف البراكين:

تصنف البراكين حسب نشاطها الى: (ابو العينين، 1974، 260)

1- البراكين النشطة الدائمة الثوران: وهي قليلة جداً على سطح الأرض ومنها بركان سترومبولي Strmboli قرب جزيرة صقليا، وتنبثق المصهورات البركانية والسنة اللهب من فوهة البركان مرة كل دقيقتين.

2- البراكين الهادئة نسبياً أو متقطعة الثوران: تشكل اغلب البراكين على سطح الأرض، حيث ينخمد نشاطها خلال فترة من الزمن، ثم يتجدد خلال فترة اخرى. ومن بينها بركان اتنا في جزيرة صقليا.

3- البراكين الخامدة: وهي تلك البراكين التي انخمد فيها النشاط البركاني تماماً منذ فترة زمنية طويلة. ومن الجدير بالذكر ان بعض البراكين الهادئة أو الخامدة قد تتعرض لثورانات بركانية جديدة وتنبثق منها مصهورات وتدخل من جديد ضمن مجموعة البراكين النشطة.

وتصنف البراكين حسب شكلها إلى مايأتي: (تراب، 2005، 211-213).

1- براكين الشقوق: يتدفق هذا النوع من البراكين من خلال الشقوق والفواصل، ويتشكل من لافا شديدة الميوعة ذات حرارة مرتفعة جداً تغطي مساحات من القشرة الأرضية، وتأخذ اللافا بعد تبردها شكل التضاريس الأصلية للمنطقة التي تدفقت فيها. وفي فترات جيولوجية سابقة كانت براكين الشقوق اكثر انتشاراً، أما في الوقت الحاضر فانها تتمثل في آيسلنده لهذا يطلق عليها اسم النموذج الآيسلندي أو براكين اللافا.

2- البراكين المخروطية: يتخذ هذا النوع من البراكين شكل المخروط، حيث تتراكم اللافا بصورة رأسية على شكل طبقات متوازية من الحمم والرماد البركاني. وقد تظهر على جسم البركان بعض المخروطات الثانوية الصغيرة الحجم، يرتبط كل مخروط منها بقصبة ثانوية تنبثق من خلالها الحمم وتنساب على جسم البركان.

3 - البراكين الهضبية: تتكون هذه البراكين حينما تندفع اللافا البازلتية القاعدية العظيمة المرونة والسيولة، فعندما يثور البركان وتنبثق منه اللافا تنساب على جوانب المخروط البركاني بسرعة وتنحدر لمسافات بعيدة قبل ان تتبرد، ونتيجة لاستمرار ثورانات البركان تتكون فرشات من اللافا تحت اقدام البركان متراكبة فوق بعضها البعض حتى يصبح المخروط على شكل هضبة واسعة الامتداد. تكون درجة انحدار المخروطات الهضبية عند الفوهة حوالي 10° في حين

تكون عند قاعدة المخروط ما بين 2-5°. تتواجد البراكين الهضبية في جزر هاواي وساموا وجزيرة ايسلنده.

4- مخروطات الرماد البركاني: تتكون مثل هذه المخروطات عندما ترتفع نسبة الرماد البركاني مع المواد اللافية التي تتراكم فوق بعضها، وعادة ما تكون مخروطات الرماد صغيرة الحجم لايزيد ارتفاعها عن 300 متر وتتواجد على شكل مجموعات.

5- المخروطات المركبة: تعد البراكين المركبة من اجمل اشكال البراكين على وجه الأرض، ويعزى تشكيلها إلى اختلاف درجة سيولة اللافا. ويتكون البركان المركب خلال مرحلتين: ففي المرحلة الاولى يتشكل في البداية بركان هضبي يغطي مساحة واسعة من الأرض، وقد يستمر البركان الهضبي في الثوران لمدة طويلة واخراج اللافا ثم يخمد لفترة من الزمن. وفي المرحلة الثانية يعاود البركان نشاطه من جديد وتنبثق منه كميات عظمى من اللافا العظيمة السيولة وتعمل على تحطم اللافا اللزجة القديمة، وتتراكم قرب الفوهة مما ينتج عنها بناء مخروط من الرماد ينمو رأسياً ذو جوانب شديدة الانحدار، وبذلك يرتكز المخروط البركاني الحديث فوق البركان الهضبي القديم.

الظواهر المصاحبة للبراكين:

1- الرماد البركاني: من المقذوفات التي تنبثق من فوهات البراكين الرماد البركاني الذي كان معروفاً خلال العصور التاريخية الاولى، وان مناطق واسعة من سطح الأرض قد غطت بكميات كبيرة منه عند ثوران بعض البراكين العظمى. وقد نتج عن ثوران بركان تامبورا في جزر الهند الشرقية زهاء 150 ميل مكعب من الصخور والمفتتات الصخرية والرماد. وقد تسبب الرماد البركاني في خسائر

جسيمة، حيث غطى سطح الأرض بسحابة سوداء من الرماد والدخان ادت إلى هلاك حوالي 100 ألف شخص. وعندما يترسب الرماد البركاني يؤدي إلى ردم المنخفضات المقعرة وتسوية اراضي القباب المحدبة ومن ثم تبدو المنطقة على شكل سهول منبسطة تشغل سطحها الظاهري الرواسب البركانية.

2- انسياب الطين البركاني: تنساب من اعالي المخروط البركاني كميات كبيرة من الطين وتنحدر إلى المناطق السهلية المجاورة، ومما يساعد على انسياب الطين البركاني مايأتي:-

أ- تساقط امطار غزيرة ابان تكوين السحب البركانية تساعد على ارساب كميات كبيرة من الرماد والغبار تمتزج بالمياه، مما يؤدي إلى تكوين طبقات طينية على سطح الأرض.

ب- انسكاب المياه من بحيرات الفوهات البركانية بسبب الثوران البركاني وجريانه على جوانب المخروط البركاني واختلاطه مع الرواسب والمفتتات.

ج- نزول دفعات من الغبار البركاني نحو مجاري الأنهار حيث تصبح بعدها مجاري طينية.

3- الهضاب البركانية: تظهر احياناً في بعض اجزاء من سطح الأرض فوهات بركانية صغيرة ومتعددة تندفع منها اللافا بكميات كبيرة. وتؤدي الاخيرة إلى بناء هضاب واسعة الامتداد يتميز سطحها بالانبساط، كما في هضبة الدكن وهضبة كولومبيا.

4- الجزر البركانية: تتكون الجزر البركانية نتيجة تراكم الحمم التي تخرج من البراكين التي تعرف بالبراكين الهضبية التي تتسم بان حممها اكثر سيولة من حمم البراكين الاخرى، مما يجعلها تنساب على مساحات واسعة قبل تصلبها فتكون قباباً

واسعة في الأحواض المحيطية وعلى الشقوق والسلاسل الجبلية المغمورة بالمياه في قاع المحيطات، ونتيجة لتراكم تلك الحمم مرة بعد اخرى ترتفع قمم هذه الحمم مكونة الجزر البركانية. وتعد جزيرة هاواي في المحيط الهادي من اوضح الامثلة على الجزر البركانية.

5- الأحواض البركانية أو الكالديرا: هي منخفضات واسعة على هيئة احواض مستديرة ذات جوانب شديدة الانحدار تشبه في شكلها فوهة البركان الا انها اكثر اتساعاً وحجماً. تتكون نتيجة لتعرض الفوهة لأكثر من ثوران بركاني وهبوط أرضيتها وتحطيم جوانبها، ثم تجديد عملية بنائها من جديد ومن ثم تصبح عظيمة الحجم.

التوزيع المكاني للبراكين في العالم:

ثمة توافق بين التوزيع المكاني للبراكين في العالم والتوزيع المكاني للزلازل، وان معظم البراكين فوق سطح الأرض تعود إلى الزمن الجيولوجي الثالث والقليل منها حديثة العمر الجيولوجي. وترتبط البراكين النشطة بمناطق محدودة من سطح الأرض تتمثل بمناطق الضعف الجيولوجي والمناطق الحديثة النشأة.

ان اعظم نطاق للبراكين يتمثل في النطاق الذي يحيط بمعظم سواحل المحيط الهادي المعروف باسم حلقة النار، ويقدر عدد البراكين الثائرة في هذا النطاق بحوالي 300 بركان اي نحو 60٪ من اجمالي عدد البراكين النشطة في العالم. ويتركز اكثرها في الجانب الشرقي من المحيط الهادي في قوس جزر الوشيان والاسكا ومرتفعات غواتيمالا ومرتفعات الانديز الشمالية. أما على الجانب الغربي من المحيط الهادي فان اكثر البراكين النشطة تتمثل في جزر الفلبين واليابان وغينيا الجديدة.

تظهر البراكين ايضاً في نطاقات ثانوية متناثرة تتلخص بالآتي:-

1- الجزر المحيطة بالمحيط الهادي مثل جزر هاواي. وبعض الأقواس الجزرية في المحيط الهندي مثل جزر تيمور وجاوة وسومطرة.

2- نطاق براكين حوض البحر المتوسط ويمتد هذا النطاق شرقاً ليشمل براكين مرتفعات آرارات ويضم غرباً براكين جزر آزور وكناري.

3- نطاق براكين القسم الجنوبي من شبه جزيرة العرب وبراكين الاخدود الافريقي العظيم.

4- نطاق براكين جزر البحر الكاريبي.

5- نطاق براكين جزيرة آيسلندة.

أما مناطق البراكين الخامدة فتتمثل في ولاية اريزونا ونيفادا في الولايات المتحدة الامريكية وبعض براكين المكسيك وبعض البراكين في فرنسا والمانيا.

الفصل السادس

التجوية ـ انواعها ونتائجها

الفصل السادس

التجوية ـ انواعها ونتائجها

تعرف عملية التجوية بانها العملية التي تقوم بتفكك وتحطيم الصخور والمحلالها وهي موجودة في مواقعها الطبيعية الأصلية بطرائق كيميائية أو فيزيائية أو حياتية. وتقوم عملية التجوية بتهيئة وتحضير الصخور كي تصبح اكثر ملائمة لان تتأثر بعمليات النقل المعروفة مثل المياه الجارية والجليد والرياح والأمواج البحرية. ويشمل تأثير التجوية اليابسة كلها تقريباً ويقف تأثيرها عند حد الأسطح المكشوفة من الصخور وقلما تتجاوز لبضعة امتار.

تضم التجوية العمليات الفيزيائية والكيميائية التي يستطيع الجو من خلالها التأثير في الصخور ويدخل البعض من المختصين نوعاً آخراً من التجوية وهو التجوية الحياتية الناجمة عن تأثير الأحياء في الصخور، غير ان عمل الاحياء لايتعدى كونه عملاً ميكانيكياً أو عملاً كيمياوياً.

التجوية الميكانيكية Mechanical Weathering

يقصد بالتجوية الميكانيكية عملية تحطم الصخور إلى فتات صخرية اصغر حجماً من الصخور الأصلية دون ان يحدث اي تغير مهما كان بسيطاً في التركيب الكيمياوي للصخور الناتجة. ويؤدي هذا النوع من انواع التجوية دوراً مهماً في زيادة المساحة السطحية للفتات الصخري الناتج عن تحطم الصخور الأصلية. وهناك عدد من العوامل التي تساهم في تفعيل دور التجوية الميكانيكية أو الفيزيائية وتتلخص تلك العوامل بالآتي:-

1- التمدد الحراري: يحدث التمدد الحراري عندما تتعرض الصخور في المناطق الجافة وشبه الجافة إلى التسخين الشديد اثناء النهار جراء تعرضها إلى اشعة الشمس، ولكونها جرداء خالية من الغطاء النباتي، فتتمدد المعادن المكونة لتلك الصخور كل حسب معامل التمدد الطولي الخاص به. وعندما تنخفض درجات الحرارة في تلك المناطق اثناء الليل، حيث المدى الحراري اليومي كبير فان معادن تلك الصخور تتقلص بموجب معاملات التقلص الخاصة بها. ونظراً لعدم تساوي معاملات التمدد والتقلص لكل المعادن المكونة للصخور، فان تكرار هذه العملية يؤدي إلى تفكك الصخور وتحطمها.

2- اثر الصقيع: يعد الصقيع من اكثر عوامل التجوية الميكانيكية تأثيراً، اذ يزداد حجم الماء عند تجمده إلى حوالي 10٪ من حجمه السابق. ويؤدي تجمد المياه الموجودة داخل الشقوق والمفاصل أوالمسامات الموجودة في الصخور إلى زيادة الحجم وزيادة الضغط والى تحطيم تلك الصخور إلى قطع صغيرة. ويؤدي تعاقب عملية الانجماد والذوبان إلى توسيع الشقوق الموجودة بين الصخور حتى تتكسر بعد ذلك إلى كتل منفصلة. ويتركز تأثير الصقيع في مناطق العروض الوسطى والعليا وكذلك فوق المرتفعات العالية حيث تسمح درجات الحرارة بتكرار عملية الانجماد والذوبان. وتتأثر الصخور الرسوبية بهذه العملية اكثر من الصخور النارية بسبب كثرة المفاصل والشقوق فيها.

3- التمدد الناجم عن ازالة الضغط: يحدث هذا النوع من التجوية عندما يزاح الضغط المسلط على الصخور، وتتعرض المكاشف الصخرية لهذا النوع من التجوية اثر ازالة الضغوط المسلطة عليها بصورة تدريجية من قبل التكوينات الصخرية التي كانت تعلوها وتعرضت لعمليات التعرية، مما يؤدي إلى حدوث

التشققات الصخرية الافقية أو القوسية وانسلاخ الكتل الصخرية على شكل شظايا أو رقائق صخرية تمتد بشكل مواز إلى سطح الأرض (سلامة، 2010، 130).

4- النمو البلوري: تنشط هذه التجوية نتيجة تبلور الأملاح المذابة بالماء عند تعرضه للتبخر. ويعتمد ذلك على توفر مصدر للمياه المالحة مثل المياه الجوفية أو مياه البحر من خلال تسربها في اعماق الصخر أو التربة أو فوق السطح اثناء عملية المد، يضاف إلى ذلك ارتفاع درجات الحرارة وتوفر مواد صخرية أو تربة ذات مسامية عالية، وتسود تلك الظروف في المناطق الجافة. فعندما يرتفع الماء الجوفي خلال مسامات الصخور إلى الأعلى بفعل الخاصية الشعرية حيث يتبخر في النطاق الأعلى الجاف من الصخور الذي يقع فوق مستوى الماء الجوفي تاركاً مايحمله من املاح داخل المسامات الصخرية، وتؤدي البلورات الملحية إلى تفتت الصخور من خلال ماتحدثه من ضغط في الفراغات والمسامات الصخرية المحصورة ينتج عن زيادة الحجم.

5- الكائنات الحية: يمكن للكائنات الحية ان تتسبب في تحطيم الصخور ميكانيكياً بطرائق مختلفة. فجذور النباتات تتغلغل داخل شقوق الصخور ويساعد نمو تلك الجذور على توسيع هذه الشقوق. وتقوم حيوانات الانفاق ايضاً بتحطيم المواد الصخرية عندما تقوم بحفر ممراتها مثل دودة الأرض والسنجاب الامريكي. وان بعض الحيوانات الأرضية كالجرذان والأرانب وانواع من النمل تحفر لها مأوى في داخل الأرض، مما يساعد على تفتيت الصخر. كما ان نشاطات الانسان المختلفة ومنها التعدين وشق الطرق في المناطق الجبلية وقطع الأشجار ساهمت هي الاخرى في عملية تفتت الصخور وازالة التربة.

التجوية الكيميائية Chemical Weathering

تضم التجوية الكيميائية مجموعة من التفاعلات الكيمياوية المعقدة بين المعادن والمركبات الكيمياوية، التي تقوم بها مواد مختلفة مثل الماء والاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون والحوامض وتعمل هذه المواد عند تأثيرها في الصخورعلى تغيير المعادن وتركيبها الكيميائي. وتضم التجوية الكيميائية عدد من العمليات اهمها ما يأتي:-

1- عملية التحلل المائي Hydrolysis: تعني هذه العملية التفاعل الكيمياوي الذي يجري بين الماء ومعادن الصخور، وتكمن فاعلية الماء في اتمام عملية التحلل المائي في ايونات الهيدروجين التي تستطيع ان تتخلل التركيب البلوري للسليكات وان تفتته. وبذلك تتكون مركبات جديدة ابسط تركيباً من السليكات الأصلية. ومن اشهر الأمثلة على عملية التحلل المائي في تجوية المعادن عملية تحول الفلدسبار البوتاسية إلى معدن الكاؤولين، حيث يتفاعل الفلدسبار البوتاسي مع الماء الذي يحتوي بدوره على كميات من حامض الكاربونيك فينتج من التفاعل معدن جديد هو الكاؤولين كما في المعادلة الآتية:

$$2KALSi_3\ O_8 + 2H_2CO_3 + 9H_2O \rightarrow AL_2Si_2o_5(OH_4) + 4HSiO_4 + 2K(HCO_3)$$

بيكاربونات البوتاسيوم + حامض السيليسيك + الكاؤولين ← الماء + حامض الكاربونيك + الفلدسبار البوتاسي

وبذلك تحول احد معادن الكرانيت الناري الصلب إلى الكاؤولين وهو معدن لايستطيع مقاومة عوامل التعرية وبخاصة المياه الجارية.

2- عملية الترطيب Hydration: تحدث هذه العملية عندما تتحد جزيئات الماء مع التركيب الكيميائي لواحد أو اكثر من معادن الصخور، حيث يزداد حجم المعادن تبعاً لذلك، فضلاً عن التغير الكيميائي الذي يحصل عليها ومن امثلة ذلك تحول معدن الانهدرايت بعد ترطيبه إلى الجبس كما في المعادلة الآتية:

$$CaSO_4 + H_2O \rightarrow CaSO_4.\ 2H_2O$$

وان معدن الجبس الناتج يذوب نسبياً في الماء بالاضافة إلى التغير الحاصل في الحجم (السنوي وآخرون، 1979، 131).

وكما في تحول الهميتايت إلى ليمونايت وحسب المعادلة الآتية:

$$2FeO_3 + 3H_2O \rightarrow Fe_2O_3.\ 3H_2O$$

3- عملية الأكسدة Oxidation: تحدث هذه العملية عندما يتحد الاوكسجين الموجود في الغلاف الجوي مع المعادن المكونة للصخور، وتنشط الأكسدة حيثما تتوفر في فراغات الصخر والتربة رطوبة وهواء بكميات مناسبة، وينتج عن هذه العملية تلون الصخور والترب المتأكسدة باللون الاحمر. وبصورة عامة تكون عملية الأكسدة ضعيفة في الصخور النارية والصخور المتحولة ويزداد نشاطها في الصخور الرسوبية الرملية والكلسية والطينية. فعلى سبيل المثال نجد ان الصخور الرسوبية الطينية ذات اللون الازرق أو الرمادي لاحتوائها على مكونات حديدية عندما تتعرض إلى الجو تتأكسد مكوناتها الحديدية فيتحول لونها إلى اللون الاحمر أو البني، ومن اشهر الامثلة على التأكسد تحلل معدن البيريت إلى كبريتات الحديدوز وحسب المعادلة الاتية:

$$Fes_2 + 2o_2 \rightarrow Feso_4 + S$$

كبريت +كبريتات الحديدوز← اوكسجين + بيريت

4- الكربنة Carbonation: تتضمن هذه العملية اتحاد ثاني اوكسيد الكاربون الموجود في الجو أو في التربة مع الماء مكوناً حامض الكاربونيك الذي يؤدي إلى اذابة بعض العناصر الموجودة في الصخور فتتحول إلى كاربونات ذات قابلية كبيرة على الذوبان. كما هو الحال في اذابة الحجر الجيري بفعل الماء الذي يحتوي على حامض الكاربونيك، حيث يتحول إلى بيكاربونات تكون قابلية ذوبانها اكبر بمرات عديدة من قابلية الاذابة للحجر الجيري وكما في المعادلة الآتية:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

بيكاربونات الكالسيوم ← ثاني اوكسيد الكاربون +ماء+ الحجر الجيري

ومن الجدير بالذكر ان البيكاربونات تنتقل وهي ذائبة في الماء تاركة المواد الاخرى التي لاتذوب فيه بنفس السرعة في مكانها. وقد تكونت بهذه الطريقة معظم الأشكال الكارستية والكهوف (كريل، 1986، 94).

5- الاذابة Solution: تمثل الاذابة المرحلة الاولى في التجوية الكيميائية وتتأثر جميع المعادن بهذه العملية ولكن بدرجات متفاوتة، فعلى سبيل المثال يكون ملح الطعام ذا قابلية عالية للذوبان في الماء النقي لذا فانه لايظل موجوداً في القشرة الأرضية الا في المناطق الجافة. وتكون قابلية الجبس والكاربونات على الاذابة أقل منه. وبصورة عامة تعد مجموعة الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم اكثر قابلية للاذابة من مجموعة السليكا. وتعتمد هذه العملية على كل من كمية المياه المتوفرة وعلى قابلية المعدن للاذابة.

6- الكائنات الحية الدقيقة: تتواجد الأحياء الدقيقة في التربة بكميات هائلة وخاصة في الأقاليم المناخية المعتدلة الرطبة. وينتج عن وجود الأحياء المختلفة في التربة تكون مادة معقدة تعرف بالمادة العضوية Humus، وتذوب هذه في الماء

الذي يكون بشكل حامض قليل التركيز يقوم بدوره إلى تحول المعادن غير القابلة للذوبان إلى محاليل غروية يسهل على الجذور امتصاصها. وتقوم البكتريا باختزال المادة العضوية وتحول الكبريتات إلى كبريتيد.

العوامل المؤثرة في درجة ونوعية التجوية

تسهم مجموعة من العوامل في تحديد درجة ونوعية التجوية وما يترتب عليها من اختلاف في نواتج التجوية الميكانيكية والكيميائية، ويمكن ايجاز تلك العوامل بالآتي:-

1- التركيب الصخري: تتباين الصخور في درجة صلابتها ومدى مقاومتها لعملية التجوية، فصخور الكرانيت لاتتحلل بسهولة على عكس الصخور الجيرية. كما تتباين الصخور من حيث البنية فالصخور التي تكثر فيها الفواصل والتشققات يزداد تأثرها بالتجوية الميكانيكية والكيميائية.

2- المناخ: تؤثر عناصر المناخ المختلفة وبخاصة درجات الحرارة والتساقط في تحديد سرعة ونوعية التجوية. ففي المناطق الاستوائية الرطبة الحارة تسود التجوية الكيميائية، فيما تسود التجوية الميكانيكية في المناطق الجافة الحارة وفي المناطق الباردة. وخير مثال على تباين تأثير المناخ في تجوية الصخور هو مقارنة عملية تجوية حجر الكلس في الظروف المناخية الرطبة والجافة، ففي المناطق الرطبة يتجوى حجر الكلس بوجود المحاليل، بينما لايتأثر هذا الحجر في الظروف المناخية الجافة.

3- التضاريس: يؤثر اختلاف التضاريس من أقليم إلى آخر في مدى سرعة التجوية، فالانحدارات الشديدة تساعد على سهولة نقل المواد الناتجة عن فعل التجوية والتعرية وتدفقها من اعالي الانحدرات نحو الأسفل، وعليه فان الصخور تكون معرضة للتجوية باستمرار. أما في المناطق المنبسطة التي يتواجد فيها عادة

غطاء سميك من مواد الرواسب التي تجمعت فيها، وهذه الرواسب تحمي الصخور التي ترتكز عليها من عملية التجوية الميكانيكية، الا انه في حالة تشبع تلك الرواسب بالمياه تنشط التجوية الكيميائية.

4- الغطاء الحيوي: يشتمل الغطاء الحيوي على النبات والحيوان اللذين يؤثران في عملية التجوية الميكانيكية والكيميائية وقد سبق الاشارة إلى تأثيرهما في التجوية. ويؤثر الغطاء النباتي أو البقايا النباتية المتجمعة على السطح في الخصائص الحرارية لذلك السطح، حيث تقوم بعزله عن الاشعاع الشمسي المباشر كما انه يقلل من الأشعة المنعكسة (الألبيدو)، مما يقلل من فعالية التسخين والتبريد في تفتت وتشقق الصخور (سلامة، 2010، 129).

5- الزمن: تختلف المعادن والصخور في الزمن الذي تحتاجه ليتم تحللها بالكامل. وتختلف قابلية المعادن للتحلل مكانياً حسب العوامل البيئية السائدة، وبصورة عامة كلما طالت مدة التعرض للتجوية كلما اتضحت آثار تجوية الصخور من خلال نتاج التجوية. وتظهر هذه الآثار في فترات زمنية تتراوح ما بين مائة وبضع مئات من السنين تبعاً لنوعية الصخور والمناخ السائد.

نواتج التجوية:

تختلف نواتج التجوية تبعاً لاختلاف العوامل التي انتجتها وليس من السهل ترجيح اي نوع من نواتج التجوية إلى عامل معين، ويعزى ذلك إلى تعدد العوامل المؤثرة في نفس الوقت على الصخور، وعلى الرغم من ذلك فان احد هذه العوامل سيبرز تأثيره بشكل واضح على تلك النواتج التي اهمها ما يأتي:

1- التقشر Exfoliation: ينجم عن تعرض الصخور إلى التباين في درجات الحرارة إلى تمددها وانكماشها وبتكرار هذه العملية تتكون قشرة سطحية على الكتلة الصخرية تنفصل بمرور الزمن عن باقي الكتلة. ويعظم اثر هذه العملية اذا

اتسمت المنطقة بمدى حراري يومي وفصلي كبيرين. وعندما تحدث عملية تقشر الصخور في تكوينات صخرية عظيمة السمك ينتج عن ذلك صخور بيضاوية الشكل يطلق عليها تعبير الصخور المستديرة أو القباب البيضاوية، ومن امثلتها تلك التي تتكون في مرتفعات ولاية كارولونيا الشمالية في الولايات المتحدة الامريكية والقباب الكرانيتية في جنوب غرب افريقيا (ابو العينين، 1981، 293).

2- ركام السفوح Talus: يقصد به الحطام الصخري الذي يتراكم على اسفل المنحدرات للتلال والجبال نتيجة عملية التجوية، ويتكون من قطع صخرية مدببة ذات زوايا.

3- حقول الجلاميد Boulder Fields: عبارة عن مساحات شاسعة ومسطحة تنتشر عليها الجلاميد المستديرة التي يعزى ظهورها إلى تأثير التجوية الكيميائية، اذ ان معظم الصخور الجيرية تحتوي على كتل صخرية متحجرة مختلفة الأحجام وهي اكثر صلابة من الحجر الجيري وعند تعرض الصخر الأصلي للتجوية الكيميائية نتيجة لتواجد المياه الجوفية أو مياه الأمطار، فان المكونات الجيرية للصخر تذوب بمعدل اسرع من معدل ذوبان الكتل المتحجرة، وبذلك يتآكل الصخر الأصلي مخلفاً على اسطحه الكتل المتحجرة ذات الأحجام المختلفة، مما يترتب عليه تكوين حقول شاسعة من الجلاميد (الدراجي، 2010، 105).

4- حقول الكارست Carist: تساهم عملية الكربنة في تشكيل سطح المناطق التي تتركب من صخور جيرية ودولومايتية، فينجم عن ذلك فجوات وحفر، حيث تتميز تلك المناطق التي تقع في الأقاليم الرطبة بكونها أقل ارتفاعاً من الجهات المجاورة التي تتألف من صخور مقاومة لعملية الاذابة.

5- التربة Soil: تعد التربة النتاج المباشر لعمليات التجوية المختلفة. ويمكن تقسيم التربة من الناحية الجيولوجية إلى نوعين هما: التربة المتبقية التي اشتقت من

الصخور نفسها التي تستند عليها، وانها تبقى فوق تلك الصخور لذا فانها تحتوي على المعادن الأولية نفسها الموجودة في صخور الأساس. وتدل التربة المتبقية العميقة على حدوث عمليات تجوية سريعة أو ان المنطقة لم تتأثر منذ وقت طويل بعمليات تعرية تقوم بنقل الحطام الصخري من مكانه إلى مكان آخر. أما النوع الثاني فهو التربة المنقولة التي تشتمل على انواع التربة التي قامت عمليات جيومورفية معينة بازالتها من فوق الصخور الأصلية التي اشتقت منها ونقلتها وارسبتها في اماكن اخرى. وقد تنتقل بعض هذه الأنواع من التربة إلى مسافات قصيرة، فيما ينقل القسم الآخر إلى مسافات قد تصل إلى مئات الكيلومترات عن منطقة المنشأ، كما في حالة التربة الطموية أو التربة التي تنقلها الرياح (كربل، 1986، 105-107).

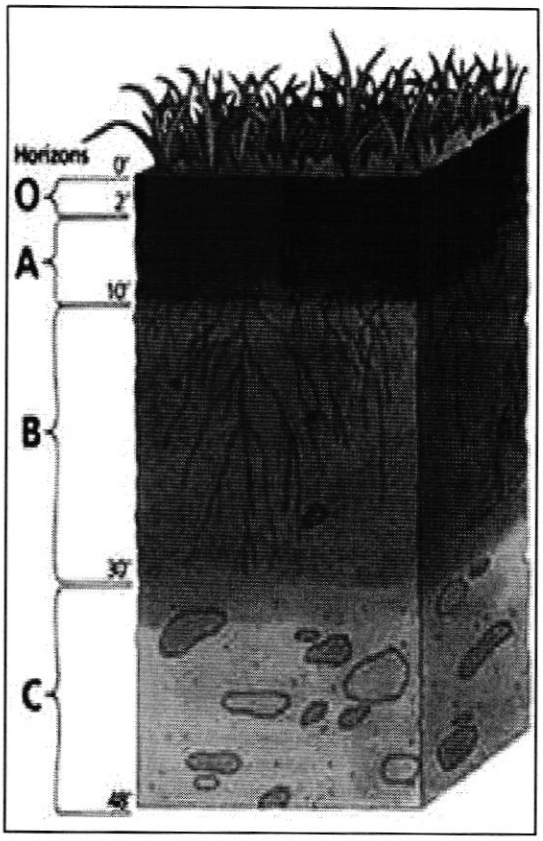
يتكون مقد التربة من عدد من الآفاق التي يوضحها الشكل (23) وكما يأتي:

1- الافق A: يطلق على الجزء العلوي من التربة ويسمى بالافق السليب لكونه يفقد قسماً من مكوناته بواسطة الغسل مثل الأملاح السهلة الذوبان وحبيبات الطين. وعندما تزداد فيه نسبة المادة العضوية يكون لونه داكناً وعندما يتعرض لعملية الغسل يكون لونه افتح من بقية الآفاق.

2- الافق B: يعد افقاً انتقالياً ما بين الافق A والصخور الام التي اشتقت منها التربة ويسمى بالافق الكاسب بسبب تجمع المواد التي تنتقل اليه من الافق السابق.

3- الافق C: يتمثل بالمواد الأولية أو مواد الام التي اشتقت منها التربة بعد ما تعرضت إلى عملية التجوية.

شكل (23) آفاق مقد التربة



الفصل السابع

المنحدرات
وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض

الفصل السابع

المنحدرات وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض

مفهوم المنحدر:

يقصد بالمنحدر ميل سطح الأرض عن المستوى الافقي، ويعبر عن الانحدار بالدرجات أو النسبة المئوية أو من خلال التضرس فيقال مثلاً نسبة الانحدار 30٪ ودرجة الانحدار16° أو 300 متر لكل كيلومتر. ويقاس الانحدار في الميدان باستعمال آلة التسوية Abany level أو من الخرائط الكنتورية.

وتصنف الانحدارات حسب درجة انحدارها إلى مايأتي:

درجة الانحدار	نوع الانحدار	درجة الانحدار	نوع الانحدار
اكثر من 45	جرف Cliff	5 إلى 10	معتدل
30 إلى 40	حاد جداً	2 إلى 5	طفيف
18 إلى 30	حاد	أقل من 2	مستوي

يتكون الانحدار بسبب عمليات التعرية المائية أو التعرية الجليدية أو الحركات التكتونية المفاجئة. ويتكون المنحدر من ثلاثة محاور يتمثل المحور الأول بقمة المنحدر التي تمثل اعلى جهة في المنحدر، ويمثل الثاني سفح المنحدر وهو المكان الذي تترسب عليه المفتتات الصخرية، في حين يتمثل المحور الثالث بخلف المنحدر وهو المكان الذي ينقل منه الفتات الصخري.

تصنف المنحدرات اعتماداً على شكلها إلى الانواع الآتية: (سلامة، 2010، 141).

1- المنحدرات المحدبة: تمثل الأجزاء العليا من المنحدر، ويعتقد ان الجداول الصغيرة تكون متناثرة ومتباعدة فوق اعالي المنحدرات وتكون قدرتها على النحت

ضعيفة بسبب قلة مياهها، حيث تضيع معظم طاقتها في عملية نقل الرواسب ولذلك تبقى الكتل الأرضية في تلك الاماكن بارزة لقلة تآكلها.

2- المنحدرات المقعرة: تكون هذا النوع من المنحدرات بفعل المياه الجارية في مجموعات كثيرة من الجداول الصغيرة التي تنبع من المرتفعات في اعالي المنحدر. وتتجمع قبل وصولها إلى القسم الأسفل من المنحدر مما يضاعف قدرتها على النحت وازالة المواد الناعمة، وتنشأ هذه الجداول في اعقاب ذوبان الثلوج أو عقب زخات المطر مما يؤدي إلى زيادة كمية المياه فيها.

3- المنحدرات المستقيمة: تتكون المنحدرات المستقيمة نتيجة لتعرض المنحدر الأصلي إلى عمليات التجوية ونقل المفتتات الصخرية من اعلى المنحدر إلى اسفله سواء بواسطة المياه الجارية أم بواسطة الزحف الأرضي، مما ينجم عنه تكوين منحدرات مستقيمة أو منتظمة.

العوامل المتحكمة في نشوء وتطور المنحدرات

تتباين العوامل التي تؤدي إلى نشأة وتطور المنحدرات حسب انواعها ويمكن اجمال هذه العوامل بما يأتي:-

1- البناء الجيولوجي: يؤثر البناء الجيولوجي في المنحدرات من خلال تفاوت قابلية الصخور لعمليات الهدم الجيومورفولوجية المختلفة فالصخور الصلبة تقاوم هذه العمليات وتؤدي إلى نشوء منحدرات سحيقة، واذا كانت طبيعة الصخور المكونة للمنحدر مناسبة فانها تساعد على حدوث الانهيارات وتطور المنحدرات والتي تتمثل بالآتي:

أ- الفواصل المائية وسريان المياه الأرضية خلالها ب- سطوح التصدع ج- الطبقات الضعيفة د- الصخور القابلة للتحلل والتفتت مثل البازلت والحجر الطيني.

2- الانحدار: ان انحدار سطح الأرض وعدم استوائه تماماً يساعد المواد غير المتماسكة (المفككة) التي انتجتها عمليات التجوية والجوانب الصخرية الصلبة من اسطح المنحدرات وتحت تاثير قوى جاذبية الأرض من ان تتحرك تلك المواد من اعلى المنحدرات إلى اسفلها، وقد تكون بطيئة احياناً وسريعة في احيان اخرى، وهذا يعني ان المنحدرات العليا تخسر الفتات الصخري وتكسبة لبعض الأودية والمنخفضات.

3- المناخ: يؤثر المناخ في تطوير المنحدرات بصورة غير مباشرة من خلال تحديد نوعية ومعدلات التجوية وكذلك فاعليته في تحديد التصريف المائي للأنهار ومعدلات التسرب ورطوبة التربة وكثافة الغطاء النباتي، فضلاً عن تحديد نشاط الرياح. ففي الأقاليم الجافة التي تقل فيها كمية الأمطار وتنخفض كمية التصريف المائي وتقل كثافة الغطاء النباتي الطبيعي وتتفاوت درجات الحرارة اليومية وتنشط التجوية الميكانيكية، فان معدلات تراجع المنحدرات تنخفض وتحافظ على شدتها ووعورتها.

عندما تتسرب مياه الأمطار الغزيرة في المناطق الرطبة إلى طبقات الطين التي تقع اسفل طبقات الصخور الاخرى يؤدي ذلك إلى تكوين محاليل غروية تساعد على انزلاق كتل كبيرة من الطبقات التي تعلوها.

4- الانسان: يؤثر الانسان في تطور المنحدرات من خلال اعمال التعدين والحفر والردم وازالة الغطاء النباتي والتفجيرات والمشاريع الانشائية، مما ينجم عنه اضطراب المنحدرات وحدوث الانهيارات الأرضية.

5- النشاط الزلزالي: ان حدوث الزلازل في المناطق التي تتعرض إلى الانزلاقات الأرضية يؤدي إلى زيادة حدوث تلك الانزلاقات بسبب اهتزاز الأرض الذي يسبب انتشار واسع لمواد التربة التي تسمح للتسرب السريع للماء. ومثال

ذلك الانزلاقات الأرضية التي رافقت زلزال الاسكا عام 1964 والتي ترتب عليها خسائر مادية كبيرة جداً.

6- النشاط البركاني: تعمل الحمم البركانية على اذابة الثلوج بصورة سريعة وتتسبب في حركة الصخور والتربة والرماد. وقد ترتب على انفجار بركان جبل سانت هيلين عام 1980 في واشنطن انهيار أرضي هائل في الجزء الشمالي للبركان ويعد من اكبر الانهيارات الأرضية المسجلة لحد الآن.

حركة المواد الصخرية على سفوح المنحدرات

يعد الجذب الأرضي احد الأسباب المهمة لحركة المواد الصخرية باتجاه اسفل المنحدرات، وتسمى الحركة المحسوسة للفتات الصخري على المنحدرات باتجاه الأسفل بالانزلاقات الأرضية التي تشتمل على التربة والصخور. وتتحرك هذه المواد بطرائق مختلفة منها السقوط والانزلاق والتدفق. وعلى الرغم من ان الانزلاقات الأرضية ترتبط بالمناطق الجبلية بشكل رئيس، الا انها تحدث ايضاً في المناطق ذات الانحار البسيط، حيث يمكن ان تحدث الانزلاقات الأرضية بفعل التنقيب وانهيار السدود العالية للأنهار وعمليات التعدين وبخاصة في مناجم الفحم.

تتمثل معظم الانواع الشائعة للانزلاقات الأرضية بالآتي:(سلامة، 156،2010-161).

1- زحف التربة Soil creep: يقصد بزحف التربة عملية نقل حبيبات التربة إلى الأجزاء السفلى من المنحدرات، ويكون زحف التربة بطيئاً تتراوح سرعته ما بين 10-19 ملم في السنة وقد تصل إلى بضعة سنتيمترات سنوياً. ويترك زحف التربة آثاراً خلال فترة زمنية طويلة منها ميلان الأسيجة واعمدة الكهرباء والهاتف وتعرج سطح التربة. الشكل (24).

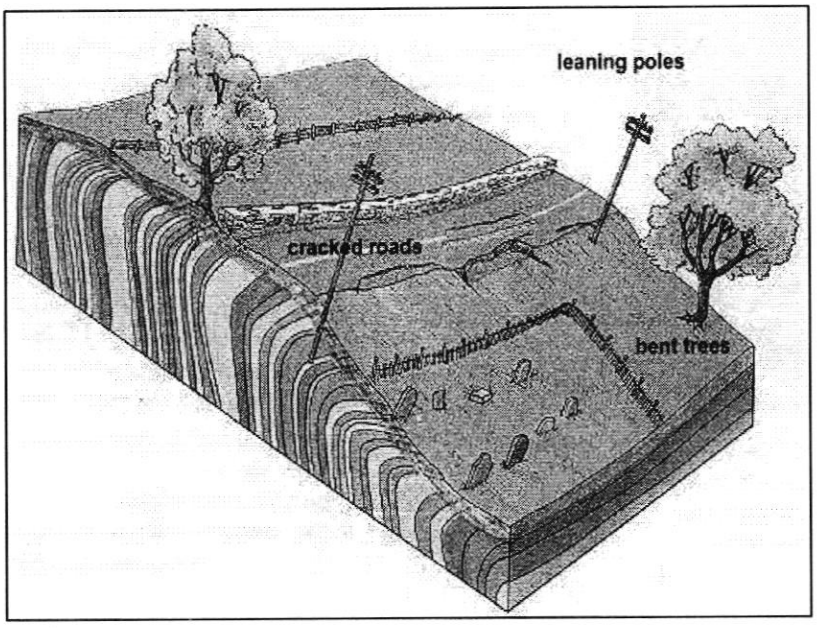
2- السقوط Falls: يعني حركة الصخور التي انفصلت عن طبقات الصخور الام بفعل التشققات أو الصدوع، ويحدث على المنحدرات الحادة جداً أو الجروف. وتتجمع تلك المواد التي تسقط عند قاعدة المنحدرات ويطلق عليها اسم الركام. الشكل (25).

3- الانزلاق Slide: ويشمل انزلاق وحدات متماسكة من الصخور أو انزلاق التربة باتجاه الأسفل، ومما يساعد في حدوث هذه الانزلاقات قلة الغطاء النباتي وهطول الأمطار الغزيرة، فضلاً عن وجود طبقة طينية مزحلقة على سطوح المنحدرات.

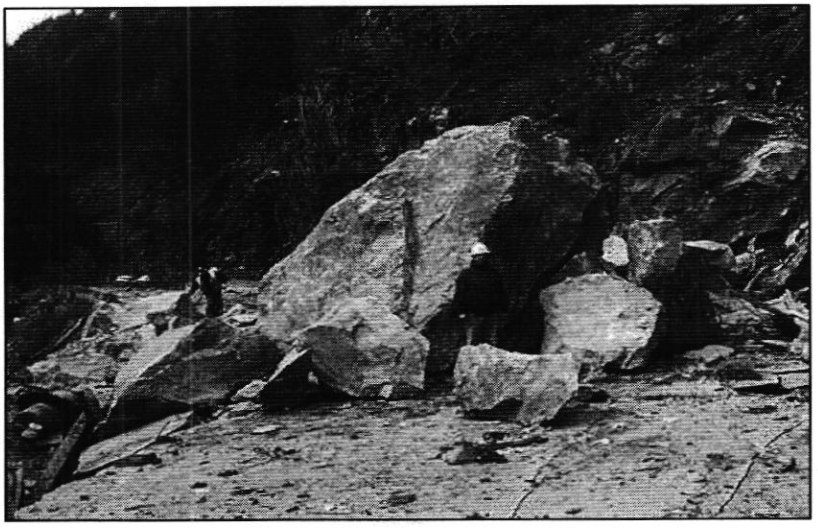
4- الهبوط Slumps: يحدث الهبوط في الصخور أو التربة. فالصخور عندما تنزلق لاتتحرك بعيداً وانما تهبط إلى الأسفل. ويرتبط هبوط التربة بوجود تكوينات طينية قابلة لزيادة الحجم عند الترطيب والتقلص عند التجفيف.

5- التدفق Flows: حركة المواد غير المتماسكة مثل المواد الطينية والغرينية المشبعة بالمياه باتجاه اسفل المنحدرات بصورة غير منتظمة، وتنشط هذه الحركة في الأقاليم الرطبة والأقاليم الجافة. ففي الأقاليم الرطبة شبه القطبية يحدث تدفق التربة بعد ان تتشبع بالمياه الناجمة عن ذوبان الثلوج، وفي الأقاليم الجافة يحدث تدفق التربة بفعل هطول امطار غزيرة ومفاجئة. ولايشمل التدفق التربة فقط، اذ أن انهيار الثلوج يعد واحداً من انواع التدفق وكذلك تدفق القطع النارية التي ترتبط مع النشاط البركاني.

شكل (24) زحف التربة



شكل (25) سقوط الصخور



الاشكال الأرضية الحتية في بيئة المنحدرات

تتأثر البنية التضاريسية في بيئة المنحدرات بعملية التجوية التي تؤدي إلى تهيئة الفتات الصخري إلى عملية النقل، الا انها لاتستطيع اعطاء الصورة التضاريسية النهائية بدون وجود العامل المهم الذي يرسم لنا تلك الصورة، والذي يتمثل بوجود الأنهار التي تجري في مثل هذه المناطق، والتي تؤدي إلى تكوين انواع متباينة من التضاريس واهم تلك المظاهر ما يأتي:-

1- المواد الخشنة: عندما تزداد كمية الأمطار عن طاقة تسرب المياه عبر مسامات التربة وتصبح التربة مشبعة بالمياه، فان المياه الزائدة تتجمع على سطح التربة وتجري باتجاه انحدار المنطقة، وان هذا الجريان السطحي يؤدي إلى تعرض السطح العلوي للمنحدر إلى عملية التعرية المائية، التي يطلق عليها الحت الطبقي Sheet erosion. ويترتب على تكرار هذه العملية تعرية المواد الناعمة مثل الطين والغرين، في حين تبقى المواد الخشنة مثل الرمال والحصى منتشرة على سفوح هذه المنحدرات.

2- السفوح الصخرية Pediments: يكون الانتقال من المناطق المرتفعة إلى السهول في الأقاليم المعتدلة الرطبة على شكل سفوح قليلة الانحدار، فيما تتميز المناطق الجافة وشبه الجافة الجبلية بتجاور السهول القليلة الانحدار مع الجبال ذوات الجوانب الشديدة الانحدار. وتمثل البيدمنت نطاقاً من الصخور الأصلية التي تمتد عند قاعدة الجبال، أي هي المنطقة المحصورة بين المناطق الجبلية والأودية النهرية أو السهول لمسافة تتراوح ما بين كيلومتر واحد إلى بضعة كيلو مترات وتنحدر نحو الأراضي المجاورة بمقدار يتراوح ما بين 1-7° ولا يتجاوز المعدل العام للانحدار عن 2.5° ويزداد سمك الرواسب كلما اقتربنا من قيعان الأحواض. وقد تكونت هذه

الظاهرة بسبب التعرية المائية الناجمة عن تساقط الأمطار على الجبال مما ادى إلى تعريتها، حيث ان المياه التي تجري على السطح على شكل طبقة رقيقة قبل ان تتجمع في اوديتها هي التي تقوم بتعرية هذه المنطقة لتجعلها ليست جزءاً من الجبال الوعرة وليست سهلية تماماً.

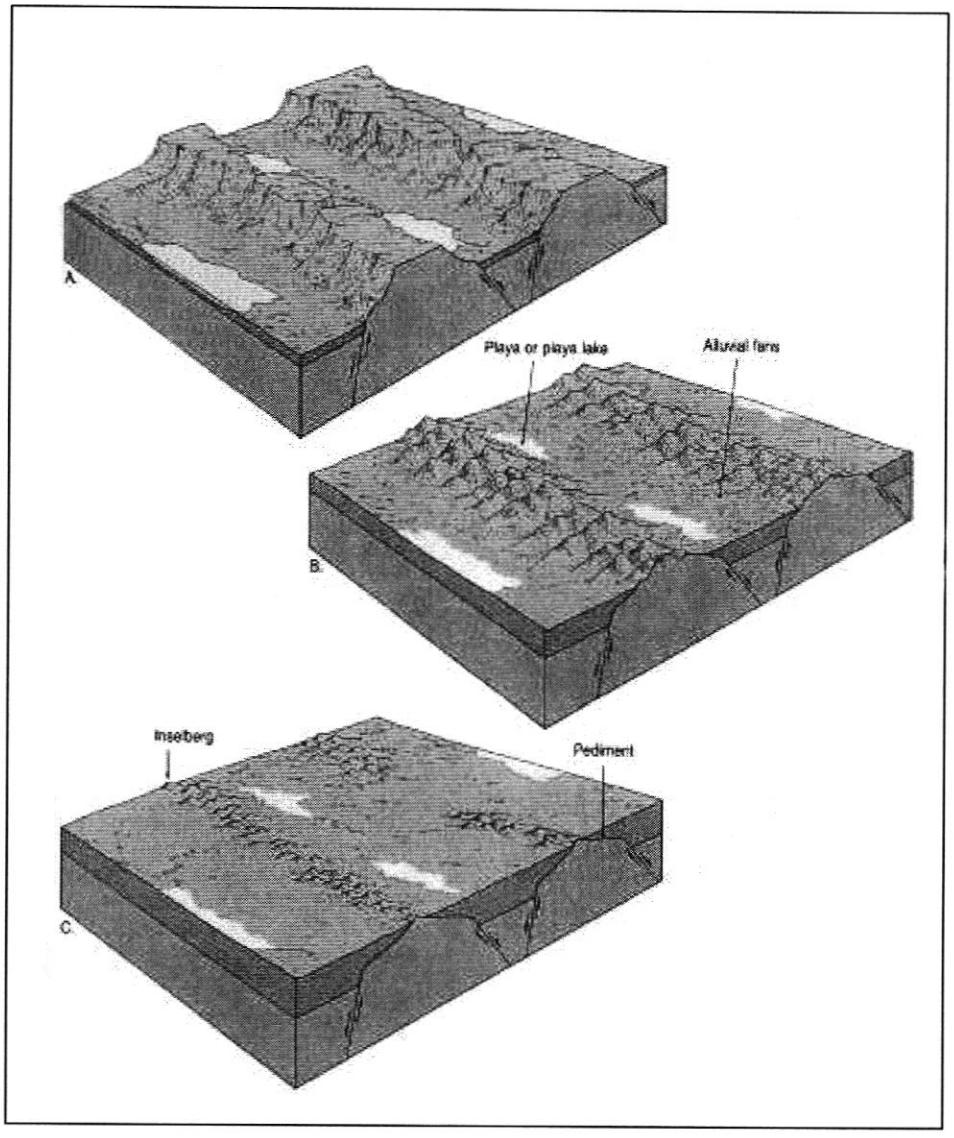
وقد يكون سبب تكون البيدمينت هو تراجع الأودية النهرية المنحدرة من المناطق الجبلية التي يرافقها تنشيط عملية النحت في المنطقة الواقعة بين اقدام الجبال والمصب، مما يؤدي إلى ظهور البيدمينت، لذلك توصف البيدمينت على انها تراجع للجبال بسبب التعرية. وتنتشر هذه الظاهرة في المناطق الجافة مثل صحراء سنيورا في المكسيك وصحراء اريزونا في الولايات المتحدة. ولكن معظم الباحثين يرجعون تكون هذه الظاهرة إلى التعرية المائية، وان وجودها في تلك الصحاري ربما يكون قديماً يعود إلى عصور اكثر مطراً مما علية في الوقت الحاضر. ويكون سطح البيدمنت مقطع بالأودية وغير مستو ويكون صخرياً، اي ان النحت تم في صخور القاعدة الأصلية (السامرائي والريحاني، 1990، 158).

3- الأعمدة الأرضية والتلال المنفردة: تتكون الأعمدة الأرضية في مناطق المنحدرات التي تتميز بوجود طبقات صخرية متباينة الصلابة، فتقوم مياه الأمطار المتساقطة على سفوح المنحدرات بنحت الصخور القليلة الصلابة ومنها الصخور الطينية، فيما تبقى الصخور الصلبة المقاومة للتعرية على شكل اعمدة أرضية بارزةعلى سطح المنحدر.

وتتواجد فوق بعض جهات البيدمنت تلال منفردة حادة الجوانب غالباً ماتكون منعزلة ومرتفعة عما يجاورها يطلق عليها اسم التلال المنفردة Inselberg كما في الشكل (26) وتتكون عن طريق النحت التراجعي وتمثل صخوراً صلبة

مقاومة للتعرية المائية، وتتفاوت في احجامها ويصل ارتفاع البعض منها إلى اكثر من 600 متراً (جودي وولكنسون، 1985، 92).

شكل (26) البيدمنت والتلال المنفردة



4- الجداول الصغيرة والأخاديد Small Rill & Gully: تتكون الجداول الصغيرة على سفوح المنحدرات بسبب التعرية المائية. وتتشكل تلك الجداول عندما تتجمع مياه المطر متخذة من المناطق المنخفضة مساراً لها، وقد لايزيد عمق واتساع هذه الجداول عن بضعة سنتيمترات، وان قوة نحت تلك الجداول تتناسب طردياً مع معدل كمية الأمطار وطول الانحدار.

أما الأخاديد فانها تتكون نتيجة لاستمرار هطول الأمطار الغزيرة التي تؤدي إلى زيادة التعرية المائية للجداول الصغيرة وزيادة عمقها واتساعها. وتتأثر هذه الظاهرة بعوامل عديدة منها طول المنحدر ودرجة انحداره وتفكك التربة وطبيعة تركيب الصخور، فضلاً عن ندرة النبات الطبيعي (العبدان، 2004، 106).

5- الوديان الجافة Dry Valleys: ان الأودية عبارة عن مناطق منخفضة تتوسط المناطق المرتفعة، وتتواجد في الصحاري والسهول المنخفضة بين السلاسل الجبلية. وقد استطاعت الوديان الجافة ان تشق مجاريها عن طريق الحت المائي عندما تنساب المياه باتجاه الأجزاء المنخفضة متخذة مجاري لها وغالباً ماتلتقي الأودية الصغيرة مع بعضها لتشكل وادي كبير رئيس، وتقوم الأودية الصغيرة بصرف حمولتها من مياه الأمطار والسيول والفتات الصخري عبر الوادي الرئيس (ابو العينين، 1976، 366).

6- الأراضي الوعرة Badland: تعني الأراضي المضرسة ايضاً وهي من المظاهر التضاريسية في المناطق الجافة وشبه الجافة. وتنشأ في المناطق التي تتميز بوجود بنية صخرية متكونة من صخور لينة قليلة المسامية مع قلة في الغطاء النباتي وشدة في الانحدار. ويتصف سطح الأراضي الوعرة بوجود حافات حادة يصعب اجتيازها. تنتشر الأراضي الوعرة في امريكا الشمالية في ولاية البرتا في كندا وفي

ولايات مونتانا وداكوتا وكلورادو واريزونا ونيفادا وكاليفورنيا، كما تشكل الأراضي الوعرة اجزاء متفرقة لسفوح مرتفعات البحر الاحمر ومرتفعات شبه جزيرة سيناء وبخاصة في الأماكن التي تتألف من طبقات الصخور الرملية والطينية (ابو العينين، 1981، 645).

هناك مجموعة من العوامل تساهم في تكوين الاراضي الوعرة ابرزها ما يأتي:-

1- قلة الغطاء النباتي أو انعدامه كلياً في مساحات واسعة، مما يساهم في زيادة عملية التعرية المائية.

2- وجود الصخور الهشة التي لاتقاوم عملية الحت المائي في الأماكن التي تشغلها الأراضي الوعرة، مما يساهم في سرعة تعميق وتوسيع المجاري المائية.

3- تباين صلابة الصخور حيث تتعرض الصخور الهشة عند قواعد التلال إلى التآكل، مما يساعد على انهيار الطبقات الصخرية العليا، ومن ثم تساهم في سرعة تراجع جوانب المنحدرات إلى الخلف.

4- قلة قابلية الصخور المكونة لهذه المناطق على تسرب المياه، مما يؤدي إلى زيادة الجريان السطحي ومن ثم زيادة قابلية المياه الجارية على الحت ونقل الرواسب.

5- ان الطبقات الطينية الموجودة في مناطق البادلاند عندما تتشبع بالماء تصبح زلقة، مما يضاعف من عمليات الانزلاق والانهيار الأرضي (الدراجي، 2010، 124).

الأشكال الأرضية الترسيبية في بيئة المنحدرات

بعدما تتعرض بيئة المنحدرات في المناطق الجافة وشبه الجافة إلى عملية الحت المائي ونقل الترسبات فانها تترسب في اماكن اخرى مكونة اشكالاً أرضية تتمثل بالآتي:-

1- المراوح الفيضية Alluvial Fans: تعد المراوح الفيضية من الظواهر الترسيبية الشائعة في بيئة المنحدرات في المناطق شبه الجافة. وتنشأ عند مناطق الانتقال بين المرتفعات ذوات الانحدار الشديد وبين الأماكن المنخفضة المجاورة لها التي تتسم بانبساطها وقلة درجة انحدارها، حيث تجري في تلك المناطق انهار وقتية في موسم تساقط الأمطار، وتحمل تلك الأنهار عند جريانها بسرعة فوق المناطق الشديدة الانحدار كميات كبيرة من الرواسب التي هيأتها عمليات التجوية المختلفة. وعندما تنتقل تلك الأنهار نحو المناطق المنخفضة المجاورة، تتناقص سرعة جريانها فتلقي معظم حمولتها من الرواسب فوق المنطقة السهلية مكونة مراوح فيضية كما يتضح من الشكل (27). تترسب معظم الرواسب الخشنة اولاً وخاصة في منتصف المجرى النهري حيث يتكون حاجز يؤدي إلى انقسام النهر إلى فرعين ينقسمان بدورهما ايضاً، ويزداد تفرع الأنهار وتقل كمية مياهها والرواسب التي تحملها كلما ابتعدت عن المنطقة الجبلية، لذلك نجد ان المراوح الفيضية ذات سمك كبير ورواسب خشنة من الحصى والجلاميد في جزئها الأعلى القريب من المنطقة المرتفعة ويتناقص سمكها ويقل حجم الرواسب وتصبح ناعمة كلما ابتعدنا عن تلك المنطقة المرتفعة (كربل، 1986، 173). وتوجد في العراق مجموعة من المراوح الفيضية وبخاصة في القسم الشرقي من محافظتي واسط وديالى والقسم الشمالي الشرقي من محافظة ميسان.

شكل (27) مروحة فيضية

2- البجادا Bajada: تتكون البجادا من التقاء عدد من المراوح الفيضية التي يمكن ان تكون في بعض المناطق الجافة نطاقاً طموياً متصلاً يمتد إلى عدد من الكيلومترات. وتتكون البجادا نتيجة انتقال وحركة المجاري المائية المؤقتة التي توجد في المروحة الفيضية تحركاً جانبياً بسبب تجمع الرواسب في احد تلك المجاري، وبالتالي ارتفاع قاع المجرى النهري فيتحول مجراه إلى مكان آخر من خلال الانحدار نحو المناطق المنخفضة المجاورة. تختلف درجة انحدار سطح البجادا اختلافاً كبيراً،

اذ تتراوح ما بين 8-10° قرب المناطق الجبلية، وتقل درجة الانحدار كثيراً بالقرب من قيعان الأحواض حتى تصل إلى أقل من درجة واحدة (كربل، 1986، 262). ومما تجدر الاشارة اليه ان معظم مياه الأنهار والسيول تتسرب خلال الرواسب الخشنة التي تقع في الجزء الأعلى من المراوح الفيضية وتنحدر بانحدارها لتنضم إلى المياه الباطنية.

3- السبخات Playa: يمكن تعريف البلايا على انها قيعان البحيرات الصحراوية الوقتية، وهي عبارة عن سهول منبسطة تقع عند قيعان الأحواض الداخلية المحصورة بين المرتفعات. تتغطى أرضيتها برواسب من الغرين والطين وكذلك الأملاح التي تجمعت في البحيرات الوقتية والتي جلبتها اليها الأنهار الوقتية القادمة من المرتفعات المحيطة بتلك الأحواض بعد تساقط الأمطار عليها. وبعدما تتبخر المياه تترك ماتحمله من رواسب واملاح. وتغطي الأملاح بعض سطوح البلايا بطبقة ملحية صلبة اذا كان مستوى الماء الباطني بعيداً عن سطح الأرض، فيما تصبح هشة اذا كان مستوى الماء الباطني قريباً من سطح الأرض، وتسمى في هذه الحالة بالمملحة.

تتباين مساحة البلايا تبعاً إلى مقدار مساحة الحوض الذي تشغل قاعه وتبعاً إلى كمية الأمطار التي تجمعت في البحيرات التي كانت تغطي أرض البلايا، فهناك بلايا لاتزيد مساحتها عن بضعة امتار مربعة في حين تزيد مساحة البعض منها عن 9000 كم^2 (كربل، 1986، 261).

الفصل الثامن

الأنهار
وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض

الفصل الثامن

الأنهار وتأثيرها في تشكيل سطح الأرض

مفهوم النهر

يمكن تعريف النهر بانه عبارة عن تجمع المياه المنحدرة على سطح الأرض بمجرى يكونه الماء اثناء عملية الجريان التي تتبع الانحدار. فحينما تتساقط الأمطار أو تذوب الثلوج في منطقة من المناطق المرتفعة فان مياهها تنحدر مكونة مسيلات غير محدودة الجوانب يتفق اتجاهها مع الانحدار العام لسطح المنطقة، لا تلبث هذه المسيلات ان تتجمع في مجاري مائية محدودة الجوانب صغيرة الحجم، ثم تتلاقى هذه المجاري الصغيرة مكونة مجاري اخرى اكبر حتى تنشأ في النهاية مجاري رئيسة تحمل المياه يطلق عليها الأنهار. ويلتقي بالنهر اثناء جريانه من منبعه إلى مصبه عدد من الروافد، وينشأ بذلك نظام نهري يشغل مساحة تجميع للمياه تسمى حوضاً، ويحيط بالحوض تقسيم مياه رئيسي يفصل بينه وبين حوض نهر آخر واحياناً تتوزع المياه في منطقة تقسيم مياه واحدة على عدد من الأنهار تجري في اتجاهات متباينة وتنصرف إلى بحار بعيدة عنها.

ان المياه الجارية بما تقوم به من نحت ونقل وارساب تعد من اهم العوامل التي ساهمت ولاتزال تساهم في رسم الصورة التضاريسية لمساحات شاسعة من سطح الأرض، ولا يقتصر تأثير الأنهار على المناطق الدائمة أو الفصلية التساقط فحسب، بل يتعداها إلى الأقاليم الجافة وشبه الجافة التي تتسم بتساقط امطار فجائية ينجم عنها سيولاً جارفة تحفر لنفسها اودية لاتختلف كثيراً في مظهرها عن اودية الأنهار الدائمة الجريان، وفضلاً عن ذلك فان بعض الأنهار الدائمة الجريان تخترق

مساحات واسعة من مناطق جافة وتنبع من مناطق رطبة بعيدة عنها تسمى بالأنهار الدخيلة مثل انهار النيل والفرات والسند والكلورادو.

مصادر مياه الأنهار

ان المصدر الرئيس لمياه الأنهار هو كميات مياه الأمطار والثلوج الذائبة التي تهطل على مناطق المنبع أو الاجزاء العليا من حوض النهر والتي تغذي منابع النهر الرئيسة وتزود روافده بكميات هائلة من المياه. وحينما تتساقط الأمطار أو تذوب الثلوج يتبخر قسم من مياهها ويتسرب قسم آخر من خلال مسام الصخور والفواصل والشقوق والفوالق الصخرية، وينحدر القسم المتبقي مكوناً المجاري النهرية. كما تتغذى بعض الأنهار من المياه الباطنية التي تتمثل بالعيون والينابيع أو حتى بصورة رشح، حيث تتسرب تلك المياه إلى النهر تسرباً جانبياً مثل نهر التايمز في انكلترا. وتتغذى الكثير من الأنهار من البحيرات التي تنبع منها أو تمر فيها كما هو الحال في نهر النيل الذي ينبع من البحيرات الاستوائية، وتتزود تلك البحيرات بدورها بالمياه عن طريق الأمطار المتساقطة أو مياه الثلوج الذائبة. وهناك انهار تنبع من مياه الجليد الذائب مثل نهر الرون الذي ينبع من ثلاجة الرون الجليدية.

نظم جريان الأنهار

يقصد بنظام جريان النهر التفاوت الفصلي في مقدار المياه التي تجري فيه، وبتعبير آخر الفترات التي تكون فيها كمية التصريف عالية في النهر والفترات التي تنخفض فيها كميات ذلك التصريف. ويعزى هذا التباين في كميات التصريف إلى التباين في كميات التساقط في مناطق العالم المختلفة، والى مواسم تساقطها. فالأنهار التي تنبع وتجري في الأقاليم التي تتساقط امطارها طوال العام تحافظ على مستوى المياه فيها إلى حد كبير ومن امثلتها الأنهار التي تجري في الأقليم الاستوائي كنهر

الامزون ونهر الكونغو. أما الأنهار التي تتغذى من مياه الأمطار التي تتساقط خلال فصل واحد من السنة، فان كمية تصريفها تزداد خلال موسم الأمطار، فيما ينخفض مستواها خلال موسم الجفاف كما هو الحال في انهار أقليم البحر المتوسط الذي تتساقط امطاره خلال الفصل البارد من السنة ويسود الجفاف خلال الفصل الحار، وكذلك انهار الأقليم الموسمي الذي تتساقط امطاره صيفاً ويسود الجفاف شتاءً. واذا كان النهر يستمد مياهه من الأمطار وذوبان الثلوج المتراكمة فوق المرتفعات عند منابعه فان موسم زيادة تصريفه وفيضانه يتفق مع الربيع وبداية الصيف كما في نهري دجلة والفرات.

في ضوء ما تقدم يمكن تقسيم نظم جريان الانهار إلى ثلاثة اقسام هي:-

1- **النظام البسيط**: يتضمن فترتين في كل سنة تمثل احداهما ارتفاع مناسيب المياه في النهر وزيادة كمية التصريف التي تتوافق مع فترة التساقط، وتمثل الاخرى انخفاض كمية التصريف وهبوط مناسيب المياه في النهر، وتتفق هذه الفترة مع انقطاع التساقط. ومن امثلة هذا النظام انهار دجلة والفرات والفولكا واليانجستي.

2- **النظام المزدوج**: تتميز انهار هذا النظام بارتفاع منسوب المياه في فترتين واضحتين تحصران بينهما فترتين للمناسيب الواطئة والتصريف المائي المنخفض نسبياً. وينطبق ذلك على الانهار الاستوائية، حيث توجد في المناخ الاستوائي قمتان للأمطار ينجم عنهما زيادة مناسيب المياه في الأنهار، في حين تنخفض تلك المناسيب في فترتي قلة المطر النسبية المحصورة بين هاتين القمتين كما في نهري الكونغو والأمزون. كما تنطبق الحالة على الأنهار التي تتزود بمياه الأمطار في الخريف والشتاء وما يرافقها من زيادة التصريف، ثم تقل الأمطار في نهاية الشتاء فينخفض معها التصريف النهري، وتحدث زيادة ثانية في التصريف عندما ترتفع

درجات الحرارة في بداية فصل الصيف وما يرافقها من اذابة الثلوج في منطقة التغذية، ومن امثلة ذلك انهار جنوب اوربا التي تنبع من جبال الالب.

3- النظام المركب: هو نظام تتميز به كثير من انهار العالم الكبيرة التي تكون مساحة احواضها شاسعة تشغل اقاليم مناخية متباينة وتلتقي فيها روافد عديدة تختلف عن بعضها في نظام جريان المياه فيها ومن ثم يصبح نظام جريان تلك الأنهار مركباً من عدة نظم، ويتمثل هذا النظام في انهار الراين والدانوب والميسيسبي (كربل، 1986، 123).

طبيعة جريان المياه في الأنهار

تقسم الأنهار حسب طبيعة جريان المياه في اوديتها الى:-

1- الأنهار دائمة الجريان Perennial: يقصد بها الأنهار التي يستمر جريانها المائي على مدار السنة، وتعتمد في استمرارية تغذيتها المائية على كمية التساقط الكبيرة الموزعة توزيعاً منتظماً طوال العام، أو انها تنبع من بحيرة أو عدد من البحيرات، أو انها تنبع من غطاءات جليدية. كما يصبح النهر دائم الجريان اذا تغذى بكميات ثابتة من المياه الباطنية. وغالباً ماتحتفظ بعض الأنهار الدائمة الجريان بتصاريف مائية عالية تمكنها من عبور مساحات واسعة من الأراضي الجافة في ظل معدلات عالية من التبخر والتسرب وصولاً إلى مصباتها.

2- الأنهار الفصلية أو المتقطعة Seasonal or Intermittent: تعتمد هذه الأنهار على نظام التساقط الفصلي ووجود تعاقب في فترات الجريان والجفاف، وتكون شائعة في الأقاليم شبه الجافة، وينقطع جريانها عندما ينقطع التساقط ويسود الجفاف في منطقة تغذية النهر لكونه تساقط فصلي، ويصبح النهر فصلياً ايضاً اذا لم ينبع من مناطق مرتفعة تغطيها الثلوج أو انه لايمر في بحيرة أو ينبع منها.

3- الأنهار المؤقتة Ephemeral: تعتمد الأنهار المؤقتة في جريانها على هطول امطار غزيرة ناجمة عن حدوث عاصفة مطرية أو عدد من العواصف المتتابعة، وتظهر هذه الأنهار في المناطق الجافة، وتمتاز بارتفاع حمولتها الرسوبية وقصر جرياناتها. ويرتبط زمن الجريان بعمر العاصفة المطرية الذي يتراوح ما بين بضعة ساعات وبضعة ايام (سلامة، 2010، 173-176).

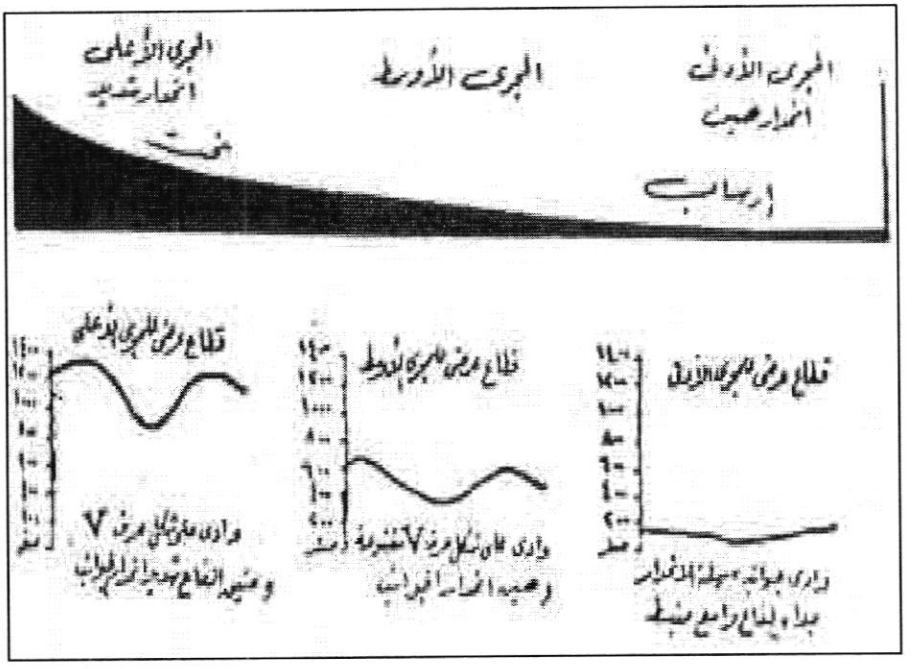
المقطع العرضي والمقطع الطولي للنهر

المقطع العرضي للنهر Cross Sectional: يتباين المقطع العرضي للنهر في شكله وخصائصه من المنبع حتى المصب، ويحدث الجزء الأعمق للقناة النهرية عندما تكون سرعة النهر عالية ويزداد كل من العمق والعرض في الجزء الأدنى من النهر بسبب زيادة التصريف فيه، وسوف يتغير شكل المقطع العرضي للنهر عندما يرتفع التصريف ويصبح المقطع العرضي للنهر عندئذ اعمق واوسع.

المقطع الطولي للنهر Longitudinal Profile: يقصد به القوس الذي يمثل انحدار المجرى المائي من منبع النهر إلى مصبه، والذي يكاد يتماشى مع انحدار سطح المنطقة التي يجري فيها. وعلى الرغم من وجود تباين في المقاطع الطولية للأنهار، فان شكلها العام مقعر نحو اعاليها مع تباين درجات التقعر تبايناً كبيراً. وبصورة عامة يتميز النهر بانحدار شديد في منطقة المنبع، بينما يتميز بانحدار قليل كلما اقترب النهر من المصب وكما يتضح من الشكل (28).

شكل (28)

المقطع الطولي لمجرى نهري والمقطع العرضي للأجزاء الثلاثة من مجراه



جيومورفولوجية الأنهار

تتضمن جيومورفولوجية الأنهار الجوانب الآتية:- الخصائص الجيومورفية للأنهار، عمل الأنهار، مظاهر الحت والترسيب النهري.

اولاً: الخصائص الجيومورفية للأنهار

تقوم الأنهار بعملها الجيومورفي من حت ونقل وترسيب حيثما وجدت مع تباين لحجم هذا العمل تبعاً لتباين العوامل البيئية السائدة ومنها المناخ وطبيعة الصخور والغطاء النباتي، وفضلاً عن ذلك فان عمل الأنهار يعتمد على طاقتها التي تتكون من نوعين هما الطاقة الكامنة Potential energy والطاقة الحركية

Kinetic energy، وتتحول الطاقة الكامنة عادة إلى طاقة حركية عندما تتعرض مياه النهر الجارية إلى الاحتكاك الناتج عن خشونة سطح المقطع العرضي لقناة النهر، وبين جزيئات الماء بعضها بالبعض الآخر. وتتوقف طاقة النهر على عدد من العوامل يمكن اجمالها بالآتي:-

1- **درجة انحدار المجرى:** تتحكم درجة الانحدار في سرعة جريان المياه وكلما ازدادت السرعة ازدادت الطاقة الحركية التي تستهلك في حركة المياه وحمولتها، لذا نجد ان الأنهار التي تجري في مناطق جبلية ذوات انحدارات شديدة وتتغذى بكميات كبيرة من مياه الأمطار أو الثلوج الذائبة لها القابلية على نقل كميات هائلة من الجلاميد الصخرية الكبيرة الحجم.

2- **كمية التصريف المائي:** يعني التصريف Discharge كمية المياه التي تمر في موقع محدد من النهر ضمن وحدة زمنية معينة، ويعبر عن تلك الكمية بالمتر المكعب في الثانية أو المليون مترمكعب في السنة. وتزداد سرعة جريان الأنهار مع زيادة كمية تصريفها وتقل تلك السرعة مع قلة كمية التصريف.

3- **الاحتكاك:** يؤدي الاحتكاك الذي يحصل بين المياه المتحركة وبين قاع وجوانب الوادي النهري إلى تقليل سرعة الجريان في النهر. ويزداد ذلك التأثير مع زيادة حالة عدم الانتظام لسطوح قيعان وجوانب المجاري النهرية، ويحدد الشكل العرضي للقناة كمية المياه التي تلامس القناة وتؤثر في العائق الاحتكاكي الذي يكون قليلاً في شكل القناة النصف دائري، مما يجعل الماء يتدفق فيها بسرعة. وعلى الرغم من عدم تشابه المقاطع العرضية لمجاري الأنهار، الا ان القسم السطحي من ماء النهر الذي يقع فوق جزئه العميق يكون اكثر جهات النهر سرعة، وتتناقص سرعة الجريان بالابتعاد عن ذلك المكان باتجاه القاع والجوانب.

ثانياً: عمل النهر River Work

يستخدم النهر جزءاً من طاقته في الاحتكاك بقاعه وجوانبه ويفقد جزءاً آخراً في تلاطم كتل الماء ببعضها نتيجة للاضطرابات والدوامات التي تحدث فيها، أما الجزء المتبقي من الطاقة فيستخدمه النهر في نقل حمولته. وتقوم الأنهار بعمليات الحت Erosion والنقل Transportion والترسيب Deposition:-

1- الحت النهري Erosion: تقوم المياه الجارية بعمليات الحت الآتية:-

أ- الحت الكيمياوي: تشمل هذه العملية اي نشاط كيمياوي ينتج عن تفاعل الماء مع صخور سطح الأرض، وتتم من خلال تحلل أو ذوبان المواد الصخرية أو المعدنية بفعل المياه الجارية، مما يؤدي إلى تآكل كيمياوي تدريجي.

ب- التأثير الهيدروليكي Hydraulicking: ويقصد به عملية النحت التي تقوم بها الأنهار من جراء ضغط الماء المسلط على الصخور المختلفة المكونة للمجرى المائي.

ج- النحت الميكانيكي Abrasion: تنجم هذه العملية من خلال عدد من العمليات التي تتضمن اصطدام المواد الصلبة التي يحملها النهر مثل حبيبات الغرين والرمل والحصى المختلفة الاحجام بجوانب المجرى النهري، أو من خلال التصادم المتكرر بين الصخور الكبيرة الأحجام وبين قاع المجرى النهري وبخاصة اثناء الفيضانات، أو نتيجة لتحطم مواد الحمولة النهرية إلى حبيبات اصغر حجماً بسبب اصطدامها ببعضها. وقد يعمل النحت الميكانيكي بصورة رأسية فيؤدي إلى تعميق المجرى، أو بصورة جانبية فيؤدي إلى توسيع مجرى النهر.

2- الحمولة النهرية River Load: تتألف الحمولة النهرية من المواد التي حملتها اليه الروافد أو التي جرفتها مياه الثلوج الذائبة، فضلاً عن الرواسب التي

نحتتها مياه النهر ذاته. وينقل النهر حمولته المختلفة بواسطة المياه بالطرائق الاربعة الآتية:-

أ- الحمولة الذائبة **Solution Load**: تحمل الأنهار الكثير من المواد بشكل ايونات ذائبة، وتكون تلك الأيونات جزءاً من الماء نفسه وتتحرك مع حركته. وتتضمن الحمولة الذائبة بشكل رئيس الكاربونات والكبريتات والكلوريدات والاكاسيد، ويأتي معظمها من المياه الباطنية التي تترشح بشكل بطئ من خلال الصخور والتربة التي تتعرض إلى التجوية الكيميائية (كريل، 1986، 141). كما ان الأمطار التي تغذي الأنهار تذيب اثناء تساقطها بعضاً من ثاني اوكسيد الكاربون الموجود في الجو فيتحول إلى حامض الكاربونيك الذي يستطيع ان يذيب الكثير من الصخور الجيرية وبخاصة اذا كان النهر يجري فوق اراضي جيرية.

ب- الحمولة العالقة **Suspension Load**: تتألف الحمولة العالقة للأنهار من الحبيبات الناعمة جداً (الطين والغرين)، وتبقى هذه المواد عالقة في المياه حتى تتوقف حركة الجريان عند وصول النهر إلى جسم مائي راكد. وتشكل الحمولة العالقة الجزء الاكبر من الحمولة الكلية للنهر، فمثلاً تشكل الحمولة العالقة في كل من نهري المسيسبي والكلورادو حوالي 77 ٪ و 88 ٪ من اجمالي حمولة كل منهما على التوالي (سلامة، 2010، 230).

ج- حمولة القفز **Saltation Load**: تتحرك الحبيبات الكبيرة الحجم نسبياً مثل الحصى والرمل الخشن فوق قاع المجرى بقوة الدفع المائي عن طريق القفز، وان تلك الحبيبات تلمس قاع النهر على فترات ومسافات ثم تندفع إلى الأعلى بفعل الضغط المائي (الهيدروليكي).

د- حمولة التدحرج أو السحب Traction or Rolling: يتم بواسطة هذه العملية تحريك الرواسب الكبيرة الأحجام نسبياً التي لايستطيع النهر ان يقوم برفعها ونقلها بطريقة التعلق، وذلك بدحرجتها على طول قاع المجرى ولهذا تسمى بالحمولة القاعية Bed load، وتزداد الحمولة القاعية اثناء مواسم الفيضانات وزيادة سرعة جريان المياه، حيث تتمكن مياه النهر حينئذ من دحرجة وسحب كتل صخرية كبيرة لم تستطع تحريكها في مواسم انخفاض مناسيب المياه.

3- **الترسيب النهري:** تترسب حمولة النهر عندما تتناقص سرعته أو عند زيادة حمولته عن طاقته على النقل. وقد يحدث الترسيب تدريجياً على طول مجرى النهر بحسب تدرج حجم الرواسب المنقولة والتناقص في كل من الانحدار والتصريف المائي وسرعة الجريان، وبصورة عامة تترسب اولاً المواد الكبيرة الحجم التي تشكل نسبة كبيرة من الحمولة القاعية. أما المواد الناعمة كالحمولة العالقة فتستمر في الانتقال وقد تصل إلى بيئة مصب النهر. وبتعبير آخر يقل حجم الحبيبات المنقولة كلما ابتعدنا عن المنابع العليا للنهر، وتظهر بعض الاستثناءات لهذا التدرج في بعض الحالات مثل وجود السدود والبحيرات التي تعترض مجرى النهر، حيث يلقي النهر بمعظم ارساباته خلف السدود أو داخل تلك البحيرات.

ومن العوامل التي تؤدي إلى حدوث الترسيب النهري ما يأتي:-

أ- انتقال النهر من منطقة جبلية شديدة الانحدار إلى منطقة منخفضة قليلة الانحدار.

ب- جريان النهر فوق وديان عريضة وواسعة بحيث تكون الظروف فيها مواتية لحدوث الفيضانات، ومن ثم حدوث عملية الترسيب.

ج- التناقص في كمية مياه النهر بسبب التسرب أو حدوث تغيرات مناخية.

د- عندما ينتهي نهر سريع الجريان في بحيرة، مما يؤدي إلى القائه لمعظم رواسبه فوق قاع البحيرة. وينطبق الحال ذاته عندما ينتهي النهر في البحر.

هـ- تزايد الحمولة النهرية عن السعة النهرية فيرسب النهر حمولته الفائضة.

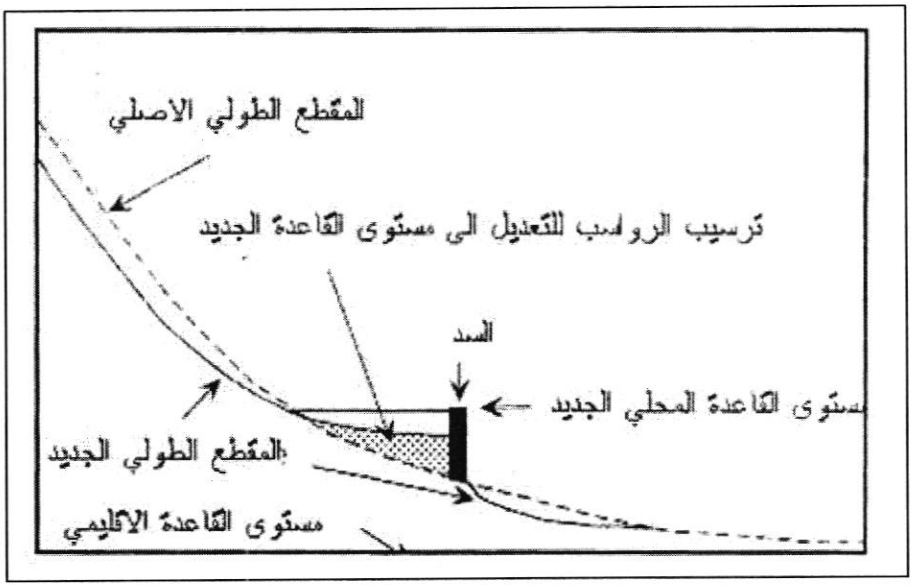
و- وجود عقبات في مجرى النهر ناجمة عن الانزلاقات الأرضية أو التدفقات البركانية أو السدود الاصطناعية.

مستوى القاعدة Base Level

يقصد بمستوى القاعدة المستوى الذي يحاول النهر ان يوصل كل جهات حوضه اليه من خلال عمله في التعرية والترسيب. وتختلف مستويات القاعدة للأنهار فهناك مستوى القاعدة العام الذي يمثل مستوى سطح البحر، وتعمل كل الأنهار الكبيرة التي تصب في المحيطات والبحار للوصول إلى هذا المنسوب كما هو الحال في انهار المسيسبي والنيل والامزون والكنج والسند وغيرها. أما الأنهار التي لاتصب مباشرة في البحار والمحيطات فانها تتمتع بمستوى قاعدة محلي Local base level الذي يتمثل في حالات عديدة مثل ظهور طبقات صخرية شديدة الصلابة في مكان ما من مجرى النهر، مما يؤدي إلى تكوين مستوى قاعدة محلي يتمثل في مستوى تلك الطبقات الصخرية بالنسبة للقسم الواقع اعلاها من المجرى النهري، ويحدث الشيء ذاته اذا كان النهر يصب في بحيرة، حيث تمثل تلك البحيرة مستوى القاعدة المحلي للقسم الواقع اعلاها من النهر (كربل، 1986، 148). فعلى سبيل المثال تمثل بحيرة طبرية مستوى قاعدة محلي لنهر الاردن، في حين يمثل البحر الميت مستوى القاعدة العام للنهر المذكور. وتمثل بحيرة السد العالي في مصر مستوى القاعدة المحلي لنهر النيل، فيما يمثل البحر المتوسط مستوى القاعدة العام لهذا النهر، ويوضح الشكل (29) مستوى القاعدة العام والمحلي.

عندما يعرقل سد طبيعي أو اصطناعي تدفق نهر معين فان النهر يقوم بتعديل قاعدته إلى مستوى القاعدة الجديد من خلال تعديل مقطعه الطولي عن طريق الترسيب بسبب تناقص سرعته، مما ينجم عنه تناقص حمولته فتزداد سرعته ويقوم بعملية النحت الرأسي وهذا ماحدث لنهر النيل عند السد العالي.

شكل (29) مستوى القاعدة العام والمحلي



ثالثاً: مظاهر الحت والترسيب النهري

تتباين الأشكال الأرضية الناجمة عن النحت والترسيب النهري بتباين المرحلة التي يمر بها النهر، وقد اشار وليم ديفز بان النهر يمر بثلاث مراحل هي مرحلة الشباب ومرحلة النضج ومرحلة الشيخوخة. وفيما يأتي المظاهر الجيومورفية النهرية لكل مرحلة من تلك المراحل:-

المرحلة الاولى: مرحلة الشباب Youth Stage

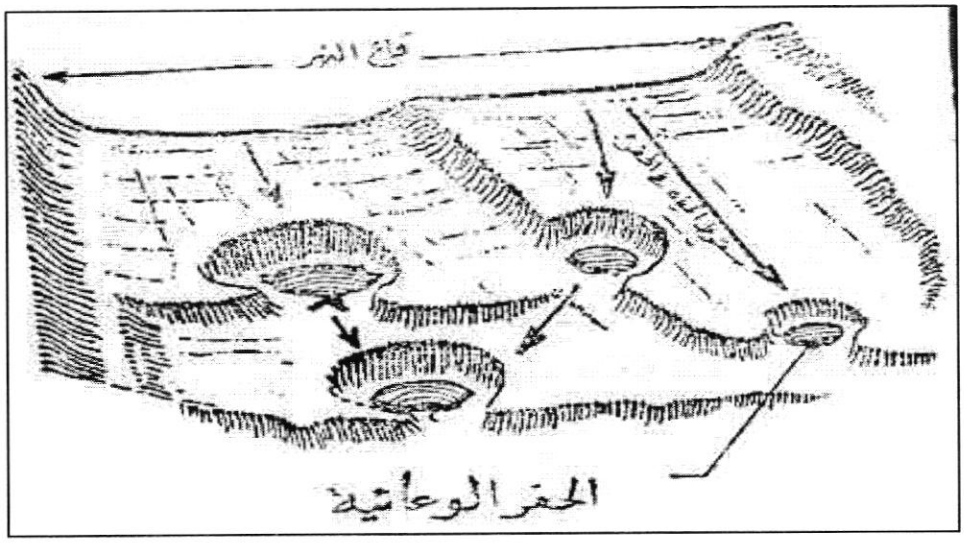
يقوم النهر في هذه المرحلة بالنحت الرأسي لتعميق مجراه الذي يتميز بانه على شكل حرف V اي له جوانب شديدة الانحدار والناجمة عن سرعة الجريان مما يسبب ضيق المجرى. وتنشأ ظاهرات جيومورفية خلال هذه المرحلة تشتمل على ما يأتي:-

1- الخوانق والأخاديد Canyons & Gorges: يعرف الخانق بانه عبارة عن جزء من مجرى نهري يكون ضيق جداً وذو جوانب شديدة الانحدار وعميقاً بالنسبة لاتساعه. يتكون الخانق عندما يتغلب النحت الرأسي على النحت الجانبي، وتنشأ الخوانق عادة في الصخور الصلبة المقاومة لعمليات التعرية المختلفة الأمر الذي لايجعلها تتباعد عن بعضها فتبقى جوانبها قائمة شديدة الانحدار، ويساعد وجود مناطق الضعف مثل الفواصل والانكسارات على زيادة سرعة عملية تعميق النهر لواديه. ومثل هذه الخوانق نجدها بكثرة في المناطق الجبلية ومنها مرتفعات الالب. كما يساعد تراجع الشلالات السريع على عملية تعميق النهر لواديه، ومن اشهر الخوانق الخانق العظيم لنهر كلورادو Grand Canyon في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث يبلغ طول الوادي حوالي 500كم وعمقه حوالي 2كم ويشق طريقه خلال طبقات صخرية افقية تكون هضبة كلورادو (جودة، 1980، 316) وقد تنشأ الخوانق ايضاً حينما يتعرض جزء من منطقة مجرى النهر إلى حركة رفع تصاحبها عملية اعادة الشباب، بحيث يستطيع النهر ان ينحت رأسياً بنفس معدل الرفع الذي تعرضت له المنطقة.

2- الحفر الوعائية Pot holes: وهي عبارة عن منخفضات مستديرة الشكل تتواجد في قاع النهر كما في الشكل (30) وتنشأ من تحرك الكتل الصخرية على القاع حركة دائرية متأثرة بقوة الدوامات المائية التي يكونها تيار النهر. وتؤدي

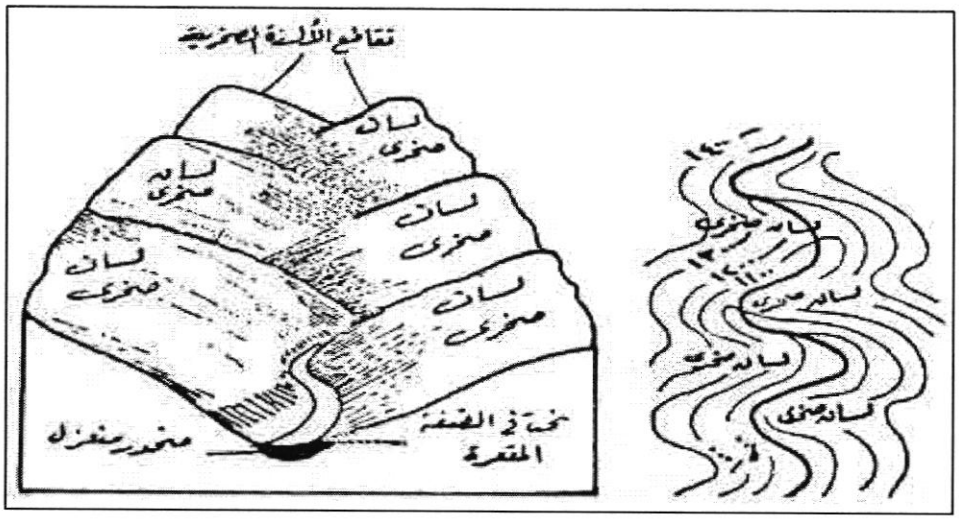
هذه الحركة الدائرية إلى تآكل القاع الصخري للنهر وتكوين فجوات فيه يتراوح عمقها ما بين بضعة سنتيمترات إلى بضعة امتار، ويمكن مشاهدة هذه الحفر على القاع الصخري عندما يقل منسوب النهر أو يجف مؤقتاً (السنوي وآخرون، 1979، 211). وعادة ما تملأ هذه الحفر بحبيبات الرمل والحصى التي تبقى تدور داخلها مع الدوامات المائية، مما يؤدي إلى تعميقها وتوسيعها بمرور الوقت وتلتحم مع بعضها.

شكل (30) الحفر الوعائية



3- منعطفات الشباب: تتكون هذه الظاهرة عندما يكون النحت الرأسي على اشده ومستمراً في تعميق الوادي، اذ يتفادى النهر في جريانه العقبات الصخرية الصلبة التي تصادفه فينعطف ويلتوي من حولها فتنشأ تلك المنعطفات كما يتضح من الشكل (31). ويشتد النحت في الضفاف المقعرة لهذه المنعطفات مكوناً جروفاً شديدة الانحدار، بينما يقل النحت أو ينعدم على الضفاف المحدبة المقابلة التي تكون قليلة الانحدار.

شكل (31) منعطفات الشباب



4- الجنادل Cataracts: تنشأ الجنادل بسبب اختلاف في طبيعة الصخور التي يتكون منها قاع المجرى النهري، فالصخور الصلبة تقاوم عملية النحت في حين تتآكل الصخور اللينة، ومن ثم تبقى الصخور الصلبة بارزة تعترض سير المياه. ومن الأمثلة على ذلك الجنادل التي تعترض مجرى نهر النيل ما بين الخرطوم واسوان، فقد نحت نهر النيل مجراه رأسياً في الحجر الرملي النوبي إلى ان وصل في بعض الأماكن إلى الصخور النارية القديمة التي تقع اسفله، وقد قاومت تلك الصخور النارية عملية النحت النهري فظهرت بارزة في القاع على شكل جزر صخرية صغيرة ادت إلى تقسيم مجرى نهر النيل عندها إلى اكثر من مجرى. كما تتكون الجنادل عندما تتواجد في مجرى النهر طبقة صخرية اكثر صلابة من بقية صخور المجرى بحيث لم يتمكن النهر من نحتها بنفس السرعة التي ينحت فيها بقية صخور المجرى، فان الطبقة الصلبة تبقى عقبة في طريقه وتتكون منها سلسلة من الجنادل.

5- الشلالات أو المساقط المائية Water falls: تتكون ظاهرة الشلالات أو المساقط المائية نتيجة إلى وجود هبوط مفاجئ في مجرى النهر، يترتب عليه سقوط المياه من مستوى مرتفع إلى مستوى أقل منه. وتتواجد الشلالات في كل القارات وبخاصة في الاقاليم الجبلية والهضبية. وهناك اسباب عديدة لظهورها ابرزها ما يأتي:-

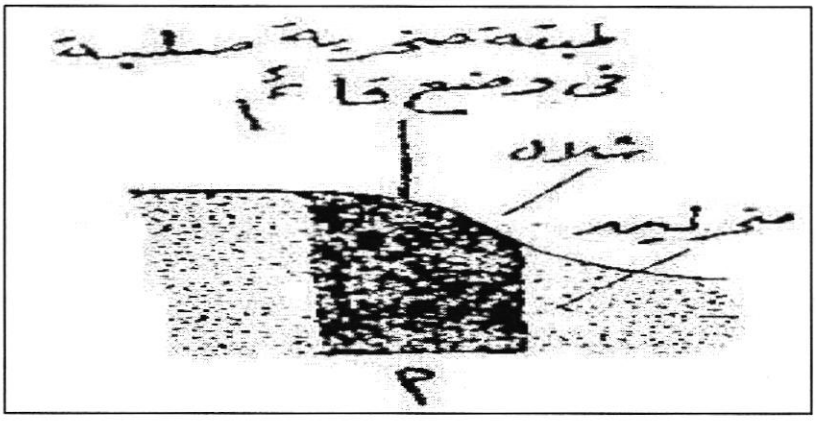
أ- الاختلاف في درجة صلابة الصخور التي يقوم النهر بتعميق واديه خلالها، اذ أن مرور المجرى المائي فوق طبقة صخرية شديدة الصلابة ترتكز فوق طبقات صخرية لينة قليلة المقاومة للتعرية، يترتب عليه قيام النهر في نحت الطبقات الصخرية اللينة اكثر من نحته للطبقات الصخرية الصلبة، مما ينجم عن ذلك اختلاف في مستوى المجرى فتسقط المياه من مستوى مرتفع الذي يمثل الطبقة الصلبة إلى مستوى منخفض وهو مستوى الطبقة اللينة التي تعرضت إلى التآكل فيتكون الشلال. كما تعمل المياه الساقطة بقاعدة الشلال على نحت الصخور اللينة السفلى بينما تبقى الطبقة الصخرية بارزة ومعلقة فوقها، ثم لاتلبث ان تسقط نتيجة لثقلها وضغط المياه عليها، وبتكرار هذه العملية تتراجع الشلالات نحو المنبع الشكل(32).

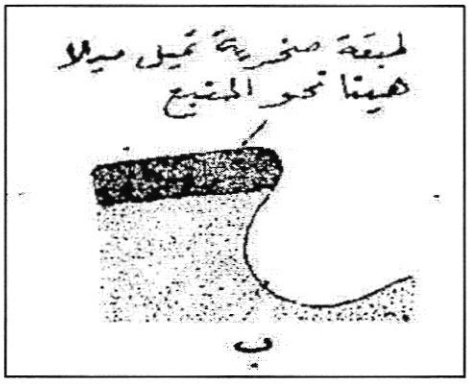
يختلف ارتفاع الشلال عند تراجعه تبعاً لاتجاه الميل للطبقات الصخرية الصلبة، اذ يقل ارتفاع الشلال تدريجياً عند تراجعه في حالة كون الطبقات الصخرية تميل باتجاه باطن الأرض، ويحدث العكس عندما تميل الطبقات الصخرية نحو الخارج. ولا يتراجع الشلال إلى الوراء اذا كانت الصخور الصلبة بوضع عمودي غير ان ارتفاعه يتناقص تدريجياً (كريل، 1986، 54).

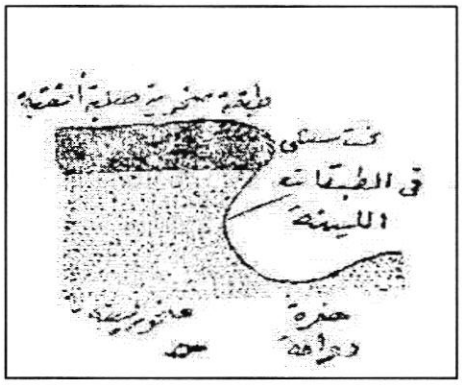
ب- انحدار مجرى النهر من منطقة مرتفعة إلى اخرى منخفضة، كأن ينحدر من فوق هضبة تشرف على السهول التي حولها بحافات حادة.

ج- حدوث عملية نحت عمودي سريعة لبعض الأنهار التي تتعرض إلى حالة اعادة الشباب، الأمر الذي يبقي بعض روافدها وكأنها روافد معلقة، فتتساقط المياه منها نحو النهر الرئيس بشكل شلالات.

شكل (32) حالات تراجع الشلال نحو الوراء و تناقص في الارتفاع







د- حدوث بعض حالات الصدوع والالتواء التي تؤدي إلى خفض من الأقسام السفلى لبعض الأنهار وتكوين المساقط المائية.

هـ- يمكن للتعرية الجليدية التي حدثت في الأقاليم الجبلية ان تكون الشلالات، وذلك عندما تتراجع الثلاجات وتحتل وديانها الأنهار، فتتساقط مياه

الأنهار التي تحتل الوديان الجليدية المعلقة بشكل مساقط مائية نحو الأنهار التي تحتل الوديان الجليدية الرئيسة.

6- المسارع المائية Rapids: تتكون المسارع المائية عندما يتحول الصخر الصلب في مسقط المياه إلى منحدر شديد الميل يترتب عليه اندفاع الماء اندفاعاً شديداً، وينتج عن ذلك جريان سريع جداً للنهر كما هو الحال في المسارع المائية في منطقة بيخال التي تقع في شمال العراق (السنوي وآخرون، 1979، 210).

المرحلة الثانية: مرحلة النضج Mature Stage

يتميز النهر في هذه المرحلة في توسيع مجراه وتتناقص قدرته على تعميقه، ويزداد وضوح تعرجاته بسبب تزايد نشاط النحت في الجوانب المقعرة وتزايد الارساب على الجوانب المحدبة التي يهدأ امامها التيار، وتتحول هذه التعرجات تدريجياً إلى منحنيات تفصل بينها السنة رسوبية منحدرة يطلق عليها تعبير منحدرات الانزلاق، وفي مقابل كل لسان منها تتكون حافة قائمة نتيجة للتآكل المستمر في اجزائها السفلى بواسطة المياه ويطلق على هذه الحافة اسم الحافة النهرية. واهم مايميز النهر في مرحلة النضج ما يأتي:-

أ- يتميز النهر في هذه المرحلة باعتدال تياره وانحداره وهدوء سرعة جريانه.

ب- تقل درجة النحت الرأسي وذلك لكون منسوب النهر لايكون على ارتفاع كبير بالنسبة إلى مستوى القاعدة العام أو المحلي، وتزداد قوة النحت الجانبي ويصبح وادي النهر اكثر اتساعاً.

ج- يزداد وضوح منعطفات الشباب فتبرز الضفاف المقعرة قائمة مكونة جروف نهرية، بينما تنحدر الضفاف المحدبة انحداراً قليلاً مكونة سفوح رسوبية. وفي اواخر هذه المرحلة يتسع السهل الفيضي. وتبعاً لكل من التعرية الرأسية والتعرية

الجانبية النهرية في هذه المرحلة تتكون عدد من الظواهر التي يمكن ايجازها بالآتي:- (ابو العينين، 1974، 351 – 353)

1- تكوين المجاري المائية الرئيسة Master Rivers: يختلف مدى تعميق المجاري النهرية في الصخور مكانياً تبعاً لتنوع التركيب الصخري، ومن ثم نلاحظ فوق المنحدر الواحد بعض الأنهار التي تتميز بزيادة عمقها وارتفاع جوانبها الحائطية، فيما يبدو بعضها الآخر أقل عمقاً. ونتيجة لاستمرار عمليات النحت النهرية الرأسية الشديدة في مناطق الضعف الجيولوجية، قد تنجح المجاري النهرية العميقة في جمع الأودية النهرية الأقل عمقاً وضمها داخل واديها الذي يطلق عليه الوادي الرئيس.

2- ذبذبة خط تقسيم المياه Shifting of Divides: يقصد بمناطق تقسيم المياه تلك الأراضي العالية المنسوب التي تفصل بين اعالي نهرين مختلفين ينحدران في اتجاهين متضادين. وان خطوط تقسيم المياه بين الأودية لاتبقى ثابتة في اماكنها دون ان تتغير، بل كثيراً ما تتذبذب اماكنها حسب سرعة التعرية النهرية ومدى تآكل جانبي خط تقسيم المياه. فاذا كان هناك نهر على جانبي خط تقسيم المياه اكثر نحتاً من النهر في الجانب الآخر وكليهما ينحت رأسياً بشدة، فان خط تقسيم المياه في هذه الحالة يتميز بتغيره الدائم ويتجه أو يقترب بشدة صوب النهر الأقل عمقاً تبعاً لشدة التعرية النهرية الجانبية للنهر الأكثر نشاطاً على الجانب الآخر من خط تقسيم المياه.

4- الأسر النهري River Capture: تظهر عملية الأسر النهري في القسمين الأعلى والأوسط من حوض النهر وفي حالة كون مجرى النهر في مرحلة النضج. وتحدث عملية الأسر النهري عندما يقوم احد الأنهار بالاستيلاء على جزء أو كل منابع نهر آخر مجاور موسعاً بذلك مساحة حوضه على حساب حوض ذلك

النهر. ويطلق على النهر الآسر Capturing Stream فيما يطلق على النهر المأسور اسم Diverted Stream. ويعمل النهر الآسر تبعاً لمستوى قاعدة اعظم عمقاً من الأنهار الاخرى المجاورة، ويعزى ذلك إلى الأسباب الآتية:-

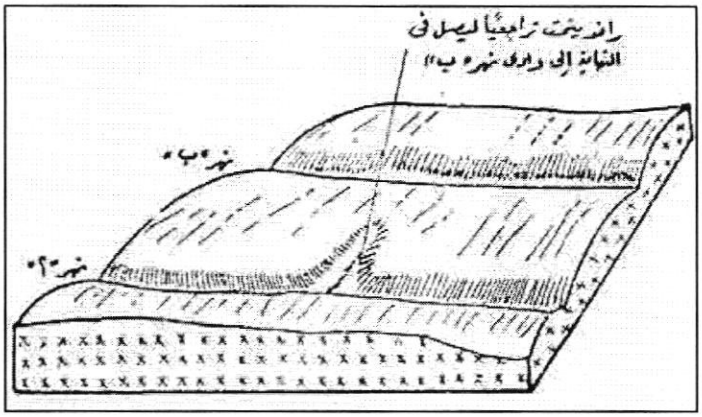
أ- كونه نهراً رئيساً يعمل لمستوى القاعدة العام ويتميز بزيادة درجة انحداره وسرعة جريانه وبالتالي زيادة عملية تعميقه لواديه.

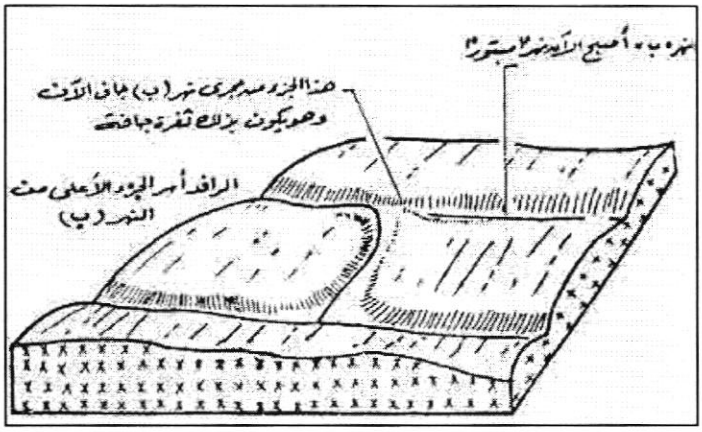
ب- شق النهر مجراه على طول مناطق الضعف الجيولوجية التي تتمثل باسطح الصدوع وفتحات الشقوق والفوالق وعلى طول نطاق الصخور اللينة، مما يساعده في زيادة سرعة عملية النحت الرأسي والتراجعي.

ج- احتوائه على كميات كبيرة من المياه في مجراه اكثر مما عليه في المجاري الاخرى، مما يساهم في زيادة عملية النحت التراجعي.

وبناء على ماتقدم تكون درجة النحت الرأسية والجانبية للنهر الآسر اكبر منها في النهر الآخر، مما ينجم عنه زيادة سرعة التراجع الخلفي للنهر الرئيس نحو المنبع مقارنة بسرعة تراجع النهر المقابل. وبتكرار عمليات النحت والتراجع يمكن للنهر الأسرع تراجعاً ان يأسر اجزاء من الأنهار الاخرى المجاورة التي تعمل لمنسوب اعلى من منسوب قاعدة النهر الرئيس. ويوضح الشكل (33) عملية الأسر النهري.

شكل (33) الأسر النهري





المرحلة الثالثة: مرحلة الشيخوخة Old Stage

يتسم مجرى النهر في مرحلة الشيخوخة ببطء انحداره وهدوء جريانه وقلة درجة النحت الرأسي لقرب منسوب النهر من مستوى القاعدة العام، لذا يصبح فعل الارساب المظهر الجيومورفولوجي العام لوادي النهر خلال هذه المرحلة. ويتميز المقطع العرضي للنهر باتساعه الملحوظ، حيث تتكون فوقه السهول الفيضية والمدرجات النهرية. وفيما يأتي ابرز المظاهر الجيومورفولوجية التي تشكل المظهر العام لمجرى النهر ووادية خلال هذه المرحلة:-

1- المنعطفات النهرية River Meanders: تظهر جميع الأنهار ميلاً واضحاً لتكوين المنعطفات بسبب ميلها إلى تكوين تأرجح متعاقب في جريانها من جانب إلى آخر تبعاً لانبساط السطح وقلة الانحدار وبطء الجريان، وتؤدي هذه العملية إلى تكوين المنعطفات في مجرى النهر. وكان يعتقد سابقاً ان السبب الرئيس في حدوث هذه المنعطفات هو وجود العقبات في النهر، مما يجعله يدورأو ينثني حولها مكوناً بداية المنعطف. ويعتقد بعض الباحثين ان اختلاف سرعة تيار النهر خلال قطاعه وقلة تلك السرعة في الأماكن القريبة من القاع ينجم عنها نشوء مناطق ضحلة على مسافات منتظمة من قاع المجرى، كما ينجم عنها حدوث تيار حلزوني يكون مسؤولاً عن تطور المنعطفات النهرية، فعندما تتحرك الطبقات السفلى من المياه في النهر بسرعة أقل من حركة الطبقات العليا يلحق الجريان السطحي بالجريان القاعي من الضفة المقعرة نحو الضفة المحدبة (Sparks, 1967,96).

لقد بينت الدراسات الحديثة وجود ارتباط بين حدوث المنعطفات النهرية وبين نسبة الحمولة النهرية العالقة إلى حمولتها القاعية، حيث ان وجود كميات من الرواسب الناعمة من الطين والغرين والرمل الناعم على جوانب ومجرى القاع

النهري يؤدي إلى التعرج وتكوين المنعطفات، وفي حالة عدم وجود تلك الرواسب بكميات كافية فان المجرى ينقسم إلى عدة مجاري على قطاع عريض من السهل الفيضي يطلق على تلك المجاري الأنهار المظفورة Braided Streams.

2- السهول الفيضية Flood Plains: يدل اسم السهول الفيضية على انها سهول منبسطة نسبياً يصل عرضها في بعض الحالات إلى مئات الكيلومترات. تكونت هذه السهول من جراء تجمع الارسابات الطموية فوق قيعان الوديان التي قامت الأنهار بتوسيعها. تنتشر فوق السهول بعض المنخفضات التي نشأت اما من جراء عدم انتظام عملية الترسيب فوق كل اجزاء السهول الفيضية، أو من جراء التغيرات التي تحصل لمجاري بعض الانهار اثناء الفيضانات أو من خلال تطور المنعطفات النهرية.

يمر تكوين السهل الفيضي في عدد من المراحل التي يوضحها الشكل (34)، تتمثل المرحلة الاولى في عملية توسيع الوادي النهري بفعل النحت الجانبي ويتم ذلك في مرحلة النضج، ثم عملية الارساب التي تحدث على الجوانب المحدبة للمنعطفات. فيما تتمثل المرحلة الاخرى بارساب الغرين والطين على جميع أرض الوادي حينما يفيض النهر، وتعد هذه العملية الأخيرة في تكوين ونمو السهل الفيضي. وتتميز السهول الفيضية عادة بسمك رواسبها، اذ يستطيع النهر ان يكون طبقة من الرواسب الغرينية والطينية فوق سهله الفيضي، مما يؤدي إلى تجدد خصوبة الأرض الزراعية.

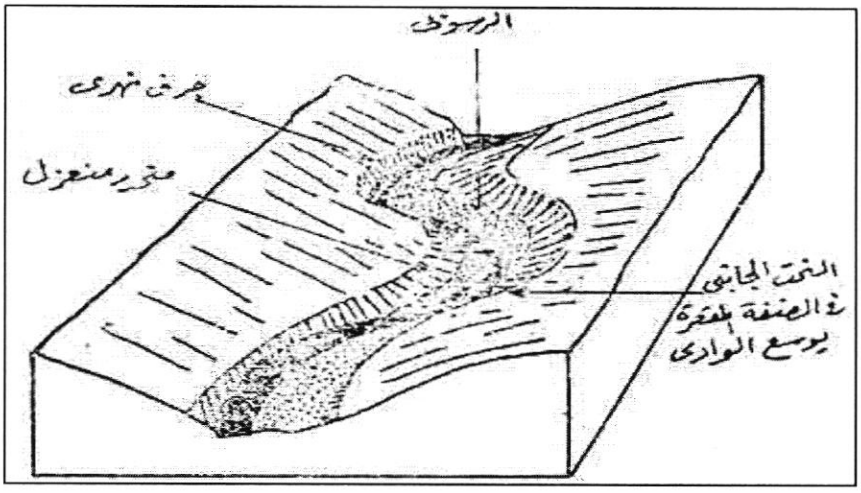
3- البحيرات الهلالية Ox-bow Lakes: تتطور المنعطفات النهرية من جراء مواجهة الضفة المقعرة من النهر إلى تياره بصورة مستمرة وما يرافق ذلك من عملية التعرية، فيما يحدث الترسيب على الجهة المحدبة بسبب الحركة الحلزونية لتيار

الماء. وباستمرار تلك العمليات يكبر حجم المنعطفات النهرية وتتقارب اجزاء المجرى النهري الواقعة في بداية الدورة مع تلك التي تقع في نهايتها ولم يعد يفصلهما عن بعضهما سوى عنق سهلي ضيق. وتتصل اجزاء النهر مع بعضها تبعاً لتكرار عمليات النحت والترسيب على جانبي هذا العنق، وبما ان النهر الرئيس يظهر اكثر عمقاً من المياه في المنعطفات، فضلاً عن زيادة الارساب عند اطرافها، لذا تنفصل هذه المنعطفات عن النهر الرئيس وتصبح على شكل بحيرات هلالية كما يتضح من الشكل (35). وان هذه البحيرات الهلالية لاتلبث ان تجف تدريجياً بسبب التبخر والتسرب وتتحول إلى مناطق ضحلة تشغلها النباتات المستنقعية (ابو العينين، 1981، 415-416).

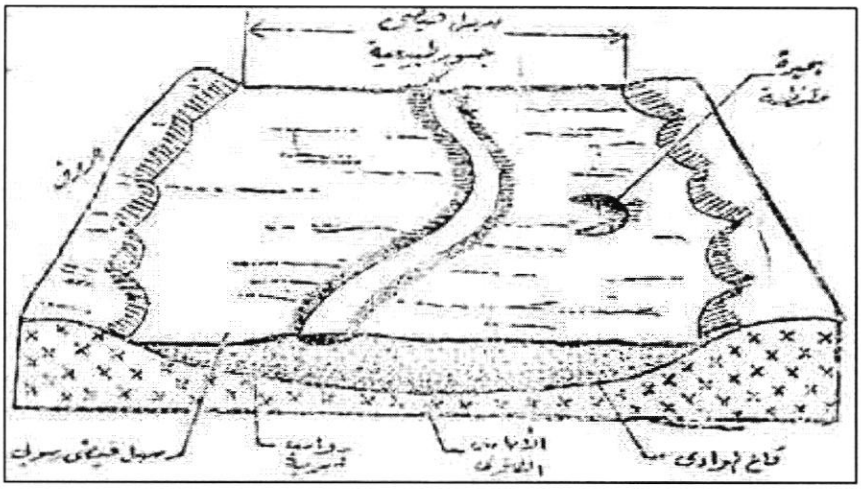
4- الجسور الطبيعية Natural Levees: يقوم النهر بتكوين الجسور الطبيعية عندما يجري فوق سهله الفيضي في مرحلة الشيخوخة، حيث يحدث الارساب فوق ضفتي النهر اثناء موسم الفيضان، وبتكرار العملية يزداد سمك الرواسب فيرتفع منسوب الضفاف وتتكون الجسور الطبيعية التي توازي مجاري الأنهاركما يتضح من الشكل (36). وتكون اكثر ارتفاعاً من الأماكن المجاورة لها وتنحدر تدريجياً كلما ابتعدت عن النهر، ويصل اتساعها إلى اكثر من كيلومتر.

شكل (34) مراحل تكوين السهل الفيضي

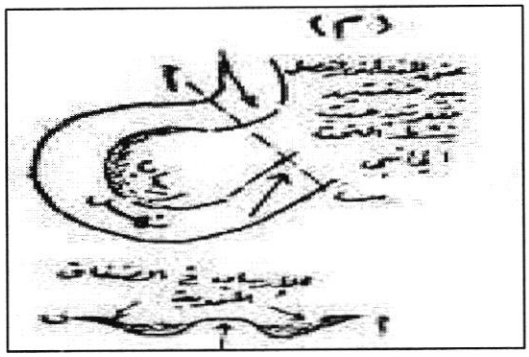
أ- بدايات ظهور السهل الفيضي

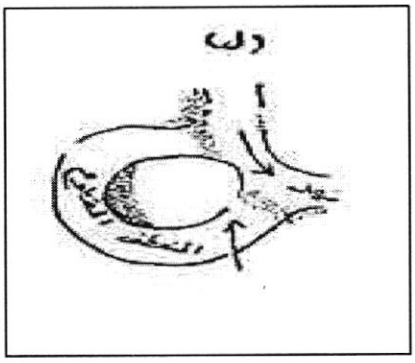


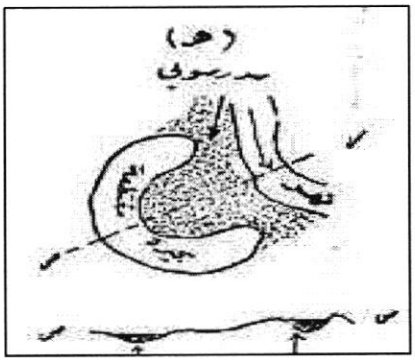
ب- السهل الفيضي بعد تكوينه



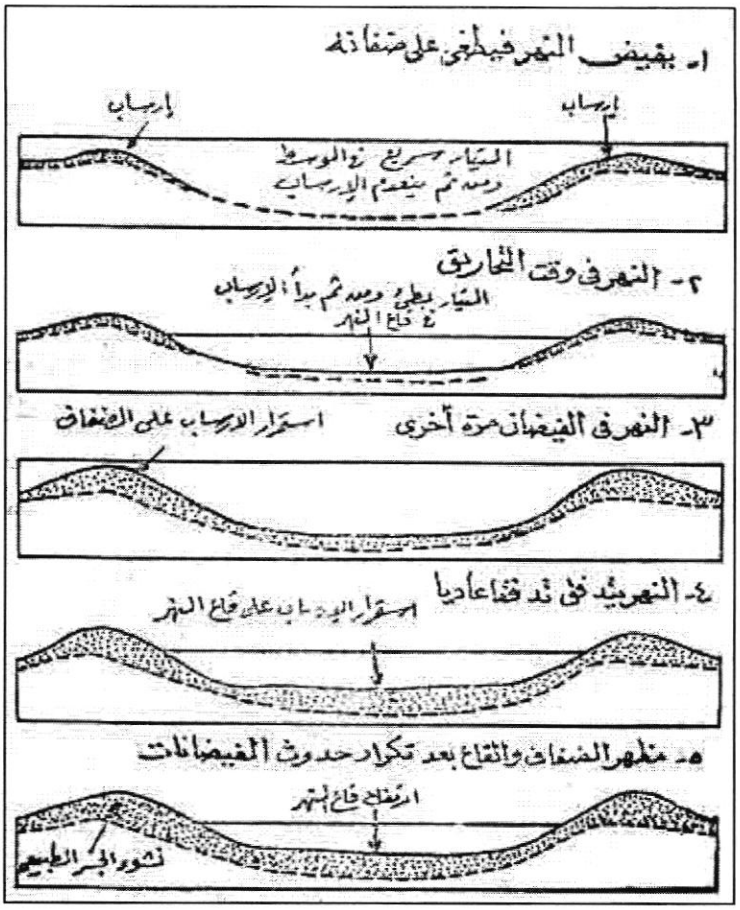
شكل (35) كيفية تكوين البحيرة الهلالية







شكل (36) كيفية تكوين الجسور الطبيعية

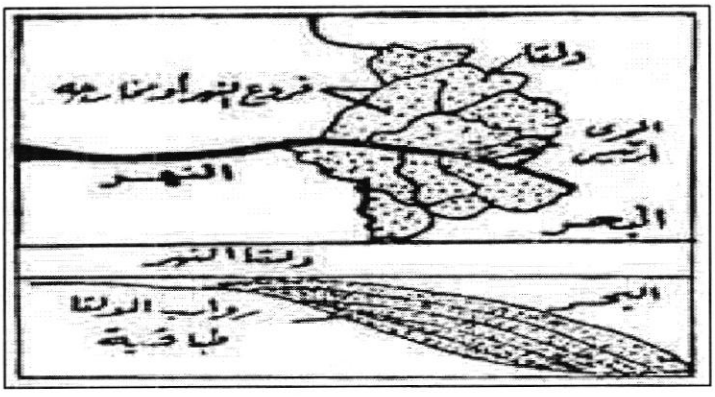


5- الدلتاوات Deltas: تتكون الدلتاوات من ارساب حمولة النهر في بيئات المصاب المائية في بحر أو محيط أو بحيرة في ظل ظروف ملائمة، تتمثل في زيادة كمية الارسابات التي تجلبها الأنهار وان يكون الساحل الذي ينتهي اليه النهر ضحلاً، وان لايتعرض إلى ظاهرة الانغمار، فضلاً عن عدم وجود تيارات أو امواج بحرية شديدة. تتجمع معظم الارسابات التي تنقلها الأنهار امام القسم الاوسط من النهر في منطقة اتصاله بالجسم المائي المستقر، مما ينجم عنه تكوين حاجز طموي يزداد

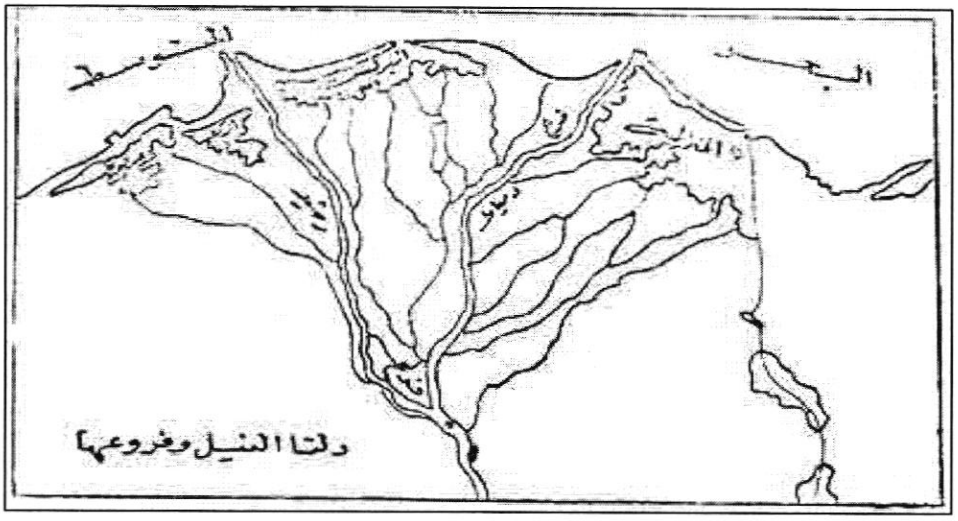
ارتفاعاً بمرور الوقت، ويؤدي ذلك إلى انقسام المجرى النهري إلى فرعين ينقسمان بدورهما ايضاً. وبتكرار تراكم الرواسب النهرية التي تتجمع على شكل طبقات تتكون سهول واسعة ذات سطح منبسط يطلق عليها اسم الدلتا، التي تتخذ شكلا مثلثاً يكون رأسه منطقة تفرع المجاري النهرية من المجرى الرئيس، وقاعدته عند ساحل البحر أو البحيرة التي يصب فيها النهر كما في الشكل (37).

تتخذ الدلتاوات عدة اشكال فمنها مايشبه القوس أو المثلث كما في دلتا النيل الشكل (38) ودلتا الكنج والسند والراين والدانوب.. الخ ومنها مايتخذ الشكل الاصبعي الذي يشبه رجل الطير كما في دلتا نهر المسيسبي، ومنها ذات شكل مدبب كما في دلتا نهر البو في ايطاليا.

شكل (37) تكوين الدلتا

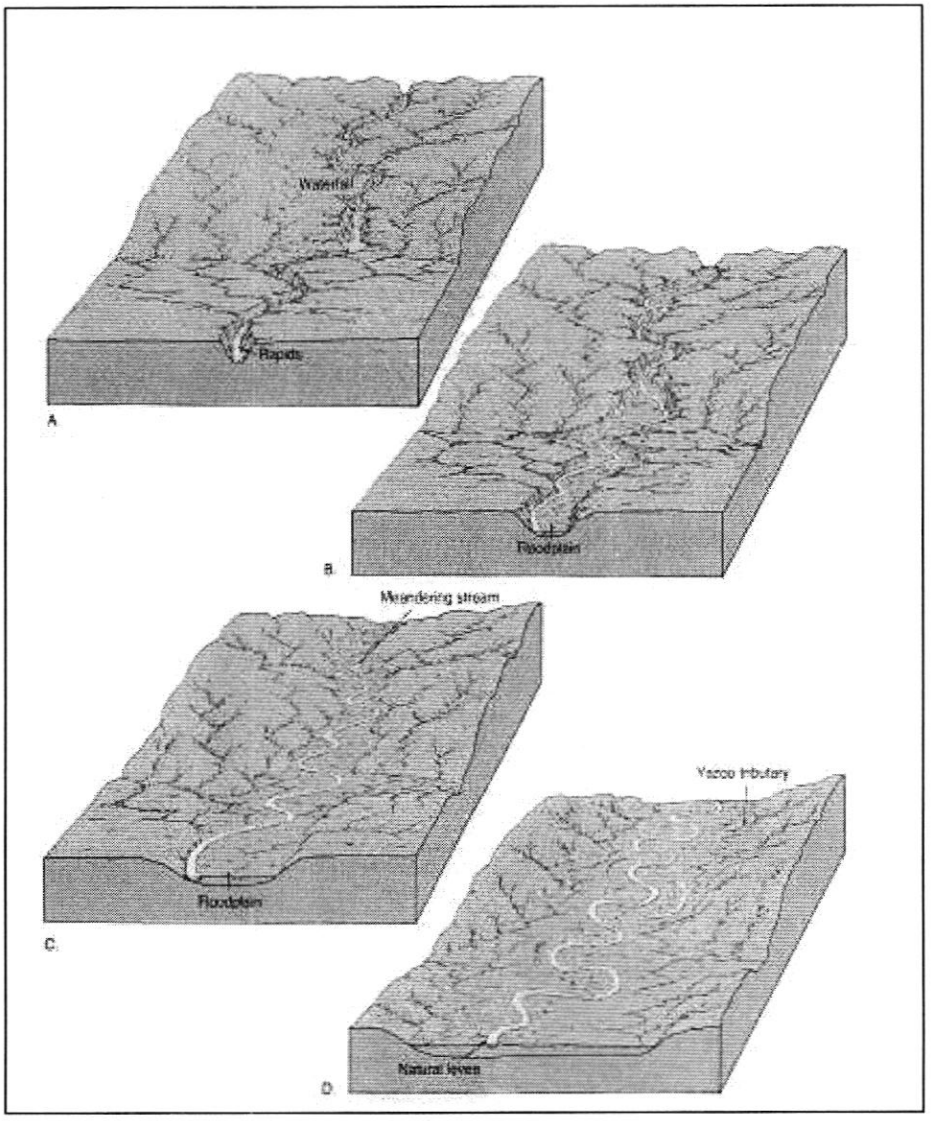


شكل (38) دلتا نهر النيل وفروعها



ويتبين من الشكل (39) عدد من مظاهر الحت والترسيب النهري خلال الدورة الجيومورفولوجية.

شكل (39) عدد من مظاهر الحت والترسيب النهري خلال الدورة الجيمورفية



تصابي الأنهار Rejuvenation

تحدث ظاهرة تصابي الأنهار (اعادة الشباب) في اية مرحلة من مراحل الدورة الجيومورفولوجية النهرية، مما يؤدي إلى استعادة النهر لنشاطه الذي يتميز به في مرحلة الشباب بعد ان وصل النهرالى مراحل متقدمة من تطوره فيعود ثانية إلى تعميق واديه. وتعزى ظاهرة تصابي الأنهار إلى اسباب عديدة لعل ابرزها ما يأتي:-

1- انخفاض مستوى سطح البحر: يترتب على انخفاض مستوى سطح البحر في المناطق المصبية للأنهار زيادة في سرعة جريان تلك الأنهار واستعادتها لنشاطها الحتي وتعميقها لوديانها. وقد حدثت تلك الظاهرة خلال الفترات الجليدية في عصر البلايوستوسين عندما انخفض مستوى سطح البحر حوالي 100 متر عن مستواه الحالي فتعرضت كل الأنهار التي تصب في البحار والمحيطات إلى ظاهرة التصابي.

2- حركات الرفع التكتونية: تتعرض بعض مقاطع الأنهار بالقرب من منطقة المنبع إلى عملية رفع تكتوني، وقد تكون حركات شاملة في مساحات شاسعة، وينجم عن تلك الحركات زيادة انحدار المجاري المائية وازدياد سرعة جريانها، وما يترتب على ذلك من زيادة عملها الحتي.

3- يمكن حدوث ظاهرة تصابي الأنهار من جراء زيادة كمية التصريف المائي في النهر بسبب التغيرات المناخية التي تتعرض اليها منطقة حوض النهر، كما حصل للأنهار التي تجري حالياً في المناطق شبه الجافة والتي كانت تتساقط عليها كميات غزيرة من الأمطار ابان عصر البلايوستوسين، مما جعلها تتعرض إلى حالة اعادة الشباب.

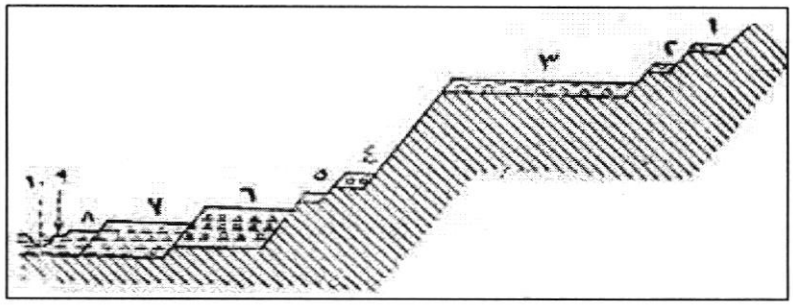
المظاهر التضاريسية ذوات العلاقة بظاهرة تصابي الأنهار

تترك ظاهرة تصابي الانهار مظاهر تضاريسية تتمثل بالآتي:-

1- المنعطفات المعمقة Incised Meanders: لقد سبق الاشارة إلى ان المنعطفات النهرية تتكون في مرحلة الشيخوخة، وعندما تتعرض الأنهار إلى ظاهرة التصابي التي يرافقها زيادة في سرعة التيار المائي، فانها تقوم بتعميق تلك المنعطفات محولة اياها إلى خوانق عميقة.

2- المدرجات النهرية River Terraces: تمثل هذه المدرجات البقية الباقية من السهول الفيضية القديمة، وهي عبارة عن امتدادات طولية تمتد على جانبي النهر غلى هيئة مصاطب واحدة فوق الاخرى. فالأنهار تقوم بالنحت الرأسي فوق سهولها الفيضية مكونة سهولاً فيضية اخرى تقع في مستوى اخفض من مستوى السهل الفيضي السابق الذي يظل شاخصاً بشكل زوج من المدرجات النهرية. وحينما عاد النهر إلى مرحلة الشيخوخة بدأ يرسب في الوادي الجديد الذي حفره في المدرجات الاولى العالية رسوبيات جديدة مكونة مستوى جديد من المدرجات أقل ارتفاعاً من المستوى السابق. وبتكرار هذه العملية تتكون عدة مستويات من المدرجات النهرية وكما في الشكل (40) الذي يبين مدرجات نهر الراين، حيث ان المدرج العلوي اقدم عمراً من المدرج الذي يقع اسفله وتزداد حداثة تكوين المدرجات كلما اتجهنا نحو مجرى النهر.

شكل (40) مدرجات نهر الراين



1- مدرج بلايوسيني. 2- المدرج الاعلى. 3- المدرج الرئيس. 4- المدرج العلوي. 5- مدرج ابول. 6- المدرج الاوسط. 7- المدرج السفلي. 8- مدرج جزيري. 9- قاع الراين اثناء الفيضان. 10- مجرى الراين.

قد تتشابه مراحل تكوين المدرجات النهرية على جانبي الوادي، بحيث يتشكل كل جانب بنفس المدرجات النهرية التي يتميز بها الجانب الآخر ويطلق على المدرجات النهرية في هذه الحالة اسم المدرجات المزدوجة Paired Terraces. وفي حالة عدم تشابه مراحل تكوين المدرجات النهرية على جانبي الوادي يطلق عليها اسم المدرجات اللامزدوجة Un paired Terraces (ابو العينين، 1981، 418-419).

4- السهول التحاتية Peneplains: يشير وجود السهل التحاتي إلى انتهاء دورة حتية سابقة وابتداء دورة حتية جديدة بسبب ظاهرة تصابي الأنهار، ففي مراحل متأخرة من مراحل الدورة الجيومورفية تتآكل الطبقات الصخرية العليا اللينة في المنطقة تبعاً لتوالي عمليات التعرية النهرية الرأسية والجانبية، كما تتسع جوانب الأودية النهرية ويبدو سطح الأرض قليل الانحدار والتضرس ويقترب من مستوى القاعدة ويطلق عليه اسم السهل التحاتي. ولايرتبط الاتجاه العام للمجاري

النهرية في هذه المرحلة بالانحدار الأصلي للمنطقة، بل يتأثر اتجاهها تبعاً لطبيعة التركيب الصخري ونظام بنية الطبقات. وعلى الرغم من ان السهول التحاتية النهرية تتكون في نهاية الدورة الحتية النهرية الا أن مجموعاتها تختلف فيما بينها من حيث الأزمنة الجيولوجية التي تكونت خلالها ومن حيث خصائصها الجيومورفية العامة وفقاً لموقعها المحلي الذي تكونت فيه. ويدل تعدد مجموعات السهول التحاتية في حوض النهر على ان النهر تعرض إلى اكثر من دورة تحاتية وكون سهولاً فيضية واسعة ثم سرعان ماجدد نشاطه الحتي من جديد (ابو العينين، 1974، 502).

الفصل التاسع

جيومورفولوجية حوض التصريف المائي

الفصل التاسع

جيومورفولوجية حوض التصريف المائي

يعرف حوض التصريف المائي على انه المنطقة التي تتجمع فيها مياه المطر على شكل جريان سطحي لتصب في رافد أو نهر معين. وتشمل حدود الحوض المائي لاي نهر مجموع المساحات الحوضية الفرعية التي تنتمي اليها جميع اجزاء الشبكة الفرعية والروافد التي تنقل مياهها إلى الأنهار. كما يعرف حوض التصريف المائي بانه عبارة عن جزء من سطح الأرض يشغله نهر رئيس وروافده منفصلاً عن احواض التصاريف المجاورة بواسطة خط تقسيم المياه.

يشكل الحوض المائي نظاماً مفتوحاً مستقلاً، تتكون مدخلات هذا النظام من المطر وذوبان الثلوج والرواسب. أما المخرجات فتتم عن طريق التبخر والنتح وخروج الرواسب والمياه عند بيئة المصب، وهناك عوامل عديدة تؤثر في المدخلات والمخرجات تتمثل في التضاريس وطبيعة الصخوروالمناخ ونوع التربة والغطاء النباتي.

خصائص الحوض المائي

تشتمل خصائص الحوض المائي على الخصاص المساحية والشكلية والتضاريسة.

اولاً: الخصائص المساحية وتشتمل على ما يأتي:-

1- مساحة الحوض: تعد مساحة الحوض من المتغيرات المورفومترية المهمة التي تؤثر في الخصائص الهيدرولوجية من حيث حجم التصريف المائي في الحوض، اذ ان هناك تناسباً طردياً بين مساحة الحوض والتصريف المائي والناتج الرسوبي

للأنهار، حيث يزدادان مع تزايد المساحة والعكس صحيح. وتختلف المساحات الحوضية التي تغذي الأنهار بالمياه والرواسب من أقليم إلى آخر، ويتبين من الجدول (2) التباين في المساحات الحوضية لعدد من الأنهار الرئيسة في العالم.

وترتبط بمساحة الحوض متغيرات اخرى تتمثل في طول الحوض وعرضه ومحيطه.

2- طول الحوض: هو احد العناصر المورفومترية المهمة الذي يرتبط بعدد من الخصائص الاخرى في الحوض النهري. وقد حدد شوم Schumm طول الحوض بانه الخط الممتد من نقطة المصب النهري إلى اعلى نقطة في الحوض تمثل منطقة تقسيم المياه.

جدول (2)

المساحات الحوضية وحجم التصريف المائي لعدد من الأنهار الرئيسة في العالم

اسم النهر	المساحة الحوضية (1000 كم^2)	معدل التصريف (1000 قدم^3)
النهر الاصفر	673	53
براهما بوترا	666	430
الامزون	5776	6400
المسيسيبي	3222	630
الميسوري	1370	69
الكلورادو	637	5.5
النيل	2978	100

3- عرض الحوض:

تساعد معرفة عرض الحوض في تحديد شكل الحوض من خلال النسبة بين طول الحوض إلى عرضه، ويتم تحديد عرض الحوض من خلال رسم خطوط متوازية من المنبع إلى المصب واخذ قياسات لكل منها وايجاد متوسط عرض الحوض من خلالها. أو يمكن معرفة متوسط عرض الحوض من خلال العلاقة الرياضية الآتية:- (محسوب، 2001، 206)

متوسط عرض الحوض = مساحة الحوض(كم^2) / طول الحوض (كم)

فاذا كانت مساحة الحوض 2800كم2 وطوله 140 كم فان متوسط عرضه يساوي 2800/ 140 ويساوي 20 كم.

4- محيط الحوض:

يعد محيط الحوض متغير مورفومتري يرتبط بعدد من الخصائص المورفومترية الاخرى مثل الاستدارة والاستطالة وشكل الحوض، فضلاً عن علاقته الطردية مع المساحة لكونه يمثل خط تقسيم المياه للاحواض الذي يفصل فيما بينها. ويستخدم محيط الحوض لمعرفة اتساع الحوض فكلما ازداد طول محيط الحوض رافقته زيادة في اتساع المساحة، كما ان اتساعه يدل على نشاط وتطور العمليات الجيومورفية.

ثانياً: الخصائص الحوضية الشكلية

وتشتمل على نسبة الاستطالة والاستدارة ومعامل شكل الحوض:-

1- نسبة استطالة الحوض Elongation Ratio:

اقترح قرينة نسبة استطالة الحوض شوم Schumm عام 1956 لوصف امتداد مساحة الحوض المائي بمقارنتها بشكل المستطيل، وترتفع هذه النسبة في

الأحواض الطويلة بينما تقل عندما يتساوى طول الحوض مع عرضه تقريباً. وبغية ايجاد نسبة استطالة الحوض يمكن استعمال المعادلة الآتية:-

نسبة استطالة الحوض=طول قطر دائرة بنفس مساحة الحوض(كم)/ اقصى طول للحوض(كم)

ويستخرج طول قطر الدائرة المساوية لمساحة الحوض باستخدام المعادلة الآتية:

$$\text{قطر الدائرة} = 2x\sqrt{\frac{7}{22}x\ \text{المساحة}}$$

مثال: لو فرضنا ان مساحة الحوض 2952 كم^2 وان اقصى طول للحوض 141 كم فما نسبة الاستطالة؟

ولغرض ايجاد نسبة الاستطالة ينبغي اولاً معرفة قطر الدائرة بنفس مساحة الحوض :

$$\text{قطر الدائرة} = 2x\sqrt{\frac{7}{22}x2952} = 2x\sqrt{939.27} = 61.295$$

$$\text{نسبة الاستطالة} = 61.295 / 141 = 0.43$$

ان معرفة نسبة استطالة الحوض وتباينها من حوض مائي إلى آخر لها دلالات عدة لمعرفة الخصائص الجيومورفولوجية للحوض، حيث يشير ارتفاع نسبة الاستطالة إلى الدلالات الآتية:- (سلامة، 2010، 178 – 179)

أ- ان الحوض المائي يمر في بداية دورة التعرية بمرحلة الشباب، حيث ان الأنهار عادة ما تبدأ بحفر مجاريها وزيادة اطوالها عن طريق الحت التراجعي، ولا تمارس الحت الجانبي الذي يؤدي إلى زيادة عرض الحوض الا في مراحل حتية متأخرة.

ب- يكون الصخر السائد في الغالب صلباً يقاوم عمليات الحت، مما يقلل الانتقال من الحت الرأسي إلى الحت الجانبي.

ج- مع زيادة نسبة الاستطالة يصبح التضرس محدوداً وانحدار الحوض اكثر اعتدالاً.

د- تطور الأحواض المستطيلة انهاراً رئيسية طويلة، مما يؤدي إلى زيادة الضائعات المائية عن طريق التبخر والتسرب وبخاصة في الأقاليم الجافة الحارة.

ه- تكون مناطق تقسيم المياه في الأحواض المستطيلة اكثر ضيقاً وأقل تعرجاً واكثر انتظاماً مقارنة بالأحواض الاخرى لضعف نشاط الحت الجانبي.

و- في حالة تساقط امطار غزيرة في منطقة المنابع فان قمة التصريف المائي أو حالة الفيضان تتأخر في وصولها إلى بيئة المصب بسبب طول المسافة وتناقص التصريف المائي بسبب التبخر والتسرب.

ز- يكون الناتج الرسوبي لأنهار الأحواض المستطيلة محدوداً نسبياً بسبب انخفاض تصريفها المائي وقلة انحدارها وضعف طاقتها الحتية.

ومما تجدر الاشارة اليه ان اسباب تكون الأحواض المستطيلة قد يعود إلى عوامل تكتونية بحتة دون ان تتدخل عمليات الحت في شكل الحوض، كما هو الحال في الأودية الناجمة عن حدوث الطيات المحدبة والمقعرة، مما يترتب على ذلك تكوين الوديان في الطيات المقعرة التي تنحصر بين الطيات المحدبة التي تمثل الجبال.

2- نسبة استدارة الحوض Basin Circularity:

تشير نسبة الاستدارة إلى الاقتراب أو الابتعاد من الشكل الدائري للحوض، وقد اقترح قرينة نسبة الاستدارة Melton عام 1958 ليصف مدى اقتراب

خطوط تقسيم المياه التي تمثل محيط الحوض من محيط دائرة منتظمة بنفس الطول. ويمثل محيط الدائرة اقصى حالات الشكل الدائري وتبلغ في هذه الحالة اقصى مساحة لها، وكلما زاد تعرج المحيط قلت المساحة التي يحيط بها، وبذلك فان استدارة الحوض تصف مدى تعرج أو تداخل خطوط مناطق تقسيم المياه لحوض معين مع الأحواض المجاورة. وان اقصى مرحلة يمكن ان يصل اليها الحوض المائي تحدث عندما تختفي هذه التعرجات ويصبح محيط الحوض منطبقاً تماماً مع محيط الدائرة وبذلك يتساويا في المساحة وعندئذ تبلغ نسبة الاستدارة 100٪. وفي هذه الحالة يوصف الحوض بانه بلغ قمة التطور والحت الجانبي والتراجعي من خلال مناطق تقسيم المياه وتطور الجريان في الروافد عند المنابع، ويمكن ان يتم ذلك ايضاً من خلال عملية الأسر النهري للأنهار المتجاورة. اما في حالة تناقص نسبة الاستدارة فهذا يعني ان خط تقسيم المياه متعرج أو شديد التعرج وان المساحة الحوضية صغيرة وفي بداية دورتها الحتية.

يمكن تحديد نسبة الاستدارة باستعمال المعادلة الآتية: (سلامة، 1980، 126)

$$\text{نسبة استدارة الحوض} = \frac{\text{مساحة الحوض كم}^2}{\text{مساحة دائرة يساوي محيطها محيط الحوض نفسه (كم}^2\text{)}}$$

مثال: لو فرضنا ان مساحة حوض مائي معين 25. 2400كم^2 وان محيطه 352.6 كم فما نسبة استدارة الحوض؟

الحل: 1- ايجاد نصف قطر الدائرة التي يساوي محيطها محيط الحوض.

$$\text{نق} = \text{المحيط} \times \frac{7}{22} / 2 = 352.6 \times \frac{7}{22} / 2$$

= 112 .19 / 2 = 56 .09 كم

2- ايجاد مساحة الدائرة = نق ^{2} x $\frac{22}{7}$ = (56 .09) ^{2} x $\frac{22}{7}$

ويساوي 08. 3146 x 22 / 7 ويسا وي 7. 9887 كم^2

3- ايجاد نسبة الاستدارة = مساحة الحوض كم^2 / مساحة الدائرة كم^2

= 2400 .25 / 9887 .7 = 0.242

وكلما اقترب الناتج من الواحد الصحيح يكون الشكل دائري، وبما ان الناتج بعيد عن الواحد الصحيح فهذا يعني ان محيط الحوض متعرج أو شديد التعرج.

وقد تم تبسيط معادلة نسبة استدارة الحوض لتكون بالشكل الاتي: (الدراجي، 2010، 137)

$$\text{نسبة استدارة الحوض} = \text{ل} \times \frac{\text{مساحة الحوض كم}^2}{(\text{محيط الحوض كم})^2}$$

حيث ان: ل = قيمة ثابتة مقدارها 57. 12

الحل للمثال السابق 57. 12 x $\frac{2400 .25}{(352 .6)^2}$

$$= 12 .57 \times \frac{2400 .25}{124326 .76} = 0.242$$

ترتفع نسبة استدارة الحوض في الأقاليم المناخية الرطبة التي تهطل فيها امطار غزيرة وارتفاع كمية التصريف المائي اللازمة لممارسة الأنهار نشاطاً حتياً فاعلاً، كما ترتفع في الصخور الضعيفة ذات الاستجابة العالية لعمليات التعرية المائية. وليس بالضرورة ان تعكس استدارة الحوض عمليات الحت أو التطور الزمني، وانما قد تحدث نتيجة لعمليات تكتونية تساهم في تكوين الطيات المحدبة والطيات المقعرة.

تمتاز المجاري المائية الرئيسة في الأحواض المائية المستديرة بقصر اطوالها، في حين تزداد اطوال الروافد الثانوية وتتناقص اعدادها، مما يعني تزايد انحدار الشبكة المائية بصورة عامة وارتفاع تصريفها المائي مقارنة بالأحواض المائية عالية الاستطالة. ويصل الجريان المائي إلى قمته أو حالة الفيضان خلال وقت قصير اثر حدوث قمة الأمطار وهذا على عكس الاحواض المستطيلة. وتساهم جريانات الأحواض المستديرة بكميات عالية من الرواسب التي تنقل من مكان وترسب في مكان آخر، وبالتالي تتباين المظاهر الجيمورفية بين الحت والترسيب، ويشير ارتفاع نسبة الاستدارة إلى كبر المساحة الحوضية.

3- معامل شكل الحوض Basin form factor:

يوضح معامل شكل الحوض العلاقة بين مساحة الحوض وطوله، فاذا كانت قيمة معامل شكل الحوض تصل إلى الواحد الصحيح فان ذلك يعني زيادة مساحة الحوض على حساب طوله، ويترتب على ذلك ان يكون شكل الحوض المائي قريباً إلى شكل المربع. اما اذا انخفضت قيمة معامل شكل الحوض فان ذلك يدل على اقتراب شكل الحوض من الشكل المثلث. ويمكن تحديد معامل شكل الحوض وفقاً للمعادلة الآتية:- (المومني، 1997، 127).

معامل شكل الحوض = مساحة الحوض كم^2 / (طول الحوض كم)^2

مثال: ما معامل شكل الحوض المائي الذي تبلغ مساحته 2400.25 كم^2 وطوله 130.5 كم؟ الحل: معامل شكل الحوض = 2400 .25 / (130 .5)^2

= 2400 .25 / 17030 .25 = 0.14

مما يعني اقتراب شكله من الشكل المثلث.

يشير تباين معامل شكل الحوض أو تباين نسبة العرض إلى الطول إلى الدلالات الآتية:-

أ- مدى تقدم الحت الجانبي: يرتبط تزايد عرض الحوض المائي بصورة عامة بنشاط الحت التراجعي للروافد الجانبية، وتتفاوت هذه الروافد في هذا النشاط تبعاً لخصائصها الرئيسة مثل الانحدار ونوعية الصخور والظروف المناخية. وان الجريانات المائية التي تمتاز بمنحدرات سحيقة وتجري فوق تكوينات صخرية ضعيفة وتهطل فوق حوضها المائي الفرعي كميات غزيرة من الأمطار توفر جرياناً مائياً ذا قدرة حتية عالية، من شأنها ان تتراجع باتجاه مناطق تقسيم المياه الجانبية بمعدلات عالية، مما يزيد من عرض الحوض. وفي حالة وجود اختلاف في معدلات الحت التراجعي لهذه الروافد يصبح عرض الحوض غير منتظم بحيث يزداد أو يقل عرضه.

ب- تفاوت صلابة الصخور: يزداد النشاط الحتي التراجعي للأودية الفرعية الجانبية حيثما تكون الصخور اكثر ضعفاً، مما يؤدي إلى زيادة اطوالها. بينما في المناطق التي تسودها صخور صلبة ترتفع مقاومتها الحتية وتطور جريانات مائية قصيرة.

ج- تفاوت الظروف المناخية: قد تتفاوت الظروف المناخية على طول محيط الحوض المائي أو مناطق تقسيم المياه، وفي هذه الحالة تصبح الروافد التي تسودها ظروف مناخية رطبة اكثر طولاً من تلك التي تسودها ظروف مناخية جافة بسبب شدة تأثر الحت المائي بالمناخ وبخاصة كمية الأمطار المتساقطة.

د- الحركات التكتونية: يمكن ان تساهم الحركات التكتونية في تفاوت اطوال الجريانات المائية الجانبية، مما ينعكس على تباين اتساع الحوض المائي، فحيثما تنتشر الصدوع سواء الرأسية التي تؤدي إلى ارتفاع مناطق تقسيم المياه، أم الجانبية التي تزيد من ضعف التكوينات الصخرية أو نشاة التواءات بشكل مقعرات تحدد مجرى واتجاه الروافد المائية، تزداد فاعلية الحت المائي التراجعي، مما ينعكس في زيادة عرض الحوض بشكل ملحوظ (سلامة، 2010، 181-183).

ثالثاً: الخصائص التضاريسية للأحواض

للخصائص التضاريسية للأحواض المائية اهمية كبيرة للجيومورفولوجي وللهيدرولوجي لما تعكسه من تأثير في عملية التعرية المائية وعمليات التجوية والانهيارات الأرضية. وتعد مؤشراً في معرفة الدورات الحتية التي مرت بها الأحواض باعتبارها انعكاساً للخصائص التضاريسية وانواع الصخور. وتشتمل الخصائص التضاريسية للأحواض على ما يأتي:-

1- نسبة التضرس:

يترتب على نسبة التضرس تحديد سرعة الجريان المائي ومن ثم كمية الرواسب التي تنقل من الحوض المائي، وان زيادة نسبة التضرس تعني زيادة سرعة جريان المياه وزيادة كمية الرواسب المنقولة.

ويتم استخراج نسبة التضرس بتطبيق المعادلة الآتية: (محسوب، 2001، 209).

نسبة التضرس = الفرق في الارتفاع بين اعلى وادنى نقطة في الحوض (متر) / طول الحوض (كم)

مثال: ما نسبة التضرس لحوض مائي يبلغ اعلى ارتفاع له 270 م وادنى ارتفاع 5 م ويبلغ طوله 145 كم؟

الحل: نوجد الفرق في الارتفاع 270 – 5 = 265 متر

نطبق معادلة نسبة التضرس 265 / 145 = 1.82 متر لكل كيلومتر.

2- المعامل الهبسومتري Hypsometric Index:

يعد المعامل الهبسومتري مقياساً للمراحل الحتية التي تمر بها الأحواض المائية أو اي جزء من اجزائها خلال مدة زمنية. ويمكن الاستدلال من هذا المعامل على المراحل المورفولوجية التي وصل اليها الحوض كلياً أو اية تباينات اخرى في اجزاء الحوض ذاته، ومع استمرار الدورة الحتية يحدث تناقص في قيمة المعامل الهبسومتري. وان الأجزاء التي تمتاز بانحدارات شديدة تدل على ان المنطقة في مرحلة الشباب، بينما الأجزاء التي يكون فيها الانحدار قليلاً تدل على ان المنطقة في مرحلة الشيخوخة من الدورة الحتية (العذاري، 2005، 149).

يتم استخراج المعامل الهبسومتري من خلال المعادلة الآتية:- (القرالة، 2005، 177).

المعامل الهبسومتري = الارتفاع النسبي للحوض / المساحة النسبية للحوض

والارتفاع النسبي = النسبة بين ارتفاع اي خط كنتوري مختار (م) / اقصى ارتفاع في الحوض (م)

$$\text{المساحة النسبية للحوض} = \frac{\text{النسبة بين المساحة المحصورة بين اي خط كنتوري ومحيط الحوض}}{\text{المساحة الكلية لنفس الحوض كم}^2}$$

يمكن احتساب المعامل الهبسومتري بعد تحديد قيم الارتفاع النسبي وما يقابلها من مساحات نسبية لعدد من خطوط الكنتور الممثلة لمناسيب الحوض المائي الممتدة ما بين منطقة المنابع وبيئة المصب على مربع يبلغ طول ضلعه 10 سم مثلاً بحيث يشكل كل 1سم 10٪ من الارتفاع النسبي الذي تحدد قيمه على المحور العمودي من المربع، والمساحة النسبية التي تحدد قيمها على المحور الافقي من المربع. وبعد وصل نقاط التقاطع لكل من المتغيرين تحسب المساحة التي تقع اسفل المنحنى الهبسومتري ويعادل ذلك المعامل الهبسومتري للحوض المائي.

تكتسب الخصائص التضاريسية اهميتها من خلال انعاكسها لبعض العوامل البيئية والحوضية السائدة أو الماضية، فضلاً عن علاقتها المتبادلة مع الخصائص الاخرى.

أ- الخصائص التضاريسية ودلالاتها البيئية والحوضية:

- نوعية الصخور:

تعد الأحواض المائية التي تسودها صخور صلبة اشد تضرساً وانحداراً، ويكون معاملها الهبسومتري اعلى من تلك الأحواض التي تسودها صخور ضعيفة، ويصبح الانحدار اكثر تجزؤاً وأقل انتظاماً من تنوع الصخور في الحوض المائي.

- الدلالات البنائية:

تختلف الخصائص التضاريسية للأحواض المائية تبعاً لنوعية وتركيز الحركات التكتونية وبصورة عامة فان الارتفاع التكتوني في بيئة المنابع أو الهبوط التكتوني في

بيئة المصب يؤديان إلى زيادة كل من التضرس ودرجة الانحدار ويحافظان على ارتفاع معاملها الهبسومتري.

- الدلالات المناخية:

تكون الأحواض المائية في الأقاليم المناخية الجافة اعلى تضرساً واشد انحداراً وذات معامل هبسومتري اعلى من نظيراتها في الأقاليم المناخية الرطبة.

- دلالات الزمن:

مع استمرار عمليات الحت لفترات زمنية طويلة، تنتقل الأنهار في احواضها المائية من مرحلة الشباب فالنضج فالشيخوخة. ويرافق ذلك تناقص متزايد في كل من التضرس والانحدار والمعامل الهبسومتري.

ب- **العلاقات التضاريسية الحوضية:** ترتبط الخصائص للأحواض المائية بعدد من الخصائص الحوضية الاخرى ومن امثلة ذلك ما يأتي:-

* تنشأ علاقة ارتباط عكسية بين التضرس والانحدار من جهة وبين المساحة الحوضية وطول الحوض من جهة اخرى، فيما تصبح هذه العلاقة طردية بالنسبة للمعامل الهبسومتري.

* تؤدي زيادة التضرس وزيادة الانحدار إلى زيادة الكثافة التصريفية Drainage density والتكرار النهري وعمق الروافد والتصريف المائي والقوة الحتية والناتج الرسوبي للأنهار، مما يحقق زيادة تابعة في وعورة السطح ومعدل التشعب النهري والرتب النهرية.

* تؤدي زيادة التضرس ودرجة انحدار الحوض إلى زيادة نشاط الأنهار في الحت والنقل بحيث تتزايد السعة والكثافة النهرية ومسافة نقل الرواسب، مما ينجم

عنه اشكال ارسابية اكثر اتساعاً وابعد مسافة وأقل تضرساً وذات رواسب اكثر نعومة (سلامة، 2010، 183-185).

رابعاً: خصائص الشبكة المائية للحوض

يمكن دراسة الشبكة المائية الحوضية من خلال عدد من الخصائص التي تعتبر متداخلة ومندمجة في النظام الحوضي الموحد وتشتمل تلك الخصائص على ما يأتي:-

1- طول الشبكة المائية Stream Length: تقاس اطوال الشبكة المائية الحوضية من خريطة التصريف باستعمال عجلة القياس ويعبر عنها بالكيلومتر أو الميل.

2- كثافة التصريف Drainage Density: يقصد بها درجة التفرع وانتشار الشبكة النهرية ضمن مساحة محددة وتقاس كثافة التصريف من خلال قسمة مجموع اطوال الشبكة المائية على المساحة الكلية للحوض وكما في العلاقة الرياضية الآتية:- (Strahlar, 1965, 491).

مجموع اطوال الشبكة المائية (كم) / المساحة الحوضية (كم^2)

فاذا كانت نتيجة المعادلة 4 فأقل فان الكثافة منخفضة، 5-12 متوسطة، اكثر من 12 عالية.

مثال: ما كثافة التصريف لحوض مائي مساحته 2952 كم^2 ومجموع اطوال شبكته المائية 3028 كم؟

الحل: كثافة التصريف = 3028 / 2952 = 1.02 كم /كم^2 اي انها منخفضة.

لكثافة تصريف الحوض المائي اهمية كبيرة من الناحيتين المورفولوجية والهيدرولوجية، حيث تدل على طبيعة جريان المياه السطحية في الحوض التي تتأثر بطبيعة الصخور والانحدار والغطاء النباتي وشدة التساقط. وان المنطقة التي يكون نسيج نمط تصريفها خشناً، تكون كثافتها التصريفية منخفضة، اذ أن الصخور التي نفاذيتها عالية يكون نسيجها خشناً وبالتالي تقل كثافتها التصريفية مع مراعاة عامل انحدار سطح الأرض الذي له تأثير كبير في كثافة التصريف. أما المنطقة التي يكون نمط تصريفها ناعماً فان كثافتها التصريفية تكون عالية (Easterbrooke, 1969, 462).

3- معدل التكرار النهري Stream Frequency: يقصد بمعدل التكرار النهري النسبة بين عدد الروافد المائية لجميع الرتب لحوض مائي معين إلى مساحة حوض التغذية. يرتفع معدل التكرار النهري في المناطق التي تكون صخورها ذات نفاذية واطئة وتكون انحداراتها شديدة، فيما يقل في المناطق التي تكون صخورها ذات نفاذية عالية. ويتم حسابه من خلال العلاقة الرياضية الآتية:

معدل التكرار النهري (نهر/كم^2) = عدد المجاري المائية لجميع الرتب/ مساحة حوض التغذية كم^2

مثال: ما معدل التكرار النهري لحوض التغذية الذي تبلغ مساحته 2952 كم^2 وعدد مجاريه المائية 4070؟

الحل: 4070 / 2952 = 1.38 نهر/كم^2، مما يعني قلة معدل التكرار النهري وقد يعود السبب إلى قلة تساقط الامطار أو الجريان فوق صخور شديدة الصلابة.

4- متوسط طول المجرى: يمكن استخراجه وفقاً للمعادلة الآتية:-

متوسط طول المجرى = كثافة التصريف / التكرار النهري

وفي الامثلة السابقة كانت كثافة التصريف 02. 1 والتكرار النهري 38. 1 وعليه فان متوسط طول المجرى = 02. 1 / 38. 1 = 73. 0

5- معدل بقاء المجاري المائية: يشير معدل بقاء المجرى المائي إلى متوسط الوحدة المساحية اللازمة لتغذية مرتبة طولية واحدة من مراتب شبكة تصريف اي حوض، وكلما اتسعت مساحة الحوض على حساب الروافد المائية القصيرة الطول فان ذلك يدل على زيادة قيمة الناتج، مما يؤدي إلى ابتعاد المجاري المائية عن بعضها البعض. ويمكن استخراجه بتطبيق المعادلة الآتية:- (الجوهر، 2011، 192).

معدل بقاء المجرى = مساحة الحوض(كم^2)/ مجموع اطوال المجاري المائية(كم)

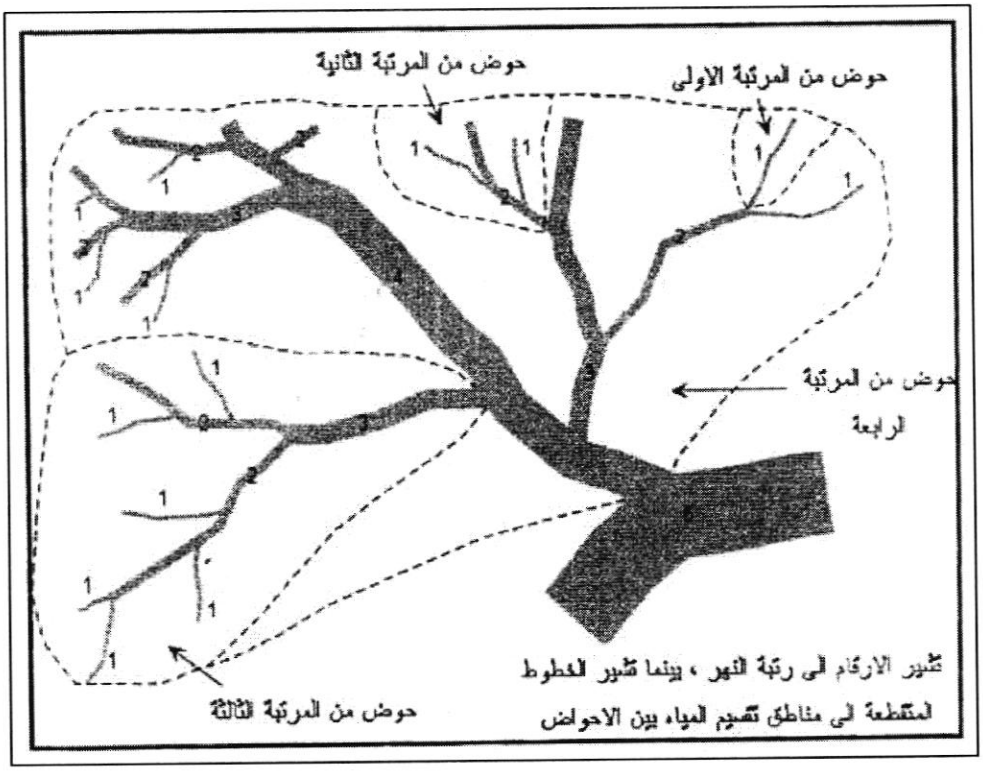
فاذا كان مجموع اطوال المجاري المائية 8. 1950 كم ومساحة الحوض 25. 2400 كم^2 فما مدة بقاء المجرى؟

الحل: 25. 2400 / 8. 1950 = 23. 1 كم^2 / كم

6- المراتب النهرية Stream Orders: تفسر دراسة الروافد المائية بحسب مراتبها وحجمها وصلتها ببعضها داخل الحوض، معرفة حجم التصريف المائي وعلاقتها في زيادة عمليات الحت والترسيب في الحوض. وهناك طرائق عديدة اقترحت لتحديد المراتب النهرية، وتعد طريقة ستريلر Strahlar عام 1952 الاكثر تطبيقاً في الدراسات الحوضية. وتتلخص هذه الطريقة في ان الروافد الصغيرة الأولية التي لاتتفرع منها ولا تصب فيها اية مسيلات اخرى تحتل المرتبة الاولى، ويتكون النهر من المرتبة الثانية من تجمع انهار المرتبة الاولى، وتتكون انهار من

المرتبة الثالثة من تجمع انهار من المرتبة الثانية، وتتكون انهار من المرتبة الرابعة من تجمع انهار من المرتبة الثالثة وهكذا. وكما يتضح من الشكل (41)

شكل (41) المراتب النهرية



7- نسبة التشعب النهري Bifurcation Ratio: يراد بنسبة التشعب النهري النسبة بين اعداد المجاري المائية لرتبة اعلى إلى عدد المجاري المائية التابعة إلى الرتبة التي تليها مباشرة. وتعد احد المقاييس المورفومترية المهمة التي تتحكم في معدل التصريف، ويصف التشعب النهري مدى الاندماج الذي تخضع له الروافد المائية مع زيادة رتبها النهرية، وعادة يتناقص عدد المجاري المائية مع تزايد رتبها بحيث يقتصر الأمر في النهاية على مجرى واحد من اعلى رتبة. ويعبر عن معدل التشعب النهري حسابياً بالآتي:- (الدليمي، 2011، 272).

نسبة التشعب النهري= عدد الروافد من رتبة عليا / عدد الروافد من الرتبة اللاحقة

مثال: من الجدول (3) اوجد نسبة التشعب.

جدول (3) نسب التشعب للمجاري المائية في احد الاحواض المائية

المرتبة	عدد المجاري المائية	نسبة التشعب
1	1812	4
2	446	5 .3
3	83	4 .3
4	19	6 .3
5	3	3
6	1	-

الحل: نسبة التشعب = 1812 / 446 = 4

446 / 83 = 5 .3

83 / 19 = 4 .3

19 / 3 = 6 .3

3 / 1 = 3

انماط التصريف النهري

تأخذ شبكة التصريف النهري لاية منطقة شكلاً خاصاً يعرف بنمط التصريف الذي يقصد به الوضع الذي تبدو فيه مجاري وديان الأنهار من خلال المرئيات الفضائية والصور الجوية، أو عندما ترسم على خريطة تلك المنطقة. وتؤثر في هذا الوضع نوعية المناخ السائد وطبيعة التضاريس فضلاً عن نوعية الصخور. وفيما يأتي الأنماط الشائعة للتصريف النهري التي يوضحها الشكل (42):-

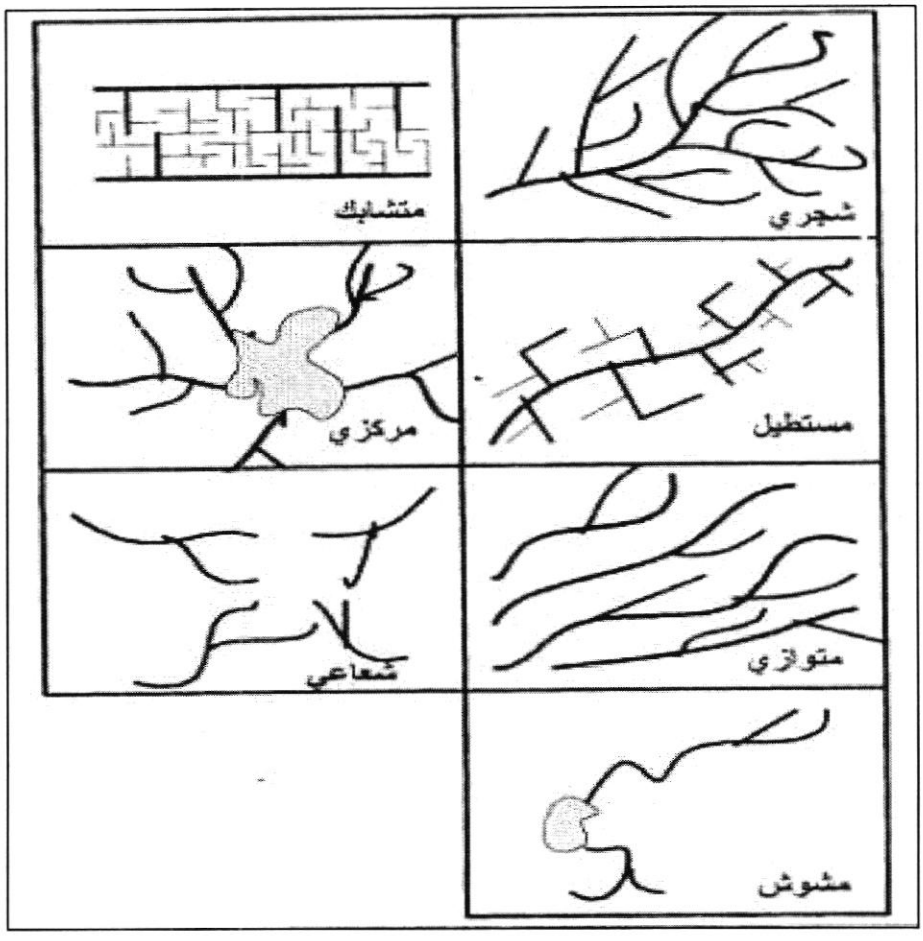
1- نمط التصريف الشجري Dendritic drainage pattern: يرتبط وجود هذا النمط بالمناطق التي تكون صخورها متجانسة وذات تضاريس واطئة كأن تكون سطح هضبة أو منطقة سهلية. تبدو الأنهار في هذا النمط وكأنها تفرعات اغصان الاشجار، وتلتقي الروافد بالنهر الرئيس بزاوية حادة تصل إلى حوالي 70°. ويتكون نمط التصريف النهري الشجري في المناطق التي تتكون من صخور رسوبية افقية أو فوق تكوينات نارية تغطي مساحة واسعة. وتختلف كثافة التفرع النهري في هذا النمط تبعاً لدرجة صلابة الصخور ومساميتها وتبعاً لكمية الأمطار، اذ تزداد كثافة التفرع كلما كانت الصخور قليلة الصلابة، ويقل التفرع في مناطق الصخور الصلبة المقاومة، ويزداد التفرع في المناطق التي تزداد فيها كمية التساقط ويحدث العكس في المناطق التي تقل فيها كمية التساقط.

2- نمط التصريف المتوازي Parallel drainage pattern: يتكون هذا النمط من التصريف في مناطق السطوح المائلة، كما يتكون تبعاً للظروف الصخرية والتكتونية التي تؤدي إلى تشكيل مجاري نهرية طولية متوازية.

3- نمط التصريف الشبكي Trellis drainage pattern: يتطور نمط التصريف الشبكي في مناطق الطيات، وتتألف المجاري النهرية في هذه الحالة من انهار طولية متوازية تتجه مع امتداد ميل الطبقات وتتصل الأنهار بروافدها بزوايا

قائمة بحيث يسير اتجاه النهر الرئيس موازياً لاتجاه ميل الطبقات، كما تظهر الروافد الثانوية موازية لاتجاه النهر الرئيس. ويتكون نمط التصريف الشبكي في الأماكن التي تتكون من صخور طباقية مائلة وتتميز بتعاقب تكوينات لينة مع اخرى صلبة (صفي الدين، 1971، 196)

شكل (42) انماط التصريف النهري



4- نمط التصريف المستطيل Rectangular drainage pattern:
يشبه هذا النوع من التصريف النوع الشبكي، حيث تلتقي الروافد الثانوية في حوض النهر بالمجرى الرئيس بزاوية قائمة، الا انه يختلف عنه من حيث العوامل التي ادت إلى تكوينه، اذ تتشكل مجاري التصريف المستطيل بواسطة فتحات المفاصل والصدوع التي توجد في طبقات الصخور التي تشقها هذه المجاري النهرية (ابو العينين، 1981، 466).

5- نمط التصريف الشعاعي Radial drainage pattern: يتمثل هذا النمط من التصريف فوق انواع مختلفة من التضاريس، حيث تجري الروافد من منطقة مركزية إلى الخارج في جميع الاتجاهات كما هو الحال في المخاريط البركانية والتراكيب القبابية في الصخور الرسوبية. (السنوي وآخرون، 1979، 234).

6- نمط التصريف المركزي Centripetal drainage pattern: يشبه نمط التصريف المركزي النمط السابق (الشعاعي)، الا أن الروافد تتدفق باتجاه مركز المنخفض. ويتمثل هذا النمط في الأجزاء الغربية والجنوبية الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية حيث تتميز الأحواض هنا بالصرف الداخلي **(الدراجي، 2010، 132)**.

7- نمط التصريف المشوش Deranged: يتميز هذا النمط من التصريف بعدم انتظام المجاري النهرية التي تكون حديثة التكوين لم تمض عليها مدة كافية تؤدي إلى اكتمالها. ويتمثل هذا النمط في المناطق شبه الجليدية، وكثيراً مايخترق المجرى النهري مساحات واسعة تغطيها المستنقعات والبحيرات الضحلة التي تتكون بعد ذوبان الجليد.

الفصل العاشر

المياه الجوفية
وتأثيرها في تشكيل مظاهر
الكارست

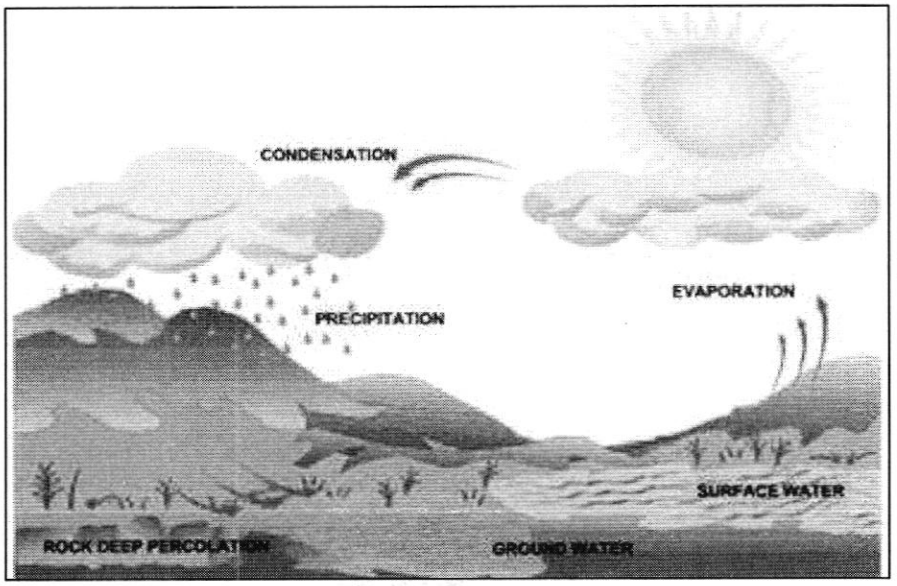
الفصل العاشر

المياه الجوفية وتأثيرها في تشكيل مظاهر الكارست

المياه الجوفية

يقصد بالمياه الجوفية Ground water تلك المياه الموجودة تحت سطح الأرض التي تتغلغل بين الشقوق الصخرية ومسامات التربة. وتعد جزءاً من دورة المياه في الطبيعة كما يتضح من الشكل (43)، اذ ان الأمطار التي تهطل على سطح الأرض ومياه الثلوج الذائبة يتغلغل قسم منها داخل التربة مكوناً المياه الجوفية التي تتجمع في خزانات خاصة، حيث تمتلئ المسامات والفراغات الصخرية لهذه الخزانات بتلك المياه. تنتقل المياه الجوفية ببطئ لمسافات بعيدة في بعض الاحيان ويعود قسماً منها إلى سطح الأرض عن طريق الينابيع والبحيرات. وتعتمد حركة المياه الجوفية اعتماداً كلياً على نفاذية الصخور والميل الهيدروليكي (الانحدار)، فكلما زادت النفاذية والميل ازدادت سرعة المياه الجوفية والعكس صحيح. وقد لوحظ ان سرعة المياه الجوفية هي أقل بكثير من سرعة المياه السطحية، اذ تتراوح سرعتها ما بين حوالي متر واحد في اليوم إلى متر واحد في السنة، وتصل في الطبقات الرملية إلى حوالي 15 متراً سنوياً (الانصاري، 1979، 127).

شكل (43) المياه الجوفية جزء من دورة المياه في الطبيعة



مصادر المياه الجوفية

يمكن حصر المصادر الرئيسة للمياه الجوفية بما يأتي:-

1- المياه الجوية Meteoric water: تعد المياه الجوية اهم مصادر المياه الجوفية، وتشتمل على المياه التي تتواجد في الجو وعلى سطح الأرض، اذ يتغلغل قسم من مياه الامطار المتساقطة على سطح الأرض ومياه الثلوج الذائبة إلى الداخل حتى تصل إلى خزانات المياه الجوفية Aquifers ويرجع قسم آخر إلى الجو ثانية عن طريق التبخر، فيما يجري القسم الثالث على سطح الأرض مكوناً الروافد والأنهار، ويتغلغل قسم من مياه تلك الروافد والأنهار ليصل إلى خزانات المياه الجوفية (الشكل 43).

2- الماء الخلقي **Connate water**: تتواجد هذه المياه داخل الفجوات الموجودة في التكوينات الرسوبية التي تكونت داخل الأجسام المائية كالبحيرات والبحار، ويطلق عليها احياناً اسم الماء الحفري Fossil وتحتوي على نسبة عالية من الأملاح الذائبة.

3- المياه الحديثة **Juvenile water**: تشتمل هذه المياه على المياه الصهيرية Magmatic التي تنشأ من بعض معادن الصخور التي تحتوي على الماء في تركيبها والتي تطلقه عندما تنصهر من جراء عمليات أرضية باطنية، ثم تبدأ بالارتفاع نحو سطح الأرض حيث ينتشر ذلك الماء داخل المسامات والشقوق الموجودة في الصخور المجاورة. كما تشتمل على المياه المصاحبة للنشاط البركاني والمياه الكونية التي تصل مع النيازك المتساقطة على سطح الأرض، فضلاً عن المياه المتجددة التي ترافق عمليات التماسك لحبيبات الرواسب وكذلك التي ترافق عملية التحول التي تتعرض لها الصخور.

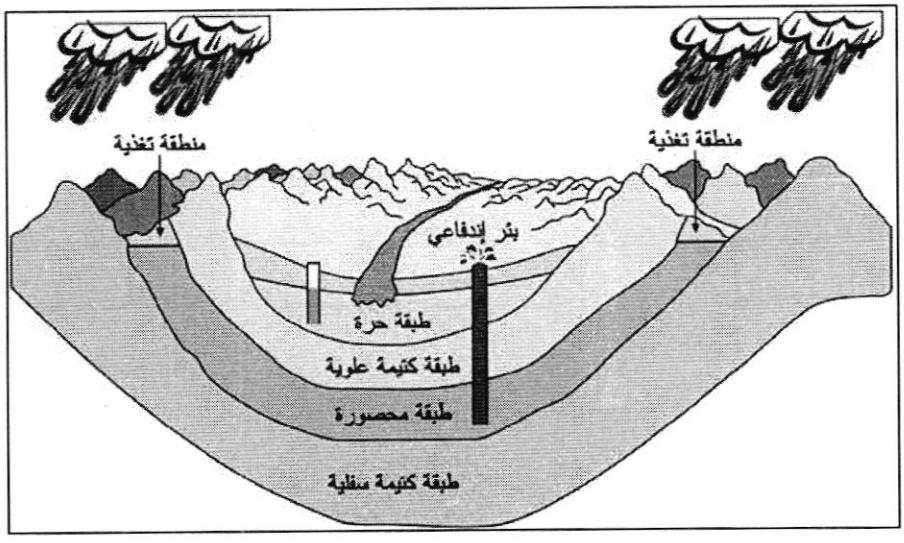
خزانات المياه الجوفية Aquifers

يطلق على الأماكن الموجودة تحت سطح الأرض التي تحتوي على كميات كبيرة من المياه الجوفية تسمية خزانات المياه الجوفية، وتكون عادة محصورة من الأسفل بطبقات غير مسامية لاتسمح بتسرب المياه إلى الأسفل. وتقسم هذه الخزانات إلى ما يأتي:- كما في الشكل (44).

1- خزانات المياه الجوفية المحصورة: تكون المياه الجوفية في مثل هذه الخزانات محصورة في طبقة مسامية محاطة من الأعلى ومن الأسفل بطبقتين غير مساميتين لاتسمحان بحركة المياه إلى الأعلى أو إلى الأسفل. وتتزود هذه الخزانات بالمياه من

المناطق التي تتعرض منها طبقات الخزان إلى السطح أو من الأجزاء المغطاة بطبقة مسامية تسمح بمرور المياه خلالها إلى طبقات الخزان، وتسمى بمنطقة التطعيمRecharge Area 2- خزانات المياه الجوفية غير المحصورة: يتواجد الماء في هذا النوع من الخزانات بصورة حرة، حيث تكون الخزانات محصورة من الأسفل بطبقة غير مسامية وغير نفاذة ويحدها من الأعلى منسوب المياه الجوفية.

شكل (44) اشكال الطبقات الحاملة للمياه الجوفية



تخرج المياه الجوفية إلى سطح الأرض على شكل عيون وينابيع أو عن طريق الآبار الارتوازية والاعتيادية، فضلاً عن النافورات الحارة.

العوامل المؤثرة في مستوى المياه الجوفية

يطلق على السطح العلوي للماء الجوفي اسم مستوى الماء الجوفي، حيث تكون كافة الشقوق والمفاصل والمسامات التي توجد في الصخور التي تقع اسفله مشبعة به. ويتقوس مستوى الماء الجوفي نحو الأعلى تحت المناطق المرتفعة مثل

التلال والجبال والهضاب، ويكون مشابهاً في امتداده تقريباً لطبيعة السطح الذي يقع فوقه. يتغير مستوى الماء الجوفي تحت تأثير عوامل عديدة لعل ابرزها ما يأتي:-

1- كمية الأمطار: ثمة علاقة وثيقة بين كمية الأمطار المتساقطة ومستوى المياه الجوفية، اذ كلما ازدادت كمية الأمطار وكمية مايتسرب منها عبر الشقوق والمسامات ارتفع مستوى المياه الجوفية، فيما ينخفض مستواها عندما تقل كمية الأمطار. ويرتفع منسوبها في مواسم تساقط الأمطار وينخفض في مواسم الجفاف.

2- الجريان السطحي: يعتمد قسم من الأنهار في تغذيته على المياه الجوفية، في حين توجد انهار تغذي المياه الجوفية، وهناك نوع ثالث من الأنهار يجمع كلتا الحالتين، ففي حالة تغذية المياه الجوفية من مياه النهر عندما يزداد تصريفه في موسم الفيضان يرتفع مستوى الماء الجوفي، وعندما يحدث العكس في موسم الجفاف، حيث تتحرك المياه الجوفية باتجاه النهر وتغذيه فان منسوبها ينخفض.

3- التبخر: تتعرض المياه الجوفية إلى التبخر اذا كان مستواها قريباً من سطح الأرض، حيث تتحرك باتجاه ذلك السطح بفعل الخاصية الشعرية، مما يسبب انخفاض مستوى الماء الجوفي. أما اذا كانت بعيدة عن سطح الأرض فينعدم تبخرها تقريباً.

4- ان استخدام المياه الجوفية للأغراض المختلفة بصورة مفرطة يؤدي إلى انخفاض منسوبها. كما يتأثر مستوى المياه الجوفية القريبة من البحار بظاهرة المد والجزر.

تأثير المياه الجوفية في تشكيل مظاهر الكارست

اشير سابقاً إلى ان قسماً من مياه الأمطار يتغلغل عبر المسامات والشقوق والمفاصل مكوناً المياه الجوفية، لذا فان تلك المياه تحتوي على نسبة من ثاني اوكسيد الكاربون المذاب الذي يكون مصدره من الهواء ومن تفسخ النباتات في التربة. ومن المعروف ان غاز ثاني اوكسيد الكاربون عندما يتحد مع الماء يكون حامض الكاربونيك الذي يساعد المياه الجوفية على اذابة الصخور وبخاصة الصخور الجيرية التي تحتوي على معدن الكالسايت الذي يتكون كيميائياً من كاربونات الكالسيوم التي يسهل على الأحماض اذابتها.

على الرغم من ان الصخور الجيرية واسعة الانتشار على سطح الأرض الا أن مظاهر الكارست تسود في الاقاليم التي يظهر فيها التأثير الكيميائي للمياه الجوفية بصورة واضحة والتي تتكون من صخور جيرية قريبة من سطح الأرض. وتطلق تسمية الكارست نسبة إلى شبه جزيرة كارست في يوغسلافيا السابقة التي تسود فيها مظاهر الكارست، وفضلاً عن ذلك فان هذه المظاهر تنتشر في مناطق اخرى من العالم مثل أقليم الكوس Causse في جنوب فرنسا ومنطقة الاندلس في اسبانيا، وفي جامايكا وشمال بورتوريكو وغرب كوبا وفي وسط غينيا الجديدة وجنوب غرب سيليبس في جنوب شرق آسيا، وفي مقاطعة نيوساوث ويلز ومقاطعة غرب استراليا، وفي الولايات المتحدة الأمريكية (ثورمبري، 1975، 4).

الظروف الملائمة لتكوين مظاهر الكارست

ينبغي ان تتوفر ظروف معينة في أقليم ما حتى تتكون مظاهر الكارست ومن ابرز تلك الظروف ما يأتي:- (Thornbury, 1969,306).

1- ضرورة وجود تكوينات صخرية قابلة للذوبان بالقرب سطح الأرض وبخاصة الصخور الجيرية التي تكون درجة مساميتها غير عالية، الا انها كثيرة الشقوق والمفاصل، مما يجعل عملية الاذابة التي تحصل فيها مركزة في مناطق الشقوق والمفاصل التي يكون نفاذ الماء الجوفي فيها اكثر سرعة من بقية اجزاء الصخور الجيرية، وعليه فان الصخور الجيرية تختلف عن الصخور الطباشيرية الشديدة المسامية التي تسمح للماء ان ينفذ من خلال كل اجزاء سطحها بصورة متساوية، بحيث تكون عملية الاذابة التي تتعرض اليها غير مركزة على جزء معين فلا تنشأ فوقها المظاهر الكارستية.

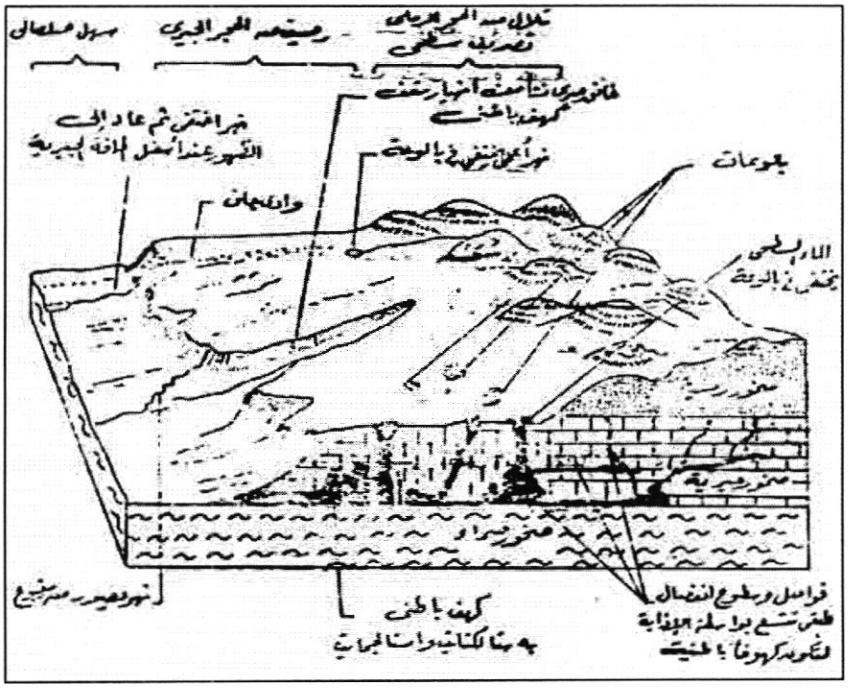
2- يجب تساقط كميات غزيرة أو متوسطة من الأمطار كما في المناطق الرطبة وشبه الجافة بحيث تساعد على تكوين مياه جوفية وفيرة، لذا فان مظاهر الكارست يندر تكونها في الأقاليم الجافة، وفي حالة وجودها في تلك الأقاليم فهذا يعني انها نشأت في ظل ظروف مناخية مطيرة كانت سائدة ابان عصر البلايوستوسين.

الأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للمياه الجوفية

تعد الصخور الجيرية صخوراً مثالية يتضح فيها تأثير المياه الجوفية في تشكيل مظاهر متنوعة فوق سطح القشرة الأرضية مثل البالوعات والكهوف والمجاري الجوفية وغيرها وكما يتبين من الشكل (45). وفيما يأتي عرض موجز للأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للمياه الجوفية التي تشتمل على:-

1- الأسطح الجيرية المضرسة: وهي عبارة عن اسطح الطبقات الجيرية التي تظهر فيها الثقوب والخطوط الغائرة وتصبح مقطعة ووعرة. فعندما تتسرب مياه الأمطار إلى جوف الصخور الجيرية السميكة ينجم عن ذلك حدوث عمليات تحلل وذوبان بقدر كبير للمواد الجيرية، مما يؤدي إلى توالي فتحات الشقوق والفواصل وبالتالي تزداد شدة تضرس السطح تبعاً لتقطع الكتل الصخرية بواسطة الفتحات الواسعة للشقوق. وعليه يتشكل سطح الصخور الجيرية بجزوز عميقه تشبه التجويفات الطولية للمسيلات المائية الجبلية، تعمل على شدة تضرس السطح وتقطعه. وتعرف هذه الظاهرة باسماء محلية مختلفة، حيث يطلق عليها اسم البوجاز Bogas في سيبريا ويوغسلافيا السابقة واسم الكارن Karren في المانيا واسم اللابيه Lapies في فرنسا (ابو العينين، 1981، 501).

شكل (45) الاشكال الأرضية في منطقة كارستية



2 - الحفر البالوعية والأودية الطولية الجيرية Sink holes & Poljes:

تعد الحفر البالوعية من اكثر المظاهر الجيومورفية انتشاراً في اقاليم الكارست، وتوجد هذه الحفر باعداد كبيرة في مناطق التكوينات الجيرية، وتختلف فيما بينها من حيث المساحة والعمق والشكل ومعظمها ذات شكل قمعي بحيث تصل إلى اقصى اتساع لها فوق سطح الأرض وتزداد ضيقاً كلما تعمقت فيها. ويمكن ان نميز نوعين رئيسين من الحفر البالوعية يطلق على النوع الأول بالوعات الاذابة Solution sinks التي تتكون ببطئ ملحوظ تبعاً لفعل عملية اذابة الصخور واتساع فتحات الشقوق الصخرية، مما ينجم عنه هبوط الطبقة العليا من السطح وتبدو على شكل منخفض شبه مروحي، تتميز الطبقة العليا من هذا المنخفض باحتوائها على ارسابات من التربة تساهم في تكوين غطاء نباتي ينمو عادة في مثل هذه التربة الجيرية.

أما النوع الثاني الذي يعرف بالبالوعات الانهيارية Collapes sinks فهي أقل شيوعاً وتتكون تبعاً لعمليات انهيار الصخور الجيرية السطحية. وقد تلتحم بالوعتان مع بعضهما بسبب تعرضهما للانهيار فتتكون بالوعات مركبة Compound sinks. وفي حالة كون عملية الهبوط شديدة وتحدث بصورة مستمرة فقد تساعد على تكوين منخفضات أو احواض طولية ذات جوانب حائطية شديدة الانحدار تعرف باسم الأودية الطولية الجيرية يطلق عليها اسم البولي Poljeوهي تسمية يوغسلافية. وتصل مساحة بعض احواض البولي المثالية إلى عدة اميال مربعة، ويوجد عدد كبير منها في غرب يوغسلافيا السابقة (صفي الدين، 1979، 253).

3- المجاري الجوفية Subterranean Streams: تساهم في نشأة هذه الظاهرة كل من الحفر البالوعية والأودية الطولية الجيرية، فعندما تغور مياه نهر صغير في احدى البالوعات قد يظهر جزء منه فوق السطح ويختفي الجزء الآخر تحت السطح، وقد يظهر هذا الجزء فوق السطح مرة اخرى عندما يكون منسوب مجرى النهر الجوفي مع مستوى سطح الأرض. ويتكون بهذه الطريقة ما يعرف باسم المجاري الجوفية أو المجاري المفقودة Lost rivers. أما الأودية العمياء Blind valleys فيقصد بها تلك المجاري السطحية التي تجف مياهها تبعاً لتغلغلها في جوف الصخر وتحولها إلى مجاري جوفية، واذا امتلأت هذه الأودية العمياء بالمياه من جديد عقب فترة من تساقط الأمطار الغزيرة قد ينجم عنها حدوث فيضانات قوية تهدد المناطق السكنية في اماكن الكارست الجيرية (الدراجي، 2010، 188).

4- الكهوف Caves: تعد الكهوف ممرات طبيعية عظيمة الاتساع تمتد تحت سطح الأرض في جوف الصخور الجيرية العظيمة السمك على شكل فتحات أو فجوات عظمى ذات امتداد افقي أو رأسي.

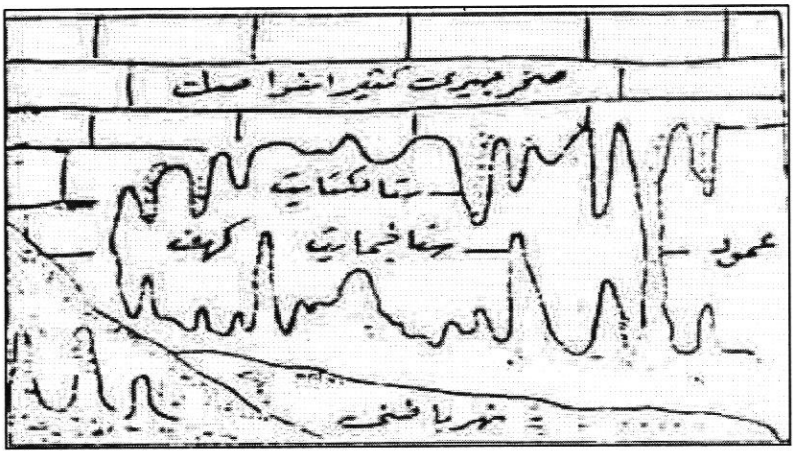
وتتباين الكهوف في اعماقها فبعضها يتكون قريباً من سطح الأرض، بينما يتكون البعض الآخر على اعماق بعيدة عن سطح الأرض. تنشأ الكهوف عن حركة المياه الجوفية خلال المفاصل والشقوق وسطوح الانفصال بين الطبقات الصخرية، مما يؤدي إلى تركز عملية الاذابة في تلك الجهات من الصخور الجيرية، ويزداد فعل المياه الجوفية عندما تغزر الأمطار المتساقطة مكونة المجاري الجوفية التي تعمل على توسيع المفاصل والشقوق وسطوح الانفصال عن طريق الاذابة والنحت مكونة الكهوف الشكل (46)

شكل (46) احد الكهوف

ويستمر الماء الجوفي في توغله نحو الأسفل خلال تلك المفاصل والشقوق إلى ان تتوقف عملية الاذابة بسبب وجود طبقات صخرية غير مسامية، حيث يتحرك الماء بعدها افقياً مع الاتجاه العام لحركة المياه الجوفية في المنطقة وتتحول عملية الاذابة نحو ذلك الاتجاه.

تتطور ممرات الكهوف من جراء عملية الاذابة التي تقوم بها المجاري الجوفية ومن جراء قوة الحت التي تقوم بها تلك المجاري وبنفس الطريقة التي تقوم بها المياه السطحية الجارية، ومما يعزز تلك الحقيقة وجود بعض رواسب الطين والغرين في قيعان تلك المجاري الجوفية. وتكون الممرات الموجودة داخل الكهوف من نوعين: الاولى تسلك المفاصل العمودية والثانية تسلك مناطق الانفصال بين سطوح الطبقات الصخرية، وتكون الاولى عالية وضيقة فيما تكون الثانية منخفضة وواسعة، ويتحور كلا النوعين من خلال عملية تساقط الحطام الصخري المستمرة من سقوف وجدران تلك الممرات (كربل، 1986، 331). تتواجد الكهوف في عدد من دول العالم منها الولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا وفرنسا والنمسا وسويسرا ويوغسلافيا السابقة ولبنان وليبيا وغيرها. ويوضح الشكل (47) مخطط داخلي لاحد الكهوف.

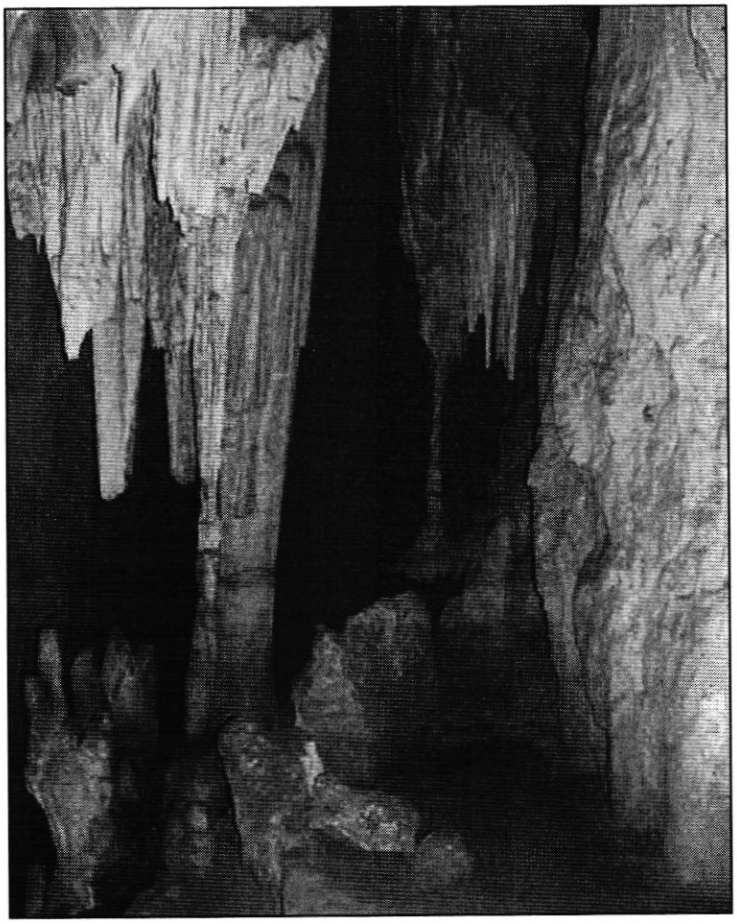
شكل (47) مخطط داخلي لكهف



لايقتصر عمل المياه الجوفية داخل الكهوف على الاذابة والحت، بل ان المجاري الجوفية تنقل معها اثناء تسربها في الشقوق كميات كبيرة من المواد التي ترسبها في المقعرات السطحية لأرضية هذه الكهوف، ومن بين تلك الرواسب الغرين الجيري الذي يعد من اهم مصادر رواسب النترات. ومن مظاهر الترسبات الكلسية التي تحدث داخل الكهوف ظاهرة الأعمدة الصاعدة ستلكمايت **Staalgmites** والأعمدة النازلة ستلكتايت **Stalactites** التي يوضحها الشكل (48). تنشأ الأعمدة الصاعدة نتيجة تساقط القطرات المائية من سقوف الكهوف فوق أرضيتها وبعدما تتبخر تلك القطرات تترك ماتحتويه من كاربونات الكالسيوم الذائبة فيها على أرضية الكهوف، وبأستمرار هذه العملية تنموأعمدة صاعدة نحو الأعلى تتخذ اشكالاً مختلفة تبعاً إلى وضعية سقوط القطرات المائية من سقف الكهف. أما الأعمدة النازلة فانها تنشأ من خلال تبخر القطرات المائية المترشحة من سقف الكهوف وهي لاتزال ملتصقة بالسقف دون ان تسقط، وبمرور الزمن تتراكم كاربونات الكالسيوم وتحولها إلى اعمدة نازلة من سقوف الكهوف. وفي

بعض الأحيان يتقابل العمود الصاعد مع العمود النازل فيتكون عموداً واحداً يطلق عليه العمود الجيري Travertine Piller. وهناك مجموعة من الأعمدة الجيرية تتجه في نموها اتجاهاً افقياً أو مائلاً يطلق عليها اسم الأعمدة المائلة Helictites. وتنتشر الأعمدة الصاعدة والنازلة في عدد من الكهوف في الولايات المتحدة الامريكية وجنوب ووسط فرنسا (Monkhouse,1975,124).

شكل (48) الأعمدة الصاعدة والأعمدة النازلة



5- التلال المنعزلة والغابات الحجرية Monadnocks & Stone forests: بعد ان تعمل المياه الجوفية على اذابة اجزاء واسعة من المناطق الجيرية قد تبقى فوق السطح بعض الكتل الجيرية التي استطاعت ان تقاوم عمليات الاذابة والتحلل بسبب شدة صلابتها النسبية، ويطلق على تلك الكتل اسم التلال المنعزلة التي تعرف باسماء محلية مختلفة، اذ يطلق عليها في يوغسلافيا السابقة اسم همز Hums وفي جزيرة كوبا اسم موجوتز Mogotes. وتختلف هذه التلال من أقليم إلى آخر من حيث ارتفاعها واشكالها، وقد يصل ارتفاع البعض منها إلى 20متراً فوق سطح الأراضي المجاورة.

وعندما تتكون مجموعات متجاورة من التلال الصخرية الجيرية تبعاً لتعرض الحافات الجيرية السابقة لفعل التجوية الكيميائية الشديدة تظهر التلال على شكل يشبه الغابات أو جذوع الأشجار العالية ولكنها من الحجر فيطلق عليها تعبير الغابات الحجرية Stone forests (ابو العينين، 1981، 505-507).

6- الجسور الطبيعية Natural Bridges: تتكون الجسور الطبيعية في المناطق الجيرية ذات الصخور العظيمة السمك والشديدة التقطع بفعل الشقوق الطولية والعرضية، فتعمل المياه على ذوبان الجير وتؤدي إلى تكوين حفر مختلفة وبالوعات اذابة متنوعة النشأة، وقد يؤدي اتصال عدد من بالوعات الاذابة أو احواض الاذابة الدائرية الشكل مع بعضها البعض إلى تكوين الجسور الطبيعية.

الدورة الجيومورفية في مناطق الكارست

اتضح لنا من خلال المظاهر الحتية والترسيبية المرتبطة بالكارست، ان المياه الجوفية هي العامل الرئيس في تشكيل تلك المظاهر في مناطق التكوينات الجيرية. تبدأ الدورة الجيومورفية للكارست باحدى طريقتين: تتمثل الطريقة الاولى في حدوث حركة رافعة في قشرة الأرض تؤدي إلى رفع منطقة تتكون من طبقات جيرية فوق مستوى القاعدة، ويتعرض سطح هذه المنطقة في نفس الوقت إلى عملية النحت النهري. وتتمثل الطريقة الثانية في ارتفاع منطقة ما فوق مستوى القاعدة بحيث تتألف من صخور حطامية تتواجدعلى سطح الأرض مباشرة وترتكزهذه الصخور على طبقات جيرية. وفي كلتا الحالتين تبدأ الدورة الجيومورفية بجريان المياه جرياناً سطحياً فوق سطح الأرض ثم يتحول الجريان السطحي إلى جريان باطني.

قسم الجيومورفولوجي اليوغسلافي يوفان شفييك مراحل الدورة الجيومورفية في مناطق الكارست إلى ثلاث مراحل رئيسة هي: مرحلة الشباب ومرحلة النضج ومرحلة الشيخوخة. تبدأ مرحلة الشباب بجريان المياه جرياناً سطحياً فوق صخور جيرية يكون مستواها أعلى من مستوى المياه الجوفية، وتظهر مثل هذه الصخور فوق مستوى سطح البحر اذا تعرضت قشرة الأرض إلى حركة رافعة، أو اذا ازالت عوامل النحت طبقات اخرى كانت تعلوها. وتبدأ في هذه المرحلة عملية توسيع وتعميق الشقوق والمفاصل التي توجد في التكوينات الجيرية، وتتكون في هذه المرحلة البالوعات ويتسرب جزء كبير من المياه السطحية إلى باطن الأرض عن طريق هذه البالوعات.

أما في مرحلة النضج تختفي المجاري المائية السطحية أو بعض أجزاء منها على الأقل وتنشط المجاري المائية الجوفية في عملية الحت وتتكون الكهوف التي تزداد

احجامها تدريجياً. وفي نهاية هذه المرحلة تنهار بعض اجزاء من سقوف الكهوف وتظهر فوق سطح الأرض التلال المنعزلة، وتتهدم وتنهار الكهوف وتنكشف المجاري السفلى تماماً.

وتتسم مرحلة الشيخوخة بتحول المجاري المائية الجوفية مرة اخرى إلى مجار سطحية بعد أن تتلاشى الكهوف وتتم ازالتها. وتظهر فوق سطح الأرض بعض التلال المنعزلة التي تعد بمثابة البقايا التي تخلفت عن التكوينات الجيرية التي مرت عليها دورة الكارست الجيومورفية (صفي الدين، 1979، 259-262).

الفصل الحادي عشر

الأمواج
وتأثيرها في تكوين
الأشكال الأرضية في
مناطق السواحل

الفصل الحادي عشر

الأمواج وتأثيرها في تكوين الأشكال الأرضية في مناطق السواحل

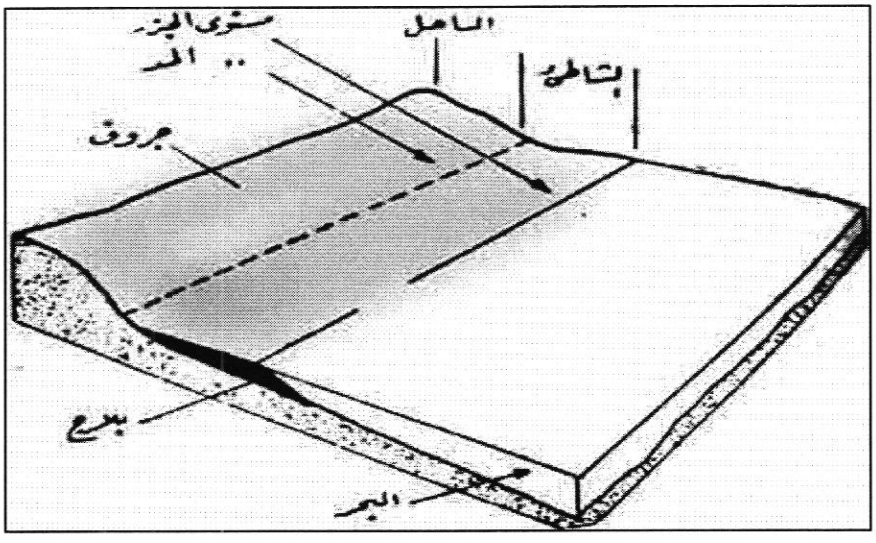
تؤثر في السواحل عمليات جيومورفية عديدة كالأمواج Waves والتيارات البحرية Currents وحركات المد Tide. وتعد الأمواج ابرز تلك العمليات واكثرها تأثيراً في المناطق الساحلية، لذا سيخصص هذا الفصل إلى تأثير الأمواج في تكوين المظاهر الأرضية الساحلية الناجمة عن عمليات الحت والترسيب التي تقوم بها. وقبل الخوض في تفاصيل الأمواج والمظاهر الجيومورفية الناجمة عنها ينبغي التعرف على عدد من المصطلحات ذات الصلة بموضوع جيومورفولوجية الساحل. فالساحل Coast يعني نطاق اتصال اليابس بالبحر، ويشمل الشاطئ Shore المساحة الواقعة بين الحوائط الصخرية المشرفة على البحر (الجروف البحرية) وادنى مستوى تصله مياه الجزر، واذا كان الساحل سهلياً يخلو من الجروف فان تعبير الشاطئ يطلق حينئذ على المساحة المحصورة بين اعلى حد تصله امواج العواصف القوية وبين ادنى منسوب تصله مياه الجزر. وينقسم الشاطئ إلى نطاقين يتمثل الأول بالشاطئ الأمامي Fore- shore ويمتد من ادنى منسوب لمياه الجزر إلى اعلى منسوب تصل اليه موجة المد، ويتمثل النطاق الثاني بالشاطئ الخلفي Back-shore الذي يمتد من اعلى منسوب تصله موجة المد إلى خط الساحل، ويمكن تعيين خط الساحل Coast line اما بخط الجرف البحري أو الخط الذي تصل اليه اعلى امواج العواصف. أما البلاج Beach فانه يتكون من رواسب الرمال والحصى فوق الشاطئ. ويوضح الشكل (49) ماورد في تلك المصطلحات.

خصائص الأمواج

الأمواج المائية هي الحركة الرأسية التي تنتاب الماء نتيجة لما يعتريها من مد وجزر أو بفعل التيارات البحرية أو بفعل هبوب الرياح في اتجاه معين. وتعد الرياح العامل الأساس في تكوين الأمواج التي تتولد بواسطة تحول الطاقة من الرياح إلى المياه، وتزداد الأمواج حجماً مع زيادة سرعة الرياح وفترة هبوبها، حيث ان ثمة علاقة طردية بين تلك المتغيرات (Davies, 1980, 25).

شكل (49)

الساحل والشاطئ والبلاج والجروف



وتمارس الأمواج عملها الجيومورفي من خلال خصائصها التي تتباين زمانياً ومكانياً تبعاً لتباين العوامل المؤثرة فيها، وتشتمل تلك الخصائص التي يوضحها الشكل (50) على ما يأتي:-

1- قمة الموجة Wave crest: تمثل الجزء الأعلى من سطح الموجة.

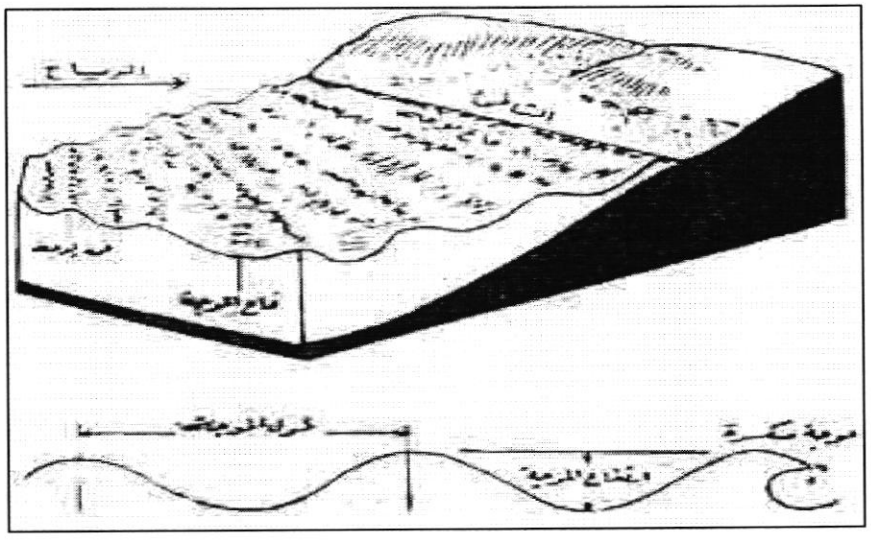
2- قاع الموجة Wave trough: يمثل الجزء المنخفض من الموجة.

3- طول الموجة Wave length: المسافة الافقية بين قمتي موجة متتاليتين.

4- ارتفاع الموجة Wave high: الفرق بين منسوب قمة الموجة وقاعها.

5- زمن الموجة Wave period: الزمن اللازم لمرور قمتين متتاليتين عند نقطة معينة.

شكل (50) الأمواج البحرية



تعتمد سرعة الأمواج Wave velocity بصورة كلية على سرعة الرياح، اذ كلما زادت سرعة الرياح وتوغل هبوبها فوق المسطحات المائية ازداد ارتفاع الأمواج الذي قد يصل إلى 20 متراً وازدادت سرعتها التي قد تصل إلى 105 كم في الساعة، مما يفسر نشأة الأمواج العاتية في عمق البحار المفتوحة والمحيطات اكثر منها في البحار المغلقة أو المياه الضحلة (سلامة، 2010، 318). ويمكن حساب سرعة الموجة بتطبيق المعادلة الآتية: $V = L / P$

حيث ان: V = سرعة الموجة L = طول الموجة P = زمن الموجة

أما طول الموجة فهو ناتج سرعة الموجة مضروباً بالمدة الزمنية لها.

تسبب الأمواج حركة جزيئات المياه على السطح وتحته حركة دائرية، وتختلف حركة هذه الجزيئات تحت قمة الموجة وقاعها، فتتحرك المياه تحت قمة الموجة باتجاه التيار، فيما تتحرك جزيئات المياه تحت قاع الموجة بدوائر بعكس اتجاه التيار. ومن الجدير بالذكر ان حركة جزيئات المياه اثناء الأمواج تقل شدتها باتجاه الأسفل تحت سطح المياه إلى ان تصل الى الحد الذي تنعدم فيه حركة جزيئات المياه بسبب الأمواج ويعرف هذا الحد بقاعدة الموجة Wave Base ويبلغ عمق قاعدة الموجة نصف طول الموجة.

عندما تقترب الأمواج من الساحل يقل عمق المياه إلى ان يصل إلى أقل من قاع الموجة فتبدأ عندئذ جزيئات المياه بتغيير حركتها الدائرية إلى حركة بيضوية، ويتبدل شكل الموجة حيث تصبح قمتها ضيقة وذات انحدار شديد، بينما يكون قاع الموجة عريضاً ثم تتحطم قمة الأمواج وتعرف حينئذ بالأمواج المتكسرة Breakers (السنوي، 1979، 276). ويوضح الشكل (51) تكسر الأمواج. وتقترب الأمواج من الساحل بزاوية منفرجة ويتغير شكل الموجة في المياه الضحلة قرب الساحل كما اشير سابقاً وتتبدد طاقة الأمواج بالاحتكاك وحمل المواد وان قسماً من الأمواج يسير بموازاة الساحل، وتقابل حركة تجمع المياه عند الساحل حركة مضادة على شكل تيار يتحرك في الطبقات السفلى من المياه بعيداً عن الساحل يعرف بارتداد الموج.

شكل (51) تكسر الأمواج عند الساحل

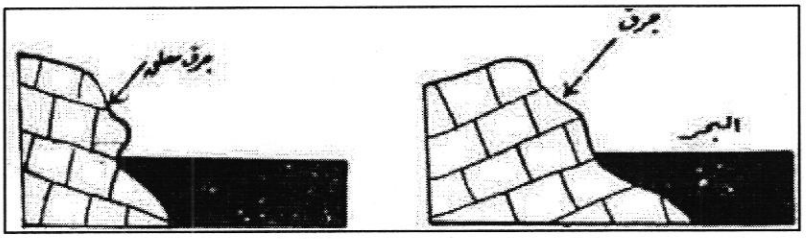
العمل الحتي للأمواج والأشكال الأرضية الناجمة عنه

يتباين النشاط الحتي للأمواج في المناطق الساحلية تبعاً لتباين عوامل عديدة تشتمل على:-

1- درجة صلابة الصخور: تؤثر درجة صلابة الصخور في العمل الحتي للأمواج، فالصخور النارية الصلبة المتماسكة والقليلة الشقوق والمفاصل تقاوم عملية الحت على عكس الصخور اللينة ذوات المفاصل والشقوق.

2- طبيعة ميل الطبقات الصخرية: يزداد تأثير حت الأمواج في الجروف التي يكون فيها اتجاه ميل الطبقات الصخرية نحو البحر، حيث تقوم الأمواج بتعرية القسم الأسفل منها، مما يتيح المجال لحصول عملية تساقط صخري أو انزلاقات أرضية من الأجزاء المرتفعة من الجروف التي لاتستطيع الأمواج الوصول اليها كما في الشكل (52).

شكل (52) تأثير ميل الطبقات الصخرية



3- كمية المواد الصخرية المفتتة التي تحملها الأمواج واحجام هذه المواد.

4- مقدار درجة تعرض أو انفتاح الساحل لعمل الأمواج، فضلاً عن اتجاه وقوة الأمواج التي تؤثر فيه، فاذا كان اتجاه الأمواج عمودياً على الساحل يكون التأثير في تفكك الصخور اكثر مما لو كان الاتجاه مائلاً.

5- عمق مياه البحر بالقرب من الساحل، حيث كلما كان البحر عميقاً بالقرب من الساحل فان الموجة سوف تتكسر بالقرب منه وتلقي بكل طاقتها على خط الساحل فتزداد عملية الحت، في حين لو حدثت عملية تكسر الموجة بعيداً عن خط الساحل ففي هذه الحالة يكون التأثير ضعيفاً.

تقوم الأمواج بعملها الحتي بالطرائق الآتية:- (سلامه، 2010، 329-330).

1- الحت الميكانيكي: يتم الحت الميكانيكي من خلال المفتتات الصخرية التي تحملها الأمواج، ويعد اليابس المصدر الرئيس لهذه المفتتات التي تحملها الأنهار إلى بيئات المصبات، وتقوم الأمواج بنقلها على طول الشواطئ المحيطة. كما تتعرض تلك المفتتات إلى التآكل عن طريق الاحتكاك اثناء نقلها بواسطة الأمواج فتتحول إلى حبيبات اصغر حجماً.

2- الحت الكيمياوي: يحتوي ماء البحر على الكثير من المواد الذائبة فيه، مما يمهد لحدوث نشاط كيمياوي ما بين ماء البحر والفتات الصخري الذي تحمله المياه، وكذلك التكوينات الصخرية عند السواحل وبخاصة تلك الصخور عالية الاستجابة للاذابة الكيمياوية كالصخور الجيرية والمواد اللاحمة في الصخور الرملية.

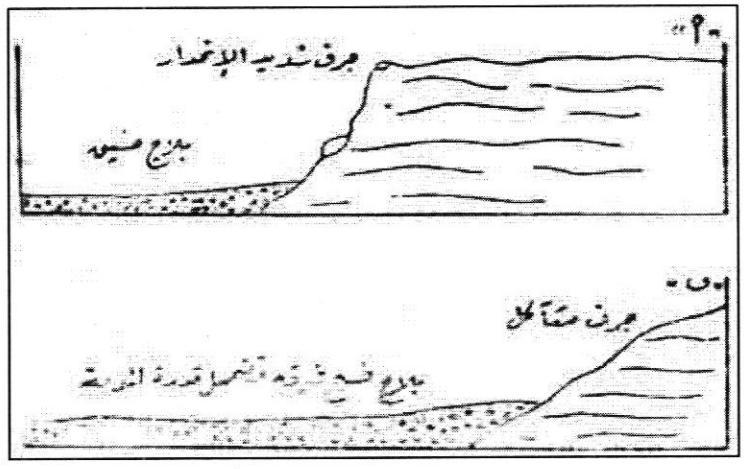
3- الضغط المائي: تنقل الأمواج كميات عظمى من مياه البحار والمحيطات باتجاه الشواطئ، مما يوفر لها طاقة آلية مرتفعة تولد ضغوطاً شديدة على الصخور الساحلية. وان تعرض المكاشف الصخرية إلى ضغوط مائية متباينة ومتكررة يؤدي إلى اقتلاع الرواسب من اماكنها باحجامها المختلفة ونقلها إلى مناطق اخرى. كما ان تكرار غمر التكوينات الصخرية بمياه البحر وتراجعها عنها يكسبها قوة تفجيرية، وتتم هذه العملية عندما تتواجد شقوق ومفاصل صخرية متعمقة، فعند غمرها بمياه البحر تمتلئ هذه الشقوق والمفاصل بالمياه ضاغطة الهواء المحصور فيها، ثم يعود الهواء إلى التمدد المفاجئ اثر تراجع المياه عنها، وان تكرار هذه العملية يؤدي إلى توسيع تلك الشقوق والمفاصل وتحطيم الصخور.

تتكون العديد من الأشكال الأرضية الحتية للأمواج تتمثل بالجروف البحرية والكهوف والأقواس البحرية والمسلات البحرية. وفيما يأتي عرض موجز لكل منها:-

1- الجروف البحرية Sea Cliffs: تعد الجروف البحرية من الظواهر الحتية التي تتكون بفعل الأمواج البحرية. وتتكون عندما تتواجد في المناطق الساحلية طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق صخور لينة، وتقوم الأمواج بنحت الطبقات الصخرية اللينة بمعدل اسرع من الطبقات الصخرية الصلبة التي تبقى على شكل حائط مرتفع يشرف على مياه البحر ومواز لخط الساحل على شكل جروف بحرية كما في الشكلين (53 و 54).

تتباين الجروف البحرية من مكان إلى آخر تبعاً لبنية الصخور وارتفاعها، اذ تختلف تعاريج الجروف التي تكونت في صخور تميل باتجاه البحر عن تلك التي تميل نحو اليابس، وعن تلك التي يكون امتداد طبقات الصخور فيها افقياً. كما تختلف الجروف التي تكونت في صخور الكرانيت من حيث مظهرها عن تلك التي تكونت في صخور البازلت، أو تلك التي كونتها الأمواج في مواد صخرية غير صلبة وغير متماسكة كما في حالة الرواسب الجليدية (كربل، 1986، 282).

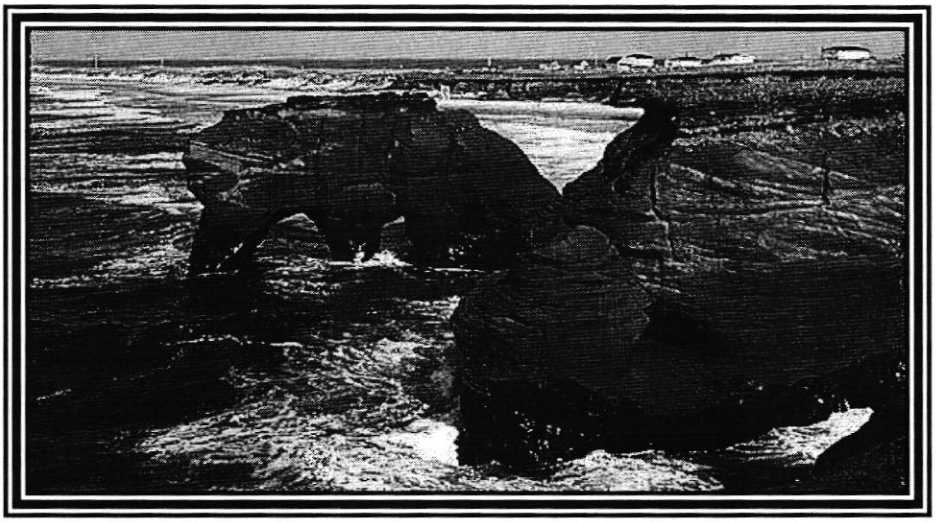
شكل (53) الجروف الساحلية



شكل (54) الجروف البحرية

2- الكهوف البحرية Marine caves: تتكون الكهوف البحرية في مناطق الجروف الساحلية التي تتميز صخورها بكثرة الشقوق والمفاصل. وعندما تتعرض تلك الصخور إلى عملية الحت بفعل الأمواج تتآكل الصخور القابلة للحت مكونة فجوات دائرية صغيرة الحجم، وتندفع مياه الأمواج نحو تلك الفجوات وترتطم بها، مما يؤدي إلى انضغاط الهواء بداخلها ثم تمدده بصورة فجائية عندما تتقهقر مياه الأمواج، مما ينجم عنه زيادة توسيع هذه الفجوات على شكل كهوف وكما يتبين من الشكل (55). وتتميز هذه الكهوف باتساع فتحاتها المواجهة للأمواج وتضيق كلما اتجهنا نحو الداخل. ومع استمرار عملية الحت بفعل الأمواج يزداد عمق الكهف مما يؤدي إلى انهيار سقوفه.

شكل (55) الكهوف والاقواس البحرية



3- الأقواس البحرية Sea arches: تتكون الأقواس البحرية في المناطق الساحلية التي يمتد فيها اليابس على هيئة لسان صخري في عرض البحر، مما يؤدي إلى ارتطام مياه الأمواج به في كلا جانبيه فتتكون كهوف بحرية عند هذين الجانبين،

وكثيراً ما يتقابل كهفان جانبيان ويتكون في هذه الحالة نفق محفور في اللسان الصخري على شكل بوابة ضخمة تعرف بالقوس البحري (صفي الدين، 1979، 335).

4- المسلات البحرية Sea stacks: عبارة عن اعمدة من الصخور البارزة في البحر متاخمة للجروف البحرية، وتنشأ عن تراجع هذه الجروف أو تساقط اسقف الأقواس البحرية التي تترك تجاه البحر عموداً من الصخر يبدو كمسلة قاعدتها عريضة متآكلة ورأسها مدبب مسنن (الدراجي، 2010، 196).

الاشكال الأرضية الترسيبية للأمواج البحرية

ينحصر العمل الحتي للأمواج على المنطقة الساحلية، فيما يظهر فعل الارساب في كل اجزاء قاع المحيط سواء اكانت الضحلة المجاورة لخط الساحل أم الاخرى العميقة في البحار المفتوحة. وتترسب فوق قاع البحر انواع مختلفة من الرواسب تتمثل في الرواسب التي تذروها الرياح والتي تتألف من حبيبات الرمال والرماد البركاني وكذلك الرواسب التي تجلبها الأنهار والثلاجات إلى البحار، فضلاً عن تجمع الرواسب العضوية الناجمة عن اندثار الكائنات البحرية.

تنقل الأمواج الترسبات الموجودة في قاع البحر، كما تنقل كميات هائلة من الترسبات المنقولة مع مياه الأنهار إلى مصباتها أو المواد الصخرية المفتتة على السواحل البحرية ويعاد ترسيبها في اماكن اخرى متخذة اشكالاً مختلفة الامتداد والمساحة، فمنها مايتجمع على طول الشواطئ ومنها مايمتد باتجاه البحر على هيئة اذرع ارسابية مثل الألسنة البحرية أو انها تضيف إلى نطاق الساحل اشكالاً أرضية محلية. وفيما يأتي عرض موجز لأهم الأشكال الأرضية الترسيبية للأمواج البحرية:-

1- البلاج Beach: يستخدم تعبير البلاج ليشير إلى تراكمات الرواسب غير المتماسكة مثل الحصى والرمال فوق الشاطئ، وتؤدي إلى تباين خصائصه الانحدارية بحيث تزداد درجة الانحدار مع تزايد خشونة الرواسب. ويضيق عرض البلاج في السواحل المرتفعة نظراً لعمق المياه بجوار هامش اليابس، بينما تتميز السواحل المنخفضة بامكانية تكوين بلاج عريض على خط الساحل (الدراجي، 2010، 199).

2 – الحواجز والألسنة Bars & Spits: الحواجز عبارة عن تجمعات رسوبية بحرية نشأت فوق قاع البحر الضحل بفعل ترسبات الأمواج، وتتنوع وفقاً لامتدادها بالنسبة للشاطئ أو شكلها أو تجمعها. أما الألسنة البحرية فهي عبارة عن حواجز بحرية تتصل باليابس من جهة وتمتد بمسافات واتساعات مختلفة باتجاه البحر.

عندما يزداد نشاط الارساب البحري على السواحل المرتفعة نسبياً أو فوق تلك التي تتميز بالانحدار التدريجي الطفيف، فقد يترتب على ذلك تكوين الألسنة والحواجز البحرية الطبيعية. وإذا انتهى خط الساحل عند مدخل خليج أو مضيق بحري فان المواد المنقولة بواسطة اندفاع الأمواج والتيارات تترسب في مياه الخليج العميقة على شكل السنة طولية. وبتكرار هذه العملية تتجمع المواد المترسبة أمام خط الساحل فوق بعضها وتساهم في بناء جسر طولي طبيعي من الرمال والحصى. ويأخذ طول هذا الجسر وارتفاعه في الازدياد التدريجي بمرور الزمن تبعا لارساب كميات الرمال والحصى عند نهاياته الهامشية وعلى طول حافاته الجانبية إلى إن يصل في النهاية إلى مرحلة نموه الأخيرة والتي يضعف خلالها اثر فعل الأمواج والتيارات البحرية في تشكيل المظهر الجيومورفولوجي العام لهذا الجسر البحري.

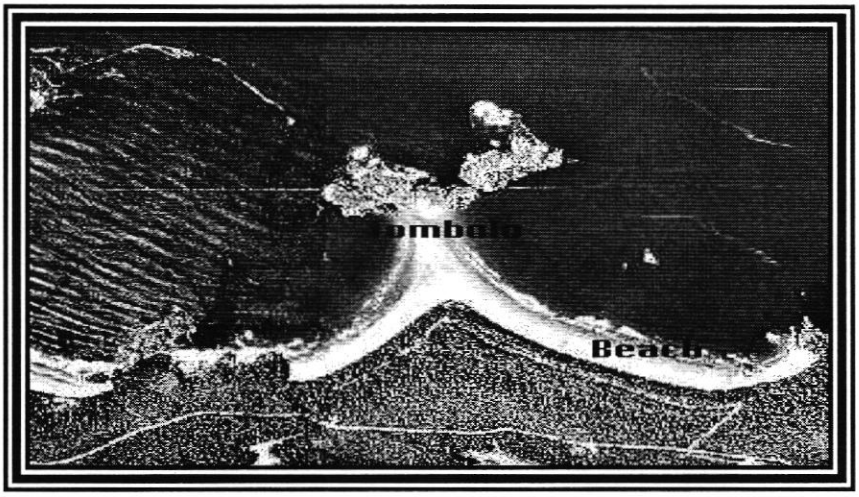
وإذا نشا هذا الجسر في مياه البحر المفتوحة Open Sea فيطلق عليه في هذه الحالة اسم الخطاف أو اللسان البحري Spit، وتعمل الأمواج على ارساب الرمال والمفتتات الصخرية على جانب اللسان البحري الذي يواجه اليابس، وعلى ضوء ذلك يقترب اللسان البحري بالتدريج من خط الساحل. إما الانحناء الملحوظ في الألسنة البحرية والذي يشبه راس الخطاف فيرجعه الباحثون إلى اثر فعل الأمواج المائلة في تشكيل رواسب اللسان البحري وطبيعة وتراكم الرواسب الأخيرة على جوانبه (ابو العينين، 1981، 552-553)، وهناك نمطان رئيسيان من الالسنة الأول يبرز من الساحل صوب البحر صانعا مع امتداد الساحل زاوية كبيرة، بينما النمط الثاني يمتد موازيا تقريبا لامتداد الساحل، ويشمل هذا النمط الألسنة التي تمتد عبر المصبات النهرية، والألسنة التي تمتد عبر الخلجان البحرية.

أما الحاجز البحري Bar فهو عبارة عن تعديل طرأ على شكل اللسان البحري، فحيث يمتد الأخير امتداداً طولياً صوب البحار المفتوحة، يمتد الحاجز البحري عرضيا فيما بين طرفي رأسين من اليابس المجاور، والحواجز لا تختلف عن الألسنة ويشيع منها وجود نمط يمتد عبر مداخل الخلجان، إذ يبدأ اللسان بالنمو من احد الرأسين اللذين يشكلان الخليج ويستمر في النمو والامتداد عبر الخليج إلى الرأس الآخر المقابل، أو يتكون من التقاء لسانين ينموان من كلا الرأسين. وهناك نوع آخر من الحواجز ما ينشأ عن امتداد السنة اليابس ووصولها إلى الجزر المجاورة. ونتيجة لذلك ترتبط الجزر باليابس عن طريق حواجز تسمى تومبولو Tombolo (الدراجي، 2010، 200). كما في الشكل (56) .

3- البحيرات المستنقعية Lagoons: تتحول المنطقة الفاصلة بين الحواجز البحرية وبين خط الساحل الأصلي إلى بحيرة مستنقعية يطلق عليها اسم اللاكون

Lagoon، ولكنها عادة ما تتصل بالبحر المجاور بواسطة فتحات ضيقة تشقها الأمواج والتيارات البحرية. وتمتلئ البحيرة المستنقعية تدريجياً بالارسابات أو نتيجة لتحلل المواد العضوية الناجمة عن النباتات التي تنمو فيها، مما يؤدي إلى ارتفاع مستوى قاعها (كربل، 1986، 288).

شكل (56) الحواجز الرملية



الفصل الثاني عشر

جيومورفولوجية الرياح
في المناطق الجافة وشبه الجافة

الفصل الثاني عشر

جيومورفولوجية الرياح في المناطق الجافة وشبه الجافة

تشغل المناطق الجافة وشبه الجافة حوالي 47 مليون كيلومتر مربع من مساحة اليابس، وتتوزع في جميع القارات، غير أن الحيز المكاني الذي تشغله يتباين على مستوى تلك القارات، اذ أن مساحة مقدارها 39.4 مليون كيلومتر مربع منها تتواجد في قارات افريقيا وآسيا واستراليا، فيما تتواجد مساحة مقدارها 7.5 مليون كيلومتر مربع في الأمريكتين ويتواجد الباقي في هضبة اسبانيا ضمن قارة اوربا (جرينجر، 2002، 24).

تتسم المناطق الجافة بقلة رطوبة الهواء وقلة كمية الأمطار المتساقطة، مما انعكس على قلة كثافة الغطاء النباتي الطبيعي فيها، لذا تعد تلك المناطق مسرحاً لانشطة الرياح الجيومورفولوجية كالحت والنقل والترسيب التي تساهم في تكوين الأشكال الأرضية فيها.

الأشكال الأرضية الحتية

يتوقف عمل الرياح الحتي على سرعها واتجاهاتها وتكرار هبوبها ومقدار ما تحمله من فتات صخري. وتقوم الرياح بدورها الحتي باحدى الوسيليتين الآتيتين: (Encyclopedia Britannica, 1973,565)

الأولى هي التذرية Deflation: تقوم الرياح بحمل حبيبات الرمال والمفتات الصخرية سواء المشتقة من الرواسب الفيضية أو الجليدية أو رمال السواحل ونقلها من اماكنها الأصلية إلى اماكن اخرى تبعاً لسرعة الرياح ومدى قابليتها على حمل تلك المفتتات، حيث تزداد تلك القابلية عندما يشتد الجفاف ويتكون السطح من رمال مفككة غير متماسكة وينعدم أو يقل الغطاء النباتي الطبيعي.

أما الوسيلة الثانية فهي البري أو الصقل Abrasion: تقوم الرياح من خلال احتكاك ما تحمله من حبيبات الرمال والمفتتات الاخرى بالسطوح الصخرية من صقل تلك السطوح، ويزداد تأثير هذه العملية في المستويات القريبة من سطح الأرض التي لايزيد ارتفاعها عن متر واحد، كما تؤثر درجة صلابة الصخور في تلك العملية، اذ تكون الصخور اللينة اكثر تأثراً من الصخور الشديدة الصلابة.

ينجم عن الحت الريحي بالوسيلتين المذكورتين مجموعة من اشكال سطح الأرض التي تتباين في خصائصها من مكان إلى آخر تبعاً لتباين المعطيات المناخية والصخرية السائدة، ومن ابرز تلك الأشكال ما يأتي:-

1- **الصحاري الصخرية:** تعرف عادة باسم صحاري الحمادة Hamada والتي تتكون من سطوح صخرية تنكشف فيها الصخور الأصلية مع وجود عدد من البقع التي تغطيها الرمال والحصى.

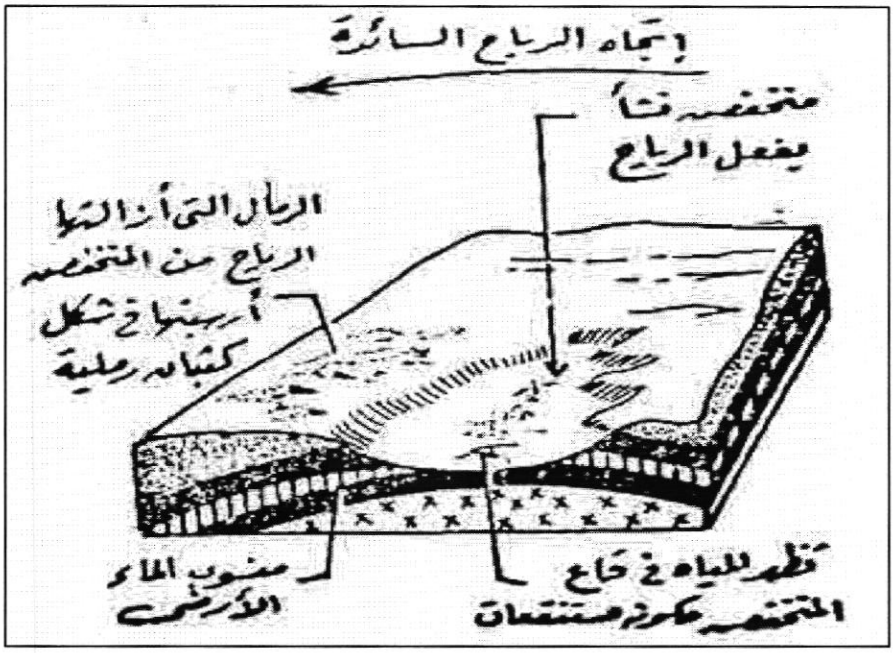
2- **الصحاري الحجرية:** تغطي سطوحها الحجارة والحصى المتنوع بسبب تعرضها إلى عملية التذرية، حيث تقوم الرياح بنقل الحبيبات الناعمة تاركة المواد الخشنة التي يصعب تحريكها. وتسمى باسماء محلية ففي الجزائر والمغرب تعرف باسم صحاري الرق Reg وفي ليبيا ومصر تسمى بالسرير.

3- **المنخفضات الصحراوية Depressions:** تعد المنخفضات الصحراوية من انماط الأشكال الأرضية في المناطق الجافة، وتنشأ في الأماكن التي تتكون من صخور هشة تمكنت الرياح من حتها ونقل مفتتاتها، وبعض هذه المنخفضات واسع وعميق تنبثق منه المياه الجوفية بشكل عيون كما يتضح من الشكل (57). ومن ثم تنشأ الواحات التي من ابرزها منخفضات الواحات التي توجد في صحراء مصر الغربية مثل الواحات الداخلة والخارجة والفرافرة وسيوة.

لقد تعددت الآراء بشأن تكون هذه المنخفضات، اذ يرى البعض بانها نجمت عن عملية التذرية بفعل الرياح، فيما يرى آخرون بان الرياح لاتستطيع ان تكون منخفضات تشغل مساحات واسعة، وعليه فان عملية التذرية ليست وحدها المسؤولة عن تكون هذه المنخفضات وانما هناك عوامل اخرى ساهمت في تكوينها مثل الحركات الأرضية وفعل المياه الجارية، فضلاً عن التذرية الريحية في الوقت الحاضر (الدراجي، 2010، 206-207).

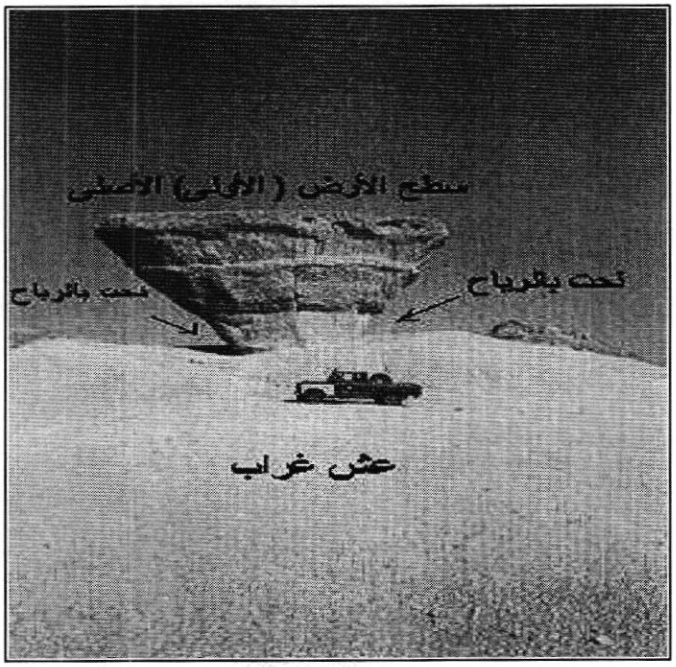
شكل (57)

تكوين المنخفضات الصحراوية بفعل الرياح

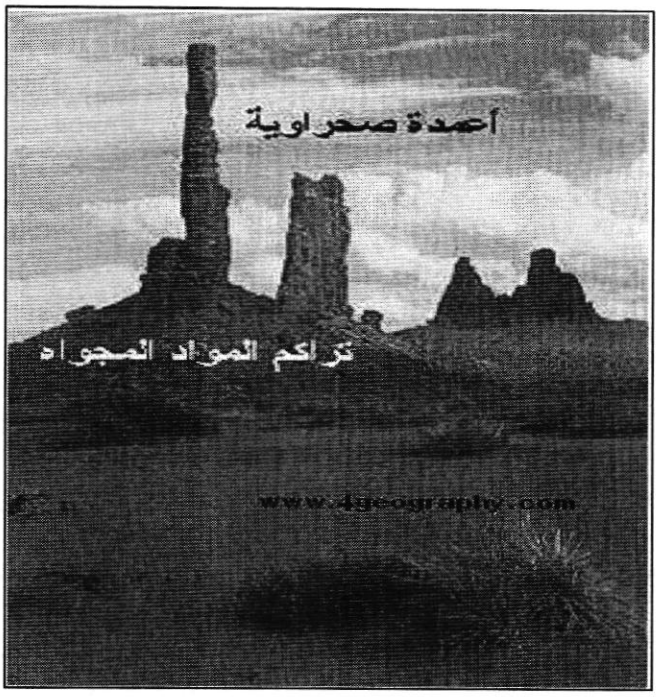


4- الموائد الصخرية Mesa والأعمدة الصحراوية (قصور البنات) Buttee: في الأماكن الصحراوية التي توجد فيها طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق صخور لينة، تقوم الرياح المحملة بالرمال بحت الطبقة الصخرية السفلى بمعدل اسرع من معدل حت الطبقة العليا، مما ينجم عن ذلك عدد من الظاهرات الجيومورفولوجية المختلفة كالموائد الصخرية والأعمدة الصحراوية أو قصور البنات التي يوضحها الشكلين (58و59). وتنتشر تلك الظواهر في ولاية بوتان الامريكية، حيث نحتت الرياح المحملة بالرمال الصخور اللينة في حين بقيت الصخور الصلبة على شكل موائد صخرية واعمدة صحراوية (ابو العينين، 1974، 366).

شكل (58) الموائد الصخرية



شكل (59) الأعمدة الصحراوية



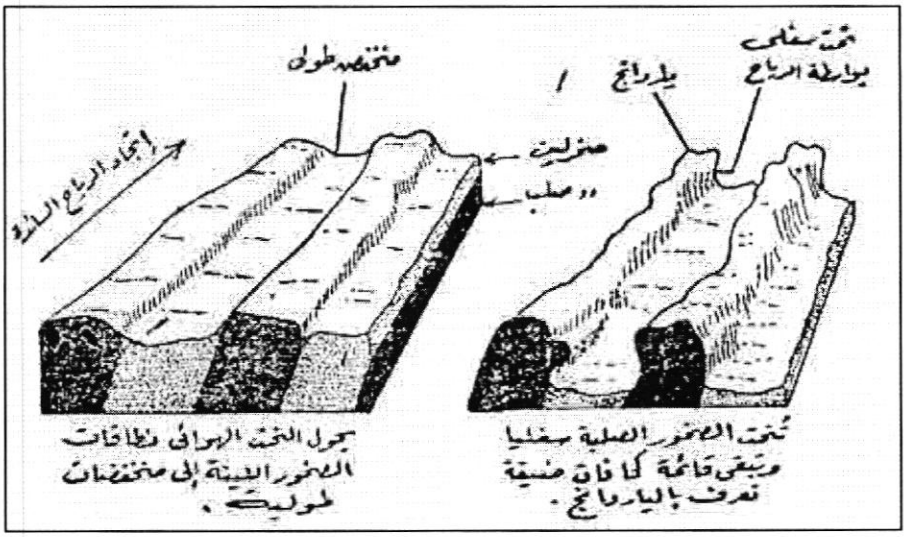
5- الوجه ريحيات Ventifacts: هي حصى أوقطع صخرية تعرضت للصقل بفعل الرياح لفترة طويلة من الزمن، حيث تقوم الرياح بما تحمله من حبيبات الرمل والمفتتات الاخرى بصقل الجانب المواجه لها من الحصى أو القطع الصخرية التي تعرف بذات الوجه الواحد Einkanter، وحينما يتغير وضع الحصى أو القطعة الصخرية لسبب ما كأن تنقلب بفعل ضغط الرياح فيتعرض جانبها الآخر لهبوب الرياح المحملة بالرمال وتتكون عدة اوجه تصقلها الرياح فيصبح الحصى أو القطع الصخرية باشكال مثلثة أو رباعية. كما تنشأ تلك الأشكال عندما يبقى الحصى ثابتاً ويتغير اتجاه الرياح (Mabbutt, 1977,146).

6- كهوف الرياح Wind Caves: يتباين فعل الرياح المحملة بالرمال على طول كل جزء من اسطح الصخور تبعاً لتباين التركيب الصخري للطبقات التي تتعرض للاحتكاك، حيث تتجوف وتتعمق الأجزاء اللينة من الصخور وتبدو على شكل حفر أو ثقوب جوفية في الصخور، بينما تبقى اجزاء الصخور الصلبة على شكل فواصل واعمدة تفصل ما بين هذه التجويفات، وتعرف هذه الظاهرة باسم كهوف الرياح، كما هو الحال في كهوف الرياح التي تكونت في الصخور الرملية عند رأس الدب في الصحراء الشرقية قرب خليج السويس، وتتكون هذه الكهوف بشكل خاص في الجانب المواجه لهبوب الرياح السائدة (ابو العينين، 1981، 622).

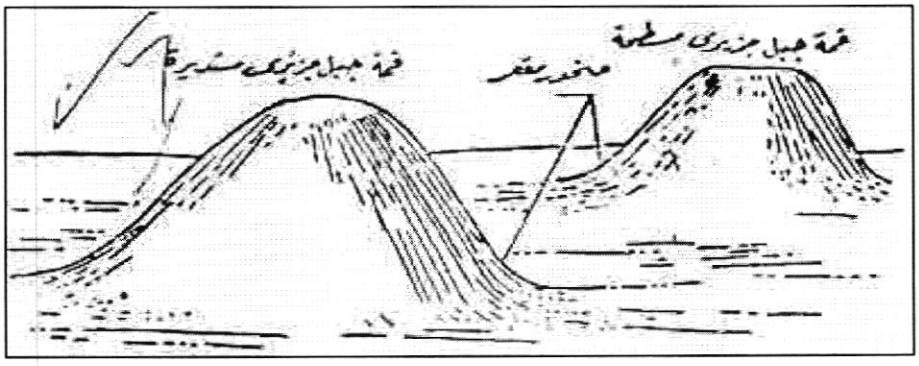
7- تضاريس الياردانج Yardang: هي مظهر من مظاهر الحت الريحي، وتتكون من مجموعة من الحافات المرتفعة والمنخفضات المتوازية مع بعضها البعض كما في الشكل (60). وتمثل المنخفضات مناطق الصخور القليلة المقاومة للحت الريحي، فيما تحتل الحافات المرتفعة مناطق الصخور الصلبة التي لم تتأثر بعملية الحت. ومن ابرز المناطق التي تتمثل فيها هذه الظاهرة هي جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية وفي صحاري وسط آسيا (كربل، 1986، 246).

8- الجبال المنفردة Inselberge: تكون على شكل تلال قبابية أو مدببة ذات سفوح شديدة الانحدار تتكون بفعل الحت الريحي، اذ تستطيع الرياح ان تنحت الصخور اللينة وتعمل على تخفيض منسوبها، في حين تبقى الكتل الصخرية الصلبة بارزة مكونة ما يعرف بالجبال المنفردة التي يوضحها الشكل (61) وهي شائعة الوجود في جنوب افريقيا وفي اجزاء من الصحراء الكبرى في كل من الجزائر وليبيا (الدراجي، 2010، 210).

شكل (60) تضاريس اليارادانج



شكل (61) الجبال المنفردة أو الجزيرية



النقل بفعل الرياح

ان للرياح قوة ضغط على سطح الأرض تتناسب طردياً مع مربع سرعتها، وتقوم الرياح بنقل حبيبات الرمال والمفتتات الصخرية الاخرى من سطح الأرض عندما تكون قوة ضغطها متغلبة على قوة الجاذبية الأرضية المسلطة على تلك

الحبيبات والمفتتات، مما يؤدي إلى انفصالها من سطح الأرض ومن ثم تحركها. ولاتتم هذه الحركة الا عندما تزداد سرعة الرياح عن السرعة الأولية (الحرجة) Threshold wind velocity اللازمة لحركة الحبيبات، التي تتباين تبعاً لتباين احجام الحبيبات وكما يتضح من الجدول (4).

جدول (4)

اقطار الحبيبات (ملم) وسرع الرياح الأولية اللازمة لحركتها

قطر الحبيبات(ملم)	السرعة الاولية للرياح (متر/ ثانية)
0 .05	3 .8
0 .1	4 .0
0 .25	4 .5
0 .5	5 .3
1	6 .6
2	8 .5

تتضمن عملية نقل حبيبات الرمال والمفتتات الصخرية الاخرى بفعل الرياح ثلاث طرائق تبعا لتفاوت سرعها واحجام تلك الحبيبات. وهذه الطرائق هي: التعلق Suspension والقفز Saltation والزحف Creeping وقد تحدث جميعها في آن واحد عندما تكون سرع الرياح كافية للقيام بذلك. فالحبيبات التي يقل قطرها عن 1. 0 ملم تتعلق بالرياح إلى ارتفاع يصل إلى حوالي كيلومتر، وتنتقل إلى مسافات بعيدة بسبب صغر حجمها وخفة وزنها. أما الحبيبات التي تتراوح اقطارها ما بين 1. 0 – 5. 0 ملم فانها تتحرك بطريقة القفز على ارتفاعات قليلة لاتتجاوز

المترين. وتتحرك الحبيبات التي تتراوح اقطارها ما بين اكثر من 5. 0 ملم إلى 2 ملم بطريقة الزحف على سطح الأرض وذلك لكبر حجمها وثقلها(Stalling, 1959,72-73).

الأشكال الأرضية الترسيبية للرياح

ترسب الرياح حمولتها عندما تتناقص سرعتها بسبب طول المسافة التي تقطعها وابتعادها عن مناطق المصدر ذات الضغط المرتفع ودخولها في مناطق ذات ضغط جوي منخفض، أو بسبب الاحتكاك بعائق تضاريسي أو نباتي. وفي حالة زيادة حمولة الرياح من حبيبات الرمال والمفتتات الصخرية الاخرى بحيث لاتتناسب مع طاقتها في عملية نقل تلك الحمولة، فانها ترسب الكميات الفائضة عن طاقتها. كما يؤدي هطول الأمطار وزيادة كمية الرطوبة في الرياح إلى عملية الترسيب.

اولاً: الترسبات الرملية

تبدأ الرياح بارساب حبيبات الرمال الخشنة اولاً التي تشكل بدورها عائقاً تتراكم عليه الترسبات الرملية الاخرى، وينجم عن هذه الترسبات اشكال أرضية متباينة من ابرزها ما يأتي:-

1- التموجات الرملية (النيم) Ripples: تعد التموجات الرملية من الأشكال التي نجمت عن عملية ترسيب سريعة فوق سطح منبسط نسبياً الشكل (62). ويعتمد طول موجاتها على سرعة الرياح وخشونة الحبيبات الرملية، اذ أن زيادة سرعة الرياح وخشونة حبيبات الرمل تؤدي إلى زيادة طول موجة النيم، فالنيم الذي يتكون من رمال ناعمة تتراوح اطوال موجاته ما بين 10 – 30 سم، فيما يتراوح طول موجات النيم الذي يتكون من رمال خشنة ما بين 50 – 300سم (سلامة، 2010، 283).

2- السهول الرملية: تسمى بفرشات الرمال Sand sheets وتتميز بانبساطها وبعدم تضرسها باستثناء التموجات التي تظهر فوق رواسب الرمال. ومن اشهر هذه السهول سهل سليمة Selima في ليبيا الذي تبلغ مساحته اكثر من خمسة آلاف كيلومتر مربع، ويتراوح سمك الرمال فوقه ما بين 2 – 5. 4 متراً (صفي الدين، 1979، 286).

شكل (62) التموجات الرملية

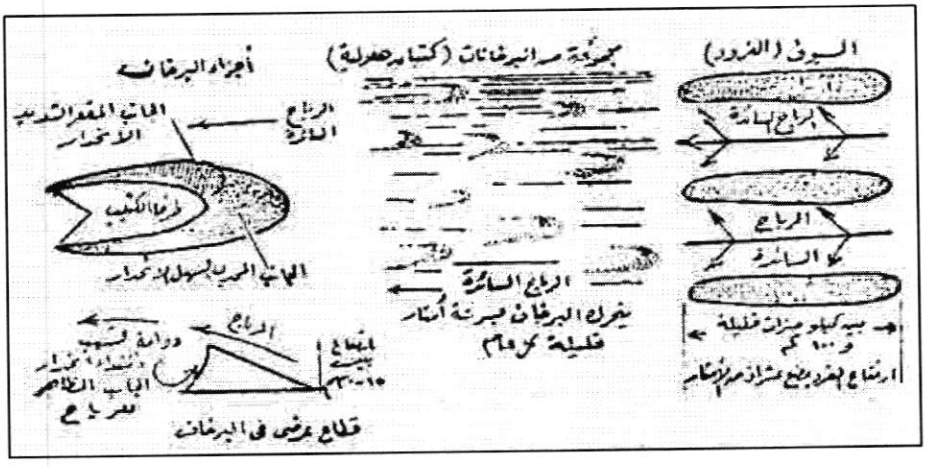
3- الكثبان الرملية Sand dunes: تتجمع الرواسب الرملية بشكل تلال يطلق عليها اسم الكثبان الرملية التي تتباين في احجامها وامتداداتها واشكالها، وبشكل عام فان الكثبان الرملية تتخذ انماطاً متعددة يوضحها الشكل (63) وابرز تلك الأنماط ما يأتي:-

أ- الكثبان الهلالية Barchan Dunes: تستعمل كلمة برخان في المناطق الصحراوية لوسط آسيا للاشارة إلى الكثبان الهلالية، ويتميز الكثيب الهلالي بوجود طرفين يمتدان إلى الجهة التي تهب نحوها الرياح، ويظهر جانبه المواجه للرياح السائدة محدباً طويلاً قليل الانحدار، يتراوح انحداره ما بين 6-17° بسبب كثرة ما يترسب عليه من حبيبات الرمال ويطلق على هذا الجانب ظهر الكثيب، فيما يكون

الجانب الآخر مقعراً شديد الانحدار وكما يتبين من الشكل (64)، حيث يتراوح انحداره ما بين 33 - 35° ويسمى بواجهة الكثيب (تراب، 2005، 254).

شكل (63) عدد من انماط الكثبان الرملية

شكل (64) الكثبان الهلالية والكثبان الطولية



وينبغي توافر مجموعة من الشروط لتكوين الكثبان الرملية الهلالية مثل انتظام هبوب الرياح من اتجاه واحد لمعظم ايام السنة، وانبساط السطح الذي ينعدم أو يقل فيه الغطاء النباتي الطبيعي، فضلاً عن وجود رواسب سطحية رملية تشكل مصدراً مجهزاً لتلك الكثبان.

ب- الكثبان الطولية Longitudinal Dunes: تعرف الكثبان الطولية بالغرود أو كثبان السيوف، وهي كثبان رملية ذات محاور تمتد بشكل طولي وموازٍ لاتجاه الرياح السائدة، تتراوح اطوالها ما بين 60 – 300 كم ويتراوح عرضها ما بين 50 – 350 متراً. وتظهر هذه الكثبان كحواجز رملية طولية تفصل بينها في اغلب الأحيان مسافات تصل إلى 3 كم تكاد تكون خالية تماماً من الرمال. ويمكن ان تنشأ الكثبان الطولية نتيجة لتغير في شكل الكثيب الهلالي الناجم عن التغير في اتجاهات الرياح التي تؤدي إلى تعرض احد طرفيه للتذرية الريحية وتراكم الرمال في الطرف الآخر، وبالتالي يتغير شكل الكثيب الأصلي الذي يتخذ شكلاً طولياً (سلامة، 2010، 284-285).

ج- الكثبان المستعرضة Transverse Dunes: يكون امتداد هذه الكثبان عمودياً مع اتجاه الرياح، وتنشأ من رياح معتدلة السرعة وتهب من اتجاه واحد، وتتكون من سلاسل من الكثبان الرملية ذوات القمم المتموجة. ويتصف جانبها المواجه للرياح بأنه ذو درجة انحدار قليلة، في حين تزداد درجة الانحدار على الجانب الآخر المعاكس لاتجاه الرياح (كريل، 1986، 255).

د- الكثبان النجمية Star Dunes: تسمى احياناً بالكثبان الهرمية، وتتكون فوق اراضي منبسطة تتعرض لهبوب رياح من اتجاهات مختلفة، وتبدو اشكالها متوافقة إلى حد كبير مع وردة الرياح للمكان الذي تتواجد فيه، حيث تمتد على

شكل اذرع من قمة مرتفعة تقع في الوسط ويتوافق عدد تلك الأذرع وطول كل ذراع مع تكرار اتجاهات الرياح. وينتشر هذا النمط من الكثبان الرملية في تركستان وايران وصحراء ثار شمال غرب الهند وبعض اجزاء صحاري استراليا (تراب، 2005، 255).

هـ - ظهور الحيتان: هي عبارة عن سلاسل أو جسور رملية هائلة الحجم تشبه الكثبان الطولية أو كثبان السيوف في امتدادها الموازي للرياح، الا أنها تختلف عنها في عدد من الخصائص الآتية:-

* تبدو ظهور الحيتان مسطحة القمة على عكس الكثبان الطولية الحادة.
* تتميز جوانب ظهور الحيتان ببطء الانحدار بينما يشتد انحدار احد وجهي السيوف الرملية.
* ظهور الحيتان اكبر حجماً مما عليه في كثبان السيف، اذ يصل طول ظهر الاولى إلى اكثر من 200 كم ويتجاوز عرضه 3 كم ويصل ارتفاعه إلى حوالي 50 كم.
* تعد ظهور الحيتان من الكثبان عديمة الحركة على النقيض من الكثبان الطولية المتحركة.

و- كثبان النباك Nebkha Dunes: يتكون هذا النوع من الكثبان عندما تعترض مسار الرياح المحملة بالرمال عقبة من النباتات وبخاصة الشجيرات التي تعمل كمصد للرمال، مما يؤدي إلى انخفاض سرعة الرياح وتناقص قدرتها على حمل الرمال التي تتراكم خلف العائق النباتي مباشرة، وعند تكرار هذه العملية يزداد حجمها فيتكون كثيب رملي صغير الحجم يتخذ شكلاً مثلثاً قاعدته في الجهة التي

تواجه الرياح ورأسه عند الجهة المغايرة. يتراوح ارتفاع تلك الكثبان ما بين أقل من نصف متر إلى ثلاثة أمتار (كليو والشيخ، 1986، 45-46).

ثانياً: رواسب اللوس Loess Deposits: اللوس كلمة المانية تطلق على الرواسب ذات الحبيبات الناعمة غير المتماسكة التي نقلتها الرياح عبر مسافات طويلة وارسبتها في اماكن ذات مناخ رطب. وقد تكون تلك الرواسب ذات اصل نهري أو ذات اصل جليدي، الا أن الذي يهمنا في هذا الموضوع رواسب اللوس التي نقلتها الرياح من المناطق الجافة وشبه الجافة وارسبتها في مناطق اكثر رطوبة والتي تسمى باللوس الصحراوية Desert Loess.

تتميز رواسب اللوس بكونها ذات حبيبات ناعمة غير متماسكة ومسامية ولا تظهر فيها خاصية الطباقية، مما يدل على انها ليست ناجمة عن ترسيب نهري بل انها ناجمة عن ترسيب ريحي. ويميل لونها إلى اللون الرمادي أو الأصفر، وترتفع فيها نسبة الكلسايت والدولمايت.

تتمثل رواسب اللوس الصحراوية خير تمثيل في شمال الصين، حيث تشغل مساحات واسعة ويتراوح سمكها ما بين 100 – 300 متراً (صفي الدين، 1979، 288). ويكون مصدرها الرواسب التي نقلتها الرياح من المناطق الجافة في صحراء غوبي أو منغوليا. وقد ازالت انهار الصين مثل نهر هوانك هو ونهرالیانکتسي كميات هائلة من هذه الرواسب وأعادت ترسيبها في سهولها الفيضية الشكل (65). كما تتواجد رواسب اللوس الصحراوية في أقليم الاستبس التركستاني إلى الشرق من بحر قزوين.

شكل (65) التوزيع المكاني لرواسب اللوس في شمال الصين

الفصل الثالث عشر

الجليد
وتأثيره في تكوين
الأشكال الأرضية

الفصل الثالث عشر

الجليد وتأثيره في تكوين الأشكال الأرضية

يعد الثلج Snow مظهراً من مظاهر التساقط، حيث يتساقط الثلج عندما تنخفض درجات الحرارة دون درجة التجمد. ويتساقط في العروض المختلفة الا أن تساقطه في العروض القطبية يكون عند مستوى سطح البحر، فيما يتساقط في العروض المدارية على قمم الجبال الشاهقة الارتفاع التي تنخفض فيها درجات الحرارة دون درجة التجمد. ويطلق اسم خط الثلج الدائم Snow Line على المستوى الذي لايذوب الثلج الذي اعلاه خلال فصل الصيف، أو بتعبير آخر الخط الذي يمثل الحد الأسفل لغطاء ثلجي مستديم.

يتباين ارتفاع خط الثلج الدائم من مكان إلى آخر تبعاً للموقع بالنسبة لدوائر العرض، ففي المناطق القطبية ينطبق منسوبه مع مستوى سطح البحر بسبب انخفاض درجات الحرارة طوال العام، وبمعنى آخر فان الثلوج تغطي دائماً سطح الأرض في تلك المناطق. ثم يأخذ ارتفاع خط الثلج الدائم بالزيادة التدريجية كلما ابتعدنا عن القطبين حتى يبلغ اقصى ارتفاع له في المناطق المدارية والاستوائية. ففي جبال الألب في اوربا يبلغ ارتفاع هذا الخط حوالي 3000 متراً، فيما يصل إلى حوالي 5000 متراً في جبال الهملايا، أما عند خط الاستواء فيصل إلى حوالي 6000 متراً في جبال كينيا وكلمنجارو (تراب، 2005، 267). ومما تجدر الاشارة اليه ان ارتفاع خط الثلج الدائم لا يتأثر بعامل الموقع بالنسبة لدوائر العرض فحسب، بل ان ثمة عوامل اخرى تؤثر في مستوى ارتفاعه مثل نوع الكتل الهوائية الباردة أو الدافئة، وكذلك درجة تعرض السفوح الجبلية إلى اشعة الشمس، اذ يكون مستوى خط الثلج الدائم اكثر ارتفاعاً فوق السفوح الجبلية الجنوبية المواجهة إلى اشعة

الشمس من المرتفعات الموجودة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية مقارنة بالسفوح الشمالية، ويحدث العكس في النصف الجنوبي.

تحول الثلج إلى جليد

عندما يكون تساقط الثلج غزيراً وتبقى درجات الحرارة منخفضة دون درجة الانجماد وتحول دون ذوبانه، مما يؤدي إلى تراكمه على سطح الأرض وزيادة سمكه وتحوله إلى طبقة صلبة من الجليد Ice. لذا فان عملية تحول الثلج إلى جليد تجري داخل الحقول الثلجية، فيتحول الثلج بصورة تدريجية إلى جليد حبيبي بعد تساقطه وبقائه على سطح الأرض لفترة زمنية تتراوح ما بين بضعة ايام إلى عدة أشهر. وتختلف كتل الجليد التي تتراكم حقول الثلج عن المياه المتجمدة في انها تحتفظ بقدر من الهواء بين جزيئاتها، وبسبب تعرضها إلى الضغط الناجم عن تساقط كميات اخرى من الثلوج وما يصاحبها من ذوبان جزئي لبعض البلورات الثلجية، فان المياه تتسرب في الفراغات التي توجد بين جزيئات الحقل الثلجي وتحل محل الهواء فيها، وسرعان ما تتجمد المياه مرة اخرى فتعمل على تلاحم بلورات الجليد الحبيبي وتتحول إلى جليد متماسك تتراوح كثافته ما بين 0.89- 0.90 غم / سم^3 (كربل، 1986، 188)، مما يجعل من الجليد عاملاً جيومورفولوجياً فاعلاً خلال حركته وما يرافق ذلك من حت ونقل وترسيب.

انتشار الجليد

يشكل الجليد 2٪ من مجموع مصادر المياه على سطح الأرض، ويغطي نحو 15 مليون كم^2 وبنسبة تبلغ حوالي 10٪ من مساحة اليابس، ويتركز معظم الجليد في الوقت الحاضر في القارة القطبية الجنوبية وكرينلاند اللتين تحتلان معاً حوالي 96٪ من هذه المساحة، فيما يتواجد الباقي في المناطق الجبلية ضمن العروض

المختلفة، ويشكل هذا الجليد البقايا المتخلفة عن تراجعه عن مساحات واسعة من اليابس غطاها خلال المليوني سنة الأخيرة.

تميز عصر البلايوستوسين بحدوث تقلبات مناخية تراوحت ما بين الانخفاض الشديد في درجات الحرارة، مما ادى إلى زحف جليدي مرحلي تخلله ارتفاع نسبي في درجات الحرارة نجم عنه تراجع وتقهقر الجليد باتجاه الأقاليم القطبية والأراضي الأكثر ارتفاعاً. وتباينت الفترات الجليدية ابان مراحل البلايوستوسين الأدنى والأوسط والأعلى التي يوضحها الجدول (5). وقد شهدت الفترات الجليدية انخفاضاً عاماً في درجات الحرارة تراوح ما بين 5- 10°م عن المتوسط الحالي وانخفض منسوب خط الثلج الدائم بنحو 1000متراً دون منسوبه الحالي ورافق ذلك انخفاض في مستوى سطح البحر، وتقدمت الغطاءات الجليدية في نصفي الكرة الأرضية من عدد من المراكز الرئيسة التي تمثلت في شمال امريكا الشمالية وشمال اوربا والقارة القطبية الجنوبية وجنوب شيلي والأرجنتين ونيوزيلنده، فضلاً عن نطاقات صغيرة فوق بعض المرتفعات مثل جبال الألب في اوربا وجبال الهملايا في آسيا، وبشكل عام وصل الزحف الجليدي إلى دائرة عرض 55° شمالاً في قارة اوربا و38° شمالاً في قارة امريكا الشمالية (سلامه، 2010، 290-291). ورافق ذلك تكون العديد من الأشكال الأرضية بفعل الجليد. أما في الفترات ما بين الجليدية فقد تراجعت المساحات الجليدية وارتفع منسوب خط الثلج الدائم بسبب ارتفاع عام في درجات الحرارة، ونجم عن ذلك ايضاً ارتفاع منسوب البحر وانكشاف الكثير من الأرضية التي كونها الجليد. ويعتقد ان مثل هذه التغيرات المناخية سواء التي ادت إلى الزحف الجليدي أو تراجعه قد تتكرر، وان العصر الجليدي البلايوستوسيني لم يكن الأول من نوعه كما لم يكن الأخير.

جدول (5) الفترات الجليدية في بعض الأقاليم

الزمن	جبال الألب	امريكا الشمالية
البلايوستوسين الأعلى	فيرم Wurm	وسكنسن Wisconsin
		سانغامون Sangamon
	ريس Riss	الينوي Illinoian
البلايوستوسين الأوسط	مندل Mindel	يارموث Yarmouth
		كانزان Kansan
		افتوني Aftonian
البلايوستوسين الأدنى	غونز Gunz	نبراسكا Nebraskan
	دوناو Donau	ما قبل نبراسكا Pre- Nebraskan

الثلاجات Glaciers

تعرف الثلاجة على انها كتلة من الثلج والجليد الذي يتحرك ببطئ من مكان إلى آخر فوق اليابسة مبتعداً عن منطقة التراكم، وان تلك الحركة البطيئة لا يمكن ملاحظتها بالعين المجردة، الا انه امكن التأكد منها عندما قام عدد من العلماء بتثبيت مجموعة من الأعمدة بشكل خط مستقيم على سطح ثلاجة في جبال الألب، ثم لوحظ بعد مدة ان مواقع هذه الأعمدة تقدم نحو الامام نتيجة لحركة الثلاجة.

تتحرك الثلاجات على طول منحدرات الجبال من اماكن تراكم الجليد وتتخذ دائماً مناطق الضعف في القشرة الأرضية التي تتمثل في الأودية أو على طول خطوط الانكسار. ويتباين معدل تحرك اجزاء الثلاجة، اذ أن الجزء الأوسط منها يتحرك بسرعة اكبر نسبياً من حركة الجوانب، ويعزى ذلك إلى الاحتكاك المسلط على جوانب الثلاجة بسبب تماسها مع الوادي، مما يقلل من حركة هذه الأجزاء مقارنة بالجزء الأوسط، وللسبب ذاته يتحرك الجزء الأعلى من الثلاجة بسرعة اكبر من الأجزاء السفلى التي تكون على تماس مباشر مع قيعان الوديان التي تعرقل من حركتها بسبب الاحتكاك.

تعد قوة الجاذبية الأرضية السبب الرئيس لحركة الثلاجات التي تتباين من مكان إلى آخر، اذ يتراوح معدل سرعة الثلاجات في جبال الألب ما بين 30 – 100سم في اليوم، فيما تبلغ سرعة الثلاجات في الاسكا حوالي 30 متراً في اليوم الواحد. وبصورة عامة يتراوح معدل حركة الثلاجات ما بين 15 – 60 سم في اليوم الواحد (السنوي، 1979، 307). ويعزى هذا التباين إلى عدد من العوامل لعل ابرزها عامل الانحدار الذي كلما ازداد ازدادت معه حركة الثلاجة، وكذلك سمك الجليد ودرجة حرارة الجو، حيث ان ارتفاع درجات الحرارة يؤدي إلى تحويل قسم من الجليد إلى مياه تسهل انزلاق الثلاجة، فضلاً عن نعومة السطح التي تسهل ايضاً الحركة، وكلما قلت المواد التي تحملها الثلاجة كلما قل احتكاكها مع قاع الوادي ومن ثم تسهل حركتها.

انواع الثلاجات

تصنف الثلاجات اعتماداً على اسس مختلفة، الا أن اكثر انواع التصنيف شيوعاً ذلك الذي يعتمد على حجم الثلاجات وموقعها واصلها، ووفقاً لهذا التصنيف يمكن تقسيم الثلاجات إلى الأنواع الآتية:-(كريل، 1986، 189-195).

1- الغطاءات الجليدية Ice Sheets: يأتي هذا النوع في مقدمة الأنواع الاخرى من الثلاجات من حيث الحجم والمساحات الشاسعة التي يشغلها، وتتمثل الغطاءات الجليدية في الوقت الحاضر في القارة القطبية الجنوبية وجزيرة كرينلاند. ويشكل الغطاء الجليدي الموجود في القارة القطبية الجنوبية اكبر كتلة جليدية على سطح الأرض حالياً، حيث يغطي مساحة مقدارها 6. 12 مليون كم^2 ويبلغ معدل سمكها 2. 2 كم، ومن المحتمل ان حجم الجليد الموجود يستطيع عند ذوبانه ان يرفع سطح المحيط حوالي 40 متراً عن مستواه الحالي. أما الغطاء الجليدي الموجود في كرينلاند فانه يغطي مساحة مقدارها 1.73 مليون كم^2 ويبلغ سمك هذا الغطاء 6. 1 كم، وقد ادى ثقل هذا الغطاء الجليدي إلى احداث حالة هبوط لسطح الأرض الذي يقع اسفله.

يتحرك الجليد من مراكز تجمعه فوق الغطاءات الجليدية بصورة بطيئة نحو الخارج وفي مختلف الاتجاهات، حيث يتحول في كرينلاند إلى ثلاجات الوديان التي تصل بدورها إلى سواحل المحيطات فتتكسر هناك وتنفصل عنها كتل جليدية تجرفها الأمواج والتيارات مكونة مايعرف بالجبال الجليدية العائمة Icebergs. وتعد ثلاجات الوديان التي تخرج من الغطاء الجليدي فوق جزيرة كرينلاند المصدر الرئيس للجبال الجليدية العائمة في البحار الشمالية وقد تسبب كوارث بحرية جراء اصطدام بعض السفن بها، وخير مثال على ذلك ماحدث لسفينة الركاب تيتانك

Titanic التي اصطدمت بجبل جليدي عائم في عام 1912، مما ادى إلى غرقها وموت اكثر من الف شخص من ركابها. أما في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية فان الجبال الجليدية العائمة تندفع من القارة القطبية الجنوبية، وتكون طولية الشكل يصل طول البعض منها إلى بضع عشرات من الكيلومترات وتصل ابعد مدى لها إلى حوالي دائرة العرض 40° جنوباً.

2- القلنسوات الجليدية Ice Caps: يطلق مصطلح القلنسوات الجليدية على الغطاءات الجليدية الصغيرة أو على التراكم الجليدي الذي يحدث فوق مناطق مرتفعة وتخرج منه ثلاجات الوديان التي تتحرك في اتجاهات مختلفة. وتعد ثلاجة Vatnajokull في آيسلنده خير مثال على القلنسوات الجليدية، حيث يتراوح سمك هذه الثلاجة ما بين 600 – 700 متراً وتقع قاعدتها على ارتفاع يتراوح ما بين 200 – 1000 متراً عن مستوى سطح البحر.

3- ثلاجات الوديان Valley Glaciers: تندفع هذه الثلاجات اما من القلنسوات الجليدية ومن الغطاءات الجليدية أو انها تنشأ من حقل ثلجي منفرد وتحتل وادياً جبلياً معيناً. وتسمى احياناً باسم الثلاجات الألبية نسبة إلى جبال الألب، ويطلق عليها احياناً اسم الأنهار الجليدية لكونها تتصرف احياناً بشكل يشبه الأنهار الاعتيادية. وتختلف هذه الثلاجات فيما بينها من حيث الاتساع والسمك والطول وكذلك في مقدار سرعتها.

تقسم ثلاجات الوديان إلى عدد من الأنواع الثانوية التي اهمها:-

أ- ثلاجات الحلبات الجليدية التي تشغل اعالي الوديان أو انها تتواجد في المنخفضات التي على جوانب الوديان الجليدية. وتكون هذه الثلاجات صغيرة لايتجاوز طولها وعرضها عن بضعة مئات من الأمتار ولا يزيد سمكها عن بضعة عشرات من الأمتار.

ب- ثلاجات الوديان (النمط الألبي) التي تنشأ من جراء تطور الثلاجات السابقة بعد هبوط مستوى خط الثلج الدائم، حيث تمتد تلك الثلاجات إلى الأسفل باتجاه الوديان الجبلية، ومن المحتمل ان تتحد مجموعة من ثلاجات حلبات جليدية كي تقوم بتغذية ثلاجة وادي واحدة. وتكون هذه الثلاجات شائعة في الأقاليم الجبلية كما هو الحال في جبال الألب والجبال الساحلية في الاسكا وجبال الهملايا.

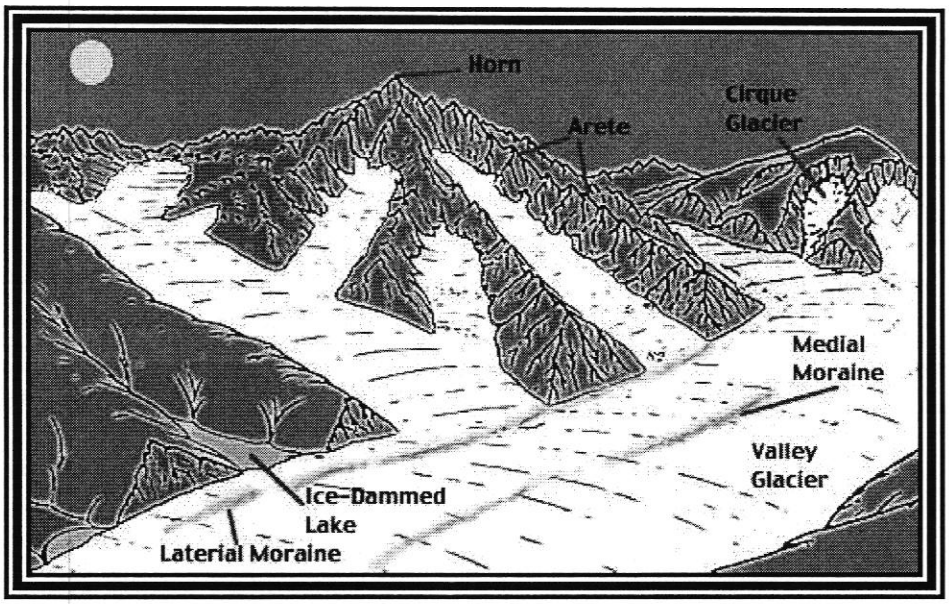
ج- الثلاجات المتقطعة: تنشأ هذه الثلاجات في الأقاليم الجبلية التي يكون تساقط الثلوج فيها غير كاف لتكوين قلنسوة جليدية، أو ان تلك الجبال تعرضت إلى تعرية شديدة ادت إلى تقطيعها بواسطة وديان عميقة لايمكن ان تمتلئ بالجليد، وتتكون في مثل هذه الظروف ثلاجات وديان سميكة.

4- ثلاجات القدمات الجبلية Piedmont Glaciers: يتكون هذا النوع من الثلاجات عندما تتحد ثلاجتان أو اكثر من ثلاجات الوديان فوق سهل أو فوق واد جبلي عريض يقع عند قدمات الجبال.

الأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للجليد

يقوم الجليد بنشاطه الجيومورفولوجي من خلال عمليات الحت والنقل والترسيب التي ينجم عنها اشكال أرضية مختلفة، وفيما يأتي عرض مختصر لتلك الأشكال التي يوضحها الشكل (66).

شكل (66) عدد من الأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للجليد



اولاً: الأشكال الأرضية الناجمة عن الحت الجليدي

يقوم الجليد بالحت بمجرد حركته وانتقاله من بيئات التغذية الجليدية، ويتم نشاطه الحتي بطريقتين:-

الأولى طريقة السحب Plucking: تحدث هذه العملية من خلال اشتداد تأثير الجليد فوق المفاصل والشقوق الموجودة في الطبقات الصخرية، اذ يتحول قسم من جليد الثلاجات تحت الضغط الكبير إلى مياه تتغلغل بين تلك المفاصل والشقوق، ثم لاتلبث أن تتجمد ثانية، مما يؤدي إلى زيادة حجمها فتعمل على تكسير الصخور، كما ان انجمادها يربطها بجسم الثلاجة الرئيس، مما يولد ضغطاً على الصخور ويعمل على قلعها وسحبها مع الثلاجة.

أما الطريقة الثانية فهي عملية الصقل الميكانيكية Abrasion: فالجليد الذي يتحرك فوق اليابس يقوم بالتقاط الجلاميد الصخرية المفككة والحطام الصخري باحجامه المختلفة، فضلاً عن حبيبات التربة، ويستخدم هذه المواد بمثابة ادوات قطع، وتعمل اجزاء الحطام الصخري الكبيرة الحجم الموجودة داخل الجليد وكأنها مقاشط يستطيع الجليد بواسطتها واثناء حركته على اليابسة من ازاحة كل المواد المفككة وقطع النتوءات الصخرية الصلبة، بينما تقوم الحبيبات الناعمة بعملية صقل الصخور التي تتحرك فوقها وينجم عن عملها ما يعرف بطحين الصخور. وتستطيع الثلاجات من خلال عملية الصقل الميكانيكي من أن تصقل جوانب وقيعان وديانها وتحورها من وديان ضيقة إلى وديان عميقة وواسعة.

يتأثر النشاط الحتي للجليد بمجموعة من العوامل ابرزها ما يأتي:- (سلامه، 2010، 306-308)

1- سمك الجليد: يزداد ضغط الجليد على الصخور بتزايد سمكه، وقد يصل هذا الضغط إلى 400كغم/ سم^2، مما يؤدي إلى رفع درجة الحرارة مع العمق بحيث يؤثر في طبيعة حركة الجليد من خلال تأثير المياه الناجمة عن ذوبان الجليد عند قاعدته في الانزلاق القاعدي وجعل حركة الجليد اكثر مرونة، لذا فان الثلاجات السميكة التي كانت موجودة اثناء عصر البلايستوسين استطاعت أن تحفر وديانا جليدية عميقة تتمثل في الفيوردات الموجودة في سواحل النرويج وكرينلاند.

2- سرعة حركة الجليد: هناك علاقة طردية بين سرعة حركة الجليد ونشاطه الحتي.

3- كمية ودرجة صلابة الحطام الصخري الذي يحمله الجليد: فكلما ازدادت كمية تلك المواد ازداد النشاط الحتي للجليد، وان المواد الخشنة والكبيرة الحجم والأكثر صلابة تكون اكثر فاعلية من المواد الناعمة مثل الغرين والطين.

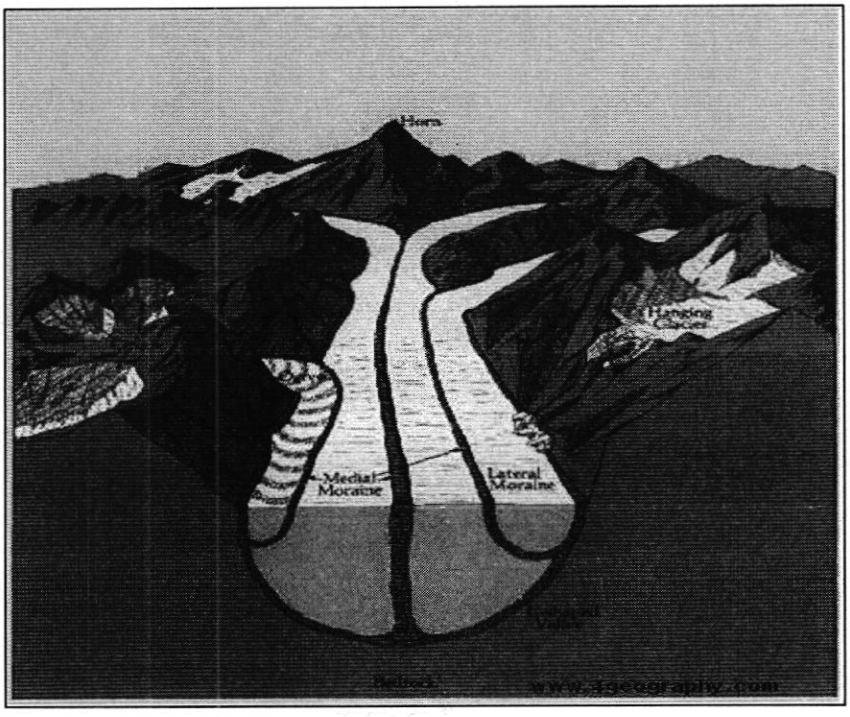
4- اختلاف درجة صلابة الصخور: يزداد معدل الحت الجليدي فوق الصخور اللينة، فيما تكون الصخور الصلبة اكثر مقاومة، لذا نجد ان مناطق الصخور اللينة تتحول إلى احواض بفعل الحت الجليدي، بينما تبقى المناطق ذوات الصخور الصلبة مرتفعة.

ينجم عن الحت الجليدي عدد من الأشكال الأرضية اهمها ما يأتي:-

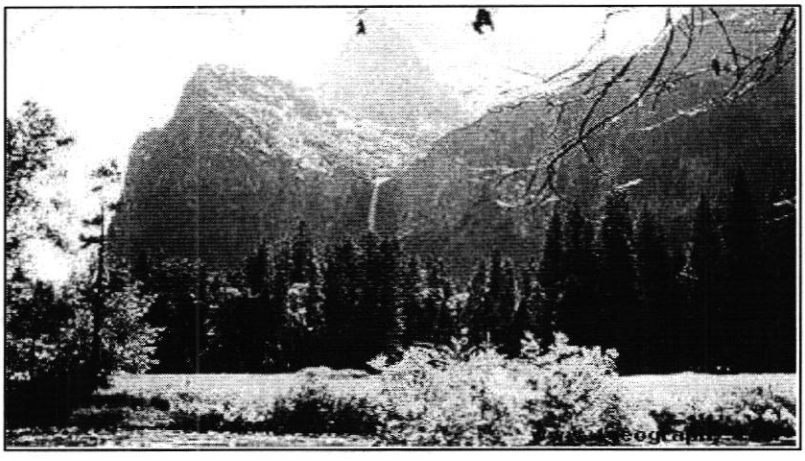
1- الأودية الجليدية Glacial Valleys: ينحدر الجليد بحركته البطيئة نحو المنحدرات السفلى والأراضي المنخفضة سالكاً الأودية، ويعمل على حت صخورها الجانبية وتعميقها وتعرف عندئذ بالأودية الجليدية. واهم مايميز مقطعها العرضي ظهوره على شكل حرف U بخلاف الأودية النهرية التي يبدو مقطعها العرضي على شكل حرف V. يكثر وجود المصاطب Benches باعتبارها مظهراً في الوديان التي تعرضت إلى التعرية الجليدية. وينتهي كثير من الوديان التي تعرضت إلى التعرية الجليدية عند اعاليها باوجه شديدة الانحدار تشبه الجدران تعرف باسم نهاية الأحواض ومن المحتمل ان تكون ناجمة من اتصال عدد من الحلبات Cirque عند اعالي الوادي وكما يتضح من الشكل (67).

2- الأودية المعلقة Hanging Valleys: تشبه الأودية الجليدية المعلقة نظيرتها النهرية من حيث الخصائص المورفولوجية، اذ تمثل هذه الأودية روافد للوادي الجليدي مع اختلاف منسوب كل منهما، بحيث يكون منسوب الثلاجة الرئيسة اخفض بكثير من منسوب الوادي المعلق، وكما يتضح من الشكل (68) ويتخذ مكان الالتقاء بينهما شكل الجرف، وفي حالة ذوبان الجليد تتحول جريانات الأودية المعلقة إلى شلالات (سلامة، 2010، 309).

شكل (67) عناصر الوادي الجليدي



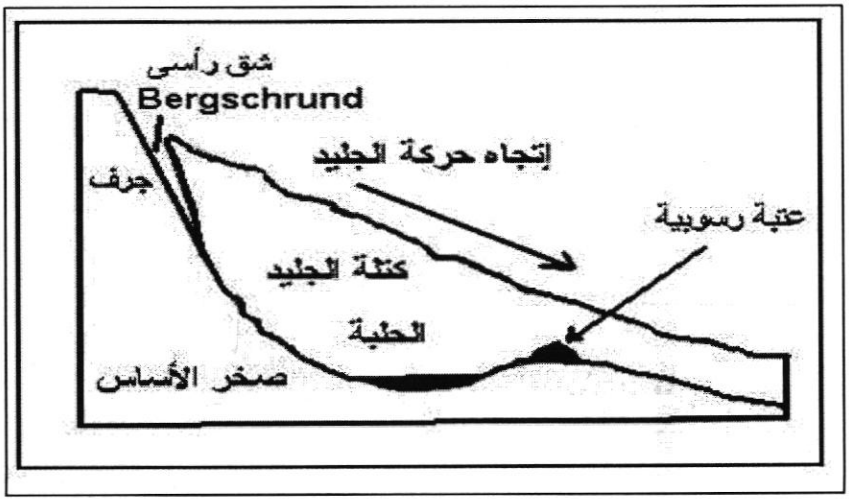
شكل (68) الوادي المعلق



3- الحلبات الجليدية Cirques: تعد اهم المظاهر الجيومورفولوجية التي تتميز بها المناطق الجبلية المرتفعة التي تتأثر بعملية الحت الجليدي. والحلبات الجليدية عبارة عن احواض تشبه إلى حد كبير حلبات الملاعب ومدرجاتها، وتكون حوائطها شديدة الانحدار وتوجد في الأجزاء العليا من الأودية الجليدية الشكل (69). تتعرض قيعان الحلبات الجليدية إلى عملية الصقل الميكانيكية وتتحول إلى منخفضات أو احواض تصبح بعد ان يتراجع الجليد على شكل بحيرات صغيرة تسمى ببحيرات الحلبات التي تعرف في اسكتلنده باسم التارن Tarn (صفي الدين، 1979، 308)

4- الحافات المسننة Aretes: تتقابل حوائط الحلبات الخلفية عندما تتواجد حلبتان جليديتان في وضع متعاكس، وينجم من جراء الحت التراجعي لكل منهما تحول المنطقة الفاصلة بينهما إلى سلسلة ضيقة متعرجة شديدة الانحدار تعرف باسم Arete وتعني السلسلة الحادة (الشكل 66)

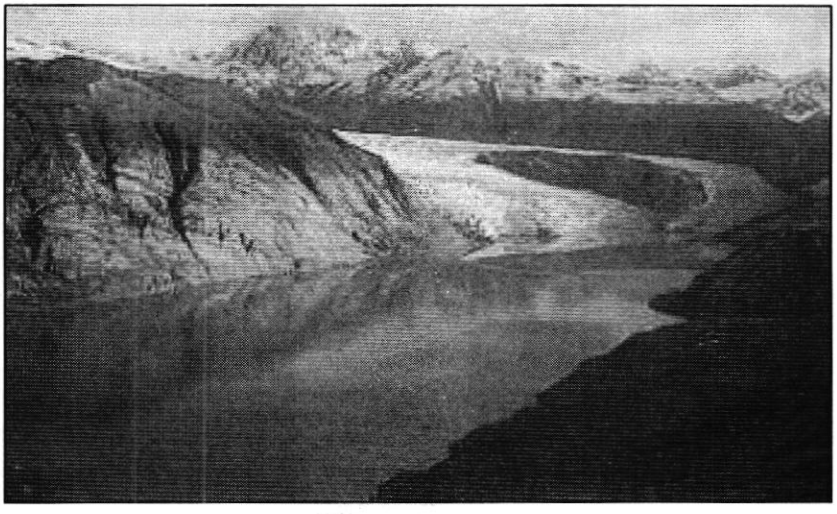
شكل (69) الحلبة الجليدية



5- القرون الجليدية Horns: تتكون القرون الجليدية عندما تتقابل عدة حلبات جليدية فوق جبل من الجبال، حيث تؤدي التعرية التراجعية لكل واحدة منها إلى تكوين قمة هرمية مدببة الشكل تعرف باسم القرن الجليدي Horn (الشكل 66).

6- الفيوردات Fjords: وهي عبارة عن اودية جليدية عميقة ومنحدرة الجوانب ومقطعها العرضي على شكل حرف U تنتهي عادة عند الأراضي الساحلية وتتحول هذه الأودية إلى فيوردات عند غمرها بمياه البحر، التي تتوغل إلى ابعاد متفاوتة تحددها مناسيب الوادي الجليدي وكما يتضح من الشكل (70). وغالباً ما تنتهي الفيوردات بمياه البحر عند عتبة صخرية على شكل جرف ومتعمقة دون منسوب مياه البحر. وقد تتحول الفيوردات إلى بحيرات طولية تعزلها عتباتها الصخرية عن مياه البحر في حالة تراجع مناسيب البحر، وتنتشر الفيوردات في سواحل الاسكا وشيلي ونيوزيلندة والنرويج (سلامة، 2010، 310).

شكل (70) الفيوردات



ثانياً: الأشكال الأرضية الناجمة عن الترسيب الجليدي

تستطيع الثلاجات ان تنقل حطاماً صخرياً متنوع الأحجام، فالغطاءات الجليدية تأتي حمولتها من الأرض التي تتحرك عليها، فيما تستلم ثلاجات الوديان حمولتها من مصادر مختلفة سواء من أرضية الوادي الذي تتحرك فوقه أم من المنحدرات الجبلية التي تشرف على تلك الوديان. كما تقوم الانهيارات الأرضية والانزلاقات بنقل المواد الصخرية المختلفة من جوانب الجبال وتلقيها على سطح الثلاجات التي تقوم بدورها بنقل المواد آنفة الذكر من مكان إلى آخر، ثم تترسب عندما يذوب الجليد، وتطلق تسمية الرواسب الجليدية على المواد التي يلقيها الجليد فوق التضاريس الأرضية وكذلك الرواسب التي تترسب بواسطة المياه الذائبة من الثلاجة، وتتسم تلك الرواسب على اختلاف انواعها بعدم تجانسها وباختفاء ظاهرة الطباقية فيها. وينجم عن عملية الترسيب الجليدي ما يأتي:-

1- الركامات الجليدية Moraine Glacial: الركامات الجليدية عبارة عن فتات أو حطام المواد الصخرية المختلفة التي تدفعها الثلاجات امامها أو تنقلها معها. وتشتمل على ما يأتي:- (محسوب، 2001، 212).

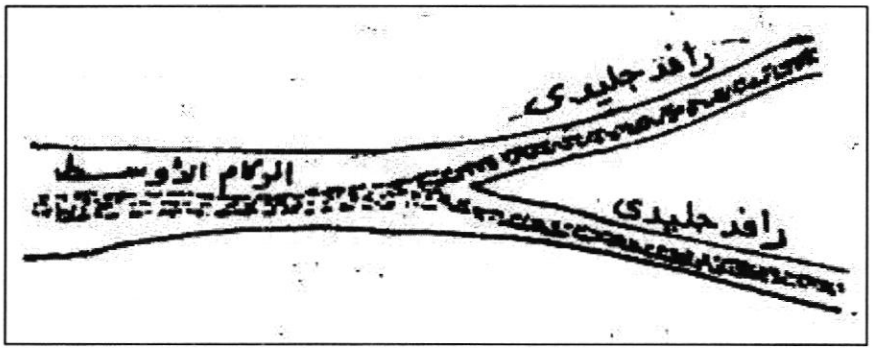
أ- الركامات الجانبية Lateral Moraine: تترسب الركامات الجانبية في شكل تلال طولية على جوانب الوادي الجليدي، ونتجت من تساقط المفتتات الصخرية من حافات الوادي وجوانبه والانهيارات الجليدية. وتتميز بكثرة تقطعها وقد تظهر في جانب من الوادي وتختفي في الجانب الآخر (الشكل 67).

ب- الركام الأوسط Medial Moraine: يظهر هذا الشكل من اشكال الارساب الجليدي عندما يلتقي واديان جليديان أو اكثر في مجرى واحد كما يتضح

من الشكل (71). كما انها تظهر في الوادي الجليدي في حالة التئام ركامين جانبيين. ويتكون من مفتتات صخرية متباينة الأحجام، وفي اغلب الأحوال تعمل الأنهار التي تتشكل بعد ذوبان الجليد على ازالتها.

ج- الركام النهائي Terminal Moraine: يتكون عند نهاية الثلاجة بعد تعرضها للذوبان، مما يدل على حدوث عملية ترسيب في نهايتها. وكانت تعرف في الماضي باسم الركامات التراجعية. ويتوقف تكونها على عدد من العوامل اهمها المدة التي تمكثها الثلاجة دون ان تتحرك، وكمية المفتتات المنقولة، فضلاً عن قدرة الثلاجة على نحت المواد الصخرية (الشكلين 66 و67).

شكل (71) الركام الأوسط



2- الكثبان الجليدية Drumlins: يطلق تعبير الكثبان الجليدية على الرواسب الجليدية التي تظهر على شكل تلال كثيبية بعد عملية تراجع الجليد، وتتكون رواسبها من الطين والرمل والحصى التي نقلتها الثلاجات. ويشير سفحها الشديد الانحدار إلى الجهة التي تقدم منها الجليد، فيما يشير السفح الآخر القليل الانحدار إلى اتجاه حركة الجليد. يتراوح ارتفاعها ما بين 5 – 50 متراً عن مستوى

الأراضي المجاورة، في حين يتراوح طولها ما بين100 – 3000 متراً (سلامه، 2010، 311)، ولا توجد الكثبان الجليدية بمفردها، بل تتواجد على شكل مجموعات أو حقول تمتد بشكل متوازي وكما يتضح من الشكل (72).

شكل (72) حقول الكثبان الجليدية

3- الرواسب الجليدية النهرية Fluvio – Glacial: عندما تتعرض الغطاءات الجليدية إلى الذوبان بسبب ارتفاع درجات الحرارة كما حدث في الفترات غير الجليدية، تتكون بعض المجاري المائية وبخاصة اسفل تلك الغطاءات وفي قاع الوادي الجليدي، وتعمل هذه المجاري المائية على ترسيب الرواسب الجليدية النهرية بشكل متناسق بحيث تبدو في صورة شبه طباقية، وتساهم تلك الرواسب في تكوين اشكال أرضية مختلفة من بينها ما يأتي:- (ابو العينين، 1974، 395-397).

أ- تلال الاسكرز Eskers: تتكون من الحصى ومفتتات الصخور المختلطة مع الرمال، وتتميز الحبيبات الصخرية باستدارتها وشكلها البيضوي أو الكروي وسطحها الأملس، مما يدل دلالة واضحة على تأثرها بالتعرية المائية. وقد تتكون تلك الرواسب على شكل طبقات تتباين من حيث التركيب الجيولوجي وشكل الرواسب واحجامها، مما يشيرالى ان رواسب الاسكرز لاتعود إلى فترة زمنية واحدة بل ترسبت خلال فترات متعاقبة. وقد يصل طول هذه التلال إلى حوالي 240 كم وارتفاعها 50 متراً. وكما يتضح من الشكل (73).

شكل (73) تلال الاسكرز

ب- تلال الكام Kame: تظهر هذه التلال على شكل قباب صغيرة ومتناثرة على سطح الأرض، وقد ترسبت موادها في البداية فوق سطح الجليد وبخاصة في الحفر الوعائية أو داخل الفتحات الواسعة للشقوق الصخرية الجليدية. وبعد عملية تقهقر الجليد تظهر بقايا رواسب الكام على شكل مدرجات ارسابية

جانبية تنجم من تراكم الرواسب الجليدية النهرية على جانبي النهر الجليدي، وتكون جوانبها شديدة الانحدار الشكل (74).

ج- الأحواض Kettles: تنقل الأنهار التي تخرج من الغطاءات الجليدية الذائبة كميات من الرواسب تتباين في احجامها، وعندما تقل سرعة تلك الأنهار ترسب اولاً المواد الخشنة من الحصى والرمال، فيما تنقل المواد الناعمة إلى مسافات بعيدة. ويتكون من جراء هذا الترسيب سهول الغسل الجليدي التي تنتشر في الكثير من جهاتها احواض تتراوح اقطارها من بضعة امتار إلى مئات من الأمتار وقد تمتلئ هذه الأحواض بالمياه بمرور الزمن مكونة بحيرات الشكل (75).

شكل (74) تلال الكام

شكل (75) الأحواض

مصادر الكتاب

1- ابو العينين، حسن سيد أحمد، كوكب الأرض – ظواهره التضاريسية الكبرى، دار النهضة العربية، بيروت، 1974.

2- ابو العينين، حسن سيد أحمد ، اصول الجيومورفولوجيا - دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض، مؤسسة الثقافة الجامعية، الاسكندرية، 1976.

3- ابو العينين، حسن سيد أحمد ، اصول الجيومورفولوجيا، الدار الجامعية للطباعة والنشر، بيروت، 1981.

4- الأنصاري، نضير، مبادئ الهيدروجيولوجي، مطبعة كلية العلوم، بغداد، 1979.

5- تراب، محمد مجدي، اساسيات الجغرافية الطبيعية، مكتبة الفلاح، الامارات، 2005.

6- ثورمبري، وليم دي، اسس الجيومورفولوجيا، ج2 ترجمة وفيق حسين الخشاب وعلي محمد المياح، دار الكتب للطباعة والنشر، الموصل، 1975.

7- جرينجر، آلان، التصحر.. التهديد والمجابهة، ترجمة عاطف معتمد وآمال شاور، المجلس الأعلى للثقافة، القاهرة، 2002.

8- جوده، جوده حسنين، معالم سطح الأرض، دار النهضة العربية، بيروت، 1980.

9- جوده، جوده حسنين ، جغرافية البحار والمحيطات، منشأة المعارف، الاسكندرية، 1996.

10- جودي، أ.س. وج. ولكنسون بيئة الصحاري الدافئة، ترجمة علي علي البنا، مطبعة ذات السلاسل، الكويت، 1985.

11- الجوهر، جاسب كاظم، الأشكال الأرضية لأحواض الوديان الجافة في منطقة بصية، اطروحة دكتوراه، كلية الآداب- جامعة البصرة، 2011.

12- الدراجي، سعد عجيل مبارك، اساسيات علم شكل الأرض، دار كنوز المعرفة، عمان 2010.

13- الدليمي، خلف حسين، التضاريس الأرضية دراسة جيومورفولوجية عملية تطبيقية، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان، 2011.

14- السامرائي، قصي عبدالمجيد وعبد محور الريحاني، جغرافية الأراضي الجافة، مطابع دار الحكمة، بغداد، 1990.

15- سلامة، حسن رمضان، التحليل الجيومورفولوجي للخصائص المورفومترية للأحواض المائية في الاردن، مجلة دراسات العلوم الانسانية، المجلد السادس، العدد2، 1980.

16- سلامة، حسن رمضان، اصول الجيومورفولوجيا، دار المسيرة للنشر، عمان، 2010.

17- سلامة، حسن رمضان ، جغرافية الأقاليم الجافة، دار المسيرة للنشر، عمان، 2010.

18- السنوي، سهل وأخرون، الجيولوجيا العامة، مطبعة كلية العلوم، بغداد، 1979.

19- شحادة، نعمان، علم المناخ، دار الصفاء للنشر، عمان، 2009.

20- الصائغ، عبدالهادي يحيى وفاروق صنع الله العمري، الجيولوجيا العامة، دار الكتب للطباعة والنشر، الموصل، 1974.

21- صفي الدين، محمد، جيومورفولوجية قشرة الأرض، دار النهضة العربية، بيروت، 1979.

22- العبدان، رحيم حميد، الأشكال الأرضية لحوض وادي عامج، اطروحة دكتوراه، كلية الآداب- جامعة بغداد، 2004.

23- العذاري، أحمد عبدالستار، هيدروجيومورفولوجية منطقة الوديان غرب العراق، اطروحة دكتوراه، كلية الآداب- جامعة بغداد، 2005.

24- القرالة، محمد، تحليل جيومورفولوجي للخصائص المورفومترية لحوض وادي الكرك، حوليات آداب عين شمس، المجلد 33، 2005.

25- كربل، عبدالاله رزوقي، المدخل إلى جغرافية البحار والمحيطات، مطبعة جامعة البصرة، البصرة، 1985.

26 - كربل، عبدالاله رزوقي ، علم الأشكال الأرضية، مطبعة جامعة البصرة، البصرة، 1986.

27- كليو، عبدالحميد أحمد ومحمد اسماعيل الشيخ، نباك الساحل الشمالي في الكويت – دراسة جيومورفولوجية، الكويت، 1986.

28- محسوب، محمد صبري، جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، دار العهد العربي، القاهرة، 2001.

29- محسوب، محمد صبري، الأطلس الجيومورفولوجي معالجة تحليلية للشكل والعملية، دار الفكر العربي، القاهرة، 2001.

30- المومني، لطفي راشد، هيدرولوجية وادي الموجب في الاردن، مطبعة وزارة الثقافة، الاردن 1997.

31- Davies, J. L., Geographical variation in coastal development, London, 1980.

32- Easterbrooke, D. J, Principles of geomorphology, New York,1969.

33- Encyclopedia Britannica, Vol. 23, U. S. A, William Benton, 1973.

34- Frederick, Lutgens & Edward J.,Essential of geology, second edition, London, 1979.

35- Monkhouse, F. J., Principles of physical geography, London,1975.

36- Mabbutt,J. A., Desert landforms, Vol. 2, Canberra, 1977.

37- Sparks, B. W., Rocks & Relief, London, 1971.

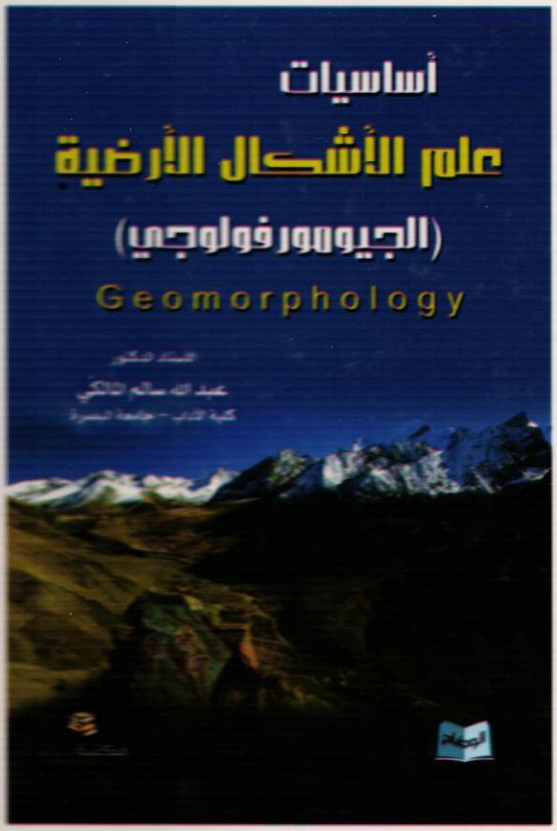
38- Stallings,J. H., Soil conservation, U. S. A, 1959.

39- Strahler, A. N., Quantitative geomorphology of drainage basins And net works in abook of applied hydrology, New York, 1979.

40- Thornbury, William D., Principles of Geomorphology, New York, 1969.

41- www.4geography.com.

أساسيات
علم الأشكال الأرضية
(الجيومورفولوجي)



دار الوضاح للنشر

دار الوضاح للنشر
المملكة الأردنية الهاشمية – عمان
شارع الملك حسين – مجمع الفحيص التجاري
تلفون: 0096264613076
0096264654794
dar.alwadah@yahoo.com

مكتبة دجلة

جمهورية العراق – بغداد
ساحة التحرير – مدخل شارع السعدون
تلفون: 009641817079
خلوي: 009647705855603
dijla.bookshop@yahoo.com