

المقدمة

نظراً لتطور العلوم في كافة المجالات بشكل عام ، وفي مجال علم شكل الأرض بشكل خاص ، ونظراً لما يمتاز به هذا العلم من مكانة متميزة تتوسط علم الجغرافيا من جهة وعلم الجيولوجيا من جهة أخرى . وما يتميز به من توجهات حديثة تتجه لتسخير امكانيات هذا العلم لتقديم الفائدة الاقتصادية النفعية للإنسان من كل ما يدرس من ظواهر تدخل في مجال هذا العلم الذي يتجه لتوضيح معالم الأشكال الأرضية وتيسير فهمها من قبل الإنسان المستوطن لهذه الأشكال لكي يفهمها ويتعلم آلية التعامل معها من حيث الاستفادة من خيراتها ، وفهم آلية المشاكل والمخاطر الناتجة عنها وكيفية معالجتها . وهذا يعني بأننا ينبغي ان نؤكد بان هذا العلم هو علم تطبيقي لا يتوقف عند حدود توضيح الأشكال الأرضية لهذا العلم ، وانما يمتد الى ابعد من ذلك لتوضيح آليات التعامل بين الانسان وبين كل تلك الأشكال من حيث الفائدة القصوى من جهة ومن حيث التعامل مع المخاطر من جهة أخرى . عليه توكلنا على الله لكي نضع أيدينا مع أيدي زملائنا وأساتذتنا الذين سبقونا في الكتابة في مجال هذا العلم لكي نساهم بشكل يسير في توضيح الأسس العامة لهذا العلم في هذا الكتاب على ان نتبعه بكتاب آخر يوضح الجانب التطبيقي لهذا العلم ان كان لنا في العمر بقية

اذ اشتمل هذا الكتاب على ثلاثة عشر فصلاً تناول الفصل الأول فلسفة علم شكل الأرض ، وتناول الفصل الثاني علاقة الارض بالمجموعة الشمسية ، وتناول الفصل الثالث النظريات الحديثة التي تفسر توزيع اليابس والماء ، وتناول الفصل الرابع المكونات الاساسية للغلاف الصخري ، وتناول الفصل الخامس الاشكال الارضية الناتجة عن القوى الباطنية ، وتناول الفصل السادس التجوية انواعها ونتائجها ، وتناول الفصل السابع المنحدرات وأثرها في تشكيل سطح الأرض ، وتناول الفصل الثامن حوض الصرف ، وتناول الفصل التاسع الأنهار وأثرها في تشكيل سطح الأرض ، وتناول الفصل العاشر الاشكال الارضية الناتجة عن المياه الجوفية ، وتناول الفصل الحادي الاشكال الارضية الناتجة عن الامواج المائية في مناطق السواحل ، وتناول الفصل الثاني الاشكال الارضية الناتجة عن الرياح في المناطق الجافة وشبه الجافة ، وتناول الفصل الثالث عشر الاشكال الارضية الناتجة عن الجليد في المناطق القطبية وشبه القطبية .

وأخيراً لا ندعي الكمال لان الكمال لله وحده ، ومنتظر بفارق الصبر كل ملاحظات وآراء جميع أساتذتنا وزملائنا الأفاضل وطلبتنا الأعزاء وكل من يجد معلومة ممكن ان ترتقي بهذا الكتاب ليأخذ مساره نحو الأفضل ، لان وجهات النظر المختلفة هي التي توصلنا إلى الغاية التي نسعى من اجلها جميعاً وهي العلم الذي من خلاله نستطيع ان نتعامل مع المحيط الذي نعيش فيه والله من وراء القصد .

المؤلف . العراق ، بغداد ، ٢٠١٠ .

الفصل الأول

فلسفة علم شكل الأرض

مفهوم علم شكل الأرض Geomorphology .

يتميز علم شكل الأرض geomorphology بأنه علم ديناميكي يمتلك الإمكانية لتغيير طبيعته كما يتطور خلال الوقت ، لذلك فان تطور هذا العلم لا يُمكن أن يحدد بشكل بديهي ، وإنما كل الذي يُمكن القيام به هو تمييز الحالة الجارية من الإصدارات ، وإعطاء تخمين حول نتائج ظُهُور اتجاهات لمستقبل هذا العلم (Rhoads and. Thorn 1996.p117-119) .

أن موضوعات هذا العلم كانت تدخل حتى عهد قريب في نطاق علم واسع هو وصف الطبيعة أو الظواهر الطبيعية بشكل عام Physiography الذي وضع أسسه وأرسى قواعده الجغرافي الأمريكي وليام مورس ديفز W . M . Davis في عام ١٨٩٩ . وقد اختلف الجغرافيون وتضاربت آرائهم بصدد تعريف هذا الفرع من فروع علم الجغرافيا ، فهناك من قال بان دراسة وصف الطبيعة ينبغي أن تشمل نفس موضوعات علم شكل الأرض Geomorphology ، ومنهم من قال بان مضمونها لا يختلف قليلا أو بعيدا عن مضمون الجغرافيا الطبيعية Physical Geography ، ومنهم من ذهب إلى ابعد من ذلك وخاصة في المدارس الأوروبية وقال بان هذا العلم ينبغي أن يشمل دراسات أخرى عديدة إلى جانب دراسة الصورة التضاريسية ، مثل الدراسات المناخية ، وعلم الأرصاد الجوية ، وعلم المياه ، وعلم البحار والمحيطات ، وعلم النبات ، مما يجعل دائرته تتسع كثيرا عن تلك التي حددها (ديفز ١٨٩٩) التي جعلها تقتصر على دراسة مظاهر سطح الأرض . ولهذا توقف العمل في استخدام مصطلح وصف الطبيعة Physiography وخاصة في الولايات المتحدة الأمريكية وحل محله مصطلح علم شكل الأرض Geomorphology (أبو العز ، ٢٠٠١ ، ص ١٥ - ١٦) . لذلك سنحاول في هذا الفصل تسليط الضوء على جذور مصطلح هذا العلم ، والمفاهيم أو التعريفات التي تناولته ، وعلاقة هذا العلم بالعلوم الأخرى ، والاتجاهات العلمية الحديثة له .

يشكل علم شكل سطح الأرض Geomorphology حلقة وصل بين علم الأرض Geology ، وبين علم الجغرافيا Geography ، إذ يشكل فرعا مهماً من فروع علم الأرض ، وكذلك فرعا مهما من فروع علم الجغرافيا الطبيعية .

إما مصطلح علم شكل الأرض Geomorphology فهو عبارة عن مصطلح أمريكي أدخلته لأول مرة مدرسة نشطت في الولايات المتحدة في أواخر القرن التاسع عشر ، واستمرت مزدهرة خلال النصف الأول من القرن العشرين ، فأعطت هذا العلم عصره الذهبي ، وظل لفظ هذا المصطلح بعد ذلك مستخدما حتى الآن . وهناك مصطلح آخر يفضل استخدامه من قبل بعض الجغرافيين وهو شكل الأرض Land form الذي يؤدي نفس المعنى تقريبا في اللغة الإنكليزية ، ويرى هؤلاء الجغرافيين بان تعبير شكل الأرض Land form ربما اقرب إلى الجغرافيا من مصطلح علم شكل الأرض Geomorphology إذ يعتقدون بأنه أكثر ميلا إلى علم الأرض Geology . (البحيري 1995).

ويرجع اصل مصطلح الجيومورفولوجيا Geomorphology إلى كلمة لاتينية تتكون من ثلاثة مقاطع هي الأرض Geo ، والشكل Morpho ، والعلم Logos ، وبالتالي فان معنى هذا المصطلح يعني علم

شكل الأرض ، وقد أورد رودس وثورن ١٩٩٦ (Rhoads and. Thorn 1996, p. 117-119) عشرة تعاريف لعلم شكل الأرض والتي سوف نستعرضها جميعا لكي نخرج بفهم واضح لمفهوم هذا العلم ، وهذه التعاريف هي كالآتي :

١ - أن علم شكل الأرض Geomorphology مكرس لتوضيح تضاريس سطح الأرض وفهم العمليات التي تكوّن وتعديل أشكال الأرض Landform . (Bridges 1990, p. vii) .

٢ - علم شكل الأرض ' Geomorphology هو دراسة أشكال الأرض landforms ، وبشكل خاص طبيعتهم ، وأصلهم ، وعمليات تطوره وتركيب المادة . (Cooke و Doornkamp 1990, p. 1) .

٣ - علم شكل الأرض Geomorphology هو دراسة سطح الأرض . بشكل كلاسيكي ، وقد درس المختصين بعلم شكل الأرض Geomorphologists أشكال الأرض landforms ، تلك الأشكال التي صُنِّفَتْ أو سُمِّيتْ من قِبَل علماء شكل الأرض Geomorphologists أو من قبل علماء الأرض الآخرين . (Mayer 1990, p. 1) .

٤ - علم شكل الأرض Geomorphology . هو الدراسة العلمية للمظاهر الهندسية لسطح الأرض . وبالرغم من أن هذا المفهوم يُحدّدُ بشكل عام تلك الأشكال الأرضية landforms التي تطورت في أو فوق مستوى قاع البحر أو المحيط ، إلا أن علم شكل الأرض Geomorphology يتضمن كُلاًّ المظاهر ذات الصلة التي تقع بين الغلاف الصخري ، والغلاف المائي hydrosphere والغلاف الجوي atmosphere . بمعنى انه ليس فقط أشكال سطح الأرض Landform القارية وما يتعلق بهوامشها البحرية ، وإنما شكل قاع البحر أو المحيط . بالإضافة إلى انه يُنظَرُ إلى المظاهر الموجودة على سطح القمر ، والمريخ والكواكب الأخرى القريبة التي تم تزويد هذا العلم بمعلومات عن مظاهرها التضاريسية عن طريق المركبات الفضائية . (Chorley et al. 1984, p. 1) .

٥ - علم شكل الأرض Geomorphology أفضل تعريف له ببساطة كبيرة جدا هو دراسة أشكال الأرض landforms . مثل أكثر التعاريف البسيطة ، المعنى الفعلي غير واضح بعض الشيء ومفتوح جداً إلى التفسير . (Ritter et al. 1995, p.3) .

٦ - علم شكل الأرض Geomorphology هو دراسة أصل وتطور المظاهر التضاريسية topographic التي تتأثر بالعمليات الفيزيائية والكيميائية الموجودة على أو قرب سطح الأرض . . . وبالرغم من اعتماد دراسة العمليات السطحية وتضاريس أشكال سطح الأرض landforms بشدة على المبادئ الجيولوجية . إلا أن علم شكل الأرض geomorphology حاله حال العلوم الأخرى يعتمد أيضاً على تطبيق المبادئ الأساسية للفيزياء ، والكيمياء ، وعلم الأحياء ، والرياضيات لفهم الأنظمة الطبيعية . (Easterbrook 1993, p. 2) .

٧ - علم شكل الأرض يهتم 'بتراكيب ، ومواد ، وعمليات ، وتأريخ أشكال الأرض المتغيرة ، هذه المكونات الأربعة هي المكونات الضرورية لدراسة طبيعة وأصل سطح الأرض الحديث . (Selby 1985, p. 1) .

٨ - علم شكل الأرض Geomorphology هو الوصف المنظم ، والتحليل العميق ، والفهم الشامل للمناظر الطبيعية والعمليات التي تعمل على تغييرهم . . . أي وصف ، وتحليل ، وفهم أشكال الأرض (Bloom 1991, p. 1) . (landforms)

٩ - علم شكل الأرض Geomorphology هو العلم الذي يهتم بأشكال سطح الأرض landsurface والعمليات التي تعمل على تكوينها . وهو يمتد أيضا ليشمل دراسة بعض المظاهر تحت الماء أي على قاع البحار والمحيطات ، وبوصول الاستكشاف الكوكبي يجب الآن أن يتم دمج المناظر الطبيعية من الاغلفة الصخرية الرئيسية للنظام الشمسي . لتشكل بؤرة واحدة لبحث العلاقة الجيومورفية Geomorphic بين أشكال الأرض landforms والعمليات التي تتصّف وفهم حالياً (Summerfield 1991, p. 3) .

١٠ - علم شكل الأرض Geomorphology يُعرّف بشكل واسع كدراسة ماضي ، وحاضر ، ومستقبل أشكال الأرض landforms ، تجمعات أشكال الأرض (مناظر طبيعية فيزيائية) ، ويُعالج السطح Surficial على الأرض والكواكب الأخرى (Rhoads and Thorn 1993, p. 288) .

ثم تطور علم شكل الأرض بعد ذلك ليشمل التوزيع الجغرافي لظاهرات سطح الأرض ، بالإضافة الى نشأتها ، وتطورها ، وبذلك يكون مفهوم هذا العلم هو وصف وتصنيف أشكال سطح الأرض ومراحل نشأتها وتطورها وتوزيعها المكاني مؤكدا على تحديد العوامل والعمليات التي ساهمت في تكوين تضاريسها والتي لا تزال تعمل على تغييرها لحد الآن . (النقاش ، والصحاف 1990) .

وبهذا المفهوم فان علم أشكال سطح الأرض يهتم بدراسة جميع معالم سطح الأرض بغية التعرف على صيغها وظروف نشأتها والعوامل التي اشتركت في تشكيلها وتتبع مراحل تطورها ، أي انه يهتم بالبعد الزمني للظاهرة إذ يجيب على أسئلة تبدأ بكلمتي (متى ؟ وكيف ؟) بمعنى متى تكونت تلك الظاهرة ؟ وكيف تكونت أي ما العوامل التي ساهمت في تكوينها ؟ ويلاحظ كذلك اهتمامه بالتوزيع الجغرافي لمظاهر سطح الأرض وبذلك فهو يجيب على أسئلة تبدأ بكلمتي (أين ؟ ولماذا ؟) بمعنى ذلك أين توجد هذه الظاهرة ؟ ثم لماذا تكونت في هذا المكان دون غيره !.

من الملاحظ من خلال استعراض التعاريف المنهجية لعلم شكل الأرض Geomorphology يبدو بأنها تمتلك عمومية بشكل كبير ، وتبدو كافية لتمييز الجوهر الأساسي ، أو مجال علم شكل الأرض المعاصر (Shapere 1974) ، وتقتصر هذه التعاريف بأن عدد قليل من علماء علم شكل الأرض Geomorphologists يختلفون في وجهة نظرهم مع وجهة النظر التي ترى بان هدف العلم هو تحري الأشكال السطحية والعمليات التي تقع على الجزء الأرضي للأرض فقط ، وذلك من خلال إدراج الأشكال الأرضية لقاع البحر أو المحيط أو دراسة سطوح الكواكب الأخرى في الوقت الحاضر ضمن مجال علم شكل الأرض Geomorphology الذي قد يكون أكثر تفاءلا من أن يكون موثوقا به . وبالتالي فان عدد قليل من العلماء الذين يدرسون أحواض المحيط العميقة أو سطوح الكواكب مثل المشتري أو زحل من المحتمل أن

يعتبرون أنفسهم متخصصين في علم شكل الأرض Geomorphologists . في النهاية يمكن أن يميز جوهر علم شكل الأرض Geomorphology بان محيطه ضبابي أن صح التعبير ، وان ما يمتاز به هذا العلم هو وجود العديد من حقول المعرفة له (Shapere 1974) . (Rhoads and. Thorn 1996.p117 -119) .

علاقة علم شكل الأرض بالعلوم الأخرى .

لما كان علم الأشكال الأرضية Geomorphology يشكل همزة الوصل بين علم الجغرافيا ، وعلم الأرض ، ويستند في استنقاء معلوماته من العديد من العلوم الأخرى ذات الصلة بمحيطه ، لذا سوف نتطرق إلى توضيح تلك العلاقة بهذه العلوم وكما يأتي :

١ - علم قياس الأرض Geodesy .

وهو العلم الذي يهتم بتحديد مواقع وارتفاعات نقط معلومة على سطح الأرض مع الأخذ بالحسبان أثناء إجراء عمليات القياس الشكل الحقيقي للكرة الأرضية . وبالتالي فان علم شكل الأرض بحاجة ماسة إلى مثل هذه القياسات لمعرفة التباين التضاريسي على سطح الأرض ، وكذلك التباين التضاريسي على قاع البحار والمحيطات ليتمكن بدوره من إعطاء التفسيرات العلمية لهذا التباين التضاريسي .

٢ - علم الطبيعة الأرضية Geophysics .

وهو العلم الذي يكشف لعلم الأشكال الأرضية خبايا القوى التي تسكن باطن الأرض ، المتمثلة بالزلازل والبراكين ، والتي يتحدد من خلالها أيضا مناطق الضعف الجيولوجي للأرض ، وهنا يأتي دور المتخصص في علم شكل الأرض لكي يكون تصور نظري لهذه القوى ؟ وما مقدار فاعليتها في إعادة رسم الصور التضاريسية على سطح الأرض ؟ وما الكوارث الطبيعية التي تترتب على حدوث الزلازل والبراكين ؟ وكيفية مجابته والتقليل من مخاطرها ؟ .

٣ - علم الأرض Geology .

إن الصلة الوثيقة والرباط المتين بين علم الأشكال الأرضية Geomorphology ، وبين علم الأرض Geology صلة لا يمكن تجاهلها ، باعتبار أن علم شكل الأرض يمثل همزة الوصل بين علم الأرض Geology وبين علم الجغرافيا Geography ، أو انه يمثل نطاق الحدود بينهما ، وعليه فان علم الأرض يوفر للمتخصص في علم شكل الأرض العمر الزمني ، والتطور التاريخي ونظام بنية الطبقات لكل ظاهرة تضاريسية على سطح الأرض باعتبار أن المتخصص في علم شكل الأرض يهتم بالبعد الزمني لهذه الظواهر . كما يهتم الباحث في علم شكل الأرض بالعوامل والعمليات المختلفة التي أسهمت ولازالت تساهم في تشكيل سطح الأرض وبذلك فهو يعتمد هنا على علم الجيولوجيا الطبيعية Physical Geology .

الملاحظ هنا بان الصلة الوثيقة بين هذين العلمين جعلت كل منهما على حد سواء يخوض في موضوعات علم شكل الأرض ، مع اختلاف واضح في معالجة كل واحد منهما لهذه الموضوعات ، إذ ينظر

المتخصص في علم الأرض إلى الدراسات في علم شكل الأرض على انه نهاية قصة تطور طويلة الأمد ،
بينما ينظر المتخصص في علم شكل الأرض إلى هذه الدراسات بأنها بداية لدراساته . (محمد
صفي الدين ، ص ١٧ - ١٨) .

٤ - علم الصخور Petrography .

يهتم هذا العلم بدراسة بناء قشرة الأرض السطحية ، الذي ينظم علم الأشكال الأرضية فيما بعد
أعمارها ووحداتها الزمنية على ضوء صلته بعلم الأرض ، وهنا يبدو التعايش التام بين علم أشكال سطح
الأرض وبين علم الصخور ، كما هو الحال بينها وبين الجيولوجيا ، إذ من خلال الدراسات التي يقوم بها
الباحثين في علم الصخور يتعرف الباحث في علم الأشكال الأرضية على أنواع الصخور المكونة للغلاف
الصخري التي يستخدمها المتخصص في علم شكل الأرض لتفسير تباين تعرض هذه الصخور للعمليات
الخارجية المتمثلة بعمليات التجوية وعمليات التعرية بانواعها المختلفة ، إضافة إلى تحديد التوزيع الجغرافي
لهذه الصخور ، وتوضيح أهميتها الاقتصادية وإمكانية الاستفادة منها قدر الامكان باعتبار أن احد
الاتجاهات الحديثة لهذا العلم هو تحديد المنفعة الحقيقية للإنسان من خلال دراسة جميع مظاهر سطح
الأرض . ولكي يكون المامه أكثر بالمعادن المختلفة التي تتكون منها الصخور فانه هنا يلجأ بالضرورة إلى
علم الصخور Miniology .

٥ - علم الجغرافيا Geography .

ينبغي أن لا نهمل التأكيد على تأصيل جذور علم شكل الأرض ، وعلم الجغرافيا ، في الحقل
الجغرافي . رغم صلاتها بالعلوم الأخرى ، وحينما نضع دراسة أشكال سطح الأرض في إطار البيئة
الجغرافية العامة التي هي بالنسبة لها الأساس والمرتكز فان الطريق يصبح سهلا لفهم الرباط المتين بين علم
أشكال سطح الأرض وبين علم المناخ Climatology ، والجغرافيا النباتية ، إضافة إلى علم الخرائط الذي
يمثل الأساس لأية دراسة جغرافية دقيقة . فعلى سبيل المثال _ فان علم المناخ الذي يهتم بدراسة الغلاف
الجوي ويتميز بان له خصائصه وقوانينه الكوكبية الخاصة به ، يتميز أيضا بان عناصره المتمثلة ، بالحرارة
، والضغط ، والرياح ، ودورة الرطوبة تتأثر تأثرا كبيرا بظواهر أشكال سطح الأرض ، بل يكون للدول ذات
الأحجام الكافية بما تتميز به من تضاريس معلومة مناخها الخاص بها ، هذا من جهة ، وتتأثر أشكال سطح
الأرض هي الأخرى بكافة عناصر المناخ وتعمل على إعادة رسم الصور التضاريسية لسطح الأرض بما
يتناسب مع تلك العناصر من جهة أخرى . كذلك الحال لصور النبات الطبيعي الذي يتأثر هو الآخر من
حيث النشوء والنمو والتطور النباتي بتضاريس سطح الأرض ، فانه هو الآخر يتأثر بها .

٦ - علم الأحياء .

لكي نفهم طبيعة النباتات والحيوانات التي عاشت في الأزمنة القديمة فان الباحث في علم شكل يلجأ
إلى علوم الحياة التي تشمل دراسة كل الأنواع الحية ، ويمدنا علم الحيوان بالمعلومات عن الحيوانات ، كما

يعطينا علم النبات إدراكاً لطبيعة النباتات القديمة ، (ماثيوز ، ١٩٩٥ ، ص ١٤) ، أن هذه المعلومات تساعد الباحث في علم شكل الأرض للتوصل إلى تفسيرات للظواهر الجيومورفية وتوزيعها وتاريخ تطورها .

٧ - الفيزياء .

يهتم علم الفيزياء بدراسة طبيعة المواد وحركتها وبالتالي فهو يساعد في تفسير أنواع القوى الفيزيائية التي تؤثر على الأرض ورد فعل المواد لهذه القوى . (ماثيوز ، ١٩٩٥ ، ص ١٤) ، والباحث في علم شكل الأرض يستفيد من هذا الحقل العلمي في مجال دراسة الخصائص الفيزيائية للمواد وحركة الرواسب بأنواعها المختلفة التي تدخل ضمن التجوية الفيزيائية .

٨ - الكيمياء .

أن علم الكيمياء يهتم بدراسة تركيب المواد وما يحدث لها من تغيرات ، ولما كان الباحث في علم شكل الأرض يهتم بدراسة تحليل الخصائص الكيميائية للصخور فانه بحاجة ماسة لهذا الفرع من العلوم للاستفادة من تجاربه وتطبيقها في مجال علم الأشكال الأرضية .

٩ - الرياضيات .

عندما يقوم الباحث في علم شكل الأرض بدراسة العمليات الجيومورفية في مختلف أشكالها فانه يجد نفسه بأمس الحاجة إلى علم الرياضيات ، لاسيما وان احد الاتجاهات المهمة في هذا العلم هي الدراسات الكمية ، فان الباحث هنا يحتاج إلى الدقة في تفسير الظواهر الجيومورفية ، فمثلا عند تحديد درجة الانحدار أو سرعة الماء الجاري أو كمية الرواسب في المياه أو كمية الرمال المتحركة ، إلى أخره ، هذه العمليات جميعها تحتاج إلى الدقة في التحديد لنصل إلى الدقة في التفسير .

يتضح من خلال كل ذلك بان دراسة علم شكل الأرض تكون محددة بوضوح في أجزاءها المركزية ألا أنها تتداخل مع عدد كبير من العلوم الأخرى في هوامشها ، وهذا يتطلب من الباحث في علم شكل الأرض أن يكون على استعداد للتعاون مع غيره من العلماء من خلال أخذه لنتائجهم ومراجعة تطبيقاتهم على الظواهر التي هي في صميم دراسة تخصصه ، وفي مقابل ذلك يجب أن يقدم نتائجها الخاصة به إلى الآخرين لكي يتم الإطلاع عليها ومراجعتها . (سباركس ، ١٩٨٣ ، ص ٨-٩) .

ولكن إذا لم يأخذ الباحث في علم شكل الأرض الدراسة العملية له في المختبر والدراسة الميدانية في الحقل أساسا مهما في منهجه فانه سوف يفشل في النهاية في تفسير الظواهر الجيومورفية وبالتالي توصم نتائج أبحاثه بالوصفية التي لا مجال لها في التوجهات الحديثة لهذا العلم في حاضره ومستقبله التي تهدف إلى الدراسة الجيومورفولوجية النفعية أي البحث عن التفسير العلمي الدقيق وعن المنفعة الحقيقية وراء أي بحث في هذا المجال .

فلسفة وليم مورس ديفز .

يرجع الفضل في اندماج علم شكل الأرض في موضوع متماسك - إلى درجة كبيرة - إلى بحوث الجيومورفولوجي الأمريكي وليم مورس ديفز ، في السنوات العشرة الأخيرة من القرن التاسع عشر . وكان المضمون الأساسي لفكرته ينحصر في ترتيب ظاهرات التعرية في دورة لتطور أشكال سطح الأرض ، أطلق عليها اسم الدورة الجغرافية . هذه الفكرة العامة وبعض أفكار ديفز الأخرى انتقدت انتقادا عنيفا حينما برهنت البحوث المتأخرة على ان أفكاره لم تكن دائما صحيحة . ومع ذلك فيجب ان نقرر هنا بأن كثيراً من النقد يبدو أنه قد نجم عن عدم المام تام ببحوث ديفز تلك البحوث التي ليست بالجمود والقصور الذي توجي به بعض أوجه النقد .

ولم تكن أهداف ديفز هي بالضبط نفس أهداف علم شكل الارض الحديث فقد سمي الموضوع بالجغرافيا الطبيعية ، وأحيانا بالجيومورفولوجيا ، وكانت غايته تمكين القاري المدرب من فهم أوصاف أشكال الأرض التي يتولاها الملاحظ المدرب ، ما دام كلاهما يتكلمان عن نفس الموضوع ولديهما نفس التصورات الأساسية ، وكان الهدف من ذلك تحقيق قدر كبير في الوصف .

ويكمن قصور ديفز . على الأقل في نظر كثير من علماء شكل الأرض ، في إفراطه في المقياس الذي كان ينظر به إلى أشكال سطح الأرض ، وفي إفراطه في الأسلوب الوصفي ، وقد أدى هذا بلا ريب إلى إهمال الميكانيكيات التفصيلية للفعاليات العلمية التي ينبغي دراستها لتعزيز معلوماتنا الأساسية عن تشكيل ملامح الأرض الطبيعية ، ومع ذلك فمن الممكن ان تقتضينا دواعي الأمور ان نفرط في الجروح إلى الاتجاه المضاد بحث يتعين ان نلحق التحليلات التفصيلية لبعض السفوح أو أحواض الصرف بمحاولات لتفسير الملامح الطبيعية بمقياس إقليمي . ورغم ان هذا النمط الأخير من الدراسة لا ينتظم عادة في الإطار الديفزي ، إلا انه لو هيئ لديفر معرفته لقدره حق قدرة ، وكلا النمطين من الدراسة ، احدهما تفصيلي وقصير الأمد والآخر عام وطويل الأمد ضروريان للتطور الكامل لعلم شكل الأرض .

الدورة الجغرافية أو دورة التعرية

أي شكل من أشكال الأرض كان ، تبعا لديفر نتيجة لفعل البنية Structure ، والعملية Process ، والزمن Time ، وكان ديفز يقصد بالبنية شيئا أكثر مما يقصد بها الآن ، فاللفظ لا يتضمن فقط هيئة صخور وطبيعة ميل الطبقات وما بها من التواءات وفوالق ، بل يشمل أيضا ما يصطلح على تسميته بعلم الخصائص الصخرية للطبقات ، وطبيعة الصخور ، وصلابتها النسبية ونفاذيتها النسبية ، أما العملية فتتضمن عوامل التفكك والتعرية المختلفة التي تشمل المياه ، والرياح ، والجليد ، والجاذبية . وأخيرا فانه مما

لا ريب فيه ان طول الفترة الزمنية التي تمارس العمليات عملها خلالها لا بد وان يكون تأثير عميق على أشكال سطح الأرض ، وتمشياً مع تصميميات دورته ، قسم ديفز أشكال الأرض التي تتكون خلال دورة التعرية إلى ثلاث مراحل هي : الشباب والنضج ، والكهولة .

ويمكن توضيح الدورة المثالية التي اقترحها ديفز من خلال توضيح الفروض التي افترضها والتي أدرك هو نفسه عدم إمكانية تحقيقها في الطبيعة . وكان الغرض الرئيسي من هذه الفروض هو تبسيط حركة الرفع التي تصيب منطقة ما ، مما ينتفي معه حدوث تعرية ذات أهمية تذكر خلال حركة الرفع ذلك لان مناقشة مثل هذه التعرية من شأنها تعقيد دراسة الدورة تعقيداً شديداً . ومثل هذا الافتراض ليس بالأمر الخطير على الخطة العامة للدورة ما دامت هذه الخطة تتمتع بالمرونة بحيث تسمح بدراسة حركات رفع معقدة في مناقشات أعلى مستوى وهذا هو ما يحدث في الحقيقة ، وقد تعرض ديفز للانتقاد على أساس انه اخطأ في تفسير حركة الرفع ، في حين انه قرر بصورة قاطعة انه قصد فقط استخدام فرض مبسط ، وفي الحقيقية انه في بحوثه التي كتبها بالألمانية أكد فيها على كمية التعرية التي تتجزأ أحيانا خلال حركة الرفع . يمكن ان نتصور كتله من الياض ظهرت حديثا من تحت البحر وان بنية هذه الكتلة معقدة لأنها تتكون من طبقات هشة وأخرى صلدة وبها فوالق . ومن المستحيل ان يكون سطح هذه الكتلة مستويا تماما ذلك لأنه من المفروض ان تكون هناك ضروب من عدم الانتظام الأولى ، ومن الواضح ان الأمطار التي تسقط على السطح ستتجمع في المنخفضات ، التي قد تصل إلى البحر وقد لا تصل إليه ، فإذا أمكنها الوصول إلى البحر ، فان الأرض يمكن ان تصرف مياها تصريفاً مباشراً . إما إذا وصلت إلى منخفضات مغلقة فان هذا سيؤدي إلى نشأة البحيرات تدريجيا إلى ان تفيض في النهاية ويواصل التصريف سيره إلى البحر ، والأنهار التي من هذا النوع والتي تتبع عدم الانتظام الأولى في سطح الأرض تغلب على التصريف في المراحل المبكرة من الدورة اطلق عليها اسم الأنهار التابعة consequent streams وفي البداية تكون قيعان هذه الأنهار أو بتعبير جيومورفولوجي أدق تكون قطاعاتها الطولية غير منتظمة نتيجة لعدم انتظام أولى في المنخفضات لوجود صخور صلبة وأخرى هشة ، إلا ان مجاري الأنهار تتمهد ببطء . ويحدث هذا عند المصببات أولا ويستمر تدريجيا صوب منبع النهر ، ولا يستطيع النهر ان يعمق مجراه عند المصب إلى ما دون مستوى سطح البحر . وذلك فهناك مسقط وهمي لسطح البحر أسفل الياض يمثل مستوى لا يستطيع النهر ان ينحت دونه ، وأطلق على هذا المستوى مصطلح مستوى القاعدة Base level ولا يستطيع أي نهر ان يبلغ مستوى القاعدة مطلقا الا عند مصبه ذلك لأنه يجب ان يحتفظ دائما بانحدار كاف يسمح للماء بان ينساب في مجراه صوب المصب .

وقد تم تتبع نشأة النهر التابع بصرف النظر عن نشأة نظم التصريف الأخرى التي تحدث . وواضح ان النهر التابع سينتقى بعض الروافد التي تصب فيه ، فإذا كانت هذه بدورها تسترشد بمنخفضات أولية فأنها تسمى أيضا بالأنهار التابعة ، ولكن هناك فئات أخرى من الأنهار مثل الأنهار التالية التي تتبع مناطق الضعف الجيولوجي Subsequent streams ، والأنهار العشوائية Insequent Streams ، والفئة الأخيرة

الأنهار العكسية Obsequent streams . وتظهر هناك تعديلات متنوعة في نمط الصرف إذ يشير إلى ظاهرة الأسر النهري ، ثم وصول النهر إلى الاتزان بعد مروره بفترات الشباب ، والنضج ، والشيوخوخة . ويؤدي الفعل المشترك للمجري المائية المتوازنة وفترات الأنهار المتوازنة إلى نقل حصيلة التفكك كما يسمح بتخفيض سطح الأرض كله ببطء ، ويكون النحت أسرع في المراحل المبكرة ثم أكثر بطئاً بالتدرج فيما بعد ، وهكذا إلى أن تخفض المنطقة إلى أرض واطئة ذات تضاريس ضعيفة أو إلى سهل تحاتي Penepplain . وفي هذه العملية تكون الفلطحه البطيئة للسفوح بفعل عوامل التفكك أكثر أهمية من فعل الأنهار ، التي على الرغم من أنها تكون عوامل نشطة في التعميق في المراحل المبكرة ، فأنها تتحول فيما بعد إلى مجرد عوامل نقل للفتات المنقول اليها من السفوح الدنيا .

معوقات الدورة .

هناك نوعان رئيسيان من الأحداث يمكنهما عرقلة التقدم لدورة التعرية : وهما أولاً تغيرات جوهريّة في مستوى القاعدة وثانيهما التغيرات المناخية . وأخيراً هناك توقف آخر للدورة قد ينجم عن ثوران بركاني كبير ، إلا ان توقف دورة التعرية الناجم عن ذلك يكون أقل عمقاً بكثير . وتتمثل نتائجه في إضافة مجموعة من الأشكال البنائية إلى ملامح التضاريس ، ونظراً لأن هذه الأشكال تكون أحدث نشأة فإنه لا يتعين أن تكون في نفس مرحلة دورة التعرية التي تمر بها ملامح التضاريس في مجموعها .

وأخيراً لا بد من التسليم بأن دورة التعرية كتصور عام بالشكل الذي صورته ديفز لم تجد قبولاً واسعاً بين علماء شكل الأرض لان استخدام مصطلحات الشباب ، والنضج ، والكهولة ، لم تستعمل في الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة إلا نادراً . ويرجع ذلك إلى أسباب عديدة : منها ان كثير من الدراسات الأخيرة تهتم أساساً بتحليل ميكانيكية عمليات التعرية وفي مثل هذه الدراسات يضيق المجال لاستخدام مصطلحات ديفز الخاصة بدورة التعرية . وقد أكدت الدراسات الإقليمية التي تراكمت منذ التعريف بهذه الفكرة مدى تعقد أو تداخل تاريخ تطور التضاريس . وبينت أن التضاريس كانت تتشكل عادة تحت تأثير سلسلة من الدورات غير الكاملة المقرونة في الغالب بتدخل التغيرات المناخية . ولهذه الأسباب فأن مصطلحات ديفز لم تحظ بانتشار واسع وليس من المحتمل على الإطلاق أن تحظى به في المستقبل .

ومن المشكوك فيه أيضاً ما إذا كان مصطلح دورة يستخدم استخداماً صحيحاً في مجاله . وقد بحث ديفز نفسه هذا الجانب وعرف الدورة بأنها فترة زمنية تكتمل خلالها مجموعة من الأحداث المتتابعة ثم تتكرر المرة تلو الأخرى . ومع ذلك فان تتابع الأحداث لا يمكنه العودة دون تدخل حركة رفع . وحتى مع حركة الرفع فهناك شك في أماكن تكرار هذه الأحداث بنفس الصورة . وفضلاً عن ذلك فمن المشكوك فيه نوعاً ما إمكان استقرار أو ثبات المناخ على مدى فترات طويلة بما فيه الكفاية لضمان حدوث دورة تعرية مشابهة يمكن أن تتبع الدورة الأولى على الإطلاق . ولكن مهما يكن من أمر عدم وفاء كلمة دورة بالعرض . فقد

أصبحت من الرسوخ كمصطلح لتصور ديفز بحيث أن أية محاولة لتغييرها ستكون عقيدة وفاشلة على حد سواء .

وقد يتساءل المرء ، وحرى به أن يتساءل ، عن جدوى اهتمامه بالدورة الجغرافية إذا كانت تتألف في معظمها من استنتاجات عامة ، وإذا كان أسلوبها لم يتم الاهتمام به من قبل علماء شكل الأرض في الفترة التي أعقبت ديفز . والجواب على هذا التساؤل يتلخص في أن عقيدة المرء يجب أن تسبق شكه ، والدورة الديفيزية توفر العقيدة ، وتوفر التنظيم الشامل لكل جوانب التعرية . صحيح أنها تتضمن كثيراً من المبهمات حول الأساليب الدقيقة لتطور كثير من الظواهر ، ولكن ، ليصور المرء انه بصدد محاولة الإلمام ، على سبيل المثال بالعدد الضخم من البحوث الخاصة بالسفوح . وهي بحوث غير قاطعة ومتناقضة فيما بينها ، أقول ليتصور المرء أنه بصدد ذلك كله ، فهل في وسعه ، والحالة هذه ، أن يتفهم هذه البحوث لو لم تكن لديه فكرة عن كيفية أماكن انتظامها داخل نمط أوسع .

وينبغي ان نؤكد بان أهمية خصائص رؤية ديفز تكمن في أنها رؤية طويلة الأمد لملاح الأرض الطبيعية ، وهي رؤية جيولوجية في مقياسها ، وان ديفز كان يعتقد بان من يستخدم مفهوم دورة التعرية فيما بعد ينبغي أن تتوفر فيه القدرة على استنباط تأثيرات أنماط الرفع المختلفة . ومع ذلك ، سواء كانت حركة الرفع متقطعة ، تتزايد سرعتها برفق ثم تتباطئ بعد ذلك ، وسواء كانت في الجزء الأكبر منها في مرحلة مبكرة أو متأخرة من الدورة . ومهما بلغ مقدار تكافؤ استعادة التوازن الايزوستاتي مع نتائج التعرية ، فالغلبة تكون للتعرية في النهاية إذ تقوض الأرض إلى تضاريس منخفضة . يستوي في هذا ان يكون التخفيض على هيئة السهل التحاتي الديفيزي أم لا ، هذه حقيقة لا جدال فيها وأخيراً فان دورة ديفز تتطوي على أمور أخرى تتجاوز بكثير مجرد تديمها رؤية طويلة الأمد للتطور العام لملاح الأرض الطبيعية . فهي تؤكد على النقاط التالية :

١ - أشكال السفوح .

أن تطور أشكال السفوح موضوع رئيسي في علم شكل الأرض ، ومع التسليم بأن اهتمام الدورة بالعمليات كان طفيفاً ، وبأن طريقة فلتحة السفوح مع الزمن قد تكون غير صحيحة أو أنها صحيحة في بعض الحالات فقط . فان التغيرات في أشكال السفوح ستكون بارزة في الدورة .

٢ - أما بخصوص الأنهار وقطاعاتها الطولية والعرضية ، قد لا يكون التصور الخاص بالتوازن ذا نفع كبير . بل وربما يكون عقبة في سبيل التقدم ، بينما معالجة الثنيات النهرية وصفية إلى درجة كبيرة . إلا ان هناك مرة أخرى ، اهتماماً مركزاً على نقطة أساسية من ملاح الأرض الطبيعية .

٣ - نظم الصرف .

تطور نظم الصرف يعالج باعتباره احد الموضوعات الرئيسية . ومع التسليم بان النظام قد نوقش لدرجة كبيرة من حيث علاقته بالبنية الجيولوجية .

٤ - نوع الصخور .

ان تنوع الصخور يمارس أنواع من التأثير بدرجات متفاوتة في مراحل مختلفة من الدورة . وقد يكون هذا التأثير طفيفاً في بداية الأمر ، إلا ان ضروب عدم الانتظام الناتجة عن الصخور تظهر في السفوح والأنهار على حد سواء ثم لا تلبث ان تزداد قوة فيما بعد . وقد تبني جونسون Jonson وجهة نظر مشابهة في دورات التعرية البحرية التي اقترحها . ومن جهة أخرى فانه مع تطور نظم الصرف يزداد تأثير التحكم البنيوي مع تقدم الدورة . ربما باستثناء الجزء الختامي منها ومع التسليم بهذه الأفكار قد لا تكون صحيحة تماماً فقد كانت تمثل تقييماً مبكراً لدور الصخور في تطور الملامح الطبيعية للأرض

٥ - التغيرات المناخية :

ان تأثير التغيرات المناخية أو كما أطلق عليها ديفز مصطلح العوارض المناخية ، تكون مهمة جدا لأنها تتحكم في جميع قوى التعرية التي تمارس عملها على المنظر الطبيعي . وهذا الاتجاه أكدته مدرسة الجيومورفوجيا المناخية الحديثة ، وعلى الرغم من ان بعض الباحثين الثقات مازالوا يعتقدون في وحدة العملية Unity of Process في جميع الأقاليم المناخية ، إلا ان العامل المناخي ما يزال راسخا بشكل كبير ، ويتضح ذلك من خلال الكتب التي تعالج الأشكال الأرضية في المناطق الجليدية ، والأشكال الأرضية في المناطق الجافة ، والأشكال الأرضية في المناطق الاستوائية إلى آخره .

وأخيرا لا بد من القول بان الفضل الكبير يعود إلى ديفز الذي أثار الانتباه إلى الظواهر الرئيسية في تطور أشكال الأرض ، من خلال اقتراحه لخطة عامة تتضمن جميع تلك الظواهر ، ويعود له الفضل أيضا بتزويد الباحثين في مجال علم شكل الأرض بالعقيدة التي تسمح لهم للتعبير عن شكوكهم . (سباركس ، ١٩٨٣ ، ص ص ١١ - ٣٠) .

نظرية فالترينك :-

بعد ربع قرن من ظهور فلسفة وليم موريس ديفر تبلور بديل اخر من قبل العالم الالمانى فالترينك وذلك في عام ١٩٢٤ ، حيث اعتمدت فلسفته على التقنيات الحقلية والدراسات الجيومورفولوجية الكمية التي اخذت تطبق في معظم المدارس الجيومورفولوجية في العالم وتتلخص هذه الفلسفة بما يلي :

١ - تأخذ منحدرات السفوح زاوية بانحدار مستقر تحت ظروف معينة وبعدها تبدأ زاوية الانحدار بالنقصان بطريقة التراجع المتوازي .

٢ - يؤدي تراجع المنحدرات الى تقعر الجزء الاسفل من السطح التحاتي وبهذه المناسبة استخدم بنك اصطلاح السهل التحاتي Peneplain اي السطح شبه المستوي والذي نشير له في الوقت الحاضر باسم المدرجات النهرية Terraces أو التبتح Pedmont او سفوح الجبال Pediment .

٣ - ان القوة الرافعة اللاحقة قد تكون سلسلة من منحدرات شديدة موازية للمنحدرات المتراجعة السابقة مكونة ارضاً بطحاء مرتفعة .

٤ - ان الصفات الناتجة من الانحدار الشديد الحتي والسطوح المستوية يمكن استخدامها في تفسير طبيعة حركة القشرة الارضية .

٥ - ان الميكانيك العام المسؤول عن تكوين الاشكال الارضية ليست له علاقة في تباين المناخ المحصور بين الغلاف الهوائي والغلاف المائي لسطح الكرة الارضية ، لذلك فان الاشكال الارضية المتعرضة لتأثير العوامل الخارجية لفترة طويلة تسمى بالشواخص أو الجبال المنفردة Inselberg وتعرف بأسم الطار Tor في البيئات الرطبة .

حيث تشير هذه الفلسفة الى أن البيديمنت ما هي في الواقع إلا المنحدر القاعدي Basal Slope (عنصر المنحدر السفلي) ، وتبعاً لذلك فقد نشأت ظاهرة البيديمنت عند أسفل منحدر شديد الانحدار يعاني من تراجع متوازي . فالبيديمنت حينئذ ما هي إلا منحدر نقل ، فوقه يتحرك الفتات الصخري الذي تمت تجويته من المنحدر الشديد (الوجه المكشوف أو واجهة الجبل أو الحافة) في طريقه إلى المجرى المائي . ومثلما تتحدد شدة انحدار واجهة الجبل بواسطة زاوية استقرار الفتات الصخري القابع فوقها ، فإن انحدار البيديمنت يتكرر بحجم الفتات الصخري الذي يلزم نقله عبرها . ويشار بأن زوايا انحدار كل من المراوح الرسوبية و البيديمنتات الصخرية في العادة متماثلة ، وتصل إلى سبع درجات وتنشأ الأولى بطبيعة الحال عند زاوية الاستقرار القصوى للمواد الرسوبية بينما تنشأ الثانية عند أدنى زاوية يتطلبها نقل المواد بواسطة الماء الجاري . وهذان النمطان من الزوايا متماثلان . ومن الواضح أنه لو كانت هذه النظرية صحيحة ، وهذا ما نعتقده فإن البيديمنتات تتشكل بهيئة مثالية في الصخور التي تتأثر بالتفكك الكتلي والحيبيبي ، مثال ذلك الصخور النارية . وأن التفكك الصخري في هيئة كتل يعطي الفرصة لنشوء منحدر جبلي شديد الانحدار يتصف بالتراجع المتوازي . كما أن استمرار تفكك الكتل ، وهي في موضعها وتحولها إلى حبيبات ، يجعل زاوية انحدار المنحدر القاعدي (وهو منحدر النقل والعبور) هينة جداً ، ومن هنا يتضح التفاوت بين عنصري المنحدر الرئيسيين (عنصر الحافة أو واجهة الجبل أو الوجه المكشوف وعنصر المنحدر القاعدي) وقطع الانحدار فيما بينهما . ولعله من المناسب هنا أن نذكر أن بالشين و باي and Pye Balchin في وصفهما

لصحاري ولايتي أريزونا و كاليفورنيا ، قد أشاروا إلى الارتباط الوثيق بين واجهات الجبال الشديدة الانحدار والبيديمنتات والصخور الجرانيتية وصخور النيس وغيرها من الصخور البلورية .

ويرى العلماء في نظرية بنك كثيرا من المزايا . فهي تقبل التجوية وعمليات النقل باعتبارها المسؤولة عن تراجع المنحدر وتكوين البيديمنت كليهما ، فضلا عن ذلك فإنها لا تهمل فضل التعرية المائية . حيث تعزو النظرية نقل حبيبات الفتات الصخري الدقيقة عبر سطح البيديمنت إلى فعل الماء الجاري وحده . وطبيعي أن يكون لهذا الماء الجاري ، المحمل أحيانا بمعامل النحت من الرمال والحصى ، تأثير تحاتي . وتشهد بذلك دلائل عدة ، تتمثل في قطاع البيديمنت المقعر ، وما يعتري سطحها من خنادق ونحر وتقويض قواعد المنحدر في خلجان البيديمنت (مخارج الأودية إلى سطح البيديمنت) . وخالصة القول ، فإن البيديمنت الصخرية ، رغم أنها أصلا ناشئة كمنحدر نقل ، فإنها أيضا تحمل خصائص منحدر تعرية مائية بالنحت الرأسي ، وبالنحت الجانبي كليهما . ومن بين الميزات الأخرى التي تتفرد بها نظرية فالتر بنك إمكانية تطبيقها على حالات كثيرة ومتنوعة تختص بتباين البنية ومستوى القاعدة والمناخ وتبعاً لذلك تنشأ المنحدرات القاعدية عند حضيض الحافات البنيوية ، مثلما تنشأ أسفل منحدرات تشكلت بفعل التعرية المائية . ولعل مستوى القاعدة المستقل هو الممثل الأنسب الظروف لتشكيل البيديمنت ، لكن قد يتسبب مستوى القاعدة الآخذ في الارتفاع في تعديل عملية التشكيل ، مؤدياً إلى انطمار البيديمنت ودفنها في الرواسب ولربما يعاد الكشف عنها لإزالة الغطاء الرسوبي من فوقها في مرحلة لاحقة . ويتسبب انخفاض مستوى القاعدة في تشكيل بيديمنت جديدة على مستوى أدنى ، كما ينجم عنه تجديد شباب البيديمنتات القديمة . وهذا يؤكد وجود البيديمنتات في الأراضي الجافة ، وفي مناطق السفانا ، ولربما في مناخات أخرى متنوعة على حقيقة أن عملية تشكيل البيديمنت قد تكون منفصلة بل نرجح أن تكون عملية تشكيل منحدر ، أي منحدر تقوم بعملها في بيئات متباينة منشئة لمنحدرات قاعدية (سفلي) مقعرة ، التي تعتبر ظاهرة مثالية لقطاعات منحدرات كاملة النمو . ومهما يكن من أمر ، فإنه بسبب تفرد عمليات التجوية والنقل العاملة في أراضي المناخات الجافة بطبيعة خاصة ، قد حدث تزايد في تأكيد التفاوت بين المنحدر القاعدي الهين ، والواجهة الجبلية التي تنهض من فوقه . وتبعاً لذلك فقد حظيت ظاهرة البيديمنت الصخرية في الجهات الصحراوية بهذا القدر الكبير من الاهتمام ، و أثارت كل هذه الكثرة من الجدل والنقاش .

عرفت هذه النظرية فيما بعد بأسم فرضية تريبين نسبة إلى الاشكال الارضية المتدرجة التي تكونت بعامل التراجع . وقد انتقد وليم موريس ديفز فرضية بينك عام ١٩٣٢ ، بينما تبناها كينج King عام ١٩٥٣ الذي طرح فلسفة التبطح ، التي لا تختلف عن الجبال المنفردة . والتي تشبه إلى حد كبير فلسفة ديفز إلا أنها تتطابق بشكل كبير مع فلسفة فالتر بينك في مفهوم تراجع المنحدرات . لقد تبني كينج فكرة المنسوب القاعدي أو مستوى القاعدة على أساس انه الحد الأقصى للحت الذي يكون سطح التعرية وبهذه المناسبة لا بد من

الإشارة إلى أنه العامل المستعمل في النهر المتعادل ، وعلى هذا الأساس فإن كنعك أكد على فكرة العمليات Processes ، والزمن Stage ، والبنية Structure ، بينما تركزت فلسفة ديفز على البنية Structure ، والعمليات Processes ، والزمن Stage . ويمكن تلخيص فلسفة كنعك King بما يلي :

١ - تحدث كنعك عن المرحلة المتقدمة لتعميق النهر .

٢ - إن عملية الرفع البنائي تتبع فترة تعميق النهر ولم يتطرق إلى كمية الماء الجاري للنهر مما يؤدي إلى قطع هذا الرفع .

٣ - أكد على إمكانية نشوء عوامل التبطح في البيئات الرطبة والجافة وشبه الجافة .

فلسفة ثورنبري Thornnmbry :

حدد العالم الجيومورفولوجي ثورنبري عدة أفكار توضح العمليات الجيومورفولوجية والتي تبدأ وتحدث وتكتمل بفعل عوامل جيومورفولوجية معينة تؤدي إلى تغيير أشكال سطح الأرض من حيث التغيير ضمن مدى زمني جيولوجي معين ، وأشار بأنها تسير على وفق الأفكار التالية :

١- إن بعض العمليات والقوانين الطبيعية التي تعمل الآن هي نفسها التي عملت خلال العصور الجيولوجية ، إلا أنها ليست بالضرورة أن يكون عملها بنفس الشدة الحالية دائماً ، ومثال على ذلك فإن أي وادي يشق مجراه في الوقت الحاضر مثل ما كان يشقه في الماضي إلا أن الاختلاف فقط يكون بتغير الظروف المناخية على سطح الأرض .

٢ - ترتبط تضاريس سطح الأرض إلى حد كبير مع اختلاف سرعة العمليات الجيومورفولوجية ، حيث أن أحد أسباب تباين مقدار نحت سطح الأرض هو تباين طبيعة الصخور المكونة لها ، مثلاً الصخر الجيري أسهل من الجرانيت ، والمناطق المرتفعة قاعدتها صلبة والمنخفضة كالسهول صخورها لينية . أي أن درجة مقاومة الصخر هي التي تؤدي إلى تباين النحت ، ولكن يبقى اختلاف عناصر الحرارة أو الرطوبة والغطاء النباتي السبب الرئيسي في اختلاف شدة العمليات الجيومورفولوجية من فترة لأخرى ، وهذا معناه وجود الاختلاف من مكان لآخر حتى على نطاق ضيق .

٣ - تترك العمليات الجيومورفولوجية آثارها الواضحة على أشكال اليابسة وتقوم كل عملية جيومورفولوجية بتطوير أشكال اليابس الخاصة بها ، ولذا لكل مظهر من مظاهر الأرض

صفات مميزة تعود إلى طبيعة العملية التي أظهرت هذا الشكل . فالسهول أشكال كونتها الأنهار . ولكون كل عملية جيومورفولوجية تعمل على انفراد في تكوين معالم أرضية متميزة فانه بالإمكان تصنيف أشكال اليابسة على أساس نشأتها. ولذا يصبح تفسير وجود شكل معين سهل على المتخصصين في هذا العلم وحتى انه يمكنهم توقع وجود أشكال أخرى بناء على علاقة ونشأة هذه الأشكال ، حيث مثلا تعود معظم مظاهر الأرض إلى تغيرات مناخية حدثت في زمن البلايستوسين.

٤ - يظهر تعاقب منظم لأشكال اليابس عندما تعمل عوامل تعرية مختلفة على سطح الأرض ، أي انه يوجد تطور متعاقب ومنتظم لأشكال الأرض حسب اعتقاد المتخصصين ، ورغم أن ديفز هو الذي وضع فكرة مرور الأشكال الأرضية بمراحل الشباب والنضج والشيخوخة والتي سميت بالدورة الجيومورفولوجية ، إلا أن هذا لا يعني وجود دورة حقيقية في الطبيعة، ولكن يبقى وجود تطور منظم ومتعاقب وليس من الضروري وجود تماثل في مراحل وخصائص تضاريس كل إقليم . كما يختلف الزمن ، حيث أن وجود منطقتين متشابهتين في مراحل تطورها لا يعني انهما استغرقتا نفس الفترة الزمنية. ومن هنا لا بد من تتبع دورات تطور كل إقليم أو شكل على انفراد للوصول إلى تطوره الحقيقي.

٥ - المظاهر الجيومورفولوجية المعقدة أكثر شيوعا من المظاهر الجيومورفولوجية البسيطة التعقيد ، ولتفسير ذلك فان المظاهر الجيومورفولوجية المعقدة هي المظاهر التي تمر بأكثر من دورة جيومورفولوجية بينما المظاهر الجيومورفولوجية البسيطة هي المظاهر التي تتعرض لدورة جيومورفولوجية واحدة فقط .

٦ - إن قليلا من تضاريس الأرض اقدم من الزمن الجيولوجي الثالث في تاريخ تواجدها ولا يتجاوز قدم غالبيتها عصر البلايستوسين ، ولقد قدر أشلي (Ashly) بان ٩٠% من سطح اليابس في الوقت الحاضر تكون بعد الزمن الثالث ، وإن ٩٩% من هذه الأشكال تطور بعد عصر الميوسين . وليس بالضرورة أن تكون هذه التقديرات صحيحة إلا أنها تبقى فكرة مقبولة لدى المتخصصين.

٧ - لا يمكن تفسير المعالم التضاريسية تفسيراً صحيحاً دون تقدير التغيرات المناخية

والجيولوجية المتعددة التي حدثت خلال البلايستوسين تقديرا كاملا ، حيث أن معظم المظاهر التضاريسية في العالم نشأت في فترة حديثة وإن التغيرات الجيولوجية والمناخية التي حدثت في البلايستوسين تركت أثارا واضحة على الوضع التضاريسي الحالي لان البلايستوسين تميز بوجود فترات مطرية وبغزارة شديدة.

٨ - أن تقدير مناخات العالم حق قدرها أمرا ضروريا لفهم الأهمية المتباينة لمختلف العمليات الجيومورفولوجية فهما صحيحا. وهنا نركز على فهم عناصر المناخ وخاصة الحرارة وسرعة الرياح والتبخر والأمطار والتجمد والتي تؤثر جميعها بشكل مباشر أو غير مباشر في العمليات الجيومورفولوجية لاثـر المناخ حتى الآن.

٩ - مع أن اهتمام الجيومورفولوجيا ينصب بالدرجة الأولى على معالم سطح الأرض الحالية ، إلا إن هذه الدراسة والاهتمام تبلغ ذروة فائدتها إذا توسعنا بدراسة معالم السطح من الناحية التاريخية، حيث توجد أشكال أرضية تعود لحقب جيولوجية سابقة ، لذا لا بد من الرجوع لها، وهذا يسمى بالجيومورفولوجيا القديمة. (Palaeogeomorphology) وهذا يوصلنا للتعرف على أشكال أرضية نتجت بفعل عمليات لا تعمل في الوقت الحاضر.

الاتجاهات الحديثة لعلم شكل الأرض .

ظهرت في النصف الأخير من القرن العشرين اتجاهات جديدة في دراسة أشكال سطح الأرض يمكن أن نوجزها فيما يلي :

أولا - الاتجاه بدراسة علم أشكال سطح الأرض وخصوصا في الولايات المتحدة الأمريكية - لكي تصبح أكثر صلة بعلم الأرض منه بعلم الجغرافيا ، ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة اعتماد الدراسات في علم أشكال سطح الأرض على علم الأرض بثتى فروعها ، مثل دراسة علم المعادن عند البحث عن عمليات التجوية ، واستخدام الطرق الخاصة بعلم الطبقات في الدراسات الجيومورفولوجية القديمة ، هذا من جهة ، وتناقص رغبة الجغرافيين في دراسة الجغرافيا الطبيعية ، وذلك لزيادة تركيزهم على دراسة الجغرافيا البشرية ، مما قلل نصيبهم في تطوير الدراسات في علم شكل الأرض من جهة أخرى .

ثانيا - الاتجاه بدراسة أشكال سطح الأرض على المستوى الإقليمي إذ تهدف إلى تقسيم القارات إلى أقاليم تتشابه في سماتها الجيومورفولوجية ، وتاريخها الجيولوجي ، وهنا يجب أن يسهم الجغرافيين بأوفر نصيب

في تنمية هذا الاتجاه وتقويته ، وذلك لأنهم يهتمون بتوضيح وإبراز مدى التغيرات الإقليمية على سطح الأرض .

ثالثا - الاتجاه بدراسة علم أشكال سطح الأرض نحو إبراز الأهمية النفعية لهذا العلم في ميادين التربة ، والمياه الجوفية .

رابعا - ظهور الاهتمام بالوسائل الكمية والدراسات التجريبية لزيادة فهم العمليات الجيومورفولوجية . فقد أنشأت المختبرات في الولايات المتحدة وغيرها من الدول المتقدمة ، إذ جرت محاولات لتحديد تطبيق قوانين علم السوائل على الأمواج والتيارات وعمل الأنهار بشكل دقيق ، وقد قام بمعظم هذه الأعمال في المختبرات مهندسون أكثر من الجيولوجيين ، وقد نجم عن ذلك إن المختصين في علم أشكال سطح لم يقدرّون بعض النتائج التي جاءت بها هذه الأبحاث حق قدرها .

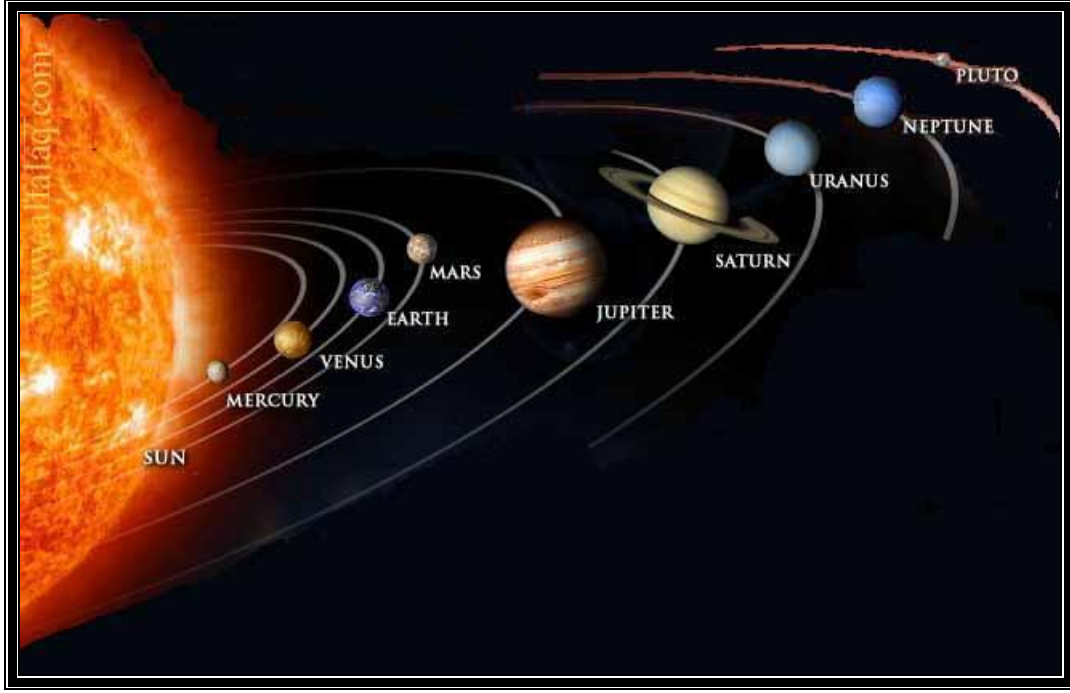
وبالطبع لا يوجد احد يشك بالحاجة إلى العمل الكمي في حقل علم أشكال سطح الأرض . فقد أصبح العلم كله كليا بصورة أكثر وعليه فان امتداده لعلم أشكال سطح الأرض مرغوب فيه ولا مفر منه ، وعلى كل حال علينا أن نحمل في أذهاننا بان النتائج المشتقة من الحسابات الرياضية ليست أفضل من المعلومات والافتراضات التي اعتمدت عليها ، فخصائص شكل اليابس تتأثر بعمليات كثيرة وحقائق تعمل على تحديدها إلا إن بعضها يصعب اختزالها إلى معالجة رياضية . وقد أشار بولينج عام ١٩٥٠ إلى أن قوانين علم أشكال سطح الأرض معقدة ونسبية وأنها نادرا ما تخضع إلى تعبير رقمي ، إلا إن هذا لا يعني توقف المحاولات لجعل علم أشكال سطح الأرض علما كليا ، ومن المؤمل أن العناية المتزايدة بالنهج الرياضي لا تقلل من الدور الذي تلعبه حقائق مثل علم الصخور ، وعلم الطبقات ، وتاريخ التغيرات المناخية في تطوير أشكال سطح الأرض . (ثورنبري ١٩٥٩) .

الفصل الثاني

علاقة الارض بالمجموعة الشمسية .

الأرض. The Earth.

تعد الأرض احد كواكب المجموعة الشمسية التي تدور حول نجم الشمس في مدارات بيضاوية تقع كلها في مستوى واحد تقريبا كما موضح في الصورة (١) ويتم دوران هذه الكواكب من الغرب إلى الشرق ويسمى الوقت الذي يقطعه الكوكب حول الشمس بالسنة الشمسية هذا وتتناوب الكواكب في الفترة التي تقطعها حول الشمس اعتمادا على بعد كل منها عن الشمس فعلى سبيل المثال تقطع الأرض دورتها السنوية بحدود (١/٤ ٢٦٠) حول الشمس بينما يقطع عطارد دورته السنوية حول الشمس في (٨٨) يوم بسبب قصر المسافة الواقعة بينه وبين الشمس وهكذا الحال لبقية كواكب المجموعة الشمسية الأخرى (غلاب ، ١٩٦٥ ، ص١) انظر الجدول (١) .



صورة (١) كواكب المجموعة الشمسية

هذا ويحتل كوكب الأرض مركزا متوسطا بين الكواكب بالنسبة لبعده عن الشمس بمقدار (١٤٩) مليون كم (٩٢) مليون ميل ، ولأرض تابع واحد هو القمر. (ابو عيانة وابو راضي ، ص ١٢) ويبلغ متوسط قطر الأرض نحو (٧.٩٢٧) ميل ويزيد طول القطر الاستوائي على طول القطر القطبي بنحو (٢٧) ميل ، ويرجع الباحثون إلى أن هذه الزيادة ترجع إلى تأثير عمليات دوران الأرض حول نفسها وبفعل قوة كوكب الأرض . ويقدر حجم الكرة الأرضية بشكل عام بنحو (٢٦٠) بليون ميل ، أما مساحتها فتقدر بنحو (١٩٨) مليون ميل مربع ويتمثل أعظم ارتفاع على سطح الكرة الأرضية بقمة ايفرست التي يبلغ ارتفاعها (٨.٨٤٨) متر ، أما متوسط الارتفاع فوق سطح للأرض فانه يبلغ (٨٤٠) متر ، أما أعظم عمق معروف للماء يتمثل بخانق ماريانا الذي يبلغ عمقه (١١.٠٢٢) متر بينما يكون متوسط عمق المحيطات بحدود (٣.٨٠٨) متر (ابو العينين ، كوكب الارض ، ص ٦) .

الجدول (١) يوضح أهم الحقائق الخاصة بالمجموعة الشمسية .

الاسم	القطر بالميل	الكثافة	البعد عن الشمس	التتابع	مدة الدورة حول الشمس بالسنوات
عطارد	٠,٣ ٣٠	٤,٤	٠,٣٩	-	٠,٢٤
الزهرة	٧,٧٠٠	٤,٩	٠,٧٢	-	٠,٦ ٢
الأرض	٧,٩٢٧	٥,٥	١,	١	١

المريخ	٤.٢٣٠	٣.٩	١.٥٠	٢	١.٨٨
المشتري	٨٦.٥٠٠	١.٣	٥.٢	١١	١١.٩٠
زحل	٧٠.٠٠٠	٠.٧	٩.٠	٩	٢٩.٥٠
أورانوس	٣١٥.٠٠٠	١.٢	١٩.٢	٤	٨٤
نبتون	٣٤.٨٠٠	١.١	٣٠.١	١	١٦٥
بلوتو	٤.٥٠٠	?	٣٩.٨	#	٢٤٨

المصدر : محمد السيد غلاب .الجغرافيا العامة الطبيعية والبشرية .الإسكندرية ، مؤسسة شباب الجامعة ١٩٩٠ .

دوران الأرض حول الشمس .

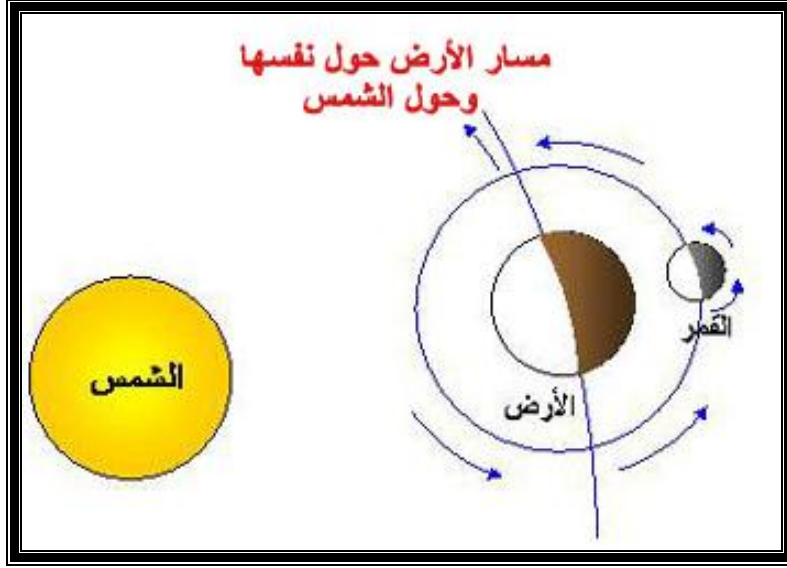
يقصد بدورة الارض حول الشمس بالفترة الزمنية اللازمة لإتمام الأرض دورة كاملة حول الشمس في السنة. وتقاس هذه الفترة الزمنية بطريقتين هما:

- ١ - الفترة الزمنية اللازمة لدوران الأرض حول الشمس ، بدءاً من نقطة على مدارها وعودةً إليها ، وذلك بمساعدة أحد النجوم الثابتة في السماء ، وتسمى هذه المدة بالسنة النجمية Sidereal Year ، وهي ثابتة الطول.
- ٢ - طول الفترة بين الاعتدال الربيعي والاعتدال الربيعي التالي ، أي بين وقت زوال ٢١ مارس ووقت زوال ٢١ مارس التالي له . وتسمى هذه المدة بالسنة المدارية Year Tropical ، وطولها ٣٦٥.٢٤٢٢ يوماً ، أي ٤٥.٦٨ ث ٤٨ ق ٥ س ٣٦٥ ، أي ٣٦٥ يوماً تقريباً . وفي ضوء ذلك فإن الفرق بين السنة المدارية وسنة التقويم Calendar Year ، هو ربع يوم تقريباً في السنة . ويتجمع يوم كامل كل أربع سنوات ، ويضاف على شهر شباط /فبراير ويصبح اليوم التاسع والعشرين ، وذلك لتصحيح سنة التقويم بالنسبة للسنة المدارية وتسمى بالسنة الكبيسة . ولكن يبقى هناك فرق تصحيح صغير مقداره ٤.٣٢ ث ١١ ق (أي ٠.٠٠٧٨ يوم) بالزيادة أي أن إشارته موجبة يتم تصحيحه كل ١٢٨ سنة . وذلك بطرح يوم كامل من فترة السنوات . ويسمى هذا التصحيح بالتصحيح القرني ، وذلك بحذف سنوات القرون من السنة الكبيسة .

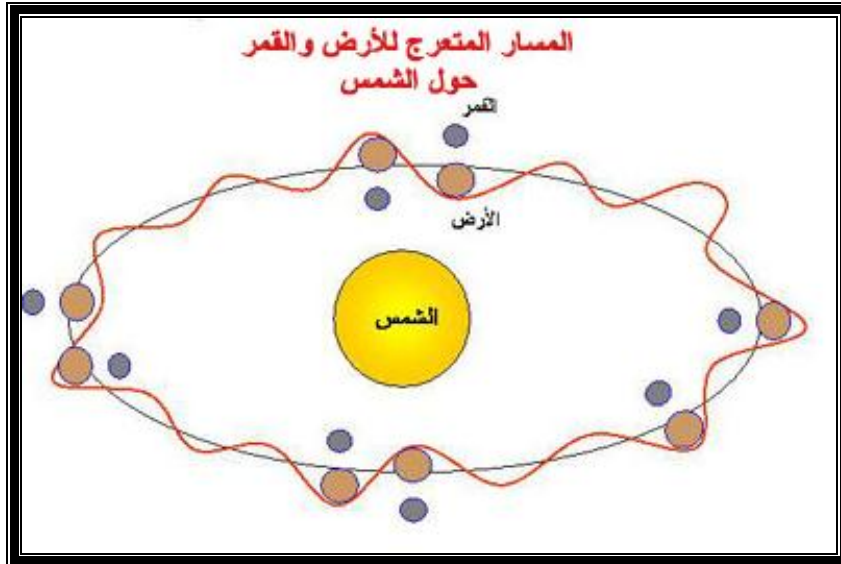
مسار الأرض حول الشمس Earth's Orbit .

تدور الأرض حول الشمس في اتجاه ضد عقرب الساعة ، وهو نفس اتجاه الأرض حول نفسها ، كما يوضح الشكل (١) ويسمى المسار الذي تسلكه الأرض في دورتها حول الشمس بمدار الأرض ، وهو على شكل قطع ناقص (بيضاوي) وليس على شكل دائرة كاملة الاستدارة ، وتحتمل الشمس إحدى بؤرتي هذا القطع الناقص . ويبلغ طول مدار الأرض حول الشمس حوالي ٩٦٠ مليون كيلومتر . وحقيقة الأمر أن النقطة التي ترسم مسار الأرض حول الشمس ليست مركز الأرض ، ويرجع ذلك إلى تلازم كل من الأرض وتابعها القمر في الدوران حول الشمس . فإذا كانت كتلة القمر تساوي كتلة الأرض ، فإن النقطة التي ترسم مسارهما على شكل قطع ناقص حول الشمس ستكون هي النقطة الواقعة في منتصف المسافة بينهما .

ولكن كتلة الأرض تزيد بـ ٨٠ مرة عن كتلة القمر ، لذلك فإن مركز مجموع كتلتي الأرض والقمر يقع على مسافة ٤٨٠٠ كيلومتر من مركز الأرض . ونقطة المركز هذه لا ترسم بدورها قطعاً ناقصاً أثناء دورانها حول الشمس لأن القمر يدور حول الأرض في اتجاه دورانها حول الشمس (ضد عقارب الساعة) . فعندما يقع القمر بين الشمس والأرض أي يكون القمر والشمس في جهة واحدة بالنسبة للأرض فإن مركز الدوران . مركز مجموع كتلتي الأرض والقمر . يبتعد عن الشمس ، وعندما تقع الأرض بين الشمس والقمر ، فإن مركز الدوران يقترب من الشمس . ويبلغ مقدار الابتعاد والاقتراب حوالي ٩٦٠٠ كيلومتر . وبذلك فإن مركز دوران الأرض وتابعها القمر يتخذ مساراً متعرجاً حول الشمس كما يتضح من الشكل (٢) .



الشكل (١) مسار الأرض حول نفسها وحول الشمس .



الشكل (٢) المسار المتعرج للأرض والقمر حول الشمس .

النظريات التي تفسر كوكب الارض وعلاقته بالمجموعة الشمسية . أولاً- النظريات القديمة . ١- نظرية كانت .

تقدم الفيلسوف الألماني كانت في سنة (١٧٥٥ ف) بنظرية لتفسير نشأة المجموعة الشمسية تتلخص في أن المجموعة الشمسية كانت عبارة عن أجسام صغيرة صلبة تسبح في الفضاء الكوني بسرعة فائقة ونظراً لخضوع هذه الأجسام لقوى الجذب فيما بينها وهي تتحرك فتجمعت الأجسام الصغيرة نحو الكبيرة ونشأ عن هذه التجمعات عقد ضخمة من المواد الكونية أخذت تتجاذب وتتصادم وتنتج عن تصادمها حرارة شديدة كانت كافية لان تحول هذه المواد إلى غازات متوهجة مثل الغازات التي يتكون منها السديم nebula وتولدت قوة ساعدته على الدوران حول نفسه بسرعة كبيرة ونتيجة لتلك الحركة السريعة وما نشأ عنها من قوة طاردة مركزية برزت الأجزاء الاستوائية من كتلة السديم وبدأت تنفصل منه حلقات غازية كان لكل حلقة منها قوة جاذبة خاصة وانفصال الحلقات الواحدة تلو الأخرى ولم يتبق في نهاية النواة السديم (الجزء الأوسط) وهو الذي تتكون منه الشمس الحالية ، وأخذت الحلقات تدور حول نواة السديم وبالتدريج تكاثفت مواد كل

حلقة في هيئة نيازك أخذت تتحد ببعضها بتأثير قوى الجذب مكونه كواكب المجموعة الشمسية المعروفة في ذات الوقت . ونظرية كانت لا يمكن قبولها من الناحية الديناميكية لأنها تؤمن بان الأجسام تتحول من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون أن تمر بحالة السيولة (ابو راضي ، ١٩٦٩ ، ص ٦)

٢ - نظرية لابلاس .

توصل عالم الفلك الفرنسي لابلاس في عام (١٧٩٦ ف) إلى وضع نظريته المعروفة باسم النظرية السديمية والحلقية وذلك بعد أن قرأ عن حلقات حول الكوكب زحل . تفترض النظرية إلى أن كواكب المجموعة الشمسية كانت في الأصل عبارة عن كتلة كروية من الغازات الشديدة الحرارة (السديم) ذات قطر اكبر من قطر النظام الشمسي المعروف حاليا . كذلك افترضت أن هذه الكتلة السديمية كانت في حركة دائرية منتظمة وان اتجاه دورانها كان هو نفس اتجاه دوران الكواكب الحالية وبعد ذلك أخذت هذه الكتلة في الانكماش تدريجيا نتيجة لفقدان حرارتها بالإشعاع وكان من نتيجة ذلك زيادة سرعة حركتها الدائرية ونتج عن هذه الحركة انبعاج في منطقة السديم الاستوائية بفعل القوة الطاردة ، وافترضت انفصال حلقة من الغازات من حول الأجزاء المنبعجة عندما تعادلت القوة الطاردة المركزية مع قوة الجذب ناحية المركز ، ثم استمر انكماش كتلة السديم وزادت سرعته فانبعجت أجزاءه الاستوائية وانفصلت حلقة بعد الأخرى كونت فيما بعد كواكب المجموعة الشمسية والتي اتخذت لنفسها مدارات مختلفة حول الشمس ، واستمر انكماش الكواكب نفسها قبل أن تبرد فانفصلت عنها بنفس الطريقة التي تكونت بها بعض الحلقات التي كونت فيما بعد بتتابع هذه الكواكب . ويرى لابلاس إلى أن كواكب المجموعة الشمسية بما فيها الشمس هي من اصل واحد يتمثل في مادة السديم الغازية العظمى أما اختلاف المواد التي يتكون منها كل كوكب من كواكب المجموعة الشمسية في الوقت الحاضر إلى طبيعة عملية برودة جسم كل كوكب خلال المراحل الطويلة لنشأته وتكوينه . (ابو راضي ، ١٩٦٩ ، ص ٢٦ - ٢٨) وقد سادت هذه النظرية في اغلب الأوساط العلمية زهاء ثلثي قرن إلى أن تقدم العالم الإنكليزي ماكسويل Maxwell في عام ١٨٠٩ برأي يقول أن حركة دوران الكواكب في مجموعتها تشكل نحو (٤٩) سنة قدر حركة دوران الشمس نفسها (نواة السديم) بينما لا يتعدى مجموعة مادتها جزءا واحد من (٧٠٠) جزء من مادة الشمس فكيف أمكن تلك الحلقات الغازية التي انفصلت من السديم بفعل القوة الطاردة المركزية أن تجمع لنفسها تلك المقادير الهائلة من حركات الدوران . ومن خلال استعراض نظريتي كانت لابلاس تستطيع أن تحدد أوجه الشبه والاختلاف بينهما وهي كالآتي:

١- بنى كل من كانت لابلاس فروضها على أساس أفكار المدرسة الإغريقية المادية والتي تنادي بان كل شي موجود لايد وان يكون قد تكون من مادة ما ومن ثم فان اصل كواكب المجموعة الشمسية بل والكون مادة ما هذه المادة

حسب رأي كانت هي الجسيمات الصغيرة المعتمدة وحسب رأي لابلاس هي غازات السديم .

٢- اعتقد (كانت) أن المادة الأولية التي يتألف منها الكون عبارة عن أجسام صغيرة صلبة معتمدة نشأ عن اصطدام بعضهم بالبعض الآخر احتراقهما وتكوين غازات السديم العظمى في حين لم يشر لابلاس إلى مثل هذه المواد وفرض وجود السدم أصلا وتكونت منها كواكب المجموعة الشمسية .

٣- - تكونت المجموعة الشمسية حسب رأي كانت نتيجة لتلائم الجسيمات الصغيرة واحتراقها ثم برودتها . ولكن تبعا لرأي لابلاس فأنها تكونت نتيجة للبرودة التدريجية التي تعرض لها السديم وما تبعها من عمليات التقلص والانكماش (ابو العينين ، كوكب الارض ، ص ٦١ - ٦٣).

ثانيا - النظريات الحديثة .

١ - نظرية الكويكبات.

تعرف هذه النظرية أيضا باسم النظرية الحلزونية . تقدم بها عام (١٩٠٤) . العالمان الأمريكيان الجيولوجي تشميرلن والفلكي مولتن . وافترضوا بان مادة الكتلة الضخمة التي كانت تتكون منها الشمس والكواكب المختلفة كانت على هيئة حلزونية أو لولبية . وان هذه المادة كانت تتكون من جزئيات منفصلة سميت بالكويكبات . وقد كان مكانها وحركتها داخل هذه الكتل الضخمة يعتمدان على مدى سرعة هذه الكويكبات وقوة الجاذبية المشتركة بينهما . وتفترض النظرية ان السبب في تكوين مثل هذه الكتلة الحلزونية من الكويكبات يعود إلى الانفجارات الشمسية من جهة . ونتيجة مرور نجم بالقرب من الشمس الذي أدى إلى تكوين مثل هذا اللسان الكبير من مادة الشمس بواسطة الجاذبية من جهة أخرى ونتيجة لحركة هذا النجم المنتظمة فان قوة جذب الكويكبات إليه بالنسبة لكل نقطة يمر بها حول الشمس قد سبب هذا الشكل الحلزوني لمدارات هذه الكويكبات . وعندما زاد اقتراب النجم من الشمس ضعف تماسك ذلك النتو الشمسي فانفصلت أجزاء منه على أبعاد مختلفة ، وبعد ذلك تبلورت من تلك الأجزاء المنفصلة كتلة كاملة أخذت تتجمع مكونة في النهاية الكواكب ، وهكذا يمكن تصور كوكب الأرض على انه واحد من هذه الأجسام التي انفصلت عن الشمس أثناء مرور ذلك النجم الذي كان يدور حولها . وافترضت النظرية إن الأرض بردت بسرعة بعد انفصالها عن الشمس . ثم أخذت تصطدم خلال ملايين عديدة من السنين ببعض الكويكبات الأخرى التي أخذت تضمها إلى كتلتها الواحدة تلو الأخر ، كذلك افترضت النظرية إلى أن الأرض لم تكن في حالة سيولة في ذلك الوقت . وان اصطدام هذه الكويكبات بسطح الأرض أثناء دورانها كان كافيا لصهر هذا الجزء من سطح الأرض والتصاق الجسم الغريب به . ونتيجة لتجمع هذه الكويكبات الكثيرة مع الأرض أثناء نموها ازدادت قوى الجاذبية وتركزت هذه القوة في مركز الأرض . بينما انطلقت الغازات وتكاثفت بعضها مع البعض الآخر وكونت الغلاف الجوي والمائي حول سطح الأرض واليابس (ابو راضي ، ص ٢٧) وعلى ضوء ذلك يتضح ان نظرية الكويكبات تشابه النظرية السديمية التي رجحها لابلاس من قبل ذلك كليهما اعتبر أجسام جميع كواكب المجموعة الشمسية بما فيها الشمس تعد من اصل واحد . ولكن تنص نظرية الكويكبات على ان جميع كواكب المجموعة الشمسية تألفت ونشأت من جسم الشمس الأولية في حين تنص النظرية السديمية على ان الشمس وبقية الكواكب التابعة للمجموعة الشمسية تكونت من جسم السديم الغازي الذي كان يشغل حيزا كبيرا في الفضاء الكوني . (ابو العينين ، كوكب الارض ، ص ٦٠) .

٢ - نظرية الشمس التوأمية .

أن صاحب هذه النظرية هو العالم الفلكي راسل H.N.Rassell وقد ظهرت عام ١٩٢٠ . وأوضح راسل أن شمسنا الحالية كانت عبارة عن توائمين متقاربين في مداريهما ، وتكونت المجموعة الشمسية من احد هذين التوائمين بينما احتفظ التوأم الآخر (شمسنا الحالية) بصورته التي يبدو بها اليوم . وحقق هذه النظرية الدكتور ليتلتون R.A.Lyttleton عام ١٩٣٧ واضح انه كان للشمس الحالية توأم أخر يبلغ نصف قطره طول المسافة التي تمتد بين زحل وأورانوس أي نحو (١٧٠٠ مليون ميل . وعلى أساس أن كتلة هذا النجم التوأم كانت مماثلة تماما لكتلة الشمس على ضوء ذلك فتستغرق فترة دوران هذا الكوكب حول نفسه دوره كاملة في نحو ٥ سنة ويسير بسرعة تبلغ نحو ٦ ميل / بالثانية فقط . وعندما تعرض هذا التوأم لمرور نجم أخر سيار يسير بسرعة ٢٠ ميل / ثانية نتج عن ذلك تكوين العمود الغازي الذي اخذ يبدو بالتدرج وكون المجموعة الشمسية وحاول كل من روس حسن Ross cann وبيارجي A . C . Baerj تفسير كيفية تكونت الكواكب التوأمية في نظرية عرفت باسم نظرية انشطار الكواكب The fission theory وتتلخص هذه النظرية في أن الكواكب الكبرى تدور حول نفسها . وينجم عن ذلك تعرضها للبرودة التدريجية . ويعظم تقلص أجزائها . وعلى ضوء ذلك تفقد الكواكب تماسك أجزاء أجسامها . ومن ثم ينشطر كل منهما إلى كوكبين أو أكثر . مكونة الكواكب التوأمية أو الكواكب المزدوجة.

إما الأستاذ هانز الفيفن hannes alfren رجح إلى ان عملية انفصال كواكب المجموعة الشمسية بعضهما عن بعض لا يعزى إلى اثر فعل القوى الميكانيكية (قوة الجذب . قوة الشد . قوة الطرد المركزية) ولكنها قد تعزى إلى اثر فعل القوى الكهربائية المغناطيسية التي تتولد داخل أجسام العائلة الشمسية وتتحكم طبيعة هذه القوى في عملية انشطار بعض الكواكب . ثم تحديد مواقعها ومراكزها في الفضاء الكوني وتشكيل طبيعة مداراتها . (ابو العينين ، كوكب الارض ، ص ٦٩ - ٧٠).

٣ - نظرية الانفجارات النووية .

ظهرت هذه النظرية عام ١٩٢١ وصاحبها عالم الفلك البلجيكي جورج لاميتير (George Lemaitre) عام ١٩٤٦ وتفترض هذه النظرية في أن قسما من الفضاء الكوني وهو الواقع فيما بين مدار الأرض حول الشمس تقريبا كان يتألف من غازات كثيفة أطلق عليها جامو اسم المجرة الأولية وبمرور الزمن اتحدت ذرات هذه الغازات مع بعضها وكونت الخلايا النووية وقد صاحب تكوين هذه الخلايا انفجارات عظيمة أدت إلى تناثر الأجسام الكونية في محيط أعظم اتساعا من المحيط الذي تشغله الغازات من قبل وكونت ما يعرف باسم المجرة الفلكية وبعد عملية الانفجارات النووية بدأت تتكاثف الغازات من جديد ، وبالتالي تمر بعمليات التقلص والانكماش والدوران وميلاد كواكب جديدة في الفضاء الخارجي ورجح جامو بان هذه الانفجارات حدثت من مدة (١٠-١٢) بليون سنة مضت في حين بدأت عملية تكثف الغازات بنحو (٢٥٠) مليون سنة بعد حدوث عملية الانفجار النووي .

ويرى عالم الكيمياء هارولد أورى H.C.urey الى أن أفراد المجموعة الشمسية كانت عبارة عن سحب غازية تنتشر فيها المواد الصلبة الدقيقة الحجم وكانت تحيط بالشمس الأصلية على شكل قرص غازي مستدير الشكل . أما جسم الشمس الأولية كان أكثر استقرارا بالنسبة للأطراف الهامشية للشمس ، وفي ذلك تعرض هذا القرص الغازي المستدير لعمليات التفتت والتقسيم وتباعدت الكتل في الفضاء الكوني تعرضت لعمليات البرودة التدريجية وتكونت كواكب

المجموعة الشمسية . ويذكر أورى الى أن أهم المواد التي تدخل في تركيب هذه الكتل الغازية هي السليكا والحديد والمياه والنشادر وتبعا لعمليات البرودة التدريجية تكاثفت المياه وغاز النشادر بينما تتألف مركز هذه الكتل من النيكل والحديد والمواد التي لازالت منصهره حتى اليوم كما هو الحال بالنسبة لكوكب الأرض . وعلى الرغم من تعدد الآراء والنظريات التي قدمت منذ بداية القرن العشرين لتفسير نشأة المجموعة الشمسية . ألا أنه كما يذكر الأستاذ سمارت بانن ربما سوف لا نعلم الطريقة الحقيقية التي تكونت بها كواكب هذه المجموعة وكيف جاءت إلى الوجود (ابو العينين ، كوكب الارض ، ص ٧٤ - ٧٥) .

٤ - نظرية المد الغازي.

تقدم بهذه النظرية العالمان الإنكليزيان هما عالم الطبيعة الأرضية هارولد جيفريز . وعالم الفلك جيمس جينز في عام (١٩٢٧) . وتفترض هذه النظرية ان انفصال الكواكب عن الشمس كان بسبب عامل واحد فقط هو مرور النجم السيار بالقرب من الشمس وجذبه إليها مما أدى إلى تكوين عمودا غازيا هائلا في الجانب المواجه للنجم . وتكرر عمليات الانفجار في جسم الشمس الذي افترضته نظرية الكويكبات . وتفرض النظرية إلى ان طول هذا العمود الغازي الاسطواني يبلغ طول المسافة بين الكوكب بلوتو والشمس . ولم يكن متساويا إذ كان سمكا في الوسط وضعيفا في الأطراف . وتحت تأثير الجاذبية تكونت عقد خلال هذا العمود وبمرور الزمن استطاعت هذه العقد ان تكون كواكب مستقلة ذات أعمار متماثلة وكل منها يدور حول الشمس في مدار دائري تقريبا . وتوضح النظرية إلى ان الكواكب التي انفصلت واستقلت في الوسط كانت اكبر من غيرها ، أما الكواكب الصغيرة فقد تكونت عند طرفي العمود الاسطواني الغازي ، ويتفق هذا الترتيب في أحجام الكواكب مع الحقائق المعروفة الخاصة بالمجموعة الشمسية ، إذ يشغل الكوكبان العظيمان المشتري وزحل مركزا وسطا بين الكواكب (ابو راضي ، ص ٣٠) وتفترض النظرية بان الأقمار قد انفصلت عن الكواكب تحت تأثير جاذبية الشمس أو ربما بتأثير النجم الزائر نفسه ، وكذلك تفترض النظرية بان الأرض قد بردت إلى ان وصلت إلى حالة سائلة تماما ثم انفصلت بعد ذلك عن طريق فقدان الحرارة بالإشعاع ، وعلى هذا النحو أمكن ترتيب مواد الأرض أثناء عمليات التبريد في شكل نطاقات أو في شكل أغلفة حسب كثافة المواد المكونة لكل غلاف منها ، وان هذا التغير قد حدث في زمن قصير جدا . (الجوهري ، ص ٧٩ - ٨٦) . وعلى الرغم من ان نظرية المد الغازي تعد مقبولة لتفسير الصورة العامة لعملية نشأة المجموعة الشمسية ، إلا انه ظهر فيما بعد العديد من الصعوبات تفند صحة هذه النظرية وتنفي صحتها ، ومن بين الصعوبات الرئيسية التي واجهتها هذه النظرية آتية :

أ - ان الكواكب ماهي إلا قسم صغير من الكتلة الكلية للمجموعة الشمسية ومع هذا فهي تبعد بعدا عظيما عن الشمس وتتحرك حولها ، وان المسافات الشاسعة التي تفصل بين الشمس والكواكب لا تقرر أي نظرية انفصال مادة الكواكب عن جسم الشمس ، إذ انه لو ان الكواكب قد انفصلت عن الشمس لكانت تبعد عنها بمسافات قصيرة محدودة .

ب - ان الشمس تتركب في معظمها من عناصر خفيفة كالهيدروجين والهليوم وهي عناصر يقل وجودها في الأرض ، بينما نجد ان الأرض والكواكب الأخرى تتركب من نسب كبيرة من عناصر نادرة الوجود في جسم الشمس ، ولهذا نجد ان

المواد التي يمكن ان تتفصل عن الشمس بشكل أو بآخر (كالعالمود الاسطواني) لا يمكن ان تؤدي إلى تكوين مواد كواكب المجموعة الشمسية (جودة، ١٩٩٨، ص ٢٠ - ٢١)

٥ - نظرية أتو شميت.

لقد ساهم علماء الفلك والطبيعة الروس في مشكلة تفسير كوكب الأرض والعلاقة بينه وبين بقية كواكب المجموعة الشمسية . ومن بين هؤلاء العلماء أتو شميت otto schmidt الذي تقدم بهذه النظرية عام ١٩٤٤ . ويفترض فيها ان الكواكب التي تتكون منها المجموعة الشمسية نشأت عن سديم غازي استطاعت الشمس ان تجذب إليها وتأسره أثناء تحركه في الفضاء . ويرى صاحب النظرية إلى ان الأجسام الصلبة (النيازك) تحدث في مجال كتلة السديم الغازية تحت تأثير قوى الجاذبية . فنشا عن ذلك تكوين الكواكب المعروفة . ويرى بان الكواكب كانت تنمو بسرعة في البداية حينما كانت تجذب إليها النيازك بكثرة فتتساقط عليها وتتحد بها وخلال المليون سنة الأخيرة قل ورود النيازك إلى الأرض بدرجة كبيرة ويعتقد صاحب النظرية قد صار إعادة توزيع كتل النيازك في جرم الأرض وهي في حالة ليونة دون ان تمر في مرحلة سيولة انتقالية . ويرى ان الأرض لم تكن على درجة كبيرة من الحرارة . وقد حدث تسخين الأرض ورفع درجة حرارتها عن طريق تحلل العناصر المشعة.

وفي ضوء ذلك فان كوكب الأرض وفقا لأراء أتو شميت قد تكون كمثلي بقية كواكب المجموعة الشمسية نتيجة لتجمع الأجسام الصلبة الصغيرة من كتل السديم . وقد كانت هذه العملية في بادئ الأمر عاصفة عارمة ألا أنها أخذت في الضعف بعد ذلك نتيجة لقللة الأجسام الصلبة داخل كتل السديم . وربما تعرضت عملية الأجسام الصلبة وتكوين الكواكب خلال فترات ما لفترة من الهدوء ألا أنها قد تظهر من جديد عندما يتجدد نشاط تساقط الأجسام الصلبة من كتل السديم.

وتبعاً لرأي شميت فان الشمس أقدم عمرا من بقية كواكب المجموعة الأخرى . هذا بخلاف أراء كانت ولايبلاس وبعض الفلكيين الأخرين الذين أوضحوا بان الشمس وبقية كواكب المجموعة الشمسية تكونت خلال مرحلة واحدة ومن مادة واحدة (ابو العينين ، سطح هذا الكوكب ، ص ٤٩) ويتضح وجود اختلاف بين أراء تشمبرلن ومولتن التي تفترض تكوين المجموعة الشمسية من جسم الشمس نفسه تبعا لاقترب نجم كبير الحجم من الشمس ووجود اختلاف بين أراء جيفريز وجينز والتي تتخلص نظريتها في تكوين المجموعة الشمسية من عمود غازي كان يحيط بقرص الشمس من قبل . في حين يفترض أتو شميت إلى أن تكون المجموعة الشمسية من جسم سديمي خارجي استطاعت الشمس ان تأسره من الفضاء الكوني . ومن أهم نقاط الضعف في هذه النظرية هو تفسير نشأة النيازك حول الشمس وهي التي تكونت الكواكب من موادها في الأصل . ولقد أمكن رياضيا إثبات انه من الممكن للشمس ان تجذب سحباً من هذه الأجسام من مجال المجموعة النجمية التي تنتمي إليها الشمس وهي المعروفة باسم مجموعة المجرة Galaxy ، وذلك في حالة افتراض التأثير المتبادل بين ثلاثة نجوم ، ومع هذا فيقال أن هذه الإمكانية من الندرة بحيث تجعل عملية تكوين الكواكب ظاهرة وحيدة في الكون (جودة ، معالم سطح الارض ، ص ٢١)

٦ - نظرية السحب السديمية .

أن صاحب هذه النظرية هو فون فايسكر Von weizaker ، وقد ظهرت في ١٩٤٤ ومفادها أن المجموعة الشمسية بما فيها الشمس كانت تتألف من سحب هائلة من السدم التي تسبح فيها الغازان والغبار الكوني والمواد المعدنية الدقيقة الحجم جدا . وتشبه هذه السدم تلك السحب القرصية التي تحيط بكوكب زحل اليوم ، ويوضح فايسكر أن السديم ظاهرة ليست غريبة بل هي موجودة فعلا في الفضاء الكوني ومنها السدم العظمى المتوهجة Creat Neblulae in orion والسدم القاتمة المعتمة Dark Nebulae واشهرها سحب (جولات الفحم) cool-sack Nebular وتعد هذه السدم عظيمة الحجم جدا ويعتقد صاحب النظرية الى أن المجموعة الشمسية كانت تتألف من بعض أجزاء إحدى هذا السدم التي أخذت تسبح في الفضاء الكوني وتبتعد عن موقعها الأصلي ثم نتيجة العمليات البرودة التدريجية التي تعرضت لها بعد أن انفصلت عن السدم العظمى أخذت تدور حول نفسها وتبعاً لقوى الاحتكاك الناتجة عن فعل تصادم أجزاء المواد الصلبة بالسدم تولدت قوى حرارية عظمى عملت على تفتيت جسم السديم إلى أجزاء صغيرة وكل بدوره اخذ يبرد بالتدريج وتكونت بذلك أفراد المجموعة الشمسية ، وحاول فايسكر تفسير انتظام المسافات بين الكواكب والشمس ورحج بأنه كان هناك بين كتلة السحب السديمية العظمى مناطق دوامات غازية (في مناطق الكواكب الكبيرة) تدور في اتجاه عقرب الساعة . ويقع فيما بينها دوامات أخرى تدور في عكس اتجاه عقرب الساعة تكون منها الكواكب الصغيرة .

٧ - نظرية الازدواج النجمي .

إن صاحب هذه النظرية هو الأستاذ هويل عام (١٩٤٧) . والتي يطلق عليها أيضا اسم ميلاد النجوم الجديدة وتفترض النظرية بان كواكب المجموعة الشمسية لم تتفصل عن جسم الشمس الحالية نظراً للمسافة الشاسعة بين الكواكب وبين الشمس . وبذلك لا بد إن يكون هناك مصدراً آخراً للكيفية التي تكونت بها كواكب المجموعة الشمسية ولما كانت ظاهرة الازدواج النجمي شائعة نسبياً في الكون . فان شمسنا الحالية كان لها نجماً ملاصقاً لها أطلق عليه اسم السوبرنوفاً . وكيها انفصلا من جسم سديم غازي عظيم الحجم . وقد اخذ هذا النجم المصاحب لشمسنا الحالية إن يفقد كميات هائلة من غازاته بفعل الإشعاع ومن ثم اخذ يتقلص وينكمش ويدور حول نفسه بسرعة كبيرة مما أدى إلى انفجاره وتطاير أجزائه. (ابو العينين ، كوكب الارض ، ص ٧١ - ٧٢) . وتفترض النظرية ان الانفجار كان من الشدة بحيث أدى إلى تطاير أجزاء الجسم المصاحب للشمس بعيدا عن الفضاء الكوني الذي نعرفه ، أما بقايا نواته فقد ظلت قريبة من جسم الشمس وهي التي تعرضت لعملية التقلص والبرودة والانكماش والتفتت ثم الدوران ، وتكونت منها كواكب المجموعة الشمسية التي تحكمت قوة جذب شمسنا الحالية في تحديد مدارات هذه الكواكب (الجوهري ، ص ٧٩-٨٦) وترى النظرية ان انفجار نجم السوبرنوفاً قد ولد حرارة هائلة ، وهذه الحرارة هي التي يعتقد أنها كانت كافية لتأليف العناصر الثقيلة التي تتركب منها الكواكب ، ومثل هذه الدرجات العالية لا نجدها حتى في الأجزاء المركزية من أي نجم من النجوم الثانية العادية .

الفصل الثالث

النظريات الحديثة التي تفسر توزيع اليابس

والماء

لقد ظل توزُّع اليابس والماء ، على سطح الأرض ، إلى جانب الظواهر التضاريسية الكبرى ، لغزاً ، يحير العلماء ، إذ كانت ظواهر سطح الأرض حتى بداية القرن الثامن عشر الميلادي ، تفسر بأنها كوارث Catastrophism . وكان كثير من الناس ، في أوروبا ، يعتقدون أن طوفان نوح (عليه السلام) Biblical Flood ، كان له الأثر الأكبر في تشكُّل سطح الأرض . وتمادى هذا التفكير ، حتى طغى على علوم الأرض ؛ فعُدَّت ظواهر ذلك السطح ، بأنها نتاج سلسلة من الكوارث ؛ وما التاريخ الطبيعي للأرض إلا سلسلة من التغيرات المفاجئة ، يفصل بينها فترات من الركود . وظلت هذه الفكرة سائدة ، حتى منتصف القرن التاسع عشر الميلادي ، حين حلت محلها فكرة الاتساق والتجانس Uniformitarianism في أساس التماثلية Uniformitarian Principle . وكانت تلك طريقة جديدة في التحليل ، انبثقت من أفكار العالم الاسكتلندي ، جيمس هاتون James Hatton ، عام ١٧٨٥؛ وهي تقول : "إن الحاضر هو مفتاح الماضي" . وتعني هذه الفكرة ، بالنسبة الى علوم الأرض ، أن القوى والعمليات ، المؤثرة في سطح الأرض ، سواء البطيئة والسريعة ، هي القوى والعمليات نفسها ، التي شكلت سطح الأرض ، خلال العصور الجيولوجية ، (نظرية الصفائح التكتونية) .

ويعتقد العلماء بان الأرض قد مرت ضمن حلقات تقطيع مشابهه لما يحدث اليوم قبل تشكيل قارة بنجاليا ، إذ تحركت القارات القديمة بعيدا عن بعضها فقط لتعود وتصطدم ثانية في مواقع أخرى ، خلال الفترة ما بين (٥٠٠ - ٢٢٥) مليون سنة مضت ، وبدأت التشتتات الناتجة من التقطيع المبكر بالتجمع لتشكل قارة بنجاليا ، ومن الأدلة على هذا الاصطدام القاري متمثلة بجبال الاورال في الاتحاد السوفيتي (سابقا) وسلاسل جبال الابلاشيان في أمريكا الشمالية (Lutgens & Tarbuck. p. 254.)

وقد وردت فكرة ، أن القارات تحركت خلال العصور الجيولوجية إلى مواقعها الحالية في أعمال عدد من الباحثين قبل وقت طويل من حلول القرن العشرين . ففي عام ١٥٩٦ كان ألكرانطي إبراهيم أورتيليوس Ortelius Abraham ، يرى أن الأمريكتين اقتطعتا من أوروبا وأفريقيا ، بالزلازل والفيضانات . وقد أورد رأيه هذا ، في كتابه The saurus Geographicus . وظهرت عدة أفكار مؤيدة لأفكاره ، وشبيهه بها خلال القرن التاسع عشر الميلادي . (نظرية الصفائح التكتونية) وفي منتصف القرن السابع عشر ، بدأت تظهر في أبحاث بعض الباحثين ، الفكرة القائلة بأن القارتين ، كانتا متصلتين ، وفي عام ١٦٦٨ شاعت هذه الفكرة في فرنسا ، وفي عام ١٨٥٨ ، أنجز أنطونيو سنايدر Antonio Snider ، خريطة للأمريكتين

ملتصقتين بأوروبا وأفريقيا ؛ فضلاً عن إشارته إلى تشابه الحفريات على جانبي المحيط الأطلسي . وفي بداية القرن العشرين ، ظهرت أفكار العالمين الأمريكيين ، فرانك تايلور Frank Taylor ، وهوارد بيكر ، Howard Baker ، الفائزة بفرضية ارتباط قارات العالم القديم وقارات العالم الجديد ؛ وأنها كانت جزءاً من كتلة يابسة واحدة . وقد أيد تايلور في بحثه الذي قدمه في عام ١٩٠٨ هذه الفكرة وقدم شواهد قوية على تحرك القارات . ولكن الفضل في وضع هذه الأفكار في إطار نظرية علمية ، واسعة الانتشار ، أثارت كثيراً من الجدل ، يعود إلى العالم الألماني ، ألفريد فجنر ، Alfred Wegener ، الذي قدمها في سلسلة من الأبحاث ، بين عامي ١٩١٢ و ١٩٢٤ .

ثم جاءت نظرية تيارات الحرارة الصاعدة في وشاح الأرض Mantle thermal Convection Currents ، للعالم الإنجليزي ، هولمز ، عام ١٩٢٨ ، لتضيف محاولة جديدة إلى المحاولات العلمية المتتالية ، لتفسير بعض حقائق طبيعة قشرة الأرض وظواهرها . فضلاً عما أضافته أعمال استكشاف قيعان المحيطات ، وبخاصة المحيط الأطلسي ، والتي بدأت في الأربعينيات من القرن العشرين . فقد اكتشفت سلسلة المرتفعات المغمورة الممتدة في وسط قاع المحيط الأطلسي بين الشمال والجنوب ، بموازاة ساحليه ، الشرقي والغربي ؛ وقد أطلق عليها "حيد منتصف الأطلسي" Ridge Mid-Atlantic . ثم وجد أن في منتصف هذا الحيد أخدود ممتد على طول امتداده . ولم يأت عام ١٩٦٠ إلا وفكرة تكتونية الصفائح ، قد اكتمل هيكلها ، ورسخت في الفكر العلمي ؛ وبنيت ، على أساسها ، نظرية تكتونية الصفائح Plate Tectonics . وشكلت هذه النظرية ، منذ الستينيات من القرن الماضي ، ثورة في الفكر العلمي لعلماء الأرض . وكانت تهذب ، وتعاد صياغتها ، وتؤكد مع تقدم أساليب الرصد والقياس (موسوعة مقاتل من الصحراء) . وعلى هذا الأساس شهد تطور الفكر العلمي في نشأة الأحواض المحيطية العديد من النظريات ، التي حاولت تفسير توزع اليابس والماء ، وتكوين الأحواض المحيطية وهي كالاتي :

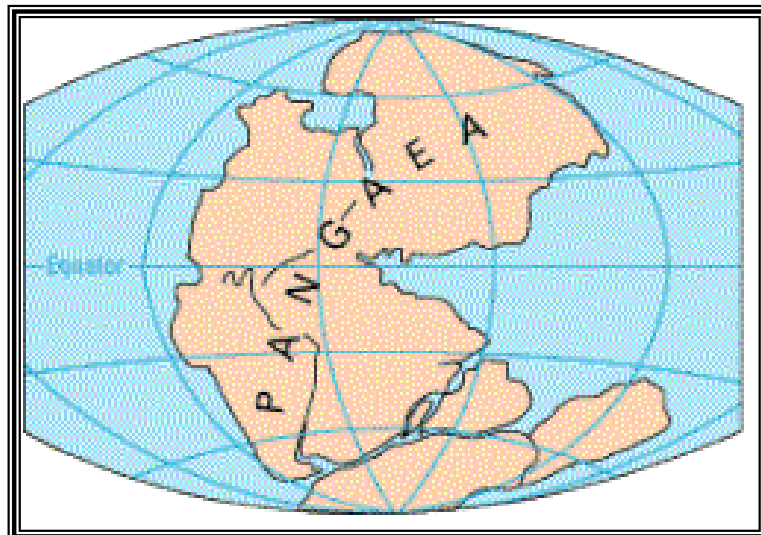
١ - نظرية زحزحة القارات .

على الرغم من أن العالم الألماني الفريد فجنر كتب نظريته في وقت مبكر من عام ١٩١٢ إلا أنها لم تحظ باهتمام يذكر حتى ترجم كتابه إلى الإنجليزية ، عام ١٩٢٤ ، فأصبحت نظريته موضوع نقاش حاد استمر حتى وفاته عام ١٩٣٠ . لقد جمع فجنر في أعماله ، التي كانت تهتم بدراسة المناخ القديم ، من خلال الآثار الجيولوجية ، الأدلة المتعددة ، لإثبات أن القارات كانت وحدة واحدة ، متصلاً بعضها ببعض ، مكونة قارة عظمى على سطح الأرض ، أطلق عليها اسم بانجايا Pangaea . وقد نشر آراءه هذه في كتابه الشهير ، "أصل القارات والمحيطات" The Origin of Continents and Oceans ؛ وأنه كان هناك محيط واحد يحيط بتلك القارة؛ أطلق عليه اسم بانثالاسا Panthalassa . ويقول فجنر ، إن قارة بانجايا ، كانت موجودة قبل ٣٠٠ مليون سنة ، في العصر الفحمي Carboniferous Period . كما يقول إنها تكسرت بعد

العصر الكريوني ، وبدأت أجزاءها تتزحج ، تاركة بينها فراغات ، هي التي تشغلها المحيطات في الوقت الحاضر ويرى فجنر بان هذه الحركة حدثت نتيجة لقوتين مختلفتين هما قوة الطرد المركزية الناتجة عن دورات الأرض التي دفعت الكتل المنكسرة نحو خط الاستواء أي نحو الشمال فتحركت بفعلها استراليا من الهند وبلاد العرب وأفريقيا . وقوة المد التي تتولد نتيجة لجذب كل من الشمس والقمر للأرض التي دفعت بعض الكتل المنكسرة نحو الغرب مما أدى إلى تكون الأمريكيتين . وقد طابق فجنر ، في رسمه لقارة بانجايا ، بين سواحل الأمريكيتين من جهة ؛ وسواحل أفريقيا وأوروبا من جهة أخرى . وطابق بين سواحل أستراليا وأنتاركتيكا ، وشبه القارة الهندية وجزيرة مدغشقر ، وألصقها بالساحل الشرقي الجنوبي لأفريقيا . وقد استشهد فجنر على صحة ذلك بشواهد متعددة (موسوعة مقاتل من الصحراء) ، يمكن حصرها في خمس مجموعات وهي كالآتي :



خارطة (١) قارة بانجايا قبل ٢٤٥ مليون سنة مضت .



خارطة (٢) قارة بنجايا كما تصورها فجنر قبل ٢٢٥ مليون سنة في نهاية العصر البرمي .

١ - تشابه السواحل المتقابلة وخاصة في جنوب المحيط الأطلسي .

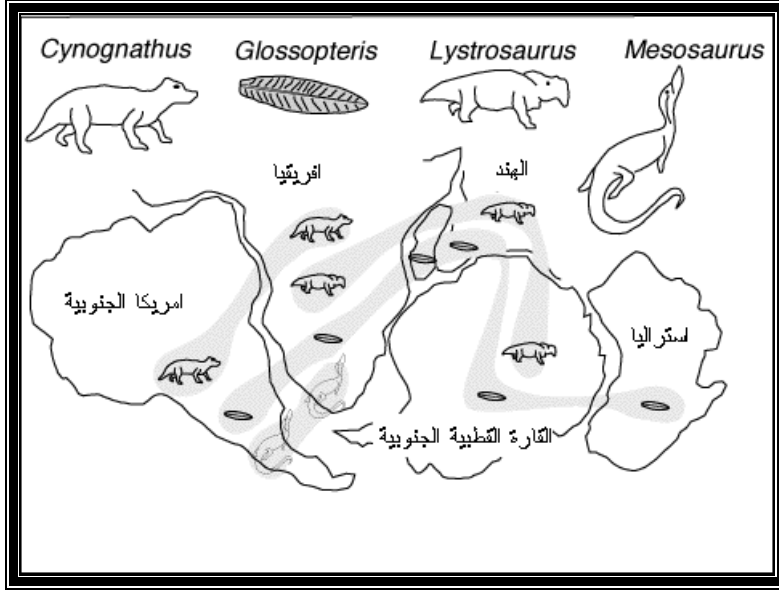
وقد حاول فجنر في بداية طرحه لنظريته تطبيق سواحل غرب أفريقيا على سواحل أمريكا الجنوبية كما موضح في الخارطة (٣) إلا انه واجهه كثير من المصاعب . وتحت ضغط الانتقادات الشديدة الموجهه لنظريته ؛ ولأن السواحل قد تعرضت لكثير من عمليات التعرية والإرساب ، الناجمة عن الأمواج ، والأنهار ، والتيارات البحرية ، على الجانبين ؛ فقد فشل فجنر في محاولته ، ولم ينجح في إيجاد درجة مرضية من التطابق ، بين خطي الساحل المتقابلين . إلا انه اتجه للبحث عن أدلة أخرى تؤيد نظريته .

٢ - تشابه الحفريات في القارات المتباعدة .

تم العثور على متحجرات من نفس النوع انتشرت على عدة قارات مختلفة ، وقد اقترح فجنر Wegener بان هذا النوع من المتحجرات انتشر عندما كانت القارات متصلة مع بعضها ، وانتقل إلى المواقع الحالية عندما تعرضت القارات إلى الانجراف والابتعاد عن بعضها البعض ، وعلى سبيل المثال ، *Glossopteris* ، سرخس fern ، وجد على قارات أمريكا الجنوبية ، أفريقيا ، الهند ، وأستراليا انظر الخارطة (٤) . إذا تم تجميع القارات مع بعضها إلى قارة بنجايا *Pangaea* ، فان توزيع *Glossopteris* يمكن أن يفسر على منطقة جغرافية متاخمة صغيرة جدا . إما توزيع النوع الآخر فانه يمكن أيضا أن يفسر بأنه منتشر من قبل عبر قارة بنجايا *Pangaea* ، ثم حدث بعد ذلك تعرضت القارة العظيمة إلى التكسر *super continent* ، وتحركت القارات إلى مواقعها الحالية . (*Continental Drift. Part3*)



خارطة (٣) تطابق السواحل الغربية لقارة أفريقيا مع السواحل الشرقية لقارة أمريكا الجنوبية .

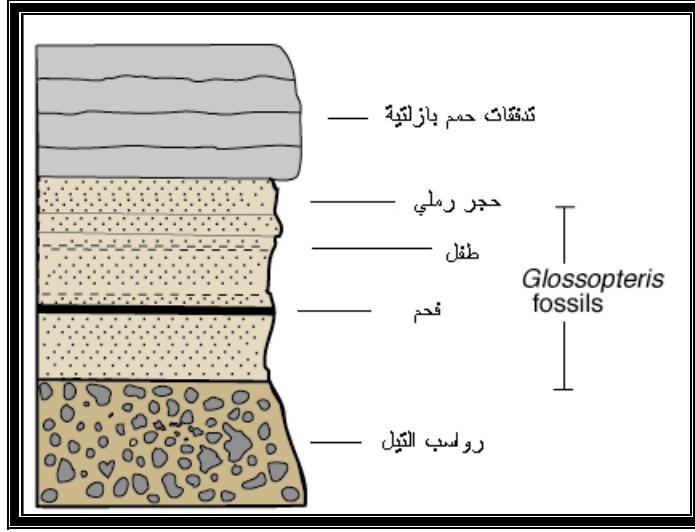


خارطة (٤) توزيع الحفريات عبر القسم الجنوبي لقارة بنجاليا Pangaea

٣- تشابه التركيب الصخري .

تعاقب الصخور وتشابها بشكل بارز في كل من أمريكا الجنوبية ، أفريقيا ، الهند ، القارة القطبية الجنوبية ، كما موضح في المخطط (١) وقد شرح فجنر Wegener بأنّ ثلاث طبقات متشابهة في كلّ هذه النواحي . وان الطبقة الأسفل (الأقدم) تدعى التليت tillite ويعتقد بأنها كانت عبارة عن ارسابات جليدية . إما الطبقة المتوسطة فإنها متكوّنة من الحجر الرملي sandstone ، الطفل shale ، وطبقات من الفحم . ومتحجرات نبات الجلوسوبترس Glossopteris في الأسفل وفي الطبقات المتوسطة . بينما تتكون الطبقات العليا من تدفقات من الحمم البركانية . إن وجود ثلاث طبقات متشابهة بنفس الدرجة أو الرتبة في مناطق تفصل بينها الآن مسافات بعيدة ، ولذلك أقترح فجنر Wegener بأنّ هذه الطبقات الصخرية تكونت عندما كانت القارات جميعا جزء من قارة بنجاليا Pangaea . وتكونت في مناطق صغيرة والتي تعرضت إلى التكرس لاحقا وابتعدت عن بعضها البعض (Continental Drift. Part4) . واستبعد فجنر فكرة وجود المعابر القارية مستشهداً بتمائل التركيب الصخري في السواحل المتقابلة ، على جانبي الأطلسي ، في السواحل الشرقية لأمريكا الجنوبية وأمريكا الشمالية ، والسواحل الغربية لأفريقيا وأوروبا؛ وفي شبه القارة الهندية ، وسواحل أستراليا وأنتاركتيكا . هذا التشابه حاصل على سبيل المثال في جبال الأبلش التي تشبه في تركيبها جبال جرينلاند Green Land ، وبعض جبال أوروبا . هذه الجبال عند وصل بعضها ببعض ، تشكل سلسلة جبلية واحدة ، لها التركيب والخصائص نفسها . والتشابه في التركيب الصخري ، والتطور

الجيولوجي للسلاسل الجبلية ، لا يمكن لنظرية المعابر تفسيره ، خاصة أنه لا يوجد لهذه المعابر المزعومة أثر ، تحت مياه المحيط . (موسوعة مقاتل من الصحراء) .



مخطط (١) وجود صخور متشابهة تكونت في القارة القطبية الجنوبية ، وقارة استراليا ، وقارة أمريكا الجنوبية ، وقارة أفريقيا ، والهند قبل تعرض قارة بنجاليا إلى التكسر إلى عدة أجزاء ، ووجود حفريات Glossopteris في الصخور في كل تلك القارات .

٤ - آثار الغطاءات الجليدية .

إن توزيع آثار الجليد Glaciations في أمريكا الجنوبية ، أفريقيا ، الهند ، وأستراليا يكون أفضل توضيح بان هذه القارات كانت متصلة مع بعضها . إذ غطى الجليد كل أو جزء من كل هذه القارات في وقت واحد في الماضي الجيولوجي . فإذا كانت القارات في موقعها الحالي فإن الحدث الجليدي الرئيسي الذي غطى كل القارات سيتطلب بأنه امتد ليصل إلى شمال خط الاستواء ، إلا إن الجيولوجيين لم يجدوا أي دليل لوجود الجليد في النصف الشمالي من الكرة الأرضية ، إذ كان المناخ في أمريكا الشمالية دافئا في تلك الفترة . لذلك أقترح فجنر Wegener بأن القارات كانت مجاورة لبعضها البعض أثناء الحدث الجليدي . لذا ، انتشر الجليد على منطقة صغيرة جدا في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية ، ومن المحتمل لم يؤثر على مناخ النصف الشمالي من الكرة الأرضية . وأستعمل فجنر Wegener توزيع صخور معينة لتحديد توزيع مناطق المناخ في الماضي الجيولوجي . وعلى سبيل المثال ، رواسب التيل ، و الخدوش striations ، الكثبان الرملية ، والشعاب المرجانية ، تشير إلى مناخ قطبي ، ومناخ صحراوي ، ومناخ استوائي ، على التوالي . إن مناطق المناخ الحالية توضح كيف إن توزيع الشعاب المرجانية ، والصحاري ، والتلج الجليدي كانت تعيق موقع القطب التدويري للأرض . وأستعمل فجنر Wegener أيضا توزيع انطقة المناخ لتحديد

موقع الأقطاب في الأوقات المختلفة في الماضي الجيولوجي . إذ وجد على ما يبدو بان القطب التدويري يعمل على تغيير موقعه بشكل تدريجي ليصل إلى موقعه الحالي فقط في الماضي الجيولوجي الأخير جدا . إنّ هذه الحركة الظاهرة في موقع القطب بمرور الوقت تدعى التجوّل القطبي polar wandering . وعرض فجنر Wegener تفسيراً بديلاً . إذ أفتّرح بأنّ الأقطاب بقيت ثابتة وان القارات هي التي غيرت مواقعها بالنسبة إلى الأقطاب . (Continental Drift. Part5) وقد استشهد فجنر بتلك الشواهد من آثار التغيرات المناخية القديمة ، التي شملت آثار غطاءات جليدية قديمة ، يرجع عمرها إلى نهاية العصر الباليوزوي قبل ٣٠٠ . ٢٥٠ مليون سنة ، في نصف الأرض الجنوبي ، إنّ هذه الآثار تدل على أنّ الجليد غطى مناطق واسعة ، في نصف الكرة الجنوبي ، معظمها تقع حالياً في المناطق المدارية وتحت المدارية ؛ ولا تبعد عن خط الاستواء أكثر من ٣٠° . فهل مرت بالأرض فترة متجمدة شديدة امتدت الغطاءات الجليدية خلالها إلى هذه المناطق القريبة من خط الاستواء ؟ استبعد فجنر هذه الاحتمالية ، على أساس أنّ غطاءات واسعة من النباتات المدارية كانت تغطي النصف الشمالي من الكرة الأرضية في الوقت نفسه الذي كان الجليد فيه يغطي النصف الجنوبي . انظر الخارطة (٥) .



خارطة (٥) انتشار الجليد كدليل على إنّ القارات كانت جزءاً من قارة بنجاليا .

٥ - وجود مناجم الفحم .

إن استبعاد فجنر احتمالية مرور الكرة الأرضية بفترة جليدية امتدت خلالها الغطاءات الجليدية إلى المناطق القريبة من دائرة الاستواء ، كان مبنياً على أساس أنّ غطاءات واسعة من النباتات المدارية كانت تغطي النصف الشمالي من الكرة الأرضية في الوقت نفسه الذي كان الجليد فيه يغطي النصف الجنوبي ، وقد كونت بقايا تلك النباتات مناجم الفحم الموجودة حالياً في أمريكا الشمالية وأوروبا وسيبيريا . وفي ضوء

هذه الشواهد اقترح فجنر تحليلاً يجمع بين هذه الشواهد ويوضحها؛ فحواء أن قارات النصف الجنوبي ، كانت يابساً واحداً متصلاً حول القطب الجنوبي ؛ وتتصل بها من الشمال قارات النصف الشمالي . وهذا يوضح الامتداد الواسع للغطاءات الجليدية إلى قارات النصف الجنوبي ؛ وذلك يجعل قارات النصف الشمالي تقع في المناطق المدارية كذلك ؛ ما يوفر الظروف الملائمة لنمو النباتات المدارية التي كونت مناخ الفحم في تلك المناطق . (موسوعة مقاتل من الصحراء)

واستطاع فجنر إن يفسر تكون الجبال على أساس إن الكتل اليابسة عندما اقتربت من بعضها أثناء زحزحتها نشأ عن اقترابها التواء الطبقات الرسوبية الموجودة في البحار الداخلية نتيجة لضغط الكتل الزاحفة عليها ومن هذه الطبقات الملتوية تتكون السلاسل الالتوائية ومعنى هذا إن جبال الألب قد تكونت نتيجة لزحف قارة أفريقيا نحو أوروبا حيث ضغطت على الطبقات الرسوبية في قاع بحر تثنس الذي كان يفصل بين القارتين وكذلك الحال بالنسبة لجبال الهيمالايا والروكي والانديز . (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص) .

وقد وجهت إلى النظرية عدة انتقادات منها إن انطباق الساحل الغربي لأفريقيا على الساحل الشرقي لأمريكا الجنوبية بالطريقة التي يراها فجنر أمر متعذر إذ يوجد فرق مقدار (١٥) درجة في الانفراج الواقع بين ضلعي ساحل غانة من ناحية والانفراج الذي ينحصر بين ضلعي ساحل البرازيل ، من ناحية أخرى ، إضافة إلى ذلك إن القوتين التي اعتبرهما فجنر السبب في زحزحة الكتل القارية لا يكفیان وحدهما لإحداث الحركة حتى لو تضاعفت هذه القوى ملايين المرات عما هي عليه في الوقت الحاضر . وثمة صعوبة أخرى هي إن النظرية لا تعلل تعليلاً مقبولاً الطريقة التي تكونت بها جبال الروكي وجبال الانديز غرب الأمريكيتين .

إن أنموذج فجنر Wegener لم يقبل من قبل كلّ الجيولوجيون . إذ أعتقد البعض بأنّ التفرّق بتيارات المحيط أو الرياح يمكن أن يوضّحاً توزيع أنواع المتحجرات . وفكّر الجيولوجيون الآخرون بان الأقطاب قد تتجول wander والقارات تبقى ثابتة . وفكّر العديد من الجيولوجيين بان دليل فجنر Wegener كان غير كافي . وإن العيب الأعظم ، على الأقل في نظر الجيولوجيين الأمريكيين ، كان قلة الآلية الكافية لانتقال القارات . والجيولوجيون في ذلك الوقت كانت لديهم معلومات بما فيها الكفاية حول قوة الصخور مما دعاهم إلى القول بأنّ الأسباب التي ذكرها فجنر لتحريك القارات مستبعدة جداً ، وإن عمل فجنر Wegener كان غير مقبول بشكل كبير في النصف الشمالي من الكرة الأرضية . بينما في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية ، عندما كان الجيولوجيون لا يعرفون بالصخور التي استعملها فجنر Wegener لدعم فرضيته ، ومع ذلك فإن نظرية الانجراف القاري كان غير مقبول بشكل عام . وعلى الرغم من هذه الاعتراضات فقد اكتسبت هذه النظرية أنصار جدد بعد إن زعم البعض بوجود أدلة واضحة تشير بان اليابس الأمريكي في حالة حركة بطيئة دائماً بالفعل كذلك يقال بان الكتلة الغربية لشبه الجزيرة

العربية تتحرك شرقا باتجاه الخليج العربي بضعه سنتمترات في العام . كما إن ساحل أفريقيا وأمريكا الجنوبية اللذان يحدان المحيط الأطلسي الجنوبي يمكن انطباقها تمام الانطباق إذا أخذنا بنظر الاعتبار المنحدر القاري المغمور بالماء مقابل كلا الكتلتين حتى عمق (٩٠٠) حينئذ يزول الفرق وتسد الفجوة وتتطبق كتلة أمريكا الجنوبية على كتلة أفريقيا المقابلة دون الحاجة إلى الرجوع إلى ما ذكره البعض من إن عدم الانطباق سببه إن شريحة من اليابس القديم قد تخلفت وبقيت في الوسط فظهرتها المياه مكونة ما نعرفه الآن باسم الحافة الوسطى بالمحيط الأطلسي وقد ثبت بما لا يدع مجالاً للشك بان هذه الحافة تخلو من المواد الجرانيتية المكونة لكتل القارات . وعلى الرغم من أن نظرية ترحل القارات ، لم تحظ بالقبول العام من العلماء ، حينئذٍ ؛ إلا أن شواهدا القوية ، وأسستها العلمية ، رفدت الفكر العلمي بما يمكن إيجازه في نقطتين:

١ - قدمت النظرية تفسيرات علمية مقبولة ، لكثير من الظواهر المشاهدة على سطح الأرض ، سواء في مجال الجيولوجيا ، أو الأحياء والنبات ، أو المناخ القديم ، والحفريات . ومن أمثلة ذلك ، قدمت النظرية تفسيرات لتطابق السواحل المتقابلة على جانبي المحيط الأطلسي ؛ وأخرى لتشابه صخور السواحل المتقابلة ، على تخوم المحيطات . وفسرت تطابق اتجاهات السلاسل الجبلية في شرق الولايات المتحدة ، وجزيرة جرينلاند ، وإسكتلندا ، وشبه الجزيرة الاسكندنافية . وفسرت ، كذلك تشابه حفريات نبات الجلوسوبترس *Glossopteris* ، في كل من أفريقيا وأمريكا الجنوبية وأنتاركتيكا وأستراليا ؛ وتماتل أنواع الصخور ، في كل من سواحل البرازيل وساحل غانا . كما فسرت حدوث سلاسل الجبال الالتوائية ، وأماكن امتدادها في جنوب أوروبا.

٢ - أثارت جدلاً علمياً عميقاً ، وواسعاً ، بين مؤيديها ومعارضها . وقد أثرى ذلك الجدل الحركة العلمية في حينها وأدى إلى رفع مستوى الفهم العلمي ، لعمليات تكوّن الأحواض المحيطية ، وتوزيع اليابس والماء . وكان ذلك النقاش بداية منحى جديد في التفكير العلمي في هذا المجال ؛ قاد في النهاية إلى ظهور أفكار جديدة ، شكلت أساس نظرية تكتونية الصفائح ؛ وهي النظرية الشائعة القبول بين العلماء اليوم في تفسير الظواهر التضاريسية الكبرى لسطح الأرض وتكوّن الأحواض المحيطية. (موسوعة مقاتل من الصحراء) .

٢ - نظرية التيارات الصاعدة لهولمز ١٩٢٨ .

لم تكن الشواهد الجيولوجية الكثيرة ، كافية لإقناع جمهور العلماء ، بأن حدوث التزحج ، كما أوردته في نظرية زحزحة القارات ، هو أمر ممكن . فكان لا بد من البحث عن حلول وتفسيرات للاعتراضات ، التي واجهتها النظرية . (موسوعة مقاتل من الصحراء) والسبب الرئيسي المقبول لحركة هذه الصفائح هو التوزيع غير المتساوي للحرارة في باطن الأرض ، الذي يترتب عليه خلايا حاملة كبيرة داخل الصهارة ، إذ إن الكتل الحارة ذات الكثافة القليلة للصهارة السفلية ترتفع ببطيء شديد في الأخاديد البحرية ، وعندما تنتشر المادة لاحقاً فتصبح أكثر كثافة وتبدأ بالغور رجوعاً إلى الصهارة لتسخن مرة أخرى ، ويلاحظ بأن الصخور لا تحتاج إلى الوصول إلى درجة الانصهار لكي تتدفق ، فمن الممكن أن تتحول إلى أشكال مختلفة فقط مثل تحولها إلى معدن صلب حار ، وعليه فإن الصخور يمكنها الحركة عندما تتعرض للحرارة والإجهاد لفترة طويلة . (Lutgens & Tarbuck. p. 254) وهذا ما اقترحه العالم الإنجليزي آرثر هولمز في عام ١٩٢٨ ، بأن التيارات الحرارية الصاعدة Thermal Convections ، في طبقة الوشاح ، تحت القشرة الأرضية ، مبعثها حرارة الباطن الشديدة ، وإن الأرض تستطيع إن تعوض حرارتها التي فقدها بالإشعاع عن طريق الإشعاع الراديومي الذي ينتج عن وجود معدن الراديوم في صخور باطن الأرض ، كما إن مناطق التحام طبقة السيلال بطبقة السيمال تتولد عنهما حرارة راديومية ينتج عنها تحول صخور هذه الأجزاء إلى حالة منصهرة مما يترتب على ذلك تكون تيارات صاعدة وأخرى هابطة يمكن أن تؤدي إلى تحريك هذه القشرة . ورأى أن قوة الاحتكاك ، بين تيارات الصهير في الوشاح ، وقشرة الأرض ، قد باعدت بين جزئي قارة بانجايا ؛ إذ إن التيارات الصاعدة في طبقة الوشاح ، عند خط الاستواء ، عندما تصدم القشرة ، من الأسفل ، تنقسم إلى قسمين: أحدهما يتجه شمالاً ؛ والآخر ، يتجه جنوباً . وقد أسفرت قوة احتكاك هذه التيارات ، عن انكسار قارة بانجايا إلى قسمين ، شمالي وجنوبي . وبداية تباعد أحدهما عن الآخر حدث قبل نحو ١٣٥ مليون سنة ، في الزمن الثاني Mesosoic وتكون بينهما بحر أطلق عليه بحر تيثس Tethys ؛ كان يمتد في العروض ، الاستوائية والمدارية . وقد أطلق على القارة الجنوبية اسم جندوانالاند Gondwanaland ، وعلى القارة الشمالية اسم لوراسيا Laurasia . وتكونت ، في تلك الفترة ، الشعاب المرجانية ، في قاع بحر تيثس ، التي توجد شواهداها اليوم في سلاسل الألب الأوروبية . كما ازدهرت فلورا النباتات المدارية ، في جنوب لوراسيا ووسطها ؛ وغطت فلورا النباتات القطبية جنوب جندوانالاند ووسطها . ويقول هولمز ، إذاً إن سطح الكرة الأرضية ، كانت تشغله قارتان عظيمتان هما: لوراسيا وجندوانا ، اللتان يفصل بينهما بحر تيثس ، ويحيط بهما محيط واسع ، في نهاية الزمن الجيولوجي الثاني ، في فترة الكريتاسي ، قبل قرابة ١٣٥ مليون سنة . ويرى هولمز ، أن التيارات الصاعدة تسببت كذلك ، بتكسر هاتين القارتين . فتكسرت جندوانا إلى عدة أجزاء ، هي التي تشكل اليوم قارات : أفريقيا ، وأمريكا الجنوبية ، وأستراليا ، وأنتاركتيكا ، وشبه القارة الهندية . وأدى تكوين جنوب الأطلسي ، قبل نحو ١٢٠ مليون سنة ، إلى انفصال أفريقيا عن أمريكا الجنوبية . وقد دفعت التيارات الصاعدة ، أفريقيا ، نحو الشمال ، لتقترب من قارة أوروبا ، دافعة الرواسب المتراكمة في قاع بحر تيثس أمامها ، لتلتوي مكونة سلاسل الجبال الالتوائية ، في جنوب أوروبا (جبال الألب) ، وفي غرب

آسيا (جبال زاجروس وطوروس) . وقبل نحو ٦٥ مليون سنة ، كان توزيع اليابس والماء قريباً من توزيعهما الحالي ؛ وإن لم تكن الهند قد التحمت بآسيا بعد . وقد أدى التحامها بها ، وضغطها عليها ، التواء جبال الهمليا . وبابتعادها عن أنتاركتيكا ، تكوّن المحيط الهندي . حسب رأي هولمز ، كان تحرك قارة أستراليا ، ناتجاً من شدة التيارات الصاعدة تحتها . وعدم وجود عقبة تقف أمامها وتحول من دفعها بعيداً من جهة أخرى ، وقد أسفر عن تكوّن السلاسل الجبلية ، في شرقها . أما البحر المتجمد الشمالي ، والجزء الشمالي من المحيط الأطلسي ، فقد تكوّن نتيجة تكسر لوراسيا وتباعدها . وقد تسبب تحرك أمريكا الشمالية نحو الغرب ، بتكون سلاسل جبال الروكي الالتوائية ، في غرب القارة ؛ إضافة إلى حوضي المحيط الأطلسي الشمالي ، والبحر المتجمد الشمالي . يتضح إذاً ، أن هذه النظرية ، تدعم الفكرة الأساسية في نظرية زحزحة القارات . وتؤيد فكرة وجود يابس قديم واحد ، انقسم إلى القارات الحالية . وأن القارات تزحزحت ، عبر الزمن إلى أماكنها الحالية . ولكن النظرية ، تضيف بعداً جديداً ، في شرح القوة الدافعة إلى التزحزح المحرك للقارات . لقد وضع هولمز أسس الفكر الحديث ، لنظرية الصفائح التكتونية ، بإشارته إلى فكرة التباعد Divergence ، وفكرة الهبوط أو الاندساس Subduction . وفي الوقت الذي كتب فيه آراءه ، لم تكن تلك الآراء سوى أفكار وتوقعات ، لسد الخلل في نظرية التزحزح . وكانت تفتقر إلى شواهد مؤيدة ، تمنحها قيمة علمية ، وتحظى باهتمام العلماء . (موسوعة مقاتل من الصحراء) .

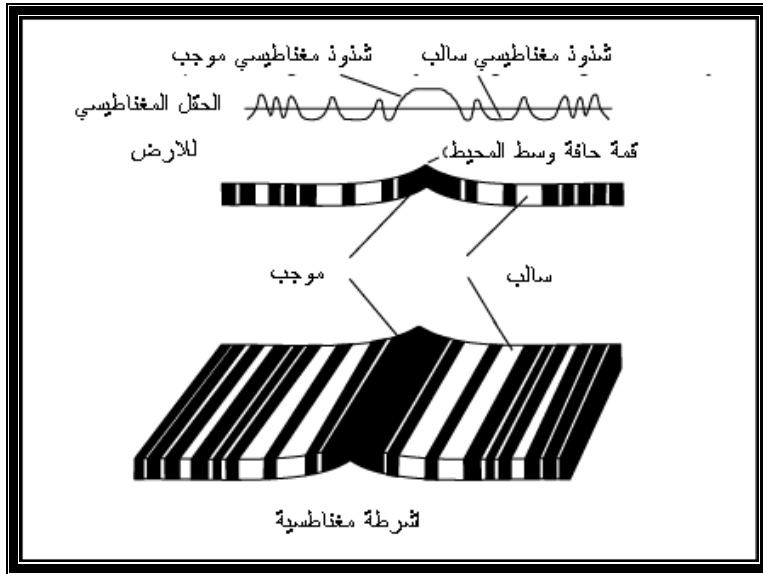
٣ - انتشار قاع المحيط Sea Floor Spreading

اقترح هاري هيس في عام ١٩٦٢ وهو مختص في علم الأرض تفسيراً لنظام زحزحة القارات على مستوى العالم ، إذ قال بأنّ قاع المحيط الجديد يتكون من شق في حافة منتصف المحيط mid-ocean ridges . إذ إنّ قاع المحيط ، والصخور الواقعة تحته تكونت بواسطة الحمم البركانية الذائبة التي ارتفعت من مستويات عميقة ، واقترح هيس بان قاع المحيط تحرك بشكل جانبي بعيداً عن الحافة وهبط إلى خندق محيطي على طول الهامش القاري . والخندق trench هو عبارة عن وادي يتميز بحوائط شديدة الانحدار يقع على قاع البحر مجاوراً للهامش القاري ، وعلى سبيل المثال ، تكونت قشرة المحيط من ارتفاع الجانب الشرقي من المحيط الهادي ، حافة محيطية في الجزء الشرقي من المحيط الهادي هبطت في خندق مجاور لجبال الانديز على الجانب الغربي لقارة أمريكا الجنوبية ، في نموذج هيس تقوم تيارات الحمل بدفع قاع المحيط من حافة منتصف المحيط mid-ocean ridge إلى الخندق ، وربما تساعد تيارات الحمل أيضاً على تحريك القارات . وفي الوقت الذي صاغ به هيس فرضيته ، اقترح روبرت ديتز Robert Dietz بشكل مستقل أنموذج مماثل أطلق عليه انتشار قاع المحيط sea floor spreading ، وقد أضاف روبرت ديتز Robert Dietz في أنموذجه هذا إضافة مهمة ، إذ افترض بان السطح المنزلق كان في قاعدة طبقة الليثوسفير lithosphere وليس في قاعدة القشرة . لقد نجح كل من هيس وديتز في الوقت الذي فشل به فيجنر في إعطاء التفسير العلمي لزحزحة القارات ، إذ إن القارات لا يعتقد بأنها تشق من القشرة المحيطية

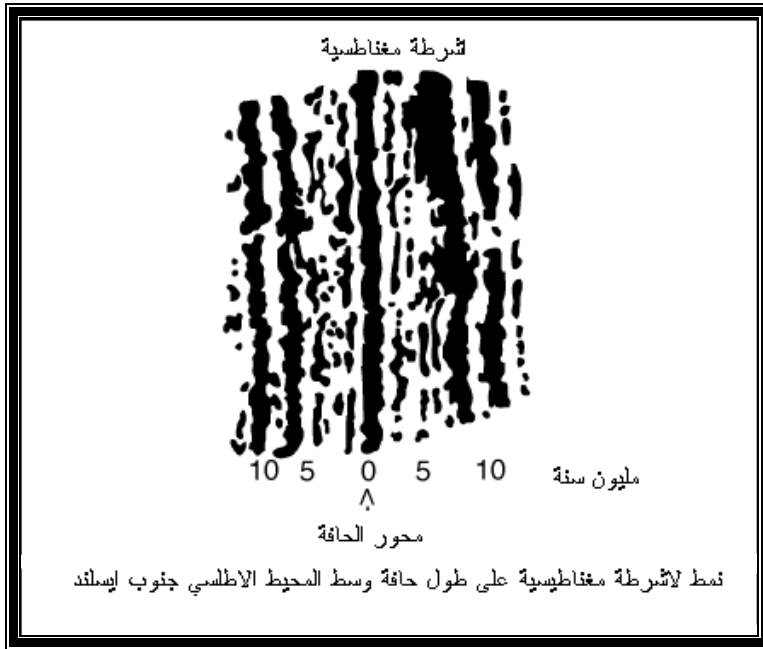
ولكنها اعتبرت جزء من الصفائح التي تتحرك على طبقة الاستنوسفير اللدنة الناعمة ، إذ توصل العلماء لاحقاً إلى إن القوة الدافعة ، وتيارات الحمل ، هي التي تحرك تلك الصفائح ، وإن التقدم التقني ، والدراسات التفصيلية عن قاع المحيط كلاهما غير متوفر أثناء وقت فيجنر ، مما فسح المجال أمام هيس وديتزل لاقتراح الفرضيات الجديدة . (Introduction to plate tectonics.part8) .

اختبار فرضية قاع انتشار المحيط .

أي فرضية جديدة قبل أن تكون مقبولة جداً يجب أن تُختَبَر . وهناك اختبار واحد لفرضية انتشار قاع البحر تَصَمَّنَتْ أنماط مغناطيسية على قاع البحر . إذ وضع العلماء في أواخر الخمسينات مخطط لحقل مغناطيسي حديث تكون بواسطة الصخور الموجودة على قاع المحيط الهادي . إذ إن الصخور البركانية التي تكون قاع البحر لها مغناطيسية magnetization لأنها عندما تبرد تدخل معادن مغناطيسية ضمن الصخور إلى حقل الأرض المغناطيسي ، كثافة الحقل المغناطيسي التي تم قياسها كانت جِداً مختلفة عن الكثافة التي تم حسابها . وهكذا ، أكتشف العلماء أشياء شاذة مغناطيسية ، أو اختلافات في الحقل المغناطيسي من مكان لآخر . وجدوا أشياء شاذة مغناطيسية إيجابية وأخرى سلبية . الأشياء الشاذة المغناطيسية الإيجابية تكون في أماكن حيث يكون الحقل المغناطيسي أقوى من المتوقع . ويستنتج بأنها تتكون عندما بردت وتصلبت الصخور بقطب الأرض الشمالي المغناطيسي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية ، إن حقل الأرض المغناطيسي مُحَسَّنٌ بالحقل المغناطيسي للصخور . الأشياء الشاذة المغناطيسية السلبية ، هي عبارة عن أشياء مغناطيسية شاذة تكون أقل من المتوقع . ويستنتج بأنها تتكون عندما بردت وتصلبت الصخور بقطب الأرض الشمالي المغناطيسي في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية . وإن الحقل المغناطيسي الناتج أقل من المتوقع لأن حقل الأرض المغناطيسي مخفَّضٌ بالحقل المغناطيسي للصخور . وعندما تم وضع المخطَّط ، فإن الأشياء الشاذة أنتجت نمط يشبه نمط مخطَّط الحمار الوحشي من أحزمة إيجابية وسلبية متوازية النمط مُركَزَ على طول ، ومتماثل إلى ، حافة منتصف المحيط mid-ocean ridge . كما موضح في المخططات . (٢) (٣) .



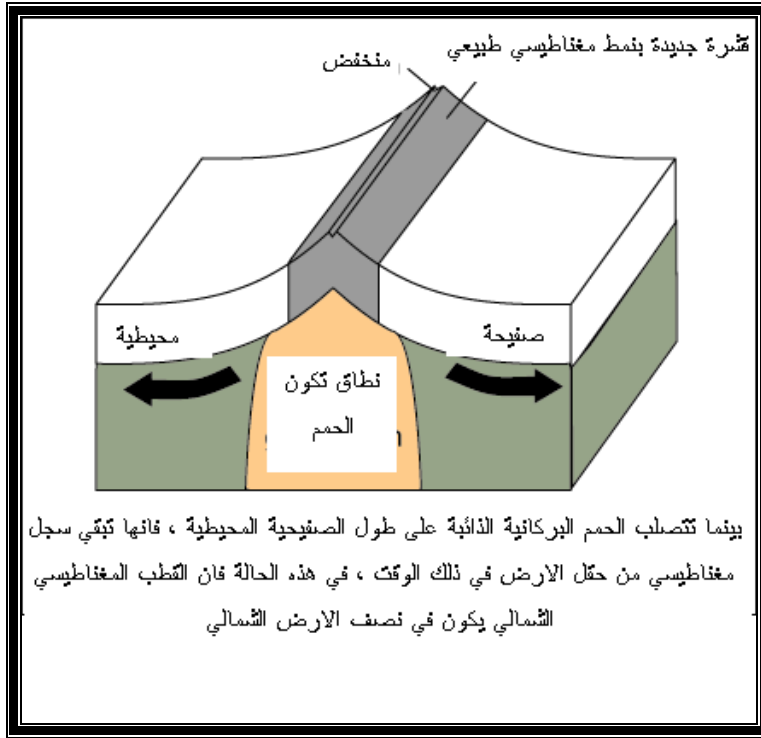
مخطط (٢) أنماط الشذوذ المغناطيسي السالب والموجب .



مخطط (٣) أشريطة مغناطيسية على طول حافة وسط المحيط جنوب ايسلند .

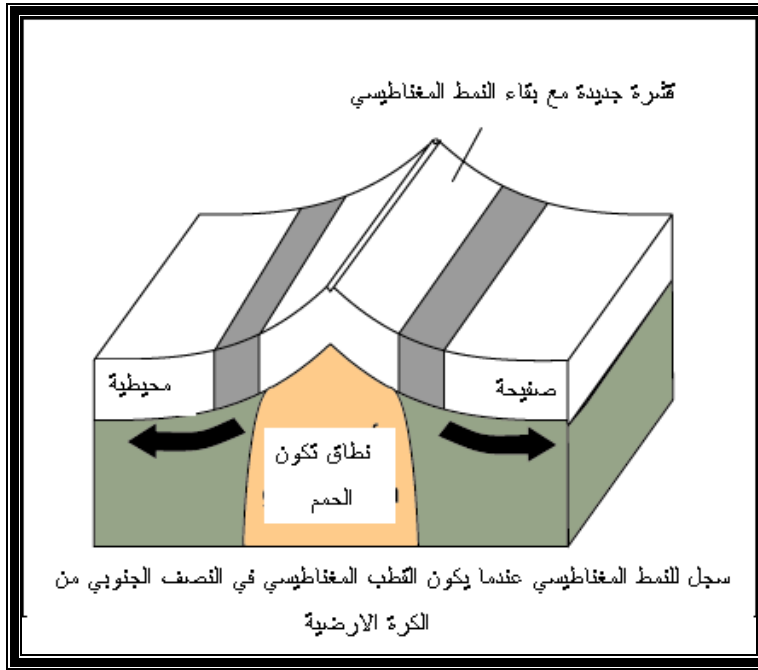
وفي عام ١٩٦٣ قدمت فرضية من قبل فريد فان ودروموند ماثيوس Fred Vine and Drummond Matthews لتوضيح هذا النمط . إذ اقترحوا بأن الحمم انفجرت في الأوقات المختلفة على طول الشقّ في قمة حافة منتصف المحيط mid-ocean ridges أبقّت أشياء شاذة مغناطيسية مختلفة . على سبيل المثال ، حمم انفجرت في الماضي الجيولوجي ، عندما كان القطب المغناطيسي الشمالي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية ، أبقى شذوذ مغناطيسي ايجابي . على النقيض من ذلك ، انفجرت حمم في الماضي الجيولوجي ، عندما كان القطب المغناطيسي الشمالي في النصف الجنوبي من الكرة

الأرضية ، أبقى شذوذ مغناطيسي سلبي . الحمم التي تنفجر في الوقت الحاضر تبقى شذوذ مغناطيسي ايجابي حيث أن قطب الأرض الشمالي المغناطيسي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية . كما موضح في المخططات (٤ ، ٥ ، ٦) .

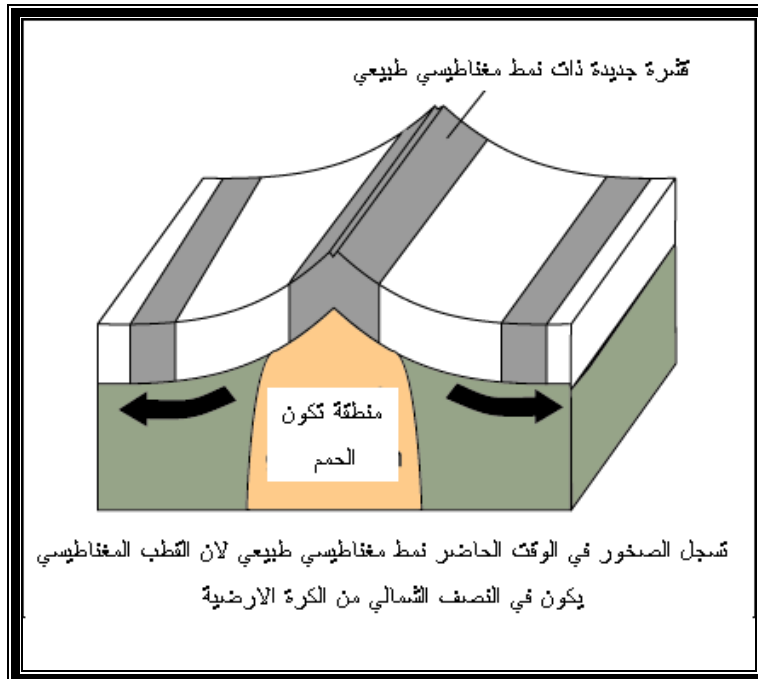


مخطط (٤) السجل المغناطيسي للأرض عندما يكون القطب المغناطيسي الشمالي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية .

اقتراح فان ومانيوس بأن الحمم انفجرت على قاع البحر على كلا جانبي الشق ، تصلبت ، وتحركت بعيدا قبل أن تنفجر كميات كبيرة من الحمم ، وإذا تغير حقل الأرض المغناطيسي (تغير من قطب جغرافي واحد إلى الآخر) بين الانفجارين ، فان تدفق الحمم يبقي مجموعة الحزم المتوازية بخصائص مغناطيسية مختلفة . قدرة فرضية فان ومانيوس لتوضيح النمط الملاحظ لأشياء قاع المحيط الشاذة المغناطيسية زود دعماً قوياً لانتشار قاع البحر . (Introduction to plate tectonics.part10.)



مخطط (٥) السجل المغناطيسي للأرض عندما يكون القطب المغناطيسي الشمالي في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية .



مخطط (٦) النمط المغناطيسي الطبيعي في الوقت الحاضر بسبب وجود القطب المغناطيسي الشمالي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية .

٤ - نظرية الصفائح Plate Tectonics .

إن الفرضيات الجديدة التي ظهرت في بداية الستينات من القرن العشرين وضحت عدة ملاحظات محيرة ولم يبقى إلا تأليف تلك الملاحظات والخروج بنظرية جديدة توضح نظام زحزحة القارات على مستوى العالم بشكل يستند إلى أسس علمية متفق عليها ، وقد بدأ التأليف فعلاً لتلك الملاحظات في عام ١٩٦٥ عندما قدم توز ويلسون Tuzo Wilson تعبير صفيحة Plate لقطع مكسورة تمثل طبقة الليثوسفير للكرة الأرضية . واقترح جيسن مورغان Jason Morgan في عام ١٩٦٧ بان سطح الأرض يشمل (١٢) صفيحة ، وتتحرك هذه الصفائح بشكل نسبي احدهما باتجاه الآخر . وبعد شهرين نشر زفير لو بيشون Xavier Le Pichon بحثاً واضح من خلاله موقع الصفائح ، ونوع حدودها ، واتجاهات الحركة لهذه الحدود .

إذاً يمكن القول بان أنموذج تكتونية الصفائح plate tectonic model تم اختباره بصرامة منذ منتصف الستينات من القرن العشرين ، وان اختبار هذا الأنموذج بنجاح بطرق عديدة أدى إلى ولادة نظرية تكتونية الصفائح التي تعد مقبولة تقريباً من كل المختصين في علم الأرض . (The Birth of Plate Tectonics.part11 .)

وتشير هذه النظرية بان طبقة الليثوسفير تتكسر لتشمل (٧) صفائح كبيرة ، وبتحود (١٤) صفيحة صغيرة ، ويتراوح سمك الصفائح المحيطية بين (٥٠ - ١٠٠) كيلومتر ، بينما يتراوح سمك الصفائح القارية بين (١٠٠ - ٢٥٠) كيلومتر (Plate Tectonics) ، ولما كانت هذه الصفائح في حالة حركة مستمرة فهي في حالة تغير مستمر في الشكل والحجم إذ أنها تتحرك بمعدلات سرعة مختلفة في المقدار والاتجاه ، انظر الخارطة (٦) .

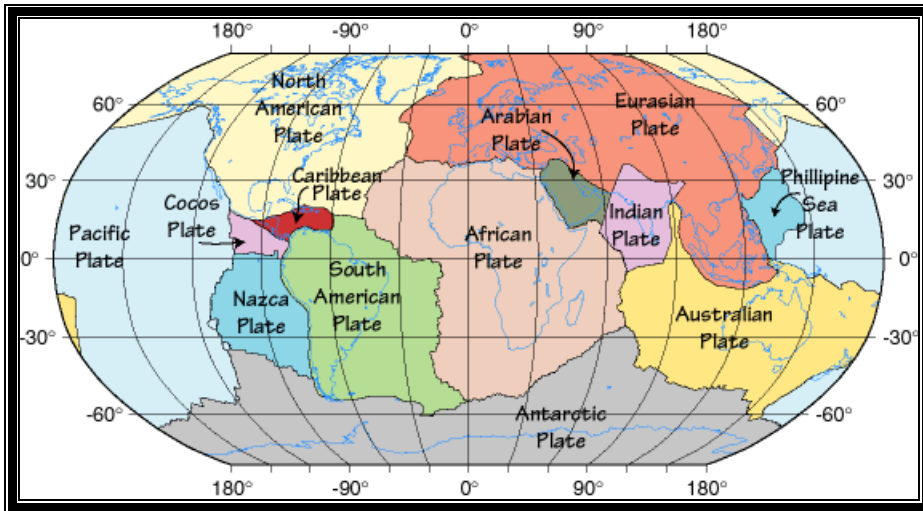
وقد أشار القرآن الكريم إلى هذه النظرية قبل أربعة عشر قرناً ، إذ قال الله سبحانه وتعالى في سورة الرعد - الآية رقم (وفي الأرض قطعاً متجاوراتٍ وجناتٍ من أعنابٍ وزرّعٍ ونخيلٍ صنوانٍ وغيرِ صنوانٍ يُسقى بماءٍ واحدٍ ونفضلُ بعضها على بعضٍ في الأكلِ إن في ذلك لآياتٍ لقومٍ يعقلون).

وقد ذكر المفسرون في تفسير هذه الآية أن هناك أرضاً يجاور بعضها بعضاً ، مع أن هذه طبيعة تنبت ما ينفع الناس ، وهذه مالحة لا تنبت شيئاً ، ويدخل في هذه الآية اختلاف ألوان بقاع الأرض ، فهذه تربة حمراء ، وهذه بيضاء ، وهذه محجرة ، وهذه سهلة ، وهذه رقيقة ، والكل متجاورات ، فهذا كله مما يدل على الفاعل المختار ، لا إله إلا الله هو . وينحصر وجه الإعجاز العلمي في الآية الكريمة في كلمة " قطع " وفي كلمة " متجاورات " إذ بنص الآية تتكون الأرض من عدد من القطع المتجاورة ، كما نفهم أيضاً أن عدد القطع المتجاورة غير ثابت ، حيث الكلمة غير معرفة ، وبالتالي فمن الممكن أن تتغير هذه القطع عبر الزمن .

وهذا ما أثبتته هذه النظرية التي أحدثت ثورة كبيرة في فروع علوم الأرض المختلفة ، فقد مكنت العلماء من تفسير كثير من الظواهر ، مثل توزع أحزمة الزلازل ، وأحزمة الجبال في العالم ، وفتح وغلق المحيطات ، ونطاقات المعادن ، وهلاك الكائنات عبر الزمن الأرضي ، وغير ذلك (المطوري ، نظرية الأطباق ونشوء القارات) . وفيما يلي أسماء الصفائح الرئيسية والثانوية (حمامة ، الزحف القاري وقطع الأرض) كما موضحة في الجدول (٢) .

جدول (٢) الصفائح الرئيسية والثانوية لنظرية الصفائح التكتونية .

الصفائح الثانوية	الصفائح الرئيسية
١ - صفيحة الفلبين Philippine Plate .	١ - صفيحة الهادي Pacific Plate
٢ - الصفيحة العربية Arabian Plate .	٢ - صفيحة اوراسيا Eurasian Plate .
٣ - صفيحة الكاريبي Caribbean Plate	٣ - صفيحة أمريكا الشمالية North American Plate .
٤ - صفيحة نازكا Nazca Plate .	٤ - صفيحة أمريكا الجنوبية South American Plate .
٥ - صفيحة القوقاز Cocos Plate .	٥ - صفيحة أفريقيا African Plate .
٦ - صفيحة الهند Indian Plate .	٦ - صفيحة استراليا Australian Plate .
إضافة إلى عدد آخر من الصفائح التي لم تحدد أبعادها بدقة حتى الآن	٧ - صفيحة القارة القطبية الجنوبية Antarctic Plate .



خارطة (٦) التوزيع المكاني لصفائح طبقة الليثوسفير .

موقع حدود الصفائح Location of Plate Boundaries .

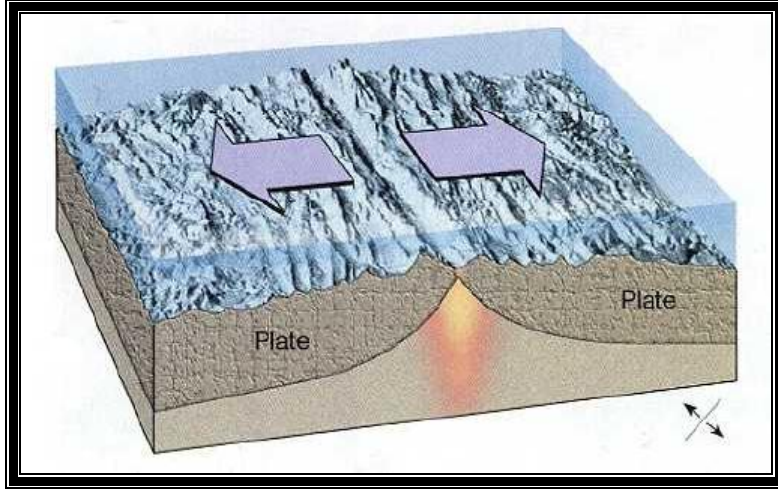
تشير مناطق توزيع الزلازل والبراكين إلى مناطق الضعف الجيولوجي في الأرض ، وما يترتب عليها من اضطرابات في مثل هذه المناطق ، وتساعد أيضا على تحديد مكان حافات الصفائح ، إذ ان مناطق الزلازل موزعة في الأحزمة الخطية الضيقة التي تحيط بالأرض . البعض من هذه الأحزمة تكون زلازل ضحلة فقط تتراوح أعماقها بين (٠-٢٠ ميل ؛ ٠-٣٥ كيلومتر) ، مثل حافت منتصف الأطلسي والحافة الشرقية من المحيط الهادي . على النقيض من ذلك ، هناك زلازل تتراوح أعماقها من ضحلة إلى متوسطة إذ تتراوح أعماقها بين (٢٠-٤٥ ميل ؛ ٣٠-٧٠ كيلومتر) ، وزلازل عميقة تتراوح أعماقها بين (٤٥-٤٥٠ ميل ؛ ٧٠-٧٠٠ كيلومتر) . تقع في الأحزمة الأخرى ، مثل غرب أمريكا الجنوبية وجنوب وسط آسيا ، (للمزيد من التفاصيل انظر الفصل الخاص بالزلازل) إما البراكين فإنها تُوزَعُ أيضاً في الأحزمة الطويلة التي تُحيطُ بالأرض . وخير مثال على ذلك حَطُّ البراكين الذي يَدُورُ أغلب المحيط الهادي . هذا الحزام المعروف بـ"الحلقة النارية" لأنها موقعُ الانفجاراتِ البركانية المتكررة . (وللمزيد من التفاصيل انظر الفصل الخاص بالبراكين) إن توزيع الزلازل والبراكين تَتَزامَنانِ على الأغلب في مواقعها . وخير مثال على ذلك حلقة النار . ويعتقدُ الجيولوجيون بان تلك المناطق من النشاط الجيولوجي الكثيف ، بالإشارة إلى الزلازل والبراكين أو بناء الجبال تُؤشِرُ الحدود بين صفائح طبقة الليثوسفير . إذ إن توزيع الزلازل ، والبراكين ، تحدد السلاسل الجبلية و ٧ صحنَ كبيرة و ٢٠ صحنَ أصغر . إن صفيحتي نازكا وجوان دي فوكا تتضمن طبقة ليثوسفير محيطية فقط . إما صحنَ المحيط الهادي فإنه في الغالب يمثل طبقة ليثوسفير محيطية ، فقط شريحة صغيرة لطبقة ليثوسفير قارية في جنوب كاليفورنيا و باجا المكسيك Baja Mexico . أغلب الصفائح الأخرى تَشْمَلُ كلاهما طبقة ليثوسفير محيطية وقارية . (Location of Plate Boundaries.part12) .

أنواع الحدود . Type of Boundaries .

إن الصفائح التكتونية تتفاعل بطرقٍ مُخْتَلِفَةٍ مع بعضها البعض الآخر وتتحرك عبر طبقة الاستينوسفير Asthenosphere ، وبالتالي يترتب على هذا التفاعل نشوء أنظمة مختلفة من ، البراكين ، والزلازل والجبال . وفيما يلي أنواع الحدود:

١ - الحدود المتباعدة Divergent Boundaries .

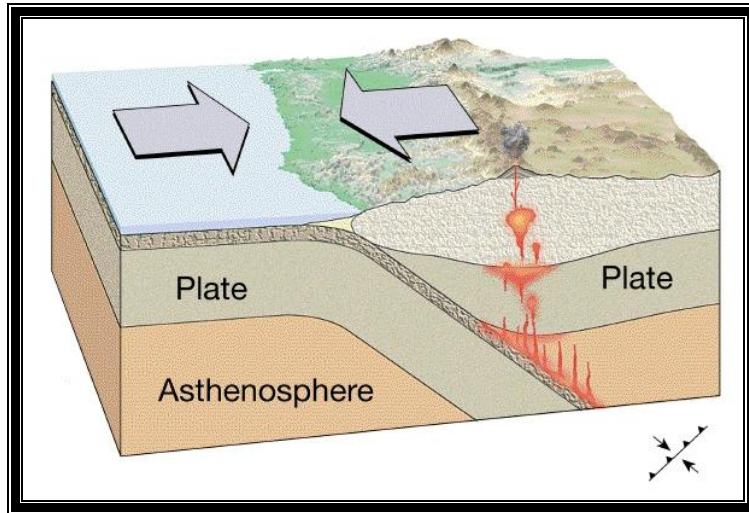
تبتعد الصفائح بعضها عن البعض الآخر وتخلق بيئة متوترة ، تتميز بالزلازل ذات البؤرة الضحلة ، والبراكين ، ويترتب على تحرر الضغط ذوبان جزئي للوشاح Mantle وخروج الحمم البركانية البازلتية الذائبة . إذ يترتب على ارتفاع هذه الحمم البركانية الذائبة للسطح تشكيل قشرة محيطية جديدة . حدوث حافات محيطية في القشرة المحيطية ، ووديان الصدوع في القشرة القارية . إن وديان الصدوع القارية قد تَفِيضُ في النهاية لتشكيل حوض محيطٍ جديد. انظر المخطط (٧) .



مخطط (٧) الحدود المتباعدة Divergent Boundaries .

٢ - الحدود المتقاربة Convergent Boundaries

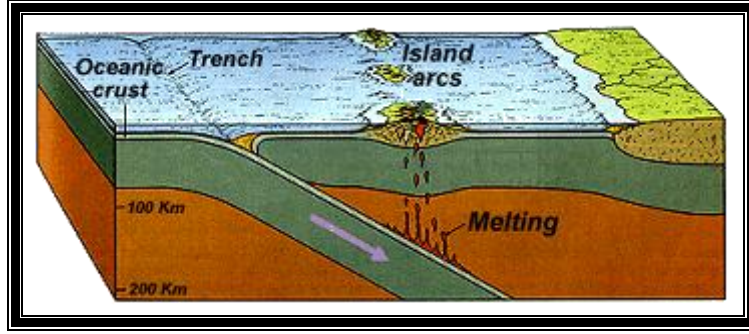
في هذا النوع من الحدود تتحرك الصفائح باتجاه بعضها البعض مما يترتب عليها خلق بيئات منضغطة تتميز بالتشوه deformation والتحول metamorphism والبراكين volcanism ، وبناء الجبال mountain building والنشاط الزلزالي seismicity وترسبات معدنية مهمة انظر المخطط (٨) ، وهناك ثلاثة أنواع محتملة من الحدود المتقاربة:



مخطط (٨) الحدود المتقاربة Convergent Boundaries .

أ - حدود محيطية Oceanic-Oceanic Boundary

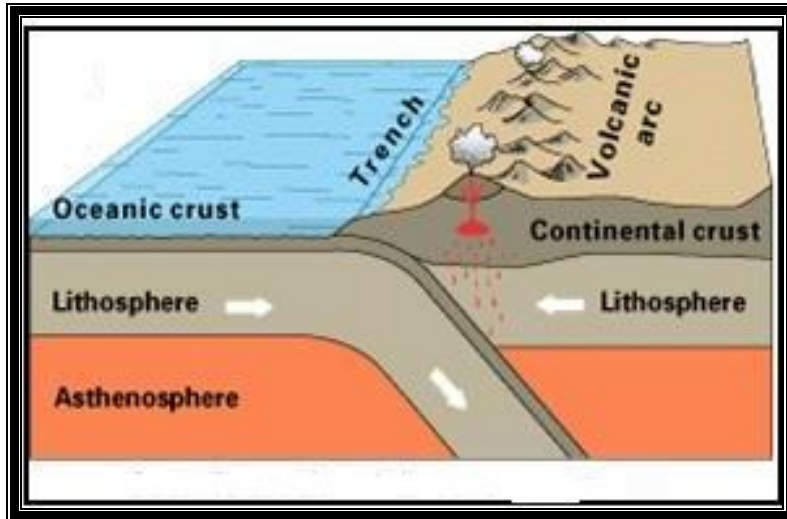
صفحة واحدة تنسد subducted تحت صفحة أخرى ، وتبدأ البراكين بدفع مادة الانديسايت من قاع المحيط لطحها على الصفحة الأخرى ، ويمكن أن يترتب عليها في النهاية سلسلة جزر بركانية أو قوس من الجزر البركانية مجارو لخدق محيطي عميق . وتتميز بتعاقب الزلازل التي تتراوح بؤرتها من الضحلة إلى العميقة . والتي تبدأ من الخندق باتجاه قوس الجزر كما هو الحال في نطاق بينوف Benioff zone وقد يشكل أيضا حوض قوسي خلفي إذا كانت نسبة الاندساس أسرع من الحركة الأمامية لاجتياز الصفحة . انظر المخطط (٩) .



. مخطط (٩) النقاء حدود محيطية - محيطية Oceanic-Oceanic Boundary .

ب - حدود محيطية قارية . Oceanic-Continental Boundary .

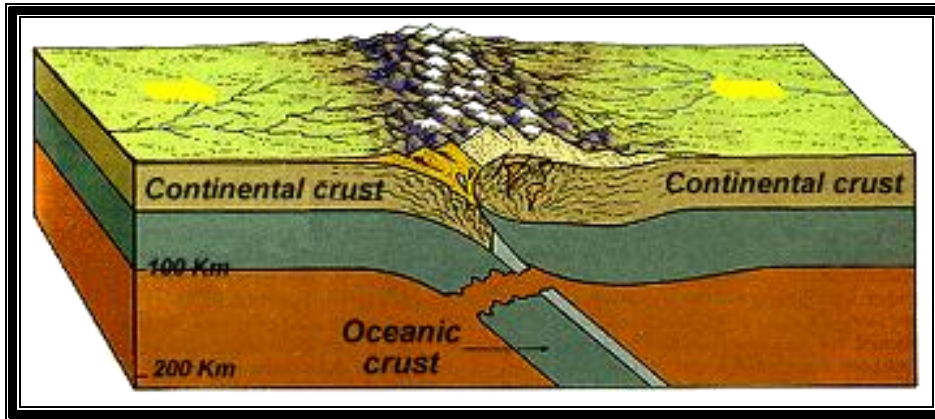
وتتمثل هذه الحدود بطرح صفحة محيطية كثيفة تحت صفحة قارية اخف ، مما يترتب عليه حدوث خندق محيطي عميق على حافة القارة ، وان حوالي نصف رواسب المحيط تتحد مع الصفحة المنسدة بينما النصف الآخر يتراكم مقابل القارة ، الصفحة المنسدة والرواسب تذوب جزئيا لتنتج حمم بركانية من الانديسايت andesitic أو الصوان granitic ، وتنتج سلاسل جبلية بركانية على القارات تدعى بالأقواس البركانية والكتل الصخرية الضخمة volcanic arcs and batholiths جزء من الصفحة المحيطية يمكن أن يتكسر ويندفع فوق القارة أثناء الاندساس ، مما يترتب عليه انكشاف الصخور العميقة جدا (القشرة المحيطية ، ورواسب قاع البحر ومادة الوشاح الصخري Mantle) على السطح ، ويتميز هذا النوع من الحدود بالزلازل ذات البؤرة التي تتراوح بين الضحلة إلى المتوسطة مع ندرة في الزلازل العميقة . انظر المخطط (١٠) .



مخطط (١٠) يوضح الحدود المحيطية القارية Oceanic-Continental Boundary

ج - الحدود القارية - القارية Continental-Continental Boundary .

في هذا النوع من الحدود تلتقي صفيحة قارية مع صفيحة قارية أخرى ، وفي هذه الحالة لا تستطيع القشرة القارية من الاندساس ، مما يترتب على ذلك بان الصخور تتراكم ، وتعرض إلى الانطواء وتتكسر إلى أنظمة جبلية معقدة عالية جدا ، ويتميز هذا النوع من الحدود بالزلازل الضحلة بينما الزلازل المتوسطة تكون نادرة ، إما البراكين فلا وجود لها في هذه الحدود . انظر المخطط (١١) .

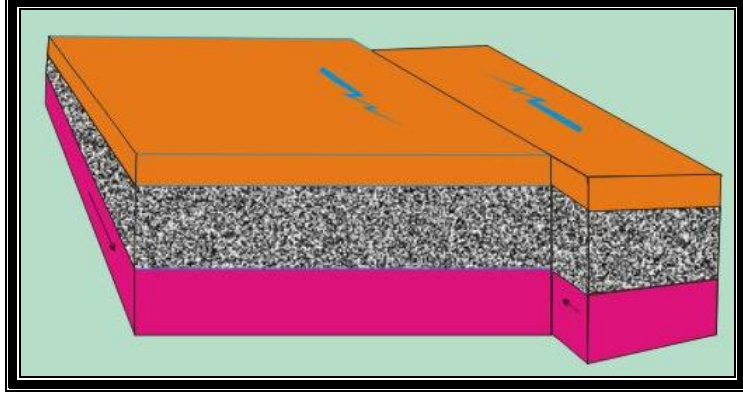


مخطط (١١) التقاء الحدود القارية - القارية Continental-Continental Boundary

٣ - الحدود الانزلاقية . Transform Boundaries .

إن هذا النوع من الحدود هو عبارة عن حركة صفيحة بشكل جانبي على صفيحة أخرى ، بقص إجهاد بشكل كبير مع طبقة الليثوسفير مع عدم حدوث تكوين أو تحطيم لكلا الصفيحتين المنزلقية ، ويتميز هذا النوع من الحدود بوجود الصدوع التي توازي اتجاه حركة الصفيحة ، والزلازل الضحلة ، وصخور محطمة بكثافة ، وعدم وجود النشاط البركاني ، قص الحركة يمكن أن ينتج كلا من الإجهاد التضاعطي compressional stress ، والإجهاد التوتري tensional stress حيث تنحني الصدوع ، الصدوع

الانزلاقية تحدث على الأرض يوصل قطع الحافة المحيطية وتزود الآلية التي فيها القشرة يمكن أن تحمل إلى مناطق الاندساس (Plate Tectonics) subduction. انظر المخطط (١٢) .



مخطط (١٢) الحدود الانزلاقية Transform Boundaries .

طبيعة حركة الصفائح .

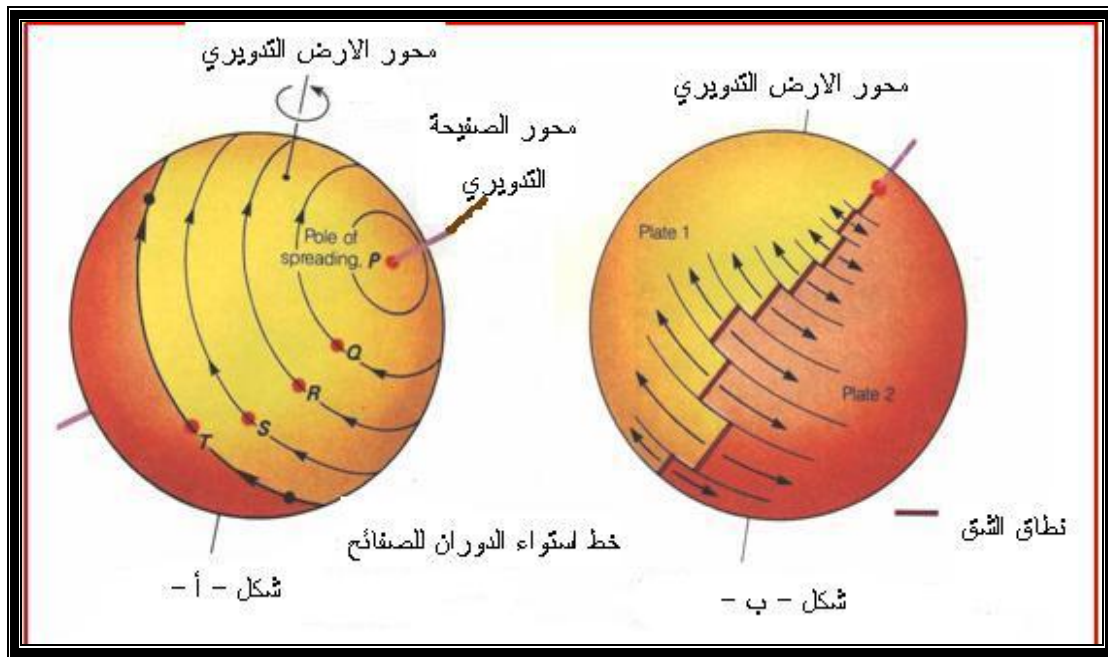
لما كانت الأطباق صلبة أي أنها تتحرك ككتلة واحدة على أرض كروية فهذا يعني أنها يجب أن توصف كحركة دورانية على امتداد دوائر وحول محور يسمى بمحور الدوران (Axis of plate rotation "Ar") يمر من مركز الكرة الأرضية . وتمثل نقطة تقاطع هذا المحور مع سطح الأرض قطب الانتشار أو الدوران (Pole of spreading or rotation) للصفحة ، ويمكن اعتبار خطوط الدوران خطوط عرض (Line of latitude) تمتد قيمة نصف قطرها من صفر عند قطب دوران الصفائح حتى تصل أقصى قيمة لها عند خط استواء الدوران ، لذلك فإنه من الأفضل تمثيل حركة الصفائح عن طريق السرعة الزاوية (Angular Velocity) والتي تتراوح قيمتها من سرعة الصفر عند القطب وحتى (90°) عند خط استواء الدوران . هناك بعض الحقائق المهمة حول حركة الصفائح على الكرة الأرضية يمكن توضيحها من خلال الشكل (٣) وهي كالآتي :

الحقيقة الأولى تتمثل بكون كل نقطة على الصفحة تتحرك بسرعة مختلفة عن الأخرى اعتماداً على قربها أو بعدها من قطب الدوران (الشكل - أ) ، إذ أن أقل سرعة تكون عند قطب الدوران وأكبرها عند حافة الصفحة والذي يسمى بخط استواء الدوران (Equator of rotation) . السرعة عند قطب الدوران صفر بسبب كونها نقطة ثابتة على الكرة وتزداد كلما اقتربنا من خط استواء الدوران أو حافة الصفحة .

والحقيقة الثانية تتمثل بكون صدوع التحول (Transform Faults) تكون موازية لخطوط العرض التي يمكن رسمها حول قطب الدوران (الشكل - ب) . لذلك يمكن استخدام هذه الصدوع لتحديد موقع قطب

الدوران لكل صفيحة ، إذ أن الأعمدة المرسومة على مماسات منحنيات أو دوائر صدوع التحول تتقاطع عند قطب الدوران . أما الحواجز الانتشارية (Spreading ridges) فهي تراكيب خطية تكون عادة عمودية على قطب الدوران أي أنها تقطع خطوط العرض للصفحة . كما أن أسرع توسع أو انتشار للحواجز المحيطية أو أسرع تصادم في الخنادق المحيطية يحدث بعيداً عن قطب الدوران ويتناقص كلما اقتربنا منه .

وهناك ملاحظة مهمة تشير بأنه ليس من الضروري أن يقع قطب الدوران ضمن الصفيحة بل أنه قد يقع بين صفيحتين أو في صفيحة أخرى لها قطب دوران خاص بها . وتختلف أقطاب الانتشار بالنسبة للمحيطات المختلفة ، فبالنسبة للمحيط الهادي والمحيط الأطلسي الجنوبي فأنهما يبدوان قريبين من الأقطاب المغناطيسية بالقرب من كرينلاند وفي القارة القطبية الجنوبية بالقرب من استراليا . في حين أن الانتشار في المحيط الهندي يعود إلى أزواج مختلفة من الأقطاب التي يمكن أن توجد شمال أفريقيا وشمال نيوزلندا . وتشير جميع الدلائل إلى أن معظم محاور الانتشار ، إن لم يكن جميعها ، هي نفسها في حالة حركة مستمرة وهذا يعني أن أقطابها متغيرة.



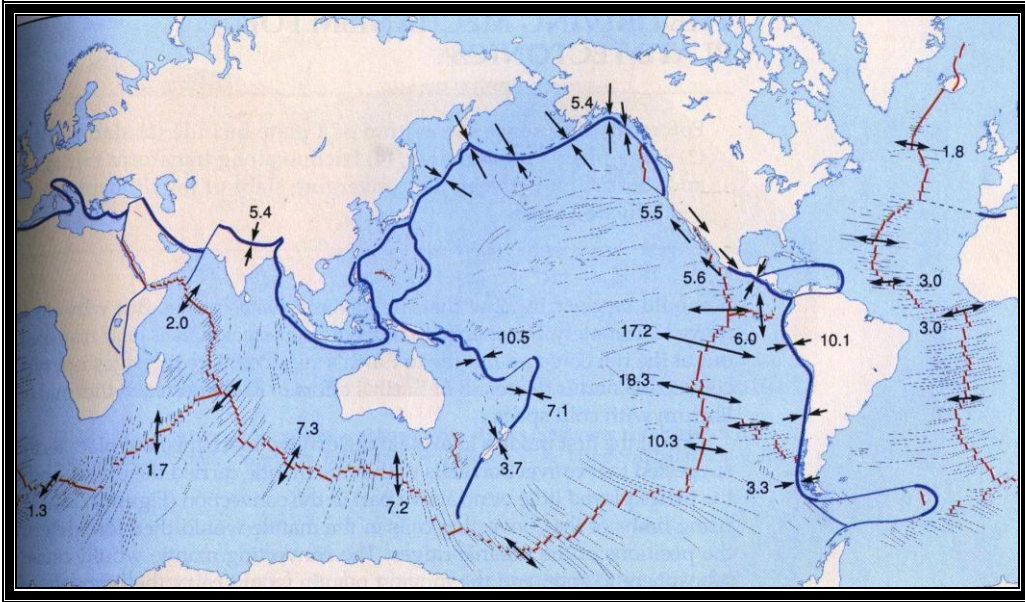
الشكل (٣) حركة الصفائح على كرة ، يتبين أن الصفائح تدور حول محور الانتشار الذي يقطع سطح الكرة في نقطة تدعى قطب الانتشار . الصفائح دائماً تتحرك بصورة موازية لصدوع التحول على طول دوائر العرض وعمودية على محور الانتشار (Hamblin and Christiansen, 1998). نقلا من واثق غازي

المطوري ، نظرية الأطباق ونشؤ القارات ، الموقع الإلكتروني <http://www.geology of>

. Mesopotamia .com

سرعة حركة الصفائح .

يظهر من الخارطة (٧) بان الصفائح تتحرك بسرور مختلفة عن بعضها وبمعدل يتراوح من ١) إلى ١٨) سنننتر بالسنة . فكل من صفائح ، الهادي ، ونازكا ، والقوقاز ، والهندي تتحرك بمعدل سرعة اكبر من صفائح أمريكا الشمالية ، وأفريقيا ، واوراسيا ، والقارة القطبية الجنوبية . الصفائح ذات السرعة العالية هي تلك التي يكون الجزء الأكبر منها غائراً ، أما الصفائح ذات السرعة الابطأ فهي الصفائح التي تنقصها الحافات الغائرة أو التي تغطيها الكتل القارية . هذه العلاقة فسرت من قبل بعض الجيولوجيين كدليل على إن الصفائح التكتونية هي جزء من نظام انتقال الحرارة داخل الأرض ، وبان حركة الصفائح تكون نتيجة لغس الطباق الكثيف والبارد داخل غلاف الجبة . لقد تم حساب سرعة حركة الصفائح باستخدام طريقتين رئيسيتين هما:



الخارطة (٧) السرعة النسبية واتجاهات حركة الصفائح تبين كيف أن الأطباق الرئيسية متفاعلة مع بعضها. أطوال الأقواس هي نسبة إلى سرعة حركة الصفائح ، الأرقام تمثل السرعة بوحدة السنننتر بالسنة . (Hamblin and Christiansen,1998). واثق غازي المطوري ، نظرية الأطباق ونشؤ القارات ، الموقع الإلكتروني <http://www.geologyofMesopotamia.com> .

أولاً- طريقة المقياس الزمني للطباقية المغناطيسية .

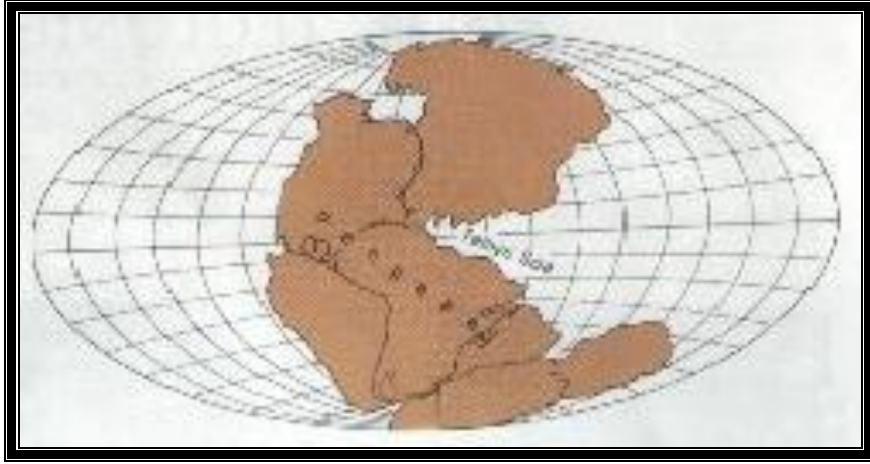
سرعة حركة صفيحة ما نسبة إلى صفيحة أخرى يمكن حسابها بواسطة بيانات الانقلابات المغناطيسية على قاع المحيط ، وذلك باستخدام المقياس الزمني للطباقية المغناطيسية (Time Scale of

(Magnetic Stratigraphy) . النظام الزمني هو تذبذب الحقل المغناطيسي الأرضي ، فخلال المليون سنة الأخيرة تغير الحقل المغناطيسي الأرضي بين القطبية الاعتيادية (Normal Polarity) المتمثلة بالقطبية الأرضية في الوقت الحالي ، وبين القطبية المعكوسة (Reverse Polarity) التي يكون فيها موقع القطب الشمالي بدل القطب الجنوبي . تغير الحقل المغناطيسي من القطبية الاعتيادية إلى المعكوسة وبالعكس يكون بفترات غير منتظمة ، فبعضها يكون قصيراً بحدود (٢٠٠٠٠) سنة ، والآخر يكون أطول من (١٠) ملايين سنة . نمط هذه السرعة الغير منتظمة (Irregularly ticking clock) تكون معروفة ومقسمة بواسطة التاريخ الإشعاعي (Radiometric Dates) . لذلك فأن نمط الانقلاب المغناطيسي في الصخور على قاع المحيط يمكن أن تستخدم لتقييم خطوط الزمن المغناطيسي المسماة بخطوط تساوي الزمن (Isochrons) التي تكون مشابهة لاستخدام حلقات النمو في جذوع الأشجار (Tree Rings) وبالتالي يمكن إيجاد عمر الصخور على قاع المحيط . نمط الانقلابات المغناطيسية تترك أثرها على صخور قاع المحيط ، وبالتالي يمكن حساب سرعة حركة الصفائح من خلالها . كما هو مبين في (الخارطة ١٢) فان خطوط الزمن المغناطيسي تكون متناظرة على جانبي الحاجز المحيطي الذي أدى إلى تكونها . المسافة بين محور الحاجز المحيطي إلى أي من خطوط تساوي الزمن تبين كمية أو مقدار بناء قاع المحيط خلال فترة من الزمن . لذلك كلما كانت المسافة بين خطوط تساوي الزمن كبيرة كلما كانت حركة الصفائح سريعة .

ثانياً- طريقة الأقمار الصناعية وأشعة الليزر (The Satellites and Lasers)

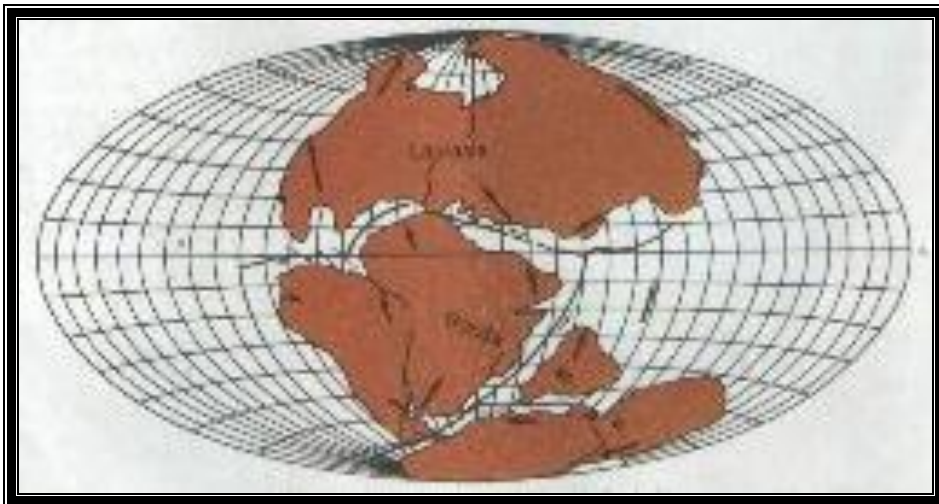
حزمة ضيقة من الضوء تصدر من الأرض بشكل حزمة ليزيرية باتجاه مدار معروف لقمر صناعي . يعود الضوء إلى الأرض مرة أخرى ويحسب زمن الذهاب والإياب . هذه الطريقة تسمح بحساب موقع أشعة الليزر بدقة تصل إلى السنتمتر . إذا تم حساب مواقع عدد من المحطات على عدد من الصفائح فان حساب المسافة بين الصفائح يصبح ممكناً أيضاً ، وبالتالي يمكن حساب سرعة واتجاهات حركة الصفائح بأخذ موقع عدد من المحطات خلال فترات زمنية متعاقبة (المطوري ، نظرية الأطباق ونشوء القارات) .

وأخيراً سلط كل من روبرت ديتز Robert Dietz وجون هولدين John Holden الضوء على تفاصيل الحركة الإجمالية للقارات خلال (٥٠٠) مليون سنة الماضية باستنتاج أو استقراء حركة الصفائح باستخدام الأدلة التي تشير إلى هذه الحركة خلال العصور الجيولوجية التي مرت بها الأرض ومن هذه الأدلة على سبيل المثال اتجاه تراكيب البراكين تهاجر إلى الخلف على الصفائح المتحركة ، وتوزيع وحركة الصدوع المتحولة ، والمغناطيسية القديمة ، وتمكنوا من إعادة هيكلة قارة بنجاليا كما موضح بالخارطة (٨) وقد ساعدهم استخدام تقنية التاريخ الراديومتري بتأسيس هيكل وقتي للشكل والتكسرات النهائية لقارة بنجاليا ، والمواقع الساكنة نسبياً للبقع الحارة التي ساعدت بمرور الوقت على تثبيت مواقع القارات .



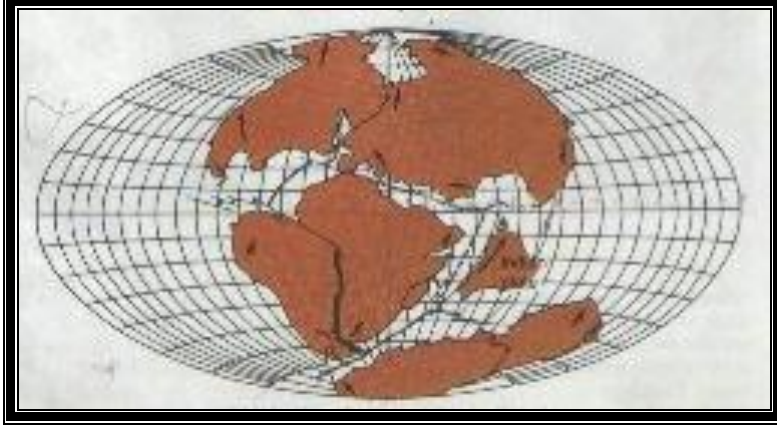
خارطة (٨) قارة بنجا يا قبل التعرض إلى التكرس .

وقد أشاروا بان قارة بنجايا بدأت بالتكسر بحدود (٢٠٠) مليون سنة مضت كما موضح في الخارطة (٩) إذ يتضح هناك صدعان قاما ببدء التصدع ، وان منطقة التصدع بين أمريكا الشمالية وأفريقيا ولدت تدفقا هائلا من البازلت الذي يعود إلى العصر الترياسي والذي يمكن مشاهدته حاليا على طول الساحل الشرقي للولايات المتحدة ، إن التاريخ الراديومتري لهذا البازلت يؤشر حدوث التصدع بين حوالي (٢٠٠ - ١٦٥) مليون سنة مضت ، وإن هذا التاريخ يمكن إن يستخدم بداية تكون هذا المقطع من شمالي الأطلسي ، وان الصدع الذي تكون في الجزء الجنوبي من كاندوانا تطور على شكل حرف (Y) الذي ترتب عليه إرسال الهند برحلة باتجاه الشمال ، وبالمثل شطر أمريكا الشمالية - أفريقيا من استراليا وانتاريكتيكا .



خارطة (٩) العالم خلال العصر الترياسي للفترة (٢٠٠ - ١٦٥) مليون سنة .

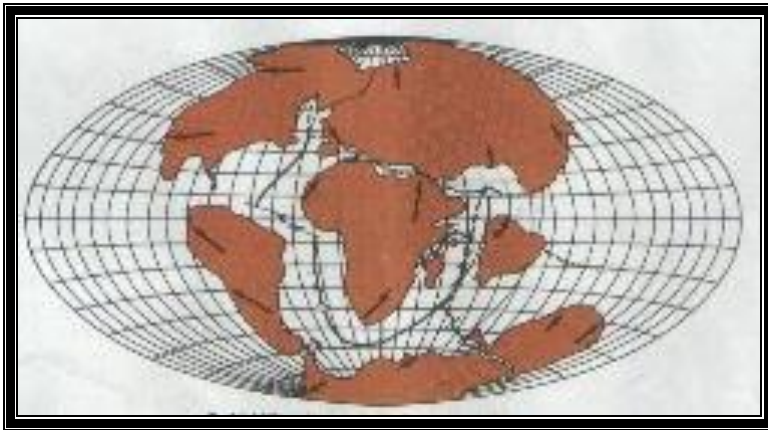
ويتضح من الخارطة (١٠) موقع القارات قبل (١٣٥) مليون سنة مضت في فترة الجوراسي ، إذ بدأت أفريقيا ، وجنوب أمريكا بالابتعاد عن بعضهما لتكوين جنوب الأطلسي ، وتشاهد الهند في منتصف الرحلة وهي بطريقها باتجاه قارة آسيا ، وتوسع الجزء الجنوبي من شمال الأطلسي بشكل ملفت للنظر .



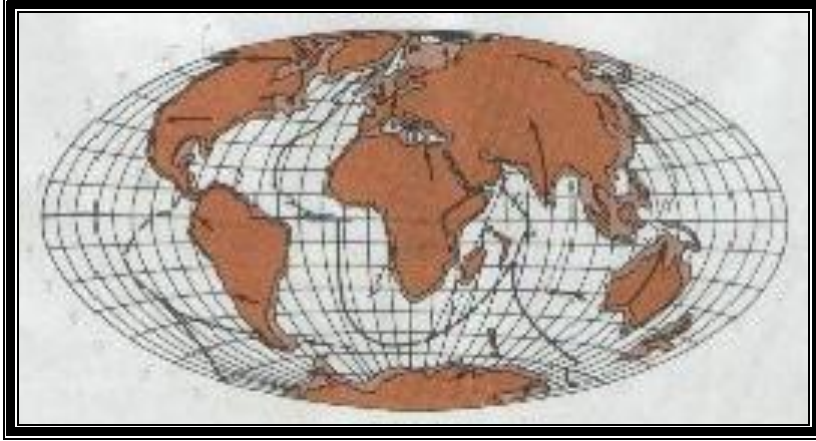
خارطة (١٠) العالم خلال العصر الجوراسي قبل (١٣٥) سنة مضت .

بينما توضح الخارطة (١١) انفصال مدغشقر عن افريقيا ، واندماج جنوب الاطلسي على شكل محيط متكامل وقد حدث ذلك في نهاية الفترة الطباشيرية Cretaceous Period قبل حوالي (٦٥) مليون سنة مضت . وقبل (٤٥) مليون سنة مضت أكملت الهند رحلتها والتصقت بقارة آسيا مما ترتب على ذلك تكون جبال الهملايا التي تعد أعلى قمم جبلية على سطح الكرة الأرضية على طول أراضي التبت العالية .

وعند المقارنة بين الخارطة (١١) والخارطة (١٢) يتضح بان انفصال كرينلاند من اوراسيا كان حدثا جديد العهد في التاريخ الجيولوجي . ويلاحظ أيضا بان شبه جزيرة Baja Peninsula وخليج كاليفورنيا Gulf of California قد تكونا حديثا ، ويعتقد أن يكون ذلك قبل عشرة ملايين سنة مضت .



خارطة (١١) العالم خلال العصر الطباشيري قبل (٦٥) مليون سنة مضت .



خارطة (١٢) العالم في الوقت الحاضر .

وبعد قيام روبرت ديتز Robert Dietz وجون هولدين John Holden بالرسم معا للأحداث التي جرت قبل حوالي (٥٠٠) مليون سنة وأنتجت الشكل الحالي للقارات ، قاما بخطوة مستقبلية واستكملا توقعاتهم لما يمكن أن تكون عليه القارات في المستقبل على ضوء حركة الصفائح الحالية . ويتضح من الخارطة (١٣) الشكل الذي يمكن أن تكون عليه القارات بعد (٥٠) مليون سنة من الآن ، إذ يمكن ملاحظة تغيرات مهمة في أفريقيا ، إذ يندمج بحر جديد مثل الجزء الشرقي لأفريقيا داخل القارة الأفريقية ، وفي أمريكا الشمالية نرى شبه جزيرة باجا وجزء من جنوب كاليفورنيا والتي تقع غرب صدع سان اندرياس انزلقت عبر صفيحة أمريكا الشمالية ، فإذا حدثت هذه الهجرة باتجاه الشمال كما هو متوقع فان لوس انجلس وسان فرانسيسكو سيعبران بعضهما البعض . إن هذه التوقعات المستقبلية لشكل الأرض مهمة ، وعليه يجب أن تستعرض بتأني العديد من الافتراضات التي ينبغي أن تكون صحيحة حتى تكون هذه التوقعات واقعية ، ومع ذلك فان مثل هذه الأنواع من التغيرات في الشكل القاري ستحدث ولكن على مدى ملايين من السنين اللاحقة . (Lutgens & Tarbuck. p. 254) .



خارطة (١٣) العالم في المستقبل خلال الخمسين مليون سنة القادمة .

المنحنى الهيبسوميترى لتوزيع اليابس والماء .

يتضح لنا من خلال المنحنى الهيبسوميترى عدة حقائق مهمة في توزيع اليابس والماء التي تم توضيحها في المخطط (١٣) ، إذ يشير هذا المنحنى إلى إن متوسط ارتفاع اليابس نحو (800) متر ، و يبلغ متوسط عمق المحيطات نحو (3800) متر . كما يبلغ أعلى الارتفاعات فوق القارات قرب السواحل ، إما الأعماق الكبيرة فلا توجد في أواسط المحيطات بل توجد غالبا قرب الرف القاري بمحاذاة المرتفعات القارية الشاهقة ومن خلال المنحنى الهيبسوميترى يمكننا إن نميز المناسيب والمناطق الهامة الآتية :

١ - الرصيف القاري Continental Platform .

وهو يمتد من مستوى ارتفاع اليابس من (1000) متر فوق مستوى سطح البحر حتى منسوب البحر تقريبا .

٢ - الرصيف المحيطي Oceanic platform .

وهو يمتد من مستوى متوسط عمق المحيطات الذي يبلغ بحدود (3800) متر تحت مستوى سطح البحر حتى قاع المحيط .

٣ - المنحدر القاري Continental Slope .

وهو المنحدر الذي يربط بين الرصيف القاري من جهة ، والرصيف المحيطي من جهة أخرى .

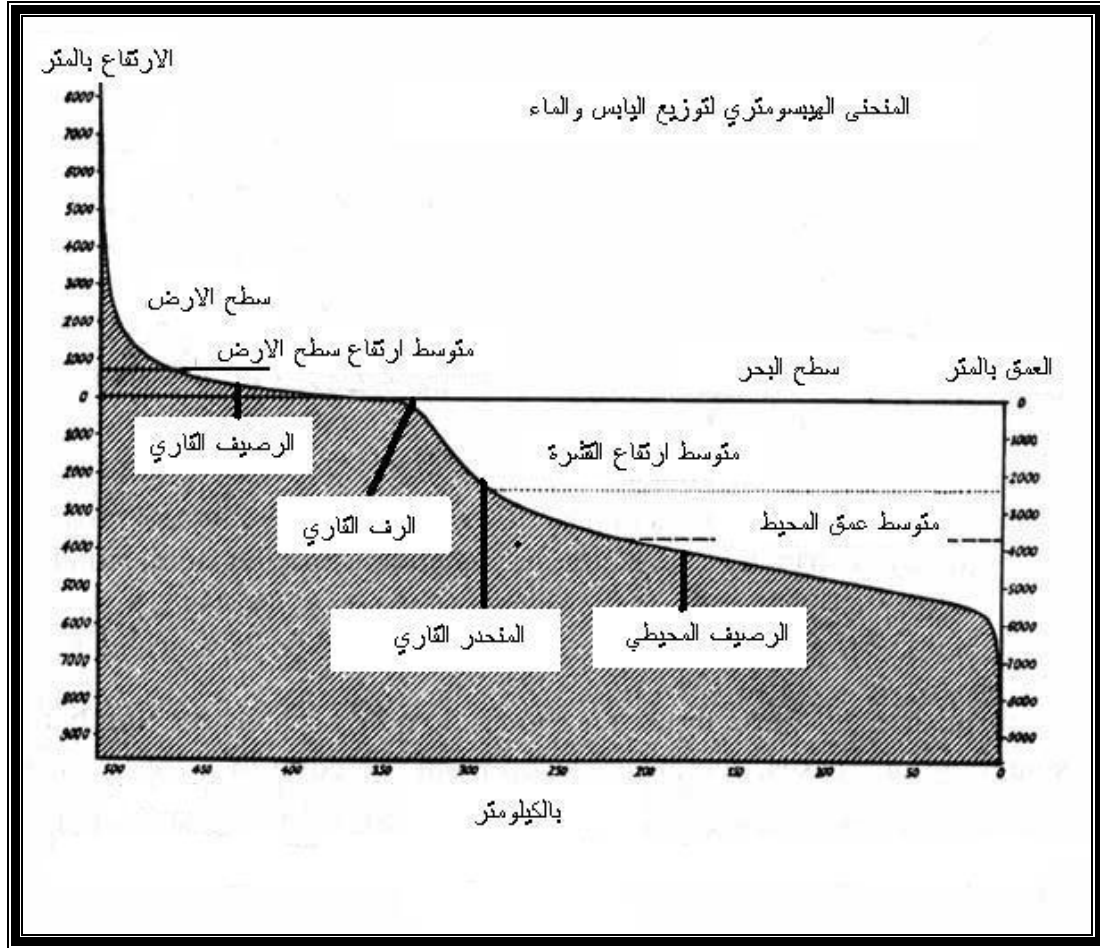
٤ - الرف القاري Continental Shelf .

وهو يمثل الحافة الخارجية للرصيف القاري ، ويمتد من ساحل البحر إلى عمق (200) متر ، ويطلق على الغلاف المائي الذي يغطيه بالبحار فوق القارية Epicontinental seas . ويوضح لنا مخطط المنحنى الهيبسوميترى توزيعا لسطح الأرض على أساس الارتفاع بالنسبة لمستوى سطح البحر ، إذ يلاحظ بان معظم سطح القارات يوجد تحت مستوى (1000) متر فوق مستوى سطح البحر ، وهناك انحدار فجائي من (3000 - إلى 10000) قدم لأجل الوصول إلى قاع المحيط ، ويقع القسم الأكبر من قاع المحيط بين (10000 - 20000) قدم تحت مستوى سطح البحر .

المعالم التضاريسية لأحواض المحيطات .

تتمثل في المحيط الأطلسي الشمالي بعض الصفات المميزة لأحواض المحيطات والقارات ، إذ يمتد الرصيف القاري على طول الحافة الشرقية لقارة أمريكا الشمالية ، ويمثل سهلا منبسطا قليل الانحدار يتراوح عرضه بين (75 - 100) قدم ، ويصل إلى عمق يقرب من (600) قدم في حافته . والرصيف القاري الذي هو جزء من اليابس الأصلي ، هو في الواقع منطقة ارساب لطبقات الصخور الرسوبية التي يتم بناؤها

من خلال ارساب مواد تنقلها الأنهار من الأقسام الشرقية من الولايات المتحدة ، وتنتشر هذه الرواسب على قاع المحيط بواسطة التيارات .



مخطط (١٣) المنحنى الهيسوممترى لتوزيع اليابس والماء

ويبدأ المنحدر القاري بصورة فجائية من الحافة الخارجية للرصيف القاري ، ويكون اتجاه الانحدار نحو قاع المحيط على عمق يصل إلى (12000) قدم ، ويتخلل المنحدر القاري بعض الخنادق البحرية Submarine canyons التي تعرض بحث أصلها إلى كثير من المناقشة والجدال ، ويعود اصل الخنادق ، على ما يبدو ، إلى التعرية النهرية ، كما إنها كثيرة الشبه بالمجري المائية الطينية Flows of muddy water ، ويطلق عليها اسم تيارات التكد Turbidity currents ، وتتكون نتيجة لوجود دوامات مائية تعمل على تعكير هدوء الرواسب الناعمة في رؤوس الخنادق ، وتسير هذه المجاري بصورة سريعة على المنحدر القاري ، وذلك لان كثافتها أكثر من كثافة مياه البحر المجاور ، وتتوقف هذه التيارات حالما تنتشر على قاع البحر .

وتنتشر الرواسب على شكل طبقات واسعة تراكمت خلال ملايين السنين ، بحيث تعمل على طمر التجمعات والصفات التضاريسية الأخرى الموجودة في قاع المحيط بحيث تشكل سهولا واسعة مستوية يطلق عليها اسم سهول القيعان المحيطية Abyssal plains وعلى هذا الأساس يتميز حوض المحيط الأطلسي الشمالي الواسع بقعر مستو يغطي مساحات واسعة على عمق يقرب من (18000) قدم . ويرتفع من قاع المحيط فجأة سلاسل جبلية يطلق عليها اسم جبال القيعان البحرية Seamounts . وقد يكون البعض منها براكين قديمة في الأصل ، وتمتد في وسط المحيط الأطلسي سلسلة جبلية داخلية كبيرة تسمى حافة الأطلسي الوسطى Mid- Atlantic Ridge وهي تضاهي سلسلة جبال الروكي من حيث الحجم والتضاريس ، إلا أنها غاطسة تحت الماء كليا ، فيما عدا ظهور مجموعة جزر الازور التي تمثل جزءا صغيرا منها ، وليست هذه الحافة الجبلية المحيطية في الواقع سوى جزءا من سلسلة ممتدة في وسط المحيط ، ومتصلة مع بعضها ، ويمكن تتبعها خلال المحيط الأطلسي الجنوبي ، والمحيط الهندي ، وشرق المحيط الهادي ، وحتى المحيطات القطبية ، على أنها تمثل على ما يبدو نظاما انكساريا رئيسيا أصاب قشرة الأرض .

وتمثل الخنادق البحرية Trenches ، إحدى الصفات الأخرى التي تلاحظ في قاع المحيط ، وهي منخفضات طويلة وضيقة تصل قيعانها إلى عمق (24000 - إلى 30000) قدم أو أكثر ، ويعتقد المختصين في علم الأرض إن هذه الخنادق تمثل مناطق تعرضت إلى الالتواء نحو الأسفل أثناء الحركات الأرضية الحديثة التي أدت إلى تكوين الجبال في قشرة الأرض ، كما إن تراكم الرواسب فيها كان بطيئا بحيث إنها لم تمتلئ بعد ، وهذا شيء قد يحدث أيضا لو كانت واقعة فوق مستوى سطح البحر .

الفصل الرابع

المكونات الأساسية للغلاف الصخري

طبقات الغلاف الصخري .

يعد الغلاف الصخري احد الاغلفة الأربعة التي يتكون منها النظام الأرضي ، والمسرح الرئيسي لكافة الأنشطة الطبيعية والبشرية ، فالغلاف الجوي يرتبط ارتباطا وثيقا بالغلاف الصخري ويتفاعلا مع بعضهما البعض ، مما يترتب على ذلك تكون تلك الصور التضاريسية ، وخصائص الغلاف الجوي التي تتباين من مكان إلى آخر . وكذلك المياه الموجودة في البحار والمحيطات التي تستقر فوق هذا الغلاف الصخري ، والمياه الجوفية المتواجدة بين ثنايا صخره ، والغلاف الحيوي بكل ألوانه وأطيافه البشرية والحيوانية والنباتية ، كلها استمدت انطلاقتها من هذا الغلاف ، وبهذا يمكننا القول بان الغلاف الصخري يشكل الركيزة الأساسية لكافة الاغلفة التي يتكون منها النظام الأرضي ، وعلى هذا الأساس فقد أولى الإنسان أهمية خاصة للغلاف الصخري لمعرفة أسراره ومكامنه الطبيعية من خلال معرفة أنواع الصخور والمعادن التي يتكون منها ، والعوامل الداخلية والخارجية التي ساهمت في تكوينه ، وقد توصل العلماء إلى إن هذا الغلاف يتكون من طبقات صخرية تختلف من حيث كثافتها وطبيعتها تركيبها المعدني وهي كالآتي :

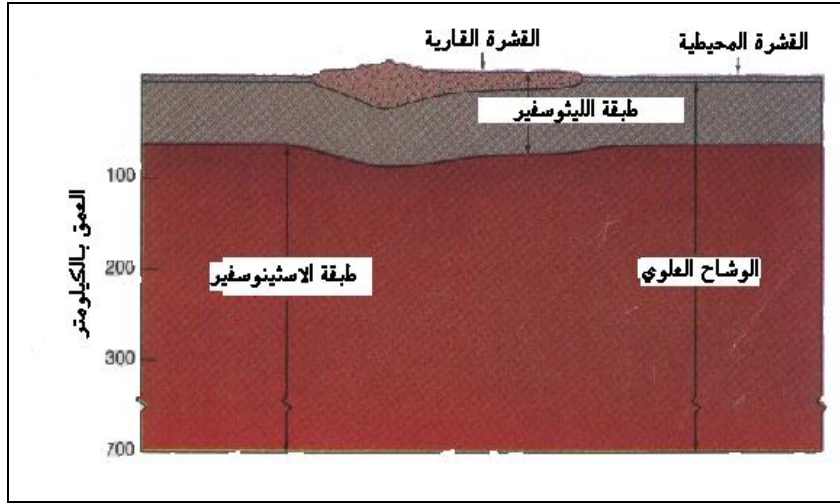
١ - القشرة الخارجية Crust .

وهي تمثل المظهر الخارجي للأرض ويتراوح عمقها بين (٥ - ٤٠) كم ، وتتكون من طبقتين ، الأولى هي طبقة السيلال (Sial) التي تتكون معظم صخورها من سيليكات الألمنيوم ، ويبلغ متوسط كثافتها نحو (٢.٨) ويتراوح سمكها بين (٢ - ١٥) كم ، إن هذه الطبقة عادة ما تكون رقيقة السمك خاصة أسفل البحار والمحيطات بل تكاد تكون معدومة تحت قاع المحيط الهادي ، في حين يزداد سمكها في قارات اليابس .

إما الطبقة الثانية فهي طبقة السيمال (Sima) وهي تقع مباشرة تحت طبقة السيلال ، وتتكون هذه الطبقة من سيليكات المغنسيوم والتي تصل كثافة صخورها إلى نحو (٣.٤) ويطلق على طبقة السيلال والسيمال باسم طبقة الليثوسفير Lithosphere . انظر الشكل (٤) .

٢ - الوشاح Mantle .

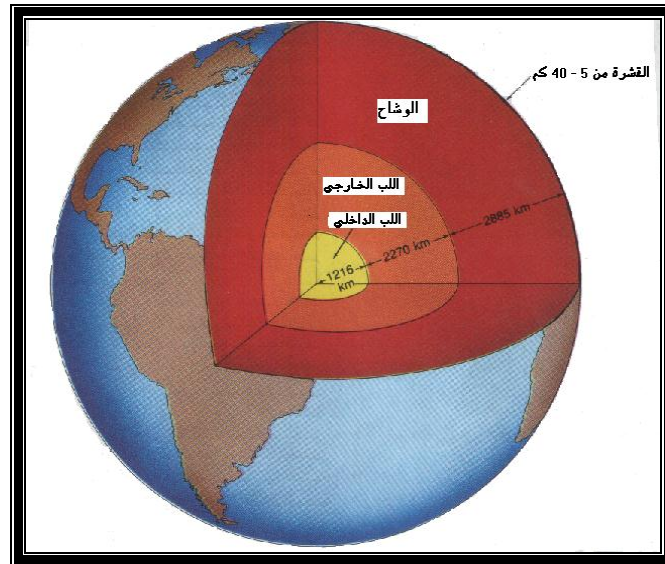
يعد الوشاح عبارة عن طبقة صخرية صلبة تقع مباشرة تحت طبقة الليثوسفير Lithosphere ، ويصل سمكها إلى حوالي (٢٨٨٥) كم ، وتتراوح كثافة صخورها بين (٥ - ٨) ، ويطلق على القسم الأعلى من هذه الطبقة اسم طبقة الاستينوسفير Asthenosphere ، التي تبلغ كثافة صخورها نحو (٤) ، في حين يعرف القسم الأسفل باسم طبقة الغطاء الداخلي الوسطى Mesosphere . ويطلق على الحد الفاصل بين القشرة الخارجية للأرض وبين طبقة الوشاح Mantle اسم حد موهو نسبة إلى اسم العالم الذي اكتشفه وهو موهورفيشك عام ١٩٠٩ وهو يوغسلافي الأصل



الشكل (٤) مواقع طبقتي الليثوسفير والاستينوسفير .

٣ - النواة Core .

تتكون النواة من طبقتين الأولى يطلق عليها طبقة اللب الداخلي Inner Core التي تتميز بانها طبقة صلبة ، وغنية بالحديد ، ويصل سمكها بحدود (١٢١٦) كم ، إما الطبقة الثانية فهي طبقة اللب الخارجي Outer Core وهي طبقة المعادن الساخنة ، والتي يصل سمكها بحدود (٢٢٧٠) كم ، ويصل متوسط كثافة صخورها (١١) انظر الشكل (٥) .



الشكل (٥) مقطع لتركيب طبقات الأرض .

دورة الصخور .

تمثل دورة الصخور احدى الوسائل المهمة لفهم عدد من العلاقات المتشابكة في علم الارض ، وعلم شكل الارض ، ومن خلال دراسة دورة الصخور نتمكن من توضيح نشأة الانواع الاساسية الثلاثة للصخور ، ونفهم دور العمليات المختلفة التي تعمل على تغيير الصخور من نوع الى آخر ، واول من اقترح مبدأ دورة الصخور التي تشكل الخطوط العريضة لمبادئ علم الجيولوجيا الطبيعية ، هو العالم جيمس هاتون . وتشير الاسم الموضحة في الشكل () الى العمليات ، اما المواد فهي مبينة في المستطيلات .

تعد الصخور النارية اول انواع الصخور التي تنشأ عندما تبرد المواد المسماة بالصهير وتتجمد الى صخور تسمى هذه العملية بالتبلور ، وهو يحدث في اعماق الارض أو فوق سطحها بعد عملية تفجر البراكين . ويعتقد بأن الارض كانت منصهرة عند نشأتها الاولى أو قبل ذلك مباشرة . ولهذا فان الصخور النارية هي اول الصخور المكونة للقشرة الارضية .

وعندما تظهر هذه الصخور النارية فوق سطح الارض فانها تتعرض لعمليات التجوية التي تعمل على نقيتها يوماً بعد يوم الى فتات صغيرة . وهذا الفتات تجرفه عوامل التعرية مثل الجاذبية الارضية والمياه الجارية والكتل الجليدية والامواج حيث تنقله الى مواد الترسيب . وبمجرد ما يتراكم هذا الفتات الصخري المسمى بالرواسب في صورة طبقات افقية في المحيطات ، تبدأ عملية التصخر ، وهي تعني عملية التحول الى صخر . وتتصخر الرواسب عندما تتضاغط تحت ثقل الطبقات التي فوقها أو عندما تلتحم مع بعضها بمرور المياه الجوفية عبرها التي تملأ الفراغات البينية بمواد معدنية . واذا ما دفنت الصخور الرسوبية تحت اعماق كبيرة في باطن الارض أو شهدت حركات بناء الجبال . فانها تتعرض لحرارة وضغط كبيرين ، مما يؤثر عليها فتتبدل حسب البيئة المتغيرة الى النوع الثالث من الصخور وهو الصخور المتحولة . وعندما تتعرض الصخور المتحولة الى حرارة وضغط أكثر ، فانها سوف تتصهر مكونة بذلك صهيرا وهذا بدوره يتصلب على شكل صخور نارية .

وعادة لا تكتمل هذه الدورة كما وصف آنفاً ، فهناك دورات قصيرة أشير اليها بخطوط متقطعة كما موضحة في الشكل () وعلى سبيل المثال ، بدلاً من تعرض الصخور النارية لعمليات التجوية والتعرية عند سطح الارض ، فانها قد تتعرض الى الضغط والحرارة في اعماق الارض وتتبدل مباشرة الى صخور متحولة ، بينما قد تتعرض الصخور الرسوبية والمتحولة والرواسب الصخرية للتجوية عند سطح الارض وتتحول الى مواد اولية جديدة تتكون منها الصخور الرسوبية .

وعندما اقترح جيمس هاتون لأول مرة دورة الصخور لم تتوفر سوى معلومات قليلة عن العمليات التي يتم بها تبدل الصخر الى نوع آخر من الصخور رغم وجود أدلة على هذا التبدل . وفي الحقيقة ، لم تصبح الصورة المكتملة واضحة الا في عهد قريب بعد تطور نظرية حركة اللوح القارية .

ويوضح الشكل () دورة الصخور بطريقة انموذج تحرك القارات ، وحسب هذا الانموذج تنتقل المواد التي تعرضت للتجوية من الاراضي المرتفعة الى حواف القارات ، حيث تترسب في طبقات يبلغ سمكها مجتمعة آلاف الامتار ، وتمثل هذه الرواسب بعد تصخرها حشوة من الصخور الرسوبية تحيط بحافة القارة . وفي النهاية فان عملية الترسيب الهادئة على

حافة القارة ، سوف تتوقف لان هذه المناطق عادة ما تصبح أطرافاً ملائمة حيث تبدأ الألواح المحيطية الى الغوص . وعلى امتداد الحواف القارية النشطة تشكل الألواح المتقاربة الصخور الرسوبية وتحولها الى أحزمة متوازية من الصخور المتحولة . هذا بالإضافة الى ان الألواح المحيطية عند غوصها تنزل معها بعض الرواسب التي فوقها والتي لم ترتفع على هيئة جبال ، وذلك لتصل الى الغلاف الوهن ، حيث تمر بعمليات التحول ، وفي النهاية فان جزءا من هذه المواد قد تصل الى أعماق سحيقة ، حيث الضغط والحرارة كافية لبدء عملية الانصهار ، وسوف يصعد هذا الصهير الجديد الى اعلى ويندلع عند السطح . ويتولد عن تبلور هذا الصهير صخور نارية تكون عرضه لعوامل التجوية ، لتبدأ دورة الصخور من جديد .

المعادن Minerals .

هي عبارة عن مركبات كيميائية متجانسة نشأت من اتحاد العناصر بفعل العوامل الطبيعية ، والمعدن هو أي جسم يمكن أن يوجد في الطبيعة يتميز بصفات فيزيائية معينة ، وتركيب كيميائي ثابت ، وأحيانا تركيب بلوري معين ، مثل الكوارتز والفلدسبار والماس والنفط والذهب والبلاتين والأوكسجين ، . والمعادن يمكن أن تكون غازات أو سوائل أو مواد صلبة ، وتنقسم المعادن إلى معادن بلورية ، وأخرى غير بلورية ، وهي تختلف فيما بينها في صفاتها الفيزيائية مثل توصيلها للحرارة وشفافيتها ولونها وصلابتها ومقاومتها للمؤثرات الخارجية بصورة عامة . وعلى الرغم من إن عدد المعادن المعروفة لحد الآن يبلغ حوالي (٣٠٠٠) معدن فان عدد المعادن الداخلة في أكثر الصخور شيوعا ليس بالكثير إذ لا يتجاوز الخمسون معدنا ، ويمكن تصنيف المعادن حسب نشأتها إلى صنفين هما :

١- المعادن الأولية primary minerals

وهي المعادن التي تأتي مباشرة من الصخور بتأثير عوامل التجوية ودون أن يحصل عليها تغير وهذه المعادن مقاومة لعوامل التجوية الفيزيائية والكيميائية مثل معدن ثاني اوكسيد السيليكون SiO_2 ومن المعادن الأولية أيضا اوكسيد الحديد الاسود Magnetite .

٢- المعادن الثانوية secondary minerals

تتكون هذه المعادن من تحلل المعادن الأولية ثم إعادة تركيب نواتج التحلل ويمكن تصنيفها إلى ثلاثة مجاميع هي:

أ - أملاح سريعة الذوبان في الماء وتتجمع هذه المعادن في ترب المناطق الجافة حيث لا يتم ذوبانها وانتقالها إلى مناطق أخرى ومن هذه المعادن كاربونات الكالسيوم Calcite و كاربونات المغنسيوم $MgCO_3$ و كاربونات الكالسيوم والمغنسيوم Dolomite وكبريتات الكالسيوم المائية Gypsum وكوريدات الصوديوم NaCl وغيرها .

ب - المجموعة الثانية تتكون من الاكاسيد المائية للسليكون والألمنيوم والحد يديك والمنغنيز .

ج - المجموعة الثالثة هي معادن الطين التي تتكون بطرق مختلفة قسم منها يتكون من اتحاد نتائج التجوية البسيطة عن طريق ترسبها معا ومن ثم نمو المواد المترسبة في الحجم وتبلورها مع الدقائق الغروية والمشحونة بشحنة كهربائية لمركبات السليكون والحديد والألمونيوم ، وقسم آخر يتكون عن طريق إحلال ذرات أو جزيئات

محل ذرات أو جزيئات أخرى ضمن المعدن الأولي وبذلك يتكون معدن جديد (ثانوي) وتأتي الذرات التي تحل محل ذرات المعدن الأولي من المحلول المحيط بالمعدن الأولي نفسه .

إما تصنيف المعادن حسب وفرتها في الطبيعة فانها تصنف إلى ثمانية مجموعات وهي كالاتي :

١ - المعادن العنصرية Native Elements .

واشهر معادن هذه المجموعة هي الذهب ، والفضة ، والنحاس ، وهي فلزات ، وتتواجد بجوار المناطق المتأثرة بالنشاط البركاني . إما الكرافيت ، والالماز وهما من العناصر اللافلزية ، ويتكون الكرافيت في الصخور المتحولة ، بينما يتبلور الالماز من الصهير الموجود في باطن الأرض والذي يتكون تحت ظروف من الحرارة والضغط العالين ، وتعد هذه المعادن نادرة الوجود .

٢ - الاكاسيد Oxides .

وتشمل اوكسيد السليكون SiO_2 المكون لمعدن الكوارتز الذي يعد من أكثر الاكاسيد انتشارا ، ولكن بسبب تركيبه البلوري الخاص المتعلق بتركيب معادن السيليكات فانه يصنف عادة مع السيليكات . إما اكاسيد الحديد فهي أكثر الاكاسيد الفلزية انتشارا في الطبيعة ، وأهمها الهيماتايت Himatite ، انظر الصورة (٢) وأوكسيد الحديد المائي Limonite ، وأوكسيد الحديد الاسود Magnetite . ومن خصائصها العامة أنها عناصر مختلفة متحدة مع الأوكسجين والماء وهي شائعة الوجود في الطبيعة .

٣ - الكبريتيدات Sulfides .

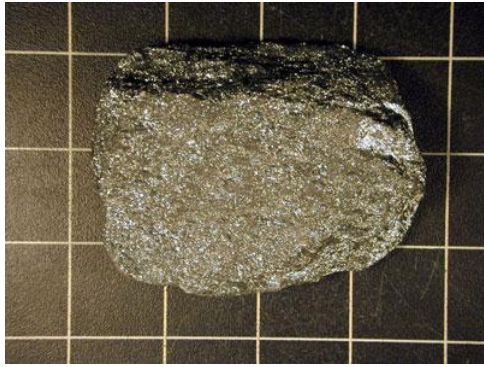
ان الكثير من المعادن الفلزية الاقتصادية هي كبريتيدات ، وأهمها كبريتيد الحديد Pyrite ، انظر الصورة (٣) وكبريتيد الرصاص Galena ، انظر الصورة (٤) وكبريتيد الزنك Sphalerite . ومن خصائصها العامة إنها قليلة الوجود في الطبيعة ، وتتألف من عناصر مثل النحاس ، والحديد ، والرصاص ، والزنك ، متحدة مع الكبريت .

٤ - الكبريتات Sulfates .

وهي تتكون من محاليل مائية فوق سطح الأرض (صخور رسوبية كيميائية) أهمها كبريتات الكالسيوم المائية Gypsum ، الانهدرايت Anhydrite ، وهي من أهم المعادن المكونة للصخور الرسوبية الكيميائية ، وتتألف من أملاح حامض الكبريتيك .

٥ - الكربونات Carbonates .

وهي أيضا تتكون من محاليل مائية فوق سطح الأرض مكونة صخور رسوبية كيميائية وعضوية ، وأكثر هذه المعادن انتشارا كربونات الكالسيوم Calcite ، انظر الصورة (٥) وكربونات الكالسيوم والمغنسيوم Dolomite . انظر الصورة (٦) .



صورة (٣) معدن البيريت .



صورة (٢) معدن الهيماتايت



صورة (٥) معدن الكالسايت .



صورة (٤) معدن الجالينيا .



صورة (٦) معدن الدولومايت .

٦ - الهاليدات Halides .

وتتبلور من محاليل مائية اشهرها الملح الصخري Rock - Salt ، أو الهالايت Halite . انظر الصورة

(٧) وأهمها الكلوريدات التي تنتج عنها الصخور الرسوبية الكيميائية ، وهي قليلة الوجود في الصخور .

٧ - الفوسفات Phosphates .

وهي معادن تتكون من تراكم هياكل الفقاريات ، ولذلك فهي معادن رسوبية عضوية ، ومن أهمها معدن

الابتايت Apatite .

٨ - السيليكات Silicates .

ومن أهم المعادن في هذه المجموعة معادن (الالوفين ،انظر الصورة (٨) واللاجيت ، والهورنبلد ، انظر الصورة (٩) والميكا ، والسرينتين ، والاورثوكلاز ، انظر الصورة (١٠) الكوارتز ، انظر الصورة (١١) البلاجيوكلاز ،) وهي عبارة عن ثاني اوكسيد السليكون متحدا مع فلزات مختلفة . وتعد هذه المجموعة من أهم المعادن المكونة لصخور القشرة الأرضية وأكثرها انتشارا ، وتؤلف نحو (٨٠ - ٩٠ %) من جملة وزن القشرة الأرضية .



صورة (٨) معدن الالوفين .

صورة (٧) الملح الصخري أو الهالايت .



صورة (١٠) معدن الاورثوكلاز .

صورة (٩) معدن الهورنبلد .



صورة (١١) معدن الكوارتز .

الصخور ROCKS .

تعرف الصخور بأنها عبارة هي أجسام طبيعية صلبة مؤلفة من عدة معادن مجتمعة معا بنسب مختلفة ، ولقد اجمع الجيولوجيون على تصنيف صخور القشرة الأرضية حسب طريقة نشأتها والظروف التي ساعدت على تكوينها إلى ثلاث مجموعات هي كالاتي :

١-الصخور النارية . Igneous Rocks .

اتخذت هذه المجموعة من الصخور اسمها من الكلمة اللاتينية Ignis التي تعني النار Fire ذلك لأنها تكونت عند بداية تكوين القشرة الأرضية . وكانت في بداية حالتها الأولى منصهرة ، ولزجة ، وشديدة الحرارة ، ثم أخذت تبرد بالتدرج ، وكونت الغلاف الصخري الأصلي لهذه القشرة . ويطلق الجيولوجيون على هذه الصخور اسم الصخور الأولية Primary Rocks باعتبارها أول الصخور التي ظهرت على سطح الأرض ، وكذلك لأنها الصخور الأولية التي تكونت منها قشرة الأرض ، في حين يطلق البعض الآخر على هذه الصخور اسم الصخور المتبلورة Crystalline Rocks ذلك لان القسم الأكبر من هذه الصخور والتي توجد أسفل قشرة الأرض تتعرض للبرودة التدريجية التي تساعد على تبلور معادن الصخر . أن هذه الصخور تمثل القاعدة الأساسية لسلاسل الجبال العظمى ، وهي الأساس الذي اشتقت منه الصخور الرسوبية والصخور المتحولة ، ولا تستجيب هذه الصخور للضغوط الأرضية الباطنية إلا بالانكسار ، لأنها تتميز بالصلابة ، ولا تكون على شكل طبقات . وهي خالية من بقايا المواد الحيوانية والنباتية لان هذه البقايا لا تستطيع العيش في هذا النوع من الصخور لأنها تكونت من المواد المصهورة ذات الحرارة العالية .

تنتج الصخور النارية عن طريق تبلور وتجمد الحمم البركانية الذائبة المائعة . وتتكون هذه الحمم البركانية الذائبة عندما تتعرض الصخور إلى درجات الحرارة العالية التي تتراوح بين (٦٢٥ و ١٢٠٠ ° م) تحت سطح الأرض . ولا بد من توفر عوامل أخرى بالإضافة إلى درجة الحرارة لإتمام عملية الذوبان الذي تتعرض لها الصخور ، وتتمثل هذه العوامل . بالمكونات الكيماوية للصخور ، والضغط المسلط عليها ، وكذلك الغازات المتواجدة فيها (مثل بخار الماء) . وان أغلب الحرارة المطلوبة لذوبان الصخور وتحولها إلى الحمم البركانية الذائبة يأتي من المنطقة المركزية الداخلية للأرض المعروفة باللب Core . إذ يُخَمَّنُ العلماء بأن درجة حرارة لب الأرض يصل إلى حدود (٥٠٠٠ ° م) . وتنتقل الحرارة من لب الأرض نحو القشرة الخارجية الصلبة ، بالانتقال ، والتوصيل . يُحرِّكُ الانتقال أعمدة الدخان الحار الناتج من الحمم البركانية الذائبة بشكل عمودي من الجزء الأسفل من الوشاح الصخري Lower Mantle إلى الجزء الأعلى من الوشاح . يَدُوبُ البعض من هذا الدخان خلال طبقة الأرض الصلبة الليثوسفير lithosphere ويُمكنُ أن يُترتب عليها تكون مظاهر نارية تحت سطح الأرض ، ومظاهر نارية خارجية على السطح . ويمكن ان تتولد الحرارة في الجزء الأسفل من طبقة الليثوسفير lithosphere من خلال عملية الاحتكاك . وكذلك من الحركة التكتونية الباطنية لألواح القشرة الأرضية يمكن أن تولد حرارة كافية ، وضغط لإذابة الصخور . ومما يوضح هذه الحقيقة وجود البراكين على طول هامش بعض الألواح القارية .

أنواع الصخور النارية .

إن نوع الصخور النارية الذي يتكون من الحمم البركانية الذائبة يعتمد على ثلاثة عوامل هي التركيب الكيميائي للحمم البركانية الذائبة ؛ ودرجة حرارة التجمد ؛ ونسبة التبريد التي تؤثر على عملية البلورة . إذ إن الحمم البركانية الذائبة يُمكن أن تتفاوت كيميائياً في تركيبها . فعلى سبيل المثال ، كمية السليكا (SiO_2) التي وجدت في الحمم البركانية الذائبة كانت تتفاوت من (٤٥ % إلى ٧٥ %) .

أما درجة حرارة التجمد فإنها تحدد أنواع المعادن الثابتة في الصخور . فمثلاً الصخور التي تبدأ التبريد في درجات الحرارة المنخفضة تميل إلى أن تكون غنية في المعادن المتكونة من السليكون ، والبوتاسيوم ، والالمنيوم . بينما الصخور النارية التي تتعرض إلى درجات الحرارة العالية تتميز بوجود كميات كبيرة من الكالسيوم ، والصدويوم ، والحديد ، والمغنيسيوم . كذلك فإن نسبة التبريد مهمة في عمليات التطور البلوري . إذ أن الصخور النارية التي تتكون خلال عمليات تبريد تدريجية تميل إلى أن تكون بلوراتها كبيرة . بينما ينتج التبريد السريع نسبياً للحمم البركانية بلورات صغيرة . إن الحمم البركانية الذائبة التي تُبرد بسرعة كبيرة على سطح الأرض يُمكن أن تُنتج صخور الوبسيدان obsidian وهو عبارة عن زجاج لا يحتوي أي تراكيب بلورية ، وقد صنّف الجيولوجيون الصخور النارية على أساس تركيبها الكيميائي إلى أربعة أنواع أساسية .

يتمثل النوع الأول بالصخور النارية التي اشتقت من الحمم البركانية الذائبة التي تحتوي على كميات عالية نسبياً من الصدويوم ، والالمنيوم ، والبوتاسيوم ، وتشكل السليكا أكثر من (٦٥ %) من مكوناتها . تتمثل هذه الصخور بحجر الصوان Granite ، انظر الصورة (١٢) وصخور الجرانوديورايت granodiorite ، وصخور ديسايت Dacite ، وصخور الرايوليت Rhyolite . كُتِل هذه الأنواع خفيفة في اللون بسبب هيمنة الكوارتز ، وفلسبارات الصدويوم والبوتاسيوم ، ومعادن فلسبار البلاجيوكلاز plagioclase . تحتوي صخور ديسايت Dacite وصخور الجرانوديورايت granodiorite على معادن البايوتايت biotite والامفيبول amphibole . أكثر بقليل مقارنة بصخور الصوان Granite ، وصخور الرايوليت Rhyolite .

إن صخور الرايوليت Rhyolite ، انظر الصورة (١٣) والديسايت Dacite يُنتجان من تدفق الحمم القارية التي تتصلب بسرعة . ويُسبب التجمد السريع للبلورات المعدنية في هذه الصخور ب أن تكون ذات حبيبات دقيقة . أما صخور الصوان Granite وصخور الجرانوديورايت granodiorite التي هي عبارة عن صخور نارية باطنية شائعة هي التي تُحدّد قارات الأرض . الامتداد الكبيرة لهذه الصخور تكون أثناء الحركات التكتونية البانية للجبال على سطح الأرض . وبسبب تكون صخور الصوان وصخور الجرانوديورايت granodiorite تحت سطح الأرض فإن عملية تجمدهم تكون بطيئة نسبياً ، مما ترتب على ذلك بأن تتميز هذه الصخور بأنها ذات دقائق معدنية خشنة .

إما النوع الثاني من الصخور النارية هي التي تتميز بأنها غنية في الكالسيوم ، والحديد ، والمغنيسيوم وفقيرة نسبياً في السليكا ، إذ تتراوح كميات السليكا بين (٤٥ % إلى ٥٢ %) . تتضمن هذه المجموعة من الصخور النارية حبيبات بازلتية ناعمة . وحبيبات خشنة من الجابرو . gabbro . ويكون لونها اسود بسبب احتوائها على نسبة عالية من

المعادن الغنية في الحديد والمغنيسيوم . أن صخور البازلت الموضحة في الصورة (١٤) أكثر انتشاراً من الجابرو gabbro . إذ يُوجَدُ في الجزء الأعلى للقشرة المحيطية ، وأيضاً في تدفق الحمم القارية الواسعة التي تغطي أجزاء من واشنطن ، أوريغون ، إيداهو ، وكاليفورنيا . أما صخور الكابرو Gabbro فإنها تُوجَدُ عادة في الأجزاء الدنيا للقشرة المحيطية ، وأحياناً في مظاهر داخلية صغيرة نسبياً في القشرة القارية .



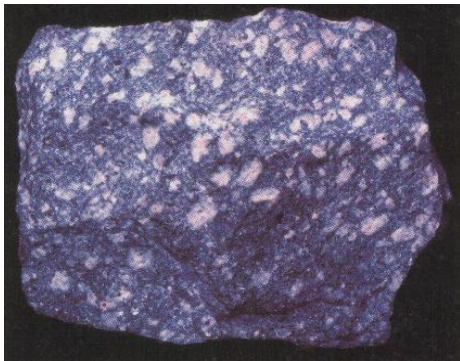
صورة (١٣) صخور الريبوليت Rhyolite .



صورة (١٢) صخور الصوان Granite .

بينما تتميز المجموعة الثالثة من الصخور النارية بوجود صخور الاندسايت Andesite الموضحة في الصورة (١٥) ، وصخور الدايبورات diorite ، إذ تتراوح نسبة السليكا فيها بين (٥٣ % إلى ٦٥ %). وصخور الاندسايت هي عبارة عن حبيبات ناعمة شائعة في الصخور النارية الخارجية التي تتكون من الحمم البركانية المتواجدة على طول هوامش القارات . بينما صخور الدايبورايت diorite هي عبارة عن حبيبات خشنة تُوجَدُ في الأجسام النارية الباطنية التي ارتبطت بالقشرة القارية .

في حين تتميز المجموعة الرابعة من الصخور النارية بأنها تحتوي على نسب منخفضة نسبياً من السليكا تصل بحدود (٤٥ %) ، وتعد صخور البايروكسين pyroxene ، والبريدوديت Peridotite من أكثر صخور هذه المجموعة انتشاراً ووجدت في قشرة الأرض . مع العلم إنها نادرة جداً في سطح الأرض . وتحتوي صخور هذه المجموعة على معادن الأولفين olivine ، فلبسارات البلاجيوكلاز plagioclase الغنية بالكالسيوم .



صورة (١٥) صخور الاندسايت Andesite .



صورة (١٤) صخور البازلت .

٢- الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks .

هي عبارة عن صخور ثانوية Secondary Rocks تكونت نتيجة لاختلاط المواد الناتجة من تجوية الصخور النارية ، والصخور المتحولة لمرات عديدة ، وخاصة بواسطة الرياح ، والمياه الجارية ، والثلوج أو الأحياء ، وإعادة ارتباط هذه المواد مرة أخرى ، واتحادها وترسيبها تحت ظروف بيئية معينة ، وحيث تتجمع المواد الرسوبية على شكل طبقات متعاقبة فوق بعضها البعض ، وكل طبقة تعكس ظروف تكوينها ، لذلك يطلق عليها اسم الصخور الطباقية Stratified Rocks . وقد تحتوي هذه الطبقات على معادن نقية كانت قد جمعتها أحياء معينة في هياكلها وعند موتها تجمعت هذه المعادن وكونت طبقة مميزة ضمن الصخور . وهذا ما يدل على اثر الأحياء في تكون هذه الصخور . وقد يكون مصدر بعض طبقات الصخور كيمائيا إذ تنتج مواد صعبة الذوبان بسبب تفاعلات كيميائية مثل ترسبات كبريتات الكالسيوم المائية وكاربونات الكالسيوم وغيرها . كما قد يكون اصل الطبقات الرسوبية ناتج من ترسبات ميكانيكية كأن تتجمع مواد صخرية أما في نفس مكانها أو أنها نقلت إلى موضعها الذي هي فيه بواسطة الماء أو الجليد أو الرياح وتمتاز هذه المواد بان أحجام دقائقها تختلف اختلافا كبيرا جدا . والصخور الرسوبية تكون عادة مسامية ، وقد تحتوي على بقايا عضوية بعكس الصخور النارية التي لا توجد فيها أية مواد عضوية . وتصنف الصخور الرسوبية تبعا لاختلاف نشأتها ، وظروف تكوينها ، الى ثلاث مجموعات رئيسية هي :

أولا - الصخور الرسوبية الميكانيكية .

وتشمل هذه المجموعة الصخور الرسوبية التي تتألف حبيباتها تبعا لتآكل وتحطم الصخور الأصلية الى أجزاء ، وحبيبات صغيرة ، ثم تنتقل بواسطة عوامل النقل المختلفة الى أن تتجمع في النهاية ، وتتماسك وتتلاحم أجزاء المفتتات بعضها مع البعض الآخر لتكون في النهاية الصخور الرسوبية الميكانيكية أو الحطامية في نفس مواقعها التي تفتت منها ، وفي معظم الأحيان تتكون هذه المجموعة من الصخور في مناطق بعيدة تبعد مسافات بعيدة عن مصدر الحبيبات الصخرية المفتتة ، وتنقسم هذه المجموعة من الصخور الى نوعين من الرواسب هي :

النوع الأول . الرواسب البحرية .

تعد هذه الرواسب أكثر شيوعا في سطح الأرض ، إذ ان المسطحات المائية تشكل ثلاثة أرباع مساحة الكرة الأرضية . وتنقسم هذه الرواسب فيما بينها حسب العمق الذي تكونت فيه ، وحسب بعدها عن الشاطئ إلى الأقسام التالية :

١ - الرواسب الشاطئية .

وهي الرواسب التي تتكون على منطقة الشاطئ لكونها تقع تحت تأثير فعل الأمواج ، والمد والجزر . وتتكون هذه الرواسب من الجلاميد ، والحصى ، والرمل الخشن ، التي تختلف باختلاف المواد المكونة للشاطئ نفسه ، ولا تكون في طبقات منتظمة ، بل تكون في أكوام مختلفة بعضها عن بعض بغير نظام .

٢ - رواسب منطقة المياه الضحلة .

وهي المنطقة التي تمتد بعد المنطقة الشاطئية الى حيث يبلغ العمق حوالي (١٠٠) قامة بحرية أي بحدود ١٨٠ متر) وترسب في هذه المنطقة المواد الأصغر في الحجم مثل الحصى الصغير والرمل .

٣ - رواسب منطقة حافة الأعماق .

وهي المنطقة التي تلي المياه الضحلة ، وتتراوح في العمق بين (١٠٠ - ١٥٠٠) قامة بحرية ما يعادل (١٨٠ - ٢٧٠٠ متر) ، ورواسب هذه المنطقة تتكون غالبا من المواد الطينية الدقيقة التي حملتها الأنهار .
٤ - رواسب منطقة الأعماق .

وهي رواسب غاية في الدقة ، وهي في الغالب عبارة عن بقايا حيوانات مجهرية ، كما توجد في هذه المنطقة رواسب بركانية مكونة من طين احمر ورماد بركاني Volcanic Ash الذي تحمله الرياح بعيدا عن منطقة البراكين ويترسب فوق سطح الماء في هذه المنطقة ثم لا يلبث أن يهبط إلى القاع .

النوع الثاني . الرواسب القارية .

وهي الرواسب التي تترسب فوق سطح القارات ، وهي اما رواسب هوائية ، أو رواسب مائية ، أو رواسب جليدية ، ويمكن تقسيمها كالآتي :

١ - الحصى . Gravels .

وهو عبارة عن حبيبات متماسكة ومستديرة تقريبا ، يتراوح قطرها بين (٢ ملم - إلى ١٠ سم) ، ويتركب من الكوارتز ، أما الحبيبات الأكبر من (١٠ سم) في القطر فإنها تعرف باسم الجلاميد Boulders . والحصى والجلاميد أما أن تكون حادة الحواف لم تأخذ الشكل المستدير وذلك لكونها تتواجد قرب مصادرها الأصلية ، أو أن تكون مستديرة ملساء نتيجة تهذيبها باحتكاك بعضها ببعض أو بالصخور التي مرت عليها وذلك في حالة انتقالها بفعل السيول والأمطار .

٢ - الرمل . Sand .

وهي عبارة عن صخور رملية مفككة ، يبلغ قطر حبيباتها ما بين (٢ - ملم إلى ١/١٦ ملم) ويصنف عادة الرمل الى عدة أصناف ، وتختلف الرمال في شكل حبيباتها ويرجع ذلك الى اصل تكوينها ، إذ تكون حبيباتها حادة Angular غير مستديرة في مجاري الأنهار أو على الشاطئ وذلك لان حركة احتكاكها ببعضها ببعض هي غالبا في اتجاه واحد ، وتكون تامة الاستدارة لاحتكاك بعضها ببعض في أثناء نقلها بواسطة الرياح بصفة خاصة .

وتختلف الرمال باختلاف المعادن المكونة لها فغالبيتها مكونة من الكوارتز الذي يعد اقل المعادن تأثرا بعوامل التجوية فلا يتحلل الى معادن أخرى ، وبعض الرمال مكونة من الكوارتز المختلطة ببعض المعادن الأخرى مثل ، الفلدسبار ، والهونبلد ، والاولجيت ، والميكا .

وتبعا للمادة المكونة يختلف لون الرمال التي قد اكتسبت ألوانا ساطعة حمراء أو صفراء ، وذلك لوجود اكاسيد الحديد بكميات ضئيلة حول حبيباتها ، وفي بعض الأحيان يكثر أكسيد الحديد الاسود Magnetite في هذه الرمال فيعطيها صفة السواد وتعرف عندئذ بالرمال السوداء Black Sand .

٣ - الحجر الرملي . Sandstone .

وهي عبارة عن صخور تتكون من حبيبات مستديرة أو شبه مستديرة يغلب فيها الكوارتز إذ تصل نسبته الى حدود (٩٠ %) ، انظر الصورة (١٦) وعندما يحتوي الحجر الرملي على نسبة من الفلدسبار تصل الى (٢٥ %) يطلق

عليه اسم الاركوز . انظر الصورة (١٧) وتختلف مساميتها تبعا لحجم حبيباتها على الرغم من أنها أكثر الصخور مسامية ، ولذلك تعد خزانات طبيعية للمياه والنفط .

٤ - الصخور الطينية .

وتشمل الرواسب التي يقل متوسط حجم حبيباتها عن (٠ . ٠ ٥) ملم ، وتحتوي على بعض المواد العضوية متحللة تعرف بالدبال ، أو نباتية متفحمة ، أو مواد جيوية . اما اللون الأسود الذي يغلب في كثير من الصخور الطينية فيرجع الى انتشار ذرات نباتية متفحمة ، أو ذرات من كبريتيد الحديد ، وهناك أنواع من الطين يسودها اللون الأحمر ، أو الأصفر ، أو الأخضر لوجود مواد ملونة فيها مثل اكاسيد الحديد أو المنغنيز ، وقد تحتوي أيضا على نسبة مختلفة من الكربونات (الجير) وقد ترتفع هذه النسبة فيطلق عليه اسم الطين الجيري أو الطفل ، أو يختلط الطين بذررات دقيقة من الكوارتز فتكتسب اللون الأصفر ويسمى في هذه الحالة بالطين الرملي أو الطين الأصفر . ان الطين عادة ما يحتوي على نسبة من الماء تقترب من (١٥ %) فإذا ما جفت أصبحت كتلة صخرية صلبة يطلق عليها حجر طيني Clayston ، وقد تكون من الصلابة تبعا للضغط المسلط عليها من طبقات رسوبية تعلوها فيتخذ الصخر شكلا يتكون من صفائح رقيقة تتفصل بعضها عن بعض لأقل ضغط يقع على الصخر ويطلق عليها في هذه الحالة حجرا طينيا صفحيا Shale . انظر الصورة (١٨) ، وتتكون هذه الصفائح الرقيقة عادة من معادن الميكا التي تتخذ وضعا مرتبا في مستويات متوازية .



صورة (١٧) صخور الاركوز .



صورة (١٦) الحجر الرملي .

٥- صخور المجمعات Conglomerates .

تتركب هذه الصخور من مفتتات صخرية تتميز بحبيباتها بأنها مستديرة الشكل ، وتعزى هذه الاستدارة الى تأثير التعرية المائية النهرية أو البحرية في تشكيل الحبيبات الصخرية التي تتركب عادة من الكوارتز ، وقد تجتمع هذه الحبيبات الصخرية المستديرة الشكل وتندمج وتتماسك مع بعضها بفعل مواد لاحمة مثل السليكا أو كربونات الكالسيوم ، واكاسيد الحديد وتكون الصخر المعروف بالكونجلوميرات Conglomerates انظر الصورة (١٩) وتختلف درجة صلابة الصخر ودرجة مساميته تبعا لنوع المادة اللاحمة ومدى اتساع الفراغات الصخرية ويتراوح قطرها بين (١٠ - ٢٠) سم .

٦ - الصخور الحادة الحواف . Preccia .

تتفق هذه المجموعة من الصخور مع صخور المجمعات من حيث النشأة وعمليات التكوين ، الا انه في هذه الحالة يلاحظ بان الصخر يتكون أساسا من حبيبات حادة الحواف ذات أطراف مدببة ومكشوفة . وان دل شكل هذه الحبيبات الحادة على شيء فإنما يدل على أنها اما أن تكون قد تعرضت لعمليات التجوية الطبيعية خاصة التمدد والانكماش بفعل التباين في درجات الحرارة . أو تشكلت بفعل الرياح أو بفعل الجليد .



صورة (١٨) الحجر الطيني أصفائي Shale . صورة (١٩) صخور المجمعات Conglomerats

ثانيا - الصخور الرسوبية الكيميائية .

يتكون هذا النوع من الصخور الرسوبية من مركبات معدنية تبحرت محاليلها ، وتشمل عدة أنواع وهي كالآتي :

١ - الصخور الجيرية الكيميائية .

تنشأ هذه الصخور بفعل التبخر من مياه كانت مذابة بها كاربونات الكالسيوم ثم فقدت هذه المياه ثاني اوكسيد الكربون المذاب فيها ، ومن أمثلتها رواسب العيون الجيرية ، النافورات الحارة ، وقد تنشأ هذه الرواسب فوق أرضية الكهوف ، والمغارات الجيرية ، وكذلك الأعمدة الجيرية الصاعدة Stalagmites التي تشير أطرافها الى أسقف الكهوف ، والأعمدة الجيرية النازلة Stalactites التي تشير الى تجمع كاربونات الكالسيوم في أسقف الكهوف .

٢ - كبريتات الكالسيوم المائية Gypsum .

عندما يوجد الجبس في بلورات صغيرة ، وبكميات محدودة يعد في هذه الحالة من المعادن ، ولكن اذا تمثلت تكوينات الجبس في كتل عظيمة الحجم تعد في هذه الحالة صخور ، انظر الصورة (٢٠) ويتكون الجبس كيميائيا بعد تبخر مياه البحار الضحلة والبحيرات الشاطئية ، وتراكم كبريتات الكالسيوم ، وكثيرا ما يمتزج الجبس مع أنواع ثانوية من الصخور الكيميائية الأخرى مثل الانهدرايت Anhydrite . والملح الصخري Rock Salt ليكون تلال شاطئية متوسطة الارتفاع .

٣ - الملح الصخري Rock Salt .

تتكون رواسب الأملاح المختلفة بعد ترسيبها من مياه البحار الضحلة ، والبحيرات الساحلية ، التي تتعرض أسطحها بشدة لفعل التبخر المستمر ، ومن ثم قد تترسب مجموعات مختلفة من الأملاح ومن بينها كلوريدات وكبريتات ، وكاربونات الصوديوم والبوتاسيوم ، وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم . وقد تظهر رواسب الأملاح على السطح بعد تبخر

المياه البحرية أو الساحلية الضحلة ، ولكن قد تظهر القباب الملحية Salt Domes ، داخل تكوينات صخرية قديمة تبعا لتسرب المياه الملحية داخل الصخر ، ثم بعد تبخر هذه المياه تترسب رواسب الأملاح على شكل قباب ملحية ، كما هو الحال في مناطق متفرقة من جنوب تكساس في الولايات المتحدة الأمريكية .



صورة (٢٠) كبريتات الكالسيوم المائية Gypsum .

ثالثا - الصخور الرسوبية العضوية .

ويشمل هذا النوع من الصخور الرسوبية تلك الرواسب الثانوية التي تكونت من مواد خلفتها النباتات أو الحيوانات وقد تتكون مثل هذه الصخور بطريقة طبيعية أي نتيجة تراكم هذه المخلفات وموادها الصلبة ، أو قد تتكون نتيجة تراكم لعمليات كيميائية حيوية أدت الى ترسيبها ، وتخفي هذه الرواسب تماما في الجهات الصحراوية الجافة ، بينما تتراكم فوق قاع البحار والمحيطات ، وتقسّم الصخور العضوية حسب التركيب الكيماوي الى أنواع مختلفة وهي كالاتي :

١- الصخور الجيرية العضوية :

تعد هذه المجموعة من أكثر أنواع الصخور الجيرية انتشارا على سطح الأرض ، وتمثل نسبة كبيرة من التكوين الصخري العام لقشرة الأرض ، وتتألف بصورة عامة من بقايا وفتات الحيوانات البحرية التي لها القدرة على استخلاص المواد الجيرية من المياه واستخدامها في بناء هياكلها وقشورها وأصدافها ، ومن ثم عند فناء هذه الحيوانات تتلاشى المواد الهلامية المكونة للكائن نفسه ، وتنساقط الهياكل والقشور الجيرية ، وتتراكم فوق قاع البحر ، وبمرور الزمن ، ونتيجة للضغط الواقع عليها ، وتدخل بعض المواد اللاحمة بين نراتها ، تتحول هذه الرواسب الى الصخور الجيرية العضوية .

٢- صخور الفوسفات . phosphate Rock

تتركب هذه الصخور أساسا من فوسفات الكالسيوم نتيجة تحلل عظام وهياكل وأطراف بعض الكائنات البحرية وتستغل رواسب هذا الصخر في عمليات تخصيب الأراضي الزراعية .

٣- الرواسب الفحمية .

عندما تتدثر النباتات وأفرع الأشجار وجذوعها وتطمر تحت رواسب سمكية ، وتتعرض لعمليات الضغط ، تتحول بالتدريج وخلال فترات طويلة من الزمن الى طبقات مختلفة من الفحم ، انظر الصورة (٢١) وتبعاً لحجم المواد النباتية المنظرة ، وطول المدة الزمنية التي تكونت خلالها ، ومدى الضغط الواقع عليها ، يمكن أن نميز مجموعات مختلفة من الرواسب والطبقات الفحمية . ومن أمثلة هذه الرواسب اللبد النباتي peat وهي عبارة عن نباتات غير كاملة التقم ، ولا تزال أغصان النباتات مفككة وتشبه إلى حد كبير (البرسيم المضغوط) وتتميز طبقاتها باللون البني ، وأنها إسفنجية النسيج

، وعظيمة المسامية ، وتنتشر في مناطق المستنقعات بالمناطق المعتدلة والباردة ، وتعد من أفقر التكوينات الفحمية إذ لا تزيد نسبة الكربون فيها عن (١٠%) فضلا عن كثرة الشوائب والرمال المنظرة مع هذه الرواسب .

اما فحم اللجنائيت Lignite فهو عبارة عن نباتات منظرة ، الا انها أقدم عمرا من اللبد النباتي واندثرت في معزل عن الهواء الخارجي نسبيا ، ومن ثم تقل فيها نسبة الشوائب ، وترتفع فيها نسبة الكربون حتى تصل الى نحو (٧٠%) وأجزائه متماسكة سوداء أو تميل الى اللون البني الغامق وتسمى تبعا لذلك بالفحم البني The Brown coal ، وتتمثل طبقات هذا الفحم مع تكوينات الزمن الجيولوجي الرابع . وأعظم تكوينات الفحم الحجري شيوعا في القشرة الأرضية تلك التي تكونت خلال العصر الفحمي أو الكربوني خلال الزمن الجيولوجي الأول كما تتمثل في صخور الزمن الجيولوجي الثاني في العصر الجوراسي ويمكن أن نميز نوعين رئيسيين من الفحم الحجري هما :

١- الفحم الببتيومييني Bituminous Coal:

وهو فحم اسود اللون وتقل نسبة الكربون فيه نحو (٨٠%) وعند لمسه يترك أثرا اسوداً في اليد نتيجة لليونته ومن ثم يعرف أيضا باسم الفحم اللين Soft Coal .

٢- فحم الانثراسايت Anthracite coal

وهو فحم اسود اللون كذلك الا ان نسبة الكربون فيه مرتفعة جدا وتزيد عادة عن (٩٠%) من جملة وزنه ، ويتميز بعظم اندماج كتلته ، وشدة صلابته ، ومن ثم يعرف باسم الفحم الصلب Hard Coal ، ويعد أعظم أنواع الفحم من حيث الطاقة الحرارية الكامنة فيه .



صورة (٢١) صخور الفحم .

٣- الصخور المتحولة Metamorphic rocks .

يقصد بالصخور المتحولة تلك الصخور التي تحولت من حالتها الأصلية الأولية الى حالة أخرى جديدة لم تكن عليها من قبل ، وقد يكون هذا التغير الذي طرأ على الصخر تغيرا في طبيعة النسيج الصخري ، أو اختلافا في التركيب المعدني ، أو الاثنين معا . وكثيرا ما يتولد في الصخور المتحولة معادن لم تكن موجودة من قبل في الصخور الأصلية سواء أكانت من اصل ناري أو رسوبي وتتم عمليات التحول الصخري تبعا لتأثير الحرارة الشديدة ، أو بفعل الضغط الشديد ، أو نتيجة لتأثير الحرارة والضغط الشديدين معا .

أنماط التحول الصخري .

يمكن أن نميز الأنواع الآتية من التحول :

١- التحول الصخري الحراري Thermal metamorphism

وتتم عملية التحول الصخري في هذه الحالة بفعل الحرارة الشديدة ، وقد يكون مصدر هذه الحرارة العالية المواد المنصهرة في باطن الأرض ، وانسيابها الى أعلى أو بفعل مواد الماجما المنصهرة المنحسبة داخل القشرة الأرضية .

٢- التحول الصخري الديناميكي . Dynamic metamorphism

وتحدث هذه العملية بفعل الضغط الشديد الواقع فوق الصخور ، وينجم عن ذلك تغيير عام في النسيج الصخري بل وإحلال معادن جديدة في الصخر الأصلي ، وعندما تتحول الصخور عن حالتها الأصلية الى حالة أخرى بفعل كل من الحرارة والضغط معا يعرف التحول في هذه الحالة باسم التحول الديناميكي الحراري Dynamothermal metamorphism .

٣- التحول الصخري التماسي Contact metamorphism

تحدث عملية التحول في هذه الحالة نتيجة تماس الصخر بمواد مصهورة ساخنة تعمل بدورها على تغير ايونات الصخر ، وتعديل التركيب المعدني للصخر الأصلي ، وعلى ضوء ذلك فقد يحل محل ايونات الصخور الأصلية معادن أخرى جديدة بفعل الغازات الساخنة وخاصة في منطقة التماس . ولكن كلما بعدنا عن هذه المنطقة يقل تأثير التماس الصخري . وتقتصر عملية تغيير معادن الصخر على بعض المعادن القابلة للتغيير ، وفي النهاية يتلاشى تأثير التحول التماسي . وعلى ضوء ذلك يعظم تأثير التحول التماسي في منطقة الاحتكاك الصخري ، وما يقع بالقرب منها . ويمكن تمييز مناطق التحول التماسي عن غيرها من الأجزاء الأخرى للصخور بشكل واضح ويطلق عليها اسم هالة التحول . ويختلف سمك هذه الهالة من بضعة سنتيمترات الى نحو عدة مئات من الأقدام . ونتيجة لحدوث عمليات التحول التماسي يعاد تبلور معادن الصخور من جديد كما قد تتشا معادن أخرى جديدة ، وأكثرها شيوعا الديوبسايد Diopside والترمولايت Termolite .

٤- التحول الصخري الإقليمي . Regional metamorphism.

عندما يعظم تأثير عمليات التحول بحيث تشغل مساحات واسعة تمتد لآلاف من الأميال المربعة ، ويظهر تأثيرها في صخور عظيمة السمك قد تبلغ عدة آلاف من الأقدام فإن التحول الصخري العظيم في هذه الحالة يعرف باسم التحول الإقليمي . ويرجح الباحثون بان من أهم أسباب حدوث عمليات التحول بهذا الشكل حدوث الحركات التكتونية والتقلصات الباطنية في باطن الأرض وتعرض صخور القشرة الأرضية لحرارة وضغط شديدين ومن ثم يتم ملاحظة تأثير عمليات التحول الإقليمي في المناطق المركزية التي تشع منه حركات المرتفعات والثنيات العظمى في القشرة الأرضية . وخلال عمليات التحول الإقليمي تنشأ في الصخور معادن جديدة بفعل الضغط والحرارة معا لم تكن موجودة فيها من قبل ولا تتمثل في الصخور النارية أو الرسوبية ومن بين هذه المعادن السليمنيت ، والكاينيت ، والاندرولوسيت .

أنواع الصخور المتحولة .

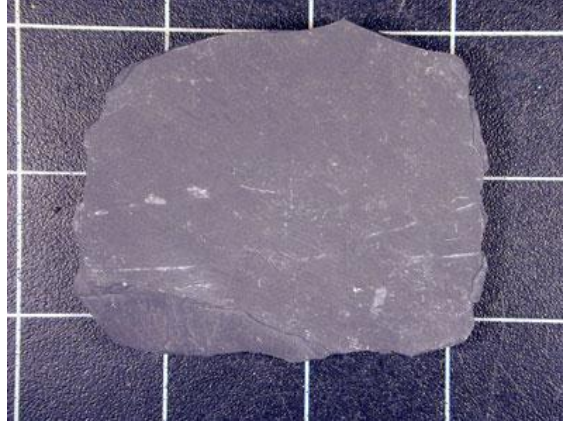
تصنف أنواع الصخور المتحولة المختلفة في معظم الأحيان وفقا لأشكال نسيجها الصخري ، والبعض الآخر تبعا لوفرة معدن ما في تكوينات الصخر . ومن بين أكثر الصخور المتحولة شيوعا في قشرة الأرض هي ، الإردواز Slate ، والفيليت Phyllite ، والشست Schist ، والنيس Gneiss ، والرخام Marble ، وفي ما يلي شرح مفصل لهذه الأنواع وكالاتي :

١ - الإردواز . Slate

يتكون هذا الصخر المتحول أساسا عن الصلصال في المناطق القليلة التأثر بعمليات التحول . ويتألف من حبيبات صخرية دقيقة جدا . ويتشقق الصخر على شكل صفائح رقيقة جدا موازية لبعضها نتيجة لتعديل اتجاه المعادن المسطحة الدقيقة الحجم بفعل عمليات التحول . وتحول بعض المعادن الصلصالية بفعل عمليات التحول كذلك الى الكلورايت والميكا ، وإذا تميز الإردواز بلونه الداكن فيعزى ذلك الى كثرة وجود المواد الكربونية أو الحديدية في الصخر . انظر الصورة (٢٢) .

٢ - الفيليت . Phyllite

يشبه صخر الإردواز من حيث التركيب المعدني ، إلا إن حبيباته اكبر حجما من تلك الموجودة في صخر الإردواز ، وعندما يتعرض الإردواز لدرجات حرارة عالية تتراوح بين (٢٥٠-٣٠٠م) فإن معادن الكلورايت والميكا يكبر حجمها ويتحول الصخر الى الفيليت . ويتميز سطح هذا الصخر بانصقاله وكأنه منكسر حديثا Freshly broken ، وأكثر المعادن شيوعا في صخر الفيليت ، معادن الكلورايت ، والميكا البيضاء ، وقليل من النورمالين ، والجارنت



صورة (٢٢) صخور الإردواز .

٣ - الشست . Schist .

يكثر وجود هذا الصخر في مناطق التحول الأقليمي ، ويتميز الشست ببلوراته الدقيقة الحجم وبنسيجه الورقي أو الصفائحي والمعروف بالنسيج الشيستوزي ، وقد تؤدي الميكا الى فصل صفائح الشست بعضها عن البعض الآخر حيث تتركز الميكا على شكل طبقات صفائحية رقيقة جدا وتنفصل كل طبقة عن الأخرى بواسطة صفحات أخرى من بلورات الكوارتز . انظر الصورة (٢٣) .

ويتألف الشست أساسا من نسبة عالية من الكوارتز ، والفلدسبار ونسبة قليلة من معادن الاوجيت ، والهورنبلند ، والجارنت ، العقيق ، الالبيدوت ، الماجنتايت . وعندما ترتفع نسبة الكلورايت ، والالبيدوت ، في الصخر فانه يظهر باللون الأخضر ويعرف باسم الشست الأخضر Green Schist .

٤ - النيس : Gneiss

يتألف صخر النيس من حبيبات واضحة خشنة كبيرة الحجم نسيا ، وتبعاً لدرجة تبلوره يتكون هذا الصخر في المناطق العظيمة التأثير بعمليات التحول ، وخاصة في مناطق التحول الأقليمي . ويتمثل في النيس أشكال غير واضحة تماما من التشقق ، ولكن أهم ما يميزه في الطبيعة تخطيطه بأشرطة ملونة مميزة في الصخر . انظر الصورة (٢٤) وإذا كانت هناك بعض الشوائب المعدنية مختلطة بصخر النيس فانه عند عمليات التحول تتخذ هذه الشوائب أشكالاً ملتوية مختلفة بفعل تعرضها للحرارة والضغط ، وان دلت هذه الأشكال الملتوية للمواد المعدنية على شيء فأنما تدل على تعرض الصخر لعمليات التحول . وإذا كان صخر النيس قد تحول عن الصخور النارية مثل الجرانيت ، الجابرو ، والديورايت ، فان حبيباته الصخرية تترتب على شكل طبقات رقيقة متوازية حيث تتعاقب كل من حبيبات الكوارتز والفلدسبار ، والمعادن الحديدية ، والمغنيسية فوق بعضها البعض . اما اذا كان صخر النيس قد تحول من الصخور الرسوبية الصلصالية وخاصة من الجراي واكس Gray wackes وهو صخر طيني رملي رمادي اللون فان صخر النيس يتشكل بخطوط رقيقة من الكوارتز والفلدسبار يفصل بينها شرائح رقيقة من المعادن الصفائحية الرقيقة أو الليفية النسيج وذلك مثل الكلورايت ، والميكا ، والجرانيت ، والهورنبلند ، والكاينيت ، والسيليمنت ، ويسمى صخر النيس باسم المعادن الأساسية التي تدخل في تركيبه ، ومن ثم يمكن أن نميز النيس الميكائي mica-gneiss والنيس الهورنبلندي Hornblende-gneiss والنيس الجرانيتي Granite-gneiss .



صورة (٢٤) صخور النيس .



صورة (٢٣) صخور الشست .

٥ - الرخام - marble

يتحول هذا الصخر من كربونات الكالسيوم ، وكربونات الكالسيوم والمغنسيوم ، ويعظم تكوينه خلال عمليات التحول الاحتكاكي ، والإقليمي . ومن مميزاته انه عديم التشقق ، وبلوراته كبيرة الحجم ، وتظهر اتجاهات بلورات الكالسايت في خطوط متوازية تبعا لتأثير الضغط الشديد الذي صاحب عمليات التحول . انظر الصورة (٢٥) .

وعلى الرغم من ان اللون الأساسي للرخام هو اللون الأبيض الثلجي الناصع Snow-white ، إلا انه في معظم الأحيان تختلط فيه الشوائب المعدنية الأخرى وخاصة خلال عمليات التحول وتعمل بدورها على تشكيل ألوان الصخر . ولذلك نجد الرخام الأسود الذي ترتفع فيه نسبة المواد الفحمية البتيومينية ، والرخام الأخضر الذي ترتفع فيه معادن الديبوسايد ، والهونبلند ، والسرينتين أو الطلق . والرخام الأحمر تبعا لارتفاع نسبة اوكسيد الحديد والهيماتايت في الصخر ، والرخام البني لارتفاع نسبة معدن الليمونيت في الصخر .

وقد يتمثل في الرخام راسب معدنية كريمة مثل العقيق Garnet والياقوت الأحمر Rubies وإذا تحول الرخام عن صخور جيرية تكثر فيها الحفريات فان الأخيرة تكسب الرخام ألوان جميلة زاهية بعد عملية تحولها وتعرضها للحرارة والضغط ، ويوجد الرخام أساسا في المناطق التي تعرضت لعمليات التحول الإقليمي ، وتقع طبقاته فيما بين الشست الميكائي والفيليت .



صورة (٢٥) صخور الرخام .

الفصل الخامس

الاشكال الارضية الناتجة عن القوى الباطنية .

المبحث الاول - الصدوع

مفهوم الصدع .

يقصد بالصدوع حدوث كسر في الطبقات الصخرية مصحوبة بزحزحة بعض أجزاء الطبقات راسيا أو أفقيا (أبو العينين ، كوكب الأرض ، ص ٣٢١) أما الفالق فهو عبارة عن كسر لم يحدث له أي حركة ملحوظة ويرجع سبب حدوث الصدوع والفوالق الى قوى الشد والضغط المختلفة التي تتعرض لها صخور القشرة الأرضية مما يؤدي الى تصدعها اذا ما زادت عن قدرة لهذه الصخور لمقاومة قوى الشد والضغط المشار اليها (حسن وشريف والنقاش ، أساسيات علم الجيولوجي ، ص ١٣٨) .

أنواع الصدوع:

يمكن تميز الأنواع التالية من الصدوع:

١- الصدع العادي البسيط .

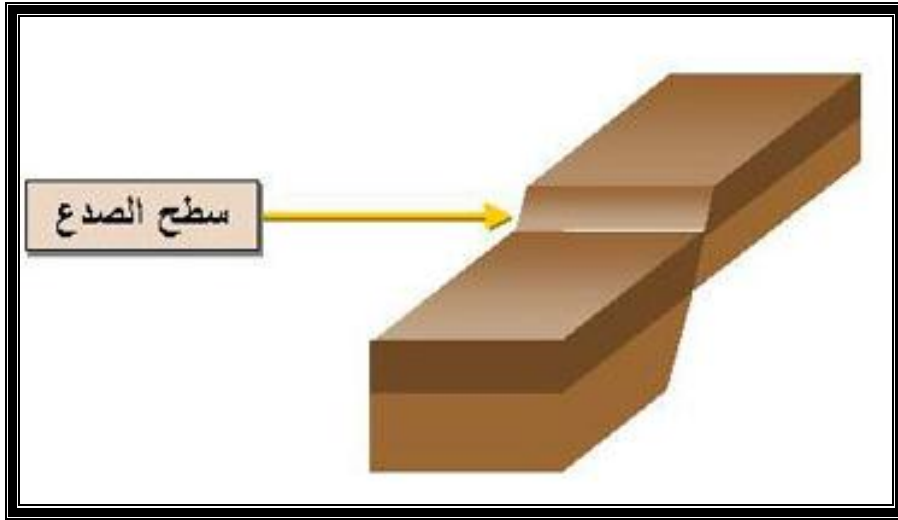
ينتج هذا النوع من الصدوع أساسا من عمليات شد الطبقات الصخرية ، أكثر من تكونها بفعل الضغط . ومن ثم قد يعرف باسم صدع الشد . ويتميز الصدع العادي بان اتجاه ميل الصدع يتفق مع اتجاه الرمية . وتتراوح زاوية سطح الصدع في هذه الحالة من (٤٥-٩٠) . ونتيجة لرمي الطبقات الى أسفل فان الحائط المعلق ينخفض منسوبة عن الحائط الأساسي أو الأسفل . انظر الشكل (٦) .

٢- الصدع العكسي.

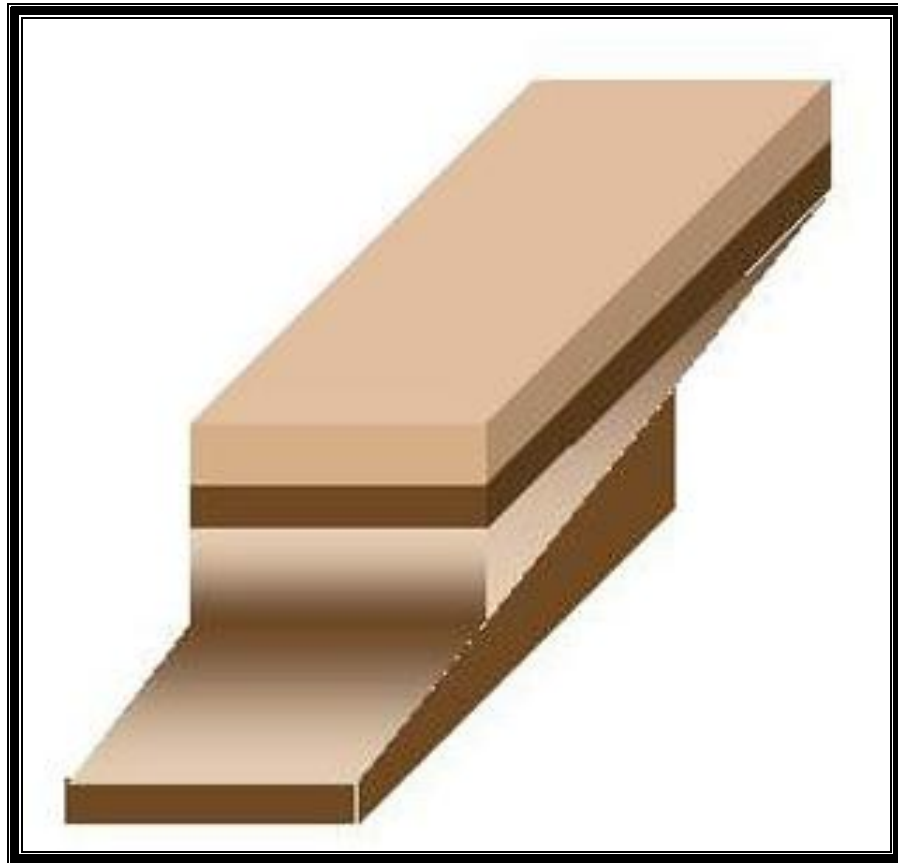
ينتج هذا النوع من الصدوع نتيجة لعمليات الضغط أكثر من عمليات الشد . ويتميز هذا النوع بان زاوية سطح الصدع حاد جدا . وتتراوح من المستوى الأفقي حتى زاوية قدرها (٤٥) درجة أو اقل . ومن ثم يصاحب هذا النوع من الصدوع مراحل تكوين التثنيات المحدبة النائمة أو المضطجعة ومن خصائص الصدع العكسي ان ميل سطح الصدع يكون عكس اتجاه الطبقات التي رميت الى أسفل . انظر الشكل (٧) .

٣- الصدع الأفقي أو الجانبي.

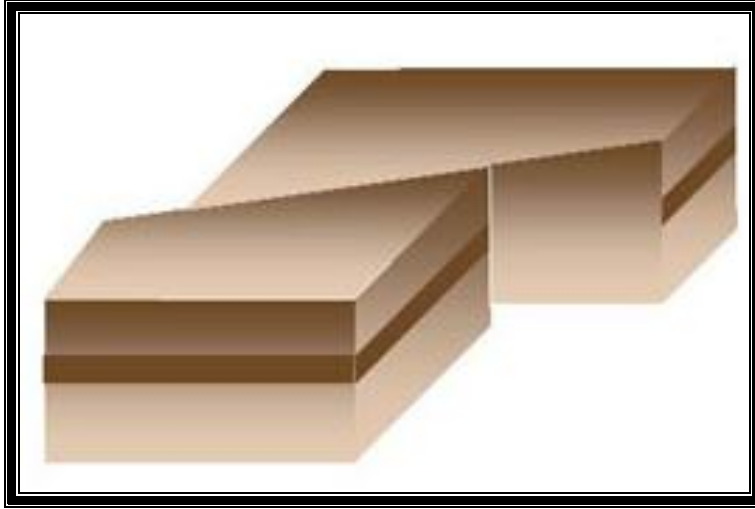
يتكون نتيجة لحركات شد الطبقات على طول اتجاه خط الظهور أو مضرب الطبقات . ومن ثم يطلق على هذا النوع من الصدوع اسم الصدوع الأفقية . وتصاحب الصدوع الأفقية التثنيات النائمة العظمى والمعروفة باسم النابية وفي هذه الحالة لا ترمى الطبقات الى أعلى أو الى أسفل بل تتزحزح على طول مضرب الطبقات انظر الشكل (٨) .



الشكل (٦) العادي البسيط .



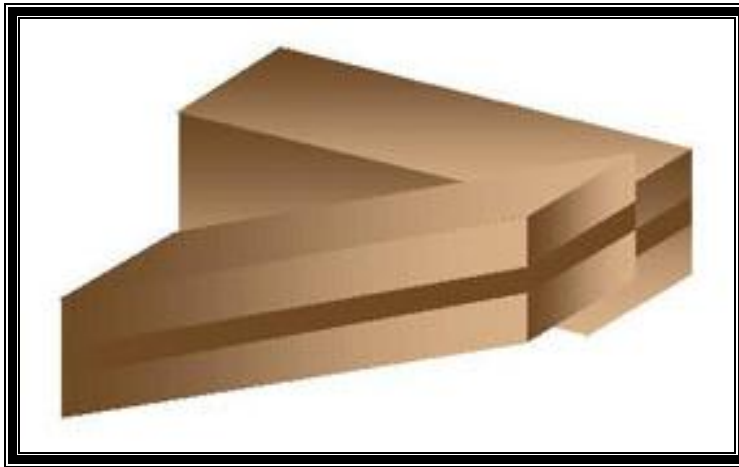
الشكل (٧) الصدع العكسي .



الشكل (٨) الصدع الأفقي أو الجانبي .

٤-الصدوع الدورانية.

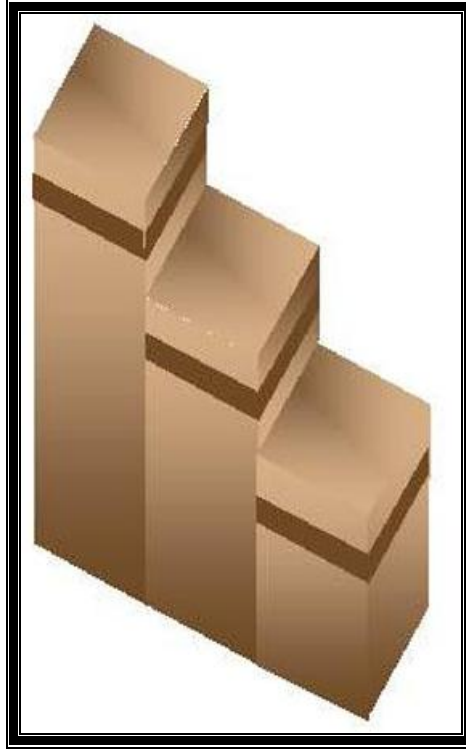
عند تأثر بعض الطبقات بالصدوع فقد تتأثر أجزاء من الطبقة برمتها الى أعلى وتهبط أجزاء أخرى منها الى أسفل ونتيجة لحدوث الصدوع وتزحزح الطبقات قد يؤدي ذلك الى تكرار حدوث الطبقة الواحدة أو اختفاء جزء منها . فإذا كان الصدع حدث على طول مضرب الطبقات فقد يؤدي ذلك إلى تكرار حدوث الطبقة الواحدة بالقرب من منطقة سطح الصدع . وفي بعض الأحيان الأخرى قد تختفي أجزاء من المنطقة الواحدة إذا رميت الطبقات الى أسفل في حالة الصدوع العكسية . وكثيرا ما تتكرر الطبقات كذلك على طول أسطح الصدوع الدورانية . انظر الشكل (٩) ، وفي حالة أذا قطع سطح الصدع للطبقات الصخرية في اتجاه مائل على ميل الطبقات وعلى أساس اختلاف أشكال مجموعات معينة متجاورة من الصدوع وتجاور عدة أسطح صدوع مع بعضهما البعض . أو أنها تكون جميعا ظاهرة بارزة على سطح الأرض . يمكن ان تميز مجموعات الصدوع المركبة الآتية :



الشكل (٩) الصدع الدوراني .

أ-الصدوع السلمية:

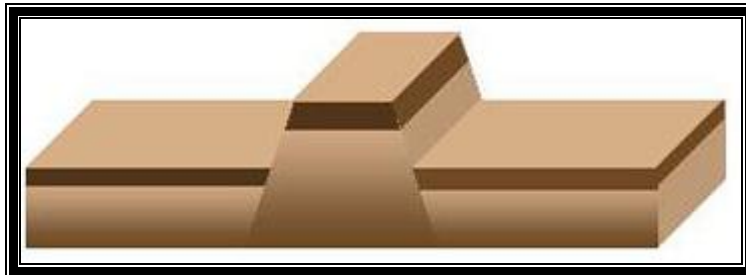
إذا كانت أسطح الصدوع العادية المتجاورة متوازية ورميتها في اتجاه واحد . فيؤدي ذلك الى رمي الطبقات الى أسفل على شكل مصاطب أو مدرجات سليمة متقلبة . ويطلق على مثل هذا النوع من الصدوع أسم الصدوع السلمية . انظر الشكل (١٠) .



الشكل (١٠) الصدوع السلمية .

ب-الصدوع المكونة للظهور الصدعية .

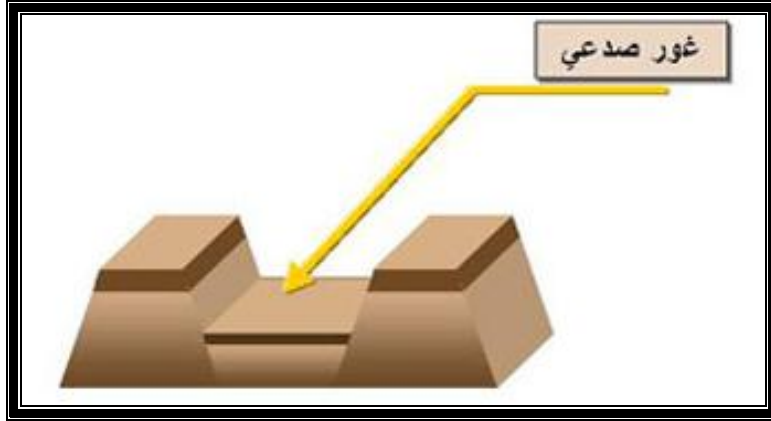
وهي عبارة عن صدوع مركبة تحدث في كتلة ضخمة من الطبقات الصخرية . وتؤدي الى رفع القسم الأوسط منها . وبروزه بمنسوب مرتفع فوق أجزاء سطح الأرض المجاوره . ويطلق على تلك الكتل الصخرية الصدعية البارزة اسم الظهر وتتميز الجوانب الحائطية للظهر الصدعي بشدة انحدارها وانصقال جوانبها . انظر الشكل (١١) .



الشكل (١١) الصدوع المكونة للظهور الصدعية .

ج-الصدوع المكونة للأغوار الصدعية .

تشبه الصدوع المكونة للظهور الصدعية لكن بدلا من أن يرتفع القسم الأوسط الى أعلى نجده في هذه الحالة يهبط الى أسفل مكونا منطقة حوضية صدعية . وترفع الطبقات الصخرية الأخرى الى أعلى على جانبي الحوض الصدعي . وأفضل مثال على هذا النوع هو الأخدود الأفريقي العظيم . (أبو العينين ، كوكب الارض ، ص ٢٢٢ - ٢٣٠) انظر الشكل (١٢) .



الشكل (١٢) الصدوع المكونة للأغوار الصدعية .

المبحث الثاني - الطيات .

مفهوم الطيات .

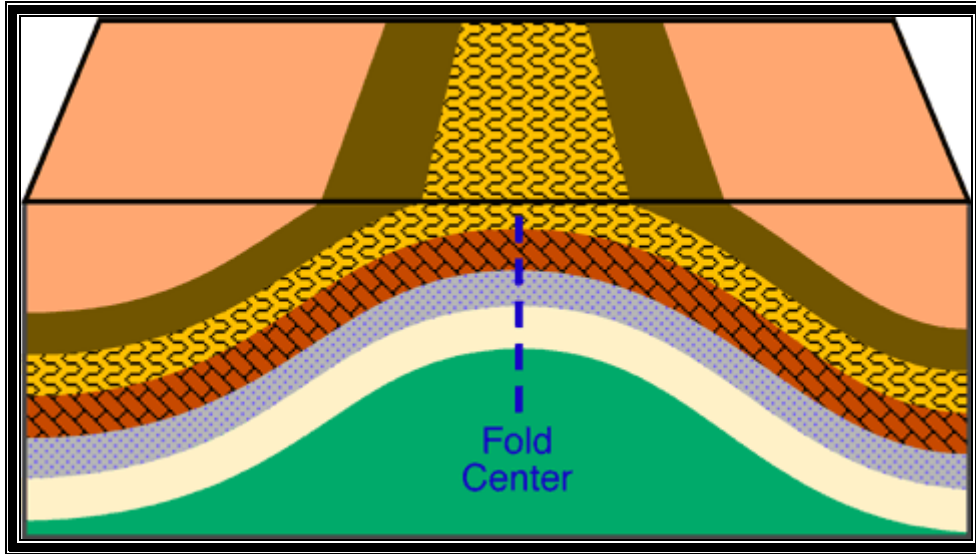
هي عبارة عن انثناءات في الصخور المكونة للقشرة الأرضية تتكون بسبب حركات أرضية ممثلة بضغط جانبي عمودي على اتجاه استتالة الطية وان انصب الصخور التي تستجيب لحركات الطي هي الطبقات الصخرية الحديثة العمر الجيولوجي والعظيمة السمك ، اما الطبقات الرسوبية والمتحولة ذات العمر الجيولوجي القديم من النادر أن تتأثر بحركات الطي تبعا لصلابة الطبقات الصخرية ، اما اذا تعرضت الى حركات الرفع التكتوني فأنها سوف تكثر فيها الصدوع والانكسارات .

الصفات الهندسية للطيات .

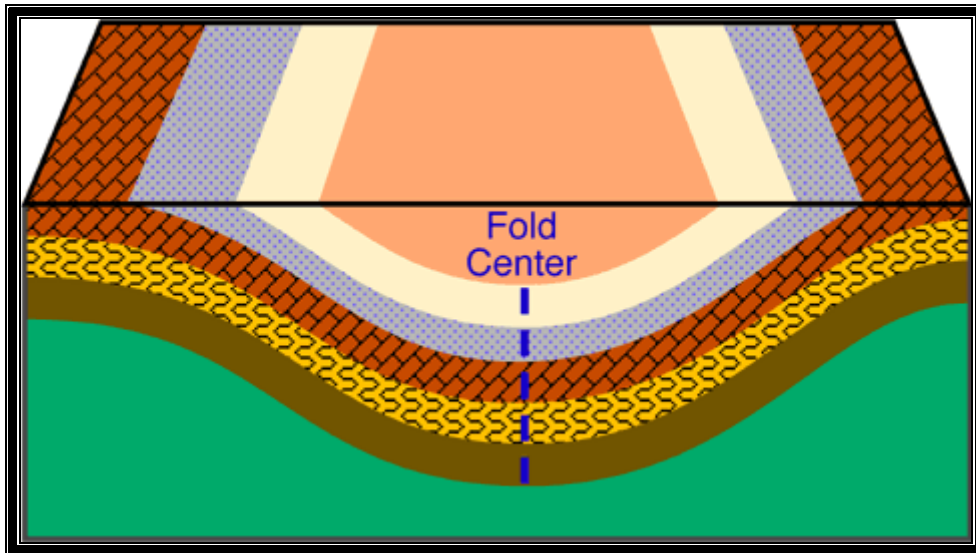
وتتميز الطيات بوجود عدد من الصفات الهندسية التي تميز كل من الطيات المحدبة والمقعرة ، اذ يتألف كل منها من عدة عناصر أو أجزاء ثابتة فعندما تنتهي الطبقات الصخرية على شكل طية محدبة يصبح لها جانبين تميل فيها الصخور في اتجاهين متضادين يطلق على كل منها اسم جانب الطية ، اما أعلى نقطة في الطية المحدبة والتي تعد بمثابة الحد الفاصل بين جانبي الطية فيعرف باسم قمة الطية بينما يطلق على الخط الذي ينصف الطية اسم محور الطية ، وليس من الضروري أن يكون المحور عموديا بل كثير ما يكون مائلا أو شبه أفقي ويطلق على الزاوية المحصورة بين هذا المستوى المائل (مستوى خط قمة الطية) والمستوى الأفقي للمحور من عند نقطة قمة الطية المحدبة اسم زاوية مستوى المحور . أن هذه الصفات الهندسية للطية المحدبة نفسها تنطبق على الطية المقعرة ، باستثناء قمة الطية التي اشرنا اليها في الطية المحدبة فأنها يطلق عليها هنا اسم قاع الطية المقعرة لتشير الى النقطة التي تمثل اقل منسوب لأسطح طبقات الطية المقعرة .

أنواع الطيات .

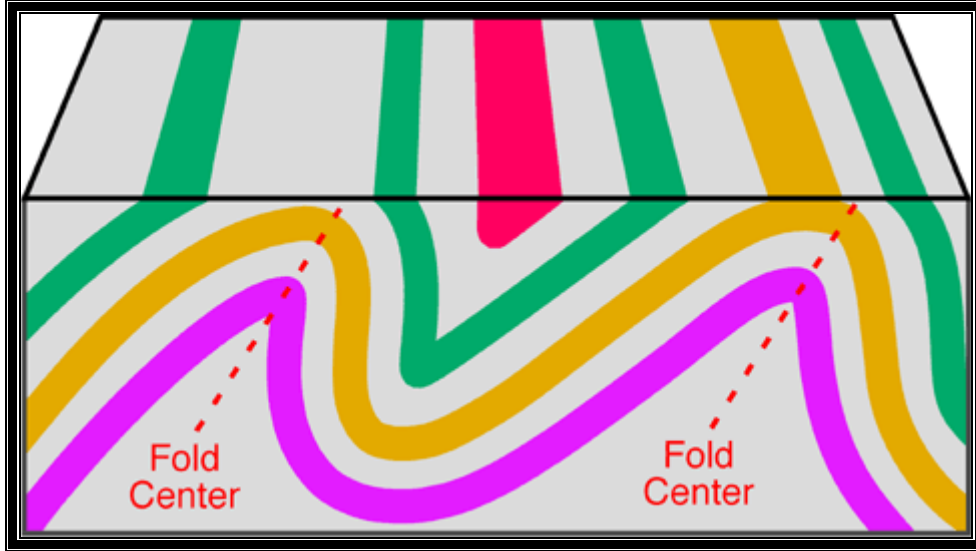
وبناء على تلك الصفات الهندسية للطيات قد نجد أنواع مختلفة من الطيات أخذت أسمائها من التغيير في الصفات الهندسية للطيات ، وبالأخص التغيير في ميل محور الطية . ويمكن أن نميز نوعان من الطيات هما الطيات المحدبة انظر الشكل (١٣) التي تتميز بان لها جناحين تمثل طبقاتهما في اتجاه واحد نحو الأسفل ، والطيات المقعرة التي تتميز أيضا بجناحين الا ان طبقاتها تميلان في اتجاهين متعاكسين . انظر الشكل (١٤) وهناك الطية غير الغاطسة وهي التي يكون فيها محور الطية أفقيا ، اما اذا كان هذا المحور مائلا فيطلق عليها اسم الطية الغاطسة ، ونجد أيضا الطيات المتماثلة التي يكون فيها ميل الطبقات في جانبي الطية له قيمة واحدة ويكون المستوى المحوري راسيا ، والطيات غير المتماثلة التي تتميز بان أجنحة الطية تميل بمقدارين مختلفين من الميل أي ان المستوى المحوري للطية يكون مائلا . انظر الشكل (١٥) وفي المناطق التي تعرضت لحركات التوائية .



الشكل (١٣) الطية المحدبة .



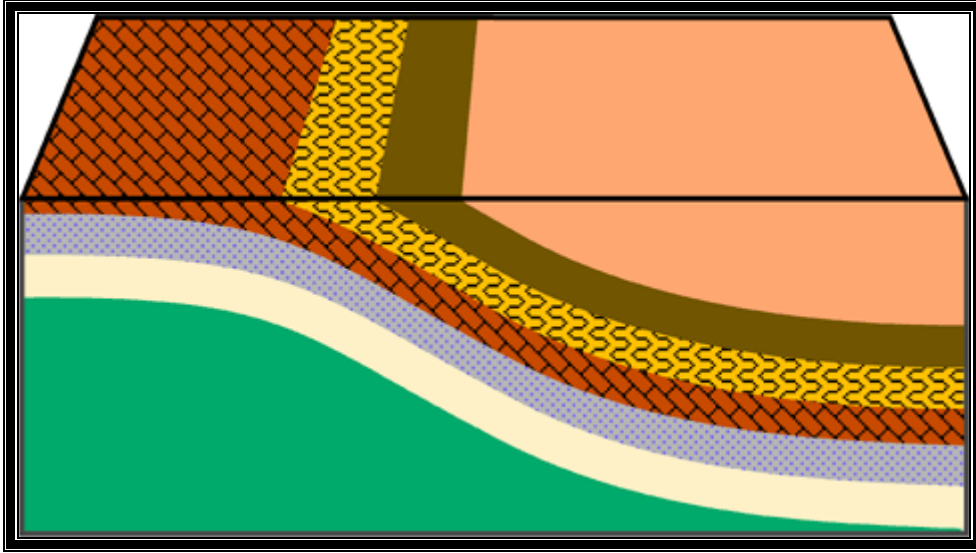
الشكل (١٤) الطية المقعرة .



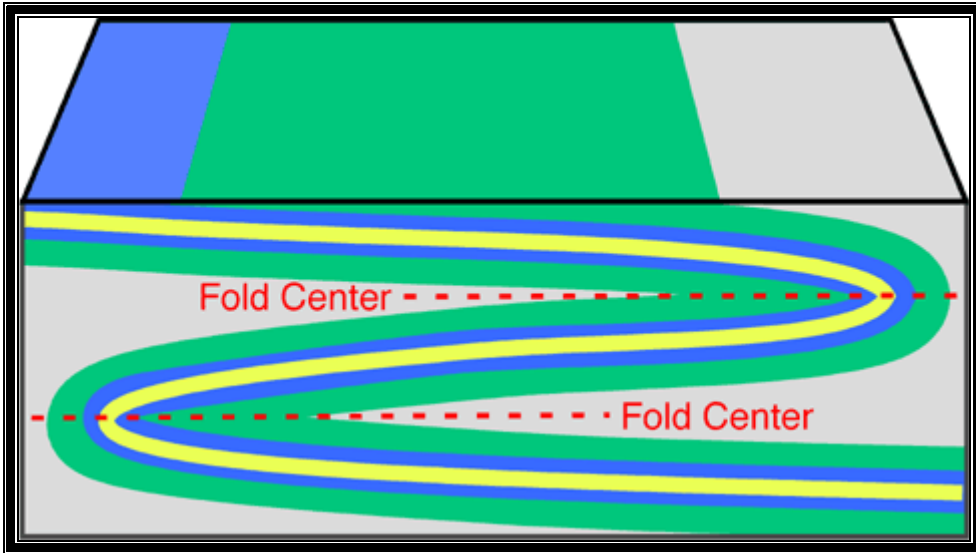
الشكل (١٥) الطيات غير المتماثلة .

وفي المناطق التي تعرضت لحركات التوائية شديدة نسبيا ، وبناء على تلك الصفات الهندسية للطيات قد نجد أنواع مختلفة من الطيات أخذت أسمائها من التغيير في الصفات الهندسية للطيات ، وبالأخص التغيير في ميل محور الطية فنجد الطية غير الغاطسة وهي التي يكون فيها محور الطية أفقيا ، أما إذا كان هذا المحور مائلا فيطلق عليها اسم الطية الغاطسة ، ونجد أيضا الطيات المتماثلة التي يكون فيها ميل الطبقات في جانبي الطية له قيمة واحدة ويكون المستوى المحوري راسيا ، والطيات غير المتماثلة التي تتميز بان أجنحة الطية تميل بمقاديرين مختلفين من الميل أي أن المستوى المحوري للطية يكون مائلا . وفي المناطق التي تعرضت لحركات التوائية شديدة نسبيا فان محور الطية في هذه الحالة يتميز بميله بنحو (٦٠) درجة اقل أو أكثر عن الخط العمودي لذلك يطلق على هذا النوع من الطيات اسم الطيات المقلوبة ، وتتكون محليا في بعض أجزاء المناطق الاستوائية بعض الطيات التي تتميز بوجود جانب واحد فقط واضح اما الجانب الآخر فيصبح غير واضح وتكاد تكون فيه الطبقات أفقية الميل لذلك يطلق عليها الطيات وحيدة الجانب ، انظر الشكل (١٦)

وعندما تكون درجة ميل المحور عن الخط العمودي يزيد أو يقل بنحو (٧٠-٨٠) درجة عن الزاوية القائمة فان الطية تكاد تكون مستلقية أو نائمة على غيرها من الطبقات الصخرية الأخرى لذا يطلق عليها اسم الطيات النائمة أو المضطجة أو المستلقية انظر الشكل (١٧) .



الشکل (١٦) طية أحادية الجانب .



الشکل (١٧) الطيات المستلقية أو المضطجة .

وهناك نوع آخر من الطيات تشبه الطيات النائمة يطلق عليها الطيات النائمة الصدعية وهي تحدث نتيجة لشدة ميل محور الثنية عن الخط العمودي مما يجعل الطبقات الصخرية تتعرض لحركات صدوع عظمى تتزحج خلالها الطبقات بشدة على طول أسطح الصدوع ، وبذلك يتكون هذا النوع من الطيات ، وقد تتكون أيضا مجموعات متجاورة من الطيات المحدبة تتفصل عن بعضها البعض بالثنيات المقعرة ، وتكون محاورها عمودية تماما وتتشابه جوانب الثنيات من حيث الشكل ومقدار زاوية ميل الطبقات ويكون شكلها هنا شبيه بالشكل الهرمي

ويطلق عليها اسم التنيات الملتوية ، أما إذا كانت محاور الطيات المحدبة المتجاورة موازية لبعضها البعض الآخر وتكون الطيات المحدبة مائلة عندئذ يطلق عليها اسم الطيات المتوازية .

وفي كثير من الأحيان لا توجد الطيات في الطبيعة منفردة بل تكون على هيئة سلاسل من الانتشاءات المتصلة تمتد في مناطق شاسعة مستطيلة الشكل يبلغ طولها آلاف الكيلومترات ، وعرضها بضع المئات من الكيلومترات ، وهذه مناطق السلاسل الجبلية التي يطلق عليها الجيولوجيين اسم القعائر العظمى حيث ثبت ان هذه الناطق كانت أغوارا ترسيبية تمتلئ بكميات كبيرة من الرسوبيات التي تعرضت لضغوط جانبية شديدة في فترة معينة من تاريخها الجيولوجي حتى أصبحت سلسلة جبلية مكونة من عدد كبير من الطيات المختلفة التي تكون شديدة التعقيد قرب قلب هذه الجبال وأكثر بساطة عند أطرافها .

المبحث الثالث

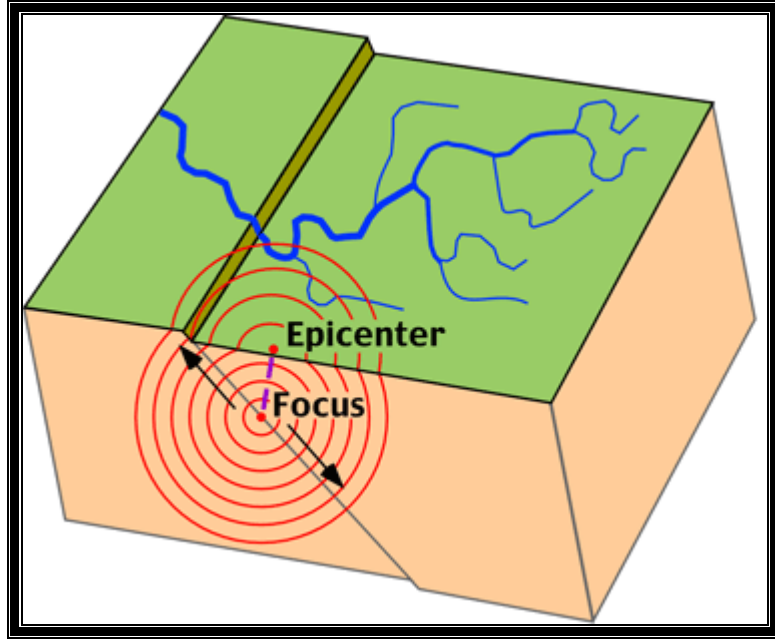
الزلازل واثرها في تشكيل سطح الارض

مفهوم الزلازل .

انّ الأرضَ نظامَ ديناميكي متطور وفي حركة مستمرة . وان الطبقة الخارجية الليثوسفير (lithosphere) تنقسم الى عدة ألواح قارية ومحيطية صغيرة وكبيرة وتتحرك بشكل مستمر أحدهما باتجاه الآخر . ونتيجة لهذه الحركة المستمرة قد ينتج تصادم بعض الألواح مع بعضها البعض ، أو ابتعادها عن بعضها ، أو انزلاق أحدهما تحت الآخر ، مما يترتب على كل حالة من تلك الحالات ضغط كبير على الصخور ، وعندما يتجاوز الضغط قوة تلك الصخور ، فان الصخور في هذه الحالة تتكسر وتعرض الى الإجهاد والتشوّء ، وإذا استمرّ الإجهاد يترتب عليه في النهاية تكسر على طول الانطقة الضعيفة التي تدعى الصدوع (faults) . هذا التكسر الذي تعرضت له الصخور والحركة الناتجة على طول الصدع تنتج موجات زلزالية تسجل كزلازل ، بعض هذه الموجات تنتقل بداخل الأرض مثل الموجات الأولية والثانوية ، بينما تنتقل الموجات الأكثر تعقيداً الأخرى على طول سطح الأرض . وهي الموجات السطحية التي تُنتج أغلب الضرر الى البنايات والتراكيب الأخرى . (Keller.1976. p 125) .

وعلى هذا الأساس فان الزلازل هي عبارة عن اهتزاز سطح الأرض بشكل مفاجيء نتيجة لتعرض الصخور الى التكسر والتمزق لتعرضها الى قوى ضغط وشد اكبر من قوتها وبالتالي تحدث حركة للصخور على نطاق التصدع ينتج عنها طاقة تتشعب بشكل سريع من البؤرة الزلزالية الى جميع الاتجاهات على شكل موجات يطلق عليها اسم الموجات الزلزالية ، (Lutgens) (Encyclopedia. 1982. p 19) ، (Tarbuck.p 212) وتشتت هذه الطاقة سريعا كلما ابتعدت المسافة عن البؤرة الزلزالية. والمقصود بالبؤرة الزلزالية Focus هي النقطة التي تبدأ منها الموجات الزلزالية بالانتشار في جميع الاتجاهات وتقع على بعد بضعة كيلومترات تحت سطح الأرض . أما البقعة الواقعة مباشرة فوق البؤرة الزلزالية والتي تصل إليها هذه الموجات فأنها تدعى بالمركز السطحي Epicenter . (Montgomery.1997.) انظر الشكل (١٨) ، وعلى أية حال ، فقد لا يكون بالضرورة وقوع المركز السطحي للزلزال فوق البؤرة الزلزالية مباشرة كما هو معتاد ، وهذا يحدث فقط عندما تكون الزلازل قد حدثت على عمق كبير جدا عن سطح الأرض .

ولأن أكثر الزلازل الطبيعية تبدأ فُرب حدود الألواح ، فان انتشارها يميل الى أن يكون خطا منحنيا بشكل مستمر على طول الانطقة التي سيحدث فيها معظم النشاط المترتب على حركة تلك الألواح . على أية حال ، يمكن أن تحدث زلازل كبيرة بعيدا عن حدود الألواح ، على سبيل المثال ، زلزال كارولاينا وجارلستون المدمر الذي حدث عام (١٨٨٦) ، وأودى بحياة (٦٠) شخص وسبب أضرار في الممتلكات قدرت بحدود ثلاثة وعشرون مليون دولار . (Keller.1976.p125) .



الشكل (١٨) يوضح البؤرة الزلزالية والمركز السطحي للزلازل .

أسباب حدوث الزلازل .

تنشأ الزلازل نتيجة للاضطرابات التي يتعرض لها باطن الأرض لأسباب عديدة منها طبيعية ، تتمثل بالصدوع ، والبراكين (أبو العينين ، كوكب الأرض ، ص ٢٤٢ - ٢٤٤) (البحيري ، ١٩٩٥ ، ص ٣٤٩) وأخرى بشرية ، تتمثل بالحمولة الكبيرة الناتجة عن السدود والخزانات التي أنشأها الإنسان لخرن موارد المياه ، (Keller.1976/p136) وكذلك التخلص من النفايات الكيماوية السائلة بواسطة الحفر العميقة التي نشطت نطاقات الصدع ، والقيام بالتفجيرات تحت سطح الأرض . (Foster.General Geology.p257) ، وسوف نتحدث عن تلك الأسباب بشكل مفصل وكالاتي :

أولاً - الأسباب الطبيعية .

تنشأ الزلازل نتيجة للاضطرابات التي يتعرض لها باطن الأرض لأسباب عديدة تتمثل بالصدوع والبراكين .

١- الصدوع Faults .

أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة الى ان أهم أسباب حدوث الزلازل يعزى لى تعرض صخور القشرة الأرضية الى التمدد والانكماش على حافات الحدود التي تفصل الألواح التي يتكون منها سطح الأرض ، فإذا ما استمر الضغط وأصبحت القوة اكبر من قوة تحمل الصخر فانه يتعرض الى التمزق والتكسر ، مما يؤدي الى تحرر طاقة تتحرك على شكل موجات يطلق عليها الموجات الزلزالية Seismic

Waves ، ان هذا التمزق في الصخور اذا ما صاحبتة حركة فانه يطلق عليه في هذه الحالة اسم الصدع . Fault

٢ - البراكين Volcanoes .

لقد كان الاعتقاد السائد من قبل الى ان النشاط البركاني يساهم في إحداث هزات أرضية كبيرة جدا ، ومما عزز هذا الرأي هو التشابه في المظهر بين التوزيع المكاني لكل منهما في الوقت الحاضر ، الا ان الدراسات الحديثة تشير الى عكس ذلك وتؤكد بعدم وجود علاقة بين هاتين الظاهرتين ، والدليل على ذلك فان حدوث الزلازل على طول حلقة النار في المحيط الهادي لا يرجع الى سبب النشاط البركاني ، وانما الى عدم الاستقرار الذي تتمتع به هذه المنطقة باعتبارها تمثل أهم مناطق الضعف الجيولوجي والتي تتميز بعدم الاستقرار لحد الآن ، وان ما حدث من زلازل رافقت النشاط البركاني كما هو الحال للزلازل الذي نتج عن بركان كاراكاتو في خليج سوندا بين جزيرتي سوندا وسومطرة عام ١٨٨٣ م ، والزلازل الذي نتج عن بركان مونالو وكيلويا في جزر الهاوي ، وكذلك الزلازل الذي نتج عن بركان بنداتي سان في اليابان عام ١٨٨٨ . إن هذه الزلازل نادرة الحدوث ومحدودة جدا ، ولم تحدث سوى هزات خفيفة سرت في مساحة محدودة لا تتعدى منطقة البركان نفسه ، وتتميز مراكزها الزلزالية بأنها قريبة من سطح الأرض . مما يدعوا البعض الى الاعتقاد بان النشاط البركاني ليس سببا رئيسيا للزلازل بل على العكس من ذلك قد تكون الزلازل سببا في حدوث النشاط البركاني (أبو العينين ، كوكب الأرض ، ١٩٧٦ ، ص ٢٤٢ - ٢٤٤) (البحيري ، ١٩٩٥ ، ص ٣٤٩) .

ثانيا - الأسباب البشرية .

لقد ساهم الإنسان بزيادة فعالية النشاط الزلزالي من خلال استخدامه السيئ للأرض بثلاث طرق هي :

أ - الحمولة الكبيرة .

لقد حدث بحدود (٦٠٠) هزة أرضية محلية خلال العشرة سنوات التي تلت اتمام سد هوفر في أريزونا ، وبحيرة ميد في نيفادا معظمها صغيرة ، ماعدا واحدة كانت بقوة (٥) درجات ، واثنان بقوة (٤) درجات وفق مقياس ريختر . وزادت أعداد الزلازل في كويينا Koyina في الهند بسبب خزان كبير وقد أعلن عن هذه الزلازل عام ١٩٦٧ وكانت بقوة (٦.٥) درجة وأدت الى مقتل حوالي ٢٠٠ شخص .

أما في زامبيا فقد حدث زلزال في بحيرة كاديبا الواقعة على نهر الزمبيزي وخزان كريما ستا Kremast Dam الذي وقعت فيه ألهمه بقوة(٦.٣) درجة والسبب في ذلك يعود الى الثقل الذي سببته المياه المخزونة في هذه الخزانات والتي سببت حركة فوق الصدوع القديمة . اضافة الى ارتفاع ضغط المياه في الصخور أسفل الخزانات .

٢- التخلص من النفايات .

أن حوادث عام ١٩٦٦ المثيرة أوحى الى أن التخلص من النفايات الكيماوية السائلة بواسطة الحفر العميقة نشطت نطاقات التصدع وسببت أكثر من ٦٠٠ زلزال في منطقة دنيفر وكولورادو للفترة من ابريل عام ١٩٦٢ الى نوفمبر عام ١٩٦٨ . وكانت هذه الزلازل بقوة (٤.٣) درجة وفق مقياس ريختر . أن الارتباط بين نسبة حقن النفايات وتكرار الزلازل أصبح معروفا فعندما يتوقف الحقن تتوقف الزلازل .

٣ - التفجيرات .

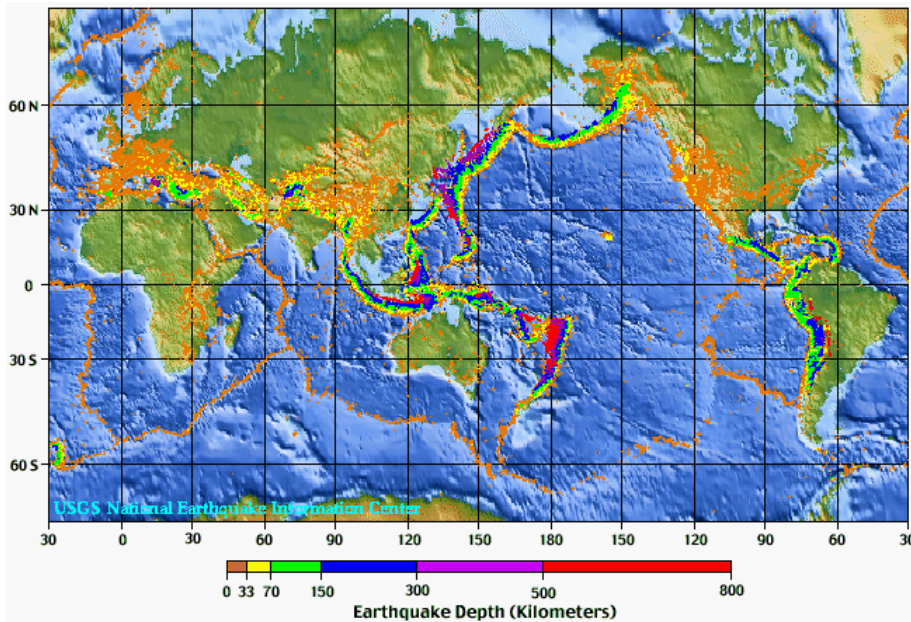
أن القيام بالتفجيرات تحت سطح الأرض لاختبار موقع نيفادا قد أحدثت العديد من الزلازل . وبعد عملية الانفجار الذي وقع تحت السطح بقوة (١.١) ميكا طن سجلت الأجهزة آلاف الهزات الارتدادية . وان عمق هذه الهزات كان بحدود ((٧كم) تحت السطح وبقوة لا تتجاوز (٥) درجات وفق مقياس ريختر .

أعماق الزلازل

لاحظ العلماء من خلال حساباتهم العديدة للأعماق التي تقع عليها المراكز البؤرية للزلازل بان هناك

ثلاثة أنواع من الزلازل حسب العمق وهي كالآتي:

- ١- الزلازل الضحلة وتنشأ عند أعماق لا تزيد على ٦٠ كم .
- ٢- الزلازل المتوسطة العمق وتنشأ عن أعماق تتراوح بين (٦٠-٣٠٠) كم.
- ٣- الزلازل العميقة وتنشأ عند أعماق تتراوح بين (٣٠٠-٨٠٠) كم.



أنواع الموجات الزلزالية.

١- الموجات الأولية Primary Waves

وهي موجات تضاغطية تنتقل خلال المادة تتضغط وتمتد بالتعاقب وكثيرا ما تنتقل خلال الأرض مثل انتقال الموجات الصوتية خلال الهواء ، وهي موجات سريعة جدا وهي أول من يصل الى آلات الرصد الزلزالية وذذببتها قصيرة وتتراوح سرعتها بين (٥.٥ الى ١٣.٨) كم/ثانية .

٢- الموجات الثانوية Secondary Waves

وهي موجات اهتزازية أبطأ سرعة من الموجات الأولية . ومن ثم تصل بعدها مباشرة الى محطات تسجيل الزلازل وتتخذ شكل ذبذباتها اتجاه عمودي على طول امتداد خط التسجيل والذي يتفق معه انتشار الموجات الأولية . وتتراوح سرعة الموجات الثانوية بين (٣.٢ - ٧.٣) كم/ثانية.

٣- الموجات السطحية Surface Waves

وهي موجات مستعرضة تخترق الطبقات الصخرية العليا لقشرة الأرض وتنتشر أساسا من المركز السطحي للزلزال وحيث أن قشرة الأرض غير متجانسة وقليلة الكثافة . فان الموجات الزلزالية فيها تنكسر الى أعلى والى أسفل وتسير في مجال متعرج Zigzag Path ومن ثم تصل الى محطات التسجيل في وقت متأخر عن غيرها من الموجات الزلزالية الأخرى . وتتراوح سرعة هذه الموجات بين (٤_٤.٤) كم /ثانية . ولما كانت كل من الموجات الأولية والثانوية للزلزال تنتشر في الطبقات الصخرية السفلى لقشرة الأرض أو باطن الأرض فان أسباب التدمير والتحطيم للمنشآت العمرانية بفعل الزلازل يعزى أساسا الى انتشار الموجات الطولية التي تنتشر من المركز السطحي للزلزال .

تسجيل الزلازل .

بدأ بتسجيل ورصد الزلازل منذ عام ١٨٤٦ باستعمال جهاز قياس الزلازل المسمى السيسموجراف Seismograph ويستطيع هذا الجهاز تسجيل بداية حدوث الزلزال ، ومدته ، ووقت انتهائه ، وشدة الزلزال (أبو العينين ، كوكب الأرض ، ١٩٧٦ ، ص ٢٤٤ - ٢٤٥) .

صنف ماركلي Marcalli قوة الزلازل الى عشر درجات مختلفة . ثم عدل الأستاذ هولمز A.Holmes هذا التصنيف الى اثنتا عشر درجة تتلخص بالجدول (٤) وهذا التصنيف هو تصنيف وصفي لأنه يصف كثافة الزلزال فقط ، ونقاس الكثافة بتأثيرات الزلازل على الإنسان ، ومظاهر السطح ، ولا توجد خصائص فريدة لقياس كثافة الزلزال ، ولا تعريف دقيق مبني على أساس كمي . ونتيجة لتطافر عوامل عديدة مثل الظروف الجيولوجية المحلية ، ونوعية المنشآت ، والمسافة من المركز السطحي ، قد تنتج تأثيرات عديدة بشدة مختلفة ، وفي أماكن مختلفة ، ان الكثافة الى حد ما تقاس بشكل غير موضوعي يعتمد على الملاحظة المباشرة وبشكل فردي ، وان اختلاف الملاحظات في نفس النقطة ربما يعزى الى اختلاف قيمة الكثافة للزلزال الفردية . (Montgomery. 1997)

ويتم قياس قوة الزلازل بمقياس رقمي آخر يطلق عليه اسم مقياس ريختر (Richter scale) انظر جدول (٥) وهو اسم عالم فيزياء الأرض Charless.F.Richter الذي قام بتطوير هذا المقياس ، أن هذا المقياس هو مقياس لوغاريتمي والذي يعني بان الزلزال الذي يكون بقوة (٤) تسبب حركة الأرض عشر مرات تقريبا أكثر من زلزال بقوة (٣) وأكثر من مائة مرة من زلزال بقوة (٢) وهكذا . اما مقدار الطاقة المتحررة فانها ترتفع سريعا وبشكل طردي مع ارتفاع المقدار بمعامل يصل الى (٣٠) مرة لكل وحدة من وحدات المقدار ، ففي الزلزال الذي يكون بمقدار (٤) ترتفع ثلاثين مرة أكثر من الطاقة في زلزال بقوة (٣) وأكثر من (٩٠٠) مرة من الزلزال الذي يكون بمقدار (٢) . (Montgomery. 1997) .

جدول (٣) الزلازل حسب مقياس ما ركلي .

القوة	درجة الاهتزاز	مظاهر التأثير
١	بالغة الضعف	لا يحس بها إلا آلات التسجيل الزلزالية.
٢	ضعيفة جدا	لا يشعر بها سوى سكان الطوابق العلوية من المباني .
٣	ضعيفة	لا يشعر بها إلا عدد قليل من الناس .
٤	متوسطة	يشعر بها معظم الناس في المباني ، وبعض سكان الأدوار الأرضية وهي لا تثير الخوف ، وتسبب اهتزاز النوافذ ، والأبواب ، وتذبذب الأشياء المعلقة قليلا .
٥	محسوسة	يشعر بها كل من في المنازل ، وبعض من في خارجها ، وتوقظ النائمين ، وتثير الخوف عند بعض الناس ، تغلق وتفتح الأبواب بسببها ، وتهتز الأشياء المعلقة بشدة .
٦	قوية	يشعر بها كل من في داخل المباني ، ويندفع الكثير منهم الى الشوارع فرعين ، وتسقط الأشياء من على الرفوف في المنازل ، وتحدث شروخ في طلاء الجدران ، وتسبب تلفا طفيفا في المنازل الصغيرة .
٧	عنيفة	تثير الخوف والرعب ، يشعر بها من في المنازل ومن في خارجها ، يندفع الناس الى الشوارع في رعب ، وتدق بسببها أجراس الكنائس ، وتحدث بعض الأضرار لكثير من المباني .
٨	مخرية	تثير الرعب ، تحدث أضرار متوسطة في المباني ، تخرب بعض المنازل ، لا ينجم عنها خسائر في الأرواح ، ولكنها تؤذي بعض الناس .
٩	مدمرة	تتحطم بعض المباني بشكل كامل ، وكثير منها يتعرض الى تخريب شديد ، يلقي قليل من الناس مصرعهم .
١٠	شديدة التدمير	كثير من المباني تتحطم عن آخرها ، يصرع العديد من الناس ، تظهر بعض الشقوق في قشرة الأرض ، تبدأ عمليات الانزلاقات الأرضية في المرتفعات .
١١	بالغة التدمير	تتحطم المباني الحجرية عن آخرها ، تلتوي الأعمدة الحديدية ، تتحطم السدود والقناطر ، تظهر شقوق متسعة في الأرض ، يحدث الكثير من الانهيارات الأرضية .
١٢	شاذة التدمير مفاجئة	تتحطم جميع المباني بلا استثناء ، تتشقق الأرض ، يحدث انتقال موضعي للطبقات الصخرية أفقيا او راسيا ، تهبط السواحل وتغوص أجزاء منها في مياه البحر.

جدول (٤) الزلازل التي تتعرض لها القشرة الأرضية في كل عام حسب مقياس ريختر

تأثيره على المناطق السكنية	عدد الزلازل في العام	قوة الزلزال
لا يشعر به إلا السيسموجراف	٨٠٠٠٠٠	أقل من ٣.٤ .
يشعر به بعض الناس	٣٠٠٠٠	٣.٥ - ٤.٣
يشعر به الكثير من الناس	٤٨٠٠	٤.٣ - ٤.٨
يشعر به الجميع	١٤٠٠	٤.٩ - ٥.٤
بعض التلف في المباني	٥٠٠	٥.٥ - ٦.١
يحدث تلف كبير في المباني	١٠٠	٦.٢ - ٦.٩
تلف في المباني ، تشقق الجدران ، اعوجاج الكباري	١٥	٧ - ٧.٣
دمار عظيم ، انهيار في المباني	-	٧.٤ - ٧.٩
دمار عام ومطلق	زلزال كل (٥) او (١٠) أعوام	أكثر ٨

عدنان باقر النقاش ، ومهدي محمد علي الصحاف ، الجيومورفوجي ، بغداد ، ١٩٩٠ .

التوزيع المكاني للزلازل .

من الملاحظ بان مناطق الكتل الصلبة القديمة ، مثل كندا ، والرصيف الروسي ، واللوح العربي ، وشمال أفريقيا ، كلها تعد بقاع قليلة التأثر بالنشاط الزلزالي . بينما ينتشر النشاط الزلزالي على طول حدود الألواح التي تتكون منها القشرة الأرضية ، إذ توجد البراكين ، وحافات الجبال الحديثة ، الخنادق البحرية العميقة ، كذلك فان الأجزاء المفتوحة من القارات ، وقاع البحار تعد أقاليم مناسبة لأعداد قليلة من الزلازل ، وتمثل الأقاليم الرئيسية التي تحدث فيها الزلازل في المناطق الآتية :

١ - حلقة النار Ring Fire .

وهي منطقة دائرية تحيط بالمحيط الهادي ، وتحدث فيها أكثر من نصف الزلازل في العالم . ومن المعتقد بان وجود الأخاديد البحرية العميقة الى جوار السلاسل الجبلية الشاهقة هو السبب في الضعف الذي تعاني منه القشرة الأرضية في هذه المنطقة مما يؤدي الى استمرار الحركة . وتشكل نسبة (٦٨ %) من مجمل الزلازل في العالم .

٢ - منطقة حلقة ليبي .

وهي عبارة عن نطاق عرضي يطوق الكرة الأرضية من الشرق الى الغرب ، ويبدأ من أمريكا الوسطى فاصلا بين قارتي أمريكا الجنوبية ، وأمريكا الشمالية ، ثم يتجه شرقا مخترقا المحيط الأطلسي ، ثم يمتد بعد ذلك في اليابس الاوراسي على شكل شريط عريض يرتبط امتداده بامتداد الجبال الالتوائية في قارتي أوروبا ، واسيا ، متمثلة في جبال البرانس ، الألب ، الكربات ، القوقاز ، الهيمالايا ، ومنها الى الجنوب الشرقي في أرخبيل جزر اندونيسيا . ومما تجدر ملاحظته ان مناطق الضعف بهذا النطاق تتضح على طول خطوط التقاء هذه الجبال الحديثة بكتل الهضاب القديمة ، وتجعل المنطقة ابعد ما تكون عن الاستقرار والثبات ، فقد تكرر تعرضها للزلازل على مدا الأزمنة . وتشكل نسبة (٢١ %) من مجمل الزلازل التي تحدث في العالم .

٣ - وسط المحيط الأطلسي .

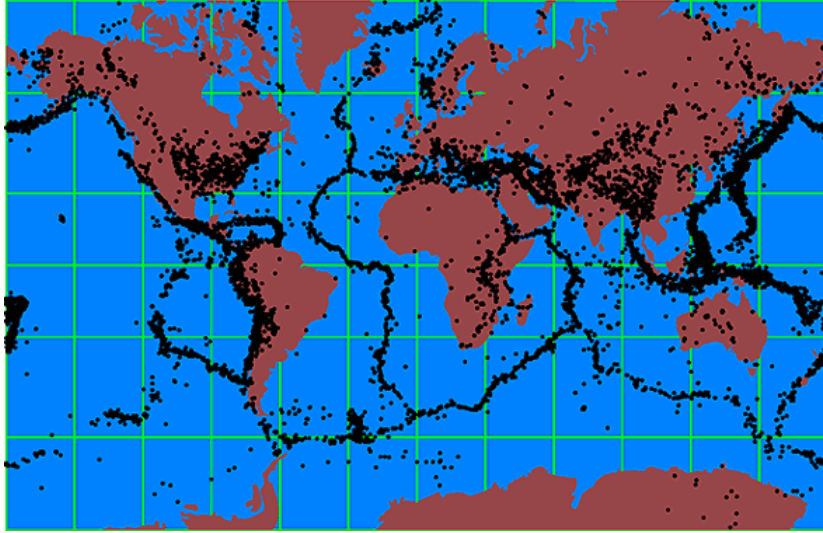
يتمثل هذا النطاق في الضعف القشري في المحيط الأطلسي الذي يمتد على شكل نطاق طولي من شمال جزيرة ايسلند الى الطرف الجنوبي من المحيط الأطلسي على طول الحدود البناءة .

٤ - منطقة شرق أفريقيا وجنوب غرب آسيا .

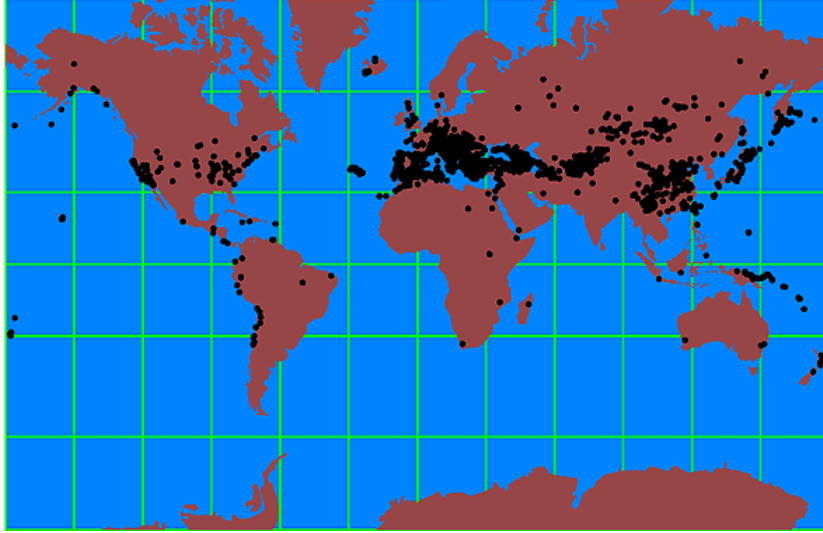
إن هذه المنطقة ترتبط بنطاق ضعف عظيم في قشرة الأرض ، يمثلها أخدود كبير يمتد من الشمال الى الجنوب ، يبدأ في وادي البقاع في لبنان بين جبال الأنصارية في الغرب ، وجبال لبنان الداخلية في الشرق ، ثم يتجه الأخدود جنوبا ليظهر في فلسطين في بحيرة طبرية ، وغور الأردن ، البحر الميت ، وادي عربة ، ثم يستمر الأخدود جنوبا في خليج العقبة ، والبحر الأحمر ويمتد حتى مضيق عدن ، بعد ذلك يغير الأخدود اتجاهه الى الجنوب الغربي ويتفرع إلى شعبتين :

أ - الشعبة الأولى تمر من خلال بحيرتي رودولف ، ونيفاشا ، ومنها الى الشرق من هضبة البحيرات .

ب - الشعبة تتمثل بمجموعة بحيرات ألبرت ، وادوارد ، وتتجانيا ، ونياسا ، وقد تكون هذا الأخدود على طول خطوط التصدع . (البحيري ، ١٩٩٥ ، ص ٣٥١ - ٣٥٢) .



خارطة (١٤) التوزيع الجغرافي للزلازل التي قوتها اقل من (٥) درجة حسب مقياس ريختر .



خارطة (١٥) التوزيع الجغرافي للزلازل التي قوتها أكثر من (٧) درجة حسب مقياس ريختر

المبحث الرابع

البراكين واثرها في تشكيل سطح الارض .

بعد النشاط البركاني في العالم من العمليات النادرة جدا والتي تؤثر عادة على المناطق السكنية بشكل متباعد . على أية حال الانفجارات البركانية يمكن أن تكون مدمرة بشكل هائل وإذا ما حدث مثل هذا النشاط قرب منطقة سكنية كثيفة فان كارثة النسب الغير مسموح بها يكون قد سجل (Keller.1976.p151) .

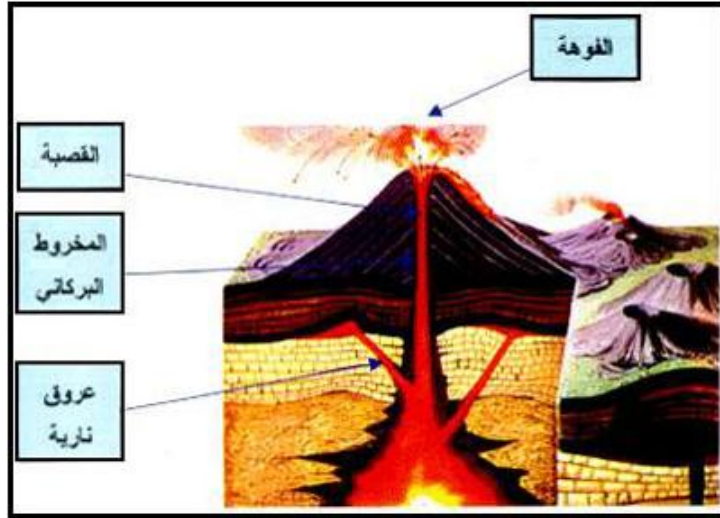
مفهوم البركان .

والبركان هو عبارة عن جبل مخروطي الشكل يقع في قمته تجويف يسمى فوهة تتبثق منها على فترات غازات وكتل صخرية وقذائف وحمم ومواد منصهرة تعرف باللافا . أن هذا التعريف لا ينطبق على كل البراكين ذلك لان بعض البراكين تتبثق من شقوق طولية تنتج عنها هضاب واسعة وعلى هذا الأساس يكون تعريف البركان بأنه عبارة عن فتحات أو مخارج في القشرة الأرضية تسمح للمواد المصهورة والغازات المحبوسة في جوف الأرض بالخروج الى سطحها . ويكون صعود هذه المواد مصحوبا بانفجار شديد في بعض الأحيان يكون سببه الغازات المحبوسة في باطن الأرض فتندفع عندما يخف الضغط عليها وتحطم كل ما في طريقها وتقذفها الى مسافات بعيدة (أبو عيانة وابو راضي ، ١٩٩٩ ، ص ١٢٦ - ١٣١) (الجوهري ، ١٩٩٩ ، ص ١٢٥ - ١٣٢) انظر الصورة (٢٦) .

مكونات البركان .

يتكون البركان من ثلاثة أجزاء رئيسية هي :

- ١ - الفوهة Crater وهي الفتحة العليا التي تتبثق منها الحمم والغازات .
- ٢ - القصبة او العنق Neck وهي عبارة عن تجويف اسطواني يخترق القشرة الأرضية ويصل جوف الأرض بالسطح ، وينتهي عند الفوهة ، ومنه تمر المواد المصهورة أثناء صعودها الى الأرض .
- ٣ - المخروط Cone وهو عبارة عن الشكل الذي يتكون منه جسم البركان ، ويتكون في الغالب من المواد المصهورة بعد تراكمها بالقرب من الفوهة . مع ملاحظة مهمة وهي بان هذه الأجزاء لا تنطبق على البراكين الشقية او الطولية وإنما تنطبق على البراكين المركبة فقط .



صورة (٢٦) أجزاء البركان

أسباب النشاط البركاني .

أما أسباب النشاط البركاني فأنها تتعلق بتكتونية الألواح وان أكثر البراكين النشطة تحدد قرب النقاء الألواح حيث ألكما تنتج كما لو يكون انتشار أو هبوط تفاعل ألواح الليثوسفير مع مواد الأرض الأخرى . وكذلك تحدث البراكين نتيجة للاختلافات الطبيعية والكيمائية ونشاط المواد المشعة في باطن الأرض . وأحيانا يكون النشاط الزلزالي سببا من أسباب حدوث النشاط البركاني .

أنواع المقذوفات البركانية .

تشتمل المواد المنبثقة من أفواه البراكين على ثلاثة أنواع من المقذوفات البركانية هي :

١ - الأجسام الصلبة .

وقد تتباين هذه المقذوفات من حيث الحجم ، فمنها ما يكون عبارة عن مقذوفات بركانية كبيرة الحجم يطلق عليها اسم القنابل البركانية Bombs وتكون على الأغلب بيضاوية الشكل ، يكون متوسط حجمها بقدر حجم جوزة الهند أو تكون على هيئة حصى بركاني صغير لا يتجاوز قطره نصف سنتيمتر ، وقد يزيد في الحجم قليلا حتى يصل الى (٤) سنتيمتر ، ومنها ما يكون على شكل مقذوفات دقيقة جدا تتمثل في الرماد البركاني أو الغبار البركاني الذي تحمله الرياح الى مسافات بعيدة قبل ان يترسب . (Press& Siever . 1974.p553).

٢ - الغازات والأبخرة .

يرافق خروج الطفوح البركانية بنوعها الصلبة والسائلة كميات كبيرة من بخار الماء والغازات تقدر بنحو (٥ %) من حجم تلك الطفوح البركانية ، في حين تتراوح نسبة بخار الماء بين (٦٠ - ٩٠ %) من جملة الغازات التي تنبثق من الفوهات البركانية . وتتمثل النسبة الباقية الأخرى من مجموعة من الغازات أهمها ثاني اوكسيد الكربون ، والنترجين ، وغازات أحماض الهيدروليك ، والكبريتيك ، والنشادر . وتتراوح درجة حرارة تلك الغازات أثناء انبثاقها من فوهات البراكين من (١٠٠ - ٥٠٠) درجة مئوية ، ولا يقتصر خروج الغازات من

فوهات البراكين أثناء حدوث الثورانات البركانية فقط ، وانما ينبعث من البراكين الساكنة كميات كبيرة من الأبخرة والغازات دون ان يصاحبها انبثاق اللافا الى خارج السطح .

تساعد الغازات الذائبة في مواد الطفوح البركانية Lavas على تقليل كثافتها ، وسهولة تحركها وانسيابها فوق سطح الأرض ، وقد لوحظ بان مواد الطفوح البركانية التي لا تزال تحتوي على بعض الغازات فيها يمكن ان تتبثق من باطن الأرض ، وتنساب فوق سطح الأرض حتى إذا انخفضت درجة حرارتها الى (٦٠٠) درجة مئوية ، اما إذا تسربت الغازات من تلك المواد المشار اليها فيؤدي ذلك الى عظم لزوجة اللافا ، وشدة تماسكها ، وتكتلها ، وسرعان ما تتجمد بعد خروجها من الفوهات البركانية بأيام قليلة .

٣ - المواد السائلة .

وهي عبارة عن صخور منصهرة تخرج من حجرة الصهير وتسمى بالطفوح البركانية Lava عند خروجها على سطح الأرض ، أما في حالة عدم خروج هذه المصهورات البركانية وانحباسها في باطن القشرة الأرضية ، ولم تتعرض الى البرودة السريعة فيطلق عليها اسم الماكما Magma ، ويكمن تقسيم الطفوح البركانية الى نوعين :

أ - الطفوح الحامضية Acid Lava .

وهي عبارة عن صخور نارية ذائبة ترتفع فيها نسبة السليكا ، ولذا فانها تتصلب بسرعة اذا ما اقتربت من سطح الأرض ، ونظرا لسرعة تصلبها فانا لا تتساق الا لمسافات قصيرة حول الفوهة ، وبالتالي يترتب عليها تكوين المخروطات البركانية التي تتباين في ارتفاعاتها وشدة انحدار جوانبها . انظر الصورة (٢٧) .

ب - الطفوح القاعدية Basic Lava .

وهي عبارة عن صخور نارية منصهرة أيضا ، الا ان نسبة السليكا فيها اقل من النوع السابق ، لذا تبقى في حالة انصهار مدة أطول مما يساعد على جريانها فوق سطح الأرض ، وبالتالي انتشارها على مساحات واسعة قبل ان تتصلب وتتجمد ، مما يترتب على ذلك ان تكون المخاريط الناتجة عن ذلك اقل ارتفاعا وجوانبها الطف انحدارا من مخاريط الطفوح الحامضية ، وتكون الهضاب خير مثال على الأشكال الأرضية الناتجة عنها . انظر الصورة (٢٨) .



الصورة (٢٧) انفجار بركان جبل سانت هيلانه في ١٨ - ٥ - ١٩٨٠ .



الصورة (٢٨) تدفق اللافا البازلتية القليلة اللزوجة من البراكين النشطة في جزر الهاواي

تصنيف البراكين حسب النشاط .

تصنف البراكين حسب نوع النشاط الى ثلاثة أصناف هي :

١ - نشيط **Active** .

وهو البركان الذي انفجر خلال التاريخ الحديث ، ويوجد من هذا النوع أكثر من (٥٠٠) بركان في الوقت الحاضر على سطح الأرض .

٢ - خامل **Dormant**

وهو البركان الذي لم ينفجر حديثا ، ولكن يبدو حديث من حيث المظهر ولم يتآكل جدا او بالي الى الأسفل ، ويوجد من هذا النوع أكثر من (٤٠٠٠) بركان.

٣ - خامد (منقرض) Extinct .

وهو البركان الذي لم ينفجر خلال التاريخ الحديث ، ويظهر متأكل بشكل كبير جدا ، فانه في هذه الحالة يعد منقرض ومن غير المحتمل جدا ان ينفجر مرة ثانية .

ولسوء الحظ لا توجد قاعدة دقيقة لتحديد بركان معين الى صنف واحد او أكثر من هذه الأصناف المذكورة أنفا ، اذ ان البراكين تختلف على نحو واسع في أنماط نشاطاتها العادية ، واعتمادا على الدراسات الإحصائية فان البركان المثالي ينفجر مرة واحدة كل (٢٢٠) سنة ، اما البراكين التي تنفجر مرة واحدة كل ألف سنة فان نسبتها تشكل بحدود (٢٠ %) ، كما ان صفة الهدوء الطويل للبركان ليس ضمان للانقراض ، كما ان المعرفة الدقيقة للأسلوب الانفجاري للبركان في الماضي يسمح بتوقع أنواع من المخاطر المحتملة من الانفجارات في المستقبل لهذا النوع ، لذا فان معرفة التاريخ الانفجاري لأي بركان منقرض يكون حاسم لمعرفة كيف يكون نشاطه المحتمل في المستقبل .

ان البراكين الخاملة ربما تصبح نشطة بأي وقت ، وهكذا ، ومن حيث المبدأ ينبغي ان يوضع تحت المراقبة هذا النوع من البراكين ، اذ يمكن ان يصبح البركان الخامل نشط وسريع جدا ، ومن الناحية النظرية فان البراكين الخاملة (المنقرضة) يمكن ان تهمل بسلامة ، ولكن مع هذا الافتراض يجب ان نميز بين البركان الخامل من البركان الخامد (المنقرض) لمدة طويلة ، وعلى سبيل المثال فان بركان فيزوف كان قد اعتبر بركان منقرض حتى حطم مدينتي بومبي Pompeii و هاركلايوم Herculaneum في منطقة نابلي في ايطاليا في عام ٧٩ قبل الميلاد ، كذلك فان بركان بيناتيويو قد صنف ضمن البراكين الخاملة ، اذ انه لم ينفجر لمدة تصل الى أكثر من (٤٠٠) سنة حتى انفجر عام ١٩٩١ ، (Montgomery.1997.p112)

تصنيف البراكين حسب الشكل .

تصنف البراكين حسب الشكل الى الأنواع التالية :

البراكين الدرعية Shield Volcanoes .

يعد هذا النوع من اكبر البراكين التي تتميز بنشاط غير انفجاري وتنتج من ماكما ذات محتوى منخفض من السليكا يقدر بحدود (٥٠%) ، (Keller.1976.p153) وتتميز بأنها شديدة الحرارة ، وعظيمة السيولة وتنتشر فوق مساحات واسعة على شكل أشرطة أو طبقات رقيقة تكاد تكون أفقية ، وتبني بشكل أولي من تدفقات الحمم البازلتية وتحتوي فقط نسبة قليلة من مادة البايروكلاستيك Pyroclastic ، وتتميز أجنحتها بمنحدرات نموذجية لا تتجاوز (١٥) درجة قرب قممها (Lugens&Tarbuck.1976 .153) ، ان البراكين الدرعية تبني تقريبا بالكامل من عدة تدفقات للحمم ، وهي شائعة في جزر الهاواي وتوجد أيضا في المناطق من شمال غرب المحيط الهادي وايسلند . ويترتب على هذا النوع من البراكين تكون الهضاب .

٢ - البراكين المركبة . Composite Volcanoes .

تعرف البراكين المركبة بشكل مخروطها الجميل الذي يرتبط بالماكما ذات المحتوى المعتدل من السليكا الذي يقدر بحدود (٦٠%) مما يجعلها أكثر لزوجة من الماكما المنخفضة السليكا في البراكين الدرعية ، وتتميز بخليط من النشاط الانفجاري وتدفقات الحمم . وتنتج البراكين المركبة عندما تقذف الحمم اللزجة نسبيا من مركبات الانديسايت ، وربما تستمر بقذف حمم لفترة طويلة ، لذا يتغير الأسلوب الانفجاري لها ويقذف البركان بقوة مادة البايروكلاستك التي يقع اغلبها قرب الفتحة ليني رابية شديدة الانحدار من الرماد البركاني ، ان هذا الحطام سيغطي في حينه بالحمم مما ينتج تركيب ثابت من طبقات متعاقبة من حمم البايروكلاستك ، ان معظم البراكين الخطرة من هذا النوع تكمن في غرب الولايات المتحدة في مجموعة الكاسكيد ويكون جبل سانت هيلين احد الأمثلة لذلك ، وكذلك جبل مايون في الفلبين ، وفوجيياما في اليابان التي تعرض الشكل الكلاسيكي للبركان المركب بمساحة قمة شديدة الانحدار وأجنحة ذات انحدار لطيف . (Lutgens&Tarbuck. 58).

٣ - القباب البركانية Volcanic Domes .

تتميز القباب البركانية بماكما لزجة ذات محتويات عالية من السليكا تقدر بحدود (٧٠%) وذات نشاط انفجاري بشكل عام يجعل هذا النوع من البراكين خطرة جدا . (Keller.1976.157) وهي تتكون من تدفقات الياوليت والانديسايت التي تكون أكثر لزوجة وبطيئة الجريان ، وبذلك فان التركيب الناتج يكون قبة بركانية مترابطة وشديدة الانحدار كثيرا ، ان هذه الحمم المتدفقة ببطيء يبدو أنها تتصلب قرب الفوهة التي تخرج منها قبل ظهور المادة بشكل كبير ، اذن القباب البركانية تميل بان تكون صغيرة نسبيا في امتدادها المساحي مقارنة بالبراكين الدرعية التي ربما تقسم لبضعة عشرات أو مئات من الأمتار ارتفاعا بالرغم من انها يمكن ان تساهم ببناء قمم عالية تماما . (Montgomery.1997.p101) وبعد جبل لاسين في الشمال الشرقي من كاليفورنيا الذي انفجر سابقا للفترة من (١٩١٥) الى (١٩١٧) يكون مثالا جيدا لهذا النوع من البراكين (Keller.1976.p157) . كذلك فان جبل سانت هيلين الذي تميز بنوع سميك من الحمم الصلبة اللزجة ، وان القبة البركانية تكونت في حفرة كبيرة باقية من انفجارها عام (١٩٨٠) كذلك فان نوفاراتا الواقعة قرب جبل كاتمايا في ألاسكا تكون هي الأخرى مثالا اخر لهذا النوع من القباب البركانية (Montgomery.1997.p101) .

٤ - مخاريط الرماد Cinder Cones .

في بعض الأحيان يشند ضغط الغاز في الماكما المرتفعة وقد يتحرر بانفجار شديد ومفاجئ الذي يقذف قطع الماكما والصخور خارج البركان ، ان هذه الماكما ربما تتجمد على شكل قطع صغيرة قبل سقوطها على سطح الأرض ، ان هذه المادة البركانية المتفجرة بعنف قد وصفت بشكل جماعي باسم بايروكلاستك (Pyroclastic) وهي كلمة يونانية الأصل متكونة من مقطعين الأول (Pyros) التي تعني النار ، و (Klastos) التي تعني كسر . ان هذه الشظايا من مادة البايروكلاستك يمكن ان تختلف الى حد بعيد في الحجم من غبار دقيق جدا ، ورماد بركاني ، ورمال خشن ، وقطع تتراوح من حجم اكبر من كرة الكولف الى كتل كبيرة

التي ربما تكون بحجم الدار وكتل بحجم قطرات من الحمم السائلة ربما تكون أيضا قذفت من هذا النوع من البراكين ، وعندما يسقط البايروكلاستيك في مكان قريب جدا من الفوهة التي تقذف من خلالها ربما تتكون على شكل مخروط متماثل جدا يعرف باسم مخروط الرماد ، (Cinder Cone) (Montgomery.1997.p103). (انظر الصورة (٢٩) .



الصورة (٢٩) مخروط الرماد .

ان البراكين من هذا النوع تتميز بمنحدرات شديدة جدا وتكون صغيرة اذ يكون ارتفاعا اقل من (٣٠٠ متر) (١٠٠٠ قدم) وغالبا ما تتكون من مخاريط طفيلية تقع على أو قرب البراكين الكبيرة اضافة الى انه يحدث بشكل متكرر وعلى شكل مجاميع حيث تمثل هذه المخاريط الطور الأخير الظاهر من هذا النشاط في اقليم تدفق البازلت الأقدم (Lutgens&Tarbuck. 58) . ان الشكل النهائي لهذا النوع من الأشكال الأرضية يتحدد على أساس الزاوية التي يستند عليها ، وعلى هذا الأساس فان المخروط الذي يستند على حطام صخري مستقر وغير معرض للانزلاق الى الأسفل يتمتع بزاوية ميل كبيرة ، ومثال على ذلك فان الشظايا الكبيرة التي تسقط قرب القمة يمكن ان تكون مخاريط ذات منحدرات ثابتة تتجاوز زاوية ميلها (٣٠ درجة) بينما الدقائق الناعمة تكون مخاريط ذات منحدرات لطيفة تصل الى حدود (١٠ درجات) . (Press& Siever . 1974.p573) وأفضل مثال لهذا النوع هو مخروط الرماد الذي يدعى براكنتين (Parictin) في المكسيك الذي وصل ارتفاعه خلال سنتين بحدود ٤٠٠ متر (٣١٠ قدم) (Lutgens&Tarbuck. 57) .

الظواهر المصاحبة للبراكين .

ان من أهم الظواهر الجيومورفولوجية المصاحبة للبراكين هي ظاهرة الكالديرا ، اضافة الى بعض الظواهر التي يطلق عليها بعض المتخصصين باسم الظواهر الشبيهة بالبراكين ، وسوف نسلط الضوء على هذه الظواهر بشكل مختصر ، وهي كالاتي :

١ - الكالديرا Calderas .

تعد هذه الظاهرة من الظواهر الجيومورفولوجية المصاحبة للبراكين ، واصل التسمية يعود الى كلمة أسبانية معناها الدست او الوعاء الكبير Caldron ، وهي تستخدم للتعبير عن الفوهات البركانية الضخمة التي تبدو على شكل أحواض واسعة في قمم البراكين ، واتخذ هذا الاسم من حفرة لالكالديرا Lacaldera في جزر كناريا التي يبلغ قطرها في أوسع جهاتها نحو (٦) كم ، ويتراوح عمقها بين (٩٠٠ - ١٦٥٠) كم ، ويبدو الجبل الذي تشغل قمته تلك الحفرة من بعيد في شكل مخروط مقطوع الجوانب .

وتشغل أحواض الكالديرا العديد من أفواه البراكين في العالم ، وقد تكون بعضها نتيجة انفجارات بركانية عملاقة استطاعت تدمير قمم المخروطات البركانية القديمة . (جودة ، معالم سطح الارض ، ص ٢١٢) ويعتقد ان بعض الكالديرا تتكون عندما تنهار قمة البركان في حجرة الصهير المفرغة بشكل جزئي بالأسفل ، وعلى سبيل المثال فان بحيرة كريتر في اوريكون التي تحتل منخفض عرضه بحدود (٨ - ١٠) كم ، وبحدود (١٣٠٠) متر عمقا ، قد بدا في التكوين قبل حوالي (٧٠٠٠) سنة عندما أنتج البركان الذي سمي بعد ذلك جبل مازما Mount Mazama ، انفجار رماد عنيف يشبه كثيرا ما انتجه بركان فيزوف الذي قذف ما يقدر بحدود من (٥٠ - ٧٠) كم مكعب من المادة البركانية ، وانهار (١٥٠٠) متر من (٣٦٠٠) متر كانت بارزة من المخروط ، وبعد الانهيار فان مياه الأمطار ملأت الكالديرا ، اما النشاط الذي تلي ذلك فانه ساعد على بناء مخروط رماد صغير يدعى جزيرة ويزارد Wizard island (Lutgens&Tarbuck. 58).

٢ - البراكين الطينية Mud Volcanoes .

البراكين الطينية أو المخروطات البركانية ماهي الا أشباه براكين ظاهرية النشأة Exogenous Origin وتبدو في مظهرها الخارجي على هيئة براكين صغيرة ينتشر وجودها في حقول زيت البترول ، وينبثق منها تدفقات طينية مصحوبة بغازات كربونية او هيدروكربونية ، ويرجع سبب وجودها الى صعود الغازات الكربونية التي تتبعث من زيت البترول التي تكتسح بعض المياه الموجودة في طبقات الصخور ، فاذا قابلتها طبقات طينية اختلطت مع هذه المياه وخرجت الى السطح ، ويعتقد بان هذه البراكين الطينية من العلامات الدالة على وجود زيت البترول في باطن الأرض .

٣ - النافورات والينابيع الحارة .

إن هذه الظاهرة تشاهد في المناطق التي يكون فيها النشاط البركاني في دورته النهائية ، وتظهر بشكل واضح في منطقة يلوستون بارك ، وومينج في الولايات المتحدة ، وفي أيسلندا ، وفي الجزيرة الشمالية لنيوزلندا ، ويعتقد المختصين في علم الأرض بان مصدر مياه النافورات الحارة مياه باطنية شديدة الحرارة تسمح بظهور الأبخرة أولا ، ثم انفجار المياه واندفاعها في شكل نافورات او ظهوره على هيئة ينابيع طبيعية .

٤ - البراكين الكبريتية Solfataras .

وهي عبارة عن فوهات براكين خامدة ينبعث منها بخار الماء وغاز الهيدروجين المكبرت ، وغازات أحماض كبريتية أخرى ، وهذه بمجرد تعرضها للهواء يترسب منها معدن الكبريت حول فوهة البركان ، وقد تتراكم

هذه الرواسب في طبقات سميقة فتصبح صالحة للاستغلال ، ومن هذا النوع براكين كثيرة في جنوب ايطاليا .
(الجوهري ، أسس الجغرافيا الطبيعية ، ص ١٢٥ - ١٣٢).

التوزيع المكاني للبراكين .

يمكن القول بصفة عامة ان التوزيع المكاني للبراكين ينحصر في نطاقين أساسيين هما منطقة جبال الألب وجبال الهيمالايا ، ومنطقة دائرة المحيط الهادي والتي تعرف بحلقة النار ويلاحظ ان هاذين النطاقين هما اللتان تكونت بهما سلاسل الجبال الحديثة ويوجد أيضا نطاقين ثانويين اضافة الى بعض الجزر المتفرقة هنا وهناك وفيما يلي وصنف موجز لهذه المناطق وهي كالآتي :

١ - حلقة النار Ring Fire .

ان هذا النطاق يحيط بمعظم سواحل المحيط الهادي اذ تظهر براكين هذا النطاق في أجزاء متفرقة من مرتفعات الانديز بأمريكا الجنوبية ومرتفعات أمريكا الوسطى ، والمكسيك (سيرا ما ديرا الغربية) ومرتفعات الكاسكيد في غرب الولايات المتحدة الأمريكية ومرتفعات كولومبيا البريطانية وقوس جزر الالوشيان شمالا ، اما على طول السواحل الشرقية لآسيا فتظهر براكين هذا النطاق في كل مكان من كمشتكا kamchatke وجزيرة كوريل انظر الخارطة (١٧) .



خارطة (١٦) نطاق حلقة النار في المحيط الهادي

٢ - نطاق البحر المتوسط .

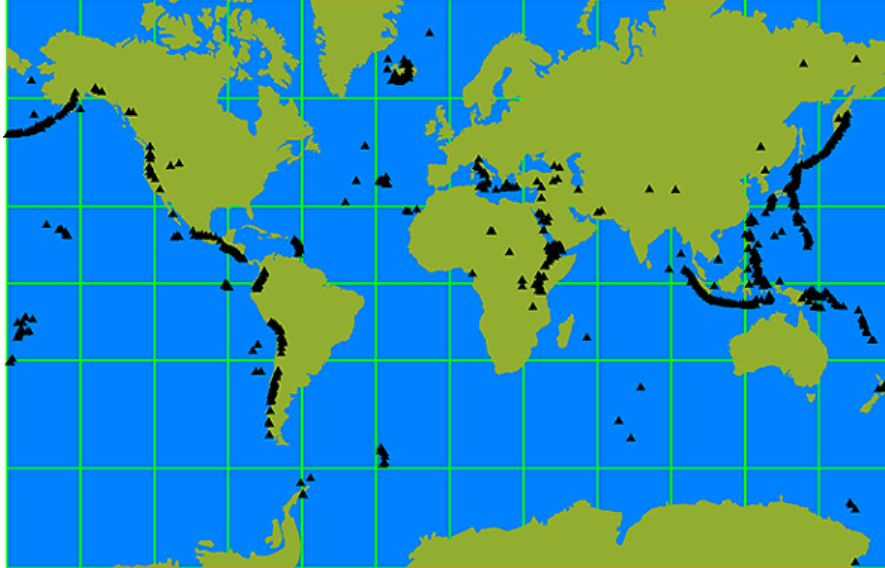
ان هذا النطاق يشمل جميع البراكين الممتدة من فرنسا الى ايطاليا حيث يشمل فيزوف واستمرارمبولي واثنا ، وبعض البراكين التي تقع تحت سطح الماء في بحر ايجيه ثم براكين منطقة القوقاز وأرمينيا وإيران وجبال الهيمالايا وتتصل ببراكين منطقة المحيط الهادي عن طريق براكين جزر جاوة وجزر اليابان كما تظهر بعض

البراكين كذلك في أقواس الجزر المحيطة في شرق وجنوب شرق آسيا خاصة في جزر الفلبين نيوغينا new cuinea سلومون نيوكاليدونيا ثم في جزر نيوزلندا .

٣- نطاق ثانوي يشمل الجزء الجنوبي من شبه الجزيرة العربية وجزيرة مدغشقر وبراكين الأخدود الأفريقي العظيم أشهرها كلمانجارو الذي يبلغ ارتفاعه ٥٨٦٠ مترا .

٤- نطاق ثانوي يشمل الجانب الشرقي من المحيط الأطلسي ليشمل جزيرة ايسلند وجزر الازور وجزر الكناري

اضافة الى هذه الانطقة الرئيسية والثانوية توجد بعض البراكين في مناطق متناثرة كما هو الحال في بعض الجزر المتناثرة في المحيط الهادي مثل جزر الهاواي Hawaiian islands وجزر جلاباجوس calpagos وجزر جوان فرناندز jaun Fernandez وكذلك بعض الأقواس الجزرية في المحيط الهندي مثل جزر تيمور Timor وجاوة ، وبالي bali ، وسومطرة Sumatra كذلك يوجد نطاق محدود للبراكين في بعض جزر البحر الكاريبي . ويلاحظ من التوزيع الجغرافي للبراكين بان الكتل الأرضية القديمة الصلبة تخلو من هذا النوع من النشاط مثل شمال أوراسيا والرصيف الكندي وكتلتي البرازيل وأفريقيا ، الا بعض الاستثناءات التي توجد في المناطق التي تتميز بالتصدع والانكسار كما هو الحال في الأخدود الأفريقي وجبال تبستي والأحجار في الصحراء الكبرى . انظر الخارطة .



الخارطة (١٧) التوزيع الجغرافي للبراكين في العالم .

الفصل السادس

التجوية أنواعها ونواتجها

التجوية: Weathering

التجوية بصورة عامة تعني عملية تفكك أو تكسر أو تحلل أو نحت أو تهشم الصخور في موقعها بطرق كيميائية أو فيزيائية أو حياتية ، وبهذا فهي العملية التي تهيئ الفتات الصخري لعمليات النقل المعروفة (المياه الجارية - الجليد- الرياح - الأمواج البحرية) .

الا ان ميدان نشاط عمليات التجوية بالنسبة للأرض ككل ميدان محدود للغاية وذلك لكون عمليات التجوية عمليات خارجية بحتة يقف أثرها عند حد الأسطح المكشوفة من الصخر وقلما تتجاوز لأبعد من بضعة سنتيمترات تحته الا اذا كانت تسلك خلال فجوات الصخر وفوالقه الكبيرة لبضع عشرات من السنتمترات أو الأمتار . وتنقسم التجوية الى ثلاثة أنواع مهمة وهي كالاتي :

١- التجوية الميكانيكية Mechanical Weathering

ويقصد بها العمليات التي تؤدي الى تحطيم الصخر وتجزئته الى مفتتات بشرط أن يبقى تركيبه ثابتا لا يتغير أي من دون أن يصحب ذلك أي تغير في الصفة الكيميائية أو المعدنية للصخور . وهناك عدة عوامل تساهم في تفعيل دور التجوية الميكانيكية أو الفيزيائية وهي:

أولا - التمدد الحراري .

يتضح تأثير التمدد الحراري الذي ينتج عن التباين الكبير في درجات الحرارة بشكل خاص في المناطق الصحراوية حيث يصفو الجو ويشد الجفاف ففي أثناء النهار ترتفع درجات الحرارة مما يؤدي الى تمدد الصخور وفي الليل عندما تنخفض الحرارة تنكمش ، ان تكرار عملية التمدد والتقلص يؤدي بالتالي الى تكسر الصخور وتفتتها ولما كانت الصخور رديئة التوصيل للحرارة فان تأثير التغير الحراري ينحصر في مستوياتها العليا دون السفلى وينشا عن ذلك ضغوط **stresses** خلال مكونات الصخور تؤدي الى احداث تكسر مواز لطولها وتفتكك الصخور حينئذ في هيئة أشرطة توازي سطوها ويطلق على هذه العملية اسم التقشر **exfoliation** .

ثانيا - النمو البلوري .

يساعد عامل النمو البلوري على تشقق الصخور وتكسرها فعندما تملأ مياه الأمطار هذه الشقوق أو الفواصل ويصادف أن تتجمد هذه المياه فان حجمها يزداد حوالي (١٠%) وذلك لنمو بلورات الثلج وهذه الزيادة في الحجم تسبب ضغطا على الصخور التي تجاورها ، وبالتالي فان الصخور تهشم وتفتكك ويزداد تأثير هذا العمل في المناطق التي تتعاقب فيها فترات الانجماد والذوبان .

ثالثا - التمدد Dilation .

يحدث هذا النوع من التجوية عندما يزاح الضغط المسلط على الصخور ، فالصخور النارية والمتحولة تتبلور تحت ظروف حرارية وضغوط مختلفة عن تلك التي توجد على سطح الأرض ، وهذا يعني

ان المعادن المكونة لهذه الصخور لا تكون ثابتة في ظروف ودرجات حرارة السطح وضغطه ، فإذا ما أزيحت الطبقات الصخرية هذه لسبب ما فان الضغط المحصور يقل وبالتالي تنتشر هذه الصخور الكرانيتية المحاطة بأسطح موازية لسطح التضاريس ، ومما لاشك فيه فان الفواصل تتكون نتيجة لهذا التمدد ، وعليه فان التجوية الكيميائية ، وقوة الضغط المحصور يتضاعفان كلاهما مع تغيرات الحرارة لتكوين الشقوق في الصخور الصلبة ، وقد استنتج مانش (١٩٣٧) الى ان التقشر الذي تتصف به معظم قباب أمريكا الشمالية ، وخاصة في منطقة المنتزه الوطني قد نتج عن تمدد هذه القباب بعد أن أصابها عوامل التعرية وعملت على ازاحة الترسبات الثقيلة عن كاهلها ، وقد دلت الدراسات المجهرية للصخور هذه الى ان التمدد كان ميكانيكيا في طبيعته وليس ناتجا عن تغير كيميائي (النقاش ، والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٥٠) .

رابعا- الكائنات الحية .

تلعب الكائنات الحية دورا مهما في عمليات التجوية ، فالأشجار إذ تضرب بجذورها في شقوق الصخر سعيا لإيجاد تربة هشة وذات محتوى رطوبي مناسب ، فانها تؤدي الى توسيع الشقوق وتعميقها واتصالها خاصة بعد استمرار نموها وتضخم جذورها ، ويترتب على ذلك في النهاية أن تنفصل كتل من الصخر وتقتلع من مواضعها ، وهناك أمثلة كثيرة على ذلك منها على سبيل المثال التشققات التي تلاحظ على الأسوار والجدران التي تحفها صفوف من الأشجار تتلف بواسطة جذورها المباني المجاورة لها وتتسبب في تداعبها .

كذلك الديدان الأرضية التي توجد بمئات الملايين في الفدان الواحد من الأرض ، هذه الديدان تتحت طريقها في جوف التربة مخلقة ورائها متهات من الثقوب والمسارب فتزيد من مساميتها ، وبالتالي من قابليتها على التهوية وسريان المياه ، كما ان هذه الكائنات حين تموت وتتغفن بقاياها تدخل مع الماء في تركيب أحماض عضوية تنشط العمليات الكيميائية ، وأخيراً فان بعض الحيوانات الأرضية كالجرذان والأرانب والحشرات ، كأنواع النمل المختلفة حين تحفر مأويها في باطن الأرض تساعد على تفتيت الصخر وادخال الوهن الى جوفه .

٢ - التجوية الكيميائية Chemical Weathering .

تتم خلالها عملية تحلل الصخور وتحويل بعض مكوناتها المعدنية الى معادن أخرى قد تختلف في الشكل والتركيب عن حالتها الأصلية ، ويتم ذلك من خلال تفاعل غازات الجو ، مثل الأوكسجين ، وثنائي اوكسيد الكربون ، وبخار الماء ، مع العناصر التي تتألف منها معادن الصخور ، وهناك خمسة عمليات مهمة تؤدي الى تحلل الصخور نتيجة للتجوية الكيميائية وهي كالاتي :

أ - التحلل المائي Hydrolysis .

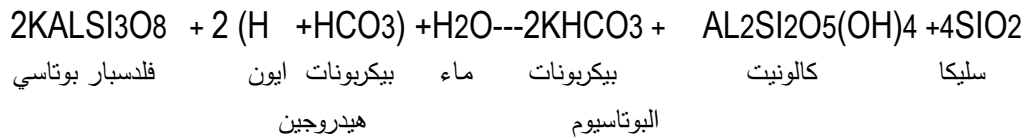
تكمن فاعلية الماء في اتمام عمليات التحلل المائي في ايونات الهيدروجين الصغيرة التي تستطيع أن تتخلل التركيب البلوري للسيليكات وان تفتته ، وبذلك تتكون مركبات جديدة ايسر تركيباً من السيليكات الأصلية ، هذه المركبات بدورها تتفاعل كيميائيا مع العناصر المكونة للهواء والمحاليل المائية مما ينتج عنها

أكاسيد وهيدروكسيدات وكربونات وأحيانا كبريتات ، بالإضافة الى بعض السيليكات الأيسر تركيباً من السيليكات التي لم يسبق أن تأثرت بعمليات التجوية الكيميائية ، ومن أشهر الأمثلة على عملية التحلل المائي في تجوية المعادن عملية تحول الفلدسبار البوتاسية الى كالونيت Kaolinite ، اذ تقوم الكميات القليلة لثاني أكسيد الكربون الموجودة في الهواء بدور كبير في تنشيط هذه العملية ، في حين يعمل الماء الجاري الذي يسيل على سطح الأرض قبل أن يتخلل المسام الموجودة في التربة على اذابة بعض جزئيات من ثاني اوكسيد الكربون الموجودة في الجو التي سرعان ما تتحول الى حامض الكربونيك بالطريقة الآتية :



ايون بيكربونات ايون هيدروجين حامض الكربونيك ثاني أو كسيد + ماء
الكربون

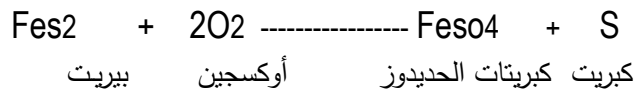
ان هذه العملية تزيد من مقدار ايونات الهيدروجين الموجودة في الماء وتتخلل هذه الايونات الصغيرة من الهيدروجين في التركيب البلوري للفلدسبار البوتاسي وتحللها بالطريقة الآتية :



ان من ابرز نتائج هذا التحلل هو بقاء الكالونيت على هيئة معدن متبقي أو ثانوي ، اما السليكا والبوتاسيوم فانهما يترشحان من التربة أو الصخر الأساس .

ب - عملية الأكسدة Oxidation .

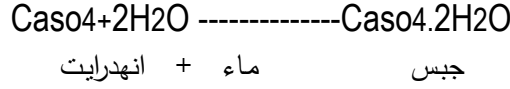
يتم في هذه العملية اضافة مزيد من الأوكسجين الى تركيب المعادن الحديدية التي توجد في المستويات التي تعلو مستوى الماء الأرضي ، ومثال ذلك ما يحدث للصخور الرسوبية الطينية التي تتميز بلونها الأزرق أو الرمادي لاحتوائها على مكونات حديدية طالما كانت بمعزل عن الهواء ، وحينما تتعرض للجو تتأكسد مكوناتها الحديدية فيتحول لونها الى اللون الأحمر أو البني ، ومن أشهر الأمثلة على التأكسد الطبيعي تحلل معدن البيريت وهو شائع في كثير من الصخور ويجري التفاعل حسب المعادلة الآتية :-



ج - عملية التميؤ Hydration .

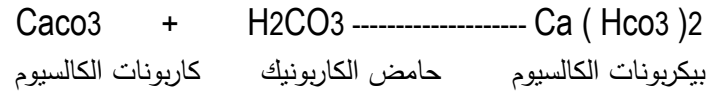
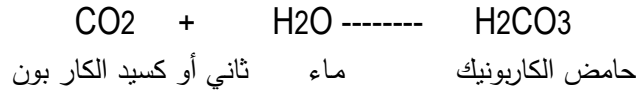
يتم في هذه العملية اتحاد الماء مع بعض العناصر التي تتألف منها معادن الصخور فتكبر وتتمدد وينشأ عن هذا التمدد ضغوط تؤثر في الصخر وتعمل على اضعافه وتفككه ، ومن المعادن التي تقبل التميؤ

معدن الانهدرايت Anhydrite وهو كبريتات الكالسيوم اللامائية فيتحول باتحاد الماء الى الجبس وهو كبريتات الكالسيوم المائية ويحدث ذلك وفق المعادلة الآتية :



د - عملية الكربنة Carbonation

يتحد في هذه العملية حامض الكاربونيك مع بعض القواعد أو مع كاربوناتها وخصوصا اكاسيد وكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم فتتكون الكاربونات أو البيكاربونات ، ومن ابرز الأمثلة على هذه العملية هو تأثير حامض الكاربونيك على الصخور الجيرية مما يؤدي الى اذابة الصخور حسب المعادلتين الآتيتين :



هـ - الإذابة Solution .

هذه العملية ليست شائعة الحدوث في الطبيعة ، وذلك لكون المعادن القابلة للذوبان في الماء مثل الملح الصخري Halite قليلة للغاية ، وهي في نفس الوقت لا تدخل في تركيب الصخور الا نادرا ، ومع ذلك فقد تكون الاذابة البسيطة ذات أهمية خاصة في بعض المناطق التي يكثر فيها وجود صخور ملحية .(النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٦٠) .

٣ - التجوية الحيوية .

تتضمنُ التجوية الحيوية تفككُ الصخور والمعادن بسبب القوى الكيميائية أو الفيزيائية للكائن الحي . أنواع الكائنات الحية التي يُمكنُ أَنْ تُسببَ التجوية تتمثل بالبكتيريا والنباتات والحيوانات . وتتضمنُ التجوية الحيوية العمليات التي يُمكنُ أَنْ تُكونَ أمّا كيميائيةً أو فيزيائيةً في طبيعتها . البعض من العمليات الأكثر أهميةً تتمثل بالاتي :

أ - الكسر البسيط للجزيئات .

باستهلاك جزيئات التربة بواسطة الحيوانات . الجزيئات يُمكنُ أَنْ تُكسرَ أيضاً بسبب اختباء الحيوان أو بالضغط الذي ينتج عن نمو الجذور .

ب - الحركة وخط المواد.

تُسبب العديد من كائنات التربة الحية الكبيرة حركة جزيئات التربة . هذه الحركة يُمكن أن تعرض المواد الى عمليات تجوية مختلفة تم وجودها في مواقع متميزة في مقاطع التربة .

ج - العمليات الكيميائية البسيطة .

مثل الذوبان الذي يُمكن أن يتحسن بثاني أكسيد الكربون الناتج عن طريق التنفس . خلط ثاني أكسيد الكربون بالماء تُشكل حامض الكربونيك .

د - الكائنات الحية يُمكن أن تُؤثر على نظام الرطوبة في التربة ، ولذلك تعمل على تحسين التجوية . ظل من الأوراق والجذوع ، وجود كتل من الجذور ، ودبال كلها تعمل على زيادة توفر الماء في مقطع التربة . والماء مكون ضروري في العديد من عمليات التجوية الفيزيائية والكيميائية .

هـ - الكائنات الحية يُمكن أن تُؤثر على الأس الهيدروجيني pH لمحلول التربة . التنفس من جذور النبات يطلق ثاني أكسيد الكربون . اذا مزج ثاني أكسيد الكربون بحامض الكربونيك يترتب على ذلك تخفيض الأس الهيدروجيني pH للتربة . تفاعلات تبادل الأيونات الموجبة التي فيها تمتص النباتات المواد المغذية من التربة يُمكن أن تُسبب التغييرات أيضا في الأس الهيدروجيني pH . تتضمن عمليات الامتصاص تبادل الأيونات الموجبة الأساسية في أغلب الأحيان لأيونات الهيدروجين . عموماً ، التركيز العالي لأيونات الهيدروجين يجعل الترب تكون ترب حامضية . (Fundamentals of physical Geography -)

العوامل التي تسهم في تحديد درجة ونوعية التجوية :

ان العوامل التي تسهم في تحديد درجة ونوعية التجوية كثيرة ومتنوعة ، وبالتالي فانها سوف تحدد نوعية التجوية فيما اذا كانت فيزيائية أو كيميائية وهذا ما يترتب عليه أيضا اختلاف في نواتج التجوية من مكان لآخر وسوف نتطرق الى هذه العوامل بشكل مختصر :

١- الطبقة الصخرية .

تتركب الصخور من معادن متباينة وكل معدن يختلف عن الآخر في درجة تأثره بالتجوية ولذلك فان الصخور التي تتكون من معادن مقاومة للتجوية مثل الكرانيت الذي لا يتحلل بسهولة على عكس الصخور التي تتألف من معادن قابلة للتجوية مثل الحجر الجيري .

٣ - البنية Structure .

تتميز الصخور النارية بوجود الفواصل Joints ، بينما تتميز الصخور الرسوبية بكثرة سطوح الانفصال Bedding Planes ، اما الصخور المتحولة فانها تتميز بما يشبه الطباقية (النسيج الورقي أو الصفائحي) ، ان وجود هذه التراكيب في الصخور يعمل على مساعدة عوامل التجوية بشكل فعال لأنها تزيد من مساحة أسطح الصخور المعرضة لتأثير العمليات الكيميائية ، وتسمح بنفاذ المياه والأكسجين ، وكذلك تمثل خطوط ضعف تستغلها التجوية الميكانيكية أثناء حركة الجليد وكلما كثر وجودها في الصخر

كلما ازداد تأثر الصخر بعوامل التجوية ، فضلا عن ذلك فان الصخور التي يصيبها الالتواء والانكسار أكثر تعرضا للتجوية من غيرها نظرا لما يحدث بها من تصدع وتقلق يضعفها .

٤ - المناخ Climate .

للمناخ دور واضح في تحديد نوعية التجوية ، حيث ان الأمطار وتوزيعها لها أهمية كبيرة في تحديد سرعة التجوية ، كما ان الرطوبة هي الأخرى تحدد السرعة أيضا ، ففي مناطق الدائرة الاستوائية حيث الرطوبة عالية تنشط التجوية الكيميائية ، وبالتالي نحصل على تربة سميكة في حين ان المناطق الجافة تنشط فيها التجوية الفيزيائية ، ولذلك تكون التربة قشرية هناك ، اما الحرارة فانها تؤثر تأثيرا فاعلا في عملية التجوية الفيزيائية ، وخير مثال لتأثير المناخ على تجوية الصخور هو مقارنة عملية تجوية حجر الكلس في الظروف المناخية الرطبة والجافة ، ففي المناطق الرطبة يتجوى حجر الكلس بوجود المحاليل في حين ان هذا الحجر لا يتأثر في الظروف المناخية الجافة ، ولهذا السبب تظهر الطبقات الصخرية الكلسية بشكل حافات وتضاريس واضحة في هذه المناطق ، وبصورة عامة تكثر عمليات التجوية الفيزيائية في المناطق الباردة والجافة ، بينما تسود التجوية الكيميائية المناطق الرطبة الحارة ، اما في المناطق ذات المناخ المعتدل فان عمليات التجوية بنوعها تحدث فيها .

٥ - التضاريس Topography .

تتباين عمليات التجوية بتباين الارتفاع عن مستوى سطح البحر ، ففي المناطق الجبلية فوق خط النبات والتي تتميز بكونها مكشوفة السطح عارية الصخر وذلك لكونها تتعرض الى الازالة المستمرة سواء بواسطة الانزلاقات الأرضية أو زحف التربة أو انسيابها ، ولهذا السبب فان الصخور تكون معرضة للتجوية الميكانيكية باستمرار سواء كانت بوسيلة التجمد والانصهار أو التمدد والانكماش بسبب التفاوت الحراري ، وفي مثل هذه المناطق الشديدة الانحدار فان تعرية الصخور يضعف فعل التجوية الكيميائية لان المياه تنصرف بسرعة عبر المنحدر ، بينما في المناطق الواطئة القليلة الانجماد توجد في العادة طبقة من التربة أو غطاء سميك من المواد التي تعرضت للتجوية ، وهذه وتلك تحمي الصخر الذي ترتكز عليه من عملية التجوية الميكانيكية ، لكنها حينما تتشبع بالمياه تبدأ التجوية الكيميائية بنشاطها .

٦ - الزمن .

من البديهي انه كلما طال زمن تعرض الصخور للتجوية كلما اشتد عمقها ، وزاد تأثر الصخر بها ، ومع هذا فمن الممكن أن يكون هناك حد لفعل التجوية ما لم يكتسح نتاجها من فوق الصخر باستمرار ، ويعتقد بعض الجيومورفولوجيين الى ان التربة أو نتاج التجوية يحمي الصخر الذي يرتكز عليه من فعل التجوية ، فان صح هذا بالنسبة للتجوية الميكانيكية فانه لا يصلح تماما بالنسبة للتجوية الكيميائية التي تستطيع النفاذ الى الصخور والتأثير فيها قبل أن تتكشف للهواء أي أثناء وجودها مدفونة أسفل الحطام الصخري ، وكثيرا ما يحدث أن تصبح التربة مشبعة بالأحماض العضوية التي تؤثر في الصخور أسفلها فتعمل على تجويتها .

نواتج التجوية .

تختلف نواتج التجوية بحسب العوامل التي أنتجتها وليس من السهل أحيانا ترجيح أي نوع من نواتج التجوية الى عامل معين والسبب في ذلك هو ان هناك عدة عوامل تؤثر عادة في نفس الوقت على الصخور ، ولكن في نفس الوقت فان احد هذه العوامل سيكون تأثيره واضحا ومؤثرا من بين جميع تلك العوامل وبالتالي يترك أثره بشكل واضح على هذه النواتج وسوف نتطرق الى أهم هذه النواتج :

١ - التقشر Exfoliation .

عندما تتعرض كتلة من الصخر الى التباين في درجات الحرارة فان الجزء السطحي من الكتلة الصخرية يبرد وينكمش بسرعة بينما تحتفظ باقي الكتلة الصخرية بحرارتها لفترة أطول من الزمن ، وبذلك لا تتأثر بالانكماش الذي يصاحب الانخفاض في درجة الحرارة ، وبتكرار هذه العملية تتكون قشرة سطحية على الكتلة الصخرية تفصل بمرور الزمن عن باقي الكتلة نتيجة للتمدد والانكماش المتكرر للمادة الصخرية قرب سطح هذه الكتلة الصخرية ويكون من نتيجة هذه العملية أن تصبح الكتل المقشرة مستديرة تقريبا .

٢ - ركام السفوح Talus .

ويقصد به الحطام الصخري الذي يتراكم على المنحدرات السفلية للتلال والجبال نتيجة للتجوية الطبيعية ، ويتكون من قطع صخرية مدببة أو غير مهذبة ذات زوايا ، ويسمى هذا الركام أيضا كولفيوم Colluvium وهي كلمة لاتينية تعني ركام .

٣ - حقول الجلاميد Boulder Fields .

وهي مساحات شاسعة جدا ومسطحة تنتشر عليها الجلاميد المستديرة التي يعزى ظهورها أساسا الى أثر التجوية الكيميائية ، اذ ان معظم الصخور الجيرية تحمل درنات صخرية Concretions مختلفة الأحجام ، وتتكون هذه الدرنات من مادة مختلفة عن مادة الصخور التي تحتويها ، وتكون هذه الدرنات عادة من الصوان وهو أكثر صلابة من الحجر الجيري ، وعند تعرض الصخر الأصلي للتجوية الكيميائية نتيجة لنشاط المياه الجوفية أو مياه الأمطار ، فان المكونات الجيرية للصخر تذوب بمعدل أسرع من معدل ذوبان الدرنات الصخرية والتي لا تستجيب اطلاقا للتجوية الكيميائية ، وبذلك يتآكل الصخر الأصلي مخلفا على أسطحه كميات كبيرة من الدرنات المختلفة الحجم مما يترتب عليه تكوين حقولا شاسعة الانتشار من الجلاميد التي أصلها درنات قاومت التجوية الكيميائية.(النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٧٠) .

٤ - حقول الكارست Carist .

تساهم عملية الاذابة (الكرنبة) في تشكيل سطح المناطق التي تتركب من صخور جيرية ودولومايتية ، فينتج عن ذلك فجوات وحفر خاصة ، كما تعمل على تخفيض منسوبه ، فمثل تلك المناطق

التي تقع في الأقاليم الرطبة تتميز بأنها اقل ارتفاعا من الجهات المجاورة التي تتألف من صخور مقاومة لعملية الإذابة ، وقد تؤدي كذلك الى تكوين الكهوف والمغارات (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ١٧) .

٥ - التربة Soil .

ان الحطام الصخري المتآكل المتحلل بفعل التجوية هو مصدر التربة فمنه تنشأ ويفضل توافره تنمو وتزداد سمكا ، بالاضافة الى فتات الصخور الأصلية التي تتجمع على أسطح الصخور الصلدة التي انفصلت عنها ، ولذلك فان رواسب البحيرات ، والمواد الفيضية ، والركامات الجليدية ، ورمال الصحراء ، تمثل مصادر أخرى للتربة ، ولما كان لكل نوع من هذه المواد مكونات معدنية خضعت بدرجات متفاوتة لعملية التجوية فانه من المتوقع أن تتباين خصائص التربة بتنوع الصخور التي اشتقت منها ، ومدى ما أصابها من تفكك وتحلل (البحيري ، الجغرافيا الطبيعية ، ص ١٥٩) .

الفصل السابع

المنحدرات وأثرها في تشكيل سطح الأرض

مفهوم المنحدر .

يعرف المنحدر بأنه عبارة عن كل شيء يميل عن المستوى الأفقي ، ويتكون بسبب عمليات التعرية المائية أو الجليدية أو التكتونية التي تحدث بشكل مفاجيء ، وتظهر بشكل واضح عند جوانب الوديان أثناء

الانتقال من ذرى الجبال الى أسفل المنحدرات . ويكون الانحدار عند زاوية لا تزيد أكثر من (٤٠) درجة ، اما اذا زاد الانحدار أكثر من ذلك فعندئذ يطلق عليه جرف cliff . ويتكون المنحدر من ثلاثة محاور رئيسية يتمثل المحور الأول بقمة المنحدر والتي تمثل أعلى جهة في المنحدر . بينما يمثل المحور الثاني سفح المنحدر . وهو المكان الذي يترسب عليه الفتات الصخري . في حين يتمثل المحور الثالث بخلف المنحدر . وهو المكان الذي ينقل منه الفتات الصخري .

العوامل المتحكمة في نشوء تطور المنحدرات.

١ - البناء الجيولوجي .

يعد البناء الجيولوجي من العوامل المهمة التي تساعد على حدوث الانهيار وتطور المنحدرات من خلال وجود المناخ الصخري المناسب في الصخور المكونة للمنحدر والتي تتمثل في فيما يأتي:

١- الفواصل المائية وسريان المياه الأرضية خلالها.

ب- سطوح التصدع .

ج- الطبقات الضعيفة والانسيابية .

د-الصخور القابلة للتحلل والتفتت مثل البازلت والحجر الطيني(موسى واخرون ، الجيولوجيا الهندسية ، ٢٦٨)

٢ - الانحدار .

ان تضرس سطح الأرض وعدم استوائه تماما . غالبا ما يؤدي الى انحدار السطح في اتجاهات مختلفة . ولهذا فان المواد السائبة المفككة التي أنتجتها عمليات التجوية فضلا عن الجوانب الصخرية الصلدة من أسطح المنحدرات تقع عرضة لقوى جاذبية الأرض mass wasting من أعلى المنحدرات الى أسفلها وبطرق ربما تكون سريعة أحيانا وبطيئة في أحيان أخرى ، وهذا يعني ان المنحدرات العليا الوعرة تخسر الفتات الصخري وتكسبه لبعض البطون والأدوية والمنخفضات .

٣ - المناخ .

يبرز دور المناخ في المناطق الجافة بعمليات التجوية التي تعمل على تفتيت الصخور وتهيئتها الى عملية النقل . اما في المناطق الباردة فان تتابع التجمد والذوبان بالمياه المتسربة في تضاعيف الصخور يعمل على عدم استقرارها وحركتها باتجاه أسفل المنحدر .

اما دور الماء في ذلك فانه يؤدي الى ان تسرب مياه الأمطار الى طبقات الطين التي تقع أسفل طبقات صخور أخرى يؤدي الى تكوين محاليل غروية زلقة تيسر حركة كتل كبيرة من الطبقات التي تعلوها فتسبب انزلاق هذه الصخور وتهدمها وهذا ينطبق عندما تكون الأمطار غزيرة ، اما اذا كانت غير غزيرة فهناك رأي في ذلك يقول ان الأمطار غير الغزيرة التي لم تملء الفجوات تبقى كمية من الهواء محتبسة فيها وهذا يؤدي الى تولد قوي شد سطحية Surface Tension تشد جزيئات التربة أو الرواسب الى بعضها وتعمل على تماسكها وزيادة استقرارها . (البحيري ، أشكال الأرض ، ص ص ٦٣ - ٦٤) .

٤-العوامل الصناعية .

وهي التي تنجم عن فعل الإنسان مثل قوى التفجير التقليدي أو النووي والتي قد يؤدي الى انهيار المنحدر بأكمله أو جزء منه . وفي كثير من الأحيان تؤدي هذه القوى الى خلق مستويات ضعف كالشقوق والفواصل في المناطق المنحدرة التي تقع في دائرة تأثيرها تسبب بدورها ظروف تساعد على حدوث الانهيار . (موسى واخرون ، الجيولوجيا الهندسية ، ٢٦٨) .

٥ - النشاط الزلزالي . Seismic Activity.

العديد من المناطق الجبلية المعرضة للانزلاقات الأرضية قد تعرضت الى نسب معتدلة من الزلازل ، وان حدوث هذه الزلازل في المناطق المعرضة للانزلاقات الأرضية الشديدة يترتب عليها زيادة حدوث الانزلاقات الأرضية التي تحدث في مثل هذه المناطق ، بسبب اهتزاز الأرض الذي يسبب انتشار واسع لمواد التربة التي تسمح للتسرب السريع للماء ، وعلى سبيل المثال فقد ترتب على زلزال ألاسكا الكبير في عام ١٩٦٤ انزلاقات أرضية واسعة الانتشار التي ترتب عليها خسائر مادية كبيرة جدا ، مناطق أخرى في الولايات المتحدة مثل كاليفورنيا ومنطقة بوجيت ساوند في واشنطن تعرضت الى انزلاقات أرضية بسبب تعرضها الى زلازل معتدلة الى كبيرة ، ويترتب على حدوث الزلازل أيضا سقوط واسع للصخور على نطاق واسع في العالم ، وقتل السكان وتدمير البنى التحتية بنسب عالية وخاصة في الولايات المتحدة .

٦ - النشاط البركاني Volcanic Activity

تعد الانزلاقات الأرضية الناتجة بسبب النشاط البركاني من الأنواع الأكثر تدميرا ، اذ ان الحمم البركانية تعمل على اذابة الثلوج بنسبة سريعة وتتسبب بحركة الصخور والتربة والرماد ، وتعجل بسرعتها على المنحدرات الشديدة ، وتدمر أي شيء في طريقها ، وان الحطام البركاني المتدفق الذي يعرف باسم Lahars يصل الى مسافات طويلة ، وعندما يستمر احد أجنحة البركان بالحركة فانه يترتب عليه تدمير كل التراكيب والبنى التحتية في المناطق المستوية التي تحيط بالبركان . وقد ترتب على انفجار بركان جبل سانت هيلين Muont st Helens عام ١٩٨٠ في واشنطن انهيار ارضي هائل في الجزء الشمالي للبركان والذي يعد من اكبر الانهيارات الأرضية المسجلة لحد الآن .

حركة المواد الصخرية على سفوح المنحدرات .

يعرف الجذب الأرضي Mass Wasting بأنه يمثل احد الأسباب المهمة لحركة المواد الصخرية باتجاه أسفل المنحدرات تحت تأثير فعل الجاذبية الأرضية . ويعد جزءا مهما من عمليات التعرية اذ يقوم بعملية نقل الفتات الصخري من أعلى المرتفعات الى أسفلها . وان عمليات الجذب الأرضي تحدث بشكل مستمر على كُـلّ المنحدرات ؛ وبعضها يحدث ببطيء شديد بينما يحدث البعض الآخر بصورة فجائية

وبسرعة شديدة جدا . ويشار في اغلب الأحيان الى أي حركة محسوسة للفتات الصخري على المنحدرات باتجاه الأسفل باسم الانزلاقات الأرضية Landslides .

ان مصطلح الانزلاقات الأرضية landslide يعني وصف لأنواع مختلفة من العمليات الواسعة الناتجة عن الحركة الخارجية للمواد الصخرية المكونة للمنحدر باتجاه الأسفل وتتضمن ، التربة والصخور أو كليهما معا ، وان هذه المواد تتحرك بطرق مختلفة أيضا منها السقوط ، والانقلاب ، والانزلاق ، والتدفق . وبالرغم من أن الانزلاقات الأرضية ترتبط بالمناطق الجبلية بشكل رئيسي ، الا انها تحدث أيضا في المناطق ذات الانحدار البسيط بشكل عام ، اذ يمكن أن تحدث الانزلاقات الأرضية مثل القطع أو حالات الانهيار أو من خلال التفتيق تحت الطرق والبنائيات ، وانهيار السدود العالية للأنهار ، انزلاقات أرضية جانبية منتشرة ، وعمليات التنجيم وخاصة مناجم الفحم وأنواع واسعة من الاخفاقات للانحدارات المرتبطة بالتفتيق بالمناجم المفتوحة ، ان معظم الأنواع الشائعة من الانزلاقات الأرضية يمكن توضيحها كالتالي :

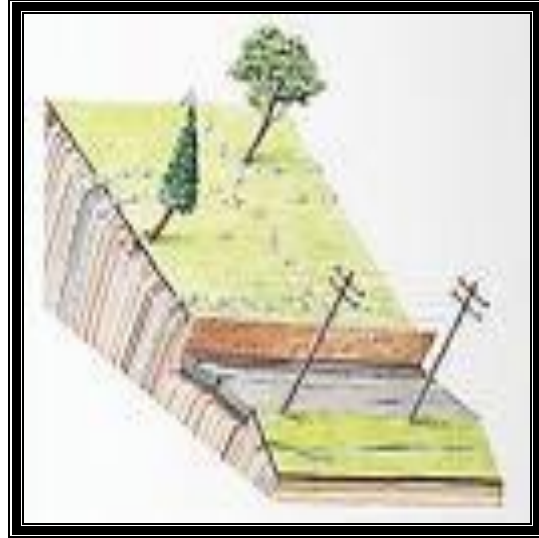
١- زحف التربة soil creep .

يمكن تعريف زحف التربة بأنه عبارة عن حركة بطيئة جدا للفتات الصخري تحدث على أسفل المنحدرات . ويحدث في كثير من الأحيان بسبب ارتفاع حالات الصقيع ، ويكون حدوثه بشكل عام أكثر من زحف الصخور . ومع ذلك فان هذا الزحف يكون بشكل تدريجي ويترك أشارات واضحة تدل على حدوثه ، لذلك فانه بالامكان تقادي مناطق الخطر المحددة التي تترتب على تلك الحركة للفتات الصخري . وعلى سبيل المثال ، تضعف أسس البنائيات بشكل تدريجي وتسقط عندما تنتقل التربة ، وتتعمل خطوط السكك الحديدية ، وطرق المواصلات ، ويسبب زحف التربة في اغلب الأحيان بأضرار كبيرة في الممتلكات ، الا ان تهديده للحياة نادرا ما يحدث . انظر الصور (٣٠) والمخطط (١٤) .

قد تقسم حركات الكتل على أساس نوع المادة المتحركة ، ومعدل الحركة . ويمكن ان تتراوح المادة من مواد غير صلبة ناعمة الى حد ما مثل التربة أو الثلوج ، الى الكتل الصلبة الكبيرة من الصخور . الانزلاق الأرضي تعبير غير محدد لحركة الكتل السريعة في الصخور أو التربة . وهناك عدة أنواع من الانزلاقات الأرضية ، وربما حدث واحد يتضمن أكثر من نوع من أنواع الحركة . أما معدل الحركة فانه يرتبط بشكل عام بنسبة الرطوبة ، اذ كلما كانت المادة أكثر بلبلاً أو رطوبة كلما كانت الحركة أسرع



صورة (٣٠) مؤشرات زحف التربة .



مخطط (١٤) مؤشرات زحف التربة .

٢ - السقوط Falls .

ان السقوط يعني حركة المواد التي تكون دائما غير مرتبطة بالأرض الواقعة تحتها . والسقوط يكون في اغلب الأحيان عبارة عن سقوط الصخور كما موضح في الصورة (٣١). ويحدث كثيرا على المنحدرات الحادة جدا عندما يقع الصخر بمستوى عالي على المنحدر ، ويضعف وينكسر بواسطة التجوية فانه في هذه الحالة يفقد الدعم في الوقت الذي تتآكل المادة التي تقع تحته وتنتقل بعيدا عن أماكنها . ويكون السقوط شائعا على طول الأشربة الساحلية الصخرية أينما تتقطع الجروف بفعل الأمواج ، وشق الطرق خلال الصخور الصلبة . أما الانقراض الخشنة المتراكمة عند أقدام المنحدرات المعرضة لسقوط الصخور فانه يطلق عليها اسم الركام Talus . انظر الصورة (٣٢) .



صورة (٣٣) سقوط الصخور على الطرق .



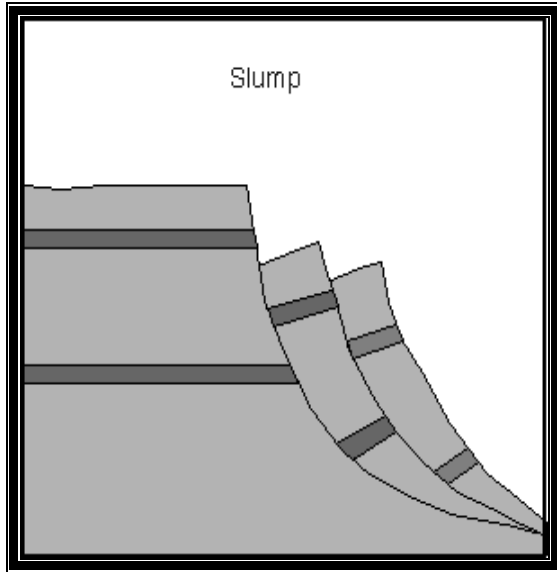
صورة (٣٢) الركام عند أقدام الجروف .

٣ - الانزلاق Slide.

الانزلاق هو عبارة عن وحدات متماسكة جدا من الصخور أو التربة باتجاه الأسفل على طول سطح معرف بشكل واضح أو مستوي . يتضمن انزلاق الصخور في اغلب الأحيان حركة على طول طبقة مستوية بين طبقات متعاقبة من الصخور الرسوبية ، أو الهبوط عندما تكون هناك اختلافات في التركيب الأصلي للطبقات الرسوبية ينتج في طبقة ضعيفة أو سطح قليل التماسك . انزلاق الصخور ربما تكون مركبة من كتل صخرية متعددة تهبط على طول نفس السطح المستوي .

٤ - الهبوط Slumps .

الهبوط يمكن ان يحدث في الصخور أو التربة . وفي هبوط التربة هناك حركة دورانية من كتل التربة ترافق الحركة على المنحدرات السفلية بشكل نموذجي . بينما المنحدر ربما يتكون على قمة الانزلاق ، عادة ، السطح على قمة الانزلاق يكون غير ملموس نسبيا . أما الجزء الأسفل من الكتل الهابطة فأنها ربما تنتهي في التدفق . في حين انزلاق الصخور لا يتحرك بعيدا جدا وربما يهبط أيضا انظر الصورة (٣٢) والمخطط (١٥) .



مخطط (١٥) الهبوط الأرضي .



صورة (٣٢) الهبوط الأرضي .

٥ - التدفق Flows .

التدفق هو عبارة عن حركة المادة غير المتماسكة ، ولكن الحركة تكون فوضوية وبطريقة غير منظمة ، مع خلط الدقائق داخل الكتل المتدفقة مثل تدفقات السوائل . وان تدفق المواد غير المتماسكة شائع جدا . فهو غير ملزم بان يتضمن التربة فقط . اذ ان انهيار الثلوج يعد واحد من أنواع التدفق انظر الصورة (٣٣) ، وكذلك تدفق القطع النارية Pyroclastic flows يعد نوع آخر يرتبط فقط مع النشاط البركاني .

وعندما تتدفق المادة فان هذه الظاهرة توصف بالتدفق الأرضي Earth flows ، أو التدفق الطيني Mudflows اذا كانت مشبعة بالمياه التي تتضمن التدفقات البركانية volcanic lahars . يتضمن التدفق تشكيله واسعة من المواد تشمل ، التربة ، الصخور ، الأشجار ، وهكذا تجمع في تدفق واحد يطلق عليه انهيار الحطام انهيار الحطام debris avalanche . وبغض النظر عن طبيعة المواد التي تحركت ، فان كل التدفق يمتلك حركة غير متماسكة وفوضوية للدقائق ، أو الأجسام في التدفق . (Montgomery . 1997. pp 177 - 181) .



صورة (٣٣) الانهيارات الأرضية .

الأشكال الأرضية الحتية في بيئة المنحدرات .

على الرغم من وجود البنية التضاريسية في هذه المناطق والتي تتأثر بصورة متباينة بالعوامل الخارجية وتؤدي الى تهيئة الفتات الصخري لعملية النقل ألا أنها لا تستطيع إعطاء الصورة التضاريسية النهائية بدون وجود العامل المهم الذي يحدد الوسيلة التي ينتقل بها ذلك الفتات الصخري . ولذلك فان وجود الأنهار التي تجري في مثل هذه المناطق هو الذي يرسم لنا الصورة التضاريسية النهائية والتي تكونت بفعل تظافر البيئة وعوامل التجوية وعوامل النقل . لذلك تظهر لنا أنواع متباينة من التضاريس . واهم تلك المظاهر هي كالاتي :

أ - المواد الخشنة .

عندما يزيد معدل التساقط عن طاقة امتصاص التربة تصبح التربة مشبعة بالماء ، وعليه فان المياه الزائدة تتجمع على سطح التربة ، وتسيل في صورة فرشاة من الماء sheet flow في اتجاه انحدار المنطقة . وأثناء هذه الحركة للمياه فان السطح العلوي للمنحدر يتعرض الى عملية التعرية التي يطلق عليها اسم الحت الطبقي sheet erosion ، وفي حالة تكرار سقوط الأمطار على سفوح منحدرات التلال فان ذلك

يترتب عليه تعرية المواد الناعمة مثل الغرين والطين في حين تبقى المواد الخشنة مثل الرمال والحصى منتشرة على سفوح هذه المنحدرات. (سهيل ، الجيولوجيا ، ص ٢١١) .

ب - السفوح الصخرية.: Pediments .

على خلاف ما يلاحظ في الأقاليم المعتدلة الرطبة ، حيث غالبا ما يكون الانتقال من الأراضي المرتفعة الى السهول على شكل سفوح خفيفة الانحدار ، فان المناطق الجافة وشبه الجافة تتميز بتجاور السهول خفيفة الانحدار مع التلال ذات الجوانب الشديدة الانحدار ، ويكون تقطع السفوح بشكل حاد . لذلك تتميز هذه المناطق بمظاهر تضاريسية مختلفة تماما عما هو موجود في المناطق الرطبة ، اذ يتكون السطح الذي يصل قمم الجبال بالأحواض المجاورة من عدة عناصر ، حيث يطلق على السطح الممتد من السلسلة الجبلية الى السهول أو السبخات الموجودة في المناطق الداخلية للأحواض باسم البيدمونت Peidmont ، اما الجزء العلوي من البيدمونت فيطلق عليه اسم البيديمنت Pediment (سباركس ، ١٩٨٣ ، ص ٤٣١) . والتي تمثل نطاق من الصخور الأصلية التي تمتد عند قاعدة هذه الجبال لمسافة تتراوح من كيلومتر الى عدة كيلومترات في الاتساع . تتغذى تلك الصخور الأصلية بغطاء رقيق جدا من الفتات الصخري الناعم وتتحدرو نحو الأحواض المجاورة بمقدار يتراوح بين (١-٧) درجات ألا أن المعدل العام للانحدار لا يتجاوز (٢.٥) درجة . ويزداد سمك الرواسب كلما اقتربنا من قيعان الأحواض . وقد تكونت هذه الظاهرة بسبب التعرية المائية الناشئة عن تساقط الأمطار على الجبال ومقدماتها مما أدى الى تعريتها . اذ أن المياه التي تجري على السطح على شكل طبقة رقيقة قبل أن تتجمع في أوديتها ستكون هي الأداة التي تقوم بتعرية هذه المنطقة لتجعلها ليست جزءا من الجبال الوعرة وليست سهلية تماما .

وقد يكون سبب تكون هذه الظاهرة هو تراجع الأودية النهرية المنحدرة من المناطق الجبلية. وعملية التراجع هذه مع حركة النهر أو الوادي الجانبية تؤدي الى تنشيط عملية النحت في المنطقة الواقعة بين أقدام الجبال والمصب مما يؤدي الى ظهور البيديمنت . (السامرائي ، والريحاني ، ١٩٩٠ ، ص ١٥٨) (كربل ، ١٩٨٦ ، ص ٢٥٩) .

ج - الأعمدة الأرضية أو الجبال المنفردة .

تتكون الأعمدة الأرضية في مناطق المنحدرات التي تتميز بوجود طبقات صخرية متباينة الصلابة مع نسبة مرتفعة من الصخور الطينية ، اذ تقوم مياه الأمطار الساقطة على سفوح المنحدرات بنحت الصخور الطينية ، والمواد الأخرى القابلة للاستجابة لعمليات التعرية ، ولم يبق الا الطبقات الصخرية الصلبة التي تعمل كمظلات واقية لما تحتها من صخور لها الاستعداد للاستجابة لعمليات التعرية ، وباستمرار عملية التعرية المائية فأنها تتآكل تاركة خلفها الصخور الصلبة على شكل أعمدة ارضية بارزة على سطح المنحدر . (سهيل ، الجيولوجيا ، ص ٢١١) .

ويوجد فوق بعض جهات البيدمنت تلال مرتفعة عن المستوى العام لها يطلق عليه أسم الجبال المنفردة inselberg وتمثل هذه التلال المناطق التي لم تستطيع الأنهار الوصول إليها . أو أنها تمثل صخورا صلبة مقاومة للتعرية النهرية (السامرائي ، والريحاني ، ١٩٩٠ ، ص ١٥٨) (كريل ، ١٩٨٦ ، ص ٢٥٩) . وتنتشر هذه الظاهرة في المناطق الجافة مثل صحراء سنوريا في المكسيك وصحراء أريزونا في الولايات المتحدة الأمريكية . ولكن معظم الباحثين يعزون تكون هذه الظاهرة الى التعرية المائية . فاذا وجدت في هذه الصحاري فهي ربما تكون قديمة وقد تكونت في عصور أكثر مطرا مما هي الحال عليه الان . وهي تأخذ شكل السهول المروحية مع انحدار اقل وانتشار أوسع . كما انها تمثل ظاهرة تكونت بفعل التعرية بينما السهول المروحية هي ظاهرة ترسيبية . لذلك فهي توصف بأنها عملية تراجع للجبال بسبب التعرية (السامرائي ، والريحاني ، ١٩٩٠ ، ص ١٥٨) .

د - الجداول الصغيرة والأخاديد Small Rill & Gully .

يتكون هذا النوع من الجداول الصغيرة عندما يكون الجريان المائي سريع بسبب زيادة الانحدار أو بسبب ضحالة عمق التربة ، أو انسداد مساماتها بالمواد الصلصالية أو الغزوية التي تعرضت لعملية الحث الطبقي ، وقد لا يتجاوز عمق واتساع هذه الجداول بضعة سنتيمترات كما موضح في الصورة (٣٤) . أما الأخاديد Gully فأنها تتكون نتيجة لاستمرار هطول الأمطار الغزيرة التي تعمل على تطوير الجداول الصغيرة من خلال زيادة عمقها واتساعها ، وكما تتميز الأنهار الرئيسية بوجود الروافد فان هذه الأخاديد تتميز كذلك بوجود شبكة من الأخاديد الصغيرة التي ترتبط بها ، وبالتالي يصبح سطح المنحدر مقطعا بشبكة معقدة من الأخاديد المتباينة في الاتساع والعمق ، وتبدو على شكل صورة مصغرة لحوض نهري في منطقة التلال انظر الصورة (٣٥) . (شريف ، والشلش ، ١٩٨٥ ، ص ٩٢ - ٩٣) . وكثيرا ما تحدث هذه الظاهرة في المنحدرات التي تتميز تربتها بارتفاع نسبة الرمل والغرين ويكون انحدارها أما شديد أو متوسط . (الشلش ، ١٩٨١ ، ص ١٥٣) .



صورة (٣٥) الأخاديد Gully .



صورة (٣٤) الجداول الصغيرة Rill

هـ - الوديان الجافة .

الأودية هي أماكن منخفضة تتوسط المناطق المرتفعة ، وتتواجد الوديان في الصحاري وفي السهول المنخفضة بين السلاسل الجبلية كما موضح في الصورة (٣٦) ، وغالبا ما تتشابك الأودية الصغيرة مع بعضها البعض لتقضي في وادي كبير رئيسي ، مكونة ما يعرف بنظام صرف الأودية الذي يختلف في الشكل تبعا لنوعية الصخور والتربة التي تسلكها هذه الوديان . وتقوم الأودية بصرف حمولتها من مياه الأمطار والسيول وكذلك الصخور المفتتة عبر الوادي الرئيسي . تتطابق غالبا أنظمة الشبكات النهرية مع تضاريس شبكة الوديان .

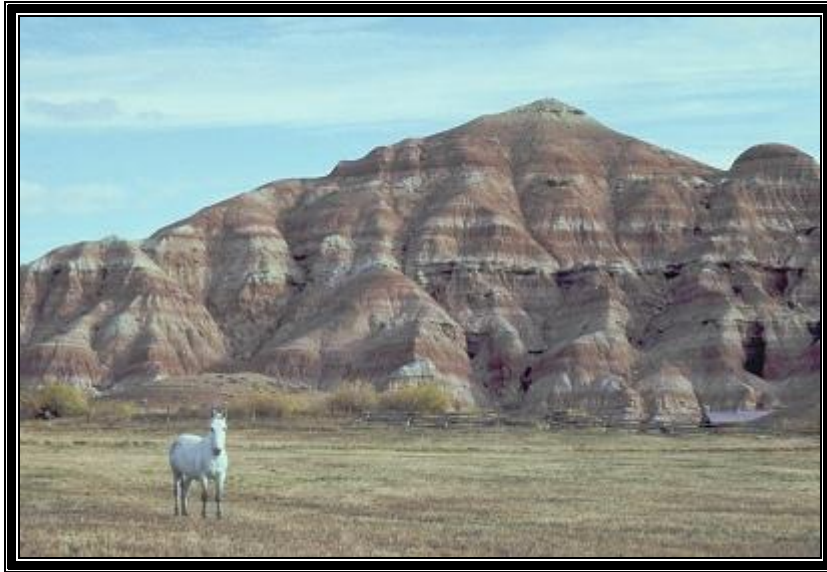


صورة (٣٦) احد الأودية الجافة .

و - الأراضي الوعرة . Badland .

وهي الأراضي الرديئة أو الممزقة وتنشا في المناطق التي تتميز بوجود بنية صخرية متكون من صخور هشة قليلة النفاذية مع قلة في الغطاء النباتي وشدة في الانحدار . فمن حيث البنية الصخرية اذا ما وجدت في أحواض غير مستقرة من الناحية التكتونية . فان الاضطرابات الباطنية قد تؤدي الى طي الطبقات البحرية القديمة . وأحيانا بعض الرواسب البحرية من الطين والرمل والغرين الذي يوجد بقيعان المنخفضات فتظهر الطبقات المطوية على شكل تلال تبرز بضع عشرات أو مئات الأمتار فوق المستوى العام لسطح

الحوض وتصيح عرضة لعمليات التعرية المائية العنيفة التي تمزقها شر ممزق . حتى ليصعب اختراقها بأية وسيلة ومثال على ذلك تلال انديوومكا على الجانب الشرقي لحوض سولتون اذ تعرضت الرواسب الطينية الرملية القديمة التي كانت تشغل قاع الحوض الى الالتواء بسبب الزلزلة الجانبية على طول صدع سان اندرياس الشهير . فظهرت على شكل جبال أو تلال فوق السطح ، وتعرضت للتآكل السريع حتى لتبدو على شكل ضلوع وأعراف صغيرة حادة متداعية تفصل بينها أعداد لا تحصى من الشعاب المتعمقة في التكوينات الهشة . انظر الصورة (٣٧) .



صورة (٣٧) الأراضي الوعرة Badland

وفي رأي آخر يرى بأن وجود البنية الملائمة لحدوث ظاهرة البادلاند لا يشترط تعرض طبقات الحوض للطبي ، وانما قد يحدث هبوط قاع المنخفض تكتونياً ويترتب عليه انكماش سطح البحيرة الداخلية وبالتالي امتداد الأودية الهابطة من الجبال عبر هذه الرواسب فتتولى تمزيقها . على نحو ما يشاهد على جانبي وادي الأردن الى الشمال من البحر الميت وحتى بحيرة طبريا . اذ توجد أشرطة متواضعة من البادلاند حفر في رواسب الالسنة الهشة المكونة اغلبها من الطين بعد أن استطاعت الأودية المنحدرة من الهضبتين الفلسطينية والأردنية أن تتعمق بسرعة فائقة في هذه الرواسب مكونه مجار خانقية تمكنت من أن تجمع لنفسها شبكات من الروافد المحلية قطعت رواسب تلك الالسنة وفصلت أجزائها حتى لتبدو الآن على شكل موائد صخرية أو تلال مخروطية منعزلة مختلفة الأحجام . غالبا ما تغطي أسطحها العليا طبقات أكثر صلابة تحمي ما تحتها من تكوينات رخوة . وتدعى هذه الأشكال محليا بالكثار . وهناك عدة عوامل تساهم في تكوين هذه الظاهرة هي :

١ - ندرة الغطاء النباتي .

ان ندرة الغطاء النباتي واختفائه كلياً من مساحات كبيرة يساهم مساهمة فاعله في اعطاء الفرصة لعمليات النحت بواسطة المياه . وربما كان عدم قابلية هذه الجهات على انماء النبات ترجع الى ارتفاع نسبة الملوحة بالرواسب وشدة اندماج حبيباتها فيصعب على جذور النباتات اختراقها ويؤدي الى ضيق المسام بين حبيباتها وتقل قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة مما لا يضمن استمرار النمو لما قد يوجد من أعشاب .

٢ - وجود الصخور الهشة في مناطق البادلاند تساهم في تعجيل تعميق وتوسيع المجاري المائية بسبب عدم قدرتها على مقاومة عمليات النحت المائي .

٣ - اختلاف صلابة الصخور وتباينها يساعد على انهيار الطبقات العليا بسبب تأكل الطبقات الضعيفة عند قواعد التلال . وبذلك تساهم في تعجيل تراجع جوانب المنحدرات الى الخلف .

٤ - قلة قابلية الصخور المكونة لهذه المناطق على تسريب الماء يضاعف من حجم المياه المنسابة فوق السطح ، وبالتالي تتضاعف قدرتها على النحت واكتساح الرواسب.

٥ - تتميز الطبقات الطينية التي لا تخلو منها جميع جهات البادلاند بخاصية طبيعية هامة هي أنها متى بللت بالماء وتشبعت به صار قوامها غروياً زلفاً ، مما يضاعف من آثار عمليات الانزلاق والانهيار الأرضي (البحيري ، أسس الجغرافيا الطبيعية ، ص ص ٢٣٦ - ٢٣٧) .

إذا ظروف البنية الجيولوجية وندرة الغطاء النباتي مع شدة الانحدار ساهمت جميعاً في تهيئة الظروف الملائمة لتكوين ظاهرة الأراضي الممزقة البادلاند . ولذلك فان السيول الناتجة عن الأمطار الفجائية سرعان ما تعمل على نحت هذه الصخور وتحيل الأرض الى شبكة من الحزوز والخنادق والغدران الصغيرة التي تتخللها بروزات أو جروف حادة مما يجعل الأرض منطقة صعبة لا يمكن عبورها بسهولة وتنتشر في البرتا في كندا وأريزونا ومونتانا في أمريكا وفي غرب سينا . كما توجد في منطقة حوض العظيم في العراق (النقاش ، والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٣٠٧) .

٢ - الأشكال الأرضية الترسيبية في بيئة المنحدرات .

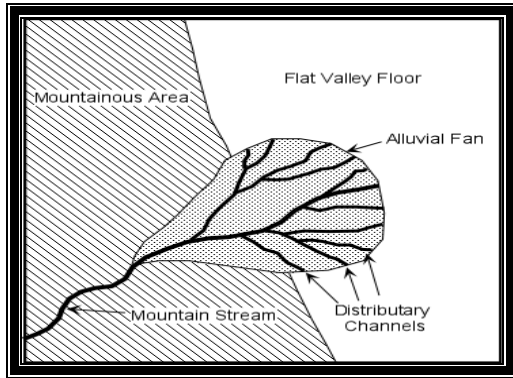
أ - المراوح الفيضية : "Alluvial fans"

ان أكثر ظاهرة ترسيبية شائعة في بيئة المنحدرات في المناطق شبه الجافة هي ظاهرة السهول المروحية أو المراوح الفيضية "Alluvial fans" وهي تتكون عندما ينحدر نهر متدفق عارم على طول سطح جبلي مرتفع شديد الانحدار الى ارض منخفضة واسعة ذات سطح مستوي . عندئذ يلقي النهر كل حمولته من الرواسب حال خروجه من المنطقة الجبلية والتقاءه بالمنطقة السهلية . فتتكون مراوح فيضية تزيد معدلات انحداراتها في المعتاد عن انحدار أسطح الدالات العادية (صفي الدين ، ١٩٧١ ، ص ٢١٣) ويتراوح الانحدار بين (١٠-١٥) درجة (Lutgens & Tarbuck . 1976 . p 176) وتتشابه المراوح الفيضية مع

دالات الأنهار تشابها كبيرا من حيث ميكانيكية الترسيب مع وجود فارق رئيسي بينهما وهو ان المراوح الفيضية تتكون فوق سطح الأرض وليس فوق قاع المحيط أو البحر أو الخليج . انظر الصورة (٣٨) والمخطط (١٦).

وتختلف أحجام المواد الرسوبية التي تتألف منه المراوح الفيضية اذ تتركز الجلاميد والحصى عند قممها . وتزداد هذه الرواسب دقة ونعومه كلما بعدنا عن المرتفعات وأوغلنا التقدم في المنطقة السهلية . وتتكون المراوح الغرينية في جميع المناطق الجغرافية . سواء الجليدية . المعتدلة . الصحراوية وشبه الصحراوية وهي تختلف عن رسوبيات أقدام الجبال . اذ تتكون من رواسب فتائية دقيقة . بينما تكون رسوبيات أقدام الجبال غليظة مثل تكتل المتكورات Conglomerate والرمال المختلطة بالطيني (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٣٠٧) .

تتميز المراوح الغرينية بتشعب المجاري المائية فوقها في شبكات متلاحمة . الا ان معظم القنوات في هذه الحالة لا تعمر طويلا . فغالبا ما تؤدي كثافة الارساب الى انطماء بعض المجاري . واستحداث مجارٍ أخرى من عام لآخر . وهذا يساعد على توزيع الرواسب في شيء من التناسب فوق أسطح المراوح . (البحيري ، أشكال الأرض ، ص ١٦٣).



مخطط (١٦) المراوح الفيضية: "Alluvial fans"

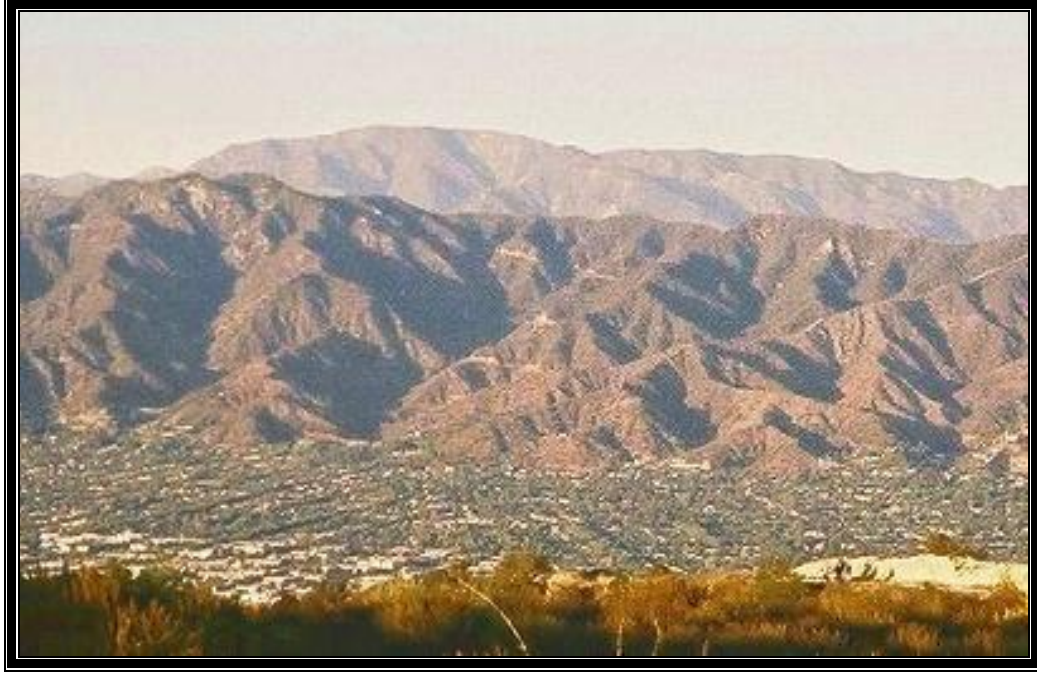


صورة (٣٨) المراوح الفيضية: "Alluvial fans"

ب - البجادا Bajada .

تتكون البجادا من النقاء والتحام عدة مراوح فيضية عند أسفل سلسلة واحدة من المرتفعات ويتكون حينئذ سهل فيضي يمتد أسفل هذه المرتفعات يطلق عليه سهل البجادا كما موضح في الصورة (٣٩) . وتتكون البجادا نتيجة انتقال وتحرك المجاري المائية التي توجد في المروحة الفيضية تحركاً جانبياً ويحدث ذلك عندما يتعرض احد مجاري المروحة الفيضية لعمليات ترسيب ، وبالتالي ارتفاع قاع المجرى النهري الذي يحاول اختيار مجرى جديد من خلال الانحدار الى المناطق المنخفضة المجاورة . وتختلف درجة الانحدار لسطوح البجادا اختلافا كبيرا فقد تصبح درجة انحدار السطح قرب المناطق الجبلية بين (٨ - ١٠ درجات بل وتزيد عن ذلك في بعض الحالات ، وتقل درجة الانحدار كثيرا بالقرب من قيعان الأحواض

حتى تصل درجة الانحدار الى اقل من درجة واحدة (كريل ، ١٩٨٦ ، ص ٢٦٢) وتعد البجادا من الظواهر الجيومورفولوجية المهمة اذ تساعد على تكوين المياه الجوفية وخبزنها بكميات كبيرة بحيث يمكن الحصول عليها عن طريق حفر آبار ضحلة في تكويناتها ، ويعود السبب في ذلك الى ان مياه الأنهار والسيول التي تخترقها تتسرب الى باطن الأرض عند رؤوس المراوح الفيضية ثم تتحدر مع انحدارها بقوة واضحة (صفي الدين ، جيومورفولوجية قشرة الأرض ، ص ص ٢١٣ - ٢١٥) .

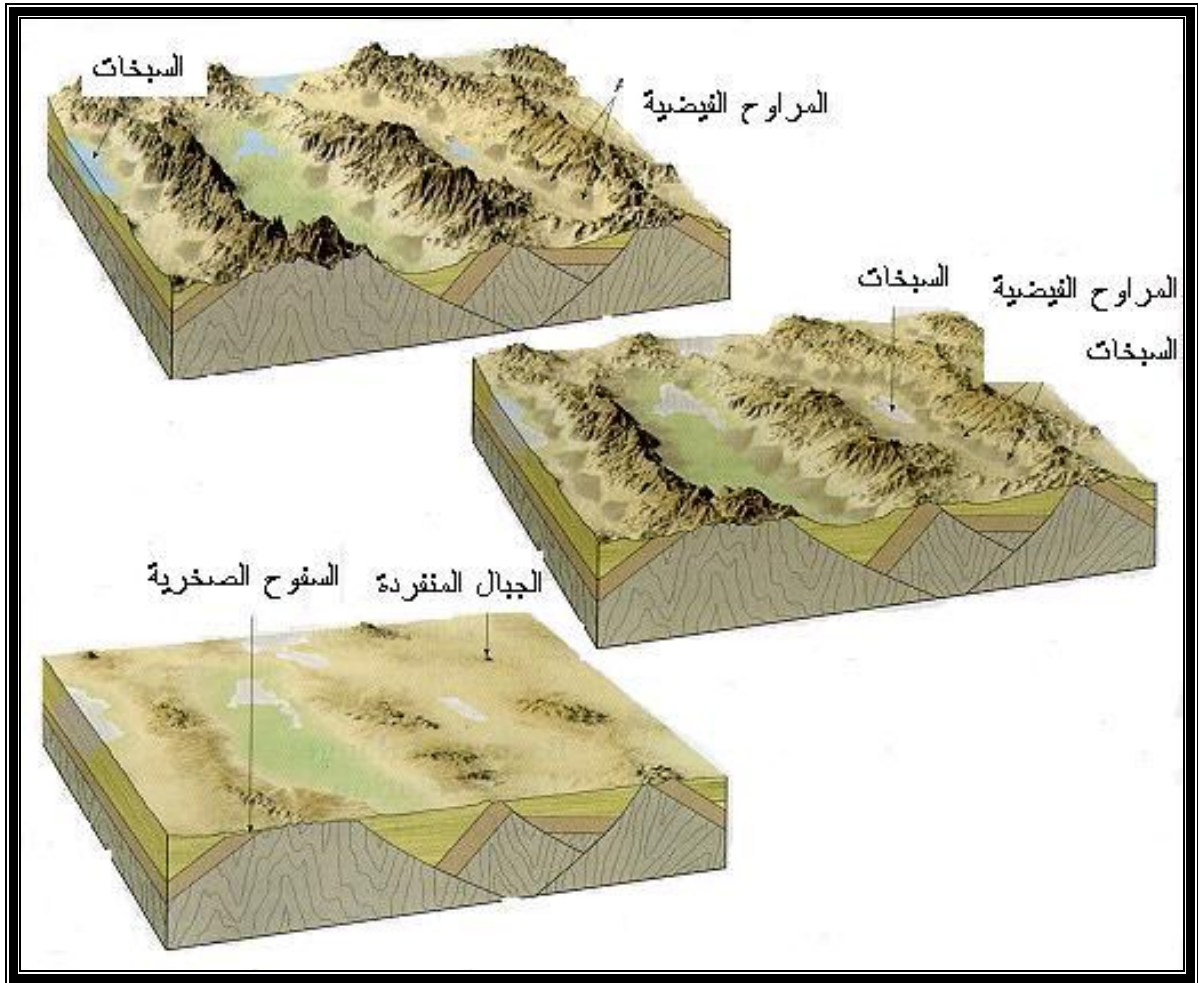


صورة (٣٩) البجادا Bajada

ج - السبخات playa .

ان مجاري مياه الأنهار والسيول التي ساهمت في تكوين المراوح الفيضية تنتشر فوق سطح المنطقة السهلية مكونة ما يشبه البحيرة الضحلة التي تتبخر مياهها في معظم الحالات ، كما تكون مستديمة المياه في حالات أخرى ، كما هو الحال في البحيرة الملحية الكبرى في ولاية يوتان في الولايات المتحدة (صفي الدين ، جيومورفولوجية قشرة الأرض ، ص ص ٢١٤) . وبالتالي يمكن تعريف السبخات بأنها عبارة عن قيعان البحيرات الصحراوية الوقتية ، التي تتميز بالانبساط الكبير وتقع عند قيعان الأحواض الداخلية المحصورة بين تلك المرتفعات ، وتكون غنية برواسب الغرين والطين ، وكذلك الأملاح التي تجمعت في هذه البحيرات التي نقلتها اليها الأنهار الوقتية التي تتبع من المرتفعات المحيطة بتلك الأحواض بعد سقوط الأمطار عليها ، وتغطي الأملاح بعض سطوح السبخات بطبقة ملحية صلبة اذا كان مستوى الماء الباطني بعيدا عن سطح

الأرض ، غير انها تصبح هشة اذا كان الماء الباطني قريب من سطح الأرض ويطلق على هذا النوع من السبخات باسم المملحة salina (كريل ، ١٩٨٦ ، ص ٢٦١) . انظر المخطط (١٧) .



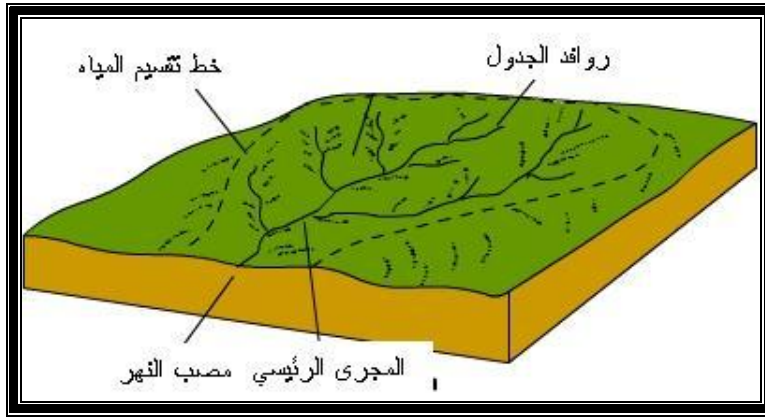
مخطط (١٧) المراوح الفيضية والسفوح الصخرية والسبخات .

الفصل الثامن

حوض الصرف Drainage Basin

المقدمة .

ان حوض الصرف هو عبارة عن المنطقة التي تصرف كل المطر المستلم على شكل جريان سطحي runoff أو مصدر أساسي للمياه الجوفية وبالتالي تكوين نهر معين أو عدة انهار . وعبارة أخرى فان حوض الصرف هو عبارة عن المنطقة التي تتجمع فيها المياه لتصب في جدول أو نهر معين ، وفي تعريف آخر فان حوض الصرف هو عبارة عن جزء من سطح الأرض تم شغله من قبل جدول رئيسي وروافده منفصلا من أحواض الصرف المجاورة بواسطة خط تقسيم المياه انظر الشكل (١٩) .



شكل (١٩) حوض الصرف

ينظر العلماء الى أحواض الصرف بشكل عام بأنها تكون أنظمة مفتوحة open systems إذ تتضمن المدخلات الى هذا النظام ، المطر ، ذوبان الثلوج ، والرواسب . وتَقَدُّ أحواض الصرف جزءا من مياهها عن طريق جريان الجداول ومن خلال التبخر مما يترتب عليه تراكم الرواسب ، وهناك عوامل عديدة تؤثر على المياه والرواسب الداخلة والخارجة والمنقولة في أحواض الصرف وتتضمن هذه العوامل ، التضاريس ، نوع التربة ، نوع الصخور الأم ، المناخ ، الغطاء النباتي . تؤثر هذه العوامل أيضا على طبيعية نمط قنوات الأنهار .

بمرور الوقت ، يتمكن نظام الجداول من تكوين نمط صرف معين الى شبكته التي تتمثل بعدد من القنوات والجداول التي تحدها طبيعة العوامل الجيولوجية المحلية ، وان أنماط الصرف أو الشبكات تُصنَّفُ على أساس الشكل والنسيج . وتتطور عندما يتحسن الجريان السطحي ، وتهدأ مواد الأرض مقاومة اقل لعمليات التعرية ، وبالتالي فإن نسيج الصرف مَحْكُومٌ بتسرب التربة ، وحجم الماء المتوفر في فترة زمنية معينة للدخول الى السطح . فاذا كانت التربة لها قدرة تسرب معتدلة وكمية صغيرة من المطر تُضْرَبُ السطح على فترة زمنية معينة ، فان الماء من المحتمل أن يتشرب في السطح بدلا من أن يتبخر بعيداً . اما اذا كمية كبيرة من الماء تُضْرَبُ السطح سيترتب على ذلك تبخر كميات كبيرة من الماء ، ويتشرب جزء آخر

إلى السطح ، او تكوين برك على سطح الأرض . اما على سطوح المنحدرات فان الماء الفائض سيترتب عليه جريان سطحي ، وبالتالي فان قنوات الصرف القليلة سوف تتطور عندما يكون السطح مستويا وتشرب التربة عاليا لان الماء سوف يتشرب في سطح الأرض . ان هذا العدد القليل من قنوات الصرف سيكوّن نمط الصرف لاحقا .

ان حجم حوض الصرف يُمكنُ أَنْ يَتفاوتَ بين حوض صغير لا يتجاوز بِضْعَةَ أميالٍ أو كيلومتراتٍ مربعة الى حوض كبيرة يمكن أن يكون جزء من قارة . ومثال على ذلك خط تقسيم المياه في قارة أمريكا الشمالية ، الذي يفصلُ أحواض الجداول التي تُصب في النهاية الى المحيط الهادي مِنْ تلك التي تصب في خليج المكسيك . وفيما يلي الأنواع الشائعة لأنظمة الصرف :

١ - نمط الصرف الشجري . dendritic drainage pattern

ان نمط الصرف الشجري هو النمط الأكثر شيوعا ، والذي يبدو مثل نمط تفرع جذور الشجرة ويتطور في مناطق الصخور المتجانسة ، وبما أن الطبقات الصخرية تحت السطح لها مقاومة مماثلة لعمليات التجوية لذلك لا توجد هناك سيطرة على انطباع اتجاه الروافد ، ويتميز هذا النمط من الصرف بان الروافد تكون زاوية حادة على الجداول الرئيسية اذ تكون اقل من (٩٠) درجة . انظر الشكل (٢٠)

٢ - نمط الصرف المتوازي . Parallel drainage patterns

ان شكل أنماط الصرف المتوازي تتكون عندما يكون هناك انحدار واضح على السطح بمعنى آخر انه يتكون في مناطق السطوح المائلة ، ويتطور هذا النمط أيضاً في أقاليم سطح الأرض المستطيلة المتوازية . اذ تميلُ الجداولُ في هذا النمط من الصرف الى الأشكال المتوازية التي تتبع انحدار السطح . ويُشيرُ نمطُ الصرف المتوازي أحيانا الى وجود صدع رئيسي يقطع منطقة الصخور الأم بشكل حاد . كُلاً أشكال الانتقالات يُمكنُ أَنْ تُحدَثَ بين أنماط متشابكة ، شجيرية ، متوازية . انظر الشكل (٢١)

٣ - نمط الصرف الشبكي Trellis drainage patterns

يُتَطورُ نمط الصرف الشبكي في مناطق الطيات ، ومثال على ذلك ما يوجد في جبال الابلاشيان في أمريكا الشمالية أسفل الطيات المقلوبة التي تدعى بأشكال وديان القعائر التي تسكن فيها القناة الرئيسية للجدول . تَدْخُلُ الجداولُ الفرعية القصيرة الى القناة الرئيسية بزوايا حادة بينما تندفع الجوانب السفلى بحافات متوازية تدعى الحناير . تتضمُّ الروافدُ الى الجدول الرئيسي في زوايا قائمة تقريبا انظر الشكل (٢٠) .

٤ - نمط الصرف المستطيل Rectangular drainage pattern

ان نمط الصرف المستطيل يُوجَدُ في المناطق التي مرّت بالتصدع . اذ تتبع هذه الجداول الطرق الأقل مقاومة ، ونتيجة ذلك تتركز في الأماكن التي تتميز صخورها بأنها هشّة ومكشوفة . وبالتالي فانها تعمل على تكوين شكلا منحنيا وتدخل الى النهر الرئيسي بزوايا عالية انظر (٢٠) .

٥ - نمط الصرف الشعاعي Radial drainage pattern

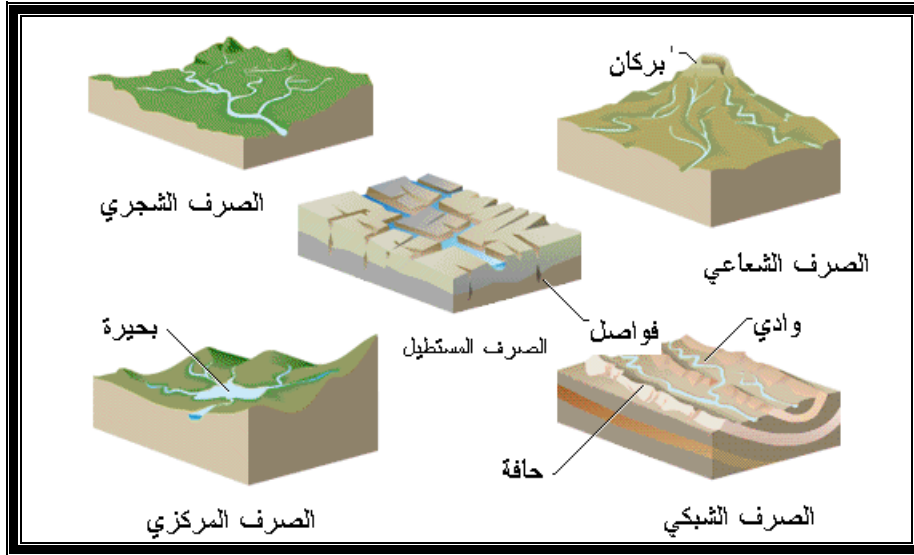
يُتَطورُ نمطُ الصرفِ الشعاعيِّ حولَ نقطةٍ مرتفعةٍ مركزيةٍ . هذا النمطُ شائعٌ في مناطق الجبال المخروطية مثل البراكين . انظر الشكل (٢٠)

٦ - نمط الصرف المركزي Centripetal drainage pattern

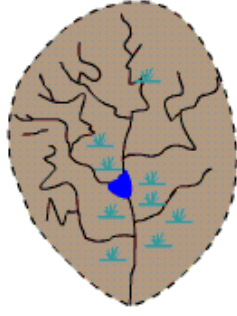
إنَّ نمطَ الصرفِ المركزيِّ يشبهُ بالضبطِ نمطَ الصرفِ الشعاعيِّ إلا أن الجداولَ تتدفقُ باتجاهَ مركزِ المنخفض . هذا النمطُ مثاليٌّ في الأجزاءِ الغربيةِ والجنوبيةِ الغربيةِ للولاياتِ المتَّحدةِ حيثُ تتميزُ هذه الأحواضُ بالصرفِ الداخليِّ . وفي الأوقاتِ الأكثرِ رطوبةً مِنَ السَّنَةِ ، تُغذِّي هذه الجداولُ بحيراتٍ عابرةً ، التي تتبخَّرُ بعيداً أثناءَ فتراتٍ جافةٍ . وتتركُ وراءها رواسبَ ملحية . انظر الشكل (٢١) .

٧ - نمط الصرف المشوش أو الملتوي Deranged or contorted patterns

يتطور نمط الصرف المشوش أو الملتوي من تغير لنمط صرف سابق ، ويتضح من الشكل (٢٢) بأن نمط الصرف بدأ شجيرياً ولكنه عدل بعد اجتياحه بالجليد ، وبعد انحسار الجليد ترك وراءه مادةً دقيقةً التي هي كونت اهورار ورواسب فيما بعد وأغلقت الجداول وكونت بحيرات صغيرة . وبالتالي تبدو الجداول أكثرَ لويماً أو تشوشاً مقارنةً مع الفترة التي سبقت تغطيتها بالجليد .



شكل (٢٠) أنواع مختلفة من أنماط الصرف



شكّل (٢٢) يوضح نمط الصرف المشوش .



شكّل (٢١) نمط الصرف المتوازي

خصائص شكل الحوض .

تتضمن خصائص شكل الحوض كل من نسبة الاستطالة ، ونسبة الحوض ، ومعامل شكل الحوض والتي سوف نتناولها بشيء من التفصيل وكالاتي : استدارة

١ - مساحة الحوض .

تعد مساحة الحوض من المتغيرات المورفومترية المهمة التي لها تأثير واضح على حجم التصريف المائي داخل الحوض ، اذ توجد علاقة طردية بين كل من مساحة الحوض وحجم التصريف المائي بشبكة التصريف النهري .

٢ - طول الحوض .

يعد طول الحوض احد المتغيرات المورفومترية المهمة التي ترتبط بالعديد من الخصائص الأخرى في الحوض النهري ، وحدد شام Schumm طول الحوض بأنه الخط الممتد من منطقة المصب النهري أو مصب الوادي الى أعلى نقطة فوق منطقة تقسيم المياه بأعالي النهر أو الوادي .

٣ - عرض الوادي .

يعد عرض الحوض أيضا من المتغيرات المورفومترية المهمة التي تساعد في تحديد شكل الحوض من خلال النسبة بين طول الحوض الى عرضه . ويتم تحديد عرض الحوض من خلال رسم خطوط متوازية من المصب الى المنبع ، واخذ قياسات لكل منها ، وايجاد متوسط عرض الحوض من خلالها . (تراب ، جيومورفولوجية الأشكال الأرضية (ص ص ٢٠٥ - ٢٠٦) .

٤ - نسبة استطالة الحوض . **Elongation Ratio** .

ان هذه القرينة تم اقتراحها من قبل شوم Schumm عام 1956 ، لوصف امتداد مساحة الحوض المائي من خلال مقارنتها بالشكل المستطيل ، وتكون هذه النسبة مرتفعة كلما كانت الأحواض المائية تتميز

بالطول ، بينما تقل هذه النسبة عندما يتساوى عرض الحوض مع طوله تقريبا (سلامة ، ٢٠٠٤ ، ص ١٧٨ - ١٩٩٠) ويمكن تحديد نسبة استطالة الحوض وفق المعادلة التالية :

$$\text{نسبة استطالة الحوض} = \frac{\text{طول قطر دائرة بنفس مساحة الحوض / كم}}{\text{أقصى طول للحوض / كم}} \times 100$$

ويتم استخراج قطر الدائرة المساوية لمساحة الحوض من المعادلة التالية:

$$ق = 2 \sqrt{\text{مساحة الحوض} \times \frac{7}{22}}$$

وقد تم تبسيط هذه المعادلة من قبل (الدراجي ، والفاضل ، ٢٠٠٨) لتكون بالشكل التالي :

$$\text{نسبة استطالة الحوض} = \frac{\text{ك} \times \sqrt{\text{مساحة الحوض / كم}}}{\text{أقصى طول للحوض / كم}}$$

حيث ان : ك = قيمة ثابتة مقدارها (١.١٢٨٢) .

إذاً نسبة استطالة حوض وادي بو مسافر تساوي (٠.٤٥) وهي نفس النتيجة التي حصلنا عليها في المعادلة القديمة ولكن بطريقة أسهل للتطبيق .

ان دراسة نسبة استطالة الحوض ، ونسبة اختلاف هذه الاستطالة من حوض لآخر لها عدة دلالات يستتبطها الباحث لمعرفة العديد من الخصائص الجيومورفولوجية للحوض ومن هذه الدلالات هو ان الحوض المائي الذي يتميز بنسبة استطالة عالية معناه ان هذا الحوض يمر في بداية دورة التعرية بمرحلة الشباب حيث ان الأنهار عادة ما تبدأ بحفر مجاريها وزيادة أطوالها عن طريق الحت التراجعي ، ولا تمارس الحت الجانبي الذي ينتهي بزيادة عرض الحوض ، الا في مرحلة حتية متأخرة وبعد وصول الحت التراجعي الى مراحل حرجة ومتقدمة . ومن خلال ذلك يستطيع الباحث أن يحدد المظاهر الجيومورفولوجية لهذا الحوض بمظاهر مرحلة الشباب المعروفة . اذ تظهر الشلالات ، والمسارح ، والحفر الوعائية ، وشكل الوادي الذي

يكون على شكل حرف v . ويكون انتشار الصخور الصلبة المظهر الأكثر انتشارا وهذا يدل على مقاومتها الشديدة لعمليات التعرية المائية ، وبالتالي فان عملية الانتقال من الحت الراسي الى الحت الجانبي تأخذ وقتا طويلا . ومع زيادة نسبة الاستطالة يصبح التضرس محدودا وانحدار الحوض أكثر اعتدالا . اذ ينحصر التضرس الشديد في المراحل الأولى للنهر أو الوادي .

اما مناطق تقسيم المياه في الأحواض المستطيلة فانها تكون أكثر ضيقا ، واقل تعرجا ، وأكثر انتظاما منها في الأحواض الأخرى لضعف نشاط الحت الجانبي الذي تمارسه الجريانات المائية الجانبية . وفي حالة سقوط الأمطار الغزيرة في منطقة المنابع في الأحواض الطويلة ، فان قمة التصريف المائي أو حالة الفيضان تتأخر في وصولها الى بيئة المصب بشكل ملحوظ بسبب طول المسافة ، وتناقص التصريف المائي الذي يتعرض الى عمليتي التبخر والتسرب ، اضافة الى ذلك بان هناك العديد من الجريانات أو الروافد الثانوية التي تتميز بها الأحواض الطويلة والتي تصب في المجرى الرئيسي ، والتي عادة ما تكون قصيرة ، وغير متفرعة ، وذات تصريف محدود ، وبالتالي فان ما يترتب على كل ذلك يكون الناتج الرسوبي لهذه الأحواض المستطيلة محدودا نسبيا بسبب انخفاض تصريفها المائي ، وقلة انحدارها ، وضعف طاقتها الحثية .

اما أسباب تكون الأحواض المستطيلة فقد يعود الى عوامل تكتونية بحتة ، دون أن تتدخل عمليات الحت الخارجي في تكوين شكل الحوض ، كما هو الحال بالنسبة للأودية التي تنشأ في أماكن تتعرض للتنشيط التكتوني الذي يؤدي الى تكوين طيات محدبة وأخرى مقعرة ، مما يترتب عليها تكوين الوديان في الطيات المقعرة التي تتحصر بين الطيات المحدبة التي تكون الجبال . (سلامة ، ٢٠٠٤ ، ص ١٧٨ - ١٧٩) (النقاش ، الصحف ، ص ٣٠٠) .

٥ - نسبة استدارة الحوض Circularity .

ان هذه القرينة اقترحها ملتون (Melton,1958) لتصف مدى اقتراب خطوط تقسيم المياه والتي تمثل محيط الحوض ، من محيط دائرة منتظم بنفس الطول ، ومحيط الدائرة يمثل أقصى حالات الشكل الدائري وتبلغ في هذه الحالة أقصى مساحة لها . ولكن قد يحافظ الشكل على طول محيطه بينما تتعرض مساحته للنقصان ، ويتحقق ذلك كلما زاد تعرج المحيط ومن هذا فأن انخفاض مساحة الحوض بالنسبة لمساحة الدائرة بنفس محيط الحوض يعني تعرج هذا المحيط ، وكلما زاد تعرج المحيط قلت المساحة التي يحيط بها ، وبذلك فأن استدارة الحوض تصف مدى تعرج أو تداخل خطوط أو مناطق تقسيم المياه لحوض معين مع الأحواض المجاورة . وأقصى مرحلة يمكن أن يصل اليها الحوض المائي تحدث عندما تختفي هذه التعرجات ويصبح محيط الحوض منطبقا تماما مع محيط الدائرة وبذلك يتساويا في المساحة وعندئذ نسبة الاستدارة تكون (١٠٠ %) وفي هذه الحالة يوصف الحوض بأنه بلغ قمة التطور والحت الجانبي والتراجعي من خلال مناطق تقسيم المياه ، وتطور الجريانات القنوية المتجاورة ، اما في حالة تناقص نسبة الاستدارة فهذا يعني ان خط تقسيم المياه متعرج أو شديد التعرج وان المساحة الحوضية في أصغرها وفي بداية دورتها

الحتية . وبذلك فإن تفاوت نسبة الاستدارة يمكن أن يرتبط بدلالات عديدة يستفيد منها الباحث في تحديد الكثير من الخصائص الجيومورفولوجية للحوض . ويمكن تحديد نسبة استدارة الحوض وفق القرينة التالية :

$$\text{نسبة استدارة الحوض} = \frac{\text{مساحة الحوض / كم}}{\text{مساحة دائرة يساوي محيطها محيط الحوض نفسه / كم}}$$

ونظرا لما تم ملاحظته من تعقيد في هذه المعادلة لذا تم تبسيطها من قبل (الدراجي والفاضل ، ٢٠٠٨) لتكون بالشكل التالي :

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

حيث ان : ل = قيمة ثابتة مقدارها (١٢.٥٧) .

اذ تشير ارتفاع نسبة الاستدارة الى ان الصخور ضعيفة وذات استجابة عالية لعمليات التعرية المائية ، وبالتالي اختفاء تلك الصخور من المظهر الجيومورفولوجي ، وتمتاز المجاري المائية الرئيسية بقصر طولها ، بينما تزداد أطوال الروافد الثانوية القريبة من النطاق الذي يتميز بوجود تعرية محدودة جدا ويتناقص عددها ، وهذا يعني تزايد انحدار الشبكة المائية بصورة عامة ، وارتفاع تصريفها المائي مقارنة مع الأحواض المائية التي تتميز بارتفاع نسبة استدارتها ، وبالتالي يصل الجريان المائي الى قمته وقد يترتب على ذلك حدوث حالة الفيضان في الوادي خلال مدة قصيرة من تساقط الأمطار ، وتتميز هذه الأحواض بنسبة من الرواسب التي تنقل من مكان وترسب في مكان آخر وبالتالي تتباين المظاهر الجيومورفولوجية بين الحت والترسيب والتي تساهم في تباين المظهر التضاريسي ، وتشير ارتفاع نسبة الاستدارة الى كبر المساحة الحوضية .

ترتفع نسبة الاستدارة في الأقاليم المناخية الرطبة بسبب وفرة الأمطار وارتفاع كميات الصرف المائي اللازمة لممارسة الأنهار نشاطا حثيا فاعلا والتي تنزامن مع وجود صخور ذات استجابة كبيرة لعمليات الحت المائي . وليس بالضرورة أن تعكس استدارة الحوض عمليات الحت أو التطور الزمني وانما قد تحدث نتيجة لعمليات تكتونية التي تساهم في تكوين الطيات المحدبة والطيات المقعرة .

٦ - معامل شكل الحوض Form Factor .

ان معامل شكل الحوض يوضح لنا العلاقة بين مساحة الحوض وطوله ، فاذا كانت النتيجة تصل قيمتها الى الواحد الصحيح فان ذلك يعني زيادة نسبة مساحة الحوض على حساب طول الحوض ، ويترتب على ذلك بان يكون شكل الحوض قريبا الى شكل المربع ، اما في حالة انخفاض النتيجة الى اقل من ذلك فان ذلك قد يجعل شكل الحوض يقترب من شكل المثلث ، (سعدية عاكول) ويتم تحديد معامل شكل الحوض من خلال المعادلة التالية :

$$\text{معامل شكل الحوض} = \frac{\text{مساحة الحوض / كم}}{\text{مربع طول الحوض / كم}}$$

ويشير تباين معامل شكل الحوض أو تباين نسبة العرض الى الطول الى الدلالات التالية:

أ- مدى تقدم الحت الجانبي .

ان تزايد عرض الحوض المائي يرتبط بصورة عامة بنشاط الحت التراجعي للروافد الجانبية ، وتتفاوت هذه الروافد في هذا النشاط وفقا لخصائصها الرئيسية ، كالانحدار ، ونوعية الصخر ، والظروف المناخية ، وان الجريانات المائية التي تمتاز بمنحدرات سحيقة وتجري فوق تكوينات صخرية ضعيفة وتهطل فوق حوضها المائي (الفرعي) كمية عالية من الأمطار توفر جريانا مائيا ذا قدرة حثية عالية من شأنها أن تتراجع باتجاه مناطق تقسيم المياه الجانبية بمعدلات عالية مما يزيد من عرض الحوض عندها . وفي حالة وجود اختلاف في معدلات الحت التراجعي لهذه الروافد يصبح عرض الحوض غير منتظم بحيث يزداد أو يقل عرضه حسب هذه المعدلات .

ب- تفاوت صلابة الصخر .

يزداد النشاط الحثي التراجعي للأودية الفرعية الجانبية حيثما يصبح الصخر أكثر ضعفا مما يؤدي الى زيادة أطوالها . بينما تتطور جريانات مائية قصيرة في المناطق التي تسودها صخور صلبة لارتفاع مقاومتها الحثية.

ج- الظروف المناخية .

قد تتفاوت الظروف المناخية على طول محيط الحوض أو مناطق تقسيم المياه . وفي هذه الحالة تصبح الروافد التي تسودها ظروف مناخية رطبة أكثر طولاً من تلك التي تنتشر في ظروف مناخية جافة بسبب شدة تأثير الحث المائي بالمناخ وبخاصة كمية الأمطار الساقطة.

د- الحركات التكتونية .

يمكن أن تساهم الحركات التكتونية في تفاوت أطوال الجريانات المائية الجانبية مما ينعكس في تباين اتساع الحوض المائي . فحيثما تنتشر الصدوع سواء الراسية التي تؤدي الى ارتفاع مناطق تقسيم المياه أو الجانبية التي تزيد من ضعف التكوينات الصخرية أو نشأة التواءات بشكل مقعرات تحدد مجرى واتجاه الروافد المائية تزداد فعالية الحث المائي (التراجعي) مما ينعكس في زيادة عرض الحوض بشكل ملحوظ .

٧ - معامل الاندماج .

يتم تحدي معامل الاندماج وفق المعادلة التالية :

محيط الحوض كم

----- معامل الاندماج

محيط الدائرة التي تكافئ مساحتها مساحة الحوض كم

وقد تم تبسيط هذه المعادلة من قبل (الدراجي والفاضل ، ٢٠٠٨) لتكون بالشكل التالي :

محيط الحوض كم

----- × د = معامل الاندماج

مساحة الحوض كم

حيث ان : د تساوي مقدار ثابت ٠.٢٨٢ .

الخصائص التضاريسية للحوض .

تشمل الخصائص التضاريسية للأحواض المائية ما يلي:

أ - نسبة التضرس .

ان نسبة التضرس يترتب عليها تحديد سرعة الجريان المائي ، ومن ثم كمية الرواسب التي يمكن أن تنقل من الحوض النهري ، وعليه فان زيادة نسبة التضرس تعني سرعة وصول المياه الى منطقة المصب ، وكذلك زيادة كمية الرواسب المنقولة ، ويمكن استخراج نسبة التضرس وفق قانون شوم على النحو التالي :

$$\text{نسبة التضرس} = \frac{\text{فرق الارتفاع / م}}{\text{طول الحوض / م}}$$

ب - المعامل الهبومتري hypsometric integral ويتم استخراجها من خلال المعادلة التالية :

$$\text{المعامل الهبومتري} = \frac{\text{الارتفاع النسبي للحوض}}{\text{المساحة النسبية للحوض}}$$

ويتم استخراج الارتفاع النسبي للحوض من خلال المعادلة التالية :

$$\text{الارتفاع النسبي للحوض} = \frac{\text{ارتفاع أي خط كنتور مختار}}{\text{أقصى ارتفاع في الحوض}}$$

ويتم استخراج المساحة النسبية للحوض من خلال المعادلة التالية :

$$\text{المساحة النسبية للحوض} = \frac{\text{المساحة المحصورة بين أي خط كنتور وبين محيط الحوض}}{\text{المساحة الكلية للحوض}}$$

اما عملية حساب المعامل الهبومتري فيتم بعد توقيع قيم الارتفاع النسبي وما يقابلها من مساحات نسبية لعدد من خطوط الكنتور الممثلة لمناسيب الحوض المائي الممتدة ما بين منطقة المنبع وبيئة المصب على مربع طول ضلعه عشرة سم (مثلا) بحيث يشكل كل (١) سم (١٠ %) لكل من الارتفاع النسبي

(الذي توقع قيمة على المحور العمودي من المربع) والمساحة النسبية (التي توقع قيمها على المحور الأفقي من المربع) . وبعد وصل نقاط التقاطع لكل من المتغيرين تحسب المساحة التي تقع أسفل المنحنى (المنحنى الهيسومتري) ويعادل ذلك المعامل الهيسومتري للحوض ، ويعتبر المعامل الهيسومتري مقياساً زمنياً يعبر عن المرحلة الحتية التي تمر بها الأحواض المائية كما يشير الى كمية المواد الصخرية التي لا تزال تنتظر دورها في العملية الحتية . وتكتسب الخصائص التضاريسية أهميتها من خلال انعكاسها لبعض العوامل البيئية / الحوضية السائدة أو الماضية ، إضافة لعلاقتها المتبادلة مع الخصائص الأخرى . ويمكن توضيح من خلال النقاط التالية :

أولاً - الخصائص التضاريسية ودلالاتها البيئية والحوضية :

أ - نوعية الصخور .

تعد الأحواض المائية التي تسودها صخور صلبة اشد تضرساً ، وانحداراً ، ويكون تطور معاملها الهيسومتري أعلى من تلك الأحواض التي تسودها صخور ضعيفة ويصبح الانحدار أكثر تجزؤاً ، واقل انتظاماً مع تنوع الصخور في الحوض المائي .

ب - الدلالات البنائية .

تختلف الخصائص التضاريسية لأحواض المائية حسب نوعية وتركيز الحركات التكتونية . وبصورة عامة فإن الارتفاع التكتوني في بيئة المنابع ، أو الهبوط التكتوني في بيئة المصب يؤديان الى زيادة كل من التضرس ، ودرجة الانحدار كما يحافظان على ارتفاع معاملها الهيسومتري .

ج - الظروف المناخية .

بصورة عامة تكون الأحواض المائية في الأقاليم المناخية الجافة ، أعلى تضرساً ، واشد انحداراً ، وذات معامل هيسومتري أعلى من نظيراتها في المناخ الرطب .

د - دلالات الزمن .

مع استمرار عمليات الحت لفترات زمنية طويلة تنتقل الأنهار في أحواضها المائية من مرحلة الشباب ، النضج ، الشيخوخة . ويرافق ذلك تناقص متزايد في كل من التضرس والانحدار والمعامل الهيسومتري .

ثانياً - العلاقات التضاريسية - الحوضية .

ترتبط الخصائص للأحواض المائية بكثير من الخصائص الحوضية الأخرى ومن أمثله ذلك ما يلي

:

أ - نشأة علاقات ارتباط سلبية بين التضرس والانحدار من جهة وبين المساحة الحوضية وطول الحوض من جهة أخرى . بينما تصبح هذه العلاقة طردية بالنسبة للمعامل الهيسومتري.

ب - تؤدي زيادة التضرس ودرجة الانحدار الى زيادة الكثافة التصريفية Drainage den-sity والتكرار النهري ، وعمق الروافد ، والتصريف المائي ، والقوة الحتية ، والنتائج الرسوبي للأنهار . مما يحقق زيادة تابعة في وعورة السطح (معدل القوام الحوضي) ومعدل التشعب النهري ، والرتب النهريه.

ج - تؤدي زيادة التضرس ، ودرجة انحدار الحوض ، الى تصعيد نشاط الأنهار في الحت والنقل ، بحيث تتزايد السعة ، والكفاءة النهريه ، ومسافة النقل الرسوبي ، مما ينتج عنه أشكال رسوبية أكثر اتساعا وابعد مسافة واقل تضرسا وذات رواسب أكثر نعومة.

الفصل التاسع

الأنهار وأثرها في تشكيل سطح الأرض

المقدمة .

يمكن تعريف النهر River بأنه عبارة عن تجمع المياه المنحدرة على سطح الأرض بمجرى يكونه الماء لنفسه أثناء عملية الجريان التي تتبع الانحدار . اما مصطلح stream فانه كان يستخدم ليشير أو يدل على تدفق القنوات بأي حجم من الغدران Brooks ، والجداول Rills ، الى الأنهار الكبيرة مثل الأمزون ، ولو ان تعبير النهر River والينبوع Stream يستعملان بشكل مرادف لاعطاء نفس المفهوم ، الا إن تعبير النهر River يفضل غالبا عندما يتميز الينبوع الرئيسي بعدة روافد تتدفق فيه .

Lutgens&Turbuck.p 113. وتعد المياه الجارية من أهم العوامل التي ساهمت ولازالت تساهم في رسم الصورة التضاريسية لبقاع واسعة من سطح الأرض ، وهذا لا يرتبط بالجهات الرطبة حيث تتوفر الأنهار والمجاري المائية المستديمة ، وانما يشمل المناطق الجافة وشبه الجافة التي تعرضت الى فترات رطبة خلال العصور المطيرة . ولو علمنا ان ما يسقط على سطح اليابس كل عام بحدود (٩٩,٠٠٠) كيلومتر مكعب من مياه الأمطار والثلوج ، ينصرف منها بحدود (٢٢ %) الى البحر ، هذه النسبة تجعلنا أن نتصور مقدار الطاقة الجبارة التي تنشأ عن حركة هذه المياه وهي في طريقها الى البحر ، خاصة اذا علمنا انها تتحدر من ارتفاع متوسط حوالي (١٠٠٠) متر حتى تصل الى هذا المنسوب . هذه الطاقة تستهلك في تجوية وتفثيت واذابة الصخور التي تسقط عليها الأمطار عند منابع الأنهار ، كذلك الصخور المكونة لقيعان وجوانب المجاري المائية المختلفة ، وكذلك تقوم بنقل هذه الكميات الهائلة من الحطام والفتات الصخري الى البحر ، اذ يقدر وزن ما تحمله الأنهار الى البحار بحدود (٨٠٠٠) مليون طن سنويا ، تشكل الحمولة الذائبة بحدود (٣٠ %) من مجمل الحمولة المنقولة إلى البحار .(النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٥٠)

تكون جميع المجاري المائية في الأقاليم الرطبة باستثناء الجدول الصغيرة في المناطق الجبلية دائمة الجريان الا ان كمية المياه في هذه المناطق تتباين من فصل لآخر تبعا لتوزيع الأمطار على الحوض ولكل قارة من قارات العالم انهار كبرى دائمة وجميع هذه الأنهار تتبع من مناطق جبلية رطبة أو من قمم شاهقة تغطيها الثلوج وبعد ذلك يخترق مجاريها مناطق وفيرة الأمطار في معظمها باستثناء بعض الأنهار الكبرى مثل نهر النيل ودجلة والفرات والكولورادو والأردن الى حد ما فهذه الأنهار تخترق مناطق صحراوية شديدة الجفاف في الشطر الأعظم من مجاريها الدنيا حيث تفقد كميات هائلة من مياهها بالتبخر والتسرب أثناء رحلتها في الصحاري الحارة ولا تعوضها الأودية الجافة التي تتحدر اليها عادة من الجهات المجاورة .(البحيري ، أسس الجغرافيا الطبيعية ، ص ص ١٩٧ - ١٩٩) . وتختلف المجاري المائية هنا عن الأنهار في المناطق الرطبة فهي مهما عظمت أبعاد أحواضها وكثرت أعداد روافدها لا تجري الا في أوقات معينة فتراها تارة جافة ، وتارة أخرى تفيض حتى لتغرق ما على جوانبها من مشيدات أقامها الانسان ، ويطلق على مثل هذه المجاري المائية أسماء محلية مختلفة في جهات العالم الجافة فهي تعرف بالأودية في الوطن العربي ، والارويو Arroyoo في الجهات الجافة من العالم الجديد ، وتتبع هذه الأنهار من المناطق المرتفعة الأكثر

رطوبة والموجودة داخل الأقاليم الصحراوية ، وتتغذى من الينابيع والعيون أو من المياه الناتجة عن ذوبان الثلوج ، ويمكن لبعض هذه الأنهار ان تكون دائمة الجريان مثل نهر الأردن الا ان غالبيتها تكون ذات جريان فصلي ، وقد تصبح انهارا متقطعة الجريان عند اقترابها من المناطق السهلية المجاورة . ويشد اثر هذه الأنهار على مظاهر سطح الأرض في هذه الأقاليم رغم قصر الفترة الزمنية التي تستغرقها المياه الجارية اذ تستطيع حمل كميات كبيرة من الفتات الصخري الذي تم تهيئته بواسطة التجوية خلال الفترة الجافة . ان مثل هذه الأودية كثيرة التردد والتجول عن مجاريها من عام لآخر بفضل ما يرسب في قيعانها الدنيا بصفة خاصة من مواد فيضية تكون في المعتاد مراوح فيضية في بعض الجهات ، كما ان بعض الجهات الحوضية المنخفضة التي ينتهي اليها عدد كبيرة من هذه المجاري تنشأ بها سبخات تغطيها المياه المالحة بصفة مستديمة أو مؤقتة (البحيري ، أسس الجغرافيا الطبيعية ، ص ص ١٩٧ - ١٩٨) . ويمكن تقسم الأنهار في المناطق الجافة الى ثلاث مجموعات تبعاً لمصادرها وهي:

١- الأنهار الخارجية .

ويطلق عليها أحيانا اسم الأنهار الدخيلة وهي الأنهار التي تدخل الأقاليم الصحراوية وقد تخرج منها بعد ذلك أحيانا . وتتصف هذه الأنهار بأنها دائمة الجريان رغم وجود التذبذب الفصلي الكبير في كمية المياه الجارية فيها ، وتلقى حمولتها ومياها عند وصولها المحيط أو البحر أو الخليج الذي يصح بدورة قاعدة تعرية لتلك الأنهار ومن أمثله ذلك نهر النيل في مصر . الاورنج . كلورادو في الولايات المتحدة تاريم في وسط آسيا . ونهر دارلنك في استراليا . ودجلة والفرات في العراق .

٢ - انهار الأقاليم الصحراوية .

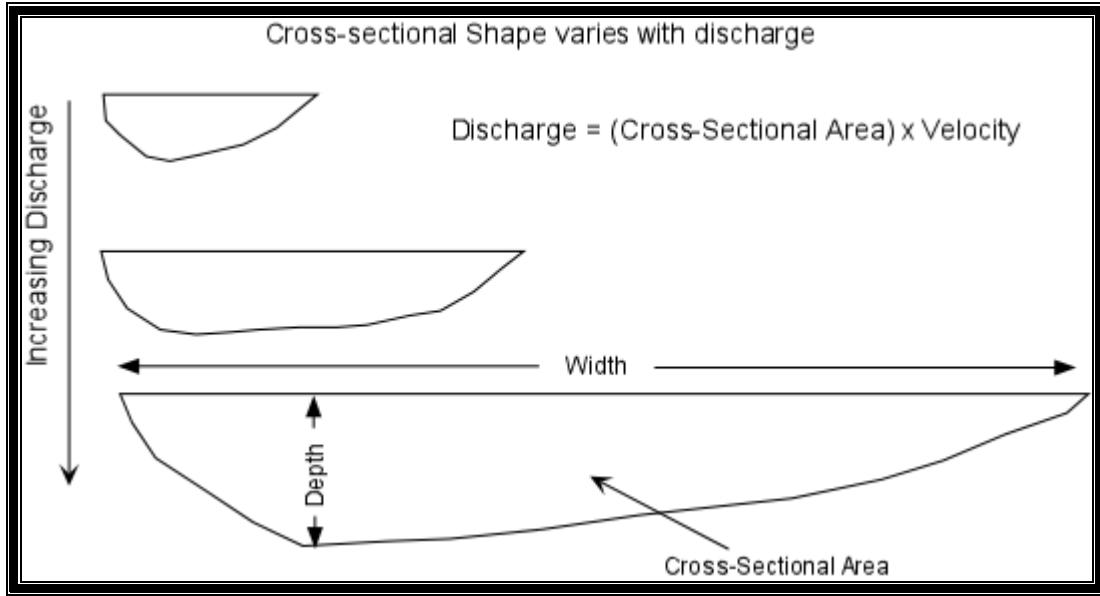
وهي تتبع من المناطق المرتفعة الأكثر رطوبة والموجودة داخل الأقاليم الصحراوية . وتتغذى من العيون والينابيع أو من المياه الناتجة عن ذوبان الثلوج . ويمكن لبعض هذه الأنهار أن تكون دائمة الجريان مثل نهر الأردن . ألا أن غالبيتها تكون ذات جريان فصلي ، وقد تصبح انهارا متقطعة الجريان باقترابها من المناطق السهلية المجاورة .

٣ - الأنهار الوقئية .

تعد أكثر الأنهار شيوعا في الأقاليم الصحراوية وتعتمد في جريانها على مقدار الأمطار الساقطة على أحواضها ويشد تأثير هذه الأنهار على مظاهر سطح الأرض في هذه الأقاليم رغم قصر الفترة الزمنية التي تستغرقها المياه الجارية اذ تستطيع حمل كميات كبيرة من الفتات الصخري الذي تم تهيئته بواسطة التجوية خلال الفترة الجافة . ولهذه الأنهار الدخيلة أهمية بالغة من الناحية البشرية لأنها كانت مراكز لتجمع السكان في مناطق جرداء منذ أقدم العصور ومن ثم كانت ضفافها بمثابة النواة للحضارة في النيل ودجلة والفرات .(البحيري ، أسس الجغرافيا الطبيعية ، ص ص ١٩٧ - ١٩٩) .

المقطع العرضي Cross Sectional .

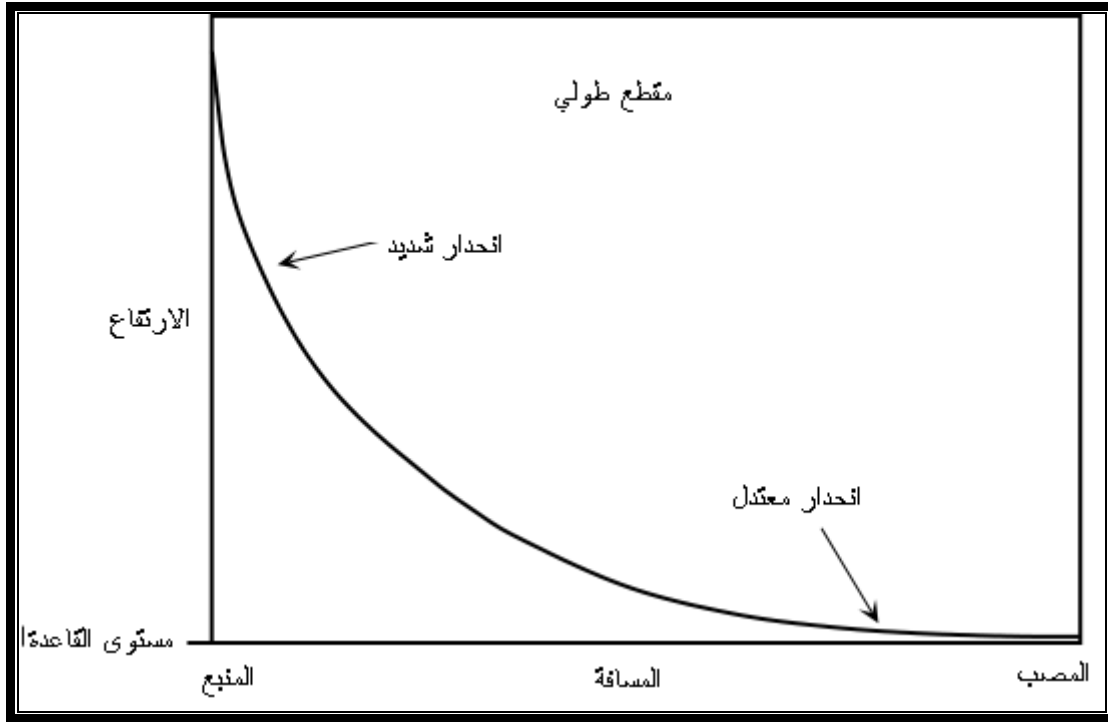
يتفاوت شكل المقطع العرضي للنهر حسب موقعه في النهر ، وحسب التصريف ، ويحدث الجزء الاعمق للقناة عندما تكون سرعة النهر عالية ، ويزداد كل من العمق والعرض في الجزء الأدنى من النهر ، وذلك لان التصريف يرتفع في هذا الجزء من النهر ، وسوف يتغير شكل المقطع العرضي للنهر عندما يرتفع التصريف ويصبح المقطع العرضي للنهر في حينها أعمق وأوسع . كما موضح في المخطط (١٩) .



مخطط (١٩) المقطع العرضي للنهر .

المقطع الطولي Long Profile .

يوضح المخطط (٢٠) بتميز النهر بالانحدار الشديد قرب منطقة المنبع بينما يتميز بانحدار بسيط كلما اقترب النهر من المصب .



مخطط (٢٠) المقطع الطولي للنهر .

العوامل المؤثرة في سرعة مياه الأنهار .

يشق الماء الجاري أو المتدفق طريقه الى البحر تحت تأثير الجاذبية . ويعتمد الوقت الذي تتطلبه الرحلة على سرعة النهر نفسه ، الذي يقاس بتعبير مسافة وصول الماء في وحدة زمنية معينة . اذ ان بعض الجداول البطيئة تسيّر بسرعة أقل من (٠.٨) كيلومتر بالساعة . بينما تصل سرعة بعض الأنهار السريعة الأخرى الى (٣٢) كيلومتر بالساعة . تحدد السرعة في محطات القياس عندما تؤخذ قياسات في عدة مواقع عبر قناة النهر ثم يحسب متوسطها . اذ يلاحظ بان السرعة القصوى تكون قرب مركز القناة وبالضبط تحت السطح عندما يكون النهر في خط مستقيم ، ولكن عندما يتغير اتجاه النهر ويتميز بالانحناءات فان السرعة القصوى سوف تنتقل باتجاه ضفاف النهر .

تعد سرعة النهر من الخصائص المهمة جدا اذ تتعلق قدرة النهر بالتآكل والنقل بسرعه . اذ ان اختلافات طفيفة حتى في السرعة يُمكن أن تُؤدّي الى تغييرات هامة في حمولة الرواسب المنقولة بواسطة الماء ، وهناك عدّة عوامل تحدد سرعة النهر وتُسيطر على كمية عمل التعرية التي قد ينجزها النهر . وتتضمن هذه العوامل :

(١) الميل أو الانحدار Gradient or slop

يعد ميل أو انحدار قناة النهر احد العوامل الأكثر وضوحا في السيطرة على سرعة النهر ، وقد يتفاوت الميل الى حد كبير من جدول الى آخر ، فعلى سبيل المثال فان الأجزاء السفلى من نهر الميسيسيبي تتميز بميل يصل الى حدود (١٠) سنتيمترات لكل كيلومتر وأقل . ولغرض المقارنة ، فان بعض قنوات الأنهار الجبلية تهبط من ارتفاع يصل الى أكثر من (٤٠) متر لكل كيلومتر ، بمعنى أربعمئة مرة مقارنة

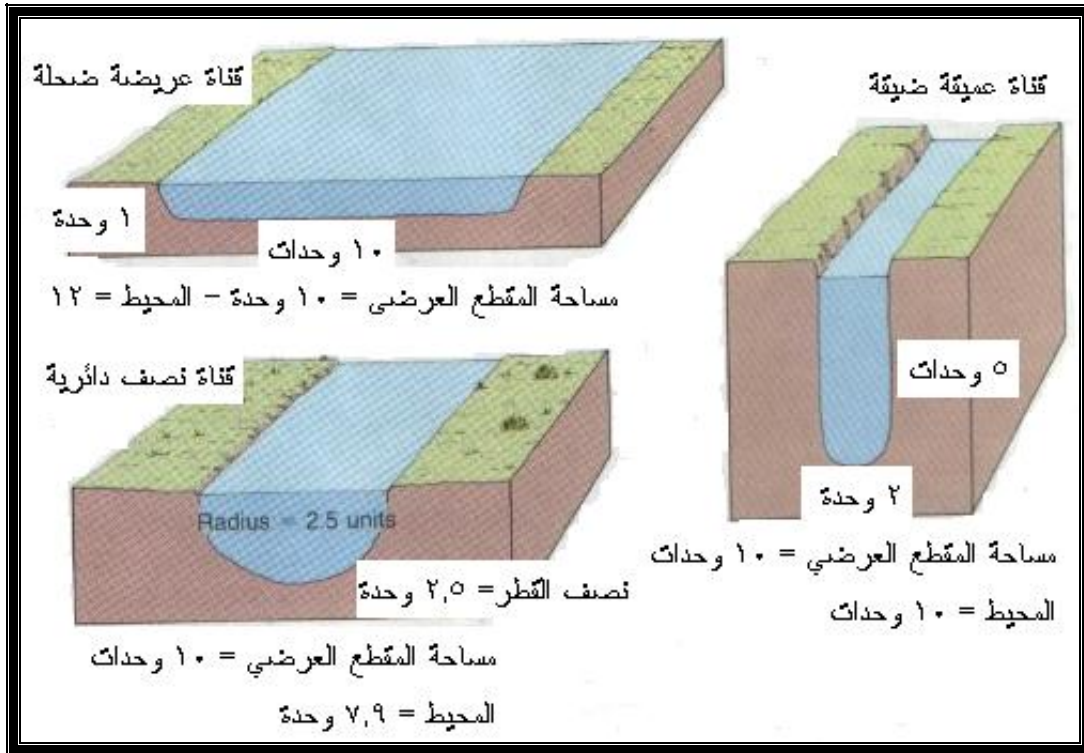
مع الجزء الأسفل لنهر المسيسيبي . ان الميل الأعلى يوفر طاقة كبيرة لجريان النهر ، فعلي سبيل المثال اذا أردنا المقارنة بين نهريين متماثلان في كل الجوانب ماعدا الميل ، فان ذلك سوف يترتب عليه بان النهر الذي يتميز بالميل الأكبر سوف يتميز بالسرعة العالية .

٢ - شكل القناة .

ان الشكل العرضي للقناة يُقرَّرُ كمية الماء التي تلامس القناة وتؤثر على العائق الاحتكاكي لذلك . ان القناة الأكثر كفاءة تكون احد حافاتها اقل من مقطعها العرضي ، ويوضح الشكل (٢٣) مقارنة بين ثلاثة أنواع من القنوات . بالرغم من ان المنطقة العرضية للأنواع الثلاثة متماثلة ، الا ان الشكل النصف دائري مياهه اقل اتصال بالقناة مقارنة مع النوعين الآخرين وعليه فان العائق الاحتكاكي يكون اقل وكننتيجة لذلك اذا كانت كل العوامل الأخرى متساوية فان الماء سوف يتدفق بسرعة في القناة النصف دائرية .

٣ - حجم وخشونة القناة .

الحجم والخشونة للقناة يُؤثران على كمية الاحتكاك أيضاً . اذا ان الزيادة في حجم القناة يقلل نسبة الحافة لمنطقة المقطع العرضي مما يترتب عليه زيادة كفاءة التدفق . ان تأثير الخشونة واضح . اذا ان القناة التي تتميز بان سطحها ناعم يكون تدفقها موحد وبكمية اكبر لقلة وجود الاحتكاك ، بينما قناة شاذة أو غير النظامية التي تكون ممثلة بالصخور تخلق الاضطراب الكافي لاعاقه الجدول بشكل ملحوظ للحركة نحو الأمام .



شكل (٢٣) تأثير شكل القناة على سرعة المياه في النهر

٤ - التصريف Discharge .

التصريف يعني كمية المياه المارة في نقطة محددة ضمن وحدة زمنية معينة ، وتقاس بالأمطار المكعبة بالثانية أو بالأقدام المكعبة بالثانية ، ويمكن قياس التصريف بضرب السرعة في مساحة المقطع العرضي .

يعد نهر المسيسيبي من اكبر الأنهار في أمريكا الشمالية اذ يكون تصريفه بمعدل ١٧,٧١٥ متر مكعب (٦٢٥,٣٤٠ قدم مكعب) بالثانية . مع ذلك فان هذه الكمية من التصريف تكون صغيرة مقارنة مع نهر الأمازون الهائل الذي يعد اكبر انهار العالم . تصريف المنطقة يشكل تقريباً ثلاثة أرباع حجم الحدود المشتركة للولايات المتحدة بمتوسط يصل الى حدود ٢٠٠ سنتيمتر من المطر بالسنة ، بينما تصريف نهر الأمازون من الماء ١٠ مرات أكثر من نهر المسيسيبي . في الحقيقة ان تدفق نهر الأمازون يشكل بحدود ٥١ % من كل الماء العذب لانهار العالم الذي يدخل الى المحيط ، وعلى سبيل المثال فان تصريف يوم واحد فقط يُجهز حاجات ماء مدينة نيويورك تسعة سنوات تقريباً.

ان تصريف الأنهار غير ثابتة . هذه حقيقة بسبب متغيرات عديدة مثل الأمطار وذوبان الثلوج التي تساعد على تغير التصريف ، فاذا تغير التصريف فان العوامل الأخرى سوف تتغير ، وعندما يزداد التصريف يترتب عليه زيادة في عرض وعمق القناة وان تدفق المياه سوف يكون أسرع ، أو جزء من هذه العوامل يجب أن يتغير ، في النهاية توضح القياسات بأنه في حالة ارتفاع كمية المياه في النهر فان العمق والعرض والسرعة تزداد زيادة منظمة لمعالجة المياه الاضافية ، النهر سوف يقوم بزيادة حجم قنواته بتوسيعها وتعميقها . كما رأينا في وقت سابق ، عندما يزداد حجم القناة فان نسبة اقل من المياه تحتك بقاع القناة وجوانبها ، مما يعيق تدفق المياه ويخفض سرعتها بشكل نسبي ، ان الاحتكاك القليل سوف يترتب عليه تدفق المياه بشكل أسرع *Lutgens&Turbuck.p 114* .

٥ - طبيعة الصخور .

تؤثر طبيعة الصخور على النسبة بين الماء المنطلق والمتخلل تأثيرا كبيرا ، ففي حالة وجود طبقة من الطين المصمت مكشوفة على سطح الأرض فانها تمنع الى حد كبير تخلل الماء في الصخور وتؤدي بذلك الى زيادة كمية الماء الجاري في المنطقة المجاورة لها ، اما في حالة وجود مكاشف من الصخر الرملي النفاذ فتكون نسبة الماء المتخلل كبيرة ، وبالتالي تنقص كمية الماء الجاري ، ويمكن أن يتخلل الماء بعض الصخور المصمتة نتيجة لوجود فواصل في تلك الصخور .

٦ - الغطاء النباتي .

تعمل الأشجار والنباتات على خفض نسبة الماء المتخلل والماء الجاري من خلال قدرتها على امتصاص كمية كبيرة من مياه الأمطار ، وتزداد نسبة التبخر - نتح في المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف ، اما المناطق الجرداء الخالية من الغطاء النباتي فان الأمطار تساعد الأنهار بحفر أودية عميقة أثناء جريانها على سطح الأرض . (البحيري ، أسس الجغرافيا الطبيعية ، ص ص ١٩٧ - ١٩٩).

حمولة النهر River Load

يَسْتَعْمَلُ النهر طاقته لِحَمْلِ أو نقلِ أضعفَ الموادِ مثل الطينِ ، رمل ، والجلاميد ، والمواد الذائبة . هذه الموادِ تَدْعُو الحمولة . ينقل النهر هذه الحمولة بواسطة أربعة عمليات هي الحمولة المتدحرجة ، والحمولة القافزة ، والحمولة العالقة ، والحمولة الذائبة ، وسوف نوضحها كالاتي :

١ - الحمولة المتدحرجة أو السحب Traction or rolling Load

الجزئيات الكبيرة مثل الصخور والجلاميد تسحب وتتدحرج بالقرب من القاع بسبب كبر حجمها وثقل وزنها ، انظر الشكل (٢٤) .

٢ - القفز Saltation Load

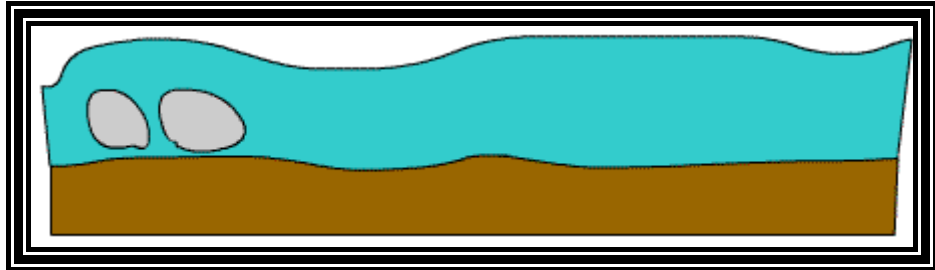
الجزئيات الكبيرة مثل الحصى والرمل الخشن يَرْفَعَانِ وَيَنْخَفِضَانِ على طول النهر ، بطريقة يطلق عليها الوثب أو القفز . انظر الشكل (٢٥) .

٣ - الحمولة العالقة Suspension Load

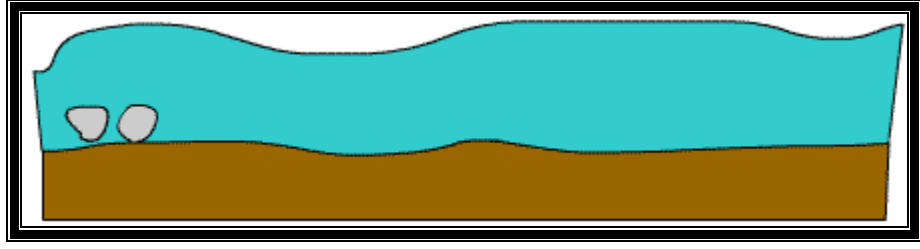
ان المواد التي تنقل بطريقة التعليق Suspension تشكل الجزر الأعظم من الحمولة الكلية للنهر ، وتتضمن هذه الحمولة الجزئيات الصغيرة مثل الطين clay ، والغرين silt ، والرمل الناعم fine sand والتي تحمل بشكل مستمر على طول النهر بدون الاتصال بالقاع . انظر الشكل (٢٦) .

٤ - الحمولة الذائبة Dissolved Load

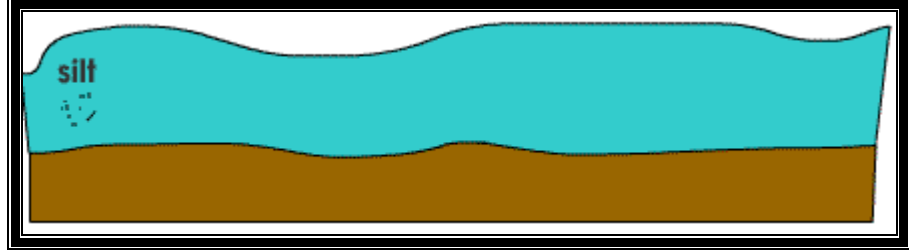
الأيونات التي أضيفت الى الماء بواسطة التجوية الكيميائية للصخور ، هذه الحمولة غير مرئية لان الايونات ذائبة بالماء . وتتضمن الحمولة الذائبة بشكل رئيسي حامض الكاربونيك HCO_3 وايونات بيكاربونات الكالسيوم ، والكبريت ، الكلور ، والصوديوم ، والمغنسيوم ، هذه الحمولة الذائبة تنقل الى البحار والمحيطات وتعطي للمحيطات خصائصها الملحية ، ويتميز الجدول الذي تكون مصدر مياهه المياه الجوفية العميقة بحمولة ذائبة أعلى من ذلك الجدول الذي يكون مصدر مياهه المياه السطحية .



شكل (٢٤) الحمولة المتدحرجة .



شكل (٢٥) الحمولة القافزة .



شكل (٢٦) الحمولة العالقة .

تأثير الأنهار في تشكيل سطح الأرض .

تتباين الأشكال الأرضية الناتجة عن عمليات المياه الجارية بتباين المرحلة التي يمر بها النهر ، اذ وضح وليم موريس ديفز بان النهر يمر بثلاث مراحل ، هي الشباب ، والنضج ، والشيوخة ، وسوف نتطرق الى الظاهرات التي تتميز بها كل مرحلة من هذه المراحل وكالاتي :

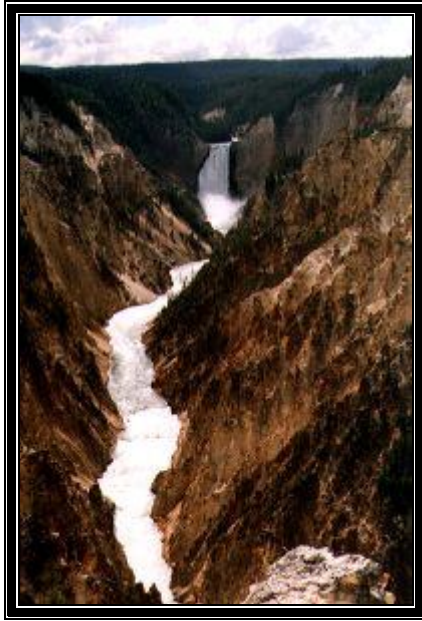
المرحلة الأولى - مرحلة الشباب .

ان النهر في هذه المرحلة يكون قوياً شديداً البأس وان النحت الرأسى ، يكون عظيماً ونتيجة لذلك تنشأ ظاهرات تميز الوادي في هذه المرحلة وهي الظاهرات التي نجدها في المجرى الأعلى للنهر وهي كما يلي :-

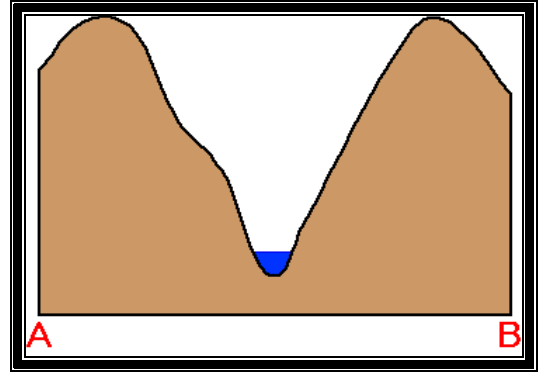
١ - الخوانق والأخاديد Gorges & Canyons .

يتم تعريف الخانق بأنه عبارة عن مجرى نهر يتميز بأنه ضيق جداً وذو جوانب شديدة الانحدار أو راسية تقريباً وعميقاً بالنسبة لاتساعه ، أما الأخدود فهو متسع وعميق جداً بالنسبة لاتساعه ، (حسن واخرون ، ١٩٩٠ ، ٣٣٢) ويتكون الخانق النهري عندما يتغلب النحت الراسى على النحت الجانبي ، وتنشأ الخوانق عادة في الصخور الصلبة ، ولذا تتميز بان جوانبها قائمة شديدة الانحدار دون أن تنهار ، ومثال على ذلك خانق أري AARE الشهير قرب بلدة مايرنجين في سويسرا ، كما تنشأ الخوانق أيضاً حين يتعرض جزء من منطقة مجرى النهر لحركة أرضية رافعة ، ويكون النهر من القوة بحيث يستطيع أن ينحت رأسياً بنفس معدل الرفع الذي تعانيه المنطقة وهذا ما نجده ممثلاً في خوانق نهر السند في اقليم كشمير ، وهناك أسباب أخرى لتكوين الخوانق منها عمليات النحت الجليدية المائية وتدهور أسقف الكهوف والمغارات المستطيلة في المناطق الجيرية (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ص ٣١٥ - ٣١٦) . وتتكون الخوانق والأخاديد عندما تتدفق مياه الأنهار الشابة ذات السرعة الكبيرة على انحدارات شديدة في مناطق توجد فيها ظروف تساعد التعرية

بالعوامل المختلفة التي تؤدي الى توسيع وديان ومجاري الأنهار ، فيكون عامل التعرية السائد في المنطقة هو نشاط المياه الجارية للنهر فقط . (حسن واخرون ، ١٩٩٠ ، ص ٣٣٢) . ويتوقف نشأة الخوانق على طبيعة الصخور هل هي قابلة للذوبان أم أنها لا تذوب فعلى سبيل المثال المجرى الذي ينحت صخوراً صلبة كالصخور الجرانيتية تتم عملية النحت ببطء وعلى عكس ما يحدث اذا كان يجري فوق صخور رملية أو طباشيرية أو صلصالية أو أي نوع آخر من الصخور اللينة اذ يحفر مجراه ويعمقه بسرعة (الجهوري ، أسس الجغرافيا الطبيعية ، ص ١٩٥) . وعادة ما يكون شكل الوادي في هذه المرحلة على شكل حرف "V" . (أبو العينين ، ١٩٧٦ ، ص ٣٤٦) انظر الشكل (٢٧) والصورة (٤١) .



الصورة (٤١) شكل النهر في مرحلة الشباب .



الشكل (٢٧) شكل القناة في مرحلة الشباب

٢ - الحفر الوعائية Pot Holes .

و هي عبارة عن منخفضات مستديرة الشكل توجد في قاع النهر وتنشأ من تحرك الكتل الصخرية على القاع حركة دائرية متأثرة بقوة الدوامات المائية التي يكونها تيار النهر (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٣١٦) . وبمرور الزمن تتسع تلك الحفر وتلتحم مع بعضها ، ومن ثم يزداد تعميق مجرى النهر في الصخور ، وعادة ما تملأ هذه الحفر بواسطة الحصى الذي يساعد بدوره على تعميق الحفر نفسها ، وعند حدوث تيارات مائية نتيجة لسرعة المياه فقد ينقل الحصى ثانية خارج الحفرة ، وينجم عن هذه العملية شدة النحت الرأسي وتكوين مجاري نهربية عظيمة العمق تعرف saw-cutstreams (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ص ٣٩٠ - ٣٩١) وهذه الحفر تختلف في السعة وتنشأ من السرعة المتفاوتة لمياه النهر وتأثيرها في صخور القاع حينما تكون هذه الصخور صلبة ويكون سطحها غير منتظم ، وبذلك تنشأ تيارات ودوامات صغيرة تكون لها حركة دائرية لولبية ، فتزوم معها قطع الصخر التي يحركها تيار النهر في حركة طاحنة

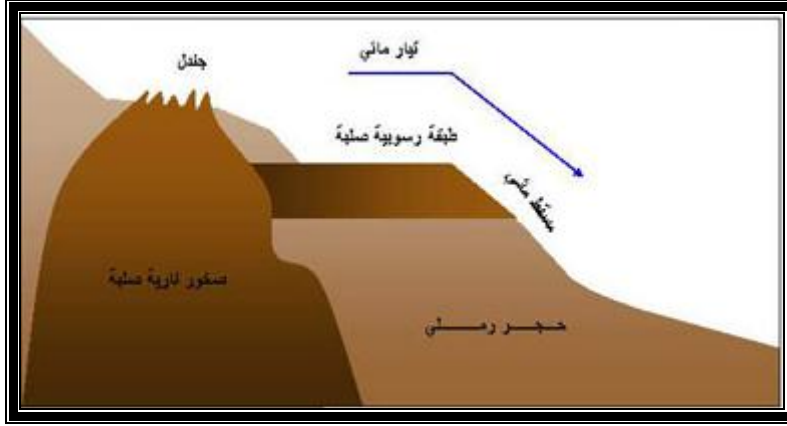
تحفر في صخر القاع حفراً تكاد تكون مستديرة الشكل ، وفي كثير من الأحيان بتلاحق عدد كبير من هذه الحفر ويتصل بعضها ببعض وتكون بعض هذه الحفر كبيرة وعميقة وفي هذه الحالة تسمى قدور العمالقة باللغة الفرنسية (حسن وآخرون ، ١٩٩٠ ، ص ٣٣٠ - ٣٣١) .

٣ . منعطفات الشباب .

تتكون هذه الظاهرة في مرحلة الشباب حينما يكون النحت الرأسى على أشده ودائماً في تعميق الوادي ، اذ يتقادم النهر في جريانه العقبات الصخرية الصلبة التي تصادفه فيتمشى ويتلوى من حولها مما يترتب على ذلك تكون تلك المنعطفات (جودة ، الجغرافيا الطبيعية والخرائط ، ص ١٣٢ - ١٣٣) . ويشند النحت في الضفاف المقعرة لتلك المنعطفات مكوناً جروف شديدة الانحدار ، بينما يقل النحت أو يندم على الضفاف المحدبة المقابلة فيترك سفوحاً قليلة الانحدار (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٣١٧) . وتعد مشكلة تكوين المنعطفات أو الثنيات النهرية من بين المشاكل الجيومورفولوجية التي أثير من حولها جدل كبير . والواقع أن المنعطفات ليست عشوائية في تكوينها ولا في حجمها ، ولا يمكن تفسير تنافسها وانتظامها الكامل على أساس الصدفة ، فهي نمو وتطور طبيعي يرتبط بميكانيكية الجريان والنقل النهري . وتتسبب الزيادة في التصريف النهري زيادة أيضاً في طول موجه المنعطف ، ولعل عامل التصريف النهري يعلل حقيقة أن المنعطفات ظاهرة تختص بالجزء الأدنى من الوادي . ولقد لفت ديوري Dury (١٩٥٨-١٩٦٦) الأنظار الى حقيقة أن الاودية كالأنهار ، تتميز غالباً بطابع التشفي والانعطاف ، وتتغطى هذه الأودية عادة بفرشة سميكة من الرواسب الفيضية ، ويجري فيها النهر نفسه صانعاً الانحناءات والمنعطفات ، ولكن منعطفات النهر المحفورة في رواسب السهل الفيضي أصغر بكثير من منعطفات الوادي ، التي سبق نحتها في الصخور الصلبة (جودة ، الجيومورفولوجيا ، ص ١٢٤ - ١٢٧) .

٤ . الجنادل .

تنشأ هذه الظاهرة نتيجة اختلاف في طبيعة الصخور التي يتكون منها قاع المجرى النهري فالصخور الصلبة تقاوم عملية النحت ، بينما تتآكل الصخور اللينة ، ومن ثم تبقى الصخور الصلبة نائمة بارزة تعترض سير المياه انظر الشكل (٢٨) ، ومثال على ذلك الجنادل الستة التي تعترض مجرى نهر النيل بين الخرطوم وأسوان . فقد نحت نهر النيل مجراه رأسياً في الحجر الرملي النوبي الى أن وصل في بعض المواضع الى الصخور النارية القديمة التي تقع أسفله ، وقد قاومت تلك الصخور النارية عملية النحت النهري ، فظهرت بارزة من القاع على شكل جزر صخرية صغيرة تقسم مجرى نهر النيل عندها الى أكثر من مجرى . بالإضافة الى أن حجم النهر ، وسرعته ، وحمولته ، ونظام جريانه ، كلها تؤثر في سرعة وصوله الى مرحلة التعادل ، فان تضاريس المنطقة التي يجري فيها وتركيبها الصخري لها كذلك دخل كبير في هذه السرعة.



الشكل (٢٨) تطور ظاهرة الجنادل

وكذلك اذا وجدت في مجرى النهر طبقة صخورها أكثر صلابة من صخور بقية المجري فان النهر لن يتمكن من نحتها بنفس السرعة التي ينحت بها بقية المجرى ، ولذلك فان هذه الطبقة تبقى عقبية في طريقه زمنياً وتتكون منها سلسلة من الجنادل والمندفعات ، وينقسم مجرى النهر بسببها الى قسمين أحدهما في أعلاها والثاني في أدناها ، وقد يصل كل قسم من القسمين الى مرحلة التعادل بينما تبقى هي بارزة بينهما ، ومع ذلك فان سطحها ينخفض بالتدرج بسبب النحت المائي فيتناقص منسوب قاعدة القسم الأعلى من النهر وتزداد مقدرته على الحفر تبعاً لذلك ، وهكذا حتى تزول العقبة فيواصل النهر نشاطه للوصول الى مرحلة التعادل (شرف ، الجغرافيا الطبيعية أشكال سطح الأرض ، ص ٣٠٢ - ٣٠٣) .

٥ . الشلالات أو المساقط المائية .

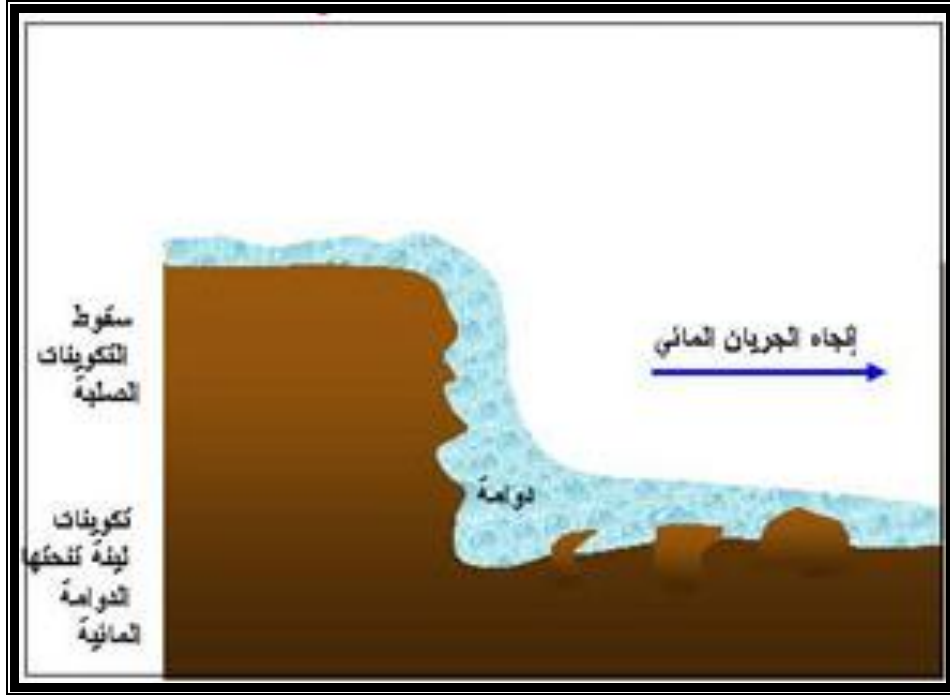
أن كلمة شلالات تستخدم في اللغة العربية بمعناها العام للدلال على أشكال مختلفة من العقبات التي تعترض طريق النهر ، وأهمها المساقط المائية ، والجنادل ، والمندفعات ، ومع ذلك فان المقصود بالمساقط المائية بمعناها الدقيق هو حدوث تغير مفاجئ في انحدار النهر يترتب عليه سقوط المياه من مستوى مرتفع الى مستوى أقل منه كما موضح في الشكل (٢٩) ، وهناك أسباب مختلفة لظهور هذه المساقط من أهمها :

١- ان احد أسباب تكون ظاهرة الشلالات هو مرور المجري المائي فوق طبقة صخرية شديدة الصلابة تتركز فوق طبقات لينة ، وبالتالي فان المياه الجارية تبحث عن مناطق الضعف أو الكسور في الطبقة الصخرية الصلبة ، مما يترتب على ذلك تسرب المياه في الطبقات اللينة وتعمل على تآكلها بسرعة فتظهر مقدمة الطبقة الصلبة بشكل حافة معلقة تسقط فوقها المياه ، ولكنها لا تلبث أن تهوى بمرور الزمن الى القاع ، وبهذا الشكل يتراجع المسقط المائي نحو المنبع تاركاً المجرى بشكل خانق .

٢ . هبوط النهر فجأة فوق حافة جبلية ، مثال ذلك المساقط الموجودة في بعض الأنهار الأفريقية مثل نهر الكونغو ونهر الأورانج .

٣ . حدوث تصدع في الأرض يترتب عليه زحف الطبقات بحيث تقع إحدى الطبقات اللينة على جانب الكسر من ناحية المصب أمام طبقة شديدة الصلابة على جانبه من ناحية المنبع .

٤ . زيادة سرعة تعميق أحد الأنهار الرئيسية أكثر من سرعة تعميق روافده لمجاريها ، وهي ظاهرة موجودة بكثرة في المناطق التي ساهم الجليد في حفر وديانها (شرف ، الجغرافيا الطبيعية أشكال سطح الأرض ، ص ٣٠٤ - ٣٠٦) .



الشكل (٢٩) تطور ظاهرة الشلالات .

٦ - المسارع Rapids .

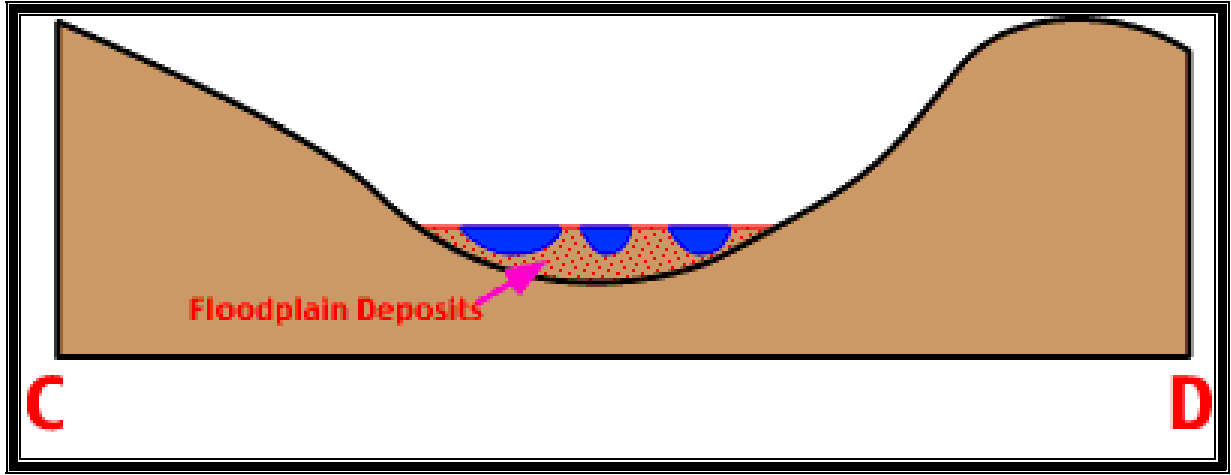
تتكون ظاهرة المسارع المائية التي تتميز بها الأنهار التي تمر في مرحلة الشباب عندما يتحول الصخر الصلب في مسقط المياه الى منحدر شديد الميل يترتب عليه اندفاع الماء اندفاعاً شديداً ، ويجري بسرعة شديدة جداً . ومن المسارع الشهيرة في العالم مناطق المسارع في نهر النيل ، وبعد المسرع الثاني لنهر النيل الواقع قرب مدينة أسوان خير مثال على ذلك (حسن واخرون ، ١٩٩٠ ، ص ٣٣١) .

المرحلة الثانية : مرحلة النضج .

يتميز النهر في هذه المرحلة في توسيع مجراه ، بينما تتناقض قدرته على تعميقه ، ويزداد وضوح تعرجاته بسبب تزايد نشاط النحت في جوانبها المقعرة وتزايد الأرساب على جوانبها المحدبة التي يهدأ أمامها التيار وتتحول هذه التعرجات بالتدرج الى منحنيات تفصل بينها أسنة رسوبية منحدره يطلق عليها تعبير منحدرات الانزلاق ، وفي مقابل كل لسان منها تتكون حافة قائمة نتيجة للتآكل المستمر في أجزائها السفلى بواسطة المياه ، ويطلق على هذه الحافة أسم الحافة النهرية ، ونتيجة لاستمرار نشاط النحت الجانبي يزداد اتساع المنحنيات التي تنزح بالتدرج نحو المصب نتيجة لتآكل أجزائها المواجهه للتيار ، كما تتناقص أحجامها لنفس السبب حتى تتلاشى ولا تبقى منها الا تلالاً منعزلة ، ويترتب على زحف المنحنيات نحو

المنصب ، مع تأكل منحدرات الانزلاق ، وتراجع الحافات النهرية بعيداً عن المجرى أن يتسع السهل الفيضي ويستوي سطحه تقريباً (شرف ، الجغرافيا الطبيعية أشكال سطح الأرض ، ص ٣٠١ - ٣٠٩) . وأهم ما يميز النهر في هذه المرحلة ما يلي :

- ١ . يصبح وادي النهر أكثر اتساعاً ، نظراً لأن النحت الجانبي تزداد قوته .
- ٢ . يقل الانحدار فتتناقص سرعة التيار عنها في مرحلة الشباب .
- ٣ . يزداد وضوح منعطفات الشباب فتبرز الضفاف المقعرة قائمة مكونة جروف نهرية ، بينما تتحدر الضفاف المحدبة انحداراً هيناً مكونة لسفوح رسوبية وفي أواخر هذه المرحلة يتسع السهل الفيضي ويستوي سطحه تقريباً وتكون حدود هذا السهل هي الحافات النهرية التي تكون قد ابتعدت كثيراً عن النهر (حسين ، ٢٠٠٠ ، ١٣٢) . انظر والشكل (٣٠) .



والشكل (٣٠) شكل القناة في مرحلة النضج .

وعند بدء مرحلة النضج يكون كل السطح الأصلي قد زال تقريباً ، وتكون قمم الأراضي المرتفعة التي تفصل بين الأنهار والأحواض المتجاورة مائلة للاستدارة ويؤدي تأكلها الى انخفاض سطحها وفي هذه المرحلة الأولى تكيف الأنهار نفسها مع التركيب الجيولوجي للمنطقة حيث أن مجاريها تكون محفورة في طبقات هذا التركيب ، وفي هذه المرحلة تصل كل المجاري النهرية حتى الصغيرة منها الى مرحلة التعادل (شرف ، الجغرافيا الطبيعية أشكال سطح الأرض ، ص ٣١٥) . كما يتميز مجرى النهر في هذه المرحلة باعتدال تياره ، وانحداره ، وهدوء سرعة جريانه ، كما تقل تبعاً لذلك درجة النحت الرأسى وذلك لأن منسوب النهر لا يكون على ارتفاع كبير بالنسبة لمستوى سطح البحر الذي يمثل مستوى القاعدة العام . ويلاحظ أن جميع أنهار العالم لا تعمق مجاريها وفقاً لمنسوب واحد معين بل يعمل معظمها وخاصة الأنهار الرئيسية التي تصب في البحار الواسعة حسب مستوى القاعدة العام ، في حين ينحت بعضها الآخر مجاريها رأسياً تبعاً

لمستوى القاعدة المحلية والذي يكون أكثر ارتفاعاً أو انخفاضاً عن مستوى القاعدة العام . وتبعاً لفعل كل من التعرية الرأسية والتعرية الجانبية النهرية في هذا القسم من حوض النهر ، تتكون عدة ظواهر خاصة مميزة يمكن إيجازها فيما يلي :

أ . تكوين المجاري النهرية الرئيسية : **Master Streams** .

تبعاً لتنوع التركيب الصخري يختلف مدى تعمق المجاري النهرية في الصخور من مكان الى آخر ، ومن ثم نلاحظ فوق المنحدر الواحد بعض الأنهار التي تتميز بعظم عمقها وارتفاع جوانبها الحائطية ، في حين يبدو بعضها الآخر أقل عمقاً ، ونتيجة لاستمرار عمليات النحت الرأسية النهرية الشديدة في مناطق الضعف الجيولوجية ، قد تتجح المجاري النهرية العميقة في جمع الأودية النهرية الأقل عمقاً وضمها داخل وادياها .

ب . نذبذة خط تقسيم المياه **Shifting of divides** .

يقصد بمناطق تقسيم المياه تلك الأراضي العالية المنسوب والتي تفصل بين أعالي حوضين مختلفين من احواض الصرف يندران في اتجاهين متضادين . ويلاحظ أن خطوط تقسم المياه بين هذه الأحواض لا تبقى في مكانها ثابتة دون تغيير ، بل كثيراً ما تنذبذب مواقعها حسب سرعة التعرية النهرية ، ومدى تآكل جانبي خط تقسيم المياه ، فاذا كان هناك نهراً على جانب خط تقسيم المياه أعظم قوة ونحاً من النهر في الجانب الآخر اي في الحوض المجاور ، وكليهما ينحت مجراه بشدة فنن خط تقسيم المياه يتميز في هذه الحالة بتغيره الدائم ويتجه أو يتغير بشدة صوب النهر الأقل عمقاً تبعاً لشدة التعرية الجانبية للنهر النشط على الجانب الآخر من خط تقسيم المياه .

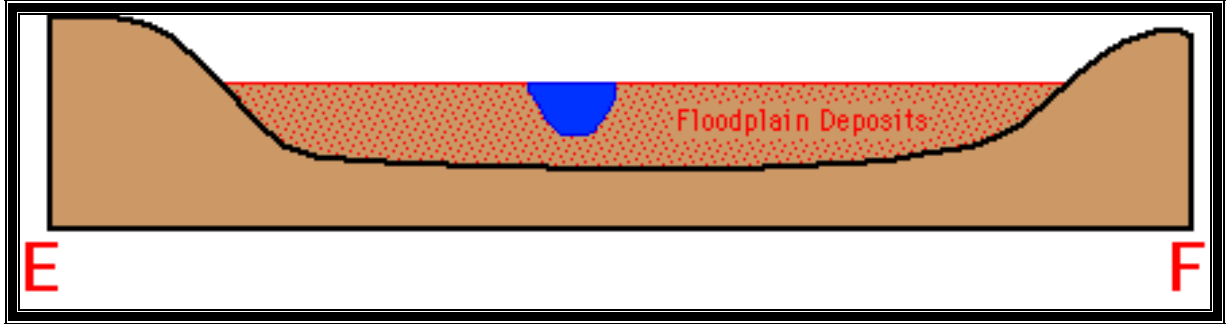
ج . الأسر النهر **River Capture** .

تظهر عمليات الأسر النهري في القسمين الأعلى والأوسط من حوض النهر في حالة كون مجرى النهر في مرحلة الشباب ، ويطلق على النهر الأسر أسم **Capturing** والمأسور أسم **Dinvertedst** ويعمل النهر الأسر تبعاً لمستوى قاعدة أعظم عمقاً من الأنهار الأخرى المجاورة . كما يقصد بالأسر النهري سيطرة الأنهار الكبيرة على روافد جيرانها الأصغر وتحويل مياهها اليه (حسين ، ٢٠٠٠ ، ص ١٣٣) .

المرحلة الثالثة – مرحلة الشيخوخة .

وفي هذه المرحلة يجرى النهر بطيئاً مترنحاً في سلسلة متتابعة من المنعطفات فوق وادٍ عريض مستوٍ ، تحف به حافات صخرية منخفضة ، ويصبح للارساب أهمية كبرى بينما يتوقف النحت الرأسى باستثناء عملية شق المجرى خلال السهل (جودة ، الجغرافيا الطبيعية والخرائط ، ص ١٣٩) . وتتكون الظواهر الناجمة عن فعل الأرساب الجيومورفولوجي العام لوادي النهر خلال مرحلة الشيخوخة ، ويتميز القطاع العرضي للنهر بأتساعه الملحوظ حيث تتكون فوقه السهول الفيضية ، والمدرجات النهرية ، انظر الشكل

(٣١) وفيما يلي توضيح الظواهرات الجيومورفولوجية الرئيسية التي تشكل المظهر العام لمجرى النهر وواديه خلال مرحلة الشيخوخة وهي كالآتي :



الشكل (٣١) شكل القناة في مرحلة الشيخوخة .

١ . المنعطفات النهرية River Meanders .

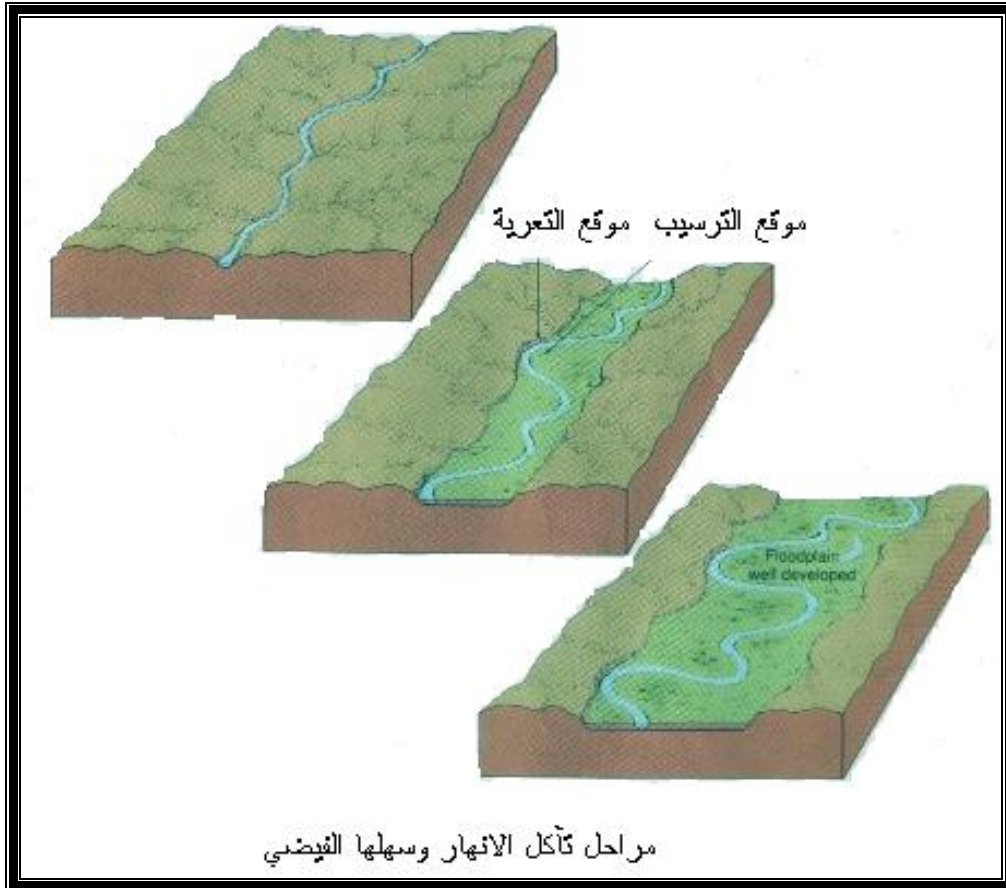
تضعف قوة النحت الرأسي للنهر خلال مرحلة النضج وتبطأ سرعة جريانه ، ومن ثم يترنح مجرى النهر تدريجياً من جانب إلى آخر ، ويعمل على اتساع قاع الوادي على حساب تآكل جانبيه بواسطة كل من فعل النحت الجانبي ، وكذلك سقوط الصخور وانزلاق الأراضي على طول الجوانب الشديدة الانحدار ، وبالتالي قد يصل النهر مرحلة هادئة وهي عبارة عن هدنة مؤقتة للصراع المستمر بين تغيير مستوى القاعدة ، وتجديد نشاط النهر بواسطة عوامل التعرية الرأسية والجانبية ، وعندما يصل النهر إلى مرحلة النضج المتأخر ، يكاد يختفي أثر فعل النحت الرأسي وتضعف قوة التيار كثيراً ، وتتآكل جوانب النهر باستمرار لتغيير مجرى النهر من جانب إلى آخر تبعاً لضعف الانحدار ، واستواء السطح مكوناً ظاهرة المنعطفات النهرية كما موضح في الصورة (٤٢) .

٢ . السهل الفيضي Flood Plains .

يتم تكوين السهل الفيضي على عدة مراحل تتمثل المرحلة الأولى في عملية توسيع الوادي عن طريق النحت الجانبي ، ويتم ذلك في مرحلة النضج في حين تتمثل المرحلة الثانية في عملية الأرساب التي تحدث على الجوانب المحدبة للمنحنيات فينشأ من ذلك ظهور ضفاف أو شطوط إرسابية . بينما تتمثل المرحلة الثالثة يميزه بإرساب الغرين والطين على أرض الوادي أو يحدث ذلك حينما يفيض النهر على جسوره ، فينشر تلك الرواسب على جميع أرض الوادي وتلك هي العملية الأخيرة في تكوين ونمو السهل الفيضي . انظر الشكل (٣٢) .



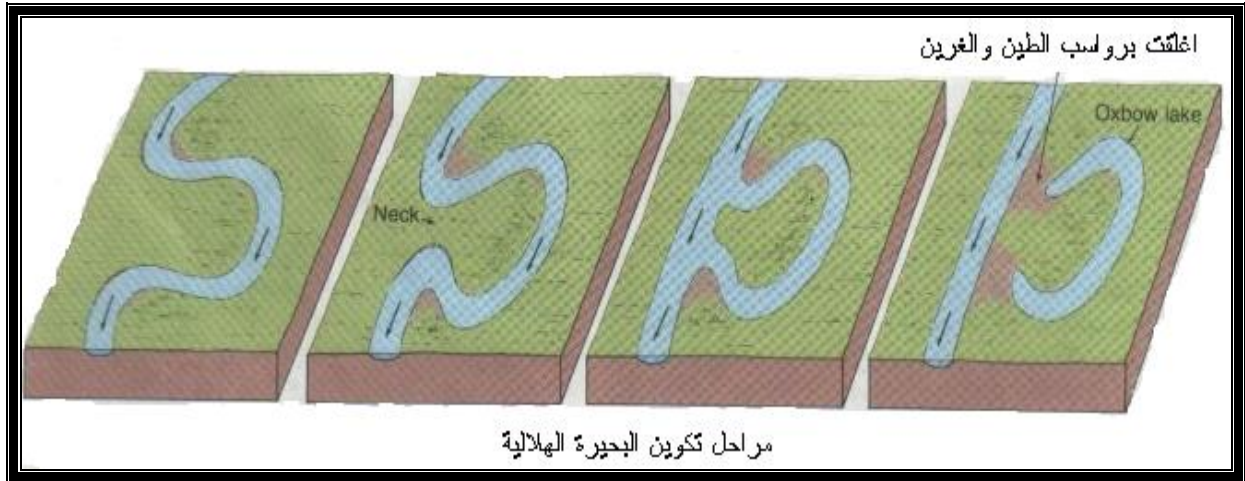
الصورة (٤٢) ظاهرة المنعطفات النهرية في مرحلة الشيخوخة .



شكل (٣٢) مراحل تآكل الأنهار وسهولها الفيضي .

٣ - البحيرات الهلالية Oxbow Lakes .

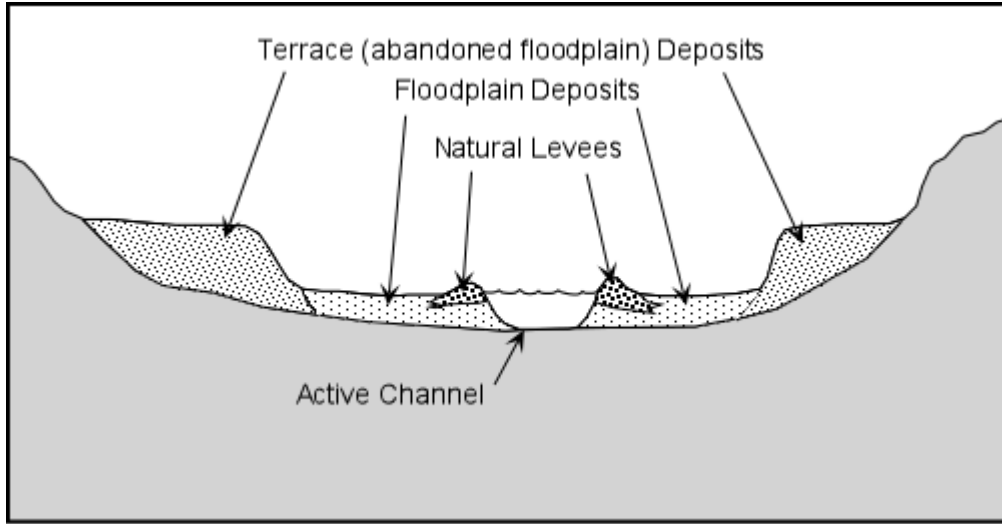
عرفنا أن النهر في مجراه الأدنى يسير مترناً فوق سهله الفيضي الفسيح المنبسط وتلك ظروف ملائمة لوجود المنعطفات ، فتيار النهر يكون بطيئاً ، فلا تستطيع المياه التغلب على ما يصادفها من تكوينات صخرية صلبة ، فتضطر الى تقايرها باللف حولها ، فتتسأ لذلك منعطفات الشيوخة ، وتتكون البحيرات المنقطعة عندما نجد منعطفاً نهرياً وقد اقتربت ضفتاه المتعرجتان من بعضهما نتيجة لنحت المياه فيها حيث لا يفصلها الا عنق ضيق من اليابس ، يطلق عليه تسمية عنق المنعطف انظر الشكل (٣٣) . وعندما تنجح المياه بالنحت في اختراق عنق المنعطف مكونه لنفسها مجرى جديداً قصيراً بدلاً من مجرى المنعطف الذي كانت المياه تجري فيه . وبعد مرور فترة من الزمن نجد أن النهر كون سداً رسوبياً يفصل المجرى الجديد عن طرفي المنعطف المقطوع ، فيبدو الأخير على شكل بحيرة هلالية الشكل تسمى البحيرة المنقطعة ، لأنها اقتطعت من مجرى نهر (جودة ، الجيومورفولوجيا ، ص ١٥٠ - ١٥٢) .



شكل (٣٣) مراحل تكوين البحيرات الهلالية .

٤ . الجسور الطبيعية .

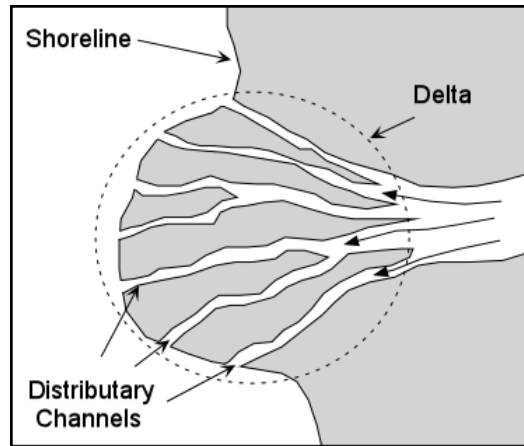
يتم تكوين الجسور الطبيعية عندما يحدث الأرساب على ضفتي نهر أثناء موسم الفيضان وذلك لبطء سرعة التيار عند جانبي المجرى ، ومع كل فيضان يزداد سمك الرواسب فيرتفع منسوب الضفاف ، وبذلك تتكون الجسور الطبيعية . وبمرور الزمن وتكرار الأرساب فوق قاع المجرى ، وضافه يصبح النهر وقد ارتفع منسوبه فوق مستوى سهله الفيضي . وتعتبر مثل هذه الأنهار التي تجري على منسوب يعلو مستوى سهولها الفيضية مصدر خطر وتهديد لمناطق العمران التي تحف بها . انظر الشكل (٣٤) .



شكل (٣٤) ترسبات المصاطب والسهل الفيضي والجسور الطبيعية .

٥ . الدلتا Delta .

تتشأ الدالات البحرية من ارساب حمولة النهر وتراكم موادها عند مصبه في بحر أو محيط على عدة أشكال . ونشأ الدلتا عند تجمع الرواسب النهرية على قاع المصب النهري الذي ، أما ان يكون بحيرة ، أو بحر ، وعند دخول النهر الى جسم مائي هادئ نسبيا تقل سرعته ، ويبدأ بالقاء حمولته ، وبمرور الوقت تتجمع هذه الرواسب وتكون سهل مثلث يكون رأسه عند المصب وقاعدته باتجاه جسم الماء الجاري ، وعند دخول النهر هذه المسطحات تترسب أولا الحمولة الخشنة وتأخذ شكل مائل وتدعى بالطبقة الأمامية ثم يرسب النهر طبقات جديدة فوق الطبقات الأمامية تدعى الطبقات العليا . ويلاحظ بان مجرى النهر يبدأ اعتيادي بالتفرع فوق سطح الدلتا وتدعى هذه الفروع بقنوات التوزيع انظر الشكل (٣٥) . فمنها ما يشبه القوس أو المثلث كدلتا النيل والكانج والسند والرون وغيرها ، ومنها نمط مدبب كدلتا التايبير (ايطاليا) أو منها ما يتخذ الشكل الاصبعي الذي يشبه قدم الطائر ومثلها دلتا المسيسيبي .

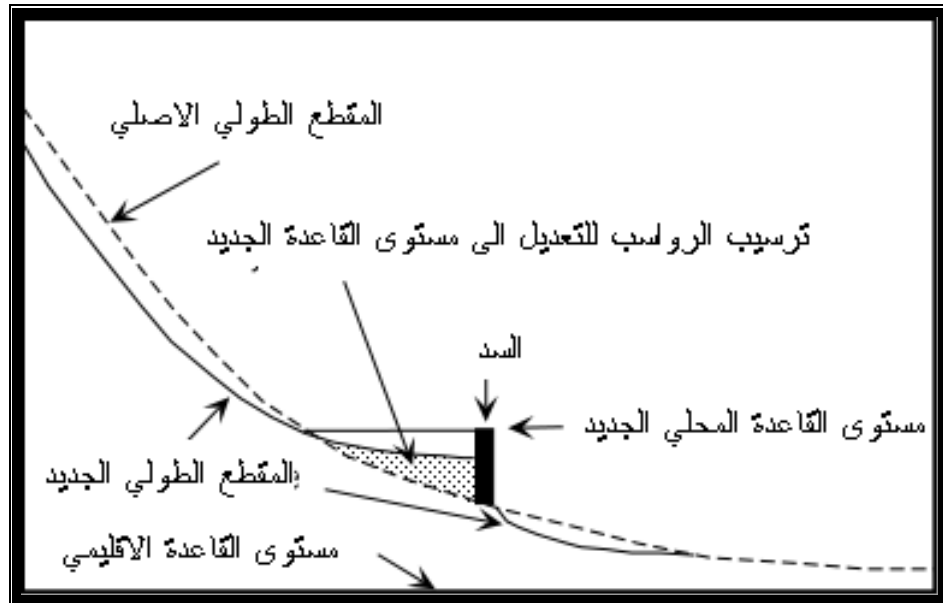


شكل (٣٥) توزيع القنوات على سطح الدلتا .

مستوى القاعدة Base Level .

مستوى القاعدة هو المستوى الذي لا يتمكن النهر بعده من نحت قنواته أكثر من ذلك ، وتختلف مستويات القاعدة فالأنهار التي تصب في المحيطات والبحار فان مستوى قاعدتها يتحدد بمستوى سطح البحر ، بينما الأنهار التي لا تصب مباشرة بالبحار والمحيطات فانها تتمتع بمستويات قاعدة محلية والتي تتمثل بوجود صخور صلبة تواجه النهر أو سد طبيعي أو اصطناعي يعرقل تآكل القناة ، أو انه يصب في بحيرة .

عندما يعرقل سدّ طبيعي أو اصطناعي تدفقَ جدولٍ ما ، فان الجدول يقوم بتعديل قاعدته الى مستوى القاعدة الجديد من خلال تعديل مقطعه الطولي . انظر المخطط (٢١) في هذا المثال تم تعديل المقطع الطولي قبل وبعد السد . يَحْدُثُ التآكُلُ مع التيار مِنْ السدِّ (خصوصاً اذا السدّ الطبيعي والماء يُمكنُ أَنْ يَتَدَفَّقَا على القمة) ، سرعة الجدول تتخفض فقط ضدَّ التَّيارِ مِنْ السدِّ ، مما يترتب عليه ترسيب الرواسب وينخفض مستوى الميل .



مخطط (٢١) مستويات القاعدة المحلية والإقليمية .

تصابي الأنهار Rejuvenation .

ان عملية تصابي الأنهار يمكن أن تحدث في أي مرحلة من مراحل أي نهر التي يترتب عليها استعادة النهر لنشاطه وقوته التي يتميز بها النهر في مرحلة الشباب بعد أن وصل النهر الى مراحل متقدمة من تطوره ، وتعود هذه الظاهرة الى الأسباب التالية :

١ - انخفاض مستوى سطح البحر .

يترتب على انخفاض مستوى مياه سطح البحر في المناطق المصبية للأنهار استعادة الأنهار لنشاطها التحتاني مرة أخرى ، ومثال على ذلك ما حدث من انخفاض مستويات المياه للبحار والمحيطات أثناء فترات الجليد في العصر الرباعي اذ وصل الانخفاض في بعض الفترات الى حدود (٢٠٠) متر ، وقد ترتب على هذا الانخفاض في سطح مياه البحار الى اعادة النشاط التحتاني للأنهار التي تصب فيه .

٢ - نتيجة عملية رفع تكتوني .

ربما تتعرض بعض مقاطع الأنهار في القرب من منطقة المنبع الى عملية رفع تكتوني ، أو ترتفع بعض مقاطع الأنهار نتيجة لزوال النقل الذي كان مسلطاً عليها وهذا ما حصل لبعض الأنهار في الدول الاسكندنافية عندما تراجع الجليد في نهاية الفترات الجليدية في العصر الرباعي وترتب عليه تغير في التوازن الاستاتيكي isostatic equilibrium مما أدى الى تعرض تلك المناطق الى الارتفاع التدريجي بمقادير تصل الى بضعة سنتمترات خلال القرن ، وعلى كل حال سواء كان هذا التغير هو نتيجة رفع تكتوني أو نتيجة تغير في التوازن الاستاتيكي فإنه يترتب عليه استعادة الأنهار لنشاطها وقوتها وبالتالي نشاط عملها التحتاني . (حسن واخرون ، أساسيات علم الجيولوجي ، ص ٣٢٩) مما يترتب عليه تكون المظاهر التضاريسية :

أ - المنعطفات المعقدة . incised meanders .

عندما يكون النهر في مرحلة الشيخوخة فإن احدى الظواهر الجيومورفولوجية المهمة التي يتميز بها هي ظاهرة المنعطفات النهرية ، وعلى هذا الأساس لو تعرض هذا النهر الى عملية رفع تكتوني في منطقة المنبع سيترتب عليها زيادة في سرعة التيار المائي وبالتالي يقوم النهر بتعميق مجراه مرة أخرى وتكوين منعطفات عميقة تفصل بينها تلال عالية .

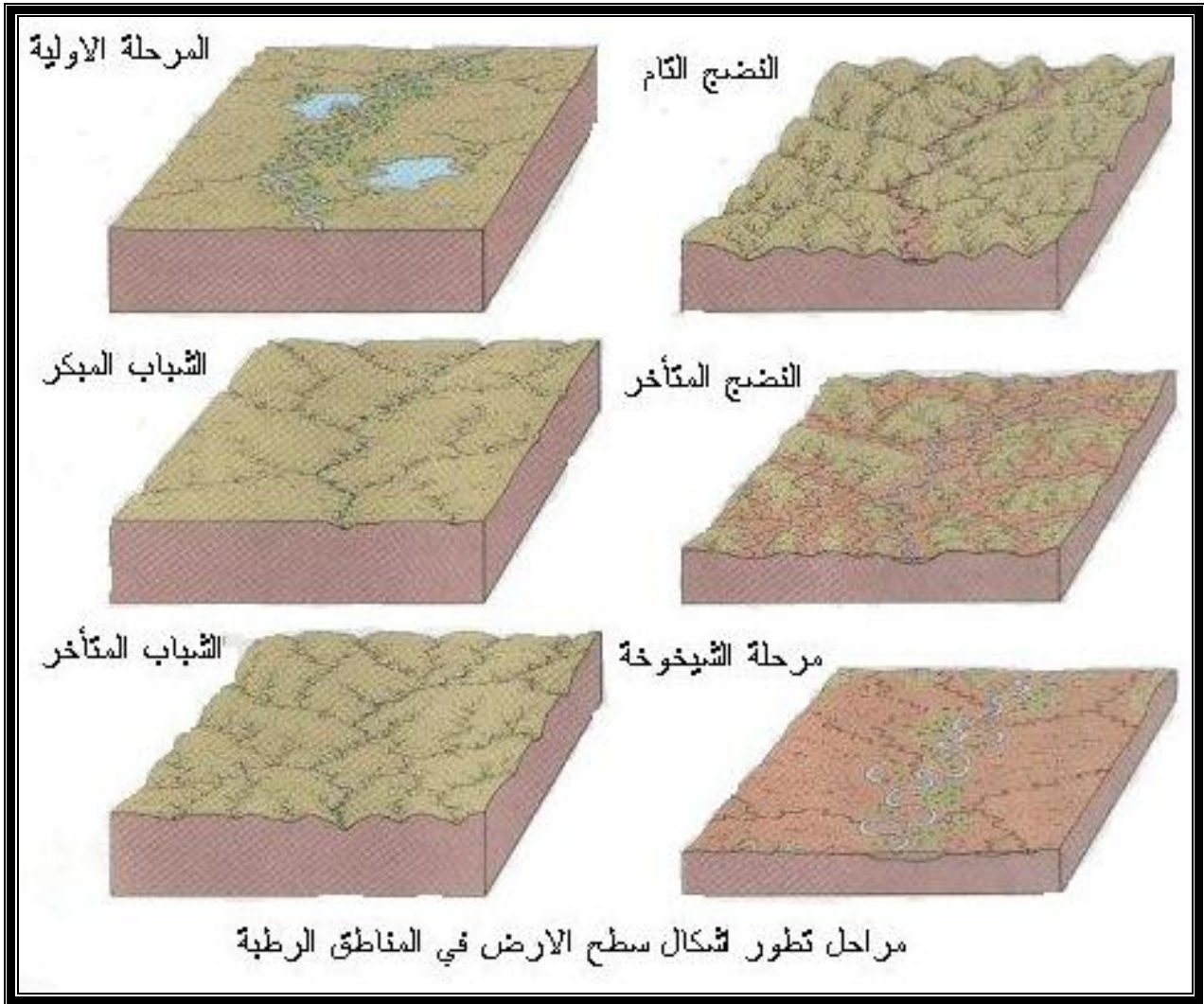
٢- المدرجات النهرية River Terraces .

المدرجات النهرية هي عبارة عن امتدادات طولية من الأرض تمتد على جانبي النهر وتكون في هيئة مصاطب واحدة فوق الأخرى ، ويتكون منها في الغالب عدة أزواج ، ويكون مجرى النهر محصور بين الزوج الأسفل منها ، ويمثل كل زوج من هذه المدرجات فترة من حركات الرفع التي جددت نشاط النهر . فزوج المدرجات الأعلى يمثل مستوى قاع الوادي أثناء احدى مراحل كهولته أو شيخوخته الأولى وقد أدت بعد ذلك فترة من التصابي النهري الى حفر واد جديد في الرسوبيات المكونة لهذه المدرجات العالية ، وحينما عاد النهر الى مرحلة الكهولة بدأ يرسب في الوادي الجديد الذي حفرة في المدرجات الأولى العالية رسوبيات جديدة مكونة مستوى جديد من المدرجات اقل ارتفاعاً من المستوى السابق ، ويتكرر هذه العملية يمكن أن تتكون عدة مستويات من المدرجات النهرية . وبذلك يمكن أن نعتبر كل زوج من المدرجات خاصاً بمستوى معين يمثل فترة من الحركات التي أدت الى تجديد النشاط التحتاني للنهر ، فزوج المدرجات الأعلى يمثل مستوى قاع الوادي أثناء مرحلة الكهولة الأولى التالية لحركة رفع ، والزوج الذي يليه الى أسفل يمثل أول فترة

للتصابي (أي الفترة الثانية من النشاط التكتوني بعد ظهور النهر) تليها فترة أخرى للكهولة ، والزوج الذي يليه فترة أخرى وهكذا . ومعنى ذلك ان أقدم المدرجات هي أعلاها وأحدثها هي أسفلها . وهناك عدة أنواع من المدرجات النهرية ، فبعضها يتكون من أسطح تحاتية بدون أن يَكُون على ضفاف النهر رسوبيات نهريّة ، وذلك يحدث عندما تعقب فترات التصابي مراحل النضج في النهر وليس مراحل الكهولة اذ لا تتوفر للنهر المتصابي فرصة للوصول الى مرحلة الكهولة وترسيب رسوبيات على ضفافه ، أما البعض الآخر من المدرجات النهرية فيكون منحوتا في الرسوبيات النهرية نفسها ، وهناك أيضا مدرجات نهريّة تتكون من أسطح تحاتية ناتجة من تآكل الصخور الأصلية المكونة لضفاف الأنهار ، بالإضافة الى بعض الرسوبيات النهرية التي تعلو هذه الأسطح ، وهذا يحدث حينما تطول مرحلة الشباب بعد كل فترة من فترات التصابي حتى يصل العمل التحاتي للنهر الى التأثير على الصخور المكونة للقشرة السطحية تحت مجراه . وبعد ذلك يصل النهر الى مرحلة الكهولة ويرسب على هذا السطح من الصخور رسوبيات نهريّة .(حسن واخرون ، أساسيات علم الجيولوجي ، ص ٣٢٩)

السهل التحاتي Peneplain .

بينما الجداول تُقَطَعُ وديانها فانها بنفس الوقت تقوم بنحت الأرض بشكل آني ، ولان هذه العمليات هي عمليات مستمرة ولا تنتهي لذلك نحن بحاجة الى نقطة بداية لتوضيح ذلك ، وعليه نفترض وجودَ منطقة مرتفعة مستوية نسبيا في اقليم رطب لكي يتكون نظام صرف بشكل جيد ، حيث تتكون البحيرات والبرك في أية منخفضات موجودة كما موضح في الشكل (٣٦) . وبينما تتكون الجداول وتبدأ بالحت السفلي واستطالة مجاريها باتجاه منطقة المنبع فأنها تقوم بتصريف مياه البحيرات ، وخلال مرحلة الشباب يحتفظ المظهر الطبيعي بسطحه دون تغيير نسبيا ، ويتميز فقط بوديان الجداول الضيقة ، بينما القطع السفلي يستمر وتبدوا التضاريس مرتفعة ويتحول المظهر الطبيعي في مرحلة الشباب ليشمل التلال والوديان التي تميز مرحلة النضج . في النهاية بعض الجداول سَتَقْتَرِبُ مِنْ مستوى القاعدة ، اذ تتوقف عملية الحت الراسي لتفسح المجال لعمليات التآكل الجانبي . بينما تَقْتَرِبُ الدورهُ مِنْ مرحلة الشيخوخة ، تأثيرات التدفق والجدب الأرضي يرتبطان بالتآكل الجانبي للجداول مما يترتب عليه تحول الأرض الى سهل شبه متموج يقترب من مستوى القاعدة يطلق عليه السهل التحاتي Peneplain . بالرغم من أن وجود السهل التحاتي غير معروف في الوقت الحاضر الا ان هناك أدلة تشير الى تكونه في الماضي عندما كانت الأرض مرتفعة (Lutgens & Tarbuck. 1976 . pp 128 – 129) .



شكل (٣٦) مراحل تطور أشكال سطح الأرض في المناطق الرطبة .

الفصل العاشر

الاشكال الارضية الناتجة عن المياه الجوفية في المناطق الجيرية .

المقدمة

المياه الجوفية هي تلك المياه الموجودة تحت منسوب سطح الأرض ، وتشغل كل أو بعض الفراغات الموجودة في التكوينات الصخرية . وهي بالأصل جزء من مياه الأمطار أو مياه الأنهار أو المياه الناتجة عن انصهار الجليد التي تتسرب الى باطن الأرض مكونة طبقة من المياه الجوفية ، وقد قدر بعض الباحثين كمية المياه الجوفية المتسربة في الطبقات الأرضية بأنها تعادل طبقة من المياه تغطي الكرة الأرضية بسمك تقريبي يتراوح بين (٢٠٠-٦٠٠) قدم تقريبا ، وتعد المياه الجوفية من أهم مصادر المياه العذبة في العالم وأوسعها انتشارا وأكثرها حجما اذ يقدر حجم المياه الجوفية في العالم بنحو (٨٤٥٠) ألف كيلومتر مكعب اذ تشكل نحو (٩٧.٧٤%) من جملة حجم المياه العذبة السائلة في العالم ، وهي مياه أسهل في استغلالها واقل تكلفة في معظم الأحوال من اشكال المياه الأخرى سواء الصلبة (الثلوج) أو الغازية (بخار الماء) ومعنى هذا ان المياه الجوفية المرفوعة الى سطح الأرض سواء طبيعيا أو بشريا تمثل مصدرا هاما وسهلا وآمنا في حالة صلاحية خصائصها الطبيعية للاستغلال ووفرة كمياتها ، وهما معيارين تتباين على اساسهما أقاليم العالم المختلفة . ولتجمع المياه السطحية متباينة المصادر والمتسربة الى باطن الأرض في شكل مياه جوفية لا بد من وجود طبقات أرضية مسامية تتركز فوق طبقة من الصخور الصماء غير المنفذة للمياه لتحول دون استمرار تحرك المياه رأسيا الى أسفل صوب جوف قشرة الأرض (الزوكة ، جغرافية المياه ، ص ٢٢٣ - ٢٤٠) .

اثر المياه الجوفية في تشكيل ظواهر الكارست .

ان عمل التعرية الأساسي للمياه الجوفية هو اذابة الصخور ، وبالتالي فان الصخور القابلة للذوبان وخصوصا صخور اللايمستون الواقعة تحت ملايين الأمتار المربعة تحت سطح الأرض هي التي تحمل المياه الجوفية التي تأخذ على عاتقها دورا مهما وفريدا كعامل تعرية . وبالرغم من أن حجر الكلس عديم الذوبان تقريبا في الماء الصافي ، فانه يُذَوَّبُ تماما بسهولة بالماء الذي يحتوي على كميات صغيرة من حامض الكربونيك . ويحتوي أكثر الماء الطبيعي هذا الحامض الضعيف لأن مياه الأمطار **rainwater** تعمل على اذابة ثاني أكسيد الكربون بسهولة من الهواء ومن بقايا النباتات المتفسخة . لذا ، عندما تُتَّصَلُ المياه الجوفية بحجر الكلس ، يتفاعل حامض الكربونيك مع الكلس **calcite** في الصخور لتشكل بيكربونات الكالسيوم ، وهي المادة القابلة للذوبان التي تحمل بعيدا عندما تذوب (Lutgens&.Tarbuck . 1976)

يعد اقليم تضاريس الكارست karst في يوغسلافيا احد أنواع أقاليم الكارست karst النموذجية في العالم لأن معظم العمل الرائد في الكارست karst بدأ في هذا الاقليم ، اما اصل تعبير الكارست "karst"

فهو مشتق من الكلمة السلافية ، "krs"، ويُربط بالضواحي الكلسية في غرب سلوفينيا (يوغسلافيا سابقا). المصطلح الآخر ، مثل uvala و polje نشأ أيضاً هنا.

ان تعبير الكارست " karst " يُشير الى نوع التضاريس ، التي تتكون عادة على صخور الكربونات (الكلس والدولومايت) حيث تكون المياه الجوفية فتحات اذابة موسعة لتشكل نظام تصريف ثانوي تحت سطح الأرض . أي ان حامض الكربونيك الناتج من ثاني اوكسيد الكربون في الجو ، خصوصاً جو التربة ، هو المسؤول الأول عن القوة القادرة للمياه الجوفية على اذابة الصخور الكربونية . (Introduction-What is Karet) وقد اهتمت العديد من الدراسات في السنوات الأخيرة في علم الارض ، دراسة الموارد المائية ، والتجوية الكيميائية والميكانيكية وعمليات التعرية المرتبطة بتطور الكهوف والكارست ، (Ford & Cullingford, 1976 . p 59) ان السمات الأساسية لمناطق الكارست karst تتميز بوجود صخر أساس قابل للذوبان ، وشقوق ، وماء . ان ماء المطر قادر على اذابة كميات قليلة من الصخور ويقوم بحملها معه في طريقه ، أكثر الصخور ليست نافذة للمياه ، لكن الرواسب لها طبقات أفقية بشكل اضافي ، أثناء أوقات الارتفاع والانخفاض فان هذه الطبقات تحصل فيها تشققات عمودية في الغالب . عندما تمتلئ الشقوق بالمياه ، تتعرض الصخور للاذابة وتتكون الفجوات والكهوف . اما الصخور الشائعة لمناطق الكارست karst في جميع أنحاء العالم فهي :

١ - حجر كلس (كاربونات الكالسيوم CaCO_3)

٢ - الدولومايت Dolomite كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم $(\text{CaMg}_2\text{CO}_6)$.

٣ - الجبس $(\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O})$.

اما نوع أشكال التعرية التي تكون الكارست فانها تعتمد على عدة متغيرات هي :

١- التركيب الميكانيكي والكيميائي الذي تتركب منه الصخور (حجر الكلس ، الدولومايت ، الجبس)

٢ - المناخ المحلي والمدى الحراري .

٣ - كميات الأمطار الساقطة .

٤ - كمية الغطاء النباتي .

٥ - ارتفاع وانخفاض الصخور .

٦ - حالة الموارد المائية . (Introduction-What is Karet) .

الأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للمياه الجوفية .

لا يقتصر فعل المياه الجوفية على تشكيل جوف القشرة الأرضية فحسب ، وإنما تساهم كذلك في تشكيل ظواهر متنوعة فوق سطح القشرة الأرضية ، ويظهر ذلك جليا في المناطق التي تتألف من الصخور الجيرية ، حيث تعمل المياه الجوفية في إعادة رسم الصورة التضاريسية للغلاف الصخري من خلال تكوين البالوعات ، والمنخفضات ، والكهوف والمغارات ، ومجاري الأنهار الجوفية أو المفقودة ، **Lost Streams** . (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ٤١٩) . وسوف نتطرق الى هذه الأشكال الأرضية بشيء من التفصيل وكالاتي :

١ - الأسطح الجيرية المضرسة .

نتيجة لما تتعرض له الصخور الجيرية من عمليات اذابة متباينة ، لذا تتميز هذه الصخور بأنها مقطعة ، ووعرة ، ومرصعة بالنقوب ، والخطوط الغائرة . وعندما تتسرب مياه الأمطار الى جوف الصخور الجيرية السمكية قد يترتب على ذلك حدوث عمليات تحلل وذوبان بقدر كبير للمواد الجيرية مما يؤدي الى توالي فتحات الشقوق والفواصل ، وبالتالي تزداد شدة تضرس هذه السطوح (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٤٦٧) وتساهم المسيلات المائية المنحدرة من المناطق الجبلية على تكوين حروز عميقة ، وتجاويف طويلة لمسيلاتها مما يزيد من شدة تضرس السطح وتقطعه ، ان هذه الظواهر تعرف بأسماء مختلفة اذ يطلق عليها اسم البوغاز في سيبيريا ، ويوغسلافيا السابقة ، والكارن في المانيا . (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ٥١٣)

٢ - الحفر البالوعية . **Singholes** .

على مدى ملايين السنين ، طرق التدفق التي كونتها المياه الجوفية في الصخور الجيرية تكون قد توسعت ، وتغير نظام النفق في هذه المنافذ من التدفق ألقائقي خلال الفتحات الصغيرة الى التدفق العاصف الذي يعمل على تصريف المياه المتجمعة في فصل الربيع ، وعندما ينخفض مستوى الماء الجوفي تحت مستوى الجداول السطحية ، تبدأ هذه الجداول بفقدان الماء الى أنظمة التصريف التي تطورت تحت سطح الأرض ، مما يترتب على ذلك اختفاء وديان الأنهار بشكل عملي وتستبدل بأحواض مغلقة يطلق عليها اسم الحفر البالوعية **Singholes** . التي تتفاوت من حفر أسطوانية صغيرة الى أحواض مخروطية كبيرة .

وبينما تتشكل بعض البالوعات ببطء باذابة الصخور الكربونية ، تتطور بالوعات أخرى نتيجة لانهيار المادة السطحية أو السطح تقريبا . يطلق عليها اسم البالوعات الانهيارية . ونتيجة لاستمرار فعل الاذابة تتسع الحفر البالوعية بالتدرج ، وقد تندمج وتتلاحم في بعض المناطق مكونة حفر كبيرة تعرف بحفر الاذابة المركبة أو اوفالا **Uvalv** . وهناك نوع آخر من الحفر البالوعية تكون كبيرة الحجم تعرف باسم بولجي **Polje** في يوغسلافيا (سابقا) وتتميز هذه الحفر البالوعية بأنها على شكل منخفضات مستطيلة تتميز بانبساط قاعها ، وتحيط بها حوائط شديدة الانحدار ، ويبدو أنها لم يكن أصلها ناشيء عن طريق الاذابة ، وإنما هي

منخفضات تكتونية جرى تعديل شكلها عن طريق اذابة الصخور الجيرية التي تدخل في تركيبها .(جودة ، معالم سطح الارض ، ص ٤٦٩) وفي كثير من الأحيان تمتلئ الحفر البالوعية بالماء وتكون حدودا مستديرة تقريبا فتظهر في شكل برك جميلة (حسن واخرون ، أساسيات علم الجيولوجيا ، ص ٣١٢) ، ان هذه البرك تكون جزء من النظام الهيدرولوجي الطبيعي في أقاليم الكارست ، وتحدثُ البرك **Ponding** أثناء فتراتِ المطرِ الكثيفة عندما يتجاوزُ معدل الجريان السطحي لمياه العاصفة سعة تصريف البالوعات . وقابلية نظام الكهف لارسال ماء العاصفة تُتجاوزُ كمية الماء التي يجب أن يُخزَنَ بشكل مؤقت في البالوعات ، وكذلك تأثير الماء الراكد على تدفق المياه الجوفية من البالوعات بالانخفاض الى الأسفل مقارنة مع مستوى السطح (Introduction-What is Karet) انظر الصورة (٤٣) .

وقد يوجد في بعض المناطق سلسلة طويلة من كهوف الذوبان تتصل بعضها ببعض بواسطة قنوات ذوبان ، مما يترتب على ذلك تكوين نهرا حقيقيا تحت الأرض ، واذا تهدمت أسقف بعض هذه الكهوف المتجاورة فانها تكون ما يسمى بالقناطر الطبيعية **Natural Bridges** ، وقد تنهار أخيرا هذه القناطر مع تقدم عملية الاذابة فيترتب على ذلك تكوين ما يسمى بوديان الذوبان **Solution Valleys** (حسن واخرون ، أساسيات علم الجيولوجيا ، ص ٣١٢) .



سهل البالوعات قبل الامطار

سهل البالوعات بعد الامطار

صورة (٤٣) سهل البالوعات قبل وبعد سقوط الأمطار .

٣ - الكهوف .

الكهوف هي عبارة عن دهاليز طبيعية تمتد أسفل السطح امتدادا أفقيا ورأسيا ، وتنشأ عن حركة المياه الجوفية خلال الفواصل والشقوق ، وسطوح الانفصال الطبقي ، مذبية للجير ، ويعظم فعل المياه الجوفية حينما تغزر الأمطار مكونة الأنهار الباطنية التي تعمل على توسيع الفواصل وسطوح الانفصال

الطبقي بواسطة الاذابة والنحت مكونة الكهوف الضخمة . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٤٦٩) ويرى فورد بأنه لا توجد الآن حالة واحدة عامة لتفسير تكون الكهوف الكلسية كما هو معروف في النظريات القديمة ، وانما يرى بان هناك ثلاث حالاتٍ شائعة ، هي كالآتي :

١ - كهف الارتشاح شبه الجوفي **vadose** .

ان كهوف الارتشاح **Vadose** تتطور عندما تتجمعُ الجداولَ الكافيةً فوق نقاطِ البالوعات وتثقلُ الماءَ الى مستوى الماءِ أو الينابيع .

٢ - كهف الغازات الباطنية **phreatic** العميقة .

تتكون كهوفُ الغازات الباطنية **phreatic** العميقة وتتطور بشكل أفضل في الصخور المنخفضة بشكل حاد بسبب استمرار السطح الفاصل بتوجيه المياه الى أعماق كبيرة . (Fetter, 1980 . p 488)

٣ - كهف مستوى الماء الجوفي .

انّ أنواعَ الكهوفِ الشائعة التي تحدثِ مَحْكُومٌ بتكرار اختراق الشقوقِ بشكل ملحوظ بالمياه الجوفيةِ ، وبالفاصل **Joint** الموجودة نسبة الى السطح الفاصل بين طبقات الصخور . تَجْمَعُ هذه الخصائص معا لتشكيل مفهوم التوصيل الهيدروليكي . التوصيل الهيدروليكي معامل التناسب **proportionality** يَصِفُ النسبةَ في أيِّ ماءٍ يُمَكِّنُ أَنْ يَتَحَرَّكَ خلال وسط نافذ (Ford, 1981. p 81 - 94) - التوصيل الهيدروليكي الأعلى في اغلب الأحيان يعمل على تطوير كهف مستوى الماء الجوفي . كهوف مستوى الماء الجوفي تكون شائعة بالأخص في مناطق الصخور الممتدة المنبسطة . عندما يتكون الماء الجاثم بسب وجود طبقات صخرية مصمتة ، الاختراق العميق للماءِ حسَّاسٌ بوجود السطح الفاصل بين الصخور والذي يكون مفتوحا وضحلا ، الذي يستمر الى الينابيع .

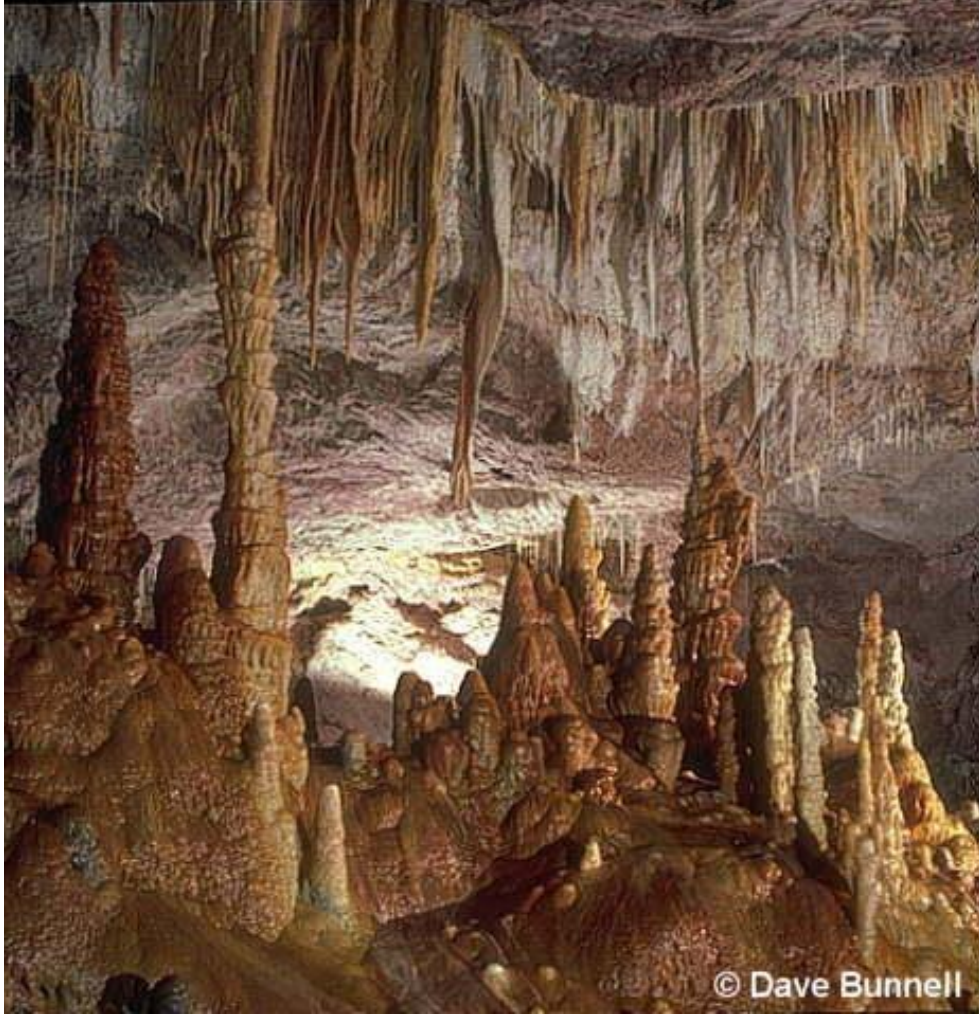
لاحظ بلايمر بان الممرات الكبيرة لعدد من الكهوف توضح تعاقب المستويات باتجاه المستويات الأصغر ، ومازال واحدا نشطا ، يقع على الارتفاع الاوطأ في المستوى الذي يَحْدُثُ فيه التوسيع مَرَكَّزٌ في أو قُرْبَ المستويات النهرية الحديثة (Palmer, 1984 p p173-209) دراسات في كنتاكي من قِبَل ميونك وبالمير وضحت بأن أنماط الكهوف هي انعاش لتغيرات عديدة في مستوى القاعدة والمناخ منذ أواخر العصر الثلاثي (Miotke & Palmer, 1972. p69) . ولاحظ بالمير أيضاً بأن تطوير الكهوف محتمل أن يكون تطور فوق ، أو في ، أو تحت مستوى الماء . حيث أنّ شكل الكهوف اعتمد على جيولوجية وهيدرولوجية المنطقة المحلية ، وعلم طبقات الأرض المحلي ، ودراسة موارد مائية ، ومن المحتمل أن يكون للكهف الواحد ممرات تكونت فوق ، أو في ، أو تحت مستوى الماء . ويُشِيرُ أبعد بأن يوضَّحُ العلاقة في العديد من المناطق بين مستويات الكهف والتاريخ النهري ، ويوضح الميل لمُعْظَمِ الذوبان **solutioning** للمكان الذي يقع على مستوى الماء الأرضي (Palmer, 1984 p p173-209) .

ترسبات الكهوف

بالتأكيد الظواهر التي تُثيرُ أعظم الفضول لأكثر زوّارِ الكهوفِ التشكيلات الغريبة لأنواع الترسبات الكلسية التي تعطي في اغلب الأحيان مظاهر عجيبية لهذه الكهوف . هذه المظاهر تكونت من خلال قطرات المياه اللانهائية والتي استغرقت مدة طويلة من الزمن . ان كاربونات الكالسيوم المتبلورة التي تترك خلف منتجات حجر الكلس تدعى **Travertine** . هذه هي ترسبات الكهوف ، على أية حال ، تدعى أيضاً بشكل عام باسم الأحجار المعلقة **dripstone** ، اشارة واضحة الى اصل تكوينهم . بالرغم من أن تكوين الكهوف يحدثُ في نطاق التشبع ، فان ترسبات الأحجار المعلقة يكون من غير المحتمل ان تصل الى قاع الكهوف الواقعة فوق مستوى الماء الجوفي في نطاق التهوية ، وهذا يحدث بشكل عام عندما تقطع الجداول القريبة وديانها بشكل عميق . وعندما تتساقط قطرات الماء من الأعلى ، وتكون الغرفة مملوءة بالهواء فان الوضع يكون جاهز لبدء مرحلة تزيين الكهف .

وجدت مظاهر مختلفة للأحجار المعلقة في الكهوف منها الهوا بط **stalactites** . انظر الصورة (٤٤) وهي عبارة عن نتوءات شبيهه برقائق الثلج متدلّية من سقف الكهف وتتكون عندما تتسرب المياه خلال الشقوق من الأعلى . وعندما يصلُ الماء الى الهواء الموجود في الكهف ، البعض من ثاني أوكسيد الكاربون المذاب يهرب وتبقى مخلفات كاربونات الكالسيوم . يحدثُ الترسيب كحلقة حول حافة قطرات الماء المتدلّية . وتوالي الهبوط تخلف كلها أثر متاهي الصغر لكاربونات الكالسيوم خلفها وتخلق أنبوب كلسي مجوف ثم يتحرك الماء خلال الأنبوب وتبقى متدلّية بشكل مؤقت في النهاية ، تساهم الحلقة الصغيرة من كاربونات الكالسيوم وتسقط الى ارض الكهف . هذه الهوابط التي وصفت بدقة تدعى بشكل ملائم باسم بقايا أو قشة كاربونات الصوديوم **Soda Straw** ، في أغلب الأحيان الأنبوب المجوّف لقشة كاربونات الصوديوم يصبح مسدودا أو يرتفع تجهيزها من الماء فيودي الى التدفق . والترسبات هنا ، على طول الجزء الخارجي للأنبوب ، ويسبب استمرار الترسيب ، فان الهوابط تأخذ الشكل المخروطي الأكثر شيوعا .

اما الترسبات التي تتكون على ارض الكهف وتتجه بالصعود نحو السقف فانها تدعى بالصواعد **Stalagmites** . ان الماء الذي يجهز كاربونات الكالسيوم لنمو الصواعد يسقط من السقف ويرش على السطح . ونتيجة لذلك فان الصواعد لا تمتلك أنبوب مركزي ، وهي تظهر بشكل كثيف وتكون مستديرة في نهاياتها العليا مقارنة مع الهوا بط **Stalactites** . (Lutgens&.Tarbuck,p , 152- 157) .



صورة (٤٤) ترسبات الهوابط والصواعد في الكهوف

٤ - المجاري الجوفية . Subterranean Streams .

تساهم في نشأة هذه الظاهرة كل من الحفر البالوعية والأحواض الطولية في المناطق الجيرية ، فعندما تغور مياه نهر صغير في احدى هذه البالوعات قد يظهر جزء منه فوق السطح بينما يختفي الجزء الآخر تحت السطح ، الا انه قد يظهر فوق السطح مرة أخرى عندما يكون منسوب مجرى النهر الجوفي مع مستوى سطح الأرض ، ويتكون بهذه الطريقة ما يعرف باسم الأنهار الجوفية أو المجاري المفقودة **Lost Rivers** . اما الأودية العمياء **Blind Valleys** فيقصد بها تلك المجاري السطحية التي تجف مياهها تبعا لتغلغلها في جوف الصخر وتحولها الى مجاري جوفية . واذا امتلأت هذه الأودية العمياء بالمياه من جديد عقب فترة من سقوط الأمطار الغزيرة قد يترتب عليها حدوث فيضانات قوية تهدد القرى السكنية والمراكز العمرانية في مناطق الكارست الجيرية . انظر الصورة (٤٥)



صورة (٤٥) المجاري المائية الباطنية تحت سطح الأرض .

٥ - التلال المنعزلة والغابات الحجرية .

بعد ان تعمل المياه الجوفية على اذابة أجزاء واسعة من المناطق الجيرية قد تبقى فوق السطح بعض الكتل الجيرية التي استطاعت مقاومة عمليات الاذابة والتحلل تبعا لشدة صلابتها النسبية ، ويطلق عليها عامة اسم التلال المنعزلة **Monadnock or isolated hills** وتعرف هذه التلال بأسماء محلية مختلفة فعلى سبيل المثال يطلق عليها في يوغسلافيا السابقة اسم همز **Hums** ، وفي كوبا اسم موجوتز **Mogotes** .

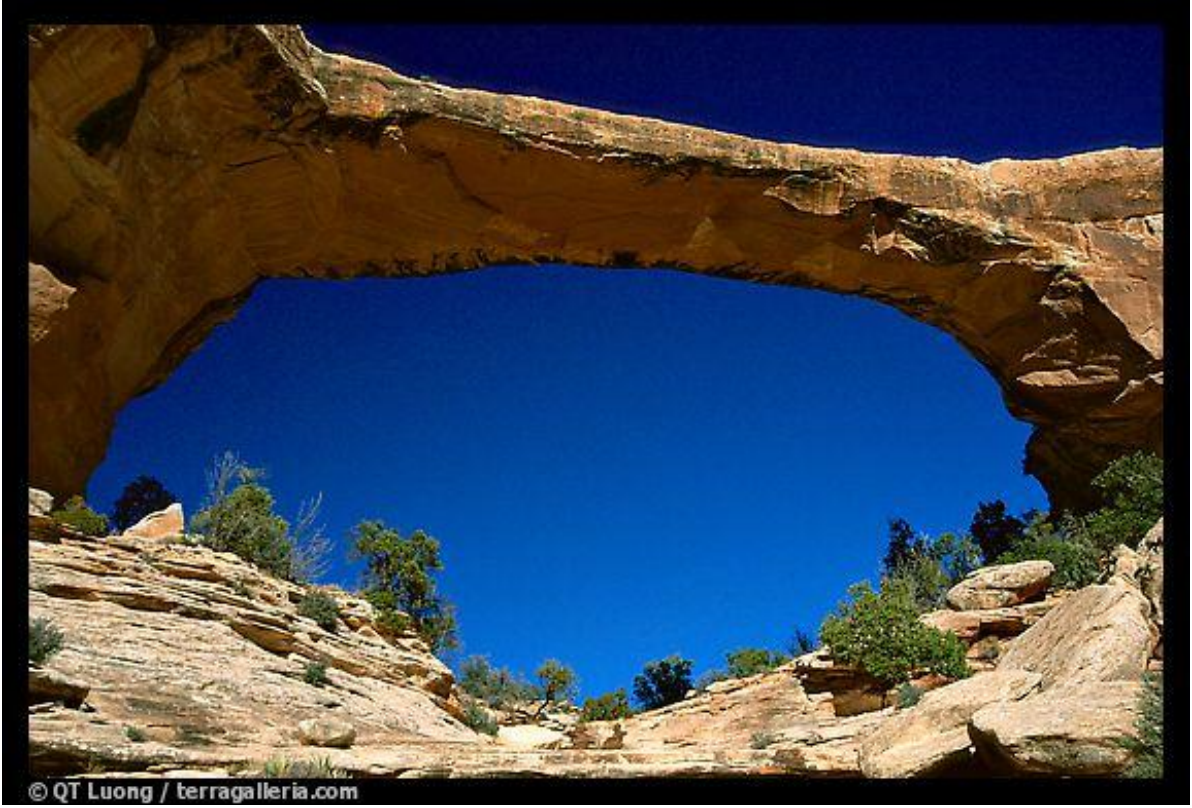
وعندما تتكون مجموعات متجاورة من التلال الصخرية الجيرية تبعا لتعرض الحافات الجيرية السابقة لفعل التجوية الكيميائية الشديدة ، تظهر التلال على شكل غابات أو جذوع أشجار حجرية عالية ، ومن ثم يطلق عليها تعبير الغابات الحجرية **Stone Forests** . انظر الصورة (٤٦)



صورة (٤٦) الغابات الحجرية .

٦ - الجسور الطبيعية . Natural Bridges .

تتكون ظاهرة الجسور الطبيعية في المناطق الجيرية ذات الصخور العظيمة السمك والشديدة التقطع بفعل الشقوق الطولية والعرضية ، فتعمل المياه على ذوبان الجير وتؤدي الى تكوين حفر مختلفة وبالوعات اذابة متنوعة النشأة وقد يؤدي اتصال عدة بالوعات اذابة أو أحواض اذابة دائرية الشكل مع بعضها البعض الآخر الى تكوين الجسور الطبيعية انظر الصورة (٤٧) (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ص ٥١٥ - ٥٢١) .



صورة (٤٧) الجسور الطبيعية في المناطق الجيرية .

الفصل الحادي عشر

الاشكال الارضية الناتجة عن الامواج المائية في مناطق السواحل

المقدمة .

ان الأشكال الأرضية **landforms** المُخْتَلَفَة للمناطق الساحلية تقريباً بشكل خاص هي نتيجة عمل الموجات البحرية والمحيطية . وان عمل هذه الموجات يكون عدد من الأشكال الأرضية التعرؤية الأكثر دهشة في العالم . وعندما تنخفض طاقة الموجه تتكون الأشكال الأرضية الترسيبية مثل الشواطىء . (Fundamentals of physical Geography) قبل أن نخوض في تفاصيل هذه الأشكال لابد من التمييز مفهومي الساحل والشاطىء ، إذ يقصد بتعبير الساحل **Coast** هو نطاق اتصال اليابس بالبحر ، بينما يقصد بالشاطىء **Shore** هو المساحة الواقعة بين حضيض الجروف البحرية (وهي الحوائط الصخرية المشرفة على البحر) وأدنى مستوى تصله مياه الجزر . وفي حالة كون الساحل سهليا لا يتميز بوجود الجروف البحرية ، فان تعبير الشاطىء يطلق حينئذ على المساحة المحصورة بين أعلى حد تصله أمواج البحر العواصف وبين أدنى منسوب تصله مياه الجزر . اما تعبير البلاج **Beach** فانه يتألف من رواسب الرمال والحصى فوق الشاطىء . ويمكن تحديد خط الساحل **Coastline** اما بخط الجرف البحري أو الخط الذي تصل إليه أعلى أمواج العواصف . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٣٦٧) .

خصائص الأمواج .

ان مصدر الطاقة للتآكل الساحلي ونقل الراسب هو عمل الموجة . أي موجة تمتلك طاقةً كامنة كنتيجة لموقعها فوق قاع الموجة ، وطاقة حركية سببها حركة الماء ضمن الموجة . طاقة الموجة هذه مؤلدة بالتأثير الإحتكاكي لحركة الرياح فوق المحيط . ان سرعة الرياح العالية ، والمسافة عبر المياه المفتوحة هي التي تجلب نفخ الرياح ووصول الموجات ، الموجات الأكبر تمتلك معظم الطاقة . من المهم إدراكه بان تلك الموجات المتحركة لا تدفع الماء بنفسه الى الأمام ، لكن بالأحرى الموجات تمنح حركة دائرية الى الجزيئات الفردية للماء . اذا أنت ذهبت لصيد السمك في مركب على المحيط أو بحيرة كبيرة ستواجه هذه الظاهرة . حيث ان الموجات المتحركة تمر من تحتك ، والمركب يرتفع ويهبط لكن لا يتحرك أي مسافة عبر جسم الماء . تمتلك الموجات عدة خصائص قابلة للقياس التي تتضمن الطول والارتفاع . يعرف طول الموجة بأنه عبارة عن المسافة الأفقية من قمة الموجة الى قمة الموجة التالية له ، بينما ارتفاع الموجة يعني الاختلاف العمودي بين قاع وقمة الموجة . اما الوقت المحدد لعبور نقاط القمم المتعاقبة فانه يطلق عليه اسم مدة الموجة **Wave Period** وتبقى ثابتة تقريباً على الرغم من تغيرات أخرى في الموجة . ان طول الموجة (L) هو ناتج سرعة الموجة مضروباً بالمدة الزمنية لها كما هو موضح في المعادلة التالية :

$$L = V.P$$

ان الموجات الطويلة في المحيط المفتوح تزداد وتصل بسرعة مقارنة مع الموجات القصيرة التي تتكون على سواحل البحار . وتتميز بمدة الموجة الطويلة ، ولذلك تتميز عن موجات البحر القصيرة عند

وصولها الى الساحل . الزيادات الطويلة التي مرّت مئات الكيلومترات لربّما لها مدة زمنية للموجة يصل بحدود ٢٠ ثانية . بينما الموجات البحرية الأصغر لها مدة زمنية للموجة تتراوح من ٥ الى ٨ ثواني .

عندما يكون عمق المحيط اكبر كثيرا من طول الموجة ، فان حركة الموجة لا تمتد الى قاع المحيط ، ولذلك تبقى غير متأثرة به . وعندما ينخفض عمق المحيط الى أقل من نصف طول الموجة ، تُصبح حركة الموجة متأثرة جداً بالقاع . ان عمق الماء يَنْقُصُ زيادةً ارتفاع الموجة بسرعة وتتناقص طول الموجة بسرعة . هكذا ، تُصبح الموجة بارزة أكثر فأكثر كلما اقتربت من الشاطئ ، وأخيرا تتجدد وتتكسر على الشاطئ . بينما الموجة تتكسر ، الطاقة الكامنة تتحول الى طاقة حركية ، تُزويد كمية كبيرة من الطاقة للموجة لتعمل على طول خط الشاطئ **shoreline** . من الرؤوس البحرية تبدأ بالاصطدام طبيعيا بقاع البحر عندما تكون فقط تحت كيلومتر من الشاطئ . تحدث زيادة في الارتفاع ونقص في طول الموجة وتباطؤ نحو الأسفل ، القمة التي تقترب من الخليج تستمر بدون عرقلة ولذا تتقدم للأمام من مجموعة من الموجات باتجاه الرأس البحري . ونتيجة لهذه العملية ، تصبح الرؤوس البحرية عادة كمواقع للتآكل الحاد بينما تصبح المواقع المحصورة في الخليج **embayments** عادة كمواقع ترسيب . ان أعطاء تعرية الأمواج الوقت الكافي سينتربت عالية تكوين شريط ساحلي مصقول .

الأشكال الأرضية الحتية للأمواج المائية .

ان عمليات التعرية أو التآكل الذي تتعرض له الصخور على طول خط الشاطئ **Shorelines** هو نتيجة لعدة تأثيرات ميكانيكية وكيميائية التي اعتمدت على جيولوجية الشريط الساحلي ، طبيعة هجوم الموجة ، وتغيرات طويلة الأجل في مستوى البحر بالإضافة الى المجاميع المدية ، ولهذا تتكون العديد من الأشكال الأرضية الحتية المتمثلة بالجروف البحرية **Cliffs** ، والكهوف **Caves** ، والأقواس البحرية **Sea Arches** ، والمسلات البحرية **Fundamentals of physical Geography Sea Stacks** وفيما يلي شرح مفصل لهذه الظواهر :

١ - الجروف **Cliffs** .

وهي من الظواهر الحتية المهمة التي تتكون بفعل الأمواج البحرية ، وتختلف هذه الجروف في تكوينها وتفاصيل أشكالها تفاوتاً كبيراً ، ويتوقف ذلك على متغيرات عديدة تم الإشارة إليها سابقاً . ان ظاهرة الجروف تحدث عندما تتعرض الصخور الصلبة المتماسكة (الحجر الرملي الأحمر القديم ، والحجر الجيري المندمج ، والجرانيت) الى عملية النحت مما يؤدي الى تراجعها بشكل بطيء مما يترتب عليه تكوين جروف شديدة الانحدار تقف قائمة كرؤوس أرضية ، **Headlands** ، انظر الصورة (٤٨) ومع هذا فان تكوين الجروف لا يقتصر في واقع الحال على الصخور الصلبة المقاومة وحدها بل يتعداها الى الصخور الطباشيرية المشهورة بليونتها ، فهي تكون جروفا شديدة الانحدار على سواحل كثير من جهات الجزر البريطانية . ومن الممكن أن تنشأ التعرية البحرية في التكوينات الصلصالية الجليدية رغم ليونتها جروفا

شديدة الانحدار ، وذلك بسبب سرعة التقويض السفلي الذي تمارسه الأمواج ويمكن مشاهدة هذه الظاهرة في بعض سواحل بريطانيا ومنها سواحل يوركشاير . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٣٨٦ - ٣٨٨) .



صورة (٤٨) الجروف البحرية .

٢ - الكهوف Caves .

تتكون ظاهرة الكهوف عندما تكثر المفاصل الرأسية في الصخور ، عند قواعد الجروف التي تتعرض لفترة طويلة لفعل الأمواج البحرية ، ويبدو الكهف في هيئة نفق اسطواني الشكل يمتد داخل الجرف متتبعا خط الضعف الصخري ، ويتناقص قطره كلما اتجهنا نحو الداخل ، واذا حدث وكان هناك فواصل في صخر سقف البحر فأنها تتسع بمرور الزمن ثم يفتح الجرف مكونا ما يعرف بالثقب الانفجاري **Blow Hole** ، وبمرور الزمن ومع استمرار عملية فعل الأمواج يتسع الكهف ويرق سقفه فينهار ، ويظهر بذلك مدخل **Inlet** في الجرف طويل وضيق يعرف باسم **Geo** في جزر اوركني في شمال اسكتلندا . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٣٨٨) .

٣- الأقواس البحرية Sea Arches .

تتكون الأقواس البحرية عندما تبرز اللسنة الصخرية في ماء البحر ، وتتعرض الى فعل الأمواج من الجانبين مما يترتب على ذلك تكوين فجوات متقابلة في كل برزو من هذه البروزات ، تتحول هذه

الفجوات بمرور الزمن الى كهوف ، ثم تتواصل الكهوف ، فيبقى القسم العلوي معلقا على الفجوة النافذة ، ومن ثم يتكون القوس . (البحيري ، مبادئ الجغرافيا الطبيعية ، ص ١٣٣) . انظر الصورة (٤٩) .



صورة (٤٩) تطور الكهوف والأقواس البحرية

٤ - المسلات البحرية Sea Stacks .

ان تكون المسلات البحرية هي خطوة لاحقة لتكون الأقواس البحرية ، فبأستمرار فعل الأمواج البحرية ، ترق أسقف الأقواس ، وتنتسح الأقواس من تحتها ، فلا تلبث أن تنهار الأسقف ، مخلفة تجاه البحر عمودا من الصخر يبدوا كمسلة قاعدتها عريضة متآكلة ، ورأسها مدبب مسنن . (البحيري ، مبادئ الجغرافيا الطبيعية ، ص ١٣٤) . والصور (٥٠) توضح أنواع من المسلات البحرية .



صورة (٥٠) المسلات البحرية

النقل .

ان عملية النقل بالموجات والتيارات ضرورية لكي يُحرّكاً جزيئات الصخور المتآكلة من احد أجزاء الشريط الساحلي الى مكان الترسيب في مكان آخر . وتنتج إحدى أهم آليات النقل بسبب انكسار الموجة . بينما نادرا ما تُكسّر الموجات في الشاطئ بزوايا قائمة ، لذلك فان الحركة الصاعدة للماء في الشاطئ تحدث في زاوية منحرفة . على أية حال ، عودة الماء (انكسار الموج) بزوايا قائمة الى الشاطئ ، يُؤدّي الى الحركة الكلية لمادّة الشاطئ بشكل جانبي . هذه الحركة المعروفة بانجراف الشاطئ انظر الصورة (٥١) . الدورة اللانهائية لتكسر وانحسار الموج ونواتج انجراف الشاطئ يمكن أن يُلاحظ على كُُلّ الشواطئ. (Fundamentals of physical Geography) وتعد التيارات السفلى من عوامل النقل البحري الهامة ، وهي تمثل تيار السحب أو التيار الرجعي **Undertow** وهو ينشأ نتيجة لتراكم مياه الأمواج العالية فوق الشاطئ ثم ارتدادها سفلياً نحو البحر ، مما يترتب عليه جرف الرواسب الشاطئية الى المياه العميقة .(جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٣٩٥) . التيارات المدية على طول السواحل يُمكن أيضاً أن تكون فعّالة في انتقال المادة المتآكلة وبالنهاية فان الانجراف الساحلي ، والتيارات الساحلية ، وتكرار تيارات المدّ والجزر في مجموعها تحدد الاتجاه الصافي لنقل الراسب ومناطق الترسيب في المناطق الساحلية . (Fundamentals of physical Geography) .



صورة (٥١) تكسر الأمواج على خط الساحل .

الأشكال الأرضية الترسيبية للامواج المائية .

تتشكل أرضية البحار والمحيطات بفعل الأرساب بدرجة أعظم بكثير من تأثرها بفعل التعرية ، حيث يكاد ينحصر فعل التعرية على منطقة خط الساحل ، بينما يظهر فعل الأرساب في كل أجزاء قاع المحيط سواء أكانت الضحلة المجاورة لخط الساحل أو الأخرى العظيمة العمق في البحار المفتوحة . ويترسب فوق قاع البحر أنواع مختلفة من الرواسب تتمثل في تلك التي تذورها الرياح والتي تتألف من الرمال وأتربة البراكين ، وكذلك المواد التي تصبها الأنهار والثلجات ، هذا بالإضافة الى تجمع الرواسب العضوية تبعاً لاندثار الكائنات البحرية وتوالي عمليات تراكم قشورها ، وبذا تكون طبقات ارسابية عظمية فوق قاع المحيط . ويلاحظ ان اختلاف حجم حبيبات المفتتات الصخرية ، واختلاف أعماق المحيط لهما الأثر الأكبر في التوزيع الجغرافي للارسابات المختلفة فوق قاع البحار والمحيطات . فتتراكم الرواسب الخشنة الغليظة الحبيبات عادة بالقرب من الشاطئ أو خط الساحل ، ثم تليها تلك المواد التي تتألف من حبيبات اقل خشونة وحجماً . وفي ضوء ذلك تتميز الحواف الحدية الهامشية للرف القاري بأنها تتألف من رواسب دقيقة ناعمة (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ٥٦٢) . وسنكتفي هنا بالحديث عن الرواسب الشاطئية وهي كالاتي :

١ - البلاج Beach .

يستخدم لفظ البلاج ليشير الى تراكمات الحصى والرمال المترسبة فوق الشاطئ ، ويضيق عرض البلاج في السواحل المرتفعة ، نظرا لعمق المياه بجوار هامش اليابس ، بينما تتميز السواحل المنخفضة بإمكانية تكوين بلاج عريض على خط الساحل . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ص ٣٩٧ - ٣٩٩) .

٢ - الحواجز والالسنة .

عندما يزداد نشاط الأرساب البحري على السواحل المرتفعة المنسوب نسبيا أو فوق تلك التي تتميز بالانحدار التدريجي الضعيف ، فقد يترتب على ذلك تكوين الالسنة والحواجز البحرية الطبيعية . وإذا انتهى خط الساحل عند مدخل خليج أو مضيق بحري فان المواد المنقولة بواسطة اندفاع الأمواج والتيارات تنسحب في مياه الخليج العميقة على شكل السنة طولية . ويتكرر 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 حافته الجانبية الى أن يصل في النهاية الى مرحلة نموه الأخيرة والتي يضعف خلالها اثر فعل الأمواج والتيارات البحرية في تشكيل المظهر الجيومورفولوجي العام لهذا الجسر البحري . وإذا نشأ 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 . اما الانحناء الملحوظ في الالسنة البحرية والذي يشبه راس الخطاف فيرجعه الباحثون الى اثر فعل الأمواج المائلة في تشكيل رواسب اللسان البحري وطبيعة تراكم الرواسب الأخيرة على جوانبه . (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ص ٥٦٤ - ٥٦٥) . 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 الالسنة التي تمتد عبر المصببات النهرية ، والالسنة التي تمتد عبر الخلجان البحرية . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٤٠١) .

اما الحاجز البحري **Bar** فهو عبارة عن تعديل طرأ على شكل اللسان البحري ، فحيث يمتد الأخير امتدادا طويلا صوب البحار المفتوحة ، يمتد الحاجز البحري عرضيا فيما بين طرفي راسين من اليابس المجاور ، . (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ٥٦٦) . والحواجز لا تختلف عن الالسنة ويشيع منها وجود نمط يمتد عبر مداخل الخلجان ، اذ يبدأ اللسان بالنمو من احد الراسين اللذان يشكلان الخليج ويستمر في النمو والامتداد عبر الخليج الى الراس الآخر المقابل ، أو يتكون من النقاء لسانين ينموان من كلا الراسين . وهناك نوع آخر من الحواجز ما ينشأ عن امتداد السنة اليابس ووصولها الى الجزر المجاورة . ونتيجة لذلك ترتبط الجزر باليابس عن طريق حواجز تسمى **Tombolo** . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ص ٤٠٥ - ٤٠٧) . انظر الصورة (٥٢) .



صورة (٥٢) الحواجز الرملية .

٣ - البحيرات المستنقعية Lagoons .

تعمل الحواجز على حجز مياه البحر العميقة نسبيا عن المستنقعات البحرية الضحلة التي تمتد فيما بين الحواجز البحرية وخط الساحل ، واذا حجزت هذه المستنقعات عن البحر تماما بواسطة الحواجز البحرية ، تتكون البحيرات المستنقعية التي يطلق عليها اللاكون **Lagoons** . انظر الصورة (٥٣) ولكنها عادة تتصل بالبحر المجاور بواسطة فتحات ضيقة ، تشققها الأمواج والتيارات البحرية ، ومن الأمثلة على ذلك الحواجز البحرية المشهورة في بحر البلطيق التي تمتد فيما بين مدينة ممل **Memel** شرقا ومدينة دانزج **Danzing** غربا ، والتي تبدو على شكل حاجزين بحريين طويلين ، ويحيطهما عدد من الكثبان الرملية ، ومستنقعات بحيرية واسعة تعرف باسم هافس **Haffs** . . (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ٥٦٦) .



الصورة (٥٣) البحيرات المستنقعية Lagoons .

الفصل الثاني عشر

الاشكال الارضية الناتجة عن الرياح في المناطق الجافة وشبه الجافة

المقدمة .

يعد عامل الرياح من أكثر العوامل الجيومورفولوجية اسهاما في تشكيل سطح الأرض وبالأخص في الأقاليم الجافة وشبه الجافة ، ومما يساعد هذا العمل على نقل الفتات الصخري هو انعدام الغطاء النباتي ، وقلة رطوبة الهواء في هذه الأقاليم ، لان الهواء الجاف اقدر على التعرية من الهواء الرطب الذي لا يستطيع اشارة الأتربة والرمال . وبالتالي تساهم في تكوين أشكال أرضية ، حتية وأخرى ترسيبية ترسم الصورة التضاريسية في هذه الأقاليم التي سبق ذكرها .

طرق نقل المواد بواسطة الرياح .

تتضمن عمليات نقل الفتات الصخري بواسطة الرياح ثلاث عمليات مهمة وهي :

١ - الحمولة العالقة .

ان الفتات الصخري المنقول بواسطة الحمولة العالقة يكون حجمه اقل من (0.15) ملم ، ان هذا الفتات ينقل الى مسافات بعيدة جدا بسبب صغر حجمه ، وخفة وزنه ، اما نسبة الفتات الصخري المنقول فانه يشكل نسبة تتراوح بين (٣ - ٤٠ %) من مجمل العمليات التي تقوم بها الرياح .

٢ - الحمولة القافزة .

ان الفتات الصخري المنقول بواسطة الحمولة القافزة يتراوح حجمه بين (0.15 - 0.25) ملم ، وهذا الحجم من الفتات الصخري لا يدخل في نطاق قدرة الرياح على الحمل بواسطة العملية السابقة ، لذا يتم نقلها بواسطة القفز على ارتفاعات قليلة ، اذ تتكون سحابة من الفتات الصخري المتحرك من عدد لا يحصى من الحبيبات القافزة ، وأقصى ارتفاع تبلغه يصل الى نحو (٢) متر ، الا ان اكبر تركيز لها يكون بالقرب من سطح الأرض على ارتفاع لا يتجاوز النصف متر ، وتشكل هذه العملية (٨٠ %) من مجمل العمليات التي تقوم بها الرياح .

٣ - الحمولة الزاحفة .

ان الفتات الصخري المنقول بواسطة الحمولة الزاحفة يتراوح حجمه بين (0.25 - 2) ملم ، ان هذا الحجم من الفتات الصخري لا ينقل بواسطة العمليات السابقة بسبب كبر حجمه ، وثقل وزنه ، لذا يتحرك على سطح الأرض بطريقة الزحف ، ان هذه العملية تشكل نسبة تتراوح بين (5 - 25 %) من مجمل العمليات التي تقوم بها الرياح .

الأشكال الأرضية الحتية .

يتوقف فعل الرياح لتكوين الأشكال الأرضية الحتية على اتجاهها وسرعتها وتكرار هبوبها ومقدار ما تحمله من فتات صخري ، هذا الفتات الذي يساعد على سحق الصخور التي تقع في اتجاه الرياح ومن ثم تذريتها . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٤١١) ان توفر هذه الظروف يساعد الرياح على حمل حبيبات الرمال والوشاح الصخري الحطامي الذي يسمى بالحت الريحي ، (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٢٧٧) الذي

يعد احدى العمليات المهمة التي تؤثر في اعادة رسم الصورة التضاريسية في المناطق الجافة وشبه الجافة .(Fryrear . 1990 . pp 187 – 198) تقوم الرياح بعملها حتي من خلال عمليتين رئيسيتين هما :

أولاً : التذرية .

هي عملية اكتساح المواد الصخرية ودفعتها بواسطة الرياح (الدباغ ، ١٩٦٤ ، ص ٦١) ويترتب عليها تشكيل مظاهر عديدة من الأشكال الأرضية وهي كالآتي :

أ - الحماده .

وهي عبارة عن صحراء سفت الرياح رمالها وتركت الطبقة الصخرية عارية من أي غطاء فتاتي (الدباغ ، ١٩٦٤ ، ص ٩٤) .

ب-الصحاري الحجرية أو الحصوية .

وهي عبارة عن بقايا صخرية أو مدورة كالحصى ، انظر الصورة (٥٤) وتأخذ هذه الظاهرة عدة أسماء منها ما يطلق عليه سكان البدو في الصحراء الكبرى اسم السرير ، أما في الجزائر والمغرب فيطلق عليها اسم الرق (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٢٧٧) .

ج-السطوح المجعدة (المتموجة) .

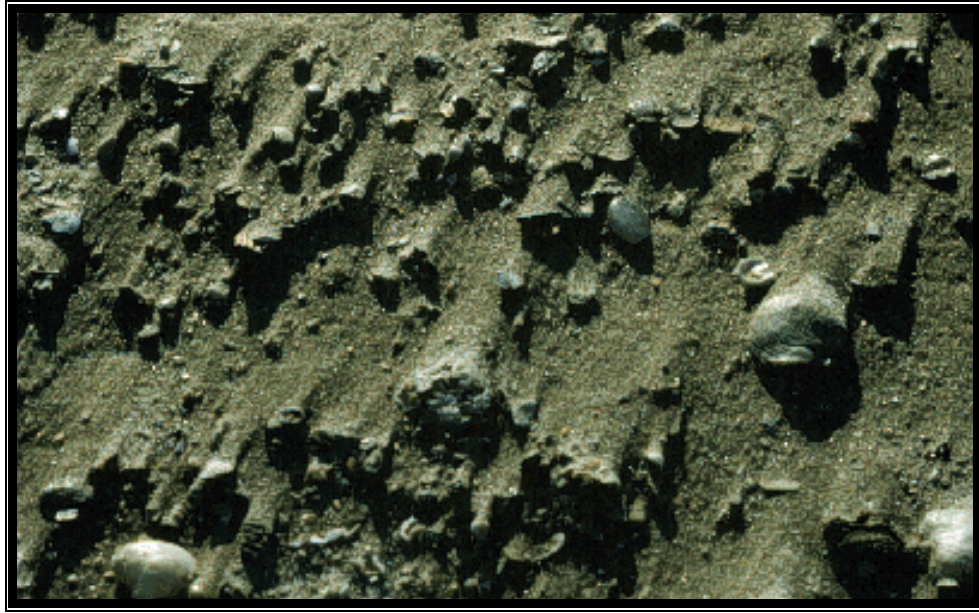
وهي عبارة عن سطوح صخرية غير متجانسة في أجزائها السطحية ، لذلك فان الرياح تتحت بعض المواضع أسرع من نحتها لمواضع أخرى ، وينتج عن ذلك ان السطح يبدو كثير التجاعيد والفجوات والثقوب بأشكال مختلفة انظر الصورة (٥٥) (شرف ، الجغرافيا الطبيعية ، ص ٢٤٣) .

د- المنخفضات الحوضية .

تنشأ هذه المنخفضات في المناطق الصحراوية التي تتكون من صخور هشة ، تمكنت الرياح من حفرها وكسح مفتتاتها الصخرية ، ومن هذه المنخفضات ما هو واسع وعميق يصل الى مستوى الماء الأرضي فتنبثق المياه في شكل عيون ومن ثم تنشأ الواحات ، ومنها منخفضات الواحات التي توجد بصحراء مصر الغربية ، مثل الواحات الداخلة والخارجة وتعرف الان بالوادي الجديد ، والبحرية والفرافرة وسيوة . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٤١٤) وقد تعددت الآراء بشأن تكون هذه المنخفضات ، اذ يرى أصحاب الرأي



صورة (٥٤) الصحاري الحصوية في المناطق الصحراوية .



صورة (٥٥) السطوح المجعدة في المناطق الصحراوية .

الأول بان هذه المنخفضات تنتج من عمليات التذرية ، خاصة في المناطق التي يغطيها وشاح صخري غير متماسك من الطين والطفل ، (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٢٦٤) ويرى أصحاب الرأي الثاني بان الرياح وحدها لايمكن ان تكون مسؤولة عن حفر منخفضات كبرى كتلك التي تشغلها واحات مصر الغربية وليبيا على سبيل المثال لا الحصر وانما عملها لايتعدى تكوين منخفضات متواضعة الحجم ، محدودة المساحة ، تتراوح أبعادها بين بضعة عشرات الأمتار على أحسن تقدير ، ويطلق على هذه المنخفضات اسم فجوات

الرياح أو تجاوبف التذرية ، (البحيري ، أشكال سطح الأرض ، ص ص ٢٦٠ - ٢٦١) بينما يرى أصحاب الرأي الثالث بان هذه المنخفضات هي نتيجة عمل تكتوني اذ ان عملية الرفع التي أثرت على المنطقة لم تؤثر على الحوض بشكل مباشر مما جعلها منخفضة قياسيا للمنطقة المجاورة أو انها تعرضت الى عملية هبوط مقارنة بالمناطق المجاورة . (السامرائي والريحاني ، جغرافية الأراضي الجافة ، ص ١٤٤)

اما الرأي الرابع فان أصحابه يرون بان التذرية ليست وحدها هي المسؤولة عن تكون هذه المنخفضات ، وانما هناك عدة عوامل جيولوجية وجيومورفولوجية ، مثل الحركات الأرضية ، وفعل المياه الجارية ، وأخيرا استمرار فعل العمليات الريحية في الوقت الحاضر . (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٢٦٤) (شرف ، الجغرافيا الطبيعية ، ص ٢٤٥) .

ثانيا- البري أو السحج Abration .

وهي عملية تؤدي الى بري الصخور وتشكيلها بأشكال غريبة نتيجة احتكاكها وصفها بحبات الرمل التي تحملها الرياح ، وان هذه العملية تكون على أشدها على ارتفاع قليل من سطح الأرض (اقل من متر واحد) اذ يكون تركيز الرمال في الرياح أعلى ما يمكن ، وتكون النتيجة ما يسمى بالنحر السفلي ، وتوجد عدة مظاهر حتية لهذه العملية وهي :

١- أشكال متنوعة ناتجة عن عملية التقويض Undercutting .

عند وجود طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق صخور لينية ، فان الرياح المحملة بالرمل تعمل على تآكل أو تقويض Undercutting للطبقة الصخرية السفلى بمعدل أسرع من معدل تآكل الطبقة العليا ، مما ينتج عنها عدة ظواهر جيومورفولوجية متنوعة تمثل المظهر العام لسطح الصحراء ، فبواسطة فعل احتكاك الرياح بالصخور تتسع جوانب الأودية الصحراوية وفي مراحل متعاقبة قد تتكون كل من الموائد الصخرية Mesa ، والأعمدة الصحراوية أو قصور البنات Buttee ، أو صخور عش الغراب أو موائد الشيطان ، وتنتشر في ولاية يوتان بالولايات المتحدة الأمريكية ظواهر جيومورفولوجية مختلفة من الموائد الصخرية والأعمدة الصحراوية التي نتجت بفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمل في الصخور اللينة ونحتها وبالتالي بقاء الصخور الصلبة على شكل أعمدة ومصاطب صخرية (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٢٦٧ ، Small) (The study of Land forms. Pp 303 - 308). ونتيجة لاحتكاك الرياح في الصخور السفلى اللينة تظهر تجويفات جانبية عظمى في الصخور ، وتبعا لاستمرار تآكل الصخور اللينة تبقى أجزاء من الصخور الصلبة العلوية على شكل رأس المطرقة . (أبو العينين ، كوكب الأرض ، ص ٣٦٧) إن هذه الكتل الصلبة المسطحة والتي تتركز على صخور لينة أسفلها تدعى بالشواهد الصحراوية Zeugen وتبرز عادة فوق السطح العام بنحو ٣٠ متر . (جودة معالم سطح الأرض ، ص ٤١٣) .

٢- الوجه ريحيات Ventifacts .

وهي عبارة عن حصى له أشكال متنوعة وأسطح منحوتة مصقولة بفعل الرياح ، وتعتمد أنواعها على اتجاه الرياح هل هي ثابتة أم متغيرة الاتجاه ، فإذا كانت ثابتة الاتجاه طول العام فإنها تعمل على شطف الحصى المعرض لها من جانب واحد فيتكون للحصى وجه عريض منحدر نحو الاتجاه الذي تهب منه الرياح ، أما إذا كانت الرياح متغيرة الاتجاه مع تغير الفصول فإنه يتكون لدينا وجه ريحيات ثنائية الأوجه **Zweikanter** ، أو ثلاثية الأوجه **Dreikanter** ، بسبب تعرض الحصى الى الانقلاب ويحدث لها ما يحدث للجانب الأول ويشطف هو الآخر ، وهكذا تتقابل الأسطح المكشوفة في حروف حادة يتوقف عددها على عدد الجوانب التي تتعرض لفعل الرياح . (Small, The study of Land forms. Pp 303 – 301)

٣- كهوف الرياح Wind Caves .

تبعاً لاختلاف التركيب الصخري في الطبقات التي تتعرض لفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال ، فلا يتساوى مدى فعل الرياح على طول كل جزء من أسطح الصخور ، تتجوف وتتعمق الأجزاء الرخوة اللينة من الصخور وتبدو على شكل حفر أو ثقوب جوفية في الصخور بينما تبقى أجزاء الصخر الصلبة على شكل فواصل وأعمدة تفصل بين هذه التجويفات وتعرف هذه الظاهرة باسم ثقوب أو كهوف الرياح . (أبو العينين ، كوكب الأرض ، ص ٣٦٨) و (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ٦٢٢) . وهي كهوف تتكون في جوانب الجبال المكونة من طبقات صخرية متباينة الصلابة ، وتتكون هذه الكهوف بصفة خاصة في الجانب المواجه لهبوب الرياح السائدة ، وتساعد التجوية والتعرية المائية على توسيعها . (شرف ، الجغرافيا الطبيعية ، ص ٢٤٤) ومن أجمل الأمثلة على ذلك هي ثقوب أو كهوف الرياح التي تتكون في الصخور الرملية عند رأس الدب بالصحراء الشرقية قرب خليج السويس (أبو العينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، ص ٦٢٢) .

٤- تضاريس الياردنج .

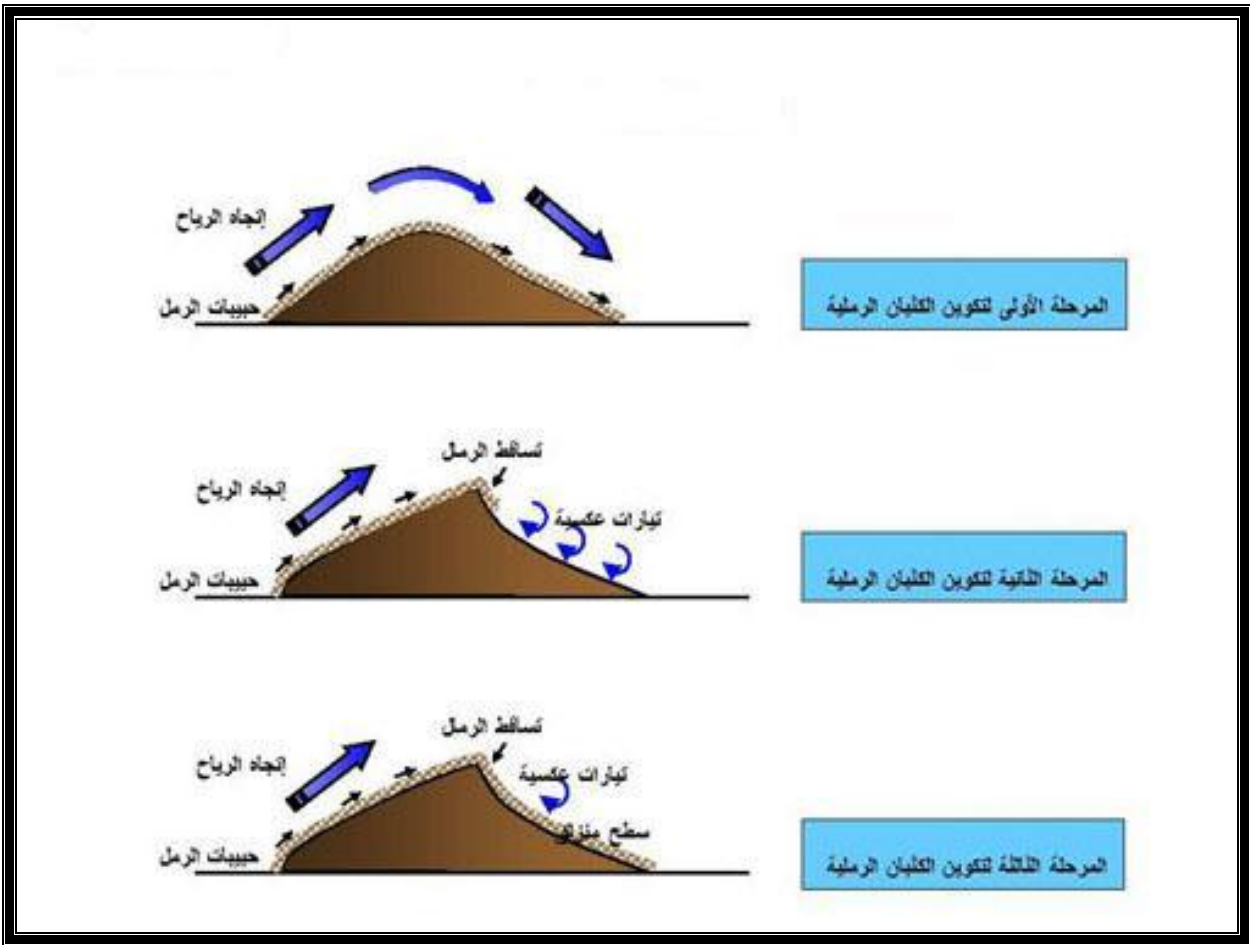
وهي عبارة عن قنوات غائرة طويلة متوازية تقريبا ، وذات جوانب شديدة الانحدار ، ويبلغ عمقها أكثر من متر واحد ، وعرضها حوالي المتر أو أكثر ، وفيما بين القنوات تبرز الأرض في شكل عروق أو ظلوع ، وتبدو الأرض في مظهر مضرس يصعب اجتيازه وتنتشر عند هوامش الأراضي الفيضية الواسعة في الأحواض الصحراوية المغلقة التي تنتشر فيها مساحات كبيرة من الطفل والطين الملحي والتي تعرف باسم البلايا **Playas** في أمريكا اللاتينية ، والسبخات في الصحراء الكبرى ، وعندما تجف تلك الرواسب وتتصلب في جهات تسودها رياح منتظمة الاتجاه تتحول الى هذا النوع من التضاريس الصحراوية . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٤١٤) وتنتشر مثل هذه الظاهرة كذلك في صحاري وسط آسيا وتركستان ، كما تظهر فوق معظم منحدرات المناطق الصحراوية الجبلية في منطقة اماتافونا في جنوب ناتال الواقعة في جنوب أفريقيا . (أبو العينين ، كوكب الأرض ، ص ٣٦٧) .

٥- الجبال المنفردة Inselberge .

وهي تلال قبايية أو مدبية ذات سفوح شديدة الانحدار تتكون بفعل ازالة الجزء الأكبر من السطح الصخري بفعل النحت الهوائي (الفرحان وأبو سمور ، ١٩٩٠ ، ص ١٧٢) اذ تستطيع الرياح ان تتحت الصخور اللينة التي يتألف منها سطح الصحاري فتعمل على تخفيضه ، ولا يبقى منه بارزا سوى الكتل الصخرية الصلبة مكونة مايعرف بالجبال المنفردة التي تبدو بارزة في وسط محيط من الأرض المنخفضة ، وهي شائعة الوجود في جنوب أفريقيا ، وفي أجزاء من الصحراء الكبرى في الجزائر ، وليبيا ، وشمال غرب نيجيريا . (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٤١٣) .

الأشكال الأرضية الترسيبية للرياح .

عندما تهدأ الرياح أو تتوقف تقل الطاقة المتاحة للنقل وتتنخفض قدرتها على حمل الفتات الصخري ، عندئذ تبدأ الرمال بالترسيب ، وعندما يعترض الرياح المتحركة عائق مثل الغطاء النباتي أو الصخور المبعثرة فإن الرياح تندفع حولها أو فوقها تاركة ظلالها خلف الحاجز ، كما ان النطاق الضيق للرياح يصبح هادئاً في جبهة الحاجز مما يساعد على تحرك الفتات الرملي مع الرياح القادمة وترسيبها في ظل تلك الرياح . ان استمرار تراكم هذه الرمال يصبح عائقا اضافيا مهما للرياح ، ومصيدة فاعلة بالنسبة للترسبات الرملية الأخرى بحيث تؤدي الى تكوين مظاهر أرضية مختلفة مثل الظلال الرملية أو الحافات المنخفضة أو الروابي التي تنمو بمرور الزمن متحولة الى كتبان رملية ، انظر المخطط (٢٢) .



مخطط (٢٢) مراحل تكون الكتلان الرملية

وان هذه الكتلان ليست أكواما عشوائية من الرواسب الرملية بالرغم من انها في أحوال كثيرة تكون معقدة ، فهي تراكمات تتخذ عادة أنظمة ثابتة أما طولية أو مستعرضة (الدرجي ، ١٩٩٩ ، ص ١٠) . وفي ما يلي شرح مفصل لهذه الأشكال الترسيبية المختلفة :

١ - الأشكال الرملية الصغرى .

وهي رواسب ذات أهمية محدودة وتنتشر على نطاق ضيق وتتمثل في بعض التموجات الصغيرة Rippled Mark أو الحافات التي تظهر بين حين وآخر على سطوح الرواسب الرملية التي تنبسط على الأرض انظر الصورة (٥٦) (صفي الدين، ١٩٧١، ص ٢١٤) .

٢ - الحافات الرملية .

ان الحافات الرملية تشبه التموجات الرملية تماما ، الا ان طول موجاتها وارتفاعات هذه الموجات أعظم بكثير من التموجات الرملية . وتنشأ هذه الحافات عادة عندما تتألف الرمال الذارية من خليط من حبيبات دقيقة وأخرى كبيرة الحجم ، ففي هذه الحالة تزال الحبيبات الناعمة بسرعة من قاعدة الجانب المقابل لاتجاه الرياح فتبرز من تحتها الحبيبات الكبيرة الحجم التي لا تستطيع الرياح من رفعها ولكنها تتحرك زحفاً بفعل ضربات الحبيبات القافزة المقبلة مع الرياح ، وهكذا تنمو الحافات رأسياً حتى ليبلغ طول الموجه في بعض الحافات عشرون متراً ، وارتفاعها ستون سنتمترًا . هذا وتوجد التموجات والحافات في خطوط تزيين أسطح الكثبان الرملية بحيث يكون امتدادها عرضياً أي عمودياً على اتجاه الرياح ، فالجوانب اللطيفة الانحدار من هذه الأشكال تشير دائماً الى الاتجاه الذي أقبلت منه الرياح لآخر مرة بينما تقع الجوانب الشديدة الانحدار دائماً في منصرف الرياح . (البحيري ، أشكال سطح الأرض ، ص ص ٢٦٧ - ٢٦٨) .



صورة (٥٦) التموجات الرملية الصغيرة .

٣ - الظلال الرملية وسفي الرمال .

وهي عبارة عن تجمعات رملية تتكون مباشرة نتيجة وجود عائق ثابت في مسار الرياح المحملة بالرمال ، وقد يكون هذا العائق حصاه أو كتلة من الصخر أو شجرة ، ويتوقف وجود الظلال الرملية والسفي على بقاء العائق في مكانه انظر الصورة (٥٧) . أما سفي الرمال فينكون عادة على منحدرات التلال المواجهة للرياح التي تجعل الرياح تتحرك الى أعلى ، وعندما تقل سرعة الرياح تقوم بترسيب ماتحملة من رمال ، وفي بعض الأماكن التي تكون فيها الرياح شديدة لانتربسب الا كميات ضئيلة من حمولتها في الأجزاء السفلى من المنحدرات حيث يصبح الترسيب مركزاً في أعلى المنحدر ، ومن الأمثلة الرائعة لهذا النوع من السفي هو جبل الغرة غرب أسوان في مصر . (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ٢٣٨) .



صورة (٥٧) تكون الظلال الرملية .

٤ - السهول الرملية المنبسطة .

وقد أطلق على هذه السهول باجنولد اسم فرشاة الرمال (**Sand Sheets**) ، وتتميز هذه السهول باستوائها وعدم تضرسها على الاطلاق باستثناء بعض التبعيدات والتموجات التي تظهر فوق رواسب الرمال ، ومن اشهر الأمثلة على هذا النوع من السهول أسم سهل سليمة بالصحراء الليبية الذي تبلغ مساحته أكثر من ثلاثة آلاف ميل مربع وهو عبارة عن سهل مستوي يمتد لمدى البصر دون وجود أي ظاهرة تضاريسية موجبة الا بعض الكثبان المنخفضة ، ويتراوح سمك الرمال المتراكمة فوق هذا السهل ما بين (٧- ١٥) قدم وهي ترتكز فوق الصخور الأصلية مباشرة . (صفي الدين ، جيومورفولوجية قشرة الأرض ، ص ٢٨٦) .

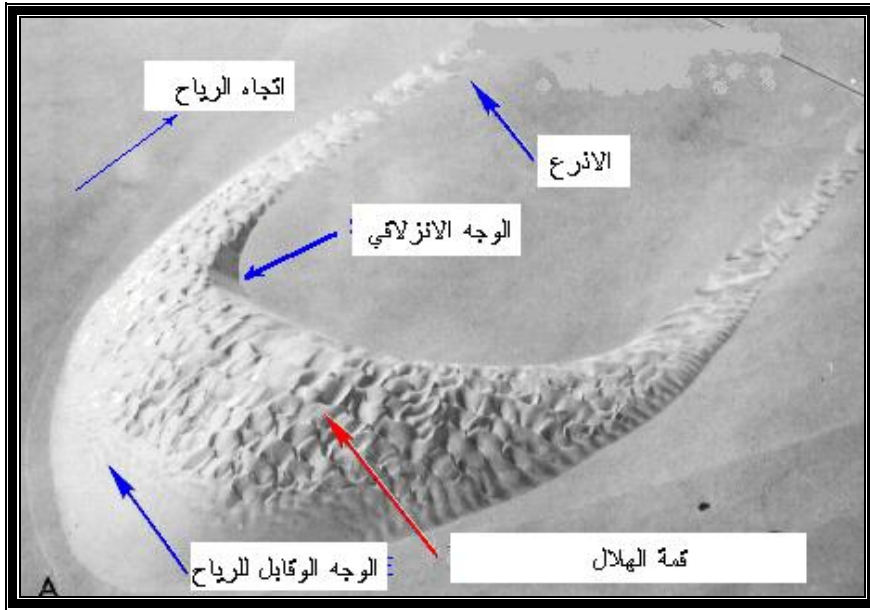
أنواع الكثبان الرملية .

١ - الكثبان الهلالية .

كلمة برخان كلمة تركمانية تستعمل في المناطق الصحراوية لوسط آسيا للإشارة الى مثل هذا النوع من الكثبان .(النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٢٥٠) وتتصف هذه الكثبان بأنها تأخذ شكلا هلاليا محدب النهائيين يدل على اتجاه الرياح السائدة ، اذ تكون الجهة غير المقابلة للرياح وجها انزلاقيا بزواوية مقدارها (٣٤) درجة ، تتساقط عنده دقائق الرمال عند وصولها الى قمة الهلال (crest) وتمتاز بتناقص انحدارات الجهة المقابلة للرياح اذ تكون شدة الانحدار فيها تتراوح بين (٦-١٧) درجة انظر الصورة (٥٨) . وتشكل صفوف متوازية ومتعامدة مع اتجاه الرياح ، (المالكي ، ١٩٩٥ ، ص ٣) انظر الصورة (٥٩) ويشترط في تكون هذا النوع من الكثبان هبوب رياح منتظمة ثابتة في اتجاه واحد طول الوقت أو معظمة . مع كميات محددة من الرمال ، وقلة في الغطاء النباتي ، مع سطح صلب منبسط نسبيا يتراوح حجم هذه الكثبان من الحجم المتوسط الى الكثبان الهلالية الكبيرة التي يصل ارتفاعها الى (٣٠ متر) ، بينما أكثر امتداد بين طرفي الكثيب تصل الى (٢٠٠ م) ، وعندما يكون اتجاه الرياح ثابت تقريبا فان شكل الهلال يكون متماثل تقريبا . ومع ذلك عندما يكون اتجاه الرياح ليس ثابت الاتجاه تماما فان أحد طرفي الهلال يصبح أطول مقارنة مع الطرف الآخر ، وفي معظم الحالات يتراوح عرض هذه الكثبان بين (٤٠-٧٠) مترا وقد يصل عرضها أحيانا الى ١٥٠ متر أو أكثر .

٢ - الكثبان الرملية المستعرضة .

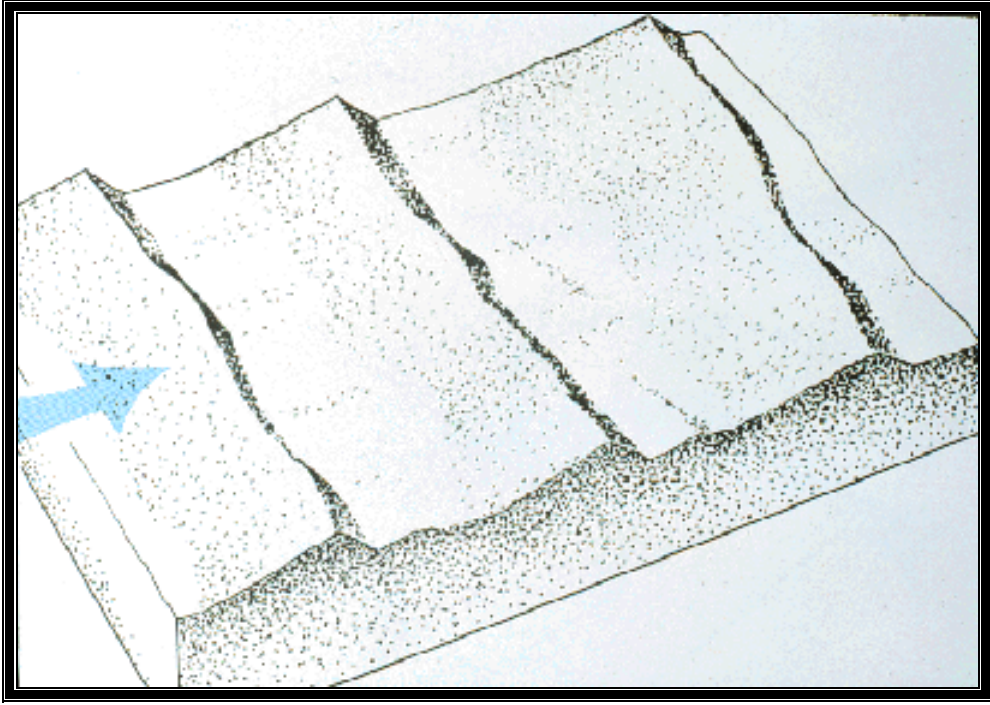
تشكل الكثبان الرملية المستعرضة سلاسل من الحافات الطولية المنفصلة بواسطة منخفضات ، وتمتد بشكل زاوية قائمة بالنسبة لاتجاه الرياح السائدة انظر المخطط (٢٣) . وتتكون أينما يكون الغطاء النباتي قليل أو متناثر ، مع كميات وفيرة من الرمال ، العديد من الكثبان الرملية الساحلية تأخذ هذا الشكل ، اضافة الى ذلك فهي شائعة في العديد من الأقاليم الجافة ، وأحيانا وعندما توجد امتدادات واسعة من الأمواج الرملية يطلق عليها - بحر الرمال (Lutgens & Tarbuck pp, 174- 175) وتتمو هذه الكثبان عندما يتغير اتجاه الرياح بصورة موسمية الى اتجاه عمودي على الاتجاه الأصلي ، وهذا ما يحدث في تكوين الكثبان الرملية في العراق من هذا النوع اذ تتقاطع الرياح الشمالية الغربية مع الرياح الجنوبية الشرقية .



صورة (٥٨) الأجزاء الرئيسية للكثيب الهلالي .



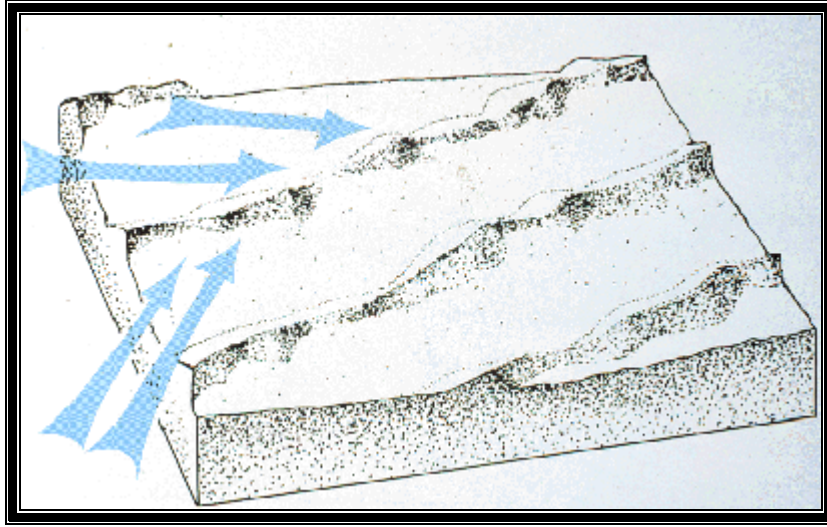
صورة (٥٩) انتشار عدد من الكثبان الهلالية .



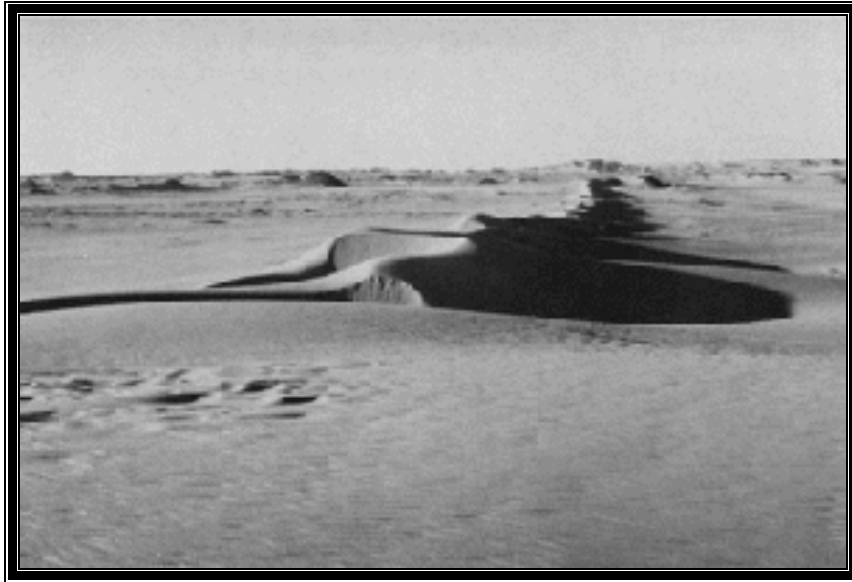
مخطط (٢٣) تكوين الكثبان المستعرضة .

٣-الكثبان الطولية.

تبدأ هذه الكثبان دورة حياتها حسب اعتقاد باجنولد بكثبان هلالية ، فالكثيب الهلالي عندما يتعرض في بعض الأحيان لرياح جانبية تتقاطع مع الاتجاه العام للرياح الدائمة فان احد جوانبه يستطيل أكثر من الجانب الآخر ، ولكن سرعان ما تستقر الرياح الدائمة من جديد فيقترب الكثيب مرة أخرى من شكله الأصلي ، ولكن مع هذا يبقى أحد الجانبين أكثر استطالة من الجانب الآخر ، فاذا ما تكرر هبوب الرياح الجانبية استمر هذا الجانب في النمو والاستطالة ، ويتكون له في نفس الوقت شكل آخر يشبه شكل الكثيب الأصلي بعد ان انحرف في اتجاه الرياح الجانبية ، فاذا ما استطال جانب هذا الكثيب الجديد بدوره بفعل الرياح الجانبية تمدد في اتجاهها على نحو يشبه ما حدث أول الأمر وهكذا تتكون حافات رملية مؤلفة من عدد من القمم ، اتجاهها العام يوازي اتجاه الرياح الدائمة ، يبلغ طول الحافة عشرات الكيلومترات ، ولا يتجاوز عرضها بضع عشرات من الأمتار وارتفاعها (١٠٠متر) (البحيري ، أشكال سطح الأرض ، ص ٢٧٤) وتتصف هذه الكثبان بان المسافات التي تفصل بين الواحد والآخر منها والتي تصل الى أكثر من ثلاث كيلومترات تكاد تكون خالية تماما من الرمال ، ويعزي ذلك الى تولد دوامات هوائية بين هذه الكثبان نتيجة نمو الكثبان الطولية الموجودة على جانب المساحة الفاصلة (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ٢٥٣) . ويعرف هذا النوع من الكثبان الرملية الطولية بأسم الغرود انظر المخطط (٢٤) ، ومن اشهرها غرد أبو المحاريق بصحراء مصر الغربية والذي يمتز لمسافة (٥٠) كم ويتقدم جنوبا بمعدل (١٠) أمتار سنويا انظر الصورة (٦٠) (صفي الدين ، جيومورفولوجية قشرة الأرض ، ص ٢٨٥) .



مخطط (٢٤) اتجاهات الرياح ودورها في تكوين الكثبان الطولية .



صورة (٦٠) الكثبان الطولية في الصحراء الغربية في مصر .

٤ - الكثبان القوسية .

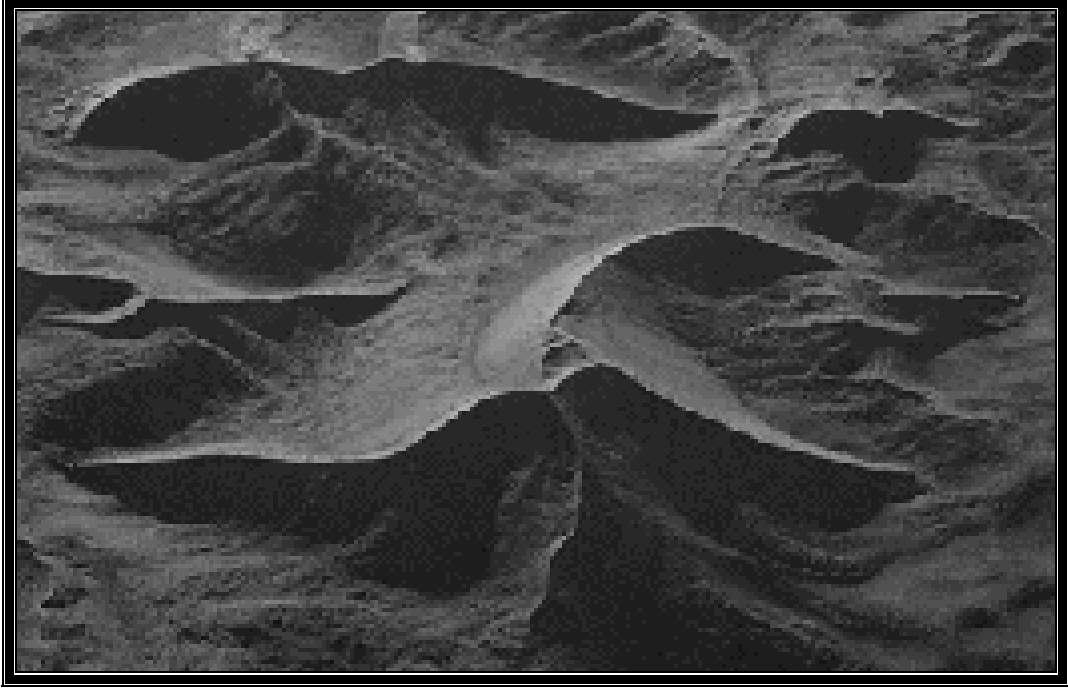
تتكون الكثبان القوسية عندما يتم تثبيت جزئي للرمال بواسطة النباتات ، ويكون شكلها يشبه الكثبان الهلالية ، ماعدى امتداد اذرع الكئيب الى اتجاه الرياح وينتشر هذا النوع من الكثبان على طول السواحل عندما تكون الرياح قوية مع وجود رمال غزيرة . (Lutgens& Tarbuck, p , 175) .

٥ - الكثبان القبيةة .

تنشأ هذه الكثبان نتيجة للتعرية الريحية الشديدة للرمال المتراكمة مما يؤدي الى انخفاض الكثيب واتخاذها شكل القبة .

١٠ - الكثبان النجمية .

تنشأ نتيجة تعرض الكثبان الرملية لرياح ذات اتجاهات مختلفة ، وتمتاز بقمة عالية في الوسط ينحدر منها أكثر من ثلاثة اذرع ممتدة انظر الصورة (٦١) . (المالكي ، ١٩٩٥ ، ص ٤) .



صورة (٦١) الكثبان النجمية في صحراء ناميبيا .

بحار الرمال sand seas .

وهي عبارة عن مساحات شاسعة تغطيها تراكمات رملية مختلفة الأشكال ، فقد تتمثل فيها جميع الاشكال الأرضية التي تم ذكرها (شرف ، الجغرافيا الطبيعية ، ص ٢٥٣) وتصل مساحتها الى آلاف الكيلومترات المربعة ، ويطلق عليها أيضا باسم الصحاري الرملية أو العرق Erg ، ومن أشهرها بحر الرمال الكبير الذي يغطي الجزء الجنوبي الغربي للصحراء الغربية المصرية ، والعرق الغربي الكبير الممتد على مسافات شاسعة في غرب الجزائر على حدودها مع المغرب ، وكذلك بحر الرمال في شبه الجزيرة العربية . (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ص ص ٢٦٠ - ٢٦١) .

ظهور الحيتان whalebacks .

وهي عبارة عن حافات من التكوينات الرملية ، وتتميز بتسطح قممها ، وتمتد موازية لاتجاه الرياح السائدة ، والاختلاف الرئيسي بينها وبين الكثبان الطولية ، هو ان سطح سلسلة الكثبان الرملية الطولية يبدو مدببا حادا ولايتميز بتسطحه على الاطلاق ، بينما هي تكون مسطحة (صفي الدين ، جيومورفولوجية قشرة الأرض ، ص ٢٨٦) كما ان ظهور الحيطان تعد أشكال مينة عديمة الحركة ، على النقيض من الكثبان الهلالية الطولية المتحركة (البحيري أشكال الأرض ، ص ٢٧٥) ويبلغ طولها حوالي (١٥٠) كم ، وعرضها يبلغ حوالي (٣) كم ، وارتفاعه حوالي (١٥) متر ، ويوجد أوضح الأمثلة على وجود هذا النوع من التراكبات الرملية في صحراء مصر الغربية ضمن بحر الرمال العظيم الممتد على طول الحدود المصرية الليبية . (شرف ، الجغرافيا الطبيعية ، ص ٢٥٣) .

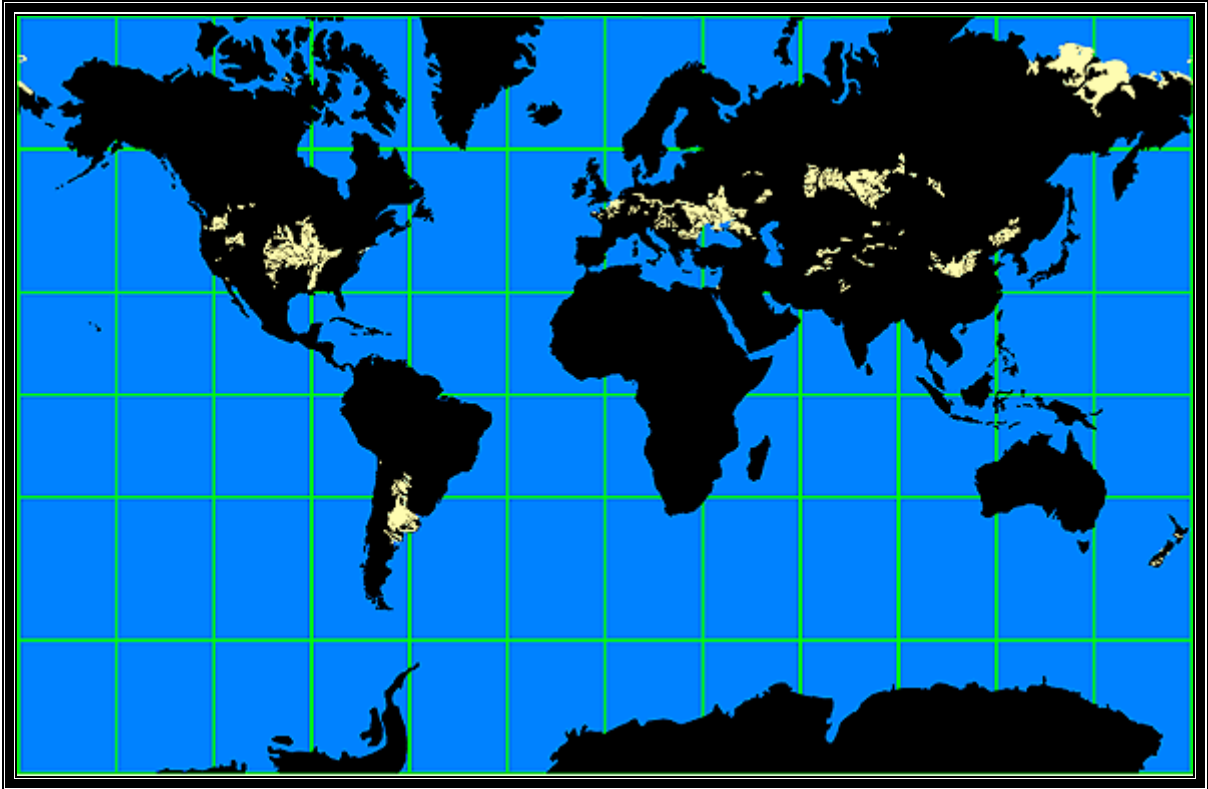
ثانيا: رواسب اللويس .

هي رواسب ريحية تتكون من جسيمات دقيقة من الغبار الذي تحمله الرياح على هيئة حمولة عالقة أثناء هبوبها وتذيرتها للمناطق الصحراوية ، ان هذه الحبيبات تبقى معلقة في الهواء حتى تصل الى مناطق ذات رطوبة كافية فتسقط نتيجة لفعل الأمطار والجاذبية الأرضية في المناطق المحيطة بالمناطق الصحراوية ، أن هذه الرواسب تتكون من حبيبات دقيقة بنية اللون فاتحة أو مصفرة ، وأحيانا رمادية ، ومن السهل تقطيعها وسحقها بين الأصابع ، ولمسها ناعم ، وعدم وجود علامات التطبيق فيها ، وتوجد فيها فجوات عديدة أنبوبية الشكل اتجاهها السائد هو الاتجاه العمودي على سطح الأرض . (النقاش والصحاف ، ١٩٩٠ ، ١٩٩٠ ، ص ٢٩٣) وتتألف هذه الرواسب معدنيا من الكوارتز بنسبة (٦٠%-٧٠%) ومن كاربونات الكالسيوم بنسبة (١٠%-٣٠%) ومن الفلدسبار (١٠% - ٢٠%) والميكا ومن معادن ثقيلة كالكرانايت ، والابيدوت ، والهورنبند (جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٤٢١) .

يشير توزيع رواسب اللويس بان هناك نوعين من المصادر الأولية لهذه الرواسب ، وهي الرواسب الصحراوية ، والرواسب الجليدية . أن السمك والامتداد الواسع لرواسب اللويس في العالم يوجد في شمال وغرب الصين ، اذ تتراكم على عمق يصل الى (٣٠) متر ، وباستثناء بعض المناطق التي تم قياسها والتي لا يتعدى سمكها أكثر من (١٠٠) متر ، هذه الرواسب ذات اللون الأصفر البرتقالي تعطي الى النهر الأصفر (هوانج هو) والبحر الأصفر المتاخم لها نفس الاسم ، وتشغل هذه الرواسب في الصين بحدود (٨٠٠٠٠٠٠) كم ٢ ، من الحوض الصحراوي الواسع في وسط آسيا .

وفي الولايات المتحدة فان لرواسب اللويس أهمية في عدة مناطق والتي تتضمن جنوب داكوتا ، نبراسكا ، أيوا ، ميسوري ، إلينوى وكذلك قسم من هضبة كولومبيا في شمال غرب الباسفيك أن العلاقة بين توزيع رواسب اللويس وأقاليم الزراعة المهمة في الغرب الأوسط وشرق واشنطن ليس بالضبط مصادفة ، وانما بسبب اشتقاق التربة من تلك الرواسب الريحية المترسبة في وسط أكثر خصوبة في العالم

وبخلاف الرواسب في الصين فان رواسب اللويس في الولايات المتحدة وكذلك في أوروبا نتجت بصورة غير مباشرة من الجليد ، فأثناء الانسحاب في العصر الجليدي فان العديد من وديان الأنهار امتلأت بالرواسب التي كانت قد جهزت بواسطة الماء الذائب من الجليد . اندفاع الرياح الغربية بقوة قاطعة السهل الفيضي رفعت الرواسب الناعمة ورسبتها على شكل طبقة رقيقة في الجانب الشرقي من الوادي . (Lutgens & Tarbuck, p, 175) وبالإضافة الى تواجد هذه الرواسب في شمال الصين ووسط السهول العظمى في الولايات المتحدة الأمريكية فانها تنتشر أيضا في وسط أوروبا ، وفي أوكرانيا ، وفي سهول البمباس في الأرجنتين في أمريكا الجنوبية . كما هو موضح في الخارطة رقم (١٦)



خارطة (١٦) التوزيع الجغرافي لرواسب اللويس في العالم .

الفصل الثالث عشر

الاشكال الارضية الناتجة عن الجليد في المناطق القطبية وشبه القطبية

المقدمة .

عندما تهبط درجة حرارة الجو الى ما دون الصفر المئوي يتكاثف جزء من بخار الماء الموجود به ويتجمد فيتحول الى بلورات ثلجية تتساقط على سطح الأرض في شكل زغب الريش ، وهذا يعرف بالثلج **Snow** ، وتتساقط الثلوج في الشتاء فوق مناطق كثيرة تقع في دوائر العرض الجغرافية العليا ، لكن الثلوج ما تلبث أن تتصهر في معظمها أثناء الصيف التالي ، وحينما تبقى بعض الثلوج دون اذابة بسبب استمرار انخفاض درجة الحرارة دون نقطة التجمد فانها تكون غطاء ثلجيا مستديما ، يتحول بالتدريج الى جليد **Ice** صلب بسبب تضاعفه وتقله .

التوزيع الجغرافي للجليد .

بحكم الحدود الحرارية ، فان التوزيع الجغرافي يكون محدود أيضا ويقتصر على مناطق محدودة من العالم تتركز أساسا في الأقاليم القطبية بنصفي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي ، بالإضافة الى السفوح الجبلية المرتفعة ، ونتيجة للتغيرات المناخية التي تعرض لها الغلاف الجوي طوال التاريخ الجيولوجي للأرض برزت تغيرات مهمة في حدود وانتشار الجليد اذ غطى مساحات واسعة من العروض الدنيا الحالية خلال أقدم فترة جليدية عظمى وهي التي حدثت خلال عصر ما قبل الكمبري وتلتها فترات جليدية أخرى حدثت في أثناء الحركات الأرضية الكبرى التي انتابت الأرض ، مثل الحركة الكاليدونية التي حدثت بعد الزمن الاركي مباشرة والحركة الهرسينية التي حدثت خلال أواخر العصر الفحمي وأوائل العصر البرمي ، والحركة الالبية التي حدثت خلال عصر المايوسين التي أعقبها حدوث أهم وأحدث فترة جليدية في تاريخ الكرة الأرضية وهي في العصر الجليدي البلايوستوسيني ، وقد تقدمت الغطاءات الجليدية في نصفي الكرة الأرضية من عدة مراكز رئيسية تمثلت في شمال أمريكا الشمالية ، وشمال أوروبا ، ومراكز متناثرة في القارة القطبية الجنوبية ، وجنوب شيلي ، والأرجنتين ، ونيوزلندا ، وتسمانيا ، بالإضافة الى نطاقات صغيرة فوق بعض المرتفعات كما هو الحال في جبال الألب في أوروبا ، وجبال الهيمالايا في آسيا ، ووسط أفريقيا ، ويمكن حصر أوسع واهم الغطاءات الجليدية في العالم على النحو التالي :

١ - الجليد القاري .

وهو عبارة عن الجليد الذي يغطي نسبة كبيرة من القارات ويصل سمكها من كيلومتر أو أكثر ، وتصل مساحتها بحدود اقل من (٥٠٠٠٠٠) كيلومتر مربع . وتوجد في الوقت الحاضر اثنان من هذه الثلجات القارية الرئيسية تغطي جزيرة كرينلاند والقارة القطبية الجنوبية ، ويمثل مجموع مساحتهم بحدود (١٠ %) من سطح الأرض . ان طبقة جليد كرينلاند تغطي مساحة تصل الى (٨٠ %) من مساحة هذه الجزيرة الكبيرة والتي تمثل بحدود (١.٧) مليون كيلومتر مربع ، ويسمك يصل الى (١٥٠٠) متر تقريبا .

ومع ذلك عندما نقارن ذلك بالجليد الذي يغطي القارة القطبية الجنوبية تبدو صغيرة تماما ، اذ ان (٨٠%) من الجليد في العالم يتمثل بجليد القارة القطبية الجنوبية التي تغطي مساحة مرة ونصف بقدر مساحة الولايات المتحدة . وهي كالاتي :

أولا - نصف الأرض الشمالي .

وتشمل الغطاءات المنتهية في بحر شوكشي **Chukchi** ، ومضيق بيرنج ، والغطاءات المنتهية في بحر بارنتس **Barents** ، والغطاءات المحيطة بجزيرة اليسمري **Ellesmere** الواقعة شمال جزيرة بافن ، والغطاءات المحيطة بشرقي وغربي جزيرة بافن ، والغطاءات المحصورة بين شرقي كرينلاند ومضيق الدنمارك شمال غرب جزيرة أيسلندا

ثانيا - نصف الأرض الجنوبي حول قارة انتاركتيكا .

وتتمثل برصيف روس **Ross ice shelf** الذي ينتهي في بحر روس ، حيث تبدو في شكل حافات عائمة من الجليد ، ورصيف فيلشنر **Filchner ice shelf** الذي ينتهي في بحر ويدل **Weddell** ، ورصيف لارسن **Larsen ice shelf** المجار وللرصيف السابق والواقع على امتداد شبه جزيرة انتاركتيكا التي تعرف أيضا باسم شبه جزيرة بالمير **Palmer** ، ورصيف شاتشلتون **Shackleton ice shelf** الذي ينتهي في قطاع المحيط الهندي الجنوبي . (الزوكة ، جغرافية المياه ، ص ص ٣٠٩ - ٣١٤) .

٢ - الأنهار الجليدية .

وهي عبارة عن كتل من الجليد تتحرك بفعل الجاذبية الأرضية من الغطاءات الجليدية الأعلى منسوباً أو من الحقول الجليدية التي توجد فوق السفوح الجليدية المرتفعة الى المناسيب الأدنى ، حيث تبدو كل منها في شكل وادي أو نهر جليدي ، وتتسم حركة الكتل الجليدية هنا بالبطء الشديد ، وقد قدرت أعدادها من (٧٠٠٠٠ - ٢٠٠٠٠٠) ثلاجة في العالم اليوم ، وان الحجم الكلي لها بحدود (٢١٠٠٠٠٠) كيلومتر مكعب مقارنة الى الحجم الكلي لمجموع المياه المالحة الكبيرة ، ومياه البحيرات العذبة في العالم .

(Montogomery , 1998 . p, 194) .

وتقدر نسبة مساحة الأراضي التي تغطيها الأنهار الجليدية التي تنتشر في معظم أقاليم العالم وبأشكال مختلفة بما يوازي (١١%) من جملة مساحة الأراضي اليابسة في العالم ، كما انه في حالة ذوبان كتل جليد هذه الأنهار وانسيابها في البحار والمحيطات يمكن ان ترتفع مستوى مياه البحار في العالم بنحو (٩٠) متراً ، ومعنى ذلك ان الأنهار الجليدية تخزن ما يقرب من (٧٥%) تقريبا من جملة المياه العذبة الكامنة في العالم ، وتتعرض مقدمات الأنهار الجليدية للتكسر بفعل عاملي الذوبان والتبخير شأنها في ذلك شأن نطاقات الهوامش التي تنزلق منها كتل جليدية متباينة الحجم وتسقط في المسطحات البحرية والمحيطية المتاخمة ، لذا تظهر هذه الكتل في شكل جبال جليدية عائمة **Ice-berge** ، يشكل الجزء الظاهر منها فوق سطح مياه البحر (١ : ٩) فقط من جملة حجمها ، في حين يبقى باقي الحجم (٨ : ٩) غائص في

مياه البحر ، وتتراوح أعدادها بين (١٠ - ١٥) ألف جبل جليدي كل عام تجرفه التيارات البحرية جنوباً صوب المحيط الأطلسي حتى ان ما بين (٣٧٥ - ٤٠٠) جبل جليدي يصل سنوياً الى النطاقات المحيطة بجزيرة نيوزيلاند في كندا ، أو دائرة عرض (٤٨) درجة شمالاً تقريبا ، وبحكم اتساع المسطحات الجليدية في منطقة القطب الجنوبي تعد الجبال الجليدية حول أنتاركتيكا أكثر عدداً وأضخم حجماً من مثيلتها في منطقة القطب الشمالي ، لذلك تشكل الجبال الجليدية حول أنتاركتيكا نحو (٩٣ %) من جملة حجم الجبال الجليدية في العالم ، بينما تكون مثيلتها في منطقة القطب الشمالي (٧ %) من جملة حجم الجبال الجليدية في العالم . (الزوكه ، جغرافية المياه ، ص ص ٣١٤ - ٣١٨) .

حركة الجليد .

ان حركة الجليد للثلجات القارية أو الالبية يشار إليها كتدفق . الا ان طريق هذا التدفق معقد الى حد ما . اذ ان أجزاء مختلفة من الثلجة تتحرك بنسب مختلفة اذ تكون الأجزاء السفلى من الثلجة الملامسة لصخور القاعدة وجوانب الثلجة الملامسة لحوائط الوادي تتحرك ببطيء شديد ، بينما تتدفق الأجزاء المركزية والعلية من الثلجة بحرية أكثر وبشكل سريع . (Montgomery , 1998 . p, 197) ويعتقد بان هناك نوعان أساسيان من الحركة وهي كالاتي :

١- حركة داخلية ضمن الثلج ، اذ يتصرف الثلج كصلب هش حتى تكون الحمولة أو الضغط الذي يقع عليه يكافئ وزن عمود يتراوح ارتفاعه بين (٥٠ - ٦٠) متر من الجليد وحالما تكون الحمولة فاتقة فان الجليد سيتصرف كمادة بلاستيكية ويتدفق بشكل مستمر .

٢- الحركة الثانية تتضمن انزلاق كتلة جليد بشكل كامل على طول الأرض ، باستثناء بعض الثلجات في الأقاليم القطبية حيث ان الجليد من المحتمل تجمد على أرضية صخور الأديم الصلبة ، ان الأقسام الأوطأ لمعظم الجليد يعتقد انها تتحرك بعملية الانزلاق هذه (Lutgens and Tarback . 1976 . p 148) .

ان الزيادة المهمة أو النقص في حجم الثلجة ينتج اما من برودة ثابتة أو اتجاه نحو فترة دفء ، وعلى هذا الأساس فان الفترة الباردة التي ستمتد لعدة سنوات ستعكس في تقدم الثلجة على طول تلك الفترة ، بينما فترة الدفء ستعكس شبكة من التراجع . وقد لوحظ خلال نهاية القرن التاسع عشر والقرن العشرين تراجعاً واضحاً في بعض الثلجات نتيجة للاتجاه العام الذي طرأ في الغلاف الجوي من تغيرات في المناخ الأرضي بشكل عام تمثلت في ارتفاع درجة الحرارة . ويلاحظ من الجدول (٣) .

(Montgomery , 1998 . p, 197) بان بعض الثلجات بقيت ثابتة والبعض الآخر قد استمر بالتقدم ، الا ان صفة التراجع كانت سمة واضحة لأغلب الثلجات الالبية . وعلى أية حال ، فان تغيرات مهمة في المناخ المحلي يمكن ان تنتج نتيجة للموقع الجغرافي ونوعية تضاريس المنطقة مما يترتب عليه تغير في درجة الحرارة وما يتبعها من تغير في نظام الضغط الجوي وحركة الرياح ونوعية التساقط . (الزوكه ، جغرافية المياه ، ص ص ٣١٨ - ٣١٩) .

لقد طرحت بعض الأفكار حول امكانية استغلال الجليد بأشكاله المختلفة وخاصة الجبال الجليدية كمصدر للمياه العذبة وذلك تحت ضغط الحاجة الملحة للمياه العذبة في العديد من الأقاليم التي تعاني من عدم وفرة مصادرها المتاحة ، ومن هذه الأفكار سحب بعض جبال الجليد من أقاليم تكاثرها القطبية الى الأقاليم التي تعاني من عجز في المياه العذبة ومعظمها يتركز في العروض الوسطى . وذلك يعد تغطيتها بسطوح بلاستيكية أو رشها بمركبات كيماوية خاصة تقلل من معدلات ذوبانها بتأثير ارتفاع درجة الحرارة ، وهي أفكار لازالت في طور البحث وتحتاج الى البحث والتجربة العلمية لاثبات مدى جدواها الفعلي والاقتصادي من اجل مستقبل البشرية ، وكم من الانجازات العلمية تحققت بما فيه صالح البشرية طول مراحل التاريخ المختلفة رغم ان بداياتها كانت عبارة عن آمال (جودة ، معالم سطح الأرض) .

الأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للجليد .

يعمل الجليد على اعادة رسم الصور التضاريسية للمناطق التي يتواجد فيها من خلال ظاهرات النحت أو الارساب . وسوف نتحدث أولا عن الأشكال الأرضية الحتية للجليد اذ تعمل الثلجات على تعرية أو تآكل السطح بطريقتين:

١- السحب Plucking

تتمثل هذه العملية بتدفق الجليد على سطوح الصخور المتكسرة مما يترتب عليه حك ورفع كتل الصخر ودمجهم في الجليد ويحملهم معه بعيدا ، وهي تحدث عندما يخترق الماء الذائب الشقوق والفواصل على طول ارض الصخر الواقع تحت الثلجة وتعيد تجميده ، وعندما يتوسع الماء يمارس قوة رفع كبيرة لتلك الصخور الطليقة ، وبذلك فان الرواسب المتكونة بهذه الطريقة يتكون من كل الحجوم اذ يتراوح من ذرات بدقة الطحين الى الكتل الكبيرة التي تصبح جزءا من حمولة الثلجة .

٢- البري أو الحك Abrasion .

ان هذه العملية تتم من خلال ما يقوم به الثلج بما يحمله من شظايا الصخور بدور مبرد عملاق أو يعمل على حفظ وطحن السطح الواقع تحته ، وأيضا الصخور الموجودة بداخل الجليد . ان مسحوق الصخر المنتج بطاحونة الطحين الجليدية يدعى بشكل ملائم باسم دقيق الصخر Rock flour . ولذلك فان كثير من دقيق الصخر ربما يكون أنتج بينابيع المياه الذائبة التي خلفها الجليد والتي غالبا ما تتميز بلون رمادي يظهر من الحليب المكشوط التي تكون دليل واضح على قوة طحن الجليد .

وعندما تتضمن المادة المطمورة شظايا كبيرة ، وخدوش ، وأخاديد طويلة فأنها تدعى حروز الثلجات Glacial Striations . وربما تكون منقطة من الخارج ، وتستخدم مثل هذه الخدوش الخطية الموجودة على سطح صخر الأديم كمؤشرات تحدد اتجاه حركة الثلجة انظر الصورة (٦٢) .

شمال الكاسكيد	التقدم	الثبات	التراجع
١٩٦٧	٧	٨	٧
١٩٧٤	٩	٠	٢
١٩٨٥	٥	١٠	٣٢
١٩٩٠	١	٥	٤١
١٩٩٥	٠	٠	٤٧
سويسرلاند	التقدم	الثبات	التراجع
١٩٦٧	٣١	١٤	٥٥
١٩٧٥	٧٠	٣	٢٨
١٩٨٦	٤٢	٩	١٣
١٩٨٩	١٩	٣	٨٣
١٩٩٣	٦	٠	٧٣
إيطاليا	التقدم	الثبات	التراجع
١٩٨١	٢٥	١٠	١٠
١٨٨٥	٢٥	٦	١٤
١٩٨٨	٢٥	١٣	٩٢
١٩٩٠	٩	٩	١٢٣

الجدول (٥) تذبذب حركة الثلجات القارية في الولايات المتحدة وسويسرا وإيطاليا استجابة للتغير المناخي في العالم

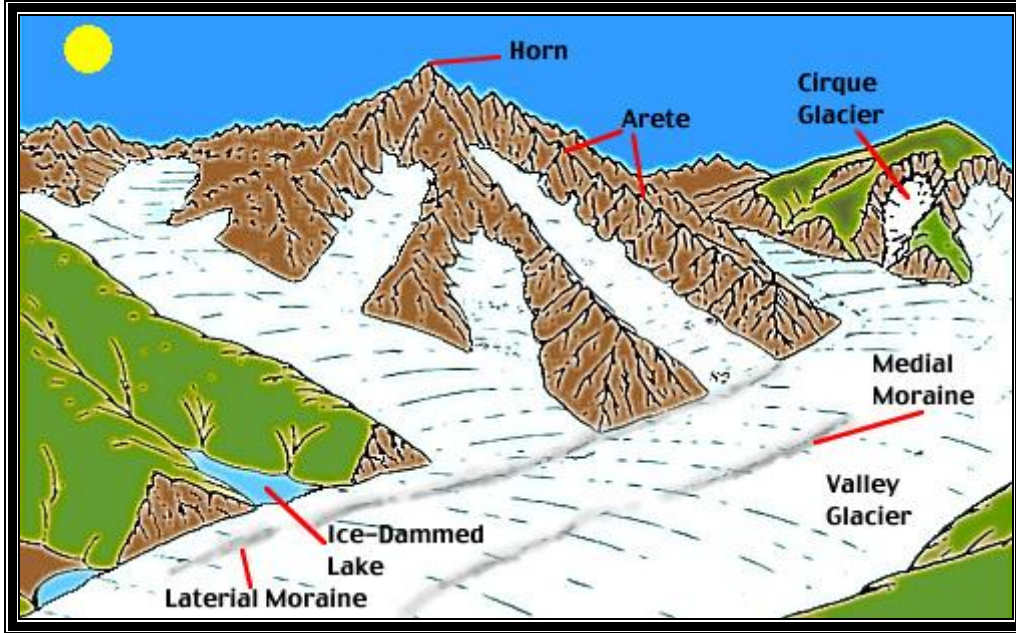


الصورة (٦٢) الحزوز والسطوح المصقولة .

وهذا لايعني ان كل منتجات فعل الحك هي عبارة عن حزوز ، بل قد تظهر بعض الصخور المصقولة الى حد بعيد عندما يتضمن الراسب بشكل أولي من ذرات دقيقة الحجم بحجم ذرات الغرين **Silt**. ولما كان الجليد يعمل على تعميق وتوسيع وتعديل الوديان لذا فان شكل الوادي الذي كان على شكل حرف V قبل الجليد تحول الى حوض جليدي **Glacial Trough** على شكل حرف U . ولكون قوة التعرية الجليدية تعتمد على سمك الجليد ، لذا فان الثلجة الرئيسية تقطع وديانها أعمق من روافدها القادرة على العمل ، وبعد انحسار الجليد تبقى وديان الروافد عالية فوق ارض الحوض الرئيسي وتعرف باسم الوديان المعلقة **Hanging Valleys** . وعلى رأس الوداي الجليدي فانه يتميز بمظاهر مفروضة ارتبطت بالجليد الالبي تدعى الحلبات الجليدية أو السيرك **Cirque** وهي عبارة عن منخفضات ذات شكل مجوف حفرت باتجاه الخارج لها جدران شديدة الانحدار على ثلاثة جوانب لكن مفتوحة على الجانب المواجه أسفل الوادي . ان هذه الحلبات تمثل النقطة البؤرية لمصدر الجليد التي تمثل منطقة تراكم الثلج وتكون الجليد ، ولو ان اصل الحلبات الجليدية تبقى غير واضحة بشكل كامل ، الا انها يعتقد بأنها بدأت كشذوذ بجوانب الجبال وتوسعت بعد ذلك بواسطة السحب **Plucking** على طول جوانب وقاع الثلجة . وبعد تلاشي الجليد الى حد بعيد أحواض الحلبات احتلت عادة ببحيرات صغيرة .

وعندما تكون الجبال مجاورة للمحيط في مناطق العروض العليا تتكون مداخل مواجهه للبحر وغالبا ماتكون عميقة وشديدة الانحدار يطلق عليها اسم المضائق البحرية (الفيوردات) **Fjords** . ان أعماق هذه الفيوردات غالبا ما تكون مثيرة اذ تزيد في بعض الحالات على عمق يتراوح بين (١٠٠٠-١٥٠٠) متر . ان الأعماق العظيمة لهذه المنخفضات فقط وضحت بشكل جزئي بارتفاع مستوى سطح البحر الذي تلا

العصر الجليدي ، على خلاف حالة توجه عمل التعرية باتجاه الأسفل في الأنهار . ان مستوى سطح البحر لم يقوم بدور مستوى القاعدة للثلاجات ، وبالتالي فان الثلاجات قادرة على تآكل قاعدتها بعيدا أسفل سطح البحر ، وعلى سبيل المثال فان الثلاجة الالبية بسمك (٣٠٠) متر يمكن أن تقطع ارض واديها لأكثر من (٢٥٠) متر أسفل مستوى البحر قبل توقف التعرية باتجاه الأسفل ويبدأ الجليد بالطوفان (Lutgens and Tarback . 1976 . 152) . وحينما يزداد النحت والتراجع الى الخلف في حلبتين متجاورتين فان ذلك بالنتيجة يؤدي الى اقترابهما ولايفصل بينهما سوى حافة جبلية حادة يطلق عليها الظلوع أو السيوف **Aretes** . أما عندما تتجاوز ثلاث حلبات جليدية أو أكثر تخلق قمم من الصخر تدعى القرون **Horns** .(جودة ، معالم سطح الأرض ، ص ٤٤٥) انظر الشكل (٣٧)



الشكل (٣٧) عدة ظواهر ترتبط بالثلاجات الالبية .

الأرساب الجليدي .

ان الثلاجات لها قدرة كبيرة على كسب ونقل كميات هائلة من الحطام الصخري . وبالنهاية فان هذه المواد الصخرية بأنواعها المختلفة سوف تترسب حالما يذوب الجليد . وبذلك فانها سوف تساهم بشكل فاعل في رسم صور تضاريسية رائعة لأنواع مختلفة من الإشكال الأرضية . وتتكون رواسب الثلاجات من نوعان :

١-الرواسب المباشرة .

وهي رواسب التيل التي تترسب بشكل مباشر عندما يذوب جليد الثلاجة وتظهر حمولتها من شظايا الصخور بهذا الشكل . وتتميز هذه الترسبات بأنها غير مفروزة ، فهي عبارة عن خليط من رواسب عديدة

بحجوم مختلفة . وعندما توجد الجلاميد في رواسب التيل يطلق عليها اسم الكتل الضالة **Erratic** . لتشير بأنها اشتقت من مصادر خارج المنطقة وهي توجد في مناطق عديدة .

٢- الرواسب غير المباشرة .

وهي الرواسب التي لم تترسب بواسطة الثلجات بشكل مباشر وإنما بواسطة المياه الذائبة من الثلجة ، وهي رواسب تفرز طبقاً لحجم ووزن الشظايا ، ولو إن الجليد غير قادر على مثل هذا النشاط من الفرز إذ أن هذه الرواسب لا تترسب مباشرة بواسطة الجليد مثل رواسب التيل ، لكنها تعكس نشاط الفرز للمياه الذائبة للثلجة الذي كان مسؤولاً على ترسيبهم ، هذه الترسبات غالباً ما تتضمن الرمل والحصى بنسبة كبيرة لأنها تشكل الحمولة الأساسية بينما الدقائق الناعمة تشكل الحمولة العالقة والتي تحمل إلى مناطق بعيدة بواسطة انهار المياه الذائبة وتصنف هذه الرواسب إلى عدة أنواع هي :

أ- الركامات الجليدية .

هناك عدة أنواع شائعة من هذه الركامات البعض منها شائع فقط في وديان الجبال ، والبعض الآخر يرتبط بالمناطق المتأثر بكلا الثلجات الالبية والقارية ، ومن هذه الأنواع الركام الجانبي . **Lateral Moraines** الذي يتكون من المواد التي تراكمت على جانبي الثلجة أو النهر الجليدي نتيجة لاحتكاك الثلجة بالصخور التي تتركب منها جوانب الوادي وكذلك بفعل تناوب عمليات التجمد والذوبان ، وعندما يتبدد الجليد فإن هذه المواد تترك على شكل حواف تمتد على طول جوانب الوادي تدعى الركام الجانبي . وعندما تلتئم اثنان من الثلجات الالبية لتكون ثلجة واحدة أو نهر جليدي واحد . فإن الركام الجانبي لكلا الثلجتين سوف يربط كلاهما بشكل خط اسود ضمن الثلجة المتكونة حديثاً يطلق عليه اسم الركام الأوسط **Medial Moraines** . وعندما تذوب الثلجة تتكون رواسب دقيقة قليلة السمك في قاع الثلجة يطلق عليها الركام الأرضي **Ground Moraines** . وفي نهاية ذوبان الثلجة فإن المياه الذائبة لا تستطيع نقل كل المواد التي جرفها ونقلها الجليد وبالتالي فإن قسم منها يترسب على هيئة تلال هلالية الشكل تقريبا يطلق عليها اسم الركام النهائي **Terminal Moraines** .

ب- الكثبان الجليدية **Drumlins** .

وهي عبارة عن تلال غير متناظرة تتكون من رواسب التيل **Till** بعد عملية تراجع الجليد ، وتتميز بان لها محاور طولية تمتد عموماً في اتجاه تحرك الجليد ، ويشير الجانب الشديد الانحدار إلى الجهة التي تقدم منها الجليد ، أما المنحدر اللطيف الانحدار فإنه يشير إلى اتجاه حركة الجليد ، ويتراوح ارتفاعها بين (١٥-٦٠) متر ، ومعدل طولها يتراوح بين (٤٠٠-٨٠٠) متر . ولاتوجد الكثبان الجليدية بمفردها بل توجد في عناقيد تدعى في بعض الأحيان حقول الدرملن . ولو ان تكوين الكثبان الجليدية لم يفهم بشكل جيد الا

ان شكلهم الانسيابي يشير الى انهم قد تكونوا في نطاق من التدفق ضمن ثلاجة نشطة . ويعتقد بعض الجيولوجيين بان حقول الدرملن قد تكونت عندما تقدم الجليد وشكل الركام النهائي . انظر الصورة (٦٣)

ج- الحافات الملتوية Eskers .

وهي عبارة عن حافات ملتوية تتألف بشكل كبير من الرمل والحصى توجد في المناطق المتأثرة بالثلجات القارية . ويعتقد بأنها تكونت وترسبت بتدفق ينابيع تحت الجليد قرب نهاية الثلجة ، ويحتمل أن يكون ارتفاعها عدة أمتار وتمتد لعدة كيلومترات . وقد تتكون رواسب ألا يسكر على شكل طبقات يختلف كل منها عن الطبقة التي تقع فوقها أو أسفلها من حيث التركيب الجيولوجي وشكل الرواسب وأحجامها ، وهذا ان دل على شيء انما يدل على ان هذه الرواسب لاتعود الى فترة واحدة بل ترسبت خلال فترات متعاقبة . انظر الصورة (٦٤) .



الصورة (٦٤) الحافات الملتوية Eskers .



الصورة (٦٣) حقول الكثبان الجليدية Drumlins

د- التلال Kames .

وهي عبارة عن تلال ذات جوانب شديدة الانحدار تتألف من الرمل والحصى ، ويعتقد انها نشأت عندما تجمعت في فتحة في الثلج الراكد . انظر الصورة (٦٥).

هـ- الأحواض Kettles :

وهي عبارة عن أحواض أو منخفضات يتميز بها سهل الغسيل ، وتتكون عندما تصبح كتلة من الثلج الراكد مدفونة كلياً أو جزئياً في الركام وتذوب نهائياً . وعلى الرغم من ان أكثر هذه المنخفضات لاتتجاوز (٢) كيلومتر في القطر ، الا ان بعضها يتجاوز قطرها (١٠) كيلومتر كما هو الحال في منيسوتا ، أما من حيث العمق فان العمق النموذجي لها يكون اقل من (١٠) متر الا ان عمق بعض منها قد يقترب من (٥٠) متر . وفي العديد من الحالات فان الماء في النهاية يملأ هذه المنخفضات ويكون بركة أو بحيرة (Lutgens and Tarback . 1976 . p p 152-157) انظر الصورة (٦٦) .



الصورة (٦٦) الأحواض Kettles



الصورة (٦٥) التلال Kames.

المراجع والمصادر العربية

- ١ - أبو العز ، محمد صفي الدين ، قشرة الأرض دراسة جيومورفولوجية ، دار غريب للطباعة والنشر والاعلان ، القاهرة . ٢٠٠١ .
- ٢ - أبو العينين ، حسن سيد ، أصول الجيومورفولوجيا ، الطبعة العاشرة ، الاسكندرية ، مؤسسة الثقافة الجامعية ، ١٩٨٩ .
- ٣ - ----- ، كوكب الأرض ، ١٩٧٦ .
- ٤ - البحيري ، صلاح الدين ، مبادئ الجغرافيا الطبيعية . دمشق ، دار الفكر ، ١٩٧٨ .
- ٥ - ----- ، أشكال سطح الأرض ، بيروت ، دار الفكر المعاصر . ١٩٩٥ .
- ٦- جودة ، جودة حسنين ، جغرافية البحار والمحيطات الطبيعية والحيوية ، الاسكندرية - مصر ، دار المعرفة الجامعية ، ١٩٩٢ .
- ٧- ----- ، معالم سطح الأرض ، بيروت ، دار النهضة العربية ، ١٩٨٠ .
- ٨- ----- ، الجغرافية الطبيعية والخرائط ، دار المعرفة الجامعية ، ١٩٩٦ .
- ٩- الدراجي ، سعد عجيل مبارك ، التأثيرات المناخية في العمليات الجيومورفولوجية الريحية لمنطقة العيث في قضاء الدور وآثارها البيئية ، أطروحة دكتوراه ، كلية التربية الأولى (ابن رشد) جامعة بغداد ، ١٩٩٩ .
- ١٠- ----- ، أساسيات الجغرافيا الطبيعية ، عمان - الأردن ، دار الكتاب الأكاديمي ، ٢٠٠٦ .

- ١١ - الدراجي ، سعد عجيل مبارك ، والفاضل ، فلاح محمد علي ، تبسيط ثلاث معادلات لتحديد شكل الحوض النهري ، مقبول للنشر في كتاب الدكتور سعد عجيل مبارك ، بحوث في الجغرافيا الطبيعية ، الجزء الثاني .
- ١٢- الدباغ ، عبد الوهاب ، القاموس الجغرافي والحيولوجي ، الطبعة الأولى ، بيروت ، ١٩٦٤ .
- ١٣- ه ، د ، فوث ، ل ، م ، تورك ، أساسيات علم التربة ، الطبعة الخامسة ، ترجمة صالح محمود وعبد الله
- ١٤ - الزبيدي ، احمد حيدر ، ملوحة التربة ، بغداد ، ١٩٨٩ .
- ١٥ - ----- ، استصلاح الأراضي ، الأسس النظرية والتطبيقية ، بغداد ، دار الحكمة للطباعة والنشر ، ١٩٩٢ .
- ١٦- زين العابدين ، عبد الله ، الأراضي منشؤها وتكوينها وخواصها الطبيعية ، الطبعة الثالثة ، القاهرة ، ١٩٥٥ .
- ١٧- حسن ، محمد يوسف وشريف ، عمر سين و النقاش ، عدنان باقر ، أساسيات علم الجيولوجيا ، عمان ، مركز الكتب الأردني ، ١٩٩٠ .
- ١٨- حسين ، يحيى عباس ، مبادئ الجغرافية الطبيعية ، ط ١ ، طرابلس ، الجامعة المفتوحة ٢٠٠٠ .
- ١٩- كريل ، عبد الاله رزوقي ، علم الأشكال الأرضية ، ١٩٨٦ .
- ٢٠ - أمين ، أزاد محمد وجرجيس ، تغلب ، جغرافية الموارد الطبيعية ، البصرة ، جامعة البصرة ، ١٩٩٠ .
- ٢١- المالكي ، عبد الجبار حسن ، دراسة حركة وتثبيت الكثبان الرملية في منطقة شيخ سعد في محافظة واسط بالعراق ، أطروحة دكتوراه غير منشورة ، قسم التربة ، كلية الزراعة ، جامعة البصرة ، ١٩٩٥
- ٢٢- ماثيوس ، ويليام ه ، ما هي الجيولوجيا ، ترجمة مختار رسمي ناشد ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٩٥ .
- ٢٣- النقاش ، عدنان باقر ، والصحاف ، مهدي محمد علي ، الجيومورفولوجي ، بغداد ، ١٩٩٠ .
- ٢٤- السامرائي ، قصي عبد المجيد ، والريحاني ، عبد مخور ، جغرافية الأراضي الجافة . بغداد ، ١٩٩٠ .
- ٢٥- سلامة ، حسن رمضان ، أصول الجيومورفولوجيا ، الطبعة الأولى ، المسيرة للنشرة والتوزيع والاعلان ، ٢٠٠٤ .
- ٢٦- سباركس ، ب ، و ، الجيومورفولوجيا ، ترجمة ، د . ليلي محمد عثمان ، مكتبة الانجلو مصرية ، القاهرة ، ١٩٨٣ .
- ٢٧ - العاني ، عبد الفتاح ، أساسيات علم التربة ، بغداد ، دار التقني للطباعة والنشر ، ١٩٨٤ .
- ٢٨- العاني ، عبد الله نجم ، مبادئ علم التربة ، الطبعة الأولى ، بغداد ، ١٩٨٠ .

- ٢٩- الفرحان ، يحيى ، وأبو سمور حسن ، محمد احمد خلف ، المدخل الى الجغرافيا الطبيعية ، الأردن ، ١٩٩٠ .
- ٣٠- الصالحي ، سعدية عاكول ، والغريبي ، عبد العباس فضيخ ، البيئة والمياه ، الطبعة الأولى ، عمان ، دار صفاء للنشر والتوزيع ، ٢٠٠٤ .
- ٣١- صفي الدين ، محمد ، جيومورفولوجية قشرة الأرض ، بيروت ، دار النهضة العربية ، ١٩٧١ .
- ٣٢ - الشلش ، علي حسين ، جغرافية التربة ، الطبعة الأولى ، البصرة ، ١٩٨١ .
- ٣٣- شريف ، ابراهيم ، والشلش علي حسن ، جغرافية التربة ، ١٩٨٥ .
- ٣٤ - شرف ، عبد العزيز طريح ، الجغرافيا الطبيعية ، الاسكندرية ، مؤسسة الثقافة الجامعية (بدون تاريخ).
- ٣٥ - الخشاب ، وافيح حسين ، والصحاف مهدي ، الموارد الطبيعية ، بغداد ، ١٩٧٦ .

المواقع الالكترونية .

- ١ - نظرية الصفائح التكتونية ، <http://www.qalqilia.edu.ps/theory.htm> .
- ٢ - المطوري ، واثق غازي ، نظرية الأطباق ونشؤ القارات ، الموقع الالكتروني <http://www.geology of Mesopotamia .com> .
- ٣ - حمامة ، حسني حمدان الدسوقي ، الزحف القاري وقطع الأرض ، <http://www.55a.net/firas/arabic/page=3> ،
3- Carla W.Montgomery,Environmental Geology ,Fifth Edition ,united states of America ,McGraw-Hill ,1997.
- 4 - Continental Drift – Fossils . volcano .und .edu /vwlessons /plate_ectonics /part3. html.-3k.
- 5 - Continental Drift - Rock Sequences . volcano .und .edu /vwlessons /plate_ectonics /part4. html.-3k.
- 6 -Continental Drift – Glaciation. .volcano .und .edu /vwlessons /plate_ectonics /part5. html.-3k.
- 7 - Fundamentals of physical Geography ,[http:// www . Physical Geograpgy Net . Fundamentals .](http://www . Physical Geograpgy Net . Fundamentals .)
- 8 – Fredrick , K , Lutgens & and Edward , J . Tarbuck , op , cit. 254
- 9-<http://pubs.usgs.gov/gip/deserts/dunes/>>
- 10 - Introduction to plate tectonics .sea floor spreading .volcano .und .edu /vwlessons /plate_ectonics /part8. html.-3k. Introduction to plate tectonics.part8
- 11 - Introduction-What is Karet ?Geography and Geology, Western Kentuky University , .com/ Karst .
<http://Dyetracing>
- 12 - Introduction to plate tectonics Testing the Sea-Floor Spreading Hypothesis. .volcano .und .edu /vwlessons /plate_ectonics /part10. html.-3k.
- 13 - Location of Plate Boundaries. volcano .und .edu /vwlessons /plate_ectonics /part12. html.-3k.
- 14 –Plate Tectonics. <http://www.geo.ua.edu/intro03/Plate.html>
- 15 – Plate Tectonics. <http://www.geo.ua.edu/intro03/Plate.html>
- 16 - The Birth of Plate Tectonics . volcano .und .edu /vwlessons /plate_ectonics /part11. html.-3k.

المصادر الأجنبية

- 1 - Bruce L. Rhoads and Colin E. Thorn . Toward a Philosophy of Geomorphology . Brucel . Rhoads and Coline Thorn . The Scientific Nature of Geomorphology: Proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology held 27-29 September 1996. Edited by Bruce L. Rhoads and Colin E. Thorn. ^1996 John Wiley & Sons Ltd. pp 117-119 .
- 2-D.W.Fryrear , Wind Erosion. , Mechanic ,Prediction and control .,
- 3- Frederick k .Lutgens. Edward j.Tarbuck .Essentials of Geology , Second Edition1976 . pp 3 - 8 .
- 4 - Ford, T.D. and Ch.D. Cullingford, (eds.) (1976). The Science of Speleology. London : Academic Press, 593.
- 5 - Ford, D.C. (1981). Geologic Structure and a New Exploration of Limestone Cavern Genesis. Transactions of the Cave Research Groups of Great Britain, 13, 81-94.
- 6 - Fetter, C.W. (1980). Applies Hydrogeology, Columbus, Ohio. Merrill Publishing, 488p.
- 7— Louis m .Thomposon. Frederick .R.Troen , Soil and Soil fertility ,p 51 .
- 8 - Miotke, R.D. and A.N. Palmer (1972). Genetic Relationships Between Caves and Landforms in the Mammoth Cave National Park Area. Bohler Verlag. Werzburg, 69.
- 9 - Palmer, A.N. (1984). Geomorphic Interpretation of Karst Features. In LaFleur, R.G. (ed.), Groundwater as a Geomorphic Agent. Boston: Allen and Unwin, Inc., 173-209
- 10- R. J .Small, The study of Land forms , Atext Book of Geomorphology , cambridge University press