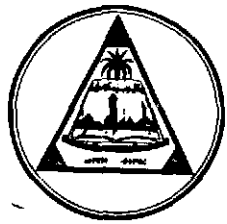


وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة البصرة

علم الاشكال الارضية

الجيومورفولوجيا

تأليف
عبد الاله رزوقي كربل
استاذ الجغرافية المساعد
في
كلية الاداب ــ جامعة البصرة

طبع على نفقة جامعة البصرة

البصرة ١٩٨٦

المقدمة

انها لمبادرة طيبة من جامعة البصرة ان تقوم بصورة متواصلة بتكليف بعض التدريسيين فيها بتأليف كتب منهجية تمد الطالب بآخر مايمكن للاختصاص ان يتوصل اليه في مناطق العالم الاخرى وبذلك تظل العملية التدريسية في مستوى الطموح. وقد استمدت الجامعة مبادرتها هذه من مبدأ حيوية المناهج وضرورة تطويرها وبذلك فقد كلفت بتأليف هذا الكتاب الذي جاء حصيلة تدريسي لموضوع الجيومورفولوجيا في كلية الاداب زهاء خمسة عشر عاماً.

هذا من ناحية ومن ناحية اخرى فان المكتبة الجغرافية العربية تشكو من النقص الواضح في الموضوعات ذوات العلاقة بالجيومورفولوجيا في حين نجد ان الكتابة بها في اللغات الاوربية قد قطعت شوطاً كبيراً، فلا ضرر اذن من رفد المكتبة العربية بالمزيد من الكتب الجيومورفولوجية التي قد تساعد الباحثين والطلاب على السير في طريق العلم والمعرفة.

لقد اعتمدت عملية تأليف هذا الكتاب على المفردات التي تضمنها المنهج المقرر في قسم الجغرافية في كلية الاداب في جامعة البصرة. فجاء مكوناً من احد عشر فصلاً. يتضمن الفصل الاول منها دراسة سريعة لتطور علم الجيومورفولوجيا ودور العرب فيه اضافة الى دراسة للافكار الاساسية التي يتضمها ذلك العلم.

وتمت في الفصل الثاني دراسة مفصلة لتكوين القشرة الارضية وانواع صخورها وكذلك انواع البنية التي تكون عليها تلك الصخور لما للعلاقة الوثيقة بين البنية والتضاريس.

وتعالج الفصول الخمسة التالية اثر العمليات الجيومورفولوجية الظاهرية على التضاريس وهي التجويه والمياه السطحية الجارية والثلاجات والرياح والامواج والمياه الباطنية.

كما تمت في الفصل التاسع دراسة البحيرات باعتبارها ظاهرة ذات علاقة بتأثير العمليات الجيومورفولوجية الظاهرية والباطنية. مع التأكيد على الاسباب التي تؤدي الى تكوينها او اختفائها..

ودرس النشاط البركاني بمختلف صوره في الفصل العاشر من الكتاب وتطرق الفصل ايضاً الى دراسة احدث النظريات التي تفسر كيفية تكوين ذلك النشاط وتوزيعه الجغرافي .

وختم الكتاب بدراسة سريعة في الفصل الحادي عشر منه للاشكال التضاريسية الرئيسية في تكوين اليابسة وهي الجبال والهضاب والسهول .

جرى تزويد الكتاب لكي تكون الفائدة المتوخاة منه كاملة بمجموعة كبيرة من الصور والمخططات التي تمثل مختلف المظاهر الارضية التي يعالجها الكتاب اذ يستطيع الدارس من خلال ذلك تكوين صورة واضحة في ذهنه عن طبيعة وشكل تلك التضاريس .

ومن الطبيعي ان لايدعي الانسان الكمال في اعماله اذ ان الكمال (لله وحده) ، لكن الجهد الذي بذل في تأليف هذا الكتاب كان استثنائياً وقدم المؤلف فيه خبرته الطويلة في تدريس الموضوع ومدى استعداد الطلبة لتقبل المعلومات التي يتضمنها والاسلوب التربوي المناسب لذلك . كما ان الكتاب منهجياً فلابد من ان تكون المادة التي يحتويها بدرجة من التوسع القليل بحيث يتيح المجال للطلبة ان يتوسعوا في الموضوع ويتيح المجال لمن يقومون بالتدريس ان يظهروا امكاناتهم وكفائهم العلمية .

ان المؤلف يقدم الشكر الى الذين كلفوه بالتأليف على ثقتهم الغالية ويتمنى ان يكون هذا الكتاب قد جاء عند حسن ظنهم . ويقدم شكره ايضاً الى كل الذين ساعدوه في عملية انجازه واخراجه .

ومن الله العلي العظيم نستمد القدرة والمعونة والتوفيق .

البصرة ١٩٨٦

المؤلف

المحتويـات

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمـــة	٣
فهرست الصور والاشكال	١٣
فهرست الجداول	١٩
الفصـــل الاول	٢١
الجيومورفولوجيا والمفاهيم الاساسية فيه	
المفاهيم الاساسية في علم الجيومورفولوجيا	٢٥
تضاريس الارض	٣٥
الفصـــل الثانـــي	
الصخـــور	٤١
انواع الصخور	٤٣
الصخور النارية الداخلية	٤٥
الصخور النارية الظاهرية	٥٥
الصخور الرسوبية	٦٢
اهم انواع الصخور الرسوبية الميكانيكية النشأة	٦٦
الرواسب غير الحطامية والصخور الرسوبية الناتجة عنها	٦٨
الصخور المتحولة	٧١
اهم الصخور المتحولة	٧٢
حركات القشرة الارضية	٧٣

الموضوع	الصفحة

الفصـــل الثالـــث ٨١

التجويـــة .....
انواع التجوية ٨٢
التجوية الميكانيكية .....
اثر الصقيع.....
التغييرات في درجات الحرارة ٨٥
التمدد الناتج من التغييرات الكيمياوية والنمو البلوري..... ٨٦
النشاط الحياتي ٨٩
التجوية الكيمياوية..... ٩١
عملية الذوبان.....
عملية التحلل المائي..... ٩٢
عملية الترطيب..... ٩٣
عملية التكربن.....
عملية التأكسد..... ٩٤
التجوية الكيمياوية العضوية ٩٥
العوامل المؤثرة في التجوية.....
نوعية الصخور .....
المناخ..... ٩٧
التضاريس ٩٩
بعض الاشكال الارضية الناتجة عن التجوية ١٠٠
نتائج عملية التجوية..... ١٠١
التربـــة ١٠٤
التربة المتخلفة او التربة المتبقية..... ١٠٥
الترب المنقولة..... ١٠٧
التربة التثاقلية..... ١٠٨
التربة **الطمويه** .....
التربة الحليدية..... ١٠٩

الموضوع	الصفحة

تربة قيعان البحيرات ١٠٩
التربة الهوائية .....

الفصـــل الرابـــع ١١١

المياه السطحية الجارية (الانهار) .....
مصادر مياه الانهار ١١٣
توزيع التساقط على سطح الارض ١١٥
المياه السطحية الجارية ١١٧
تصنيف الانهار ١١٩
تبعاً الى طبيعة جريان الماء في الوديان النهرية .....
تبعاً نظم الانهار ١٢٢
تبعاً لمراتب الانهار ١٢٣
تبعاً لانماط التصريف ١٢٤
تبعاً الى نشأة الانهار ١٢٨
بعض التحويرات التي تتعرض لها الانهار ١٣١
الاسر النهري .....
الانهار والوديان الغارقة ١٣٣
الانهار المحجوزة ١٣٥
التحويرات التي تقوم الثلاجات بها على الانهار ١٣٦
الفيضانـات .....
عمل النهـر .....
سرعة النهـر ١٤٠
الحمولة النهرية ١٤١
الحمولة العالقة ١٤٢
الحمولة القاعية ١٤٣
التعرية النهرية ١٤٤
الترسيب النهري ١٤٦

الموضوع	الصفحة

الانهار ذوات الحمولة الفائضة ١٤٧
مستوى القاعدة ١٤٨
التضاريس الناتجة عن التعرية النهرية في مرحلة الشباب ١٥١
الخوانق النهرية والوديان العميقة ١٥٢
الشلالات والجنادل .....
الحفر الوعائيه ١٥٩
التضاريس الناتجة عن التعرية النهرية في مرحلة النضج .....
التضاريس الناتجة عن التعرية النهرية في مرحلة الشيخوخه ١٦١
التضاريس الناتجة عن الترسيب النهري ١٦٢
١ــ السهول الفيضية .....
٢ــ الالتواءات النهرية .....
٣ــ السدود الطبيعية ١٦٥
٤ــ الدلتاوات ١٦٩
٥ــ الدالات المروحية **١٧٣**
خصوبة الرواسب النهرية **١٧٤**
دورة جيومورفولوجية نهرية ١٧٦
اعادة الشباب ١٧٨
التضاريس ذوات العلاقة بحالة اعادة الشباب ١٧٩
السهول التحاتية المرتفعة .....
الالتواءات النهرية الغائرة ١٨٠
المصاطب النهرية .....
الوديان النهرية ١٨٣

الفصـــل الخامـــس ١٨٥

الجليد وآثاره الجيومورفولوجية .....
الحقول الثلجية ١٨٦
تحول الثلج الى جليد ١٨٧

الموضوع	الصفحة

انواع الثلاجات ١٨٠
حركة الجليد ١٩٥
نهاية الثلاجات ١٩٩
مظاهر سطح الثلاجات ٢٠١
عمل الجليد ٢١٠
التعرية الجليدية .....
التضاريس الناتجة عن التعرية الجليدية ٢١٦
الترسيب الجليدي ٢٢٨
الاشكال الترسيبية المائية ــ الجليدية ٢٣٢
التضاريس التي تكونها الثلاجات القارية ٢٣٣

الفصل السادس .....

الرياح واثرها الجيومورفولوجي ٢٤١
عمل الرياح ٢٤٢
تعرية الرياح ٢٤٣
عملية النحت (الصقل) ٢٤٥
نقل الرياح ٢٤٨
ترسيب الرياح ٢٥١
تربة اللويس ٢٥٢
الكثبان الرملية ٢٥٤
الانهار في الاقاليم الجافة ٢٥٨
الاشكال الارضية التي تكونها الانهار في الاقاليم الجافة .....
الاراضي المضرسة ٢٥٩
البلايا .....
البجادا ٢٦١
البيدمونت ٢٦٢
دورة تعرية في اقليم ذي مناخ جاف ٢٦٣

الموضوع	الصفحة

الفصـــل الســـابع ٢٦٧

الامواج وآثارها على الظواهر الارضية الساحلية .....
العمليات الجيومورفولوجية على السواحل ٢٦٩
التيارات الساحلية ٢٧٣
عمليات التعرية التي تقوم بها الامواج والتيارات ٢٧٥
الضغط المائي .....
النحـــت ٢٧٦
الذوبـــان .....
الاحيـــاء ٢٧٨
معدل تعرية الامواج ٢٧٩
الاشكال الارضية الناتجة عن تعرية الامواج ٢٨١
الاشكال الارضية الناتجة عن ترسيب الامواج ٢٨٦
تصنيف السواحل ٢٩١
الشعاب والجزر المرجانية ٢٩٧

الفصـــل الثامـــن .....

المياه الباطنية والاشكال الارضية ذوات العلاقة بها ٣٠٥
مصادر الماء الباطني ٣٠٦
المسامية والنفاذية ٣٠٨
حركة الماء الباطني والعمق الذي يصل اليه ٣١١
مستوى الماء الباطني ٣١٢
الينابيع ٣١٦
الينابيع الحارة والنافورات ٣١٨
طبيعة عمل النافورات ٣٢٠
عمل الماء الباطني ٣٢٥
الكهوف والاشكال ذوات العلاقة بها ٣٣٠

الموضوع	رقم الصفحة

الفصـــل التاســع .....

البحيرات والمستنقعات ٣٣٩
اصل الاحواض البحيرية ٣٤٢
١ــ البحيرات الناتجة عن عمل الجليد ٣٤٣
٢ــ البحيرات الناتجة عن عمل المياه السطحية الجارية ٣٤٦
٣ــ الاحواض التي تكونها الرياح ٣٤٩
٤ــ الاحواض الناتجة عن الحركات الارضية ٣٥٠
٥ــ الاحواض الناتجة عن النشاط البركاني ٣٥٣
٦ــ الاحواض الناتجة عن الانزلاقات الارضية .....
٧ــ الاحواض الناتجة عن عملية الذوبان ٣٥٦
٨ــ الاحواض الناشئة عن الامواج والتيارات الساحلية .....
٩ــ الاحواض التي تكونها الاحياء .....
مصادر مياه البحيرات ٣٦١
البحيرات المالحة .....
نهاية البحيرات ٣٦٣
المستنقعـات ٣٦٥
مستنقعات اللبد .....
المستنقعات الساحلية ٣٦٦

الفصـــل العاشـــر : .....

البراكين والاشكال الارضية المتعلقة بها ٣٦٩
تصنيف الثورة البركانية ٣٧١
التوزيع الجغرافي للبراكين وعلاقته بكيفية تكونها ٣٧٨
الاشكال الارضية الناتجة عن براكين الثورة المركزية ٣٨٣
١ــ الاشكال المرتفعة ٣٨٤
المخاريط المركبة .....

الموضوع	الصفحة

مخاريط الخبث ٣٨٥
المخاريط الرشاشة ٣٨٨
القباب والتلال البركانية ٣٩٠
السهول الناتجة من تجمع الحمم البركانية ٣٩٣
مجاري الطين .....
السدادات البركانية ٣٩٤
٢ــ الاشكال الارضية المنخفضة ٣٩٥
الفوهات البركانية ٣٩٦
الكالديـرا .....
الاشكال الارضية الناتجة عن ثورات الشقوق ٣٩٨

الفصـل الحادي عشـر .....

السهول والهضاب والجبال ٤٠٣
السهـول .....
اصل وتصنيف السهول ٤٠٤
السهول الناشئة عن الحركات الارضية .....
السهول التحاتية .....
السهول الفيضية وسهول الدلتا ٤٠٥
السهول الجليدية .....
الهضـاب ٤٠٧
الهضاب الناتجة عن الحركات الارضية ٤٠٨
الهضاب البركانية ٤٠٩
هضاب التعرية ٤١٠
الجبـال .....
الجبال البركانية .....
الجبال المتخلفة او جبال التعرية ٤١١
الجبال الناتجة عن الحركات الارضية .....
المراجع العربية ٤١٨
المراجع الاجنبية ٤١٩

فهرست الاشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
١	انواع مختلفة من البنية تكونت فوقها انواع متباينة من الاشكال الارضية .	٢٨
٢	التركيب الداخلي للكرة الارضية	٤٠
٣	الباثوليت والاشكال الاخرى المرتبطة به	٤٩
٤	انواع من اللاكوليث	٥٠
٥	قبة ذات مركز ناري عليها تصريف نهري مدور	٥١
٦	اللوبوليث	٥٢
٧	سدود افقية	٥٣
٨	سد افقي منكشف على احد جوانب الوديان النهرية	٥٤
٩	سد عمودي	٥٥
١٠	سد عمودي منكشف بسبب تعرض منطقته الى عمليات التعرية	٥٦
١١	عنق بركاني مع سد عمودي منكشف بعد تعرضه الى عملية التعرية ...	٥٧
١٢	الفاكوليث	٥٨
١٣	حمم بركانية اخذت الوضع الذي كانت عليه عند تصلبها وتحولها الى صخور نارية	٦٠
١٤	صخور نارية مبرومة السطح	٦١
١٥	نماذج لصخور نارية متنوعة	٦٣
١٦	نماذج لصخور رسوبية متنوعة	٧٠
١٧	نماذج لصخور متحولة متنوعة	٧٤
١٨	بعض انواع الالتواءات	٧٦
١٩	انكسار اعتيادي	
٢٠	وادي انكساري اخدودي وظهر إنكساري	٧٧
٢١	صورة لمصطبة بحرية ناتجة عن سهل تعرية امواج مرتفع حالياً	٧٩
٢٢	صورة لحطام صخري عند اسفل المنحدرات	٨٤
٢٣	صورة للتالوس عند اسفل المنحدرات التي تتعرض الى تجويه ميكانيكية بوساطة الجليد	٨٦

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
٢٤	ظاهرة التقشر في صخور كرانيت	٨٧
٢٥	التجويه الكروية الحاصلة على صخور الكرانيت	٨٨
٢٦	كلب البريري والانفاق التي يعملها	٩٠
٢٧	مفاصل صخور اثرت فيها عمليات التعرية بصورة واضحة	٩٧
٢٨	التجويه المتباينة والتجويه داخل المفاصل الصخرية	١٠٠
٢٩	اهم انواع الانزلاقات الارضية	١٠٣
٣٠	مقطع في تربة ناضجة	١٠٦
٣١	صورة الى جزء من الخانق العظيم الذي كونه نهر كلورادو	١١٢
٣٢	مخطط يبين دورة الماء في الطبيعة	١١٤
٣٣	خارطة توزيع التساقط السنوي في العالم	١١٦
٣٤	نهر دائمي الجريان ونهر غير دائمي الجريان	١٢١
٣٥	مراتب الانهار بموجب دليل هورتون	١٢٤
٣٦	انماط التصريف النهري	١٢٦
٣٧	انواع الانهار فوق بعض الاشكال الارضية	١٢٩
٣٨	نهر منطبع ونهر سابق	١٣٢
٣٩	تطور الاسر النهري	١٣٤
٤٠	التحورات التي تقوم بها الثلاجة على واد نهري	١٣٧
٤١	حالات التصريف النهري	١٣٨
٤٢	توزيع السرعة داخل مقطع عرضي لاحد المجارى النهرية	١٤٠
٤٣	نهر فائض الحمولة في اقليم ضمن مرحلة النضج	١٤٨
٤٤	نهر متوازن ومحاولاته للبقاء على هذه الحالة	١٥٠
٤٥	تعرية وترسيب نهري للبقاء في حالة التوازن	١٥١
٤٦	شلال تكون الصخور الصلبة فيه ذات وضع افقي	١٥٥
٤٧	شلالات تكون الصخور الصلبة فيها عمودية الامتداد	١٥٦
٤٨	بعض حالات تكون الشلالات	١٥٧
٤٩	حفر وعائية بالقرب منها صخور كرانيتيه تعرضت الى النحت النهري	١٦٠

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
	في قاع نهر جبلي	
٥٠	مراحل تحول مجرى نهري مستقيم ومتجانس الى مجرى تكونت فيه التواءات نهرية	١٦٤
٥١	مراحل تطور الالتواءات النهرية	١٦٦
٥٢	تغيير مواقع الالتواءات النهرية فوق سهل فيضي	١٦٧
٥٣	مقطع تخطيطي لسهل فيضي يبين فيه السداد الطبيعية للانهار	١٦٨
٥٤	أنواع الدلتاوات	١٧٠
٥٥	مروحة طموية (دالة مروحية)	١٧٥
٥٦	التواءات غائرة في نهر سان جوان بولاية يوتا في الولايات المتحدة	١٨١
٥٧	تطور المدرجات النهرية فوق سهل فيضي تعرض الى حالة اعادة الشباب	١٨٢
٥٨	كيفية تحول بلورات الثلج الى بلورات جليدية	١٨٧
٥٩	صورة الى قسم من الغطاء الجليدي في كرينلند عليه النانانك	١٩٠
٦٠	صورة الى قلنسوة جليدية تغطي منطقة مرتفعة	١٩٣
٦١	صورة تمثل مجموعة من ثلاجات الوديان	١٩٦
٦٢	كيفية تقدم وتراجع الثلاجة	٢٠٠
٦٣	شقوق عرضية واسعة تقطع ثلاجة وديان	٢٠٣
٦٤	صورة تمثل السيراك في نهاية الثلاجة	٢٠٥
٦٥	هوة جليدية	٢٠٧
٦٦	عمود جليدي تستند عليه احدى الصخور	٢٠٨
٦٧	صورة تمثل ثلاجة وديان عليها مجموعة من خطوط الركامات الوسطى	٢١١
٦٨	حطام صخري يغطي نهاية احدى ثلاجات الوديان	٢١٢
٦٩	الحزوز التي يتركها الجليد عند حركته فوق الصخور	٢١٤
٧٠	مقطع طولي الى وادي نهري اثر فيه الجليد	٢١٧
٧١	وادي جليدي	٢١٨
٧٢	صورة تمثل وادي جليدي معلق	٢٢٠

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
٧٣	حلبة جليدية (سيرك)	٢٢١
٧٤	قرن جليدي (ماترهورن)	٢٢٣
٧٥	صورة تمثل حقلاً ثلجياً تبرز فيه النانانك	٢٢٤
٧٦	صورة الى احد الفيورد ت	٢٢٦
٧٧	صورة تمثل سلالم العمالقة	٢٢٧
٧٨	ركامات تراجعية امام احدى ثلاجات الوديان	٢٣١
٧٩	تأثير الركام الجليدي الارضي على التضاريس	٢٣٥
٨٠	مجموعة من تلال الدراملين البيضوية الشكل	٢٣٧
٨١	صورة الى صخرة ضالة نقلها الجليد القاري	٢٣٩
٨٢	رواسب مائية ـــ جليدية	٢٤٠
٨٣	صحراء صخرية في راجستان بالهند	
٨٤	صحراء حمادة حجرية في ليبيا	٢٤٥
٨٥	الحصى ذوات الاوجه التي كونتها تعرية الرياح	
٨٦	اليارداتك في صخور رملية في جمهورية تشاد	٢٤٧
٨٧	صورة الى احدى العواصف الغبارية	٢٥٠
٨٨	مخطط يبين كيفية انتقال الذرات الخشنة بوساطة الرياح	٢٥١
٨٩	بعض الاشكال التي تتكون نتيجة الى تعرض ترسبات اللويس الى التعرية	٢٥٣
٩٢	اراضي مضرسة (رديئة) في صحراء اريزونا	
٩٢	بحيرة بلايا	٢٦٠
٩٣	دورة تعرية في احواض داخلية ذوات مناخ جاف	٢٦٤
٩٤	القوى المولدة للمد	٢٧٢
٩٥	انواع الامواج الناتجة عن عمل الرياح	٢٧٤
٩٦	بعض اشكال الاذابة على الساحل	٢٧٩
٩٧	بعض الاجراف الناتجة عن نحت الامواج ويبدو امام البعض منها مصاطب بحرية	٢٨٣
٩٨	صورة تمثل بعض المسلات والاقواس البحرية	٢٨٤

م الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
٩٩	قوس بحري في جزر بيني في اليابان	٢٨٥
١٠٠	اشكال ترسيبية مسننة على الساحل الشمالي من بورتوريكو في البحر الكاريبي	٢٨٧
١٠١	تطور حاجز رملي امام ساحل يتعرض الى ظاهرة الارتفاع	٢٨٩
١٠٢	بعض الاشكال الترسيبية التي تقوم بها الامواج والتيارات الساحلية	٢٩٠
١٠٣	انماط السواحل حسب نوعية موجة المناخ بموجب تصنيف ديفز	٢٩٦
١٠٤	صورة الى الحاجز المرجاني الاسترالي	٢٩٩
١٠٥	جزيرة مرجانية حلقية (آتول) من مجموعة جزر مارشال في المحيط الهادي	٣٠٠
١٠٦	مراحل تكوين الاتول حسب نظرية دارون	٣٠٣
١٠٧	بعض العوامل التي تؤثر في مسامية الصخور	٣٠٩
١٠٨	انطقة الماء الباطني	٣١٣
١٠٩	تخطيط يبين كيفية تكون الابار الارتوازية	٣١٥
١١٠	ظاهرة الـ Pingo فوق دلتا نهر مكنزي في كندا	٣١٧
١١١	بعض الظروف الجيومورفولوجية التي تتسبب عنها الينابيع	٣١٩
١١٢	صورة تمثل نافورة برك ونافورة مخروط	٣٢١
١١٣	صورة تبين نافورة اولد فيثفول اثناء ثورتها	٣٢٣
١١٤	مخطط يبين كيفية عمل النافورات الحارة	٣٢٤
١١٥	حفرة بالوعية	٣٢٩
١١٦	صورة تبين كيفية تركز عملية الذوبان في مفاصل الصخور الجيرية	٣٣١
١١٧	مخطط يبين امتدادات كهف ماموث في الولايات المتحدة	٣٣٢
١١٨	صوَرة تمثل الاعمدة الصاعدة والاعمدة النازلة في احدى الكهوف	٣٣٣
١١٩	صورة الجسر الطبيعي المشهور في ولاية فرجينيا بالولايات المتحدة	٣٣٦
١٢٠	بحيرة غاطسة في المجرى القديم لنهر كولومبيا في الولايات المتحدة	٣٤٨
١٢١	بحيرة وقتية في حوض حفرته الرياح	٣٥٠
١٢٢	كيفية تكون البحيرات التي تحتل احواضاً انكسارية	٣٥٢
١٢٣	بحيرة كريتر في ولاية اوريكون بالولايات المتحدة	٣٥٤

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
١٢٤	انزلاق ارضي ادى الى غلق وادي نهري وتكوين بحيرة	٣٥٥
١٢٥	احدى السداد التي تبنيها حيوانات القنادس	٣٥٨
١٢٦	سد هوفر على نهر كلورادو وخلفه بحيرة ميد	٣٦٠
١٢٧	صورة تمثل سحابة الدخان فوق احد البراكين	٣٧٠
١٢٨	بعض انواع الثورات البركانية المركزية	٣٧٢
١٢٩	صورة الى نافورات الحمم داخل احدى الفوهات البركانية	٣٧٥
١٣٠	بركان كاراكاتوا	٣٧٩
١٣١	خارطة توزيع البراكين النشطة في العالم	٣٨٠
١٣٢	صورة تمثل جبل شاستا البركاني في كاليفورنيا	٣٨٦
١٣٣	مخطط لمخروط بركاني	
١٣٤	صورة الى احد مخاريط الخبث البركانية	٣٨٧
١٣٥	صورة تمثل بركان باريكوتين في المكسيك	٣٨٩
١٣٦	صورة الى بعض المخاريط البركانية الرشاشة	٣٩٠
١٣٧	نتوء صخري فوق بركان مونت بيليه	٣٩٢
١٣٨	مجرى طيني بركاني في شمال شيلي	٣٩٥
١٣٩	فوهة بركان فيزوف في ايطاليا حيث توجد فوهة داخل الفوهة البركانية الرئيسية	٣٩٧
١٤٠	الحمم البركانية التي كونت هضبة كولومبيا	٤٠٠
١٤١	سهل تحاتي	٤٠٦
١٤٢	حافة انكسارية	٤١٣
١٤٣	جبل قبابي	٤١٥
١٤٤	جبال معقدة تستند على بنية معقدة	٤١٧

فهرست الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
١	العناصر الرئيسية المكونة للقشرة الارضية	٤٣
٢	بعض انواع الصخور الرئيسة وخصائصها العامة	٤٤
٣	الرواسب الميكانيكية النشأة	٦٥
٤	المساقط المائية الكبرى في العالم	١٥٨
٥	اطوال بعض الكهوف المشهورة في العالم	٣٣٧
٦	بعض البحيرات في العالم	٣٤٣
٧	اعظم البحيرات الاصطناعية حجماً في العالم	٣٥٩

الفصل الاول

الجيومورفولوجيا والمفاهيم الاساسية فيه

يعرف علم الجيومورفولوجي بأنه علم الاشكال الارضية. ومن بين ماوضع لهذا العلم من تعاريف اخرى انه الموضوع الذي يعني بالوصف التفسيري للمظاهر التضاريسية للارض وبعبارة اخرى فالجيومورفولوجيا العلم الذي يصف سطح الغلاف الصخرى ويشرح اصول الظواهر التضاريسية الموجودة عليه ويصف تأريخ تطورها (١). وتتطلب هذه العملية معرفة واسعة بتركيب وبنية الصخور وكذلك العمليات الجيومورفولوجية الظاهرية منها والباطنية. وكلمة جيومورفولوجي Geomorphology تعبير مركب مشتق من عدة كلمات يونانية قديمة فكلمة «Ge» تعني الارض و morphe الشكل و logos تعني العلم او الدراسة. وعلى هذا فأن « جيومورفولوجي » هي علم الاشكال الارضية (٢).

لانستطيع ان نحدد الزمن الذي بدأ الانسان فيه بالاهتمام بالاشكال الارضية الا انه يمكن الافتراض انه قديم قدم الانسان نفسه ذلك لأن تلك الاشكال تمثل ارضية بيئته فعليه اذن ان يميز بين اشكالها المختلفة ويختار الانسب منها لمعيشته. وقد زاد انتقال الانسان من مكان الى آخر فوق سطح الارض من اهتمامه بمعرفة

(1) Philip G. Worcester, A Textbook of Geomorphology, Affilated East-West press, New Delhi, 1965, p.3

(٢) حسن ابو العينين ، اصول الجيومورفولوجيا ، دار المعارف ، القاهرة ١٩٦٨ ، ص ١٩ .

التضاريس اما لأختيار انسب الطرق للانتقال او لاتخاذها دلائل وشواهد للطريق الذي يسلكه وقد ظهرت في اولى الخرائط اشارات تدل على تمييز لبعض الظواهر التضاريسية كالسلاسل الجبلية والانهار والسهول والمستنقعات ... الخ .

هذا وقد ساهم الفلاسفة الاغريق في تطوير بعض المفاهيم العلمية الخاصة بعلم الجيومورفولوجي وتحديدها . فقد ذكر هيرودتس (٤٨٥ ــ ٤٢٥ ق . م) في كتاباته التأريخية بعض الملاحظات الجيولوجية كالرواسب التي يحملها نهر سين وكذلك ذكر الزلازل كما لاحظ وجود بعض القواقع في بعض التلال في مصر وذكر بأن البحر ربما كان يمتد فوقها في يوم ما وبذلك فقد ساهم بدوره في تكوين فكرة عن تذبذب مستوى سطح البحر . وقد عكس ارسطو ٣٤٨ ــ ٣٢٢ ق . م في كتاباته الافكار التي كانت سائدة آنذاك ، ومن بين الامور التي ذكرها الينابيع واصل مياهها واعتقد بوجود طبقات صخرية مسامية تحتفظ بالمياه وانها تشبه الاسفنج . كما اعتقد ارسطو بوجود علاقة وثيقة في منشأ كل من البراكين والزلازل . ومن بين الافكار التي كان يعتقد بها ان غطى البحر مساحات من اليابسة وكان يتحدث عن دور الانهار في نقل الرواسب الى البحار . وكان سترابو (٥٤ ق . م ــ ٢٥ م) قد لاحظ من خلال سفراته وتنقلاته العديدة وجود رفع او هبوط موضعي للارض . كما راقب النشاط البركاني واعتبر فيزوف بركاناً رغم انه لم يكن ثائراً في زمانه ودرس الارسابات النهرية وكيفية تكون الدلتاوات (٣) .

كان للعرب دورهم المتميز في الاسهام بأغناء المعرفة ذات العلاقة بعلوم الارض ومنها علم الجيومورفولوجيا . غير ان معظم ماكتب عن تلك الاسهامات في الوقت الحاضر انما كتب بلغات اوربية ومن قبل بعض الاشخاص الذين لم ينصفوا هذه الامة العظيمة . فقد كانت اضافات العرب واضحة في علم الجيولوجيا وفي علم المعادن والجيومورفولوجيا خاصة فالبيروني مثلاً اول من اشار الى ظاهرة التشعير او ما يعرف اليوم بالتشقق في الصخور . والعرب هم الذين قاموا بتصنيف المعادن حسب صفاتها الفيزيائية والكيميائية وهم الذين وصفوا وصفاً كاملاً البيئات الجيولوجية التي تكون المعادن . ويعد العرب واضعي اسس علم الصخور وتعتبر فرضياتهم في هذا الحقل ذوات مسحة جيولوجية حديثة . وقد استدل ابن سينا على تكوين الجبال من البحر اول الامر من وجود المتحجرات في صخورها . وتكلم البيروني عن كيفية تكوين

(3) William D. Thornbury, Principles of Geomorphology, John Wiley and Son, New York, 1969, pp.2-3

الجبال في كتابه « تحديد نهايات الأماكن لتصحيح مسافات المساكن » فذكر الحركات البانية للجبال وكذلك الدورة الجيومورفية التي نسبت الى الامريكي وليم مورس ديفز وتعرف اليوم بأسم دورة ديفز الجيومورفولوجية . كما كان اتساع رقعة الدولة العربية خلال القرون الخمسة الهجرية الاولى سبباً في اهتمام العرب بدراسة المعالم الجيومورفولوجية وتناولت دراساتهم وصف الارض وحركاتها وتوازن القشرة الارضية والزلازل والبراكين وانجراف القارات ونشوء الانهار والصدوع ... الخ (٤) .

بدأ تطور علم الجيومورفولوجيا بصيغته الحالية من خلال كتابات الجيولوجيين والهيدرولوجيين التي ظهرت في اواخر القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر واشهر هؤلاء جارلس ليل Charles Lyell في كتابه (اسس الجيولوجيا) المطبوع في سنة ١٨٣٠ حيث اكد فيه على مبدأ التماثل ذلك المبدأ الذي يعتمد على المقولة (ان الحاضر هو المفتاح الى الماضي) .

وقد ساهم جيمس هتون (١٧٢٦ — ١٧٩٧) في وضع الاسس التي اعتمدت عليها الجيومورفولوجيا وكان من اشهر الكتب التي وضعها كتابه (نظرية الارض بالبراهين والايضاحات) وذلك في سنة ١٧٩٥ . وقد قام جون بليفير John Playfaire بتوضيح افكار هتون في كتاب نشره في عام ١٨٠٢ تحت عنوان « توضيحات لنظرية هتون حول الارض » . وقد جاءت في هذا الكتاب بالاضافة الى توضيحه لافكار هتون افكار اضافية خاصة به . وكان لقابليته في علم الرياضيات دور في توجيه تفكيره بهذا الاتجاه ، وقد اهتم كثيراً بدراسة عمليات التعرية ، وتطور الوديان النهرية .

يعتبر جلبرت من بين الرواد الاوائل الذين ساهموا مساهمة فعالة في تطوير اسس علم الجيومورفولوجيا الى درجة انه قد يطلق عليه احياناً لقب الجيومورفولوجي الحقيقي الاول . وكان جلبرت يقوم بملاحظة المظاهر الارضية التي يروم دراستها ثم يرتب تلك الملاحظات في مراتب معينة ، بعد ذلك يبتكر نظريات لمعرفة اصول تلك المظاهر . وقد وضع اسساً للتحليل الجيومورفولوجي تستند الى دراسة مباشرة للظاهرة ثم محاولة دراسة كيفية تطورها . ويجب ان لايغيب عن الاذهان ان الجيولوجيين الامريكيين كانوا قد اقتصروا في دراساتهم على المظاهر الارضية القارية ولم يعيروا اهمية

---

(٤) عدنان النقاش ، مساهمات العلماء العرب المسلمين واضافاتهم في علم الارض ، آفاق عربية ، العدد السادس ، بغداد ١٩٨٥ ، ص ٤٨ — ٥٤ .

للمظاهر البحرية في حين نجد ان الانكليز اهتموا بشكل كبير بدراسة الظواهر البحرية والعمليات الجيومورفولوجية المكونة لها .

لابد لنا من ان نتعرف على شخصية علمية ساهمت بشكل خاص في اغناء علم الجيومورفولوجيا الا وهو W.M. Davis . فقد ولد ديفز في امريكا وتنقل كثيراً وعمل في التدريس في جامعة كامبردج واكسفورد وبرلين وباريس وكان استاذاً للجغرافية الطبيعية في جامعة هارفارد . وقد نشر بحوثاً كثيرة حول مشاكل جيومورفولوجية متعددة . من الآثار التي يكونها الجليد الى الجزر المرجانية والصحارى ، وقد وصفه احد الجيومورفولوجيين بأنه (يشمخ فوق السابقين واللاحقين كالمونادنوك monadnock فوق سهل تحاتي) . وعلى الرغم من ان فكرة دورة التعرية ليست من ابتكاراته الخاصة الا انه استخدم هذه الفكرة وطور شكلاً خاصاً لكل مرحلة فيها . وقد ظل تأثير ديفز واضحاً على كتابات الجيومورفولوجيين في الولايات المتحدة واوربا لفترة طويلة (٥) .

لقد عورضت فكرة ديفز الرئيسية حول الدورة الجيومورفولوجية من قبل بعض الكتاب واشهرهم والتربنك Penck حيث اعتقد بأن التعاقب الذى جاء به ديفز لمراحل الدورة الجيومورفولوجية لايكون شائعاً . وسوف نأتي الى ذكر هذه النقطة عند كلامنا عن الافكار العشرة لثورنبرى .

يمكن تلخيص الاتجاهات الحديثة في علم الجيومورفولوجيا بالنقاط التالية :

١ــ ميل علم الجيومورفولوجيا للاقتراب من علم الجيولوجيا اكثر من الجغرافية الطبيعية .

٢ــ تطور الدراسات الجيومورفولوجية الاقليمية .

٣ــ الاقرار المتزايد بضرورة المفاهيم الجيومورفولوجية في التطبيق العملي في بعض الحقول مثل جيولوجية المياه الباطنية وعلم التربة والهندسة الجيولوجية .

٤ــ بزوغ المرحلة الكمية والتجريبية في الدراسات الجيومورفولوجية (٦) .

---

(5) Cuchlaine A. M. King, Techniques in Geomorphology, Edward Arnold, London, 1975, pp. 1-5

(6) Thornbury, op. cit., p. 14

المفاهيم الاساسية في علم الجيومورفولوجيا :

لابد لنا قبل ان نتعمق في دراسة الجيومورفولوجيا من ان نلقي الضوء على المفاهيم الاساسية التي يحتويها هذا العلم اذ تعتبر هذه المفاهيم او الافكار بمثابة اوليات هذا العلم والحقائق التي لابد من استيعابها من قبل من يقوم بدراسة الموضوع وقد لخص الاستاذ W.D. Thornbury هذه المفاهيم في افكار عشرة كالآتي .

١ ــ الفكرة الاولى :

« ان كل العمليات والقوانين التي تؤدي دورها الان كانت تعمل ايضاً خلال الزمن الجيولوجي ، غير انه ليس من الضرورة ان يكون عملها بنفس درجة الشدة التي عليها الان » . لابد لنا من ان نتعرف على مفهوم العملية الجيومورفولوجية Geomorphic Process قبل ان نشرح المقصود بهذه الفكرة . فالعملية الجيومورفولوجية تعني القوة التي غيرت وما تزال تغير من مظاهر سطح الارض في الماضي وفي الحاضر . وتضم العمليات الجيومورفولوجية كافة التغيرات الفيزياوية والكيمياوية التي تلعب الدور الاساس في تطور التضاريس . وهي اما عمليات جيومورفية باطنية internal او عمليات ظاهرية external . ويعتقد معظم الباحثين في حقل الجيومورفولوجيا ان محور عمل هذا العلم ينحصر في الاغلب على دراسة هذه العمليات ودراسة آثارها .

تضم العمليات الباطنية قوى متعددة هي ١ ــ العمليات البانية للقارات epirogenic ٢ ــ العمليات البانية للسلاسل الجبلية orogenic ٣ ــ العمليات المرتبطة بالنشاط البركاني ٤ ــ العمليات المسببة للزلازل والزلازل نفسها . ويبدو ان القوى التي تسبب تلك العمليات مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالنشاط التكتوني الباطني للقشرة الارضية . وقد لعبت دوراً مهماً في بناء التضاريس الكبرى على سطح الارض حيث تتميز عن العمليات الظاهرية بأنها بنائية constructional .

تحتوى العمليات الظاهرية مجموعة متنوعة من القوى التي تلعب دوراً مهماً في تكوين التضاريس على القارات فقط تقريباً . ويمكن حصرها بـ ١ ــ التجوية ٢ ــ المياه السطحية الجارية ٣ ــ الجليد والثلاجات ٤ ــ الرياح ٥ ــ الامواج ٦ ــ المياه الباطنية . ويعتبر مجمل عمل هذه المجموعة هدمياً destructional حيث

تهدف في الاغلب الى تسوية التضاريس planation والوصول بها الى قاعدة التعرية ولذلك يتعارض عملها عادة مع عمل المجموعة الاولى من العمليات الجيومورفولوجية. ولولا النشاط المستمر للعمليات الباطنية لتلاشى وانتهى وجود التضاريس على سطح الارض في الوقت الحاضر.

يعني ثورنبرى بفكرته الاولى ان العمليات الظاهرية والباطنية كانت جميعها موجودة خلال الازمنة والعصور الجيولوجية الماضية، اذ لم تكن هناك اية عملية غير موجودة الان او بالعكس لاتوجد عملية جيومورفولوجية حالية كانت غير موجودة خلال الازمنة والعصور الجيولوجية. فالانهار والثلاجات وعوامل الجو والرياح والامواج والمياه الباطنية وكذلك الحركات البنيوية المختلفة والنشاط البركاني كانت كلها موجودة خلال تأريخ الارض الجيولوجي. غير ان الذي يجب ملاحظته ان شدة عمل هذه العمليات لم تسر بوتيرة واحدة طيلة تلك الفترة. فقد اشتد خلال الفترات الجليدية التي حدثت في البلايستوسين نشاط كثير من العمليات الجيومورفولوجية وخاصة الجليد وتعرضت مساحات واسعة من سطح الارض الى اثر نهرى واضح في الوقت الذي نراها فيه صحارى في الوقت الحاضر وخالية من المجاري النهرية. كما ازداد نشاط التعرية العمودية للانهار بسبب ما أصابها من حالة اعادة الشباب. وكانت الرياح، مثلاً، اشد تأثيراً في بعض العصور والفترات الجيولوجية وخاصة تلك التي يسود فيها الجفاف اذ تزداد مساحة الصحاري كما حدث من ترسيب للصخور الرملية خلال العصر الجوراسي. كما ازداد نشاط المياه الباطنية خلال العصر البرمي والبنسلفاني. ويتضح من هذه الامثلة حقيقة الفكرة التي تقول ان كل العمليات الجيومورفولوجية الحالية كانت نفسها في الماضي غير ان درجة شدة عملها يمكن ان تكون مختلفة.

٢ ــ الفكرة الثانية:

« تعتبر البنية الجيولوجية عاملاً مسيطراً في تطور الاشكال الارضية وتنعكس فيها ».

تعني البنية structure في مفهومنا شيئين اساسيين هما ١ ــ نوعية الصخور ٢ ــ وضعية الصخور ضمن القشرة الارضية.

فالصخور كما سيتبين لنا جلياً في الفصل القادم تختلف اختلافاً كبيراً في درجة صلابتها ومقدار مقاومتها للعمليات الجيومورفية فقد يكون البعض منها سريع

التأثر بها ويكون الاخر صلباً مقاوماً لعمليات التعرية والتآكل. كما ويتأثر البعض منها بواحد او بآخر من العمليات الجيومورفية في حين يكون صلباً امام عمليات جيومورفية اخرى. فعلى سبيل المثال يكون حجر الكلس (الصخور الجيرية) مقاوماً لعمليات التجوية اذا كان موجوداً في منطقة صحراوية جافة غير انه يذوب بسرعة ويتلاشى اذا كان موجوداً ضمن منطقة ذات مناخ دافىء ورطب. كما ان للنظام المفصلي الذي تحتويه الصخور دوراً آخر في مقدار استجابتها للعمليات الجيومورفية المختلفة فحينما توجد مفاصل واسعة وعميقة فأن تأثر تلك الصخور بالتعرية سيكون اسرع حتماً من تلك التي يكون نظامها المفصلي غير متطور.

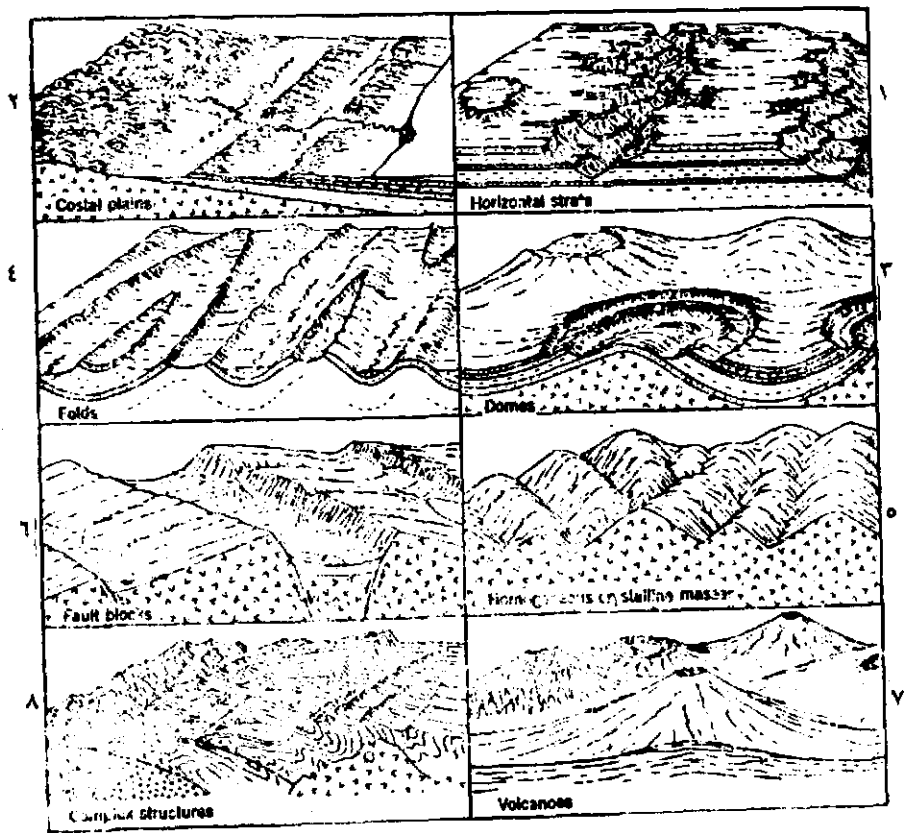
وتعني وضعية الصخور مقدار استجابتها وتأثرها بالعمليات الباطنية والتي تتمثل بالحركات الالتوائية والانكسارية والقبابية والنشاط البركاني. فالبنية التي تمثلها الصخور التي تكون سهلاً ساحلياً تختلف عن البنية التي تتكون من طبقات صخرية افقية الامتداد. ويختلف مايتكون من تضاريس فوق البنية الاولى عن التضاريس التي قد تظهر فوق الحالة الثانية رغم ان التكوين الصخرى لهما قد يكون متشابهاً احياناً ويمكن ان يحدث الشيء نفسه فوق البنية الانكسارية والالتوائية والقبابية والمعقدة والبركانية (الشكل رقم ١).

ولكل بنية من البنيات مجموعة من التضاريس المتعلقة بها بحيث يمكن من خلال دراسة تلك الاشكال الارضية ان نتعرف على طبيعة البنية التي توجد تحتها، اذ تختلف الاشكال الارضية التي تحتويها بنية التوائية تماماً عن التضاريس التي تظهر فوق سهل ساحلي رغم ان التضاريس في كلتا الحالتين قد نتجت من عملية جيومورفية واحدة ويقع كلتاهما في مرحلة واحدة من الدورة الجيومورفية. وقد ساعدت هذه العلاقة الوثيقة بين البنية والتضاريس المرتبطة بها على الكشف عن نوعية البنية والتوقع بما تحتويه صخورها من مواد معدنية وموارد اقتصادية مهمة اخرى.

٣ ــ الفكرة الثالثة :

« تؤدي العمليات الجيومورفية دورها بمعدلات متباينة ولهذا السبب تمتلك الارض تضاريسها ».

يمكن ارجاع تأثير العمليات الجيومورفية المتباينة الى صخور القشرة الارضية من حيث نوعيتها وبنيتها. ويؤدي هذا الى التباين في درجة مقاومتها لعمليات التعرية.



شكل رقم ــ ١ ــ

انواع مختلفة من البنية تكونت فوقها انواع متباينة من التضاريس

١ــ طبقات افقية الامتداد
٢ــ سهل ساحلي
٣ــ قباب
٤ــ التواءات
٥ــ صخور نارية متجانسة
٦ــ انكسارات
٧ــ براكين
٨ــ معقدة

وتكون بعض هذه الاختلافات واضحة جداً احياناً ولكنها تكون قليلة في احيان اخرى. ويمكن القول انه فيما عدا بعض المناطق التي تتعرض للحركات الارضية فأن التضاريس العالية ترتبط بمناطق الصخور الصلبه المقاومة في الحين الذي ترتبط فيه التضاريس الواطئة بمناطق الصخور الضعيفة.

غير اننا يجب ان لا نربط بين تكون التضاريس وبين تباين الصخور في درجة مقاومتها فقط. اذ تتأثر عمليات التعرية بظروف محلية اخرى تزيد من شدة التعرية او تقلل منها مثل درجات الحرارة، الارتفاع، مقدار التعرض، درجة التضرس وكذلك درجة وجود وكثافة الغطاء النباتي. وهذا مانلاحظه عند مقارنة اثر عوامل التعرية على سفح جبل وبطن واد او بين السفوح الشمالية والجنوبية او بين الا رض الجرداء والارض المكسوة بغطاء نباتي. وتنعكس الاختلافات احياناً في كمية التساقط وكذلك في طبيعته،ومعدلات التبخر، وكمية رطوبة التربة، وشدة الاشعاع الشمسي، ومقدار المرات التي تتذبذب فيها درجات الحرارة حول درجة الانجماد. وهكذا فأن التفصيلات معقدة بحيث يمكن القول معها ان التغير الذي تحدثه العملية الجيومورفية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالظروف المحلية السائدة. وكذلك فأن تأثير العملية الجيومورفولوجية الواحدة يختلف اختلافاً كبيراً فالانهار ليست متساوية جميعها في عملها وتأثيرها وكذلك الحالة مع بقية العمليات الاخرى كالثلاجات او الرياح او الامواج... الخ.

الفكرة الرابعة:

« تترك العمليات الجيومورفولوجية آثارها المتميزة على الاشكال الارضية، وتطور كل عملية جيومورفية مجموعتها الخاصة من الاشكال الارضية ».

بينا قبل قليل ان العملية الجيومورفية تعني الاساليب الفيزياوية، والكيمياوية التي من خلالها يتحور سطح الارض. وتنشأ بعض العمليات مثل الحركات الارضية والنشاط البركاني من قوى ضمن القشرة الارضية، وتعرف هذه بالعمليات الباطنية endogentic في حين تنتج الاخرى من خلال قوى خارجية وتعرف بالعمليات الخارجية exogenetic.

ويمتلك كل شكل ارضي خصائصه المميزة التي تعتمد على نوع العملية التي كونته. فالسهول الفيضية، والسهول المروحية (الدلتاوات) هي نتائج لعمل

النهر. وتكون الحفر البالوعية والكهوف ناتجة عن عمل الماء الباطني. ويشير وجود الركامات المختلفة، وتلال الدراملين الى الوجود السابق للثلاجات فوق المنطقة. وقد ادى هذا الربط بين العملية والاشكال الى سهولة عمل تصنيف للاشكال الارضية يعتمد على الاصل Genetic. ويعتبر ديفز W.M. Davis اول من اشار الى هذه الحقيقة. وهي احدى مساهماته المهمة في علم الجيومورفولوجي اذ انه غير الموضوع الذي كانت تصنف فيه الاشكال الارضية اعتماداً على شكلها الخارجي فقط دون اي اعتبار للتفسيرات التي يمكن ان تقوم منها والتي تنشأ من تأريخها الجيومورفولوجي.

واصبح نتيجة ذلك ان يتمكن الباحث الجيومورفي من ان يميز الاشكال الارضية وان يحدد العملية التي كونتها حتى وان كانت تلك العملية غير موجودة عليها فعلاً في الوقت الحاضر.

الفكـرة الخامسـة :

« ينتج تعاقب مرتب للاشكال الارضية. بينما تؤدي عوامل تعرية مختلفة عملها فوق سطح الارض ».

تعني هذه الفكرة ان الاشكال الارضية تتطور ضمن ما يعرف بالدورة الجيومورفولوجية التي اعتقد بها ديفز Davis. ابتداء من مرحلة النشوء ثم الشباب والنضج والشيخوخة. ومن الواضح ان مرحلة النشوء لاتكون واضحة في كثير من المظاهر ذلك لأن عملية تكون الاشكال تكون بطيئة الى درجة تستطيع معها عوامل التعرية ان تغير من الخطوط الاساسية لذلك الشكل قبل ان يتكامل وضعه الخارجي. فيما عدا بعض الاشكال الارضية التي يتصف تكونها بالسرعة مثل ما يحدث عند تكون بعض التلال البركانية الناتجة عن ثورات سريعة.

هذا من ناحية ومن ناحية اخرى فأن التعاقب يكون منتظماً ومرتباً ضمن الدورة الجيومورفولوجية فمرحلة الشباب التي يمر بها اي مظهر ارضي يجب ان تكون لاحقة لمرحلة النشوء وتعقبها مرحلة النضج وهكذا بالنسبة لمراحل الدورة الاخرى. وتكون كل عملية جيومورفولوجية مسؤولة عن تطوير اشكال ارضية خاصة بها بحيث يمكن ارجاعها بسهولة الى اية مرحلة من الدورة الجيومورفولوجية. ويعتبر مفهوم المرحلة شيئاً مهماً في التفكير الذي وضعه ديفز للجيومورفولوجيا فالشكل الجيومورفي لديه عبارة عن تفاعل بين العوامل التالية.

الشكل الارضي = البنية + العملية + المرحلة .

وان اي تبدل في اي من مكونات تلك المعادلة يجب ان يؤدي الى تغيير في العوامل الاخرى المكونة لها .

الفكـرة السادسـة :

« التعقيد اكثر شيوعاً من البساطة في التطور الجيومورفولوجي » .

يعني التطور الجيومورفي البسيط ان مظهراً ارضياً معيناً يتعرض لتأثير عملية جيومورفولوجية واحدة . ويمر خلال دورة جيومورفولوجية واحدة . فعلى سبيل المثال قد تكون الانهار الجارية فوق جبل قباني مسؤولة عن تطوير مظاهر السطح فوقه وتنقله بذلك من مرحلة النشوء نحو مرحلة الشباب ثم نحو مرحلة النضج فمرحلة الشيخوخة . او قد يتعرض سهل ساحلي لتأثير الانهار ايضاً وقد تتعرض منطقة جبلية معقدة البنية لتأثير الانهار الجليدية التي تغير من ملامحها بصورة مستمرة فتنقلها من مرحلة الى اخرى وبشكل متعاقب ضمن الدورة الجيومورفولوجية .

غير ان مثل هذا التطور غير موجود في الطبيعة الا بنطاق محدد جداً اذ لا توجد الا جهات قليلة تؤثر عليها عملية جيومورفولوجية واحدة . اذ يحدث نوع من التداخل في تأثير عدة عمليات جيومورفولوجية رغم انه قد يمكن تمييز اثر عملية اساسية واحدة . ففي الوادي الجليدي الذي يعتبر نتاجاً اساسياً لعمل الجليد تقوم عوامل التجوية والمياه السطحية الجارية بدورها فيه ايضاً . كذلك الحال في الوديان النهرية والاجراف الساحلية الناتجة من عمل الامواج ووديان البولجة الناتجة عن المياه الباطنية بشكل خاص .

كما ويمر قليل جداً من المظاهر الارضية بدورة جيومورفية متكاملة واحدة حيث ان الدورات المقطوعة شائعة الوجود في عملية تطوير التضاريس . وتكون حالات اعادة الشباب شيئاً معروفاً لدى كثير من جهات العالم ولذا قام بعض الجيومورفيين بعمل تصنيف للتضاريس استناداً لهذه الفكرة فوجدوا انها تتكون من ظاهرات السطح البسيطة والمركبة و التي تنشأ تبعاً لدورة جيومورفولوجية واحدة ولاكثر من دورة واحدة و ظاهرات السطح المنكشفة ... الخ .

الفكـرة السـابعة :

« قسم قليل من تضاريس الارض اقدم من الزمن الثالث Tertiary ، ولا يزيد عمر معظمها عن البلايستوسين » .

تدل البحوث والدراسات الجيومورفولوجية على وجود سطوح تعرية تعود الى عصور جيولوجية بعيدة كالكريتاسي ويرجع قسم آخر منها الى فترات ابعد من ذلك اذ تعود حتى الى الزمن (قبل الكمبرى) . الا ان هذه الظواهر قليلة جداً نتيجة للتعرض المستمر لعمليات التعرية خلال الحقب الجيولوجية الطويلة . غير ان معظم التضاريس الموجودة الان على سطح الارض تعود الى فترة جيولوجية ليست بعيدة . فقد قدر الاستاذ آشلي Ashley في سنة ١٩٣١ ان ٩٠٪ من التضاريس الحالية قد نشأت في الفترة التي تلت الزمن الثالث كما لا يتجاوز عمر ٩٩٪ من تضاريس الارض الحالية منتصف عصر الميوسين الاوسط .

ويجب ان لا تبعدنا هذه الفكرة عن حقيقة كون بعض البنيات الجيولوجية قديمة جداً فهي في العادة تكون اقدم بكثير من التضاريس التي توجد فوقها .

الفكـرة الثامنـة :

« لا يمكن تفسير وجود تضاريسنا الحالية دون تصور دقيق لتأثير التغيرات الجيولوجية والمناخية التي حدثت خلال البلايستوسين » .

لقد كان للتغيرات المناخية التي حصلت خلال البلايستوسين اثر مهماً جداً في التضاريس الموجودة حالياً على سطح الارض . ففي الفترات الجليدية التي حدثت فيه اثرت التعرية الجليدية على مساحات هائلة من سطح الارض تقدر بـ ٢٥٠٠٠٠٠٠ كم٢ . كما لم يقتصر تأثير تلك الفترات على المساحات التي غطاها الجليد فعلاً بل تجاوزها الى مساحات عظيمة اخرى حدثت فيها تأثيرات جانبية ناتجة عن انخفاض درجات الحرارة على الكرة الارضية كلها خلال الفترة الجليدية . فقد زادت كمية الامطار في المناطق الصحراوية وبذلك ظهر عليها آثار لعمل نهري مازال منطبعاً فوقها بشكل وديان جافة . كما أدى هبوط مستوى البحر خلال العصر الجليدي بدوره الى تكون ظاهرة السواحل المرتفعة . كما وتعرضت الانهار التي كانت تنتهي بالمحيطات آنذاك الى ظاهرة اعادة الشباب وما يصحبها من ظواهر جيومورفولوجية خاصة . ويحدث العكس في الفترات الدفيئة التي توجد بين كل فترتين

جليديتين حيث تزداد مساحة الصحارى ويشتد عمل الرياح ويرتفع مستوى سطح البحر فوق مستواه الحالي وتتكون السواحل المغمورة ... الخ .

لذلك ولكي نستطيع ان نفسر وجود بعض التضاريس الحالية التي لاتوجد عليها العملية التي كونتها لابد من الرجوع الى الوضع المناخي والجيولوجي الذي كان سائداً في البلايستوسين كي نفهم ذلك . فعلى سبيل المثال قد توجد مظاهر لتعرية جليدية فوق جبال لاتوجد عليها اليوم اية ثلاجات البية ، او قد توجد مدرجات نهرية على جوانب نهر ما . ولا يمكن تفسير هذه الظواهر الا بالرجوع الى البلايستوسين ودراسة تأثير الجليد على تكوين مثل تلك الاشكال .

اضافة الى ماحدث من آثار ناجمة عن العصور الجليدية في البلايستوسين ففي هذا العصر تعرضت كثير من المناطق لحركات القشرة الارضية التي نشأ البعض منها خلال عصور سبقت البلايستوسين الا انها وصلت ذروتها فيه . فقد اشتد نشاط هذه الحركات مثلاً حوالي المحيط الهادي وهي مسؤولة الى حد ما عن التضاريس الموجودة عليها اليوم .

ولا يهتم الجيومورفولوجيين وحدهم بدراسة عصر البلايستوسين ودراسة خصائصه بل يشاركهم في اهتمامهم هذا متخصصون بعلوم اخرى مثل الجيولوجيين والآثاريين والانثروبولوجيين والهيدرولوجيين ... الخ .

الفكـرة التاسـعة :

« لتفهم الاهمية المتباينة لمختلف العمليات الجيومورفولوجية لابد من معرفة لمناخات العالم » .

لا يمكن الفصل بين العمليات الجيومورفولوجية الظاهرية عن العوامل المناخية حيث ان هناك تأثيراً كبيراً للمناخ على تلك العمليات فالتجوية عملية تؤثر في الصخور بعوامل المناخ نفسها كالحرارة والرطوبة والامطار . والرياح هي عامل مناخي ايضاً ، ويرتبط عمل المياه السطحية الجارية ارتباطاً وثيقاً بطبيعة المناخ السائد وكذلك الحال في الثلاجات والمياه الباطنية والامواج . ولذا فمن الضروري ان تكون للباحث الجيومورفولوجي خلفية مناخية خاصة تمكنه من معرفة طبيعة العمليات الجيومورفولوجية السائدة في الاقليم الذي يقوم بدراسته .

غير ان اهتمام الباحث الجيومورفولوجي في المناخ يجب ان يكون متميزاً عن اهتمام المختص بدراسة المناخ له حيث لايهم المختص بعلم الجيومورفولوجيا، على سبيل المثال، بكمية الامطار مثل اهتمامه بطبيعة سقوطها هل ستكون بشكل زخات غزيرة على منطقة صغيرة ولفترات متباعدة ام تكون منتظمة في سقوطها وموزعة توزيعاً منتظماً على طيلة فصل الامطار كما اننا نهتم بمعرفة معدل الحرارة اليومي اكثر من اهتمامنا بدراسة معدلات الحرارة وسيرها السنوى. وكذلك معرفة فيما اذا كانت درجات الحرارة تهبط الى دون درجة الانجماد. ونهتم كذلك بدراسة سرعة الرياح واتجاهاتها. وكذلك اثر تعرض بعض السفوح دون غيرها للاشعاع الشمسي الى غير ذلك من الامور التي لها علاقة وثيقة بكيفية تأثير العمليات الجيومورفولوجية على سطح الارض.

الفكرة العاشرة:

« رغم ان الجيومورفولوجيا تهتم بدراسة مظاهر الارض الحالية الا انها تصل ذروة فائدتها من خلال توسعها التأريخي ».

لقد ظهرت قيمة هذه الفكرة من خلال الاهتمام الحالي بدراسة مايعرف بالمظاهر الجيومورفولوجية القديمة **Paleogeomorphology** والتي تعرف بأنها المظاهر او الاشكال التي لم يعد للعملية الجيومورفية التي كونتها اثر عليها حالياً. وتقسم هذه الى الاشكال المتخلفة والمنكشفة والمطمورة. وتحتاج عملية دراسة مثل هذه الاشكال وخاصة المطمورة منها الى خلفية تقنية خاصة واساليب علمية متطورة للكشف عنها ومعرفتها. وقد ازدات اهمية بذل الجهود في هذه الدراسة بعد ان ظهر ان الكشف عن تلك الاشكال قد يكون له مردودات اقتصادية مهمة للبلد الذي جرت فيه تلك الدراسة. فقد يؤدي الكشف عن وديان الانهار المطمورة بالركامات الجليدية الى امكانية العثور على مكامن جيدة للماء الباطني. كما ان العثور على الحفر البالوعية قد يؤدي الى الوصول الى مخلفات الذوبان التي تكون بشكل معادن كالحديد مثلاً. الى غير ذلك من الامور.

ان الهدف من الجيومورفولوجيا لا يقتصر على وصف الاشكال الارضية وقياس ابعادها وانحداراتها فقط بل انه تعدى ذلك الى ان يساهم الجيومورفولوجي في

تطوير بلاده اقتصادياً ولذا وجد انه بمساعدته في الكشف عن المظاهر المطمورة سيساهم بصورة او بأخرى في هذا الباب (٧).

تضاريس الارض

تبين لنا من خلال دراستنا للافكار الاساسية في علم الجيومورفولوجيا ان ليس من شيء ثابت على سطح الارض غير ان هذا التغيير لا يكون ملحوظاً في كثير من المناطق بسبب بطيء اثر العمليات التي تؤدي الى حدوثه ويعتقد بعض سكان الاقاليم التي يحدث فيها نشاط بركاني او التي يتكرر حدوث الزلازل فيها ان معظم النشاط الارضي يكون بشكل فجائي وبعنف شديد. الا ان الحقيقة ان معظم العمليات الارضية تكون بطيئة جداً فقد استغرق تكوين جبال روكي الحالية فترة تزيد عن ستة ملايين سنة. كما استطاع نهر كلورادو ان يحفر الخانق العظيم Grand Canyon في خلال ملايين عديدة من السنين ولم يكمل عمله الى حد الان. وقد قامت البراكين ببناء مخاريطها وزيادة ارتفاعها خلال ثورات متعددة استغرقت قروناً عديدة وكذلك ظلت الامواج تضرب خطوط السواحل لعصور لا يمكن حسابها.

يؤلف كل من الغلاف الصخري والمحيطات غلافاً تاماً يحيط بالكرة الارضية التي تتفلطح قليلاً عند خط الاستواء وتنبعج عند القطبين حيث يبلغ طول القطر الاستوائي للارض حوالي ١٢٫٧٥٣ كم في حين يقل طول القطر القطبي عنه بحوالي ٤٣٫٥ كم. ويبلغ محيط دائرة الارض عند خط الاستواء حوالي ٤٠٢٢٥ كم (٨).

ولا يكون سطح الارض ناعماً ولكن وعلى الرغم من ضخامة التفاوت بين تضاريس الارض « اي بين اعلى مناطقها فوق مستوى سطح البحر واخفض مناطقها دون مستوى سطح البحر » فأن تلك التضاريس لا يمكن ان تقارن بأي شكل مع حجم الارض العظيم.

---

(7) William D. Thornbury, op. cit., pp. 16-33

وراجع ايضاً وفيق الخشاب، وآخرون، علم الجيومورفولوجيا، مطبعة جامعة الموصل، الموصل ١٩٧٨، ص ٦٣.

وحسن ابو العينين، مصدر سابق، ص ٦٧ — ٨١.

(8) P.G. Worcester, op. cit., p.14

تقسم تضاريس الغلاف الصخري الى ثلاث مجموعات او رتب او درجات هي تضاريس الدرجة الاولى First Order وتشمل القارات واحواض المحيطات وتضاريس الدرجة الثانية Second Order وتضم الجبال والهضاب والسهول. واما تضاريس الدرجة الثالثة Third Order فأنها تشمل التلال والوديان ... الخ وبعبارة اخرى تعني هذه التضاريس انها تلك التي توجد فوق تضاريس الدرجة الثانية على القارات فقط تقريباً.

تضاريس الدرجة الاولى:

تبلغ مساحة الارض حوالي ٥١٠٫٢٣٠٫٠٠٠ كم٢ مربع تحتل المحيطات حوالي ٣٦٥٫١٩٠٫٠٠٠ كم٢ منها. ويوجد في المحيطات الحالية كمية هائلة من المياه التي لم تشغل احواضها فقط بل طغت على الارصفة القارية مغطية مساحة تقدر بـ ٢٥٫٩٠٠٫٠٠٠ كيلو متر مربع منها. اذ تقدر كمية المياه التي توجد في احواض المحيطات بحوالي ١٫٣٧٠٫٠٠٠ مليون كم٣ من المياه (٩). وتحتل احواض المحيطات الاجزاء المنخفضة من الغلاف الصخري اذ يبلغ معدل عمق المحيط العالمي ٣٧٩٠ متراً دون مستوى سطح البحر. ولا يكون قاع المحيط مستوياً او منتظماً اذ تنتشر فوقه كثير من المناطق التي يزيد ارتفاعها عن المستوى العام لعمق القاع مثل الحافات المحيطية الوسطى والتلال والجبال البحرية Sea Mounts التي ترتفع حوالي ١٠٠٠ متر فوق مستوى القاع وقد تزيد عن ذلك احياناً كثيرة. وتوجد في بعض الجهات من قيعان المحيطات مناطق تنخفض كثيراً عن المستوى العام لعمق القاع كما في الخنادق المحيطية (الاغوار) التي يبلغ طول البعض منها عدة الاف من الكيلومترات كما يزيد العمق في البعض منها عن ١٠٠٠٠ متر دون مستوى سطح البحر (١٠).

تمثل القارات الاجزاء المرتفعة من تضاريس الدرجة الاولى على خلاف الاحواض المحيطية التي تمثل الاجزاء المنخفضة منها. وتمثل عادة المناطق التي ترتفع فوق مستوى سطح البحر من الرصيف القاري. ويمكن ان نضم للقارات بموجب هذا التعريف جزراً عديدة مثل تلك التي تقع شمال قارة امريكا الشمالية والجزر

---

(٩) عبدالاله رزوقي كربل، المدخل الى جغرافية البحار والمحيطات، مطبعة جامعة البصرة، البصرة ١٩٨٥، ص ٤٣.

(١٠) نفس المصدر السابق، ص ١٧٠ ــ ١٧٢.

البريطانية. ويتصف سطح القارات بعدم انتظامه على خلاف مايوجد على قيعان المحيطات. وتكون المحيطات اكثر عمقاً من ارتفاع القارات فوق مستوى سطح البحر. فبينما لا يرتفع الا ما مقداره ١١٪ من سطح اليابسة اكثر من ٢٠٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر ينخفض حوالي ٨٤٪ من مساحة قاع المحيط اكثر من ٢٠٠٠ متر دون مستوى سطح البحر في الوقت نفسه يكون ارتفاع اعلى قمة على اليابسة ٨٨٤٠ متر عند افرست بينما سجل عمق مقداره ١١٥٢٤ متر دون مستوى سطح البحر عند خندق ماريانا (١١). كما ان معدل عمق المحيط اعظم بكثير من معدل ارتفاع اليابسة ذلك ان معدل عمق المحيط ٣٧٣٠ متراً وان معدل ارتفاع اليابسة هو ٨٥٠ متراً فقط.

هذا ويرتبط تفسير كيفية تكون تضاريس الدرجة الاولى ارتباطاً كلياً بطريقة تكوين الكرة الارضية نفسها والتي ما مازالت الاراء متضاربه حولها بشكل كبير ونجد ان مجال كتابنا هذا لا يسمح لنا بأن نقوم بشرح تلك الاراء والنظريات مثل فرضية الكويكبات لتشمبرلين ونظرية انفصال القمر ونظرية التقلص التي جاء بها لابورث والعقد النووية للورد كالفن ونظرية الضغط الجوي التي اظهرها سولاس وكذلك نظرية زحزحة القارات لفاجنر ونظرية انتشار قاع المحيط التي قدمها العالم الامريكي هيس (١٢).

ولابد لنا في ختام شرحنا لتضاريس الدرجة الاولى ان نلقي الضوء على طبيعة التركيب الداخلي للارض. اذ يتكون باطن الارض (اللب core) بشكل رئيس من الحديد المختلط مع السيليكون والكبريت وتكون درجة حرارته اكثر من ٥٥٠٠ م°. ويكون الوزن النوعي له حوالي ١٣ بالمقارنة مع ٢ر٨ كمعدل للوزن النوعي لصخور القشرة الارضية. ويعتقد ان اللب يتكون من نطاقين احدهما داخلي والذي يكون نصف قطره حوالي ١٢٥٠ كم ويكون منصهراً او قريباً من حالة الانصهار. ويكون اللب الخارجي النطاق الثاني الذي يحيط بالاول ويبلغ سمكه حوالي ٢٥٠ كم ويكون سائلاً.

يكون نطاق المانتيل Mantle القسم الاعظم من كتلة الارض ويحيط باللب ويبلغ مقدار سمكه ٢٨٠٠ كم، ويتراوح الوزن النوعي لصخور المانتيل الخارجية

---

(11) George L. Pickard, Descriptive Physical Oceanography, Pergamon Press, Oxford, 1975, p.7

(١٢) عبد الاله كربل، مصدر سابق، ص ٤٤ — ٥٨.

بين ٣ ــ ٣ر٥ وتتزايد هذه القيمة الى ٤ر٥ واكثر مع زيادة العمق. ويتصف المانتيل بأنه صلب بالدرجة الاساسية ومن المحتمل انه يتكون من معادن ثقيلة غنية بالمغنيسيوم والحديد، وتتراوح درجات حرارته بين ٦٧٥ ــ ٢٧٥٠ م°. وللقسم العلوي من المانتيل صفة مطاطية تجعله يتغير تبعاً للضغط الخارجي المسلط عليه بصورة بطيئة جداً.

هذا وتكون القشرة Crust الطبقة السطحية للارض وهي غشاء رقيق يتراوح معدل سمكه بين ٢٤ ــ ٣٢ كم في حين يزداد ذلك السمك اسفل القارات فيبلغ بين ٣٠ ــ ٦٥ كم. ويظهر انقطاع واضح في البنية ودرجة البلورية والتركيب الكيمياوي بين القشرة الأرضية وبين طبقة المانتيل الواقعة اسفلها. وتقسم القشرة الارضية نفسها الى طبقتين هما:

١ــ النطاق العلوي غير المتصل الذي ينطابق مع خطوط القارات، ويكون وزنه النوعي ٢ر٦٥ ويعرف بالسيال Sial ويتكون في معظمه من عنصري السليكون والالمنيوم.

٢ــ النطاق الاسفل المتصل الذي ينكشف عند قيعان المحيطات ووزنه النوعي ٣. ويعرف بالسيما Sima الذي يتكون في معظمه من عنصري السيليكون والمغنيسيوم.

يطلق على كل من القشرة الارضية والقسم الاعلى من المانتيل اسم الغلاف الصخري Lithosphere ويتكون من مجموعة من الصخور التي تصل الى اعماق بين ٦٠ ــ ١٠٠ كم. ويقع تحته نطاق الاستينوسفير Astenosphere ذو الصفة المرنة الذي يبلغ سمكه ١٣٠ ــ ١٦٠ كم وبالنظر الى ان الغلاف الصخري يمتد رقيقاً فوق الاستينوسفير فأنه يتأثر ايضاً بخاصية المرونة التي عليها الاستينوسفير فيتغير تبعاً للمتغيرات التي تؤثر عليه (١٣). (شكل رقم ٢).

تضاريس الدرجة الثانية:

يوجد هذا النوع من التضاريس فوق تضاريس الدرجة الاولى على قيعان المحيطات وفوق سطوح القارات مثل الهضاب والسلاسل الجبلية والسهول. وتتصف

(13) Karl W. Butzer, Geomorphology From the Earth, Harper and Row, New York, 1976, pp. 16-18.

انواع التضاريس هذه الموجودة فوق قيعان المحيطات بأنها في العادة اكثر سعة وامتداداً مما عليه فوق القارات. فقد امكن العثور على جبال فوق قيعان المحيطات ويرتفع بعض هذه الجبال الى ما فوق مستوى البحر كثيراً في بعض الحالات. وتعتبر جزر هواي مثالاً جيداً على ذلك فهي تتكون من خمسة جبال بركانية نمت خلال اقل من مليون سنة. وترتفع الجزيرة الى حوالي ٤٠٠٠ متر فوق سطح البحر واكثر من ٩٠٠٠ متر فوق قاع المحيط (١٤).

ومن المفيد ان نذكر هنا ان الهضاب والسلاسل الجبلية تقع في اماكن معينة ضمن مختلف القارات اذ توجد معظم السلاسل الجبلية على مقربة من حواف القارات وتقع كقاعدة عامة على جوانب السلاسل الجبلية او تكون محصورة بينها. وتقع معظم السهول العظمى في داخلية عدد من القارات في الوقت نفسه الذي تمتد فيه على مقربة من سواحلها (١٥).

نستطيع ان نعتبر تضاريس الدرجة الثانية اشكالاً ارضية ناتجة عن عمليات جيومورفولوجية انشائية (بنائية) constructional وهي العمليات الداخلية internal. وتتباين هذه الاشكال في حجومها كثيراً من السهول والسلاسل الجبلية والهضاب الواسعة التي تنتج عن عمليات بنائية كبيرة التأثير كعمليات الالتواء و (الانكسار) الى بعض الكتل الجبلية والتلال الصغيرة التي لا يزيد امتدادها عن عدة كيلومترات امثال الجبال البركانية والقبابية.

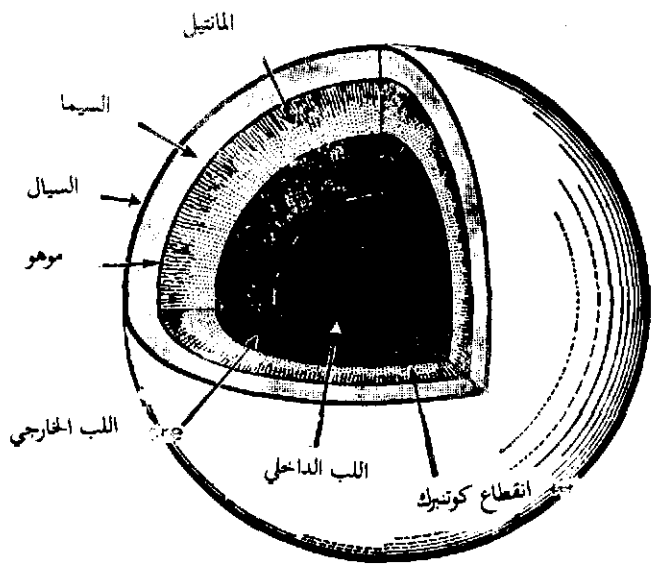
تضاريس الدرجة الثالثة :

نعني بها الاشكال الارضية الناتجة عن عمليات الهدم destructional وهي العمليات الجيومورفية الظاهرية external. وتوجد هذه الاشكال الارضية عادة فوق تضاريس المرتبة او الدرجة الثانية على القارات فقط رغم ان بعض جهات الرصيف القاري والمنحدر القاري فيها بعض المظاهر التي ترجع الى هذه الدرجة. ويعود السبب في ذلك الى ان قيعان المحيطات محمية من التأثير بالعمليات الظاهرية بوساطة الغلاف المائي السميك الذي يوجد فوقها. ان مانراه من تضاريس على

(14) W. Kenneth Hamplin, The Earth's Dynamic Systems, Burgess Publishing Company, Minneapolice, 1975, p. 364.

(15) P. G. Worcester, Op. Cit., p. 23.

سطح القارات اليوم لايتعدى كونه صورة لكل تضاريس الدرجة الثالثة الموجودة فوقها وان غاية ما يقوم به علم الجيومورفولوجي لا يتعدى دراسة تلك التضاريس او الاشكال. والتي تكون في العادة بثلاثة انماط: اشكال تعرية، اشكال متخلفة، اشكال ترسيبية. ولكل عملية جيومورفية ظاهرية، مجموعة خاصة بها من هذه الاشكال كما بينا ذلك فيما سبق من الدراسة. فالانهار على سبيل المثال تكون اشكال تعرية خاصة بها مثل الوديان والخوانق والاخاديد. وتكون اشكالاً متخلفة residual مثل المونادنوك واشكالاً ترسيبية مثل المراوح الطينية والسهول الفيضية والدلتاوات. وينطبق الشيء نفسه على بقية العمليات الجيومورفية الظاهرية كالجليد والامواج والمياه الباطنية والرياح وعامل الجو.



شكل ــ ٢ ــ

التركيب الداخلي للكرة الارضية

الفصل الثاني

الصخور

من الضروري جداً معرفة بعض الشيء عن تكوين وبنية الغلاف الصخري حتى نستطيع ان نتفهم طريقة تكون التضاريس والاشكال الارضية المختلفة.

ان معلوماتنا ماتزال قليلة عن الغلاف الصخري من خلال الدراسة المباشرة له. فمن المعلوم ان الانسان يعرف الشيء الكثير عن المعادن والصخور التي يتمكن من الاتصال بها غير ان هذه لاتؤلف الا جزءاً ضئيلاً من مواد الارض. وقد وجد العلماء بعض الاثار فوق قمة افرست تدل على ان هذه المنطقة كانت في وقت من الاوقات دون مستوى سطح البحر. وقامت بعض العمليات الجيولوجية بكشف طبقات سميكة من الغلاف الصخري للعيان وامكن بذلك دراستها كما هو الحال في منطقة الخانق العظيم لنهر كلورادو في الولايات المتحدة. وكذلك امكن من خلال المناجم العميقة ان نتعرف على جوانب اخرى من مكونات الغلاف الصخري كما في افريقيا الجنوبية حيث يزيد عمق بعض المناجم عن ٢٨٩٥ متر. ويزيد عمق بعض آبار البترول عن ٤٥٧٠ متراً. ويمكن التعرف بوساطة فحص مخلفات الحفر في تلك الابار على طبيعة الصخور في تلك الاعماق. وقد امكن الوصول في الاتحاد السوفياتي الى عمق يقرب من ١٠٠٠٠ متر. غير ان ما انكشف من صخور للانسان لايمكن مقارنته بنصف قطر الارض الذي يبلغ حوالي ٦٤٣٦ كيلو متر.

تتكون القشرة الارضية من تنوع كبير للصخور ولا يسير هذا التنوع على وتيرة واحدة اذ يسود نوع من الصخور في منطقة ما ويحتل مئات بل الافاً من الكيلومترات المكعبة من القشرة الارضية في حين لايحتل قسم آخر الا جزءاً قليلاً. وتتباين انماط الصخور في مناطق اخرى كثيراً حيث انها تحتل مساحات صغيرة وتشغل حجوماً قليلة من القشرة.

تتكون الصخور من معادن minerals. وتعرف المعادن بدورها على انها وجود طبيعي لمواد غير عضوية تكون تركيباً كيمياوياً خاصاً كما ان لها تركيباً ذرياً خاصاً. وتعتبر المعادن من الناحية الكيماوية بانها كلها عبارة عن مركبات compounds ويكون معظمها بلورياً. والبلورات crystals عبارة عن اشكال هندسية صلبة تكون حدود أوجهها متطابقة مع البلورات الاخرى المكونة لنفس المعدن. وتتكون المعادن عادة عن اتحاد البعض العناصر elements مع بعضها الآخر. فعلى سبيل المثال يتكون معدن الكالسايت calcite من اتحاد عناصر الكالسيوم والكاربون والاوكسجين ويتكون معدن الدولومايت dolomite من اتحاد عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم والكاربون والاوكسجين. ويبلغ عدد المعادن المعروفة حالياً في حدود ٢٠٠٠ معدن غير ان حوالي ٢٤ منها يكون القسم الاعظم من صخور القشرة الارضية (١). ومن اكثر المعادن شيوعاً في صخور القشرة الارضية مجموعة معادن السليكات التي توجد في الصخور النارية عادة وهي عبارة عن مركبات تتكون من اتحاد عنصري السيليكون والاوكسجين مع عنصر او اكثر من العناصر الفلزية. ويعتبر معدن الكوارتز من بين اكثر معادن السيليكات شيوعاً في الصخور.

يضم الغلاف الصخري كافة العناصر التي عرفت الى حد الآن فيما عدا بعض العناصر الغازية غير انه ومن الجدول رقم ١ يتضح لنا ان عدداً صغيراً من العناصر يؤلف القسم الاعظم من صخور القشرة الارضية. وبذلك لاتساهم العناصر جميعاً في تكوين الصخور بنسبة واحدة حيث يساهم الاوكسجين لوحده بـ ٦ر٤٦٪ من نسبة وزن صخور القشرة الارضية ويساهم ايضاً في حدود ٧٧ر٩٣٪ من حجم صخورها (٢).

---

(1) William L. Donn, the Earth : Our Physical EnviromentJohn Wiley, New York, p. 108

(2) Ibid, p. 104

جدول رقم — ١ —

العناصر الرئيسة المكونة للقشرة الارضية

العنصر	رمزه الكيمياوي	نسبة الوزن المئوية	نسبة حجمه المئوية
الاوكسجين	O	٤٦ر٦	٩٣ر٧٧
السيليكون	Si	٢٧ر٧	٠ر٨٦
الالمنيوم	Al	٨ر١	٠ر٤٧
الحديد	Fe	٥	٠ر٤٣
الكالسيوم	Ca	٣ر٦	١ر٠٣
الصوديوم	Na	٢ر٨	١ر٣٢
البوتاسيوم	K	٢ر٦	١ر٨٣
المغنيسيوم	Mg	٢ر١	٠ر٢١

المصدر :

Arthur N. Strahler, Physical Geography, John Wiley, New York, 1975, p.365

و William L.Donn. Op. Cit.,p.104

تنشأ غالبية الصخور الارضية من تجمع للمعادن سواء كانت كانت لنفس الفصيلة المعدنية او لمعادن مختلفة حيث تعرف الاولى بالصخور المتجانسة المعادن homogenous وتعرف الثانية بالصخور المتناقضة المعادن hetrogenous . ولهذا التركيب دوره في مقدار تأثر الصخور بعمليات التجوية المختلفة كما سيرد ذلك لاحقاً .

انواع الصخور :

يتفق كل المهتمين بعلم الصخور على انها تقسم الى ثلاثة انواع هي الصخور النارية Igneous والرسوبية Sedimentary والصخور المتحولة

جدول رقم (٢)
بعض انواع الصخور الرئيسة وخصائصها العامة

اسم الصخور	درجة مقاومتها
اولاً: الصخور النارية	
البازلت	صخور مقاومة بصورة عامة الا اذا كانت محملة بمعدن الاولفين حيث تنتشر حالا .
الاندسايت	مقاوم
الربولايت	مقاوم في العادة غير انه يتحلل احياناً
الجابرو	شديد المقاومة الا في حالة وجود مفاصل كثيرة فيه وعندما يحتوي على معدن الاولفين
الينايت	شبيه بالجابرو ولكنه عندما يفقد الكوارتز يكون ضعيفاً
الكرانيت	مقاوم في العادة ولكنه يتحطم حالا في المناطق الجافة
ثانياً: الصخور الرسوبية	
الطينية	صخور ضعيفة
صخور الطفل	ضعيفة في العادة
المارل	ضعيفة جداً
الحجر الجيري	ضعيفة في الاقاليم الرطبة ومقاوم في المناطق الجافة
الرمل	ضعيف في الاغلب
الحجر الرملي	مقاوم اذا كانت درجة تماسكه عالية
الحصى	مقاومته متوسطة بسبب نفاذيته
المجمعات	مقاومة بشكل كبير
ثالثاً: الصخور المتحولة	
الاردواز	ضعيف ولكنه اشد مقاومة من الحجر الجيري
الرخام	ضعيف المقاومة
الكوارتز	شديد المقاومة ومن المحتمل ان يكون اشد الصخور مقاومة
النايس	شديد المقاومة
الشست	شديد المقاومة

المصدر :

A.K. Lobeck, Geomorphology, Mc-Graw Hill, New Yprk, 1939,p.40

Metamorphic . ويضيف بعض الباحثين نوعا رابعاً من الصخور التي تضم بعض خصائص النوعين الاولين مثل الرماد البركاني ذي الاصل الناري والطبيعة الرسوبية وتعرف هذه المجموعة من الصخور بـ Pyroclastic . ويبين الجدول رقم (٢) الانواع الرئيسية التي تنقسم اليها تلك المجموعات الثلاث ودرجة مقاومتها لعمليات التعرية المختلفة .

اولاً : الصخور النارية The Igneous Rocks

تعني الصخور النارية من اسمها انها تلك التي تكونت من خلال تصلب مواد منصهرة . ويطلق على هذه الصخور احياناً اسم الصخور الاولية primary ذلك لانها الصخور التي اشتقت منها بقية الانواع الاخرى من الصخور بصورة مباشرة او بصورة غير مباشرة . ويمكن ان تكون صفة الصخور الاولية اكثر وضوحاً اذا سلمنا بفكرة ان الارض قد مرت في فترة من فترات تكونها في حالة انصهار كما تقول بعض الفرضيات التي تفسر كيفية نشوء الكرة الارضية . ويعني ذلك ان القشرة الارضية المنصهرة تحولت كلياً الى صخور نارية عند تبردها . غير ان هذا التصور غير مقبول رغم انتشاره في اوساط الجيولوجيين (٣) . هذا وتؤلف الصخور النارية حوالي اربعة اخماس صخور القشرة الارضية في الوقت الحاضر (٤) .

ورغم ان الصخور النارية هي اقدم انواع الصخور على سطح الارض فإن قسم منها يمكن ان يعتبر أحدثها تكوناً على الارض وذلك لان الثورات البركانية ماتزال مستمرة وتزود الارض بالمزيد من الصخور النارية . ويعتقد بوجود حوالي ٥١٦ بركان نشط على سطح الارض في الوقت الحاضر علماً بان البركان يعتبر نشطاً اذا كانت اخر ثورة له قد حصلت خلال البلايستوسين او الفترة التي جاءت بعده .

للصخور النارية خصائص معينة يمكن حصرها بالنقاط التالية :

١ــ تسود فيها صفة البلورية اذ يكون نسيجها بلورياً لان هذه الصخور سبق وان مرت في فترة تكونها بحالة الانصهار ثم التبرد بعد ذلك .

---

(3) P.G. Worcester, Op. Cit., p.54.

(4) Encyclopaedia Britanica, Vol., 9.p.201

٢ــ لاتحتوي على المتحجرات وذلك لانها لاتسمح بقيام اي نوع من انواع الحياة فوقها خلال فترة تكونها نتيجة لدرجة حرارتها العالية اثناء تكونها .
٣ــ لاتظهر فيها صفة الطباقية حيث انها تأخذ الوضعية التي كانت عليها لحظة تحولها من صهير magma الى صخور نارية . ويشذ عن هذه القاعدة الرماد البركاني الذي قد تظهر فيه هذه الصفة عند ترسبه داخل اجسام مائية .

تصنيف الصخور النارية :

تصنف الصخور النارية تبعاً لتكوينها المعدني ونسيجها وحجم حبيباتها ومنطقة وجودها بالنسبة الى سطح الارض . وبالنظر لاعتماد هذه الخصائص على عملية تكوين الصهير وعلى عمليات تبرده لذلك من الضروري معرفة التاريخ الجيولوجي للمنطقة عند محاولة دراسة انواع الصخور النارية .

تقسم الصخور النارية الى مجموعتين رئيسيتين كبيرتين تحتوي احداها على كميات كبيرة من الكوارتز اضافة الى معدن الارثوكليس والالبايت (فلدسبار) ويكثر وجود عنصري السيليكون والالمنيوم في هذه المجموعة الباهتة اللون من المعادن . ويطلق على هذه المجموعة من الصخور النارية اسم مجموعة الصخور السيالية ويعتبر الكرانيت اهم امثلتها .

تتكون المجموعة الرئيسة الاخرى من الصخور النارية من معادن مثل الايوكايت Augite والاولفين Olivine ومن معادن اخرى ذوات الوان داكنة وغنية بعنصري المغنيسيوم والحديد . ويطلق على مجموعة الصخور النارية هذه اسم صخور mafic ويعتبر البازلت اشهرها . وقد ادى استخراج العينات من قاع المحيط والتي اظهرت قشرته الصخرية ان معظم صخور هذه القشرة تتكون من البازلت الذي يتراوح لونه بين الداكن الى الاسود . ويخرج البازلت ايضاً مع الحمم البركانية فوق القارات والتي تأتي من مصادر بعيدة . كما في هضبتي كولومبيا في الولايات المتحدة وهضبة الدكن في الهند (٥) .

في اعتقادنا ان التصنيف الذي يعتمد على الموقع الاصلي لتكون الصخور اكثر انواع التصانيف قيمة ووضوحاً من وجهة نظر الجيومورفوجيا للاسباب :

---

(5) W. Donn, Op. Cit.,P.127

١ــ ينعكس اثر موقع وجود الصخور الاصلي على درجة تبلورها وخصائصها الفيزيائية والكيمياوية الاخرى.

٢ــ تلعب الطريقة التي توجد فيها الصخور النارية دوراً مهماً في تحديد نوعية التضاريس التي تنشأ عنها وهو امر مهم جداً في علم الجيومورفولوجيا.

لذلك تقسم الصخور النارية اعتماداً على موقع وجودها الاصلي الى :

الصخور النارية المتداخلة (الصخور الباطنية) Intrusive Rocks

تضم كافة الصخور النارية التي تكونت من تصلب المواد المنصهرة التي اندفعت خلال تكوينات القشرة الارضية الاخرى. ويتقرر شكل التداخل هذا من خلال عاملين هما مقدار درجة سيولة الصهير magma وكذلك طبيعة التكوين الصخري الذي يندفع فيه ذلك الصهير. وتعتمد درجة سيولة الصهير على مقدار درجة حرارته وكذلك على تركيبه الكيمياوي. اما طبيعة التكوين الصخري فله علاقة بوضع الصخور ومقدار تعرضها للحركات الارضية المختلفة. ويطلق على الصخور النارية الباطنية اسم الصخور البلوتونية Plutonic (٦). تتصف الصخور النارية الباطنية بانها ذوات درجات تبلور عالية بصورة عامة نظراً الى انها تبردت بشكل بطيء لعدم ملامستها لسطح الارض او الغلاف الغازي او المائي. وكلما كان موقع تصلب الصهير في مكان ابعد عن سطح الارض كلما زادت الفترة التي يحتاجها لكي يتبرد وكذلك بسبب الضغط المستقر الكبير المسلط عليه. وقد عملت عوامل التعرية والحركات الارضية على كشف اجزاء كبيرة من الصخور النارية الباطنية. فقد ادى تعرض مناطق تلك الصخور لحركات الرفع الى شدة تأثرها بعمليات التعرية وبالتالي الى انكشافها، كما في بعض المناطق التي تعرضت للتعرية الشديدة من السلاسل الجبلية مثل سلسلة سيرانيفادا في كاليفورنيا واجزاء واسعة من الانديز. وتؤلف الصخور المتداخلة حوالي نصف مساحة مناطق الدروع القديمة على كل القارات تقريباً (٧).

هذا وتوجد الصخور النارية الباطنية بالاوضاع التالية :

---

(٦) علي عبد الكريم علي، علم الجغرافية الطبيعية، دار الطباعة الحديثة، البصرة، ١٩٦٩ ص ٢٤٥.

(7) Encyclopaedia Britanica, Op. Cit., p. 217.

١ ـ الباثوليث Batholith

عبارة عن كتلة من صخور نارية ذات حجم كبير تحتل مساحة تقدر بعدة الاف من الكيلومترات المربعة احياناً. فباثوليت كولومبيا البريطانية يمتد لمسافة ١٩٣٠ كم طولاً وبعرض يقدر بحوالي ٢٤٠ كيلو متر. ويرتبط وجود الباثوليت احياناً مع محاور الالتواءات الكبرى في القشرة الارضية. يتصف السطح العلوي للباثوليت بانه غير منتظم حيث تظهر فيه النتوءات الصخرية المندفعة بعيداً عن كتلة الباثوليت نفسه غير ان معرفتنا ماتزال غير واضحة عن وضعية القسم الاسفل من الباثوليث. ولذلك نجد انه يترك مفتوحاً عادة في المقاطع الجيولوجية التي ترسم عنه (شكل رقم ٣). وبالنظر الى عظمة المساحة التي يحتلها الباثوليث فان يكون محاطاً عادة بانواع مختلفة من الصخور حيث تحيط به صخور نارية قديمة ومتحولة ورسوبية. وتنشأ تضاريس قد يزيد ارتفاعها عن عدة مئات من الامتار عندما تستطيع عوامل التعرية ان تزيل كل الطبقات الصخرية التي تغطي الباثوليث. وتجدر الاشارة هنا الى ان الباثوليث الذي يكون صغير الحجم بحيث تقل مساحته عن ١٠٠ كم^2 يسمى الستوك Stock او البوس Boss (٨). ولايرتبط وجود هذه الاشكال كما في الباثوليث ببنية صخرية معينة. وتتحول عند انكشافها بعمليات التعرية الى اشكال ارضية ذوات جوانب شديدة الانحدار تقترب من الحالة العمودية.

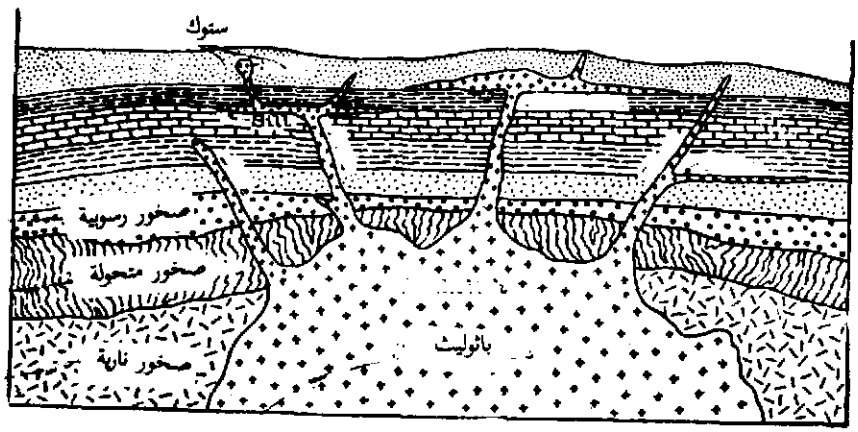
٢ ـ اللاكوليث Laccolith

وهي كتل صخرية نارية كبيرة الحجم كانت في الاصل صهيراً اندفع خلال طبقات صخرية رسوبية. وكانت قوة الاندفاع ليست بدرجة تكفي الى خروج الصهير فوق سطح الارض بشكل ثورة بركانية بل اقتصر الامر على تحدب بعض الطبقات الصخرية من خلال تغلغل واندفاع الصهير بينها. ويتصف اللاكوليث في انه لايوجد الا ضمن تكوينات صخرية رسوبية طباقية. كما ويتصف قسمه الاسفل بانه يميل الى الاستواء او يكون مائلاً بدرجة مشابهة لدرجة ميل الطبقات الصخرية الاصلي في حين يكون سطحه العلوي محدباً ويكون شكله عدسياً يتغذى من اسفله من مجرى واحد. وهناك انواع عديدة من اللاكوليث هي البسيط والمركب (شكل

---

(٨) سهل السنوي واخرون، الجيولوجيا العامة، مطبعة كلية العلوم، بغداد، ١٩٧٩، ص ١٠٦.

رقم ٤) ولاكوليث شجرة الارز Ceader الذي يتكون من تعاقب دفعات الصهير بين الطبقات الصخرية الامر الذي ينتج عنه سلسلة من اللاكوليث يعلو احداها الاخر (٩).



شكل ــ ٣ ــ
الباثوليت والاشكال الاخرى المرتبطة به

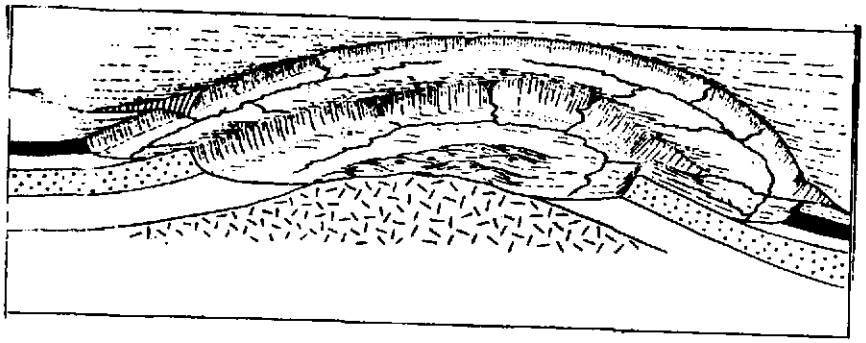
ينكشف القسم الاعلى من اللاكوليث بعد قيام عمليات التعرية بازالة مايغطيه من تكوينات صخرية ويكون عادة بشكل قبة dome ذات مركز يتكون من صخر ناري متبلور تحيط بها من جوانبها السفلى بقايا الطبقات الصخرية الرسوبية الاقل صلابة. ويتصف التصريف النهري المرتبط بهذا النوع من القباب بانه من نوع التصريف النهري المدور annular خاصة ان كانت تلك القباب في مرحلة النضج (شكل رقم ٥)

٣ ــ اللوبوليث Lopolith

اجسام صخرية نارية صفائحية او عدسية كبيرة. يتقعر كل سطحها نحو الاسفل ويحدث ذلك نتيجة لتعرض الطبقات والتكوينات الواقعة اسفلها للانخفاض من جراء ثقل الصهير الذي اندفع خلالها من خلال انبوب تغذية واحد احياناً.

(9) B.W. Sparks, Rocks and Relief, Longman, London 1971, p. 69

شكل – ٤ –
انواع من اللاكوليث



شكل ــ ٥ ــ

قبة ذات مركز ناري عليها تصريف نهري مدور

وتكون معظم الصخور النارية التي توجد في اللوبوليثات من نوع الصخور القاعدية (١٠) (شكل رقم ٦) واكبر لوبوليث في العالم هو Bushveld Complex الذي يحتل مساحة تقدر بحوالي ٥٥٠٠٠ كم٢ من ترانسفال ويصل سمكه الى حوالي ٨ كم (١١).

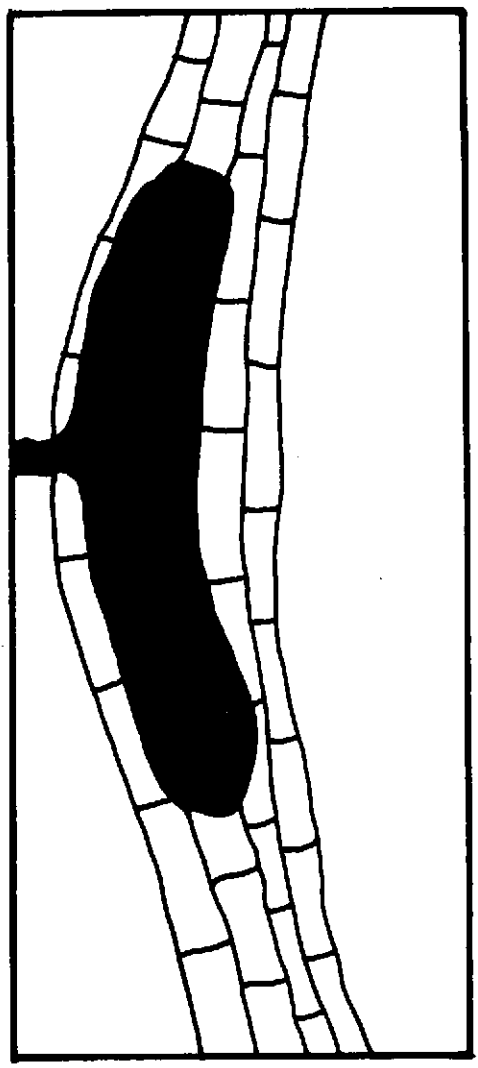
٤ ــ السدود الافقية : Sill or Sheet

كتل من الصخور النارية الباطنية تشبه الطبقات اندفعت بين طبقات الصخور الرسوبية او المتحولة. ويطلق على السميكة منها اسم Sill والرقيقة اسم Sheet (شكل رقم ٧). ويزيد سمك الاولى منها على عدة مئات من الامتار في بعض الحالات وتمتد الى كيلومترات عديدة. وتتداخل السدود الافقية مع تكوينات صخرية افقية الامتداد او حتى مائلة بدرجة من الدرجات وتؤدي الحركات الارضية الى تغيير وضعية السدود بالطريقة نفسها التي تؤثر فيها على الصخور الاخرى المتداخلة معها. وتقوم عملية التعرية بكشف السدود الافقية عندما تزيل الصخور التي تغطيها فيظهر آنذاك تأثيرها على التضاريس الموجودة في المنطقة اذ انها تحمي ما يقع تحتها من تكوينات صخرية من ان تتأثر بالتعرية بالسرعة نفسها التي تتأثر بها

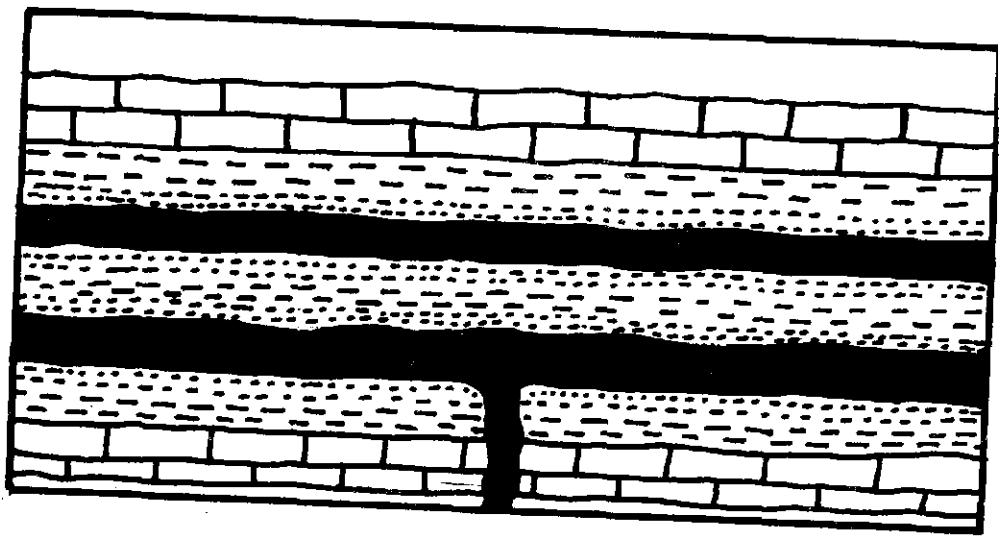
---

(١٠) سهل السنوي، مصدر سابق ص ١٠٦

(11) B.W. Sparks, Op. Cit., p. 69.



شكل – ٦ –
اللوبيا



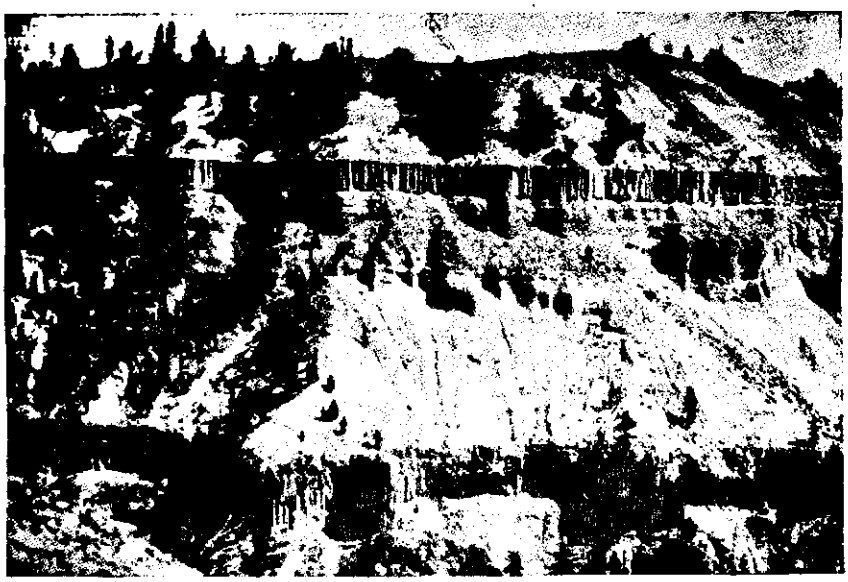
شكل ــ ٧ ــ

سدود افقية Sheet or Sills

المناطق المجاورة غير المغطاة بها. وتنكشف السدود الافقية عند جوانب بعض الوديان النهرية حيث تزداد عليها درجة الانحدار بسبب شدة مقاومتها لعمليات التعرية النهرية والعمليات الاخرى (شكل رقم ٨).

٥ ــ السدود العمودية Dikes او Dykes

تختلف السدود العمودية عن الافقية في انها ذوات امتدادات عمودية او قريبة من العمودية كما يمكن لها ان تخترق انواعاً متعددة من الصخور الاخرى. (شكل رقم ٩). وتتباين السدود العمودية في حجمها من صغيرة في حالة العروق veins الى ان يزيد اتساعها عن عدة مئات من الامتار ويصل طولها الى عدة كيلو مترات. وتمتلىء العروق بمواد تاتي اليها من اجسام صخرية نارية مجاورة كبيرة. ويرتبط وجود السدود هذه في العادة بالمناطق التي حصل فيها اندفاع كبير للصخور الباطنية وكذلك في المناطق التي توجد فيها حركات للقشرة الارضية بنطاق واسع. ومن اشهر السدود العمودية السد الكبير Great Dike في زامبابوي الذي يبلغ طوله حوالي



شكل ــ ٨ ــ

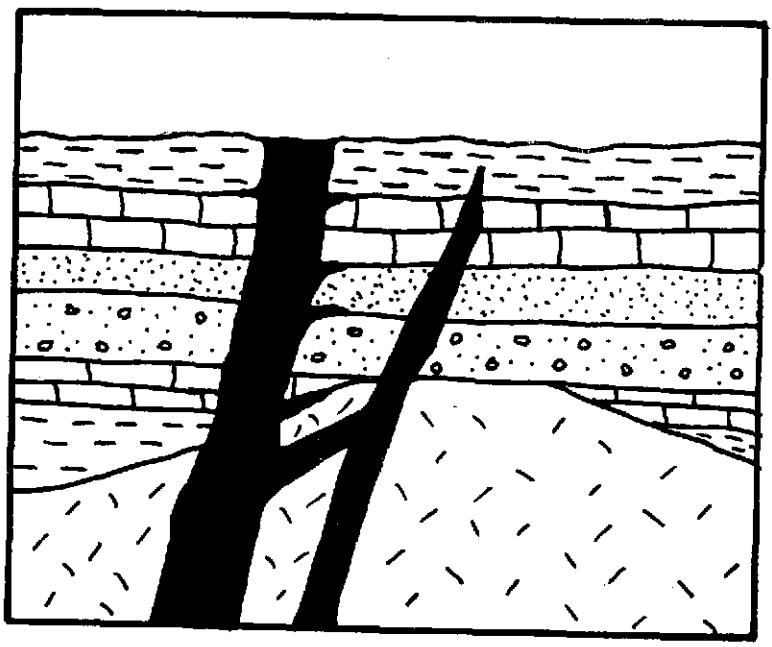
سد افقي منكشف على احد جوانب الوديان النهرية

٤٨٠ كم واتساعه حوالي ٨ كم (١٢). وتنكشف السدود العمودية بوساطة عوامل التعرية فتظهر بشكل جدران صخرية صلبة شديدة الانحدار تحيط بها مناطق منخفضة تمثل التكوينات الصخرية اللينة الاخرى التي كانت تحيط بذلك السد (شكل رقم ١٠)

٦ ــ الاعناق البركانية Volcanic Necks

نوع آخر من الصخور النارية الباطنية. وتمثل كتل الصهير التي كانت تملأ المداخن البركانية او الممرات التي كانت الحمم البركانية تخرج منها عند الثورة البركانية، حيث يتبرد فيها ذلك الصهير بصورة بطيئة ويتصلب فيها. وتقوم عوامل التعرية بازالة قسم كبير من مكونات المخروط البركاني الذي يحيط بها وذلك لان مواده ليست متماسكة وبذلك تنكشف لنا التكوينات النارية الباطنية بشكل اسطواني او دائري، وتعرف باسم الاعناق البركانية، وتعرف احياناً باسم السدادات plugs.

(12) Brian Simpson, Rocks and Minerals, Pergamon Press, Oxford, 1969, p. 87.



شكل ــ ٩ ــ

سد عمودي

(شكل رقم ١١) . وتعتبر الاعناق البركانية الموجودة في اقليم Auvergne في فرنسا واحدة من اهم مجاميع الاعناق البركانية في العالم (١٣) .

٧ ــ الفاكوليث Phacolith

تحتل قمم الالتواءات عادة ويمثل هو نفسه درجة تقوس الطبقة الصخرية التي يوجد فيها (شكل رقم ١٢) .

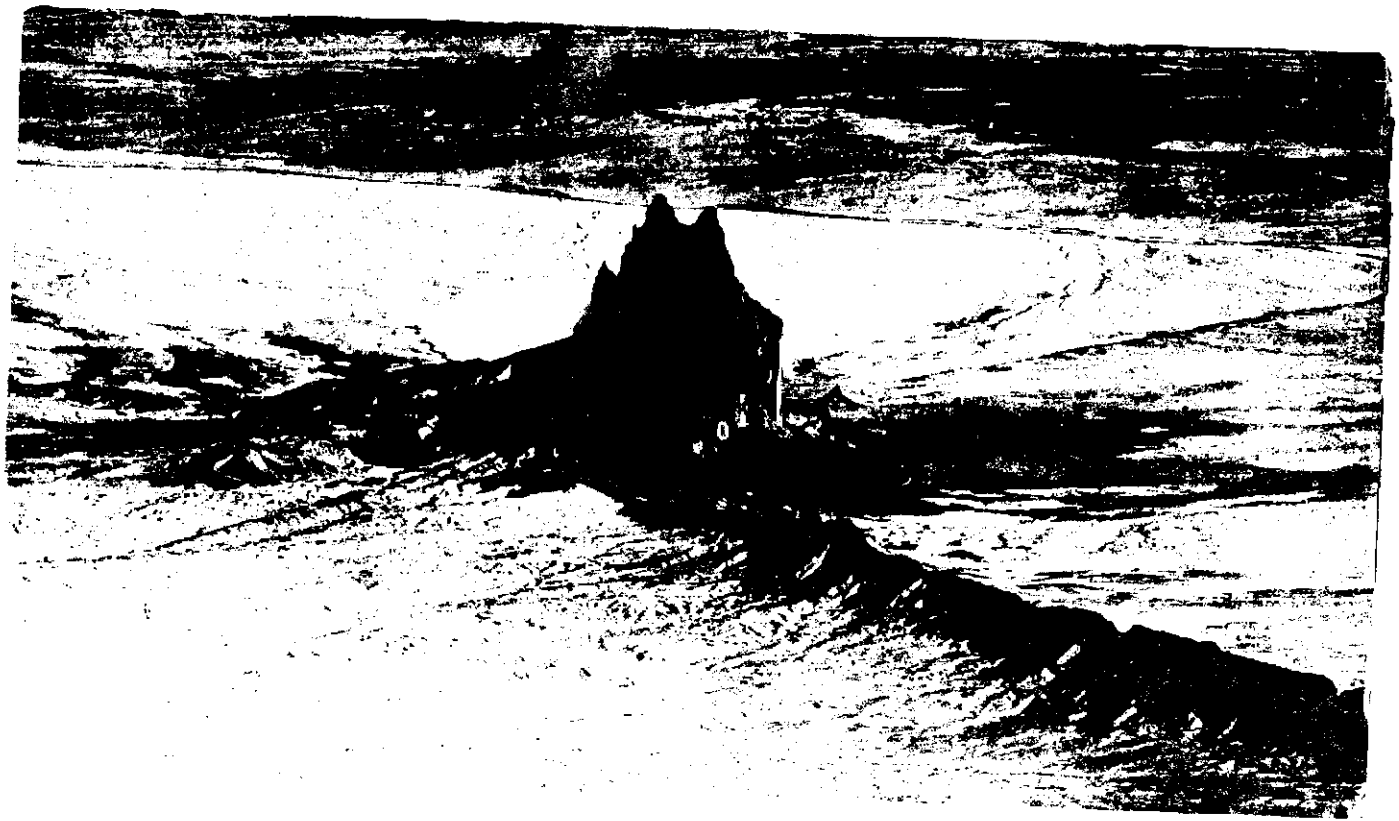
ثانياً : الصخور النارية الظاهرية : Extrusive Rocks

تضم الصخور النارية الظاهرية كل المواد التي تخرج الى سطح الارض من الفوهات البركانية على مواقع فوق القارات او على قيعان المحيطات . وتتبرد هذه المواد حال خروجها وبسرعة مكونة تضاريس مختلفة . وتتصف هذه المجموعة من الصخور

(13) Brian Simpson, Op. Cit, p. 89

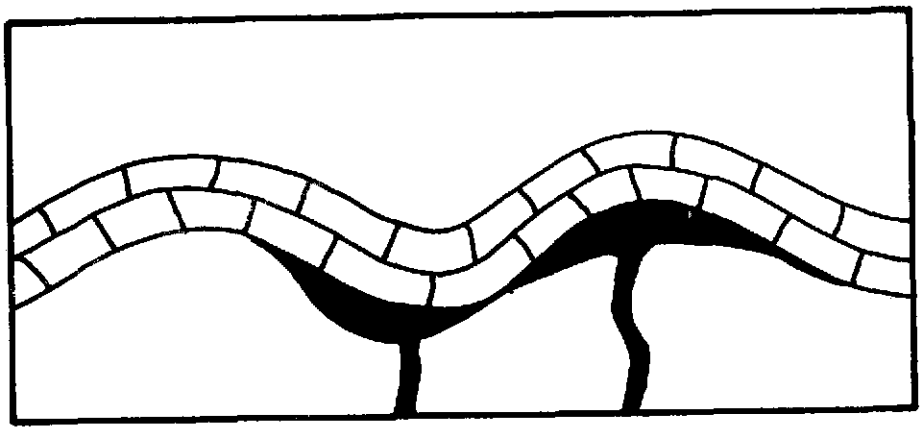
شكل ــ ١٠ ــ

سد عمودي منكشف بسبب تعرض منطقته الى عمليات التعرية



شكل ــ ١١ ــ

عنق بركاني لاحظ وجود سد عمودي منكشف بعد تعرضه الى التعرية



شكل ــ ١٢ ــ
الفاكوليث

النارية بان درجة بلورتها واطئة حيث انها تتكون من بلورات صغيرة لايمكن رؤيتها الا بالميكروسكوب ولذلك تطغي عليها صفة الزجاجية وقد جاءت لها هذه الصفة من جراء تبردها السريع الناتج عن ملامستها لسطح الارض او الغلاف الجوي .

يعتمد شكل تكدس الحمم البركانية ، التي تكون المادة الاساسية للصخور النارية الظاهرية ، على التركيب الكيمياوي للصهير magma وكذلك على شكل الفوهة التي تندفع منها تلك الحمم والمقذوفات البركانية وعلى مقدار شدة الثورة البركانية نفسها . وتنقسم الحمم البركانية (اللافا Lava) الى عدة انواع حسب نسبة وجود السليكا فيها وكقاعدة عامة تطلق صفة الحامضية عليها ان كانت غنية بالسيلكا ولكنها تكون قاعدية ان كانت وفيرة باكاسيد الفلزات . ويمكن تقسيم الصخور النارية حسب نسبة وجود ثاني اوكسيد السيلكون (السيلكا) فيها الى :

١ــ صخور فوق القاعدية وتقل فيها نسبة السيلكا عن ٤٥٪ من وزنها .
٢ــ صخور نارية قاعدية Basic تتراوح نسبة السيلكا فيها بين ٤٥ ــ ٥٢٪ من وزنها .
٣ــ صخور متوسطة تتراوح نسبة السيلكا فيها بين ٥٢ ــ ٦٥٪ من الوزن .
٤ــ صخور حامضية Acidic وتبلغ نسبة ثاني اوكسيد السيلكون فيها (السيلكا) بين ٦٥ ــ ٧٥٪ من وزنها .

٥ــ صخور فوق الحامضية . تزيد نسبة السيلكا فيها عن ٧٥٪ (١٤) .

تتصف الحمم الحامضية بدرجة لزوجتها العالية وكونها سميكة القوام ولذلك تكون الاشكال التضاريسية الناتجة عنها مرتفعة عادة لانها تتصلب بسرعة ولاتجري بعيداً عن الفوهة البركانية . وكلما زادت درجة قاعدية الحمم البركانية كلما انسابت عند خروجها الى مسافة ابعد عن الفوهة البركانية لانها تكون خفيفة القوام عادة . اضافة الى انها لاتتصلب بسرعة ولذا تتميز الاشكال الجيومورفية الناتجة عنها بقلة ارتفاعاتها وسعة المساحات التي تشغلها مثل الهضاب والسهول البركانية والدروع . ويخرج معظم هذا النوع من الحمم اثناء ثورات شقوق واسعة . ويمكن اعتبار ثورة الشق fissure لاكي Laki في ايسلندا الذي حدثت في عام ١٧٩٣ من هذا النوع حيث ابتعدت الحمم الى مسافة ٦٥ كم من منطقة الشق نفسها . ويحدث احياناً ان تخرج هذه الحمم اثناء بعض ثورات البراكين المركزية كما في حالة بركان Nymlayira في افريقيا الوسطى في سنة ١٩٣٨ حيث ظلت الحمم تخرج منه لمدة اكثر من عامين وغطت مساحة قدرها ٦٥ كم مربعاً بمواد بازلتية يبلغ حجمها حوالي ٣٨٢,٠٠٠ متراً مكعباً (١٥) .

هذا ويطلق على الحمم التي تخرج من الفوهات البركانية المختلفة وتسيل فوق سطح الارض اسم الطفوح البركانية Lava Flow . وهي في الاصل الصهير البركاني magma الذي تتراوح حرارته بين ٥٠٠ ــ ١٣٠٠م . وتتشكل المواد في الاغلب من تسعة عناصر هي الاوكسجين والسيلكون والالمنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والتيتانيوم . وتمثل هذه حوالي ٩٩٪ من الصهير اما بقية العناصر وعددها ٨٣ فانها تؤلف الباقي (١٦) .

يزداد ارتفاع الاشكال الناجمة عن خروج الطفوح البركانية من جراء تكرار حدوثها لمرات عديدة وتغطي تلك الطفوح مساحات واسعة ويبلغ سمكها عدة مئات من الامتار احياناً . ويأخذ سطحها الشكل الذي كان عليه لحظة انتقاله من الحالة السائلة (الحمم) الى الحالة الصلبة (الصخور النارية) وغالباً مايكون مستوياً او مبروماً (ويعرف انذاك باسم pahoehoe (١٧) (شكل رقم ١٣) و (شكل رقم ١٤) .

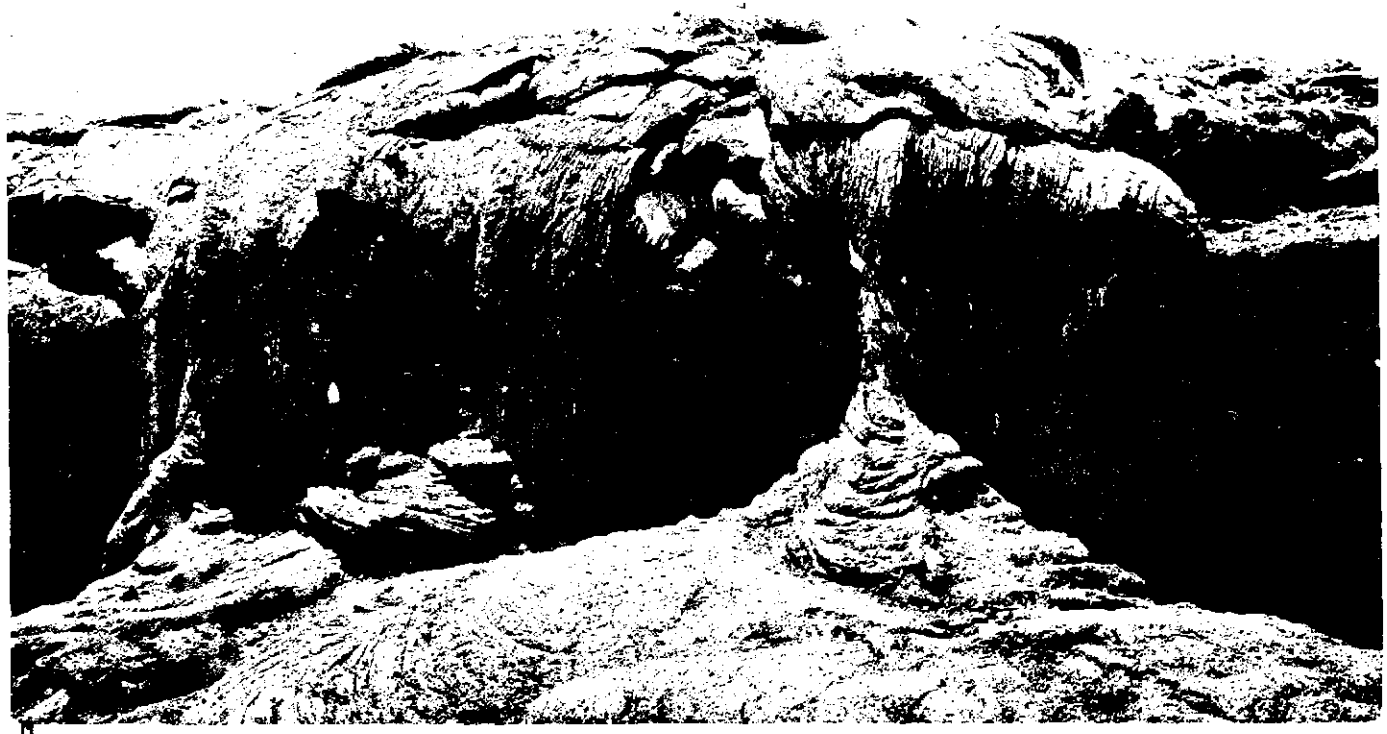
---

(١٤) علي عبد الكريم ، مصدر سابق ص ٢٤٤

(15) Brian Simpsen, Op. Cit., p. 84

(16) Anthony C. Tennissen, Nature of Earth Materials, Prentice-Hall, Engleood, 1974, p. 211

(17) B.W.Sparks, Op. Cit., p.69



شكل ــ ١٣ ــ

جمل بركانية اخذت الوضع الذي كانت عليه عند تصلبها وتحولها الى صخور نارية

شكل ــ ١٤ ــ

صخور نارية مبرومة السطح (Pahoehoe)

تعتبر هضبة الدكن واحدة من بين اكبر الطفوح البركانية في العالم. وكذلك الحال في هضبة الحبشة وجنوب البرازيل وهضبة كولومبيا في القسم الشمالي الغربي من الولايات المتحدة. لقد استمرت الطفوح بالتراكم فوق هضبة كولومبيا لفترة طويلة وعلى مساحة تقرب من ٣٨٦,٠٠٠ كم٢ وبسمك يبلغ معدله حوالي ٨٠٠ متر حيث ملئت الووديان ودفنت السلاسل الجبلية وبقيت بعض الجبال المرتفعة بمثابة جزر فوق سطح سهل بركاني مستو الى حد كبير (١٨).

يوجد حطام الصخور النارية الناتج عن الانفجارات البركانية العنيفة باشكال عديدة وباحجام مختلفة. وتتصف القطع الكبيرة منها بانها مثقبة بسبب تجمع وهروب الغازات منها خلال عملية تصلبها. ويطلق على الصخور الكبيرة اسم القنابل البركانية وعلى الصغيرة منها اسم Lapilli كما ويطلق اسم الرماد البركاني ash او الغبار البركاني على المواد ذوات الذرات الدقيقة جداً، ويكون الرماد البركاني عندما يتجمع على سطح الارض او يترسب في داخل المحيطات طبقات من الرواسب التي تتماسك بعد ذلك لتعرف باسم Tuff (١٩). وتتكون صخور المجمعات البركانية او البريشيا breccia من اختلاط الحمم البركانية الحديثة الخروج مع بعض مكونات المخروط البركاني الذي تحطم من جراء الثورة البركانية الجديدة وتتكون البريشيا من خليط لمواد ناعمة وخشنة ذوات زوايا حادة (شكل ١٥).

ثانياً : الصخور الرسوبية :

تتكون الصخور الرسوبية كما يدل اسمها من حطام الصخور القديمة وكذلك من المعادن التي تجمعت وتصلبت وترتبت بشكل طبقات. وتنتج بعض الصخور الرسوبية ايضاً من جراء عمليات عضوية ويكون بعضها نتاجاً لترسب المعادن المباشر من المياه المحملة بالاملاح. ويتم ترسيب تلك المواد اما داخل الاجسام المائية كالمحيطات والبحار والبحيرات او فوق اليابسة نفسها. وتغطي الصخور

(18) Vernor C. Finch and others, Elements of Geography Fourth Edition, Mc Graw-Hill, New York, 1957, p.227.

(19) David Dineley, Rocks, Collins, London, 1976. p.62

شكل ــ ١٥ ــ

نماذج لصخور نارية

A ــ الكرانيت B ــ بورفيري C ــ الفلسايت

D ــ البازلت E ــ الاوبسيديان

الرسوبية اجزاء واسعة من سطح الارض اكثر من اي نوع اخر من الصخور اذ تقدر المساحة التي تغطيها الصخور الرسوبية بحوالي ٧٥٪ من مجموع سطح اليابسة وتزيد كثيراً عن ذلك فوق المحيطات (٢٠) ويمكن تفسير هذه الظاهرة في ان القسم الاعظم من اليابسة كانت تحت المياه في وقت من الاوقات. غير ان هناك الكثير من التكوينات الرسوبية لم تتكون تحت المياه ومثال ذلك السهول الطموية الواسعة التي تمتد لعدة مئات من الكيلومترات احياناً وكذلك المراوح الطموية التي تتكون عند قدمات السلاسل الجبلية وقد يزيد سمك هذه التكوينات عن عدة مئات من الامتار (٢١). ويمكن من خلال دراسة الصخور الرسوبية معرفة الظروف التي كانت

(20) *Encyclopaedia Beitanica*, Vol. 16. p. 464

(21) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 48

سائدة اثناء عملية الترسيب ومعرفة فيما اذا كان الترسيب قد تم فوق اليابسة او فوق قاع محيطي ضحل او عميق اذ تعتبر المتحجرات والنسيج الصخري احسن مقياس على هذه التساؤلات كما ويمكن من خلال الدراسة معرفة المناخ الذي كان سائداً خلال عملية الترسيب (٢٢). يمكن للصخور الرسوبية ان تحتوي على المتحجرات fossils بمختلف انواعها سواء اكانت حيوانية او نباتية اضافة الى ذلك فان البعض منها يحتفظ باثار تدل على آثار قطرات الامطار وشقوق الطين اذا كانت عملية الترسيب قد جرت داخل بحار ضحلة او عند مسطحات المد والشواطيء (٢٣).

تغطي الصخور الرسوبية الارض بغطاء رقيق معدل سمكه ٢٫٤ كم غير ان هذا السمك يتعاظم كثيراً فيصل الى بين ٨ ــ ١٦ كم اذا اخذنا بنظر الاعتبار الصخور الاخرى المتداخلة مع الصخور الرسوبية. وهذا ويكون تكوين بعض الصخور الرسوبية قديماً فقد وجدت صخور مجمعات حصوية Conglomerate في زمبابوي ويعود تاريخها الى ٣٫٥٠٠٫٠٠٠ مليون سنة. وتتجمع الرواسب في كل الازمنة والفترات على اليابسة وفوق قيعان المحيطات وماتزال هذه العملية مستمرة حتى الوقت الحاضر. اذ ينقل نهر المسيسبي على سبيل المثال وكمعدل يومي حوالي ٢٫٠٠٠٫٠٠٠ طن من الرواسب التي تتراكم عند دلتاه في خليج المكسيك. وقد تعرضت الارض هنا للهبوط من جراء ثقل هذه الرواسب ومن المحتمل ان تكون عملية الهبوط مساوية في معدلها الى عملية الترسيب (٢٤).

انواع الرواسب التي تكون الصخور الرسوبية والصخور الناتجة عنها :

تتنوع الرواسب التي تكون الصخور الرسوبية ولكنها يمكن ان تقسم الى مجموعتين رئيسيتين هما :

١ ــ الرواسب الصخرية النشأة والتي تحطمت ونقلت بعمليات ميكانيكية

اذ تقوم عمليات التعرية المختلفة بالتأثير ميكانيكياً على الصخور وتحولها الى حطام صخري متباين في حجم ذراته. كما يظهر ذلك من الجدول التالي :

(22) W. Donn, Op. Cit, p. 139

(23) Worcester, Op. Cit., p. 70

(24) Encyclopaedia Britanica, Op. Cit., Vol 16. p. 464.

جدول رقم ــ ٣ ــ

الرواسب الميكانيكية النشأة

اسم حبيبة الرواسب	الحجم بالمليمتر
جلاميد كبيرة	اكثر من ٢٥٦ مليمتر
الجلاميد	٦٤ ــ ٢٥٦
الحصى	٤ ــ ٦٤
حصى صغيرة	٢ ــ ٤
الرمل	$\frac{1}{16}$ ــ ٢
الغرين	$\frac{1}{256}$ ــ $\frac{1}{16}$
الطين	اقل من $\frac{1}{256}$

المصدر :

W.Donn, op.Cit, p. 134.

تقوم عمليات جيومورفية مختلفة بنقل هذا الحطام الصخري من مكان الى آخر مثل الانهار والثلاجات والامواج والتيارات . وتتحول تلك المواد الى رواسب بحرية اذا ما نقلتها تلك العمليات الى المحيط وارسبتها هناك . والى رواسب بحيرية lacustraine اذا ما ارسبت داخل بحيرة من البحيرات ، غير انها تصبح رواسب طمية alluvial عندما تتم عملية الترسيب على قيعان المجاري النهرية او عند وديان الانهار . كما وتتجمع الرواسب الجليدية والتي تنقلها الرياح في اماكن معينة اخرى . وتتصف الرواسب التي تتجمع داخل الاجسام المائية بانها ذوات ترتيب طباقي في حين لا تظهر هذه الصفة في الارسابات الجليدية او التي تنقلها الرياح .

تتماسك ذرات الرواسب الميكانيكية النشأة وتتحول من ذرات مفككة الى صخور متماسكة باساليب متعددة تعتمد على موقع تلك الرواسب وعلى حجوم ذراتها .

تعتبر عملية التماسك بالالتحام Cemntation من بين اهم تلك الاساليب. وتسود في الرواسب ذوات الذرات الكبيرة الحجم نسبياً كالجلاميد والحصى والرمل. اذ تكون مثل هذه الرواسب ذوات درجات مسامية ونفاذية عالية تسمح للماء الباطني بالبقاء فيها والانتقال بسهولة خلالها من مكان الى آخر تبعاً للضغط الهايدروستاتيكي. وبالنظر الى ما تحتويه المياه الباطنية من املاح معدنية ذائبة فانها تقوم في العادة بترسيب بعض منها في المسامات الموجودة بين ذرات الرواسب فتعمل على التحامها وتماسكها. وتعتبر معادن الكلسايت والدولومايت والكوارتز واكاسيد الحديد من بين اهم المواد اللاصقة لذرات الرواسب. كما وتقوم المياه الباطنية في بعض الحالات باذابة بعض مكونات الرواسب ثم تعود فترسبها ثانية في نقاط معينة اخرى كما في بعض صخور الكاربونات.

تعتبر عملية التماسك بالاحكام Compaction الاسلوب الثاني المهم الذي يتم بواسطته تماسك ذرات الرواسب التي تكون هنا عادة من نوع الرواسب الصغيرة الذرات مثل ذرات الغرين او الطين، اذ يؤدي استمرار عملية الترسيب الى زيادة في سمك الرواسب وزيادة في ضغطها على الطبقات السفلى منها الامر الذي يتبعه تناقص واضح في حجم المسامات التي تفصل بين ذرات الرواسب وطرد الماء الموجود داخلها احياناً ولذلك يطلق على هذا الاسلوب في بعض الاحيان اصطلاح عملية التماسك بالتجفيف. وقد لوحظ ان الطين يحوي على ٤٥٪ ممن حجمه على مسامات تتحول الى ٥٪ من الحجم فقط عندما يتحول الطين الى صخور الطفل shale عند عمق حوالي ٢,٠٠٠ متر [٢٥]. ويساعد على حدوث هذا النوع من التماسك بعض الحركات الارضية التي تزيد من حالة الضغط على الرواسب. وقد يؤدي الضغط الشديد الى حدوث ظاهرة تبلور في الرواسب احياناً.

اهم انواع الصخور الرسوبية الميكانيكية النشأة

١ ــ صخور المجمعات Conglomerate

تتكون صخور المجمعات (المكتلات) من تجمع للحصى والجلاميد

---

(٢٥) سهل السنوي، مصدر سابق، ص ١٤٣

والرمال وربما على كميات قليلة من الطين وتحتوي الجلاميد والحصى والرمال على كميات كبيرة من الكوارتز او انها بقايا صخور قديمة تعرضت للتعرية النهرية كثيراً. وتتحول تلك الانواع من الرواسب الى صخور عندما تتماسك ذراتها بالالتحام وتعرف بالكونكلوميريت. وتكون بعض صخور المجمعات مقاومة جدا لعوامل التعرية اذا كانت مكوناتها تحتوي على نسب عالية من السيليكا (٢٦). وتتصف هذه الصخور بانها مساميه وتسمح للماء بان يجري خلالها بسهولة. توجد هذه الصخور في العراق بكثرة واحسن مثال لها فيه تكوينات البختياري.

٢ ــ الصخور الرملية Sand Stones

يتكون الرمل من حبيبات منفصلة تشبه السكر المطحون في خشونتها وتحتوي هذه الحبيبات على الكوارتز رغم انها يمكن ان تكون كلسية في بعض المناطق كما في التكوينات المرجانية. وتنشأ الصخور الرملية عندما تتماسك ذرات الرمل بطريقة الالتحام بوساطة مواد لاصقة اخرى. وتتحكم هذه الاخيرة في لون الصخور الرملية الناتجة اذ يكون اللون مائلا الى الاحمرار عندما يكون اوكسيد الحديد هو الذي يقوم بهذه العملية اما اذا كانت المادة اللاصقة بيضاء مثل كاربونات الكالسيوم فحينئذ تصبح الصخور بيضاء اللون. وتصبح الصخور الرملية شديدة المقاومة لعمليات التعرية المختلفة اذا كانت المواد اللاصقة مقاومة مثل السليكا التي تربط ذرات الكوارتز. في حين تكون الصخور الرملية في حالات اخرى ذوات مقاومة قليلة اذا كانت المواد اللاصقة ضعيفة المقاومة مثل اوكسيد الحديد وكاربونات الكالسيوم (٢٧). وعلى اية حال فالحجر الرملي ذو خاصية مسامية ويكون خزانات عظمى للمياه الباطنية.

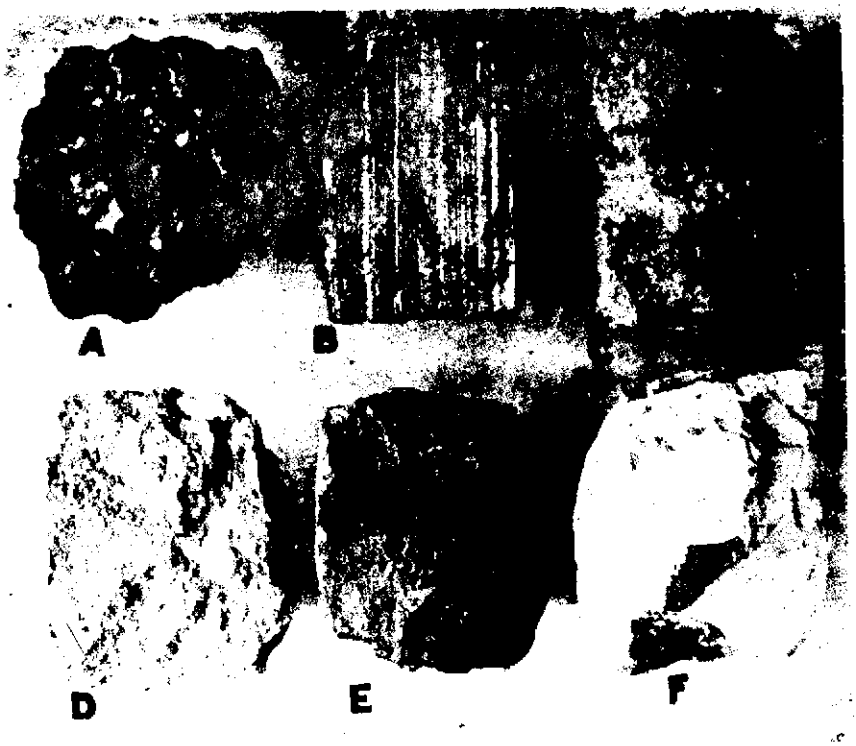
٣ ــ الطفل او الصخور الطينية : Shale

يمثل الطين والغرين مواد ذوات ذرات دقيقة جداً لم تتصلب فتصبح صخوراً. وتكون قابليتها على امرار الماء خلالها قليلة جداً، ولذا يجري معظم الماء فوقها

(26) Lobeck, Op. Cit., p. 48

(27) R.J Small, The Study of Landforms, Cambridge University Press, Cambridge, 1978, p. 19.

٢ــ **الصخور العضوية النباتية** : واشهرها الفحم الحجري الذي يبدأ تكونه عادة من تجمع بقايا النباتات في المستنقعات. ويطلق على تكوينات الفحم التي تكون في بداية تحللها اسم اللبد peat وتسمى بفحم اللكنايت عندما تمر عليها فترة زمنية اطول وتتعرض الى ضغط ثم البيتومين bitomonus اذا زادت المدة على تعرضها للضغط. ويعتبر الانثراسايت اشد انواع الصخور الفحمية صلابة ويمكن اعتباره نوعا من الصخور المتحولة. وجميع انواع الصخور الفحمية سوداء بدرجة تزداد مع زيادة الفترة التي مرت على تكونها وعلى مقدار الضغط المسلط عليها وتتطابق جميعها مع تكوينات الحجر الرملي والطفل [٣٣] (شكل رقم ١٦).



شكل ١٦

نماذج لصخور رسوبية

A ــ المجمعات
B ــ حجر رملي ذو طبقات رقيقة
C ــ حجر رملي
D ــ [illegible] جيري
E ــ الطفل
F ــ الصوان

(33) Worcester, Op. Cit., p. 76

والرمال وربما على كميات قليلة من الطين وتحتوي الجلاميد والحصى والرمال على كميات كبيرة من الكوارتز او انها بقايا صخور قديمة تعرضت للتعرية النهرية كثيراً. وتتحول تلك الانواع من الرواسب الى صخور عندما تتماسك ذراتها بالالتحام وتعرف بالكونكلوميريت. وتكون بعض صخور المجمعات مقاومة جدا لعوامل التعرية اذا كانت مكوناتها تحتوي على نسب عالية من السيليكا (٢٦). وتتصف هذه الصخور بانها مساميه وتسمح للماء بان يجري خلالها بسهولة. توجد هذه الصخور في العراق بكثرة واحسن مثال لها فيه تكوينات البختياري.

٢ ــ الصخور الرملية Sand Stones

يتكون الرمل من حبيبات منفصلة تشبه السكر المطحون في خشونتها وتحتوي هذه الحبيبات على الكوارتز رغم انها يمكن ان تكون كلسية في بعض المناطق كما في التكوينات المرجانية. وتنشأ الصخور الرملية عندما تتماسك ذرات الرمل بطريقة الالتحام بوساطة مواد لاصقة اخرى. وتتحكم هذه الاخيرة في لون الصخور الرملية الناتجة اذ يكون اللون مائلا الى الاحمرار عندما يكون اوكسيد الحديد هو الذي يقوم بهذه العملية اما اذا كانت المادة اللاصقة بيضاء مثل كاربونات الكالسيوم فحينئذ تصبح الصخور بيضاء اللون. وتصبح الصخور الرملية شديدة المقاومة لعمليات التعرية المختلفة اذا كانت المواد اللاصقة مقاومة مثل السليكا التي تربط ذرات الكوارتز. في حين تكون الصخور الرملية في حالات اخرى ذوات مقاومة قليلة اذا كانت المواد اللاصقة ضعيفة المقاومة مثل اوكسيد الحديد وكاربونات الكالسيوم (٢٧). وعلى اية حال فالحجر الرملي ذو خاصية مسامية ويكون خزانات عظمى للمياه الباطنية.

٣ ــ الطفل او الصخور الطينية : Shale

يمثل الطين والغرين مواد ذوات ذرات دقيقة جداً لم تتصلب فتصبح صخوراً. وتكون قابليتها على امرار الماء خلالها قليلة جداً، ولذا يجري معظم الماء فوقها

(26) Lobeck, Op. Cit., p. 48

(27) R.J Small, The Study of Landforms, Cambridge University Press, Cambridge, 1978, p. 19.

الامر الذي يزيد من قابلية تعرية سطوحها . وغالباً ماتتحول المناطق التي تتكون من الطين والغرين الى اراضي مضرسة bandland خاصة في مناطق المناخ شبه الجاف . كما وتحصر هذه التكوينات الصخرية الماء الباطني فوقها وتمنعه من النفوذ الى الاسفل لذلك نجده يتجمع في التكوينات الصخرية المسامية التي تقع فوقها ويحاول الخروج من منطقة الاتصال بين الصخور الطينية والصخور التي تحتفظ بالماء اعلاها . وتعرف الصخور التي تنتج من تماسك الطين والغرين باسم صخور الطفل Shale . ويمكن في العادة فصله الى طبقات رقيقة ولذلك فان تأثره بعوامل التعرية والتجوية يكون سريعاً . ويحدث التماسك في ذرات الغرين والطين نتيجة الى الضغط الشديد المسلط عليها من الرواسب التي تتجمع فوقها .

٢ ــ الرواسب غير الحطامية والصخور الرسوبية الناتجة عنها Non-Clastic

تضم هذه المجموعة من الرواسب كافة المواد التي نشأت من جراء عمليات كيمياوية او عضوية :

(أ) الرواسب الكيمياوية النشأة :

نعني بها الرواسب التي تكون بشكل مواد ذائبة في المياه وخاصة المياه الجوفية التي تحتوي على كميات اكبر من الاملاح مما تحتويه مياه الامطار لان هذه المياه تظل على اتصال كبير مع الصخور اضافة الى ما قد يوجد من حرارة عالية وضغط عال . ويكون تركيز ثاني اوكسيد الكاربون فيها كبيراً . وتساعد كل هذه العوامل على زيادة قابلية الماء الجوفي على اذابة الصخور . تترسب المواد هذه اما بسبب التبخر او بسبب تناقص الضغط او بوساطة بعض الحيوانات التي تعيش في المياه (٢٩) . اما اهم الصخور الناتجة عن هذه العملية فهي الصخور الجيرية والصخور الملحيه وصخور التشرت Chert والصوان Flint وكذلك صخور الدلومايت وسوف نلقي الضوء على الصخور الجيرية لاهميتها .

---

(٢٨) سهل السنوي ، مصدر سابق ، ص ١٥٨

(٢٩) جون ساندرس ، ترجمة مجيد عبود جاسم ، الجيولوجيا الفيزيائية ، الجزء الاول ، مطبعة جامعة البصرة ، البصرة ١٩٨٣ ص ٣١٤ .

الصخور الجيرية : Lime Stone

تشمل الرواسب الجيرية غير المتماسكة المارل Marl او الطين الجيري الذي كان في الاصل بيكاربونات ذائبة. وتتحول عند جفافها الى الصخور الكلسية limestone التي تتكون من كاربونات الكالسيوم $CaCo_3$. والدولومايت الذي هو عبارة عن كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم $Ca, Mg(Co_3)_2$. وتسمى رواسب الكاربونات بصخور الدولومايت عندما تحتوي على اكثر من ٥٠٪ من معدن الدولومايت (٣٠) وتكون الصخور الجيرية غير مقاومة لعمليات التجوية وعمليات الاذابة التي تسود كثيراً في الاقاليم ذوات المناخ الرطب، غير انها تظهر مقاومة واضحة لعمليات التجوية في الاقاليم الجافة بدرجة قد تفوق حتى الصخور النارية التي توجد معها في الظروف المناخية نفسها. غير انه وبسبب وجود المفاصل والشقوق الكثيرة في الحجر الجيري فاننا نجده يتحطم بسرعة في المناطق الباردة من جراء تكون الجليد في داخل تلك الشقوق. والدولومايت اقل قابلية على الاذابة من الصخور الكلسية ولذا غالباً مايكون بشكل اجراف كبيرة وجبال (٣١).

(ب) الصخور الرسوبية العضوية النشأة :

وتضم هذه فصليتين هما :

١ــ الصخور العضوية الحيوانية ــ حيث تقوم بعض الحيوانات بتحويل الاملاح والايونات الموجودة في المياه الى مواد كلسية او سليكات اوفوسفات. فالطباشير chalk مثلاً نوع لين من الصخور الجيرية وتكون درجة مساميته عالية ينتج من تراكم اصداف حيوانات صغيرة احادية الخلية ويكون لونه ابيضاً عادة. وبالنظر الى درجة المسامية العالية في التكوينات الطباشيرية فان مياه الأمطار الساقطة عليه لاتجري فوقها وانما تغور بسرعة نحو الداخل ولذلك لاتظهر عليها اثار تعرية مائية سطحية كبيرة. وتأتي التكوينات المرجانية ضمن هذه المجموعة من الصخور وكذلك الحجر الجيري الصدفي، والصخور العضوية السيليكيه والصخور العضوية الفوسفاتية (٣٢).

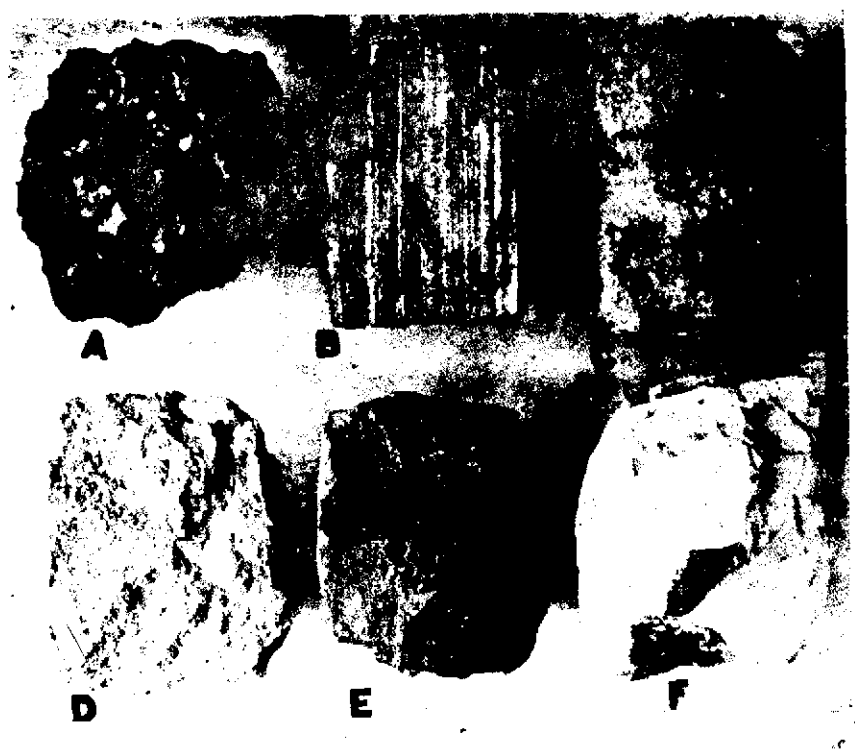
---

(٣٠) المصدر السابق، ص ٣١٥

(31) Lobeck, Op Cit, p. 49

(٣٢) وفيق حسين الخشاب وجماعته، علم الجيومورفولوجيا، مطبعة جامعة الموصل، الموصل، ١٩٧٨، ص ٣٠

٢ــ **الصخور العضوية النباتية** : واشهرها الفحم الحجري الذي يبدأ تكونه عادة من تجمع بقايا النباتات في المستنقعات. ويطلق على تكوينات الفحم التي تكون في بداية تحللها اسم اللبد peat وتسمى بفحم اللكنايت عندما تمر عليها فترة زمنية اطول وتتعرض الى ضغط ثم البيتومين bitomonus اذا زادت المدة على تعرضها للضغط. ويعتبر الانثراسايت اشد انواع الصخور الفحمية صلابة ويمكن اعتباره نوعا من الصخور المتحولة. وجميع انواع الصخور الفحمية سوداء بدرجة تزداد مع زيادة الفترة التي مرت على تكونها وعلى مقدار الضغط المسلط عليها وتتطابق جميعها مع تكوينات الحجر الرملي والطفل (٣٣) (شكل رقم ١٦).



شكل ١٦

نماذج لصخور رسوبية

A ــ المجمعات
B ــ حجر رملي ذو طبقات رقيقة
C ــ حجر رملي
D ــ حجر جيري
E ــ الطفل
F ــ الصوان

(33) Worcester, Op. Cit., p. 76

الصخور المتحولة : Metamorphic

نعني بها الصخور التي نتجت عن تحولات طرأت على شكل وخصائص الصخور الاصلية وجعلتها تختلف عنها. لقد استخدمت كلمة التحول لاول مرة عام ١٨٣٢ من قبل ليل Lyell وكانت تعني مفاهيم عديدة. ولكن المتفق عليه حالياً انها تعني التغيير المعدني والتركيبي والنسيجي الذي يطرأ على صخور صلبة نتيجة للظروف الكيماوية والفيزيائية. اذ قد تتحول الصخور من شكل الى آخر او يتغير ترتيب وتنظيم بلوراتها وقد تندمج البلورات المنفردة مع بعضها او قد تضاف مواد للصخور قادمة من مصادر اخرى.

تنحصر العوامل الرئيسية المسببة للتحول بالحرارة والضغط وبوجود المحاليل. اذ ترتفع درجة حرارة الصخور اما بسبب وجود الصخور في اعماق سحيقة من الارض او نتيجة لوجودها قرب جسم ناري حار مثل الصهير. هذا وتتراوح درجات الحرارة التي يتم التحول بها بين ٢٠٠ ــ الى اكثر ٥٧٠مْ. وهناك مصدر آخر للحرارة التي تتحول نتيجتها الصخور آت عن الطاقة الميكانيكية المصاحبة للحركات الارضية وخاصة تلك الحركات البانية للسلاسل الجبلية.

يأتي الضغط للصخور التي تحولت بنوعين هما الضغط المباشر الناتج عن حركات ارضية والضغط الثابت الناتج عن ثقل الطبقات الصخرية الموجودة فوق الصخور المتحولة. وتتباين قوة الضغط الاول من مكان الى آخر في حين يكون الضغط الثاني متساوياً عند عمق معين.

تقوم المحاليل بدور مهم في عملية التحول عندما تنقل الايونات من مكان الى آخر داخل الصخرة نفسها او من صخرة الى اخرى أو تقوم بنقل بعض الايونات من الصخرة نحو الخارج. ويعتبر الماء اكثر السوائل اهمية في نقل تلك الايونات في حين يعتبر غاز ثاني اوكسيد الكاربون اهم الغازات في تكوين تلك المحاليل.

انواع التحول :

يقسم التحول الى ثلاثة انواع تبعاً للظروف التي تسببه والتي ذكرت قبل قليل :

١ ــ التحول الحراري :

ويعرف باسم (التحول بالتماس) وينتج هذا النوع من التحول على الاغلب من تعرض الصخور الى حرارة عالية دون ان يصحب ذلك ضغط شديد. وذلك عندما يتغلغل تكوين ناري (صهير) ضمن تكوينات صخرية اخرى. كما يحدث عندما يندفع سد عمودي dike خلال طبقة او خلال مجموعة طبقات من الصخور الجيرية حيث يتحول الحجر الجيري المجاور لذلك السد الى الرخام بصورة كلية.

٢ ــ التحول الديناميكي :

ويسمى احياناً (الفجائي) Cataclastic، وينتج هذا التحول في الصخور بسبب الضغط المباشر الذي تتعرض له. وتتميز به الاقاليم التي تعرضت للحركات الالتوائية والانكسارية.

٣ ــ التحول الاقليمي :

يحدث هذا التحول عندما تلعب العوامل التي تؤدي الى تحول الصخور دورها فوق اقاليم ذوات مساحة كبيرة كما في منطقة نيوانكلند وولاية بنسلفانيا في الولايات المتحدة. حيث ادت الحرارة الشديدة التي صاحبت الضغط والشد الناتج عن الحركات البانية للسلاسل الجبلية الى تحول حجر الكلس الى رخام وصخور الطفل الى الاردواز Slates وفحم البيتومين الى فحم الانثراسايت الشديد الصلابة. وكذلك فقد اصبحت الصخور النارية الموجودة في مثل هذه الاقاليم ذات بلورية اكثر وضوحاً بسبب العوامل التي ادت الى ترتيب المعادن داخل تلك الصخور. ونتيجة لعمليات التحول للصخور فانها قد تصبح اكثر مقاومة لعمليات التعرية في حين قد يصبح البعض الاخر منها اقل مقاومة لها.

اهم الصخور المتحولة :

تقسم الصخور المتحولة تبعاً لنوعية الصخور الاصلية (الصخور الام) الى نوعين هما : (شكل رقم ١٧)

١ ــ الصخور المتحولة ذوات الاصول الرسوبية .
٢ ــ الصخور المتحولة ذوات الاصول النارية .

ان اهم الصخور المتحولة ذوات الاصل الرسوبي هو الاردواز Slate واصله صخر طيني (الطفل) ويتصف بانه يتكون من صفائح رقيقة يمكن فصلها عن بعضها بسهولة . ويستخدم لذلك في اغراض مختلفة مثل السقوف وفي صنع اللوحات الطباشيرية الخاصة بالمدراس . ويعتبر الكوارتزايت نوعا اخر من الصخور المتحولة ذات الاصل الرسوبي وينشأ من تحول الصخور الرملية التي تتكون في معظمها من معدن الكوارتز . وهو حجر شديد الصلابة والمقاومة . هذا ويعتبر الرخام من بين اهم الصخور المتحولة ذوات الاصل الرسوبي وينشأ من جراء تعرض الصخور الكلسية للضغط الشديد والحرارة العالية وهو بلوري ومقاوم شديد لعمليات التعرية خاصة في الاقاليم الجافة وتقل مقاومته لها في الاقاليم الرطبة . ويسود اللون الابيض في الرخام غير انه يمكن ان يوجد بالوان عديدة اخرى . ويوجد الرخام في العراق في شماله بالدرجة الاساسية وخاصة قرب بنجوين وكلاله (٣٤) .

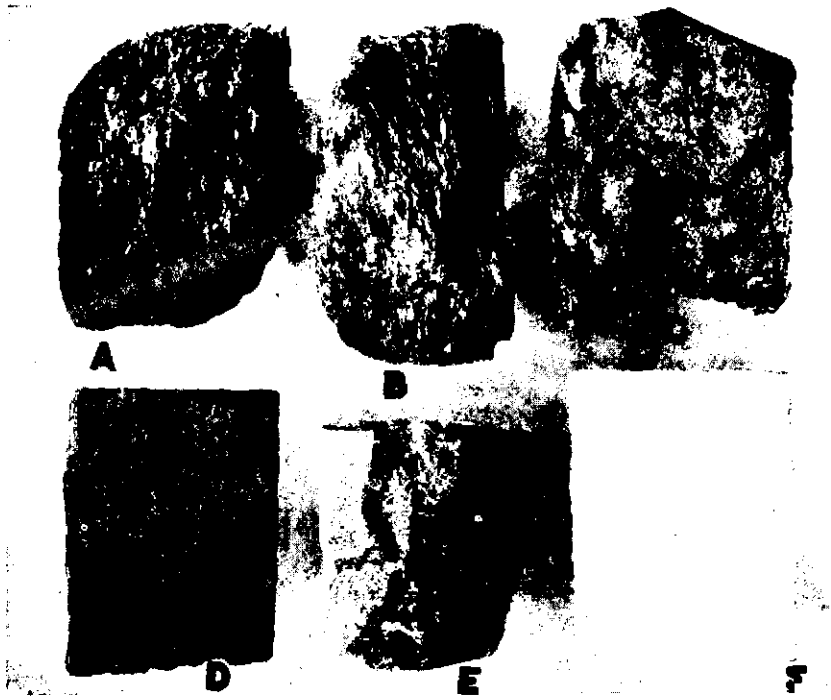
اما اهم الصخور المتحولة ذوات الاصل الناري فهو الشيست Schist اذ يعتبر هذا الصخر اكثر انواع الصخور المتحولة شيوعاً وينتج بعض الشيست من جراء تحول بعض الصخور الرسوبية ايضاً . ويأتي النايس Gneiss من بين الصخور المتحولة ذوات الاصل الناري وهو صخر مقاوم الى درجة كبيرة ويأتي بعض منه من تحول الكرانيت كما ينشأ من تحول بعض انواع الصخور الرملية .

حركات القشرة الارضية :

يتعرض الغلاف الصخري lithosphere الى حركات تكتونية متنوعة وبذلك فانه غير مستقر ومتحرك . ويشار الى هذه القوى الباطنية على انها الحركات الارضية Earth movements . وتقسم هذه الحركات بدورها الى نوعين :

١ــ التغيرات في وضع القشرة الارضية distrophism من خلال الحركات

(٣٤) سهل السنوي ، مصدر سابق ، ١٧٨



شكل ــ ١٧ ــ

نماذج لصخور متحولة

A ــ النايس **B ــ الشيت الكوارتز** **C ــ شيت المايكا**

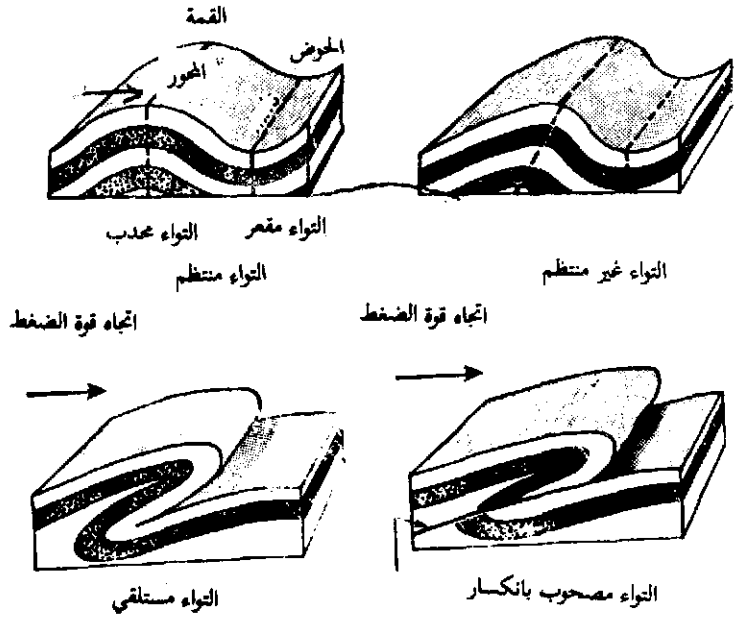
D ــ الأردواز **E ــ الكوارتز** **F ــ الرخام**

الالتوائية **folding** والحركات الانكسارية **faulting** وكذلك حركات الرفع والهبوط التي تتعرض لها القشرة الارضية.

٢ــ النشاط البركاني : **volcanism** الذي يحور من شكل القشرة الارضية بواسطة المقذوفات البركانية او من خلال ماينكشف من صخور نارية باطنية متداخلة. ويظهر ان التأثير الاجمالي للنشاط التكتوني هو المحافظة على التضاريس على سطح الارض من خلال حركات البناء بواسطة عمليات بناء السلاسل الجبلية والنشاط البركاني او من خلال ماتتعرض له بعض المناطق لحركات الرفع وما تتعرض له الاخرى من حركات الهبوط. وسوف لانتعرض في هذه الفقرة الى دراسة النشاط البركاني وذلك لاننا خصصنا فصلا له في كتابنا هذا.

يؤدي تعرض القشرة الارضية الى قوى الضغط من جانب واحد او من جوانب متعددة الى تكون الالتواءات. ويطلق على المحدبة منها اسم الالتواء المحدب anticlines وعلى المقعرة منها الالتواء المقعر synclines ويتوالى تعاقب هذين النوعين من الالتواءات بصورة منظمة على الاغلب. ويطلق على الثنيات الواسعة من تلك الالتواءات اسم الطيات wraping. وتتمثل هذه في العادة في الحركات القارية وتمتد هذه من عدة كيلومترات الى المئات منها في الطول والاتساع. يطلق على الاقسام المرتفعة منها اسم جيوانتيكلاين geoanticline وعلى الجهات الواطئة منها اسم الجيوسينكلاين geosynclines. ويسمى الالتواء منظماً symmetrical عندما تكون زاوية الميل على كلا جانبي الالتواء متساوية تقريباً. ويكون الالتواء غير منتظم عندما تختلف زاوية الميل على كلا جانبي الالتواء. (شكل رقم ١٨). ويصطلح على الالتواء كونه التواء اعتيادياً عندما تتوالى الالتواءات المحدبة والالتواءات المقعرة وذلك ناتج عن أن القوى الالتوائية التي كونته كانت غير عنيفة وبطيئة الى حد ما. ويزداد تعقيد الالتواءات كلما زادت قوة الضغط المسلطة على الصخور او كانت فجائية حيث نجد انواعاً اخرى من الالتواءات المعقدة مثل الالتواء المستلقي nappe والتواء سينيكلانيريوم syniclanarium وانتي كلانيريوم anticalnarium. والالتواء المعكوس overthrust وذلك عندما يحدث التواء مصحوب بحركة انكسارية. هذا ويوجد معظم هذه الانواع من الالتواءات ضمن محاور السلاسل الجبلية الالتوائية.

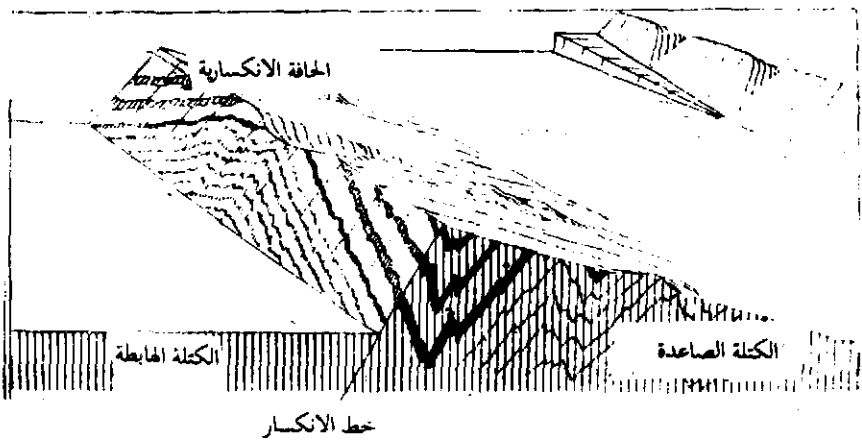
لاتختلف القوى التي تؤدي الى تكوين الصدوع او الانكسارات (faults) عن تلك التي تسبب الالتواءات في انها قوى ضغط مسلطة على الصخور من جهة واحدة او من عدة جهات. غير ان الصخور الصلبة تكون اكثر عرضة لحدوث الانكسارات فيها من الصخور اللينة ومما يؤكد كلامنا هذا تداخل مناطق البنية الالتوائية والانكسارية في اماكن واحدة. ويعني الانكسار شقاً او صدعاً في القشرة الارضية يصحبه تغيير في مواقع الصخور على جانبيه. ويطلق على السطح الذي تجري عليه تلك الحركة اسم صفحة الانكسار fault plane، وعلى الصدع اسم خط الانكسار fault line وتعني زاوية الميل dip الزاوية التي يكونها خط الانكسار مع المستوى الافقي. ويطلق على الكتل الارضية التي تتعرض للرفع من جراء الحركة الانكسارية اسم الكتلة الصاعدة upthrown block في حين تسمى



شكل ــ ١٨ ــ
بعض انواع الالتواءات

الكتل التي تتعرض للهبوط من جراء الحركة الانكسارية بالكتل الهابطة down thrown blocks . هذا وتسمى الحافة التي تظهر فوق المستوى العام لارتفاع المنطقة بالحافة الانكسارية fault scarp . وتكون معظم هذه الحافات ذوات سطوح مثلثة الشكل بعد تقطعها بالاودية النهرية (شكل رقم ١٩)

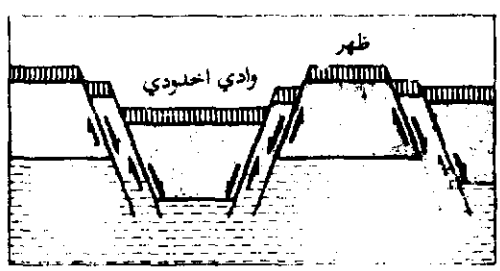
تتشكل بعض المظاهر والاشكال الارضية من جراء امتداد الخطوط الانكسارية باوضاع معينة. اذ يتكون الظهر الانكساري (الهورست horest) عندما تتقابل انطقة انكسارية وتمتد بشكل متواز تقريباً حيث ترتفع الكتلة الارضية الوسطى فتعرف بالهورست وتهبط الكتلتان المجاورتان او تبقيا مستقرتين . تعتبر هضبة الفوج والغابة السوداء من بين اشهر الظهور الانكسارية . اما الوادي الانكساري او الوادي الاخدودي rift valley او ما يعرف باسم الكرابين graben فهو عبارة عن انخفاض ارضي طولي يقع بين نطاقين انكساريين مما يؤدي الى هبوط الكتلة الوسطى



شكل ــ ١٩ ــ
انكسار اعتيادي

وارتفاع الكتلتين المجاورتين لها. وتعتبر وديان الراين والاردن والوادي الاخدودي الاعظم في افريقيا امثلة للوديان الانكسارية. (شكل رقم ٢٠).

تسمى الحركات الالتوائية والانكسارية التي تؤدي الى تغيير وضع القشرة الارضية بالحركات البانية للسلاسل الجبلية (orogeny) كما في حالة السلاسل الجبلية الكبرى في العالم مثل الهملايا والروكي وزاجروس.. الخ. وهي حركات بطيئة جداً الى درجة لايظهر معها اي دليل عليها يمكن ملاحظته خلال حياة الانسان القصيرة.



شكل ــ ٢٠ ــ
وادي انكساري (اخدودي) وظهر انكساري

تعرف عملية الرفع او الهبوط التي تقوم بنطاق واسع يشمل قارة برمتها باسم الحركات القارية epeirogny . وتشير الدلائل على ان حالات الانغمار والظهور المتكررة فوق ودون مستوى سطح البحر التي حدثت خلال العصور الجيولوجية المختلفة انما هي نتاج لمثل هذه الحركات القارية (٣٥). وتوجد امثلة عديدة على استمرار فعالية هذه الحركات حتى في الوقت الحاضر .

بعض الادلة على الحركات الارضية الحديثة :

١ ــ حركات الهبوط :

توجد عند الطرف الشرقي من جزيرة كريت مبانٍ قديمة غارقة في الوقت الحاضر . كما وتعرض معظم الساحل الشمالي من خليج المكسيك الى حالة هبوط بطيء منذ قرون عديدة . ويعتقد ان قسماً من الجزر التي تواجه ساحل كولومبيا البريطانية في غرب كندا كان متصلاً بالارض الرئيسة . وتمثل المضايق والممرات البحرية الموجودة بين الجزر الحالية المناطق المنخفضة التي كانت على اليابسة قبل ان تتعرض المنطقة الى حركة الهبوط . وتخرج في شباك الصيد بين الحين والاخر في بحر الشمال بقايا لجذوع وجذور الاشجار التي كانت نامية على اليابسة التي هي تحت ذلك البحر حالياً .

٢ ــ حركات الارتفاع :

يتغطى السهل الساحلي المطل على المحيط الاطلسي في الولايات المتحدة بتكوينات رسوبية بحرية الاصل كانت في العصور القديمة تحت مستوى سطح البحر . ويؤكد موقعها الحالي فوق مستوى سطح البحر حدوث حركة رفع اقليمية واسعة تعرضت لها المنطقة كما ويدل وجود المظاهر الجيومورفولوجية الناتجة عن عمل الامواج في مكان بعيد عن خط الساحل على تعرض ذلك الساحل لحركة رفع . ولدينا امثلة عديدة على ذلك في سواحل اسكتلندا وانكلترا المرتفعة . وكذلك الشعاب المرجانية المرتفعة في كوبا وبيرو ومتحجرات الحيوانات القشرية التي لاتعيش الا في مياه مالحه والتي توجد ملتصقة في اجراف يزيد ارتفاعها عن حوالي ٣٫٠٠٠ متر

---

(35) Karl W. Butzer, Geomorpholgy from the Earth, Harper and Row, New York, 1976, pp. 28-29.

فوق مستوى سطح البحر في الاسكا. كل هذه الشواهد تعطينا ادلة على حركة الرفع التي تعرضت لها القشرة الارضية خلال تاريخها الجيولوجي [٣٦] (شكل رقم ٢١).

شكل ــ ٢١ ــ

صورة لمصطبة بحرية نائجة عن سهل تعرية امواج مرتفع حالياً

(36) Worcester, Op. Cit, pp. 92-93.

الفصـل الثالث

التجوية Weathering

تعرف عملية التجوية بأنها العملية التي تقوم بتحطيم الصخور وانحلالها وهي موجودة في مواقعها الطبيعية الاصلية. ولا تتعرض جزيئات الصخور الناتجة عن هذه العملية لاكثر من عملية ازاحة بسيطة جداً من اماكنها كالتي تنتج من عملية التفكك نفسها [1]. وتتحطم بموجب عملية التجويه مكونات القشرة الارضية فوق او على مقربة من سطح الارض او يحصل تغيير على تركيبها الكيمياوي.

تقوم عملية التجوية بتهيئة وتحضير الصخور كي تصبح اكثر ملائمة لان تتأثر بعمليات التعرية الاخرى اذ يتناقص بدون هذه العملية تأثير تلك العمليات الجيومورفية بشكل حاد. ويشمل تأثير التجويه اليابسة كلها تقريباً. ويصبح تأثير بقية عوامل التعرية كالمياه الجارية والثلاجات... الخ قياساً لها محدوداً. وحتى بالنسبة الى الرياح التي تكون هي الاخرى ذات تأثير محدود في بعض المناطق من سطح الارض مثل تلك التي تكون مغطاة بغطاء نباتي كثيف.

تضم عملية التجوية weathering عمليات هدم متنوعة وكثيرة مثل تعاقب عمليتي التسخين والتبريد والتجميد والذوبان وتداخل الجليد والنباتات

(1) R.J. Small, The Study of Landforms, Cambridge University Press, Cambridge, 1978, p. 15.

والحيوانات في الشقوق الصخرية الصغيرة، اضافة الى اشكال اخرى من التحطيم الميكانيكي للصخور. وتشتمل عملية التجويه في الوقت نفسه على كثير من التبدلات الكيمياوية مثل عملية التأكسد التي تؤثر على بعض الفلزات وخاصة الحديد، والترطيب التي تؤثر على الفلدسبار فتحوله الى كاؤولين وكذلك عملية التكربن التي تؤثر على كثير من الصخور التي تحتوي على الكاربونات بصفة خاصة (٢).

تحتاج عمليات التجويه كافة الى الطاقة اللازمة لقيامها بعملها سواء اكان ذلك العمل ميكانيكياً ام كيمياوياً. ويهيء الجو تلك الطاقة من خلال اشعة الشمس وطاقتها الحرارية. حيث أن الطاقة الشمسية هي المسؤولة عن اي تغيير يحدث في حالة الغلاف الغازي الذي يحيط بالكرة الارضية وينعكس ذلك بدوره على فعاليات عمليات التجويه المختلفة. وتعتبر عملية التجويه مهمة جداً للحياة على سطح الارض اذ انها المسؤول الرئيسي عن تكوين التربة التي تعتبر الاساس الاول لدورة الحياة على سطح الارض.

تكون عمليات التجويه بطيئة جداً بصورة عامة بحيث لايمكن ملاحظتها بصورة مباشرة. وقد امكن من حسن الحظ ومن خلال المباني التي اقامتها الحضارات الانسانية الاولى والتي انشأت من صخور متنوعة. واستطعنا من خلال المعلومات الاثارية والتاريخية المتوفرة عنها ان نقدر معدل التجويه لانواع الصخور المختلفة وعلى فترات طويلة (٣).

انواع التجويه:

تضم التجويه العمليات الكيمياوية والفيزياوية (او الميكانيكية) التي يستطيع الجو من خلالها ان يؤثر على الصخور. ولذلك فهي تقسم الى التجوية الميكانيكية او الفيزياوية والتجوية الكيمياوية. ويدخل البعض من المختصين نوعاً ثالثاً من التجوية وهو التجوية العضوية حيث يناقشون فيه اثر الاحياء على الصخور. غير أن عمل الاحياء هذا لايتعدى كونه عملاً فيزياوياً (ميكانيكياً) او عملاً كيمياوياً ولذلك فمن المستحسن ان تقسم التجويه الى القسمين الاولين فقط.

(2) Lobeck, op. cit., p. 71.

(3) Iras. Allison, and others, Geology, McGraw-Hill, New York, 1974, p. 114.

١ــ التجوية الميكانيكية (الفيزياوية)

يقوم الجو بوساطة هذه العملية في التأثير على الصخور باساليب فيزياوية حيث تتحطم الصخور الى فتات صخرية اصغر حجماً من الصخور الاصلية ولايحدث اي تغيير مهما كان بسيطاً في التركيب الكيمياوي للصخور الناتجة. ويلعب هذا النوع من انواع التجوية دوراً مهماً في زيادة المساحة السطحية للفتات الصخري الناتج عن تحطم الصخرة الاصلية، الامر الذي يزيد من احتمالات تعرضها الى عمليات التعرية الاخرى وخاصة التعرية الكيمياوية. هذا ويمارس الجو دوره الفيزياوي باساليب متعددة يمكن اجمالها بالآتي.

(أ) اثر الصقيع:

يعتبر الصقيع من اكثر عوامل التعرية الميكانيكية تأثيراً. اذ يزداد حجم الماء عند تجمده الى حوالي ٩٪ من حجمه السابق. فلو فرضنا ان هذا الماء كان محصوراً في مكان ما فأنه سوف يولد ضغطاً يصل الى حوالي ٢٠٠٠ باوند على الانج المربع الواحد او ١٢٥ كيلو غرام على السنتمتر المربع الواحد (٤). ومن الطبيعي ان يؤدي تجمد الماء الموجود داخل المفاصل والشقوق او المسامات الموجودة داخل الصخور الى زيادة الضغط والى تحطيم تلك الصخور الى قطع صغيرة. ويؤدي تعاقب عملية الانجماد والذوبان الى توسيع الشقوق الموجودة بين الصخور حتى تتكسر بعد ذلك الى كتل منفصلة. ويتركز اثر الصقيع بصورة خاصة في مناطق العروض الوسطى والعليا وكذلك فوق الارتفاعات العالية، حيث تسمح ظروف الحرارة السائدة بتكرار عمليات الانجماد والذوبان. وتتأثر الصخور الرسوبية بهذه العملية اكثر من الصخور النارية بسبب كثرة المفاصل والشقوق والفراغات فيها. وتتحول الصخور من جراء هذه العملية الى حطام صخري ذي جوانب حادة. ويظل ذلك الحطام الصخري في مكانه اذا كان موجوداً فوق منطقة ذات انحدار قليل، شكل رقم (٢٢). الا أن فتات ذلك الحطام التي تنفصل من الاجراف الصخرية بتأثير الصقيع تتساقط وتتجمع عند اسفل تلك الاجراف مكونة اشكالاً مخروطية الشكل تعرف باسم التالوس Talus (٥) او Scree (شكل رقم ٢٣).

(4) Karl W. Butzer, op. cit., p. 36.

(5) A.N. Strahler, op. cit., p. 260.

شكل ٢٢

صورة لحطام صخري عند اسفل المنحدرات

تكون صخور التالوس مدببة ومختلفة في احجامها تتراوح من صخور كبيرة الحجم جداً الى شظايا صخرية صغيرة . ويرجع السبب في تكوين التالوس الى اثر الصقيع والى الجاذبية الارضية . وتزداد درجة الانحدار في المنحدرات العليا من التالوس لانه يتكون عادة من حطام صخري كبير الاحجام . في حين يتناقص حجم تلك الصخور وتقل درجة انحدارها كلما ابتعدنا عن قمة التالوس .

(ب) التغيرات في درجات الحرارة :

مازال اثر هذه العملية في تحطيم الصخور وتفتيتها غير واضح الى حد الان وانه قليل على اية حال . اذ يحدث ان تتعرض الصخور في المناطق الجافة وشبه الجافة الى التسخين الشديد اثناء النهار جراء تعرضها الى اشعة الشمس ولكونها جرداء خالية من الغطاء النباتي . فتتمدد المعادن المكونة لتلك الصخور كل حسب معامل التمدد الطولي الخاص به . وتنخفض درجات الحرارة في اثناء الليل في تلك المناطق التي تتميز بوجود مدى حراري يومي كبير الامر الذي يؤدي الى تقلص معادن تلك الصخور بموجب معاملات التقلص الخاصة بها . وبالنظر الى عدم تساوي معاملات التمدد والتقلص هذه لكل المعادن المكونة للصخور فأن تكرار هذه العملية يؤدي الى تفكك الصخور وتحطمها .

تلعب التغيرات في درجة الحرارة دوراً اخر في عملية تحطيم الصخور عندما يحدث نوع من التقشر exfoliation نتيجة تعرض الطبقة العليا من الصخور الى التغيرات اليومية في درجات الحرارة الامر الذي يحتم عليها ان تنفصل عن بقية اجزاء الصخرة الواقعة اسفلها والتي لاتتأثر بالدرجة نفسها بالتغيرات الحاصلة في درجات الحرارة . وينتج عن هذه العملية انفصال قشور صخرية بشكل صفائح رقيقة تتساقط عند اسفل المنحدرات (شكل رقم ٢٤) وتتأثر الصخور النارية بهذه العملية اكثر من الصخور الرسوبية لان معظم الصخور الرسوبية كانت في الاصل صخوراً نارية مرت بهذه العملية .

هذا ويؤدي تناقص الضغط المسلط على الصخور بسبب تعرضها للتعرية وازالة الطبقات العليا منها الى حدوث نوع آخر من التقشر اذ تظهر المفاصل والشقوق بوضوح في الصخور الامر الذي يعرضها الى المزيد من تأثير التعرية .

شكل ٢٣
صورة للتالوس عند أسفل المنحدرات التي
تتعرض الى تجوية ميكانيكية بوساطة الجليد

تشتد عملية التجوية الميكانيكية الناجمة من التغيرات في درجات الحرارة كما ذكرنا قبل قليل في المناطق الجافة وكذلك عند قمم الجبال التي يتضاءل وجود النباتات عليها وفي المناطق التي تجرف التربة منها بسرعة حالما تتكون حيث تتعرض الصخور فيها بصورة مستمرة لعمليات التحطيم.

(ج) التمدد الناتج من التغيرات الكيمياوية والنمو البلوري:

تتكون من جراء بعض العمليات الجوية الكيمياوية التي تتعرض لها الصخور وخاصة، في عملية الترطيب، انواع جديدة من المعادن التي تكون اكبر حجماً من المعادن الاصلية الامر الذي يؤدي الى حدوث تفكك لمكونات الصخرة. كما يحصل عادة عند تعرض الكرانيت والكابرو وبقية الصخور التي تحتوي على الفلدسبار الى التعرية الكروية او المركزة Concentric, Spheroidal (شكل رقم ٢٥).

شكل ٢٤
ظاهرة التقشر في صخور كرانيت

شكل ٢٥

التجوية الكروية الحاصلة على صخور كرانيت

هناك نوع اخر من التمدد الذي يحصل للصخور نتيجة تغلغل البلورات الملحيه داخل المسامات الموجودة بين ذرات الصخور. وتسود هذه الحالة في المناطق الجافة وشبه الجافة بدرجة رئيسة حيث يؤدي نمو معادن ملحيه اكبر حجماً نتيجة لعمليات كيمياوية الى تحطيم المواد اللاصقه لذرات تلك الصخور. وتحدث هذه العملية ايضاً عندما يرتفع الماء الجوفي خلال مسامات الصخور نحو الاعلى بموجب الخاصية الشعرية حيث يتبخر في النطاق الاعلى الجاف من الصخور الذي يقع فوق مستوى الماء الجوفي تاركاً مايحمله من املاح داخل المسامات الصخرية. وبنمو تلك البلورات الملحيه تتفكك المواد اللاصقة لذرات الصخور وتتقشر طبقات منها بسبب التمدد الحاصل في حجم البلورات الملحيه. ومن اهم المعادن الملحيه التي تتسبب في هذه العملية هي الجبس والهاليت (كلوريد الصوديوم) [٦].

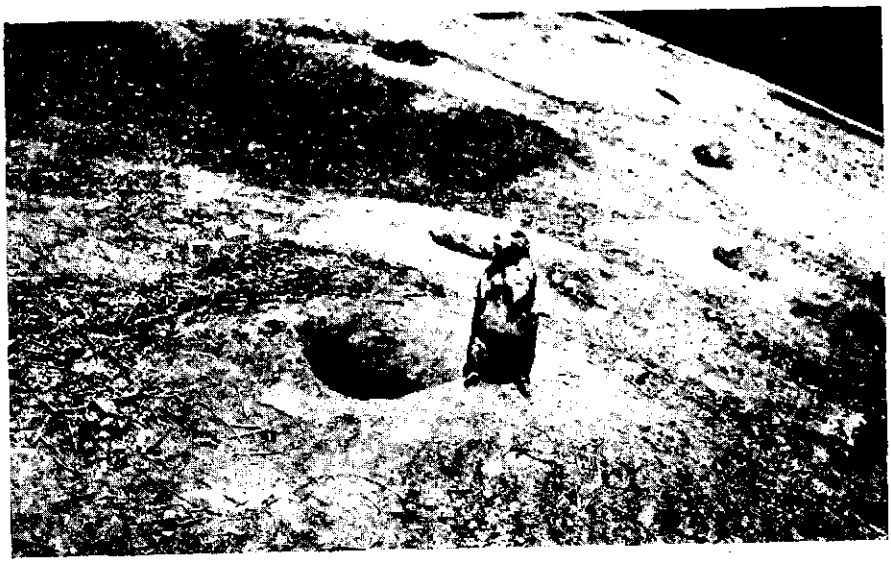
النشاط الحياتي:

يمكن للاحياء ان تتسبب في تحطيم الصخور ميكانيكياً بطرق مختلفة. اذ تتمكن جذور النباتات ان تتغلغل داخل شقوق الصخور ويساعد نمو تلك الجذور على توسيع تلك الشقوق. ولا تقوم جذور الاشجار الكبيرة فقط بهذه العملية بل تقوم بها حتى جذور النباتات الصغيرة كالحشائش. تقوم حيوانات الانفاق ايضاً بتحطيم المواد الصخرية عندما تقوم بحفر ممراتها مثل دودة الارض earth worms التي تقوم بابتلاع التربة من اجل الحصول على غذائها. ويوجد من هذه الدودة في الارض الخصبة بحدود مليون واحدة في الايكر الواحد. وتستهلك هذه الدودة لغذائها حوالي ٥٠ طن متري من التربة في العام الواحد [٧]. ومن حيوانات الانفاق المهمة الاخرى السنجاب الامريكي وكلب البيري، وان الانسان ليعجب حقاً عند ملاحظته للاكوام الكثيرة من التربة التي يخرجها ذلك الحيوان الاخير عند حفره للممرات والانفاق (شكل رقم ٢٦).

---

(٦) جون آي ساندرس، مصدر سابق ص ٢٦٢.

(7) Ira S. Allison, op. cit., p. 114.



شكل ٢٦
كلب البريري لاحظ كثرة فتحات
الانفاق التي يعملها هذا الحيوان

قام كل من الانسان والحيوان ومازالا ونتيجة لحركتهما فوق سطح الارض بتفكيك الحطام الصخري بطريقة ميكانيكية. كما ويحرث الانسان في العام الواحد مايعادل حوالي ٦٪ من سطح الارض (٨). وقد لعب البشر دوره ايضاً من خلال ازالته للغطاء النباتي، فعلى سبيل المثال ازال الصينيون مناطق غابات كثيرة من بلادهم منذ قرون طويلة مضت وقد قطع جامعو الاخشاب مساحات واسعة من الغابات في نيوانكلند في الولايات المتحدة في الاونة الاخيرة. وقد ادت ازالة الغابات هذه الى جرف شديد للتربة بحيث ظهرت الصخور الاصلية في اقسام كبيرة منها، اضافة الى ذلك، فقد عرضت حرفة التعدين مناطق واسعة من القشرة الارضية الى تأثير عوامل التجوية المتعاقبة (٩).

---

(8) Ira S. Allison, op. cit., p. 114.

(9) Worcester, op. cit., p. 124.

٢ــ التجوية الكيمياوية :

تضم التجوية الكيمياوية مجموعة من التفاعلات المعقدة التي تقوم بها مواد مختلفة كالماء والاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون والحوامض والمواد العضوية . وتعمل هذه المواد عند تأثيرها على الصخور الى تغيير وتبديل المعادن وتركيبها الكيمياوي .

ينتج من معظم العمليات الكيمياوية للجو تغييرات تشمل :

١ــ زيادة في الحجم الذي يؤدي بالتالي الى زيادة الضغط الداخلي للصخور .
٢ــ تقليل في كثافة المعادن .
٣ــ ذرات ذوات احجام صغيرة ينتج عنها زيادة في المساحة السطحية المعرضة .
٤ــ مواد اكثر استقرار .
٥ــ مواد اكثر قدرة على الانتقال .

تعتبر الزيادة في المساحة السطحية (البينية) ذات اهمية خاصة اذ بموجبها سوف يزيد معدل التفاعل بين مواد الصخور وبين المحيط الغازي او السائل المجاور لها (١٠) . وتعتبر التجوية الكيمياوية وعلى نطاق الأرض كلها اكثر فعالية من التجوية الميكانيكية في تحطيم الصخور . ويبدو هذا النوع من التجوية مسيطراً تماماً في بعض الاقاليم التي ترتفع فيها درجات الحرارة مع زيادة في كمية الامطار .

تضم التجوية الكيمياوية عدة عمليات هي :

١ــ عملية الذوبان Solution

تأتي عملية الذوبان كمرحلة اولى في التجوية الكيمياوية ، حيث تظهر هذه العملية اثناء جريان الماء أو عندما يقوم الماء بالاحاطة بذرات الصخور بشكل غشاء رقيق . تعتمد عملية الذوبان على كمية الماء الذي يمر فوق سطوح الذرات وكذلك على قابلية الذوبان للذرات الصخرية نفسها . فعلى سبيل المثال يكون ملح الطعام ذا قابلية عالية للذوبان في الماء النقي ولذلك فأنه لايظل موجوداً في القشرة الارضية الا في المناطق الجافة . وتكون قابلية الجبس على الاذابة اقل منه وكذلك الحالة بالنسبة الى الكاربونات (١١) . وتعتبر عملية الذوبان ذات اهمية قليلة في التجوية

(10) William D. Thornbury, Op. Cit., p. 43.

(11) Cliff Ollier, Wratering, Oilver and Boyd, Edinburgh, 1969, p. 30.

الكيمياوية فيما عدا في حالات نادرة عندما تنكشف الصخور الملحية على سطح الارض، غير انها تلعب دوراً هاماً في نقل المنتجات المتخلفة من عمليات تجوية الخرى وخاصة عملية التحليل المائي وعملية التكربن (١٢).

٢ــ عملية التحلل المائي: Hydrolysis

تعني اهذه العملية التفاعل الكيميلوي الذي يجري بين الماء ومعادن الصخور. يحدث هذا النوع من التفاعل حيثما يوجد اتصال بين المعادن الصخرية وبين الماء الذي قد يكون ماء نقياً. وتعتبر هذه العملية من اهم عمليات التجوية الكيمياوية بسبب تأثيرها على الفلسبار وهو المكون الرئيسي لمعظم المعادن الصخرية حيث يدخل الماء الى التركيب الذري للمعدن الصخري مكوناً معدناً جديداً. وتعد الحالة التي تحصل لمعدن الارثوكليس مثالاً جيداً على هذا النوع من التفاعل الكيمياوي. اذ يتمثل الفلدسبار بصورة نموذجية في معدن الارثوكليس الذي يؤلف بدوره احد المعادن التي تحتويها صخور الكرانيت. حيث يتفاعل الارثوكليس مع الماء الذي يحتوي بدوره على كميات من حامض الكاربونيك فينتج عن التفاعل معدن حديد هو الكاؤولين كما في المعادلة التالية.(١٣)

$$2K\,Al\,Si_3\,O_8 + 2H_2\,CO_3 + 9H_2O \longrightarrow Al_2\,Si_2\,O_5\,(OH_4) + 4H\,SiO_4 + 2K\,(HCO_3)$$

الارثوكليس + حامض الكاربونيك + الماء ← الكاؤولين + حامض السيليسيك + بيكاربونات البوتاسيوم

وبذلك فقد تحول احد معادن صخرة الكرانيت الناريه الصلبة الى الكاؤولين. وهو معدن لايستطيع مقاومة عوامل التعرية وخاصة المياه الجارية الامر الذي يجعل الصخرة كلها غير ذات مقاومة كبيرة لهذه العمليات الجيومورفية. وتكونت بهذه الطريقة معظم معادن الطين وذلك لان الفلدسبار شديد الانتشار بين الصخور.

---

(12) R.J. Small, op. cit., p.21.

(13) W. Donn, op. cit., p. 158.

٣ــ عملية الترطيب : Hydration

تحدث هذه العملية عندما تتحد جزيئات الماء مع التركيب الكيمياوي لواحد او اكثر من معادن الصخور. حيث يزداد حجم المعادن تبعاً لذلك اضافة الى التغير الكيمياوي الذي يحصل عليها. وخير مثال على ذلك مايحدث عن تحول معدن الانهايدرايت anhydrite بعد ترطيبه الى الجبس كما في المعادلة التالية : (١٤)

$$CaSO_4 + H_2O \longrightarrow Ca\,SO_4 \cdot 2H_2O$$

ماء + انهايدرايت ← الجبس

ومن الامثلة المعروفة عن هذا النوع من التجوية الكيمياوية مايحصل عند ترطيب معدن الهمياتايت إذ يتحول الى معدن الليمونايت كما في المعادلة التالية (١٥).

$$2Fe\,O_3 + 3H_2O \rightarrow Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$$

هيماتايت + ماء ← ليمونايت

(احمر اللون) (اصفر اللون)

تزيد عملية الترطيب، كما ذكرنا ذلك، من حجم المعادن الصخرية ويؤدي هذا التغير في الحجم الى تحطيم الصخور بسبب زيادة التضاغط بين ذراتها. تتأثر الصخور النارية بهذه العملية اكثر من الصخور الرسوبية فيما عدا بعض الصخور الرملية التي تحتوي على المايكا بكثرة اذ تتأثر هذه بعملية الترطيب وتتحول الصخور الرملية بعدها الى ذرات منفصلة. وتحضر هذه العملية من سطوح المعادن الصخرية لكي تصبح اكثر قابلية على التأثر بالعمليات الكيمياوية الاخرى مثل التأكسد او التكربن (١٦).

٤ــ عملية التكربن : Carbonation

عملية اخرى من عمليات التجويه الكيمياوية حيث تتحول بعض المعادن

---

(١٤) سهل السنوي، مصدر سابق، ص ١٣١.

(15) Nyle C. Brady, The Nature and Properties of Soils, 8th ED. Macmillan Publishing Co., New York, 1974,, P. 283.

(16) Cliff Ollier, op. cit., p. 34.

الصخرية مثل الجير والصودا والبوتاس وغيرها من الاكاسيد القاعدية الى كاربونات بوساطة حامض الكاربونيك في الماء او في الهواء (١٧).

يعتبر ثاني اوكسيد الكاربون مصدر تكوين حامض الكاربونيك ويوجد هذا في هواء التربة وكذلك في الغلاف الجوي حيث يتكون حامض الكاربونيك عند ذوبان هذا الغاز بالماء. وتكون لهذا الحامض القابلية على مهاجمة الصخور التي تحتوي معادنها على عناصر الحديد والكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم. تذوب هذه العناصر بحامض الكاربونيك فتتحول الى كاربونات ذات قابلية كبيرة على الذوبان. ويهاجم الماء الذي يحتوي حامض **الكاربونيك** الحجر الجيري حيث يتحول الى بيكاربونات تكون قابلية ذوبانها اكبر بمرات عديدة من قابلية الاذابة للحجر الجيري وكما في المعادلة التالية: (١٨)

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

كاربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) + ماء + ثاني اوكسيد الكاربون ← بيكاربونات الكالسيوم

هذا وتنتقل البيكاربونات وهي ذائبة في الماء تاركة المواد الاخرى التي لاتذوب فيه بالسرعة نفسها في مكانها. وقد تكونت بهذه الطريقة معظم الاشكال الكارستية والكهوف. ويزداد تأثير حامض الكاربونيك من خلال انواع اخرى من الحوامض العضوية الموجودة في التربة والناتجة من تحلل المواد النباتية بالدرجة الاساسية. وتهاجم الاحماض العضوية الموجودة في التربة الفلدسبار اثناء الفصل المطير وتكون نواتج ذلك مهمة في عملية النمو النباتي (١٩).

٥ــ عملية التأكسد Oxidation

تحدث هذه العملية عندما يتحد الاوكسجين الموجود في الغلاف الجوي مع المعادن المكونة للصخور وعلى الرغم من سعة انتشار هذا النوع من التجوية الكيمياوية الا ان اهميتها قليلة. وتكون لعملية التأكسد اهمية خاصة في تجوية

(17) E. Derbyshire, and others, Geomorphological Processes, Dawson Westview Press, Chatam, 1979, p. 35.

(18) W. Thornbury, OP. cit., p. 45.

(19) B.W. Sparks, Geomorphology, Longmans, London, 1965 pp. 27-28.

الصخور التي تحتوي على الحديد اذا كانت مصحوبة بعملية الترطيب . ويرجع معظم الالوان الجميلة المتباينة للصخور وفي المناطق ذوات المناخ الجاف وشبه الجاف بشكل خاص الى تعرض المعادن الحديدية الموجودة فيها الى التجوية مكونة معادن جديدة مثل الهماتايت ($Fe_2 O_3$) والليمونايت ($Fe_2 O_3 + 3H_2 O$) (٢٠). كما تؤدي عملية التأكسد الى تقليل مقاومة الصخور لعمليات الذوبان بالماء وخاصة الماء الذي يحتوي على الحوامض .

٦ــ التجويه الكيمياوية العضوية :

توجد الاحياء في التربة بكميات هائلة وخاصة في الاقاليم المناخية المعتدلة الرطبة حيث تقدر بحدود ٣٠ ــ ٤٠ طن في الهكتار الواحد . وتحتوي التربة الرطبة بين ٢ ــ ١٤ مليون بكتريا في السنتمتر المكعب الواحد . وينتج عن وجود الاحياء المختلفة الموجودة في التربة وعن سلسلة الحياة الموجودة فيها تكون مادة معقدة تعرف بالمواد العضوية humus . وتذوب هذه في الماء الذي يكون بشكل حامض قليل التركيز ويقوم هذا بدوره بمهاجمة معادن السيليكات الموجودة في التربة والصخور (٢١). حيث تتحول حتى المعادن غير القابلة للذوبان فيها بهذه الطريقة الى محاليل غروية يسهل على الجذور امتصاصها .

العوامل المؤثرة في التجوية :

تعتمد سرعة تأثر الصخور بالتجوية ونوعية عملية التجوية التي تقوم بذلك على عوامل عديدة يمكن اجمالها بالاتي :

١ ــ نوعية الصخور :

اذ تختلف الصخور كثيراً تبعاً لدرجة صلابتها ويرجع ذلك الى التباين في مكوناتها المعدنية وطبيعة المواد اللاصقه لذراتها ودرجة تضاغطها . تقسم معادن الصخور تبعا لدرجة صلابتها بموجب مقياس (Moh للصلابة) الى درجات تتراوح بين (١)

(20) W. Donn. op. cit. p. 159.

(21) James Gilluly, and others, Principles of Geology, 4th Edition, W.H. Freeman, San Francisco, 1975, p. 216.

للمعادن اللينة الى (١٠) للمعادن ذات الصلابة العالية. فالجبس على سبيل المثال تكون درجة صلابتة ٢ والكالسايت ٣، الارثوكليس ٦ والكوارتز ٧.

تكون معظم الصخور النارية كما بينا ذلك في الفصل الثاني من هذا الكتاب صلبة نتيجة لطبيعة مكوناتها المعدنية ولان هذه المعادن ارتبطت مع بعضها ارتباطا قويا اثناء عملية التبريد والتبلور. وتكون الصخور الرسوبية في معظمها لينة رغم انها تحتوي على معادن صخرية صلبة. فالحجر الرملي يتكون معظمه من الكوارتز لكنه يصبح لينا بسبب المواد اللاصقة للكوارتز والتي تكون لينة مثل اوكسيد الحديد او كاربونات الكالسيوم. وتصبح بعض الصخور الرسوبية صلبة عندما تكون تلك المواد اللاصقة بدورها صلبة هي الاخرى. وان من الامور المعروفة لدى الجيومورفولوجيين ان لدرجة صلابة الصخور اثراً في مقدار تأثرها بالتجويه، حيث لاتتأثر الصخور الصلبة بالعمليات الجوية الميكانيكية والكيمياوية الا قليلاً رغم طول الفترة التي قد تكون معرضة فيها لهذه العمليات. واذا كانت الصخور متكونة مثلا من معادن ذات الوان مختلفة فأن قابليتها على امتصاص اشعة الشمس وحرارتها سوف تكون متباينة ايضا ولذلك يحصل تمدد غير متساوٍ لهذه المعادن الامر الذي سوف يساعد على زيادة سرعة تفكك تلك الصخور. ويحدث الشيء نفسه اذا كانت معاملات التمدد لتلك المعادن متباينة بدرجة كبيرة. وتتسخن الصخور ذوات الالوان الداكنة مثل البازلت والكابرو بسرعة اكبر وتتأثر بعملية التفكك بشكل اوضح مما عليه في الصخور ذوات الالوان الباهتة مثل الطباشير والحجر الجيري الذي يعكس معظم اشعة الشمس الساقطة عليه.

تؤدي زيادة المفاصل الى زيادة المساحة السطحية من الصخور والتي سوف تتعرض لعمليات التعرية المختلفة. اذ يتركز دخول الماء المحمل بالاحماض الى الصخور من خلال المفاصل الموجودة فيها، (شكل رقم ٢٧). وخير مثال على ذلك ان السبب في تكوين الاشكال الكارستية في الصخور الجيرية انما يعود الى النظام المفصلي الجيد الموجود فيها. كما وتساعد المفاصل في عملية تعاقب الانجماد والذوبان اذ يتغلغل الجليد خلالها. وتعتمد عملية التقشرالمهمة اعتماد كليا على وجود المفاصل الافقية الامتداد في الصخور.

٢ ــ المناخ:

للمناخ اثر مهم في عمليات التجوية حيث يعتمد كثير منها وبشكل تام على وجود ظروف مناخية معينة. اذ يتركز الصقيع في المناطق التي يتعاقب حدوث الانجماد والذوبان فيها. وتكون التجوية الناتجة عن التسخين مهمة جداً في الاقاليم التي تتذبذب فيها درجات الحرارة بين الليل والنهار بشكل واضح. يشتد نشاط كل فعاليات التجوية الكيمياوية في المناخ الحار اذ تزيد سرعة التفاعل الكيمياوي بمقدار الضعف مع كل ارتفاع مقداره ١٠° م في الحرارة. وتتعاظم فعالية التجويه الكيمياوية اكثر في المناخات الرطبة وذلك لان الماء ضروري في عمليات التحليل المائي والترطيب والتكربن بصورة خاصة. ويتوضح أثر المناخ على التجويه بصورة جيدة لو اجرينا تقسيماً للارض الى اقاليمها المناخية الرئيسة والتي هي:

شكل ٢٧ مفاصل صخور أثرت فيها عمليات التعرية بصورة واضحة

١ــ **المناخ المداري الرطب**: تسمح الظروف المناخية المتمثلة بالحراره العالية والأمطار الغزيرة لقيام تحلل كيمياوي فعال. وتبقى معظم المواد المفككة في مواقعها على السفوح فيما عدا السفوح ذوات درجات الانحدار الشديدة التي عليها

ظاهرات مثل المجارى الطينية والانزلاقات الارضية. وتتعرض الى التعرية الكيمياوية حتى الصخور النارية الحامضية الصلبة الى اعماق تزيد احياناً عن ٣٠ متر وفي حالات استثنائية الى ٩٠ ــ ١٢٠ متر. ويصاحب الزيادة في التفاعلات الكيماوية في هذا المناخ زيادة في الفعاليات الحياتية.

٢ــ **المناخ الجاف وشبه الجاف**: لاتكون التجوية الكيمياوية ذات تأثير في هذه الانواع من المناخ بسبب النقص في الرطوبة في حين تكون التجوية الميكانيكية على اقصى درجاتها فيه، ونظراً الى ان هذه الاقاليم ذوات مدى حرارى يومي كبير فان عملية تعاقب التمدد والتقلص لمعادن الصخور تكون شائعة فيها الامر الذي يعرض الصخور العارية من الغطاء النباتي الى التحطيم والتقشر. ويعتقد ان التجوية الكيمياوية تستطيع وبمساعدة رطوبة قليلة ان تكون تقشرا وتعرية للسفوح السفلى وكذلك للكتل الصخرية المنعزلة في الصحاري.

٣ــ **المناخ المعتدل الرطب**: تسود معظم عمليات التجوية في هذا المناخ اذ يظهر اثر الصقيع مثلاً في المفاصل المكشوفة في المناطق الجبلية العالية. وتؤثر عملية التأكسد على الصخور التي تحتوي على معادن حديدية. وتكون عملية التكربن فعالة في صخور الطباشير ومناطق الحجر الجيري. كما تسود عملية التحليل المائي وغيرها فوق الصخور النارية. ومن المهم ان اية عملية من عمليات التجوية لاتكون سريعة في تأثيرها في هذا النوع من المناخ علما بان مجمل تأثير التجوية الكيمياوية يكون اكثر من تأثير عمل التجوية الميكانيكية. حيث يشتد نشاط الاولى بوجود التربة والغطاء النباتي الذي يساعد على نفاذ ماء المطر وتكوين الاحماض العضوية.

٤ــ **المناخ القطبي**: يعتبر الصقيع العملية الرئيسة السائدة الذي ينتج منها حطام صخري كتلي مع كميات كبيره من فتات صخرية مدببة ناتجة عن تحطم الجلاميد الصخرية الكبيرة. توجد التجوية هنا بطريقتين:

١ــ يستطيع الماء الموجود على السفوح الخالية من الغطاء النباتي والتربة ان ينفذ الى الشقوق والمفاصل ويكون اسفينا جليديا.

٢ــ يحدث تعاقب للانجماد والذوبان في النطاق الاعلى من التربة والواقعة فوق منطقة الانجماد الدائم حيث تتحطم الصخور الصلبة.

وتكون التجوية الكيمياوية في هذا المناخ اقل تأثيراً من التجوية الميكانيكية رغم ان بعض الاحماض العضوية قد تتكون اسفل تراكمات اللبد النباتي، كما وجد ان الماء الذي يأتي من اسفل الجليد يحتوى على كاربونات كالسيوم مذابة فيه الامر الذي يؤكد قيام عملية التكربن (٢٢).

توجد علاقة وثيقة بين التأثيرات المكانية للتجوية وبين الموقع الجغرافي للمنطقة. فلنفرض على سبيل المثال وجود سلسلة جبلية تمتد من الشرق الى الغرب عند خط عرض ٤٥ شمالاً، ولنتصور ايضا ان كميات متساوية من الثلوج تسقط على جانبي هذه السلسلة بصورة متقطعة طيلة العام سنجد بعد ذلك ان الثلوج سوف تغطي سطح الارض طول الشتاء في السفح الشمالي من السلسلة بينما توجد حالة ذوبان اكثر للثلوج على السفوح الجنوبية لها حيث تمتلىء الشقوق الصخرية بالمياه التي تتجمد هناك. وسوف يؤدي تكرار الانجماد والذوبان الى زيادة في تحطيم الصخور على السفح الجنوبي منها على السفح الشمالي (٢٣).

٣ــ التضاريس:

تؤثر التضاريس في عملية التجوية من خلال تأثيرها على نوعية المناخ الذي يسود فوقها. حيث تختلف السفوح الجبلية فيما بينها في درجة ارتفاعها وكذلك مقدار تعرضها لاشعة الشمس ودرجة مواجهتها للرياح الرطبة. وتؤدي كل هذه الاختلافات الى ظهور انماط متنوعة من المناخ تؤدي الى زيادة في تأثير انواع خاصة من التجويه.

كما وتختلف التضاريس في درجة انحدار سفوحها ويؤثر ذلك بدوره على سرعة ونوعية عملية التجوية الموجودة عليها. اذ تزداد حدة التجوية الميكانيكية على السفوح الشديدة الانحدار والتي يمكن ان يحصل فيها ظواهر مثل الانزلاق الارضي، زحف التربة... الخ بحيث تبقى تلك السفوح عارية عن التربة وتكون صخورها

(22) R. S. Small, op. cit., pp. 18-27.

(23) Worcester, Op. cit., p. 127.

معرضة لعمليات التجوية الميكانيكية مثل اثر الصقيع او التمدد والتقلص الناتج عن تباين درجات الحرارة. وتزداد سرعة جريان المياه السطحية فوق هذه السفوح الامر الذي يزيد حتى من عملية تجوية تلك السفوح تجوية كيمياوية.

ويتبع قلة درجة انحدار السفوح وجود سميك للتربة فوق الصخور الاصلية والتي نتجت هي الاخرى من خلال عمليات تجوية مختلفة. وتقوم تلك بحماية ماتحتها من صخور من ان تتعرض الى التجوية الميكانيكية بالدرجة الاساسية. ولكن وبسبب احتواء تلك التربة على كميات من المياه، على الاغلب، فأن ذلك يساعد على قيام تجوية كيمياويه عليها.

بعض الاشكال الارضية الناتجة عن التجوية:

عندما تتعرض الصخور التي تتباين طبقاتها او مكوناتها في درجة مقاومتها لعمليات التجويه يحدث ان يكون تأثير تلك العمليات شديدا فوق الجهات اللينة او القليلة المقاومة. فتتآكل تلك الاجزاء في حين تظل الطبقات او الاجزاء الصلبة بارزة. ويعرف هذا النوع من التجويه باسم التجويه المتباينة Differential. وتتكون بهذه الطريقة اشكال مثل الأشكال الارضية التي تشبه نبات الفطر Mashroom rock (شكل رقم ٢٨).

شكل ٢٨

التجويه المتباينه

وينتج من تعرض الركام الجليدي وصخور المجمعات البركانية (البريشيا) الى عملية التجوية الى تكون اعمدة او ابراج توجد في اعلاها جلاميد صخرية كبيرة صلبة تحمي الحطام الصخري المفكك الموجود اسفلها ويطلق على هذه الاشكال اسم Demoiselles .

وقد سبق وبينا ان التالوس هو ايضاً احد الاشكال الجيومورفية التي تنتج عن عملية التفكك الصخري بواسطة تكرار عملية التجمد والذوبان .

تتعرض بعض الصخور التي يظهر فيها نظام مفصلي يفصلها الى كتل متباينة في الحجم حيث تقوم عمليات التعرية بالتأثير بشكل كبير في منطقة المفاصل التي تمثل مناطق الضعف في تلك الصخور اذ يتحول شكلها نحو الاستدارة وخاصة عند حافاتها المفصلية السابقة. وتعرف تلك الاشكال بالجلاميد المتخلفة Residual bouders[25]

نتائج عملية التجوية :

يتكون الغطاء الصخري او regolih من جراء عملية واحدة او اكثر من عمليات التجوية التي مر شرحها فيما تقدم من البحث. ويعني هذا الغطاء الحطام المفكك الذي يتكون من الصخور والمعادن في مختلف مراحل تحللها والذي يغطي بدوره الصخور الصلبة غير المتفككة التي تعرف بالصخور الاصلية bed rock . ويعطى في الغالب لهذا الغطاء الصخري المفكك الذي ينقل من مكان اخر اسما يتفق والعملية التي قامت بنقله وارسابه مثل الثلاجات والرياح والانهار .. الخ ولذلك فهناك رواسب طموية او مائية ناتجة عن ترسيب الانهار ورواسب جليدية ناتجة عن ترسيب الجليد وكذلك فان رواسب اللويس والكثبان ناتجة عن عمل الرياح .

وكما بينا في الفقرة السابقة، يبقى هذا الغطاء الصخري المفكك دون ان يتحرك الا قليلا في المناطق السهلية المستوية وفوق قمم الهضاب المسطحة وكذلك في اقاليم الغابات الكثيفة وفي الاقاليم ذوات التربة المتجمدة .

(24) R.J. Small, op. cit., p. 27.

(25) A.K. Lobek, op. cit., p. 81.

بتحرك الغطاء الصخري المفكك في غير تلك الاقاليم نحو الاسفل بتأثير الجاذبية الارضية وبمساعدة المياه الباطنية احيانا مكونا الانزلاقات الارضية بانواعها المختلفة والتي هي :

١ــ حركات سريعة جداً مثل انزلاق وتساقط الصخور ولا يكون وجود الماء ضروريا في حدوث مثل هذه الحركات وتعرف الاشكال الناتجة عنها بالتساقط الصخري rock falls ، الانزلاق الصخري rock slide وانزلاق الحطام الصخري debris slides .

٢ــ انسياب بطيء يحدث للمواد التي تشبعت جزئيا بالماء مكونة مظاهر مثل زحف الصخور ، زحف التربة ، وانهيار التربة .

٣ــ انسياب سريع يحدث في المواد التي تشبعت كليا بالماء حيث ينتج عنها مجرى التربة والمجاري الطينية [٢٦] (شكل رقم ٢٩) .

تعتبر الانزلاقات الارضية اهم تلك الحركات حيث تتأثر بها احجام كبيرة من المواد الصخرية وتتأثر التضاريس بها كثيراً ايضاً وتحدث الانزلاقات الارضية عند توفر واحد او اكثر من الظروف التالية :

١ــ سفوح شديدة الانحدار وخاصة في السفوح الانكسارية او المنحدرات التي يعملها الانسان عند شقه للطرق خلال المناطق الجبلية . وتعتبر الجدران الحادة الارتفاع التي تحيط بالخوانق النهرية والوديان الجليدية اماكن مناسبة اخرى لتكوين الانزلاقات الارضية .

٢ــ الترطيب الذي ينتج من خلال سقوط امطار غزيرة او ذوبان كميات من الثلج او الجليد . حيث تصبح كثير من الصخور زلقة بعد سقوط امطار غزيرة على المنطقة كما يكون للوزن الذي تضيفه مياه الامطار على الصخور اهمية اخرى ايضاً . هذا وتحدث كثير من الانزلاقات الارضية الصغيرة بسبب تشبع الارض بالمياه المتسربة اليها من الخزانات وقنوات الري .. الخ .

٣ــ الزلازل التي قد تسبب بداية حركة الانزلاق الارضي ويعتقد بأن كثيراً من الانزلاقات الارضية القديمة التي حدثت في جبال San Juan في كولورادو

(26) A.K. Lobeck, op. cit., p. 93.

شكل ٢٩

أهم أنواع الانزلاقات الأرضية

كانت قد نتجت عن زلازل قديمة ايضاً. ويمكن للبراكين ان تلعب الدور نفسه ايضاً.

٤ــ ازالة الطبقات الارضية الساندة بوساطة عمليات طبيعية او بوساطة الانسان وذلك عندما تتحول بعض الطبقات الصخرية من جراء عمليات تجويه كيمياوية الى طين يقوم عند ترطيبه بتسهيل عملية انزلاق الطبقات والتكوينات الصخرية الواقعة فوقه. ويساعد الانسان على قيام عملية الانزلاق عندما يزيل طبقات صخرية تحتية بحثاً عن المعادن كالفحم مثلاً.

٥ــ وجود بنية صخرية غير اعتيادية كأن تكون طبقات تميل كثيراً الى درجة انها قد تتطابق مع درجة ميل السفوح نفسها او حيث توجد مفاصل طبقية تكون موازية لجدران الخوانق والوديان النهرية العميقة.

٦ــ اثر الجاذبية الارضية. وهو عامل مهم جداً في تكوين الانزلاقات الارضية حيث يقوم بمساعدة العوامل السابقة على الاقل (٢٧).

لقد ازداد الاهتمام بدراسة الانزلاقات الارضية في الآونة الاخيرة وخاصة بعد الزيادة التي حصلت على أعداد السكان وما أعقبها من زيادة في ظاهرة التحضر والحاجة الى انشاء مستوطنات جديدة حول المدن التي تحيط بها المرتفعات بصورة خاصة كما في حالة سان فرانسيسكو اذ ظل المخططون يهملون أثر تلك الانزلاقات مما أدى الى حصول كوارث عديدة حيث ضربت على سبيل المثال مدينة كوبي Kobe في اليابان بالانزلاقات الارضية التي تحدث في جبال Rokko من جراء سقوط الأمطار الغزيرة علماً بأن هذه المدينة كبيرة ويبلغ تعداد سكانها اكثر من مليون نسمة (٢٨) ولذلك فأن من الضروري تحديد مواقع الاستيطان في المناطق التي لاتتعرض الى ظاهرة الانزلاقات الارضية او ايجاد الوسائل لحمايتها منها.

التربة:

تعتبر التربة النتاج المباشر لعمليات التجوية المختلفة. وتطلق هذه التسمية على الطبقة العليا المفككة من القشرة الارضية والتي تكونت بتأثير عمليات التجوية

(27) Worcester, Op. Cit., pp. 424-431.

(28) Masamu Aniya, Landslide - Susceptibility Mapping in the Amorhata River Basin, Japan, Annals, Vol. 72, No. 1, 1985, p. 102.

والتعرية المختلفة. والتربة من ناحية التركيب عبارة عن تجمع طبيعي لمعادن ومركبات عضوية متحللة جزئياً. وتتكون من طبقات مختلفة السمك متغيرة في شكلها وفي طبيعة تركيبها وخواصها الكيمياوية والحيوية عن صخور الاساس التي تحتها. ويعتمد تكوين ونوعية التربة على العوامل التالية مجتمعة:

١ــ صخور الاساس.
٢ــ الظروف المناخية.
٣ــ الاحياء او العضويات.
٤ــ التضاريس الارضية
٥ــ الزمن (٢٩).

وقد عرف بوشنل Bushnell التربة في سنة ١٩٤٢ بأنها قسم من اقسام سطح الارض يتميز بأنه مكون من طبقات موازية له وناتج عن تحوير المواد الاولية نتيجة لعمليات فيزياوية وكيمياوية وحياتية. وقد تمت هذه العمليات تحت ظروف مختلفة وخلال فترات زمنية مختلفة ايضاً (٣٠). وسوف لانحاول ان ندخل في تفاصيل موضوع التربة لان ذلك من اختصاص علم متميز وواسع هو علم التربة البيدولوجي Pedology اضافة الى ان الطلبة يدرسون الموضوع ضمن الجغرافية الحياتية في مرحلة دراسية لاحقة.

يمكن تقسيم التربة من ناحية جيولوجية الى نوعين هما:

١ ــ التربة المتبقية او المتخلفة

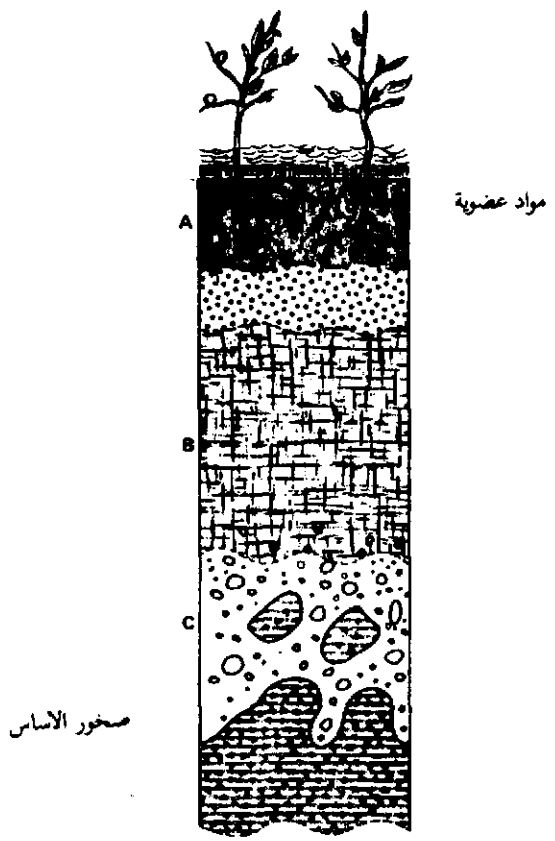
تعني هذه التربة من اسمها انها تلك التي اشتقت من الصخور نفسها التي تستند عليها وانها تبقى فوق تلك الصخور وبذلك فأنها تحتوي على المعادن الاولية نفسها الموجودة في صخور الاساس. وتدل التربة المتخلفه العميقة على حدوث عمليات تجوية سريعة او ان المنطقة لم تتأثر منذ وقت طويل بعمليات تعرية تقوم بنقل الحطام الصخري الى مكان آخر. ويكون من الصعوبة بمكان معرفة نوعية الصخور

---

(٢٩) فاروق صنع الله العمري وعبد الهادي يحيى الصائغ، الجيولوجيا العامة، مطبعة جامعة الموصل، ١٩٧٨، ص ١٢٢.

(30) Worcester, op. cit., p. 130.

الاصلية التي تنشأ منها التربة المتخلفة القديمة التكوين وذلك بسبب عمليات التحلل الكيمياوي الذي تعرضت له مكوناتها وادت الى تغيير في صفاتها الاصلية، وتعرف مثل هذه التربة بالتربة الناضجة (شكل رقم ٣٠).



شكل ــ ٣٠ ــ

مقطع من تربة ناضجة

تلعب الظروف المناخية دوراً مهماً في تكوين خصائص التربة المتبقية اذ يطلق على مجموعة التربة التي تتطور عند ظروف مناخية رطبة اسم مجموعة Pedalfers وهي الترب التي تحتوي على الحديد والالمنيوم بشكل خاص. وتتكون هذه الترب في المناطق ذوات المناخ الرطب التي يزيد معدل مطرها عن ٦٠ ــ ٧٥

سم في العام. ويعني هذا ان التربة والصخور الاصلية الواقعة تحتها تكون رطبة بصورة مستمرة. وتتجرد هذه الترب من املاحها بصورة مستمرة الامر الذي يجعلها فقيرة بها نسبياً. وتتصف بأنها تفتقر كثيراً الى المواد القابلة للذوبان مثل املاح البوتاسيوم والكالسيوم وكذلك فهي فقيرة بموادها العضوية. ومن امثلة هذه التربة تربة اللاتريت Latrrite التي توجد في الاقاليم المدارية ذوات الامطار الغزيرة التي تسبب حدوث ظاهرة التجرد leaching فيها. ولا يمكن استغلال هذه التربة للزراعة الا باستعمال الاسمدة.

يطلق على مجموعة الترب التي تتطور تحت ظروف مناخية جافة او شبه جافة اسم ترب البيدوكال pedocals. وتعني الترب التي تحتوي على الكالسيوم. وتنشأ هذه الترب في الاقاليم التي تقل امطارها السنوية عن ٦٠ سم ولاتسمح هذه الكمية القليلة من الامطار بحدوث جريان مائي خلال التربة نحو الاسفل. ويكون معظم النبات الطبيعي الموجود عليها من الحشائش والشجيرات الصغيرة. تحتوي هذه التربة على كل المواد القابلة للذوبان والتي تسبب خصوبتها. وتتباين هذه الترب في خصوبتها من تربة الجرنوزم Chernozem السوداءالخصبة التي تحتوي على كميات كبيرة من المواد العضوية الى ترب الصحاري الرمادية الفقيرة التي ليس فيها الاكميات قليلة من هذه المواد(٣١).

٢ــ الترب المنقولة Transported

تشمل التربة المنقولة كل انواع التربة التي قامت عمليات جيومورفولوجية معينة بازالتها من فوق الصخور الاصلية التي نشأت عنها ونقلتها وارسبتها تلك العمليات نفسها او غيرها. وتختلط هذه التربة اثناء عملية نقلها بمواد قادمة من صخور اخرى مختلفة. ولذلك لايمكن تحديد نوعية الصخور الاصلية بالنسبة الى التربة المنقولة. كما وتنتقل بعض هذه الانواع من التربة الى مسافات قصيرة من خلال حركات الانزلاقات الارضية المختلفة التي ذكرت سابقاً. وينقل القسم الاخر الى مسافات قد تزيد عن مئات الكيلومترات عن منطقة المنشأ كما هي الحالة في التربة الطمويه او التي تنقلها الرياح. وتضم التربة المنقولة الانواع التالية:

---

(31) A.K. Lobeck, op. cit., pp. 78-79.

١ــ التربة الثاقلية Gravity Soil او Colluvial

تتكون هذه التربة نتيجة الى تدحرج الحطام الصخري تحت تأثير قوة الجاذبية الارضية من المناطق المرتفعة باتجاه الجهات المنخفضة ولمسافة قصيرة من منطقة المنشأ. ويكثر هذا النوع من التربة في المناطق الصحراوية او شبه الصحراوية بسبب سيادة التجوية الميكانيكية وقلة وجود الغطاء النباتي الذي يمنع تساقط وحركة الحطام المفكك. وتعتبر الانزلاقات الارضية بكافة اشكالها اسباباً رئيسة لهذه الحركة للتربة. ولا تتشابه ذرات هذه التربة في احجامها اذ غالباً ماتختلط معها الجلاميد الصخرية الكبيرة الاحجام (boulders). توجد هذه التربة عند قدمات المنحدرات الشديدة. ولاتظهر فيها عادة صفة طباقية جيدة.

٢ــ التربة الطموية: Alluvial

تضم هذه التربة كل انواع التربة التي قامت المياه السطحية الجارية بنقلها وترسيبها او عند اتصالها بمسطحات مائية بشكل دلتاوات. تتميز هذه التربة بأنها ذات صفة طباقية جيدة كما وتتصف بتجانس ذرات الرواسب فيها. وهما خاصيتان تميزان الترسيب المائي عن غيره. وتوجد الترب الطمومية بصورة خاصة فوق سهول الانهار الفيضية التي تغمرها مياه الفيضان بين حين واخر. كما توجد في الدلتاوات والدالات المروحية والبجادا وبنطاق اقل في البحيرات الساحلية lagoons والمستنقعات وفي قيعان المجاري النهرية القديمة. وتمثل السهول الفيضية للانهار الكبرى في العالم مثل سهل المسيسيبي والنيل ودجلة والفرات نماذج جيدة من التربة الطمومية. ويوضح نهر النيل جيداً كيفية تكون كل من السهول الفيضية والدلتاوات من خلال نقله للكميات العظيمة من التربة الجيدة الى الاراضي الواقعة قرب مصبه.

هذا وتتميز التربة الطمومية بأنها سميكة في العادة وخصبة خاصة اذا كانت ظروف المناخ ملائمة لتكاثر المواد العضوية بسرعة فيها وكذلك بسبب التجديد المتواصل الذي يحصل عليها جراء ماتلقيه عليها الفيضانات من ارسابات جديدة كل عام تقريباً.

٣ــ التربة الجليدية Glacial Soils

ترسبت التربة الجليدية في مناطق واسعة من اليابسة عندما تراجع الجليد الذي غطى مساحات كبيرة من القارات اثناء البلايستوسين. وقد القى ذلك الجليد بالرواسب التي كان يحملها معه مكوناً مايعرف باسم التربة الجليدية (سوف نفصل في نوعية هذه الرواسب والاشكال الجيومورفية ذات العلاقة في الفصل الخامس).

تتميز التربة الجليدية بأنها غير طباقية وانها ذوات ذرات غير متجانسة في احجامها كما تتصف بدرجة مساميتها العالية. وتعتبر تربة نطاق الذرة المشهور في الولايات المتحدة من أوضح الامثلة لهذا النوع من التربة.

٤ــ تربة قيعان البحيرات Lacustrine

تتغطى قيعان كثير من البحيرات التي انصرفت مياهها لسبب من الاسباب بترب ذات صفة طباقية جيدة. وتتباين هذه التربات كثيراً في حجم ذراتها تبعاً لموقع البحيرة من وادي النهر حيث تكون طبيعة الرواسب اكثر خشونة اذا كانت الانهار التي تصب في البحيرات في مرحلة متقدمة من مراحل الدورة الجيومورفولوجية. وتختلف تربة البحيرات في خصوبتها ايضاً تبعاً لدرجة وجود وتحلل المواد العضوية فيها. ويقع نطاق القمح في الولايات المتحدة وكندا، الذي يمتد في غرب ولاية مينسوتا وشمال داكوتا وكذلك في جنوب مانيتوبا وسسكجوان، فوق موقع لاحد البحيرات القديمة التي انصرفت مياهها بواسطة النهر الاحمر وروافده، ويتصف هذا الاقليم بأستوائه الشديد وبخصوبة تربته في الوقت الحاضر.

٥ــ التربة الهوائية *Eolian soil*

تتكون هذه التربة من جراء الترسيب للمواد التي تنقلها الرياح. اذ تستطيع الرياح ان تنقل ذرات رواسب من مصادر مختلفة بعضها قادم من مواد طموية قامت الانهار بترسيبها فوق سهولها الفيضية ويأتي قسم آخر من تلك الرواسب من مناطق الارسابات الجليدية اضافة الى مصادر اخرى مثل الغبار البركاني او المواد التي تقوم الرياح نفسها بتعريتها وقطعها من الصخور او تقوم بتفريغها من المناطق والاحواض الصحراوية. وتترسب المواد الخشنة الذرات في مناطق ليست بعيدة

عن المنشأ في حين يمكن للرياح ان تنقل المواد ذوات الذرات الدقيقة الى مسافات بعيدة جداً (سيأتي شرح كامل لهذه العملية عند دراستنا لموضوع اثر الرياح في الفصل السادس) . وتعتبر ترسبات تربة اللويس من اشهر الامثلة على التربة الناتجةعن ترسيب الرياح . وتتصف بأنها لم تتعرض الى عملية التجريد من الاملاح لانها نقلت على الاغلب من مناطق جافة او شبه جافة . وكذلك فأن ذراتها تكون ناعمة ولذلك فأنها خصبة بدرجة كبيرة (٣٢) . كما هي الحالة في تربة اللويس في حوض هوانكهو في الصين ومنطقة السهول العظمى في الولايات المتحدة واوكرانيا في الاتحاد السوفياتي .

هذا وتعتبر الكثبان نوعاً آخر من انواع التربة الهوائية وتتكون بأشكال مختلفة في الاقاليم الصحراوية . وتتألف معظم حبيبات تربة الكثبان من الكوارتز وبعض معادن الميكا mica . وتكون نفاذية هذه التربة للماء عالية جداً . وعادة ماتوجد الكثبان الرملية على شكل مجموعات تتراوح بين ٤٠ ــ ٥٠ كثيباً في الكيلومتر المربع الواحد . وتعتبر منطقة بحر الرمال الموجودة بين مصر وليبيا من اشهر الاماكن التي توجد فيها الكثبان الرملية في العالم (٣٣) .

---

(32) P. Worcester, op cit., pp. 131-134

(٣٣) فاروق صنع الله ، مصدر سابق، ص ١٢٤ .

الفصل الرابع

المياه السطحية الجارية

(الانهار)

الانهار

تعتبر الانهار من اكثر العمليات الجيومورفية انتشاراً واكثرهااهمية في التأثير على سطح الارض وتغيير مظاهره. اذ تقوم الانهار بنقل معظم المواد الصخرية القارية التي اقتطعتها هي او غيرها من العمليات الى المحيط. وبذلك فانها تعمل على تخفيض سطوح القارات بشكل متواصل. تنتشر الانهار عند كل مستويات الارتفاع عن مستوى سطح البحر تقريباً ماعدا تلك التي ترتفع فوق مستوى خط الثلج الدائم وكذلك فانها يمكن ان توجد في معظم انواع المناخ فيما عدا المناخ ذي الانجماد الدائم.

وان المرء ليعجب حقاً عندما يرى بعض الاشكال الارضية التي قامت الانهار بتكوينها باعتبارها العملية الرئيسة فيها كما في الخانق العظيم لنهر كلورادو (شكل رقم ٣١) ذلك الخانق الذي يزيد عمقه في بعض مواقعه عن ١ر٥ كم عن مستوى سطح الهضبة المجاورة له والذي يبلغ اتساعه حوالي ٢٥ كم.

لقد اطلق Strahler على الانهار اسم مكائن الارض حيث انها تقوم بوظفيتين مهمتين اذ انها تصرف المياه الزائدة عن سطح اليابسة في بعض المناطق كما وانها تعمل بقوة في سبيل نحت وتعرية سطح اليابسة. يقوم النهر في سبيل انجاز لوظيفته الثانية بالاعمال التالية :

١ــ يقوم باذابة وتعرية سطح الارض الذي يتحرك عليه .
٢ــ ينقل تلك المواد التي قام بتعريتها او اذابتها .
٣ــ يرسب المواد التي قام بنقلها بطريقة الدحرجة او التعلق (١).

لايقتصر عمل النهر كما بينا سابقاً على النحت والتعرية فقط وانما يقوم ايضاً باعمال انشائية كبيرة كما في السهول الفيضية والدلتاوات والدالات المروحية وسهول البجادا Bajada. ويمكن ان تكون الانهار بذلك عوامل انشائية constructional بقدر ماتكون عليه عوامل تخريبية destructional وفي الوقت نفسه احياناً. فيصبح النهر في هذه الحالة نهراً متوازناً graded اذ يقوم النهر وفي مناطق معينة من مجراه بعملية النحت والتعرية وبذلك فهو نهر حفار ويرسب النهر في واديه في مناطق معينة اخرى بعض المواد التي قام بتعريتها ونقلها فيقال انه نهر مرسب aggraded. وليست الانهار هي العملية الجيومورفولوجية الوحيدة التي تمر بمثل هذه الحالات اذ تشبهها في ذلك بعض العمليات كالثلاجات والرياح والامواج. غير ان الانهار وعلى نطاق الارض كلها يمكن ان تكون اكثرها اهمية وتاثيراً.

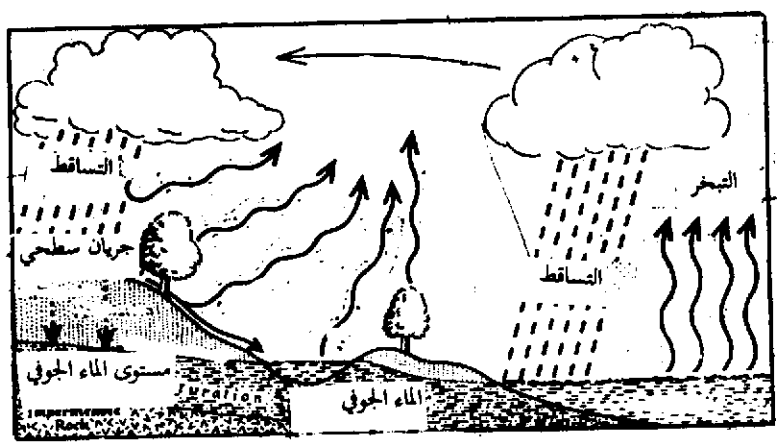
مصادر مياه الانهار :

تعتبر مياه الامطار والثلوج الذائبة المصادر المباشرة لمياه الانهار. يغور قسم من مياه الامطار والثلوج داخل التكوينات الصخرية والتربة. ويتحرك خلالها ثم يخرج بعضه ثانية بشكل عيون او ينابيع او حتى بصورة رشح seepage حيث تقوم هذه المياه بتغذية الانهار ثانية. وتتغذى كثير من الانهار من خلال البحيرات التي تنبع منها او تمر فيها. وتتزود تلك البحيرات بدورها بالمياه بوساطة الامطار الساقطة عليها او مياه الثلوج التي تذوب وتنتهي فيها او من مصادر نهرية تصب بدورها في تلك

(1) Harry Robinson, Morphology and Landscape, Universty Tutorial, London, 1977, p. 198.

البحيرات كما ان الرشح يلعب دوراً مهماً في تغذية تلك البحيرات بالمياه. وينبع الكثير من الانهار من النهاية السفلى للثلاجات.

تعتبر المياه التي تجري في الانهار جزءاً مهماً من دورة الماء في الطبيعة (شكل رقم ٣٢). وتشمل هذه العملية نطاقاً كبيراً يؤدي دوره فوق المحيطات وعلى سطح اليابسة وداخل الغلاف الجوي المحيط بهما. وقد قدرت كمية المياه التي تتبخر من المحيطات بحوالي ٢٠٧ر٠٠٠ كم٣ سنوياً يضاف اليها حوالي ٣٩ر٠٠٠ كم٣ من المياه التي تتبخر من البحيرات والانهار والقنوات وسطح اليابسة .. الخ. ويتعادل المجموع العام لكمية التبخر هذا مع مجموع كمية التساقط الذي قدر ما يترسب منه فوق اليابسة بنحو ٦٢ر٠٠٠ كم٣ بينما تترسب الكمية الباقية فوق المحيطات.



شكل ــ ٣٢ ــ

مخطط يبين دورة الماء في الطبيعة

تقسم دورة الماء في الطبيعة الى ثلاث مراحل : يحدث التبخر في المرحلة الاولى منها ويحدث التساقط في المرحلة الثانية. وينتقل الماء في المرحلة الثالثة نحو المحيط الذي كان قد جاء منه اصلاً. يجري قسم من هذه المياه التي سقطت فوق اليابسة على السطح ويغور القسم الاخر في التربة ويمتص قسم ثالث من قبل النباتات التي تعيده بدورها الى الغلاف الجوي ثانية عن طريق عملية النتح. فاذا كانت كمية مايسقط من مطر فوق منطقة ماحوالي ٧٦ سم في السنة على سبيل المثال يتبخر منها

٥٣ سم اما بصورة مباشرة او بوساطة النباتات. وتجري الـ ٢٣ سم المتبقية فوق سطح الارض لكي تنضم الى المياه السطحية الجارية او تنفذ الى الصخور لتنضم الى المياه الباطنية التي ستصل الى المحيط مرة ثانية بصورة غير مباشرة (٢).

توزيع التساقط على سطح الارض :

بالنظر للعلاقة الوثيقة بين الانهار وكمية وطبيعة التساقط على جهات اليابسة المختلفة لابد من التطرق بشيء من الايجاز الى الصفات العامة لتوزيع التساقط على سطح الارض، اذ يظهر لنا من (الشكل رقم ٣٣) الذي يبين توزيع المطر السنوي في العالم الملاحظات التالية :

١ــ تزداد الامطار غزارة بشكل خاص في الاقاليم الاستوائية وتكون ذات كمية معتدلة في العروض الوسطى وتقل كمية الامطار في العروض القريبة من المدارين وكذلك في المناطق القطبية.

٢ــ تكون الجهات الغربية من القارات جافة في العروض المدارية في حين تتميز السواحل الشرقية الواقعة في العروض نفسها بانها رطبة. وتنعكس الاية في العروض العليا حيث تكون سواحل القارات الغربية ذوات تساقط كبير قياساً الى كمية التساقط على السواحل الشرقية الواقعة معها على دوائر العرض نفسها.

٣ــ تستلم الاقاليم الجبلية المرتفعة المواجهة للرياح كميات اعظم من السفوح الواقعة في ظل المطر وكذلك تكون كمية الامطار الساقطة على تلك السفوح اكبر من تلك التي تنزل على المناطق الواطئة المجاورة لها.

٤ــ تقل كمية التساقط كلما توغلنا الى داخلية القارات لابتعادنا عن المحيط المصدر الرئيسي لبخار الماء في الغلاف الجوي.

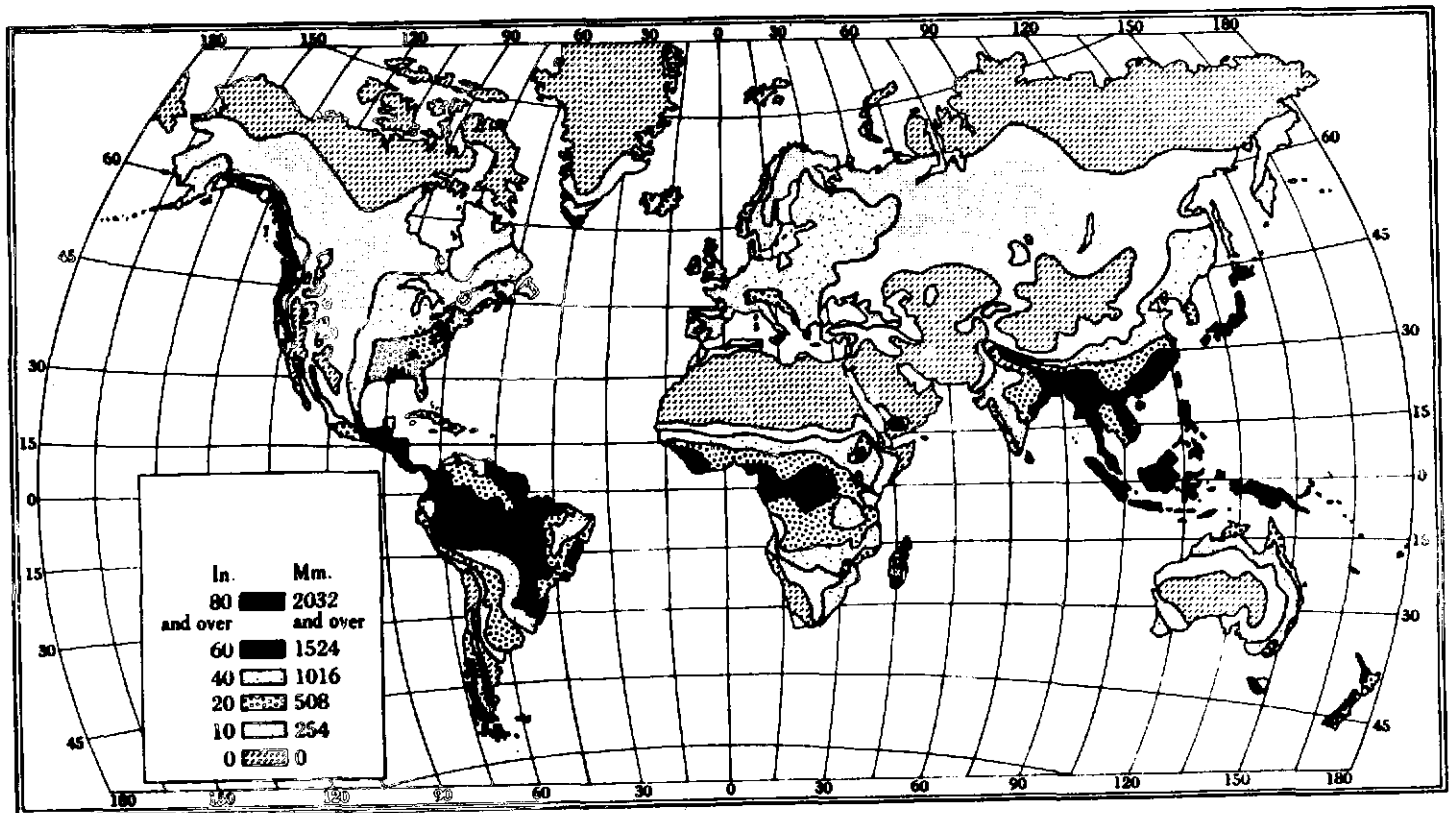
٥ــ تستلم الجهات الساحلية المواجهة للرياح القادمة من المحيط كميات من التساقط اكبر بكثير من السواحل التي تخرج الرياح منها باتجاه المحيط.

٦ــ تزداد كمية التساقط على الجهات الساحلية التي تمر بالقرب منها تيارات بحرية دافئة وتقل كمية التساقط على السواحل التي تمر بالقرب منها تيارات محيطية باردة (٣).

---

(2) M. Cantor, World Geography of Irrigation, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1970, P.3.

(٣) عبدالاله كربل والدكتور ماجد السيد ولي، الطقس والمناخ، مطبعة جامعة البصرة، البصرة، ١٩٧٨، ص١٣٩ ــ ١٤١.



شكل ــ ٣٣ ــ

توزيع التساقط السنوي في العالم

يختلف توزيع كمية التساقط من مكان الى آخر على سطح الارض كما بينا ذلك في اعلاه كما ويختلف من حيث وقت سقوطه وتوزيعه خلال فصل المطر. ويؤثر هذا بطبيعة الحال على حجم وطبيعة الانهار وعلى مقدار العمل الجيومورفولوجي الذي تقوم بادائه، اذ لاتتلقى المناطق الصحراوية الا كميات ضئيلة من التساقط. فعلى سبيل المثال تبلغ كمية التساقط السنوي في مدينة القاهرة حوالي ٣ سم وفي ليما في بيرو ٥ سم، وليم كريك في استراليا ١٣٫٧ سم، وفي يوما في اريزونا بالولايات المتحدة ٨٫٣ سم. وقد لاتسقط الامطار في بعض الاجزاء من صحراء اتكاما في شمال شيلي لفترة تتراوح ٥ ــ ١٠ سنوات بشكل متواصل. ولم تسجل اية كمية للمطر في مدينة كالاما الواقعة خلف السلاسل الساحلية في شمال شيلي (٤). وعلى النقيض من ذلك تستلم بعض الجهات من الكرة الارضية كميات كبيرة من التساقط وخاصة السفوح الجبلية التي تواجه الرياح الرطبة. فعلى سبيل المثال تستلم محطة شرابونجي الواقعة على حافات تلال خاسي في مقاطعة اسام بالهند مامعدله ١٠٧٩ سم من المطر سنوياً. ويعتبر جبل **Waialeale** الواقع في جزيرة **Kawai** في جزر هواي مثلا آخر على مقدار الامطار الغزيرة اذ يسقط عليه مامعدله ١٢٠٦ سم من المطر سنوياً. ويسقط على جبل اولمبك **Olmpic** في مرتفعات كاسكيد بالولايات المتحدة حوالي ٣٧٠ سم من التساقط سنوياً (٥). وعلى الرغم من ان للانهار تاثيراً عظيماً في تكوين التضاريس حتى في المناطق الجافة وشبه الجافة الا انها تكون على اشد فعاليتها فوق الاقاليم ذوات المناخ الرطب في العالم.

المياه السطحية الجارية : Runoff

يرجع حوالي $\frac{1}{6}$ كمية التساقط النازلة على اليابسة الى المحيط ثانية بشكل جريان مائي سطحي بوساطة الانهار. اذ يضيع قسم من هذا التساقط عن طريق عملية التبخر ــ النتح **evapotranspiration** ويغور القسم الاخر منها الى التربة والتكوينات الصخرية الاخرى.

---

(4) Glenn, T. Trewartha, An Introduction to Weather and Climte, McGraw-Hill, New York 1943, pp. 362-363

(5) H.J. Critchfild, General Climatology, New York 1960. p. 94.

لابد لنا من ان نلقي الضوء على بعض المفاهيم الاساسية ذات العلاقة بالمياه السطحية الجارية لكي نتعرف على الاسباب التي تؤدي الى اختلاف تأثيرها الجيومورفولوجي على سطح الارض .

يأتي نسيج التصريف drainage texture في مقدمة تلك المفاهيم ويعني التباعد النسبي لخطوط التصريف (الانهار) . فيقال مثلا ان نسيج التصريف في المنطقة تصريف ناعم fine او تصريف خشن coarse دون ان نربط أيا من هذين النوعين بعامل معين كأن يكون درجة الانحدار او درجة التضرس او موقع الاقليم من الدورة الجيومورفولوجية . ويتمثل التصريف الناعم في تضاريس الارض المضرسة Badland في حين يمكن للتصريف الخشن ان يوجد في مناطق سهول الغسل الجليديه الرملية والحصوية وكذلك فيما يعرف باسم قطارات الوديان في المناطق التي تعرضت للتعرية الجليديه .

وتعني كثافة التصريف drainage density مجموع اطوال الانهار في حوض تصريف معين مقسوماً على مساحة ذلك الحوض نفسه . اما درجة تكرار الانهار Stream frequency فتعني عدد الانهار في حوض معين مقسوماً على مساحة ذلك الحوض (٦) .

تساعد الظروف التالية على زيادة جريان المياه السطحية بصورة عامة :

١ ــ ظروف مناخية ملائمة :

تتمثل بسقوط امطار غزيرة وتكون معظم هذه الامطار ناتجة عن زوابع رعدية الامر الذي يؤدي الى زيادة نسبة الجريان السطحي وذلك لعدم اتاحة المجال الكافي للتربة والنبات الطبيعي لامتصاص واخذ كمية كبيرة من مياه الامطار . تؤثر الظروف المناخية على كمية الجريان السطحي من خلال تأثيرها غير المباشر المتمثل في كثافة النبات الطبيعي حيث تتناقص نسبة المياه السطحية الجارية مع زيادة كثافة ذلك الغطاء التي تؤدي بدورها الى تقليل سرعة جريان مياه الامطار فوق سطح الارض فتضيع نسبة كبيرة منها بسبب نفاذها خلال مسامات التربة والصخور

(6) W.D. Thornbury, op. cit., p. 124

وكذلك عن طريق التبخر ــ النتح . وكلما قلت كثافة الغطاء النباتي كلما كبرت حصة المياه السطحية الجارية من مياه الامطار . كما ويزيد ارتفاع الرطوبة النسبية في الهواء من حصة المياه السطحية الجارية بسبب تناقص نسبة الضياع المائي عن طريق النتح ــ التبخر . وتساعد معدلات الحرارة الواطئة على زيادة حصة المياه السطحية الجارية ايضاً اذ تقل بسببها فعالية عملية النتح ــ التبخر .

٢ ــ ظروف جيولوجية وتضاريسية ملائمة :

تزداد حصة المياه السطحية الجارية في المناطق التي تتكون من صخور ذوات درجات مسامية قليلة مثل الطين وصخور الطفل **shale** وكذلك في حالة قلة وجود الشقوق والمفاصل، ويحصل العكس عندما تكون التكوينات الصخرية مسامية بدرجة كبيرة كصخور الطباشير او صخور المجمعات مع وجود نظام مفصلي واضح في المنطقة حيث يضيع قسم كبير من مياه الامطار والثلوج وتنضم الى المياه الباطنية .

كما وتزداد حصة المياه السطحية الجارية في المناطق التي تزيد فيها درجة الانحدار حيث تتعاظم سرعة جريان مياه الامطار والثلوج الذائبة على السطح في هذه الحالة وبذلك لايبقى مجال للصخور والتربة والغطاء النباتي ولعملية التبخر ان تأخذ نسبة كبيرة من تلك المياه ويصل العكس تماماً عندما تكون درجة الانحدار للسطح قليلة .

تصنيف الانهار :

كما هي الحالة في كثير من الظواهر الطبيعية الاخرى يمكن للانهار ان نصنف الى عدة تصانيف تبعاً للمقياس المستخدم في ذلك . اذ تقسم الانهار استناداً الى :

اولاً : طبيعة جريان الماء في الوديان النهرية الى الاقسام التالية :

١ ــ الانهار الدائمية الجريان Permanent

نعني بهذه الانهار تلك التي يستمر جريان الماء فيها طيلة العام وتسبب ظروف كثيرة حالة الجريان الدائمي للانهار منها :

١ــ تكون كمية التساقط كبيرة وموزعة توزيعاً منتظماً طيلة العام. كما في انهار الاقاليم الاستوائية مثل الامزون والكونغو.. الخ.

٢ــ ينبع النهر من بحيرة او من عدة بحيرات او يمر مجراه خلالها كما في النيل ومكنزى.

٣ــ ينبع النهر من نهايات الغطاءات الجليديه او الثلاجات كما في نهري الدانوب والراين في قارة اوربا ونهر مزوري في قارة امريكا الشمالية.

٤ــ يصبح النهر دائمي الجريان اذا قام بتعميق اقسام من واديه الى ما دون مستوى الماء الباطني الدائمي الامر الذي يجعله يتغذى بكميات ثابتة من المياه الباطنية كما هي الحالة في كثير من الانهار الموجودة في شمال القطر العراقي (شكل رقم ٣٤).

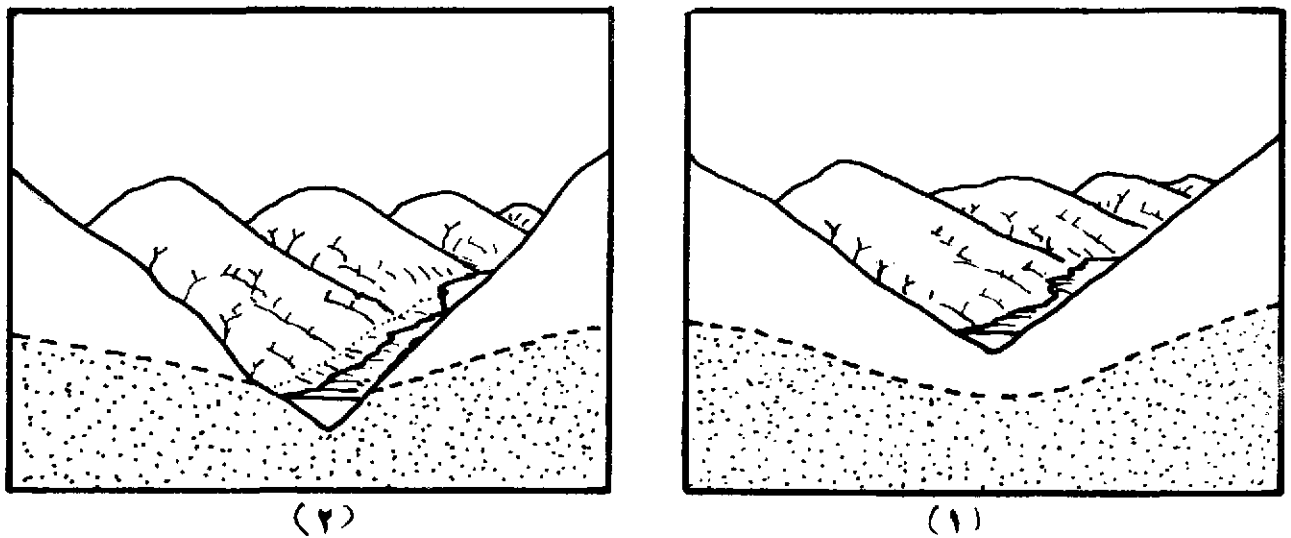
٢ ــ الانهار المتقطعة Intermittent

وهي الانهار التي تنقطع عنها مصادر المياه في فترات. وتوجد هذه الانهار على الاغلب في الاقاليم التي يكون التساقط فيها فصلياً وتكون شائعة في الاقاليم شبه الجافة. تقسم هذه الانهار بدورها الى قسمين هما :

(أ) الانهار المتقطعة التي تتغذى بوساطة الينابيع.

(ب) الانهار المتقطعة التي تتغذى من الجريان السطحي للماء.

ينقطع الجريان بالنسبة للحالة الاولى من الانهار بسبب انها لم تقم بتعميق وديانها الى دون المستوى الدائم للماء الباطني ولذلك ينقطع تزويدها بالمياه الباطنية عندما يهبط مستوى الماء الباطني خلال الفترة الجافة من السنة (شكل رقم ٣٤). وينقطع الجريان في حالة النوع الثاني عندما يتوقف التساقط في منطقة تغذية النهر لكونه ذا تساقط فصلي. ويصبح النهر فصلياً ايضاً اذا لم ينبع من مناطق مرتفعة تغطيها الثلوج او انه لايمر في بحيرة او ينبع منها.



شكل ــ ٣٤ ــ

١ ــ نهر غير دائمي الجريان لانه لم يعمق واديه الى دون مستوى الماء الباطني

٢ــ نهر دائمي الجريان لانه عمق واديه الى دون مستوى الماء الباطني

٣ ــ الانهار الوقتية : Ephemeral

تظهر هذه الانهار في المناطق الجافة وشبه الجافة، ولايحدث اي جريان مائي فيها الا عقب سقوط الامطار على احواض ووديان تلك الانهار ويعتمد مقدار طول الفترة التي تجري فيها المياه في مثل هذه الانهار على كمية الامطار الساقطة وعلى الفترة التي استغرقتها عملية التساقط.

ثانياً ــ تصنيف الانهار تبعاً لنظمها :

نعني بنظام النهر او ريجيم النهر **Regime** الطريقة او الاسلوب الذي تتصرف بموجبه مياه النهر، اي الفترات التي تكون فيها كمية التصريف عالية في النهر (الفيضان) والفترات التي تنخفض فيها كمية ذلك التصريف (الصيهود).

تصنف الانهار تبعاً لذلك الى :

١ ــ الانهار ذوات النظام البسيط :

ترتفع مناسيب المياه في النهر وتزداد كمية التصريف في هذا النوع من النظام مرة واحدة في السنة ترتبط مع فترة التساقط الكبيرة او مع فترة زيادة التجهيز المائي من منطقة التغذية. وتنخفض كمية التصريف وتهبط المناسيب للنهر في فترة معينة اخرى من السنة تتفق مع انقطاع التساقط او تناقصه وقلة كمية التجهيز المائي من منطقة التغذية كما في نهري دجلة والفرات.

٢ ــ الانهار ذوات النظام المزدوج :

يظهر على انهار هذا النظام فترتان يرتفع فيهما منسوب المياه في النهر تحصران بينهما فترتين للمناسيب الواطئة والتصريف المائي القليل. وتعتبر الانهار الاستوائية مثالاً جيداً على هذه الحالة حيث توجد في المناخ الاستوائي قمتان للمطر تتفقان مع فترتي تعامد الشمس على الاقاليم الاستوائية الامر الذي يؤدي معه الى رفع مناسيب المياه في الانهار. وتنخفض تلك المناسيب في فترتي قلة المطر النسبية المحصورة بين هاتين القمتين، كما في نهري الامزون والكونغو. ويمكن لهذه الحالة ان

تحصل ايضاً للانهار التي تتزود بالماء من الامطار الغزيرة في الخريف والشتاء ثم تقل الامطار بنهاية الشتاء ويقل معها التصريف النهري. وتحدث زيادة ثانية للتصريف عندما ترتفع درجات الحرارة في بداية الفصل الحار وتؤدي الى اذابة الثلوج المتجمعة في منطقة التغذية وتعتبر انهار جنوب اوربا التي تنبع من جبال الالب خير الامثلة على ذلك.

٣ ــ النظام المركب :

عندما تكون مساحة حوض النهر كبيرة جداً بحيث يمكن ان تضم انواعاً متباينة من الاقاليم المناخية او تشمل تضاريس متنوعة فان من غير معقول ان يكون نظام الجريان في كل اجزاء النهر الذي يصرف مياه ذلك الحوض متشابهة وتتبع نظاماً واحداً ولذلك يصبح نظام الجريان مركباً فيها (٧). وتعتبر انهار المسيسيبي والدانوب امثلة جيدة على ذلك. وتتصف هذه الانهار بكثرة روافدها وتباعد المسافات بين تلك الروافد.

ثالثاً ــ تصنيف الانهار تبعاً لمراتبها : River Orders

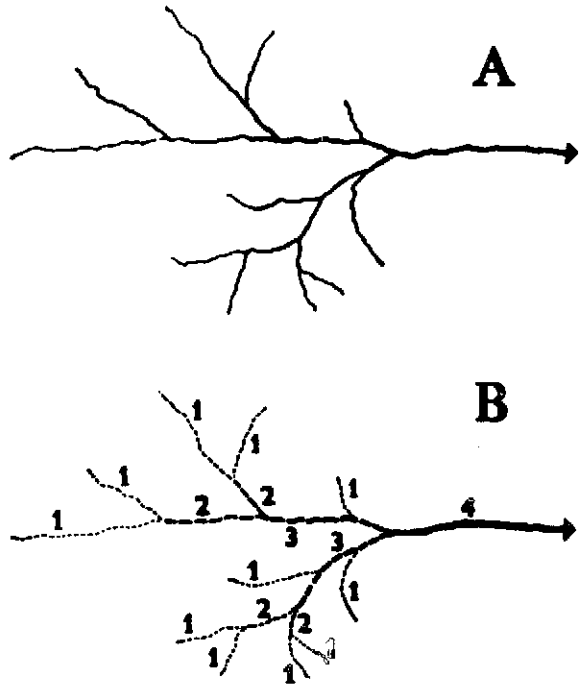
جرت محاولات عديدة لتصنيف الانهار تبعاً لمراتبها كان من بينها محاولة هورتون Horton في سنة ١٩٤٥، ومحاولة ستراللر عام ١٩٥٢ وشريف Shreve سنة ١٩٥٧ وشايدكر Scheidegger سنة ١٩٦٥. تهدف كل تلك المحاولات الى تصنيف الوديان النهرية تبعاً لبدء تسلسلها في تكوين المجرى النهري. ولاتهدف عملية ترتيب المجاري النهرية الى هذا فقط بل يمكن لها ان تعطي دليلاً تقريبياً عن كمية الجريان الذي يمكن ان يكون في شبكة نهرية معينة (٨). حيث كلما زادت مرتبة النهر فان من المتوقع ان تكون كمية المياه فيه كبيرة بسبب الروافد التي تغذيه.

يعتبر الدليل الذي وضعه هورتون اكثر تلك المحاولات بساطة حيث قام بتصنيف الانهار الى مراتب كالاتي : (شكل رقم ٣٥).

---

(٧) وفيق الخشاب، علم الجيومورفولوجيا، مصدر سابق، ص ٢٣٥ ــ ١٣٦.

(8) K.J. Gregory and D.E. walling, Drainage Basin Form and process, Edward Arnold, Norwich, 1973, pp. 41-44



شكل رقم ـــ ٣٥ ـــ

مراتب الانهار بموجب دليل هورتون

(أ) نهر مع روافده

(ب) النهر نفسه وروافده وضعت عليه مراتب كل واحد منها .

١ـــ انهار المرتبة الاولى ، وهي الانهار التي ليست لها اية روافد .

٢ـــ انهار المرتبة الثانية ، وهي الانهار التي تصب فيها انهار المرتبة الاولى فقط .

٣ـــ انهار المرتبة الثالثة : وتنشأ هذه الانهار من ارتباط الانهار التي تعود الى المرتبة الثانية . وتأتي بعد ذلك بقية المراتب بشكل متسلسل (٩) .

رابعاً ـــ تصنيف الانهار تبعاً لنمط التصريف Drainage Pattern

تأخذ شبكة التصريف النهري لاية منطقة شكلا خاصاً يعرف بنمط

(9) Harry Robinson, op. cit. p. 175

التصريف وهو الوضع الذي تبدو فيه مجاري ووديان الانهار عندما ترسم على خارطة تلك المنطقة. ومن الطبيعي ان لايكون وضع الشبكة النهرية هذا اعتباطياً بل انه يكون نتيجة للعلاقات بين نوعية المناخ السائد وطبيعة التضاريس وكذلك نوعية لصخور وبنيتها. وبذلك امكن تقسيم الانماط النهرية الى :

١ ــ نمط التصريف النهري الشجري Dendritic

يرتبط وجود هذا النمط من التصريف بالمناطق التي تكون صخورهامتجانسة وتكون على الاغلب ذوات طبقات صخرية افقية الامتداد او تميل ميلا بسيطاً. كما ويتصف السطح فيها بانه ذو تضاريس واطئة كأن يكون سهلاً او سطح هضبة.

تبدو الانهار في هذا النمط وكانها تفرعات اغصان الاشجار. وتختلف كثافة التفرع النهري في هذا التصريف تبعاً لدرجة صلابة الصخور ومساميتها وكذلك لنوعية المناخ اذ تزداد كثافة التفرع كلما كانت الصخور ذوات صلابة قليلة كما هي الحالة في الصخور الرسوبية في حين يقل التفرع في مناطق الصخور النارية الصلبة المقاومة. وتزيد درجة التفرع ايضاً مع زيادة كمية التساقط وتقل بقلته (١٠). (شكل رقم ٣٦).

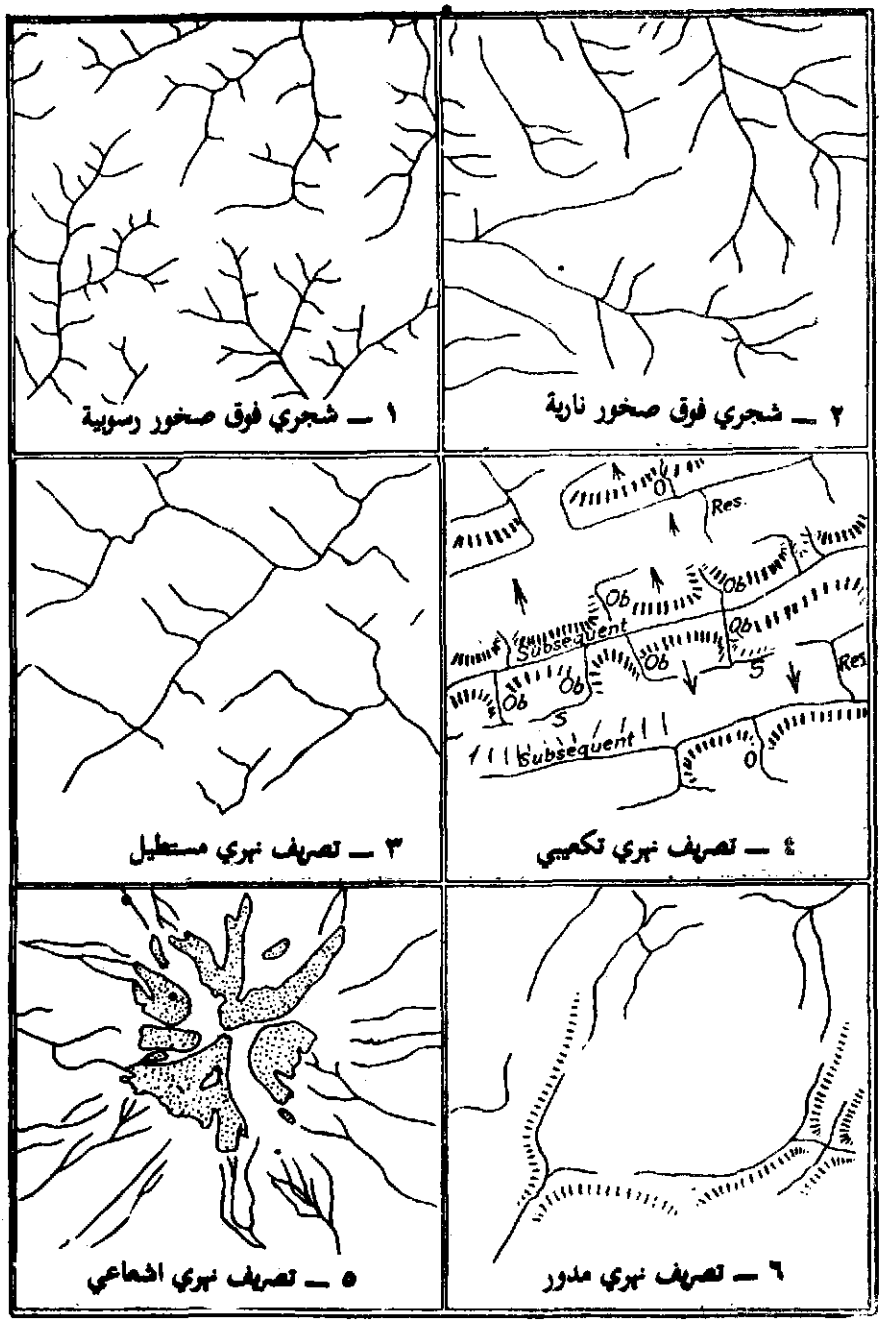
٢ ــ نمط التصريف المستطيل (المتعامد) Rectangular

تعتبر المفاصل مناطق ضعف في التكوين الصخري لاية منطقة من المناطق حيث تحاول الوديان النهرية ان تثبت امتداداتها فوق مناطق الضعف تلك. ويحدث ان تأخد المفاصل في المنطقة نظاماً متعامداً ينعكس بدوره على شكل التصريف حيث تلتقي الانهار مع بعضها بزاوية قائمة تقريباً (شكل رقم ٣٦).

٣ ــ نمط التصريف التكعيبي Trellis

يتطور نمط التصريف النهري التكعيبي فوق المناطق ذوات البنيات

(10) R.J. Small, op. cit., 217



شكل ــ ٣٦ ــ

انماط التصريف النهري

الالتوائية التي تكون في مرحلة النضج من الدورة الجيومورفولوجية. حيث تثبت الوديان النهرية الرئيسية نفسها فوق المناطق الصخرية اللينة. وتتصل بهذه الوديان روافد عديدة بشكل متعامد تقريباً يكون بعضها موافقاً في اتجاهه مع اتجاه الميل الاصلي للصخور ويكون البعض الاخر معاكساً لاتجاه ذلك الميل (شكل رقم ٣٦).

٤ ــ نمط التصريف النهري المدور Annular

يرتبط وجود هذا النمط فوق الجهات التي تكون بنيانها قبابية وفي مرحلة النضج من الدورة الجيومورفية حيث تتعاقب الطبقات الصخرية المختلفة في درجة الصلابة وتحيط كلها بالمركز الذي يتكون من صخور نارية متبلورة. تثبت الانهار الرئيسية وديانها فوق مناطق الصخور اللينه الدائرية الامتداد وتلتقي بها روافد تنبع من الحافات المرتفعة التي تمثل الصخور الاكثر صلابة (شكل رقم (٣٦).

٥ ــ نمط التصريف النهري الاشعاعي Radial

يتمثل هذا النمط من التصريف فوق انواع مختلفة من التضاريس اذ يظهر فوق المخاريط البركانية وفوق القباب التي تكون في مرحلة الشباب وكذلك على الدلتاوات والدالات المروحية (١١). وتتباعد خطوط التصريف عن بعضها كلما ابتعدنا عن نقطة مركزية مرتفعة (شكل رقم ٣٦).

توجد بالاضافة الى ماتقدم من انماط التصريف انماط اخرى ذوات صبغة محلية على الاغلب مثل التصريف المركزي حيث تلتقي خطوط التصريف مع بعضها في منخفض مركزي كما في مناطق الحفر البالوعية والفوهات البركانية وبقية الاشكال الحوضية (١٢). ونمط التصريف المتوازي الذي يوجد في العادة في المناطق التي تمتد فيها المجاري النهرية على شكل مسافات منتظمة او بشكل متواز كما في مناطق الركام الجليدي.

---

(11) Robert V. Ruhe, Geomorphology, Houghton Mifflin, Boston, 1975, p.88

(12) W.D. Thornbury, op. cit., p.123.

خامساً : تصنيف الانهار تبعاً لنشأتها Genetic Classification

تصنف الانهار تبعاً لنشأتها وطبيعة العلاقة بينها وبين ميل الطبقات الصخرية التي تجري عليها الى :

١ ــ الانهار التابعة Consequent

نعني بها الانهار التي تتبع في اتجاه جريانها الميل الاصلي للصخور في الاقليم . ترجع معظم انهار الارض الى هذا النوع . وتظهر الانهار التابعة فوق كل الاشكال الارضية التي تكونت لتوها كأن تكون جبلاً بركانياً .

٢ ــ الانهار التالية Subsequent

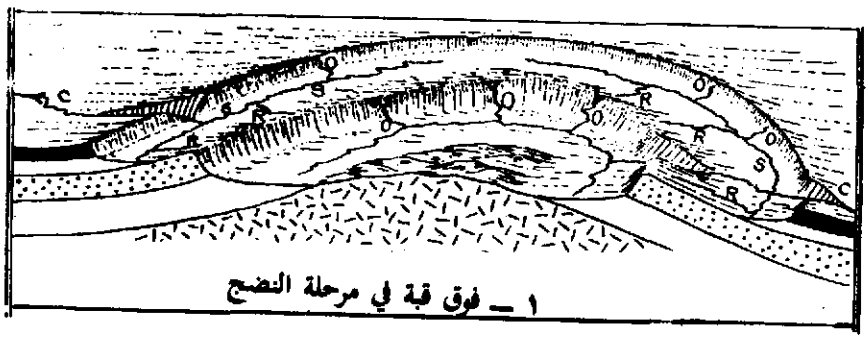
يطلق على هذه الانهار اسم انهار المضارب Strike (*) لان امتدادها العام يكون مع اتجاه مضارب الطبقات الصخرية . وتثبت هذه الانهار وديانها فوق الطبقات اللينة نسبياً . ولذلك تتميز تلك الوديان بانها عميقة بسبب شدة تأثير التعرية الرأسية او العمودية فيها . وتحيط بتلك الوديان حافات جبلية مرتفعة تتكون من الطبقات الصخرية الاكثر صلابة تعرف بظهور الحلوف (hogback) او الكويستا Cuesta (**) (شكل رقم ٣٧) . تكون الانهار التالية روافد للانهار التابعة على الاغلب .

٣ ــ الانهار العكسية Obsequent

وتعني الانهار التي تجري باتجاه معاكس لاتجاه ميل الطبقات الصخرية اي عكس اتجاه جريان الماء في الانهار التابعة Consequent الموجودة في الاقليم . وتتصف وديان هذه الانهار بانها قصيرة وذوات درجة انحدار شديدة ولاتكون عميقة لانها تجري فوق التكوينات الصخرية الصلبة عادة . وتعتبر الانهار العكسية روافد للانهار التالية Subsequent على الاغلب .

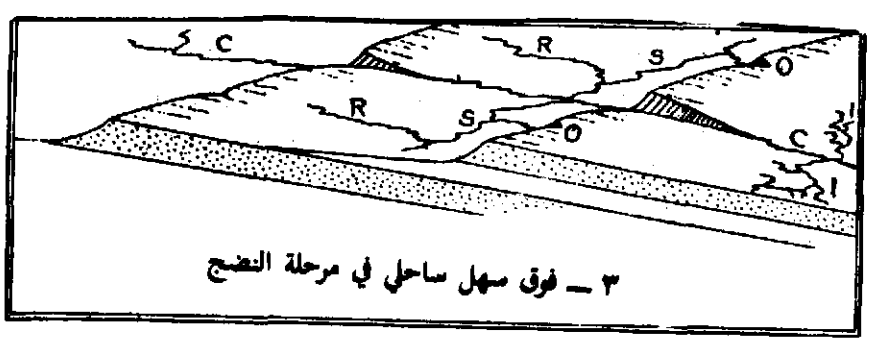
(*) المضرب Strike : يقاس للصخور التي لاتكون افقية في امتدادها . ويسمى احياناً بخط الظهور التي تبتعد بها الطبقات الصخرية المائلة اثناء ارتفاعها عن مستوى سطح البحر ويقاس اتجاه المضارب بوساطة بوصلة خاصة ويكون اتجاه المضارب معاكساً في معظم الحالات مع اتجاه الميل .

(**) تعرف الحافة بظهر الحلوف hogback اذا كانت زاوية الميل لكلا السفحين متساوية وتسمى كويستا Cuesta اذا كانت زاوية الميل في أحد السفوح اكبر منها في السفح الاخر .



١ ــ فوق قبة في مرحلة النضج

٢ ــ فوق جبل التوائي في مرحلة النضج



٣ ــ فوق سهل ساحلي في مرحلة النضج

شكل ــ ٣٧ ــ

انواع الانهار فوق بعض الاشكال الارضية

C = نهر تابع R ــ نهر حديث

O = نهر عكسي I = نهر عشوائي.

٤ ــ الانهار الحديثة Resequent

يطلق على الانهار التي تجري مع اتجاه الميل للطبقات الصخرية عادة اسم الانهار الحديثة . تجري تلك الانهار مع اتجاه جريان الانهار التابعة وتختلف عنها في انها انهار نشأت بعد نشوء الانهار التابعة . وتكون الانهار الحديثة روافد للانهار التالية على الاكثر .

٥ ــ الانهار العشوائية Insequent

وهي الانهار التي لايمكن ان نجد سبباً مقنعاً لتحديد مجراها اذ انها لاتتبع ترتيب البنية الصخرية كما انها لاتجري باتجاه الميل للطبقات ، غير انها تجري في كل اتجاه مناسب ويكون نمط التصريف النهري المرتبط معها شجرياً (١٣) (شكل رقم ٣٧) .

تعتبر الانواع الخمسة السابقة اكثر انواع الانهار من حيث النشأة شيوعاً غير ان هناك انهار اخرى تعرضت وديانها لعمليات باطنية اعطتها صفات نشأة خاصة بها وهي :

١ــ النهر السالف **Antecedent** يحدث في بعض الحالات ان ينحرف مجرى النهر بعد ان كان قد طور مجراه بشكل جيد نتيجة للحركات الارضية او بسبب الطفوح البركانية او انكشاف التكوينات الصخرية النارية الباطنية . يطلق على النهر اسم النهر السالف اذا كان من القوة بمكان يجعل في مقدوره البقاء في مجراه رغم قوى الانحراف التي يفترض ان تكون بطيئة جداً . وتكون مثل هذه الانهار ومجاريها غير منسجمة مع المنحدرات المجاورة لها .

٢ــ النهر المنطبع **Superimposed** يقوم النهر بعملية تعميق لواديه ضمن تكوينات صخرية معينة وضمن بنية معينة ايضاً . وتستطيع الانهار في بعض الحالات ومع استمرار عملية التعرية هذه ان تكشف تكوينات صخرية مطمورة تختلف كثيراً في تكوينها وفي بنيتها . ولذلك تجد الانهار نفسها وهي واقعة في اماكن غير مناسبة كأن تكون على قمة او على جوانب التواء محدب شديد او انها تعبر صخوراً ذات صلابة كبيرة كان من الممكن ان تتحاشاها في

(13) A.K. Lobeck, op. cit., p. 171

ظروف التصريف الاعتيادية . ومما يساعد على سرعة كشف تلك التكوينات من قبل النهر المنطبع تعرضه الى حالة اعادة الشباب . حيث تقوم الانهار بعد ذلك بتسوية الاقليم مع بقاء التكوينات الصلبة اكثر ارتفاعاً عن المستوى العام له وتكون وديانها ضيقة وعميقة عند عبورها لتلك الصخور المقاومة (١٤) (شكل رقم ٣٨) . تكون معظم هذه الانهار غير منسجمة تماماً مع البنيات المحيطة بها . ويصعب تمييزها كثيراً عن الانهار السالفة (١٥) .

بعض التحويرات التي تتعرض لها الانهار :

من المحتمل ان تحدث للانهار امور كثيرة بعد ان تكون قد نشأت وبدأت بقطع اوديتها . حيث يتعرض البعض منها الى حالة الاسر النهري او تصبح اجزاء من وديانها غارقة . وتستطيع الثلاجات ان تغير من مجاري بعض الانهار . وتغلق الانزلاقات الارضية والطفوح البركانية بعض الوديان النهرية حيث تشكل بحيرات خلفها او تقوم بتغير اتجاه مجرى النهر . كما يحدث ان ينقطع مصدر المياه التي تغذي الانهار بسبب الحركات الارضية او نتيجة لتصريف مياه بعض الانهار وتضع العقبات في وديانها وتمنع التطور الطبيعي لها . وسنتناول فيما يأتي بعضاً من تلك الحالات المهمة :

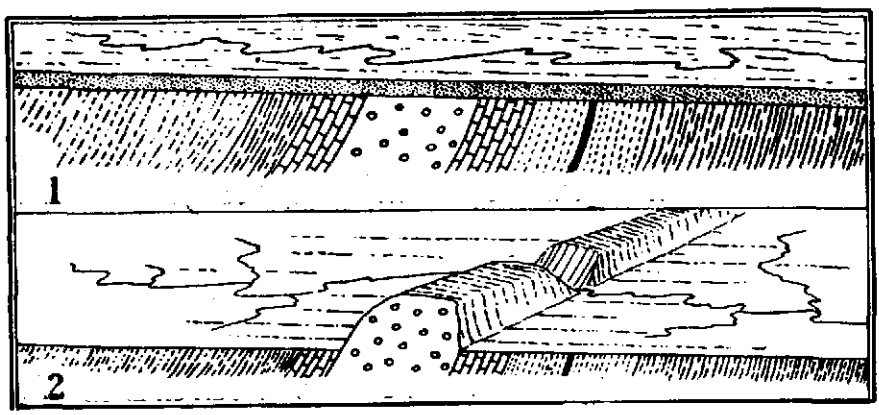
الاسر النهري Stream Capture

تحدث عملية الاسر النهري عندما يقوم احد الانهار بالاستيلاء على جزء او كل منابع نهر آخر مجاور موسعاً بذلك مساحة حوضه على حساب حوض ذلك النهر . ويحصل نتيجة لظروف متعددة ان تكون عملية النحت العمودي لوادي احد الانهار اسرع من عملية النحت العمودي لنهر آخر الامر الذي يؤدي الى زيادة في طول ذلك الوادي باتجاه المنابع . وتعرف هذه العملية باسم عملية النحت التراجعي . ويمكن اجمال تلك الظروف بالآتي :

١ــ زيادة درجة الانحدار بالنسبة الى احد الانهار عن الانهار الاخرى ، يعقبه زيادة في سرعة جريان ذلك النهر . وبالتالي زيادة عملية تعميقه لواديه . وتحدث مثل هذه الحالة كثيراً عندما ينبع نهر من اسفل احدى الحافات

(14) Lobeck, op. cit., p. 173

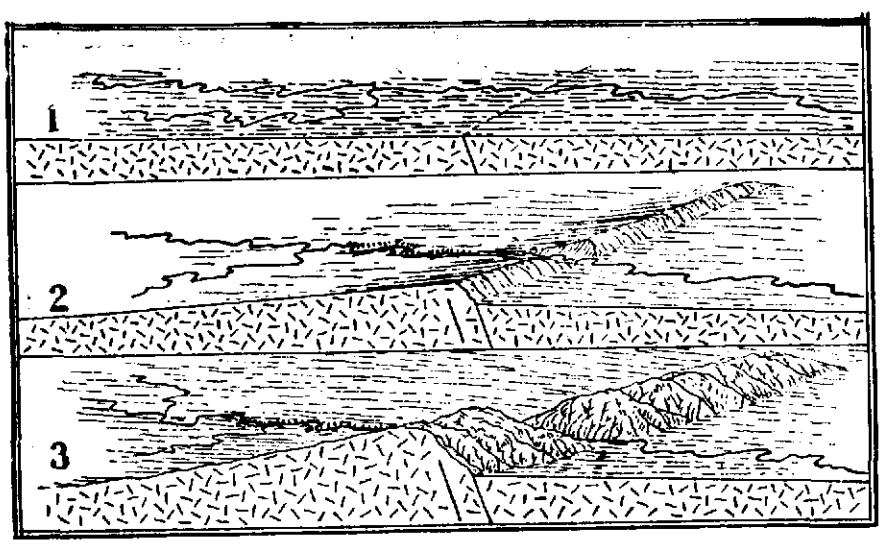
(15) Worcester, op. cit., p. 149



شكل رقم ٣٨ ــ أ ــ

١ــ نهر منطبع فوق تكوينات رسوبية

٢ــ النهر نفسه بعد عملية التعرية



شكل رقم ٣٨ ــ ب ــ

نهر سالف فوق منطقة تعرضت الى حركة انكسارية

escarpment في حين تجري الانهار الاخرى على المستوى الواقع اعلى تلك الحافة . وبذلك تكون عملية النحت التراجعي للنهر الاول اسرع بكثير من الانهار التي تكون فوق الحافة التي تتصرف وكأنها تجري فوق ارض مستوية (شكل ٣٩) .

٢ــ تكون التكوينات الصخرية التي يجري عليها احد الانهار اقل مقاومة لعملية التعرية النهرية ، اما لانها ذات صخور لينة او ان فيها مناطق ضعف مثل وجود خط انكساري او مفاصل... الخ . الامر الذي يساعد على زيادة سرعة عملية النحت العمودي لذلك النهر وتراجعه نحو الخلف .

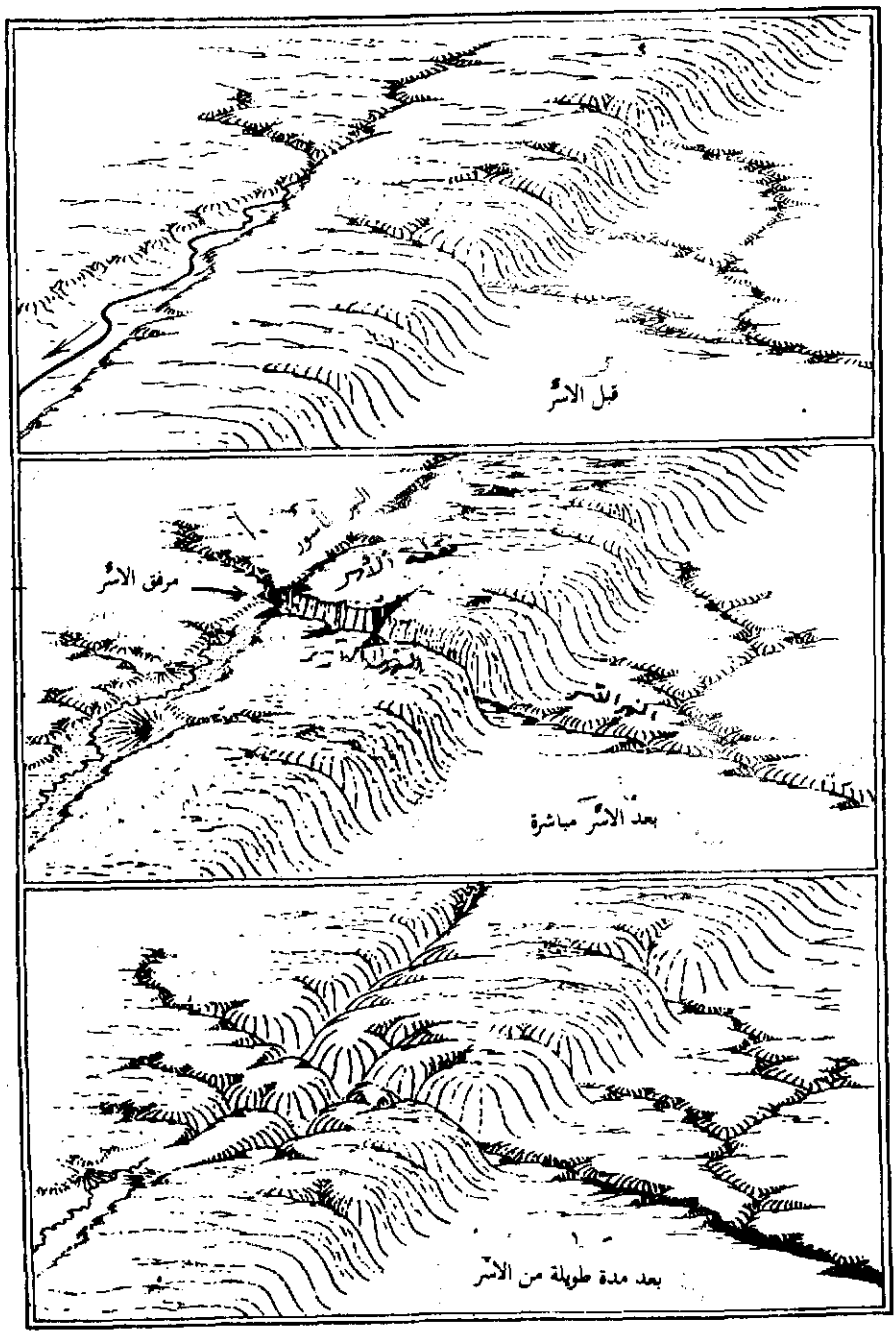
٣ــ تستلم بعض الانهار كميات اكبر من غيرها من المياه بسبب التساقط او بسبب التغذية التي تردها من المياه الباطنية وبذلك تزداد عملية النحت التراجعي لذلك النهر .

٤ــ يمكن لبعض حالات الاسر النهري ان تحدث من جراء توسع وتغير في مواقع الالتواءات النهرية الامر الذي يؤدي الى اتصال مجاري احد الانهار بمجرى نهر آخر .

يحتل النهر الاسر ميزة الموقع المنخفض دوماً . ويطلق على المكان الذي تحدث فيه عملية الاسر النهري اسم نقطة الاسر Capture Point وعلى المنعطف الذي ينشأ من جراء ذلك اسم مرفق الاسر elbo . ويسمى القسم الذي كان جزءاً من وادي النهر المأسور والذي يقع اعلى نقطة الاسر باتجاه المنابع اسم فتحة رياح wind gap . هذا وتتناقص كمية المياه كثيراً في الجزء الواقع اسفل نقطة الاسر من النهر المأسور الى درجة كبيرة بحيث قد تنقطع عنه نهائياً في بعض الاحيان . ويكون وادي هذا الجزء من النهر واسعاً قياساً لمجرى النهر نفسه ويعرف انذاك بالوادي غير المناسب misfit valley . وتتساقط المياه في كثير من الاحيان من وادي النهر المأسور نحو وادي النهر الاسر بشكل شلالات وذلك للاختلاف الواقع في مستوى هذين الواديين (شكل رقم ٣٩) .

الانهار والوديان الغارقة :

تعتبر الوديان النهرية الغارقة اكثر انواع المصبات Estuaries شيوعاً حيث يؤدي غرق تلك الوديان الى توغل الماء خلالها وبقائه محصوراً بين جوانب الوادي



شكل ٣٩ تطور الأسر النهري

النهري. يتحدد وجود هذه المصبات في العادة عند العروض المعتدلة التي يكون تصريفها المائي كبيراً وتكون كمية الرواسب التي تحملها تلك الانهار قليلة، وتعتبر الانهار التي تصب في الساحل الشمالي الشرقي للولايات المتحدة امثلة جيدة على الانهار التي تعرضت لعملية الغرق مثل نهر هدسن الذي تعرض لعملية الغرق لمسافة تقرب من ٢٤٠ كم (١٦). كما تعتبر خلجان تشيزابيك Chesapeake وديلاوير Delaware مصبات نهرية غارقة ايضاً. وقد نتجت عملية الغرق هذه من جراء تعرض هذا القسم من الساحل الى ظاهرة الهبوط الامر الذي ادى الى توغل مياه المحيط باتجاه المجاري النهرية التي تصب فيه واغراقها. هذا وتعتبر الفيوردات الموجودة في السواحل الجنوبية لكرينلند والنرويج امثلة جيدة للوديان التي تعرضت لظاهرة الغرق. وتختلف عن المصبات النهرية الاعتيادية في انها تحورت في الشكل بتأثير التعرية الجليدية قبل ان تتعرض لظاهرة الانغمار (١٧).

الانهار المحجوزة : Ponded Streams

تحجز مياه الكثير من المجاري النهرية الموجودة في الاقاليم الجبلية بوساطة الانزلاقات الارضية التي تؤدي الى تكون سداد تحصر المياه خلفها بشكل بحيرات. وتخرج المياه من وراء تلك السداد بعد ان تكون قد القت بمعظم ذرات الرواسب التي تحملها داخل تلك الاحواض البحيرية وخاصة الرواسب الخشنة منها. وتتغير نتيجة لذلك قابلية النهر على التعرية في الجزء الواقع منه اسفل تلك السداد. تؤدي ظروف كثيرة اخرى الى حجز مياه الانهار منها على سبيل المثال مايحصل لنهر النيل في منطقة السدود في جنوب السودان من جراء تراكم النباتات داخل مجراه. وتحجز مياه بعض الانهار بوساطة السهول المروحية وذلك عندما تتوسع مروحتان طمويتان متقابلتان داخل احد الوديان النهرية الامر الذي قد يؤدي الى غلق ذلك الوادي النهري. وتقوم بعض الطفوح البركانية بهذا الدور نفسه احياناً. ويمكن للثلاجات ان تحجز مياه بعض الانهار وذلك عندما تمتد بعيداً الى الاسفل داخل الوديان الجليدية الرافدية. وتسبب بعض الحركات الارضية ارتفاعاً تدريجياً بطيئاً لقاع احد الوديان النهرية مما يؤدي بالتالي الى حجز مياه ذلك النهر.

---

(16) P. Worcester, Op. Cit., P. 150

(17) Keith R. Dyer, Estuaries, A Phyical Introduction, John Willey, London, 1973, p.5

يتسبب الانسان ايضاً في احداث عملية الحجز لبعض الانهار وذلك عندما يقوم بانشاء السدود المختلفة الاحجام لاغراض مختلفة. وتقوم كل تلك السدود بتكوين بحيرات مختلفة في مساحاتها حيث تلقي المياه بمعظم ارساباتها فيها وبذلك يحدث تحوير في عملها الجيومورفولوجي بعد خروجها من خلف السد فعلى سبيل المثال استوعبت بحيرة ميد Mead ٢ر٥ مليون ايكر / قدم (١٨) من الغرين في الـ ١٥ سنة الاولى بعد اكمال سد هوفر Hoover (١٩). ويقوم القندس الامريكي beaver بعمل بعض السداد من سيقان الاشجار التي يغرسها ويكدسها في اماكن معينه من بعض المجاري النهرية في القسم الشمالي الغربي من الولايات المتحدة حيث تتجمع مياه تلك الانهار على هيئة برك صغيرة خلفها يتراكم فيها الغرين وغيره من الارسابات وبذلك يتحور عمل النهر ايضاً.

التحويرات التي تقوم بها الثلاجات على الانهار :

من المحتمل جداً ان تكون الاودية الجليديه الحالية المشغولة بالثلاجات او التي اثرت فيها في الاصل اودية نهرية. وكانت الانهار التي تشغلها تجري وتعمل على تغيير مظاهر سطح الارض في وديانها تبعاً للقوانين التي تتحكم في عمل النهر والتي سوف يرد ذكرها عند دراستنا عمل النهر. تحتل الثلاجات تلك الاودية النهرية عند حلول الفترات الجليدية. وتقوم تلك الثلاجات باجراء تحويرات كثيرة على تلك الاودية تبعاً للاسس التي يستند عليها عمل الثلاجة. حيث تعمق تلك الاودية وتوسع بدرجة كبيرة. وتحل الانهار ثانية محل الثلاجات التي تتراجع الى الوراء بسبب تقدم الفترة الدفيئة فتجد ان تلك الوديان غير ملائمة لها فتتصرف بكيفية جديدة مختلفة تماماً عما كانت عليه قبل ان تحتل الثلاجات الوديان النهرية حيث تبدأ بالترسيب على قيعانها ورفع مستواها بدلاً من عملية النحت العمودي التي كانت تقوم به قبلا (شكل رقم ٤٠).

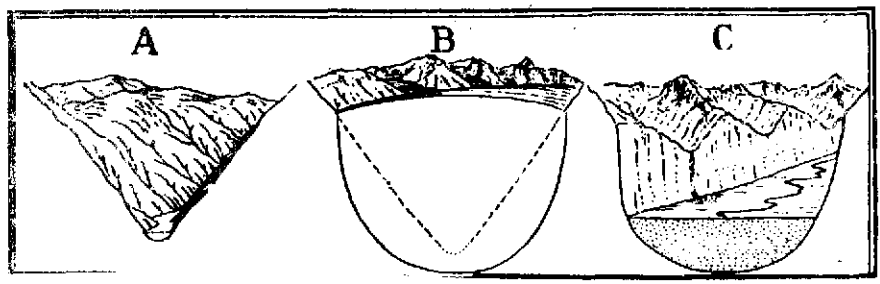
الفيضانات : Floods

يمكن القول بصورة عامة ان هناك ثلاث حالات للتصريف النهري :

---

(١٨) الايكر / قدم تعني طبقة سمكها قدم واحد وتغطي مساحة مقدارها ايكر واحد.

(19) Cantor, op., cit, p. 55



شكل رقم ــ ٤٠

التحورات التي تقوم بها الثلاجات على وادٍ نهري

A = حالة وادي نهري لم تؤثر عليه الثلاجة

B = ثلاجة ملأت وادياً نهرياً لاحظ زيادة عمقه وسعته

C = وادي نهري بعد تراجع الجليد. لاحظ كيف بدأ النهر في الترسيب في قاع الوادي الجليدي

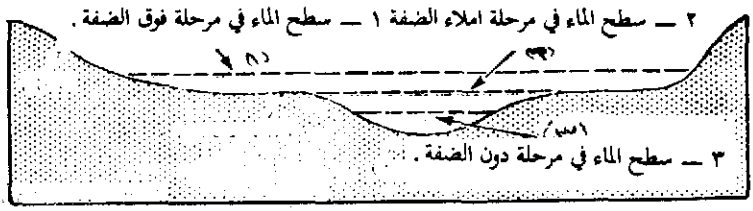
١ــ مرحلة امتلاء الضفاف **bankfull** ويصل النهر الى هذه المرحلة عندما يكون مستوى سطح الماء في المجرى النهري مع المستوى نفسه للسهل الفيضي المجاور له.

٢ــ مرحلة دون الضفة حيث يقع مستوى سطح الماء في المجرى النهري دون مستوى اعالي ضفافه. ويكون التصريف النهري في هذه المرحلة على ادنى كمياته.

٣ــ مرحلة فوق الضفة وذلك عندما يطغي الماء فوق ضفاف النهر حيث يحدث الفيضان (٢٠) (شكل رقم ٤١).

عانت كل الانهار من حالة الفيضان في وقت ما من تاريخها، وتعرض الكثير منها له في كل عام تقريباً. ولايكون الفيضان خطراً الا اذا كان قوياً بحيث تطغي المياه فوق مستوى ضفاف النهر نفسه. حيث يغطي سهله الفيضي الذي يزدحم فيه البشر مستغلين تربته الفيضية الخصبة. فيؤدي ذلك الى حدوث الاضرار والخسائر بالارواح والمنشئات المختلفة وتلف المحاصيل الزراعية... الخ كما كان يحدث في

(20) Harry Robinson Op. Cit. P. 199.



شكل رقم ــ ٤١ ــ
حالات التصريف النهري

العراق قبل ان تتكامل منشآت الري والخزن والتحويل الكبرى فيه مثل فيضان ١٩٥٤ و ١٩٦٩ . ويعتبر الفيضان الذي حدث في الصين سنة ١٨٨٧ من بين اشهر الفيضانات تخريباً عندما غمر نهر هوانك هو قسماً كبيراً من سهله الفيضي مما ادى الى موت ٠٠٠ر٠٠٠ر١ نسمة . وتكون الخسائر الناجمة عن الفيضانات التي تحدث في الانهار الجبلية قليلة وخاصة تلك في الارواح غير ان الخسائر تكون كبيرة في المنشآت المختلفة مثل الجسور والطرق وكذلك في التربة المهمة بالنسبة الى المنطقة الجبلية .

تتسبب الفيضانات نتيجة لظروف وحوادث كثيرة اذ قد يسببها انهدام سد من السدود كما في سد St. Francis في كاليفورنيا في سنة ١٩٢٨ . ويؤدي غلق المجاري النهرية بواسطة الجليد الى تراكم المياه خلفها وبالتالي حدوث الفيضانات على الاراض الواطئة المجاورة مثل الذي يحدث كثيراً في نهر كونيكتكت Connecticut في نيوانكلند . وتتسبب معظم الفيضانات من الذوبان السريع للثلوج المصحوب بامطار غزيرة كما في دجلة والفرات ونهر الكنج والسند . وتؤدي الامطار الغزيرة التي تسقط بشكل غير اعتيادي الى حدوث الفيضانات في كثير من الانهار خاصة اذا كانت ارضية الحوض النهري متجمدة او مشبعة بالمياه من امطار سابقة بحيث لايكون فيها مجال لامتصاص كمية كبيرة من مياه تلك الامطار التي تتجه كلها تقريباً في هذه الحالة الى المجرى النهري فتسبب الفيضان .

تتعاظم قوة النقل والتعرية كثيراً وبشكل سريع لدى الانهار من جراء زيادة حجم الماء وزيادة سرعته ويعني ذلك ان الانهار تستطيع ان تؤدي عملاً جيومورفيا خلال الفيضان اسرع واكبر من ذلك الذي تؤديه في الظروف الاعتيادية. حيث تقوم الانهار بتعميق وتوسيع مجاريها وقد تقوم بتكوين مجار جديدة لها وتلقي الانهار رواسبها خلال الفيضان بشكل غير منتظم فوق سهولها الفيضية مما يؤدي الى تكوين بعض المنخفضات التي تمتلىء بالمياه بشكل برك او بحيرات. فقد حفر نهر هوانك هو في فيضانه سنة ١٨٩٢ مجرى جديداً واخذ يصب في المحيط في مكان يبعد حوالي ٤٨٠ كم عن مصبه القديم (٢١).

تعمل الكثير من الانهار السداد الطبيعية natural levees فوق سهولها الفيضية من جراء تكرار عملية الفيضان. والسداد الطبيعية عبارة عن مناطق طويلة مرتفعة تمتد بموازاة مجاري الانهار في السهل الفيضي وبشكل مجاور لها ويكون مستواها اعلى من مستوى بقية جهات السهل الفيضي. يمكن تصور كيفية تكون تلك الضفاف ببساطة اذ تكون سرعة جريان النهر قبل وصوله الى مرحلة فوق الضفاف (الفيضان) كبيرة وقابليته على حمل الرواسب تكون كبيرة ايضاً. وتتناقص سرعة النهر فجأة بعد طغيانه على جوانبه ووصوله الى مرحلة الفيضان بسبب اتساع مجراه فيسبب ذلك القاءه كميات كبيرة من الرواسب ذوات الذرات الكبيرة بشكل خاص في المناطق المجاورة له مباشرة في حين لاتتلقى الجهات البعيدة عن المجرى النهري في السهل الفيضي الا المواد الناعمة الذرات من الرواسب والتي يمكن ان تبقى عالقة في المياه لفترة اطول. وتكون كمية الرواسب التي تتجمع فوق تلك المناطق قليلة ايضاً. فتصبح المناطق المجاورة للنهر نتيجة لتكرار عملية الفيضان هذه اعلى منسوباً من بقية جهات السهل الفيضي. وتتوضح هذه الظاهرة في انهار العراق خاصة في القسم الاوسط والجنوبي منه حيث تكون الجهات المجاورة للانهار اعلى من الجهات البعيدة التي كانت اخطار الفيضان عليها كبيرة بسبب انخفاض سطح الارض فيها.

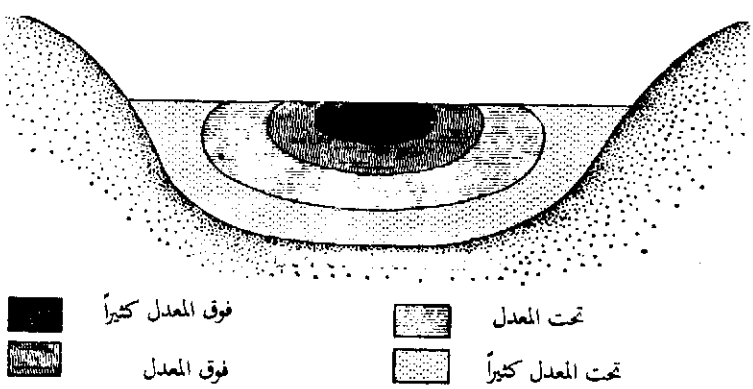
(21) P. Worcester, op. cit., pp., 153-156

عمل النهر:

سرعة النهر :

تعتمد سرعة النهر بشكل رئيسي على درجة انحدار الوادي وكذلك على مقدار الاحتكاك بقاع وجوانب المجرى النهري وكذلك على كمية الماء وعلى مقدار الحمولة التي ينقلها النهر نفسه. تزداد سرعة الجريان في حالة ثبات بقية العوامل الاخرى مع زيادة درجة الانحدار للوادي النهري وتقل تلك السرعة مع القلة في درجة انحدار الوديان النهرية. حيث تزداد قوة الجاذبية الارضية المؤثرة على الماء في الحالة الاولى.

يؤدي الاحتكاك الذي يحصل بين الماء المتحرك وبين قاع وجوانب الوادي النهري الى تخفيض سرعة الجريان في النهر. ويزداد ذلك التأثير مع زيادة حالة عدم الانتظام لسطوح قيعان وجوانب المجاري النهرية. ويضاف الى هذا العامل اثر عامل الاضطراب والدوامات الذي يحصل في مواقع معينة من قطاع النهر. وعلى الرغم من عدم تشابه القطاعات العرضية لمجاري الانهار الا ان القسم السطحي من ماء النهر الذي يقع فوق جزئه العميق يكون اكثر جهات النهر سرعة. وتتناقص سرعة الجريان بالابتعاد عن ذلك المكان باتجاه القاع والجوانب (شكل رقم ٤٢).



شكل رقم ــ ٤٢ ــ

توزيع السرعة داخل مقطع عرضي لاحد المجاري النهرية

تزداد سرعة جريان الانهار مع زيادة كمية تصريفها وتقل تلك السرعة مع قلة كمية التصريف مع بقاء بقية المتغيرات على حالها. حيث ان هناك علاقة وثيقة بين سرعة الجريان وبين كمية التصريف تبينها المعادلة التالية :

$$Q = AV$$

حيث ان Q = كمية التصريف

A = مساحة المقطع العرضي للنهر في الاقدام المربعة

V = معدل سرعة الجريان بالاقدام في الثانية الواحدة (٢٢)

توجد علاقة وثيقة بين سرعة الجريان وبين مقدار حمولة النهر اذ مع ثبات بقية العوامل التي تؤثر في السرعة تكون سرعة جريان الانهار ذات الكمية العالية من الحمولة اقل بكثير من سرعة جريان الانهار التي تكون ذات حمولة اقل.

الحمولة النهرية : The Load

يظل النهر عاملاً مؤثراً من الناحية الجيومورفية عندما تبقى له القابلية على تحريك الحمولة المختلفة. إذ ينقل النهر حمولته المختلفة باساليب متعددة تبعاً لنوعية تلك الحمولة.

١ــ **الحمولة الذائبة Solution load** : تحمل الانهار الكثير من المواد بشكل ايونات ذائبة وتكون تلك الايونات جزءاً من الماء نفسه وتتحرك مع حركته. وتعتبر الكاربونات والكبريتات والكلوريدات والاكاسيد من بين اهم تلك الايونات (٢٣). يأتي معظم تلك الاملاح من الماء الباطني الذي يترشح بشكل بطيء من خلال الصخور والتربة التي تعرضت لعمليات التجوية. ولا يأتي الا القليل منها من خلال عمليات الاذابة التي تحصل على جوانب وقاع المجاري النهرية ماعدا تلك الانهار التي تجري فوق الصخور الجيرية او الجبس.

ينقل عدد قليل من الانهار حمولة ذائبة تزيد عن الالف جزء

(22) Ruhe, op. cit., p. 50

(23) Karl W. Butzer, op. cit., p. 129

بالمليون. ويقترب المعدل العام لهذه المواد في حدود ٢٠٠ جزء بالمليون. وتعتبر عملية الاذابة مهمة جداً ليس فقط في الاقاليم الجبلية بل وفي الاقاليم ذوات التضاريس الواطئة والجريان السطحي البطيء كما في القسم الجنوبي الشرقي من الولايات المتحدة حيث يعتقد ان عملية الذوبان استطاعت ان تخفض من مستوى سطح الارض بمعدل متر واحد في كل ٢٥٠,٠٠٠ سنة. وتتجاوز حمولة النهر الذائبة في مثل هذه المناطق الانواع الاخرى من الحمولة النهرية (٢٤) وقد قدر موري Murray كمية المواد المذابة بـ ٧٦٢,٥٨٧ طن في الميل المكعب الواحد من مياه الانهار يتكون نصفها تقريباً من كاربونات الكالسيوم. وتنقل الانهار الى البحار كمية من الماء تقدر بـ ٦,٥٠٠ ميل٣ فاذا كان تقدير موري صحيحاً فان الانهار تنقل مامقداره ٥ بلايين طن من المواد بطريقة الذوبان من اليابسة الى البحر في كل عام (٢٥).

٢ــ **الحمولة العالقة Suspended** : تتألف الحمولة العالقة للانهار من ذرات الطين الناعمة جداً والتي يمكن ان تكون حتى غروية Colloidal. وتبقى هذه المواد عالقة في المياه حتى تتوقف حركة الجريان عند وصول النهر الى جسم مائي راكد. ولاتعتمد كمية حمولة النهر من هذه المواد العالقة على مقدار سرعته فقط بل على عوامل اخرى مثل طبيعة الامطار ومقدار حجم ذرات التربة السطحية وكذلك على مقدار الغطاء النباتي وخاصة المتكون من الحشائش.

تساعد حالة الاضطراب الناتجة عن حركة الماء في النهر على حمل كميات من مواد ذوات ذرات اكبر حجماً .. فقد اظهرت التجارب التي اجريت على بعض الانهار ان قليلاً من الانهار السريعة الجريان فقط يستطيع ان يرفع مواد رملية ذوات ذرات متوسطة الحجم على قيعانها. وتلعب التيارات الصاعدة دوراً مهماً في رفع المواد المنقولة وابقاءها عالقة في المياه. ويزداد تكرار حدوث التيارات الهابطة في مياه النهر كلما تحرك النهر باتجاه

---

(24) Gilluly, op.Cit.,pp. 255-256

(25) P.Worcester, op. Cit., p.161

المصب بحيث تفوق في عددها مقدار التيارات المائية الصاعدة. ولكن مثل هذه التيارات لاتؤدي إلا الى حدوث حالة الاضطراب التي تبقي المواد عالقة في مياه النهر.

٣ــ الحمولة القاعية bed load : تكون بعض المواد خشنة الذرات بحيث لايستطيع النهر ان يقوم برفعها ونقلها بطريقة التعلق لذلك فانه يقوم بدفعها ودحرجتها على طول القاع النهري. تتألف الحمولة القاعية من الصخور الصغيرة والحصى والرمال ويمكن ان تضم اليها حتى ذرات الغرين الخشنة تبعاً لطبيعة جريان النهر والتضاريس. ولقد اظهرت المشاهدات لاحدى المجاري النهرية المختبرية التي جرت من خلال نافذة جانبية موجودة على جانب ذلك المجرى النهري ان قسماً من الحمولة القاعية يتدحرج وينزلق قسم آخر منها ويطفو القسم الاخر منها بشكل يبدو معه وكأنه جزء من الحمولة العالقة. ويكون من الصعوبة بمكان قياس كمية الحمولة القاعية حيث لايمكن تقرير الحدود بين المواد القاعية والحمولة العالقة التي تكون غير واضحة. وبشكل عام تكون نسبة الحمولة القاعية الى الحمولة العالقة كبيرة في الانهار الصغيرة منها في الانهار الكبيرة (٢٦). ولقد اجريت تجارب عديدة لتقدير مدى قابلية النهر على تحريك حمولته القاعية. غير ان اية نتيجة لهذه التجارب لم تكن مقنعة بصورة تامة.

يمكن ان تعرف قابلية النهر على النقل من خلال مفهومين هما : القدرة Capacity وتعني مجموع الوزن الاجمالي لحمولة الرواسب ذوات الذرات المتباينة الاحجام. والكفاءة Competence التي تعني وزن او حجم اكبر الذرات التي يمكن للنهر ان يحركها على طول قاعه. اذ تستطيع كثير من الانهار ان تحرك كتلا صخرية يزيد قطرها عن ٣ متر. فقد استطاع تيار الماء المتدفق اثناء انهدام سد St. Francis في جنوب كاليفورنيا في سنة ١٩٢٨ ان يدفع ببعض الكتل الكونكريتية التي يبلغ وزنها ١٠٠٠٠ طن لمسافة كيلومتر واحد باتجاه اسفل النهر. واستطاع نهر Lyn في انكلترا ان يحرك خلال فيضانه صخوراً كبيرة تزن حوالي ١٥ طن (٢٧).

---

(26) Gilluly, Op.Cit., p. 255.

(27) Gilluly, Op. Cit., p. 256.

تلعب السرعة دوراً مهماً في تقرير كمية حمولة النهر وخاصة تلك التي تكون على قاعه فقد ذكر جلبرت Gilbert ان قابلية النهر على تحريك المواد القاعية تزداد ١٦ مرة اذا ماتضاعفت سرعة ذلك النهر (٢٨). كما ان لدرجة الاضطراب اثرها في طبيعة الحمولة التي ينقلها النهر اذ تزداد نسبة المواد الصغيرة الذرات في الانهار التي تسودها تيارات تزيد من حالة الاضطراب في النهر.

وتلعب طبيعة الصخور التي يجري عليها النهر دوراً مهماً في تقرير نوعية وكمية حمولته إذ يحدث احياناً ان تجري انهار سريعة وقوية فوق صخور صلبة ومقاومة فتكون حمولتها في هذه الحالة قليلة. ويحدث العكس عندما تجري بعض الانهار البطيئة الجريان فوق تكوينات هشة مفككة فيؤدي ذلك الى حمولة نهرية كبيرة، ويعتبر نهر هوانك هو في الصين مثالاً جيداً لهذه الحالة حيث انه يجري فوق منطقة اللويس غير المتماسكة فينقل كميات كبيرة منها تغير من شكل مياهه نحو اللون الاصفر ومنها جاءت تسمية هذا النهر بالنهر الاصفر.

اما بالنسبة الى المواد المنقولة الذائبة فانها تعتمد على مقدار قابلية ذوبان الصخور ودرجة نقاوة المياه (٢٩).

يقوم النهر بترسيب المواد الخشنة الذرات ثم يلتقطها ثانية ويرسبها وهكذا، وتوضح هذه القابلية كيفية تنقل السدود والحواجز الرملية والحصوية التي يبنيها النهر ثم يحطمها وينقلها الى مكان آخر.

التعرية النهرية :

تعتبر الانهار من العمليات الجيومورفولوجية المهمة التي تلعب دوراً اساسياً في تغيير مظاهر التضاريس على سطح الارض. وتوجه الانهار قسماً من طاقتها الى عملية التعرية التي يمكن ان تتم من خلال الطرق التالية :

١ــ **الذوبان Solution** : نعني به عملية الاذابة التي تقوم بها المياه عند جريانها فوق الطبقات الصخرية. تختلف كمية المواد الذائبة في مياه الانهار من نهر الى آخر تبعاً لدرجة نقاوة المياه وكذلك تبعاً لطبيعة الصخور التي يجري عليها ذلك النهر. وقد سبق لنا ان بينا عند دراستنا لعملية التكربن في

(28) P.Worcester, Op. Cit., p.158

(29) Hary Robinson, OP. Cit., p.204

موضوع التجوية كيف ان لبعض الصخور قابلية كبيرة على الذوبان في الماء الذي يحتوي على حامض الكاربونيك المخفف مثل الصخور الجيرية والطباشيرية. كما تقوم المياه الباطنية هي الاخرى بتزويد مياه الانهار بكميات كبيرة من المواد الذائبة. وتنقل كل هذه المواد الذائبة نحو المكان الذي ينتهي فيه ذلك النهر.

٢ــ **الاثر الهيدروليكي** : ونعني به عملية النحت التي تقوم بها الانهار من جراء ضغط الماء المسلط على الصخور المختلفة المكونة للمجرى النهري. يندفع تيار الماء خلال الشقوق ومواقع الضعف الموجودة في الصخور فيسبب توسيع تلك المناطق واقتطاع اجزاء صخرية منها. ويؤدي الانفجار الفجائي للفقاعات التي تحتوي بخار الماء في تيار النهر الشديد الاضطراب الى توليد موجات قوية تضرب السطوح الصخرية المجاورة الامر الذي يتسبب عنه تمزيق وتحطيم الصخور (٣٠).

٣ــ **النحت abrasion** : وتعني عملية الصقل او النحت الميكانيكي الذي تقوم بها الانهار. تنجم هذه من خلال عمليات عديدة مثل اصطدام المواد الصلبة التي يحملها النهر، مثل ذرات الغرين والرمل والحصى المختلفة الاحجام، بجوانب المجرى النهري، او من خلال التصادم المتكرر الذي يحدث بين الصخور الكبيرة الاحجام وبين قاع المجرى النهري خلال الفيضانات بشكل خاص، او نتيجة لتحطم مواد الحمولة نفسها الى ذرات اصغر حجماً بسبب اصطدام ذراتها مع بعضها الاخر، او اصطدامها بقاع وجوانب المجرى النهري. ونتيجة لذلك تتناقص احجام ذرات المواد المنقولة ويصبح من السهل على النهر حملها. تكون قوة النحت للمياه الصافية قليلة وتتعاظم هذه القوة كثيراً في حالة وجود ذرات الرمل والصخور الصغيرة والحصى التي تصقل وتزيل الصخور التي تكون على اتصال معها ويدل وجود الحصى المدورة او المصقولة جيداً فوق قاع المجرى النهري على حدوث عملية نحت طويلة الامد قد حولت تلك الحصى الى هذه الاشكال.

لايمكن ايجاد تقدير مقنع لمعدل التعرية التي تقوم بها الانهار. وذلك لتعقد العمليات التي تتحكم فيها وتغيرها. ففي المناطق التي تسود فيها تلال الصخور

(30) Harry Robinson, Op. Cit., p. 203

الطينية يمكن لهذه التعرية ان تصل الى حوالي ٣٠ سم في العام في حين لايظهر اي تأثير سريع على المناطق ذوات الصخور النارية الصلبة. وقد امكن من خلال المسح الجيولوجي للولايات المتحدة ان تقدر كمية التعرية النهرية في حوض المسيسبي حيث قدرت بحوالي ٣٠ سم لكل ٥٠٠٠ ــ ٦٠٠٠ عام. وبالنظر لوجود مناطق اخرى في الولايات المتحدة يكون تأثير الانهار عليها قليلاً لانها مغطاة بالغابات والحشائش، فقد قدر مجمل اثر التعرية النهرية لعموم الولايات المتحدة بـ ٣٠ سم لكل ٨٠٠٠ ــ ٩٠٠٠ سنة (٣١).

الترسيب النهري:

يرسب النهر عندما تتناقص سرعته اما بسبب القلة في كمية المياه او بسبب تناقص درجة الانحدار بالنسبة للمجرى النهري. انذاك يصبح جزء من الحمولة فوق طاقته على النقل فيقوم بترسيبها. يبدأ النهر بترسيب المواد الاكبر حجما من حمولته حالما تبدأ سرعته بالتناقص فيرسب الصخور ثم الحصى الكبيرة تتبعها الحصى الصغيرة والرمال ثم الغرين. ويعني ذلك ان الترسيب النهري يكون منتظماً ومتدرجاً من اعالي المجرى حتى اسفله. وتظهر بعض الاستثناءات لهذا التدرج في بعض الحالات كأن توجد سدود تعترض النهر أو وجود بعض البحيرات التي تعترض مجرى النهر نفسه حيث يلقي النهر بمعظم ارساباته داخل تلك البحيرة ويخرج منها وهو يكاد يكون خالياً من الرواسب. وخير مثال على ذلك نهر الراين الذي يدخل بحيرة كونستانس وهو محمل بالطمى ويخرج منها بمياه صافية رائقة. او نهر النيل عند دخوله منطقة مستنقعات السدود في جنوب السودان حيث يلقى بمعظم رواسبه فيها ويخرج من تلك المنطقة ومياهه تكون خالية من الرواسب حيث يسمى النيل بعدها بالنيل الابيض.

لاترتبط عملية الترسيب بالقسم الاسفل من المجرى النهري فقط وانما توجد على كل قطاعات المجرى تقريباً غير ان نوعية تلك الارسابات تختلف من مكان الى آخر من المجرى النهري اذ تقل حجوم ذرات الرواسب مع الاقتراب من الجزء

---

(31) P. Worcester, Op. Cit., p. 162

الاسفل من مجرى النهر بشكل عام، هذا ويلقى النهر بجزء من الرواسب التي يحملها معه عندما تتناقص سرعته كما ذكرنا ذلك قبل قليل وفي احدى الظروف التالية :

١ــ عند حصول تغير واضح في درجة الانحدار كما يحدث على سبيل المثال عندما ينتقل النهر من منطقة جبلية شديدة الانحدار نحو مناطق هضبية او سهلية ذوات درجة انحدار قليلة نسبياً حيث تتكون المراوح الطينية في مثل هذه الاماكن عادة .

٢ــ عندما يجري النهر فوق وديان عريضة وواسعة بحيث تكون الظروف مواتية فيها لحدوث الفيضانات وبالتالي حدوث عملية الترسيب فوق تلك الوديان النهرية .

٣ــ عندما ينتهي نهر سريع الجريان محمل بالرواسب في بحيرة الامر الذي يؤدي الى القائه لمعظم رواسبه فوق قاع البحيرة مكوناً دلتا او مغطياً لقاع البحيرة بالرواسب بصورة تدريجية .

٤ــ عندما يصل نهر من الانهار الى اقليم صحراوي او شبه صحراوي حيث تتناقص او تتلاشى مياهه بسرعة تاركاً المواد التي يحملها معهابشكل رواسب .

٥ــ عندما ينتهي النهر في البحر حيث تتكون الدلتاوات اذا كانت الظروف في البحر ملائمة لتجمع الرواسب وتكون الدلتاوات .

الانهار ذوات الحمولة الفائضة : Overloaded

تنقل بعض الانهار من الحمولة اكثر مما تستطيع نقله لذا فهي تعرف باسم الانهار ذوات الحمولة الفائضة. وتوجد مثل هذه الانهار ضمن كل انواع التضاريس حتى في المناطق الجبلية التي تتميز بشدة انحدارها حيث توجد كثير من الانهار الجبلية التي تستلم حمولة كبيرة من روافدها السريعة الجريان. وترتفع قيعان وديان تلك الانهار الجبلية بسبب الترسيب الذي يحصل عليها من الحمولة الفائضة بدلاً من ان تتعمق كما هي الحالة في الوديان النهرية الجبلية الاخرى. تمتلىء وديان هذه الانهار بالطمى والغرين الى عمق عدة امتار ويزداد تبعاً لذلك اتساعها. وتبدو هذه الانهار تتصرف وكانها في مرحلة الشيخوخة من الدورة الجيومورفولوجية رغم انها لم تبدأ الا لتوها في عملها لتعرية سطح الارض. تنتشر ظاهرة الانهار فائضة الحمولة فوق

الاقاليم المستوية او المنخفضة. وتميل الانهار فائضة الحمولة الى ترسيب المواد الخشنة الذرات ونقل المواد ذوات الذرات الناعمة الدقيقة [٣٢] (شكل رقم ٤٣).

شكل رق ــ ٤٣ ــ

نهر فائض الحمولة في اقليم ضمن مرحلة النضج

مستوى القاعدة : Base Level

قبل ان ندخل في دراسة تفاصيل الاشكال الجيومورفيه التي تكونها الانهار، لابد لنا من معرفة مفهوم مهم جداً الا وهو مستوى القاعدة للتعرية النهرية. ونعني به المستوى الذي يحاول النهر بكل روافده ان يوصل كل جهات حوضه اليه من خلال عمله في التعرية والترسيب. هناك نوعان من مستويات القاعدة هما مستوى القاعدة الدائمي الذي يتمثل في حالات عديدة مثل ظهور طبقات صخرية اشد صلابة في مكان ما من مجرى النهر فيؤدي ذلك الى تكوين مستوى قاعدة مؤقت يتمثل في مستوى تلك الطبقات الصخرية الصلبة نفسها بالنسبة للقسم الواقع اعلاها من المجرى النهري. ويحدث الشيء نفسه اذا كان النهر يصب في بحيرة حيث تعتبر تلك البحيرة مستوى القاعدة المؤقت بالنسبة للقسم الواقع اعلاها من النهر. فعلى سبيل المثال تكون على هذا الاساس بحيرة دوكان مستوى قاعدة مؤقت للقسم الواقع اعلاها من نهر الزاب الاسفل وبحيرة دربندخان مستوى قاعدة مؤقت للجزء الواقع الى الاعلى منها من نهر ديالى. كما تعتبر قيعان الاحواض الداخلية

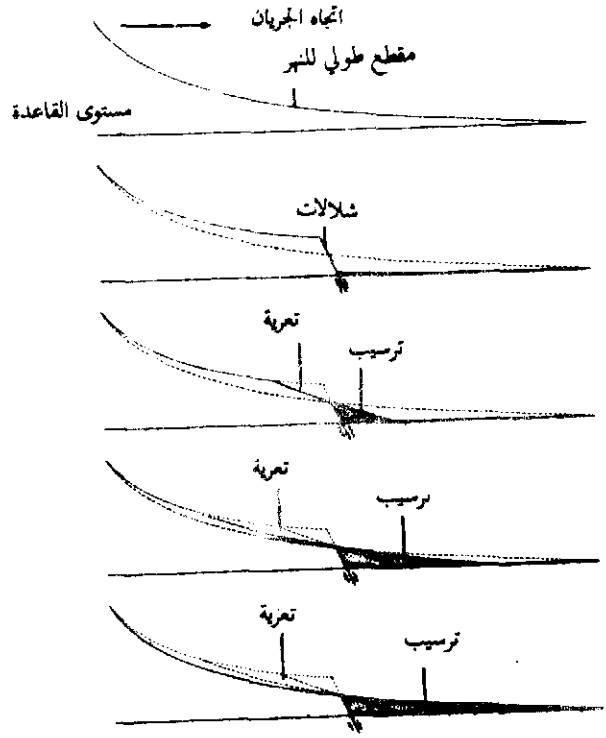
(32) P. Worcester, Op. Cit., p. 165

مستويات قاعدة مؤقتة للانهار التي تنتهي فيها. اما لماذا اعتبرت هذه المستويات مؤقتة فذلك يرجع الى ان الانهار تستطيع بعملها المستمر في تعميق وديانها في بعض الحالات او من خلال عمليات الترسيب في حالات اخرى ان تقضي على تلك الظروف التي كونت مستوى القاعدة المؤقت وترجع ثانية نحو مستوى القاعدة الدائمي.

يهدف كل نهر من الانهار الى تكوين قطاع بشكل منحن متوازن مع مستوى القاعدة بحيث يزداد ارتفاع ذلك المنحني النهري كلما اقتربنا من اعالي حوض النهر ومنابعه ويتناقص ارتفاع هذا المنحني من مستوى القاعدة كلما اقتربنا من المكان الذي ينتهي فيه النهر او المكان الذي يمثل الاساس لارتفاع مستوى القاعدة (شكل رقم ٤٤). يقوم النهر كما بينا قبل قليل بعملية اساسية متواصلة ودؤوبة وهي محاولة ايجاد الانطباق بين مستوى القاعدة وبين المنحني الذي يمثل القطاع الطولي للنهر وعليه ايضاً ان يعمل بحيث تتم عملية الانطباق هذه على طول القطاع الطولي للنهر في وقت واحد. ويعني ذلك ان على النهر ان يسرع في تعميق واديه في المناطق التي يكون مرتفعاً فيها كثيراً عن مستوى القاعدة وعليه ايضاً ان يتباطأ في هذه العملية في الاجزاء السفلى من الوادي النهري القريبة في ارتفاعها من مستوى القاعدة. وتوضح لنا هذه الفكرة كيف ان النهر عليه ان يوجه معظم طاقته في عملية النحت العمودي وتعميق واديه في المناطق الجبلية المرتفعة وان عليه ان يوجه طاقته في المناطق المنخفضة نحو توسيع ذلك الوادي بدلا من تعميقه (٣٣). بل ويضطر النهر احياناً حتى الى رفع مستوى قاع الوادي من خلال عمليات الترسيب من اجل ان يتباطأ في عملية التعميق وبذلك يمكن لكل اجزاء الوادي ان تصل الى مستوى القاعدة في وقت واحد تقريباً. ويكون النهر متوازناً graded اذا استطاع من الناحية النظرية ان يكون له منحني يتوافق مع كمية المياه الجارية فيه وكمية الحمولة التي ينقلها بحيث انه لايحاول ان يقوم باية عملية للتعرية وفي الوقت نفسه لايحاول ان يرسب شيئاً من الحمولة التي ينقلها. وبذلك تكون الطاقة التي يختزنها النهر متوازنة مع العمل الذي يقوم به وهو نقله للحمولة فقط (٣٤). هذا من ناحية نظرية اما من ناحية الواقع فان حالة النهر

(33) Darrell and Valerie Weyman, Landscape Processes, George Allen, London, 1977, p.35

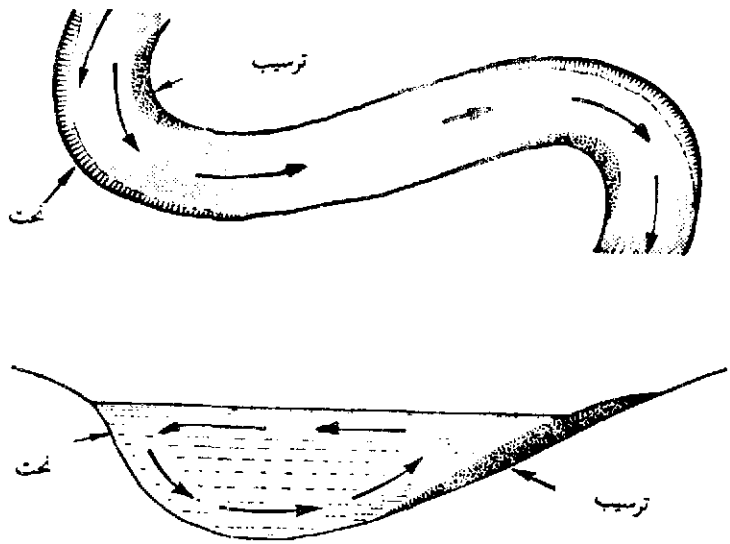
(34) W. Kenneth Hamblin, Op. Cit., p. 149



شكل ــ ٤٤ ــ

قطاع لنهر متوازن ومحاولته البقاء في هذه الحالة من خلال التعرية والترسيب

المتوازن امر مشكوك فيه حيث ان ظروفاً كثيرة تجبر النهر على القيام بالتعرية كأن تكون احدى ضفاف النهر مواجهة للتيار الامر الذي يؤدي معه الى حدوث تعرية فيها وحصول زيادة في حمولة النهر عن مرحلة التوازن فيقوم النهر على الفور بترسيب جزء من حمولته مقابل ذلك في محاولة منه للرجوع الى حالة التوازن. ويضطر النهر احياناً الى الترسيب وبذلك تتناقص حمولته فتتزايد سرعته ويرجع فيقوم بعملية التعرية ثم العودة الى حالة التوازن وهكذا (شكل رقم ٤٥). وهذا مايحدث فعلا للانهار التي قام الانسان بانشاء السدود عليها وتكوين البحيرات خلف تلك السدود حيث تخرج مياه الانهار خالية من الحمولة منها فتقوم بعملية النحت العمودي. كما حصل في نهر النيل شمال السد العالي.



شكل ــ ٤٥ ــ

تعرية وترسيب نهري للبقاء في حالة التوازن

التضاريس الناتجة عن التعرية النهرية :

تتشكل معظم التضاريس الناتجة عن التعرية النهرية عندما يكون النهر في مرحلة الشباب من الدورة الجيومورفية او عندما تجري تلك الانهار فوق اقاليم ماتزال في مرحلة الشباب كمناطق الجبال الوعرة او الهضاب المرتفعة. وتتصف كل تلك الاقاليم بان سطوحها ترتفع كثيراً عن مستوى سطح البحر (مستوى القاعدة الدائمي للتعرية في الانهار) الامر الذي يجعل الانهار التي تجري عليها تحاول ان تعمق وديانها بسرعة لكي تصل الى مستوى القاعدة. تتصف هذه الانهار بانها ذوات درجات انحدار كبيرة وتجري داخل خوانق ذوات جوانب شاهقة الارتفاع او في وديان عميقة تشبه حرف (V) ويكثر فيها وجود الشلالات والجنادل. تقوم هذه الانهار بتعميق وديانها رغم ان بعضها تصبح ذوات حمولات فائضة بسبب المواد الكثيرة التي تلقيها فيها بعض روافدها لذا لاتقوم هذه الانهار بتعميق وديانها وترسب على قيعان تلك الوديان احياناً. ويمكن اجمال اهم التضاريس التي تتكون من جراء التعرية النهرية في هذه المرحلة بالاتي :

١ ــ الخوانق النهرية والوديان العميقة : Canyons and Gorges

وديان نهرية ذوات جوانب شديدة الانحدار. تكون تلك الجوانب مرتفعة ارتفاعاً كبيراً قياساً الى سعتها. وتبين هذه الوديان ماينتج عن اثر التعرية النهرية التي تحصل في انهار تقوم بتعميق وديانها بسرعة اعظم بكثير من عملية توسيع تلك الوديان والتي تقوم بها اضافة الى النهر نفسه عمليات اخرى مثل التجوية بأنواعها المختلفة او عملية تعميق الروافد لوديانها. تتكون جوانب الوديان العميقة والاخاديد من صخور مقاومة لعمليات التعرية المختلفة الامر الذي لايجعلها تتباعد كثيراً عن بعضها. ويساعد وجود مناطق الضعف المختلفة مثل المفاصل والانكسارات على زيادة سرعة عملية تعميق الوادي النهري كما ويساعد تراجع الشلالات السريع الى توضيح عملية تعميق النهر لواديه. تنشأ معظم الخوانق في مناطق مرتفعة ذوات مناخ جاف أو شبه جاف حيث يكون اثر التجوية قليلاً فوق جوانب الوادي مما لا يؤدي الى تباعد تلك الجوانب. كما هي الحالة في الوديان العميقة التي توجد في القسم الغربي الجاف وشبه الجاف من الولايات المتحدة (شكل رقم ٣١). واشهرها الخانق العظيم لنهر كلورادو Grand Canyon. يبلغ طول هذا الوادي حوالي ٥٠٠ كم ويقرب عمقه من ٢ كم. ويشق طريقه خلال طبقات صخرية افقية تكون هضبة كلورادو. وقد نشأت معظم الخوانق هنا من جراء تعرض المنطقة الى حركة رفع صاحبتها عملية اعادة الشباب وتعميق لوديان تلك الانهار (٣٥). تتصف حافات هذا الوادي العليا بانها واسعة وتظهر فيهااشكال ارضية مختلفة ناتجة عن التعرية المتباينة لصخور رسوبية مختلفة في درجة صلابتها. ويصل اقصى عمق لهذا الخانق ١٩٠٥ متراً عن تلك الحافات المرتفعة. تكثر داخل هذا الخانق الجنادل التي ساعدت بدورها على سرعة تعميق هذا الخانق. وقد تكون بسبب بناء سد هوفر Hoover Dam بحيرة اصطناعية تعرف باسم بحير ميد Mead ادت الى ايقاف التعرية في القسم الذي شغلته مياه تلك البحيرة من وادي النهر وكذلك قيام النهر بالترسيب داخلها (٣٦). وقد كون تغلغل النهر داخل الصخور الى وجود مظهر جميل رائع ناتج عن التتابع المنتظم للصخور ذوات الالوان المختلفة مثل الرمادي،

---

(٣٥) جودة حسين، معالم سطح الارض، دار النهضة العربية، بيروت، ١٩٨٠، ص ٢١٦.

(36) Arthur Holmes, Principles of Physical Geolgy, Nelson, London, 1965, 591-593

الاخضر ، الارجواني والبني التي ظلت واضحة بسبب جفاف الاقليم . وقد عمل نهر النيل في مصر خانقاً اقل وضوحاً من حالة الخانق العظيم في كلورادو فوق الهضبة الافريقية يتراوح اتساعه بين اقل من نصف كيلومتر في الجنوب حيث يقطع مجراه خلال صخور الكرانيت الصلبة الى حوالي ١٦ كم في الشمال حيث تسود الصخور الجيرية ويكون الوادي محاطاً بجدران تشبه الاجراف ترتفع في بعض الاماكن الى اكثر من ٣٠٤ متر فوق النهر (٣٧) .

٢ ــ الشلالات والجنادل : Waterfalls and Rapids

تتكون ظاهرة الشلالات او المساقط المائية نتيجة الى وجود هبوط مفاجيء في مجرى النهر . توجد الشلالات في كل القارات وخاصة داخل الاقاليم الجبلية والهضبية منها . اما الجنادل فانها توجد عادة الى الاعلى او الى الاسفل من مواقع الشلالات في الانهار ويمكن للجنادل ان توجد لوحدها احياناً .

تعتبر الشلالات والجنادل احد المقاييس التي تعتمد عند تحديد مرحلة الشباب في النهر . وتتألف من نوعين اولهما تلك التي تكونت من خلال التاريخ الطبيعي لتطور النهر ويدل وجودها على ان النهر لم يكمل انحداره المتوازن المطلوب . وثانيهما نتيجة لظروف خارجية معينة تجبر النهر على تكوين الشلالات .

١ــ يمكن ان يعرف النوع الاول منها بانه النمط العادي من المساقط المائية . ويرجع تكونه كلياً الى الاختلافات في درجة صلابة الصخور التي يقوم النهر بتعميق واديه خلالها . اذ يؤدي ظهور تكوين صخري صلب الى جعل الجزء الواقع اعلاه من النهر يتصرف وكأن ذلك التكوين الصخري مستوى القاعدة المؤقت له في حين مازال جزء النهر الواقع اسفل ذلك التكوين الصخري يعتبر مستوى القاعدة له مختلفاً عن القسم الاول . وبذلك يقسم ذلك التكوين الصخري عملية تعميق النهر لواديه بشكل مفاجيء مكوناً المسقط المائي او الشلال . ومن اشهر الامثلة على ذلك شلالات نياكارا الشهيرة على الحدود بين الولايات المتحدة وكندا . ومن الامثلة المعروفة لهذا النوع من الشلالات في القطر العراقي شلالات كلي علي بك في محافظة اربيل .

(37) Robinson, op. Cit., 311.

هذا ويكون وضع التكوينات الصخرية الصلبة في هذا النوع من المساقط المائية اما افقياً او عمودياً . تتراجع الشلالات في الحالة الاولى عادة بسبب النحت الذي تتعرض له التكوينات الصخرية اللينة الواقعة اسفل الصخور الصلبة من جراء تساقط الماء وحصول الدوامات ويؤدي ذلك الى تكسر الطبقات الصخرية الصلبة وتراجع الشلال نحو الخلف . يختلف ارتفاع الشلال عند تراجعه في هذه الحالة تبعاً لاتجاه الميل للطبقات الصخرية الصلبة . اذ يقل ارتفاع الشلال تدريجياً عند تراجعه في حالة اذا كانت تلك الطبقات الصخرية تميل باتجاه باطن الارض ويحدث العكس عندما تميل الطبقات الصخرية نحو الخارج اذ يزداد ارتفاع الشلال عند تراجعه تدريجياً (شكل رقم ٤٦) . ولايتراجع الشلال الى الوراء في حالة كون الصخور الصلبة بوضع عمودي غير ان ارتفاعه يتناقص في هذه الحالة بشكل تدريجي ويتحول الى نوع من الجنادل (شكل رقم ٤٧) .

٢ــ الاضطراب الذي يصيب تطور النهر والذي يمكن ان يحصل في الحالات التالية

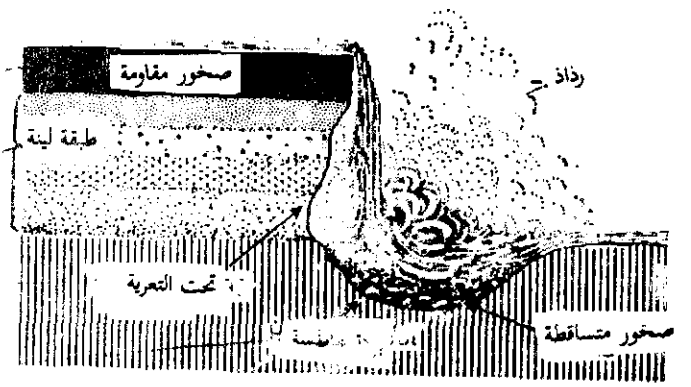
(أ) ــ الانخفاض الذي يطرأ على مصب النهر من جراء :ــ

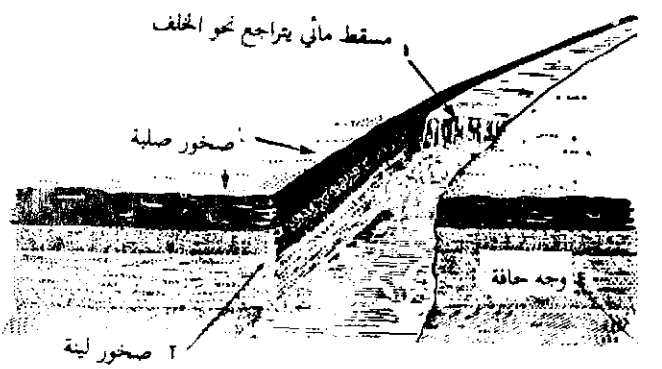
١ــ حدوث عملية نحت عمودي سريعة لبعض الانهار التي تتعرض الى حالة اعادة شباب قوية الامر الذي يبقى بعض روافدها وكأنها روافد معلقة فتتساقط المياه منها نحو النهر الرئيسي بشكل شلالات .

٢ــ تسبب بعض حالات الاسر النهري اختلافاً كبيراً وسريعاً في مستويات قيعان المجاري النهرية المأسورة والآسرة مما يؤدي الى سقوط مياه الانهار المأسورة على هيئة شلالات او مساقط مائية في وديان الانهار الآسرة التي تمثل الموقع المنخفض عادة .

٣ــ يمكن للتعرية الجليدية التي حدثت في الاقاليم الجبلية ان تكون الشلالات وذلك عندما تتراجع الثلاجات وتحتل وديانها الانهار . فتساقط مياه الانهار التي تحتل الوديان الجليدية المعلقة بشكل مساقط مائية نحو الانهار التي تحتل الوديان الجليدية الرئيسية .

٤ــ يؤدي النحت الذي تقوم به الامواج احياناً الى عمل الاجراف المرتفعة





شكل ــ ٤٦ ــ

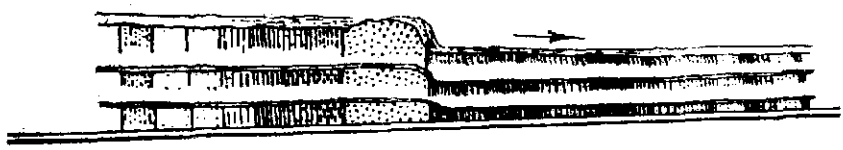
شلال تكون الصخور الصلبة فيه ذات وضع افقي لاحظ كيف يتراجع الشلال نحو الوراء

ويسبب ذلك تكون الشلالات عندما تتساقط مياه بعض الانهار من اعالي الاجراف باتجاه البحر .

٥ــ يمكن لبعض الحالات الانكسار والالتواء ان تخفض من الاقسام السفلى لبعض الانهار مما يؤدي الى تكوين المساقط المائية (شكل رقم ٤٨) .

(ب) ــ الغلو الذي قد يصيب بعض المجاري النهرية نتيجة لـ :

١ ــ الانبعاث الارضية



شكل ــ ٤٧ ــ

شلالات تكون الصخور الصلبة فيها عمودية الامتداد لاحظ كيف ان الشلال عند تخفيض مستواه لايتراجع الى الوراء وانما يبقى في مكانه ثم يتحول بعد ذلك الى مجموعة من الجنادل

٢ ــ سداد الحمم البركانية

٣ ــ بوساطة الركامات الجليدية

٤ ــ بوساطة الثلاجات التي تجبر بعض الانهار على تغيير مواضعها دافعة اياها نحو مواقع اعلى ارتفاعاً.

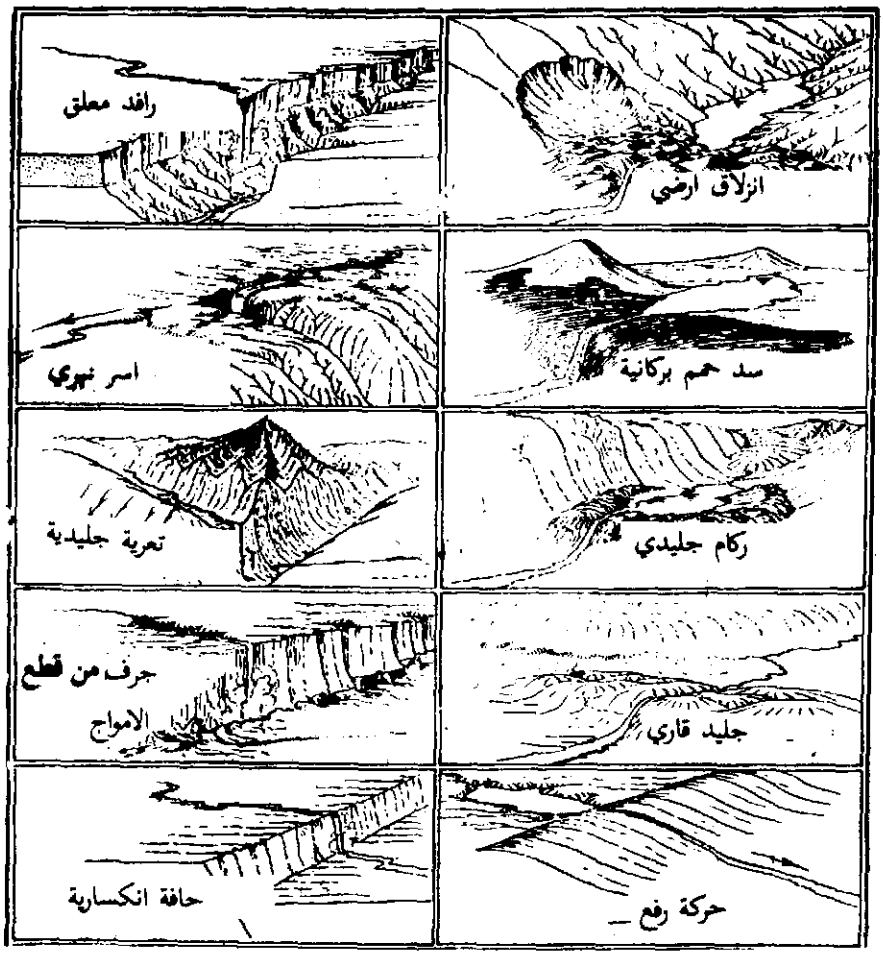
٥ ــ اية ظروف مصاحبة اخرى تجعل النهر يأخذ موقعاً جديداً وتجعله يجري فوق تضاريس غير منتظمة (٣٨).

تختلف المساقط المائية فيما بينها كثيراً من حيث كمية المياه التي تتساقط فيها وفي اتساعها فعلى سبيل المثال لايتجاوز عرض شلالات Yosemite ٥ر١٠ مترا وتتساقط المياه فيها من ارتفاع ٤٣٥ متراً وعلى نقيضها شلالات Iguazu في امريكا الجنوبية والتي هي في الحقيقة مجموعة متعددة من المساقط المائية التي تشكل منظراً واسعاً حيث يبلغ عرض هذه المساقط في حدود ٢ر٣ كم وتوجد بعض الجزر داخلها وتتساقط المياه فيها من ارتفاع يبلغ حوالي ٧٠ متراً. وتقع تلك الشلالات على خط الحدود بين البرازيل والارجنتين حيث يهبط نهر يحمل الاسم نفسه من على حافة هضبة البرازيل (٣٩). ويبين الجدول (رقم ٤) بعضاً من اهم المساقط المائية في العالم تبعاً الى ارتفاعها في الفقرة أ من الجدول وتبعاً لكمية التصريف فيها في الفقرة ب من الجدول نفسه.

---

(38) Lobeck, Op. Cit., p. 197.

(39) P. Worcester. op.Cit. p.121



شكل ــ ٤٨ ــ

بعض حالات تكون الشلالات

جدول رقم (٤)

المساقط المائية الكبرى في العالم

أ ــ تبعاً لارتفاعها

الاسم	الارتفاع بالامتار	القطر او الولاية
Yosemite	٧٧٩ (بثلاثة جنادل)	كاليفورنيا
Sutherland	٥٨٠ (بثلاثة جنادل)	نيوزيلند
Roraima	٤٥٧	غوايانا
Kalambo	٤٣٦	افريقيا الجنوبية
Takkakau	٤١٠	كولومبيا [illegible]
Multnomah	٢٥٠	[illegible]
Bridalveil	١٩٠	كاليفورنيا

ب ــ تبعاً الى كمية المياه فيها

Niagara	٥١	الولايات المتحدة وكندا
Victoria	١٢٢	افريقيا الجنوبية
Iguazu	٧٠	البرازيل
Kaieteur	٢٤٤	غوايانا
Lower Yellowstone	٩٤	واينك
Grand	٩٦	لبرادور

المصدر : Philip G. Worcester Op.Cit. P.121

تنشأ الجنادل كما ذكرنا سابقاً عند المنحدرات الشديدة وليست العمودية من قيعان الانهار نتيجة لتراجع الشلالات الى الوراء في معظم الحالات. وتعتبر

الجنادل الخلابة الموجودة عند اسفل شلالات نياكارا مثالاً جيداً لهذا النوع. ويظهر نوع آخر من الجنادل عندما تقوم الانهار بنحت صخور غير متشابهة في مقاومتها، كما في الجنادل الموجودة في نهر سنت لورنس فوق مدينة مونتريال مباشرة وكذلك يتمثل هذا النوع من الجنادل في منطقة الخانق العظيم لنهر كلورادو.

تشكل الجنادل والشلالات عقبات امام الملاحة في الانهار. وكثيراً ماتضطر الدول معها الى ان تقوم بحفر قنوات على جوانب المناطق التي تظهر فيها الجنادل من الانهار اذا كانت بقية جهات النهر الواقعة اعلى الجنادل والشلالات واسفلها صالحة الى الملاحة. وتحتاج تلك القنوات الى منشأت هندسية معقدة تتمثل بالاحواض التي تساعد على خفض او رفع القوارب والسفن من مستوى الى آخر.

٣ ــ الحفر الوعائية : Potholes

تعرف احياناً بالحفر الدردوريه وتوجد عند قدمات المساقط المائية حيث يؤدي سقوط الماء القوي الى تكوين حركة دوارة تقوم بوساطة ماتحمله من رمال وحصى بنحت القاع النهري الصلب وتكوين حفر باسم الحفر الوعائية. ولاتكون هذه الحفر اشكالاً تضاريسية مهمة غير انها يمكن ان تعتبر دليلاً على مقدار النحت العمودي الذي تقوم به الانهار التي تكون في مرحلة الشباب. وتتكون الحفر الوعائية بشكل سريع فوق التكوينات الصخرية اللينة مثل صخور الطفل ولكنها تظل محافظة على شكلها بصورة جيدة عند تكونها في صخور نارية صلبة كالكرانيت والبازلت والكوارتز (شكل ٤٩). وتتحول بعض الحفر الدردوريه من جراء تراجع الشلالات الى الوراء الى ما يعرف باسم البرك الغاطسة plunge pool. واشهر هذه البرك تلك التي توجد في كراندكولي الذي يعتبر بمثابة المجرى السابق لنهر كولومبيا في ولاية واشنطن. وقد تكونت تلك البرك الغاطسة من جراء تساقط الماء من فوق جرف يبلغ ارتفاعه حوالي ١٢٢ متراً (٤٠).

٤ ــ التضاريس الناتجة عن التعرية النهرية في مرحلة النضج :

يتحول الاقليم بمرور الوقت من مرحلة الشباب الى مرحلة النضج حيث

(40) Lobeck. op., Cit., p. 195

شكل رقم ــ ٤٩ ــ

حفر وعائية بالقرب منها صخور كرانيت تعرضت الى النحت النهري في قاع نهر جبلي

تأخذ بعض التغيرات مكانها فيه. اذ يتطور نظام التصريف تطوراً جيداً ويصبح فيه مايعرف باسم نظام التصريف المتكامل integrated، اذ تقوم انهار كبيرة قليلة بتصريف مياه الاقليم بدلا من وجود عدد كبير من الانهار الصغيرة. وتستطيع بعض الانهار ان تصل الى مستوى قاعدة التعرية ولو لأجزاء معينة منها وتكونت لهذه الانهار بعض الروافد واختفت البحيرات والمستنقعات بصورة واسعة وكذلك الحال بالنسبة الى المساقط المائية حيث تختفي بدورها هي الاخرى. وتتسع وديان الانهار وتضيق مناطق تقسيم المياه بين الاحواض النهرية المختلفة بسبب تراجع الانهار الى الوراء من جراء النحت التراجعي. ويقل ارتفاع التلال والسلاسل الجبلية في الاقليم وتقل درجة الانحدار بصورة عامة. ويمكن القول ان التضرس يكون على اشد درجاته في هذه المرحلة من دورة التعرية. ويمكن ان نتحقق من وصول منطقة جبلية معينة الى مرحلة

النضج عندما نجد ان المساحة التي تحتلها الوديان النهرية فيها مشابهة لمساحة التلال والسلاسل الجبلية.

٥ ــ التضاريس الناتجة عن التعرية النهرية في مرحلة الشيخوخة :

تلتوي الانهار هنا وهناك فوق الاقاليم التي تكون ذوات تضاريس في مرحلة الشيخوخة حيث تكون قد اكملت انشاء سهولها الفيضية. وتتصف تياراتها بانها بطيئة وتكون قابليتها على حمل الرواسب قليلة ايضاً. وتضيق مناطق تقسيم المياه بين الاحواض النهرية ويقل ارتفاع تلك الاحواض وتزال بعض مناطق تقسيم المياه بشكل نهائي من قبل التعرية التي قامت بها الانهار. وتنخفض كل التضاريس تقريباً ويميل السطح الى الاستواء. وتبقى بعض الكتل الصخرية مرتفعة عن المستوى العام للسطح اما بسبب درجة صلابتها العالية نسبياً او لأنها بعيدة عن متناول الانهار وتعرف تلك الكتل بالانسلبرج Incelberg وتسمى احياناً بالموناندنوك Monadnock.

تكاد تكون الانهار في هذه المرحلة قد اكملت عملها في تخفيض مستوى سطح الاقليم الى مستوى قاعدة التعرية. وبالنظر الى قلة درجة الانحدار وقلة سرعة جريان الانهار فإن التعرية الميكانيكية تكون بطيئة جداً رغم ان التعرية الكيمياوية تكون فعالة خاصة في المناطق الحارة ولذا تتغطى المناطق الموجودة بين المجاري النهرية بتربة عميقة جداً. وتتحول كثير من المناطق الجبلية الى سهول تحاتية peneplains وهي سطوح مستوية او قريبة من المتموجة تنتشر عليها تلال واطئة. ولكي تتحول منطقة جبلية الى سهل تحاتي لابد وان يمر عليها وقت طويل جداً وهي تحت تأثير عوامل تعرية قوية ومنها الانهار. ولاتوجد في معظم القارات سهول تحاتية بسبب حركات القشرة الارضية التي تؤدي الى رفع مستوى الاقليم واحداث حالة اعادة الشباب فيه. ومن المحتمل ان يكون سهل سيبريا الواقع الى الشرق من جبال اورال والى الشمال من جبال تيان شان حيث يقع اقليم تصرف مياهه انهار ايرتش Irtish واوب ob اشهر الامثلة على السهول التحاتية في العالم التي تقترب كثيراً من مستوى القاعدة (٤١).

---

(41) P. Worcester, op. Cit., 190

التضاريس الناتجة عن الترسيب النهري :

١ ــ السهول الفيضية :

تتصف السهول الفيضية للانهار بانها ذوات مستويات واطئة قريبة الى حد ما من مستوى قاعدة التعرية ان لم تكن عندها فعلا . تكونت تلك السهول من جراء تجمع الارسابات الطموية فوق قيعان الوديان التي قامت الانهار بتوسيعها . وتتميز هذه السهول بقلة درجة الانحدار فيها . وتنتشر فوقها مظاهر تضاريسية متعددة مثل الالتواءات النهرية والبحيرات الهلالية والمستنقعات والبحيرات غير المنتظمة في توزيعها والتي تشغل المنخفضات الموجودة هنا وهناك من السهل الفيضي . تنتج معظم تلك المنخفضات من جراء عدم انتظام عملية الترسيب فوق كل اجزاء السهل الفيضي حيث تتلقى بعض المناطق كميات كبيرة من الرواسب في حين لاتستلم الاخرى الا رواسب قليلة فتتحول الى منخفضات كما في مناطق الاهوار في جنوب العراق . ويمكن لهذه المنخفضات وغيرها من اشكال التضاريس الصغيرة ان تنشأ من جراء التغيرات التي تحصل لمجاري بعض الانهار اثناء الفيضانات او من خلال تطور الالتواءات النهرية .

٢ ــ الالتواءات النهرية : Meanders

تطلق صفة الانهار الملتوية على الانهار التي تجري فوق سهول فيضية عريضة ولها مجار متعرجة وقد اخذت هذا الاسم من نهر ميياندر Meander في تركيا الذي تتمثل فيه هذه الميزة بشكل واضح (٤٢) . وتظهر كل الانهار ميلاً واضحاً لتكوين الالتواءات بسبب ميلها الى تكوين تأرجح متعاقب في جريانها من جانب الى آخر . ولا يكون هذا التأرجح مرتبطاً بالانهار فقط وانما نجده واضحاً في تحرك الاجسام الكبيرة الاخرى كما يحصل ذلك عند حركة الهواء وتكوينه للتيارات النفاثة Jet Streams في الغلاف الجوي . او عند تحرك مياه المحيطات في بعض التيارات المحيطية كتيار الخليج (٤٣) .

---

(42) A.K. Lobeck, op. Cit., p. 227

(43) Glenn T. Trewartha and Others, Fundamentals of Physical Geography, McGraw-Hill, New York, 1966, p. 205

كان يعتقد سابقاً ان السبب الرئيسي في حدوث الالتواءات النهرية يمكن ارجاعه الى وجود العقبات التي تواجه النهر مما يجعله يدور او ينثني حولها مكوناً بداية الالتواء. الا ان الدراسة الحديثة اثبتت انه من الممكن للألتواءات ان تتكون حتى في مجار نهرية مستقيمة وليس فيها اي نوع من العقبات. وقد اثبتت ذلك تجربة مختبرية حضرت في Imperial College في لندن، حيث مد مجرى مستقيم ومتجانس المواد. وكان جريان الماء فيه ثابتاً ومنتظماً. وقد ظهرت بعد مضي وقت ليس بالطويل بعض المناطق الضحلة على مسافات منتظمة من قاع المجرى. ثم بدأ النهر بالدوران حول تلك المناطق الضحلة وبدأ يطور الدورات النهرية (٤٤). (شكل رقم ٥٠). ويعتقد بعض الباحثين ان اختلاف سرعة تيار النهر خلال قطاعه وقلة تلك السرعة في الجهات القريبة من القاع مسؤول عن نشوء المناطق الضحلة التي سبق ذكرها قبل قليل. وينتج عنها ايضاً حدوث تيار حلزوني يكون مسؤولاً عن تطور الالتواءات النهرية. فعندما تتحرك الطبقات السفلى من المياه في النهر بسرعة اقل من الطبقات العليا يلحق الجريان السطحي بالجريان القاعي من الضفة المقعرة نحو الضفة المحدبة (٤٥).

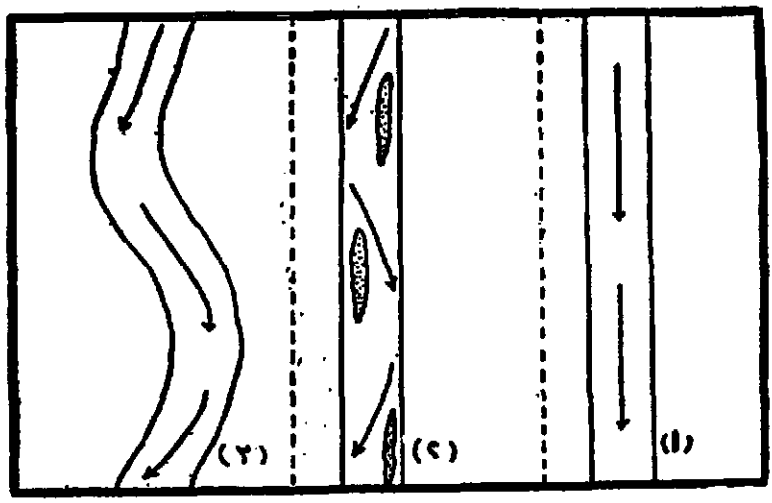
يربط بعض الباحثين بين سبب حدوث الالتواءات النهرية وبين طبيعة ونوعية المواد المكونة لقيعان المجاري النهرية حيث يؤدي وجود مواد رسوبية دقيقة مثل ذرات الغرين والطين وبعض الرمال الناعمة الى جعل المجرى النهري يميل الى التعرج والالتواء. في حين اذا كانت مثل هذه المواد غير متوفرة بدرجة كافية على جوانب وقاع المجرى النهري فان ذلك المجرى يميل الى التمزق وينقسم الى عدة مجاري على قطاع عريض من السهل الفيضي ويطلق على مثل هذه المجاري اسم الانهار المظفورة Braided Streams (٤٦). وقد اظهرت دراسة نموذجية لحالة ٤٧ نهراً طمويا في السهول العظمى بالولايات المتحدة ان الالتواءات الكبيرة تكون مرتبطة بالانهار التي تتصف بتماسك حدود مجاريها (٤٧). ولقد بينت الدراسات الحديثة وجود ارتباط بين

(44) G.H. Dury, THe Face of the Earth, Penguin books, London. 1974, pp. 96-97.

(45) B.W. Sparks, Geomorphlogy, Longmans, London, 1967, p. 96.

(46) Joseph E. Van Riper, Man's Physical World, Mc- Graw-Hill. New York, 1971, p. 443.

(47) Luna B. Leopold and Others, Fluvial Processes in Geomorphology, W.H Freeman, Sar Francisco, 1964, p.297.



شكل رقم ــ ٥٠ ــ

يبين مراحل تحول مجرى نهري مستقيم ومتجانس الى مجرى تكونت فيه التواءات نهرية

درجة التواء الانهار وبين نسبة حمولتها العالقة الى حمولتها القاعية. وافترض ان ظاهرة الالتواء النهري ربما تعود الى التغير في نسبة الحمولة القاعية العالقة نتيجة لقلة انحدار المجرى (٤٨).

تتطور الالتواءات النهرية من جراء مواجهة الضفة المقعرة من النهر الى تياره بصورة مستمرة حيث تستمر عملية التعرية عليها. ويحدث الترسيب على الجهة المعاكسة المحدبة بسبب الحركة الحلزونية لتيار الماء في الدورة النهرية. ويكبر حجم الالتواءات النهرية نتيجة لاستمرار تلك العمليات. وتتقارب اجزاء المجرى النهري الواقعة في بداية الدورة مع تلك التي تقع في نهايتها ولم يعد يفصلهما عن بعضهما الا عنق سهلي ضيق. وتلتحم اجزاء النهر مع بعضها باستمرار عمليات النتح والترسيب على جانبي هذا العنق ويعود النهر فيكون مجرى قريباً من الشكل المستقيم تاركاً دورته السابقة بشكل انشوطة نهرية متصلة بالمجرى النهري. وتنقطع تلك الدورة عن النهر باستمرار عمليات الترسيب على ضفة النهر المواجهة لتلك الانشوطة مكونة دورات نهرية منقطعة لاتلبث ان تتحول الى بحيرات هلالية Ox-bow. تتزود هذه البحيرات

(48) Cuchlaine A.M.King, Techiques in Geomorphology, Edward Arnold, London, 1966, p. 89.

بالمياه عن طريق الرشح او عن طريق مايردها من مياه اثناء الفيضان الذي يحدث في النهر المجاور او من مياه الامطار. وتتناقص مساحة هذه البحيرات بصورة تدريجية نتيجة لامتلائها بالترسبات التي تأتي اليها خلال الفيضان او من جراء ماتلقيه الرياح فيها من ارسابات مختلفة ونتيجة لتناقص المياه عن طريق التسرب والتبخر. وتتحول الى مناطق ضحلة تشغلها الحشائش والنباتات المستنقعية وتندمج هذه البحيرات بعد ذلك مع بقية مناطق السهل الفيضي (٤٩) (شكل رقم ٥١). هذا وتتحرك الالتواءات النهرية اثناء تطورها باتجاه اسفل النهر وذلك لان عملية التعرية تكون على اشدها في الجانب القريب من اعلى النهر من الضفة المقعرة في حين تتعاظم عملية الترسيب النهري على الجهة القريبة من اسفل النهر من الضفة المحدبة (٥٠).

تساهم الالتواءات في عملية تكوين وتسوية السهل الفيضي حيث يتبع تغير مواقع الالتواءات من مكان الى آخر فوق السهل الفيضي الى تغطية ذلك السهل بطبقة من الارسابات (شكل رقم ٥٢). وتلعب الالتواءات دوراً مهماً في توسيع الوديان النهرية اذ تقترب بعض الثنيات النهرية من جانب الوادي النهري فيؤدي ذلك الى تعرض تلك الجوانب من الوادي الى التعرية النهرية وتراجعها الى الخلف. وتكون هذه العملية واضحة في مرحلة النضج من مراحل تطور الوديان النهرية. وذلك لان سعة قيعان الوديان في هذه المرحلة تكون قريبة من سعة نطاق الالتواءات النهرية. في حين يكون نطاق الالتواءات في الوديان النهرية التي في مرحلة الشيخوخة اضيق بكثير من قيعان تلك الوديان ولذا لاتستطيع ان تؤدي هذا الدور في هذه المرحلة. ويؤدي تغير مواقع الالتواءات النهرية المستمر الى امكانية حدوث حالات اسر نهري وذلك عندما يقوم النهر بازالة المرتفعات التي تفصله عن رافده فيحول قسم من منابع ذلك الرافد اليه تاركاً اياه نهراً ضئيلاً (٥١).

٣ ــ السدود الطبيعية : Natural Levees

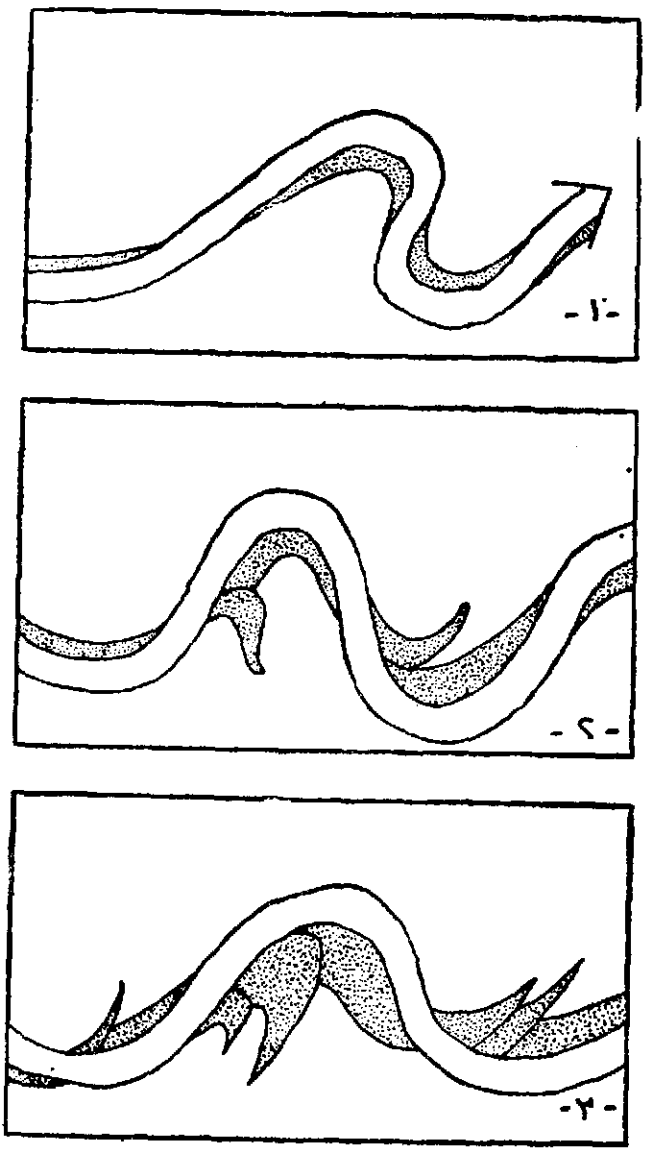
يقوم النهر بانشاء سدود طموية عندما يجري فوق سهله الفيضي في

---

(٤٩) حسن ابو العينين، اصول الجيومورفيا، دار المعارف، الاسكندرية ١٩٦٨، ص ٣٣٠

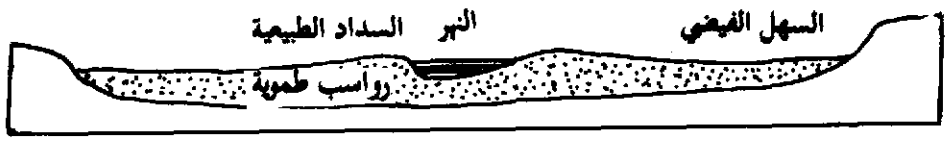
(50) Richard F. Flint and others, Physical Geology, John Wily, Toronto, 1977, p. 144

(٥١) عبدالاله رزوقي كربل، الالتواءات النهرية اساليب دراستها في علم الجيومورفولوجي، مجلة كلية الاداب في جامعة البصرة، العدد ١٣، البصرة، ١٩٧٧، ص ١٢٥.



شكل ــ٥٢ ــ

تغير مواقع الالتواءات النهرية فوق سهل فيضي



شكل ــ ٥٣ ــ

مقطع تخطيطي لسهل فيضي مبين فيه السداد الطبيعية للانهار

مرحلتي النضج والشيخوخة. وتوازي تلك السدود مجاري الانهار وتكون على اكثر حالاتها ارتفاعاً عند جهاتها القريبة من النهر وتنحدر تدريجياً كلما ابتعدت عنه. ويتراوح اتساعها بين كيلومتر ونصف او اكثر. يرجع السبب في ارتفاعها الكبير بالقرب من مجاري الانهار الى حالة الترسيب الفجائي للمواد التي تنقلها الانهار عندما تطغي فوق ضفافها (٥٢). (شكل رقم ٥٣) يرتبط وجود السدود الطبيعية مع الانهار التي تتكون فيها ظاهرة الالتواء. ولا نلاحظ لها اية وجود في حالة الانهار المظفورة braided التي تكون حمولتها مكونة من الحصى والرمال الخشنة والتي تقوم بترسيبها داخل مجاريها وليس على جوانبها. وبالنظر الى الموقع المرتفع نسبياً لهذه السدود قياساً الى بقية اجزاء السهل الفيضي فانها تكون محمية عادة من الفيضانات الاعتيادية. في حين تكون بقية اجزاء السهل الفيضي واطئة فتتأثر بالفيضان. فعلى سبيل المثال يكون ارتفاع السدود الطبيعية لانهار بو Po في ايطاليا وهوانك هو ويانكتسي في الصين اعلى من ارتفاع المنازل الموجودة في السهل الفيضي المجاور ومن هنا يتضح مقدار الخطر الذي قد يصيب تلك المناطق المنخفضة جراء الفيضان. فقد غمر نهرالمسيسيبي في فيضانه المشهور سنة ١٩٥١ مساحة واسعة بحيث فقد اكثر من ٢٠٠ر٠٠٠ نسمة مساكنهم الواقعة في المناطق المنخفضة البعيدة عن تلك الضفاف العالية (٥٣).

---

(52) W.Thornbury, Op. Cit. ٦ 167

(53) A.Holmes, Op. Cit., p. 545

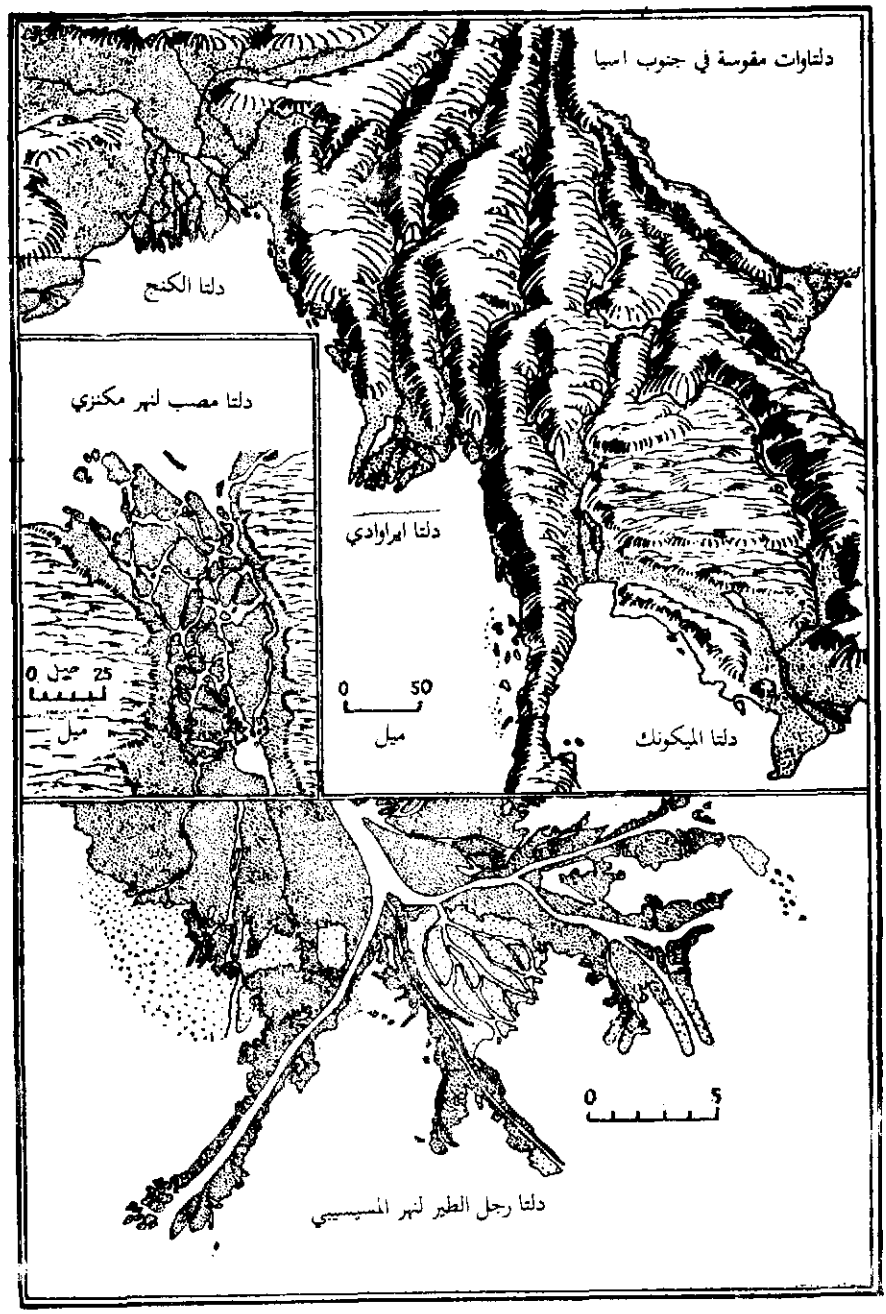
هذا وتقدم مناطق السدود الطبيعية للانهار مواقع جيدة للاستيطان في السهول الفيضية للانهار بسبب قلة تعرضها للفيضان كما ذكرنا قبل قليل كما ان خشونة نسيج تربتها يساعد على القيام بالاعمال الزراعية فيها اضافة الى قلة الملوحة فيها نتيجة للتصريف السطحي وقابلية النفاذية العالية نسبياً في هذه التربة قياساً للتربة ذات النسيج الناعم والتصريف الرديء التي توجد فوق قيعان الاحواض النهرية البعيدة عن الانهار . وتقدم الانهار طرق مواصلات جيدة اضافة الى انها مصدر للمياه . ولذا نجد ان معظم المدن الكبيرة وحتى المتوسطة تقوم فوقها على الاغلب كما في العراق ومصر .

٤ ــ الدلتاوات Deltas

الدلتاوات مناطق رسوبية طموية تقع عند مصبات الانهار وتكون في العادة محاطة بتفرعات النهر التي تتباعد عن بعضها كلما اتجهنا نحو المكان الذي ينتهي فيه ذلك النهر . وقد اعطي هذا الاسم اول الامر الى دلتا نهر النيل التي تشبه تماماً حرف دلتا الاغريقي Δ . ولكي تتكون الدلتاوات لابد من ان تكون كمية مايتجمع من الرواسب امام مصب النهر اكبر من الكمية التي تزيلها التيارات المائية والامواج . يتوقف تيار النهر عادة عند وصوله نحو جسم مائي مستقر او قليل الحركات كأن يكون بحيرة او بحرا او غير ذلك الامر الذي يؤدي الى القائه للقسم الاعظم من ارساباته وبسرعة . وخير مثال على ذلك مايحدث في دلتا Terek على بحر قزوين بين مدينة باكو ونهر الفولجا . حيث يمكن حتى مشاهدة عملية تقدم هذه الدلتا السريعة داخل بحر قزوين اذ انها تتقدم بمعدل يبلغ ٥ر١ كم لكل ٥ أو ٦ سنوات . وعلى الرغم من أن مقدمتها بدأت تصل الى المياه العميقة لبحر قزوين الا ان معدل تقدمها مازال اكبر من معدل تقدم دلتا نهر الراين في بحيرة جنيف بعشرة اضعاف (٥٤) .

لاتكون كل الانهار دلتاوات عند التقائها بالمسطحات المائية المستقرة اذ لابد من توفر ظروف عديدة لكي تستطيع الانهار ان تقوم ببناء الدلتاوات منها ان تكون كمية الارسابات التي تجلبها الانهار كبيرة نسبياً وان لايكون الساحل الذي ينتهي فيه النهر عميقاً بدرجة لايمكن معها نمو الدلتا فيه.ولا تنشأ الدلتاوات مثلاً فوق السواحل التي تتعرض لظاهرة الانغمار وكذلك يجب ان لاتكون التيارات والامواج

(54) A.Holmes, Op. Cit., p. 546



شكل رقم ــ ٥٤ ــ
انواع الدلتاوات

قوية على ذلك الساحل. وليست هذه الظروف اساسية جداً لتكون الدلتاوات غير انها يمكن ان تكون قاعدة عامة لامكانية نشوؤها. فهناك انهار لايتوفر فيها بعض هذه الظروف الا انها استطاعات ان تقوم بانشاء الدلتاوات. هذا وتتجمع معظم الارسابات التي تنقلها الانهار امام القسم الأوسط من النهر في منطقة اتصاله بالجسم المائي المستقر فيتكون من جراء ذلك حاجز طموي يزداد ارتفاعاً مع الوقت ومع حدوث الفيضانات العالية الاستثنائية. فيؤدي ذلك الى ان ينقسم المجرى النهري الى فرعين كل منهما بتكوين السداد الطبيعية له وفي الوقت نفسه يقومان بانشاء حاجز طموي طولي عند منتصف منطقتي التقائهما بالبحر حيث ينقسمان بدورهما ايضاً. وتنمو الدلتا وتتشعب الانهار بهذه الطريقة. وتظل المناطق المنخفضة المحصورة بين تلك الفروع بشكل بحيرات ساحلية مالحة في اول الامر ثم تمتلىء تدريجياً بالارسابات التي تصلها خلال الفيضانات حيث يؤدي ذلك الى ردم تلك البحيرات لتضيف بذلك اراضي جديدة الى الدلتا.

تؤدي الارسابات الطموية التي تجلبها الانهار الى رفع مستوى قيعان البحيرات والبحار التي تنتهي فيها تلك الانهار. وتقوم تلك الرواسب التي نقلتها الانهار العظيمة والتي استمرت في نقلها لفترة طويلة الى ايجاد نوع من الثقل العظيم الذي قد يضغط بدوره على القاع فيكون نوعاً من الهبوط فيه. وقد لوحظت هذه الظاهرة على سواحل خليج المكسيك الشمالية حيث ادت الرواسب التي القاها نهر مسيسبي الى حدوث ظاهرة هبوط فيه.

تقسم الدلتاوات الى الانواع التالية :

١ ــ **الدلتاوات المقوسة Arcuate**: تنشأ هذه الدلتا من انهار لها فروع عديدة كما في دلتا نهر النيل والراين وهوانك هو ونهر النايجر والسند والكنج وايراوادي والميكونك والدانوب.. الخ. وترجع معظم الدلتاوات في العالم الى هذا النوع من الدلتا. وتتصف بانها ذوات اشكال بسيطة محدبة باتجاه البحر تشبه المروحة اليدوية. ويعتقد ان السبب الرئيسي في اخذ الدلتاوات مثل هذا الشكل ان كثافه الماء في النهر تكون بنسبة كثافة الماء الذي في البحر او البحيرة التي ينتهي فيها ذلك النهر (شكل رقم ٥٤).

٢ ــ **دلتاوات المصبات Estuarine** : ترسب الانهار التي تنتهي في مصبات

تتعرض الى ظاهرة الانغمار الى حد الان حمولتها بشكل طولي ضيق يتفق وشكل المصب نفسه. وتتكون هذه الدلتاوات من حواجز رسوبية غارقة او تتكون من سهل فيضي تغطيه المستنقعات. ويعتقد ان السبب في اخذ هذه الدلتاوات هذا الشكل أن مياه الانهار تكون محملة بكميات كبيرة من الرواسب بحيث تجري المياه النهرية عند قاع البحر بشكل تيار عكر turbidity (٥٥). ومن امثلة هذا النوع من الدلتاوات دلتا نهر مكنزي ونهر الب وهدسون.. الخ.

٣ ــ **دلتاوات رجل الطير Bird's Foot** : تتكون هذه الدلتاوات في الانهار التي تنقل كميات كبيرة من رواسب ذوات ذرات ناعمة اضافة الى كميات كبيرة من المواد الجيرية الذائبة كما في نهر مسيسيبي. وتحافظ مثل هذه الانهار على عدة مجار رئيسة. حيث انها حمولتها الدقيقة الذرات تقوي من جوانب وقيعان المجاري النهرية الرئيسة ولا تسمح بتمزق جوانبها وتكوين فروع عديدة. تعتبر دلتا مسيسيبي خير مثال لهذا النوع من الدلتاوات حيث يتشعب نهر مسيسيبي خلال دلتاه الى اربعة فروع (passes) تعطي دلتاه شكلا قريباً من شكل رجل الطير. وتتصف المناطق البحرية المحصورة بين تلك الفروع بانها عميقة (٥٦).

٤ ــ **الدلتاوات القرنية Cuspate** : ومن امثلتها دلتا نهر بو Po ونهر التيبر Tiber في ايطاليا ويكون شكلها الخارجي مدبباً يشبه الاسنان.

تتقدم الدلتاوات وخاصة المقوسة منها باتجاه البحر بصورة مستمرة وعلى طول حافتها الخارجية. فعلى سبيل المثال يبلغ معدل تقدم دلتا نهر النيل حوالي ٣ر٥ متراً في العام الواحد (يتناقص هذا المعدل كثيراً في الوقت الحاضر بعد اكمال مشاريع الخزن في وادي النيل وخاصة في مصر

---

(٥٥) التيار العكر : تيارات مائية محملة بالرواسب تتحرك نحو الاسفل في الرصيف القاري والمنحدر القاري بسبب ان كثافتها تكون اعلى من كثافة المياه الواقعة اعلاها ويتراوح سمكها خلال حركتها بين عدة عشرات الامتار كما وتزيد سرعتها على عدة كيلومترات في الساعة. راجع.

M.J. Keen. An Introduction to Marine Geology, PerGamon, London, 1968. p. 80.

(56) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 231.

والسودان) . وقد تقدمت دلتا نهر Po في بحر الأدرياتيك بمعدل يتراوح بين ٢٤ ــ ٦١ مترا في العام خلال الـ ٨٠٠ سنة الاخيرة (٥٧) . وقدر تقدم بعض ممرات دلتا مسيسيبي بحوالي ٧٣ متراً في العام الواحد (٥٨)

يعتمد مقدار سمك الرواسب التي تكون الدلتاوات على مقدار عمق الجسم المائي الذي تتكون فيه ، اذ يقل سمك هذه الرواسب في العادة عند الاطراف الداخلية للدلتا المجاورة للارض الداخلية ويتعاظم سمك الرواسب كلما تقدمنا نحو البحر اذ يبلغ معدل سمك الرواسب في دلتا نهر النيل حوالي ١٥ متر في حين يزيد سمك رواسب مسيسيبي عن حوالي ٦١٠ متر (٥٩) .

٥ ــ **الدالات المروحية Alluvial Fans** : تعرف احياناً باسم السهول المروحية او باسم المراوح الطينية او الغرينية . تنشأ هذه المراوح عند مناطق الانتقال بين المناطق ذوات الانحدار الشديد كالسلاسل الجبلية والتلال العالية والهضاب وبين الجهات المنخفضة المجاورة لها والتي تتميز بقلة درجة انحدارها كالسهول مثلا او بطون الوديان التي تتميز بان مناخها جاف او شبه جاف حيث تكون الانهار التي تجري فيها وقتية عادة . تتحمل تلك الانهار عند جريانها بسرعة فوق المنطقة الشديدة الانحدار بكميات كبيرة من الرواسب التي كانت قد هيأتها عمليات التجوية المختلفة . وتتناقص سرعة جريان تلك الانهار فجاة عند انتقالها نحو المناطق المنخفضة المجاورة . ويؤدي ذلك الى ان الانهار تقوم بالقاء معظم ماتحمله من الرواسب فوق منطقة الانتقال . تترسب معظم الرواسب الخشنة الذرات اولا وخاصة في منتصف المجرى النهري حيث يتكون حاجز يضطر النهر معه الى الانقسام الى فرعين ينقسمان بدورهما ايضاً ويزداد تفرع الانهار وتقل كمية مياهها والرواسب التي تحملها كلما ابتعدت عن المنطقة الجبلية المرتفعة . ولذلك نجد ان المروحة الطموية ذات سمك كبير ورواسب خشنة في جزئها الاعلى القريب

---

(57) A.K. Lobeck, op. Cit., p. 233

(٥٨) حسن ابو العينين ، مصدر سابق ص ٣٤١

(59) Lobeck, Op. Cit., p.233

من المنطقة المرتفعة ويتناقص سمكها ويقل حجم ذراتها ويزداد اتساعها كلما ابتعدنا عن تلك المنطقة المرتفعة (شكل رقم ٥٥). ينشأ مايعرف باسم المخاريط الطمية alluvial cones اذا كانت الرواسب في بداية الدالة المروحية خشنة ومسامية بدرجة كبيرة بحيث يغور القسم الاعظم من مياه النهر حال وصوله اليها تاركاً كل حمولته عند اعلى الدالة ويكون ذلك شائعاً في المناطق ذوات المناخ الجاف. ويظهر عند الحافات السفلى لكثير من السهول المروحية مجموعة من الينابيع والعيون الناتجة عن خروج مياه الانهار النافذة خلال التكوينات المسامية للمروحة. توجد في القطر مجموعة من المراوح الطمية في القسم الشرقي وخاصة في محافظتي واسط وديالى.

يحدث احياناً ان تتقارب الانهار التي تنبع من اقليم جبلي من بعضها وتعبر خلال القدمة الجبلية piedmont حيث تترابط ارساباتها مكونة مايعرف باسم سهول القدمات الطمية كما في سهول السند والكنج التي تمتد من دلتا السند الى دلتا نهر الكنج وبراهمابوترا (٦٠).

خصوبة الرواسب الطمية :

لابد لنا ونحن ننهي دراستنا للاشكال الناتجة عن الترسيب النهري ان نذكر ان هذه الاشكال تتميز بخصوبة تربتها حيث تكون تربتها متجددة من جراء تعرض غالبية هذه الاشكال لعملية الفيضان التي تجلب طبقة جديدة من التربة التي تضاف فوق التربة السابقة التي انهكتها النباتات فتجدد من نشاطها وخصوبتها. وتصبح هذه المناطق من انسب المناطق للزراعة اذا كان المناخ ملائماً لذلك حيث انها ذوات تضاريس واطئة تجعلها ملائمة للاستيطان البشري وللقيام بالاعمال الزراعية المختلفة. وعلى الرغم من خصوبة الارض في السهول الطمية الواقعة عند قدمات المرتفعات والدالات المروحية ولكن البعض منها يحتوي على الاحجار والصخور الكبيرة التي تجعل الزراعة الممكننه غير سائدة فيها.

---

(60) A. Holmes, Op. Cit., pp. 551-553

شكل ــ ٥٥ ــ
مروحة طموية لاحظ كيفية تفرع النهر الرئيسي

دورة جيومورفولوجية نهرية :

لكي تتكامل الصورة جيداً في الذهن عن عمل الانهار لابد من تلخيص التتابع التضاريسي الذي يحصل فوق اقليم يتعرض لعمل النهر ويتطور خلال دورة جيومورفية .

مرحلة الشباب :

١ــ يظهر في الاقليم عدد قليل من الانهار التابعة **Consequent** التي تكون لديها روافد قليلة الا انها كبيرة نسبياً . وترتبط بتلك الروافد اعداد كبيرة من روافد صغيرة تحاول ان تطيل نفسها من خلال عملية النحت التراجعي .

٢ــ تكون الوديان ذوات اشكال تشبه حرف **V** ويعتمد مقدار عمقها على مدى ارتفاع الاقليم عن مستوى القاعدة الدائمي الذي هو مستوى سطح البحر .

٣ــ هناك نقص واضح في وجود السهول الفيضية فيما عدا الانهار الرئيسية . ولذا نجد ان جوانب الوادي ترتفع مباشرة من على مجرى النهر .

٤ــ تفصل بين الانهار مناطق واسعة ذوات تصريف غير جيد كما وقد تظهر فوق هذه المناطق بعض البحيرات والمستنقعات خاصة اذا كان مستواها غير بعيد عن مستوى قاعدة التعرية المؤقت .

٥ــ تظهر الجنادل والشلالات في الاجزاء التي يعبر فيها النهر صخورا صلبة وتكون هذه الظاهرة مرتبطة بشكل خاص ببداية مرحلة الشباب غير انها تبدأ بالتلاشي مع اقتراب مرحلة النضج .

٦ــ تكون مناطق تقسيم المياه واسعة وغير واضحة المعالم .

٧ــ قد تظهر بعض الالتواءات النهرية من النوع الذي يعرف بالثنيات المحفورة على الاغلب .

مرحلة النضج :

١ــ يتكون في الاقليم نظام تصريف متكامل **integrated** حيث تمد الوديان النهرية من اطوالها من جراء النحت التراجعي الذي قامت به .

٢ــ يحصل نوع من التكيف بين النظام النهري وطبيعة الصخور حيث تجري الكثير من الانهار فوق الطبقات والتكوينات الصخرية القليلة المقاومة .

٣ــ تتناقص المساحات التي تفصل بين الاحواض النهرية وتصبح بذلك مناطق تقسيم المياه حادة وتشبه السلاسل في امتدادها .
٤ــ ينتهي اي وجود للبحيرات او المساقط المائية التي كانت في الاقليم في مرحلة الشباب .
٥ــ يحتل السهل الفيضي قسماً مهماً من قيعان الوديان النهرية .
٦ــ تظهر الالتواءات النهرية بصورة واضحة ويمكن هذه الالتواءات ان تغير مواقعها على السهل الفيضي بسهولة .
٧ــ لايتجاوز عرض قاع الوادي في هذه المرحلة سعة نطاق الالتواءات النهرية الموجودة عليه .
٨ــ يكون الاقليم في حالة التضرس القصوى .

مرحلة الشيخوخة :

١ــ يصبح للانهار الرئيسية روافد اقل مما كانت عليه في مرحلة النضج واكثر مما كانت عليه في مرحلة الشباب .
٢ــ تكون الوديان النهرية واسعة وتنحدر انحداراً طفيفاً سواء كان الانحدار جانبياً اي من جوانب الوادي نحو مجرى النهر او طولياً اي من اعلى النهر نحو اسفله .
٣ــ تتطور السهول الفيضية تطوراً كبيراً وتجري الانهار عليها بشكل التواءات واسعة .
٤ــ يكون عرض الوادي اكبر بكثير من عرض نطاق الالتواءات النهرية .
٥ــ يتناقص ارتفاع المناطق الفاصلة بين الانهار ولا تكون مناطق تقسيم المياه حادة في شكلها كما كانت في مرحلة النضج .
٦ــ يظهر في هذه المرحلة الكثير من البحيرات والمستنقعات فوق منطقة السهل الفيضي وليس فوق المناطق الفاصلة بين الانهار كما في مرحلة الشباب .
٧ــ يتناقص تأثير العمليات النهرية في التعرية وتسود عليها عمليات تجوية كيماوية وعمليات انهيار التربة .
٨ــ تصبح مناطق واسعة من حوض النهر في هذه المرحلة قريبة من مستوى قاعدة التعرية او قد تكون عنده تماماً (٦١) .

(61) W.D. Thornbury, Op. Cit., pp. 135-136

اعادة الشباب : Rejuvenation

يمكن لعمل النهر ان ينقطع في اية مرحلة من مراحل الدورة الجيومورفولوجية التي سبق وبيناها ويعود ثانية الى ماكان عليه من تعميق لواديه ، انذاك يقال ان النهر في حالة اعادة الشباب (التصابي). ويمكن لاعادة الشباب ان تحدث من جراء اسباب عديدة. فقد تتكون من :

(أ) الهبوط في مستوى سطح البحر او الانخفاض في مصبات الانهار. حيث يصحب ذلك زيادة في سرعة جريان الانهار وتعميقها لوديانها في محاولة لايجاد منحني يتناسب مع المستوى الجديد الذي تصب فيه الانهار. وقد حدثت مثل هذه الظاهرة خلال الفترات الجليدية في البلايستوسين عندما هبط مستوى سطح البحر كثيراً عن مستواه الحالي فتعرضت كل الانهار التي كانت تنتهي بالمحيطات الى حالة اعادة الشباب. ويؤدي الانخفاض في مصبات الانهار والذي يحصل من جراء تعميقها لوديانها ووصولها الى مستوى قاعدة تعرية جديد، الى حدوث حالة اعادة شباب فيها. اذ يتوقع ان يؤدي تراجع شلالات نياكارا (معدل التراجع السنوي لهذه الشلالات حوالي المتر الواحد في السنة) الى القضاء على بحيرة ايرى الواقعة اعلاها. وبذلك تقوم الانهار التي تصب في بحيرة ايرى بتعميق وديانها بسرعة وظهور حالة اعادة الشباب فيها عندما تصبح مصباتها القديمة اعلى من مستوى مصباتها الجديدة بـ ٤٥ متراً (٦٢).

(ب) من جراء حركات صاعدة ذوات خصائص محلية على الاغلب. حيث ستصبح وديان الانهار واقعة في مستويات اعلى كثيراً من قاعدة التعرية التي كانت عليها قبلاً فتنشط فيها ظاهرة النحت العمودي.

يمكن لحالة اعادة الشباب ان تتكون دون اي تغير في مستوى قاعدة التعرية فقد تحصل هذه الظاهرة من جراء زيادة كمية التصريف المائي في النهر بسبب التغيرات المناخية التي يتعرض لها حوض النهر كما حصل للانهار التي تجري فوق

(62) P. Worcester, Op. Cit., p. 194

المناطق شبه الجافة حالياً خلال الفترات الجليدية في البلايستوسين. اذ كانت كمية الامطار الساقطة على مثل هذه المناطق اكبر بكثير مما هي عليه الان الامر الذي جعلها تتعرض الى حالة اعادة الشباب. وتزداد كمية المياه الجارية في بعض الانهار عندما تقوم بأسر بعض من مجار نهرية اخرى فيؤدي ذلك الى حدوث حالة اعادة الشباب. يتجدد الشباب في بعض الانهار نتيجة للنقص الذي يحصل في حمولتها الامر الذي يؤدي الى زيادة السرعة وبالتالي قيامها بعملية تعميق وديانها. وقد حدثت مثل هذه الحالة لكثير من الانهار التي كانت تنبع من الغطاءات الجليدية وتتحمل بكميات كبيرة من الرواسب. ثم تناقصت كمية الرواسب كثيراً بسبب تراجع الغطاء الجليدي وتلاشيه في كثير من المناطق. وتحدث حالة اعادة الشباب لبعض الانهار التي تخرج من البحيرات الطبيعية او البحيرات التي تتكون من جراء انشاء السدود على الانهار بسبب تناقص حمولتها وزيادة سرعة جريانها كما حصل في نهر النيل بعد انشاء سد اسوان العالي حيق قام بتعميق مجراه بعد خروجه من السد مباشرة (٦٣).

التضاريس ذوات العلاقة بحالة اعادة الشباب :

تبقى التضاريس الناتجة عن حالة اعادة الشباب والتي تحمل خصائص مرحلة الشباب فوق الطبوغرافية القديمة اذا كان الاقليم قد تعرض لحالة اعادة شباب حديثة. ويدل وجود بعض الاشكال الارضية التي تكون في مرحلة النضج او الشيخوخة على ان الاقليم قد تعرض لحالة اعادة شباب قديمة. ويمكن ان تكون المجموعة التالية من التضاريس دليلاً على تعرض الاقليم لحالة اعادة الشباب.

١ــ السهول التحاتية المرتفعة:

اذ لايوجد دليل على حصول حالة اعادة الشباب اكبر من وجود سهل تحاتي peneplain في موقع مرتفع عن مستوى قاعدة التعرية. حيث يدل وجود هذا السهل على انتهاء دورة تعرية سابقة الا ان موقعه المرتفع يدل على ابتداء دورة تعرية

(63) C.R Twidale, Analysis of Landforms, John Willy, Sydey, 1976, p. 413.

جديدة وتوجد امثلة متعددة لهذه الحالة في مختلف القارات كما في منطقة الهضبة الشرقية في قارة افريقيا او بعض اجزاء سلسلة ابلاشيان في الولايات المتحدة .

٢ ــ الالتواءات النهرية الغائرة او العميقة Incied Meanders :

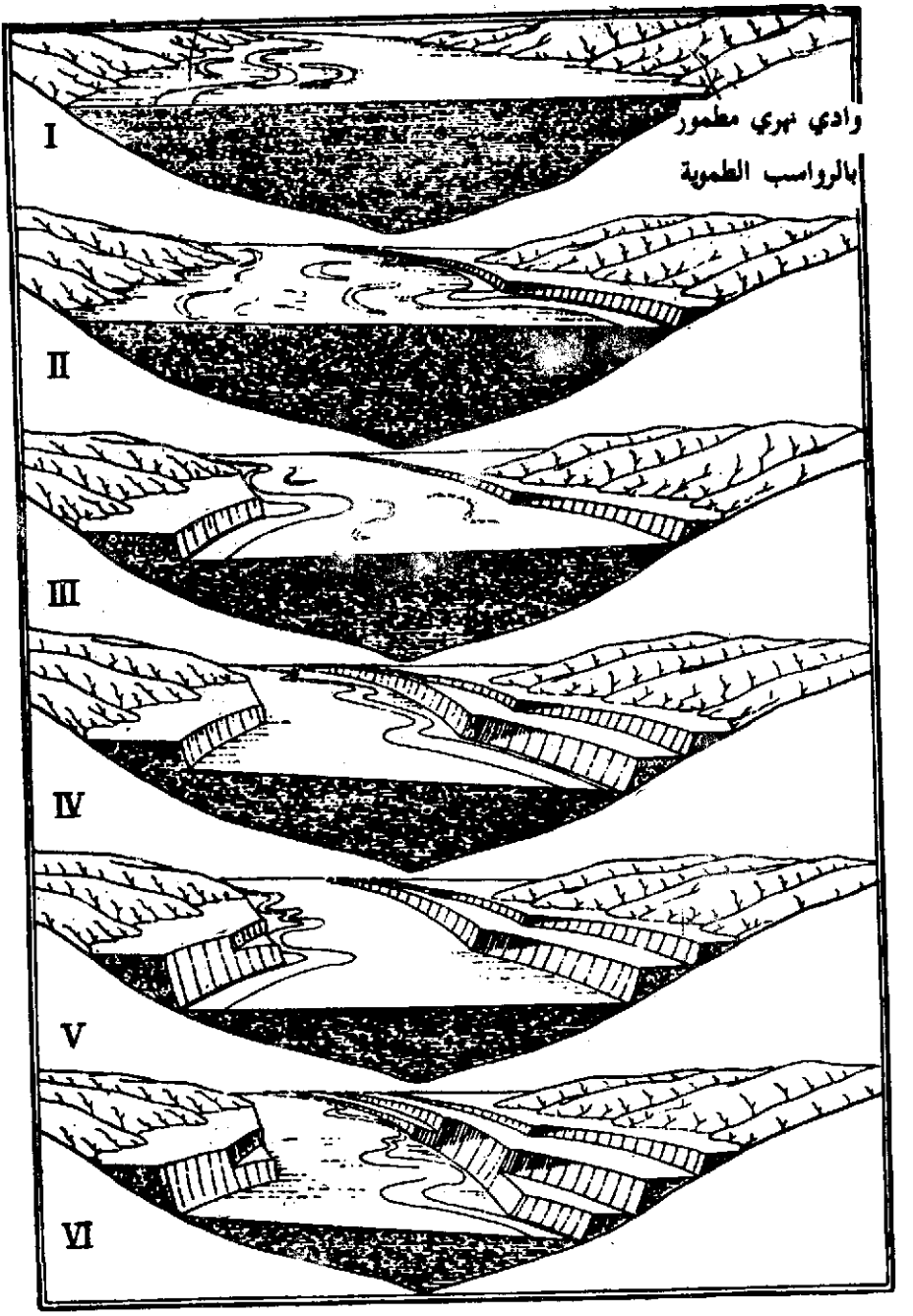
تنشأ الالتواءات الغائرة من جراء تعرض الانهار التي تجري فوق سهولها الفيضية الى حالة اعادة شباب قوية بحيث تقوم تلك الانهار بتعميق وديانها في الالتواءات نفسها محولة اياها الى خوانق عميقة. وتزداد سرعة جريان الانهار داخل تلك الالتواءات مما يؤدي الى توسيعها في بعض الاحيان والى تعرض الطبقات السفلى من اعناق تلك الدورات الى التعرية من جهتيها مما قد يحولها الى مايعرف باسم الجسور الطبيعية (شكل رقم ٥٦) .

٣ ــ المصاطب النهرية River Terraces

تنتج المصاطب النهرية الطموية في وديان الانهار من جراء تعرض الرواسب الطموية التي كانت قد ترسبت فوق قيعان الوديان النهرية الى الازالة بوساطة التعرية اللاحقة. ويعني هذا ان المصاطب النهرية عبارة عن نتاج لعملية اعادة الشباب لبعض الانهار التي كانت قد وصلت في تطورها الى حوالي مرحلة النضج. حيث تقوم الانهار بالنحت العمودي فوق سهولها الفيضية مكونة سهولا فيضية اخرى تقع في مستوى اخفض من مستوى السهل الفيضي السابق. وتظل بقايا ذلك المستوى السابق للسهل الفيضي شاخصة بشكل زوج من المدرجات النهرية. ويمكن ان يحدث زوج آخر من المدرجات النهرية مع حصول حالة اعادة شباب اخرى للنهر (شكل رقم ٥٧). ولا يكون عدد المدرجات متشابهاً احياناً على جانبي الوادي لنهري اذ ان ذلك يرجع الى موقع النهر الملتوي عادة في الوادي النهري عند حصول حالة اعادة الشباب فإذا كان النهر واقعاً في منتصف الوادي فانه سيتكون انذاك زوج من المصاطب النهرية على جانبي الوادي. اما اذا كان النهر ملاصقاً لاحد جوانب

شكل رقم ــ ٥٦ ــ

التواءات غائرة في نهر سان جوان في ولاية يوتا في الولايات المتحدة



شكل رقم ــ ٥٧ ــ

تطور المدرجات النهرية فوق سهل فيضي تعرض الى حالة اعادة الشباب

الوادي فان المصطبة سوف تتكون على الجانب البعيد عن النهر فقط من ذلك الوادي. هذا ويكثر وجود المدرجات النهرية في شمال العراق حيث تمتد على طول انهار دجلة وروافده ومن الامثلة البارزة لها تلك التي نجدها في وادي دوكان وقرب منطقة دربندخان في نهر ديالى حيث يمكن تمييز ثلاثة اجيال مختلفة من هذه المدرجات (٦٤).

٤ ــ الوديان النهرية المطلقة :

توجد هذه الوديان فوق السلاسل الجبلية الانكسارية حيث تقوم هذه الانهار بتعميق لودياتها وما يصحبها من اشكال جيومورفولوجية ذات علاقة بمرحلة الشباب من الدورة الجيومورفولوجية. بسبب حالة الرفع التي يتعرض لها الاقليم الموجودة فيه عند تكون الحافات الانكسارية.

---

(٦٤) سهل السنوي، مصدر سابق، ص ٢٣١.

الفصل الخامس

الجليد وآثاره الجيومورفولوجيه

غطي بالجليد مايقرب من نصف مساحة قارة امريكا الشمالية خلال البلايستوسين منذ حوالي ٣٠ ــ ٤٠ الف عام مضت. وفي الوقت نفسه كانت الغطاءات الجليدية تغطي كل القسم الشمالي من قارة اوربا وجزيرة كرينلاند والقارة القطبية الجنوبية ومعظم هضبة بتاكونيا في قارة امريكا الجنوبية وشمال قارة آسيا. وزادت في الوقت نفسه اطوال واحجام ثلاجات الوديان التي كانت فوق كل الاقاليم الجبلية زيادة عظيمة عن اطوالها واحجامها الحالية اضافة الى انه كان يوجد آلاف منها لاأثر لها اليوم. وقد قدر ان حوالي $\frac{1}{5}$ مساحة اليابسة كان مغطى بالجليد خلال الفترات الجليدية تلك. ولم تتخلص الارض الى حد الان من آثار العصر الجليدي الكبير فما يزال الجليد يغطي مساحة تقدر بـ ١٣ مليون كيلومتراً مربعاً في القارة القطبية و ١٫٥٠٠٫٠٠٠ كيلومتراً مربعاً في جزيرة كرينلاند. اضافة الى ذلك فهناك مئات من ثلاجات الوديان التي تنتشر في الاقاليم الجبلية العالية في غرب امريكا الشمالية وفي جبال الالب والقفقاس والانديز والهمالايا وكذلك في جبال نيوزيلند واقاليم جبلية اخرى من العالم. ويمكن القول ان كل الثلاجات الحالية ماهي الا بقايا لثلاجات اعظم كانت تسود خلال البلايستوسين.

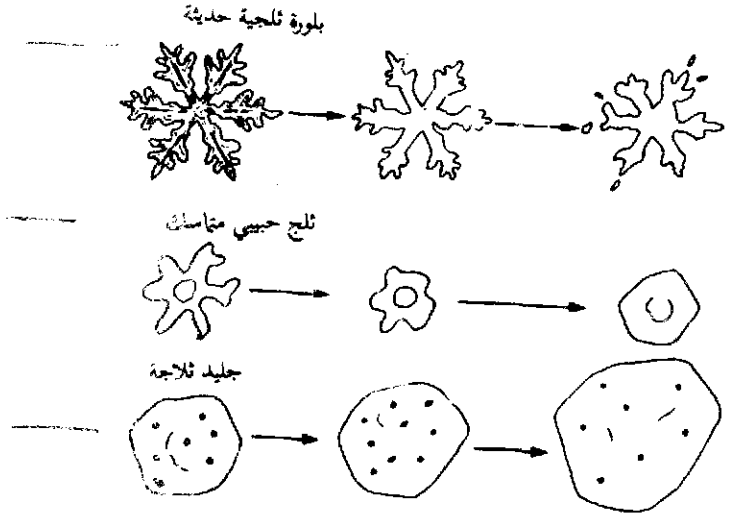
الحقول الثلجية :

الثلاجات عبارة عن كتل من الجليد التي تتحرك ببطيء فوق سطح الارض مبتعدة عن مراكز تجمع الثلج او مايعرف باسم الحقول الثلجية . توجد الحقول الثلجية الدائمية فوق كل القارات ماعدا استراليا . يطلق اسم خط الثلج Snow Line على المستوى الذي لايذوب الثلج الواقع اعلاه في فصل الصيف . ويختلف ارتفاعه عن مستوى سطح البحر من مكان الى آخر تبعاً لقربه او بعده عن خط الاستواء اذ يتراوح ارتفاعه في الاقاليم القطبية بين مستوى سطح البحر و ٦٠٠ متر في كرينلند وجنوبي شيلي و ١٥٠٠ متر في جنوب النرويج وجنوب آلاسكا ويبلغ ارتفاعه ٢٧٥٠ متراً في جبال الالب و ٦١٠٠ متراً في الهملايا و ٥٨٠٠ متراً في كشمير كما يتراوح ارتفاعه بين ٤٤٠٠ متراً في قمة كلمنجارو و ٥٩٠٠ متراً في قمة كينيا التي هي قمة افريقية عالية تقع على مقربة من خط الاستواء وفي جبال الانديز على مقربة من خط الاستواء ايضاً (١). ولايتأثر ارتفاع خط الثلج بعامل القرب والبعد عن خط الاستواء فقط بل ان هناك عوامل عديدة تؤثر في مستوى ارتفاعه منها درجة تعرض السفوح الجبلية الى اشعة الشمس حيث يكون مستوى خط الثلج اعلى ارتفاعاً فوق السفوح الجبلية المواجهة الى اشعة الشمس كما هي الحالة في السفوح الجنوبية من المرتفعات الموجودة فوق النصف الشمالي من الكرة الارضية . ويكون العكس صحيحاً فوق النصف الجنوبي من الكرة الارضية . كما وتؤثر الرياح ونوعيتها على مقدار ارتفاع الثلج فالرياح الدافئة تؤدي بالضرورة الى رفع مستوى خط الثلج الدائم وينخفض مستوى خط الثلج مع تعرض السفوح للرياح الباردة .

ولايكون انخفاض درجات الحرارة لوحده كافياً لوجود ونمو الحقول الثلجية فهناك مناطق تعرف باقاليم الصقيع الدائم غير انها تكون ذوات سطوح خالية من الجليد بسبب ان مايسقط فيها من ثلج خلال الشتاء يكون بكميات لايمكن ان تبقى طويلاً مع تقدم الربيع . مثل سيبيريا التي يمتد تأثير الصقيع الدائم فيها الى سمك يقرب من ١٦٠٠ متر في الارض . علماً بان الصقيع الدائم يؤثر على حوالي ٢٠٪ من مساحة اليابسة (٢). ولذلك لايمكن لحقول الثلج ان تتكون الا حيث تتجاوز

(1) A. Holmes, Op. Cit., p. 619.

(2) Gilluly, Op. Cit, p. 279.



شكل ــ ٥٨ ــ يبين كيفية تحول بلورات الثلج الى بلورات جليدية عند طمرها بواسطة الثلج الحديث السقوط. وتستغرق هذه العملية في القارة القطبية الى اكثر من ٣٥٠٠ عاماً وتستغرق عدة قرون في ثلاجات العروض الوسطى

كمية ما تتلقاه المنطقة من ثلوج كمية ماتفقده من ذلك الثلج عن طريق التبخر والذوبان، او باية طريقة اخرى حيث ان الثلج يمكن ان يزاح من المنطقة بواسطة الرياح او عن طريق الانهيارات الثلجية.

تحول الثلج الى جليد

تنشأ الثلاجات والغطاءات الجليدية في المواقع التي تتجاوز فيها كميات مايتراكم فيها من ثلوج كمية الضياع الناجمة عن الذوبان او عن اية طريقة اخرى كما بينا ذلك قبل قليل. وتحتاج هذه الحالة الى توفر ظروف مناخية ملائمة وكذلك الى توفر تضاريس معينة يمكن لها ان تهيأ مواقع مناسبة تعرف باسم حقول الثلج.

يجري تحول الثلج الى جليد في العادة داخل الحقول الثلجية، حيث يتكون الثلج عند سقوطه من بلورات ثلجية رقيقة سداسية وتكون كثافة الثلج الجديد السقوط بين (٠ر١ ــ ٠ر٢). ويتحول الثلج بصورة تدريجية الى الجليد الحبيبي بعد بقائه لبعض الوقت مابين عدة ايام الى ثمان اشهر فوق سطح الارض بعد سقوطه

ويعرف عادة باسم nevé او firn نتيجة لتعرضه للضغط الناتج من سقوط كميات اخرى من الثلوج وما يصحبها من ذوبان جزئي لبعض البلورات الثلجية واعادة لانجماد تلك المياه ثانية. يمكن لهذه الحالة ان تحدث حتى وان كانت درجة الحرارة دون الانجماد. وتكون كثافة هذه الحالة من الثلوج حوالي ٥ر٠. وتتلاحم بلورات الجليد الحبيبي من جراء نموها التدريجي ولاتسمح ببقاء كميات كبيرة من الهواء بينها كما انها لاتسمح بمرور الماء خلالها ايضاً فتتحول انذاك الى جليد. ويصبح حجم البلورات الجليدية داخل جليد الثلاجات كبيراً بحيث انها تكون ذوات اقطار تشبه ماعليه في كرة القدم (٣). تكون كثافة جليد الثلاجات حوالي ٨٥ر٠ وتتزايد تلك الكثافة مع توالي عمليات التصلب فتصبح بين ٨٩ر٠ — ٩٠ر٠ علماً بان كثافة الجليد النقي هي ٩١٧ر٠ (٤) (شكل رقم ٥٨).

يختلف معدل تحول الثلج الى جليد من مكان الى آخر نتيجة الى ان هذه العملية ذات علاقة بدرجات الحرارة ومعدل تراكم الثلوج. ويزيد وجود الماء الناتج عن الذوبان من هذه العملية الامر الذي يجعل هذه العملية اكثر سرعة في مناطق الثلج الرطب منها في اقاليم الثلوج الجافة. حيث تتم عملية التحول هذه في اقل من خمسة سنوات في بعض مناطق العروض الوسطى التي تتلقى كمية من الثلوج تتراوح بين ٥ — ١٠ متراً. في حين تستغرق هذه العملية لاتمامها اكثر من ٣٥٠٠ سنة فوق سطوح الثلاجات الباردة جداً في كرينلاند والقارة القطبية الجنوبية (٥).

انواع الثلاجات :

يغطي جليد الثلاجات حوالي ١٥ مليون كيلومتر مربع او حوالي ١٠٪ من مساحة اليابسة. ولا يوجد الا حوالي ٤٪ من الجليد خارج نطاق كرينلند والقارة القطبية الجنوبية. ويكون ذلك الجليد على سطح اليابسة اما بشكل ثلاجات أو بشكل غطاءات جليديه. وتعرف الثلاجة على انها كتلة من الثلج والجليد الذي يتحرك ببطيء من مكان الى آخر فوق اليابسة مبتعداً عن منطقة التراكم. وتصنف

(3) Brian S. John, The Ice Age, Collins, London, 1977, p. 32

(4) R.J. Price, Clacial and Fluvioglacial Landforms, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1973, pp. 24-25

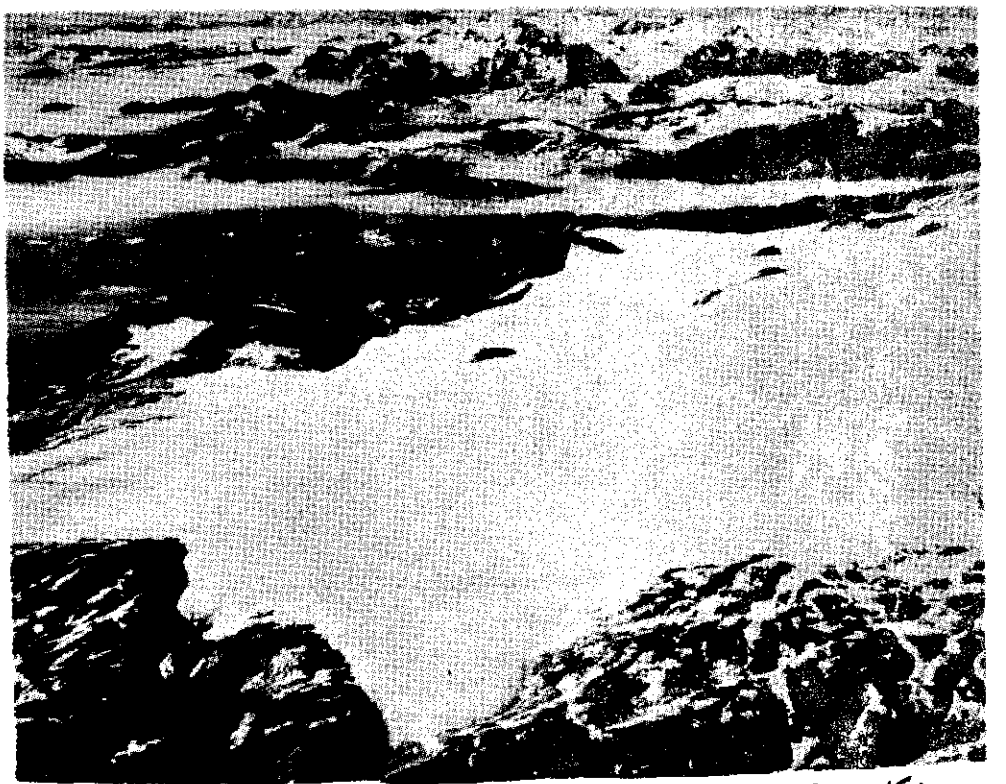
(5) Brian S. John, Op. Cit, p. 33.

الثلاجات والغطاءات الجليدية استناداً الى اسس مختلفة. كأن تكون درجة حرارة الجليد الذي يكون الثلاجة او الغطاء الجليدي او طبيعة الحركة الجليدية وكذلك على شكل سطح الجليد نفسه. غير ان اكثر انواع التصنيف شيوعاً ذلك الذي يعتمد على الحجم والموقع واصل الثلاجة وبموجب هذا التصنيف تقسم الثلاجات الى :

١ــ الثلاجات القارية : Continental Glaciers

تأتي هذه الثلاجات في مقدمة الانواع الاخرى من الثلاجات من حيث السعة والحجم. وتعتبر ثلاجات كرينلند والقارة القطبية الجنوبية من اشهر امثلتها في الوقت الحاضر. يؤلف الغطاء الجليدي الموجود في القارة القطبية الجنوبية اكبر كتلة جليديه على سطح الارض في الوقت الحاضر. تغطي مساحة تقدر بـ ١٢ر٦ مليون كيلومتر مربع ويبلغ معدل سمكها ٢ر٢ كم ويكون اقصى سمك لها ٤ر٢٥ كم. ويبلغ مقدار حجم الجليد الذي تحتويه تلك الثلاجة القارية بحوالي ٣١ مليون كم^{٣}. ومن المحتمل ان هذا الجليد يستطيع عند ذوبانه ان يرفع سطح المحيط بحوالي ٤٠ متراً عن مستواه الحالي. تغطي ثلاجة كرينلند القارية مساحة مقدارها ١ر٧٣ مليون كيلومتر مربع يكون حوالي ٨٣٪ منها فوق مستوى ١٤٠٠ متراً عن مستوى الجليد الحبيبي firn. ويبلغ معدل سمك هذا الغطاء ١ر٦ كم ويكون سمكه الاقصى ٣ر٤ كم ومقدار حجمها في حدود ٢ر٨ مليون كم^{٣} (٦). وقد ادى ثقل الغطاء الجليدي العظيم هذا الى احداث حالة هبوط لسطح الارض الواقع اسفله، فقد اظهرت الدراسات ان بعضاً من اجزاء ذلك السطح تنخفض حتى الى مادون مستوى سطح البحر. تغطي الثلاجات القارية التضاريس وتغمرها بحيث لايظهر فوقها الا بعض الاجزاء المرتفعة بشكل قمم منعزلة يحيط بها الغطاء الجليدي من كافة اجزائها وتعرف هذه باسم nunatak (شكل رقم ٥٩). ويتحرك الجليد من مراكز تجمعه فوق الغطاءات الجليدية او الثلاجات القارية بصورة بطيئة نحو الخارج وفي مختلف الاتجاهات. حيث يتحول في كرينلند الى ثلاجات الوديان التي تصل بدورها هي الاخرى الى سواحل المحيطات فتنكسر هناك وتنفصل عنها كتل جليدية تجرفها الامواج والتيارات مكونة مايعرف بالجبال الجليدية العائمة Icebergs. وتعتبر ثلاجات الوديان التي تخرج من

(6) R.J. Price, Op. Cit., p. 21



شكل ـــ ٥٩ ـــ صورة لقسم من الغطاء الجليدي في كرينلند لاحظ كيف تبرز بعض المرتفعات فوقه على شكل ناناتاك

الغطاء الجليدي فوق جزيرة كرينلاند المصدر الرئيسي للجبال الجليدية في البحار الشمالية حيث ينتج عنها مايتراوح بين ١٢٠٠٠ ـــ ١٥٠٠٠ جبل جليدي عائم سنوياً. يعتمد حجم الجبل الجليدي على طبيعة الثلاجة التي تقوم بتكوينه فهو كبير عادة اذا كان ناشئاً من ثلاجات ذوات درجات انحدار كبيرة او تلك التي يكون واديها واسعاً. وترتفع الجبال الجليدية العائمة بين ٨٠ ـــ ١٠٠ متراً فوق مستوى سطح الماء مع عمق يزيد على عدة مئات من الامتار وذلك لان كثافة الجليد تبلغ حوالي ٩ر٠ من كثافة الماء. وتحتوي جبال الجليد العائمة على الكثير من الفتحات والتجاويف التي يحتلها الهواء فتصل كثافتها الى ٧٥ر٠ احياناً. ولذا تزداد نسبة ارتفاعها فوق سطح الماء (٧).

(7) Peter K. Weyl, Oceanography, John Wiley, New York, 1970, p. 183.

لاتستطيع جبال الجليد العائمة الناشئة على الساحل الشرقي لكرينلند ان تبتعد كثيراً الى الجنوب بسبب وجود تيار الخليج الدافيء غير ان تلك التي تكون ناشئة على الساحل الغربي للجزيرة تندفع اول الامر شمالاً مع تيار كرينلاند الغربي ثم جنوباً خلال مضيق ديفز متجهة نحو لبرادور . ويصل مامعدله ٤٠٠ جبل جليدي عائم سنوياً الى الجنوب من دائرة العرض ٤٨° شمالاً (٨). وتصل اكثر الاعداد عادة في اشهر نيسان ومايس وحزيران . تذوب تلك الجبال الجليدية العائمة بشكل تدريجي وتزداد سرعة الذوبان عند وصولها الى المياه الدافئة التي يأتي بها تيار الخليج قبل اندفاعه باتجاه شمالي شرقي داخل المحيط الاطلسي الشمالي . وقد حدثت كوارث بحرية كثيرة جراء اصطدام بعض السفن بتلك الجبال الجليدية العائمة وكان اشدها هولاً ماحدث لسفينة الركاب تيتانيك Titanic في ٥ آب من عام ١٩١٢ الى الجنوب من كراند بانك Grand Bank امام مصب نهر سنت لورنس حيث ادى اصطدامها بجبل جليدي عائم الى غرقها وموت (١٤٩٠) شخصاً من ركابها علماً بان السفينة كبيرة وتبلغ حمولتها ٤٦٣٢٣ طناً وكانت تلك رحلتها الاولى والاخيرة (٩). ومن الحوادث المهمة الاخرى التي سببتها الثلاجات العائمة ماحصل لسفينة الركاب والبضائع الدانماركية Hans Hedtoft في ٣٠ كانون الثاني عام ١٩٥٩ حيث ادى اصطدام تلك السفينة بجبل جليدي عائم الى غرق تلك السفينة رغم انها كانت مجهزة بالوسائل الحديثة لمقاومة الاصطدام بها (١٠). وتندفع الجبال الجليدية العائمة مع الحاجز الجليدي الذي يحيط بالقارة الجنوبية وتستقر اول الامر على قاع المحيط ولكنها تطفو بعد ان تدفع الى الخارج من جراء ضغط الجليد من القارة عليها وتنفصل عن الجسم الجليدي الاصلي . وتتصف الجبال الجليدية العائمة الموجودة في النصف الجنوبي من الكرة الارضية بانها طولية الشكل حيث يصل طول البعض منها الى بضع عشرات من الكيلومترات . ويكون شهرا تشرين الاول والثاني اكثر شهور السنة من حيث اعداد هذه الجبال العائمة وتصل ابعد مدى لها الى حوالي دائرة العرض ٤٠° جنوباً في المحيط الاطلسي و ٥٠ جنوباً في المحيطين الهندي

---

(8) Gunter Dietrich, General Oceanogaphy, John Wiley, New York, 1963, p. 206.

(٩) عبدالاله رزوقي كربل، المدخل الى جغرافية البحار والمحيطات ، البصرة، مطبعة جامعة البصرة، ١٩٨٥ ص ١٢٠ .

(10) James L. Dyson, The World of Ice, The Cresset Press, London, 1963, p. 86

والهادي، ويندفع منها عدة الاف كل عام في البحار الجنوبية (١١). وقد سجل وجود بعض هذه الثلاجات العائمة الى الشمال من تلك الدوائر في بعض السنوات خاصة في المنطقة التي يؤثر عليها تيار فولكلاند في المحيط الاطلسي (١٢).

٢ــ القلنسوات الجليدية : Ice Caps

يستعمل هذا الاصطلاح للتعبير عن حالتين مختلفتين عن بعضهما تماماً اذ يستعمله بعض الباحثين للدلالة على بعض الثلاجات القارية الصغيرة. في حين يعتبر البعض الاخر القلنسوات الجليدية بانها التراكم الجليدي الذي يحدث فوق مناطق مرتفعة وتخرج منه ثلاجات الوديان التي تتحرك في اتجاهات مختلفة كما هو موجود فوق جبل رينير Ranier في شمال غرب الولايات المتحدة. ويكون اتجاه حركة الجليد داخل القلنسوة الجليدية نفسها مرتبطاً بطبيعة انحدار سطح الثلاجة الذي يكون على اعلى جهاته ارتفاعاً في المناطق التي تتلقى اكبر كمية من الثلج.

تعتبر ثلاجة Vatnajokull في ايسلنده خير مثال على القلنسوات الجليدية حيث يتراوح سمك هذه الثلاجة بين ٦٠٠ ــ ٧٠٠ متراً وتقع قاعدتها على مستوى يتراوح بين ٢٠٠ ــ ١٠٠٠ متراً عن مستوى سطح البحر (١٣) (شكل رقم ٦٠).

٣ــ ثلاجات الوديان : Valley Glaciers

تندفع هذه الثلاجات اما من القلنسوات الجليدية ومن الثلاجات القارية او انها تنشأ من حقل ثلجي منفرد خاص وتحتل واديا جبلياً معيناً. تسمى هذه الانواع من الثلاجات احياناً باسم الثلاجات الالبية ذلك لأن هذا النوع من الثلاجات كانت قد جرت دراسته لاول مرة فوق جبال الالب ويطلق عليها احياناً اسم الانهار الجليدية ذلك لانها تتصرف احياناً بشكل يشبه الانهار الاعتيادية.

---

(11) Gerhard Neumann and Willard J. Pierson, Principles of Physical Oceanography, Prentice Hall, Englewood, 1960, p. 82.

(12) John A. Knauss, Introduction to Physical Oceanography, Prentice-Hall, Englewood, 1978, p. 267.

(13) R.J. Price, Op. Cit., p. 29

تتحرك الثلاجات هذه من خلال اسهل المسالك التي تبدأ من منطقة النشوء التي هي الوديان الجليدية عادة. وتختلف هذه الثلاجات فيما بينها كثيراً من حيث اتساعها وسمكها وطولها وكذلك في مقدار سرعتها، حيث يبلغ طول البعض منها ١٦١ كم كما يبلغ اتساعها ٨ كم كما في ثلاجة Jacobshaven في كرينلاند (١٤).

تقسم ثلاجات الوديان الى عدة انواع ثانوية هي :ـــ

١ـــ ثلاجات الحلبات الجليدية وتحتل هذه الثلاجات اعالي الوديان او انها توجد في المنخفضات التي على جوانب الوديان الجليدية. وتكون هذه الثلاجات صغيرة في العادة حيث قد لايتجاوز طولها وعرضها الا عدة مئات من الامتار في حين لايزيد سمكها عن عدة عشرات من الامتار. ومن المعتقد ان هذا النوع من الثلاجات يكون اول نوع يتكون منها عند بداية الفترة الجليدية واخر نوع يتلاشى عند انتهاء الفترة الجليدية.

٢ـــ ثلاجات الوديان (النمط الالبي) وتنشأ هذه الثلاجات من جراء تطور الثلاجات السابقة بعد تقدم الفترة الجليدية وهبوط مستوى خط الثلج حيث تمتد تلك الثلاجات الى الاسفل باتجاه الوديان الجبلية ومن المحتمل ان تتحد عدة ثلاجات حلبات جليدية كي تقوم بتغذية ثلاجة وادي واحدة والتي تكون محددة عادة بحوائط واد جبلي وتنتهي بشكل لسان جليدي ضيق. تكون هذه الثلاجات شائعة كثيراً في الاقاليم الجبلية كما في جبال الالب والجبال الساحلية في الاسكا وجبال الهملايا ... الخ.

٣ـــ ثلاجات الوديان (نمط المنافذ) : لايختلف هذا النوع من الثلاجات عن النوع السابق الا في انها تنشأ من الثلاجات القارية والقلنسوات الجليدية كما في كرينلند والقارة القطبية الجنوبية والقلنسوة الرئيسة في ايسلندا.

٤ـــ الثلاجات المتقطعة Transection تنشأ هذه الثلاجات في الاقاليم الجبلية التي يكون التساقط الثلجي فيها غير كاف لتكوين قلنسوة جليدية، او ان تلك الكتل الجبلية قد تعرضت لتعرية شديدة ادت الى تقطيعها بوساطة وديان عميقة لايمكن ان تمتلىء بالجليد. وتنشأ في مثل هذه الظروف

---

(14) Harry Robinson, Op. Cit., p. 245

ثلاجات وديان سميكة. بحيث يمكن لها ان تطغي على مناطق تقسيم التصريف بين الوديان المتجاورة (١٦).

هذا ولاتمثل معظم ثلاجات الوديان الموجودة في الوقت الحاضر الا بقايا صغيرة من اسلافها التي كانت موجودة خلال الفترات الجليدية (شكل رقم ٦١).

٤ــ ثلاجات القدمات الجبلية : Piedmont

يتكون هذا النوع من الثلاجات عندما تتحد ثلاجتان او اكثر من ثلاجات الوديان فوق سهل او فوق واد جبلي عريض يقع عند قدمات الجبال. وكان يوجد الكثير من هذا النوع من الثلاجات على السهول المجاورة لجبال الروكي الشماليه خلال العصر الجليدي في البلايستوسين. تعتبر ثلاجة مالاسبينا Malaspina في الاسكا من الامثلة المشهورة على ثلاجات القدمات. حيث تبلغ مساحة هذه الثلاجة حوالي ٢٠٠٠ كم^{2} وتصل حتى سواحل المحيط الهادي وتتغطى حافاتها بركام جليدي مفكك وبالتربة التي نمت فوقها غابات كثيفة. وقد اظهرت الدراسات الزلزاليه ان سمك تلك الثلاجة يبلغ عند منتصفها اكثر من ٦٠٠ متر وان قاعها ينخفض بحوالي ١٨ متراً دون مستوى سطح البحر (١٦). ولاتختلف ثلاجات القدمات في الحقيقة عن الغطاءات الجليدية في شيء الا انها صورة مقلوبة عنها حيث تخرج ثلاجات الوديان من الغطاءات الجليدية في حين تنشأ ثلاجات القدمات من اتحاد ثلاجات الوديان. ويحدث عندما تكون الظروف المناخية ملائمة ان تزداد مساحة ثلاجات القدمات ويتصل بعضها مع الاخر فتكون غطاءات جليدية (١٧).

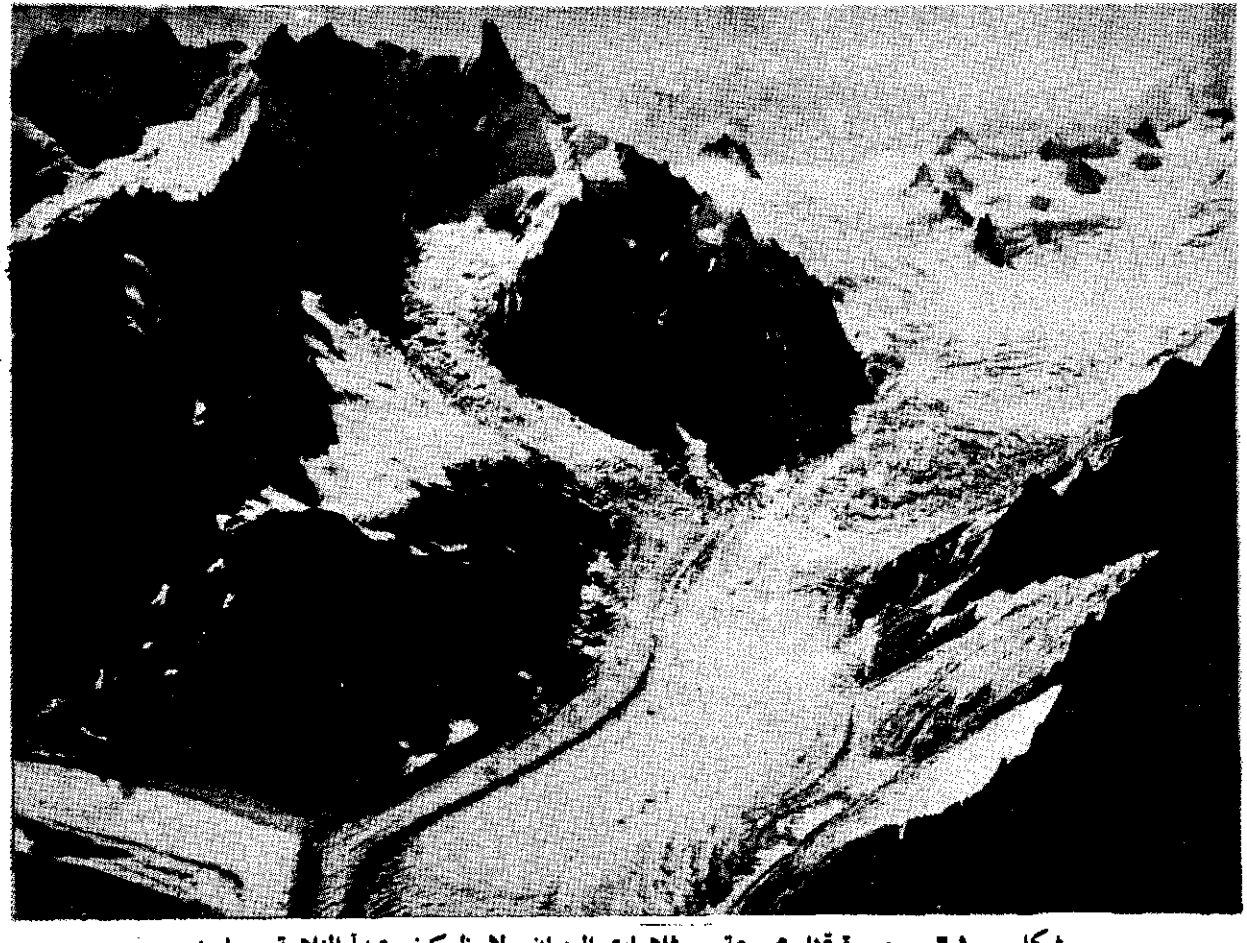
حركة الجليد

لاتزال الاراء تتضارب في تفسير السبب الرئيسي الذي يسيطر على حركة الجليد داخل الثلاجات المختلفة الانواع حيث يرجع بعض الباحثين السبب في تلك الحركة الى تأثير الجاذبية الارضية الناتج عن ثقل الجليد ويرجع البعض الاخر سبب حركة الجليد الى قوة التمدد التي تتكون من جراء انجماد الماء. ويعتقد هذا البعض ان

(15) R. J. Price, Op. Cit., pp. 27-28

(16) A. Holmes, Op. Cit., P. 632.

(17) James L. Dyson, Op. Cit., p. 30



شكل ــ ٦١ ــ صورة تمثل مجموعة من ثلاجات الوديان ، لاحظ كيف تبدأ الثلاجة من احد

نمو البلورات الجليدية عند قاع الحقل الثلجي هو مرحلة يمكن الوصول اليها عندما يكون الجليد متماسكاً بدرجة يسبب معها اي انجماد للماء بين الحبيبات حدوث تمدد وحركة للجليد. يمكن القول ان من المحتمل ان يكون تكرار عمليات الذوبان والانجماد داخل الحقول الثلجية وجليد الثلاجات بمساعدة من قوة الجاذبية المسؤول عن حركة الثلاجات (١٨).

لابد من اخذ اشياء عديدة في الحسبان عند مناقشة الحركة الجليدية اذ يختلف معدل الحركة الجليدية بين مختلف الثلاجات وكذلك في الثلاجة الواحدة بين فصل وآخر حيث تتحرك معظم الثلاجات بسرعة اعظم في الصيف منها في الشتاء. اذ تتراوح الاختلافات في السرعة بين ١٠٪ ــ ٢٠٪. وتتحرك معظم ثلاجات الوديان بمعدلات تقع بين ١٠ ــ ٢٠٠ متر في العام الواحد رغم ان سرعتها تزداد خلال المساقط الجليدية حيث تتراوح بين ١٠٠٠ ــ ٢٠٠٠ متر في السنة (١٩). فعلى سبيل المثال تتحرك ثلاجة Arpaho (وهي ثلاجة صغيرة في ولاية كولورادو) حوالي ٨٫٢ متراً في العام في حين يبلغ سرعة حركة بعض ثلاجات كرينلند والاسكا في الصيف حوالي ١٨ متراً في اليوم الواحد.

تتحرك الثلاجات الطويلة بسرعة اكبر من سرعة حركة الثلاجات القصيرة بسبب قوة الدفع التي تكونها كمية الجليد الكبيرة المتراكمة خلف نهايتها. وتكون سرعة الاجزاء العليا الوسطى من الثلاجة اكبر عادة من سرعة الاجزاء الاخرى منها التي تحتك بقاع وبجوانب الوادي الجليدي. وقد امكن التأكد من هذه الحقيقة منذ سنة ١٨٤٠ م عندما قام مجموعة من العلماء بتثبيت مجموعة من العصي بشكل خط مستقيم عبر ثلاجة في جبال الالب. ثم لوحظ بعد مدة ان مواقع هذه العصي قد تقدمت نحو الامام وتحول شكلها من الخط المستقيم الى الخط المقوس باتجاه الحركة الجليدية نفسها. كما قام بعض الجيولوجين في الاونة الاخيرة بحفر بعض الثقوب العمودية داخل الثلاجات وركزت فيها بعض الانابيب المعدنية التي ظهر بعد مدة انها تحدبت من الاعلى باتجاه الحركة الجليدية نفسها (٢٠) ويدل ذلك على ان سرعة

(18) P. Worcester, Op. Cit., P. 268

(19) R. J. price, Op., Cit., p. 34

(20) L. Deyson, Op. Cit., p. 33

الاقسام السفلى من الثلاجة تكون اقل سرعة من الاقسام العليا منها بسبب احتكاك الاولى بقاع الوادي الجليدي. وتتمكن الثلاجات من نقل حمولة كبيرة من الحطام الصخري لمسافات كبيرة. وتمسك الصخور الموجودة عند اسفل الثلاجة من قبل الجليد وتظل على وضعها بحيث يكون احد اوجهها محتكاً بجوانب او بقاع الوادي الجليدي فيصبح ذلك الوجه ناعماً وصقيلاً او تظهر عليه الحزوز التي تكون موازية لاتجاه حركة الجليد.

يدل وجود الشقوق Crevasses داخل الثلاجات على وجود الحركة الجليدية. حيث يؤدي صعود الجليد فوق بعض الجهات الاكثر ارتفاعاً من قاع الوادي الى تحدب سطحه العلوي وظهور الشقوق العرضية فيه غير ان هذه الشقوق سرعان ماتلتحم ثانية بعد ابتعاد الجليد عن المنطقة المرتفعة ورجوعه الى وضعه الطبيعي. كما تنشأ الشقوق الطولية داخل الثلاجات من جراء عدم تشابه سرعة حركة اجزائها المختلفة وضرورة حدوث انفصال بين كل جزء واخر حتى يتاح له المجال لان يتحرك بموجب القوى الخاصة المسيطرة عليه.

هناك شواهد عديدة على ان باستطاعة الجليد ان يتحرك من الاسفل نحو الاعلى، فقد نقلت كتل صخرية من الاراضي المنخفضة في السويد بوساطة الجليد البلايستوسيني فوق جبال اسكندنافية ورسبت على السهل الساحلي للنرويج. كما امكن نقل بعض الجلاميد الصخرية من على مقربة من خليج هدسن في كندا الى ارتفاعات تقرب من ١٤٠٠ متر، على السفوح الشرقية لجبال روكي في البرتا (٢١).

في النهاية لابد من التأكيد على ان الجاذبية ليست هي المسيطرة الاولى على حركة الجليد اذ انها لو كانت كذلك لاصبحت سرعة حركة الجليد داخل الثلاجات في الشتاء اكثر من سرعتها في الصيف. ويعود سبب ذلك الى ان كتلة الثلاجات تكبر خلال الشتاء من جراء كثرة كمية الثلج المتساقطة عليها. ولكن الذي يحدث عكس ذلك تماماً حيث تكون سرعة الثلاجات في الصيف اكبر مما عليها في الشتاء. ويرجع سبب ذلك الى ان الماء الذي يتكون من ذوبان الجليد يتوغل الى الاسفل

---

(21) A. Holmes, Op. Cit., p. 634

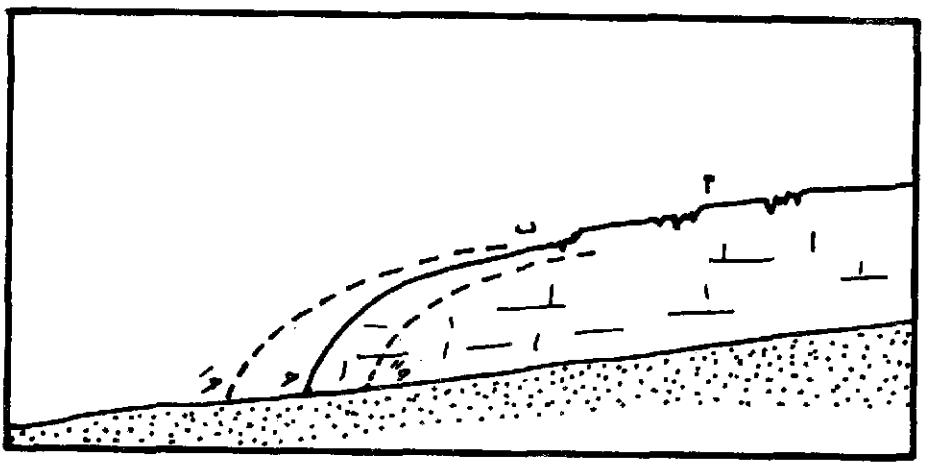
ويتجمد ثانية ثم يكبر حجمه في الوقت الذي يقوم البعض منه بتسهيل عملية انزلاق الثلاجات فوق القاع الصخري (٢٢).

نهاية الثلاجات

تتلاشى كل الثلاجات عند حافاتها ونهايتاتها السفلى وتتم هذه العملية من خلال التبخر والذوبان الذين يكونان على اكبر كميتهما قرب النهاية السفلى للثلاجة رغم انهما يؤثران بدرجة اقل وبشكل متفاوت على كل اقسام الثلاجة الاخرى. وتنتهي الثلاجات التي تتحرك من اليابسة باتجاه المحيط وذلك بان تنفصل عنها كتل جليدية طافية تعرف باسم جبال الجليد العائمة. وتشبه الدورة الجليدية الى درجة ما الدورة النهرية حيث يقوم التساقط بتغذية كل من الانهار والثلاجات. وتعود تلك الرطوبة الى الغلاف الجوي ثانية بوساطة عملية التبخر. وتنهي عمليات التبخر والذوبان كل الثلاجات التي لاتصل الى المحيط.

لاتظل نهاية الثلاجة في مكانها بل انها تتغير تبعاً لمقدار الضياع من الجليد المكون لها بوساطة عمليات التبخر والذوبان وكذلك تبعاً لمقدار التغذية الجليدية التي تصل الى الثلاجة. ففي السنوات التي تكون فيها الظروف المناخية ملائمة لتزويد منطقة التغذية بكميات وافرة من الثلوج والتي يكون فيها فصل الدفيء قصيراً وذو درجات حرارة ليست عالية تتقدم نهاية الثلاجة الى الامام. ويحدث العكس عندما تكون كمية التساقط الثلجي قليلة في بعض السنوات مصحوبة بارتفاع غير اعتيادي في درجات الحرارة في فصل الصيف مع زيادة في طول فترة ارتفاع درجات الحرارة حيث تتراجع الثلاجة نحو الوراء. وتثبت نهاية الثلاجات في مواقعها عندما تتعادل كمية مايرد من جليد الى منطقة ما من الثلاجة مع كمية الضياع الناتج عن الذوبان والتبخر. ويوضح الشكل (رقم ٦٢) تلك الحقائق. فلو تصورنا ثلاجة من ثلاجات الوديان تتحرك باتجاه اسفل الوادي وقمنا بعملية قياس مقدار مايرد الى نقاط متعددة منها من الجليد بسبب الحركة الجليدية وقمنا ايضاً بقياس ما يضيع من ذلك الجليد بوساطة التبخر والذوبان. فاننا سنجد ان الثلاجة تستمر في الوجود طالما كانت كمية الضياع اقل من كمية مايرد الى تلك الثلاجة. كما يحصل في نقطتي أ،

(22) P. Worcester, Op. Cit. p. 270



شكل ــ ٦٢ ــ يبين كيفية تقدم وتراجع الثلاجة
حيث يكون الوضع في النقاط :
(أ) = الوارد بسبب الحركة الجليدية
٥٠٠ م٣ في اليوم
الضياع بسبب التبخر والذوبان ٥٠ م٣ في اليوم
(ب) = الوارد بسبب الحركة الجليدية
٤٠٠ م٣ في اليوم
الضياع بسبب التبخر والذوبان ١٥٠ م٣ في اليوم
(ج) = الوارد بسبب الحركة الجليدية
١٠٠ م٣ في اليوم
الضياع بسبب التبخر والذوبان ١٠٠ م٣ في اليوم.

ب وتتلاشى الثلاجة في النقطة جـ التي تتعادل فيها تلك الكميتان في خط يعرف بخط التعادل equalibirum line وتسمى المنطقة بـ Snout . ولايبقى موقع النقطة (جـ) ثابتاً بل انه يتراجع الى الخلف او الى الامام تبعاً لطبيعة تلك الموازنة .

كقاعدة عامة يمكن القول ان كل الثلاجات اظهرت دلائل تشير الى تراجعها نحو الوراء وتقدمها نحو الامام . علماً بان التغير في الموازنة الذي تتعرض له الثلاجة قد لايظهر تأثيره بسرعة عند نهاياتها بسبب طبيعة الحركة الجليدية البطيئة

بحيث لايمكن ان يظهر ذلك الاثر الا بعد عدة سنوات خاصة بالنسبة الى الثلاجات الطويلة (٢٣).

لايكون تذبذب نهاية الثلاجات ناتجاً فقط من اختلاف الموازنة الناتجة عن وجود فرق بين كمية الضياع بوساطة التبخر والذوبان مع كمية مايرد الى الثلاجة من جليد بسبب الظروف المناخية وحدها. فقد تراجعت في بداية القرن الحالي كثير من ثلاجات الاسكا ومنها ثلاجة Nanatak التي تراجعت نهايتها نحو الوراء لمسافة ٥٠ كم بين سنتي ١٨٩٩ — ١٩٠٥. في الوقت الذي اظهرت فيه بعض الثلاجات المجاورة تقدماً الى الامام بشكل واضح. وقد اظهرت الدراسة ان تلك الثلاجات تلقت كميات اضافية من الثلوج من جراء الانهيارات الثلجية التي حدثت في السفوح الجبلية الشديدة الانحدار المحيطة بتلك الثلاجات وقد تحدث تلك الانهيارات نتيجة للزلازل.

لقد تراجعت معظم الثلاجات في كل جهات الارض خلال القرن الحالي اذ انسحبت كثير من الثلاجات الصغيرة نحو الحقول الثلجية التي تقوم بتغذيتها حيث انعدمت فيها اية حركة جليدية ولايمكن اعتبارها ثلاجات بعد ذلك. وان من المحتمل ان يتلاشى كثير من الثلاجات الصغيرة الموجودة فوق الجبال الواقعة في العروض الوسطى اذا ماستمرت الظروف المناخية الحالية وزاد الارتفاع في معدلات درجات الحرارة على الارض (٢٤).

مظاهر سطح الثلاجات

بالنظر الى ان الثلاجات تتكون من الجليد الصلب الذي يتحرك ببطىء فوق سطح الارض فانها تكون جزءاً من التضاريس في المنطقة التي توجد فوقها ولذلك لابد من القاء الضوء على طبيعة سطوح تلك الثلاجات قبل ان ننتقل الى دراسة العمل الجيومورفولوجي الذي تقوم به. علماً بان ماسنذكره من مظاهر للسطح تختفي كلياً تقريباً خلال فصل الشتاء اذ يؤدي السقوط الكثير للثلوج فوق الثلاجات خلال هذا الفصل الى تغطية كافة مظاهر السطح الموجودة فوق الثلاجة فتصبح

(23) Brian S. John, Op. Cit., p. 40
(24) P. Worcester, Op. Cit. p. 277

سطوح الثلاجات بذلك ناعمة او متموجة بدرجة ما بحيث تسمح للبعثات الاستكشافية بالتحرك فوقها بسهولة. يؤدي وجود الشقوق ومجاري المياه التي تتكون فوق الثلاجة الى جعل عملية عبور تلك الثلاجات خطرة وصعبة جداً خلال الصيف حيث يحدث ان يزلق البعض داخل تلك الشقوق العميقة وبذلك قد يفقد ذلك الشخص نهائياً ان لم يقم أحد بانقاذه. ولهذا السبب يربط افراد تلك البعثات انفسهم بالحبال مع بعضهم البعض حتى يستطيع الذين بقوا خارج الشق من انقاذ الذين تعرضوا للسقوط او اصبحوا معرضين لذلك. ومن اشهر الامثلة لذلك ماحصل لثلاثة متسلقين في آب من سنة ١٨٢٠ كانوا يقومون بالسير فوق ثلاجة Lyell على سفوح جبل Mount Blanc في الالب الايطالية عندما حدث انهيار ثلجي دفعهم الى داخل احد الشقوق حيث دفنوا فيه ونتيجة للحركة الجليدية فقد ظهرت بقاياهم عند منطقة انتهاء الثلاجة بعد مرور ٤٣ عاماً قطعوا فيها قرابة ٣ كم وكانت سرعة تحركهم حوالي ٧٣ متراً في العام الواحد (٢٥).

ان اهم مظاهر السطح التي يمكن ملاحظتها فوق الثلاجات هي :

١ــ الشقوق Crevasses

يسود سطوح الثلاجات نوعان رئيسان من الشقوق التي هي عبارة عن اخاديد طولية يمكن ان يزيد عمقها عن ٤٠ متراً هما :

١ ــ الشقوق العرضية .Transverse Crevasses

تنشأ هذه الشقوق من جراء وجود حالات عدم الانتظام فوق قيعان الوديان التي تتحرك فوقها الثلاجات حيث تتكسر الثلاجات عند سيرها فوق النتوءات ومناطق مساقط الجليد. وتتكون الشقوق العرضية تبعاً لذلك ومن النادر ان تصل هذه الشقوق الى قعر الثلاجة وانما تسود القسم العلوي منها فقط احياناً (شكل رقم ٦٣).

٢ ــ الشقوق الطولية Longtudinal

تعرف احياناً باسم شقوق الحواشي ينشأ هذا النوع من الشقوق من جراء

(25) J. Dyson, Op. pp 32-33

شكل ـ ٦٣ ـ شقوق عرضية واسعة تقطع ثلاجة وديان

الاختلاف في سرعة حركة اجزاء الثلاجة المختلفة اذ تكون سرعة حركة الاقسام الوسطى العليا منها اكثر من سرعة بقية اقسامها التي تحتك بقاع وبجوانب الوادي الجليدي. وتتكون هذه الشقوق ايضاً عند انتقال الثلاجة من واد ضيق نحو وادي اكبر سعة منه حيث تنتشر الثلاجة على قاع الوادي العريض مما يسبب ظهور الشقوق الطولية فيها.

هذا ويلتئم كلا النوعين من الشقوق بعد انتقال الثلاجة نحو مناطق تختلف ظروفها عن ظروف المناطق التي ادت الى تكوين الشقوق فيها. تمتلىء هذه الشقوق خلال الشتاء بالثلوج النازلة حديثاً وقد تكون خطرة انذاك لانه لايمكن توقع مكانها المضبوط مما يؤدي الى سقوط الاشخاص او الحيوانات داخلها. وتذوب تلك الثلوج بسرعة خلال فصل الصيف المقبل. ويظهر الاشخاص او الاشياء التي سقطت خلال تلك الشقوق بعد مدة عند نهاية الثلاجة في وقت يعتمد على مقدار سرعة حركة تلك الثلاجة (٢٦).

تظهر فوق الثلاجات التي لاتغطيها الثلوج « وانما تتكون كلياً من الجليد » دلائل تشبه تلك التي تحدث للصخور عند تعرضها لحالات الانكسار او التشقق او الالتواء. وتكون هذه الظواهر واضحة بسبب امكانية تمييز طبقات الجليد بسبب مايوجد داخله من حطام صخري متنوع الاحجام.

٢ــ السيراك Serac

يتكون هذا النوع من تضاريس سطح الثلاجة عندما تتقاطع الشقوق العرضية مع الشقوق الطولية والجانبية ويتحول قسم من الثلاجة الى مايشبه الاعمدة والكتل الجليدية المنعزلة فيصبح سطح الثلاجة معقداً بدرجة كبيرة. توجد هذه الظاهرة في الاغلب عند المساقط الجليدية او عند نهاية الثلاجات (٢٧) (شكل رقم ٦٤). ويمكن لبعض الاعمدة هذه ان يزيد ارتفاعه عن ٢٠ متراً. وتكون عملية عبور مناطقه صعبة جداً وخطرة. فعلى سبيل المثال ادى حدوث انهدام بعضها في ثلاجة Khumba في أفرست في سنة ١٩٦٩ الى موت ستة حمالين كانوا مرافقين لاحدى البعثات الاستكشافية (٢٨).

(26) P. Worcester, Op. Cit., p. 278.

(27) W. G. Moore, glaciers, Hutchinson Educational. London, 1972, p.13.

(28) Brian S. John, Op. Cit., p. 44

شكل ــ ٦٤ ــ صورة تمثل السيراك في نهاية الثلاجة

٣ــ الهوة الجليدية Bergschrund

تظهر الهوات الجليدية عادة في بداية ثلاجات الوديان وهي عبارة عن شق مقوس واسع وعميق جداً يصل الى حوالي ٦٠ متراً. وتكون تلك الهوات مفتوحة خلال فصل الصيف عند قمة الحقل الثلجي بجوار حائط الحلبة الجليدية بسبب الحركة الجليدية التي تؤدي الى دفع الجليد نحو الاسفل بعيداً عن حوائط الحلبات الجليدية (شكل رقم ٦٥). وكذلك بسبب الاذابة الموقعية للجليد نتيجة تماسه مع صخور الحلبة الجليدية. وتغمر الهوات الجليدية بالثلوج خلال الشتاء (٢٩). وقد استطاع بعض الدارسين المغامرين ان يهبطوا بوساطة الحبال الى داخل الهوات الجليدية فوجدوا ان جانب الشق المجاور لحائط الحلبة الجليدية يظل صخرياً حتى الى إعماق الهوة الجليدية في حين يظل الجانب الاخر المعاكس جليدياً. كما يتعرض ذلك الحائط الصخري الى التكسر والى انفصال بعض الكتل الصخرية منه والتي يقوم الجليد بالامساك بها ودفعها مع الثلاجة (٣٠).

٤ــ الاعمدة الجليدية Ice Pedestals

توجد هذه الاعمدة فوق سطوح العديد من الثلاجات وتتكون عندما تقوم الجلاميد الصخرية الكبيرة boulders الموجودة على سطوح الثلاجات بحماية الجليد الواقع تحتها من ان يتعرض الى عملية الذوبان بالسرعة نفسها التي تتعرض اليها بقية اجزاء سطح الثلاجة في فصل الصيف غير ان الحالة لاتدوم طويلاً اذ سرعان مايذوب الجليد الذي يوجد اسفل تلك الكتل الصخرية بدوره هو الاخر وتسقط تلك الكتل مرة ثانية فوق سطح الثلاجة. (شكل رقم ٦٦).

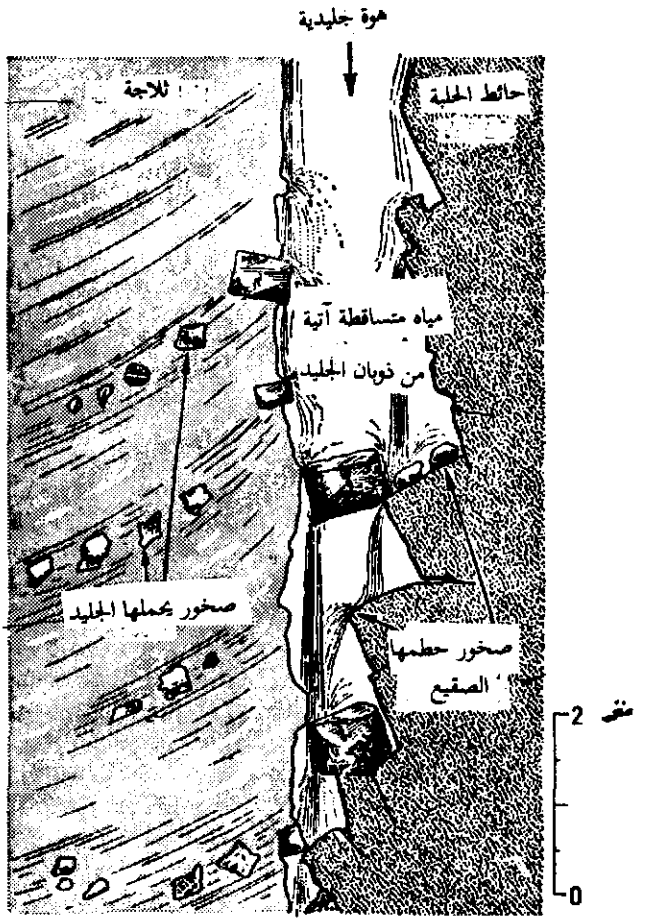
٥ــ آبار الغبار Dust Wells

تمتص ذرات الغبار وقطع الصخور الصغيرة حرارة الشمس وتقوم بتسخين واذابة مايوجد تحتها من جليد مكونة حفراً اسطوانية الشكل يتراوح عمقها بين عدة سنتيمترات الى اكثر من متر واحد. وتوجد آبار اخرى ذوات نفس الاحجام غير انها

---

(29) Harry Robinson, Op Cit., p. 247-248

(30) Gilluly, Op. Cit., P. 290.



شكل ــ ٦٥ ــ هوة جليدية

عميقة جداً لاتكون ناتجة عن الذوبان الحاصل في الطريقة السابقة وانما تكون ناتجة عن الذوبان الذي يحصل على طول بعض الشقوق العمودية الصغيرة .

٦ــ درجة الانحدار

تتباين درجة انحدار سطوح الثلاجات من مكان الى آخر داخل الثلاجة نفسها وكذلك من ثلاجة الى اخرى . تزداد درجة الانحدار بصورة عامة في الثلاجات

شكل ــ ٦٦ ــ عمود جليدي تستند عليه صخرة

القصيرة حيث تتراوح بين ٢٥ ــ ٣٠ درجة وقد تزيد عن ذلك في بعض الثلاجات احياناً. وتبلغ درجة الانحدار لدى كثير من ثلاجات الاسكا وثلاجات سويسرا الطويلة حوالي ٣٠ متراً لكل ٥ر١ كم (٣١).

٧ــ التصريف

يجري فوق سطوح الثلاجات عدد كبير من الانهار الصغيرة في فصل الصيف وتزيل تلك الانهار الغبار والاوحال الموجودة فوق سطح الجليد. وتخرج هذه المجاري المائية اما من نهاية الثلاجات او من جوانبها او انها تلقي بمياهها داخل الشقوق حيث يعود معظم الماء فينجمد ثانية خلالها. تتدفق فوق ثلاجات الاسكا مياه انهار كبرى من انفاق في الجليد وتجري بعد ذلك فوق سطوح الثلاجات ثم تختفي ثانية في انفاق اخرى. كما ويوجد فوق مناطق معينة من سطوح الثلاجات بحيرات صغيرة تنحصر مياهها بوساطة الحطام الصخري او بوساطة الجليد نفسه. ومن المحتمل ان يوجد عند النهاية السفلى لبعض ثلاجات الوديان الكبيرة انفاق تمتد الى الوراء تحت الجليد لمسافة كبيرة. وتكون هذه الانفاق جافة احياناً وخاصة في الشتاء وتجري خلالها اثناء الصيف انهار قوية تكون محملة بحطام الصخور الدقيق الذرات حيث تنطلق تلك الانهار بعيداً عن الثلاجة نفسها.

يوجد بشكل شائع بحيرات صغيرة بين نهاية الجليد الذي يكون طرف الثلاجة الاسفل وبين الركام النهائي في الثلاجات التي تراجعت الى الوراء حديثاً. ويعتبر كون الماء عكراً في هذه البحيرات دليلاً على وجود حركة في الثلاجات الواقعة اعلاها. حيث تسحق الصخور بوساطة الثلاجات ثم تقوم مياه الانهار الناتجة عن ذوبان الجليد بنقل ذلك المسحوق الصخري معطياً اياها لوناً يشبه لون الحليب (٣٢).

٨ــ الحطام الصخري السطحي :

تنقل الثلاجات الالبية او ثلاجات الوديان كميات كبيرة من الحطام على سطوحها او على مقربة من سطوحها. يوجد معظم هذه المواد على مقربة من جوانب الثلاجة نفسها وتعرف باسم الركام الجانبي Lateral Moraines وينتج هذا من

(31) P. Worcester, Op. Cit., p. 279
(32) p. Worcester, Op. Cit., p. 281

جراء نحت الثلاجة لجوانب الوادي الجليدي وكذلك من جراء ما يتساقط على جوانب الثلاجة من الجدران العالية للوادي الجليدي بسبب عمليات اخرى كالتجويه والانزلاقات الثلجية والانهيارات .

يحدث بسبب اتحاد ثلاجات رافدية مع الثلاجة الرئيسة ان يتحد الركام الجانبي لكليهما مكوناً نطاقاً من ركامات وسطى Medial Moraines . ونجد احياناً عدداً كبيراً من خطوط الركامات الوسطى ويدلنا ذلك على عدد الثلاجات التي اتصلت فيما بينها لتكون الثلاجة الرئيسة (شكل رقم ٦٧) . ويوجد في بعض ثلاجات الاسكا ستة خطوط من الركامات الوسطى (٣٣) .

ينتشر الحطام الصخري فوق سطح الثلاجات قرب النهاية السفلى لها حيث تكون عملية الاذابة على اشدها . وقد سجلت مشاهدات عن ان هذا الحطام يغطي اكثر من ٢ر٥ كم ٢ من الجليد في بعض ثلاجات الاسكا (شكل رقم ٦٨) وتؤدي هذه الظاهرة الى توقف حركة الجليد احياناً وتحوله الى جليد راكد stagnant ice كما هي الحالة في ثلاجة مالاسبينا في الاسكا .

عمل الجليد

لاتختلف الثلاجات في عملها عن بعض العمليات الجيومورفولوجية الظاهرية الاخرى مثل المياه الجارية والرياح في انها تقوم بتغيير ملامح سطح اليابسة من خلال عملها في التعرية والترسيب ويمكن ان تكون الثلاجات اشد العمليات الجيومورفولوجية قوة لانها تتكون من الجليد الذي هو جسم صلب يكون تأثيره على الصخور اكبر من تأثير بقية العمليات الاخرى . حيث ان الثلاجة التي يبلغ سمكها ٢٠٠٠ متراً تتمكن من نحت اليابسة في بضعة قرون في حين لايمكن الحصول على مثل هذه النتيجة بفعل عوامل اخرى كالمياه الجارية والرياح الا في بضعة ملايين من السنين .

اولاً ــ التعرية الجليدية

يقوم الجليد بالتعرية عندما يختل التوازن بينه وبين بيئته بعبارة اخرى . اذا كانت الثلاجة تتحرك فوق واد ذي شكل وابعاد مناسبة تماماً للتصريف الجليدي

(33) P. Worceter, Op., p.

شكل ــ ٦٧ ــ صورة تمثل ثلاجة وديان عليها مجموعة من خطوط الركامات الوسطى

شكل ــ ٦٨ ــ حطام صخري يغطي نهاية احدى ثلاجات الوديان ، لاحظ كيف ان النهر
الذي ينبع من الثلاجة قد كون له دلتا

الذي يحدث فيه فلايمكن ان يحدث في هذه الحالة اي نوع من انواع التعرية الجليدية. غير ان هذه الحالة لايمكن ان تحصل في الطبيعة ذلك لان اية ثلاجة تتعرض الى تغيرات في التصريف من عام الى آخر. ويتبع هذا التصريف غير الثابت تغيراً مستمراً في المجرى الجليدي اذ تقوم الثلاجة بعملية التعرية في مكان ما من الوادي وبعملية الترسيب في مكان آخر في محاولة منها للوصول الى الوضع الاكثر ملائمة للتصريف (٣٤).

من المحتمل ان تكون عملية الصقل الميكانيكية abrasion التي يستطيع ان يقوم بها الجليد النقي خفيفة جداً. ولاتكون هذه الحالة موجودة الا بشكل نادر في الطبيعة اذ ان الجليد حالما يبدأ بالتحرك فوق اليابس فانه يقوم بالتقاط الجلاميد الصخرية المفككة والحطام الصخري المتنوع الاحجام وكذلك ذرات التربة، ويستخدم كل هذه المواد بمثابة ادوات للقطع. وتعمل ذرات الحطام الصخري الكبيرة الحجم هذه المدفونه داخل الجليد وكأنها مقاشط او مبارد تستطيع الثلاجات بوساطتها واثناء تقدمها على اليابسة من ازاحة كل المواد المفككة وتقطع الرؤوس والنتوءات الصخرية الصلبة في حين تقوم الذرات الدقيقة بعملية صقل للصخور التي تتحرك فوقها. وينتج عن عملها مايعرف بطحين الصخور rook flour وبسبب صغر حجم ذراته نجد انه عندما تلقي الثلاجة بمياهها المنصهرة تبدو هذه المياه حليبية اللون. كما يقوم الجليد بعملية القلع للصخور plucking وتستمر هذه العملية من خلال اشتداد اثر الجليد فوق المفاصل او فوق سطوح الانفصال بين الطبقات الصخرية bedding planes. وتؤدي هذه العملية الى تنعيم وصقل تلك السطوح وتحويلها الى اشكال مستديرة حيث يتميز فعل الثلاجات بتآكل واستدارة احجام كبيرة لاتستطيع العوامل الاخرى القيام بها (٣٥). وتظهر فوق الصخور الجيرية وبقية انواع الصخور حتى الصلبة منها حزوزاً عميقة grooves وناعمة بعد ان تكون الثلاجات قد مرت عليها (شكل رقم ٦٩). تستطيع الثلاجات من خلال عملية الصقل الميكانيكي التي تقوم بها من ان تصقل جوانب وقيعان وديانها وتعيد تشكيلها تدريجياً من وديان ضيقة ذوات شكل يشبه الـ V الى وديان عميقة وواسعة القيعان تشبه ألـ (U). ويميل الجليد الى ان يحفر احواضاً في الصخور الصلبة التي تقع عند اسفل المنحدرات الشديدة ويكون بعض تلك الاحواض عميقاً وتصبح مواقع للبحيرات او المستنقعات بعد ان يذوب الجليد.

(34) Brian S. John, Op. Cit., p. 53.

(٣٥) جون سانذرس، مصدر سابق، ص ٥٠٦

شكل — ٦٩ — الجزء الأعلى من الجليد على حافة فوق المنحدر

تستطيع الثلاجة القارية ان تعيد تشكيل سطح الارض الذي ترزح عليه بصورة تامة بسبب سمكها وثقلها الشديدين ويكون اثرها في هذه الحالة اشد من تأثير ثلاجات الوديان ، فعلى سبيل المثال يمكن ان يزيد تأثير ثلاجة قوية في شمال كرينلند بـ ٣٠٠ مرة عن تأثير اي من الثلاجات الرقيقة الموجودة فوق جبال الالب (٣٦) .

من المميزات الواضحة لثلاجات الوديان هي قابليتها على القيام بالنحت التراجعي حيث تتوغل المياه الناتجة عن ذوبان الجليد والثلوج داخل الشقوق والمفاصل الصخرية الموجودة في حوائط وقاع الوادي الجليدي وتتجمد هناك ويكبر حجمها وتنفصل بذلك كتل صخرية متنوعة الاحجام تنتقل بدورها مع الجليد المكون للثلاجات . وتتراجع بذلك حوائط الوادي الجليدي نحو الوراء وخاصة في بداياتها العليا وكذلك يمكن بهذه الوسيلة ان تزداد اعماق بعض جهات الوادي وخاصة في بداياته العليا .

لابد من القول اخيراً ان كفاءة التعرية للثلاجات تعتمد على اربعة عوامل هي :

١ــ مقدار مقاومة الصخور لعملية الصقل التي تقوم بها الثلاجة .
٢ــ كمية ودرجة صلابة الحطام الصخري الذي تحمله الثلاجة وخاصة في اجزائها السفلى .
٣ــ مقدار سمك الجليد المكون للثلاجة .
٤ــ سرعة الحركة الجليديه واستمرارها (٣٧) .

اذ يزداد تأثير عملية التعرية الجليدية فوق الصخور اللينة وتتحول تلك المناطق الى احواض على الاغلب في حين تظل المناطق ذوات الصخور الصلبة مرتفعة . ويزداد تأثير التعرية الجليدية اذا كانت المواد التي تحملها الثلاجة خشنة الذرات ومكونة من صخور صلبة بحيث تترك تأثيرات واضحة فوق الصخور التي تتحرك فوقها . كما ويزداد تأثير عملية التعرية في الثلاجات السميكة فقد استطاعت الثلاجات السميكة التي كانت موجودة خلال البلايستوسين ان تحفر وديانا جليدية عميقة تتمثل اليوم في الفيوردات الموجودة في سواحل النرويج والاسكا وكرينلند

(36) A. Holmes, Op. cit., p 643.
(37) Gilluly, OP. Cit., p. 291.

ونيوزيلند. ويقال الشيء نفسه بالنسبة للثلاجات السريعة الحركة التي يشتد تأثيرها في التعرية على خلاف الجليد الراكد الذي لايمكن ان يؤثر شيئاً.

التضاريس الناتجة عن التعرية الجليدية :

١ــ الوديان الجليدية :

تسلك الثلاجات على الاغلب في حركتها مناطق الوديان النهرية التي كانت موجودة في الفترة قبل الجليدية. وتقوم تلك الثلاجات باجراء تحويرات كبيرة على تلك الوديان لكي تجعلها ملائمة لطبيعة الجليد نفسه. اذ يتحول شكل المقطع العرضي للوادي من V الى شكل U حيث يتسع قاعه وتكون جوانبه شديدة الانحدار.

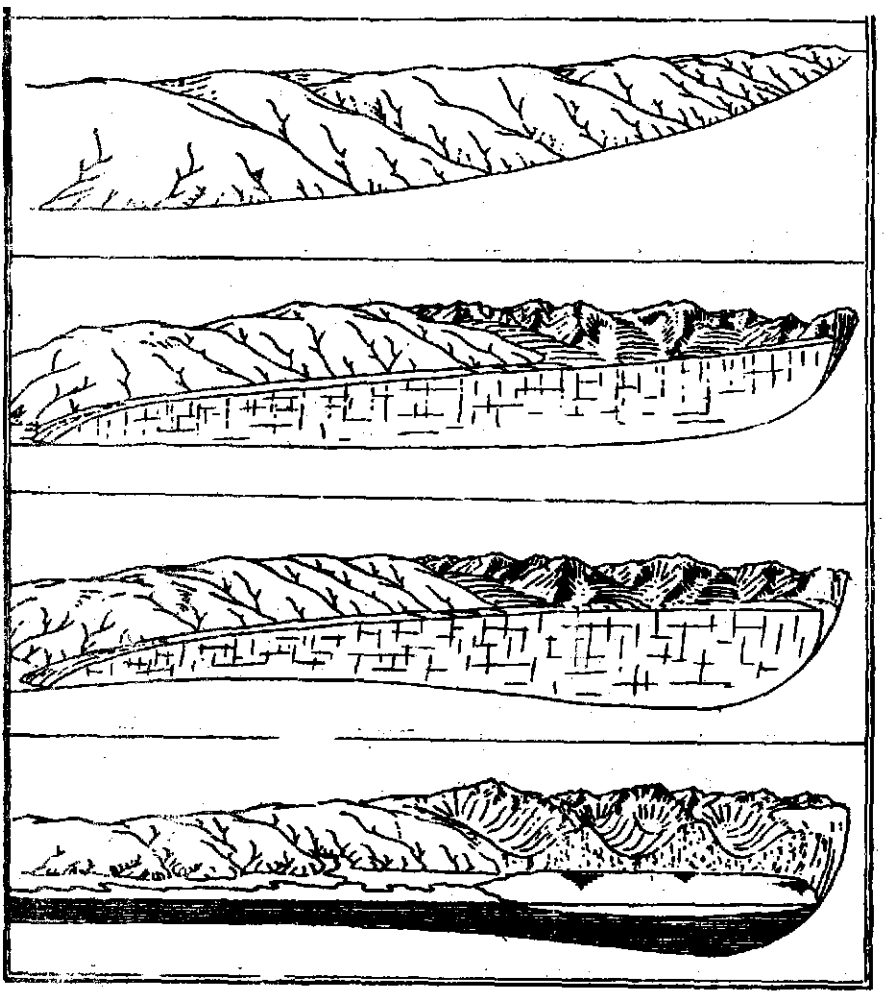
تقطع الثلاجات طريقها بشكل مستقيم نسبياً ولذلك فان شكل الوادي النهري يتحول بعد قطع النتوءات البارزة منه من واد ملتو الى واد قريب من حالة الاستقامة. تكثر فيه النتوءات المقطوعة Trancated spurs ذوات الاجراف العالية المثلثة الاوجه (شكل رقم ٧٠). ويكثر وجود المصاطب benches او alp باعتبارها مظهراً عاماً في الوديان التي تعرضت للتعرية الجليدية. وتقع هذه عند مناطق تغير درجة الانحدار فوق جدران الوادي الشديدة الانحدار. وتشير بذلك الى المستوى الذي ملأت به الثلاجة الوادي الذي كان موجوداً قبل بداية الفترة الجليدية. ينتهي كثير من الوديان التي تعرضت للتعرية الجليدية عند اعاليها باوجه شديدة الانحدار تشبه الجدران تعرف باسم نهاية الاحواض ومن المحتمل ان تكون هذه ناتجة من اتصال عدة حلبات جليدية cirque عند أعالي الوادي (شكل رقم ٧١).

يظهر من خلال دراسة القطاع الطولي للوادي الجليدي وجود مظاهر خاصة مثل عتبات الوادي valley steps، والاحواض المغلوقة، والصخور العميقة وكذلك البحيرات (٣٨). ويتراوح طول كثير من الوديان الجليدية بين ٤٢ ــ ٦٤ كم (٣٩).

---

(38) H. Robinson, Op. Cit, 264

(39) P. Worcester, Op., Cit., p. 284



شكل ــ ٧٠ ــ مقطع طولي لوادي نهري الر فيه الجليد

٢ــ الوديان المعلقة : Hanging Valleys

ليست الوديان المعلقة ظاهرة خاصة بالمناطق التي تعرضت الى التعرية الجليدية فقط اذ تؤدي عملية النحت العمودي للانهار الرئيسة مثلاً الى جعل الوديان الرافدية معلقة بالنسبة لها، كما تؤدي عملية ارتفاع الحافات الانكسارية بسرعة الى

ظهور بعض الوديان المعلقة فوقها. ومع ذلك تعتبر ظاهرة الوديان المعلقة مرتبطة بدرجة كبيرة بالمناطق الجبلية التي تعرضت الى التعرية الجليدية (٤٠).

تتكون الوديان المعلقة عندما تقوم الثلاجات الرئيسة بعملية تعميق وتوسيع لودیانها بسرعة اكبر من عملية التعميق التي تجري للوديان الرافدية التي تحتلها ثلاجات رافدية او قد لاتحتلها اية ثلاجات. وتفرغ تلك الوديان الرافدية تصريفها من الثلوج ليس عند مستوى قاع الوادي الجليدي الرئيسي وانما في مستوى اعلى منه. وعندما ينتهي العصر الجليدي يتراجع الجليد الذي كان يحتل الوديان الرئيسة والجانبية فتبدو قيعان الوديان الرافدية وهي معلقة بالنسبة الى قيعان الوديان الرئيسة. وتحتل الانهار على الاغلب وديان الثلاجات ولذلك تتساقط المياه من الوديان المعلقة بشكل شلالات نحو الوديان الرئيسة (٤١) (شكل رقم ٧٢).

٣ــ الحلبات الجليدية :

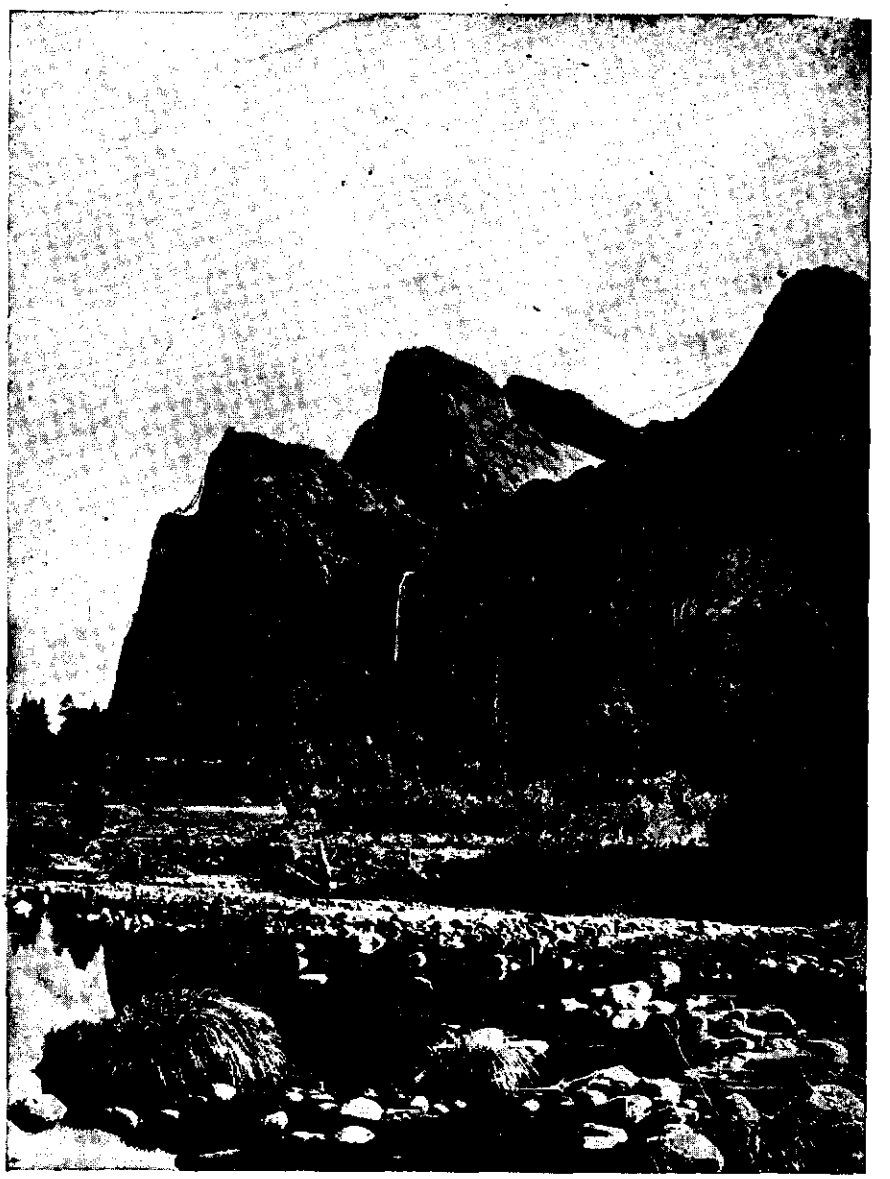
تنتهي كل الوديان الجليدية في نهاياتها العليا بمنخفضات واسعة تشبه الملاعب التي تحيط بها المدرجات تعرف باسم الحلبات الجليدية (السيرك). ويمكن اعتبار هذه الحلبات بانها اكثر المظاهر الجليدية نموذجية. تتصف حوائط السيرك بانها شديدة الانحدار وقد تصل الى درجة انها تكون عمودية في بعض الحالات وينخفض السيرك عادة باعلى الوادي الجليدي. وتتعرض قيعان الحلبات الجليدية الى عملية الصقل بصورة مركزة الى درجة انها قد تتحول الى منخفضات او احواض يصل عمقها الى ٣٠ متراً او اكثر من ذلك (٤٢). وتصبح هذه المنخفضات بحيرات بعد ان يتراجع الجليد عن الحلبة الجليدية وتعرف هذه البحيرات باسم التارن Tarn. وتنشأ السيركات في الاصل من المنخفضات التي كانت موجودة في الفترة قبل الجليدية. وتتوسع تلك المنخفضات بعد تراكم الجليد فيها وتوالي عمليات الانجماد والذوبان ومن جراء عملية الصقل التي يقوم بها الجليد. ويؤدي تكرار الانجماد والذوبان وتغلغل المياه داخل الشقوق في الهوة الجليدية الى تحطيم الصخور وتراجع حوائط السيرك الى الوراء وخاصة في اسفلها. وتحافظ هذه العملية ايضاً على جعل

(40) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 267.

(41)C.R. Twidale, Analysis of Landforms, John Wiley, Sydney, 1976, p.362

(42)P. Worcester, Op. Cit., p. 262.

حوائط السيرك شبه عمودية. يصل ارتفاع حوائط بعض السيركات الى عدة الاف من الامتار كما في جبال البرانيس والقارة الجنوبية (٤٣) (شكل رقم ٧٣).



الوادي الجليدي الرئيسي

(43)H. Robinson, Op. Cir., p. 262

شكل ــ ٧٣ ــ حلبة جليدية ، لاحظ الجدران الصخرية الشاهقة الارتفاع التي تحيط بها والتي يقرب ارتفاعها من ١٢٠٠ متراً

٤ــ الحافات المسننة : Aretes

تتقابل حوائط السيركات الخلفية عندما توجد حلبتان جليديتان في وضع متعاكس. اذ ينتج من جراء عملية النحت التراجعي لكل منهما ان تتحول المنطقة الفاصلة بينهما الى سلسلة ضيقة متعرجة ذات جوانب شديدة الانحدار تعرف باسم (arete) في اللغة الفرنسية وتعني (عظم السمك) او السلسلة الحادة. وتنشأ مثل هذه الحالة ايضاً عندما تتجاور الحلبات الجليدية مع بعضها البعض. وتحدث بعض المنخفضات في هذه السلاسل عندما يحدث اتصال بين الحلبات تعرف هذه باسم Col (٤٤).

٥ــ القرون الجليدية : Horns

تتكون القرون الجليدية عندما تتقابل عدة حلبات جليدية فوق جبل من الجبال حيث تؤدي التعرية التراجعية لكل واحدة منها الى تكوين قمة هرمية مدببة الشكل تعرف باسم القرن الجليدي. يعتبر وجود القرون الجليدية مع وجود السيركات والحافات المسننة دليلاً على تعرض المنطقة الى تعرية جليدية. ان اشهر القرون الجليدية في العالم جبل ماترهورن في سويسرا وكذلك قمة جبل Weiss horn في جبال الالب (٤٥) (شكل رقم ٧٤). ويمكن ان نعتبر قمة افرست في الهملايا قرناً جليدياً ايضاً.

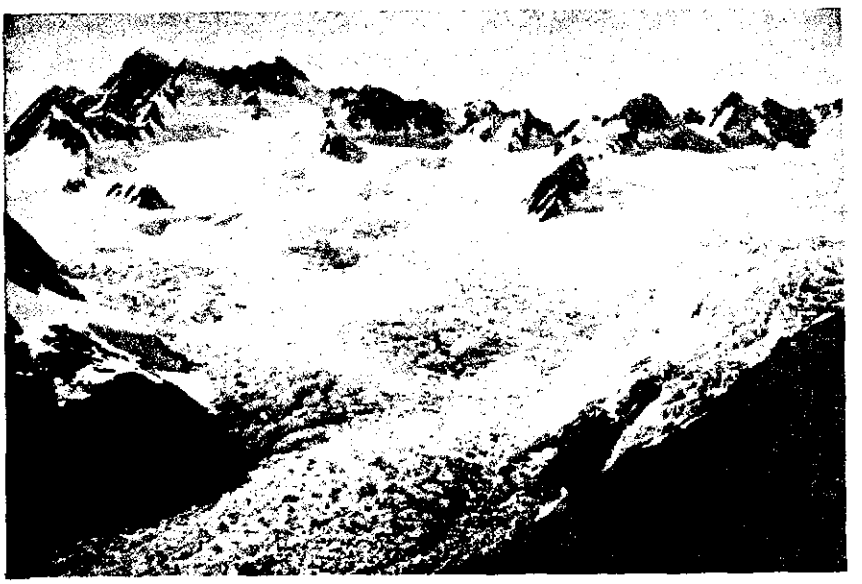
٦ــ الـ Nunataks (الصخور الناتئة)

ويطلق هذا الاسم على القمم الجبلية التي ترتفع فوق مستوى الجليد والثلوج التي تحيط بها بحيث تبدو وكأنها الجزيرة في البحر داخل الغطاءات الجليدية الكبيرة كما في كرينلند والقارة القطبية الجنوبية. تفصل هذه الكتل الصخرية الخالية من الجليد كذلك بين ثلاجتين من ثلاجات الوديان او بين لسانين جليديين مندفعين من غطاء جليدي. وتتعرض هذه المظاهر الى التعرية الجليدية الجانبية للثلاجات وكذلك الى اثر الصقيع والانهيارات الامر الذي يؤدي الى تناقص احجامها وارتفاعاتها (شكل رقم ٧٥).

---

(44) Worcester, Op. Cit., p. 262
(45) Ibid.

شكل ـ ٧٤ ـ قرن جلدي، الخط وجود السكتات والخلفات السنية



شكل ــ ٧٥ ــ صورة تمثل حقلاً ثلجياً تبرز فيه النانتاك

٧ــ الفيوردات :

ترتبط الوديان الجليدية عند وصولها الى الساحل مع الفيوردات التي هي عبارة عن احواض طويلة وضيقة تعرضت بدورها الى التعرية الجليدية والتي انغمرت بمياه البحر. وقد تطورت هذه الخلجان من وديان نهرية سابقة للفترة الجليدية في وجودها. ويكون معظم الفيوردات عميقاً جداً بسبب عملية التعرية الجليدية القوية التي تعرضت اليها. فعلى سبيل المثال يبلغ عمق بعض اجزاء فيورد Sogne في النرويج (١٣٠٨) متراً. وتقل اعماق معظم الفيوردات عند مناطق اتصالها بالمحيط بسبب الركامات التي القتها الثلاجات هناك وكذلك بسبب طفو الثلاجات في هذه الاجزاء فوق الماء، اذ يبلغ عمق فيورد Sogne عند ذلك المكان حوالي ١٦٠ متراً. هذا وتقع غالبية الفيوردات عند الجهات الغربية من القارات بسبب تلقي هذه الجهات كميات اكبر من التساقط الامر الذي يجعل تأثير الثلاجات فيها قوياً (٤٦). وتحيط بالفيوردات جوانب مصقولة عالية شديدة الارتفاع كما وتظهر في اعلى بعض تلك الجوانب وديان معلقة وهي دلائل تشير الى الاصل الجليدي لمثل هذه الخلجان

(45) Twidale, Op. Cit., p. 350

(شكل رقم ٧٦) . هذا ويدل العمق الكبير الذي تكون فيه بعض الفيوردات الى ان هناك حركة هبوط تعرضت لها المنطقة ساعدت على زيادة عمق تلك الفيوردات .

تنتشر الفيوردات على سواحل النرويج والاسكا وكذلك على سواحل كرينلند وشيلي ونيوزيلند وساحل كولومبيا البريطانية واسكتلندا ولبرادور . وفوق سواحل الجزر المنجمدة في كندا . هذا ويزيد طول عدد كبير من فيوردات النرويج عن ٨٠ كم . واطولها جميعاً فيورد سوكن بالقرب من بركن Bergen حيث يندفع البحر بوساطته لمسافة ١٩٣ كم داخل اليابسة . وتهبط جوانب هذا الفيورد لعدة مئات من الامتار دون مستوى سطح البحر في الوقت الذي ترتفع فيه جوانبه الى حوالي ١٢٢٠ متراً فوق مستوى سطح البحر . وتتقاطع فيوردات الاسكا مع بعضها بحيث يبدو من الصعوبة تقرير طول اي منها . يبلغ طول فيورد Portland Canal في كولومبيا البريطانية حوالي ١٦٠ كيلومتراً ويبلغ معدل اتساعه ٢ر٣ كم (٤٧) .

٨ــ الصخور الغنمية Roches Moutonnees

وهي صخور تبدو على هيئة مجموعات من الاغنام فوق قيعان الوديان الجليدية او فوق المناطق التي تعرضت الى زحف الجليد القاري في البلايستوسين . لم تستطيع تلك الجليديات ان تزيل تلك الصخور اما لانها صلبة او لانها مثبتة بصورة جيدة في قاع الوادي الجليدي . وتتصف الجوانب المواجهة لحركة الجليد من هذه الصخور بانها مصقولة بصورة جيدة وذلك لان الجليد يصعد عليها ببطيء فيصقلها صقلاً منتظماً ، في حين تبدو الجهات المعاكسة لحركة الجليد غير منتظمة وذوات انحدارات شديدة نسبياً وذلك بسبب حفر الجليد غير المنتظم لها عند نزوله منها بسرعة نحو الاسفل . وتظهر على هذه الصخور حزوز وخطوط تشير الى الاتجاه الذي كان الجليد يتحرك فيه (٤٨) .

٩ــ سلالم العمالقة Cyclopean Stairs

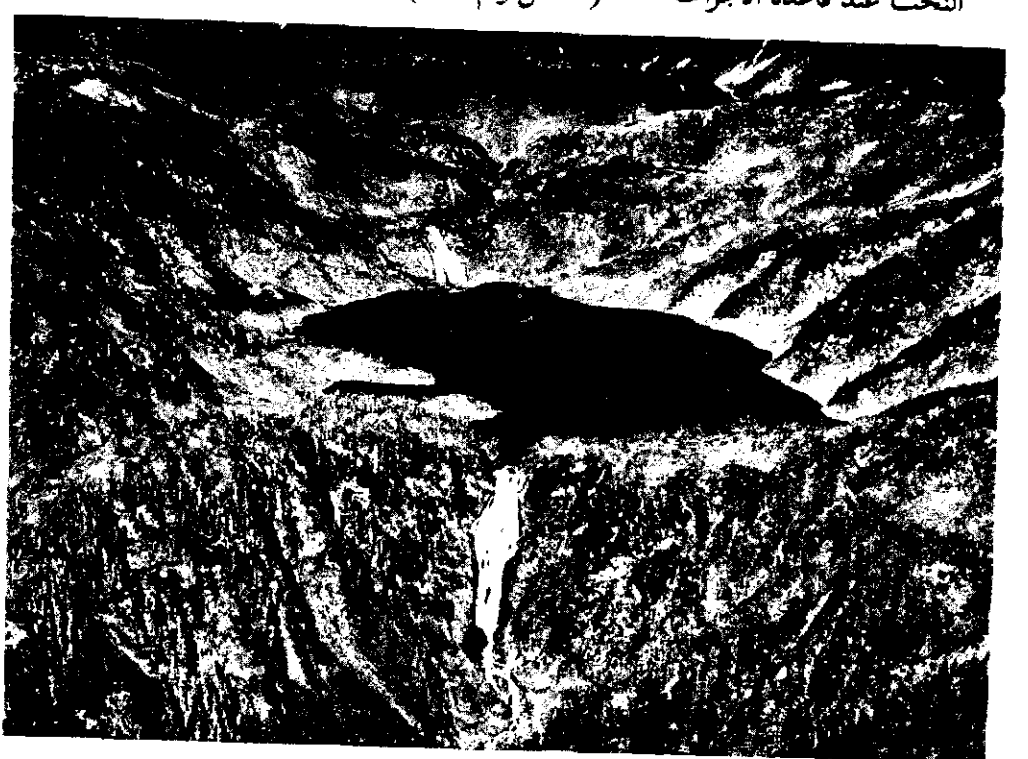
من المظاهر المميزة التي توجد بكثرة في مناطق الوديان التي تعرضت الى التعرية الجليدية وجود سلسلة من المدرجات المتعاقبة والتي تأثرت بالتعرية الجليدية

(47) J. Dyson, Op. Cit., p. 344.

(48) Twedal, Op. Cit., p. 344.

شكل ــ ٧٦ ــ صورة الى احد الفيوردات لاحظ ضيقها وشدة انحدار جوانبها الجبلية

يفصلها عن بعضها اجراف عمودية تقريباً. يختلف طول تلك المدرجات بين عدة مئات من الامتار الى عدة كيلومترات، كما يأخذ عرضها اتساع الوادي الجليدي كله. يتراوح ارتفاع الجرف الذي يفصل بين مصطبة واخرى بين ٣٠ ــ ٣٠٠ متراً كما وتوجد بعض الاحواض المحفورة عند اسفل تلك الاجراف. ويطلق على كل هذه المجموعة من المظاهر اسم سلالم العملاق او تعرف باسم Cyclopean. ولايزال اصل تكون هذه السلالم غير مؤكداً الى حد الان اذ يرجعه البعض الى وجود الانكسارات التي تكون حافات تضطر معها الثلاجات الى الانتقال من مستوى الى مستوى آخر. ويرجعها البعض الاخر الى الاختلافات في تركيب وبنية الصخور القاعية. او التي تكثر فيها المفاصل مما يؤدي الى حصول اختلافات طفيفة في انحدار الوادي الجليدي ثم تقوم الثلاجة بعد ذلك بزيادة تلك الاختلافات عندما تميل لزيادة النحت عند قاعدة الاجراف (٤٩) (شكل رقم ٧٧).



شكل ــ ٧٧ ــ صورة تمثل سلالم العمالقة، لاحظ كيف تحتل البحيرات الاحواض التي حفرها الجليد وكيف ينساب الماء منها على صورة شلالات.

(49) P. Worcester. Op. Cit., p 288

١٠ــ الحلبات المزدوجة Tandem Cirques

ليس امراً غريباً ان نجد حلبتين جليديتين او اكثر ترتبطان بواد جبلي واحد في المناطق الجبلية التي تعرضت الى التعرية الجليدية، ويكون احدهما خلف الاخر. ويرتبط وجود مثل هذا النوع من الحلبات في الوديان التي تسود فيها ظاهرة سلالم العملاق التي سبق ذكرها قبل قليل حيث يمثل كل سيرك ارضية المدرجة التي تفصل عن غيرها باجراف صخرية عالية. وتحتل البحيرات قيعان تلك السيركات عند تراجع الجليد عن المنطقة (٥٠).

ثانياً : الترسيب الجليدي

تستطيع الثلاجات ان تنقل حطاماً صخرياً ذا ذرات متنوعة الاحجام من الكتل الصخرية الكبيرة التي يزيد حجم البعض منها على حجم منزل عادي في بعض الاحيان الى ذرات الصخور الصغيرة المسحوقة. يأتي معظم حمولة الثلاجات القارية من الارض التي تتحرك عليها تلك الثلاجات في حين تستلم ثلاجات الوديان حمولتها من مصادر متنوعة بحيث تقوم الثلاجة باخذ جزء من تلك الحمولة من ارضية الوادي الذي تتحرك فوقه. ويأتي القسم الاخر من المنحدرات الجبلية التي تشرف على تلك الوديان اذ تتساقط الاحجار الكبيرة بعد انفصالها من جوانب الوادي من جراء تعاقب عمليات الانجماد والذوبان للماء او بوساطة الجاذبية الارضية. كما وتقوم الانهيارات الثلجية والانزلاقات وكذلك الانهار بنقل المواد الصخرية المختلفة من جوانب الجبل والقائها على سطح الثلاجة. تنقل كل هذه المواد بوساطة حركة الثلاجة اخيراً من مكان الى آخر حيث تترسب اخيراً. وليس من شك في ان بعض المواد الصخرية المفككة تدفع امام مقدمة الثلاجة غير ان معظم ماتنقله الثلاجة يكون موجوداً اما فوقها او خلالها.

يؤدي تحمل القسم الاسفل من الثلاجة بكميات كبيرة من حطام الصخور الى اعاقة حركة ذلك القسم من الثلاجة وتحوله الى مايعرف باسم الجليد لراكد. كما ويصبح الجليد راكداً ايضاً قرب طرف الثلاجة الاسفل حيث تتزايد عمليات الاذابة التي تؤدي الى ايجاد حمولة اضافية لما تبقى من الجليد الامر الذي

---

(50) Ibid, p. 288

يجعله جليداً راكداً. وقد يبقى مثل هذا الجليد راكداً لعدة سنوات بحيث يتطور الحطام الصخري الموجود فوقه الى نوع من التربة وتنمو فوقه النباتات كما في ثلاجة مالاسبينا في الاسكا التي نمت الغابات فوقها (٥١).

يرسب الجليد كل المواد الصخرية التي يحملها معه حالما يذوب. ويطلق على كل المواد التي يقوم الجليد بارسابها اسم الرواسب الجليدية glacial till. ويضم هذا الاصطلاح الترسيب الذي يحدث من جراء القاء الجليد للرواسب فوق التضاريس الارضية glacial till وكذلك الارسابات التي تقوم المياه الناتجة عن ذوبان الجليد بترسيبها fluvio-glacial

يتميز النوع الاول من الارسابات بكونه متنوعاً في حجوم ذراته من الجلاميد الصخرية الكبيرة التي تعرف بالصخور الضالة erratics الى مسحوق الصخور الناعمة الذرات. كما لاتظهر في هذا النوع من الرواسب ظاهرة الطباقية. ويتميز معظم الحصى والصخور التي يحتويها بانها مدببة الاطراف رغم ان قسماً منها يكون مصقولاً من احد جوانبه. وبذلك يختلف هذا النوع من الرواسب عن الارسابات النهرية التي يتميز بانها متجانسة وتظهر فيها صفة الطباقية كما ان الحصى النهري يكون مدوراً ولاتظهر فيه النتوءات لان ذلك الحصى لايكون ثابتاً في موقعه كما هي الحالة بالنسبة الى الحصى الجليدي.

تنتج عن عملية الترسيب التي تقوم بها ثلاجات الوديان او الثلاجات الالبية انماط معينة من التضاريس هي :

١ــ الركامات النهائية : Terminal Morains

تقوم الثلاجات بالقاء ماتحمله من حطام الصخور في المكان الذي تنتهي فيه مكونة سلسلة من التلال التي تحيط بطرف الثلاجة النهائي. يعتمد مقدار نمو هذه التلال من الركامات على كمية الجليد الذي يذوب في نهاية الثلاجة وكذلك على مقدار الحمولة الصخرية نفسها. وبالنظر الى ان نهاية الثلاجة لاتكون ثابتة في مكان واحد (كما بينا ذلك) اذ يحدث احياناً ان تندفع الثلاجة الى الامام فوق الركام النهائي مما يؤدي الى تسوية غير منتظمة له. ويبدو سطح المنطقة بعد تراجع الجليد عنها

(51) P. Worcester, Op. Cit., p. 274

بشكل متموج بين منخفضات وتلال متجاورة. هذا ويؤدي التذبذب المتواصل لمواقع نهاية الثلاجات الى تكوين نطاق واسع غير منتظم من الركامات عبر الوادي الجليدي. وتنتشر في هذا النطاق المنخفضات التي تحيط بها التلال. ويطلق على هذا النوع من التضاريس اسم تضاريس العقدة والحوض Knob and Basin (٥٢). تحتل البحيرات الصغيرة والمستنقعات تلك الاحواض وتعرف باسم Kettles. ويتغذى القسم الاعظم من هذه البحيرات من المياه التي تنفذ نحوها من خلال جوانبها المسامية جداً. هذا ويتكون من جراء تراجع الثلاجات الى الخلف وتوقفها لفترات معينة في مواقع خاصة سلاسل متتابعة من الركامات النهائية التي يطلق عليها جميعاً اسم الركام التراجعي (Reccesional Moraines) (٥٣) (شكل رقم ٧٨).

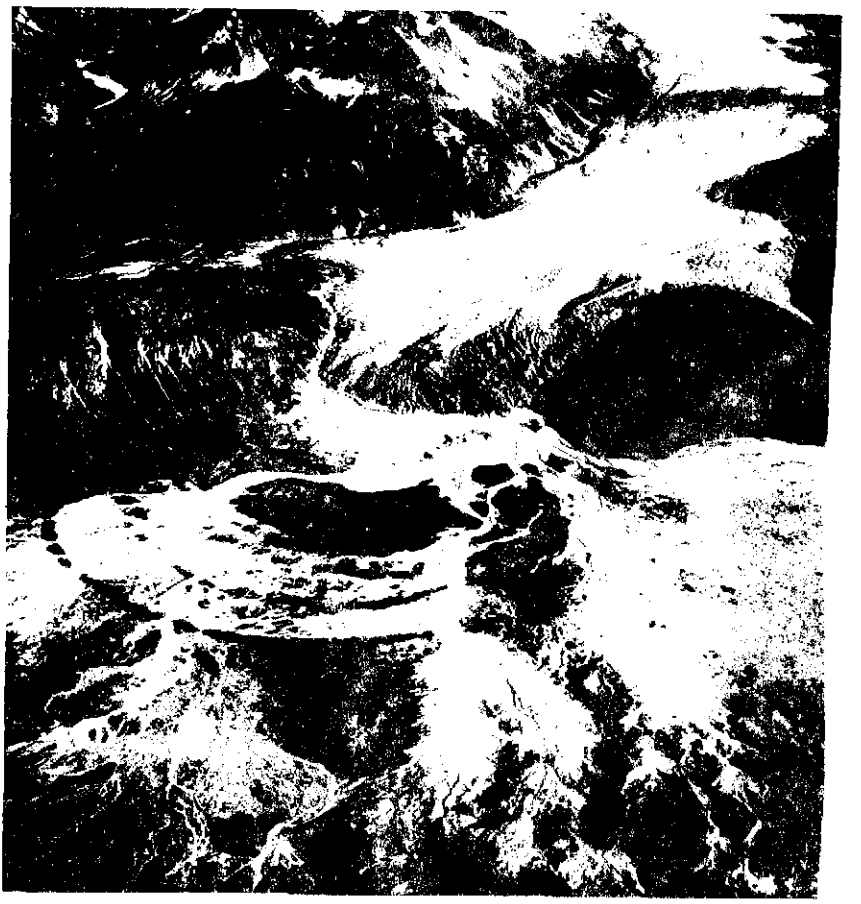
٢ــ الركامات الجانبية :

تنشأ الركامات الجانبية عندما تتراجع الثلاجة الى الوراء فتلقي بكل حمولتها الجانبية على ارضية الوادي بصورة مجاورة لجوانبه. وتمتد هذه الركامات بشكل سلسلة من التلال المتكونة من الرواسب المختلفة الاحجام والمصادر. تلتقي هذه السلسلة من التلال مع الركام النهائي مكونة قوساً محدباً نحو الامام. وتحصر هذه الركامات بينها وبين حائط الوادي الجليدي [illegible] ايضاً تمتلىء في كثير من الاحيان بالمياه مكونة بحيرات طولية. ولاتختلف المواد المكونة هذا النوع من الركامات عن المواد المكونة للركامات النهائية. وتظهر في بعض الحالات عدة صفوف من الركامات الجانبية داخل احد الوديان الجليدية. ويشير كل منها الى حالة سعة معينة للثلاجة التي كانت تحتل الوادي.

٣ــ الركامات السفلى :

لايكون وجود هذا النوع من الركامات مرتبطاً بصورة كبيرة مع الثلاجات الالبية وثلاجات الوديان على خلاف ماعليه الحال في الثلاجات القارية والقلنسوات الجليدية. ذلك لان الثلاجة الالبية تكون عاملاً من عوامل التعرية على طول الوادي الذي تتحرك فوقه. فضلاً عن ذلك يتعرض الركام الارضي الذي يرسب على ارضية

(52) W. Thornbury, Op. Cit., p. 366
(35) Tividale, Op. Cit., p. 359.



شكل ـ ٧٨ ـ ركامات تراجعية امام احدى ثلاجات الوديان حيث تشير كل سلسلة منها الى فترة توقف في عملية تراجع الثلاجة الى الوراء

الوادي الى تعرية لاحقة من قبل الانهار التي تأتي بعد الجليد عادة (٥٤). وعلى اية حال يختلف سمك الركام الارضي الموجود فوق قاع الوادي الجليدي من مكان الى آخر كما انه يكون تضاريساً لاتتعدى تضاريس العقدة والحوض مع انطقة متموجة للرواسب التي تنتشر خلالها الجلاميد الصخرية كما تنتشر فوقه ايضاً مظاهر ترسيبيه طموية ناتجة عن الانهار التي كان يغذيها الجليد.

تختلط الركامات السفلى مع الركامات الوسطى التي كانت قد تكونت من جراء اتحاد الثلاجات مع بعضها عند ذوبان الثلاجة ولايمكن تمييز تلك الركامات عن بعضها غير ان الركامات الوسطى تكون عادة سلاسل من تلال ترسيبيه ترتفع فوق المستوى العام للسطح.

الاشكال الترسيبية المائية ــ الجليدية :

تتكون هذه الاشكال بسبب المياه التي تجري بعد ذوبان الجليد فوق مواقع متعددة من الثلاجات. فهي اما تجري اسفلها داخل الانفاق او على جوانب الثلاجات او تخرج من نهاياتها. وتقوم تلك المياه بنقل قسم من الحطام الصخري الذي تحمله الثلاجات معها والتي تكون حجوم ذراته ملائمة لقابلية نقل تلك المجاري المائية. ترسب تلك المجاري المائية الرواسب ثانية فتتكون بذلك اشكال ترسيبية لاتختلف في خصائص تكونها الرسوبي عن الاشكال الترسيبية الطموية من حيث تجانس ذرات الرواسب فيها ومن حيث ظهور خاصية الطباقية فيها. ومن اهم الاشكال التي تكونها ثلاجات الوديان منها ما يعرف باسم قطارات الوديان Valley Trains وذلك عندما تترسب تلك المواد بشكل طبقة سميكة على قاع الوادي اسفل الجليد. وتعتبر تلال اسكرز Eskers مظهراً مهماً اخر من المظاهر الترسيبية المائية الجليدية وهي تلال طولية تلتوي على ارضية الوادي الجليدي كما تلتوي الانهار. وكانت في الاصل مجاري مائية في الانفاق الموجودة اسفل الثلاجة وقد رسبت المياه التي كانت تجري فيها رواسب طموية. وعند تراجع الجليد اخذت تلك الانفاق تبدو وكأنها تلال طولية. وتعتبر سهول الغسل الجليدية out-wash مظهراً اخر من مظاهر الترسيب المائي الجليدي حيث تقوم الانهار التي تخرج من نهاية الثلاجات باعادة

(54) W. Thornbury, Op. Cit., p. 368

ترسيب مانقلته من الحطام الصخري الموجود امام الثلاجة او اسفلها بشكل متجانس. يكون مثل هذه الاشكال اكثر وضوحاً في المناطق التي تعرضت الى التعرية الجليدية القارية منها في المناطق التي تعرضت لتعرية ثلاجات الوديان ولذلك فاننا سوف نفصل فيها آنذاك.

التضاريس التي تكونها الثلاجات القارية :

لاتزال معرفتنا غير كاملة عن طبيعة التضاريس الموجودة اسفل الغطاءات الجليدية الحالية في كرينلند والقارة القطبية الجنوبية. اذ يعتقد ان معظم كرينلند يتكون من هضبة في حين يتنوع السطح الواقع اسفل الجليد بالنسبة الى القارة الجنوبية من سهول الى هضاب وسلاسل جبلية. وقد كان سمك الغطاء الجليدي في كلا الموقعين سميكاً لدرجة انه اخفى معه التضاريس الواقعة اسفله. ان معرفتنا عن اثر الجليد القاري على التضاريس جاءت من المناطق التي كانت تغطيها الثلاجات القارية خلال البلايستوسين، كما هي الحال في القسم الشمالي من قارة امريكا الشمالية. فقد امكن معرفة ماحصل لتلك التضاريس من تغيرات من جراء تعرضها لتلك الثلاجات القارية العظيمة التي تكونت فوقها مثل ثلاجة لورنتيد وثلاجة كيواتن.

من الشائع جداً الاعتقاد بان الغطاء الجليدي القاري كانت هالة للتعرية تقوم بازالة التربة وتعرية الصخور وتنقلها الى مسافات بعيدة. فعلى سبيل المثال قامت تلك الثلاجات بتعرية التربة والصخور في كندا ونقلت ذلك الحطام المفكك الى الولايات المتحدة.

ويبدو عمل التعرية الجليدية القارية واضحاً في وجود الاخاديد والحزوز التي تركتها الثلاجات خلال حركتها فوق الصخور (شكل رقم ٦٩) وفي السطوح الصخرية المصقولة والتي تحتوي على الحزوز. كما تظهر بعض الاحواض الصخرية المنخفضة في مناطق الصخور اللينة وتظهر بعض التلال المدورة التي تسمى بالصخور الغنمية roches moutinnees التي تكون ذوات سفوح قليلة الانحدار في الجوانب المواجهة للحركة الجليدية وشديدة الانحدار في الجوانب المعاكسة (٥٥).

(55) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 300

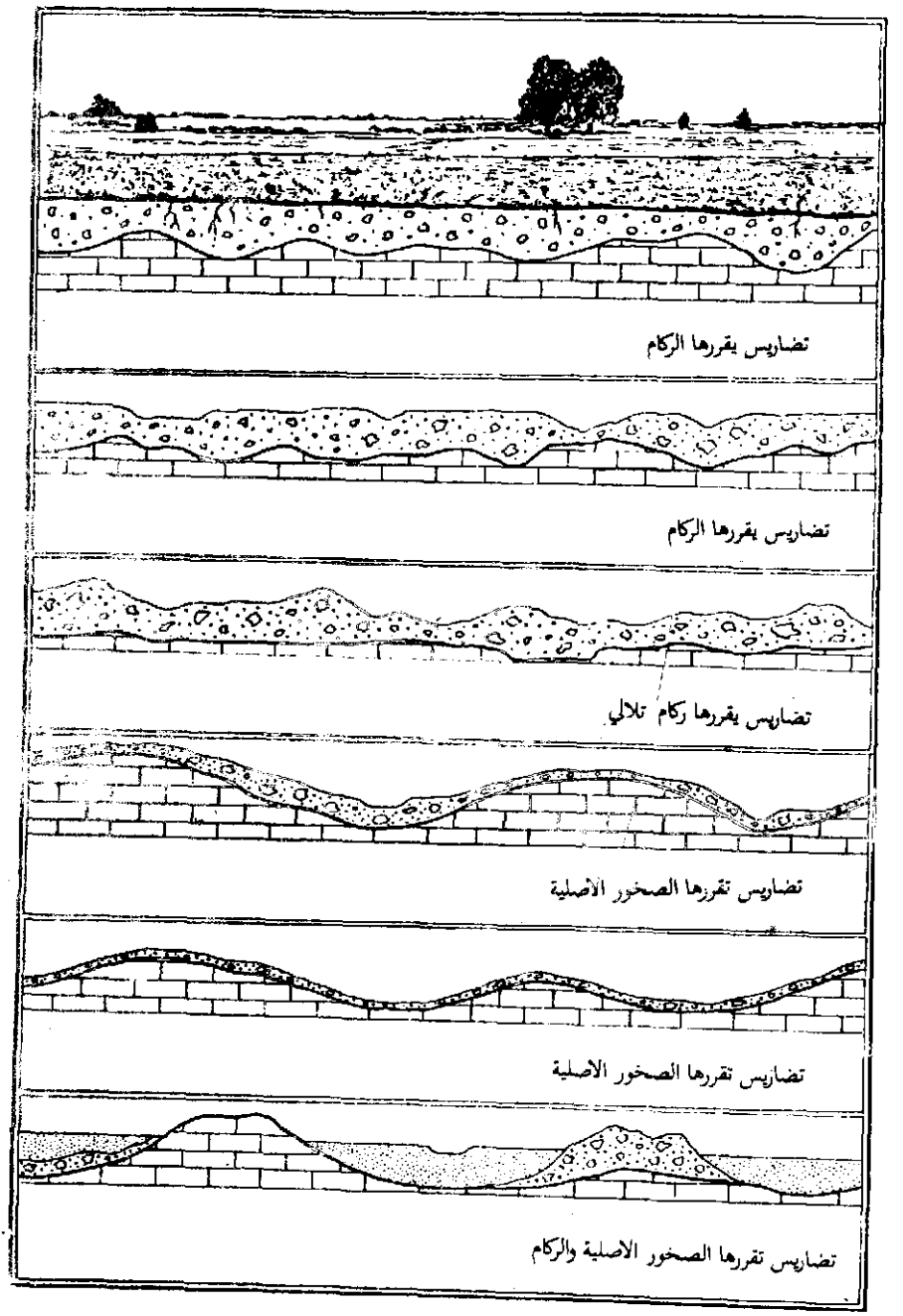
يكون التباين في الإشكال الارضية الناتجة عن الترسيب الجليدي الذي تقوم به الثلاجات القارية كبيراً جداً. وتشبه تلك الاشكال مثيلاتها التي تكونها ثلاجات الوديان فيما عدا انها تكون بمقياس كبير جداً. اذ يمكن تمييز الانواع التالية من الركامات تبعاً لموقعها بالنسبة الى الغطاء الجليدي. وهي الركامات النهائية والتراجعية والركامات الموجودة بين الالسنة او (الفصوص) الجليدية interlobate وكذلك الركامات الارضية. يتشكل الركام النهائي عند المكان الذي توقفت فيه الثلاجة نهائياً. ويطلق الركام التراجعي على الركامات النهائية التي تتشكل في الفترات التي تتقدم او تتراجع فيها نهاية الغطاء الجليدي. ويتكون معظم الركام النهائي في ترسيب جليدي فقط till غير ان بعض آثار للترسيب النهري تظهر عليه عند الحافات الخارجية لذلك الركام. ولايختلف شكل التضاريس في الركامات النهائية عن ذلك الذي يسود في الركامات النهائية من ثلاجات الوديان الا في سعة المقياس. اذ تنتشر فيها ايضاً المنخفضات التي تحيط بها التلال والتي تعرف بتضاريس العقدة والحوض knob and basin. ويتجاوز سمك الرواسب الجليدية التي تكون الركام النهائي مئات عديدة الامتار كما يبلغ الفرق في التضاريس فيها حوالي ٣٠ متراً احياناً (٥٦).

توجد الركامات المحصورة بين الالسنة الجليدية Interlobates في الزوايا الواقعة بين حافات لسانين منعزلين، وهي اماكن صالحة جداً لتكوين رواسب تقوم المياه عادة بنقلها. وتحتوي مثل هذه الركامات على الـ Kame وسهول الغسل الجليدي . تحتوي الركامات الارضية على مواد متنوعة تغطي الارض التي كان الجليد يحتلها في الماضي. وتكون التضاريس الناتجة عنها بشكل سهول عادة اذا كانت الركامات الارضية سميكة بدرجة كبيرة تكفي لتغطية الصخور الاصلية. ونجد ان تأثيرها يكون قليلاًعلى التضاريس الاصلية اذا كانت تكون طبقة رقيقة (شكل رقم ٧٩).

توجد فوق المناطق التي غمرها الجليد اضافة الى الركامات المختلفة بعض الاشكال الجيومورفولوجية التي تكون ناتجة عن عمليات الترسيب الجليدية او الجليدية المائية اهمها :

---

(56) Flint, op. 309



شكل ــ ٧٩ ــ تأثير الركام الجليدي الارضي على التضاريس

١ــ تلال الدراملين Drumlins

وهي تلال منتظمة ومدورة طولية الشكل تشبه في شكلها نصف بيضة مقطوعة طولياً. ويواجه جانبها ذو الانحدار الشديد نسبياً الجهة التي يأتي منها الجليد. تختلف هذه التلال في احجامها اختلافاً كبيراً حيث يتراوح طولها بين عدة امتار الى عدة كيلومترات مع ارتفاع يقرب من ٥٠ متراً. وتوجد تلال الدرامين اما بصورة منفردة او بشكل مجموعات فتعرف انذاك بحضاريس (سلة البيض) (٥٧). وتوجد باعداد كثيرة احياناً اذ يوجد نطاق للدرامين في شمال وسط ايرلندا وحوالي ٤٠٠٠ واحدة منها في الشرق الاوسط من ولاية وسكونسن في الولايات المتحدة و ٣٠٠٠ في جنوب وسط نيوانكلند. وفي فنلندا توجد حوالي ١٤٥٠٠ دراملين في مساحة تقدر بـ ٢٥٠٠٠ كم٢ (٥٨).

يتكون معظم الدراملين من طين ممزوج بالصخور. وقد وضعت عدة نظريات لتفسير اصل هذه التلال البيضوية بعضها يقول انها عبارة عن رواسب ركامات غطيت بتقدم جليدي لاحق. من ناحية اخرى تشير معظم الدلائل الى ان الدراملين عبارة عن ارسابات اصلية تحت جليد محمل كثيراً بالرواسب. ويرتبط وجودها مع الشقوق الجليدية الاشعاعية الشكل في اللسان الجليدي والتي تنزل من خلالها كثير من الرواسب الى اسفل الغطاء الجليدي. ويفترض ديفز انها تشبه الحواجز الرملية الموجودة في الانهار (٥٩). هذا وقد اظهرت عمليات الحفر التي جرت في بعض الدراملين على وجود مراكز صخرية اصلية لها كما اظهرت تلك العمليات على ان البعض الاخر يتكون كلياً من الارساب الجليدي (شكل رقم ٨٠).

٢ــ الصخور الضالة : Erratics او Erratic Blocks

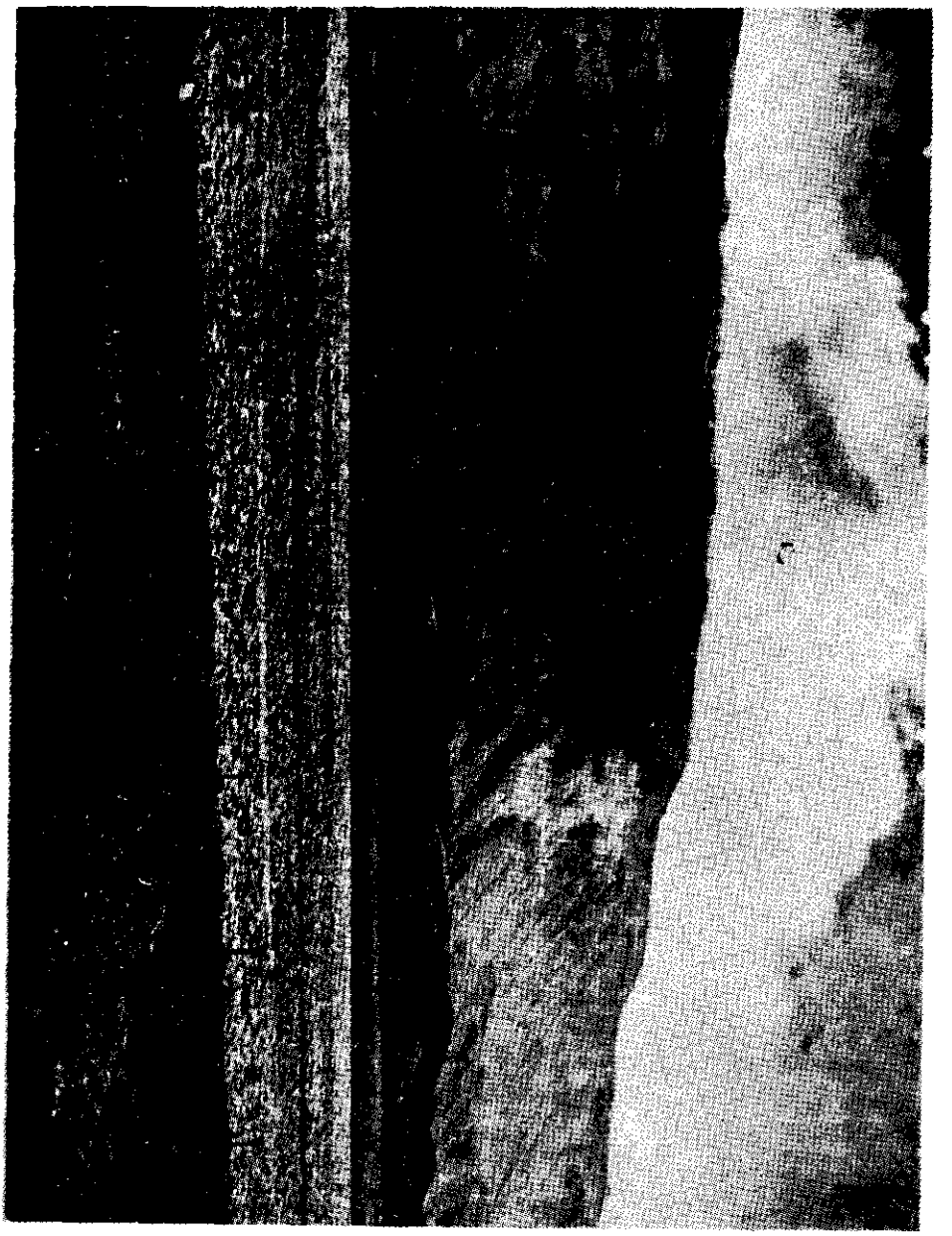
اظهرت الدراسات التي اجريت على الصخور الجليدية ان معظمها ذو مصدر محلي. غير ان القليل منها يكون قد نقل من مناطق اخرى. بعبارة اخرى ان هذه الصخور القليلة قد جلبت بوساطة الجليد القاري وارسبت وتعرف هذه الصخور باسم الصخور الضالة (erratics) اذ لاتوجد اية علاقة بينها وبين صخور

---

(57) Harry Robinson, Op. Cit., p 269

(58) Brian S. John, Op. Cit., p. 128

(59) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 307



شكل ــ ٨٠ ــ مجموعة من تلال الدراملين البيضوية الشكل

المنطقة التي توجد عليها حالياً . فعلى سبيل المثال توجد صخور ضالة في شمال انكلترا من الكرانيت الداكن اللون تستند على صخور جيرية فاتحة اللون . كما انها توجد فوق مستوى اعلى من مستوى مصدرها الامر الذي يؤكد على ان الجليد قد قام بنقلها الى هذا المستوى . ويستطيع الجيولوجيون من خلال تتبعهم لمواقع الصخور الضالة في منطقة معينة ان يعرفوا اتجاهات حركة الجليد الذي كان يغطيها (٦٠) ويكون للقسم الاعظم من الصخور الضالة حجوم ليست بالكبيرة جداً بحيث يسهل رفعها واستعمالها في البناء مثلاً كما فعل ذلك الاوربيون منذ الاف عديدة من السنين . غير ان هنالك بعضاً من تلك الصخور يكون ذا احجام كبيرة جداً (شكل رقم ٨١) . ففي المانيا توجد قطعة ضالة من الصخور الاصلية يبلغ طولها ٤ كم وعرضها ٢ كم وسمكها ١٢٠ متراً . وقد عرف في الولايات المتحدة وجود صخرة ضالة نقلها الجليد يبلغ وزنها ١٣٧٠٠ طن (٦١)

٣ــ الاشكال الترسيبية الجليدية ــ المائية :

كما ذكرنا سابقاً فان قسماً كبيراً من الرواسب التي ينقلها الجليد القاري تقوم المياه الجارية الناشئة عن ذوبان الجليد بنقلها وترسيبها بشكل متجانس وطباقي على خلاف ما عليه الحال بالنسبة الى الترسيب الجليدي وتتكون من جراء ذلك مجموعة من الاشكال الترسيبية التي لاتختلف عما ذكرناه بالنسبة الى الاشكال الترسيبية المائية ــ الجليدية في ثلاجات الوديان الا من حيث السعة .

تعتبر سهول الغسل الجليدية من الاشكال الترسيبية المهمة حيث تقوم الانهار التي تخرج من الغطاءات الذائبة بنقل كميات من الحصى والرمل والغرين . وتستمر هذه الانهار في حملها لهذه المواد لمسافة بعيدة اذا كان الانحدار كافياً بحيث يجعل الانهار تجرى بسرعة . غير ان معظم المواد الخشنة الذرات ترسب مباشرة حالما تخرج الانهار من الجليد في معظم الاقاليم وتظل المواد ذوات الذرات الناعمة منقولة الى مسافات بعيدة نسبياً ويتكون من جراء هذا الترسيب مايعرف باسم سهول الغسل الجليدي .

---

(60) W.G. Moore, Op. Cit., p. 27

(61) W.G. Moore, Op. Cit., p. 27

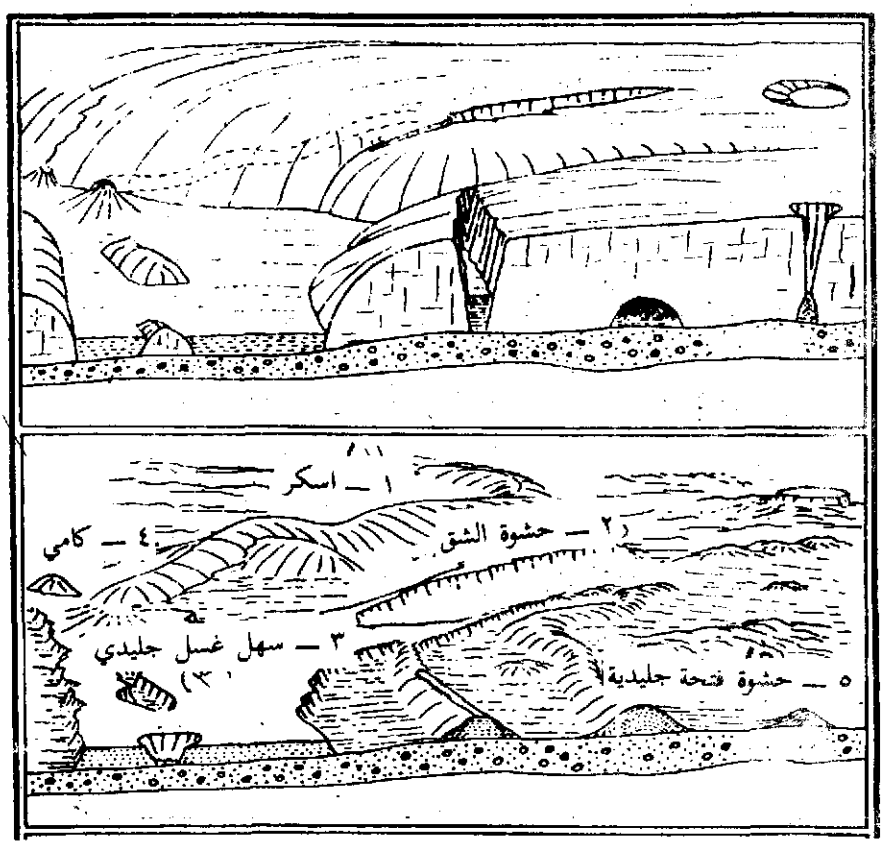
شكل ــ ٨١ ــ صخرة ضالة نقلها الجليد القاري

توجد سهول الغسل الجليدي مرتبطة في العادة مع الركامات النهائية وينشأ من جراء تكرار عملية الترسيب هذه سهول ذوات اشكال مروحية عند نهاية السنة الجليد يمكن ان تغطي كل اشكال التضاريس السابقة في المنطقة.

ويطلق على سهول الغسل الجليدي اسم قطارات الوديان Valley Trains عندما تملأ عملية الترسيب قيعان اودية سابقة. وتنتشر في كثير من جهات سهول الغسل منخفضات تحتلها البحيرات Kettles في الاغلب.

وتعتبر تلال اسكر esker من الاشكال التضاريسية الترسيبية المائية الجليدية وهي عبارة عن سلسلة ترسبت بوساطة نهر جليدي كان يجري في نفق جليدي وقد يصل طول هذه التلال الى حوالي ٢٤٠ كم وارتفاعها ٥٠ متراً. ويلتوي معظم تلال الاسكر. ويوجد الاسكر اكثر ما يوجد عليه فوق السهول التي تغطيها المستنقعات حيث تكون الاراضي التي تحيط به من الجانبين منخفضة.

اما الـ Kame فهي عبارة عن شكل ترسيبي يكون بصورة تل مخروطي يتكون من الحصى او الرمل وتترسب بشكل دلتا صغيرة مخروطية او تترسب في منخفض يمتد على طول جبهة الجليد او خلال شق او فتحة في الجليد نفسه. اما حشوة الشق Crevasse Filling فهي عبارة عن حافة مكونة من ارسابات متجانسة تكون مرتبطة مع سهل غسل جليدي ونشأت من الترسيب الذي حصل داخل الشقوق (٦٢) (شكل رقم ٨٢).



شكل ــ ٨٢ ــ رواسب مائية ــ جليدية يمثل المخطط الاول ثلاجة قارية ويمثل المخطط الثاني الاشكال الترسيبية التي تظهر بعد ذوبان تلك الثلاجة

(62) A.K. Lobeck, Op. Cit., pp. 308-313.

الفصل السادس

الرياح واثرها الجيومورفولوجي

يمكن ان يصنف ثلث مساحة سطح الارض باعتباره مناطق جافة او شبه جافة ويعني ذلك ان ظروف الصحراء والظروف الصحراوية تسود في هذا الثلث من سطح الارض. وليس من السهولة بمكان استعمال بعض المصطلحات الجغرافية كالصحراء او الجفاف قبل ان نتأكد مما نقصده بالصحراء وما يعنيه المناخ الجاف فليس هناك تعريف مقبول ومتفق عليه كليا عن الصحراء غير انه يمكن القول، على اية حال، ان الصحراء تتميز بقلة الرطوبة. وينعكس هذا بدوره على قلة وتحدد الكائنات الحية التي يمكن ان توجد في هذه البيئة الصحراوية فندرة الغطاء النباتي تعتبر من بين اهم المظاهر الصحراوية ويكون النبات الموجود من الانواع التي تكيفت تماما للعيش في الظروف الصحراوية. وينطبق الشي نفسه بالنسبة الى الحياة الحيوانية. يمكن ان يعرف المناخ الجاف بانه ذلك المناخ الذي يتبخر فيه كل المطر الذي يبقى على سطح الارض بعد سقوطه. ومن المهم ان نؤكد هنا انه ليس شرطاً ان يرتبط الجفاف بقلة كمية الامطار الساقطة ذلك لان هناك مناطق لاتستلم الاكميات قليلة من الامطار دون ان تصبح مناطق صحراوية جافة. وبذلك فأن عملية التبخر هي العامل المهم في تقرير ذلك. وتحاول معظم التصانيف المناخية ان تؤكد ذلك عندما تقرر طبيعة المناخ الجاف.

ولاتوجد في الحقيقة حدود فاصلة في المناخ والتضاريس بين الاقاليم الرطبة والمناطق شبه الجافه كذلك الحال بالنسبة الى الحدود بين المناطق الصحراوية الجافة والمناطق شبه الجافة وسوف نعتبر على اية حال المناطق شبه جافة اذا كانت كمية مطرها السنوى بين ٣٠ ــ ٦٠ سم. ونعتبر المناطق صحراوية اذا كانت كمية امطارها اقل من ذلك .ويعرف بعض الباحثين الصحاري بانها المناطق التي لايمكن لها ان تنشأ تصريفاً مائياً خارجياً يصل الى المحيط .

تكون الانهار عوامل التعرية الرئيسية في الاقاليم الرطبة ويقل فيها التأثير الجيومورفولوجي للرياح على خلاف ما يحدث في الاقاليم الصحراوية التي تعتبر الرياح فيها عوامل التغيير الاساسية لمظاهر سطح الارض فيها. هذا وتكون الانهار الدائمية نادرة الوجود في مناطق الصحاري وهي من نوع الانهار الدخيلة exioted اذا ما وجدت فيها كما في انهار النيل ودجلة والفرات والسند ونهر كلورادو ... الخ وتنتشر في الاقاليم الصحراوية الانهار الوقتية والفصلية الجريان التي تتكون من جراء الامطار الوقتية الغزيرة أومن جراء ذوبان الثلوج في الجهات المرتفعة المجاورة. وتسود فوق الصحاري التجوية الميكانيكية اكثر مما عليه التجوية الكيمياوية ولايظهر وجود للغطاء النباتي في كثير من جهات الاقاليم الصحراوية ويكون نادراً في مناطق اخرى .

تنشأ التضاريس في الاقاليم الصحراوية من خلال النشاطات المترابطة لعدة عمليات للتعرية كالرياح والتجوية والمياه الجارية (١) .

عمل الرياح

لاتختلف الرياح عن بعض عوامل التعرية الاخرى مثل الأنهار والثلاجات اذ انها تقوم بتعرية الصخور التي تواجهها وتنقل الحطام الصخري المفكك من مكان الى اخر وتقوم ايضاً بعملية الترسيب في مواقع معينة اخرى. وتشبه الرياح الانهار والجليد في أن عملها في تعرية الصخور يكون اسرع اذا كانت محملة بذرات الصخور المختلفة. وينشأ من جراء عمل الرياح مجموعة متنوعة من التضاريس الارضية التي توجد في ثلاثة انواع من الصحاري هي :

---

(1) P. Worcester, Op. Cit., p. 215.

١ــ الصحاري الصخرية وتعرف عادة بأسم صحاري الحمادة Hamada وتتألف هذه الصحاري من سطوح صخرية تنكشف فيها الصخور الاصلية عادة مع وجود بعض البقع التي تغطيها الحصى والرمال .
٢ــ الصحاري الحجرية Stony Deserts وتغطي سطوحها الحجارةالمحطمة والحصى المتنوع وتسمى عادة بصحاري الرق Reg في الجزائر والسرير في ليبيا وجمهورية مصر العربية .
٣ــ الصحاري الرملية وتعرف عادة بصحاري العرق . Erg (٢) .

تعرية الرياح

تقوم الرياح بتعريتها للصخور من خلال عمليتين هما :

١ــ عملية التفريغ deflation وتعني عملية ازالة المواد الصخرية المفككة اما برفعها او دحرجتها . وتعرف أحياناً بعملية التذرية .
٢ــ عملية الصقل abrasion التي تقوم بها الرياح من خلال ضربها للسطوح الصخرية بوساطة ماتحمله من ذرات الرمل وذرات الصخور الاخرى . وبذلك فأن عملية التفريغ تتم من خلال حركة الهواء فقط بينما لايمكن لعملية الصقل ان تتم دون وجود ادوات القطع والنحت المتمثلة بذرات الصخور المختلفة (٣) .

١ــ عملية التفريغ Deflation

كما ذكرنا قبل قليل فأن عملية التفريغ تعني الازاحة الكاملة للذرات الدقيقة من الصخور من منطقة ما بوساطة الرياح تاركة المواد ذوات الذرات الثقيلة التي لاتستطيع الرياح رفعها . يمكن لهذه العملية ان تتم في مختلف الاقاليم المناخية غير أنها تسود اكثر ما تسود في الاقاليم الجافة وشبه الجافة ، فقد قدر بعض الباحثين على سبيل المثال بأنه ماسمكه ٢٫٤ متراً من تربة بعض اجزاء دلتا النيل قد فرغت بوساطة الرياح خلال الـ ٢٦٠٠ سنة الاخيرة (٤) . وقد تعرضت اجزاء واسعة من منطقة السهول العظمى في الولايات المتحدة لعملية التفريغ خلال هذا القرن عندما قامت

(2) A. Holmes Op. cit., p. 750.
(٣) ويلاحظ القارىء ان المصطلحات العربية هي التي تسود في كثير من المظاهر الارضية الصحراوية لان مساحة واسعة من ارض الوطن العربي تتكون من الصحراء .
(4) P. Worcester, Op. Cit., p. 217.

الرياح بنقل كميات هائلة من التربة التي تعرض تماسكها للتفكك بسبب عمليات الحراثة المتواصلة لها. وقد تسبب عن ذلك حدوث كثير من العواصف الغبارية التي تتجه شرقاً حتى ساحل المحيط الاطلسي احياناً. كما حدث الشيء نفسه في الجهات الجنوبية من الاتحاد السوفياتي. علماً بأن المناخ في هذه المناطق يكون رطباً او شبه جاف ويعني ذلك ان عملية التفريغ تزداد حده في الاقاليم الصحراوية التي تكون الرياح فيها اكثر استمرارية واشد نشاطاً وسرعة.

يوجد في الجهات الجنوبية من ولاية نيومكسيكو وفي ولاية تكساس في الولايات المتحدة أحواض تقع بين الجبال تعرف بأسم البولسون Bolson وهي منخفضات ناتجة عن عملية التفريغ التي تقوم بها الرياح. ويتغطى سطح بعض هذه الاحواض برواسب طموية سميكة قامت بترسيبها الانهار الوقتية التي تنبع من الجبال التي تحيط بتلك الاحواض. غير أن قسماً اخر من تلك الاحواض تكون ذات تيعان صخرية (شكل رقم ٨٣).

ويعتقد ان السهول الصحراوية الموجودة في صحراء كلهاري تعود الى عملية التسوية التي تقوم بها الرياح. وتعتبر صحاري الحمادة نتاجاً اساسياً لعملية التفريغ ايضاً حيث تقوم الرياح بالتقاط ذرات الرواسب الدقيقة وتترك الحصى والحجارة في مكانها مكونة مايعرف بأسم الصحاري المرصوفه Desert Pavements او الحمادا (شكل رقم ٨٤).

تستطيع الرياح حتى في الاقاليم الاقل جفافاً ان تعمل بعض التجاويف الضحلة الدائرية الشكل في المناطق التي تكون الصخور فيها ذوات صلابة اقل من الصخور الاخرى المجاورة لها وحيث يكون النبات قليلاً وتعرف هذه بأسم blowouts (٥). هذا ويعتقد ان قد تكون بهذه الطريقة كثير من المنخفضات الموجودة في الصحراء الغربية في مصر كما في منخفض القطارة والمنخفضات الصغيرة الاخرى المجاورة له والتي تقع كلها دون مستوى سطح البحر وكذلك الحال في مناطق الواحات الصحراوية المشهورة في مصر مثل واحة الفرافرة وسيوة والداخلة والخارجة (٦).

(5) A. K. Lobeck. Op. Cit., p. 379.
(6) A. Holmes, Op. Cit., p. 752.

شكل ـ ٨٣ ـ
صحراء صخرية في راجستان بالهند

شكل ـ ٨٤ ـ
صحراء حمادة حجرية في ليبيا

٢ـ عملية النحت (الصقل) Abrasion

لاتكون الرياح القليلة السرعة الا تعرية ميكانيكية قليلة للصخور غير أن الرياح القوية تستطيع بوساطة ماتحمله من حطام صخري كذرات الرمال والحصى الصغيرة ان تقوم بصقل وتعرية مايواجهها من صخور. وتشبه الرياح في هذه الحالة المياه الجارية. ويزداد تأثير الرياح بوساطة عملية الصقل اضافة الى ماتقدم، في المستويات القريبة من سطح الارض حيث من النادر ان تكون الرياح قادرة فيها على أن

ترفع ذرات الرمل الى مسافة تزيد عن ٩ر٠ من المتر او المتر الواحد علماً بأن معظم ذرات الرمل التي تستخدمها الرياح كادوات للنحت والتعرية تتركز خلال ٥ر٠ متر من سطح الارض (٧). كما تلعب درجة مقاومة الصخور دوراً مهماً في تقرير مقدار تأثرها بالتعرية الناتجة من عمل الرياح حيث تكون الصخور اللينة اكثر تأثراً بتلك العملية منها في الصخور الشديدة الصلابة.

يزداد تأثير الرياح في الصقل بوضوح في الاقاليم التي تسود فيها رياح هابة من اتجاه واحد تقريباً. فقد تاكلت من جراء ذلك اسلاك التلغراف التي مدت على طول سكة حديد عبر قزوين الى حوالي نصف اقطارها خلال احدى عشر سنة فقط. وقد قطعت اعمدة التلغراف الخشبية الموجودة في جنوب غرب الولايات المتحدة بوساطة الرمال التي تعصفها الرياح الامر الذي ادى الى ضرورة حمايتها بالكونكريت او الصخور (٨).

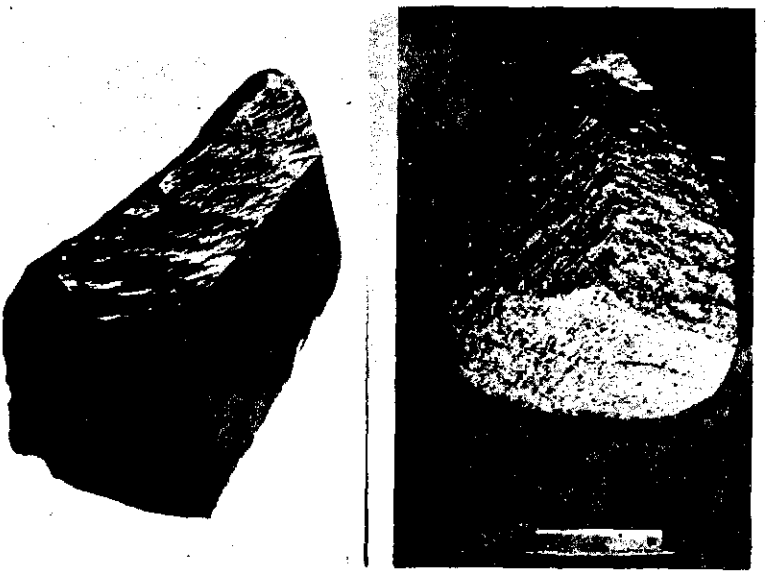
تعتبر الحصى والصخور ذوات الاوجه ventifacets او dreikanter وتعني (ذوات الجوانب الثلاث في اللغة الالمانية) نتاجاً مهما من نتائج عملية الصقل التي تقوم بها الرياح في الصحاري الحجريه حيث تسود رياح قوية. اذ تقوم الرياح بصقل الجانب المواجه لها من تلك الصخور بصورة مستمرة بوساطة ماتحمله من ذرات الصخور كالرمال مثلاً. ويختلف شكل اوجه تلك الحصى تبعاً لاتجاه الرياح ومقدار سرعتها ويكون شكلها العام مشابهاً للنبات الذي يعرف بأسم جوز البرازيل (شكل رقم ٨٥). ويكون للبعض الاخر منها حافة واحدة فقط فتعرف آنذاك بأسم Einkanter (٩). واليارداتك Yardang مظهر ارضي اخر من المظاهر الناتجة عن التعرية الميكانيكية (النحت والصقل) الذي تقوم به الرياح. ويتكون اليارداتك من مجموعة من الحافات المرتفعة والوديان المتوازية مع بعضها البعض. ويصل حجم بعض الوديان الى عدة كيلومترات طولاً وكيلومتر عرضاً وتكون قيعانها حجرية في بعض الحالات وقد تغطيها الرمال احياناً وترتفع الحافات الصخرية الى حوالي ٥٠ متراً (شكل رقم ٨٦). وتمثل الوديان مناطق الصخور القليلة المقاومة التي استطاعت تعرية الرياح ان تؤثر فيها بشكل كبير في حين تحتل الحافات مناطق الصخور الصلبة

---

(7) H. Robinson, Op. Clt., p. 297.

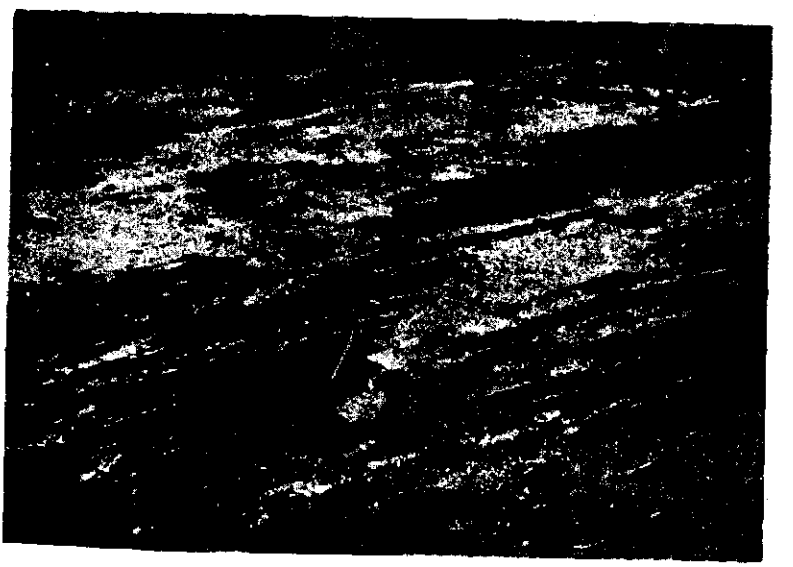
(8) P. Worcester, p. 216.

(9) J. A. Mabbutt, Desert Landforms, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1977, p. 146.



شكل ـ ٨٥ ـ

الحصى ذوات الأوجه التي كونتها تعرية الرياح



شكل ـ ٨٦ ـ

الياردانك في صخور رملية في جمهورية تشاد

التي لم تؤثر فيها تعرية الرياح كثيراً (١٠). واشهر المناطق التي تتمثل فيها هذه الظاهرة في جنوب غرب الولايات المتحدة وفي صحاري وسط آسيا وايران (١١) وتتكون الـ Zeugen في مناطق اليارداتك التي تتكون حافاتها من طبقات صخرية غير منتظمة في صلابتها (١٢). وحين تكون الطبقات السفلى اقل صلابة من الطبقات العليا تتعرض الى تعرية شديدة في حين تظل الطبقات العليا بعيدة عن التعرية المركزة. ويطلق على الاشكال الناتجة عن هذه العملية اسم الصخور التي تشبه نبات الفطر mushroom او تعرف بأسم الاعمدة الصخرية Pedestal Rocks (١٣).

نقل الرياح:

تنتقل المواد الصخرية المفككة بوساطة الرياح بطرق ثلاثة هي التعلق Suspension والقفز Saltation والدحرجة. ان تفسير ميكانيكية عملية النقل التي تقوم بها الرياح معقدة غير انه يمكن ايجازها بالآتي: يوجد نطاق رقيق جداً يقع فوق سطح الارض مباشرة حيث لاتوجد في هذا النطاق اية حركة للهواء ان لم تكن توجد فيه حركة ضعيفة جداً. ويعتمد سمك هذا النطاق على حجم ذرات الصخور التي تغطي سطح الارض. ويبلغ سمكه حوالي $\frac{1}{30}$ من قطر ذرات الصخور الموجودة على سطح الارض. فاذا كان معدل قطر تلك الذرات ٣٠ ملمتر فأن سمك ذلك النطاق سيكون ملليمتراً واحداً. وتزداد سرعة الرياح بسرعة فوق ذلك النطاق مع الارتفاع وتظهر فيها الدوامات وحركات اضطراب سريعة نحو الاعلى او الاسفل او نحو الجانبين إضافة الى الاتجاه العام لحركة الرياح. وقد دلت التجارب على أن سرعة الحركة الصاعدة للهواء خلال تلك الدوامات يبلغ حوالي $\frac{1}{5}$ معدل السرعة العامة للرياح. وتلعب هذه الحالة دوراً مهماً في قابلية الحمل والنقل للرياح.

لقد اظهرت تحاليل المواد التي تنقلها الرياح انها تقع من حيث الحجم

---

(10) J.A. Mabbutt, Op. Cit., p. 150.

(11) Twindall, Op. Cit., p. 289.

(12) Ronald U. Cooke and Andrew Warren, Geomorphology in Deserts, Batsford, London, 1973, 251.

(13) W. Thornbury, Op. Cit., p. 289.

ضمن مجموعتين : مواد ذوات اقطار تقل عن ٠,٠٦ ملمتر والتي تصنف على أنها غبار ، ومواد تزيد اقطار جزيئاتها عن ذلك والتي تصنف على انها رمال . تلتقط ذرات الغبار التي تضم الذرات الناعمة من الطين والغرين الى الاعلى بوساطة الرياح وتنقل بطريقة التعلق. تظل هذه الذرات مرفوعة بوساطة الحركات الدوامة ولذلك يمكن ان تنقل الى مسافات بعيدة تصل حتى ١٦١٠ كم. يمكن للهواء ان يرفع الغبار لارتفاعات عظيمة فعلى سبيل المثال وصل سمك عاصفة غبارية حدثت في الثلاثين الثاني من عام ١٩٣٣ في الولايات المتحدة الى ارتفاع ٢٧٤٠ متراً (١٤). وكانت هذه العاصفة قد بدأت في ولاية نبراسكا وولايتي داكوتا الشمالية والجنوبية وسارت باتجاه ولاية نيويورك بمعدل سرعة يبلغ ٦٩ كم في الساعة. وقد غطت هذه العاصفة حوالي ١,٥٠٠,٠٠٠ كم ٢ (١٥). ويعتقد بعض الباحثين انه يوجد ثلث كمية من سطح الارض غبار قادم اليها من مناطق اخرى ويتأكد هذا القول من ناحية ان الرياح يمكن لها ان تنقل الغبار الى اماكن بعيدة عن مصادرها فعلى سبيل المثال يصل الغبار القادم من الصحراء الكبرى الى انكلترا احياناً رغم ان تبعد عنها بحوالي ٣٢٠٠ كم. وقد سجل وصول كميات من الغبار البركاني القادم من ايسلندا الى شبه جزيرة اسكندنافية مرات عديدة (١٦). ولقد قذف الرماد البركاني الى مستويات عالية في الهواء عند ثورة بركان كاركاتوا في اندونيسيا في عام ١٨٨٣ وبقي عالقاً في الهواء لفترة طويلة بعد أن احاط بالارض احاطة كاملة.

وتستطيع عواصف الغبار (شكل رقم ٨٧)ان تنقل كميات هائلة من ذرات الغبار من مكان الى اخر ، ففي عاصفة واحدة حدثت بين ٩ — ١٢ مارت ١٩٠١ وغطت مساحة قدرت بـ ٧٥٠٠٠٠ كم ٢ من اليابسة و ٤٤٠٠٠٠ كم ٢ من المحيط رسبت كمية كمية من الغبار تقدر بـ ١,٩٦٠,٤٢٠ طن. وكانت هذه العاصفة قادمة من الصحراء الكبرى بأتجاه المحيط الاطلسي. وقد سجلت مثل هذه الكمية من الترسيب في عواصف الغبار التي تحدث في استراليا والاتحاد وشرقي آسيا وفي كثير من الاقاليم الصحراوية الاخرى (١٧).

(14) H. Robinson, Op. Cit., pp. 299-302.
(15) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 381.
(16) Ibid.
(17) P. Worcester, Op. Cit., p. 220.

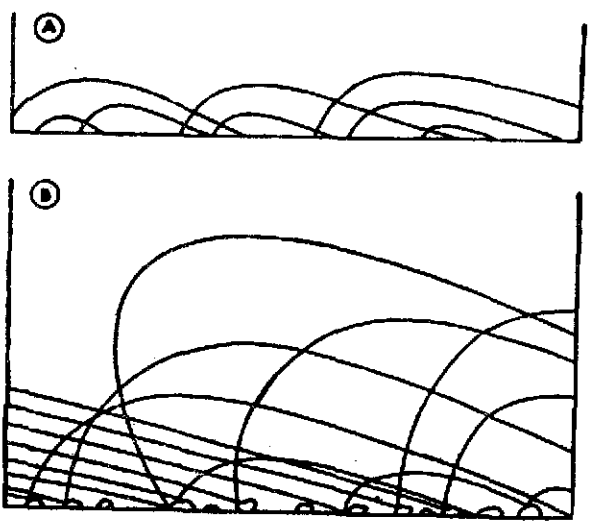
شكل ــ ٨٧ ــ
صورة الى عاصفة غبارية

تنقل المواد التي تزيد اقطار ذراتها عن ٠٫٠٦ ملم بطريقتي القفز والدحرجة على سطح الارض. وتشبه عملية النقل بالقفز تلك التي تقوم بها الانهار عند نقلها للمواد الخشنة الذرات على طول مجاريها. اذ تقوم تيارات الهواء المرتفعة الى الاعلى بسبب الحركة الاضطرابية للرياح بنقل ذرات الرمال نحو الاعلى ثم تسقط هذه الذرات خلال حركتها الافقية مع الاتجاه العام للرياح. ومن ثم يتكون مسار لذرات الصخور المتحركة يتألف من صعود قصير شبه عمودي مع نزول منحدر طويل نسبياً (شكل رقم ٨٨). وتعيد تلك الذرة عند سقوطها على سطح الارض حركتها ثانية او أنها تبدأ القفز ثانية عند ارتطام ذرة رمل اخرى بها. يعتمد مقدار الارتفاع الذي تصل اليه ذرات الصخور عند قفزها على مقدار سرعة حركة تلك الذرات الصخرية والتي تعتمد بدورها على مقدار سرعة الرياح وكذلك على طبيعة سطح الارض. اذ يكون ذلك الارتفاع على السطوح الحصوية اكثر من الارتفاع الذي ينجم عن القفز فوق

سطوح رملية. ولا يمكن للقفز ان يزيد بأية حال من الاحوال عن ١ر٨ متراً فوق سطح الارض (١٨).

ترسيب الرياح:

تترسب كافة المواد الصخرية التي نقلتها الرياح والتي تتباين طرق نقلها تبعاً لاحجامها من ذرات دقيقة تنقلها الرياح بطريقة التعلق الى ذرات خشنة تنقل بطريقتي الدحرجة والقفز. ويتم ذلك الترسيب حالما تبدأ سرعة الرياح بالتناقص. تتناقص سرعة الرياح اما عند اقترابها من مناطق الضغط الخفيف التي سببت حركة تلك الرياح او من جراء وجود عوارض متنوعة. ان اهم الاشكال الجيومورفولوجية الناتجة عند ترسيب الرياح هي:



شكل ــ ٨٨ ــ

مخطط بين كيفية انتقال الذرات الخشنة

بوساطة الرياح

A ــ ذرات الرمل

B ــ الحصى الصغيرة

(18) B.W. Sparks, Op. Cit., p. 246.

١ــ تربة اللويس :

اللويس كلمة المانية تطلق على تجمع الرواسب الدقيقة الذرات التي قامت بنقلها الرياح. وتنقل تلك الترسبات عبر مسافات طويلة بوساطة رياح قوية وثابتة الاتجاه من مناطق صحراوية او شبه صحراوية نحو اقاليم اكثر رطوبة حيث تقوم الامطار بانزالها من الغلاف الجوي ثم تتراكم وتستقر في تلك الاقاليم. ولقد درست ترسبات اللويس لاول مرة من قبل الجيولوجي الالماني فون ريشتهوفن Von Richthofen في شمال غرب الصين حيث تنتشر تلك الترسبات فوق مساحات واسعة (١٩).

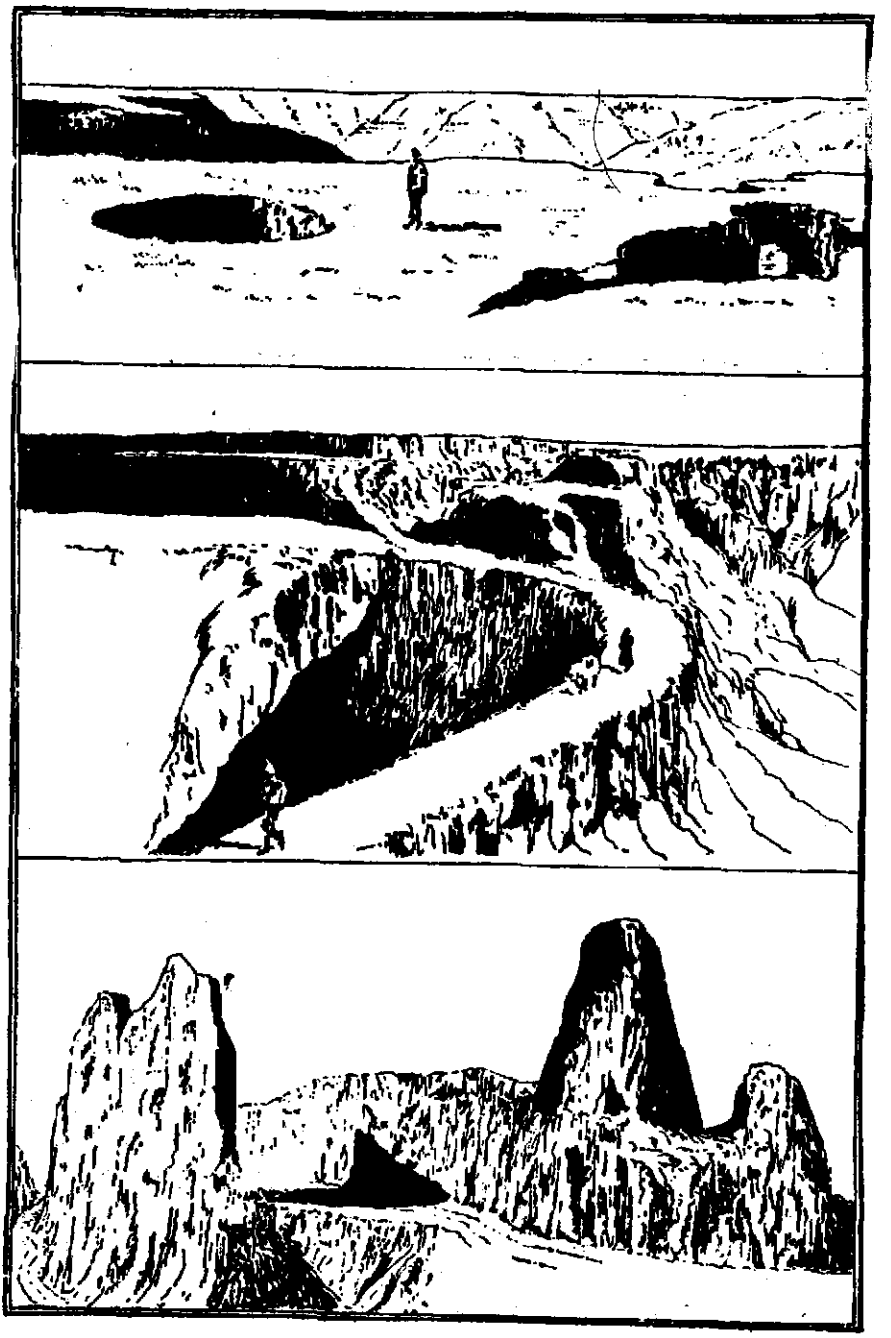
ان اهم ماتتميز به رواسب اللويس انها تتكون من ذرات دقيقة وتكون مساميه ولا تظهر فيها خاصية الطباقية. وتدل الصفة الاخيرة على انها ليست ناشئة من ترسيب نهري بل أنها ناتجة عن ترسيب هوائي aeolian. ويظهر فيها نوع من البنية العمودية نتيجة لتأثير سيقان وجذور النباتات التي دفنت خلال تراكمات اللويس. ويكشف لنا المقطع العمودي لتكوينات اللويس وجود عدد هائل من انابيب عمودية دقيقة تكون مرتبطة في العادة برواسب من كاربونات الكالسيوم المتخلف من تحلل المواد النباتية. وتفسر لنا هذه الخاصية كيف أن رواسب اللويس تبقى ثابتة، رغم سهولة تعريتها، على شكل حوائط شديدة الانحدار (شكل رقم ٨٩).

تختلف مصادر ترسبات اللويس من مكان الى آخر اذ يرجع اصل تربه اللويس الموجودة في الصين الى صحراء غوبي في وسط منغوليا. ويبلغ سمك تلك الرواسب حوالي ٣٥٠ متراً في بعض الاماكن. وقد ازالت انهار الصين الكبرى مثل نهر هوانك هو واليانكستي وروافدهما كميات هائلة من هذه التربة واعادت ترسيبها ثانية داخل سهولها الفيضية (٢٠).

توجد ارسابات اللويس في الولايات المتحدة في المناطق المجاورة للانهار الكبرى في وادي نهر مسيسيبي، ويبلغ سمك هذه الرواسب قرب الانهار حوالي ٣٠ متراً او اكثر من ذلك. ويتناقص سمك تلك الرواسب بشكل سريع كلما ابتعدنا عن المجاري النهرية. وقد قامت الرياح بنقل تلك الرواسب من السهول الفيضية في فترة

(19) H. Robinson, Op. Cit., p. 304.

(20) A. K. Lobeck, Op. Cit., p. 388.



شكل ــ ٨٩ ــ

بعض الاشكال التي تتكون نتيجة الى تعرض ترسبات

اللويس الى التعرية

انخفاض مناسيب المياه حيث تتعرض خلالها مساحات واسعة من الغرين والرمال الجافة الى الرياح القوية التي تهب في الاقليم. وقد كانت الانهار قد نقلت تلك الرواسب في الاصل من رواسب جليدية تقع الى الشمال. ويكمن بذلك الاختلاف بين رواسب اللويس في الصين والولايات المتحدة، في ان رواسب اللويس في الصين تكون ناتجة اصلاً من نقل الرياح ثم قامت الانهار باعادة ترسيبها في حين تكون رواسب اللويس في الولايات المتحدة نهرية في الاصل ثم قامت الرياح بنقلها.

تبدو رواسب اللويس في اوربا وكأنها جلبت من المناطق المجاورة التي تعرضت لاثر الجليد والتي تقع شمالها حيث قامت الرياح بنقل هذه الرواسب ثم أجرت الانهار تحويرات طفيفة عليها (٢١). وتتمثل تربة اللويس في اوربا بنطاق واسع الامتداد متقطع يمتد من حوض باريس عبر منطقة المرتفعات الهرسينية في المانيا وبولندا حتى جنوب روسيا. وتوجد ارسابات اخرى للويس في مناطق اخرى من العالم كما في تركيا وفي الارجنتين واستراليا.

٢ــ الكثبان الرملية:

تختلف الرواسب الرملية عن الرواسب الغبارية (اللويس) في انها تتجمع بشكل تلال متباينة في احجامها وامتداداتها واشكالها. يطلق على مثل هذه الرواسب الرملية اسم الكثبان dunes. وتتحرك هذه الكثبان عادة بصورة بطيئة مع الاتجاه الذي تهب اليه الرياح. تختلف الكثبان كثيراً في احجامها من امتار قليلة في الارتفاع وعدة امتار في الامتداد الى ان يزيد ارتفاع البعض منها اكثر من ٢٠٠ متراً ويزيد اتساع قواعدها عن ٩٠٠ متراً. ويتراوح ارتفاع معظم الكثبان الرملية في حدود ٣٠ متراً. وعلى الرغم من امكانية وجود الكثبان الرملية بصورة منفردة الا أن الشائع في وجودها ان يكون بشكل مجموعات تغطي مساحات واسعة تزيد عن الاف الكيلومترات المربعة في بعض الاحيان. ولا يقتصر وجود الكثبان الرملية على الجهات الصحراوية فقط انما يمكن ان توجد في بعض المناطق الساحلية التي تنكشف فيها مناطق رملية عند انحسار الماء عنها خلال الجزر. حيث يؤدي هبوب رياح قوية من المحيط باتجاه اليابسة الى نقل بعض تلك المواد الرملية وترسيبها في المناطق القريبة من

(21) A. K. Lobeck, Op. cit., p. 388.

الساحل. ولا تكون تلك الكثبان بنفس الحجم الذي عليه الكثبان الصحراوية ولا بنفس المساحة التي تشغلها. وتعتبر المنطقة التي تمتد على طول خليج بسكاي في فرنسا وكذلك سواحل بلجيكا وهولندا من المناطق المشهورة في العالم بالكثبان الرملية الساحلية. وتنشأ الكثبان الرملية ايضاً عل طول مجاري الانهار التي تجري فوق وديان عريضة في مناطق جافة او شبه جافة حيث تقوم الرياح بنقل المواد الرملية وترسبها بشكل كثبان رملية.

تقسم الكثبان الرمليه الى:

١ـ الكثبان الاعتراضية Transverse التي يكون امتدادها العام عمودياً مع الاتجاه العام للرياح في المنطقة. وتنشأ من رياح معتدلة في سرعتها وتهب من اتجاه واحد. ومن امثلتها التموجات الرملية وسلاسل الكثبان الرملية الاعتراضية والتي تتكون من سلاسل من كثبان ذوات قمم متموجة، ويتصف جانبها المواجه للرياح بأنه ذو درجة انحدار قليلة من حين تزداد شدة الانحدار على الجانب الاخر المعاكس للرياح. وتمتد بعض الكثبان الاعتراضية بصورة مستمرة لمسافات طويلة. وتتحول هذه السلاسل في المناطق التي لايكون وجود الرمل فيها كافياً الى تلال هلالية الشكل تعرف بأسم الكثبان الهلالية البارخان (Barchan) (شكل رقم ٩٠). وتمتد اذرع البارخان مع الاتجاه العام لهبوب الرياح، ويكون الجانب المواجه للرياح من الكثبان الهلالية مقوساً وذو درجة انحدار قليلة في حين يكون الجانب الاخر مقعراً وشديد الانحدار. وتنشأ هذه الحالة من وجود دوامات هوائية ترفع قسماً من المواد الرملية التي تسقط على هذا الجانب. وتتقدم تلك الكثبان الى الأمام مع حركة الرياح التي تقوم بالقاء الذرات الرملية من فوق قمة الكثيب نحو الجانب المعاكس لها. وتكون سرعة هجرة بعض الكثبان كبيرة في الاقاليم التي فيها الرمال جافة جداً وسرعة الرياح فيها عظيمة. ويتباين معدل سرعة تقدم الكثبان الهلالية بين ٥ ــ ٣٠ متراً في العام (٢٢). وقد غمرت الكثبان المتحركة اراضي الغابات والاراضي الزراعية في المناطق الرطبة المناخ كما دفنت كثير من القرى والمدن في الاجزاء الجافة

(22) J.A. Mabbutt, Op. Cit., pp. 229-232.

شكل ـ ٩٠ ـ
صورة تحل بعض الكثبان الرملية

من العالم. اذ وصف احد الباحثين المدن التي دفنت بالرمال في تركستان. وتجري مثل هذه الحالة في كثير من مناطق الصحاري الكبيرة في العالم، حيث يفاجيء المرء بسرعة التغيرات الطبوغرافية فيها. فقد سجل احد العلماء هجرة للكثبان الرمليةفي صحراء قزل — قوم بمعدل ١٩٫٨ متراً في اليوم الواحد. وقد لاحظ البعض الاخر وجود معدل لحركة الكثبان الهلالية الكبيرة بمعدل ٦١ متراً في خلال ٢٠ سنة في كارولاينا الشمالية (٢٣).

٢ــ الكثبان الطولية Longtudinal تمتد هذه بشكل سلاسل من الرواسب الرملية بصورة موازية للاتجاه العام للرياح السائدة وتسير هذه في بعض الاحيان وبصورة متصلة لمسافة تصل لعدة مئات من الكيلومترات. وقد اظهرت الدراسات ان هذه الكثبان تنشأ في المناطق التي توجد فيها تيارات هوائية متجاورة قوية حيث تتناقص سرعة التيارين كليهما على الجوانب مما يؤدي الى القاء الرواسب الرملية التي تحملها. وتعرف هذه الكثبان بأسم الكثبان السيفية Sief ويصل ارتفاع بعض كثبان السيف في بحر الرمل في مصر الى حوالي ١٠٠ متر ويصل بعضها في ايران الى حوالي ٢١٠ متراً ويبلغ مقدار عرض كثبان السيف ستة اضعاف ارتفاعها عادة. ويكون ظهر بعض الكثبان الطويلة عريضاً فتعرف آنذاك بأسم كثبان (ظهر الحوت) (٢٤)

٣ــ الكثبان الرملية الثابتة تنشأ هذه الكثبان في المناطق التي تهب فيها الرياح من كل الجهات. حيث تتحول الكثبان الهلالية الى ما يعرف بأسم الكثبان الثابتة (٢٥) ويعتقد بعض الباحثين ان السبب الرئيسي في ثبات بعض الكثبان الرملية هو قلة مصادر الرمال التي تتزود بها (٢٦).

---

(23) P. Worcester, Op. Cit., p. 236.

(24) W. Thornbury, Op. Cit., p. 269.

(25) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 383.

(26) Twidale, Op. Cit., p. 309.

الانهار في الاقاليم الجافة

يمكن أن تقسم الانهار في الاقاليم الجافة الى ثلاث مجموعات تبعاً لمصادرها. اولها الانهار الخارجية exogenous. ويطلق عليها احياناً اسم الانهار الدخيلة exoited ونعني بها الانهار التي تدخل الاقاليم الصحراوية وقد تخرج منها بعد ذلك احياناً. وتتغذى هذه الانهار من مناطق مرتفعة في اقاليم رطبة بعيدة ومن امثلتها نهر النيل والاورنج. وتتبع مثل هذه الانهار عند جريانها في صحاري الحوض والسلسلة الواقعة في العروض الوسطى من المرتفعات العالية المحيطة كما في نهر كولورادو في الولايات المتحدة ونهر تاريم والانهار الاخرى المشابهة الواقعة في وسط آسيا. تتصف الانهار الخارجية بأنها دائمية الجريان رغم وجود التذبذب الفصلي الكبير في كمية المياه الجارية فيها كما في نهر دارلنك في استراليا. وتلقى تلك الانهار حمولتها ومياهها عند وصولها المحيط الذي يصبح بدوره قاعدة تعرية لتلك الانهار. تتبع المجموعة الثانية من انهار الاقاليم الصحراوية من المناطق المرتفعة الاكثر رطوبة والموجودة داخل الاقاليم الصحراوية. وتتغذى هذه الانهار من العيون والينابيع او من المياه الناتجة عن ذوبان الثلوج. ويمكن لبعض هذه الانهار أن تكون دائمية الجريان مثل نهر الاردن الا أن غالبيتها تكون ذوات جريان فصلي وقد تصبح انهاراً متقطعة الجريان باقترابها من المناطق السهلية المجاورة. وتعتبر الانهار الوقتية، وهي النوع الثالث، اكثر الانهار شيوعا في الاقاليم الصحراوية الجافة، ويعتمد الجريان فيها على مقدار الامطار النازلة على احواضها (٢٧). ويشتد تأثير هذه الانهار على مظاهر سطح الارض في الاقاليم الجافة رغم قصر الفترة التي تبقى المياه جارية فيها. اذ تستطيع عمليات التجوية ان تحضر الصخور طيلة الفترة التي كان الجريان منعدما فيها ولذلك تستطيع هذه الانهار ان تنقل معها كميات كبيرة من المواد الصخرية المفككة الامر الذي يجعل قسماً منها انهاراً فائضة الحمولة.

الاشكال الارضية التي تكونها الانهار في الاقاليم الجافة:

يمكن للانهار التي تجري في الاقاليم الجافة وشبه الجافة ان تعمل على تشكيل انواع متباينة من التضاريس. فعلى الرغم من وجود عمليات جيومورفولوجية اخرى تساعد الانهار في تكوين تلك التضاريس كالتجوية الا ان الانهار تضل العملية

(27) J.A. Mabbutt, Op. Cit., p. 151.

الرئيسة وتلعب البنية دوراً اساسياً في طبيعة تلك الاشكال. واهم تلك المظاهر التضاريسية :

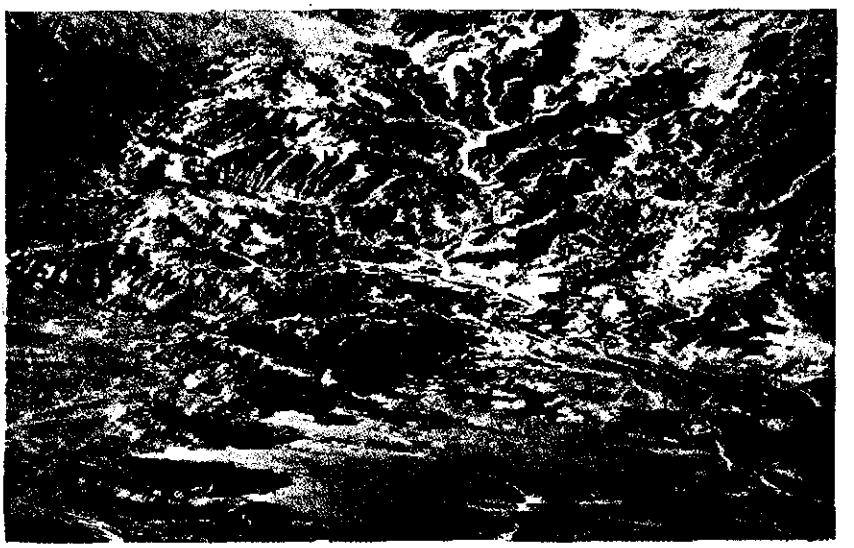
١ــ الاراضي المضرسة Badland

تعني الاراضي الرديئة ايضاً وهي من بين اهم المظاهر التضاريسية في المناطق الجافة وشبه الجافة (شكل رقم ٩١) وتنشأ هذه المظاهر في المناطق التي تتميز بوجود بنية صخرية متكونة من صخور لينة قليلة المسامية مع قلة في الغطاء النباتي وشدة في الانحدار. وتتصف الاراضي المضرسة بأنها تتكون من حافات حادة او مدورة تجاورها وديان ضيقة شديدة الانحدار. وتتطور تضاريس الاراضي الرديئة بسرعة الى درجة انها لاتضل باقية الا في المناطق التي تتجدد تضاريسها ولذلك فهي لاتنتشر كثيراً. تنتشر الاراضي الرديئة في امريكا الشمالية بكثرة فوق البرتا في كندا وفي ولايات مونتانا ووايمنك وشمال وجنوب داكوتا وولاية كولورادو ونيو مكسيكو ويوتاه واريزونا ونيفادا وكاليفورنيا. وتسود هذه المظاهر ايضاً في جهات العالم الاخرى التي تكون ظروفها مشابهة للظروف في هذه الولايات. ولاتكون التضاريس المنتشرة في كل هذه المناطق متشابهة تماماً. وقد تظافرت جهود كل من عمليات الرياح والتجوية الميكانيكية والكيمياوية لمساعدة الانهار في تكون هذه التضاريس (٢٨).

٢ــ البلايا Playa

يمكن تعريف البلايا على انها قيعان البحيرات الصحراوية الوقتية وهي عبارة عن سهول منبسطة انبساطاً كبيراً تقع عند قيعان الاحواض الداخلية المحصورة بين المرتفعات (البولسون Bolson) . تتغطى ارض البلايا برواسب الغرين والطين وكذلك الاملاح التي تجمعت في البحيرات الوقتية والتي جلبتها اليها الانهار الوقتية التي تنبع من المرتفعات المحيطة بتلك الاحواض بعد سقوط الامطار عليها (شكل رقم ٩٢). يكثر وجود البلايا بصورة خاصة في مقاطعات الحوض والسلسلة في القسم الغربي من الولايات المتحدة والمكسيك كما انها يمكن أن توجد في كل الصحاري الاخرى. ويعتبر استواء الارض شبه المطلق المظهر الاكثر وضوحاً للبلايا كما وتتغطى ارض البلايا ببحيرات واسعة المساحة وقليلة العمق بعد سقوط الامطار. وسرعان ماتغور تلك المياه او تتبخر تاركة ماتحمله من رواسب مختلفة واملاح. وتغطي الاملاح بعض سطوح

(28) P. Worcester, Op. Cit., pp. 228-240.



شكل ٩١

أراضي مضرسة (رديئة) في صحراء أريزونا

شكل ــ ٩٢ ــ

بحيرة بلايا ، لاحظ قاعها الابيض الملحي وتمثل
المرتفعات بقايا لحافة إنكسارية

البلايا بطبقة ملحية صلبة اذا كان مستوى الماء الباطني بعيداً عن سطح الارض غير انها تصبح هشة اذا كان الماء الباطني قريباً في مستواه من سطح الارض. وتسمى البلايا التي من النوع الاخير (بالمملحة Salina) (٢٩).

لقد زاد الاهتمام بدراسة البلايا في الاونة الاخيرة لعدة اسباب منها انها يمكن ان تكون مواقعاً لترسبات معدنية وخاصة الاملاح مثل الكلوريدات والنترات ... الخ. كما نستطيع من خلال دراسة رواسب البلايا ان نعرف طبيعة التغيرات المناخية والبيئية التي تعرضت لها تلك الاحواض خاصة خلال الزمن الرابع، ويمكن الاستفادة من الطبيعة المستوية لارضية البلايا وكذلك مواقعها الحوضية المنعزلة في عمل التجارب على المركبات السريعة الحركة وخاصة تلك التي لها صفة عسكرية (٣٠).

لقد تمكن الباحثون من تسجيل مواقع القسم الاعظم من البلايا الموجودة في كثير من الصحاري فقد سجل على سبيل المثال وجود اكثر من ١٠٠٠ بلايا في شمال افريقيا وحوالي ٣٠٠ في الولايات المتحدة و ١٩٠ في غرب استراليا. تتباين مساحة البلايا كثيراً من واحدة الى اخرى تبعاً لمقدار مساحة الحوض الذي تقع البلايا في قاعه وكذلك تبعاً الى كمية الامطار التي تجمعت في البحيرات التي كانت تغطي البلايا. وبذلك فهناك بعض البلايا لاتزيد مساحاتها عن عدة امتار مربعة في حين يزيد مساحة البعض الاخر منها عن ٩٠٠٠ كم٢. مثل بحيرة آيرة Eyre في استراليا التي تحتل مساحة تقدر بـ ٩٣٠٠ كم٢ (٣١). وتعتبر صحراء البحيرة الملحية الواقعة الى الجنوب والغرب من البحيرة المالحة العظمى في الولايات المتحدة مثالاً اخر على البلايا الواسعة اذ تبلغ مساحتها في حدود ٧٧٥٠ كم٢ (٣٢).

٣ــ البجادا Pajada

يربط نوعان من السهول المنحدرة عادة بين جوانب الاحواض الصحراوية وبين سهول البلايا الوسطى المستوية وهي البجادا bajada والبيدمنت pediment وتتكون البجادا من ترابط لسهول مروحية طموية والتي يمكن أن تكون في بعض الصحاري نطاقاً طموياً متصلاً يمتد كيلومترات عديدة فوق النطاق الفاصل بين

(29) W. Thornbury, Op. Cit., p. 271.
(30) Ronald U. Cooke, Op. Cit., p. 216.
(31) Ibid, P. 217.
(32) P. Worcester, Op. Cit., p. 241.

الاحواض والمناطق الجبلية المجاورة. تتكون كل مروحة طموية بوساطة نهر معين. وتنمو هذه السهول المروحية من خلال الرواسب التي تأتي بها تلك الانهار الوقتية، اذ تعتبر المراوح من بين اكثر المظاهر الارضية الصحراوية سرعة في نموها. فعلى سبيل المثال قدرت سرعة نمو السهول المروحية الموجودة في وادي الموت في الولايات المتحدة بمتر واحد لكل الف سنة (٣٣). وتنقطع سطوح البجادا بوساطة مجاري الانهار التي تأخذ نمط التصريف الاشعاعي عادة وتميل تلك المجاري النهرية الى أن تغير [illegible] خلال كل فترة جريان مائي قوي (فيضان) وتغور معظم مياه تلك الانهار خلال قيعانها الحصوية لتنضم الى المياه الباطنية.

تختلف درجة الانحدار لسطوح البجادا اختلافاً كبيراً فقد تصبح درجة انحدار السطح قرب المناطق الجبلية ٨ ° او حتى ١٠° بل وتزيد عن ذلك في بعض الحالات وتقل درجة الانحدار كثيراً بالقرب من قيعان الاحواض حتى تصل درجة الانحدار الى مادون ١° (٣٤).

٤ــ البيدمنت Pediment

يوجد نطاق مستو من الصخور الاصلية يمتد عند قاعدة معظم الجبال وخاصة في المناطق الصحراوية لمسافة تتراوح من كيلومتر واحد الى عدة كيلومترات في الاتساع. تتغطى تلك الصخور الاصلية بغطاء رقيق جداً من المواد الطموية وتنحدر نحو الاحواض المجاورة لها. ويزداد سمك طبقة الرواسب الطموية على تلك الصخور الاصلية كلما اقتربنا من قيعان الاحواض ويطلق على هذا المظهر الارضي اسم البيدمنت. وتمثل هذه البيدمنت نطاقاً يفصل بين المناطق الجبلية التي لاتزال الانهار الموجودة فيها في دور الشباب وحيث تسود فيها التعرية بصورة خاصة وبين قيعان الاحواض التي تقوم الانهار التي تصل اليها بعملية الترسيب عادة. ويسمى هذا النطاق عادة بأسم نطاق التسوية Zone of Planation (٣٥).

يعتقد بأن السبب الاساسي في تكوين البيدمنت الصخرية هو الانهار التي تجري فوق المناطق الجبلية والتي تقوم بتعميق وتوسيع وديانها الامر الذي يؤدي

---

(33) J.A. Mabbutt, Op. Cit., p. 114.

(34) P. Worcester, Op. cit., p. 242.

(35) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 245.

الى تراجع الحافة الجبلية نحو الخلف (٣٦). توجد فوق بعض جهات البيدمنت تلال مرتفعة عن المستوى العام لها تعرف بأسم الانسلبرج inselberg وتمثل هذه التلال المناطق التي لم تستطيع الانهار الوصول اليها او انها تمثل صخوراً صلبة مقاومة للتعرية النهرية.

دورة التعرية في اقليم ذي مناخ جاف

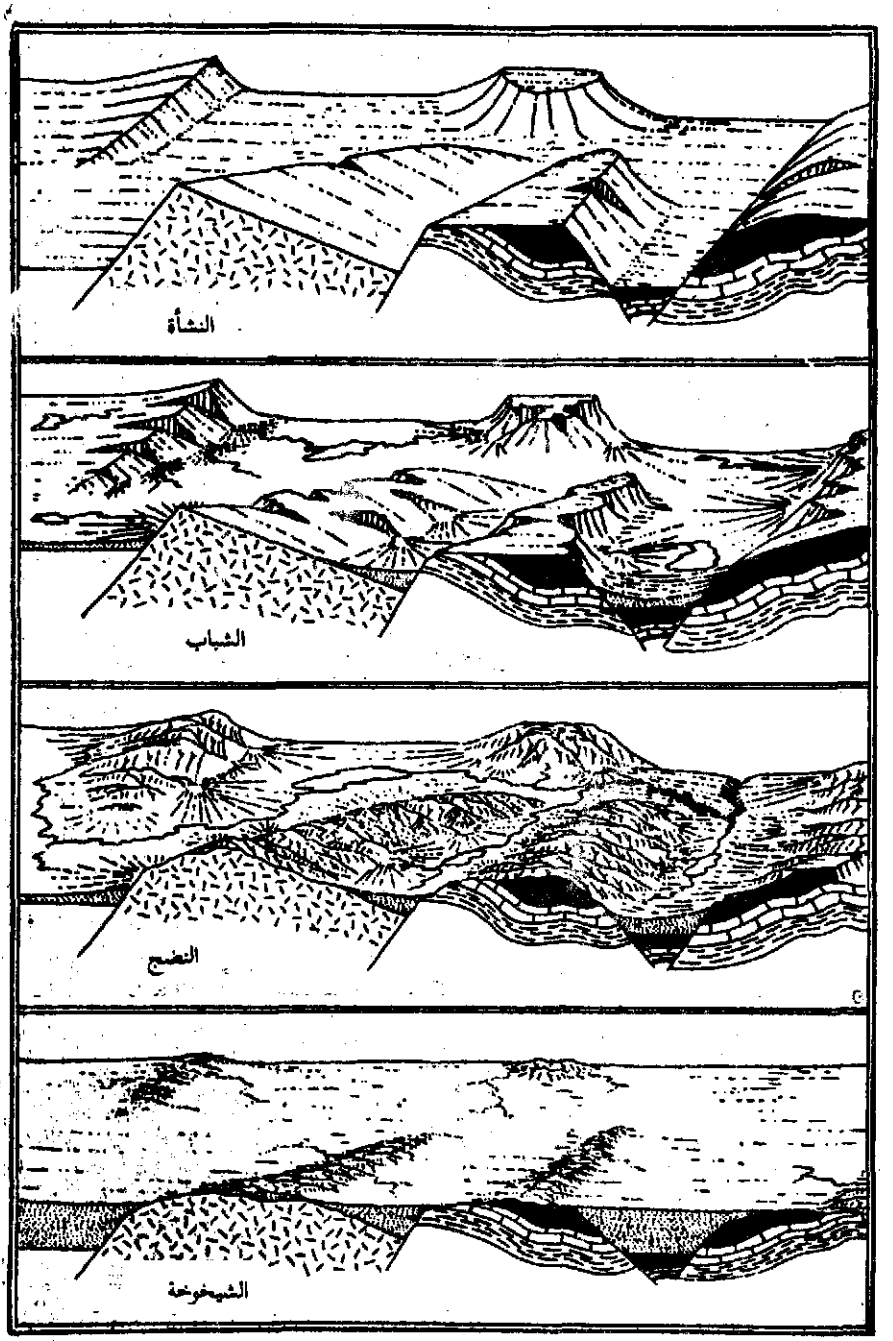
تكون الانهار متكاملة عادة في المناطق ذوات المناخ الرطب. وتسود عملية التعرية فيها على عملية الترسيب. وتتقطع المناطق الرطبة بوساطة تلك الانهار اكثر فأكثر حتى يصل الاقليم الى مرحلة السهل التحاتي وتنقل المواد الصخرية التي اقتطعتها الانهار بعيداً خارج الاقليم وقد تصل الى المحيط. وتضل ملامح التضاريس الاصلية في المناطق ذوات المناخ الرطب باقية خلال مرحلة الشباب وينحتفي السطح الاصلي كثيراً خلال مرحلة النضج ويكون قد وصل الى اعلى مراحل التضرس فيها ويسير نحو حالة السهل التحاتي في مرحلة الشيخوخة.

يحدث التتابع نفسه عادة تحت ظروف المناخ الجاف مع بعض التحوير الناتج عن عدم قابلية الانهار الموجودة فيه على أن تنقل المواد المفككة الى خارج الاقليم.

لنفرض ان لدينا اقليماً ذا مناخ صحراوي توجد فيه مجموعة من الاحواض المنعزلة التي تحيط بها المرتفعات والتي تجري في كل واحد منها مجموعة من الانهار التي تنتهي بدورها في وسط تلك الاحواض ولاتكون قيعان تلك الاحواض متساوية في الارتفاع عن مستوى سطح البحر (شكل رقم ٩٣) وتلك هي مرحلة النشوء.

تتقطع الاشكال الاساسية للتضاريس بوساطة الخوانق النهرية مع تقدم مرحلة الشباب في الاقليم. غير أن خطوطها العامة الاصلية تبقى واضحة. وتبدأ قيعان الاحواض المحلية بالارتفاع تدريجياً من خلال عمليات الترسيب التي تتم عليها. ويرتفع بذلك مستوى قاعدة التعرية المحلي للانهار في تلك الاحواض. ويظهر تأثير الرياح مهماً في نقل المواد المفككة بوساطة عملية التفريغ خارج الاقليم. ثم تجد الانهار التي تجري في احد الاحواض لنفسها منفذاً نحو حوض آخر مع اقتراب مرحلة النضج. وينتج هذا الاتصال بين الاحواض بسبب عملية النحت التراجعي للانهار

(36) J. A. Mabbutt, Op. Cit., p. 118.



شكل ـ ٩٣ ـ

دورة تعرية في أحواض داخلية ذوات

مناخ جاف

وكذلك بسبب عملية الترسيب التي تتم في قيعان الاحواض. ويحدث نتيجة لذلك اتصال بين عدة منظومات نهرية خاصة بالاحواض. ويتكامل بذلك نظام التصريف في الاقليم عندما تتصل كل الانهار التي تجري في الاحواض المرتفعة مع النهر الذي يجري في الحوض المنخفض. ويحل محل مستويات التعرية المختلفة مستوى قاعدة تعرية واحد في الوقت نفسه تتقطع المناطق الجبلية المحيطة بالاحواض الى درجة انها تفقد ملامحها الاصلية، آنذاك يكون الاقليم قد وصل الى مرحلة النضج من دورة التعرية.

تتلاشى التضاريس تحت هذه الظروف بصورة اكيدة عندما يرتفع مستوى قيعان الاحواض بوساطة الترسيب وتنخفض مستويات المناطق الجبلية المجاورة من خلال عمليات التعرية. ويتناقص تأثير الانهار شيئاً فشيئاً ويتزايد تأثير الرياح في التعرية وفي الترسيب. وتتبعثر خطوط التصريف النهري وتعود فتصبح غير متكاملة وهذه هي بداية مرحلة الشيخوخة التي سوف تنتهي بالسهل التحاتي (٣٧).

هذا وتتعرض دورة التعرية للانقطاع فتحدث حالة اعادة شباب للاقاليم بسبب:

١ــ الحركات الارضية ٢ــ زيادة في التساقط

٣ــ زيادة في الجفاف ٤ــ تخفيض مستويات قيعان الاحواض.

وتؤدي هذه الحالات التي شرحت خلال الفصل الرابع من هذا الكتاب الى تكوين مظاهر ارضية متعددة. اذ تؤدي الحركات الارضية الى جعل الانهار تقوم بعملية توسيع وديانها تاركة المصاطب النهرية في التكوينات الرسوبية والصخرية. وتسبب زيادة كمية التساقط في تقطيع البيدمنت بوساطة مجاري الانهار التي تجري عليها وتزداد عملية تعميق الانهار وتوسيعها لودیانها وتكوينها للمصاطب ايضاً. وتؤدي زيادة الجفاف الى ظهور مجاري نهرية متشعبة وتكوين الخوانق الى غيرها من الظواهر المختلفة الاخرى (٣٨) ومن الطبيعي القول أن حالات اعادة الشباب هي الاكثر وضوحاً اذ من النادر أن نجد منطقة ذات مناخ جاف قد وصلت الى مرحلة السهل التحاتي.

---

(37) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 13.

(38) P. Worcester, Op. Cit., pp. 250-256.

الفصل السابع

الأمواج وآثارها الجيومورفولوجية

لاتختلف الاشكال الارضية والظواهر الموجودة عند سواحل البحار والمحيطات عن تلك التي توجد على سواحل الكثير من البحيرات فيما عدا بعض الاستثناءات الناجمة عن حدوث امواج المد والجزر داخل المحيطات وانعدامها في البحيرات ، وكذلك في وجود المرجان في المحيطات ووجود بعض الطحالب algae في بعض البحيرات وما ينشأ عنه من تضاريس صغيرة خاصة . ولذلك فأن ماسوف نقرره في هذا الفصل عن الظواهر الجيومورفولوجية في السواحل يمكن أن ينطبق على كل من سواحل المحيطات والبحار من جهة وسواحل البحيرات من جهة اخرى .

يجب ان يؤخذ في الحسبان كثير من الظروف لتوضيح التطور الطبيعي للسواحل منها :

١ــ يجب أن نكون على معرفة واضحة بالتكوين الصخري في المنطقة التي نقوم بدراستها من حيث بنية الصخور وتكوينها .

٢ــ يجب أن نعني بدراسة التضاريس الساحلية ومقدار علاقتها بالعامل الاول .

٣ــ لابد من دراسة ومعرفة العمليات الجيومورفولوجية التي تؤثر على المناطق المجاورة كالرياح والانهار والثلاجات وعن مقدار تأثيرها على التضاريس الساحلية .

٤ــ اثر العمليات الارضية الباطنية وكذلك النشاط البركاني .

تهب على تلك المسطحات. وغير هذه الامواج فهناك امواج ناتجة عن حدوث الانزلاقات الارضية التي تؤدي الى سقوط كتل صخرية او جليدية كبيرة يتولد منها امواج هائلة. فقد حدث في تموز من سنة ١٩٥٨ في خليج ليتويا Lituya في الاسكا اكبر حادثة مسجلة لهذا النوع من الامواج عندما سقطت في الخليج كتلة من الصخر مقدراها ٣٠٫٠٠٠٫٠٠٠ م٣ من ارتفاع حوالي ١٫٠٠٠ متر فتسبب من سقوطها امواج بلغ ارتفاعها حوالي ٥٠٠ متر على الجانب الجبلي الاخر من الخليج. واستطاعت هذه الامواج ان ترفع سفينة صيد صغيرة فوق اعالي الاشجار النامية على لسان ارضي يقع عند مدخل الخليج الى ارتفاع ١٦ متراً فوق مستوى سطح البحر ثم القتها على الجانب المواجه للبحر من اللسان (٣). وقد حصلت موجه اخرى مماثلة في جزيرة كيوشو اليابانية سنة ١٧٩٢ ادت الى موت حوالي ١٥٫٠٠٠ نسمة (٤).

كما وتسبب الزلازل او الانزلاقات الارضية والانفجارات البركانية التي تحدث فوق قيعان البحار والمحيطات امواجاً اخرى تعرف بأسم التسونامي وتختلف هذه الامواج عن بقية الامواج في أن القوة المولدة لها تأتي من قاع المحيط الامر الذي يجعل الماء كله يتحرك. وتكون سرعة تقدم هذه الامواج عظيمة جداً تتراوح بين ٤٨٠ ــ ٨٠٠ كم في الساعة. تكون اطوال هذه الامواج عظيمة تتراوح بين ٥٥ ــ ٢٠٠ كم ولكن ارتفاعاتها قليلة جداً تتراوح بين ٣٠ ــ ٦٠ سم. ولذا فأن من الصعب جداً الشعور بمرور هذه الامواج في عرض البحر. ويزداد ارتفاع هذه الامواج عند اقترابها من السواحل وتتناقص اطوالها بدرجة كبيرة. فقد يصل ارتفاعها بين ١٥ ــ ٣٠ متراً. وتسبب عند ضربها للسواحل اثاراً تخريبية كبيرة. يزداد تكرار حدوث التسونامي في المحيط الهادي اكثر من غيره من المحيطات. فعلى سبيل المثال وخلال الهزة الزلزالية العظيمة التي ضربت شيلي في مساء ٢٢ مايس سنة ١٩٦٠ ارتفع قسم من المنحدر القاري قرب النهاية الجنوبية من المنطقة التي تعرضت للاضطراب مكونة موجة تسونامي هائلة أزهقت مئات الارواح في شيلي. وعبرت المحيط الهادي نحو جزر الهواي والجزر اليابانية وجزر الفلبين حيث ذهبت ضحيتها مئات اخرى من الأنفس هناك (٥)

(3) W. Thornbury, Op. Cit., pp. 421-422.
(4) David Ross, Introduction to Oceanography, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1977, p. 221.
(5) Gilluly, Op. Cit., p. 91.

الفصل السابع

الأمواج وآثارها الجيومورفولوجية

لاتختلف الاشكال الارضية والظواهر الموجودة عند سواحل البحار والمحيطات عن تلك التي توجد على سواحل الكثير من البحيرات فيما عدا بعض الاستثناءات الناجمة عن حدوث امواج المد والجزر داخل المحيطات وانعدامها في البحيرات ، وكذلك في وجود المرجان في المحيطات ووجود بعض الطحالب algae في بعض البحيرات وما ينشأ عنه من تضاريس صغيرة خاصة . ولذلك فأن ماسوف نقرره في هذا الفصل عن الظواهر الجيومورفولوجية في السواحل يمكن أن ينطبق على كل من سواحل المحيطات والبحار من جهة وسواحل البحيرات من جهة اخرى .

يجب ان يؤخذ في الحسبان كثير من الظروف لتوضيح التطور الطبيعي للسواحل منها :

١ــ يجب أن نكون على معرفة واضحة بالتكوين الصخري في المنطقة التي نقوم بدراستها من حيث بنية الصخور وتكوينها .

٢ــ يجب أن نعني بدراسة التضاريس الساحلية ومقدار علاقتها بالعامل الاول .

٣ــ لابد من دراسة ومعرفة العمليات الجيومورفولوجية التي تؤثر على المناطق المجاورة كالرياح والانهار والثلاجات وعن مقدار تأثيرها على التضاريس الساحلية .

٤ــ اثر العمليات الارضية الباطنية وكذلك النشاط البركاني .

٥ــ اثر الامواج والتيارات الساحلية وامواج المد والجزر والكائنات الحية في تكوين التضاريس بالارتباط مع العوامل التي ذكرت سابقاً (١).

وسوف يقتصر اهتمامنا في هذا الفصل بدراسة اثر الامواج على تكوين المظاهر الارضية الساحلية نتيجة لعمليات التعرية والترسيب التي تقوم بها وسوف لاتعطي اهتماماً كبيراً لطبيعة الحركات المائية داخل الاجسام المائية المختلفة لانها من اختصاص علم اخر هو الاوقيانوغرافية (علم البحار والمحيطات). غير أن من الضروري تحديد مفاهيم بعض المصطلحات التي ترد كثيراً من موضوع جيومورفولوجية الساحل والتي كانت مستعملة منذ وقت طويل من قبل كثير من الكتاب، مثل الساحل والشاطيء... الخ وسوف نعتمد على كيفية استعمال جونسون D. W Johnson لهذه المفاهيم في بحوثه المختلفة .. وبالشكل التالي :

١ــ **الساحل Shore** : نعني به النطاق المحصور بين العلامات التي يتركها الماء العالي والتي يكونها الماء الواطيء. وتنتقل خلال هذا النطاق مياه البحار والبحيرات فهو في حالة البحار والمحيطات النطاق الواقع بين علامات أوطأ جزر وبين اقصى مايمكن ان تصل اليه الامواج العالية.

٢ــ **خط الساحل Shoreline** : نعني به الخط الذي يفصل بين الماء واليابسة في كل من البحار والمحيطات وكذلك البحيرات ويكون هذا الخط غير ثابت وأنه يغير مواقعه تبعاً لمواقع خط المد وخط الجزر بالنسبة الى البحار والمحيطات. اما بالنسبة الى البحيرات فأنه موقع هذا الخط يكون غير ثابت ايضاً تبعاً الى كمية الماء الموجودة في البحيرات حيث يبتعد هذا الخط بأتجاه اليابسة عند زيادة كمية المياه الموجودة فيها.

٣ــ **مقدمة الساحل Foreshore او الساحل الأمامي** : نطاق ضيق بدرجة ماضمن الساحل نفسه ويضم المنطقة الواقعة بين خطي المد والجزر بالنسبة الى البحار وبين خطوط الماء العالي والواطيء بالنسبة الى البحيرات.

٤ــ **خلفية الساحل backshore او الساحل الخلفي** : وهو جزء الساحل الذي يقع بين الساحل الامامي وبين خط الشاطيء ولا يتصل هذا الجزء بالمياه الا اثناء العواصف القوية.

---

(1) P. Worcester, Op. Cit., p. 374.

٥ـ **الشاطيء coast** : خط الشاطيء coastline يعني حد الشاطيء من جهة البحر ويمكن للشواطيء ان تنتهي بالبحر بصورة فجائية وتكون بشكل اجراف عند خط الشاطيء. أو انها تنحدر تدريجياً بشكل سهول او أنها تتصف بأي نوع آخر من انماط التضاريس.

٦ـ **الشواطيء الرملية Beaches** : الشاطيء الرملي عبارة عن شكل ترسيبي كونته الامواج او التيارات ويستقر على الساحل. ويمكن تمييز ثلاثة انماط من الشواطيء الرملية هي :

(أ) شاطيء رملي عند ساحل امامي منخفض، ويستقر هذا الشاطيء الرملي على منطقة مقدمة الساحل المنخفض ويتكون بتأثير الامواج والتيارات الساحلية.

(ب) شاطيء رملي عند ساحل امامي مرتفع، ويقع على ساحل امامي مرتفع ويتكون من جراء عمل الامواج عادة.

(ج) شاطيء رملي يقع عند خلفية الساحل، يوجد في العادة على خلفية الساحل الضيقة ويتكون من ترابط عمل امواج العواصف والفيضان الذي تحدثه امواج المد العالية وكذلك الرياح. وتقوم الانهار في كثير من الحالات بتقديم المواد التي تبني الشاطيء الرملي هذا (٢).

العمليات الجيومورفولوجية على السواحل

تؤثر على السواحل عمليات جيومورفولوجية متعددة بعضها عمليات غير ثابتة كالامواج والتيارات الساحلية وامواج المد والجزر وكذلك كتل الجليد. واخرى عمليات ثابتة مثل الاحياء كالطحالب والمرجان وسوف نلقي الضوء بصورة مختصرة على طبيعة كل من تلك العمليات بقدر مايهمنا في تأثيرها على تكون التضاريس.

الامواج

تتولد داخل المسطحات المائية نتيجة الى عوامل عديدة اهمها الرياح التي

(2) P. Worcester, Op. Cit., pp. 375-377.

تهب على تلك المسطحات. وغير هذه الامواج فهناك امواج ناتجة عن حدوث الانزلاقات الارضية التي تؤدي الى سقوط كتل صخرية او جليدية كبيرة يتولد منها امواج هائلة. فقد حدث في تموز من سنة ١٩٥٨ في خليج ليتويا Lituya في الاسكا اكبر حادثة مسجلة لهذا النوع من الامواج عندما سقطت في الخليج كتلة من الصخر مقدراها ٣٠,٠٠٠,٠٠٠ م^{٣} من ارتفاع حوالي ١,٠٠٠ متر فتسبب من سقوطها امواج بلغ ارتفاعها حوالي ٥٠٠ متر على الجانب الجبلي الاخر من الخليج. واستطاعت هذه الامواج ان ترفع سفينة صيد صغيرة فوق اعالي الاشجار النامية على لسان ارضي يقع عند مدخل الخليج الى ارتفاع ١٦ متراً فوق مستوى سطح البحر ثم القتها على الجانب المواجه للبحر من اللسان (٣). وقد حصلت موجه اخرى مماثلة في جزيرة كيوشو اليابانية سنة ١٧٩٢ ادت الى موت حوالي ١٥,٠٠٠ نسمة (٤).

كما وتسبب الزلازل او الانزلاقات الارضية والانفجارات البركانية التي تحدث فوق قيعان البحار والمحيطات امواجاً اخرى تعرف بأسم التسونامي وتختلف هذه الامواج عن بقية الامواج في أن القوة المولدة لها تأتي من قاع المحيط الامر الذي يجعل الماء كله يتحرك. وتكون سرعة تقدم هذه الامواج عظيمة جداً تتراوح بين ٤٨٠ ــ ٨٠٠ كم في الساعة. تكون اطوال هذه الامواج عظيمة تتراوح بين ٥٥ ــ ٢٠٠ كم ولكن ارتفاعاتها قليلة جداً تتراوح بين ٣٠ ــ ٦٠ سم. ولذا فأن من الصعب جداً الشعور بمرور هذه الامواج في عرض البحر. ويزداد ارتفاع هذه الامواج عند اقترابها من السواحل وتتناقص اطوالها بدرجة كبيرة. فقد يصل ارتفاعها بين ١٥ ــ ٣٠ متراً. وتسبب عند ضربها للسواحل اثاراً تخريبية كبيرة. يزداد تكرار حدوث التسونامي في المحيط الهادي اكثر من غيره من المحيطات. فعلى سبيل المثال وخلال الهزة الزلزالية العظيمة التي ضربت شيلي في مساء ٢٢ مايس سنة ١٩٦٠ ارتفع قسم من المنحدر القاري قرب النهاية الجنوبية من المنطقة التي تعرضت للاضطراب مكونة موجة تسونامي هائلة أزهقت مئات الارواح في شيلي. وعبرت المحيط الهادي نحو جزر الهواي والجزر اليابانية وجزر الفلبين حيث ذهبت ضحيتها مئات اخرى من الانفس هناك (٥)

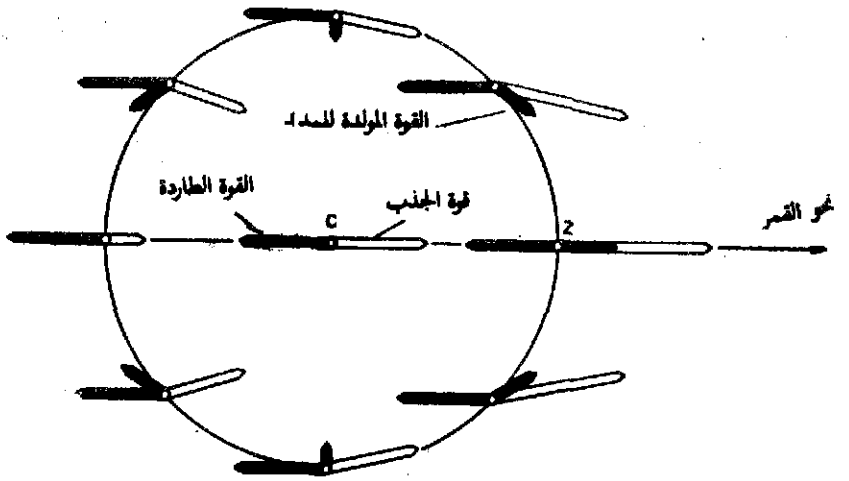
(3) W. Thornbury, Op. Cit., pp. 421-422.
(4) David Ross, Introduction to Oceanography, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1977, p. 221.
(5) Gilluly, Op. Cit., p. 91.

يؤدي الجذب المتبادل بين الارض من جهة وبين القمر والشمس من جهة اخرى الى توليد انواع اخرى من الامواج التي تعرف بأسم امواج المد والجزر وهي نوع من الامواج الطويلة جداً. حيث توجد في الوقت نفسه على الارض قمتان للموجة تحتلان منطقتي المد وحوضين بينهما يمثلان منطقتي الجزر. ولذا فأن طول الموجة يبلغ ٢٢٫٠٠٠ كم، وتقدر سرعة تقدم موجة المد بحوالي ١٬٦٥٠ كم في الساعة (٦).

ولا نريد ان نفصل في كيفية تولد هذه الموجة غير أن المهم ان نقول ان القانون الثالث من قوانين نيوتن يمكن له ان يفسر ذلك حيث ان كل جسمين تجذبها قوة تتناسب مع حاصل ضرب كتلتيهما وتقل بحسب مربع المسافة بينهما. وعلى هذا الاساس يستطيع القمر بالنظر لقربه من الارض ان يؤثر عليها أكثر من اي جرم سماوي آخر. فهناك قوتان احدهما ناتجة عن جذب القمر للارض تكون على اكثرها تأثيراً في النقطة المواجهة له من الارض، والاخرى القوة الطاردة عن المركز التي تكون على اقصاها في المنطقة المعاكسة للنقطة الاولى على الارض نفسها. ويحدث بذلك المد في هاتين النقطتين في حين يحدث الجزر في المناطق الواقعة بينهما لانحسار الماء عنهما متجهاً نحو النقطتين الاوليتين (شكل رقم ٩). تسهم الشمس في احداث المد اضافة الى القمر غير أن اثرها لايزيد عن ½ تأثير القمر (٧). فأذا اتفق وقوع الشمس والقمر والارض على مستوىً واحد حينئذ تضاف قوة جذب الشمس الى قوة جذب القمر فيحدث مايعرف بأسم المد الاعظم. وتكون هذه في حالتي البدر والمحاق. ويأتي تأثير جذب الشمس معاكساً لجذب القمر عندما يكونان في موقعين يتعامد احدهما فيه على الاخر فيحدث المد الادنى خلال التربيعين الاول والثالث. تشبه موجه المد موجة التسونامي السابقة في أن تأثيرها لايكون واضحاً داخل المحيطات الواسعة حيث لايزيد ارتفاع المد في بعض الجزر المحيطية عن ٣٠ سم. غير أن بعضاً من امواج المد تصبح عالية عندما تنحصر في بعض الخلجان المخروطية الشكل كما يحدث ذلك في خليج فندي في شرق كندا (٨).

تعتبر الامواج الناتجة عن عمل الرياح اكثر انواع الامواج شيوعاً فوق سطح البحار والمحيطات والبحيرات ايضاً. تنشأ هذه الامواج من جراء انتقال الطاقة من الرياح نحو الماء. وتختلف هذه الامواج فيما بينها اختلافاً كبيراً في اطوالها وارتفاعاتها

(٦) عبدالاله رزوقي كربل، مصدر سابق ص ١٣٩
(٧) ميخائيل عبدالاحد، الموسوعة الفلكية المبسطة، الموصل، ١٩٧٧ ص ٣٥٨.
(٨) ليونارد انجيل، البحر، مكتبة لايف، القاهرة، ١٩٧٢ ص ٩١.



شكل رقم ٩٤

القوى المولدة للمد : تزداد على الجانب المقابل للقمر قوة جذب القمر ويزداد تأثير القوة الطاردة على الجانب المعاكس

وكذلك في فترتها (سرعة تقدمها) (٩) بسبب اختلاف سرعة الرياح ومقدار استمرارية هبوبها وكذلك سعة المدى التي تهب عليه تلك الرياح. اذ يزداد ارتفاع الموج ويزداد طولها مع زيادة سرعة الرياح وزيادة استمرارية هبوبها. ويؤثر المدى كثيراً في تحديد طول الموجة ولذلك نجد انه لاتحدث داخل البحيرات امواج عالية وطويلة كما يحدث ذلك في المحيطات والبحار الواسعة. وتقسم الامواج الناتجة عن عمل الرياح الى ثلاثة انماط تبعاً للمرحلة التي عليها من عملية التولد : هي امواج البحر sea waves وتحدث هذه الامواج في المنطقة التي تتولد فيها الامواج داخل المحيطات وتتحرك بعد ذلك في كل الاتجاهات ، والامواج الطويلة swell التي يكون لها اتجاه حركة واحد مع سرعة تقدم متشابهة لكل الموجات ، ثم الامواج المنكسرة brakers او surf والتي تتكون عندما تتقدم الامواج الطويلة نحو السواحل ذوات المياه الضحلة الامر الذي يحدث معه ان تصبح حركة المياه داخل الموجة حركة حقيقية حيث تندفع قمة الموجة

---

(٩) لابد من معرفة المقصود بهذه التعابير حيث يعني طول الموجة المسافة بين قمتين متتاليتين ، كما يعني ارتفاعها الفرق في الارتفاع بين قاع الحوض وبين قمة الموجه ، وتعني فترة الموجة سرعة الموجة وهي المدة اللازمة الى مرور قمتين او حوضين متتاليين امام شاخص ثابت .

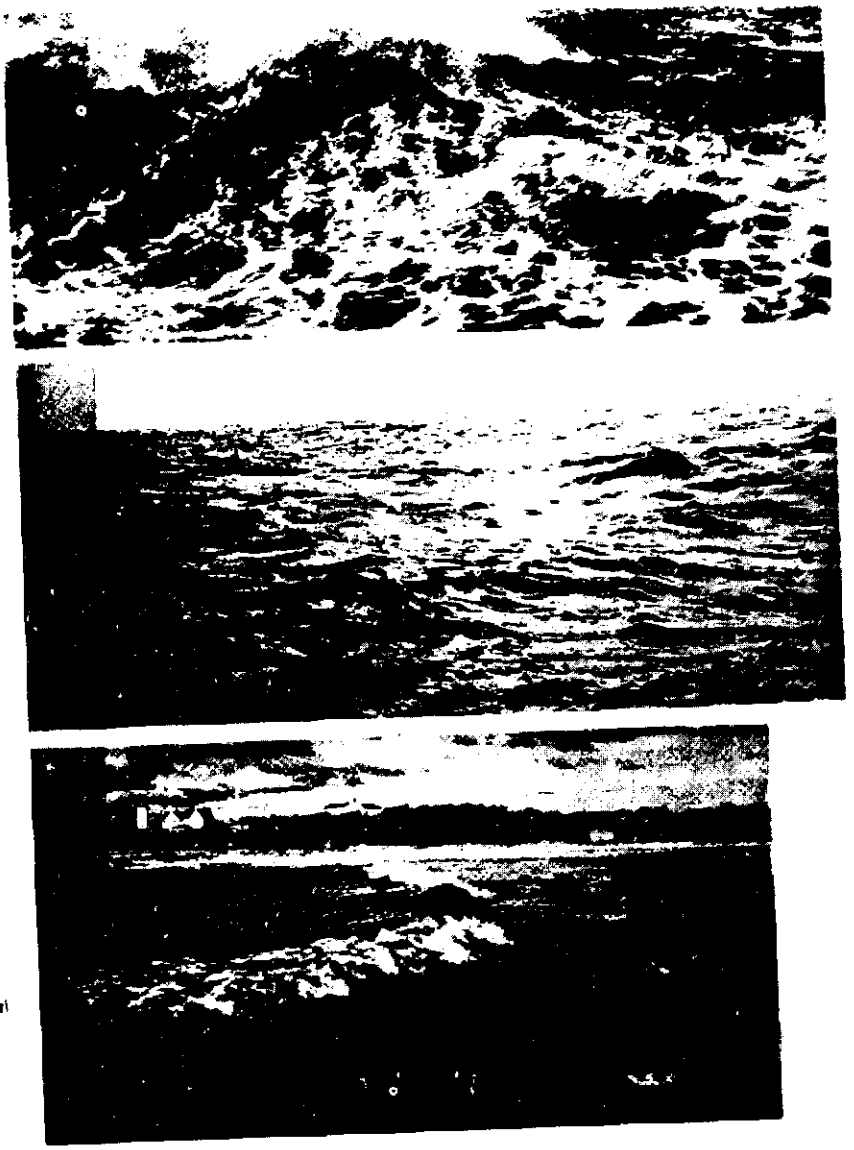
الى الامام وتتداخل مع غيرها من الامواج التي سبقتها . ويتحرك كل الماء الذي تحتويه الموجه ويضيع بذلك شكل الموجة (شكل رقم ٩٥) . وتنكسر الامواج عادة عندما تدخل الى مياه يكون ارتفاع الموجه حوالي ١/ ٣ من عمق المياه . ويمكن للامواج القليلة الارتفاع ان تنكسر في مياه اكثر ضحالة بحيث لايزيد عمقها عن ارتفاع الموجه نفسه ويتقدم الماء عندما تنكسر الموجة نحو السواحل بشكل تيار متقدم يعرف باسم swash ثم يعود ذلك الماء ثانية مع انحسار الموجة بشكل تيار متراجع. backwash (١٠)

تؤثر الموجة المنكسرة عندما توجه طاقتها نحو القاع الذي تصطدم به فترفع قسماً من مواده الصخرية ويتكون بالنتيجة تجويف على طول انكسار الموجة ، ويبنى قسم من تلك المواد الحواجز الترسيبية على كلا جانبي خط انكسار الموجة سواء المواجهة منها للبابسة او المواجهة للبحر . وينقل قسم من تلك المواد الصخرية التي رافقت الموجة المنكسرة باتجاه الساحل لكي تساهم في بناء الشواطيء الرملية المختلفة (١١) .

التيارات الساحلية

تأتي التيارات الساحلية بعد الامواج من حيث اهميتها باعتبارها عوامل مائية متحركة تقوم بتحوير شكل خط الساحل . يؤثر على خطوط السواحل مجموعة مختلفة من التيارات منها التيارات الناتجة عن عمل الامواج تيارات المد والجزر والتيارات الناتجة عن الاختلاف في درجة الكثافة (الملوحة والحرارة) وكذلك التيارات المحيطية . ويوضع اهم هذه التيارات من الناحية الجيومورفولوجية تحت اسم التيارات الساحلية littoral . تعتمد سرعة هذه التيارات على قوة الرياح والامواج وعلى مقدار العمق في المنطقة الساحلية وكذلك على طبيعة امتداد خط الساحل . حيث تصبح هذه التيارات عوامل نقل مهمة للرواسب اذا كان خط الساحل مستقيماً وكانت هناك كمية وفيرة من الرواسب . وتصبح هذه التيارات عوامل تعرية مهمة جدا عند مرورها على خطوط سواحل ذوات تكوين صخري غير متماسك أو ضعيف (١٢) .

(10) Twidale, Op. Cit., P. 390.
(11) Gilluly, Op. Cit, p. 336.
(12) P. Worcester, Op. Cit., p. 381.



شكل رقم ٩٥
انواع الامواج الناتجة عن عمل الرياح

تنشأ التيارات الساحلية عندما تقوم الرياح السائدة بدفع الماء نحو خط الساحل المستقيم مسببة انكساراً مائلاً للامواج نسبة لامتداد الساحل حيث يميل معظم الماء آنذاك لان يتحرك بصورة موازية الى خط الساحل مكوناً التيار الساحلي. وتتحرك الامواج باتجاه الاجزاء البارزة (الرؤوس) اذا كان خط الساحل متعرجاً وتهاجمها في هذه الحالة في حين تنتشر الامواج التي تدخل الخلجان وتتبعثر طاقتها(١٣).

تلعب تيارات المد والجزر دوراً مهماً اخر في تحويل شكل خط الساحل حيث تقوم بعض تيارات المد التي تندفع داخل المصبات بتحريك الرواسب القاعية وبذلك فهي تساند التيار الساحلي في نقل هذه المواد نحو البحر او المحيط. ولايكون لمعظم تيارات المد اثر في التعرية بسبب ضعفها ولكنها تصبح عوامل نقل مهمة للرواسب حيث يتم بوساطتها نقل كميات كبيرة من الرواسب الدقيقة الذرات ولمسافات بعيدة (١٤).

عمليات التعرية التي تقوم بها الامواج والتيارات

تقوم الامواج بتعرية السواحل بطرق أربعة

١ــ بوساطة الضغط المائي ٢ــ النحت والصقل الميكانيكي

٣ــ بعملية التحليل الكيمياوي ٤ــ بوساطة الاحياء

١ــ الضغط المائي:

تسبب الامواج المتقدمة نحو السواحل ضغطاً مائياً عظيماً فعلى سبيل المثال يبلغ مقدار الضغط الذي تسببه موجة يبلغ ارتفاعها ٣ متر وطولها ١٠٠ متر ١١٨ كغم للمتر المربع الواحد. وقد سجل جهاز الدينامتر Dynamometer ان الضغط يتجاوز الـ ٦٤٥٥ باون لكل متر مربع واحد في امواج يبلغ ارتفاعها ١٫٦ متراً. وقد وجهت امواج العواصف العظمى التي حدثت سنة ١٩٦٣ والتي ضربت ميناء الهافر في فرنسا ضغطاً مقداره ٧٢ طناً للمتر المربع الواحد. واستطاعت الامواج ان تحطم كتلاً من الكونكريت تزن حوالي ٢٦٠٠ طن في مدينة Wick بشمال

(13) Harry Robinson, Op. Cit., P. 331.
(14) Ibid, p. 322.

اسكتلندة (١٥). لايؤثر ضغط الامواج بصورة مباشرة فقط بل أنه يؤثر ايضاً من خلال مايتعرض له الهواء الموجود داخل الشقوق والمسامات الصخرية من ضغط شديد نتيجة لذلك. فعندما تضرب موجة منكسرة واجهة احد الاجراف ينضغط الهواء الموجود داخل الشقوق والمفاصل فيها بقوة مكوناً اسفينا يندفع داخل تلك الشقوق والمفاصل. ويتناقص الضغط المسلط على هذا الهواء عند تراجع الموجة الى الوراء حيث يتمدد. وتتكرر العملية ذاتها مرة ثانية مع تقدم الموجة المنكسرة ثانية وتراجعها الامر الذي يؤدي الى توسيع تلك الشقوق والمفاصل وتحطيم الصخور. ينتقل الرشاش المائي الناتج عند اصطدام الموجة المنكسرة بالصخور والاجراف بسرعة عظيمة جداً تصل الى حوالي ١١٠ كم / ساعة وقد وصل البعض منها الى سرعة ٢٧٠ كم / ساعة ويمكن بذلك تصور مقدار العمل الذي يمكن أن تقوم به مثل هذه لمياه السريعة (١٦).

تستطيع امواج العواصف القوية ان تعري الطبقات الصخرية اللينة وكذلك المفاصل والشقوق الموجودة داخل الاجراف وأنه تحرك الكتل الصخرية الموجودة فيها مكونة اشكالاً جيومورفولوجية متعددة مثل الكهوف والمسلات وسوف نفصل في هذه بعد قليل.

٢ـ النحت

تبين لنا قبل قليل ان الامواج القوية تستطيع ان تحطم كتلاً صخرية كبيرة من الاجراف التي تضربها وتستطيع تلك الامواج ان تلقي بذلك الحطام الصخري في وجه تلك الاجراف ثانية، كما تستطيع الامواج المتوسطة القوية ان تحرك ذرات صخرية ذوات احجام مختلفة ابتداء من الجلاميد وانتهاء بالرمال. ففي احد المناجم الموجودة في كورنول والذي يمتد تحت البحر أمكن سماع صوت سحق الجلاميد الصخرية بصورة واضحة عبر سقف صخري يبلغ سمكه حوالي ٣ متر. اذ ان نطاق إنكسار الموجة ماهو الا نطاق طحن للصخور فعلى سبيل المثال تصبح الشظايا الصخرية المدببة من الكرانيت مدورة بعد مرور عام على تعرضها لعملية نحت الامواج المنكسرة في كيب آن في ولاية مساشوستس بالولايات المتحدة. وقد تعرضت اجراف شكسبير التي تكون جزءاً من الاجراف الطباشيرية في دوفر والتي يبلغ ارتفاعها اكثر

(15) Gilluly, Op. Cit., p. 356.
(16) Twidale, Op. Cit., p. 371.

من ١٠٠ متر للنحت السريع الذي قامت به الامواج الامر الذي سبب حدوثاً للكثير من الانزلاقات الارضية كون أحدها زلزالاً قوياً في دوفر سنة ١٨١٠ . ولقد تراجعت الاجراف في جزيرة كاراكاتوا البركانية في مضيق سندا الى الوراء لمسافة ١٥٠٠ متر بين سنتي ١٨٨٣ — ١٩٢٨ من جراء تعرضها لنحت الامواج وبمعدل يبلغ ٣٠ م في العام (١٧). وعلى الرغم مما بيناه من امثلة تدل على مقدار الاثر العظيم الذي تحدثه الامواج على السواحل التي تضربها فأن تراجع الاجراف يعود في معظم الحالات الى اثر المياه الجارية منه الى عمل الامواج. فعلى سبيل المثال اثبتت الدراسات الدقيقة التي جرت على السواحل التي تتأثر بالرياح التجارية في جزر هواي أن مقدار التعرية المائية فيها تبلغ ٧ اضعاف تأثير تعرية الامواج على الاقل. ودلت الدراسات التي اجريت على النحت الساحلي وكمية الرواسب في البحر الاسود أن الامواج جلبت ٥٪ فقط من الرواسب في حين جلبت الانهار حوالي ٩٥٪ منها.

لاتقتصر عملية النحت التي تقوم بها الامواج على المنطقة المحصورة بين خط انكسار الموج وبين الساحل رغم أن الامواج تصرف معظم الطاقة التي تحتويها هناك. اذ تتحرك جزيئات الرواسب بقوة عظيمة في اعماق اعظم عندما تكون اطوال الموجات كبيرة. اذ يمكن من الناحية النظرية لامواج يبلغ طولها ١٥٠ متراً وارتفاعها ١٧ متراً ان تنتج سرعة تقدر بـ ٢٥ سم / ثا في ماء عمقه ١٠٠ متر وهي سرعة كافية لتحريك الرمال الناعمة. وتدل الدراسات على أن تيارات المد وغيرها من التيارات تستطيع ان تبقي ذرات الطين في حركة الى اعماق تبلغ ٢٠٠ متراً وقد تصل الى ٣٠٠ مترا في بعض السواحل. ويعرف العمق الذي يمكن للرواسب ان تتحرك فيه بوساطة الامواج بأسم قاعدة الموجة Wave base (١٨).

تنعكس حركة جزيئات الرواسب المتحركة بوساطة الامواج مع كل موجة خارج نطاق انكسار الموجة. اذ تزداد سرعة حركة هذه الرواسب عندما يكون اتجاه الحركة نحو البحر بالنظر الى ان انحدار القاع يكون نحو ذلك الجانب الامر الذي يزيد من سرعة الماء المتراجع عليه. ثم تستقر ذرات الرواسب تبعاً لاحجامها وبشكل تدريجي وتتحطم هذه الذرات الى ذرات اصغر نتيجة لتصادم بعضها البعض الاخر وبذلك لاتقتصر عملية النحت على نطاق انكسار الموجة فقط بل في كل نطاق قاعدة الموجة.

(17) Gilluly, Op. Cit., pp. 356-357.
(18) Ibid, pp. 357-358.

٣ــ الذوبان :

يحتوي ماء البحر على الكثير من المواد الذائبة فيه وبذلك فأنه ذو تأثير على ذوبان الصخور اعظم بكثير من الماء الذي على اليابسة . فقد لاحظ احد الجيولوجيين ان قابلية الذوبان لبعض المعادن الصخرية كالفلدسبار تتراوح في ماء البحر بين ٤ ــ ١٤ مرة عما هي عليه قابلية ذوبانها في الماء النقي . وقامت المياه في بعض الخلجان المنعزلة في اندونسيا بأذابة بعض الحزوز الناتجة عن عملية النحت عند خط الساحل ليس فقط في الصخور الجيرية بل حتى في الصخور البركانية (١٩) . وتظهر في سواحل بعض المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتكون صخورها من الحجر الجيري مظاهر مصغرة للتضاريس الكارستية ويرجع سبب تكوين بعض هذه التضاريس بطبيعة الحال الى اثر الماء الباطني غير أن معظمها يقع في نطاق يمكن للامواج والرشاش البحري من الوصول اليه وبذلك فهي ناتجة ايضاً عن عملية الاذابة التي يقوم بها ماء البحر (شكل رقم ٩٦) (٢٠) .

٤ــ الاحياء :

يمكن للاحياء ان تسهم ايضاً في عملية تحطيم الصخور الساحلية فقد دلت الدراسة مثلاً على ان الطحالب تغطي سطح صخور الكرانيت الاصلية على ساحل شبه جزيرة يورك الجنوبية في استراليا في برك مملوءة بماء البحر . وتقتطع هذه الطحالب قسماً من تلك الصخور عندما تزال . في حين تظل مناطق الكرانيت الخالية منها غير معرضة الى هذه الظاهرة . وبالاضافة الى التأثير الذي تقوم به النباتات فأن هناك امثلة كثيرة على ماتقوم به بعض الحيوانات ، مثال ذلك ، نوع من السرطان البحري الذي يعيش بكميات هائلة على سواحل جنوب استراليا ويغطي كثيراً من الارصفة حيث يقوم هذه الكائن الحي بحماية تلك الارصفة من قوة نحت الامواج . من ناحية ثانية تبقى تلك المناطق رطبة عند حالة الجزر . ويقوم هذا الحيوان في بعض السواحل بجمع الرمال وبقية الحطام الصخري ويساهم بذلك في تكوين بعض الاشكال الشاطئية الصغيرة . وتقوم النباتات بتثبيت الرمال التي تنقلها الرياح من الشواطيء لتكون الكثبان الساحلية (٢١) .

---

(19) Ibid, p. 358.

(20) Twidale, Op. Cit., p. 375.

(21) Ibid, p. 378.

شكل ـ ٩٦ ـ
بعض أشكال الاذابة على الساحل

معدل تعرية الامواج

يعتمد معدل تأثير التعرية الموجية على مجموعة من الظروف او العوامل

١ـ مقدار درجة تعرض أو انفتاح الساحل لعمل الامواج وكذلك مقدار قوة الامواج التي تؤثر عليه .

٢ـ مقدار توفر المواد الصخرية المفككة التي تستعملها الامواج كادوات للنحت والتعرية . اذ تشبه الامواج في ذلك عمليات التعرية الاخرى كالانهار والرياح

والثلاجات في أن عملها يتزايد بشكل ملحوظ مع زيادة كمية هذه المواد الصخرية المفككة. وعلى الرغم من أن الماء الخالي من هذه المواد يستطيع بقوة ضغطه ان يؤثر على المواد الصخرية غير المتماسكة مثل الرمال والارسابات الجليدية وصخور الطفل، ولكنه يكون ذو تأثير قليل على الصخور النارية المتماسكة والصخور المتحولة وكذلك على بعض انواع الصخور الرسوبية الشديدة التماسك. وتتعاظم قوة التعرية الموجية بوساطة حطام الصخور المفككة والرمال التي ترفعها الامواج لتهاجم بها الصخور التي تعترض طريقها.

٣ــ درجة صلابة او مقاومة الصخور الساحلية لتعرية الامواج. حيث تكون الصخور النارية المتماسكة القليلة المفاصل ذوات صلابة عظيمة وذوات مقاومة اكبر من الصخور اللينة ذوات المفاصل والطبقات او الصخور التي يمكن لماء البحر أن يؤثر عليها تأثيراً كيمياوياً كالصخور الجيرية مثلاً.

٤ــ طبيعة ميل الطبقات الصخرية. اذ يزداد تأثير التعرية الموجية في الاجراف التي يكون فيها أتجاه ميل الطبقات الصخرية نحو البحر حيث تقوم الامواج بتعرية القسم الاسفل من الاجراف وتتيح المجال بذلك لحصول عمليات تساقط صخري او انزلاقات ارضية متنوعة من الاجزاء المرتفعة من الاجراف التي لاتستطيع الامواج الوصول اليها. على عكس مايحدث عندما يكون اتجاه ميل الطبقات الصخرية نحو اليابسة في الاجراف المطلة على البحر.

٥ــ عمق الماء على بعد من الساحل فكلما كان البحر عميقاً على مقربة من الساحل فأن الموجة سوف تنكسر بالقرب منه وتلقي بكل طاقتها على خط الساحل فتزيد من سرعة تحطيمه في حين لو جرت عملية انكسار الموجة بعيداً عن خط الساحل فأنه تأثير التيارات المتقدمة عليه سيكون ضعيفاً في هذه الحالة.

٦ــ مقدار تباين مستوى سطح البحر اثناء المد والجزر فكلما زاد التباين فأن ذلك يعني ان مساحة اعظم سوف تتعرض لتعرية الامواج.

تستطيع الامواج مهما كان شكل الساحل الاصلي ان تؤثر فيه بدرجة من الدرجات. ويشير ارتفاع الامواج التي تنكسر على الشاطيء اثناء المد الى الحد الاعلى

للتعرية المباشرة التي تقوم بها الامواج. وعلى الرغم من أن العمل الرئيسي للتعرية التي تقوم بها الامواج ينحصر تقريباً في هذا الحد فقد استطاعت بعض امواج العواصف ان ترمي ببعض القطع الحجرية نحو الاعلى وتضرب بها الاجراف الساحلية بحيث كسرت بعض الزجاج في شبابيك ترتفع عن مستوى سطح البحر بحوالي ١٠٠ متر (٢٢).

من الامثلة المهمة التي تضرب بصورة متكررة لتبين أهمية التعرية التي تقوم بها الامواج ماحدث بجزيرة Heligoland المقابلة للساحل الالماني. حيث تتكون هذه الجزيرة من صخور رملية لينة من العصر الكريتاشي (الطباشيري) وقد تعرضت تلك الصخور الى تعرية الامواج بشكل حاد مما ادى الى تقلص طول ساحل الجزيرة وتناقص مساحتها. ففي سنة ٨٠٠ كان طول الساحل ١٩٢ر٢ كم واصبح في سنة ١٣٠٠ للميلاد ٧٢ كم ويبلغ طوله اليوم ١ر٦ كم وسوف تختفي هذه الجزيرة اذا لم تقم الحكومة الالمانية ببناء سدود وحواجز توقف التعرية البحرية لهذه الجزيرة (٢٣).

الاشكال الارضية الناتجة عن تعرية الامواج

يعتمد شكل خط الساحل في كثير من الحالات على التعرية المباينة التي تقوم بها الامواج. اذ يتناقص تأثير التعرية فوق الصخور الصلبة المقاومة في حين يزداد تأثيرها فوق الصخور اللينة او التكوينات غير المتماسكة. فاذا كانت بنية الساحل وتكوينه الصخري متجانساً فأن وجود التعاريج عليه سيكون قليلاً على خلاف السواحل التي تختلف فيها التكوينات الصخرية كثيراً حيث تحتل الصخور الصلبة مناطق الرؤوس في حين تشغل التكوينات اللينة مناطق الخلجان. وتتعرض الرؤوس المرتفعة في الاغلب لتعرية الامواج التي تسبب قطعاً في مقدمتها تعرف بأسم الثلم notch.

يتميز الجانب البحري من الشاطيء في كثير من المناطق بوجود حافة واضحة ناتجة عن عملية التعرية الموجية تعرف عادة بأسم الجرف البحري sea cliff. وتمتد المصطبة الناتجة عن قطع الامواج اسفل ذلك الجرف وفي الاتجاه البحري

---

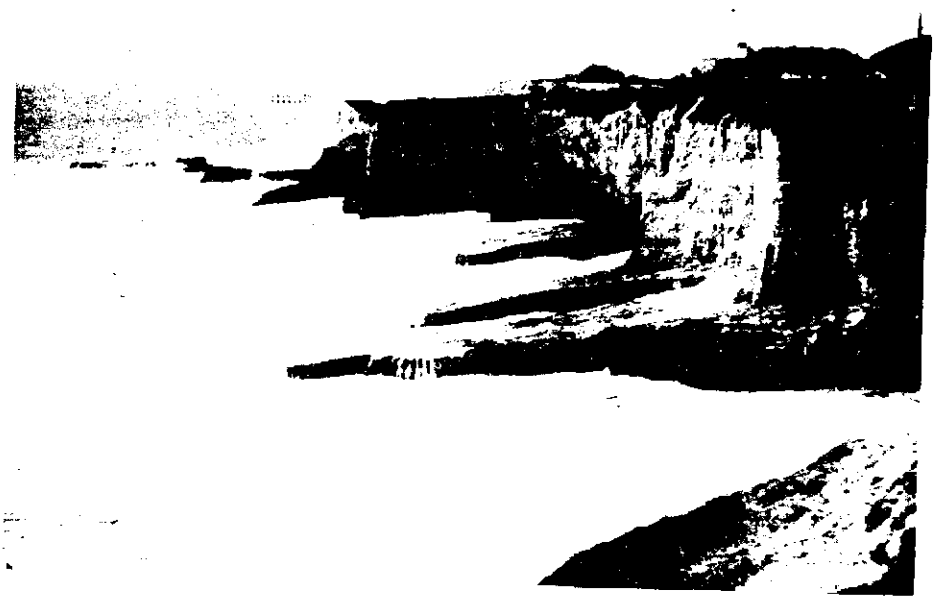
(٢٢) عبدالاله كريل، مصدر سابق ص ٢٠٣.

(23) Harry Roninson, p. Cit., pp. 335-336.

منه . ويمكن لهذه المصطبة ان تكون صخوراً جرداء او ان تكون مغطاة برواسب الحصى والرمال فتعرف انذاك بالشاطيء الرملي beach . تشير المصاطب المرتفعة الى المستوى المرتفع السابق للبحر وتعرف انذاك بالمدرجة البحرية . هذا وتعتبر الاجراف البحرية والمصاطب الناتجة عن قطع الامواج من بين اشهر المظاهر الارضية الناتجة عن التعرية التي تقوم بها الامواج . تختلف الاجراف البحرية من مكان الى آخر تبعاً لنوعها وبنيتها وكذلك في مقدار ارتفاع الصخور التي عملت فيها تلك الاجراف اذ تختلف نعاريج الاجراف التي قطعت في صخور تميل بأتجاه البحر عن تلك التي تميل نحو اليابسة وعن تلك التي يكون امتداد طبقات الصخور فيها افقياً (شكل رقم ٩٧) . تختلف الاجراف التي قطعت في صخور الكرانيت من حيث مظهرها عن تلك التي قطعت في صخور البازلت او تلك التي عملتها الامواج في مواد صخرية غير صلبة وغير متماسكة كما في حالة الرواسب الجليدية (٢٤) . ينشأ في بعض الحالات امتداد لتلك المصطبة الناتجة عن نحت الامواج باتجاه البحر من جراء تجمع الرواسب التي جاءت من عملية نحت المصطبة نفسها فيتكون لدينا مايعرف بأسم المصطبة الناتجة عن ترسيب الامواج wave-built terrace . غير أن هذه الحالة ليست دائمة الوجود اذ غالباً ماتقوم الامواج بنثر ما اقطعته من الاجراف فوق قاع البحر المجاور . وتتوسع تلك المصطبة بصورة مستمرة من جراء تراجع خط الساحل الى الوراء نتيجة للتعرية التي تقوم بها الامواج . وتتخلف عن ذلك بعض المظاهر الارضية الصغيرة مثل المسلات البحرية stacks والكهوف وكذلك الجزر وبقية الاشكال الارضية التي تضل فوق المصطبة البحرية او فوق الرصيف الناتج عن قطع الامواج نتيجة لعدم التشابه في درجة صلابة الصخور او عدم التساوي في قوة الامواج نفسها .

تعتبر الكهوف اشكالاً شائعة على طول الكثير من السواحل اذ توجد في مناطق الضعف الموجودة على وجه الجرف البحري كما في مناطق المفاصل او بين الطبقات الصخرية . حيث تتكون حفرة فيها من جراء عملية النحت التي تقوم بها الامواج وتتوسع هذه الحفرة بأستمرار عملية التعرية مكونة الكهف . واذا صادف وجود كهفين على جانبي احد الرؤوس الارضية الممتدة داخل البحر والتي تتميز بارتفاع تضاريسها فأن كل واحد منهما يتوسع نحو الداخل من جراء عملية التعرية التي تقوم بها الامواج وكذلك من جراء عمليات التجوية المختلفة فيتصل احدهما

(24) W. Thornbury, Op. Cit., PP. 426-427.

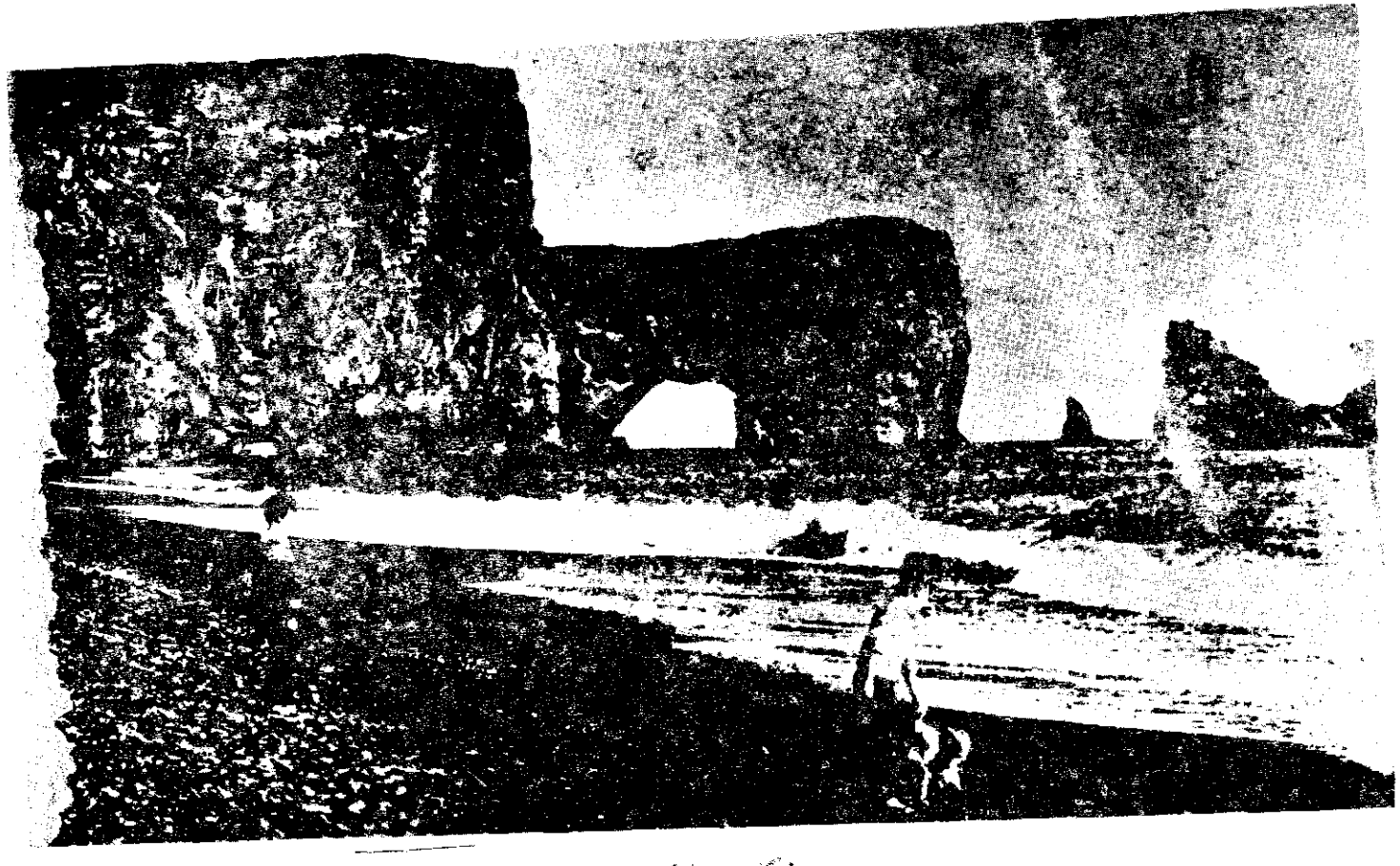


شكل ــ ٩٧ ــ
بعض الأجراف الناتجة عن نحت الامواج

بالاخر ويتكون انذاك القوس البحري الذي يتعرض سقفه للانهدام بعد ذلك تاركاً جزيرة صغيرة مرتفعة تعرف بأسم المسلة البحرية (شكل رقم ٩٨) و (شكل رقم ٩٩).

لايمكن تحديد الاتساع الذي يمكن أن تصل اليه المصاطب البحرية الناتجة عن التعرية التي تقوم بها الامواج اذ ان الامواج تستمر في قطعها طالما كانت الظروف مناسبة لذلك. فقد وجدت بعض المدرجات المرتفعة التي يزيد عرض البعض منها عن ٥ر١ كيلو متر في اجزاء من سواحل كاليفورنيا وشيلي حيث يؤدي ارتفاع اليابسة الى تقليل عملية النحت التي تقوم بها على الساحل القديم وتبدأ بعد ذلك دورة تعرية جديدة (٢٥). وتنكسر الامواج عندما تتسع مساحة المصاطب على مسافة بعيدة عن

(25) P. Worcester, OP. Cit., p. 399.



شكل ـ ٩٨ ـ

صورة تمثل بعض الاقواس والمسلات البحرية على ساحل ايسلنده

شکل – ۹۱ –

خط الساحل وبذلك قد تعاق او تتوقف عملية التعرية حيث تكون التيارات المتقدمة صوب خط الساحل والناتجة من انكسار الموجة ضعيفة في هذه الحالة كما ذكرنا ذلك .

الاشكال الارضية الناتجة عن ترسيب الامواج

تتراكم على المصاطب معظم المواد الخشنة التي اقتطعت من الاجراف او التي جلبتها الانهار نحو الشاطيء حيث تتعرض هناك لعمل الامواج الترسيبي ، في الوقت الذي تظل المواد الدقيقة الذرات فيه عالقة بمياه البحر وتبتعد عن خط الساحل . ويمكن لتلك المواد أن تترسب في اماكنها دون أن تتعرض لعملية نقل على طول الساحل في حين يتعرض الاخر منها للنقل على طول خط الساحل الى أن تصل الى مناطق تسمح العوامل الطبيعية فيها بقيام عملية تراكم للرواسب وتكوين ظواهر ترسيبية اهمها :

١ــ الشواطيء المسننة Beach Cusps

توجد هذه المظاهر الارضية الترسيبية على الأقسام العليا من الشواطيء وخاصة الشواطيء الحصوية وتتكون من سلسلة من مقدمات مدببة تفصل بينها الخلجان (شكل رقم ١٠٠) . ويكون الفرق في الارتفاع بين المقدمات وبين قيعان الاحواض والخلجان التي تفصل بينها اقل من متر واحد في الاغلب وقد يصل هذا الفرق الى ٦٠ متراً (٢٦) . وعلى الرغم من ان شكل هذه النتوءات الترسيبية راجع الى عمل الامواج فأن كيفية تكونها لم تفهم بعد بشكل جيد (٢٧) .

٢ــ الحواجز الرملية Sand Bars

يرتبط وجود هذه الحواجز الرملية بالبحار التي لاتحدث فيها ظاهرة المد والجزر مثل البحر المتوسط وبحر البلطيق . وتمتد هذه الحواجز بصورة موازية لشكل الموجة على قاع البحر في المنطقة التي تتقابل بها التيارات القادمة من البحر ، نتيجة

(26) B.W. Spark, Op. Cit., pp. 186-187.

(27) Twidale, OP. Cit., p. 387.

شكل ــ ١٠٠ ــ
أشكال ترسيبية مسننة على الساحل الشمالي
من بورتوريكو في البحر الكاريبي

لانكسار الموجة، مع التيارات العائدة من خط الساحل ويوجد في كليهما كثير من الرواسب التي تكون تلك الحواجز (٢٨).

٣ــ الحواجز الرملية البعيدة عن الساحل Offshore Bars

تتألف من حافات رملية وحصوية مرتفعة عن مستوى الماء العالي تقع في العادة على بعد عدة كيلو مترات عن الساحل. وقد نشأت هذه الحواجز من جراء عملية انكسار الموجة التي تحدث على مسافة بعيدة عن الساحل حيث تقوم تلك الامواج باقتطاع الحطام الصخري من قاع البحر في المنطقة التي يحدث الانكسار

(28) B. W. Spark, Op. Cit., p. 187.

فيها. ويترسب قسم من ذلك الحطام الصخري امام منطقة الانكسار مباشرة وينمو بصورة مستمرة حتى يظهر اخيراً فوق مستوى سطح البحر على هيئة حواجز. وتتحول المنطقة الفاصلة بين تلك الحواجز وبين خط الساحل الاصلي الى بحيرة ساحلية lagoon والتي تمتلىء بدورها بصورة تدريجية بالارسابات او نتيجة لتحلل المواد العضوية التي تأتي في الاغلب من النباتات التي تنمو فيها. يتقدم الحاجز الرملي نحو اليابسة بصورة تدريجية حيث تقوم الامواج وخاصة خلال العواصف بتعرية قسم من مكونات هذا الحاجز والقائها فوقه بأتجاه البحيرة الواقعة خلفه. وينتج عن ذلك ارتفاع لمستوى قاع البحيرة نفسها من جراء تجمع تلك الرواسب فيها ويستمر بمرور الوقت دفع الحاجز باتجاه اليابسة حتى يتم ازالة كل البحيرة تقريباً بوساطة الامواج ولا يبقى من الحاجز الرملي الا بعض الكثبان الرملية الموجودة على الساحل الاصلي (٢٩) (شكل رقم ١٠١).

٤ــ الشواطيء الرملية:

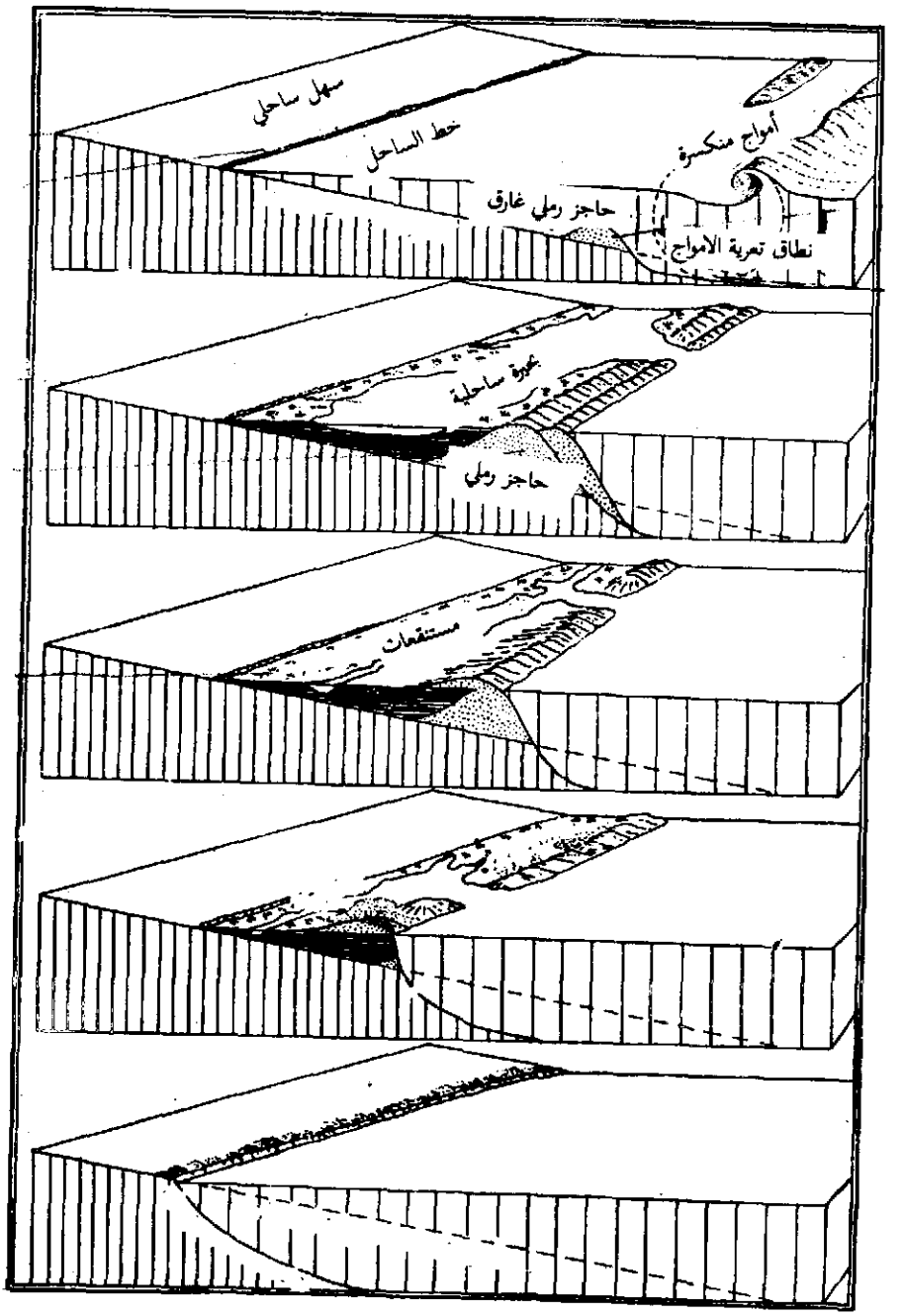
لاتنقل كثير من المواد المفككة التي تنحتها الامواج من مناطق الرؤوس نحو المياه العميقة بل تقوم التيارات بنقلها نحو رؤوس الخلجان او جوانبها وتقوم بترسيبها هناك مكونة مايعرف بأسم شاطيء رأس الخليج وشاطيء جانب الخليج. ويميل خط الساحل بأستمرار عملية التعرية الى الاستقامة تدريجياً وتقوم التيارات الساحلية آنذاك بنقل الحطام الصخري وترسيبه بشكل ألسنة تمتد على طول مداخل الخلجان تعرف بأسم الالسنة الرملية spits. وهناك انواع مختلفة من هذه الالسنة تبعاً لطبيعة مرور التيارات امام مداخل الخلجان فهناك ألسنة معقوفة وهناك ألسنة بسيطة وألسنة مركبة (شكل رقم ١٠٢).

من الاشكال الترسيبية الاخرى التي تقوم الامواج والتيارات بتكوينها مايعرف بأسم الانشوطة التي هي عبارة عن حاجز رملي تقوم التيارات ببنائه حول احدى الجزر الصغيرة المقابلة الى الساحل. والحاجز الرملي المسنن Cuspate Bar والتمبولو Tombolos وهي عبارة عن حاجز رملي يربط احدى الجزر بالارض الاصلية (٣٠).

---

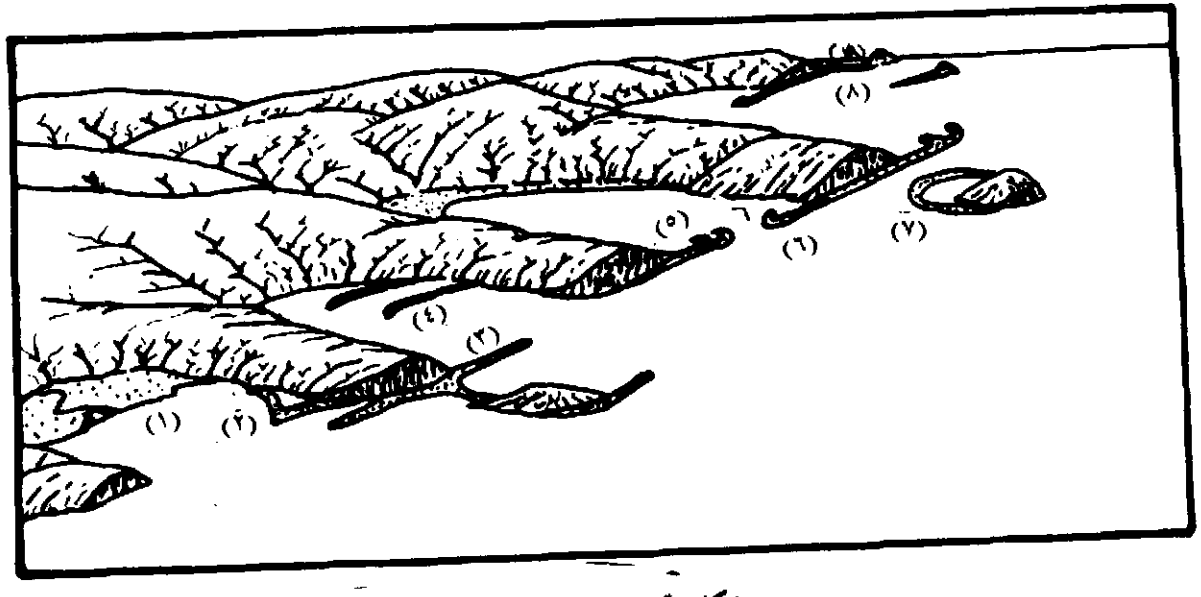
(29) Ibid, p. 187.

(30) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 353.



شكل ــ ١٠١ ــ

تطور حاجز رملي أمام ساحل يتعرض
الى ظاهرة الارتفاع



شكل رقم ــ ١٠٢ ــ

بعض المظاهر الارضية الترسيبية التي تقوم بها
الأمواج والتيارات الساحلية

١ــ شاطيء رملي.
٢ــ حاجز رملي مسنن.
٣ــ لسان رملي في بداية الخليج.
٤ــ لسان رملي على جانب الخليج.
٥ــ لسان رملي معقوف مزدوج.
٦ــ لسان رملي معقوف منفرد.
٧ــ الانشوطة الترسيبية.
٨ــ التمبولو.

تصنيف السواحل :

تأتي السواحل مثل بقية الظواهر الطبيعية والبشرية التي يراد إيجاد تصنيف لها، في ضرورة الاعتماد على مقياس معين واحد او الاعتماد على مجموعة من المقاييس. وتكون عملية اختبار مدى دقة المقياس شيئاً اساسياً في تقرير مدى دقة التصنيف ومقدار جديته. وقد بذلت منذ فترة طويلة جهود كثيرة لايجاد تصانيف للسواحل واعتمدت لذلك مجموعة متعددة من المقاييس مثل :

١ــ شكل نطاق الاتصال بين اليابسة وبين البحر.
٢ــ الحركة النسبية لمستوى سطح البحر (تذبذب مستوى سطح البحر).
٣ــ اثر العمليات البحرية المختلفة.

يعتمد كثير من التصانيف الاولى على حركات القشرة الارضية وكذلك على التغيرات التي طرأت على مستوى سطح البحر مثل تصنيف جونسون وفون رشتهوفن وكليفر وشبرد وتصنيف فالنتين (٣١). تعتمد بعض التصانيف الحديثة على المعلومات الجيولوجية التي ظهرت في النصف الثاني من هذا القرن وخاصة بعد ظهور مفهوم تكتونية الاطباق أو الصفائح ونظرية انتشار قاع المحيط. يطلق على مثل هذه التصانيف اسم التصانيف البنيوية وتقسم السواحل بموجبها الى :

١ــ سواحل محمولة فوق الاطباق المتباعدة.
٢ــ سواحل انطباق عند الاطباق المتقابلة.
٣ــ السواحل المحافظة على خصائصها حيث الاطباق تنزلق بموازاة بعضها الاخر.

وحتى نفهم هذا التصنيف لابد ان تكون لدينا خلفية واسعة عن المقصود بتكتونية الاطباق أو الصفائح ونظرية انتشار قاع المحيط. اذ يعتقد ان القشرة الارضية تتكون من مجموعة من اطباق مانتيل plates يتراوح سمكها بين ٧٠ ــ ١٠٠ كم. وتحمل اطباق المانتيل هذه القشرة المحيطية والقشرة اليابسة. ويمكن لبعض هذه الاطباق ان تحمل وفي آن واحد كلا نوعي القشرة. وتتحرك هذه الاطباق مبتعدة عن بعضها فيما يعرف بأسم جبهة الافتراق وتتمثل عادة بمناطق الحافات المحيطية الوسطى.

(31) H.F. Garner, The Origin of Landscape, New Tork, 1974, p. 542.

تقترب الاطباق من بعضها البعض في مناطق جبهات التقابل التي تتمثل عادة بالاغوار المحيطية. وتسبب هذه الحركة البطيئة للاطباق الخروج المستمر للحمم البركانية من مناطق الحافات المحيطية الوسطى، ودفعها للقشرة بعيداً عنها (٣٢).

تصنف السواحل ايضاً اعتمادا على مقياس حركي حديث تبعاً لطبيعة القوى التي تؤثر عليها ومنها التصنيف الذي وضعه J.L Davies. وتصنف السواحل ايضاً الى انواع تبعاً لمقدار تأثرها بامواج المد والجزر. ولا نريد ان نطيل كثيرا في ذكر انواع تلك التصانيف ويكفي ان نقول ان C.A.M.King لوحدها كونت مقارنة بين ١٣ تصنيفاً للسواحل (٣٣).

غير أن اشهر التصانيف المعروفة عن السواحل هي :

١ ــ تصنيف جونسون :

وقد جاء به D.W. Johnson في سنة ١٩١٩ ويعتبر اشهر ماعرف من تصانيف للسواحل الى حد الان. وعلى الرغم من قلة دقة هذا التصنيف وعدم اعتماده ماظهر من تطورات حديثة في العلوم المحيطية الا أن شهرته تشبه تماماً شهرة تصنيف كوبن للاقاليم المناخية. ويعتبر تصنيف جونسون من التصانيف التي تعتمد على اصل النشأة genetic وكذلك على التغيرات التي حصلت على مستوى سطح البحر. وقد قسم جونسون السواحل بموجبة الى :

١ــ سواحل الانغمار Shorelines of Submergence.
٢ــ سواحل الظهور Shorelines of Emergence.
٣ــ السواحل المحايدة Neutral Shorelines.
٤ــ السواحل المركبة Compound Shorelines.

يعتبر تصنيف جونسون في الحقيقة امتداداً للتصنيف الذي وضعه الجيومورفولوجي المشهور وليام ديفز Davis سنة ١٩٠٢ عندما قسم السواحل الى سواحل ظاهرة واخرى مغمورة (٣٤).

---

(٣٢) عبدالاله رزوقي كربل، مصدر سابق ص ٥١ ــ ٥٨.

(33) C. King, Beaches and Coasts, Edward Arnold, London, 1972, p. 404.

(٣٤) عبدالاله رزوقي كربل، المصدر السابق ٩ ص ١٩٨.

ترجع سواحل الانغمار بموجب تصنيف جونسون اما الى حالة الهبوط التي تتعرض اليها اليابسة او الى الارتفاع الذي يصيب مستوى سطح البحر. ويمكن تمييز ثلاثة انماط للسواحل المغمورة تبعاً الى نوع التضاريس السائدة بالقرب منها.

١ــ الاقاليم المنخفضة المغمورة ذوات المصبات.
٢ــ الاقاليم المرتفعة المغمورة التي تنتج فيها سواحل الريا ria.
٣ــ سواحل جبلية مغمورة والتي تمتد السلاسل الجبلية فيها بموازاة خط الساحل.

اما السواحل الظاهرة فتنتج اما من تعرض اليابسة الى حركة رفع او من جراء هبوط في سطح المحيط. وهي اقل شيوعاً من السواحل المغمورة. وتقسم الى نوعين تبعاً لتضاريسها ايضاً هما:

١ــ سهل ساحلي ذو درجة انحدار قليلة مع خط ساحل مستقيم تقريباً.
٢ــ منطقة مرتفعة تعرضت الى حالة الظهور.

وتوجد السواحل المحايدة في المناطق التي لم تتعرض لحالة ارتفاع او انخفاض حديث في مستوى اليابسة والماء. بمعنى اخر انها لاتحتوي على ظاهرة ارتفاع او هبوط للساحل. وتقسم هذه بدورها الى:

١ــ سواحل دلتاوات وسواحل طموية.
٢ــ السواحل البركانية.
٣ــ السواحل المرجانية.

وتعني السواحل المركبة في تصنيف جونسون بانها تلك السواحل التي تضم نوعين او اكثر من السواحل السابقة (٣٥).

٢ ــ تصنيف شبرد:

ظهر هذا التصنيف لاول مرة في سنة ١٩٣٧ ثم اخذ وضعيته النهائية في سنة ١٩٦٣ من قبل F.P. Shepard. وقد ميز شبرد في تصنيفه نوعين من السواحل هما السواحل الاولية والسواحل الثانوية. وتعني السواحل الاولية في مفهوم شيبرد انها السواحل التي جاءت خطوطها العامة من قبل بحر تقدم فوق تضاريس

(35) Harry Robinson, Op. Cit., pp. 361-364.

اليابسة التي سبق لعمليات جيومورفولوجية ارضية أن قامت بتكوينها اكثر من كونها تأثرت بعمليات بحرية . ويضم هذا الصنف بدورة اربعة انواع من السواحل هي : تلك التي اخذت ملامحها الاساسية بوساطة التعرية والترسيب والنشاط البركاني والحركات الارضية . اما السواحل الثانوية فقد عرفها شيبرد بأنها السواحل التي تأثرت بالعمليات البحرية او بوساطة الاحياء البحرية . وتضم السواحل التي تعرضت للتعرية البحرية والترسيب البحري او التي نمت فوقها الاحياء البحرية .

٣ ــ تصنيف فالنتين :

ظهر هذا التصنيف في سنة ١٩٥٢ من قبل H. Valentin ويعتمد على اصل نشأة السواحل genetic وقد قسمت السواحل بموجبه الى مجموعتين رئيسيتين هما السواحل المتقدمة والسواحل المتراجعة .

أولاً : السواحل المتقدمة

١ــ السواحل الظاهرة

(أ) سواحل قيعان البحار

٢ــ سواحل متقدمة

(أ) سواحل متقدمة ناتجة عن عمليات عضوية

١ــ السواحل المرجانية

٢ــ سواحل (المانكروف)

(ب) سواحل متقدمة ناتجة عن عمليات لاعضوية

١ــ سواحل ناتجة عن ترسيب بحري

٢ــ سواحل ناتجة عن ترسيب نهري

ثانياً ــ السواحل المتراجعة

١ــ السواحل المتراجعة

(أ) تضاريس جليدية غارقة

١ــ تضاريس ناتجة عن التعرية الجليدية

٢ــ تضاريس ناتجة عن الترسيب الجليدي

(ب) تضاريس نهرية غارقة

١ــ التواءات في مرحلة الشباب

٢ــ التواءات في مرحلة الشيخوخة
٣ــ بنية ذات طبقات مستوية
٢ــ سواحل متراجعة
(أ) السواحل التي تجاور الاجراف (٣٦).

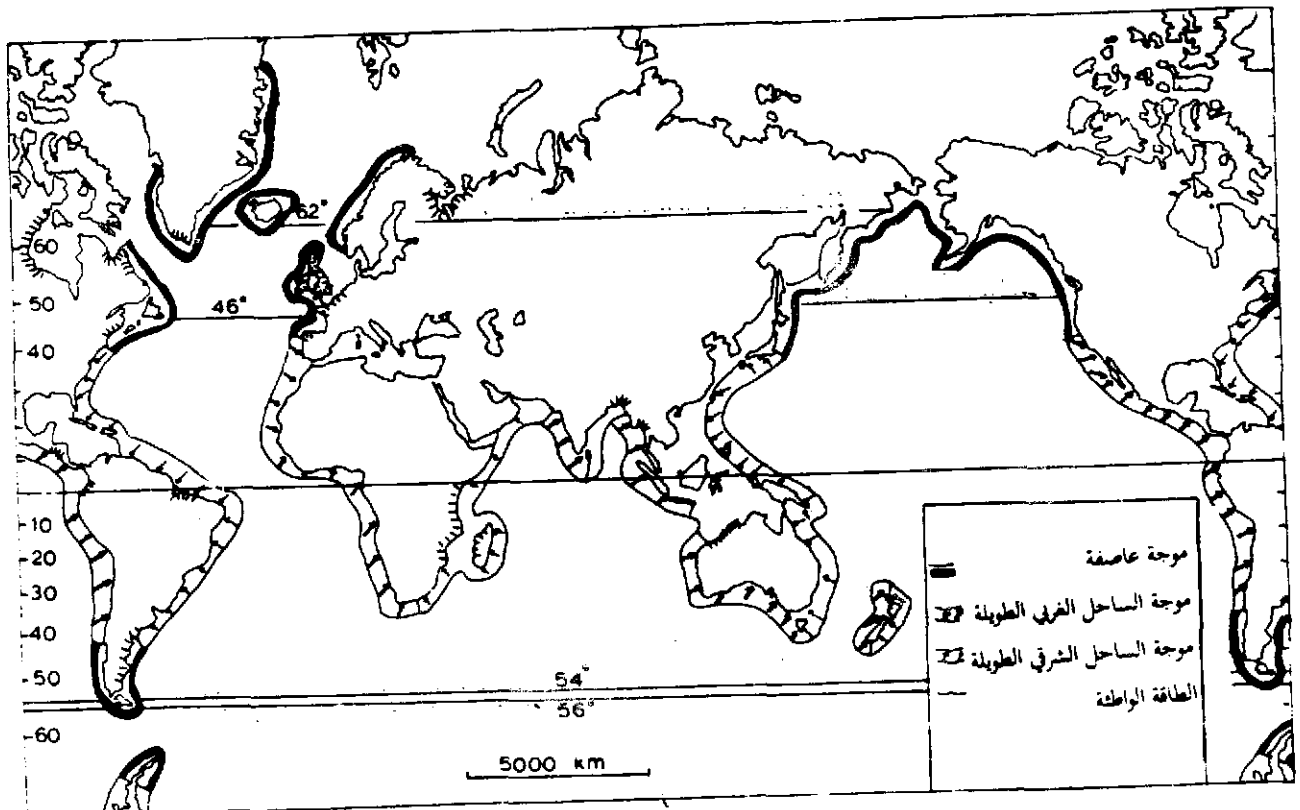
٤ ــ تصنيف ديفز

يعتبر هذا التصنيف من اشهر التصانيف التي وضعت للسواحل اعتماداً على اسس حركية وقد وضعه في سنة ١٩٦٤ J.L. Davies . وقد اتخذ له اساساً هو طبيعة الموجة التي تؤثر على الساحل، وبالنظر الى أن معظم الامواج ناتجة عن الظروف المناخية فقد سمي اساس التصنيف بأسم موجة المناخ Wave Climte وبموجب ذلك قسمت السواحل الى اربعة اصناف (شكل رقم ١٠٣) .

١ــ السواحل التي تسودها بيئة موجة العواصف . وتوجد هذه البيئة في العروض العليا ضمن نطاق الرياح القوية المتغيرة الاتجاه حيث تتولد هنا امواج العواصف التي تكون مصحوبة بعادة برياح قوية تهب على السواحل قادمة من المحيطات . يتركز هذا النطاق في النصف الجنوبي من الكرة الارضية عند دائرة عرض ٥٤° جنوباً في فصل الشتاء و ٥٦° جنوباً في فصل الصيف . ولذا ينحصر تأثير هذا النطاق على سواحل قارية قليلة هناك كما في السواحل الجنوبية من قارة امريكا الجنوبية . ولكنه يقع في النصف الشمالي من الكرة الارضية بين دائرتي عرض ٤٦° شمالاً في الشتاء و ٦٢° شمالاً في فصل الصيف . ويغطي بذلك ساحل قارة امريكا الشمالية في ساحلها الغربي ابتداء من شمال كاليفورنيا وبأتجاه الشمال . وكذلك من ساحل نيويورك في الجهة الشرقية بأتجاه الشمال ايضاً . ويغطي الساحل الاوربي المطل على المحيط الاطلسي اعتباراً من ساحل فرنسا حتى شمال النرويج . ويغطي الساحل الاسيوي المطل على المحيط الهادي اعتباراً من اليابان ثم بأتجاه الشمال بعد ذلك . يوجد في اغلب هذه السواحل قطاعات تتكون من اجراف صخرية عالية وارصفة صخرية ناتجة عن قطع الامواج (٣٧).

---

(36) W. Thornbury, Op. Cit., pp. 437-439.
(37) R.U. Cooke and J.C. Doornkamp, Geomorphology in Environmental Management, Clarendon, Oxford, 1978, p. 192.



شكل رقم ١٠٣

انماط السواحل حسب نوعية موجة المناخ بموجب تصنيف ديفز

٢ــ السواحل الغربية ذوات بيئة الموجة الطويلة :

٣ــ السواحل الشرقية ذوات بيئة الموجة الطويلة : يسود هذان النوعان من السواحل في العروض الدنيا التي تسيطر عليها الامواج الطويله [illegible] التي تنشأ من جراء تكون امواج العواصف السابقة والتي تتحول بدورها الى امواج طويلة تصل الى سواحل العروض الدنيا . وتكون الامواج الطويلة التي تصل الى السواحل الغربية اكثر ارتفاعاً وبالتالي فأن طاقتها تكون اعظم من تلك التي تؤثر على السواحل الشرقية . يبلغ معدل اطوال هذه الامواج المتوسطة ٣٠٥ متراً ومدتها ١٤ ثانية ، وينكسر معظمها قبل وصولها الى الشاطيء .

٤ــ السواحل التي تؤثر عليها الامواج ذوات الطاقة الواطئة : توجد هذه السواحل اما في المناطق التي يكون المدى فيها غير ملائم لقيام امواج قوية أو حيث يعيق وجود جليد البحر عملية تكوين الامواج القوية ، او حيث يوجد مظهر ما بعيد عن الساحل يمنع وصول الامواج القوية الى خط الساحل . وتعتبر سواحل البحار القطبية والبحار المغلوقة من هذا النوع من السواحل (٣٨) .

الشعاب والجزر المرجانية

الشعاب المرجانية تكوينات صخرية جيرية ودولومايت تجمعت بوساطة انواع من الاحياء البحرية التي تقوم بأفراز الكاربونات . وتقسم التكوينات المرجانية الى ثلاثة انماط تبعاً لمواقعها من المحيط طبقاً للتصنيف الذي وضعه العالم المشهور جارلس دارون في سنة ١٨٤٢ .

١ــ الشعاب الهامشية Fringing Reefs : وتتكون من غشاء او من رصيف مرجاني يمتد بصورة موازية للساحل وقريباً منه ، ولا يترك بينه وبين الساحل أية بحيرات ساحلية وتكون هذه الشعاب ضيقة اذ لا يتجاوز اتساعها عن ٣٠ ــ ٤٠ متراً رغم أن اتساع البعض منها قد يبلغ عدة مئات من الامتار .

٢ــ [illegible] لمرجانية Barrier Reefs : وتوجد هذه التكوينات المرجانية على [illegible] عدة كيلومترات من خطوط السواحل وتفصلها عنها بحيرات ساحلية .

(38) Ibid.

ومن اشهر الامثلة على الحواجز المرجانية في العالم الحاجز المرجاني الاسترالي العظيم الذي يمتد موازياً للساحل الشمالي الشرقي لقارة استراليا لمسافة تقرب من ٢٠٠٠ كم امام سواحل كوينزلاند الى الجنوب من مضايق تورس Torres وبأتساع يتراوح بين ٤٠ ــ ٣٢٠ كم ويبتعد عن الساحل مسافة تتراوح بين ٤٠ ــ ٣٠٠ كم (شكل رقم ١٠٤).

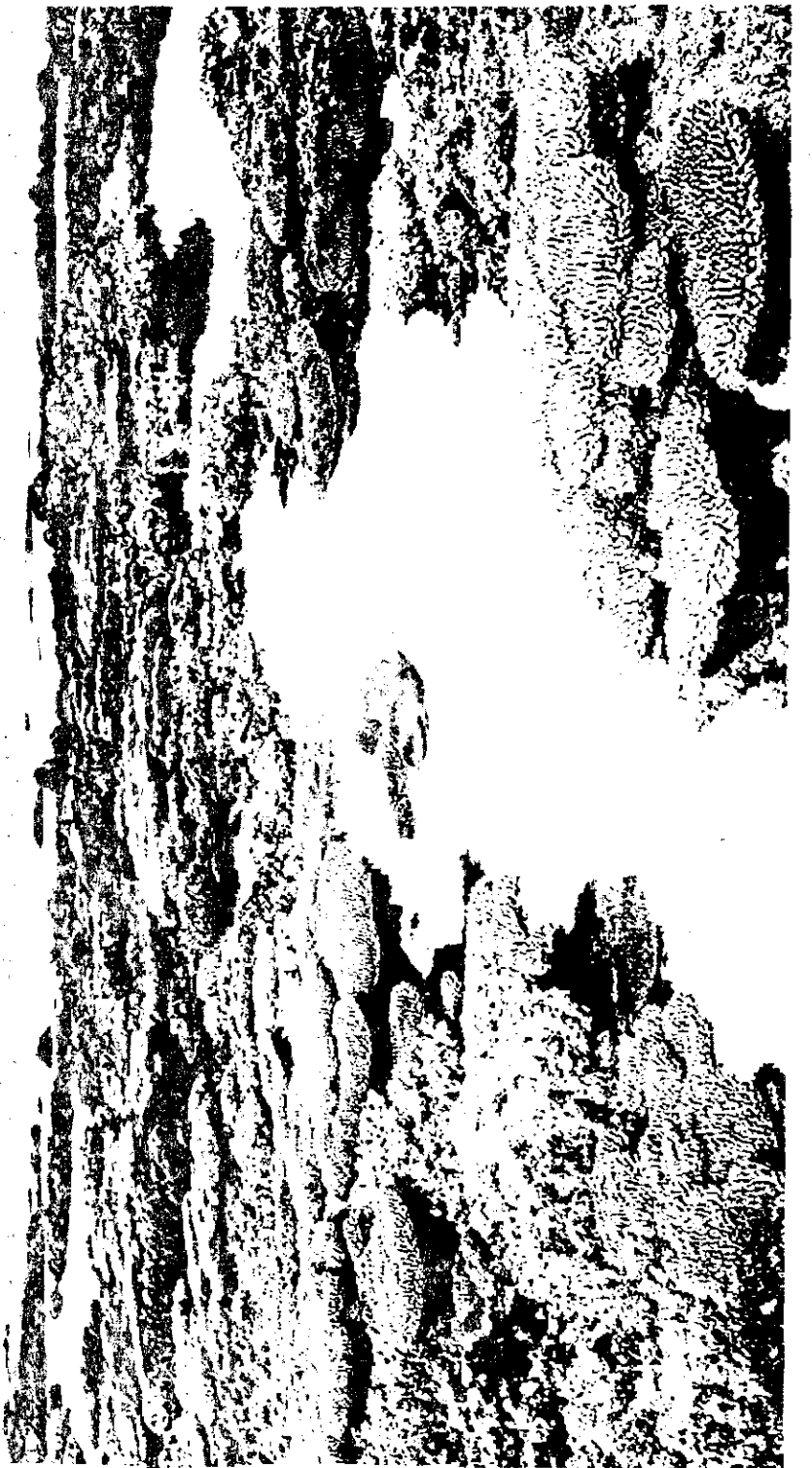
٣ــ الجزر المرجانية الحلقية (الاتول): وهي حواجز مرجانية مدورة تحصر داخلها بحيرات وسطية ترتبط ببقية جهات المحيط بوساطة ممرات عديدة. وتتصف مياه البحيرات الواقعة داخل هذه الجزر الحلقية بأنها ذوات مياه صافية ويكون قاع البحيرة الواطيء منها مستوياً ودرجة الانحدار اليها قليلة (شكل رقم ١٠٥).

الظروف الملائمة لتطور المرجان

يعيش المرجان coral في مستعمرات تضم الاف البولبات المنفردة polyps يتكون كل واحد منها من منخفض كأسي الشكل يوجد داخل اطار جيري يحيط بكل المستعمرة. ويتشعب الاطار الصخري هذا من خلال نمو الاجيال المتعاقبة من المرجان نحو الاعلى او نحو الخارج ويأخذ شكلاً يشبه النباتات او الشجيرات وتلتحم الفراغات الموجودة بين التراكيب المرجانية وترتبط معاً بوساطة نوع من الطحالب المرجانية التي تعرف بأسم nullipores. وترسب هذه بدورها ايضاً كاربونات الكالسيوم خلال اجسامها وتغطي بذلك المرجان النامي الذي ترتبط معه (٣٩).

توجد المستعمرات المرجانية في بيئة ذات مدى جغرافي محدود بسبب وجود عدد من المتطلبات الضرورية الخاصة لنمو المرجان. وتتعلق تلك المتطلبات بظروف الملوحة والضوء والحرارة. اذ يجب ان يكون الماء الذي يعيش فيه المرجان مالحاً وان يكون دافئاً. يتحدد نمو المرجان في المناطق المدارية، اذ يجب ان تتراوح درجة حرارة المياه بين ٢٠ ــ ٣٠°م. ولا يتعدى وجوده عادة المنطقة المحصورة بين دائرتي ٣٠ شمالاً وجنوباً. ويتركز وجود المرجان في الجهات الغربية من المحيطات التي لاتحدث فيها ظاهرة التدفق upwelling للمياه الباردة من الاعماق نحو سطح المحيط. ولقد

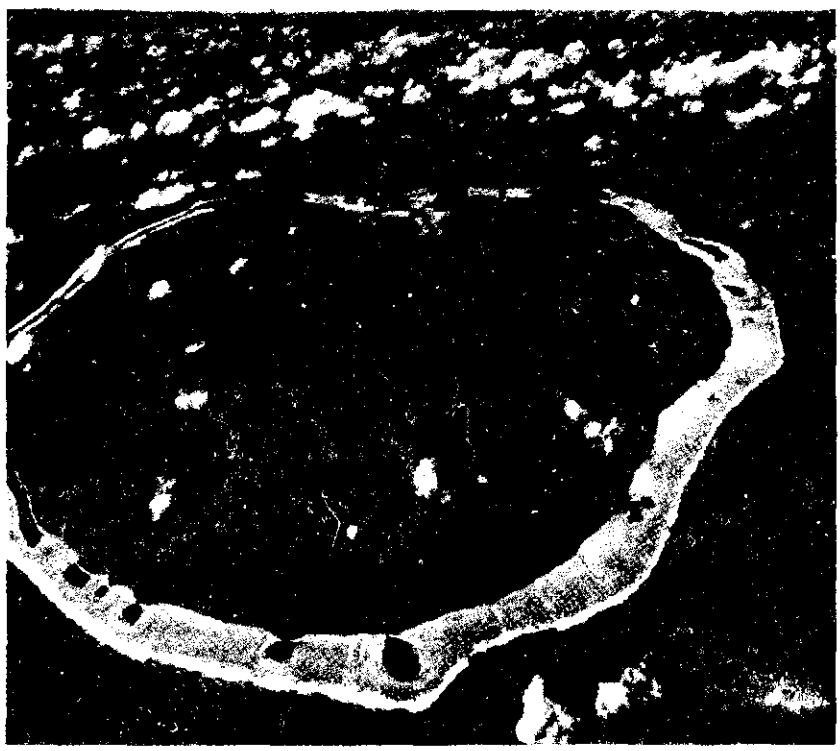
(39) A. Holmes, Op. Cit., p. 951.



شكل ــ ١٠٤ ــ

صورة الى بعض التكوينات المرجانية في الحاجز المرجاني العظيم فى استراليا

حددت درجة الحرارة ايضاً من نمو المرجان وجعلته يرتبط بالطبقات السطحية من ماء المحيط اذ تكون درجات حرارة مياه الاعماق دون المستوى المطلوب لنمو المرجان حتى في مياه المحيطات والبحار المدارية، ويمتد نمو المرجان تبعاً لذلك الى اعماق لاتزيد باية حال عن ٩٠ ــ ١٠٠ متر تبعاً للظروف المحلية ويتحدد النمو عادة مع عمق ٥٠ متراً. من الاسباب التي يتحدد نمو المرجان بموجبها في الطبقة العليا من الماء المحيطي حاجة الطحالب الخضراء التي تعيش متضامنة مع المرجان الى نور الشمس لاتمام عملية التمثيل الضوئي والذي يزداد عادة في الطبقات المائية القريبة من السطح. وينعدم وجود المرجان امام مصبات الانهار بسبب وجود الرواسب التي تشتت نور الشمس وتمنعه من الوصول الى الاعماق التي ينمو فيها المرجان وكذلك الى انخفاض نسبة الملوحة في المياه المجاورة الى مصبات الانهار اذ تتراوح درجة الملوحة التي يتطلبها المرجان لنموه بين ٣٧ ــ ٤٠ في الالف.



شكل ــ ١٠٥ ــ

جزيرة مرجانية حلقية (آتول) من

مجموعة جزر مارشال في المحيط الهادي

تبعاً لذلك يتحدد وجود المرجان الحي في أنطقة محيطية مدارية ضحلة اذ يعتبر القسم الغربي من المحيط الهادي الجنوبي اكبر بحر مرجاني في العالم ويمكن اعتبار منطقة البحر الكاريبي وخليج المكسيك والمناطق المجاورة لها من المحيط الاطلسي اقليماً مرجانياً مهماً اخر. ولا ينمو المرجان على طول الجانب الغربي لقارة امريكا الجنوبية بسبب مرور تيار بيرو وكذلك لاينمو على الجانب الغربي لجزيرتي جاوة وسومطرة بسبب المياه الغرينية الكثيرة فيها (٤٠). الا أن المرجان المتحجر يمتد بعيداً وراء هذه المنطقة المحدودة اذ توجد تكويناته في كثير من اجزاء العالم ويشير وجودها اما الى حدوث تغيرات مناخية خلال التاريخ الجيولوجي للارض او بسبب ماحدث من تزحزح لمواقع القارات او بسبب ان الظروف التي كان يتطلبها المرجان تختلف عن الظروف التي يحتاجها لنموه حالياً. او بسبب كل هذه الحالات مجتمعة (٤١).

يتكاثر المرجان بسرعة في حالة توفر الظروف التي ذكرت قبل قليل وتنتقل اللارفات التي تنتجها الشعاب المرجانية الحية من مكان الى اخر بوساطة التيارات المحيطية وتلتصق فوق قاعدة صخرية متماسكة أو فوق طبقات متماسكة من الاصداف وتبدأ في تكوين شعاب مرجانية اخرى ويبلغ معدل نمو المرجان الحي حوالي ١٤ ملم في العام الواحد او حوالي ٣٠ سم لكل ٢٠ عاماً (٤٢).

اصل الحواجز المرجانية

ليس هناك ادنى شك او اختلاف بين العلماء حول كيفية تكوين الشعاب المرجانية الهامشية في أنها تكونت من جراء نمو التكوينات المرجانية على الصخور القاعية المجاورة لخطوط السواحل التي تكون ظروفهاملائمة لنمو المرجان. غير أن الاراء اختلفت في الطريقة التي تكونت بها كل من الحواجز المرجانية وكذلك الجزر الحلقية.

كانت نظرية الهبوط Subsidence من اهم الاراء التي فسرت بموجبها تكون تلك الظاهرة وقد جاء بهذه النظرية العالم الطبيعي المشهور جارلس دارون Charles Darwin في سنة ١٨٣٧ نتيجة للابحاث التي اجراها خلال مرافقته للرحلة العلمية التي قامت بها السفينة بيكال Beagle للفترة ١٨٣١ — ١٨٣٦

(40) F. Worcester, Op. Cit., p. 494.

(41) Twidale, Op. Cit,, p. 513.

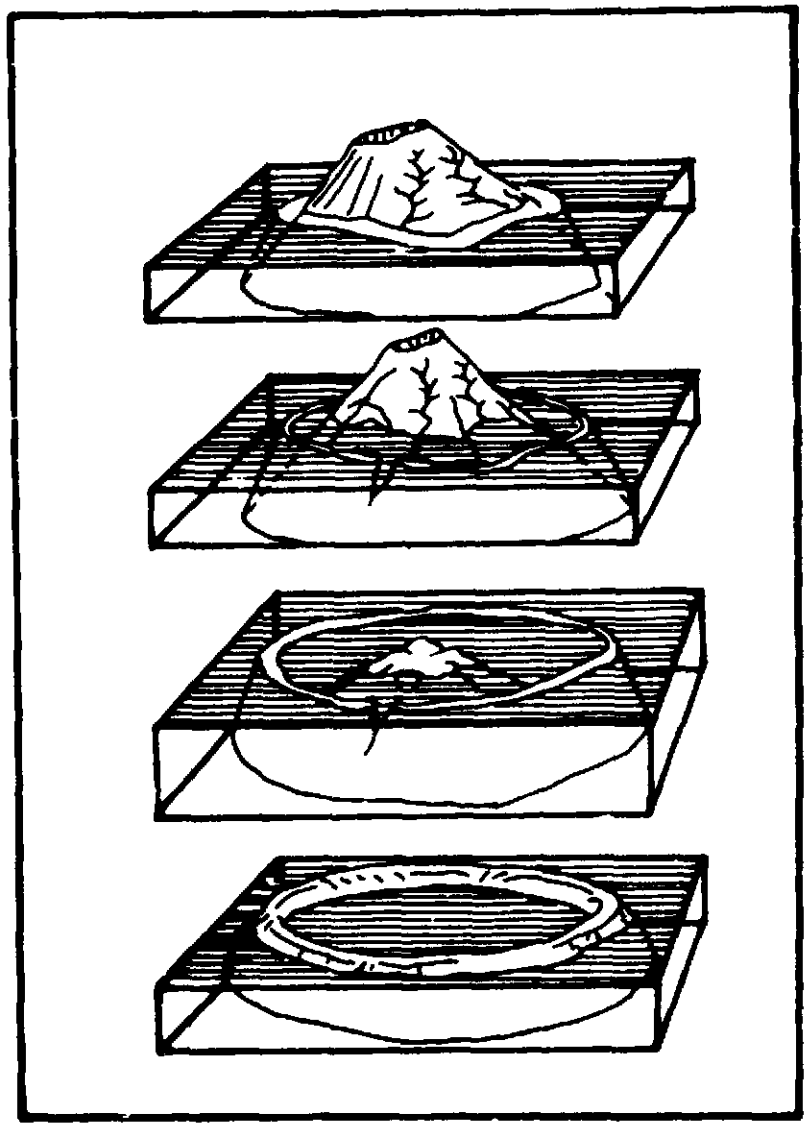
(42) A. Holmes, Op. Cit., p. 957.

وخاصة تلك التكوينات التي سميناها بالجزر الحلقية (الاتول) . وقد قام بعض الباحثين بتطوير تلك النظرية ومن اشهرهم الجيومورفولوجي المشهور ديفيز W. Davis .

يعتقد دارون بوجود قلب بركاني في المحيطات المدارية تستند عليه تلك الجزر الحلقية . وكان هذا الجبل البركاني من نوع الجبال البركانية المغمورة بمياه البحر ذوات القمم المسطحة نسبياً guyot . وينمو هذا الجبل البركاني بصورة متواصلة من جراء الثورات البركانية وخروج الطفوح البركانية فيتحول ذلك الجبل بالتالي الى جزيرة بركانية . وبسبب توفر الظروف الملائمة لنمو المرجان يبدأ ذلك الكائن الحي بتكوين شعاب مرجانية هامشية حول الجزيرة الواقعة بين مستوى سطح البحر وحتى عمق ٢٠ متر . ويهبط ذلك الجبل البركاني بصورة تدرجية بسبب الثقل العظيم الذي يسببه فوق القشرة المحيطية الواقعة اسفله . ويؤدي ذلك الهبوط المستمر الى هبوط التكوينات المرجانية المستندة على جوانب الجزيرة المرجانية في الوقت الذي يستمر المرجان في النمو فيه عند المستوى الملائم لنموه فتتحول تلك الشعاب الهامشية الى حواجز مرجانية تحيط بالقمة البركانية وتفصلها عنها بحيرة ساحلية . وتختفي القمة البركانية بصورة تدريجية مع استمرار عملية الهبوط ونمو المرجان نحو الاعلى في محاولة منه للبقاء عند المستوى الملائم للنمو فتتحول الى جزيرة حلقية تحصر داخلها بحيرة مالحة lagoon (شكل رقم ١٠٦) . ويعتقد ان السبب في وجود تلك البحيرة هو أن نمو المرجان في الجانب الداخلي من الحاجز يكون قليلاً بسبب النقص الموجود من الاوكسجين والغذاء في مياه تلك البحيرة .

لقد تعرضت نظرية دارون هذه للتشكيك بسبب عدم امكانية تأكيد صحتها عملياً في وقت ظهور هذه النظرية . غير أن تطور وسائل الحفر في الجزر المرجانية أثبت وجود التكوينات البركانية التي تستند عليها الشعاب المرجانية . فقد امكن الحفر على تكوينات بازلتية على عمق لايقل عن ١٠٠٠ متر في احدى الجزر الحلقية التابعة لمجموعة جزر آليس شمال فيجي في المحيط الهادي كما استطاع الباحثون الوصول الى القلب البركاني لجزيرة بكيني الحلقية عند عمق يتراوح بين ٢٥٠٠ — ٣٠٠٠ متر تقريباً (٤٣) وجرت عمليات حفر في جزيرة Eniwetok وهي احدى الجزر الحلقية في مجموعة مارشال في المحيط الهادي في سنة ١٩٥٢ وقد امكن الوصول الى المركز البازلتي في منطقتين بعد أن وصل الحفر الى عمق

(43) A. Holmes, Op. Cit., p. 878.



شكل رقم ١٠٦
مراحل تكوين جزيرة مرجانية حلقية (آتول) طبقاً لنظرية الهبوط لدارون

... (٤٤)، وكانت المنحدرات المرجانية التي استخرجت من قاعدة التكوين المرجاني تعود الى عصر الايوسين، وقد غاصت الجزيرة الحلقية هذه مسافة ١٢٠٠ متراً في حوالي ٥٠ مليون سنة (٤٥).

هذا وتعتبر نظرية السيطرة الجليدية The Glacial-Control من النظريات المهمة في تفسير كيفية تكوين الحواجز المرجانية. وقد جاء بهذه النظرية Daly في سنة ١٩١٠ بالاستناد الى التغيرات التي تعرض لها مستوى سطح البحر خلال الفترات الجليدية في البلايستوسين، وقد ربط دراساته بأكتشافه لاثر جليدي على سفوح احد جبال جزر هواي البركانية، فقد انخفض مستوى سطح البحر خلال تلك الفترة بسبب تحول قسم كبير من مياه المحيطات الى جليد تجمع فوق سطوح القارات الى دون مستواه الحالي بحوالي ٦٨ ــ ٨٠ متراً. وتعرضت نتيجة ذلك معظم الجزر المحيطية الى عملية تعرية الامواج وتسوية لسطوحها. وبتغير المناخ نحو الدفيء ثانية بدأ مستوى سطح البحر يرتفع بعد رجوع المياه اليه بسبب ذوبان الجليد المتراكم على القارات واخذ المرجان ينمو على الارصفة الغارقة التي هيأتها له الامواج واخذت تكويناته ترتفع مع الارتفاع التدريجي لمنسوب مستوى سطح البحر (٤٦).

ومن النظريات المهمة المتداولة في هذا الموضوع نظرية الرصيف الغارق التي قدمها الكسندر اكازيز A. Aggazziz ومجموعة اخرى من الباحثين من أشهرهم السير جون موري. وتفترض هذه النظرية ان الحواجز المرجانية والجزر الحلقيه نمت فوق رصيف بحري غارق كونته الامواج من خلال عملية التعرية التي تقوم بها. ويعتقد هؤلاء بأن هذا الرصيف لم يتعرض الى حركة هبوط. ويتمثل هذا الرصيف في حالة الجزر الحلقية بتكوينات مقطوعة القمم غارقة، ويمكن للمرجان ان ينمو في حالة عدم وجود اي هبوط في الجزيرة الى سمك لايتجاوز العمق الاقصى الذي يمكن للمرجان ان يعيش فيه. ويعتقد واضعو هذه النظرية ايضاً ان البحيرات الواقعة بين الحواجز المرجانية والسواحل او تلك التي تقع داخل الجزر المرجانية الحلقية قد عمقت من خلال عمل الامواج (٤٧).

(44) Peter K. Weyl, Oceanography, John Wiley, New York. 1970, p. 453.

(45) Gilluly, Op. cit., p. 364.

(46) H. Robinson, Op. cit., p. 370.

(47) P. Worcester, Op. Cit., p. 498-499.

الفصل الثامن

المياه الباطنية والاشكال الارضية ذوات العلاقة بها

تعرف المياه التي توجد داخل شقوق ومسامات الصخور التي تؤلف الغلاف الصخري للارض، دون مستوى سطح اليابسة، باسم المياه الارضية ground-water او المياه تحت الارضية. وتغلب عليها تسمية المياه الباطنية او المياه الجوفية.

يمكن ملاحظة وجود المياه الباطنية في طرق شائعة كثيرة اذ يخرج قسم كبير منها تلقاء نفسه خلال العيون والينابيع. كما ويؤدي حفر الآبار الى خروج الماء الباطني في مناطق كثيرة اخرى. وتقذف النافورات من حين الى آخر بكميات هائلة من المياه الباطنية. كما وتغذي مياه الرشح كثيراً من البحيرات والمستنقعات والانهار بمصادر مائية دائمية.

لو قدرنا كمية التساقط السنوي التي تسقط على سطح الارض بمعدل يبلغ حوالي ٨٠ ملمتر « اذ ان كمية التساقط تتراوح على سطح الارض بين صفر — ١٢٩٠ سم في العام » ففي هذه الحالة سوف تكون كمية التساقط على الارض كلها في حدود ١٢٧٫٠٠٠ كيلو متر مكعب. وتقدر كمية المياه السطحية الجارية التي تتغذي من ذلك التساقط في حدود ٣٠٪ من الكمية الكاملة للتساقط اي في حدود ٣٨٫٠٠٠ كيلومتر مكعب. ويتخلف مامقداره حوالي ٨٧٫٠٠٠ كم^{٣} من كمية التساقط لينضم الى المياه الجوفية. ويعود معظم الماء الجوفي الى الهواء ثانية بواسطة

عملية التبخر من التربة او عمليات النتح التي تقوم بها النباتات. فقد قدر على سبيل المثال ان النبات يطلق مامقداره ٤٠ غالون من الماء بواسطة النتح في كل باوند واحد من المواد الخضرية التي تنتجها النباتات. وتتباين كمية المياه الباطنية العائدة الى الجو بهذه الطرق كثيراً تبعاً الى الاختلافات المناخية والعوامل المؤثرة الاخرى مثل طبيعة الصخور، وطبيعة السطح الذي يحدث فوقه التساقط وكذلك كمية النبات الموجود فوق ذلك السطح. ويتوغل الماء الباطني الذي لايتبخر او تقوم النباتات بفقده عن طريق عملية النتح نحو اعماق مختلفة غير ان معظمه يعود ثانية نحو سطح الارض. ويذهب قسم قليل من ذلك الماء المتوغل نحو الداخل ليساهم في تكوين انواع متعددة من معادن الصخور الثانوية كما في معادن الطين والليمونايت والجبس.

ولقد عملت تقديرات عديدة لكمية الماء الباطني او الجوفي الموجود داخل الصخور من بينها من يقول ان هذه الكمية يمكن لها ان تغطي سطح الارض قاطبة بطبقة من الماء يبلغ سمكها حوالي ٣٠ متراً (١). وتبتعد بعض التقديرات لكمية الماء الباطني عن ذلك الرقم كثيراً اذ يقدر بعض الباحثين سمك تلك الطبقة المائية بأكثر من ١٥٠ متراً ويعتقد Slitcher بأن سمك تلك الطبقة المائية يتراوح بين ١٠٠٠ ــ ١١٥٠ متراً (٢).

مصادر الماء الباطني :

توجد ثلاثة مصادر رئيسية للماء الباطني اولها واكثرها اهمية ذلك الماء الذي يتساقط من خلال الغلاف الجوي بشكل مياه امطار او ثلوج وتعرف تلك المياه بأسم المياه الجوية meteoric. ويعود هذا الماء نحو الداخل من خلال الشقوق والمسامات والمفاصل الموجودة داخل الصخور وكذلك من خلال طبقات الصخور الرسوبية او الصخور المتحولة ذوات الاصول الرسوبية في المناطق التي تعرضت الى الحركات الالتوائية. ويتبين مدى اهمية هذا المصدر للماء الباطني من ان العيون والينابيع قد تتعرض للجفاف تماماً وينخفض مستوى الماء في الآبار في السنوات التي

(1) E.B. branson and others, Introduction to Geology, McGraw-Hill, New York, 1963, p. 126
(2) Worcester, Op. Cit., p. 423

يسود فيها الجفاف كما يختفي الرشح من المناجم للسبب عينه احياناً. وبالنظر الى ان المياه المتساقطة من الغلاف الجوي تؤلف حوالي ١٠٠٪ من المياه التي تمثل دورة المياه في الطبيعة فانها بطبيعة الحال ستكون المصدر لكل انواع المياه الباطنية الاخرى (٣).

يعتبر الماء الجوفي الخلقي Connate مصدراً آخر للمياه الجوفية. ولقد تخلف هذا الماء داخل المسامات الموجودة في التكوينات الرسوبية التي نشأت داخل الاجسام المائية مثل البحيرات والبحار. ويوجد في العادة داخل صخور رملية. وحصرت تلك المياه داخل الصخور الرملية بواسطة تكوينات صخرية ذوات مسامية قليلة تحيط بها بحيث لاتسمح لتلك المياه بالحركة بحرية خلال الصخور الارضية. وبقيت تلك المياه في معظم الحالات ضمن تلك الصخور لفترات تزيد عن عدة آلاف من الاعوام. ويطلق على مثل هذا الماء احياناً اسم الماء الحفري Fossil Water . وتحتوي هذه المياه على نسبة عالية من الاملاح الذائبة.

هذا وتعتبر المياه الحديثة juvenile مصدر آخر من مصادر الماء الباطني وتشمل هذه انواعاً عديدة منها :

١ــ المياه الصهيرية magmatic وهي المياه التي تنشأ عندما تطلق بعض معادن الصخور (التي تحتوي على الماء في تركيبها) ذلك الماء عندما تنصهر من جراء عمليات ارضية باطنية ثم تبدأ بالارتفاع نحو سطح الارض، حيث ينتشر ذلك الماء داخل المسامات او الشقوق الموجودة في الصخور المجاورة. وتحتوي المياه هذه على املاح معدنية ترسبها داخل تلك الشقوق حيث يعتقد ان معظم رواسب الذهب والفضة والنحاس قد ترسبت بوساطة مياه صهيرية تحتوي على نسبة عالية من تلك المعادن.

٢ــ المياه البركانية التي تكون مصاحبة للنشاط البركاني.

٣ــ المياه الكونية Cosmic ويكون مصدر هذه المياه خارج نطاق الكرة الارضية حيث تصل كمية ضئيلة منها مع النيازك المتساقطة على سطح الارض.

---

(3) Ira S. Allison and others, Geology, McGraw-Hill, New York, 1974, p. 349

٤ــ المياه المتجددة Rejuvinated والتي ترافق عمليات التماسك التي تتعرض لها ذرات الرواسب وكذلك تلك التي ترافق عمليات التحول التي تتعرض اليها الصخور (٤).

المسامية والنفاذية Porosity and permeability

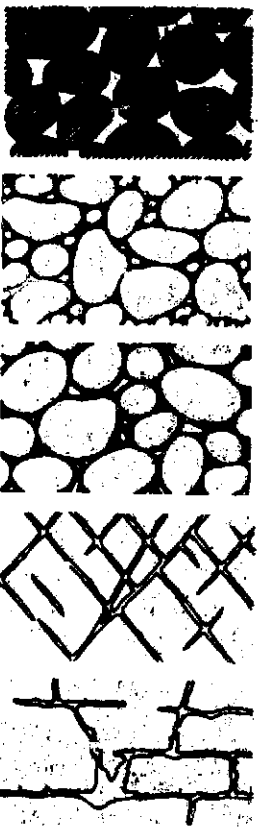
تعرف المسامات بانها الفراغات الموجودة داخل الصخور بما فيها الشقوق والمفاصل وكذلك الفراغات الموجودة داخل المعادن الصخرية او بين ذرات الرواسب. وتعرف درجة مسامية الصخور بانها نسبة حجم تلك الفراغات الى الحجم الكلي للصخور بما فيها حجم تلك الفراغات نفسها. فيقال مثلاً ان درجة مسامية الرمل ٣٠٪ وذلك لان ٣٠٪ من حجمه الكلي يتكون من الفراغات الموجودة بين ذراته. وتتباين درجة مسامية الانواع المختلفة من الصخور كثيراً من اقل من ١٪ في صخور الكرانيت التي لاتتخللها الشقوق والمفاصل الى اكثر من ٤٠٪ في صخور الرمل التي لاتتماسك حبيباتها جيداً. ومن الطبيعي ان تكون الصخور التي تكثر فيها الشقوق والمفاصل وكذلك الصخور التي تتكون من طبقات اكثر مسامية من الصخور النارية المتكتلة. وتعتمد درجة مسامية الصخور الرسوبية كثيراً على نوعية وترتيب ذراتها. وكذلك على درجة تجانس تلك الذرات وعلى طبيعة التماسك والالتحام التي تعرضت له تلك الرواسب منذ تكونها وكذلك على مقدار ازاحة المواد المعدنية منها بوساطة الذوبان وعلى طبيعة الشقوق والمفاصل الموجودة في الصخور نفسها. ويبين الشكل رقم (١٠٧) ذلك حيث تزداد درجة مسامية الصخور إذا كانت حبيبات الرواسب المكونة لها متجانسة في الحجم. وتقل مسامية الصخور التي تكون حبيبات رواسبها غير متجانسة الحجوم. اذ تحتل الحبيبات الصغيرة المسامات الموجودة بين الحبيبات لكبيرة مما يؤدي الى غلق تلك المسامات. ويؤدي ترسيب املاح بعض المعادن بين ذرات الرواسب الى زيادة التحام تلك الذرات وتناقص درجة مساميتها (٥).

يمكن للفراغات الموجودة داخل الصخور ان تصنف طبقاً لخاصية واحدة او اكثر من خصائص الشكل والحجم وطبيعة التكوين. فهي اما ان تكون :

---

(٤) سهل السنوي، مصدر سابق، ص ٢٤٠.

(5) Ira S. Allison, Op. Cit., p. 350



شكل ــ ١٠٧ ــ بعض العوامل التي تؤثر في مسامية الصخور

١ــ فراغات بين ذرات الصخور وتختلف هذه في احجامها اختلافاً كبيراً من مسامات ضئيلة بين ذرات الرواسب المكونة للطين والطفل والاردواز الى فراغات كبيرة جداً توجد بين الحصى المتجانس الاحجام .

٢ــ فراغات كتلية وهي تلك التي توجد بين كتل الصخور الكبيرة مثل الشقوق والمفاصل والفراغات الموجودة بين الطبقات ، وتزداد سعة تلك الفراغات بواسطة عمليات الاذابة .

ويمكن لتلك الفراغات ان تصنف ايضاً تبعاً الى اصلها فهي

١ــ فراغات اصلية original وهي تلك الفراغات التي تكونت في الوقت نفسه الذي تكونت فيه الصخور التي تحتويها. وتتطابق هذه الفراغات في الصخور الرسوبية مع الفراغات الموجودة بين ذرات الرواسب التي ذكرت قبل قليل ولكنها تتباين في احجامها كثيراً داخل الصخور النارية من مسامات صغيرة جداً الى كهوف كبيرة. تبعاً لطبيعة تبرد الحمم البركانية.

٢ــ فراغات ثانوية secondary وتنتج هذه من جراء عمليات جيولوجيه معقدة او نتيجة لعمليات مناخية وحياتية لعبت دوراً فوق الصخور الاصلية. اذ تتوسع المفاصل والشقوق من جراء عمليات التجوية والاذابة. ويكثر وجود مثل هذه الفراغات فوق الصخور البلورية الصلبة القديمة. وتشكل هذه على سبيل المثال القنوات الرئيسية لحركة الماء الباطني وخزنه على مساحات واسعة من قارة افريقيا (٦).

تعني نفاذية الصخور permeability قابليتها على امرار الماء خلالها. وتختلف درجة نفاذية الصخور مع اختلاف حجوم واشكال المسامات وكذلك على مقدار وجود وشكل وحجم مناطق الارتباط بين تلك المسامات. وتعتبر الصخور ذوات النفاذية مسامية دائماً ولكن ليس شرطاً ان تكون الصخور المسامية كلها ذوات درجة نفاذية عالية. فعلى سبيل المثال يعتبر الخبث البركاني pumic ذا درجة مسامية عالية ولكنه في الوقت نفسه لايكون ذا قابلية على النفاذية. حيث يمكن لهذا لنوع من الصخور ان يطفو لعدة ايام فوق الماء وذلك لان مساماته لاتكون متصلة مع بعضها بحيث لاتسمح للماء ان ينفذ خلالها. ولذلك فان وجود طبقة من هذا التكوين الصخري في منطقة ما يجعلها مانعة لمرور الماء خلالها.

تزداد سعة المساحة السطحية لذرات الرواسب كلما كانت حجوم تلك الذرات اصغر وبالتالي يزداد تأثير عامل الاحتكاك friction في اعاقة حركة الماء الباطني خلال تلك التكوينات وتقل بالتالي درجة نفاذية الصخور. كما هي الحال في ذرات الطين. فعلى سبيل المثال تكون مجموع المساحة السطحية لذرات خشنة يبلغ معدل اقطارها ١ ملم ومقدار حجمها الكلي ٢٨٠٠٠ سم^{٣} حوالي ٩٣ متر مربع.

---

(6) R.C. Ward, Principles of Hydrology, Mc graw-Hill, London, 1967, p. 185

في حين تبلغ المساحة السطحية لنفس الحجم من ذرات اقطارها ٠٫٠٢ ملمتر (الغرين) ٤٫٦٧٣ متراً مربعاً. وقد تصل تلك المساحة في حالة ذرات الطين (٠٫٠٠١ ملمتر) الى اكثر من ٩٠٠٠٠ متراً مربعاً. وعلى هذا الاساس فعلى الرغم من ارتفاع نسبة مسامية مثل هذه التكوينات الا ان درجة نفاذيتها تكون قليلة. هذا ويطلق على التكوينات الصخرية التي تتميز بانها ذوات درجات مسامية ونفاذية أسم الأكويفر aquifer (٧).

حركة الماء الباطني والعمق الذي يصل اليه :

يمكن لحركة الماء الباطني ان تتوضح من خلال كثير من الامثلة الشائعة، منها مثلاً ان الابار التي تسحب المياه منها بوساطة المضخات تجف ثم تعود المياه اليها ثانية. كما يظهر جريان مائي قوي من خلال شقوق الصخور في مواقع عديدة من انفاق المناجم او انفاق السكك الحديد. كما تم اكتشاف انهار باطنية في بعض الكهوف الكبيرة. وتتصف حركة الماء الباطني بانها بطيئة جداً عادة فيما عدا تلك التي تحدث في الشقوق او المغارات. وتعرف هذه الحركة البطيئة بانها عملية الترشيح percolation التي تعتمد بدورها على طبيعة انحدار مستوى الماء الباطني او على المنحدر الهيدروليكي (المائي) (الفرق في ارتفاع الماء الجوفي مقسوماً بالمسافة بين مكانين معينين). وتعتمد عملية الترشيح ايضاً على طبيعة نفاذية الصخور وعلى مقدار ميل الطبقات الصخرية نفسها (٨). ويؤدي الاختلاف في الضغط لهيدروستاتيكي (المائي) الى حدوث حركة للماءالباطني. وينتج الضغط المائي من ثقل الماء المسلط على نقطة معينة داخل الطبقة الصخرية الحاملة للماء الباطني (الأكويفر). يسلك الماء الباطني في حركته الممرات التي تكون المقاومة فيها قليلة، من مناطق الضغط المائي العالي تحت التلال نحو مناطق الضغط المائي الواطيء في الوديان.

دلت الدراسات العديدة ان معدل حركة الماء الباطني في الصخور الرملية تتراوح بين ١٫٥ ــ ٤٫٥ كم في العام الواحد. ويزداد معدل السرعة هذا كثيراً في الممرات المفتوحة. ويمكن للماء الباطني ان يقطع بحركته هذه مسافات كبيرة. فعلى

(7) Ira Allison, Op. Cit., p. 350
(8) Ibid. p. 353

سبيل المثال تتزود الابار الارتوازية الموجودة في غرب كنساس ونبراسكا بالمياه من تكوينات جيولوجية تعرف بصخور داكوتا الرملية التي تبرز فوق سطح الارض عند الحافات الشرقية لجبال روكي على مسافة ٣٠٠ كيلومتر او اكثر. وينتقل الماء خلال هذه التكوينات من المطر والثلوج التي تسقط على سفوح الجبال ثم يتحرك اسفل السهول العظمى في الصخور الرملية المسامية التي تقع فوقها وتحتها طبقات من الطفل غير المسامي. وقد قدر انه لكي تضل تلك الحركة المائية مستمرة لابد ان تكون درجة الهبوط في المستوى ٣٠ سم لكل ١ر٥ كم (٩).

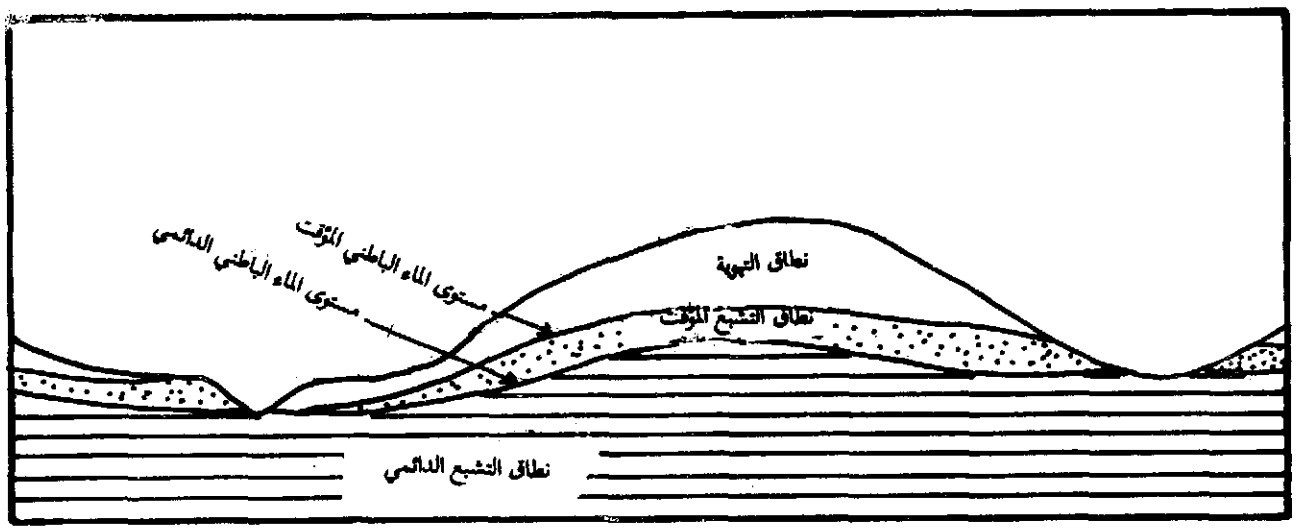
يسلك الماء الباطني عند حركته نحو الاسفل الشقوق والمفاصل والمسامات الموجودة داخل الصخور. يزداد عدد وسعة هذه الفراغات بالقرب من سطح الارض. ويمكن لبعضها ان يمتد الى مسافات كبيرة نحو الاسفل. وقد دلت الدراسات على انه من المستبعد ان توجد الفراغات في اي نوع من الصخور عند عمق يتراوح بين ١٦ — ١٧ر٥ كيلومتراً عن سطح الارض بسبب الضغط الشديد المسلط عليها والذي يؤدي الى اغلاق تلك الفراغات. ويتركز وجود معظم الماء الباطني في الطبقة الصخرية التي لايتجاوز عمقها عدة مئات من الامتار عن سطح الارض للسبب نفسه. فقد دلت عمليات البحث عن البترول والغاز الطبيعي ان معظم ذلك الماء يوجد في اعماق لاتتجاوز ٥٥٠ او ٨٤٠ متراً عن سطح الارض. وتكون معظم المناجم التي عند هذا المستوى او تحته جافة، ولاتحتوي معظم التي يزيد عمقها عن ٢٨٠ متراً الا على رطوبة قليلة (١٠).

مستوى الماء الباطني Water Table

يطلق على السطح العلوي للماء الباطني اسم مستوى الماء الباطني حيث تكون كافة الشقوق والمسامات والمفاصل التي توجد في الصخور الواقعة اسفله مشبعة بالماء الباطني (١١). ويتقوس مستوى الماء الباطني نحو الاعلى تحت المناطق المرتفعة مثل التلال والجبال ويكون مشابهاً في امتداده لطبيعة السطح الواقع فوقه تقريباً. ويمكن على العموم ملاحظة ثلاثة أنطقة متتالية منه (شكل رقم ١٠٨).

(9) P. Worcester, Op. Cit., p. 425

(11) A. Holmes, Op. Cit., p. 412



شكل ــ ١٠٨ ــ أنطقة الماء الباطني

١ــ النطاق غير المشبع : الذي لايكون مشبعاً بالماء رغم ان الماء ينفذ من خلاله نحو الانطقة الواقعة اسفله. وتحتفظ التربة فيه بكميات من المياه التي تقوم جذور النباتات برفعها نحو الاعلى.

٢ــ نطاق التشبع الوقتي intermittent : الذي يمتد عادة من اعلى مستوى يمكن للماء الباطني ان يصل اليه بعد فترة جو رطب طويلة الى اسفل مستوى يصله ذلك الماء الباطني بعد فترات الجفاف ويقع في اعلاه مستوى الماء الباطني المؤقت.

٣ــ نطاق التشبع الدائمي permanent. الذي يمتد نحو الاسفل الى الحدود التي ينتهي بها الماء الباطني ويقع في اعلاه مستوى الماء الدائمي. ويقوم الماء الباطني في الحالات التي يرتفع فيها مستواه الدائمي فوق مستوى سطح الارض بتزويد الانهار والبحيرات والمستنقعات بالمياه. وتتكون بعض الينابيع الوقتية وبعض الفيضانات الوقتية عندما يصل مستوى الماء الباطني المؤقت الى سطح الارض احياناً. ويجف كثير من الينابيع والمستنقعات وحتى الانهار في بعض الاقاليم عندما ينخفض مستوى الماء الباطني بعد مرور فترة جفاف طويلة في تلك الاقاليم (١٢). علماً بان مستوى الماء الباطني يكون قريباً من سطح الارض في المناطق ذوات المناخ الرطب وينخفض كثيراً في المناطق التي يشتد فيها الجفاف.

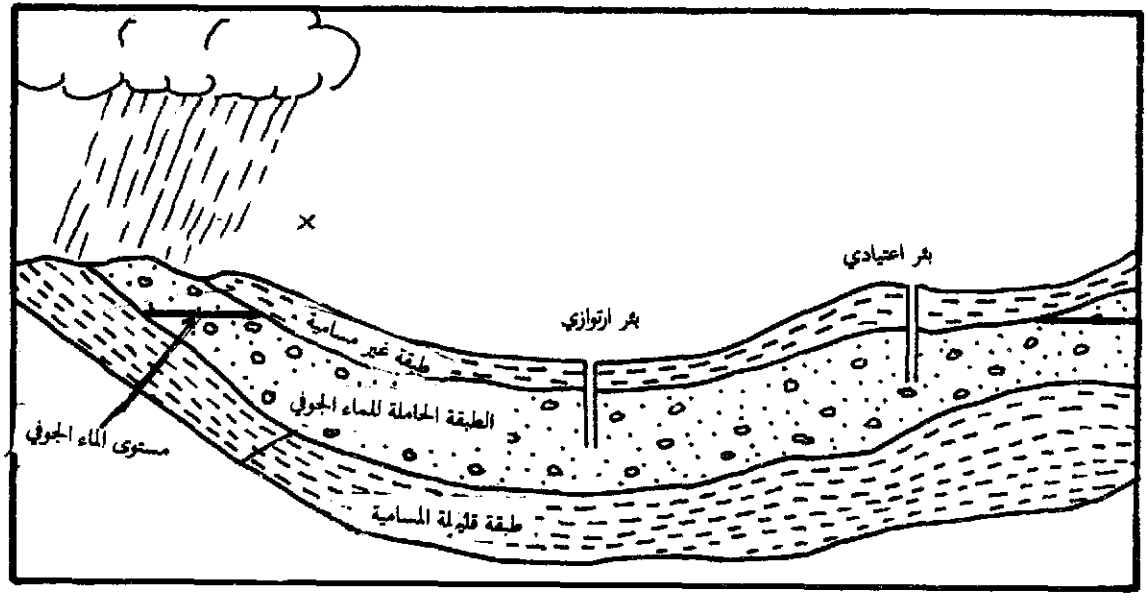
يؤدي وجود بيئة جيولوجية معقدة الى تكوين ظروف مائية باطنية معقدة ايضاً ينشأ عنها احياناً وجود تكوينات صخرية حاوية للماء الباطني منفصلة عن التكوينات الصخرية الاساسية الحاوية للماء في الاقليم وواقعة في مستوى اكثر ارتفاعاً منها. ويطلق على مستوى الماء الباطني الموجود في تلك التكوينات الصخرية المسامية المنفصلة اسم مستوى الماء الباطني المعلق perched (١٣).

تؤدي الظروف الجيولوجية ايضاً الى تكوين مايعرف باسم الاكويفر المحصورة Confined Aquifer وذلك عندما تكون محصورة بين تكوينين صخريين غير مساميين بدرجة غير كافية لمرور الماء الجوفي خلالهما (aquitard) (١٤). مثل صخور الطفل shale. ويمكن لتلك الاكويفر المحصورة ان تبرز الى سطح الارض من

(127 A. Holmes, Op. Cit., p. 413

(13) R. C. Ward, Op. Cit., p. 187

(14) R. Allan Freeze and John A. Cherry, Groundwater, Prentice-Hall, Englewood, 1979, p. 48



شكل ــ ١٠٩ ــ تخطيط يبين كيفية تكون الابار الارتوازية

جراء عمليات التعرية المختلفة التي تزيل قسماً من التكوينات غير المسامية التي توجد فوقها. ويتيح ذلك المجال لبعض المياه ان تتسرب اليها من خلال ذلك. وقد يؤدي تجمع الماء في داخل الاكويفر الى ارتفاع مستوى الماء الباطني خلالها حتى الى فوق مستوى سطح الارض. ويندفع الماء الى الاعلى بواسطة الضغط المائي عندما نقوم بحفر بئر في المناطق التي يكون مستواها اخفض من مستوى الماء الجوفي وتعرف مثل هذه الابار بالابار الارتوازية artesian (شكل رقم ١٠٩). وقد جاءت هذه التسمية من الاسم الروماني لمقاطعة فرنسية تمتد على طول القنال الانكليزي تسود فيها الظروف الارتوازية. ولكثير من الابار الارتوازية اهمية عظيمة في تجهيز الماء الى كثير من الاقاليم حتى الصحراوية منها. ويوجد اليوم تجهيزات مائية ارتوازية كبرى في القسم الشمالي من الصحراء الافريقية الكبرى وكذلك في صحراء الحوض الارتوازي في كوينزلاند باستراليا. وتقدم المناطق شبه الجافة الجنوبية الغربية من ولاية داكوتا الجنوبية مثالاً غريباً عن وضعية الابار الارتوازية. فقد ادى مرور السكك الحديدية في هذه الولاية الى زيادة الحاجة الى المياه من قبل القاطرات البخارية. وقد استدعى ذلك ضرورة حفر الابار فيها. وتشير الدراسات الجيولوجية القديمة عن المنطقة ان الماء الباطني لايوجد الا على بعد حوالي كيلومتر واحد من سطح الارض غير ان عملية الحفر ادت الى تدفقه بعد ان وصل الحفر الى حوالي (١٠) امتار فقط (١٥).

توجد في بعض الاقاليم القطبية دلائل اكيدة على وجود ماء جوفي بوضعية ارتوازية ففي دلتا نهر مكنزي مثلاً يؤدي تجمد الماء في التربة العليا الى تحويلها الى تكوين غير مسامي aquitard ويسبب الماء الارتوازي القادم من المرتفعات المجاورة تكوين ضغط كاف يسمح بثقب تلك التربة المتجمدة ويتدفق الماء نحو التندرا من خلال بثوق مرتفعة عن المستوى العام للسطح تعرف بأسم Pingo (شكل رقم ١١٠) ويبلغ طول بعض هذه التلال حوالي كيلومتر واحد ويزيد ارتفاع البعض منها عن ١٠٠ متر.

الينابيع : Springs

لم تحض اية ظاهرة لها علاقة بالماء الجوفي باهتمام الانسان اكثر من الينابيع. فقد كانت الينابيع ذوات ادوار مهمة في تقرير مواقع السكن القديمة مثلاً.

---

(15) Gilluly, Op. Cit., p. 31٩

شكل ــ ١١٠ ــ ظاهرة Pingo فوق دلتا نهر مكنزي في كندا

وتشير التقاليد الدينية الى الينابيع كثيراً في طقوسها. وتعتمد كثير من الاستطبابات على المياه المعدنية التي تخرج من بعض الينابيع. كما ان المياه التي تخرج من الينابيع تكون اكثر سهولة للاستعمال من المياه التي تخرج من خلال الابار المختلفة. ويعرف الينبوع بانه اي تصريف للماء الباطني يكون كافياً لاحداث جريان سطحي للماء. فهو يختلف عن الرشح الذي يكون تصريفه اقل عادة. وتختلف الينابيع في مقدار التصريف المائي الذي تسببه اختلافاً كبيراً. فعلى سبيل المثال صنف Meinzer الينابيع الى ثمانية اصناف تبعاً الى مقدار تصريفها اولها يكون مقدار تصريفه اكثر من ٢ر٨٣ م^{٣} في الثانية ويكون تصريف المرتبة الثامنة اقل من ٧ر٩ ملم / ثانية (١٦).

تمتلىء التكوينات المسامية في الاقاليم المستوية بالمياه الى مستوى يصل الى سطح الارض تقريباً وتكون حركة المياه الباطنية في مثل هذه الاقاليم قليلة وبذلك تكون الينابيع نادرة الوجود فيها. وتكون المياه الباطنية فيها مشبعة بالاملاح عادة بسبب بقائها متصلة بالصخور لفترة طويلة واذابتها الى كميات كبيرة من تكويناتها المعدنية. ويتوغل الماء الباطني في الاقاليم الجبلية بسرعة نحو الداخل ثم يتدفق ثانية في المواقع التي تبرز فيها التكوينات الصخرية التي تحتويها وتكون كمية الاملاح التي يحتويها الماء قليلة نتيجة لذلك.

من المحتمل ان تكون الاكويفر الموجودة في الاقاليم المستوية محملة بكميات

(16) Stenley N. Davis and Roger J. M. DevWiest, Hydrololgy, Johm Wiley, New York, 1966, pp. 62-63.

كبيرة من المياه الا ان الوصول الى هذه المياه لايتم عادة الا بوساطة الابار على خلاف مايحدث في الاقاليم الجبلية التي يندفع الماء الباطني منها نحو الخارج ثانية بوساطة الينابيع الامر الذي يجعل وجود الابار فيها امراً غير شائع. ويؤدي وجود الوديان التي تقوم الانهار بتعميقها في الاقاليم المستوية الى انكشاف (الاكويفر) الامر الذي يؤدي الى خروج المياه الباطنية منها بشكل عيون وينابيع على طول جوانب تلك الوديان النهرية.

تتكون الينابيع نتيجة للاسباب التالية (شكل رقم ١١٨).

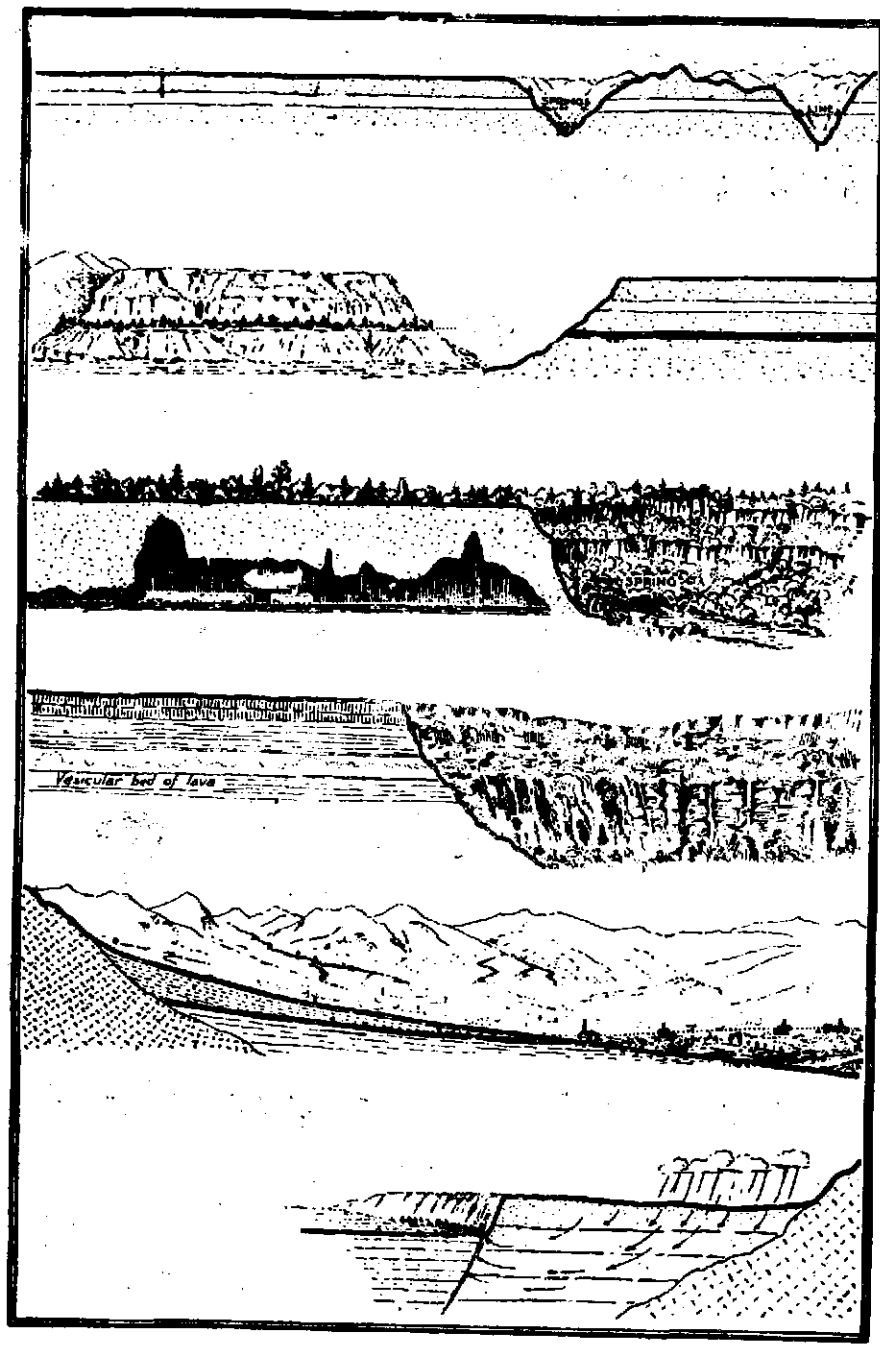
١ــ ظهور طبقة صخرية مسامية على طول جانب احد التلال او على طول جوانب الوديان اذ من المحتمل ان تستند تلك الطبقة المسامية على طبقة صخرية غير مسامية حيث تضطر معها المياه الباطنية الى الخروج فوق منطقة الاتصال بين الطبقتين. ويمكن لمثل هذه الظروف ان توجد على طول جوانب هضاب الميسا Mesa، او حيث يخرج الماء الباطني من الكهوف الجيريه، او حيث تمتد سهول مروحية تتكون من تكوينات حصويه مساميه فوق تكوينات اقل مسامية منها حيث تتشكل الينابيع على طول الحافة الخارجية لتلك السهول المروحية.

٢ــ وجود شق في التكوينات الصخرية نتيجة للانكسارات او المفاصل يسمح للماء الباطني بالارتفاع نحو سطح الارض مكوناً الينابيع. وتحتوي مياه مثل هذه الينابيع التي تتزود بالمياه من اعماق بعيدة على كميات كبيرة من الاملاح كما تكون مياهها حارة في الاغلب (١٧). ويمكن للالتواءات ان تتسبب في تكوين الينابيع كما في حالة بروز الاكويفر في حوض ارتوازي او عند امتداد المفاصل باتجاه واحد يتقاطع مع الامتداد العام للالتواءات.

الينابيع الحارة والنافورات :

لكي يصنف الينبوع حاراً يجب ان يكون معدل حرارة مياهه اكثر من المعدل السنوي لحرارة الهواء في المكان نفسه. وتوجد معظم الينابيع الحارة في اقاليم ذوات نشاط بركاني حديث نسبياً. ويعني ذلك وجود ارتباط بين الينابيع الحارة وبين

17) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 121



شكل ــ ١١١ ــ بعض الظروف الجيولوجية والجيومورفولوجية التي تتسبب عنها الينابيع

الصخور النارية التي تتبرد تدريجياً داخل القشرة الارضية. وينشأ معظم الينابيع الحارة من جراء توغل مياه باطنية ذوات اصل جوي meteoric، حيث تمر خلال صخور نارية حديثة او انها تتصل بغازات بركانية حارة. ويكون اصل مياه بعض الينابيع الحارة والنافورات بركانياً كما في القسم الشرقي من هضبة التبت او في مناطق الفوارات الشديدة الحرارة في كاتماي Katmai في الاسكا.

ومن الدلائل التي تؤكد حقيقة ان مصدر المياه للينابيع الحارة والنافورات جوي هو ان المعادن التي تحتويها مياهها تأتي من الصخور التي تمر عليها تلك المياه خلال حركتها من سطح الارض نحو الداخل. في حين تحتوي المياه البركانية الاصل على بعض المعادن النادرة مثل الزرنيخ والبورون. كما ويتذبذب جريان الماء فيها تبعاً الى التذبذب الحاصل في كمية التساقط في منطقة التغذية (١٨).

يمكن تمييز ثلاثة اقاليم بركانية في العالم تشتهر في الوقت نفسه بنافوراتها وينابيعها الحارة. هي : ايسلندا ومنطقة يلوستون في الولايات المتحدة وكذلك الجزيرة الشمالية في نيوزيلندة.

طبيعة عمل النافورات :

تختلف النافورات الحارة عن الينابيع الاعتيادية والحارة في :

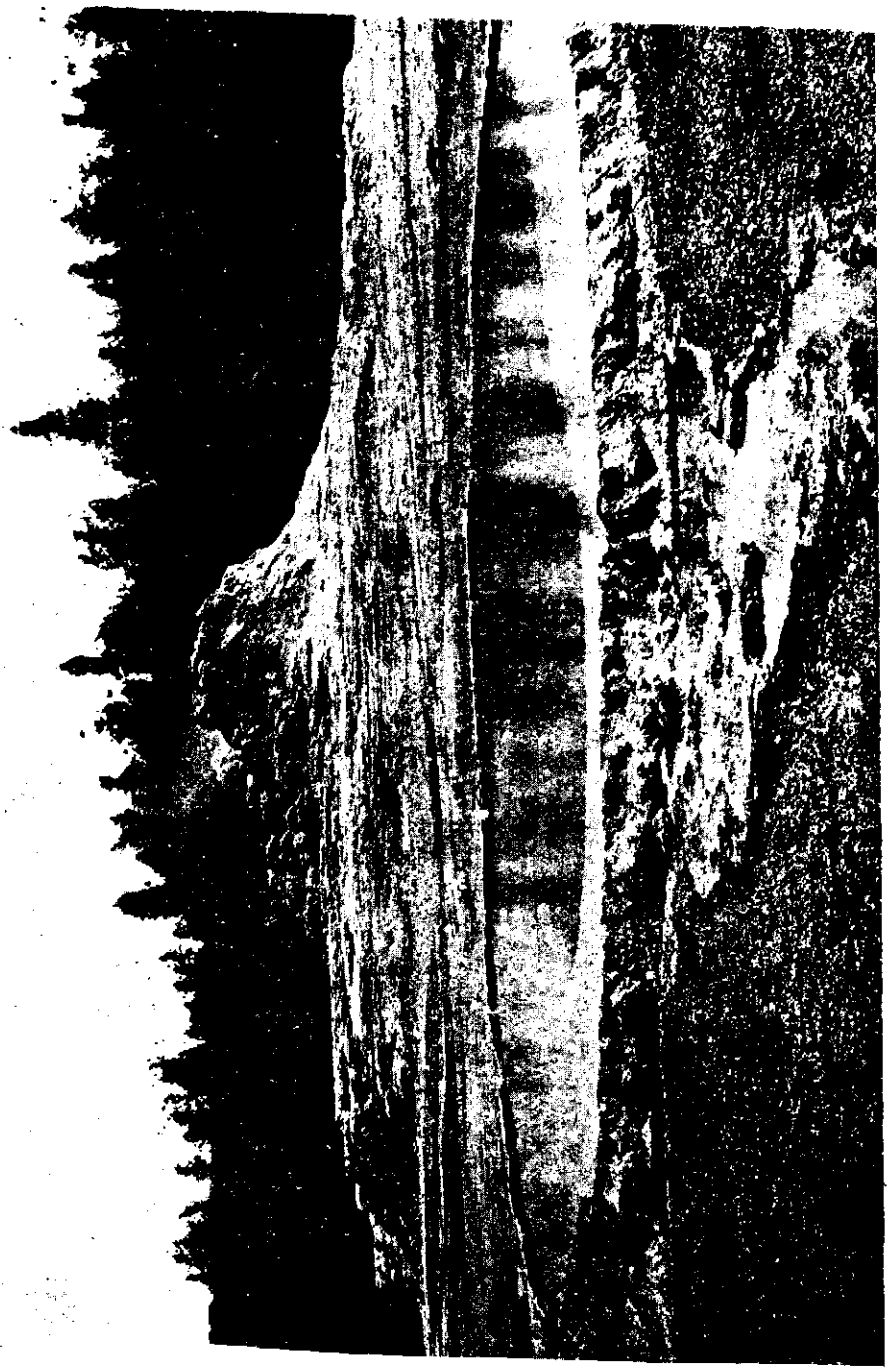
١ــ عملها المتناوب او المتقطع.
٢ــ قابليتها على قذف المياه نحو الاعلى (اكثر من ١٠٠ متر في حالة نافورات يلوستون) ويصل الارتفاع الذي تقذف به نافورة Waimangu في نيوزيلند المياه الى اكثر من ٤٠٠ متراً (١٩).

تأتي معظم النافورات ضمن واحدة من المجموعتين الرئيسيتين التاليتين :

١ــ تلك التي تثور من خلال برك مفتوحة.
٢ــ تلك التي تقذف المياه والبخار من خلال فتحة توجد فوق مخروط معين.

وترتفع في المجموعة الاولى طبقة هائلة من المياه والبخار في الهواء في حين تقذف نافورات المجموعة الثانية عموداً رقيقاً من البخار والماء فقط (شكل رقم ١١٢).

(18)A.K. lobeck, Op. Cit., p. 122
(19) P. Worcester, Op. Cit., p. 453



شكل رقم ــ ١١٢ ــ صورة تمثل نافورة برك ونافورة مخروط

ينتظم عمل بعض النافورات بصورة كبيرة، فعلى سبيل المثال، ظلت نافورة أولدفيثفول Old Faithful الموجودة في يلوستون في الولايات المتحدة تقذف الماء بصورة منتظمة كل ٦٥ دقيقة تقريباً ومنذ سنة ١٨٧٠ (٢٠). (شكل رقم ١١٣). ويكون عمل بعض النافورات ثابتاً بشكل ثورة ضعيفة. ويكون نشاط نافورات اخرى غير منتظم بشكل كبير اذ تختلف الفترات الفاصلة بين ثوراتها من عدة ساعات الى عدة ايام. وتقذف بعض النافورات كميات هائلة من المياه والابخرة. فعلى سبيل المثال تقذف نافورتي Excelsoir واولد فيثفول كميات الماء والبخار الى ارتفاع يتراوح بين ٣٠ — ١٠٠ متراً في الهواء في حين لايرتفع الماء الخارج من نافورات اخرى الا عدة سنتيمرات في الهواء. وتستمر ثورة بعض النافورات طويلاً، فعلى سبيل المثال تستغرق ثورة نافورة كراند Grand حوالي ٣٠ دقيقة في الوقت الذي تستغرق فيه ثورة نافورات اخرى عدة ثوان (٢١).

لكل نافورة كبرى خصائصها المعينة في طريقة خروج الماء والبخار منها وكذلك الاصوات التي ترافق ذلك. ويعتبر مشهد خروج الماء والبخار من النافورات من المشاهد الرائعة التي تجلب الزوار والسواح لمشاهدته رغم وقوع كثير من النافورات في مناطق وعرة لايمكن الوصول اليها بسهولة.

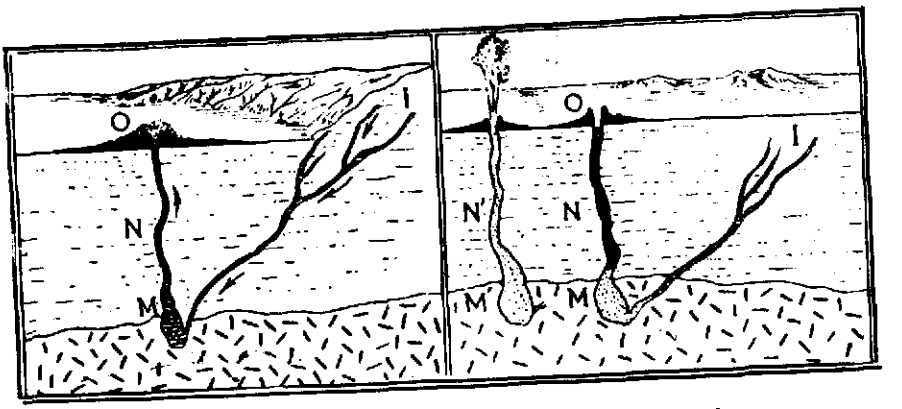
يعتمد الاساس الذي تقوم عليه ثورة النافورات على حقيقة ان درجة غليان الماء تزداد مع زيادة الضغط المسلط عليه. وهذه الحقيقة اثبتها بنسون Bunsen عندما قام بدراسة النافورات الموجودة في ايسلندا. حيث وجد ان درجة الغليان تزيد عن ١٠٠ ° مئوية في ماء عند عمق ٥٠ متراً وتبلغ حوالي ١٨٠° مئوية في عمق يبلغ ١٠٠ متراً (٢٢). فلنتصور وجود شق ارضي يندفع الى الداخل حتى يقترب او يتوغل ضمن صخور نارية لم تبرد بعد حيث تكون درجة حرارتها عالية. (اثبت عملية الحفر التي اجريت في يلوستون ان درجة الحرارة تبلغ ٢٤٠° مئوية عند عمق ٣٣٠ متراً) (٢٣). وكما يظهر في المخطط التالي (شكل رقم ١١٤) يرتبط ذلك الشق بفجوة داخل الصخور النارية الحارة او بالقرب منها ويطلق على تلك الفجوات اسم المستودع (M) ويتصل المستودَع بدوره بشق آخر يندفع نحو الاعلى حتى يصل

(20) Ira S. Allison, Op. Cit., p. 369
(21) P. Worcester, Op. Cit., p. 455
(22 Allison, Op. Cit., p. 369
(23) Ibid

شكل ــ ١١٣ ــ صورة تبين نافورة اولد فيثفول الناء ثورثها

الى سُطح الارض يعرف بآسم القصبة (N) . ويطلق على المكان الذى تتصل به القصبة بسطح الارض اسم فوهة النافورة (O) .

تندفع المياه الباطنية من مصدرها عبر الشق الارضي النازل نحو المستودع والذي يجب ان يكون مستوى بدايته (I) اقل ارتفاعاً من مستوى الفوهة (O) . فيؤدي هذا الوضع الى امتلاء المستودع والقصبة بالماء الجوفي الى المستوى الذي يكون



شكل ــ ١١٤ ــ مخطط يبين كيفية عمل النافورات الحارة

مساوياً لمستوى بداية المصدر المائي. ترتفع درجة حرارة الماء الموجود داخل المستودع الذي تحيطه الصخور النارية الحارة حتى تصل الى فوق درجة الغليان لكنها لاتستطيع ان تغلي بسبب الضغط الشديد المسلط عليها من الماء الموجود داخل القصبة. يسبب ارتفاع درجة حرارة الماء داخل المستودع تمدداً له فيرتفع الماء الموجود في القصبة بدوره من جراء ذلك مما يؤدي الى خروج قسم منه من فوهة النافورة. ويقلل خروج هذا الماء من الضغط المسلط على الماء الحار جداً الموجود داخل المستودع فيتحول قسم كبير منه فجأة الى بخار يندفع نحو الاعلى بقوة رافعاً ماتبقى من ماء داخل القصبة والمستودع. ولذا نجد ان تسلسل عملية ثورة النافورات تكون كالآتي : خروج كميات من المياه الدافئة بصورة هادئة من فوهة النافورة. ثم اندفاع شريط هائل من الماء نحو الاعلى ثم يعقبه بعد ذلك خروج كميات كبيرة من البخار ثم هدوء النافورة بعد ذلك. وتعاود نشاطها ثانية بنفس الترتيب.

تختلف النافورات عن الينابيع الحارة في ان مستوى بداية مصدر الماء في الينبوع الحار يكون اعلى من مستوى فوهة الينبوع الامر الذي يجعل جريان الماء مستمراً فيه على خلاف مالاحظناه بالنسبة الى النافورات الحارة. وللسبب نفسه تتلاشى النافورات بعد ان تبرد الصخور النارية التي تسخن مياهها في حين يتحول الينبوع الحار الى ينبوع اعتيادي بعد ان تبرد الصخور النارية.

تكون النافورات اشكالاً ارضية صغيرة ومتنوعة من جراء ترسيب الاملاح

المعدنية التي تخرج من مياهها الحارة. ويطلق على تلك الرواسب اسم geyserite وهي من نوع السيليكات. ويكون ترسيب النافورة الى هذه الاملاح سريعاً لاسباب هي :

١ــ ان الماء يتبخر.
٢ــ يتبرد الماء فيفقد طاقته على الاذابة.
٣ــ تتحرر الغازات التي يحتويها ذلك الماء فتقل قابلية الماء على التحليل.
٤ــ يتناقص الضغط.
٥ــ تقوم الطحالب النامية في البرك الحارة والجداول بازالة بعض المواد المعدنية (٢٤).

تأخذ الرواسب اشكالاً متعددة تبعاً الى كمية المياه التي تخرج من النافورة وكذلك طريقة خروج تلك المياه ومقدار الاملاح التي تحتويها غير ان معظمها يكون بشكل مخاريط يتراوح ارتفاعها بين ٥ر١ ــ ٣ متر وبعضها يكون بشكل تلال ليست عالية قد تظهر عليها المدرجات كما في حالة نافورة اولد فيثفول.

عمل الماء الباطني :

يكون عمل الماء الباطني مزدوجاً في طبيعته فهو ذو تأثير ميكانيكي وكيمياوي ايضاً. يرتبط التأثير الميكانيكي للماء الباطني مع اثر الجاذبية الارضية حيث يلعب الماء الباطني دوراً مسهلاً لانزلاق التكوينات الصخرية اذ يؤدي وجود الماء الباطني داخل القشرة الارضية او التربة الى تقليل عملية الاحتكاك داخل الكتلة الصخرية، ويؤدي ايضاً الى تقليل الاحتكاك بين تلك الكتلة الصخرية المفككة وبين الصخور الاصلية التي تستند عليها. فيسمح وجود الماء الباطني بالتالي الى حدوث حركة انزلاق نحو الاسفل لتلك الكتلة الارضية التي يوجد داخلها. تتكون من جراء ذلك مجموعة من الظواهر الجيومورفولوجية التي سبق لنا ذكرها عند دراستنا لموضوع اثر التجوية مثل زحف التربة والانزلاق الارضي والتزحلق الارضي والتساقط الصخري... الخ (٢٥). وللماء الباطني دور ميكانيكي آخر في التعرية فهو يشبه

(24) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 123
(25) Harry Robinson, Op. Cit., pp. 134-136

الماء السطحي احياناً في قابليته على تحريك ونقل وترسيب المواد التي قامت عمليات التجوية المختلفة بتحضيرها. غير ان عملية النحت الميكانيكي corrosion التي يقوم بها الماء الباطني لاتكون مهمة بدرجة كبيرة بسبب ان سرعة حركة الماء الباطني تكون قليلة جداً (٢٦).

يعتبر التأثير الكيمياوي للماء الباطني اكثر اهمية من تأثيره الميكانيكي على الصخور. اذ يبدأ الماء الباطني عمله الكيمياوي عادة بمهاجمة معادن [illegible] التي يمر خلالها حيث يستطيع الماء الباطني ان يذيب اية معادن ذوات قابلية كبيرة على الاذابة مباشرة في حين يحول المواد الاخرى تحويلاً بطيئاً الى مواد ذائبة وغير ذائبة. وتتخلف المواد غير القابلة على الاذابة بشكل غطاء صخري مفكك والى تربة.

يعتبر الماء النقي مذيباً ضعيفاً لكثير من معادن الصخور فيما عدا تلك التي تتكون من مواد سريعة الاذابة مثل الاملاح. ويصبح ذلك الماء مذيباً كبيراً حالما يكون محملاً ببعض المواد الذائبة فيه مثل ثاني اوكسيد الكاربون وخاصة بالنسبة الى الصخور الجيرية، فقد دلت الدراسات على ان كل ٧٥٫٠٠٠ جزء من الماء النقي يستطيع اذابة جزء واحد من الصخور الجيرية لكن هذه القابلية تتضاعف ثلاثين مرة عندما يكون الماء بشكل حامض كاربونيك مخفف (٢٧).

يتكون حامض الكاربونيك من جراء ذوبان ثاني اوكسيدالكاربون بالماء

$$CO_2 + H_2O \leftarrow H_2CO_3$$

ثاني اوكسيد الكاربون + الماء ← حامض الكاربونيك

يهاجم حامض الكاربونيك الذي هو الماء الباطني نفسه الصخور الجيرية (كاربونات الكالسيوم) فيحولها الى مادة ذائبة هي عبارة عن بيكاربونات الكالسيوم.

(28) $$H_2CO_3 + CaCO_3 \rightarrow CaH_3(CO_3)_2$$

حامض الكاربونيك + كاربونات الكالسيوم ← بيكاربونات الكالسيوم

تنقل المواد التي قام الماء الباطني باذابتها مع حركة ذلك الماء وتتم هذه الحركة خلال الشقوق والمفاصل والفراغات المتنوعة الاخرى. ويقوم ذلك الماء بترسيب

---

(26) Robert E. Gabler and Otehrs, Introduction to Physical Geography, Rinehart Press, San Francisco, 1975, p. 661

(27) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 135

(28) Branson, Op. Cit., p. 130

المواد التي قام باذابتها تبعاً الى الظروف المختلفة التي يواجهها. فقد يقوم بترسيب تلك المواد داخل الصخور او تخرج بوساطة الرشح والينابيع لتنضم بدورها الى المياه السطحية الجارية فعلى سبيل المثال تخرج ينابيع Silver Springs في فلوريدا ما مقداره ٦٠٠ طناً من المواد المعدنية المذابة بالمياه الباطنية الى سطح الارض يومياً (٢٩).

المظاهر الكارستية Karst Topography

تسود المظاهر الكارستية في الاقاليم التي يظهر التأثير الكيمياوي للماء الباطني واضحاً فيها والتي تتكون من صخور جيرية قريبة من سطح الارض. وقد اطلقت تسمية الكارست على الاشكال الارضية هذه نسبة الى شبه جزيرة كارست في يوغوسلافيا حيث تسود فيها تلك الظواهر بشكل واضح. وتسود المظاهر الكارستية في اجزاء عديدة اخرى من العالم مثل اقاليم Causse في جنوب فرنسا وفي منطقة الاندلس في اسبانيا وكذلك في شمال شبه جزيرة يوكاتان وتاباسكو Tabasco في المكسيك وفي جامايكا وشمال بورتوريكو وغربي كوبا وفي وسط غينيا الجديدة وجنوب غرب سليبس في جنوب شرقي آسيا وفي مقاطعة نيوساوث ويلز ومقاطعة غرب استراليا. كما توجد المظاهر الكارستية في كل ولاية من الولايات المتحدة تقريباً غير ان فيها اربعة اقاليم كارست رئيسة هي ١ــ اقليم الوادي الكبير في بنسلفانيا وماريلاند وفرجينيا وتنيسي ٢ــ نطاق يمتد من جنوب وسط انديانا الى غرب وسط كنتكي ٣ــ وسط فلوريدا ٤ــ منطقة هضبة Salem-Springfield في ولاية مزوري (٣٠).

الظروف الضرورية لتكوين الاشكال الكارستية

لابد من توفر الظروف التالية في اقليم ماحتى يمكن للظواهر الكارستية ان تتكون فيه.

١ــ ضرورة وجود تكوينات صخرية قابلة للذوبان بالقرب من سطح الارض وخاصة الصخور الجيرية التي تكون درجة مساميتها ليست عالية غير ان

(29) P. Worcester, Op. cit., p. 442

(30) W. Thornebury, Op. Cit., p. 304

النظام المفصلي فيها واضحاً بشكل جيد مما يجعل عملية الاذابة التي تحصل فيها مركزة في مناطق المفاصل التي يكون نفاذ الماء الجوفي خلالها اكثر سرعة من بقية جهات الصخور الجيرية. وبذلك تختلف الصخور الجيرية عن الصخور الطباشيرية الشديدة المسامية التي تسمح للماء ان ينفذ من خلال كل جهات سطحها بصورة متساوية ولذلك تكون عملية الاذابة التي تتعرض لها غير مركزة في جهات معينة فلا تنشأ فوقها الاشكال الكارستية.

٢ــ لكي تتكون الاشكال الكارستية لابد من ان يكون سطح الارض وعرا تكتنفه الوديان والمرتفعات حيث يؤدي مثل هذا السطح الى زيادة سرعة الماء الباطني خلال تكويناته وتزداد بذلك عملية الاذابة للصخور الجيرية. على خلاف مايحدث للماء الباطني الموجود ضمن تكوينات اراضي مستوية حيث تكون حركته خلالها بطيئة جداً. وكذلك لابد من ان توجد درجة ميل في الطبقات الصخرية الحاملة للماء الباطني لتسريع عملية حركة الماء الباطني خلالها.

٣ــ لايمكن للمظاهر الكارستية ان تتكون في الاقاليم الصحراوية الجافة التي تتميز بانها ذوات مياه جوفية قليلة، ولذا لابد من ان يستلم الاقليم كميات كبيرة او متوسطة من الامطار حتى يمكن ان تكون مياهه الجوفية وفيرة لتستطيع تكوين المظاهر الكارستية. وما يمكن ان نلاحظه من وجود لبعض الاشكال الكارستية في بعض الاقاليم الصحراوية في العالم اليوم ماهو الانتاج للظروف المناخية الرطبة التي سادت عليها في الماضي (٣١).

يتحرك الماء الباطني داخل الصخور الجيرية على طول المفاصل وكذلك من خلال مناطق الانفصال بين الطبقات الصخرية حيث يتم عن طريق هذه العملية اذابة الصخور فتتحول بذلك الشقوق الاولية الى كهوف اكبر. ومن المحتمل ان تكون الحفر البالوعية اكثر المظاهر الارضية الناتجة عن عملية الاذابة التي يقوم بها الماء الباطني عند مروره خلال صخور جيرية فهي بذلك تكون اكثر المظاهر الكارستية انتشاراً. والحفر البالوعية منخفضات دائرية او بيضوية قمعية الشكل تنتشر باعداد كبيرة داخل الاقاليم الكارستية (شكل رقم ١١٥) (٣٢). تتباين اعماق الحفر البالوعية **sinkhole** بين امتار قليلة الى اكثر من ٣٠ متراً غير ان معظمها يقع بين

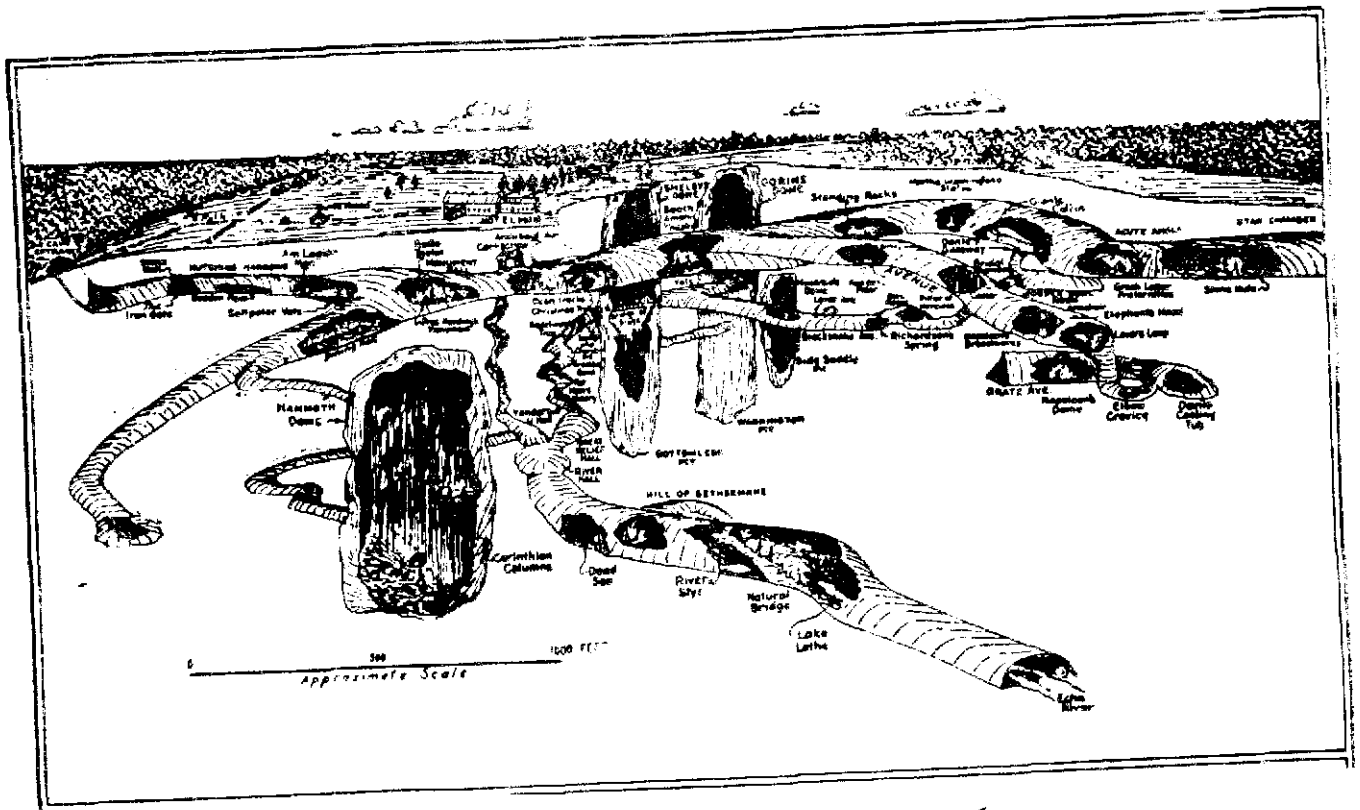
---

(31) Ibid., pp. 305-306

(327 R. Gabler, Op. Cit., p 662

شكل ــ ١١٥ ــ حفرة بالوعية sinkhole

عمق يتراوح بين ٣ ــ ١٠ امتار وتتراوح مساحاتها بين امتار مربعة الى عدة ايكرات. تقسم الحفر البالوعية الى فئتين: ١ــ الحفر البالوعية الناتجة عن عملية الذوبان وتكون عملية تكوين هذه الحفر بطيئة الى حد ما. ٢ــ الحفر البالوعية الناتجة عن عملية الانهدام التي تتعرض لها سقوف بعض الكهوف الباطنية، ويطلق على هذا النوع من الحفر البالوعية اسم دولين doline التي جاءت من التسمية السائدة لها في اقليم الكارست في يوغوسلافيا. وتتحد بعض تلك الحفر مع بعضها باستمرار العمليات المكونة للحفر البالوعية في الاقاليم التي توجد فيها باعداد كبيرة مكونة مايعرف باسم الحفر البالوعية المركبة compound. وهناك نوع آخر من الاشكال الارضية ذوات العلاقة بالحفر البالوعية في الاقاليم الكارستية يعرف باسم شباك الكارست Karst Window. وتطلق هذه التسمية على الجزء المكشوف من مجرى نهر باطني حيث يمكن ان يرى من خلاله نهر يجري خارجاً من احد الكهوف ثم يدخل بعد ذلك نحو كهف آخر. ويطلق اسم الاوفالا Ovala على المنخفضات الواسعة الناتجة عن عملية انهدام سقوف اجزاء واسعة من المجاري المائية الباطنية.



شكل ــ ١١٧ ــ مخطط لبعض ممرات كهف ماموث في الولايات المتحدة

شكل ــ ١١٥ ــ حفرة بالوعية sinkhole

عمق يتراوح بين ٣ ــ ١٠ امتار وتتراوح مساحاتها بين امتار مربعة الى عدة ايكرات. تقسم الحفر البالوعية الى فئتين: ١ــ الحفر البالوعية الناتجة عن عملية الذوبان وتكون عملية تكوين هذه الحفر بطيئة الى حد ما. ٢ــ الحفر البالوعية الناتجة عن عملية الانهدام التي تتعرض لها سقوف بعض الكهوف الباطنية، ويطلق على هذا النوع من الحفر البالوعية اسم دولين doline التي جاءت من التسمية السائدة لها في اقليم الكارست في يوغوسلافيا. وتتحد بعض تلك الحفر مع بعضها باستمرار العمليات المكونة للحفر البالوعية في الاقاليم التي توجد فيها باعداد كبيرة مكونة مايعرف باسم الحفر البالوعية المركبة compound. وهناك نوع آخر من الاشكال الارضية ذوات العلاقة بالحفر البالوعية في الاقاليم الكارستية يعرف باسم شباك الكارست Karst Window. وتطلق هذه التسمية على الجزء المكشوف من مجرى نهر باطني حيث يمكن ان يرى من خلاله نهر يجري خارجاً من احد الكهوف ثم يدخل بعد ذلك نحو كهف آخر. ويطلق اسم الاوفالا Ovala على المنخفضات الواسعة الناتجة عن عملية انهدام سقوف اجزاء واسعة من المجاري المائية الباطنية.

من انواع الحفر البالوعية الاخرى مايعرف البولجة Polje وهي عبارة عن منخفضات مختلفة في اشكالها واصولها غير ان اكثرها عبارة عن احواض طولية ذوات قيعان مستوية وجوانب مغلقة شديدة الانحدار نتجت عن عملية الاذابة التي جرت فوق مناطق تعرضت الى هبوط انكساري او الى الالتواءات المقعرة. ويمكن لهذا النوع من الوديان ان يغطي مساحة تزيد عن عدة كيلومترات مربعة ويعتبر وادي Livno في غرب البلقان اكثر هذا النوع من الوديان سعة في ذلك الاقليم حيث يصل طوله الى ٦٥ كم ويتراوح اتساعه بين ٥ ــ ١١ كم (٣٣).

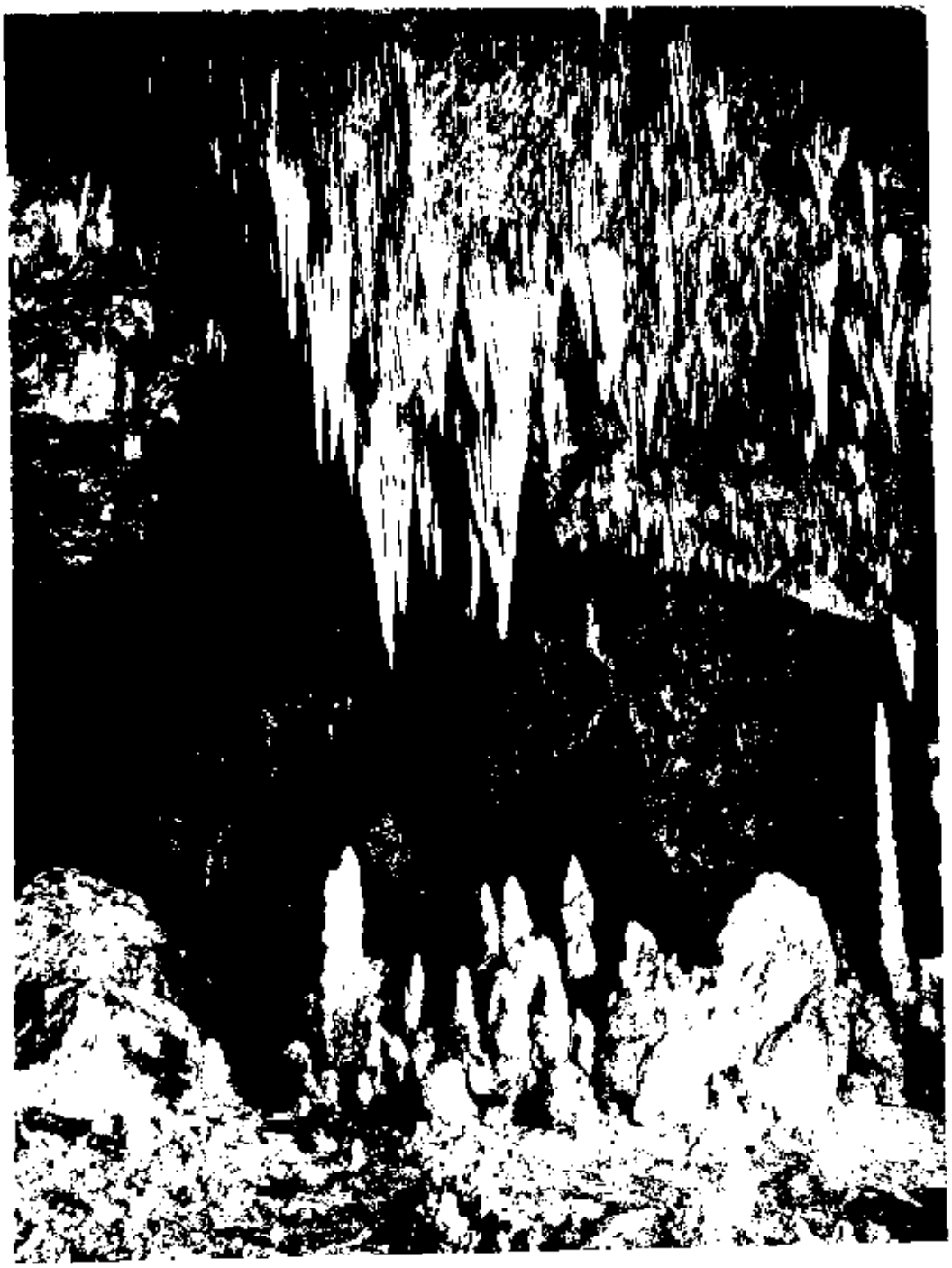
الكهوف والاشكال ذوات العلاقة بها

لايقتصر وجود الكهوف على الاقاليم الجيرية اذ يمكن للحمم البركانية مثلاً ان توجد فيها فراغات باطنية واسعة ناتجة عن حقيقة ان الحمم السطحية تتبرد وتتصلب بسرعة في حين لاتزال الحمم الواقعة اسفلها سائلة متحركة تاركة وراءها بعد تصلبها انفاقاً طويلة ويمكن للامواج ان تكون بعض الكهوف كما سبق وبينا ذلك عند دراستنا لاثر الامواج في التعرية.

غير ان اكثر انواع الكهوف سعة وانتشاراً تلك التي توجد في اقاليم تتكون من تكوينات جيرية خالصة وسميكة اذ تكون عملية الاذابة التي تتعرض لها تلك التكوينات السبب الرئيس لوجود تلك الكهوف. فقد بينا قبل قليل ان الصخور الجيرية لاتكون ذوات نفاذية عالية الا من خلال المفاصل ومن خلال سطوح الانفصال بين الطبقات الصخرية مما يؤدي الى تركز عملية الاذابة في هذه الجهات من الصخر الجيري (شكل رقم ١١٦). يسلك الماء الباطني عند تحركه نحو الاسفل المفاصل العمودية ثم يتحرك خلال سطوح الانفصال بين الطبقات التي يكون امتدادها متعامداً تقريباً مع المفاصل العمودية. وتكون مواقع التقاطع بين المفاصل العمودية ومناطق الانفصال بين الطبقات مواقع ملائمة تماماً لتركز عملية الاذابة وبداية لتكون الكهوف. هذا ويستمر الماء الباطني في توغله نحو الاسفل خلال تلك المفاصل الى ان تتوقف تلك العملية اما بسبب وجود طبقات صخرية غير مسامية او عند وصوله الى مستوى الماء الباطني حيث يتحرك الماء بعدها افقياً مع الاتجاه العام لحركة المياه الباطنية في المنطقة وتتحول عملية الاذابة نحو ذلك الاتجاه ايضاً (٣٤).

(33) W. Thornbury, Op. Cit., pp. 307-310

(34) A.K. Lobeck, Op. Cit., pp. 135-136



شكل — ١١٨ — صورة تمثل الاعمدة الصاعدة والاعمدة النازلة

باشكال مختلفة تبعاً الى وضعية سقوط القطرات المائية من سقف الكهف. اما الاعمدة النازلة فانها تنشأ من خلال تبخر بعض القطرات المائية المترشحة من سقوف الكهوف وهي لاتزال ملتصقة بالسقف دون ان تسقط مما يؤدي الى تراكم الكاربونات بعد ذلك وتحولها الى اشكال متعددة نازلة من سقوف الكهوف. وقد قيست عملية نمو هذه الاعمدة في كهف Ingleborough قرب Clapham بالمملكة المتحدة فوجد ان المعدل السنوي بلغ ٧٫٤٩٣ ملم او ٧٦ سم كل قرن ومن المعتقد ان تزداد سرعة النمو في الفترات التي يكون فيها مستوى الماء الباطني مرتفعاً اكثر عندما تجري اثناءها مياه كثيرة محملة بمعادن الصخور. هذا وتنشأ اشكال اخرى تعرف بـ helicitite عندما تتلاقى الاعمدة الصاعدة مع الاعمدة النازلة وتكون هذه اشكالاً عديدة متنوعة فسم منها يكونه بشكل اعمدة ضخمة قد تتراوح اطوالها بين ٢٣ ــ ٢٤ متراً كما في بعض الكهوف في وسط فرنسا (٣٥).

لقد لعبت الكهوف دوراً في حياة الانسان في الماضي اكثر من الدور التي تلعبه في الوقت الحاضر. فقد وجدت داخلها معظم الاثار التي تعود الى الانسان القديم حيث كانت تقدم اليه الحماية من الظروف الجوية القاسية وكذلك كانت تحميه من الحيوانات ومن اعدائه الاخرين وقد ساعدت الظروف الطبيعية المتوفرة داخل الكهوف على الاحتفاظ باثار الانسان المختلفة حيث تتحجر العظام فيها بصورة جيدة ولاتؤثر فيها الرياح او العواصف كما تكون درجة رطوبة البعض منها قليلة بحيث تقلل من عملية التحلل. ويساعد على ذلك ايضاً ثبات درجات الحرارة داخل الكهوف حيث لا يزيد مدى الحرارة السنوي في كثير منها درجة واحدة او اثنين. وقد وجدت داخل تلك الكهوف الكثير من الادوات البسيطة التي كان يستخدمها الانسان كذلك نحته المتنوعة اضافة الى الرسوم التي تركها على جدرانها والتي تمثل في معظمها حيوانات التي تسود في الاقليم الذي توجد فيه.

تأتي الاهمية الرئيسة للكهوف في الوقت الحاضر من كونها مصدراً للنترات التي تستخدم عادة في صناعة المفرقعات وفي صناعة الاسمدة ويأتي معظمها من فضلات الطيور والخفافيش كما في كثير من كهوف نيوزيلند وافريقيا الجنوبية وجزر الهند الغربية (٣٦).

---

(35) F.J. Monkhouse, Principles of Physical Geography, Hodder and Stoughton, London, 1975, p. 124

(36) A.K. Lobeck, Op. Cit., p. 130

تعتبر بعض الكهوف اليوم مناطق سياحية مهمة بعد ان امكن ربطها بطرق المواصلات المختلفة . كما عملت داخلها بعض التسهيلات التي تمكن الزوار من ملاحظة ماهو موجود داخل تلك الكهوف من تكوينات مختلفة . كالانارة الكهربائية والزوارق التي تسير داخل الانهار الباطنية وعلامات الدلالة المختلفة ومواقع للاستراحة والتهوية ... الخ كما هو موجود في بعض الكهوف في لبنان مثل مغارة جعيتا او في كهف ماموث الشهير في ولاية كنتكي بالولايات المتحدة . اذ حولت المنطقة التي يوجد فيها ذلك الكهف الى منتزه قومي تبلغ مساحته حوالي ٢٤٠ كم مربعاً . ويتكون هذا الكهف من خمسة مستويات يمتد اعمقها الى مستوى ١١٠ متراً دون سطح الهضبة الجيرية . ويجري في ذلك المستوى الاخير منه نهر باطني هو نهر Echo الذي يصب بعد خروجه من الكهف في نهر Green احد روافد نهر اوهايو (٣٧) . وقد رسمت بعض جهات هذا الكهف على خرائط في حين لازال البعض منها غير مكتشف الى حد الان . ويزيد طول ممرات هذا الكهف على عدة مئات من الكيلومترات يتراوح ارتفاعها بين اقل من متر واحد الى اكثر من ٣٠ متراً . وتكون ابعاد قبة ماموث الرئيسة فيه ١٣٠ متر طولاً و ٥٠ متر عرضاً مع ارتفاع يتراوح بين ٢٥ ــ ٨٠ متراً (٣٨) . ويبين الجدول رقم (٥) اطوال بعض الكهوف الشهيرة في العالم . ويمكن لبعض الكهوف ان تستخدم كملاجيء في الحروب الذرية وكذلك في الاحتفاظ ببعض الامور السرية التي تريد بعض الدول عدم تسربها .

هذا وتسبب عملية الانهدام غير الكاملة التي تتعرض اليها سقوف بعض الكهوف الى تكوين مايعرف باسم الجسر الطبيعي . ويعتبر الجسر الطبيعي في فرجينيا مثالاً جيداً لذلك (شكل رقم ١١٩) .

(37) Ibid, p. 126
(38) Allison, Op. Cit., p. 362

شكل — ١١٩ — صورة الجسر الطبيعي المشهور في ولاية فرجينيا بالولايات المتحدة

جدول رقم (٥) اطوال بعض الكهوف المشهورة في العالم

اسم الكهف	الموقع	الطول كم
Holloch	سويسرا	٢ر٨٥
فلنت روج	الولايات المتحدة	٤ر٨٢
ماموث	الولايات المتحدة	٢ر٧١
Eisresenwelt	النمسا	٤٢
بلوسبرنك	الولايات المتحدة	٢ر٣٢
Greenbrier	الولايات المتحدة	٣ر٢٤
دوميكا	يوغوسلافيا ــ هنكاريا	٢٢
مغارة جويل	الولايات المتحدة	٢١
مغارة أنفيل	الولايات المتحدة	٢ر١٩
سوليفان	الولايات المتحدة	٥ر١٨
dent de Grelles	فرنسا	١٨
Tantahohle	النمسا	١٦

صدر : W. Thornbury, Op Cit., p. 328

الفصل التاسع

البحيرات والمستنقعات

البحيرات

لايوجد فرق واضح بين البرك وبين البحيرات او بينهما وبين بعض الاقسام الواسعة من مجاري بعض الانهار . كما يمكن لبعض الانماط من البحيرات الساحلية ان تندمج مع الخلجان واللاكونات Lagoons . ويمكن لمياه البحيرات ان تكون عذبة او تكون مالحة رغم ان غالبية البحيرات تكون ذوات مياه عذبة عادة .

لايعتبر وجود البحيرات دليلاً على وجود أنماط معينة من التضاريس اذ يرتبط بعضها مع مراحل تطور النهر الاولى في حين يميز الاخرى ارتباطه بتضاريس نهرية في مرحلة متأخرة من مراحل الدورة الجيومورفولوجية كما ويوجد كثير من البحيرات في الاقاليم التي تعرضت الى التعرية الجليدية في حين يوجد غيرها في اقاليم تسود عليها عمليات جيومورفولوجية اخرى قد يكون البعض منها عمليات ظاهرية كالرياح والامواج ويكون البعض الاخر عمليات باطنية مثل الحركات الارضية diastrophism والبراكين . ويحدث في حالات عديدة ان تساهم اكثر من عملية جيومورفولوجية واحدة في تكون الحوض البحيري [1] .

---

(1) P. Worcester, op. cit., pp 336-337

والبحيرات مهمة للانسان من وجوه عديدة. اذ يلعب بعض البحيرات دوراً يشبه دور البحار في التأثير على مناخ المناطق المجاورة لها خاصة في تخفيضها لمدى الحرارة اليومي والسنوي. وتكون بعض البحيرات فعالة في تقليل الهبوط الذي قد يحصل على درجات الحرارة خلال الليل والذي قد ينجم عنه الصقيع المؤذي لبعض المزروعات خلال موسم النمو. ولذا نجد ان نطاق زراعة الحمضيات في فلوريدا مثلا قد تركز في منطقة البحيرة الوسطى من الولاية المذكورة. كما تركزت بساتين الكروم وبساتين الفواكه الاخرى في ولاية نيويورك على الجهة التي تأتي منها الرياح قادمة من بحيرة اونتاريو وكذلك على السفوح المواجهة للبحيرات الاصبعية المشهورة.

يؤدي وجود البحيرات في مجاري الانهار الى تثبيت طبيعة جريانها بحيث تقوم بامتصاص موجات الفيضان التي قد يتعرض اليها النهر الواقع اسفلها كما لاتنخفض مناسيب ذلك النهر كثيراً عند فترات الجفاف. ويعني ذلك ان تلك البحيرات تكون بمثابة خزانات طبيعية للانهار. وتكون هذه الوظيفة اكثر اهمية اذا استخدم ماء ذلك النهر في توليد الطاقة الكهربائية اذ سيكون مقدار الطاقة الكهربائية ثابتاً ومستقراً ويمكن الاعتماد عليه في هذه الحالة. كما وتستخدم مياه تلك البحيرات في الزراعة اما بصورة مباشرة عن طريق ضخها نحو الاراضي المجاورة لها او من خلال الانهار التي تخرج من تلك البحيرات (٢). هذا وتؤلف البحيرات مناطق للسياحة والراحة في كثير من الاقاليم خاصة في المناطق الجبلية التي تغطيها الغابات حيث تؤلف آنذاك اجمل المناظر التي يمكن ان تقع عليها العين على سطح الارض. وتجهز البحيرات الانسان اضافة الى ماذكرناه بالغذاء المتمثل بالصيد كما يمكن استخدام بعض البحيرات كمخازن مائية لتزويد المدن الكبرى بحاجاتها منها، كما تستعمل البحيرات في عمليات النقل الرخيص.

وتعرف البحيرات على انها منخفضات متباينة المساحة فوق سطح اليابسة تحتوي على الماء. بعضها واسع في مساحته بحيث يمكن اعتباره بحاراً داخلية (مثل بحيرات سوبيريور وفكتوريا وبيكال). وقد اعطي هذا الاسم بالفعل لبعض البحيرات الواسعة المساحة والتي لاتختلف في شيء عن مساحة البحيرات الثلاثة السابقة. اذ يغطي بحر قزوين مثلا مساحة مقدارها ٤٥٠٠٠٠ كم٢. ويبلغ طول بحيرة سوبيريور ٦٠ كم وعرضها ٢٦٠ كم ويبلغ مقدار عمقها الاقصى ٤٠٠ متراً وتبلغ مساحتها

(2) R.E. Gabler, op. cit., pp. 534-535

مايقارب مساحة اقطار Benelex (هولندا ، بلجيكا ، لوكسمبرغ) . من ناحية اخرى توجد بعض البحيرات ذوات المساحات الصغيرة جداً مثل بحيرات قيعان الحلبات الجليدية (تارن) Tarn (٣) .

يعتمد بقاء الماء في الحوض البحيري على مقدار عمق ذلك الحوض وعلى قابلية الخزن لديه وعلى مقدار كمية المياه التي ترد اليه ((اما مباشرة بواسطة الامطار التي تسقط فوق سطحه او بصورة غير مباشرة عن طريق الانهار التي تنتهي فيه او الثلاجات وكذلك المياه الباطنية)) وكذلك كمية مايفقده ذلك الحوض من مياه عن طريق الانهار التي تخرج منه او عن طريق التبخر والرشح .

تكون بعض البحيرات ذوات طبيعة موسمية حيث تزداد مساحتها كثيراً خلال موسم الامطار او الفترة التي تعقب ذوبان الثلوج في الربيع وتتناقص مساحاتها خلال موسم الجفاف حيث تتقلص او قد تختفي كلياً ، والحالة الاخيرة ملازمة الى كثير من البحيرات في الاقاليم الجافة وشبه الجافة . اذ تتذبذب مساحة بحيرة جاد Chad مثلا بين ١٠٠٠٠ — ٥٠٠٠٠ كم٢ . وتكون بحيرة آير Eyre في استراليا جافة عادة غير ان مساحتها قاربت الـ ٥٠٠٠ كم٢ في موسم الامطار الغزيرة الذي حصلت في عام ١٩٥٠ — ١٩٥١ (٤) .

وكما بينا قبل قليل فان البحيرات من بين اكثر المظاهر الارضية انتشاراً ، فهي توجد على كل دوائر العرض تقريباً من خط الاستواء حتى عروض متطرفة عليا . ولا تخلو منها اية قارة عدا القارة القطبية الجنوبية والتي تدل الدراسات الحديثة على وجود الاحواض البحيرية فيها هي الاخرى ايضاً . ويتكاثر وجود البحيرات في العروض العليا من قارة امريكا الشمالية وامريكا الجنوبية وغربي اوربا . ويقع كثير من البحيرات الساحلية على كل حوافي القارات في الوقت نفسه الذي توجد فيه آلاف عديدة من البحيرات التي عملها الجليد في داخل امريكا الشمالية على سبيل المثال . وقد حفرت بحيرات عظيمة اخرى داخل افريقيا ذوات اصول مختلفة تماماً . وتظهر البحيرات باعداد كبيرة في اقاليم جبلية وهضبية وسهلية خاصة ذوات المناخ الرطب منها . كما يوجد كثير من البحيرات في الاقاليم الجافة وشبه الجافة في الوقت الذي يوجد غيرها فوق الجزر وفوهات البراكين الخامدة .

---

(3) F.J. Monkhouse, op. cit., p. 190

(4) Ibid, p. 191

تتباين البحيرات فيما بينها تبايناً كبيراً من حيث المساحة والعمق والموقع بالنسبة الى مستوى سطح البحر. اذ تؤلف البحيرات الخمسة العظمى في الولايات المتحدة وكندا (سوبيريور ــ هورن ــ مشيكان ــ ايرى ــ أونتاريو) اكبر سلسلة بحيرية من حيث المساحة في العالم. ومن مجموعات البحيرات الكبيرة الاخرى في العالم تلك الموجودة في شرق افريقيا والتي تتمثل في البرت وادوارد وكيفو وتنجانيقا وملاوي وفكتوريا. كما تؤلف بحيرات مانيتوبا و Winnipegosis و nnipeg، Athabaska والعبد الكبير والدب الكبير والبحيرات الاخرى المرتبطة بها مجموعة بحيرية مشهورة اخرى في كندا. وتعتبر بحيرة تيتيكاكا Titicaca اعلى البحيرات ارتفاعاً عن مستوى سطح البحر وتقع هذه البحيرة في بيرو وبوليفيا في قارة امريكا الجنوبية.

ويأتي بحر قزوين باعتباره اكبر البحيرات مساحة رغم ان مياهه مالحة، واعمق بحيرة قاعاً في العالم هي بحيرة بايكال في سيبريا. واخفض سطح بحيرة مستوى عن سطح البحر هي البحر الميت. ويمثل الجدول رقم (٦) بعضاً من اشهر البحيرات العالم.

اصل الاحواض البحيرية :

لاتتكون البحيرات الا بعد ان يتوفر شرطان اساسيان هما :

١ــ وجود حوض ملائم يمكن ان يحتفظ بالماء.
٢ــ وجود مصدر مائي يكفي لملء ذلك الحوض كليا او جزئياً مكوناً البحيرة.

يصب في معظم البحيرات ذوات المياه العذبة انهار تعرف بالمداخل inlets ويخرج من معظمها انهار ايضاً فيما يسمى بالمخارج outlets. ولكي تظل البحيرة موجودة لابد من ان يكون مستوى قاع الحوض اخفض من مستوى المخارج (المنافذ).

لاتمتلك معظم البحيرات المالحة منافذ حيث تكون كمية المياه المفقودة عن طريق التبخر كبيرة بحيث لاتسمح لذلك الحوض بالامتلاء ثم خروج المياه بعد ذلك منه عن طريق المنافذ.

تتكون البحيرات بفعل عمليات متعددة كما بينا ذلك قبل قليل وقد

جدول رقم (٦)
بعض البحيرات في العالم

اسم البحيرة	المساحة بالاميال المربعة	الارتفاع والانخفاض عن مستوى سطح البحر (بالاقدام)	العمق بالاقدام
بحر قزوين	١٧٠٠٠٠	ـــ٨٥	٣٢٠٠
جاد	١٠٠٠٠ـــ٥٠٠٠٠	٨٤٠	٨ـــ٢٠
سوبر بور	٣١٢٠٠	٦٠٢	١٠٠٠
فكتوريا	٢٦٠٠٠	٣٨٠٠	٢٤٠
آرال	٢٥٠٠٠	١٦٠	١٢٠٠
مشيكان	٢٢٥٠٠	٥٨٠	٨٧٠
هورن	٢٢٠٠٠	٥٨١	٧٠٠
ملاوي	١٤٠٠٠	١٥٠٠	٢٣٠٠
بيكال	١٣٠٠٠	١٧٠٠	٥٦٠٠
تنجانيقا	١٢٠٠	٢٧٠٠	٤٧٥٦
الدب الكبير	١١٠٠٠	٣٩٠	٢٧٠
تيتيكاكا	٣٢٦٠	١٢٥٠٠	٧٠٠
البحر الميت	٣٦٠	ـــ١٢٦٨	١٣٠٠
كيفر	٢٥	٦١٧٧	١٩٩٦

المصدر : P. Worcester, Op. Cit., p. 339

لاتلعب عملية واحدة الدور لوحدها في تكوين البحيرات بل تساهم في ذلك عدة عمليات ، ومع ذلك يمكن ان تقسم البحيرات تبعاً الى اصولها الى الآتي :

١ ـــ البحيرات الناتجة عن عمل الجليد :

تكون بعض البحيرات ناتجة كلياً عن عمل الجليد فقد كونت الركامات

الجليدية الموجودة في روسيا وفلندا وفي كندا اعداداً هائلة من البحيرات . وتكون بعض بحيرات الركامات هذه كبيرة المساحة كما في بحيرت اونيكا Onega وسوبيريور وهورن وايري وانتاريو . كما وتكونت البحيرات الخمسة في امريكا الشمالية من جراء النشاط الترسيبي للثلاجات والتعرية الجليدية مع بعض التحويرات التي حصلت على نظام التصريف السابق للاقليم بوساطة الغطاء الجليدي القاري العظيم . وعلى خلاف هذه البحيرات العظيمة المساحة فان هناك كثير من بحيرات الركامات لاتتعدى كونها بركا صغيرة . ومن بين هذه البحيرات بحيرات التارن Tarns الموجودة في اقليم البحيرة الانكليزي (٥) .

يمكن ان نقسم البحيرات التي يكونها الجليد الى :

(أ) الاحواض الموجودة في الركامات الجليدية الارضية :

يتساقط الحطام الصخري الذي تحمله الثلاجات القارية عند انتهاء العصر الجليدي وتراجع الثلاجات نحو الوراء جراء ذوبان الجليد بشكل غطاء غير منتظم . اذ توجد بعض المناطق المنخفضة التي تمتلىء بمياه الجليد الذائب او من خلال الامطار او من الرشح من الاراضي المجاورة لها . ولا يزال قسم كبير من هذه البحيرات ليس لها منافذ منذ ان تكونت والى الوقت الحاضر غير ان مياهها ليست مالحة وذلك بسبب حدوث دورة مائية فيها ناتجة عن كون ان المواد التي تحيط بها ذوات درجة مسامية عالية جداً بحيث تسمح للمياه بالتحرك خلالها بسهولة . كما تتصف هذه البحيرات بانها صغيرة المساحة وقليلة العمق رغم ان البعض منها يكون كبيراً . ومن المناطق المشهورة بمثل هذا النوع من البحيرات منطقة هضاب البحيرة في Mecklenburg في المانيا الديمقراطية وكذلك منطقة بوميرانيا في بولندا . ومن البحيرات ذوات الطبيعة الخاصة مايعرف بـ Kettle-hole وتتكون هذه البحيرة عندما تدفن قطعة جليدية كبيرة داخل الركامات ثم تذوب بعد ذلك فتكون حوضاً بحيرياً قد يكون محتوياً على اللبد النباتي peat . وتوجد نماذج كثيرة من هذا النوع من البحيرات في منطقة Kettle Moraine في ولاية وسكونسن Wisconsin في الولايات المتحدة (٦) .

---

(5) Larousse Encyclopaedia of the Earth , Paul Hamlyn, London, 1966, p. 112

(6) F.J. Monknouse, Op. Cit., p. 199

(ب) الاحواض البحيرية الواقعة خلف الركامات النهائية والركامات الجانبية :

ينشأ الكثير من البحيرات فوق الوديان الجليدية من جراء تعاقب الركامات النهائية بسبب تراجع الثلاجات الى الوراء او ما عرفناه سابقاً بالركام التراجعي حيث يشير كل ركام منها الى حالة توقف في عملية تراجع الثلاجة الى الخلف . ويكون بعض تلك الركامات مرتفعاً مما يسبب خلفه حوضاً بحيرياً عميقاً نسبياً . ومن اشهر الامثلة على هذه الظاهرة ما نلاحظه في الوادي الجليدي القديم المتفرع من Colde la Scucht في جبال الفوج حيث توجد ثلاثة بحيرات متفرقة هي Gerardmer على ارتفاع ٦٠٣ مترا وبحيرة Longemer عند مستوى ٦٧٠ مترا وبحيرة Retournmer عند ارتفاع ٧١٣ متراً فوق مستوى سطح البحر (٧) .

ويمكن للركامات الجانبية ان تسبب قيام احواض بحيرية بدورها ايضاً حيث تستطيع كثير من ثلاجات الوديان ان تمتد الى مسافة كبيرة داخل وديانها الامر الذي يجعل قسماً من ركاماتها الجانبية قادرة على غلق وديان جليدية اخرى لاتمتد الثلاجات الموجودة فيها الى مسافة كبيرة بحيث تصل الى الوادي الرئيسي ، او انها تغلق احياناً وديانا نهرية . وتتصف مثل هذه البحيرات بانها ذوات اعمار قصار اذ سرعان مانطغي مياهها فوق الركامات وتفتح منافذ لها فيها . ويظهر نوع آخر من البحيرات في المناطق الواطئة الموجودة بين سلسلة الركام الجانبي وبين حائط الوادي الجليدي اذ تترسب الركامات الجانبية عادة على مسافة ما من ذلك الحائط . وتقوم الانزلاقات الارضية والرواسب الطموية بربط الجانب الصخري للوادي الجليدي مع الركامات الجانبية .

(ج) الاحواض البحيرية الناتجة عن تعرية الجليد :

يكون الغطاء الجليدي الذي يتحرك فوق سطح مستو تقريباً اعداداً هائلة من احواض بحيرية صغيرة بسبب عملية الحفر التي يقوم بها في كثير من الجهات وخاصة تلك التي التي تتميز بقلة مقاومة صخورها لعملية التعرية ، كما في قارة امريكا الشمالية خاصة في القسم الاوسط الغربي من كنداالقرب من بحيرة العبد الكبير . ويوجد آلاف من هذه البحيرات في المناطق الاخرى من العالم التي تعرضت الى الزحف والتعرية الجليدية . ويرتبط الكثير من هذه البحيرات فيما بينها بوساطة بار

(7) I nuse Op. Cit., P. 112

صغيرة ويوجد للبعض منها مداخل ضيقة. وينتشر فيها اعداد كبيرة من الجزر الصغيرة. وهي في العادة ضحلة على الاغلب وتغطي في بعض المناطق مساحة كبيرة كما في منطقة Quetico في منيسوتا بالولايات المتحدة حيث تشغل حوالي ٧٥٪ من مساحة المنطقة (٨).

يكثر وجود الاحواض الناتجة عن تعرية الجليد في الوديان التي تعرضت الى هذه التعرية اذ تظهر في اعالي الوادي الجليدي (الحلبة الجليدية) بعض الاحواض البحيرية العميقة والتي تحتلها بحيرات صغيرة وعميقة.

كما تظهر البحيرات في مناطق المصاطب الجليدية حيث ادى تساقط الجليد نحوها الى تكوين تلك الاحواض (شكل رقم ٧٧). وتكون هذه البحيرات ملائمة تماماً لاستخدامها كخزانات للمياه بعد ان تبني السدود امامها.

(د) احواض البحيرات الناتجة عن حجز الجليد :

تقوم بعض الثلاجات الكبيرة بغلق كامل الى وديان الثلاجات الرافدية التابعة لها مكونة احواضاً بحيرية. وتعتبر بحيرة **Marjelen** في سويسرا مثالاً جيداً لهذا النوع من البحيرات. ويوجد كثير من البحيرات في الوديان الرافدية حول غطاء Vatnajokull الجليدي في أيسلندا. وتتحول اعداد كثيرة من الفيوردات في كرينلند الى بحيرات مغلوقة بوساطة ثلاجات يتراوح اطوالها بين ١٥ ــ ٣٠ كم. وينشأ حوالي خمسين من البحيرات المغلوقة بوساطة الجليد على الشريط الساحلي في الاسكا الجنوبية (٩).

٢ ــ البحيرات الناتجة عن عمل المياه السطحية الجارية :

على الرغم من ان الانهار عوامل اساسية في تكوين العديد من البحيرات في جهات العالم المختلفة الا ان الانهار وبسبب طبيعة عملها تعتبر العدو الرئيسي لها في حالة اذا كانت منافذ لتلك البحيرات او كانت مخارج لها. ففي الحالة الاولى، يؤدي تعميق النهر لواديه الى تخفيض مستوى منفذ البحيرة الى دون مستوى قاعها وبالتالي يسبب تصريف المياه المتجمعة فيها وانهاء وجود تلك البحيرة. وفي الحالة

---

(8) Encyclopaedia Britannica, Vol. 10, Op. cit., p. 603.

(9) F.J Monkhouse, op. Cit., p. 199.

الثانية تقوم الرواسب التي تلقيها الانهار التي تصب في البحيرة بطمر تلك البحيرة وانعدام وجود الحوض البحري. وتتصف الاحواض البحيرية الناتجة عن عمل الانهار بانها ضحلة وقصيرة العمر عادة. ويمكن ان تقسم الاحواض البحيرية النهرية الى :ـــ

(أ) الاحواض الغاطسة :ـــ

تتكون هذه الاحواض عند قدمات المساقط المائية التي تنشأ تحتها اول الامر مايسمى بالحفر الوعائية potholes. وتتحول هذه الحفر الى برك واسعة عندما تكون عملية تراجع الشلال سريعة اكثر من عملية تعميق الانهار لوديانها الواقعة اسفل تلك المساقط المائية. وتنتشر هذه البحيرات على سبيل المثال في كراند كولي الذي يعتبر بمثابة المجرى السابق لنهر كولومبيا في ولاية واشنطن. وقد تشكلت تلك البحيرات من نهر تتساقط مياهه من على جرف يبلغ ارتفاعه ١٢١ متراً ويبلغ عمق هذا الحوض ٢٤ متراً (شكل رقم ١٢٠). ومن مناطق البحيرات الغاطسة ما هو موجود في Jamesville في وسط ولاية نيويورك حيث تكونت هذه من مياه قادمة من البحيرات العظمى تنصرف عبر جنادل يزيد ارتفاعها عن ٤٨ متر ولمسافة ٢٥٠ متراً ويبلغ عمق البحيرة التي تحتل هذا المنخفض حالياً حوالي ١٨ متراً (١٠). ويعتبر القسم الواقع اسفل شلالات نياكارا بحيرة غاطسة ايضاً حيث تتساقط المياه فيها من ارتفاع ٥٠ متراً وتجري بسرعة ٨٠ كيلومتر / ساعة (١١).

(ب) الاحواض الموجودة فوق السهول الفيضية والدلتاوات :

تستطيع الانهار التي تجري فوق سهولها الفيضية ومن خلال عملية تطوير التواءاتها النهرية ان تكون بحيرات هلالية ox-bow وقد سبق لنا وبينا ذلك حين شرحنا السهل الفيضي (الفصل الرابع). وتتصف هذه البحيرات بانها ضحلة وتمتلىء بالرواسب التي تصلها عن طريق الفيضانات او من جراء تراكم النباتات فيها او مما تلقيه الرياح من رواسب داخلها.

ينشأ نوع آخر من البحيرات داخل سهول الانهار الفيضية ناتج عن اختلاف شدة وطبيعة عملية الترسيب التي تقوم بها تلك الانهار، حيث تكون

(10) Lobeck, op. Cit., p. 195

(11) Gilluly, Op. Cit., p. 258

شكل ــ ١٢٠ ــ
بحيرة غاطسة في المجرى القديم لنهر كولومبيا في الولايات المتحدة

المناطق المجاورة الى المجاري الانهار اكثر ارتفاعاً من المناطق البعيدة عن تلك المجاري. حيث تتحول تلك المناطق البعيدة الى احواض تتزود بالمياه عن طريق الرشح او عن طريق الفيضانات أو من خلال مجارٍ نهرية صغيرة. وتعتبر الاهوار الموجودة في العراق مثالاً واضحاً لمثل هذا النوع من البحيرات حيث تكونت ثلاثة احواض رئيسية هي:

١ــ الحوض المحصور بين وادي الفرات والهضبة الغربية وتحتله اهوار مثل هور الحمار.
٢ــ الحوض المحصور بين دجلة والفرات وتحتله مجموعة الأهوار الوسطى.
٣ــ الحوض المحصور بين دجلة والمرتفعات الواقعة عند الحدود العراقية الشرقية. وتحتله الاهوار الشرقية مثل هور الحويزة.

هذا وتتكون بحيرات في مناطق الدلتا من جراء عملية الترسيب غير المنتظمة التي تقوم بها فروع النهر داخل الدلتا، ومن اشهر الامثلة على هذه البحيرات بحيرة Pontchartrain في دلتا المسيسيبي وخليج زيدرزي Zuider Zee عند دلتا نهر الراين. وتعتبر بحيرة Salton المالحة الواقعة في شمال خليج كاليفورنيا مثلا آخر عن البحيرات الناتجة عن وجود الدلتاوات حيث أدى نمو الدلتا التي قام ببناءها نهر كلورادو الى قطع القسم الشمالي من خليج كاليفورنيا وتحويله الى بحيرة مالحة (١٢).

(12) Larousse, Op. Cit., p.113.

قد يؤدي تركز التصريف المائي داخل الخوانق النهرية في الاقاليم الجافة الجبلية الى تكوين دالات مروحية تترسب على المناطق السهلية المجاورة او على قيعان الوديان . ويحدث احياناً ان تتقابل مروحتان طمويتان على جوانب احد الوديان ويسبب نموهما الى التقائهما وتكوين حوض لبحيرة في القسم الاعلى منهما من الوادي . وتنتشر مثل هذه الحالة في مناطق عديدة في الاقليم الجاف في غرب الولايات المتحدة واشهرها بحيرة اوينز Owens في شرق كاليفورنيا (١٣) .

(ج) الاحواض الناتجة عن السداد الطافية :ـــ

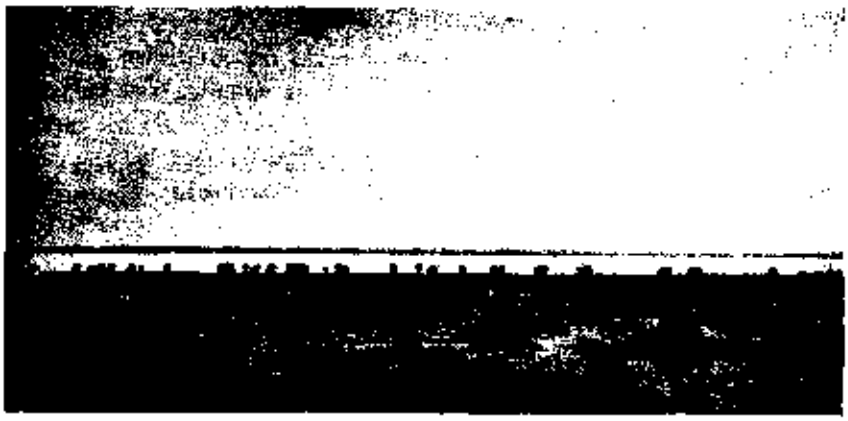
تقوم بعض الانهار من حين الى آخر بغلق وديانها مكونة بعض البحيرات . ويحدث مثل هذا العمل بصورة خاصة في الانهار الملتوية التي تجري داخل اقاليم رطبة حيث يؤدي تطوير الالتواءات الى تعرض بعض الضفاف الى التعرية النهرية ، وتساقط الاشجار والنباتات الاخرى النامية عليها . ثم تطفو تلك على مياه النهر الى ان تتوقف عند بعض الرواسب الموجودة داخل مجرى النهر . ويساعد استمرار تجمع تلك الاشجار على زيادة عملية الترسيب خلفها مما يؤدي الى تكوين سدود قد تكون كبيرة احياناً وتكوين بحيرات خلف تلك السدود . ويسبب غلق مجاري الانهار البطيئة الجريان بوساطة النباتات المائية الطافية الى تراكم المياه مكونة بحيرات ضحلة كما في بحيرات Gooren و Vennen في جنوب هولندا وشمال شرقي بلجيكا (١٤) . ويمكن اعتبار منطقة السدود في النيل مكاناً آخر لهذه الحالة .

٣ ـــ الاحواض التي تكونها الرياح :ـــ

تستطيع الرياح ان تكون الاحواض البحيرية من خلال عملها باعتبارها عاملاً من عوامل التعرية او من خلال كونها قادرة على الترسيب . وتتصف الاحواض الناتجة عن عملية التعرية بانها واسعة المساحة نسبياً غير ان وجود معظمها داخل أقاليم صحراوية يجعل تلك الاحواض جافة او انها قد تحتوي على بحيرات فصلية او حتى وقتية شكل رقم (١٢١) . تنشأ معظم هذه الاحواض من جراء التعرية المتباينة التي تشتد فوق الصخور اللينة كما في الصخور الطفل المفككة . وقد استطاع الانسان توسيع مساحة تلك الاحواض من خلال بنائه للسداد حيث تستخدم كخزانات

(13) P. Worcester, Op. Cit., p. 346.

(14) F.J. Monkhouse, Op. Cit., p. 199.



شكل ــ ١٢١ــ
بحيرة وقتية في حوض حفرته الرياح

للمياه لاغراض عديدة ومنها الري. وتؤدي عملية التفريغ التي تقوم بها الرياح في الاقاليم الصحراوية الجافة الى تكوين منخفضات واسعة تصل حتى الى مستوى الماء الباطني. حيث تتكون آنذاك بعض البحيرات الملحية الضحلة او المستنقعات كما في منخفض القطارة في مصر او في شط الجريد وشط الملغيغ على جانبي خط الحدود التونسية ــ الجزائرية (١٥).

يؤدي التوزيع غير المنتظم للكثبان الى تكوين احواض صغيرة بينها قد تمتلىء بمياه الامطار خاصة في مناطق الكثبان الساحلية كما في الاجزاء الجنوبية من بحيرة مشيكان. وتنشأ مثل هذه البحيرات ايضاً في المناطق الصحراوية المجاورة للسلاسل الجبلية حيث يؤدي جريان المياه في بعض الانهار الوقتية الى ملء تلك الاحواض بالمياه بشكل بحيرات صغيرة.

٤ ــ الاحواض الناتجة عن الحركات الارضية :

تكون الحركات الارضية انواعاً مختلفة من الاحواض البحيرية. ومن المعتقد ان معظم الاحواض البحيرية الكبرى في العالم تنشأ اما كلياً او جزئياً من خلال تلك

15) Ibid, p. 197.

الحركات الارضية . ولا تكون الحركات الارضية مسؤولة فقط عن تكوين كثير من الاحواض البحيرية بل انها عامل مهم في تغيير مياه بعض البحيرات العذبة الى مياه مالحة .

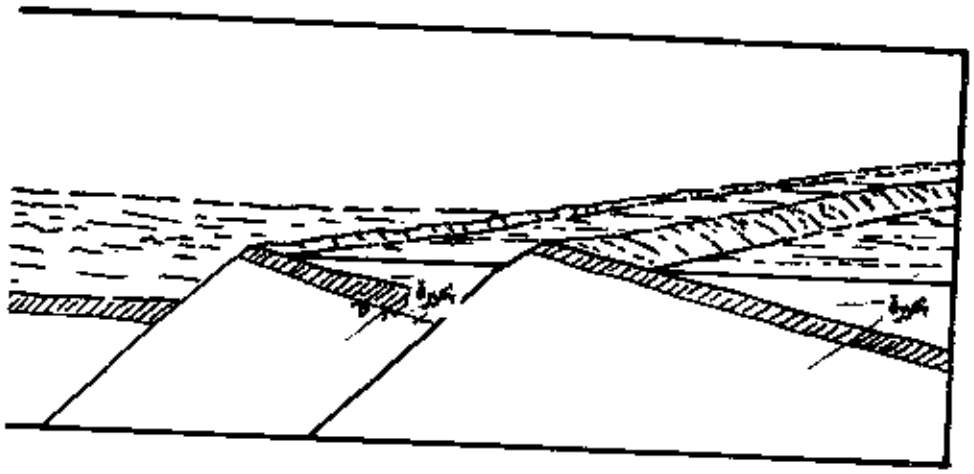
تنتشر على الارصفة القارية الكثير من المنخفضات الضحلة التي قد تتحول الى بحيرات بعد ان ترتفع تلك الارصفة القارية وتتحول الى سهول ساحلية ومن المعتقد ان معظم البحيرات التي تنتشر في شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك وفلوريدا في الولايات المتحدة قد نشأت بهذه الطريقة . وتعرف مثل هذه البحيرات بأسم البحيرات المتخلفة relic .

ينشأ كثير من الاحواض البحيرية داخل السلاسل الجبلية اذ ادى ارتفاع بعض اجزاء من القشرة الارضية بشكل سلاسل جبلية الى بقاء اجزاء اخرى محصورة بينها بشكل احواض احتل معظمها بحيرات منعزلة في الوقت الحاضر وذوات مياه مالحة على الاغلب . وتدل الحفريات الحيوانية التي وجدت حول بعضها انها كانت في الماضي ذوات مياه عذبة . وتحتل بعض البحيرات مناطق الالتواءات المقعرة Synclines علما بأنه ليس مؤكداً ان تكون هذه البحيرات قد نتجت عن تعرض القشرة الى عملية هبوط اذ انها يمكن ان تكون ناتجة عن ارتفاع المناطق المجاورة دون ان تتعرض احواضها الى عملية الهبوط . وتنشأ البحيرات ايضاً من جراء حصر مياه بعض الانهار بوساطة سد ناتج عن التواء محدب Anticline . وينتشر كثير من هذه البحيرات في المنطقة الجبلية في القسم الغربي من الولايات المتحدة وكندا .

تلعب الانكسارات دوراً مماثلاً للألتواءات في تكوين الاحواض البحيرية ، حيث يؤدي وجود نطاق انكساري منفرد الى تكوين مستويين مختلفين عند سطح الارض الامر الذي يجعله ملائماً لتكوين حوض بحيري شكل رقم (١٢٢) . وتوجد الاحواض التي تكون من هذا النوع في كثير من جهات العالم كما في بحيرات سان اندرياس و Crystal Springs الموجودة فوق خط سان اندرياس الانكساري الى الجنوب قليلاً من سان فرانسيسكو في الولايات المتحدة (١٦) .

---

(16) P. Worcester, Op. Ch., p. 349



شكل ــ ١٢٢ ــ
كيفية تكون البحيرات التي تحتل احواضاً انكسارية

يؤدي تقابل انطقة الانكسارات إلى تكوين الوديان الاخدودية التي تكون ملائمة تماماً لتكوين البحيرات. ويعتبر الوادي الاخدودي الافريقي خير مثال على ذلك حيث يحتوي على بحيرات عديدة منها البحر الميت وبحيرة تنجانيقا وملاوي ومجموعة اخرى من بحيرات صغيرة مثل البرت وتسمى حالياً سيسيكوموبوتو وادورد وكيفو. ويمثل البحر الميت اعمق نقطة في القسم الشمالي من هذا الحوض اذ يكون مستوى سطحه ٣٩٤ متر دون مستوى سطح البحر وينخفض قاعه عن ذلك السطح بحوالي ٤٠٠ متراً. ويمثل امتداده الطولي الطبيعة الطولية للوديان الاخدودية اذ يبلغ طوله ٨٨ كم في حين يكون اتساعه حوالي ١٦كم(١٧). وتعتبر بحيرة بيكال في الاتحاد السوفيتي مثالاً آخر على البحيرات التي تنشأ داخل الاحواض الانكسارية وتقع هذه البحيرة عند ارتفاع حوالي ٤٥٥ متراً فوق مستوى سطح البحر. ويكون عمقها في حدود ١٣٧٠ متراً وبذلك ينخفض قاعها بحوالي ٩٠٠ متراً دون مستوى سطح البحر (١٨).

F.J. Monkhouse, Op. Cit., p. 201

Larousse, Op. Cit., p. 112

● ــ الاحواض الناتجة عن النشاط البركاني :

تشكل بعض فوهات البراكين الخامدة او الهادئة مواقع ملائمة لتكوين بحيرات دائرية . تنشأ مثل هذه البحيرات في المناطق التي ادت الثورة البركانية فيها الى تكوين منخفضات داخل الصخور الصلبة . ومن الامثلة هذه البحيرات بحيرة Maaren في اقليم ايفل في المانيا وبحيرة كريتر في ولاية أوريكون في الولايات المتحدة (شكل رقم ١٢٣) . وبحيرة Oskjuvatn في ايسلندا وبحيرتي Avernus و Bolsene في وسط ايطاليا وبحيرتي Kawah Idj و Keloed في جاوة . وتعتبر بحيرة Toba من اكبر بحيرات الفوهات في العالم حيث تبلغ مساحة الفوهة البركانية التي تحتلها (كالديرا) حوالي ١٩٠٠ كم٢ في مرتفعات شمال سومطرة . تحيط بتلك البحيرة جدران عالية يبلغ ارتفاعها حوالي ٦٠٠ متر فيما عدا المنفذ الذي يخرج منه نهر Soengai Assashan عبر سلسلة من الخوانق ومن خلال مسقط مائي يبلغ ارتفاعه ١٣٥ متر (١٩) . وتشتهر بحيرة كريتر Crater في اوريكون من بين غيرها في امريكا الشمالية لانها تتمتع بموقع جميل فقد اعتبرت متنزها قومياً منذ سنة ١٩٠٢ . وتحتل تلك البحيرة فوهة بركانية يبلغ اتساعها حوالي ٩ر٦ كم وعمقها حوالي ٦٠٠ مترا وتحيط بها اجراف يتراوح ارتفاعها بين ١٥٠ ــ ١٦٠ متراً . ويرتفع داخل تلك البحيرة جزيرة Wizard التي يمكن اعتبارها مخروطاً بركانياً خامداً وصغيراً داخل الفوهة الكبيرة (٢٠) . كما وتنشأ بعض البحيرات ايضاً من جراء عملية الغلق التي تتعرض اليها الوديان النهرية بسبب الطفوح البركانية . ومن الامثلة على ذلك بحيرة طبريا التي نشأت من جراء وجود سد من الطفوح عبر وادي الاردن . ومن الامثلة الاخرى بحيرة Tahoe في كاليفورنيا وبحيرة كيفو في الوادي الاخدودي الافريقي وكذلك بحيرة Chuzenji في اليابان التي تنساب المياه منها عبر السد البركاني مكونة شلالات Kegon التي يبلغ ارتفاعها ١٠٠ متر (٢١) .

٦ــ الاحواض الناتجة عن الانزلاقات الارضية :

تستطيع الانزلاقات الارضية الكبيرة ان تغلق بعض الوديان احياناً مكونة

(19) Monkhouse, Op. Cit., p. 201

(20) Larousse, Op. Cit., p. 113

(21) Monkhouse, Op. Cit., p. 203

شكل ــ ١٢٣ ــ
بحيرة كريتر في ولاية اوريكون بالولايات المتحدة

شكل ــ ١٢٤ ــ
انزلاق ارضي ادى الى غلق وادي نهري وتكوين بحيرة

سداداً تتجمع خلفها مياه الانهار بشكل بحيرات يكون معظمها وقتياً بعد ان تقوم الانهار بتخفيض منافذها. غير ان بعض تلك السداد تكون سميكة لدرجة ان البحيرات التي تتكون خلفها تبقى لفترة طويلة. وتسود مثل هذه الظروف في المناطق الجبلية الوعرة من العالم كما في جبال الالب والمرتفعات الغربية في امريكا الشمالية حيث ادى انزلاق Gros Ventre الذي حدث على الجبل الذي يحمل الاسم نفسه في ولاية وايمنك في سنة ١٩٢٥ الى تكوين بحيرة لايزال قسم منها موجوداً في الوقت الحالي (شكل رقم ١٢٣). ويمكن حتى للمجارى الطينية ان تكون بعض البحيرات حيث يستطيع المجرى الطيني ان ينقل معه كميات كبيرة من الصخور والاشجار التي تغلق الوديان مكونة البحيرات. ويمكن حتى لظاهرة التزحلق الارضي Slump ان تكون بعض الاحواض البحرية الضحلة والصغيرة (٢٢).

(22) p. Worcster, Op. Cit., p. 352

وتستطيع حيوانات القنادس على سبيل المثال ان تكون احواضا بحيرية صغيرة من خلال بناءها السدود عبر المجاري النهرية الصغيرة (شكل رقم ١٢٥) ويتباين اطوال تلك السداد من امتار قليلة الى اكثر من ٦٠٠ متراً كما ويتباين ارتفاعها من ٥ر١ متراً من ٤ امتار . ويتباين طول البرك التي تتكون خلفها من ١٥ ـــ ٢٥٠ متراً (٢٥) . وقد استفادت الحكومة الامريكية من سداد القنادس هذه في عدد من الولايات الغربية حيث قللت من عملية جرف التربة وتكون الوديان النهرية الصغيرة ، يؤدي وجود مثل هذه السداد الصغيرة الى ضبط الفيضانات والى التقليل من سرعة جريان مياه الانهار وبذلك تتناقص عملية التعرية النهرية . وقد امتلأت كثير من برك القنادس هذه بالرواسب فتحولت الى مستنقعات او الى سهول طموية .

يعتقد بعض الباحثين ان سبب وجود مئات الاحواض الضحلة فوق السهول في امريكا الشمالية يعود الى الجاموس الامريكي buffalo . اذ وجدت هذه الحيوانات في حفر المياه قرب الينابيع او مناطق الرشح اماكن مناسبة للتمرغ فيها لغرض تبريد اجسامها . وبهذه الطريقة نقلت كميات من الطين بعيداً بواسطة الشعر الذي يغطي اجسادها مما ادى الى تكوين المنخفضات الحالية .

لقد ادت الحاجة المتعاظمة الى المياه لاغراض الري وتجهيز المدن بحاجاتها المائية بالانسان الى انشاء عدد كبير من البحيرات الاصطناعية . ولاتقتصر الفائدة من هذه البحيرات على الاغراض السابقة فقط بل تتعدى ذلك الى اغراض اخرى كاستخدامها للسياحة والسيطرة على الفيضانات وكذلك باعتبارها مصدراً مهماً لغذاء الانسان ولتوليد الطاقة الكهربائية . ويقترب حجم البعض الكبير من هذه البحيرات مع البحيرات الطبيعية المتوسطة المساحة . كما في الاتحاد السوفياتي وافريقية الجنوبية ويكون لبعض تلك المشاريع اهمية عالمية كما في مشروع تينسي في الولايات المتحدة وخزان الفولجا في الاتحاد السوفيتي (٢٦) . وتعتبر عملية بناء السد الاصطناعي الحجر الاساس في البحيرات التي ينشؤها الانسان . وقد تباينت السدود كثيراً من سدود صغيرة تبنى من مواد محلية بسيطة كالاحجار وجذوع الاشجار والنباتات المختلفة الى السدود العملاقة التي تبنى من مادة الكونكريت المسلح . وقد تزايدت طاقة الخزانات او البحيرات الاصطناعية بعد ذلك التطور . ويمكن تميز ثلاثة

---

(25) Lobeck, Op. Cit., p. 429

(26) James S. Gardner, Physical Geography, Harper's College press, New York, 1977, p. 211

شكل ــ ١٢٥ ــ
احد السدادات التي تبنيها حيوانات القنادس

فترات رئيسة مرت بها عملية انشاء السدود والبحيرات الاصطناعية ذوات العلاقة بها .

١ــ الفترة الاولى قبل ١٩٠٠ م وتميزت ببناء عدد قليل من السدود .
٢ــ الفترة الثانية بين ١٩٠٠ ــ ١٩٤٥ وشهدت نشاطاً ملحوظاً في بناء السدود .
٣ــ الفترة الثالثة بين ١٩٤٥ ــ ١٩٧١ وتمثل فترة فريدة في بناء السدود حيث اكتمل فيها بناء عدد كبير من السدود . واهم مايميز السدود والبحيرات المرتبطة بها انها اصبحت كبيرة جداً من حيث الارتفاع او من حيث السعة التخزينية . فقد كان سد هوفر Hoover اعلى سد في العالم حتى سنة ١٩٣٠ واصبح يحتل المرتبة الرابعة عشرة في اوائل السبعينات من هذا القرن

(شكل رقم ١٢٦) . وكانت بحيرة ميد Mead الواقعة خلف ذلك السد تعتبر اكبر بحيرة اصطناعية في العالم بطاقة استيعاب تبلغ ٣٨ بليون متر مكعب اصبحت صغيرة جداً بالمقارنة مع بحيرات اصطناعية عظمى مثل سد كريبيا ١٦٠ بليون م٣ وبحيرة ناصر ١٥٧ بليون م٣ وبحيرة اكوسومبو في غانة ١٤٨ بليون م٣ (٢٧) ويمكن اعتبار بحيرة الثرثار من هذا النوع من البحيرات حيث تستطيع استيعاب مامقداره ٥٨ر٥ بليون متر مكعب تقريباً .

ويبين الجدول رقم (٧) اعظم البحيرات الاصطناعية حجماً في العالم .

جدول رقم (٧)

اعظم البحيرات الاصطناعية حجماً في العالم

اسم البحيرة	النهر	الدولة	المساحة بالآلاف الكيلومترات المربعة
١ — كاريبا	زمبيزي	زمبابوي	٥ر٢
٢ — براتسكي	انكارا	الاتحاد السوفيتي	٥ر٥
٣ — ناصر	النيل	مصر	٥
٤ — الثرثار	دجلة	العراق	٢ر٧
٥ — كراسنويارسكي	يسساي	الاتحاد السوفيتي	٢ر٦
٦ — سد مينى	هوانكهو	الصين	٣ر٥
٧ — حديثة	الفرات	العراق	١ر٨
٨ — بخطارمينسك	ايرتش	الاتحاد السوفيتي	٣ر٧
٩ — الفولغا	الفولغا	الاتحاد السوفيتي	٦ر٦
١٠ — ميد	كلورادو	الولايات المتحدة	١ر٦
١١ — سد المؤتمر	الفولغا	الاتحاد السوفيتي	٣ر٢
١٢ — هاريسون	المسيسبي	الولايات المتحدة	١ر٦
١٣ — زيبنسكي	الفولغا	الاتحاد السوفيتي	٥ر٥

المصدر : خيب خروفة وجماعته ، الري والبزل في العراق والوطن العربي ، المنشأة العامة للمساحة ، بغداد ، ١٩٨٤ ، ص ١٩٦

(٢٧) عبدالحميد احمد كنو ، الانسان كعامل جيومورفولوجي ، محاضرة دورية عن قسم الجغرافية في كلية الآداب ، جامعة الكويت ، الكويت ١٩٨٥ ، ص ٢٨ — ٣١ .

شكل ـــ ١٢٦ ـــ
سد هوفر على نهر كلورادو وبحيرة ميد واقعة خلفه

وتعتبر السدود التي تحجز مياه مثل تلك البحيرات منشآت هندسية عظمى تبذل فيها الكثير من الاموال والجهود في سبيل انجازها، ويزيد ارتفاع البعض منها على عدة مئات من الامتار فعلى سبيل المثال يبلغ ارتفاع سد براتسكي على نهر انكارا في الاتحاد السوفيتي ٣٠٥ متراً وسد فايونت في ايطاليا ٢٦٥ متر وسد هوفر في الولايات المتحدة ٢٢١ متر وسد صدام في العراق ١٣١ متر ودربندخان ١٢٨ متر ودوكان ١١٦ متر والسد العالي في مصر ١١١ متر (٢٨).

ليس من المستبعد ان يؤدي تجمع المياه بكميات كبيرة داخل البحيرات التي عملها الانسان الى احداث ثقل اضافي على القشرة الارضية الواقعة اسفلها ومن الممكن ان يؤدي هذا الثقل الى حدوث هزات ارضية بسبب ضغط الماء الذي يحدث هبوطاً لقشرة الارض في موقع البحيرة خاصة اذا كان هذا الموقع عرضه للتصدع او قريباً من منطقة انكسارات كما حدث في الهند عند سد كوينا Koyna سنة ١٩٦٧. حيث تعرضت المنطقة بعد اكمال ملء البحيرة الى خمسة هزات زلزالية

(٢٨) خروفة، المصدر السابق، ١٩٧.

كانت اقواها قد حدثت في ١٠ كانون الاول من السنة نفسها حيث بلغت قوتها ٦٫٣ درجة بموجب مقياس ريختر. وقد حدثت في شهر تشرين الاول من سنة ١٩٦٣ كارثة سد Vaiont في ايطاليا التي ذهب ضحيتها ٢٠٠٠ شخص وكان سببها حدوث انزلاقات ارضية بسبب الزلازل التي ادت الى سقوط ٣٠٠ مليون م٣ من الصخور داخل البحيرة مما احدث امواجاً عالية بلغ ارتفاعها ٧٠ متراً تخطت جسم السد واغرقت سكان الوادي خلفه (٢٩). هذا وبسبب وجود البحيرات الاصطناعية تغيراً واضحاً في طبيعة المياه الجوفية في المنطقة المجاورة لها اذ انها ترفع من مستوى الماء الباطني في هذه المناطق على الاغلب وما يعقب ذلك الارتفاع من مشاكل في تصريف المياه الثقيلة في المدن او في دفن القاذورات وفي تغدق التربة في المناطق الزراعية المجاورة وكذلك في التأثير على اساسات المباني المجاورة (٣٠)

مصادر مياه البحيرات :

تتنوع المصادر التي تتغذى بها البحيرات حيث تستلم بعض البحيرات مياهها من الامطار التي تتساقط فوقها او تلك التي تنساب اليها من المناطق التي تكون حوضها. وتسود مثل هذه الحالة في الاغلب في الاقاليم ذوات المناخ الحار او الدافيء الرطب. وتتزود بعضها بالمياه من الانهار التي تصب فيها وهي حالة شائعة كثيراً. كما يستلم كثير من البحيرات مياهه من الثلاجات الذائبة او الغطاءات الجليدية. كما تقوم المياه الباطنية بتزويد الكثير من البحيرات كما هي الحال في البحيرات الناتجة عن عملية الاذابة في الاقاليم الكارستية او في البحيرات الموجودة داخل الركامات في المناطق الجليدية التي تتميز بدرجة مساميتها العالية. اذ تجري تغذية تلك البحيرات بوساطة المياه الباطنية عن طريق الينابيع او عن طريق الرشح.

البحيرات المالحة

تنتشر البحيرات المالحة في المناطق الجافة وشبه الجافة من العالم. ويرجع معظمها في كونه بحيرات متبقية من بحيرات اكبر مساحة منها ذوات مياه مالحة أو عذبة. وخير مثال على ذلك البحيرة المالحة الكبرى في القسم الغربي من الولايات المتحدة والتي هي عبارة عن بحيرة متبقية من بحيرة Bonneville ، التي كان مستوى الماء فيها اعلى من مستوى البحيرة الحالية بحوالي ٣٠٠ متراً. وكانت مساحة تلك

(٢٩) عبد الحميد احمد كليو ، مصدر سابق ، ص ٥٢ — ٥٥

(30) James S. Garner, op. Cit., 212.

البحيرة ذات المياه العذبة حوالي ٥١٠٠٠ كم². وقد تكونت هذه البحيرة ومثيلاتها في القسم الغربي من الولايات المتحدة خلال الفترات الجليدية التي كانت كمية التساقط فيها اعلى مما عليه في الوقت الحاضر وكمية الضياع عن طريق التبخر اقل مما هي عليه حالياً. وكانت مياه بحيرة بونفيل تجري باتجاه الشمال عبر نهر سنيك ثم نهر كولومبيا في المحيط الهادي. ومما يدل على موقع هذه البحيرة وجود الاحراف والمصاطب وكذلك الاجراف التي كونتها تعرية الأمواج على طول سواحلها الجبلية السابقة (٣١). وتعتبر بحيرة بيراميد Pyramid مثالاً آخر لهذا النوع من البحيرات وتوجد في منطقة الحوض العظيم في الولايات المتحدة وكانت مساحتها تبلغ في الماضي حوالي ٢٢٠٠٠ كم² وهي بحيرة متخلفة عن بحيرة Lahontan (٣٢). ومن البحيرات المالحة الكبرى المشهورة في العالم بحر قزوين والبحر الميت وبحر آرال. وتنتشر اعداد هائلة من بحيرات البلايا التي يكون معظمها ذوات مياه وقتية في المناطق الجافة وشبه الجافة من العالم. ويرتبط مقدار مساحة وفترة بقاء هذه البحيرات باستمرارية وكمية سقوط الامطار على احواضها. كما وتتباين مساحتها كثيراً من وقت الى آخر تبعا الى ذلك فعلى سبيل المثال غطت بحيرة آير في استراليا في سنة ١٩٥٠ مساحة مقادرها ٨٠٣١ كم² ومن ثم تبخرت كلياً خلال عام ١٩٥٢ (٣٣).

تتحول البحيرات العذبة الى بحيرات مالحة احياناً نتيجة الى ظروف مناخية خاصة، حيث تؤدي زيادة كمية الضياع المائي بوساطة التبخر، بحيث تصبح تلك المياه اكبر من كمية المياه الواصلة الى البحيرة، يؤدي ذلك الى تحويل البحيرة الى بحيرة مالحة بسبب تركز الاملاح وبقائها فيها. ويمكن لتلك البحيرة ان تعود فتصبح مياهها عذبة عندما تأتيها كمية اضافية من المياه التي تجعل بالامكان حدوث جريان مائي خلالها وخروج الماء عن احد المنافذ منها، كما حدث لبحيرة الثرثار بعد اكمال ربطها بنهر الفرات بوساطة قناة الثرثار المشهورة. وتسبب بعض الحركات الارضية تحولا للبحيرة من بحيرة ذات مياه عذبة الى بحيرة ذات مياه مالحة عندما تسبب رفعا لمنافذها او تقطع بعض تجهيزات الماء عن تلك البحيرة. ويكون مصدر املاح مياه البحيرات المالحة قادماً من جراء تعرض الصخور التي تقع في حوضها الى عمليات التجوية الكيمياوية وتصريف اثقالها المحملة بالاملاح اليها.

ويصبح لبعض قيعان البحيرات المالحة اهمية بعد جفافها حيث يمكن استغلال الرواسب الملحية المختلفة المتجمعة عليها مثل ملح الطعام والبوتاس

(31) Allison, Op. Cit., pp. 110-111

(23) Clifford Embletom and Cuchlaine King, Glacial Geomorphology, Edward Arnold, London, 1975, pp. 161-163

(33) Allison, Op. Cit., p. 110

والبوراكس. وقد تكونت بعض هذه الرواسب منذ مدة طويلة وطمرت بوساطة رواسب الرمل او الطين والغرين التي نقلت ورسبت فوق قاع البحيرات القديمة. وتنتج بعض البحيرات المالحة الحالية انواعاً مختلفة من الأملاح وبكميات تجارية فعلى سبيل المثال توجد املاح الصودا في بحيرة نترون Natron في شرق افريقيا التي تحتوي على اكبر احتياطي معروف منه في العالم. وينطبق الشيء نفسه على بحيرة Magadi القريبة منها حيث تستخدم الصودا المستخرجة منها في صناعة الزجاج (٣٤).

نهاية البحيرات :

تعتبر اغلب البحيرات مظهراً مرتبطاً بتضاريس ارضية تعود الى مرحلة الشباب من الدورة الجيومورفولوجية فيما عدا بعض البحيرات التي توجد فوق السهول الفيضية للانهار وفوق الدلتاوات. ومما يؤكد هذه الحقيقة ان معظم الانهار توجد في مناطق تعرضت الى التعرية الجليدية التي حدثت خلال البلايستوسين والتي تتميز بأنها لاتزال ضمن مرحلة الشباب وانها ذوات تضاريس عالية نسبياً. وعلى الرغم من شيوع البحيرات في المناطق ذوات مرحلة الشباب في الاقاليم الصحراوية الا ان هذا لايمنع وجود البحيرات فيها في اقاليم ذوات تضاريس تعود الى مراحل اخرى.

لابد لاية بحيرة مهما بلغت مساحتها ومهما بلغ عمقها من ان تنتهي وتختفي في فترة قادمة تعتمد على طبيعة البحيرة نفسها وعلى العمليات التي تؤدي الى انهائها. وتعتبر عملية تخفيض منافذ البحيرات واحدة من ابرز العمليات التي تؤدي الى انهاء البحيرات حيث يؤدي ذلك الى تصريف مياه البحيرة كلها التي يكون مستوى قاعها اعلى من مستوى قاع الوادي النهري الواقع اسفلها.

كما تنتهي بعض البحيرات بسبب ما قد تتعرض له احواضها من عمليات الطمر المختلفة. حيث تقل قابلية البحيرة على استيعاب المياه القادمة اليها، والتي تكون كميتها ثابتة بصورة عامة. ويؤدي ذلك الى زيادة في سرعة خروج المياه من منافذ البحيرة وتعميق تلك المنافذ حتى يصبح مستواها اخفض من مستوى قاع البحيرة الذي ارتفع بدوره هو الاخر من جراء ماتراكم فوقه من رواسب. وتجلب الانهار التي تصب في البحيرات رواسب صخرية الاصل ذوات كميات متباينة. إذ تتلقى

(34) Willim A. Hance, THe Geography of Modern Africa, Columbia Universiy press, New York, 1957, p. 410.

البحيرات التي تصب فيها الانهار مباشرة كميات اكبر من تلك البحيرات التي تأتيها الانهار بعد ان تكون قد مرت ببحيرات سابقة. كما ان الرواسب التي تأتي بها الانهار التي تجري في الاقاليم الرطبة تكون اقل عادة من الرواسب التي تأتي بها الانهار التي تجري في اقاليم جافة او شبه جافة. فعلى سبيل المثال يرسب نهر كلورادو مامقداره ٤٢٠٠٠ ايكر / متر من الرواسب سنوياً في بحيرة ميد (٣٥)، وبذلك فان هذه البحيرة سوف تمتلىء بالرواسب في غضون ٢٠٠ سنة تقريباً. فقد كانت البحيرة قد استلمت حوالي نصف مليون ايكر / متر من الرواسب خلال الخمسة عشر سنة التي اعقبت اكمال سد هوفر. وسوف يساعد انشاء بعض السدود الاخرى والبحيرات الصناعية الواقعة خلفها على نهر كلورادو وروافده على تقليل كمية الرواسب التي يلقيها ذلك النهر في بحيرة ميد (٣٦). وتتمثل عملية ملء البحيرات بهذه الطريقة بوجود الدلتاوات التي تكونها بعض الانهار التي تنتهي في البحيرات. وليست الانهار المسؤولة الوحيدة عن طمر البحيرات بالرواسب التي تكون من هذا النوع انما يساهم في ذلك جريان المياه من على جوانب المنحدرات التي تحيط بتلك البحيرات.

وتساهم عمليات اخرى في املاء احواض البحيرات بالرواسب المختلفة حيث تقوم الامواج بتعرية الاجراف المطلة على البحيرة ونقل الحطام الصخري نحو قاعها. وتقوم الرياح بمثل هذه العملية ايضاً عندما تلقي بكميات كبيرة من الرمال والغبار فوقها وخاصة ان كانت تلك البحيرات موجودة في مناطق جافة او شبه جافة. وتساهم بعض النباتات في ملء بعض البحيرات الضحلة حيث يكون نموها في بداية الامر بالاقرب من سواحلها ثم تتقدم تلك النباتات تدريجياً نحو الداخل حتى يتم طمر البحيرة تماماً. وقد تحولت بذلك الاف البحيرات الصغيرة في الاقاليم الجليدية الى مستنقعات اللبد peat ومستنقعات الـ muskegs. وقد تصبح تلك البحيرات ارضاً لاتختلف عن بقية الاراضي اليابسة المجاورة لها. وتساعد بعض النباتات ايضاً وخاصة الطحالب في طمر البحيرات عندما تقوم بترسيب كاربونات الكالسيوم الذائبة في الماء. كما وتقوم بعض الحيوانات وخاصة تلك التي تعيش داخل القواقع بالمساعدة على ملء احواض البحيرات بعد موتها وترسبها على القاع.

(35) P.Worcester, Op. Cit., p. 361

(36) Leonard M. Cantor, AWorld Geography of Irrigation, Oliver and Boyd, Edinburgh, Op. Cit., p. 55.

اضافة الى ذلك تلعب الانزلاقات الارضية بانواعها المختلفة والانهيارات دوراً واضحاً في تسريع عملية املاء احواض بعض البحيرات بالرواسب الصخرية (٣٧).

وقد سبق وبينا ان بعض البحيرات تنتهي عندما تقطع مصادر المياه التي تغذيها بعمليات مختلفة منها التغير المناخي او حركات ارضية معينة حيث تتحول تلك البحيرات الى بحيرات مالحة ثم تتلاشى بعد ذلك.

المستنقعات Swamps

توجد المستنقعات بصورة اساسية في ثلاثة مناطق : السهول الساحلية، مناطق الترسيب الجليدي ومناطق السهول الفيضية والدلتاوات. والمستنقعات ماهي الا احواض بحيرات امتلأت جزئياً بخليط من المياه والنباتات الحية او المتحللة وكذلك التربة. وتختلف الحصص بين هذه المكونات من مكان الى آخر. وتضم اللغة الانكليزية ــ تعابير ومصطلحات عديدة تطلق على المستنقعات حيث يعني كل واحد منها نوعاً خاصاً من المستنقعات مثل muskegs, morass, bog, marsh,swale. تضم swamps و muskegs المستنقعات التي يوجد فيها الكثير من الاشجار التي قد تكون بصورة غابات. ويتألف النبات الطبيعي في الـ swales و bogs من الحشائش والطحالب والاشنات... الخ. ويمكن لمياه المستنقعات ان تكون مالحة او عذبة. وعلى الرغم من ان المستنقعات تمثل مظهراً شديد الارتباط بالاقاليم الرطبة فأن هذا لايعني عدم وجودها ولو بنطاق ضيق فوق الاقاليم الجافة وشبه الجافة.

مستنقعات اللبد :

يتكون اللبد عندما تتراكم المواد العضوية النباتية في المستنقعات بسرعة اكبر من عملية تحللها. وتوجد مستنقعات اللبد في المناطق التي كانت في الاصل احواضاً

(37) P. Woecester, Op. Cit., pp. 361-362

لبحيرات جليدية خاصة في كندا وشمال الولايات المتحدة. كما ينشأ اللبد في نفس المناطق ايضاً في آيرلندا وبقية جهات غرب اوربا (٣٨). ولايتكون اللبد في الاقاليم المدارية وذلك لسرعة عملية تحلل المواد النباتية فيها كما انه لاينشأ في اقليم التندرا بسبب قلة وجود النباتات فيه. ولذا تعتبر الاقاليم المعتدلة الرطبة انسب المناطق لتكوين اللبد (٣٩). يبدأ نمو النباتات عند حافات البحيرة ثم تمتد نحو الداخل بصورة تدريجية حتى تقوم بملئها تقريباً. وتكون عملية تحلل الطبقات السفلى من النباتات الموجودة تحت الماء بطيئة بحيث لاتتحلل كلياً. وتتحول الى مواد بنية اللون يبلغ سمكها امتاراً قليلة احياناً تعرف باللبد peat. هذا ويمكن اعتباره المرحلة الاولى من مراحل تكون الفحم الحجري.

ينتشر نوع يقترب في خصائصه من هذه المستنقعات في الاقسام الواسعة من شمال كندا وكذلك في الاقاليم الاخرى المشابهة لها والتي كانت اقاليم بحيرات جليدية قديمة امتلأت كلياً بنباتات متحللة تكون عند امتزاجها بالماء سائلاً في حين تكون سطوحها صلبة احياناً لدرجة انها قد تسمح بنمو الاعشاب والاشنات وحتى الاشجار مثل اشجار الزان spurce والبلسم balsam (٤٠) وتسبب الاعشاب والاشنات تكوين مايشبه القشرة التي تغطي الـ muck الموجود اسفل تلك القشرة وتصبح من السيولة والعمق احياناً بحيث ان اي شخص يكسرها يكون من الصعوبة عليه ان يتخلص منها. وبدون مساعدة الانسان لايكون للخيول وبقية الحيوانات الكبيرة التي تقع فيها امل في النجاة من الهبوط نحو الاسفل داخلها.

المستنقعات الساحلية :

تمتلىء البحيرات Lagoon الموجودة في كثير من السواحل بدرجة من الدرجات بالحشائش والنباتات الاخرى التي يمكن لها ان تعيش في مياه مالحة ثم

---

(38) Branson, Op. Cit., p. 467

(39) Allison, Op. Cit., p. 145

(40) Vernar C. Finch and Others, Elements Of Geography, MC Graw-Hill, New York, 1957, P. 426

تتحول بذلك الى مستنقعات مستوية تقريباً. وينحدر سطح بعضها انحداراً بطيئاً باتجاه البحر. ويوجد في البعض منها قنوات كونتها تيارات المد.

تكون معظم المستنقعات صغيرة نسبياً وتمثل مظاهر مرتبطة بمرحلة الشباب كما هي الحالة بالنسبة الى البحيرات. رغم ان البعض منها قد لايكون تابعاً الى تلك المرحلة وخاصة المستنقعات الموجودة فوق السهول الفيضية والسهول الساحلية التي قد تكون في مرحلة الشيخوخة.

لكي تتكامل الصورة جيداً في الذهن عن عمل الانهار لابد من تلخيص التتابع التضاريسي الذي يحصل فوق اقليم يتعرض لعمل النهر ويتطور خلال دورة جيومورفية.

ينتشر في مناطق قارة اوراسيا وامريكا الشمالية التي تعرضت الى اثر الجليد الاف عديدة من المستنقعات التي تتباين مساحتها من اقل من ايكر واحد الى عدة كيلومترات مربعة. ويتميز سطح المستنقعات بانه مستو مع بعض الارتفاعات والمنخفضات القليلة. ويرتبط مع هذه المستنقعات وجود بعض التلال والاحواض الكبيرة التي تسود مناطق الركامات عادة. ولايتقطع السطح المستوي للمستنقعات كثيراً في المناطق التي ملأت احواضها بواسطة النباتات.

وتمثل مستنقعات Everglades في فلوريدا ومستنقعات Disnal في فرجينا نموذجين جيدين للمستنقعات الهامشية للسهول الساحلية ويقع كلاهما من الناحية الواقعية عند مستوى سطح البحر وبذلك فانهما مستويان تقريباً.

تحتل مستنقعات Everglades اقليماً واسعاً يقع وسطاً بين كونه اقليماً بحيرياً او اقليماً للمستنقعات ويحتل حوضاً صخرياً يمتد لمسافة ١٦٠ كم طولاً و ٦٥ كم عرضاً بين بحيرة Okeechobee وبين الطرف الجنوبي لشبه جزيرة فلوريدا. وتتغذى هذه المستنقعات من الامطار الغزيرة الساقطة عليها وكذلك من طغيان مياه البحيرة السابقة الذكر والتي تعتبر بدورها ثاني اكبر جسم مائي عذب في الولايات المتحدة ويكون ماء تلك المستنقعات التي تبلغ مساحتها ١٠٠٠٠ كم^{2} عذباً وتنصرف مياه تلك المستنقعات بواسطة الانهار نحو المحيط.

وتنتشر داخل مستنقعات Everglades اعداد من جزر صخرية صغيرة تغطيها انواع مختلفة من النباتات المدارية والتي تكون كثيفة عادة. وتنتشر فيها المواد النباتية المتحللة ايضاً. وقد استغلت بعض المناطق بعد ان امكن تصريف مياهها وزرعت بالخضروات وقصب السكر (٤١).

) P. Worcester, Op. Cit., pp. 370-372.

الفصل العاشر

البراكين والاشكال الارضية المتعلقة بها

تعرف البراكين بأنها عبارة عن فتحات في القشرة الارضية تخرج منها مختلف انواع المقذوفات البركانية مثل الحمم والغازات والمواد الصخرية الصلبة. وتعتبر الثورة البركانية واحدة من بين اكثر الظواهر الطبيعية عنفاً ورعباً للانسان. ففي بداية الثورة تندفع من الفوهات البركانية سحابة سميكة تتكون من الغازات والغبار البركاني (شكل رقم ١٢٧) ثم تندفع بعد ذلك كميات هائلة من الغبار والقنابل البركانية اضافة الى قطع صخرية كبيرة ومن المحتمل ان يصاحبها خروج كميات كبيرة من الحمم البركانية. كما ويرافق خروج هذه المقذوفات حدوث اصوات مرعبة ناتجة عن الزلازل واصوات الرعد التي تحدث من الغيوم العالية فوق البركان وكذلك الضوضاء الناتجة عن خروج الغازات والحمم. وتحجب ضوء الشمس بوساطة الغيوم والغبار المتصاعدة. وتتساقط كميات هائلة من الامطار التي تنتج من تصاعد البخار نحو الاعلى وتكاثفه حيث تتكون من جراء ذلك مجاري طينية تغلق الانهار وتغمر المدن.

لقد امكن رصد ١٦٥٠ ثورة بركانية خلال القرن الماضي كان ١٥٢٦ منها ذا طبيعة انفجارية فقد قدر سابر Sapper (الماني مختص بعلم البراكين) في

شكل ــ ١٢٧ ــ
سحابة من الغازات فوق أحد البراكين

سنة ١٩١٢، أن البراكين قد قذفت منذ سنة ١٥٠٠ ما مقداره حوالي ٦٣ كم³ من الحمم وأنها قذفت خمسة اضعاف هذه الكمية من الرماد البركاني (١).

يضم النشاط البركاني كافة المظاهر التي ترتبط بحركة المواد التي خرجت وارتفعت درجة حرارتها من الداخل نحو سطح الارض. ويمكن أن تقسم تلك المظاهر الى: ١ ـــ مظاهر متداخلة ٢ـــ مظاهر انفجارية. وقد سبق وبينا اهم المظاهر المتداخلة مثل اللاكوليث والباثوليث والسدادات الافقية والعمودية. وتشير المظاهر الانفجارية كما يدل على ذلك اسمها بأنها المواد الحارة التي تلقي خارج الارض على سطحها. واهم انواعها البراكين والطفوح التي تخرج من الشقوق والينابيع الحارة والنافورات الحارة والفوارات fumarols (٢).

تصنيف الثورة البركانية:

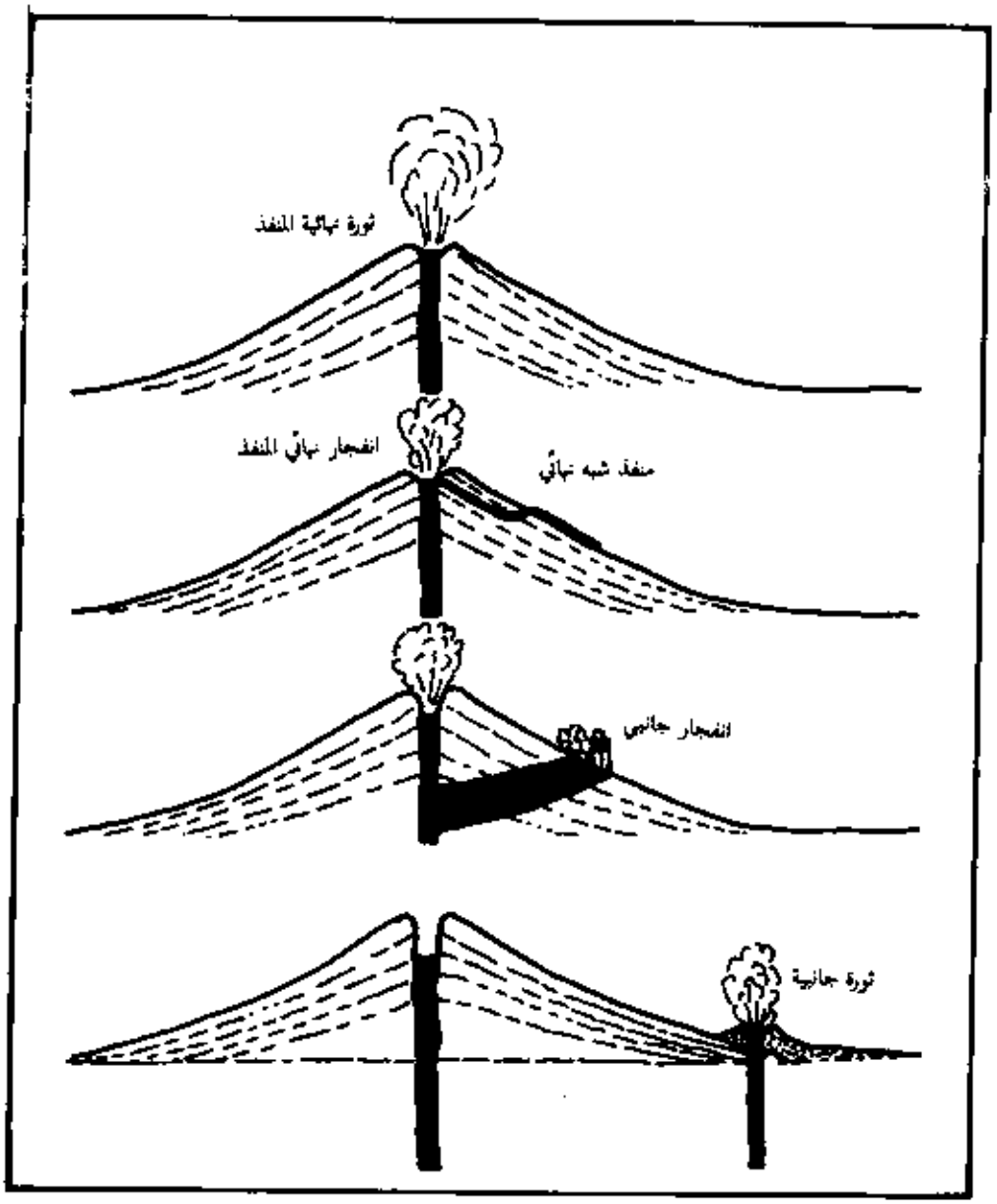
يمكن تصنيف الثورة البركانية اعتماداً على طبيعة المنافذ التي تخرج منها المواد البركانية المختلفة الى: الثورة مركزية المنفذ central-vent وثورة الشقوق. ويظهر أن معظم البراكين الموجودة فوق القارات تعود الى النوع الاول من الثورات على خلاف مايحدث بالنسبة الى البراكين المحيطية التي تكون من ثورات الشقوق عادة. وتكون منافذ الثورة المركزية انبوبية الشكل عادة تقع عند اعالي جبال مخروطية الشكل او قباب وتلال ترتفع عن المستوى العام للاراضي المجاورة. ويطلق على الثورات البركانية المركزية التي تحدث من قمة جبل بركاني اسم ثورة القمة. وهي اكثر انواع الثورات البركانية شيوعاً. وليس غريباً ان تخرج الحمم والمقذوفات البركانية من على جوانب الجبال البركانية فتعرف تلك آنذاك بأسم الثورات الجانبية او العرضية adventive. احياناً اسم الثورات شبه النهائية وعلى الثورات التي تحدث قرب تلك القمة اسم الثورات النهائية.(٣) (شكل رقم ١٢٨).

---

(1) Gilluly, Op. Cit., p. 158.

(2) Gordon A. Macdonald, Volcanoes, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1972, p. 199.

(3) Ibid.



شكل ـ ١٢٨ ـ

بعض أنواع الثورات البركانية المركزية

تتميز ثورة الشقوق عن الثورة المركزية بأن المنفذ يكون فيها بشكل شقوق كبيرة جداً. ولم يحدث خلال كل الأزمنة التاريخية الا عدد قليل من هذا النوع من الثورات فوق اليابسة على الاقل. ففي ايسلندا تكون شق طوله ٢٩ كم يعرف بأسم شق Eldgia (الشق القديم)، تكرر خروج المقذوفات البركانية منه لمرات عديدة. كان من أشهرها ماحدث سنة ١٧٨٣ حيث تدفقت الحمم البركانية من هذا الشق مغطية مساحة مقدارها ٦٥٢ كيلومتراً مربعاً. هذا ويبلغ طول الشق الكبير في النطاق الاخدودي الجنوبي الغربي من بركان كيلاياKilauea في جزر الهواي اكثر من ١٣ كم. وتبدو الشقوق وكأنها تحدث في صخور تتباعد عن بعضها. ويختلف اتساع الشقوق من عدة سنتمترات الى اكثر من ١٦ متراً. وتتغطى جوانب الشقوق عادة بالحمم البركانية (٤). ويعتقد ان معظم الهضاب البركانية العظيمة قد تكونت من جراء تعاقب ثورات الشقوق الكبيرة في الزمن الثالث. كما في هضبة الدكن في الهند وهضبة كولومبيا في شمال غرب الولايات المتحدة وكذلك الحال في هضبة فرنسا. ويرتبط حدوث لبعض الطفوح البركانية من الشقوق حالياً فقد حدث شق على جانب جبل Mauna Loa في جزر هواي في سنة ١٩٣٥ واخذت الحمم تنساب منه على سفحه مهددة موارد الماء لمدينة Hilo ومهددة المدينة نفسها ايضاً. وقد جرت محاولات لتغيير مسار هذه الحمم بالقاء المتفجرات عليها بوساطة الطائرات (٥).

هذا ويمكن تصنيف البراكين تبعاً الى درجة العنف الذي تصاحب ثوراتها. حيث يكون للبعض منها ثورات عنيفة انفجارية في حين يكون البعض منها ذا ثورات هادئة. وقد قسم Lacroix البراكين تبعاً لذلك الى اربع مجموعات يمثل كل منها ثورة بركانية حديثة هي:

١ــ نمط هوائي Hawaiian Type

تكون الثورات العنيفة في مثل هذا النمط من الثورات نادرة وتكون الحمم خفيفة القوام جداً، وتنساب من الفوهات البركانية دون حدوث انفجارات من جراء

(4) Ibid, P. 201.
(5) Worcester, Op., Cit., p. 465.

انحباس الغازات وكذلك لايصاحبها قذف للحطام الصخري. وتعتبر براكين جزر الهواي مثالاً جيداً لها. وجزر هواي مجموعة من الجزر التي ترتفع بشدة خارجة من المحيط الهادي من على عمق يبلغ حوالي ٤٥٧٠ متراً. وتكون كل هذه الجزر بركانية الأصل وبراكينها من نوع براكين الدروع القبابية الواسعة. وتغطي الجزيرة الرئيسية لوحدها مساحة ١٩٦٠٠ كم٢ وترتفع الى حوالي ٤١٧٠ متراً. ويبلغ ارتفاعها من قاع المحيط الى القمة حوالي ٨٥٠٠ متراً. وقد بنيت هذه الجزيرة بوساطة عدة براكين (٦). وعلى الرغم من الطبيعة الهادئة لثورة براكين هواي الا ان ذلك لايمنع من حدوث بعض الاندفاعات للحمم نحو الأعلى بشكل يشبه النافورات التي ترتفع من عدة عشرات الى عدة مئات من الاقدام (شكل رقم ١٢٩). وقد وصل ارتفاع النافورة في ثورة بركان Kilauea في سنة ١٩٥٩ الى حوالي ٤٥٠ متراً. ويوجد مايشبه براكين هواي في مناطق اخرى من العالم كما في ايسلندا وساموا Samoa.

٢ــ نمط سترومبولي Strombolian Type

سميت هذه المجموعة من البراكين نسبة الى بركان سترومبولي الشهير الذي يقع في البحر المتوسط في جزر ليباري الى الشمال من جزيرة صقلية. وتتميز الحمم التي يقذفها هذا النمط من البراكين بأنها بازلتية الا أن درجة سيولتها تكون اقل من درجة سيولة حمم النمط السابق من البراكين وتحدث احياناً بعض الانفجارات العنيفة نتيجة للمقاومة التي تواجهها الغازات عند انطلاقها. وتقذف هذه البراكين ايضاً بعض الحطام الصخري بشكل مواد متعددة مثل الخفاف البركانية والغبار والقنابل... الخ. وتتساقط الحمم السائلة بعد رفعها في الهواء ثانية داخل الفوهة نفسها. وبسبب التوهج الذي تسببه الحمم الحارة على سحب الدخان والبخار المتكاثف فوق الفوهة سمي جبل سترومبولي بفنار البحر المتوسط لان من الممكن مشاهدته من اماكن بعيدة. ولا يوجد في العالم الا عدد قليل من البراكين التي تشبه في ثورتها بركان سترومبولي منها بركان كومبا Komba وبركان Batu-Tara في اندونسيا (٧). ومن الامثلة المشهورة عن الثورات الطويلة الامد التي تعود الى نمط سترومبولي ما حدث في بركان Izalco في السلفادور اذ ظل هذا البركان نشطاً منذ نشوئه في سنة ١٧٧٠

(6) Larousse, Op. cit., p. 147.

(7) Larousse, Op. Cit., p. 147.

شكل ــ ١٢٩ ــ

صورة الى احدى نافورات الحمم داخل احدى الفوهات البركانية

حتى سنة ١٩٥٨ مكوناً مخروطاً مركباً بلغ معدل ارتفاعه ٨٢٣ متراً من مستوى قاعدته. وقد قلت حدة ثورة هذا البركان حالياً واصبح من الممكن الاقتراب منه الى درجة اصبح يكون معها احد المعالم السياحية في السلفادور حيث مدت الحكومة طريقاً يصل الى القمة المجاورة للمخروط البركاني كما انشيء فندق يستطيع الزوار ان يشاهدوا منه ذلك البركان الهادىء (٨).

٣ــ نمط فولكان Volcanian

سمي هذا النمط من البراكين نسبة الى بركان فولكان في مجموعة جزر ليباري. وتتصف الحمم التي تقذفها هذه البراكين بأنها سميكة القوام وتتكدس بسرعة عند انتهاء الثورة البركانية. وتقوم كل ثورة بركانية لاحقة بتحطيم القشرة التي تصلبت من الثورة السابقة. وينتشر فوق البركان خلال ثورته سحب سوداء من الغبار والابخرة وبقية الغازات البركانية الاخرى. ويشيع مع ثورته حدوث الانفجارات العنيفة كما يسود في الثورة التي من هذا النوع خروج كل انواع الحمم البركانية من الحمم القاعدية الى الحامضية ولكن لايعني ذلك انها تخرج من بركان واحد، وانما لكل بركان نوعيته الخاصة من الحمم والمقذوفات الاخرى (٩). فقد قذف بركان فولكان خلال ثورته العنيفة التي بدأت في سنة ١٨٨٨ واستمرت لمدة عامين ملايين الاطنان من الحمم البركانية وكميات هائلة من الرماد الدقيق والقيت على الارض اعداد هائلة من القنابل البركانية (١٠).

٤ــ نمط بيلية Peleean Type

وتكون ثورة هذا النمط من البراكين اشد الثورات عنفاً. وتضاء السحب التي تحيط بفوهة البركان بوساطة الغازات المحترقة. وتقذف كميات هائلة من الغبار والحطام الصخري. فقد اندفعت مع ثورة بركان بيليه Pelee في ٨ مايس من سنة ١٩٠٢ سحابة سوداء محملة بالغبار والغازات من على جانب الجبل اسفل السدادة البركانية Plug التي تملأ الفوهة وضربت المناطق المنخفضة المجاورة له مدمرة كل شيء

(8) Gordon, Macdonald, Op., cit., p. 220.

(9) Worcester, Op., Cit., p. 466.

(10) G. Macdonald, Op., Cit., pp. 221-225.

يعترض طريقها . وكانت قوة تقدم سحابة الغبار كبيرة لدرجة انها استأصلت اللحاء من الاشجار وقد تآكل الخشب ايضاً من خلال عصف الرمال له (١١) . ويقع مونت بيليه Mt. Pelee فوق جزيرة المارتينيك في البحر الكاريبي . وقد كان اول من اثار الاهتمام لبداية الثورة البركانية فيه احد المعلمين في بداية شهر نيسان ١٩٠٢ . ثم ابتدأ الرماد البركاني بالتساقط أعقبه حدوث لهيب كبير من السنة لهيب الكبريت المنتشرة هنا وهناك . وقد تغطت مدينة St. Pierre بالرماد البركاني واصاب السكان الذعر . وحدثت في صباح الثامن من مايس اربعة انفجارات عنيفة ادت الى تدمير مدينة سانت بيير بأكملها فقد نتج عن هذه الانفجارات اندفاع غيوم مضيئة حارة جداً بسرعة بلغت حوالي ١٥٠ كم / ساعة ثم اعقبتها غيوم من ابخرة المياه الحارة محملة بالمواد العالقة مما تسبب في قتل اكثر من ٣٠٠٠ شخص (١٢) .

من امثلة ثورة نمط بيليه ما حدث في ثورة بركان كاركاتوا في مضيق سندا في سنة ١٨٨٣ حيث قذف البركان ما مقداره ١٣٨ كيلومتر مكعب من مادة المخروط القديم . وتعتبر ثورة بركان كاراكاتوا Karakatoa من بين اعظم الثورات البركانية التي حدثت في الأزمنة الحديثة . وكان الجزء الظاهر من البركان يتألف من ثلاثة جزر صغيرة . أكبرها جزيرة كاراكاتوا التي يوجد فوقها ثلاثة مخاريط بركانية اكبرها مخروط Rakata . وقد عاود البركان نشاطه ثانية في ٢٠ مايس ١٨٨٣ مع حدوث بعض الانفجارات المتوسطة وكانت قمة الثورة قد حدثت في ٢٦ آب حيث حدث انفجار رهيب سمع على بعد ١٦٠ كم . ثم اعقب الانفجار خروج كميات هائلة من الرماد البركاني الى ارتفاع ٢٧ كم فوق البركان . وقد قذفت بعض كميات الرماد لارتفاعات اعظم من ذلك كثيراً فقد رفع البركان الرماد الى ارتفاع حوالي ٨٠ كيلومتر وغطى مساحة تقرب من ٧٧٥٠٠٠ كم٢ في يوم ٢٧ آب . وقد صاحب ذلك حدوث اعظم دوي حدث على سطح الارض اذ سمع صوت الانفجار على بعد ٣٥٤٠ كيلومتر في وسط استراليا . وكذلك على مسافة ٤٨٠٠ كم عند جزيرة Rodriguez في غرب المحيط الهندي . واستمرت الانفجارات طيلة مساء ٢٧ آب مع تناقص مستمر في قوتها . وانتهت ثورة البركان عند منتصف نهار ٢٨ آب رغم حدوث بعض الانفجارات التي استمرت حتى شباط ١٨٨٤ . وصاحب هذه الثورة

(11) Worcester, Op., p. 466.

(١٢) الآن : أج ، اندرسون ، الجيولوجية الفيزيائية ، مصدر سابق ، ص ١٦٨ .

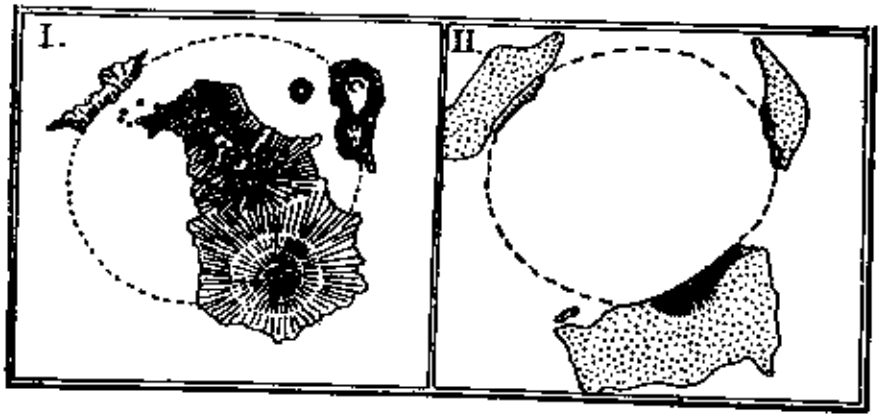
العنيفة لبركان كاركاتوا حدوث مجموعة من امواج تسونامي الهائلة ادت الى موت حوالي ٣٦٠٠٠ انسان. واختفى من جراء الثورة حوالي ٢/٣ جزيرة كاركاتوا (١٣) (شكل رقم ١٣٠).

التوزيع الجغرافي للبراكين وعلاقته بكيفية تكونها :

يتركز وجود غالبية البراكين النشطة والهادئة في الوقت الحاضر بنطاق يطوق المحيط الهادي يتطابق بصورة عامة مع اقاليم بناء الجبال الحديثة. وتمتد الحلقة النارية هذه باتجاه الشمال اعتباراً من نيوزيلندا ثم عبر مجموعة جزر مالانيزيا مارة بشرقي اندونيسيا وجزر الفلبين واليابان وكمشتكا ثم تنحرف بعد ذلك شرقاً خلال جزر الوشيان وجنوبي الاسكا، وتمتد بعد ذلك جنوباً على طول الساحل الغربي للامريكتين الى جنوبي شيلي. (شكل رقم ١٣١). وتكمل الاطراف الشمالية للقارة القطبية الجنوبية تلك الحلقة النارية. يظهر وجود لبعض الانقطاعات في هذه الحلقة كما في المنطقة المحصورة بين الاسكا وجنوبي كولومبيا البريطانية. وكذلك يوجد انقطاع آخر يمتد بين شمال كاليفورنيا الى المكسيك. كما ويندفع امتداد من الحلقة النارية هذه شرقاً خلال اندونيسيا حيث تتصل السلاسل الالتوائية في جنوبي آسيا ببنيات حافة المحيط الهادي. ويمكن اعتبار البراكين الموجودة في جزر الأنتيل الصغرى الى الشرق من البحر الكاريبي انشوطة متصلة بالحلقة التي تحيط بالهادي. ومن الغريب القول ان حوالي ٢/٣ البراكين في العالم تقع في محاذاة المحيط الهادي وان ١٤٪ منها يقع في اندونيسيا فقط.

ويوجد نطاق آخر للبراكين النشطة يتمثل في اقليم البحر المتوسط وشمال آسيا الصغرى وبجوار البحر الاحمر ووسط افريقيا. ويرتبط معظم براكين المنطقة الاخيرة بالوديان الاخدودية. ويمثل جبل الكاميرون في غرب افريقيا واحداً من البراكين التي تمتد في خط يستمر في الجزر المواجهة للساحل مثل جزر فرناندبو وبرنيسيب وساوتومي وجزيرة انابون. وتظهر بعض البراكين الخامدة في اقليم تيستي

(13) Gordon Macdonald, Op. Cit., pp. 236-239.



شكل ــ ١٣٠ ــ

بركان كاركاتوا

١ــ قبل ثورته في سنة ١٨٨٣

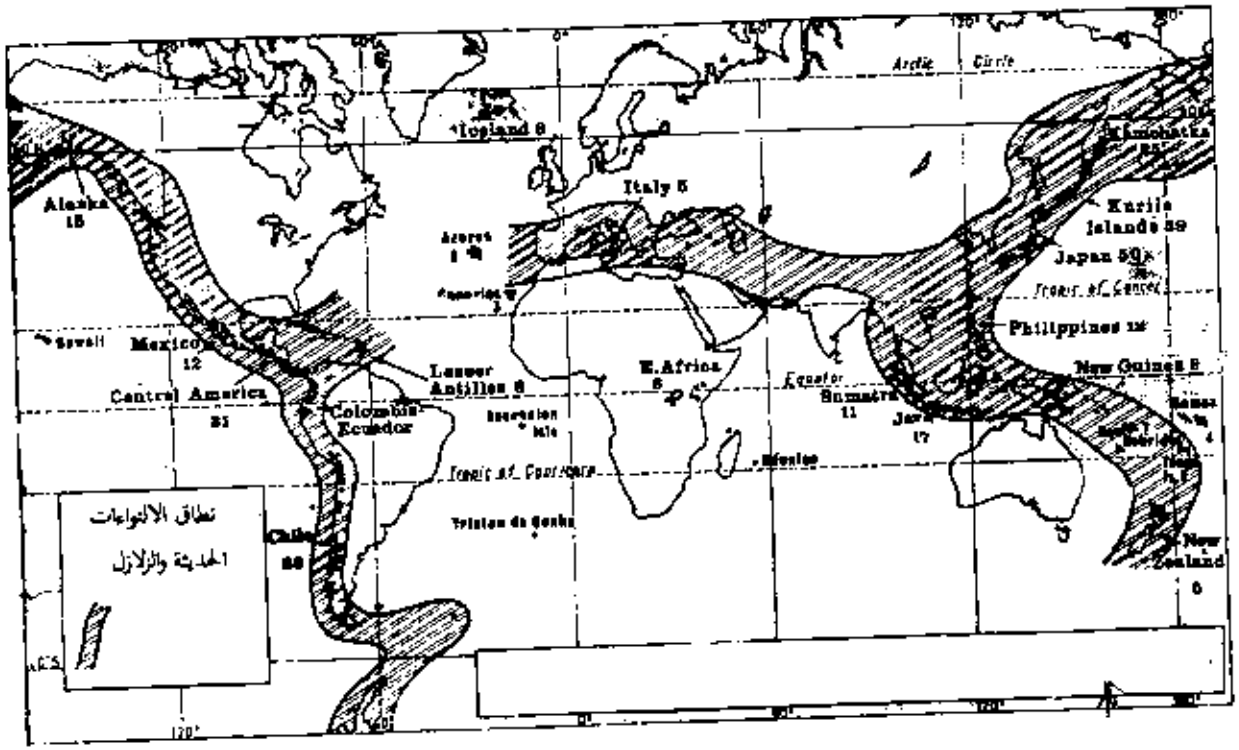
٢ــ بعد ثورته في سنة ١٨٨٣

في الصحراء الافريقية الكبرى. يوجد اشهر البراكين في البحر المتوسط في ايطاليا الى الغرب من سلسلة جبال الأبنين. كما يوجد في جزر Cyelades الواقعة الى الجنوب الشرقي من شبه جزيرة اليونان بركان Santorin. كما يعتبر جبل آرارات جبلاً بركانياً مهماً في تركيا رغم عدم حدوث اية ثورة فيه خلال العصور التاريخية (١٤).

يقع حوالي ١٧٪ من البراكين النشطة في العالم ضمن احواض المحيطات ويكون ٨٣٪ منها ذوات مواقع قارية. ويتوزع النشاط البركاني في احواض المحيطات كالاتي ١٣٪ منه في المحيط الاطلسي و ١٪ في المحيط الهندي و ٣٪ توجد في قاع المحيط الهادي. ويتركز النشاط البركاني الذي يوجد فوق قيعان المحيطات والذي يتسبب في نشوء الجزر البركانية وغيرها من المظاهر البركانية (مثل الجبال والتلال البركانية الغارقة المقطوعة القمم guyat) في ثلاثة مناطق من المحيطات هي:

١ــ مناطق الحافات المحيطية الوسطى وتتركز في براكين من نوع براكين الشقوق او من البراكين الهادئة الثورة كما في آيسلندا.

(14) Ibid., p. 345.



شكل ــ ١٣١ ــ

خارطة توزيع البراكين النشطة في العالم

٢ــ البقع الساخنة hot spots وهي مناطق رفع ونشاط بركاني محلي في القشرة الارضية وتنشأ من جرائها البراكين التي لاتوجد عند الحافات المحيطية الوسطى .

٣ــ الاقواس الجزرية . وهي مجاميع جزرية تأخذ شكلاً مقوساً يكون اتجاهه المحدب نحو المحيط كما في جزر الوشيان ، الكوريل ، الجزر اليابانية ، جزر ريوكيو وجزر الفلبين (١٥) .

لابد لكل من يحاول تفسير الصورة الحالية للتوزيع الجغرافي للنشاط البركاني ان يتعرف على مفهوم جيولوجي حديث نسبياً يعرف بتكتونية الاطباق (الصفائح) Plate Tectonics . وطبقاً لهذا المفهوم تتكون القشرة الارضية من اطباق مانتيل منفردة يتراوح سمكها بين ٧٠ ــ ١٠٠ كم. وتحمل تلك الاطباق او الصفائح كما يسميها البعض القشرة المحيطية وكذلك القشرة القارية . ويمكن لبعض الاطباق ان تحمل وفي آن واحد نوعي القشرة كليهما (١٦). كما ويطلق على تجمع كل هذه الاطباق مصطلح ليثوسفير الذي يمتد تحته نطاق استينوسفير astenosphere الذي يكون بدوره طريق الانزلاق لهذه الاطباق . ويزيد عدد هذه الاطباق عن (١٠) يعتبر طبق المحيط الهادي الوحيد من بينها الذي لايحمل اية كتلة قارية . وتتحرك الاطباق بأتجاهات مختلفة اما باتجاه بعضها الاخر حيث تعرف مناطق الالتقاء هذه بجبهات التقابل divergence او تتباعد تلك الاطباق عن بعضها في جبهات الافتراق convergence . او تسير موازية احداها للاخرى . ولا نريد ان نفصل في القوى التي تؤدي الى تحرك تلك الاطباق لان ذلك مرتبط بدوره بعملية نشوء القشرة التي تفسرها نظرية انتشار قاع المحيط Sea Floor Spreading . والتي تقول ان القشرة الارضية تنشأ في مناطق التباعد بين الاطباق (جبهات الافتراق) والتي تتمثل عادة بالحافات المحيطية الوسطى حيث يحدث فيها نشاط بركاني مستمر حيث تدفع المقذوفات البركانية الجديدة سابقتها ، وهكذا تنتشر القشرة الارضية . وتندثر القشرة بموجب هذه النظرية في مناطق تقابل الاطباق (جبهات التقابل) والتي تتمثل عادة بالاغوار المحيطية حيث تعود القشرة العليا فتندفع نحو الاسفل لتنضم الى المانتيل ثانية .

---

(١٥) عبدالاله رزوقي كربل ، مصدر سابق ، ص ١٨٢ .

(16) William A. Anikouchine and Richard W. Sternberg, The World Ocean, Prentice - Hall, Englewood Cliffs, 1978. p. 44.

وطبيعي فأن معدل هذه الحركة بطيء جداً حيث انها تتراوح بين ٨ ــ ١٣ سم في العام الواحد. وتفسر نظرية انتشار قاع المحيط وتكتونية الاطباق الوجود الحالي والقديم للبراكين ونوعيتها على سطح الارض وفوق قيعان المحيطات. حيث نجد أن البراكين تتركز اليوم اما عند جبهات التقابل وتكون في معظمها من نوع براكين الثورة المركزية النشطة، حيث ان بعض المواد التي تقذفها تلك البراكين جاءت بالاصل من المواد التي اندفعت نحو الداخل (١٧). كما ان اندفاع القشرة نحو الداخل يكون قوة تقاوم بدورها عملية الخروج السهل للمقذوفات البركانية. ويتركز النشاط البركاني ايضاً في مناطق خروج القشرة عند جبهات الافتراق بين الاطباق (الحافات المحيطية الوسطى) ويكون بشكل براكين شقوق او براكين ذوات ثورات هادئة. وينشأ معظم النشاط البركاني فوق المحيطات عند هذه الحافات الوسط محيطية ثم تبتعد المخاريط والجزر البركانية عنها مدفوعة بقوة الانتشار للقشرة. ولذلك تتصف الجزر البركانية القريبة من تلك الحافات بأنها اقل عمراً من تلك التي تكون بعيدة عنها. فعلى سبيل المثال يكون عمر جزيرة ايسلندا ١٣ مليون سنة وعمر جزر الازورز البعيدة عن الحافة الاطلسية الوسطى حوالي ١٥ مليون سنة. ويقدر عمر جزر الفارو بـ ٢٥ مليون سنة وجزيرة برمودا بـ ٣٥ مليون سنة والرأس الاخضر بحوالي ١٥٠ مليون سنة وقد دلت الحسابات التي اجريت على اعمار وسرعة تحرك تلك الجزر أن معدل الانتشار كان ١ ــ ٨ سم في العام الواحد (١٨).

لقد افترض العلماء في محاولتهم لوضع اسس ميكانيكية لعملية انتشار قاع المحيط (المسؤولة عن قيام النشاط البركاني) وجود خلايا تصعيدية كبرى في المانتيل الاعلى. تمتد هذه الخلايا الى عمق حوالي ٧٥٠ كم داخل المانتيل. ويكون المنحدر الحراري بين المانتيل الاعلى وسطح الارض كبيراً بحيث يكون كافياً لقيام حركة تصعيد حراري في المانتيل الاعلى. ويصل التيار الصاعد من المانتيل الى سطح الارض من خلال مناطق الحافات المحيطية الوسطى متمثلاً بالنشاط البركاني الذي يتركز حول هذه الحافات. ثم ينتشر هذا التيار بعد ذلك ويرد ويغوص اخيراً في مناطق الاغوار او الخنادق المحيطية فيسبب النشاط البركاني فيها ايضاً (١٩). وقد دلت الدراسات

(17) Grant Gross, Oceanography, charles E Merril Company, Colombus., 1971 p. 22.

(18) William A. Anikouchaine, Op. Cit., p. 46.

(19) Ibid, P. 49.

التي اجريت على معدلات الانسياب الحراري من باطن الارض ان مناطق الحافات المحيطية الوسطى تمثل اقاليم انسياب حراري عال نسبياً. وبذلك تتعضد الفكرة التي تقول بأن هذه المناطق عبارة عن خطوط تخرج منها المواد البركانية وتصل الى السطح بشكل طفوح بركانية والتي تعتبر بدورها بداية لتكون القشرة الجديدة. كما امكن ملاحظة ان معدل انسياب الحرارة من مناطق الحافات المحيطيه الوسطى قد يبلغ ثلاثة او اربعة اضعاف القيمة الاعتيادية للانسياب الحراري من جهات الارض الاخرى. وتعكس هذه بدورها حقيقية خروج بعض مواد المانتيل بشكل طفوح بركانية من الحافات المحيطية الوسطى (٢٠).

تفسر تكتونية الاطباق ونظرية انتشار قاع المحيط سبب حدوث النشاط البركاني ايضاً فوق مناطق مايعرف بأسم البقع الساخنة. اذ ان هذه البقع ماهي الا مناطق رفع ونشاط بركاني محلي تقع بعيداً عن حدود اطباق القشرة. ويظهر انها تقع فوق انطقة معينة من المانتيل ويمكن للاطباق ان تمر فوق تلك البقع الساخنة خلال عملية انتشارها الامر الذي يؤدي الى حدوث حالات رفع فيها مصحوبة بنشاط بركاني. ثم تبدأ هذه المناطق بالغوص ثانية حال الابتعاد عن البقعة الساخنة فتتحول البراكين فيها الى براكين خامدة. وتعتبر سلسلة الجبال البركانية المعروفة بأسم Hawaiian-Emperor الواقعة في شمال المحيط الهادي مثالاً جيداً لهذه الحالة (٢١).

الاشكال الارضية الناتجة عن براكين الثورة المركزية:

تتغير التضاريس البركانية بعد كل ثورة بركانية وخاصة في البراكين التي ترجع الى الانماط العنيفة كنمط فولكان او نمط بيليه. وتبعاً لذلك لا نجد الا عدداً قليلاً من المخاريط البركانية المرتفعة والمكتملة الشكل اضافة الى تعرض تلك المخاريط الى اثر عمليات التعرية المختلفة. حيث استطاعت تلك العمليات ان تمزق المخاريط البركانية القديمة. وتضم بعض السلاسل الجبلية البركانية الطويلة مجموعة من البراكين

(20) Gilluly, Op. Cit., p. 10.

(٢١) عبد الاله رزوقي كربل، مصدر سابق، ص ١٨٢.

الخامدة والنشطة كما في جزر الوشيان وجزر هواي والجزر اليابانية. وتعتبر الجبال البركانية الموجودة في دولة اكوادور في امريكا الجنوبية من بين اهم الجبال البركانية في العالم اذ يوجد فيها ٢٢ جبلاً بركانياً كبيراً يزيد ارتفاع ١٥ جبلاً منها عن ٤٥٠٠ متراً فوق مستوى سطح البحر. واعظمها ارتفاعا بركان كوتوباكسي Cotopaxi الذي يبلغ ارتفاعه ٥٩٨٠ متراً فوق مستوى سطح البحر والذي مايزال نشاطاً الى حد الان ويمكن اعتباره اعلى جبل بركاني في العالم قاطبة (٢٢). ويبلغ الارتفاع الحقيقي لمخروط هذا البركان حوالي ٣٠٠٠ متراً ويستند على رصيف صخري قديم يرتفع هو الاخر بحوالي ٢٧٠٠ متراً فوق مستوى سطح البحر (٢٣).

يمكن ان تقسم الاشكال الارضية الناتجة من الثورات البركانية الى نوعين تبعاً لارتفاعها عن مستوى الاراضي المجاورة لها هما:

اولاً ــ الاشكال الارضية المرتفعة

وتضم عدداً من الاشكال الارضية منها المخاريط المركبة ومخاريط الخبث والمخاريط الرشاشة والقباب والتلال البركانية والسهول والهضاب البركانية. وتضم هذه المجموعة ايضاً اشكالاً ثانوية مرتفعة اخرى مثل المجاري الطينية والسدادات والاجراف البركانية.

١ــ المخاريط المركبة

يرجع الى هذه المجموعة غالبية البراكين الكبرى الموجودة على سطح [illegible] عدا تلك البراكين الدرعية العملاقة الموجودة في وسط المحيطات. وتتكون هذه المخاريط من تعاقب لطبقات من الحمم وطبقات من الرماد والخبث البركاني. وغالباً ماتسمى بالبراكين الطباقية. وتكونت المخاريط المركبة من جراء تعاقب الثورات البركانية التي يمكن ان ترجع الى نمط سترومبولي او فولكان او نوع بيليه. وقد حدثت هذه الثورات على بركان واحد خلال تاريخه الطويل. يتباين ارتفاع المخاريط المركبة من عدة مئات الى عدة الاف من الامتار ويصل قطرها عند قاعدتها الى حوالي ٣٢ كم فعلى سبيل المثال يرتفع بركان فوجي في اليابان الى حوالي ٣٦٥٠ متراً فوق

(22) P. Worcester, Op. Cit., p. 468.

(23) A. Holmes, Op. Cit., p. 288.

مستوى المناطق الواطئة المجاورة له . ويرتفع جبل شاستا Shasta في كاليفورنيا حوالي ٣٠٥٠ متراً (شكل رقم ١٣٢) وجبل رينير Rainer حوالي ٢٤٥٠ متراً فوق مستوى القمم الجبلية المجاورة له في سلسلة جبال كاسكيد . وتخرج معظم المقذوفات البركانية في المخاريط المركبة من فوهة واحدة في اعلاها ولذلك ينمو المخروط بصورة منتظمة على كل جوانبه . ويتكون مخروطان عندما تغير الفوهة الرئيسية موقعها كما في جبل Shasta وشاستينا Shastina (٢٤). ويؤدي تصلب الحمم داخل المداخن البركانية الى حدوث غلق كامل لها مما يسبب تحطيم جزء من المخروط عند حدوث ثورة بركانية لاحقة وتطاير عدة كيلومترات مكعبة من الرماد والخبث البركاني في الغلاف الجوي (٢٥). وكما تظهر بعض السدود البركانية الافقية والعمودية داخل المخروط البركاني المركب وتظهر بعض الطفوح الجانبية من فوهات جانبية (شكل رقم ١٣٣).

٢ــ مخاريط الخبث Cinder

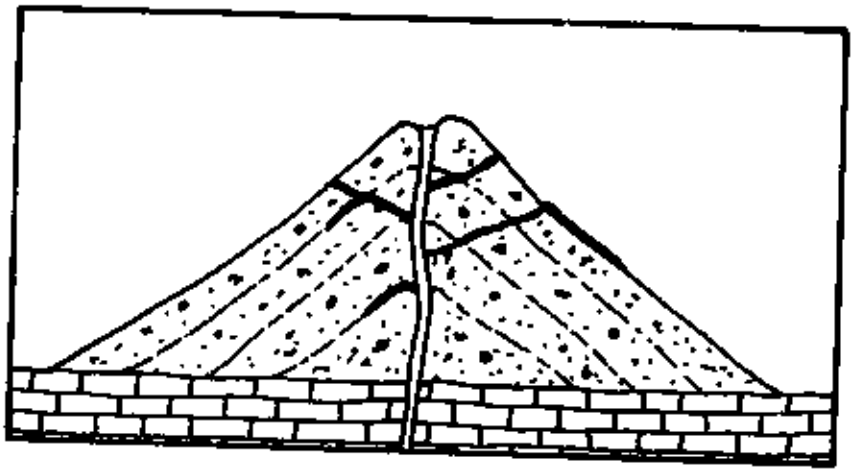
هي من بين اكثر التكوينات البركانية شيوعاً وتكون على شكل تلال او جبال صغيرة ذوات قمم مقطوعة وفوهات تشبه الاواني الواسعة (شكل رقم ١٣٤).

تنشأ هذه المخاريط نتيجة لتكدس الخبث حول منفذ دائري بدرجة من الدرجات اثناء ثورة متوسطة من حيث قوتها الانفجارية . ينتج الشكل المخروطي من حقيقة ان الشظايا الصخرية الكبيرة الحجم وكذلك اكثر المواد كمية تتجمع بالقرب من الفوهة الامر الذي يجعل التل البركاني مرتفعاً قرب الفوهة ويتناقص ارتفاعه كلما ابتعدنا عنها . وتتباين مكونات الخبث من قطع يقل قطرها عن ٢ سم الى قطع تبلغ اقطارها حوالي المتر الواحد غير أن معظمها يقع بين ١ سم ــ ٣ سم . ويختلف ارتفاع مخاريط الخبث حتى تصل احياناً الى حوالي ٤٥٠ متراً . ومن النادر ان يزيد ارتفاعها عن ذلك اذ حتى لو استمرت الثورة البركانية فأن تكدس المواد المقذوفة المفككة يعقبه انزلاق او تزحلق بدلاً من زيادة في الارتفاع للمخروط . فقد وصل ارتفاع بركان باريكوتين Paricutin في المكسيك الى ٣٦٥ متراً خلال السنة الاولى من ثورته ولم يتغير ارتفاعه الا قليلاً خلال سنوات نشاطه الثماني اللاحقة . وتكون

(24) G. Macdonald, Op. Cit., p. 281.

(25) J.L. O'Brien and others, Atlas of Land Forms, John Wiley, New York, 1966, p. 74.

شكل ــ ١٣٢ ــ
جبل شاستا البركاني في كاليفورنيا



شكل ـ ١٣٣ ـ
مخروط بركاني مركب

شكل ـ ١٣٤ ـ
صورة لأحد مخاريط الخبث Cinder البركانية

عملية تكوين مخاريط الخبث سريعة في البداية عادة. فقد وصل ارتفاع مخروط باريكوتين الى ١٣٧ متراً خلال الاسبوع الاول من ثورته والى ٣٠٠ متراً عند نهاية الشهرين الاولين لها (٢٦). ومن المفيد ان نذكر ان ثورة هذا البركان حدثت في ٢٠ شباط ١٩٤٣ بالقرب من قرية صغيرة تحمل الاسم نفسه تقع الى الغرب من مدينة المكسيك بحوالي ٣٢٠ كم. وقد حدثت قبل ثورة البركان هذه هزات زلزالية. ثم اعقبها حدوث شق في حقل زراعي كان احد الفلاحين يقوم بحراثته. بعد ذلك لوحظ خروج للبخار من تلك الفتحة ثم توسعت تلك الفتحة في نهاية ذلك النهار وازداد ارتفاع عمود البخار الذي يخرج منها اضافة الى خروج الرماد والخبث المصحوب برائحة غاز الكبريت النفاذة. وقد تكون حول الفوهة في اليوم التالي مخروط صغير بلغ ارتفاعه ٧٫٥ متراً. واستمرت الثورة بعد ذلك واخذت تخرج منها على هيئة ثورات كميات من الحمم وكذلك القنابل البركانية، وانتشر الرماد على مساحات كبيرة. اعقب ذلك خروج للطفح البركاني. وقد اصبح ارتفاع هذا المخروط عندما انتهت ثورة البركاني في سنة ١٩٥٢ حوالي ٤١٠ متراً فوق مستوى الهضبة (٢٧) شكل ١٣٥. يمكن أن نضم مع مخاريط الخبث نوعاً اخر من المخاريط البركانية يعرف بأسم مخاريط الرماد البركاني التي تنتج من تجمع الرماد حول الفوهة البركانية. ويتباين حجم هذه المخاريط كثيراً، فمخروط Diamond Head في هونولولو ذو قاعدة يبلغ قطرها ٢٫٥ كيلومتراً. ويبلغ ارتفاعه حوالي ٢٣٠ متراً ويكون بعضها الاخر صغير الحجم (٢٨).

٣ــ المخاريط الرشاشة : Spatter Cones

وهي مخاريط بركانية صغيرة يتعاظم وجودها فوق كثير من الطفوح البركانية التي تخرج من ثورات الفوهة المركزية او من ثورات الشقوق البركانية. وتتكون هذه المخاريط بوساطة فقاعات الغاز التي تتجمع وتنفجر خلال الحمم قبل تصلبها مكونة مخاريط لايزيد ارتفاعها عن عدة امتار (٢٩) (شكل رقم ١٣٦). حيث يتراوح إرتفاعها من اقل من ٣٠ سم الى ٣ أو ٤ امتار. ويصبح المخروط الرشاش طولياً عادة عندما تكون الفوهة البركانية بشكل شق (٣٠).

(26) Macdonld, Op. Cit., pp. 183-188.
(27) W.G. Moore, Volcanoes, Hutchinson Educational, Essex, 1972, p. 13.
(28) Macdonald, Op. Cit., p. 191.
(29) P. Worcester, Op. Cit., p. 471.
(30) Macdonald, Op., Cit., p. 191.

شکل ــ ۱۳۵ ــ
برکان پاریکوتین آثناء ثوران

صورة لبعض المخاريط البركانية الرشاشة

٤ــ القباب والتلال البركانية :

تضم هذه المجموعة الاشكال الارضية الناتجة عن تجمع الحمم حول الفوهات البركانية على صورة كتل ذوات جوانب شديدة الانحدار . وتنقسم هذه بدورها الى ثلاثة انواع :

(أ) قباب السدادات البركانية التي تمثل خروجاً للمداخن البركانية المملوءة بالصهير البركاني بعد تعرضها الى ضغط من الاسفل .

(ب) قباب النمو الداخلي Endogenous domes .

(ج) قباب النمو الخارجي Exogenous domes وتعرف هذه بأسم براكين الدروع Shield Volcanoes .

تندفع المواد الموجودة داخل السدادات البركانية plugs والتي تكون صلبة او قريبة من حالة الصلابة من خلال المداخن البركانية بشكل يشبه خروج

السدادات من القناني . ويمثل بركان مونت بيليه في جزيرة مارتينيك في البحر الكاريبي مثالاً جيداً للقباب البركانية من النوع الثاني . فقد كان البركان مكوناً من مخروط كبير يضم مواد مفككة . وكان يوجد عند قمته فوهة يبلغ قطرها حوالي ٨٠٠ متراً ويتراوح عمقها بين ٣٠٠ ــ ٦٠٠ متراً . بدأت ثورة البركان في نهاية نيسان سنة ١٩٠٢ وبلغت شدتها في ٨ مايس في السنة نفسها حيث اندفعت سحابة من الغازات والغبار واكتسحت مدينة سانت بيير كما بينا ذلك . في الوقت نفسه بدأت قبة مكونة من حمم لزجة بالظهور والارتفاع داخل الفوهة البركانية . وقد بلغ ارتفاع هذه القبة في يوم ٢١ مايس حوالي ١٢٠ متراً من قاعدتها الظاهرية وكانت ذات قمة مدورة . وكان هناك خندق عميق يفصل بين جوانب القبة النامية وبين جدران الفوهة . ثم برز نتوء صخري عظيم spine بلغ ارتفاعه حوالي ٦٠ متراً فوق مستوى القبة وذلك في بداية شهر تموز .

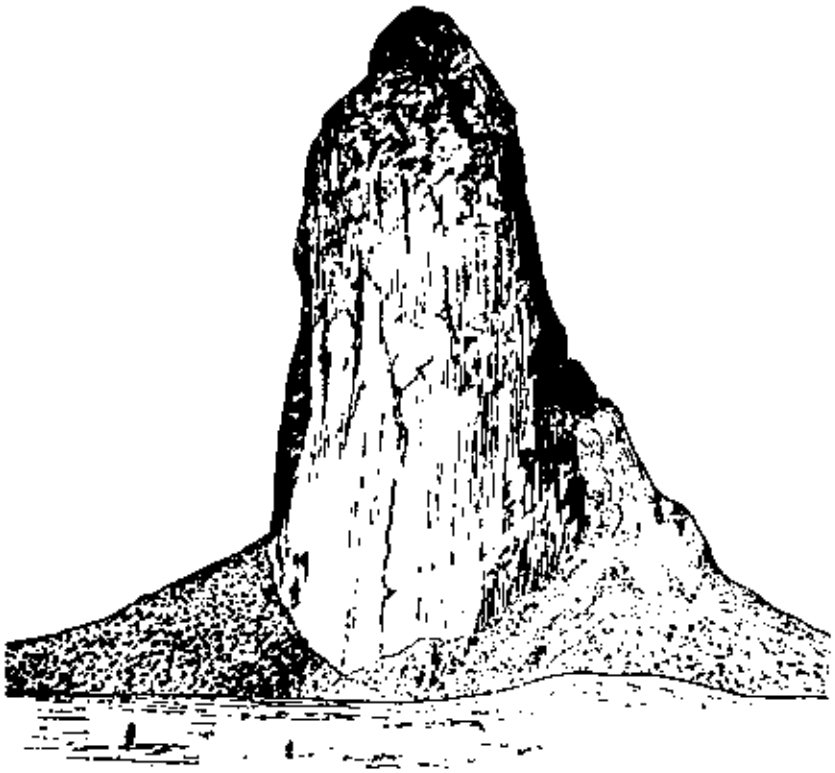
وقد ارتفعت نتوءات غيره بحجم اقل وارتفاع اقل على المنحدرات السفلى . وقد تحطمت هذه النتوءات بسبب الانصهار او نتيجة لشدة الانفجارات اللاحقة . غير ان نتوءاً جديداً عظيم الحجم بلغ ارتفاعه حوالي ٣٠٠ متراً ظهر فوق القبة في تموز من سنة ١٩٠٣ (٣١) (شكل رقم ١٣٧) . وكان قطر قاعدة هذه القبة قد بلغ حوالي ١٠٠٠ متر . وبلغ مقدار حجمه ١٣٠ مليون متر مكعب في نمو استغرق ١٧ شهراً . وكانت اقصى سرعة لنمو هذه القبة حوالي ٢٤ متراً في اليوم الواحد وذلك في آب من سنة ١٩٠٣ (٣٢) .

توجد براكين اخرى من نوع القبب الداخلية النمو في كثير من جهات العالم كما في فرنسا واليابان وامريكا الجنوبية وجزر آسنسيون في المحيط الاطلسي وفي اليونان والمكسيك وكاليفورنيا وكثير من جهات العالم الاخرى .

تعتبر معظم الجزر البركانية والمرتفعات البركانية الغارقة براكين دروع عملاقة نشأت من تكرار حدوث الثورات البركانية فوق قيعان المحيطات . وتتميز البراكين الدرعية أو قبب النمو الخارجي البركانية بأنها من اكبر البراكين على الكرة الارضية وتكون مخاريطها ذوات درجة انحدار بطيئة تتراوح بين ٢ ــ ٥ . ويصبح المخروط الدرعي جزيرة بعد أن يرتفع فوق مستوى سطح البحر . وتعتبر براكين هواي

(31) P. Worcester, Op. Cit., p. 473.

(32) G. Macdonald, Op. Cit., p. 115.



شكل ــ رقم ١٣٧ ــ

النمو الصخري فوق بركان بيليه

امثلة جيدة للقبب ذوات النمو الخارجي. حيث تتكون الجزيرة من خمسة جبال بركانية نمت خلال اقل من مليون سنة. وترتفع الجزيرة الى حوالي ٤٠٠٠ متراً فوق مستوى سطح البحر واكثر من ٩٠٠٠ متراً فوق قاع المحيط. وبلغ حجم المقذوفات البركانية التي كونتها حوالي ٤٢٠٠٠ كم٣ بمعدل ٤ر١ كم٣ في كل ثورة تقريباً (٣٣). وتجري الحمم البركانية البازلتية القاعدية على جوانب البركان وتصل حتى قاعدته بل انها قد تتجاوز ذلك حتى تصل الى المناطق المحيطة به. كما حدث في سنة ١٩٦٠ عندما ثار بركان كيلاويا واندفعت حممه بشكل جنوني مدمرة كل الحواجز التي اقيمت لدرء الخطر وحماية سكان الجزر. وواصل سيل الحمم طريقة حتى وصل الى المحيط الهادي (٣٤).

(33) Kennth Hamblin, The Earth's Dynamic System, Burgess Company, Minneapolice, 1975, p. 364.

(٣٤) مالاخوف، نمت سنار الارض، دار مير للطباعة، موسكو ١٩٧٥، ص ١٨.

٥ــ السهول الناتجة من تجمع الحمم البركانية والرماد والخبث البركاني :

يبعثر الكثير من البراكين العنيفة التي ترجع الى نوع الثورة المركزية الرماد البركاني وباقي المواد المحطمة على مساحات عظيمة . ويمكن للغبار الناعم الذرات ان يتكوم بواسطة الرياح كما يمكن ان يتجمع مايسقط من الغبار والمواد الصغيرة الذرات الاخرى الى سمك يزيد عن امتار قليلة مكونة سهولاً واسعة . وتضم تلك المواد المتجمعة بالاضافة الى الغبار مقذوفات بركانية اخرى مثل القنابل البركانية وصخور البريشيا من انواع مختلفة . ويؤدي تعاقب الثورات البركانية وحدوث التماسك الجزئي بين ذرات هذه المواد نتيجة ثقلها او نتيجة لعمل الماء الباطني الى اعطائها نوعاً من البنية الطباقية البسيطة . وتتشكل سهول الحمم ايضاً من ثورة البراكين المركزية ويكون سطحها متفقاً وطبيعة تركيب تلك الحمم ومقدار لزوجتها وكذلك على ماتحتويه من الغازات . وتتصف سطوح الكثير منها بأنها مثقبة ويكون بعضها مروماً فيما يعرف بأسم حمم Pahoehoe عندما تكون حركة الحمم بطيئة . ويكون بعضها ذوات سطوح مغطاة بالخبث او الكتل الصخرية وبعضها الاخر ذوات سطوح غير منتظمة بشكل كبير فتعرف بنمط «Aa» (٣٥) . وتحدث هذه الحالة عندما يضيق الطريق على الحمم المتحركة فتزداد سرعة تقدمها .

٦ــ مجاري الطين Mud Flows

يمكن تلخيص الاسباب التي تكون مجاري الطين البركانية بالاتي :

(أ) انسكاب الماء من بحيرات الفوهات البركانية بسبب الثورة البركانية ، وجريانه فوق الحطام الصخري الموجود على جوانب المخروط البركاني واختلاطه معه .

(ب) تحرر الماء الموجود داخل بحيرة الفوهة البركانية بسبب انهدام احد جدرانها .

(ج) الذوبان السريع للثلج والجليد المتجمع على جوانب المخروط البركاني .

(د) انهيارات صخرية قوية في مجاري الانهار حيث تتحول الانهار بعدها الى مجاري طينية (*) .

---

(35) Worcester, Op. Cit., pp. 474-475.

(*) من أحدث الأمثلة على ذلك ثورة بركان نيفادا دل روبز في كولومبيا يوم ١٩٨٥/١١/١٤ حيث حدث مجرى طيني عندما ادت الحرارة الشديدة الى ذوبان الثلوج كما قامت الحمم بغلق مجاري الأنهار فتحولت الى مجاري طينية دمرت مدينة أرمرو عن آخرها . ويقدر عدد الضحايا بـ ٢١ الف قتيل على الأقل .

(هـ) نزول دفعات من الانهيارات او مجاري الغبار البركاني نحو الانهار حيث تصبح بعدها مجاري طينية .

(و) دخول كميات كبيرة من الحمم التي تتحطم ذاتياً داخل المجاري النهرية فتحولها الى مجاري طينية .

(ز) سقوط امطار غزيرة فوق المواد المفككة على جوانب المخروط البركاني .

(ح) تحرك المواد الصخرية المشبعة بالمياه نحو الاسفل على طول جوانب المخروط بسبب الزلازل التي تصاحب الثورة البركانية (٣٦).

تسمى المجاري الطينية الناتجة عن الثورة البركانية بـ لاهار Lahar وهي كلمة اندونيسية . وقد تسببت هذه المجاري في حدوث كثير من الخسائر بالارواح والممتلكات . فعلى سبيل المثال ادى جريان طيني صاحب ثورة بركان Galunggung في جاوة في سنة ١٨٢٢ الى موت ٤٠١١ نسمة بعد أن انتشر فوق ١١٤ قرية (٣٧) . وقد ضرب مجرى طيني آخر بلغ حجمه ٠,٠٣٨ كم³ في سنة ١٩١٩ الوديان المتشعبة من بركان Kelut في اندونيسيا مما تسبب في موت ٥٣٠٠ انسان (٣٨) .

تتحرك المجاري الطينية بسرعة وتقوم بغلق الوديان في الاغلب كما حدث في سنة ١٩٥٣ عندما اغلقت مجارٍ طينية وديانا عند سفوح Mt. Spurr في الاسكا مكونة بحيرة طولها حوالي ٨ كم . وتنتشر بعض المجاري الطينية ايضا فوق الاراضي المنخفضة الواقعة عند قاعدة البركان (٣٩) (شكل رقم ١٣٨) .

٧ ــ السدادات البركانية Volcanic Plugs

يحدث ان تبقي مداخن وممرات الحمم في البراكين الخامدة ممتلئة بالحمم التي تتصلب آنذاك داخلها . وتبقي المكونات الصلبة التي تملاء المداخن مرتفعة

(36) G. Macdonlad, Op. Cit., p. 171.

(37) W. Thornbury, Op. Cit;. p. 480.

(38) Denys Brunsden and John Doornkamp. The Unquite Landscape, David and Charles, Vancouver. 1973, p. 36.

(39) J. Tricart, Structural Geomorphology, Longman, London, 1974, p. 260.

شكل ــ ١٣٨ ــ
مجرى طيني بركاني في شمال شيلي

نتيجة الى ازالة معظم مواد المخروط بواسطة عمليات التعرية المختلفة بسرعة لانها مواد غير متماسكة. تتألف المواد التي تكون السدادات البركانية من مواد بركانية اضافة الى بعض الحطام الصخري المأخوذ من جوانب المدخنة نفسها. ويتباين حجم السدادات من اقطار تقل عن امتار قليلة الى حوالي ١ر٥ كم. ويكون مقطع البعض منها دائريا والبعض الاخر بيضوياً أو حتى بشكل الشق او الفتحة التي خرجت منها (٤٠). (شكل رقم ١١).

ثانياً : الاشكال الارضية المنخفضة :

نعني بها الاشكال الارضية التي يكون مستوى سطحها اقل ارتفاعاً من

(40) G. Macdonlid, Op. Cit., p. 378.

مستوى الاراضي الاخرى المجاورة. تقسم الاشكال البركانية المنخفضة الى نوعين رئيسين هما الاشكال الناتجة عن الانفجار والاشكال الناتجة عن الانهدام كما ان هناك بعض الاشكال الواطئة تنتج من تعرض الجبال البركانية الى عمليات التعرية. واهم الاشكال المنخفضة:

١ ــ الفوهات البركانية

الفوهة البركانية عبارة عن حفرة تقع عند اعلى المدخنة البركانية. يكون معظمها ذوات اشكال قمعية تحيط بها جدران غير منتظمة الارتفاع لها درجة انحدار شديدة احياناً. ويزداد اتساع الفوهات مع ميل المخروط للنمو والارتفاع نتيجة لتوالي الثورات البركانية. وتتغطى ارضية الفوهة البركانية والجدران المحيطة بها بمواد صخرية مفككة.

تختلف الفوهات في حجومها كثيراً من منافذ صخرية الى فوهات يزيد اقطارها عن عدة كيلومترات فعلى سبيل المثال يبلغ قطر فوهة بركان **Aniakchak** الخامد في الاسكا حوالى ٩٫٥ كيلومتر وتحيط بها جدران يتراوح ارتفاعها بين ٣٦٠ ــ ٩١٤ متراً [٤١]. وتمتلك بعض البراكين فوهات صغيرة داخل فوهاتها الكبيرة وتعرف هذه بأسم الفوهات المعشعشة (شكل ١٣٩). اذ يوجد ثلاث منها في بركان Mt. Taal في الفلبين على سبيل المثال. وكان في فيزوف في يوم من الايام ثلاثة فوهات منعزلة. وتظهر فوهات بركانية صغيرة في بعض الاحيان على جوانب المخروط البركاني الرئيسي بأسم الفوهات العرضية adventive وتنشأ هذه من خروج المقذوفات البركانية من الشقوق الموجودة في جوانب المخروط.

٢ ــ الكالديرا Caldera

يطلق اسم كالديرا على الفوهات الانفجارية او الانهدامية الكبيرة التي تزيد اقطارها عن عدة كيلو مترات. تتكون الكالديرات احياناً نتيجة الى تعرض قسم كبير من المخروط البركاني للتحطيم من جراء الثورة البركانية اللاحقة كما حصل في حالة بركان فيزوف في ايطاليا. فقد كان البركان قد كون له مخروطا طباقياً متكاملاً حتى

(41) P. Worcester, Op. Cit., p. 476.

شكل ــ ١٣٩ ــ

فوهة بركان فيزوف في ايطاليا حيث توجد فوهة داخل الفوهة البركانية الرئيسية

ثورته المشهورة في سنة ٧٩ م حيث تحطمت قمة البركان وتحولت الى فوهة واسعة لاتزال جوانبها موجودة الى حد الان متمثلة بـ Monte Somma ذات الجوانب الشديدة الانحدار التي تواجه مركز المخروط البركاني الذي كان موجوداً قبل ذلك التاريخ. ولقد استمر نشاط البركان بعد ذلك حيث كون مخروطاً داخل الفوهه الجديدة يعرف اليوم بأسم فيزون الذي يفصله عن حافة Somma منخفض بشكل قوس يعرف بأسم Atrio del Cavallo (٤٢).

تكون بعض انواع الكالديرا ناتجة عن عملية هبوط او انهدام في القشرة الواقعة تحتها ويتأكد ذلك من وجود مواد مقذوفة بالقرب منها كما في حالة بحيرة Creater في اوريكون في الولايات المتحدة حيث ان حجمها يستدعي وجود كميات كبيرة من المواد المقذوفة بالقرب منها وهي غير موجودة فعلاً (٤٣).

يرتبط وجود الكالديرا الواسعة عادة البراكين التي تقذف كميات كبيرة من الرماد البركاني. كما وتعرف بعضها بالكالديرا المعشعشة اذا كان يوجد في داخلها بعض المخاريط البركانية الصغيرة.

ويظهر الجدول رقم (٨) عددا من الكالديرات في العالم واقطارها.

الاشكال الارضية الناتجة عن ثورات الشقوق :

على الرغم من أن التضاريس التي تكونها الثورات البركانية المركزية متنوعة وتجلب الاهتمام غير أنها لاتستطيع ان تمثل مقدار عظمة القوى البركانية كما تفعل ذلك الاشكال الارضية التي تكونها ثورات الشقوق. اذ توجد هضاب بركانية وسهول بركانية عظيمة المساحة في كثير من جهات العالم كما في فرنسا وآيسلندا وفي وسط غرب الهند وافريقيا الجنوبية وشمال وجنوب الارجنتين والبرازيل وسيبيريا والقسم الشمالي الغربي من الولايات المتحدة. ويمكن القول ان هذه الطفوح تغطي مساحة مقدارها ٢٫٦ مليون كم مربعاً. وليس بالامكان في معظم تلك الأمثلة تحديد موقع

(42) J. Tricat, Op. Cit., p. 271.
(43) F.J. Monkhouse, Op. Cit., p. 76.

جدول رقم (٨)
اقطار بعض الكالديرات

اسم الكالديرا	موقعها	معدل القطر بالميل
آسو	كيوتو ــ اليابان	١٢ر٥
كيكاي	كيوتو ــ اليابان	١٢
كاواه	جاوه	١١
سانتورين	بحر أيجة	٨ر٥
ايمي كوسي	تيستي ــ افريقيا	٨ر٥
تاناكا	جزر الوشيان	٦ر٦
بلدر	جزر الوشيان	١٩
فالز	نيو مكسيكو	١٣
كيواي	هواي	١١

المصدر : G. Macdonlld, Op. Cit., p. 303

الشقوق التي خرجت الطفوح البركانية منها غير أن حجم الحمم البركانية التي ساهمت في تكوين تلك الاشكال عظيمةٌ بدرجة كبيرة. فقد استطاعت تلك الحمم ان تدفن التضاريس الجبلية التي يزيد تباين ارتفاعها عن عدة الآف من الامتار في هضبة كولومبيا (شكل رقم ١٤٠). وقد ظهر ان سمك تلك الحمم بلغ حوالي ١٨٥٠ متراً في قسمها الجنوبي ومن المحتمل ان يكون السمك اكبر في مناطق اخرى من الهضبة. ويقدر حجم الطفوح التي كونتها بحوالي ٤١٦٠٠٠ كم مكعب. وقد زاد سمك الطفوح البازلتية في منطقة بارانا جنوب البرازيل واوروكواي عن ٣٠٠٠ متراً وقد يصل حجم تلك الطفوح في حدود ٨٥٠٠٠٠ كم مكعب. ويصل سمك الحمم التي كونت الهضبة في ايسلندا الى حوالي ٤٥٠٠ متراً وقد يكون ضعف ذلك الرقم

شكل ــ ١٤٠ ــ
الحمم البركانية التي كونت هضبة كولومبيا

وتغطي الحمم في هضبة الدكن في الهند مساحة مقدارها ٥٠٠٠٠٠ كم² بسمك معدله ٦٦٧ متراً ويبلغ اقصى سمك لها حوالي ٣٠٠٠ متر. وتدل بقايا التعرية الموجودة على جوانب تلك الهضبة ان سمكها الاصلي من المحتمل ان يكون ضعف ذلك (٤٤). ويؤدي الثقل العظيم لهذه الحمم الى تعرض السطوح الاصلية الى الهبوط.

يحتاج تكوين مثل هذه الهضاب والسهول البركانية العظيمة الى ملايين من السنين تحدث خلالها آلاف من الثورات البركانية المتعاقبة. فقد استغرقت عملية تراكم حمم هضبة كولومبيا زهاء ١٠ ملايين سنة وكان معدل تدفق الحمم بقدر مايتدفق من براكين هواي ان لم يكن اكبر منها (٤٥).

من المعتقد ان الهضاب والسهول البركانية قد تكونت من تدفق للحمم

(44) I. Allison, Op., Cit., p. 66.
(45) G. Macdonald, Op. Cit., p. 258.

من خلال الشقوق كما في شق Laki في ايسلندا. ويبدو أن ثورة هذه الشقوق كانت هائلة وذلك حيث لاتوجد بالقرب منها مواد صخرية عظيمة والتي يصاحب وجودها الانفجارات البركانية العنيفة عادة (٤٦).

ولقد ادى النشاط البركاني عند قيعان المحيطات الى تكوين هضاب وسهول بركانية واسعة عليها يمكن أن تكون اكبر مساحة من تلك الموجودة فوق اليابسة.

(46) W. Thornbury, Op, Cit., p. 493.

الفصل الحادي عشر

السهول والهضاب والجبال

السهول :

السهول عبارة عن مناطق واطئة فوق اليابسة قد تكون منبسطة او متموجة او حتى تتخللها التلال ، تتكون بوساطة القوى الباطنية الارضية وكذلك نتيجة لأثر العمليات الخارجية للنحت والترسيب .

تتباين السهول في حجمها من سهول صغيرة جداً الى سهول واسعة تحتل مساحات عظيمة . تقع السهول في اماكن متباينة تبايناً كبيراً فبينما يقع قسم منها على حواف القارات نرى ان القسم الاخر يقع داخلها تماماً . وكذلك توجد السهول على كل دوائر العرض تقريباً . وتتمثل كل انواع المناخ المعروفة على سطح الارض فوق السهول كما في حوض الامزون حيث يسود المناخ الحار الرطب وكذلك في الجهات القطبية التي يسود فيها مناخ بارد وجاف . وتكشف لنا دراسة التوزيع الجغرافي للسهول ان اكبرها في العالم يكون مشرفاً على المحيطين الاطلسي والمنجمد . ولا يطل على المحيطين الهندي والهادي سوى بعض السهول الصغيرة الواقعة جنوب وشرقي آسيا

وشرق افريقيا واستراليا. وتعتبر السهول من اهم المراكز التي يتجمع فيها السكان إذ يتركز فيها السكان بدرجة اعظم بكثير من درجة وجودهم فوق الهضاب او المناطق الجبلية. وهناك عدة اسباب لهذه الظاهرة منها. ان اهم الاقاليم الزراعية واغناها في العالم توجد فوق السهول وكذلك وبسبب التضاريس الواطئة نسبياً التي توجد فوق السهول فأن النقل سيكون اكثر تطوراً في المناطق السهلية منه في الجبال او الهضاب.

اصل وتصنيف السهول:

يمكن للسهول ان تصنف الى نوعين هما: ١ــ السهول الانشائية مثل السهول الساحلية والداخلية، سهول البحيرات، سهول الحمم البركانية والركام الجليدي. ٢ــ سهول تخريبية مثل سهول الدلتاوات والفيضية وسهول الغسل الجليدي. كما ويمكن ان تصنف السهول استناداً الى منشأها او الطريقة التي تكونت بها (Genetic). وعلى الرغم من انه من الصعوبة بمكان ان نجد سهلاً كبيراً نشأ كله بطريقة واحدة الا ان هنالك طريقة رئيسية نشأ بموجبها هذا السهل. ومن اهم هذه السهول:

١ــ السهول الناشئة عن الحركات الأرضية Diastrophic

تكون معظم سهول العالم العظمى تقريباً عبارة عن اقاليم كانت في الماضي غارقة تحت بحار قارية. وقد ارتفعت بعض هذه السهول منذ فترة طويلة وتحورت سطوحها من جراء تعرضها الى عوامل التعرية المختلفة. وقد ارتفع القسم الاخر من هذه السهول فوق مستوى سطح البحر منذ وقت حديث او قريب نسبياً. تعتبر السهول العظمى في الولايات المتحدة الامريكية نموذجاً جيداً لتمثيل هذا النوع من السهول فهي تمتد بأتجاه الشرق من مقدمة جبال الروكي حتى جبال أبلاشيان، ومن نهر ريوكراند جنوباً حتى الحدود الكندية وقد تمتد بعد ذلك شمالاً حتى ساحل المحيط المتجمد الشمالي.

٢ــ السهول التحاتية Peneplains

على الرغم من وجود عدد قليل جداً من السهول التحاتية عند مستوى

قاعدة التعرية في الوقت الحاضر فقد امكن ملاحظة عدد كبير من السهول التحاتية التي تعرضت لحركة رفع حديثة نسبياً. ومن الامثلة على هذه السهول مانلاحظه من سهول كثيرة في مرتفعات اسكتلاندا وجبال ابلاشيان وجبال الروكي ويمكن اعتبار القسم الشرقي الاوسط من افريقيا سهلاً تحاتياً تعرض الى حركة رفع. تنتشر على بعض جهات السهول التحاتية مرتفعات تعرف بأسم مونادوكMonadnocks وخاصة في السهول التحاتية الناتجة عن الانهار وتمثل عادة المناطق التي لم تستطيع ان تزيلها الانهار مثل بقية جهات السهل اما لانها تتكون من صخور صلبة مقاومة او لانها واقعة بعيداً عن متناول المجاري النهرية (شكل رقم ١٤١).

٣ــ السهول الفيضية وسهول الدلتا:

تنتشر هذه السهول في جهات مختلفة في العالم، وتكون مرتبطة بوجود الانهار الكبيرة وتعتبر سهول المسيسيبي والاورينوكو Orinoco والنيل والنهر الاصفر امثلة جيدة على هذه السهول. ولا يوجد فرق كبير بين السهول الفيضية وبين سهول الدلتا الا ان الاخيرة منها تحصرها فروع النهر كما سبق وبينا ذلك في الفصل الرابع. وتنتشر على كلا هذين النوعين من السهول السدود الطبيعية للانهار (الضفاف الطبيعية) وكذلك تنتشر فيها فروع الانهار والمستنقعات والبحيرات الهلالية. وكقاعدة عامة فأن التربة في هذه السهول خصبة ولكن خطر الفيضان عظيم عليها.

٤ــ السهول الجليدية:

كانت السهول العظمى التي تمتد في وسط امريكا الشمالية وفي القسم الغربي من اوربا سهولاً قبل ان تتعرض للزحف الجليدي فوقها. ويمكن للسهول الجليدية ان تقسم بدورها الى قسمين هما السهول الناتجة عن التعرية الجليدية وتسود فوق مناطق صخور نارية وتقع في وسط الاقاليم التي تعرضت الى التعرية الجليدية وتغطي اقسام منها طبقة رقيقة من حطام الصخور. والنوع الاخر من السهول الجليدية، سهول الترسيب الجليدي ويكون وجودها مرتبطاً بمناطق الصخور الرسوبية التي تسهل عملية سحقها بوساطة الجليد. وقد كونت الغطاءات الجليدية التي تكونت فوق هذه الاجزاء اشكالاً ارضية فوق الاشكال الارضية القديمة. ومن هذه

شكل رقم (٤٠١ - ٢٥)

الاشكال تلال الدواملن drumlins والركامات المختلفة والبحيرات والمستنقعات واشكال اخرى .

- وبالاضافة الى ما ذكرناه من انواع السهول فأن هنالك سهولاً صغيرة منها الاحواض الداخلية التي تقوم الرياح بعملها داخل الصحارى وتعرف بأسم بولسون bolson والبلايا (السهول المسطحة داخل الصحراء) playa وغيرها ، وكذلك السهول التي تنتج من تجمع الحمم البركانية والرماد البركاني اضافة الى السهول البحرية التي تنتج من تجمع الترسبات في المستنقعات والبحيرات الساحلية وكذلك السهول الناتجة من قطع الامواج والتي تعرضت لحركة الرفع . وقد سبق لنا وتعرضنا بالشرح الى هذه السهول عندما تطرقنا الى العمليات التي كونتها في فصول الكتاب السابقة .

الهضـــاب :

هي عبارة عن مرتفعات ذوات قمم مسطحة واسعة وفي العادة هنالك صعود او هبوط فجائي من سطح الهضبة نحو الاراضي المجاورة لها . ويكون ارتفاع بعض الهضاب اكثر بكثير من بعض السلاسل الجبلية كما في هضبة التبت وهضبة بامير وبوليفيا ، وكذلك فأن ارتفاع بعض السهول يزيد في بعض الحالات عن ارتفاع كثير من الهضاب كما في حالة السهول العليا في الولايات المتحدة التي يزيد ارتفاعها عن كثير من الهضاب . وتتصف سطوح الهضاب بأنها تكون مشابهة للسهول ، اذ تكون مسطحة جداً في بعض الحالات او تكون متموجة او تكتنفها سلاسل من التلال . وتؤدي بعض الأنهار والثلاجات الى تمزيق سطوح الهضاب بدرجة يصعب معها تحديد الصفات الاصلية للهضبة ، اذ تقوم عمليات التعرية النهرية بتمزيق سطوح بعض الهضاب تاركة اياها بدون اي جزء مستو فيه وتنحدر الارض فيه الى كل الاتجاهات غير ان القمم تكون على مستوى واحد وتشير الى السطح الاصلي للهضبة . ومن اشهر الامثلة على ذلك ما حدث لهضبة اليجيني Allegeny في القسم الشرقي من الولايات المتحدة . وتستطيع التعرية النهرية ان تحول الهضبة إلى اقليم

جبلي بصعب اطلاق صفة الهضبة عليه. وتجاور بعض الهضاب الكبرى وكذلك الهضاب الصغيرة سلاسل جبلية ناشئة عن الحركات الارضية او من نشاط بركاني. وتوجد بعض الهضاب الصغيرة جداً لا يمكن تفريقها في اغلب الحالات عن الميسا (Mesa) (هضاب صغيرة توجد في المناطق الصحراوية) وهي عبارة عن بقايا لصخور ظل مستواها اعلى من مستوى بقية سطح الارض الذي تعرض كثيراً لعمليات التعرية.

وتقسم الهضاب الى عدة اقسام تبعاً الى الطريقة التي تكونت بها :—

١ــ الهضاب الناتجة عن الحركات الارضية :

يمكن اعتبار كل الهضاب العالية الموجودة على سطح الارض هضاباً ناتجة من حركات ارضية اذ تتمكن القوى العمودية التي كونت الهضاب من ان ترفع تكوينات يبلغ سمكها عشرات بل مئات من الامتار على مساحات تغطي عشرات بل مئات من الكيلومترات المربعة. ويعتقد بأن القوى المكونة لهذه الهضاب ذات علاقة بداخلية القشرة الارضية. وانها من المحتمل ان ترجع الى التغيرات الكيمياوية التي تجري بداخل الارض مسببة تمدداً في الحجم. وقد يعود ذلك الى طبيعة المواد الداخلية المرنة او السائلة التي تتحرك من مكان الى آخر مكونة ارتفاعاً في الصخور الواقعة فوقها. وتتحور درجة ارتفاع هذه الهضاب كثيراً بوساطة عمليات تعرية متنوعة وكذلك وفي بعض الحالات بوساطة النشاط البركاني وبحركات ارضية صغيرة. ويقسم هذا النوع من الهضاب الى :

(أ) الهضاب المحصورة بين الجبال : وتشمل هذه الهضاب هضاباً تعتبر من اعلى واوسع الهضاب الموجودة على سطح الارض وتحتوي سطوحها على انواع مختلفة من التضاريس الارضية كما وتحيط بها السلاسل الجبلية من كل جهاتها او من معظم جهاتها. ومن اشهر هذه الهضاب هضبة التبت التي تعتبر اعلى واكبر هضبة معروفة على سطح الارض حيث تتراوح مساحتها بين ١٨٠٠٠٠ ــ ٢٠٠٠٠٠ كم٢ ومعدل ارتفاعها يزيد عن ٣٦٠٠ متراً رغم ان هنالك اجزاء منها يزيد ارتفاعها عن ٥٥٠٠ متراً عن مستوى سطح البحر. يحيط بهذه الهضبة من الشمال جبال كون

لون Kunlun التي تعتبر اطول سلسلة جبلية في آسيا، كما ويحيط بها من قسمها الجنوبي سلسلة الهملايا التي تعتبر اعلى سلسلة جبلية في العالم وتتصل هاتان السلسلتان الجبليتان في القسم الغربي من الهضبة.

(ب) **الهضاب المجاورة للجبال:** يوجد كثير من الهضاب التي تجاور من احد جهاتها سلاسل جبلية مرتفعة. ولا يعني هذا الموقع للهضاب انها تكونت بنفس الفترة وبنفس الطريقة التي تكونت بها تلك السلاسل الجبلية، اذ ان العكس هو الصحيح في اغلب الحالات. ومن اشهر هذه الهضاب في العالم هضبة البيدمونت الموجودة بين جبال ابلاشيان وبين السهول الساحلية في الولايات المتحدة الامريكية وكذلك هضبة بتكونيا التي تمتد بين جبال الانديز وبين ساحل المحيط الاطلسي.

(ج) **الهضاب القبابية:** ومن اشهر الامثلة على هذا النوع من الهضاب هضبة اوزارك Ozark التي تقع الى الجنوب من الميزوري والى الشمال من اركنساس Arkansas في الولايات المتحدة وقد تعرض هذا الاقليم الى حركة رفع نتجت من حركة الالتواءات والانكسارات فوق منطقة تزيد مساحتها عن ١٠٠٠٠٠ كيلومتراً مربعاً.

٢ــ الهضاب البركانية:

تتكون عدة انواع من الهضاب بسبب النشاط البركاني وتتشكل انواعها اتساعاً نتيجة لتجمع الطفوح البركانية وقد سبق لنا ان ذكرنا هذه التضاريس عندما درسنا البراكين بصورة عامة. ولكن مع ذلك نقول انه بالاضافة الى تلك الاشكال فأن قسماً من براكين الثورة المركزية يتجمع قرب قاعدتها خليط من حطام الصخور ومن اللافا والطفوح الطينية التي قذفت من البراكين لكي تشكل هضاباً صغيرة غير منتظمة السطوح تنحدر انحداراً تدريجياً نحو السهول المحيطة بها. ويكون مثل هذه الهضاب صغيراً في العادة وذا اعمار قصيرة ان لم تغطها طبقات من اللافا. اذ ان عوامل التعرية تقوم بأزالة تلك المواد المفككة بسرعة، ويمكن اعتبار الهضبة التي تحيط بجبل مازاما Mazame الموجود في ولاية اوريكون في الولايات المتحدة الامريكية مثالاً جيداً لهذا النوع من الهضاب.

٣ــ هضاب التعرية :

تتشكل هضاب واطئة خاصة في الاقاليم شبه الجافة عندما تقوم الانهار بأقتطاع اجزاء من السهول العالية تاركة مناطق مرتفعة ذات سطوح منبسطة وواسعة كما في ولاية كلورادو في الولايات المتحدة الامريكية . وقد يزيد ارتفاع بعض هذه الكتل المرتفعة الى اكثر من ٣٠٠ متراً عن مستوى الارض المحيطة بها وتبلغ مساحة سطوحها من كيلومتر واحد الى اكثر من ١٣٠ كيلومتراً مربعاً . ويمكن للتعرية الجليدية ايضاً ان تنتج هضاباً وذلك عندما يتوسع الوادي الجليدي بأتجاه بدايته . ولنتصور على سبيل المثال ان هنالك ثلاثة او اربعة انهار جليدية تبدأ من حقول ثلجية تقع عند مستوى واحد تقريباً وعلى جوانب مختلفة من جبال انكسارية كبيرة . وعندما تتقدم دورة التعرية الجليدية فأن تلك الثلاجات تكون لها حلبات جليدية (سيرك) تكون مستوى قيعانها متشابهة تقريباً . وتتراجع هذه السيركات الى الوراء مكونة في النهاية جبلاً يشبه الهرم يطلق عليه اسم القرن واذا ما أستمرت عملية التعرية الجليدية فأن هذا القرن المتبقي من الجبل سوف يزال هو ايضاً وتكون بالتالي قيعان السيركات او الحلبات المتلاقية مع بعضها والتي يكون مستواها متشابها هضبة مرتفعة وصخرة تحل محل الجبل السابق .

الجبـــال :

تقسم الجبال تبعاً الى طريقة تكونها الى :ــ

١ــ الجبال البركانيـة :

لقد سبق لنا ان تناولنا بالدراسة الصفات العامة لهذه الجبال خلال مواضيع عديدة من دراستنا . وعلى الرغم من ان اصل البراكين لم تجر عليه دراسات كثيرة جداً فأن طبيعة الجبال البركانية كالمخاريط البركانية والقباب والتلال البركانية تكون منبسطة نسبياً (وتوجد هذه بشكل مرتفعات مستقلة منعزلة اما بشكل سلاسل او على مجموعات) ويتباين ارتفاعها من تلال واطئة الى جبال مرتفعة تشابه

في ارتفاعها كثيراً من الجبال الاخرى الناتجة عن حركات ارضية. وتتصف الجبال البركانية المركبة بأنها لاتصمد امام عمليات التعرية طويلاً ما لم تستمر عملية خروج اللافا وبقية المقذوفات البركانية. ومن اشهر هذه الجبال التي من هذا النوع والتي اصبحت براكين خامدة في الوقت الحاضر هو جبل اكونكاكو Aconcagua في شيلي وجبل هود Hood ورينير Ranier وجبل شاستا Shasta في القسم الغربي من الولايات المتحدة الامريكية. وتتباين القاعدة التي تنتصب فوقها الجبال البركانية تبايناً كبيراً فقد تكون قاعاً للمحيط، أو سهلاً او هضبة او سلسلة جبلية تكونت بطريقة اخرى ويمكن اعتبار براكين جبال الانديز امثلة جيدة للبراكين التي تكونت فوق منطقة جبلية تكونت بعد ان تعرضت القشرة الارضية لحركة رفع عظيمة.

٢ــ الجبال المتخلفة او (جبال التعرية):

من الممكن ان تصبح كل هضبة او كل سهل مرتفع في المستقبل جبالاً متخلفة ويمكن ان تفسر هذه الحقيقة جيداً عندما نلاحظ جدران الوادي العظيم لنهر الكلورادو حيث يمكن ان نلاحظ هناك جبالاً في تلك المنطقة. وذلك لان الانهار الرئيسية وروافدها تحفر مجاري لها داخل الهضبة العالية بحيث يزيد عمق هذه الوديان عن عدة مئات من الامتار ولذلك تبقى المناطق المرتفعة المتخلفة من الهضبة والمحصوره بين روافد النهر بشكل جبال تعرف بأسم التعرية. وتتصف جبال التعرية بأن قممها مسطحة في العادة لانها تمثل بقايا سطح السهل او الهضبة السابق. ويكون ارتفاع الجبال متشابهاً.

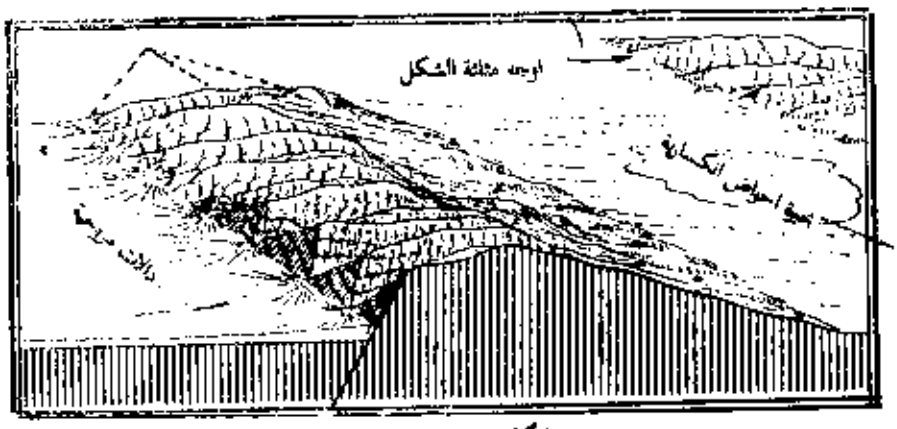
٣ــ الجبال الناتجة عن الحركات الارضية:

وتشمل هذه المجموعة اهم السلاسل الجبلية واعظمها على سطح الارض مثل جبال الهملايا والانديز والالب والابلاشيان وروكي وسيرا نيفادا... الخ. وقد تكونت هذه الجبال من خلال حركات ارضية عظيمة. وتوجد في بنيتها انواع مختلفة من الاثار التي تدل على تلك الحركات الارضية كالانكسارات المختلفة والالتواءات المتنوعة وفي بعض الاحيان قد يظهر بين صخورها بعض المظاهر التي تدل على حدوث نشاط بركاني. فقد نجد بعض القمم البركانية فوق جبال التوائية او فوق جبال

انكسارية وقد حورت عوامل التعرية وخاصة الفلاجات والانهار الى درجة كبيرة من الاشكال الاصلية لهذه الجبال . وتقسم هذه الجبال الى :-

(أ) - الجبال الالتوائية : Folded Mountains

تتكون هذه الجبال من صخور تعرضت الى حركة رفع التوائية . وقد يكون قسم من هذه الجبال متكوناً من التوامات بسيطة والقسم الاخر منها كما في جبال الالب يتكون من التوامات معقدة . وبطبيعة الحال هناك تدرج بين هذين النوعين من الالتوامات . وتشكل الجبال الالتوائية اعظم السلاسل الجبلية على سطح الارض وتكون مرتبطة بوجود طبقات صخرية سميكة قياساً للمناطق المنخفضة المجاورة لها . وتكون معظم الصخور المكونة لها صخوراً رسوبية وتتخللها احياناً صخور بركانية ومتحولة . ويعتقد ان هذا السمك العظيم لهذه التكوينات جاء نتيجة الى ترسبها في الاصل داخل البحار الجيولوجية القديمة Geosyncline . وقد تعرضت تلك الرواسب الى حركات ضغط شديدة ادت الى التوائها وقد دفعت جذور الالتوامات نحو الاسفل داخل القشرة الارضية فعلى سبيل المثال وصلت جذور الالتوامات في جبال الالب الى عمق حوالي ٦٠ كم . وقد تعرضت الجبال الالتوائية كبقية انواع الجبال والمظاهر الارضية الاخرى، الى عوامل التعرية التي حورت كثيراً من اشكالها وجعلتها بصورة اقل ارتفاعاً مما كانت عليه عند بداية ظهورها . وفي خلال دورة التعرية التي تتعرض لها الجبال الالتوائية تتكون لدينا ثلاثة انواع من السلاسل الجبلية ذات الطبقات الصخرية المحدبة Anticlinal وكذلك السلاسل الجبلية التي تكون طبقات صخورها مقعرة Synclinal . ويحدث هذا النوع الاخير من السلاسل بسبب عوامل التعرية النهرية بشكل خاص وتبدو بشكل يشبه الهضاب الضيقة الطويلة وتكون قممها مكونة من سطوح مستوية ضيقة . وتتحدر هذه السلاسل بصورة فجائية بشكل حافات نحو الوديان المجاورة . اما النوع الثالث من السلاسل وهو معروف بأسم سلاسل الالتواء الواحد Monoclinal فمن المحتمل ان يكون هذا النوع اكثر شيوعاً من النوعين السابقين . اما الوديان الموجودة بين السلاسل الجبلية الالتوائية فهي الوديان ذوات الطبقات الصخرية المتباينة وتنتج هذه الوديان بسبب عوامل التعرية وتمثل حالة عدم التوافق التي تحدث في التضاريس . وذلك لان هذه الوديان كانت في



شكل ـ ١٤٢ ـ

حافة انكسارية

الاصل سلاسل جبلية قديمة استطاعت عوامل التعرية وخاصة الانهار ان تقلل من ارتفاعها كثيراً الى دون مستوى الوديان القديمة. وهناك نوع آخر من الوديان يعرف بأسم الوديان ذوات الطبقات الصخرية المقعرة Synclinal، اما النوع الاخر فهو يعرف بأسم الوديان ذات الالتواء الواحد البسيط Monoclinal التي تكون اكثر انواع الوديان شيوعاً حيث تتعاقب الوديان والسلاسل الجبلية عندما توجد تكوينات صخرية تميل في اتجاه واحد.

(ب) ـ الجبال الانكسارية : Block Mountains

تنتشر الجبال الانكسارية في كثير من جهات العالم. وقد تتكون هذه الجبال بشكل كتل ارضية ترتفع نحو الاعلى بعد هبوط كتلتين ارضيتين تحيط بتلك الكتلة من جهتيها. وتعرف تلك الكتلة المرتفعة بأسم هورست Horst. وتنتج الجبال الانكسارية ايضاً عندما ترتفع طبقات صخرية من جراء هبوط طبقات صخرية مجاورة لها او حين تنتشر الانكسارات داخل التكوينات الالتوائية التي تتعرض لضغط عظيم يؤدي الى انكسارها. وتتصف الجبال الانكسارية بأن درجة انحدار سفوحها لا تكون متشابهة. اذ تكون درجة انحدارها بأتجاه خط الانكسار عالية او كبيرة، اما الجهة الثانية فأن انحدارها يكون تدريجياً. ويشير الى الجبال الانكسارية

وجود حافة انكسارية ترتفع بشكل بارز فوق مستوى الاقليم المنخفض المجاور من جهة خط الانكسار. وتتراوح درجة انحدار هذه الجبهة في الاقاليم الجافة بين ٢٠° ــ الوضع العمودي تقريباً. وتقطع السلاسل الجبلية هذه الانهار التي ربما كانت موجودة قبل بداية تكون هذه الجبال ولذلك فأن جوانب وديان هذه الانهار تكون مرتفعة وعمودية وذات ارتفاع متشابه من بداية الوادي النهري حتى نهايته. وتحول هذه الوديان النهرية الحافة الانكسارية عند تقطيعها الى مجموعة من الاوجه المثلثة التي تؤكد بدورها هي الاخرى على موقع الحافة الانكسارية السابقة (شكل رقم ١٤٣). وتتكون بعض الدالات المروحية عند مناطق خروج تلك الوديان من الحافة الانكسارية بأتجاه المناطق المنخفضة المجاورة خاصة ان كانت تلك الحافات واقعة في اقاليم جافة او شبه جافة. ويظهر خط من العيون والينابيع على الاغلب عند قدمات تلك الحافات. كما ويظهر نشاط بركاني قرب بعض الحافات الانكسارية. ومن اشهر الامثلة على الجبال الانكسارية جبال السراة وجبال اليمن في الجزيرة العربية وكذلك الجبال الشرقية والغربية في لبنان وتعتبر ايضاً جبال الفوج والغابة السوداء في اوربا جبالاً انكسارية.

(ج) الجبال القبابية : Dome Mountains

وتنشأ هذه الجبال التي لاتوجد الا بصورة منفردة من جراء عاملين : اولهما ناتج عن تقوس وتحدب الصخور السطحية نتيجة لاندفاع كتل من الصخور النارية الباطنية نحو الاعلى بشكل لاكوليث او باثوليث مما يضطر الصخور العلوية لان تتحدب وتتقوس مكونة جبلاً قبابياً. وتؤثر عوامل التعرية تأثيراً سريعاً على الصخور النارية وخاصة الانهار فتزيلها وتتعرض بذلك الصخور النارية لعمليات الجو ولعوامل التعرية الاخرى ولذا فأن المظهر العام لهذا النوع من الجبال يكون بشكل مرتفع يتكون وسطه من صخور نارية صلبة تحيط به عند قاعدته صخور رسوبية اقل صلابة من الصخور النارية (شكل رقم ١٤٣). وبالنظر الى ان درجة صلابة الطبقات الصخرية الرسوبية لا تكون متشابهة عادة لذلك يحدث تفاوت في درجات الارتفاع فيها. حيث تتعرض الطبقات اللينة منها الى التعرية الشديدة وخاصة التعرية النهرية فتتحول الى وديان وتبقى الطبقات الاكثر صلابة مرتفعة بشكل حافات او سلاسل جبلية ليست مرتفعة تعرف بأسم الكويستا **Questa** اذا كانت درجة الميل لكلا جانبيها غير متساوية وتسمى بظهر الحلوف **Hogback** اذا كانت متساوية.

شكل ـ ١٤٣ ـ

جبل قباني لاحظ القلب الناري والصخور الرسوبية التي تحيط به

وثانيهما ناتج عن نمو السدادات الملحية Salt Plugs . التي يعتقد ان وجودها ضمن طبقات صخرية اكثر كثافة يضطرها الى الارتفاع نحو الاعلى الامر الذي يجعلها ترفع الطبقات الصخرية الواقعة فوقها . وتسود هذه القباب في جهات كثيرة من الخليج العربي ويزيد ارتفاع بعض القباب الملحية عن ١٢٠٠ متراً كما في قبة Namak الواقعة في جبال زاجروس الى الشمال من مضيق هرمز رغم ان معظمها قليل الارتفاع . وتندفع من اعالي بعض القباب الملحية ما تشبه الالسنة نحو الاسفل تقارب في صورتها صورة ثلاجات الوديان . يعتبر جبل سنام في جنوب العراق قبة ملحية ايضاً . وفي بداية ظهور الجبال القبابية يكون نمط التصريف النهري لها اشعاعياً Radial ويتحول بعد ان تؤثر عليها عمليات التعرية الى تصريف مدور او دائري او حلقي .

(د) ــ الجبال المعقدة : Complex

رغم ماذكرناه في كلامنا عن انواع الجبال على الكرة الارضية فأننا نقول انه لا يمكن اعتبار طريقة واحدة مسؤولة لوحدها فقط عن تكون المرتفعات الجبلية الا في بعض الجبال القليلة الوجود . ويعني ذلك ان القسم الاعظم من الجبال الموجودة على سطح الارض شارك في تكوينه عدة عمليات ولذا فأن هذا النوع من الجبال يطلق عليه اسم الجبال المعقدة Complex Mountains . اذ نجد في هذه الجبال مظاهر معينة فيها تدل على وجود حركة التواء اثرت على صخور هذه المنطقة تتخللها انكسارات متعددة تدل بدورها على تعرض قسم من صخور هذه المنطقة الى حركات انكسارية وقد نجد قسماً منها قباني الشكل . وعندما نتفحص تركيب صخورها نجد في اغلب الحالات آثاراً لنشاط بركاني فيها كأن نجد سدوداً عمودية او افقية تتخلل بعض طبقات صخورها الاخرى ويعود الى هذا النوع الاخير معظم السلاسل الجبلية الكبيرة في العالم . (شكل رقم ١٤٤) .

أنهى الكتاب بعونه تعالى وتوفيقه

شكل ــ ١٤٤ ــ

جبال معقدة تستند على بنية معقدة

14. Dineley David, Rocks, Collins, London, 1976.
15. Donn William L., The Earth: Our Physical Environment, John Wiley, New York.
16. Dury G. H., The Face of the Earth, Penguin Books, London, 1974.
17. Dyer Keith R., Estuaries, A Physical Introduction, John Willey, London, 1973.
18. Dyson James L., The World of Ice, The Cresset press, London, 1963.
19. Embletom and Cuchlaine King, Glacial Geomorphology, Edward Arnold, London, 1975.
20. Encyclopaedia Britannica, Vol., 9.
21. Encyclopaedia Britannica, Vol.10.
22. Encyclopaedia Britannica, Vol. 16.
23. Finch Vernor C. and Others, Elements of Geography, Fourth Edition, McGraw-Hill, New York, 1957.
24. Flint Richard F. and Others, Physical Geology, John Wiley, Toronto, 1977.
25. Freeze Allan R. and John A. Cherry, Groundwater, Prentice-Hall, Englewood, 1979.
26. Gardener James S. Physical Geography, Har per's College Press, New York, 1977.
27. Garner H.F., The Origin of Landscape, New York, 1974.
28. Gilluly James and Others, Principles of Geology, 4th. Edition, W.H. Freeman, San Francisco, 1975.
29. Gregory K.J. and D.E. Walling, Drainage Basin Form and Process, Edward Arnold, Norwich, 1973.
30. Hamplin Keneth W., The Earth's Dynamic Systems, Burgess Publishing Company, Mineapolice, 1975.

31. Hance William A., The Geography of Modern Africa, Columbia University Press, New York, 1975.
32. Holmes Arthur, Principles of Physical Geology, Nelson, London, 1965.
33. John S. Brian, The Ice Age, Collins, London, 1977.
34. Keen M.J., An Introduction to Marine Geology, Pergamon, London, 1968.
35. King C., Beaches and Coasts, Edward Arnold, London, 1972.
36. King Cuchlaine A. M., Techniques in Geomorphology, Edward Arnold, London, 1975.
37. Knauss John A., Introduction to Physical Oceanography, Prentice-Hall, Englewood, 1978.
38. Larousse Encyclopaedia of the Earth, Paul Hamlyn, London, 1966.
39. Leopold Luna B. and Others, Fluvial Processes in Geomorphology, W.H. Freeman, San Francisco, 1964.
40. Lobeck A.K., Geomophology, McGraw-Hill, New York, 1939.
41. Mabbutt J.A., Desert Land Forms, MIT Press, Cambride, Massachusetts, 1977.
42. Macdonald, Gordon A., Volcanoes, Prentice-Hall, Englewood, 1972.
43. Monkhouse F.J. Principles of Physical Geography, Hodder and Stoughton, London, 1975.
44. Moore W.G., Glaciers, Hutchinson Educational, London, 1972.
45. Moore W.G., Volcanoes, Hutchinson Educational, Essex, 1972.

46. Numann Gerhand and Willard J. Pierson, Principles of Physical Oceanography, Prentice Hall, Englewood, 1960.
47. O'Brien J.L. and others, Atlas of Land Forms, John Wiley, New York, 1966.
48. Ollery Cliff, Weathering, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1969.
49. Picard George L.'Descriptive Physical Oceanography, Pergamon Press, Oxford, 1975.
50. Price R.J., Glacial and Fluvioglacial Land forms, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1973.
51. Robinson Harry, Morphology and Landscape, University Tutorial Press, London, 1977.
52. Ross David, Introduction to Oceanography, Prentice'Hall, Englewood, 1977.
53. Ruhe Robert V., Geomorphology, Houghton Mifflin, Boston, 1975.
54. Simpson Brian, Rocks and Minerals, Pergamon Press, Oxford, 1969.
55. Small R.J., The Study of Landforms, Cambridge University Press, Cambridge, 1978.
56. Sparks B.W., Geomorphology, Longmans, London 1965.
57. Sparks B.W. Rocks and Relief, Longman, London, 1971.
58. Strahler Arthur N., Physical Geography, John Wiley, New York, 1975.
59. Tennissen Anthony C., Nature of Earth Materials, Prentice-Hall, Englewood, 1974.
60. Thornbury William D., Principles of Geomorphology John Wiley and Son, New York, 1969.

61. Trewartha Glenn T. An Introduction to Weather and Climate, McGraw-Hill, New York, 1943.
62. Trewartha Glenn T. and Others, Fundamental of Physical Geography, McGraw-Hill New York, 1966.
63. Tricart J, Structural Geomorphology, Longman, London, 1974.
64. Twidale C.R., Analysis of Lond Forms, John Wiley, Sydney, 1976.
65. Van Riper Joseph E, Man's Physical World, McGraw-Hill, New York, 1971.
66. Ward R. C., Principles of Hydrology, McGraw-Hill, London, 1967.
67. Weyl Peter K., Oceanography, John Wiley, New York, 1970.
68. Weyman Darrell and Valerie, Lanscape Processes, George Allen, London, 1977.
69. Worcester Philip G., A Textbook of geomorphology, Affilated East-West Press, New Delhi, 1965.
70. Gross G. Oceanography Charles E Merril Company, Colombus, 1971.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد ٣١٩ لسنة ١٩٨٦

مطبعة جامعة البصرة

٧ ــ الاحواض الناتجة عن عملية الذوبان :

تتكون بعض الاحواض البحيرية جراء تعرض بعض الصخور الى عملية الاذابة حيث تحتوي تلك الاحواض على بحيرات صغيرة عادة . وتؤدي عملية الاذابة التي يقوم بها الماء الباطني الى تكوين كهوف باطنية تحتوي على بعض البحيرات الباطنية ايضاً . كما يسبب انهدام سقوف بعض الكهوف الى تكوين بحيرات سطحية ضيقة وطويلة كما في بحيرة **Lac de Chaillexon** في جبال جورا قرب الحدود بين فرنسا وسويسرا ، ويبلغ طول هذه البحيرة حوالي ٢ كم . ويوجد في اقليم الكارست في يوغسلافيا كثير من البحيرات عند قيعان وديان البولجة **polje** يعود معظمها الى اثر عامل الذوبان . وتنشأ فوق قيعان تلك الوديان بحيرات فصلية تتحول الى مستنقعات مالحة او تختفي كلياً خلال الصيف . ويكون القليل منها دائمياً كما في بحيرة **Skadar** على الحدود اليوغسلافية ــ الألبانية (٢٣) .

٨ ــ الاحواض الناشئة من الامواج والتيارات الساحلية :ــ

تستطيع التيارات الساحلية ان تكون بعض الحواجز الرملية عند بداية الخلجان الصغيرة ، وقد تكون تلك التيارات قادرة على بناء حواجز تغلق كل الخليج محولة اياه الى بحيرة . وقد سبق وذكرنا عند كلامنا عن عمل الأمواج ان ارتطام قاعدة الموجة بقاع البحر يؤدي الى تكوين حاجز ترسيبي يحصر بينه وبين خط الساحل بحيرة ساحلية **Lagoon** وتمتلىء هذه البحيرات بالرواسب بصورة تدريجية حيث تتحول الى مستنقعات تختفي هي الاخرى بمرور الوقت (٢٤) .

٩ ــ الاحواض التي تكونها الاحياء :

تكون الاحواض التي قامت الكائنات الحية بايجادها صغيرة عادة وغير قديمة العهد . فقد فسر وجود كثير من البحيرات الضحلة التي تحيط بها الطحالب وبقية نباتات التندرا في مناطق التندرا المجاورة الى المحيط المتجمد الشمالي في اوراسيا وامريكا الشمالية بأنها ناتجة عن تراكم المواد النباتية حول كتلة جليدية تذوب بطيئا خلال الصيف وقد ادى تكرار ذلك الى تكوين احواض منعزلة .

---

(23) Monkhouse, Op. Cit., p. 169

(24) Branson, Op. Cit., P. 166