وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد
كلية التربية الاولى
قسم الجغرافية

الجيومورفولوجي

تأليف

د. عدنان باقر النقاش
قسم علم الارض / كلية العلوم

د. مهدي محمد علي الصحاف
قسم الجغرافية / كلية التربية

١٩٨٩

بسم الله الرحمن الرحيم

« أنتم أشد خلقاً أم السماء بناها ، رفع سمكها فسواها، واغطش ليلها وأخرج ضحاها ، والأرض بعد ذلك دحاها ، أخرج منها ماءها ومرعاها ، والجبال أرساها »

صدق الله العظيم
سورة النازعات

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة :

يعالج علم الجيومورفولوجيا جميع أشكال سطح الأرض ودراسة العمليات التي تطرأ على هذا السطح وتطوره ومايؤول اليه في المستقبل ، ولما كانت الدراسات الجيومورفولوجية اختصاصاً حقلياً من فروع المعرفة المختلفة يختص بدراسة أشكال سطح الأرض وبهم مجموعة واسعة من الاختصاصات والمختصين ، لذا فقد تضاءلت الحدود البينية بينه وبين بقية العلوم الأخرى ، وعليه وجدنا ضرورة مواكبة هذا السفر للتطور العلمي دون الاخلال بالطابع الفلسفي الاساس والتطبيقي في الجيومورفولوجيا . ومن خلال تجربتنا التدريسية والتطبيقية لمراحل الدراسات الأولية والعليا في كليات العلوم والتربية والآداب بجامعة بغداد وجامعات المملكة العربية السعودية والامارات العربية المتحدة والجزائر والمغرب لأكثر من عشرين سنة ، توكلنا على الله وأعددنا هذا الكتاب الجامع الشامل الذي يلم بجميع المعارف الجيومورفولوجية الاساسية في الدراسات الاولية الجامعية والدراسات العليا الاختصاصية متجاوزين ومذللين بذلك جميع المعوقات التي كانت تقف أمام طلبتنا الأعزاء عند استخدامهم الكتب الأجنبية أو المترجمة أو الكتب العربية على الرغم من ندرتها ، فأولينا مقدرة الطالب والتدرج الزمني أهمية خاصة ، وعليه فقد بوبت المفردات بشكل يسهل ادراك مكنوناتها .

يحتوي الكتاب على مقدمة وستة عشر فصلاً ، يتناول الفصل الأول ماهية علم الجيومورفولوجيا وفروعه المتعددة والغاية منه ، في حين يتطرق الفصل الثاني الى التطور التاريخي لهذا العلم ابتداءً من الفكر العراقي القديم والفكر الاغريقي والروماني والاسهامات الواسعة للفكر العربي الاسلامي وأخيراً الفكر الجيومورفولوجي الحديث ، ويتضمن الفصل الثالث بعض المفاهيم الأساسية الخاصة بالكون والناتجة عن المشاهدات الفلكية التي تؤدي الى التعرف على الاجرام السماوية المختلفة وخواصها من خلال التحليل الطيفي ، في حين يتناول الفصل الرابع الكرة الأرضية باعتبارها أحد كواكب المجموعة الشمسية متطرقين الى أغلفتها الرئيسية وخاصة غلافها الصخري المتنوع ، ويبحث الفصل الخامس العمليات الداخلية المؤثرة على أشكال سطح الأرض حيث دلت الملاحظات

الجيومورفولوجية على أن الملامح الخارجية والداخلية للقشرة الأرضية في تغير مستمر على الرغم من أن حدوث هذه التغيرات قد يكون بطيئاً للغاية أو يظهر بشكل سريع متمثلاً بالبراكين والزلازل ، في حين سطرت في الفصل السادس العمليات الخارجية متمثلة بالتجوية وحركات الفتات الصخري من خلال عملية تكسر وتغيير مواد سطح القشرة الأرضية وتحولها لنواتج في حالة تعادل مع الظروف الطبيعية للمنطقة ، أما الفصل السابع فقد بين أثر الرياح في تشكيل مظاهر سطح الأرض وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة . ويتطرق الفصل الثامن لعمل الماء السطحي الجيومورفولوجي متناولاً عمل الانهار الهدمي والبنائي .

بينما يتطرق الفصل التاسع لدور الماء الجوفي في بناء اشكال سطح الأرض متناولاً دوره الاذابي والارسابي في حين يتناول الفصل العاشر أثر البحار والمحيطات في نشوء الاشكال الجيومورفولوجية متناولاً عمل الموج البحري في نشوء السواحل البنائية أو الهدمية ، والفصل الحادي عشر يتطرق الى دور الجليد في بناء الأشكال الأرضية خلال العصور الجيولوجية المتقدمة والأخيرة .

بينما يبحث الفصل الثاني عشر تطبيقات في البيئات الجيومورفولوجية المختلفة ، ويشكل الفصل الثالث عشر توزيعاً جغرافياً للمناطق الجيومورفولوجية على سطح الكرة الأرضية بأشكالها المختلفة ، وانفرد الفصل الرابع عشر ببحث الجيومورفولوجيا التركيبية (المورفوتكتونيك) أي تأثير التراكيب الصخرية على الأشكال الأرضية ، وتطرق الفصل الخامس عشر الى الجيومورفولوجيا التطبيقية واسهامات هذا العلم في الميادين المختلفة وطرق القياس الكمي في تحديد الظواهر المورفولوجية ، في حين كانت خاتمة الفصول (الفصل السادس عشر) بحثاً عن جيومورفولوجية القطر العراقي والجزيرة العربية .

قمنا بتأليف هذا الكتاب بتكليف ، من جامعة بغداد بكتابها المرقم ٢٥١٢٢ والمؤرخ في ١٩٨٥/١٢/٣ باعتباره كتاباً منهجياً لطلبة المرحلة الأولى جغرافية بكليات التربية وكمرجع عام لطلبة أقسام الجغرافية في كليات الآداب وأقسام الجيولوجي في كليات العلوم وكليات الهندسة والزراعة .

نرجو الله العلي القدير أن نكون قد وفقنا لسد بعض النقص الذي تعانيه مكتبتنا العربية وحققنا مايرنو اليه الطالب والأستاذ والباحث في جميع أقطار الوطن العربي .

وبهذه المناسبة نتقدم بوافر شكرنا الى عمادة كلية التربية الأولى ورئاسة قسم الجغرافية والأستاذ الخبير الدكتور نافع القصاب والمقوم اللغوي الدكتور قيس الأوسي ومطبعة التعليم العالي على المساعدات والجهود التي قدموها لاخراج هذا الكتاب واعداده بين أيدي طلبتنا الأعزاء .

ومن نافلة القول الاشارة الى أن هذا الكتاب لايخلو من النقص غير أننا نقدمه حصيلة لجهودنا الطويلة السابقة بين أيدي طلبتنا الأعزاء وزملائنا المحترمين .

والله ولي التوفيق

المؤلفان

المحتويـات

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمة	٣
الفصل الأول	١١
١ ـ ١ تعريف علم الجيومورفولوجيا وأفرعه والغاية منه	١٣
١ ـ ٢ أسس الجيومورفولوجيا وقوانينها	١٥
الفصل الثاني : تاريخ تطور علم الجيومورفولوجيا	٢٥
٢ ـ ١ ـ الجيومورفولوجيا في الفكر العراقي القديم	٢٧
٢ ـ ٢ ـ الجيومورفولوجيا في الفكر الاغريقي والروماني	٢٧
٢ ـ ٣ ـ الجيومورفولوجيا في الفكر العربي الاسلامي	٢٩
٢ ـ ٤ ـ الجيومورفولوجيا ابان عصر النهضة	٣٠
٢ ـ ٥ ـ الجيومورفولوجيا حديثاً	٣٣
٢ ـ ٦ ـ الجيومورفولوجيا في القرن العشرين	٣٧
٢ ـ ٧ ـ مفاهيم النظريات الجيومورفولوجية	٣٩
٢ ـ ٨ ـ علم التقويم الجيولوجي والمناخ القديم للعصر الرباعي	٤٩
الفصل الثالث : الكون والمجموعة الشمسية	٥٣
٣ ـ ١ ـ أصل الأرض	٥٥
٣ ـ ٢ ـ المشاهدات الفلكية	٥٧
٣ ـ ٣ ـ المجموعة الشمسية	٦٣
٣ ـ ٤ ـ الشهب والنيازك	٦٦
٣ ـ ٥ ـ أصل الكون والمجموعة الشمسية	٦٨
الفصل الرابع : الأرض ومكوناتها	٨٧
٤ ـ ١ ـ الأغلفة الأرضية	٩٠

٤ ـ ٢ ـ البلورات ٧٠
٤ ـ ٣ ـ المعادن وصفاتها ٨٠
٤ ـ ٤ ـ الصخور وأنواعها النارية والرسوبية والمتحولة ٩٦

الفصل الخامس : العمليات الداخلية ١٢٩
٥ ـ ١ ـ التراكيب الأولية ١٣١
٥ ـ ٢ ـ التراكيب الجيولوجية وعلاقتها بالحركات الأرضية ١٣٥
٥ ـ ٣ ـ الحركات الأرضية السريعة (الزلازل والبراكين) ١٥٢
٥ ـ ٤ ـ المغناطيسية القديمة للكرة الأرضية ١٥٦
٥ ـ ٥ ـ مشاهدات تؤيد نظرية تكتونية الألواح ١٦٠
٥ ـ ٦ ـ الأحواض الترسيبية والجبال ١٦٣

الفصل السادس : التجوية والتربة وحركة الفتات الصخري ١٧٠
٦ ـ ١ ـ التجوية وأنواعها وسرعتها ١٧٣
٦ ـ ٢ ـ نواتج التجزية ١٩٦
٦ ـ ٣ ـ التربة وأنواعها ٢٠٥
٦ ـ ٤ ـ حركة الفتات الصخري ٢١٥

الفصل السابع : الرياح والصحاري ودورة الجفاف في الطبيعة ٢٣٣
٧ ـ ١ ـ العمل الجيومورفولوجي للرياح في البيئات الصحراوية ٢٢٤
٧ ـ ٢ ـ الرسوبيات الصحراوية اللاريحية ٢٦٥
٧ ـ ٣ ـ دورة الحت في البيئة الصحراوية ٢٦٦
٧ ـ ٤ ـ العواصف الغبارية ٢٧٠
٧ ـ ٥ ـ ظاهرة التصحر وطرق تشبيت الكثبان الرملية ٢٧٢

الفصل الثامن : المياه الجارية وعملها ٢٨٥
٨ ـ ١ ـ توزيع مياه الأمطار المتساقطة فوق سطح الأرض ٢٨٧

٨ ـ ٢ ـ عمل المياه الجارية ٢٩٠
٨ ـ ٣ ـ الأشكال الأرضية الناتجة عن المياه الجارية ٢٩١

الفصل التاسع : المياه الجوفية وعملها ٣٢٧
٩ ـ ١ ـ المياه الجوفية ٣٢٩
٩ ـ ٢ ـ عمل المياه الجوفية ٣٣٨
٩ ـ ٣ ـ الأشكال الأرضية الناتجة عن عمل المياه الجوفية ٣٥٠

الفصل العاشر : البحار والسواحل ٣٥٧
١٠ ـ ١ ـ البحار ٣٦٢
١٠ ـ ٢ ـ السواحل وحمايتها ٣٦٩
١٠ ـ ٣ ـ المد والجزر ٣٧١
١٠ ـ ٤ ـ العمل الجيومورفولوجي البنائي للبحار ٣٧٨
١٠ ـ ٥ ـ العمل البنائي للكائنات الحية البحرية والشعب المرجانية ٣٨٦

الفصل الحادي عشر : الجليد والثلاجات ٣٩٢
١١ ـ ١ ـ مقدمة ٣٩٢
١١ ـ ٢ ـ الثلاجات وحركتها وأنواعها ٣٩٢
١١ ـ ٣ ـ الأشكال الجيومورفولوجية الجليدية ٣٩٩

الفصل الثاني عشر : البيئات الجيومورفولوجية المختلفة ٤٠٧
١٢ ـ ١ ـ السفوح ٤١٠
١٢ ـ ٢ ـ التعرية الثلجية ٤١٣
١٢ ـ ٣ ـ التعرية الصحراوية ٤١٦
١٢ ـ ٤ ـ التعرية البحرية ٤١٨
١٢ ـ ٥ ـ الارساب الجليدي ٤١٩

١٢ ـ ٦ ـ الارساب الصحراوي ٤٢٠
١٢ ـ ٧ ـ الارساب البحري ٤٢١

الفصل الثالث عشر : المناطق الجيومورفولوجية في العالم ٤٢٩
١٣ ـ ١ ـ القوى التكتونية وأثرها في البناء الجيومورفولوجي ٤٣٧
١٣ ـ ٢ ـ الجبـال ٤٣١
١٣ ـ ٣ ـ المضـاب ٤٣٨
١٣ ـ ٤ ـ الأحـواض ٤٤٠
١٣ ـ ٥ ـ السهـول ٤٤٢

الفصل الرابع عشر : الجيومورفولوجيا التركيبية (مورفوتكتونك) ٤٤٩
١٤ ـ ١ ـ مقدمـة ٤٥١
١٤ ـ ٢ ـ تكتونية الألواح (الصفائح) ٤٥٥

الفصل الخامس عشر : الجيومورفولوجيا التطبيقية ٤٦٩
١٥ ـ ١ ـ المقدمـة ٤٧١
١٥ ـ ٢ ـ الاستخدامات الجيومورفولوجية في مجال التعدين ٤٧٢
١٥ ـ ٣ ـ الاستخدامات الجيومورفولوجية في مجال الكشف عن النفط ٤٧٤
١٥ ـ ٤ ـ الجيومورفولوجيا واستثمار المياه الأرضية ٤٧٥
١٥ ـ ٥ ـ دور الجيومورفولوجيا في بناء الطرق ٤٧٧
١٥ ـ ٦ ـ دور الجيومورفولوجيا في اختيار مواقع السدود والخزانات ٤٧٩
١٥ ـ ٧ ـ دور الجيومورفولوجيا في تحسين وتهذيب الأنهار ٤٨٣
١٥ ـ ٨ ـ دور الجيومورفولوجيا في الحركات العسكرية ٤٨٦
١٥ ـ ٩ ـ دور الجيومورفولوجيا في تحليل البيئة الطبيعة ٤٨٨
١٥ ـ ١٠ ـ دور الجيومورفولوجيا في تحليل البيئة ٤٨٩
١٥ ـ ١١ ـ التطبيقات الحقلية ٤٩١
١٥ ـ ١٢ ـ جيومورفولوجية الخزانات ٥٣١

الفصل السادس عشر : جيومورفولوجية العراق ٥٤٣
١٦ ـ ١ ـ مقدمـــة ٥٤٥
١٦ ـ ٢ ـ الأقاليم الجيومورفولوجية العراقية ٥٥٧

المصـــادر ٥٦١

الفصل الأول

الفصل الأول

١ ـ ١ ـ تعريف علم الجيومورفولوجيا وأفرعه والغاية منه :

الجيومورفولوجيا كلمة معربة مكونة من ثلاثة مقاطع في اللغة الاغريقية هي : (جيو) مشتقة من كلمة (جيبا) وتعني الأرض ، والمقطع الثاني (مورف) معناه شكل ، أما المقطع الثالث (لوجيا) فهو مشتق من كلمة لوجوس ومعناه علم أو منطق وعليه فان مصطلح جيومورفولوجيا يعني علم شكل الأرض . وغالباً يشار الى هذا العلم في اللغة الانكليزية بشكل الأرض (Land Form) .

يهتم هذا العلم بوصف وتصنيف أشكال سطح الأرض وتطورها مؤكداً على تحديد ودراسة العوامل التي ساهمت في تكوين تضاريسها ولاتزال تعمل على تغيرها

علم الجيومورفولوجيا هو أحد فروع علم الأرض يهتم بمكوناتها وبالعمليات التي أثرت وتؤثر على أشكالها في السابق والحاضر . [١]

يمثل هذا العلم في معظم الأقطار الأوربية حلقة وصل بين علم الجغرافية الطبيعية والجيولوجيا لان الجغرافية الطبيعية تهتم بدراسة الظواهر الطبيعية بما فيها التضاريس الأرضية وتوزيعها على الأرض ، وتؤكد على بيئة الانسان الطبيعية ومدى استخدامها وذلك أكثر من اهتمامها بالعوامل التي تؤدي الى تكوينها . أما في أمريكا فيعتبر علم شكل الأرض حجر الأساس في موضوع الجيولوجيا لأنه يهتم بدراسة الأشكال الأرضية من حيث نشأتها وتطورها (**ثورنبري ١٩٦٩**) .

لذلك فأن هذا الاختصاص في أساسه وصفي فكري أي أنه يهتم بوصف الأشكال الأرضية وتصنيفها والبحث في أصلها .

ان الأشكال الأرضية Land Forms والأشكال الطبيعية للأرض Land Scapes تعتمد في تكوينها على نوع الصخور ونوع معادنها وان بنيتها الصخرية تتأثر بعوامل متعددة خارجية وداخلية .

لقد طبقت فكرة التراكيب الدورية Cyclie Synthesis في البداية على سطوح الحت (Erosion surface) ثم تركت الفكرة بعد ذلك ثم طبقت على البيئة الجليدية والبيئة شبه الجليدية Pesiglecial والكارست والبيئة الساحلية .

ان الفكر الكلاسيكي للجيومورفولوجي قد استعمله شارب عام ١٩٣٨ ☆ في الانهيارات الأرضية ، ومن الجدير بالذكر أن ٨٢ ٪ من كتب الجيومورفولوجي في العالم الآن هي كلاسيكية وان ٧٥ ٪ من مواضيع الجيومورفولوجي في جامعات أميركا الشمالية هي كلاسيكية أيضاً والجدول التالي يوضح ذلك :

جدول رقم (١) يوضح المواضيع الكلاسيكية في الجيومورفولوجيا
في جامعات أميركا الشمالية

١ ـ التجوية الكيمياوية والفيزياوية
٢ ـ طبيعة الانهيارات والانزلاقات الأرضية وعواملها
٣ ـ نمط الوديان وتطورها
٤ ـ تطور السهل الفيضي
٥ ـ المدرجات النهرية وتصنيفها
٦ ـ أسس علم الجيومورفولوجي
٧ ـ الحمولة العالقة المتدحرجة في النهر
٨ ـ سرعة كمية ماء النهر وطاقتها
٩ ـ البيدمونت وطبيعتها
١٠ ـ دورة الحت في الطبيعة
١١ ـ الكارست
١٢ ـ الكوارث الطبيعية

١٣ ـ السفوح

١٤ ـ الجيومورفولوجيا التحليلية والتركيبية

١٥ ـ السطح التحاتي

١٦ ـ الفيضانات

١٧ ـ التحليلات المورفومترية

١٨ ـ الجيومورفولوجيا التطبيقية

١٩ ـ الأشكال الأرضية الخاصة بالمناطق البركانية

٢٠ ـ جيومورفولوجية مناطق مختارة .

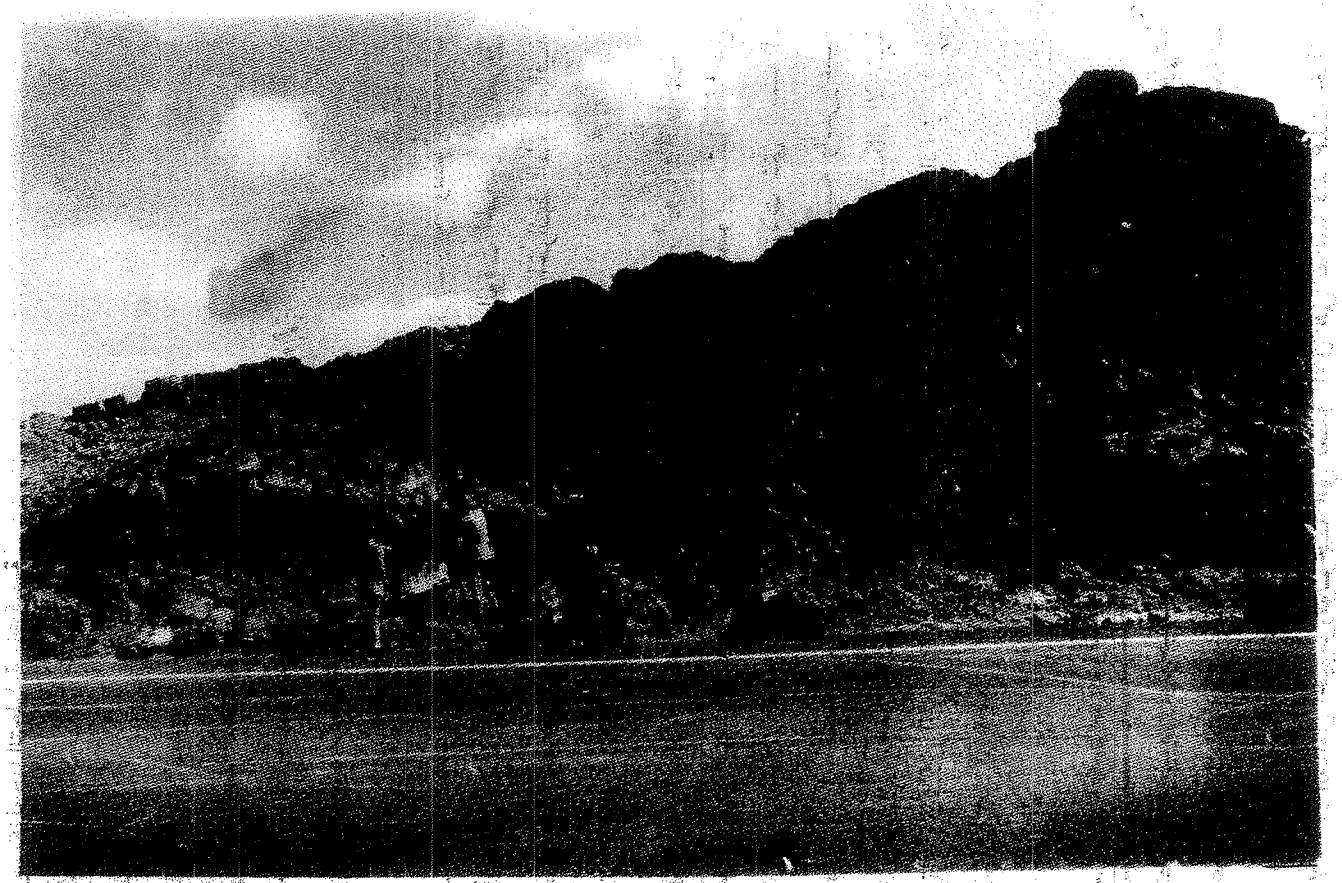
عرف العلماء القدامى علم الجيومورفولوجيا بأنه علم يهتم بتاريخ وتطور التغيرات التي طرأت على سطح الأرض خلال العصور الجيولوجية وحتى الوقت الحاضر عن طريق تفسير الصور الفوتوغرافية بأنواعها الجوية والأرضية وكذلك الخرائط الطوبوغرافية والجيولوجية والبيدولوجية (خرائط التربة) .

يسهم علماء الأرض والمساحون والمهندسون المدنيون وحتى الجغرافيون والزراعيون ، كل في حقل اختصاصه بالاضافة الى الجيومورفولوجية في دراسة وتطوير هذا العلم حتى الوقت الحاضر ، خاصة بعد ظهور أهمية جوانبه التطبيقية في مجالات شتى : مشاكل الطرق والجسور ، التصحر ، بناء السدود وكثير من الأمور النفطية والزراعية والعسكرية ، وعلى العموم فأن الأشكال الأرضية تنحصر في مجموعتين هما الأشكال الأرضية الترسيبية ، والأشكال الأرضية الحتية وكلاهما صير سطح الأرض بالشكل الذي نراه في الوقت الحاضر .

١ ـ ٢ ـ أسس الجيومورفولوجيا وأهدافها وقوانينه

يختص علم الجيومورفولوجيا بدراسة وتفسير أصل التضاريس الطبيعية وتطورها بسبب عوامل فيزياوية وكيماوية وحياتية تحدث على الارض او بالقرب منها بين الغلاف الهوائي والغلاف المائي اعتماداً على أسس جيومورفولوجية ثابتة هي :

أولاً : ان العوامل الجيومورفولوجية التي تعمل الآن هي نفسها قد عملت خلال



شكل رقم (١٠١) علاقة الأشكال الأرضية بالتراكيب الصخرية

صورة لشكل جزء من جبل صخري في منطقة دبا (الإمارات العربية المتحدة)

العصور الجيولوجية الماضية ، الا أنه ليس من الضروري ان تكون بنفس الشدة الحالية ، (نظرية التوافق التي نادى بها جيمس هاتن عام ١٨٧٥ م والتي اعتمدها كل من جارلس ليل وبنيفير عام ١٨٠٢ م من قبل .

ان دراسة الظواهر الجيومورلوجية الحديثة والتي يمكن ملاحظتها في الطبيعة الآن تمكننا من تفسير العمليات الجيومورفولوجية العديدة والمعقدة التي حدثت في الماضي . هذا المبدأ نادى به جيمس هاتن أيضاً والذي ينص على أن الحاضر مفتاح للماضي ، حيث قال : ان العمليات الجيولوجية التي عملت خلال العصور الجيولوجية بنفس الشدة كما هي الآن ، وقد لايبدو ذلك صحيحاً لأننا لو شبهنا الماضي بغرفة مغلقة فاننا لانرى مافيها الا بقدر مايسمح به ثقب المفتاح من رؤيا . حينئذ نستطيع أن نسلم بعدم صحة هذه المقولة . وخير مثال على ذلك هو أن مناخ الصحراء الغربية في القطر العراقي (منطقة الرطبة) كان ممطراً رطباً خلال العصر الطباشيري بعكس ماهو عليه الآن حيث الحرارة والجفاف . فضلاً عن أن النشاط البركاني كان سائداً في بعض البقاع خلال العصور الجيولوجية أكثر من نشاطها في الوقت الحاضر .

كما أن مناخ الجزيرة العربية خلال العصر المطير يختلف كثيراً عما هو عليه الآن .

ثانياً : للتراكيب الجيولوجية تأثير مباشر على طبيعة الأشكال الأرضية وتطورها . لقد اعتمد وليم موريس ديفز فلسفة علماء شكل الأرض القدامى واستنبط فرضيته المشهورة بأن أصل الاشكال الارضية وتطورها يعتمدان على التراكيب الصخرية وعلى العمليات الجيومورفولوجية وعلى الزمن . فالتراكيب الصخرية تعكس عادة شكل التضاريس التي وجدت عليها حيث كان مضمون التراكيب عند ديفز أوسع مما نعرفه اليوم وغير مانقصده الآن . فقد قصد ديفز بالتراكيب ميل الطبقات الصخرية ونوع الصخور والمعادن والصدوع والشقوق والفواصل ، التوافق واللاتوافق . أو قد تعدى ذلك كله فذهب بتصوره حتى شمل الصفات الفيزياوية للصخور وللمعادن من صلابة ونفاذية ومسامية ونسيج وتكسر ؛ أي كل مايتعلق بمقاومة الصخور للتجوية حيث تختلف هذه المقاومة من مكان الى آخر ولنوع واحد من الصخور . وعلى العموم فان الصفات التركيبية للصخور أقدم بكثير من الأشكال الأرضية التي تطورت منها لأن الصفات

التركيبية من طيات وصدوع ترجع الى الأحقاب والأدوار الجيولوجية ذات العوامل الداخلية البانية للجبال . لذلك تبدو الأشكال الأرضية متباينة بتباين التراكيب الصخرية العائدة لها . (لاحظ الشكل رقم ١ - ١) .

ان هذا التباين يبدو واضحاً في منطقة بغاني - العمادية في شمال العراق (الراوي ١٩٧٥) كما أنه يبدو جلياً في الصور الجوية المجسمة بشكل خاص .

ثالثاً : تعتمد الأشكال الأرضية على سرعة العمليات الجيومورفولوجية . ان مقاومة الصخور لظاهرة التجوية تحددها طبيعة المناخ في المنطقة ، فمثلاً ان حجر الكلس يقاوم التجوية في المنطقة الجافة وعلى العكس فأنه يطاوع عمليات التجوية بسرعة في المناطق التي تكثر فيها الرطوبة ، بصورة عامة ان حجر الكلس والمرمر (الرخام) والطفل جميعها يتجوى بسرعة في المناخ الرطب ومن ثم فانها تتصف بأراضي ذات تضاريس واطئة في حين أن الحجر الرملي والحجر الرملي المتبلور (الكوارتزايت) وصخور الكونكلاموريت ، أو الصخور المدملكة (تكتل المتكورات أو الرصيص) ، ومعظم الصخور النارية ، تكون عادة مقاومة للتجوية لذلك فانها تتصف بتضاريس عالية .

ان المتغيرات التي تؤثر في سرعة العمليات الجيومورفولوجية كثيرة ، فدرجة الحرارة والتبخر وكمية الرطوبة وكثافة الاشعاع الحراري وكمية الأمطار ومعدل الانجماد كلها عوامل تؤثر في طبيعة العمليات ومن ثم فانها تنعكس على الأشكال الأرضية .

رابعاً : تؤثر العمليات الجيومورفولوجية على الأشكال الأرضية في اليابسة وعلى تطورها أكثر منها في الماء .

من المعلوم ان العمليات الجيومورفولوجية التي تعمل على سطح الأرض والتي تسمى بالعمليات الخارجية تنشط بين الغلاف الجوي والغلاف المائي للكرة الأرضية .

الا أن العمليات الجيومورفولوجية التي تنشأ نتيجة الحركات الباطنية كالبراكين والزلازل تنشط من قوى داخل القشرة الأرضية والتي تعرف بالعمليات الداخلية ، فهناك عمليات تنشأ خارج الغلاف الجوي للأرض مسببة سقوط شهب ونيازك الا ان اشكالها الأرضية محدودة وفي بقاع معينة من سطح الكرة الأرضية .

لذلك فان كل عملية من العوامل الجيومورفولوجية خارجية كانت أم باطنية أم سطحية تترك أثراً بارزاً على الأشكال الأرضية في اليابسة . فالعوامل الهوائية تترك اثاراً كالكثبان الرملية ، والعوامل المائية تترك آثاراً كالسهول الفيضية والدالات لغرينية ، والمياه الجوفية تترك آثاراً كالحفر الوعائية والكهوف والكارست والشقوق والاخاديد أما الايسكر والدرملن فهي عوامل جليدية وهكذا .

لذلك يمكن تصنيف الأشكال الأرضية على اليابسة حسب نشأتها . ومن الجدير بالذكر أن معظم العوامل الجيومورفولوجية تعمل على سطح الأرض ولكن بنسب متفاوتة غير أن عاملاً واحداً فقط هو المتميز في أي منطقة من المناطق لذلك أصبحت فكرة أنواع معينة من اليابسة فكرة أساسية في العوامل الجيومورفولوجية حيث سماها تريكا وكيلوك عام ١٩٥٥ بنظام الشكل والنشأة .

خامساً : ان اختلاف عوامل الحت على سطح الأرض ينتج أشكالاً أرضية مختلفة ذات صفات متميزة خلال مراحل تطورها .

من المعلوم أن المراحل التي تمر بها الأشكال النهرية حسب ماذكرها ديفز من شباب وبلوغ (نضوج) وشيخوخة لها صفات مميزة تختلف فيها كل مرحلة عن الأخرى وان تطور أشكال هذه المراحل يأتي بشكل متعاقب ومنتظم . فقد تتغير صفات الأشكال الأرضية تغيراً كبيراً باختلاف العوامل الجيومورفولوجية حتى لو عملت هذه العوامل في فترات متقاربة من الزمن . ولانتوقع ان تتشابه التفاصيل الطوبوغرافية في منطقتين الا اذا أمكن مقارنة السطح الأصلي بالعوامل الجيومورفولوجية المؤثرة عليه . وقد تصل تضاريس منطقة معينة الى مستوى المنسوب القاعدي في فترة زمنية معينة ولظروف جيومورفولوجية معينة بدلاً من كونها تغيرات تؤثر بنفس المنطقة بحيث تصل الى المنسوب القاعدي ، لذلك غير ديفز مفهومه للدورة الجيومورفولوجية القياسية حيث اضاف على تلك الدورة دورة جيومورفولوجية جزئية .

وقد تتمثل هذه الدورة الجزئية بالمنطقة التي تنشط فيها حركات القشرة الأرضية مثل النطاق الالبي وسلاسل جبال أطلس . فقد تبقى الاشكال الأرضية لمرحلة الشباب أو مرحلة البلوغ على الدوام دون أن تكتمل دورتها الاعتيادية بسبب التنشيط التكتوني المستمر مما يعيد للدورة شبابها باستمرار .

سادساً : ان الأشكال الأرضية المعقدة أكثر انتشاراً من الأشكال الأرضية البسيطة .

لقد دلت الدراسات الحقلية على أن قليلاً من الأشكال الأرضية يمكن أن تفسر كنتيجة لعملية جيومورفولوجية واحدة لأن أي شكل أرضي مهما كان بسيطاً فانه قد تأثر بأكثر من دورة جيومورفولوجية أو بأكثر من عامل جيومورفولوجي . فعلى سبيل المثال لا الحصر منطقة الجزيرة في القطر العراقي والتي تحدد بين نهري دجلة والفرات شمال بغداد قد تأثرت بعدة عوامل داخلية وخارجية وسطحية عبر العصور والأحقاب الجيولوجية ، ففيها العوامل الجيومورفولوجية المائية والهوائية والتنشيط التكتوني والعامل البايولوجي من رعي وزراعة وشق طرق وقنوات والخ .. لذلك فان الأشكال الأرضية لمنطقة الجزيرة مركبة لأنها تأثرت بعدد متباين من العوامل الجيومورفولوجية . لقد وجد أن بعض الرمال المكونة لساحل افريقيا الشمالي المطل على البحر المتوسط متأثرة بعوامل جليدية حيث أنها جرفت من المنطقة المتجمدة الشمالية وانتقلت الى الساحل الشمالي للبحر المتوسط عن طريق الانهار ثم تلاطمتها الأمواج من الجزء الشمالي من البحر المتوسط الى الجزء الجنوبي منه ، بالاضافة الى العوامل الجيومورفولوجية الهوائية والمائية والبحرية المؤثرة اصلاً بهذه الرمال . لذلك تكون بعض الأشكال الأرضية مركبة بطبيعتها لأنها نشأت اصلاً خارج الحدود الجغرافية لتلك المنطقة . وعلى العموم فان الاشكال الارضية التي نشأت بفعل دورة جيومورفولوجية واحدة أو دورات جيومورفولوجية متعددة تحمل اثار دورة واحدة ، بينما الاشكال الارضية المتعددة المنالم تنشأ بفعل دورات جيومورفولوجية متعددة . ان هذه الأخيرة أكثر انتشاراً من الأولى بينما الأولى قد تنحصر في أشكال أرضية تكونت حديثاً مثل ظهور جزء من قاع المحيط البازلتي الذي ظهر حديثاً على سطح الأرض واختلط بجزء من القشرة القارية الكرانيتية أو هضبة تكونت من طفح بركاني أو على العكس منطقة طمرت تحت غطاء من الرواسب الجليدية في العصر الجليدي (البلايستوسيني) .

ومن الجدير بالذكر أن كثيراً من الأشكال الأرضية قد تطورت في أكثر من مجموعة

ظروف مناخية معينة كما حدث في العصر الجليدي حيث سادت أربعة فترات مناخية باردة تخللتها أربعة فترات زمنية أخرى دافئة في العروض العالية بينما سادت الفترات المطيرة والجافة في بقية أصقاع اليابسة .

سابعاً : ان معظم الأشكال الأرضية حديثة وقليل منها يعود الى العصر الثالث مالم تكن مغطاة أو منكشفة حديثاً .

من المعتقد ان عمر الأشكال الأرضية في التطر العراقي يعود الى العصر الجليدي الا أن هنالك اشارات في أدبيات علم الجيومورفولوجي الا أن بعض الأشكال الأرضية ذات سطوح حتية يعود عمرها الى العصر الطباشيري والبعض الآخر يرجع الى ماقبل الكبري . ان مثل هذه الأشكال نادرة جداً مالم تكن منكشفة حديثاً . كما وأن قليلاً من الأشكال الأرضية يرجع عهدها الى العصر الثالث .

لقد أوضح كل من متشل عام ١٩٥٧ وأبو الحجاج عام ١٩٦٠ بجلاء حداثة الأشكال الأرضية في العراق لأن كل مانراه اليوم من جبال ووديان وشواطىء وبحيرات وأنهار ومساقط مائية ومدرجات نهرية وسهول فيضية يرجع عهدها الى عصر المايوسين . لقد قدر آشلي عام ١٩٣١ بأن تسعين بالمائة من سطح اليابسة الحاضر قد تطور بعد الزمن الثالث وان حوالي ٩٩ ٪ منه قد تطور بعد منتصف العصر المايوسيني . ومن الجدير بالذكر أن سلاسل الجبال أي سلاسل جبال الألب قد تكونت منذ نهاية العصر الطباشيري وبداية الباليوسين مروراً بالمايوسين وان تضاريسها الحالية قد بلغتها في عصر البلايوسين . أما أشكالها الأرضية التي نراها الآن فانها تكونت خلال العصر الجليدي وبعده .

ثامناً : ان الاشكال الأرضية تعتمد على التغيرات الجيولوجية والمناخية خلال العصر الجليدي .

من المعلوم أن معظم الأشكال الأرضية الحالية في العالم هي ذات طبيعة جيولوجية حديثة وان التغيرات الجيولوجية والمناخية التي حدثت في العصر الجليدي قد تركت آثاراً واضحة عليها .

لقد تأثر الجزء الشمالي من الكرة الأرضية بالزحف الجليدي وان الرواسب الجليدية التي حملتها مياه الجليد الذائبة وسانقلته الرياح من ترسبات الطين غطت مساحات شاسعة . لقد ذكر فسترو ولدر عام ١٩٦٩ بأن جزءاً كبيراً من اسكتلنده تغطى بترسبات الطين التي هي الأخرى نقلت وترسبت في المحيط الأطلسي كما أن بعض الرواسب التي حملتها مياه الجليد الذائب ومانقلته الرياح من مواد جليدية في الأصل تمتد في مناطق لم يغطها الجليد . فتربة اللاتراريت الموجودة في منطقة الصحراء الغربية قرب الرطبة التي تتصف بمناخها الجاف الآن قد تمتعت بمناخ رطب خلال تكونها . فقد وجدت بحيرات عذبة في كثير من المناطق التي تتميز بالتصريف المائي الداخلي اليوم . كما توجد مئات البحيرات التي تعود الى العصر الجليدي في كثير من الأحواض المغلقة غرب الولايات المتحدة الامريكية .

ان روافد دجلة والفرات قد تأثرت خلال العصر الجليدي بفترات تعميق لأوديتها وحت لصخور وديانها كما أن أنهار أوهايو وميزوري ومسسبي تكونت بسبب الزحف الجليدي في مجاريها القديمة . كما ارتفع مستوى سطح البحر بمقدار ١٢٠ م بعد العصر الجليدي .

ان توزيع المستعمرات المرجانية في العالم هو الآخر له علاقة بالمواقع المناخية الدافئة . كما وأن السفوح المقابلة للشمال في نصف الكرة الشمالي ، تحتفظ بالثلج الساقط عليها خلال الشتاء طيلة أيام هذا الفصل بينما يذوب على السطح المقابل للجنوب معظم الثلج الساقط في نهاية النهار . وبنفس المبدأ فأن التشققات الطينية الموجودة على الشاطىء المقابل للشروق في قطرنا تتسع وتكثر أعدادها أكثر من الشاطىء المقابل للغروب . (شكل رقم ١ - ٣) .

تاسعاً : التغير المناخي يؤثر على طبيعة العوامل الجيومورفولوجية وبالتالي على الأشكال الأرضية .

تؤثر التغيرات المناخية من حرارة ورطوبة وتساقط الأمطار والرياح وشدتها على العمليات الجيومورفولوجية وخاصة التجوية ، كما وأن طول فترة الانجماد والأمطار

الغزيرة غير الاعتيادية ، وتكرارها ، هي الأخرى تؤثر على العوامل الجيومورفولوجية . كما وان اختلاف الظروف المناخية بالنسبة لجوانب التضاريس المواجهة للرياح المحملة ببخار الماء وتلك الواقعة خلفها أي في منطقة الظل هي الأخرى تؤثر في العوامل الجيومورفولوجية . ان معظم الفرضيات التي كتبت في موضوع الجيومورفولوجيا استنبطت من المناطق المعتدلة الرطبة حيث أنها تمثل ظروفاً مناخية اعتيادية . لذلك برزت فكرة المناطق الجيومورفولجية المناخية في العالم . فهنالك مناطق مدارية رطبة وأخرى جافة وأخرى متجمدة وهكذا .

ان المواقع الجغرافية لمثل هذه المناطق تحدد بدوائر العرض من خلال الاستواء الى ٩٠° شمالاً و٩٠° جنوباً .

عاشراً : دراسة علاقة الأشكال الأرضية بالتاريخ الجيولوجي .

ان من الاهتمامات الأساسية التي ركز عليها الجيومورفولوجي ، حديثاً ، هو تحديد تاريخ تطور الأشكال الأرضية . وان دراسة المعالم الجيومورفولوجية القديمة كسطوح الحت (Erosion surface) أصبحت مهمة جداً من الناحية الاقتصادية . لان دراسة الجيومورفولوجيا القديمة تحدد مواقع التجمعات الهيدروكاربونية خلال العصور السابقة . وعليه فقد برزت أهمية الجيولوجيا التاريخية في تحديد الأشكال الأرضية .

الفصل الثاني
تاريخ تطور علم الجيومورفولوجيا

اهتم بعض المفكرين منذ زمن بعيد بالجيومورفولوجيا (علم شكل الأرض) لأن بعض الظواهر الطبيعية كالتجوية او الحت او الترسيب او التقلبات الجوية او ظاهرة المد والجزر او ثورة البراكين حفزت فلاسفة العراق القدامى والاغريق والرومان على التأمل في طبيعة هذه الظواهر . منذ ذلك الحين بدأت الأفكار العلمية بالتطور على يد العراقيين القدامى والاغريق والرومان وجاء بعدهم العلماء العرب حيث حملوا مشعل العلم والحضارة وسلموه ساطعاً وهاجاً الى أوربا بعد الثورة الصناعية .

٢ ـ ١ ـ الجيومورفولوجيا في الفكر العراقي القديم :

كانت بلاد مابين النهرين بؤرة الاشعاع المركزية التي أنارت العالمين الاغريقي والروماني ، وامتدت أنوارها الى الشرق الأقصى أيضاً . لقد سارت العلوم وفقاً لمقتضيات العقل وتمكنت من توحيد معطيات الحدس الحسي في فهم ومعرفة الواقع وتقصي مبدأ الكون وعلته وغايته . فقد برزت نظرية الزمان المبنية على النظام الكوني وكثير من المعارف الجيومورفولوجية الناجمة عن العوامل الخارجية والفلكية كرصد النجوم ومراقبة حركة الأفلاك وأصبحت أساساً للديانات العراقية القديمة . كما أن الاعتقاد بالقدر المسيطر على نظام الكون وعلى المصير الانساني والمسؤول عن تطور الأشكال الأرضية جميعاً جعلوا منها الكلمة المولدة حيث أصبحت عندهم الأمر الا هي في تحديد الظواهر الجيومورفولوجية .

٢ ـ ٢ ـ الجيومورفولوجيا في الفكر الاغريقي والروماني :

ان كتابات هيرودوتس (٤٨٥ ـ ٤٢٥) ق . م . على سبيل المثال حوت معلومات تخص شكل الأرض وتطرقت الى أهمية الفيضانات السنوية لنهر النيل في تجديد خصوبة أرض مصر من الناحية الزراعية واليه ينسب القول « ان ارض مصر هبة النيل » كما

لاحظ وجود بعض أنواع من الصدف والمحار على سفوح التلال وفي جهات مختلفة وعزى وجودها الى أن البحر في ظرف من الزمان كان يغطي هذه المناطق ولذلك فقد أشار هذا الموضوع الى فكرة ارتفاع وانخفاض مستوى سطح البحر . وهو الذي ذكر بأن الزلازل هي السبب في تغير معالم الجبال وليس غضب الآلهة كما كان يعتقد آنئذ .

أما كتابات ارسطو طاليس (٣٨٤ ـ ٣٢٢) ق . م . فقد تناولت مصادر مياه الينابيع والآبار وكان يعتقد بأن مصادر هذه المياه هي :

أ ـ مياه الأمطار التي تنفذ الى داخل الأرض .

ب ـ المياه التي تكونت داخل الأرض نتيجة تكاثف بخار الماء الساخن المتواجد في باطنها والذي يبرد كلما اقترب من سطحها .

جـ ـ المياه المخزونة في الصخور .

واعتقد ارسطو بأن هذه المياه كلها قد احتفظت بها الجبال كما لو كانت كتلاً اسفنجية ضخمة . وقد اعتقد أيضاً بأن سقوط الأمطار يؤدي الى تكوين أنهار مؤقته ، كما وان المياه الجوفية تحدد كمية المياه التي تجري في النهر . كل هذه الملاحظات توصل اليها ارسطو عن طريق التأمل وهي الى حد ما تشبه النظريات التي توصل اليها علماء العصر الحديث من أن البحر يطغي على مساحات كبيرة كانت يابسة في السابق واحتمال ظهور يابسة ثانية حيث يوجد البحر الآن كما كتب ارسطو عن ظاهرة اختفاء الأنهار وذلك بجريانها تحت سطح الأرض وتطرق أيضا الى ترسبات الأنهار حيث قال بأن الأنهار تنقل المواد من اليابسة وترسبها على شكل طمي وغرين عند مصباتها .

أما العالم سترابو (Strabo) (٥٤ ق . م ـ ٢٥ م) الاغريقي الأصل والروماني الثقافة فأنه هو الآخر قد كتب عن الهزات الأرضية اذ كان أول من ذكر بأن جبل فيزوف المشهور هو عبارة عن جبل بركاني بعد دراسته الواسعة لتكوين قمته علما بأن البركان كان هادئاً طيلة حياة سترابو ، كما درس دلتا بعض الأنهار ولاحظ أن حركة المد والجزر كثيراً ماتتقدم نحوها . وقد ذكر سترابو بأن وادي تمي تكون نتيجة لفعل الزلازل والنشاط البركاني في حين كان الرأي السائد عن الزلازل آنذاك هو انها رياح تتكون في باطن الأرض .

٢ ـ ٣ ـ الجيومورفولوجيا في الفكر العربي الاسلامي : ☆

لقد أدى سقوط الامبراطورية الرومانية الى جمود عملي في العلوم بصورة عامة وفي علم الأرض بصورة خاصة ولقرون عديدة في أوربا . عندئذ حمل العلماء العرب مشعل العلم في وقت كانت فيه أوربا غارقة في ظلمات الجهل . كتبت جماعة اخوان الصفا (٩٤١ ـ ٩٨٢) في البصرة في رسائلهم أفكاراً جيولوجية ذات طابع حديث متميز ، وكانوا الاوائل في اشارتهم الى السطح التحاتي (صفصف) الذي نسب ظلماً بعد عدة قرون الى العالم الامريكي دَيفز وقد تناول اخوان الصفا في كتاباتهم أيضاً ظاهرة تطور البحيرات وأشاروا الى دورة التحات والى عمليات النقل التي تقوم بها الرياح والأنهار وتطرقوا كذلك الى التجوية وعواملها . ومما جاء في رسائل اخوان الصفا ان الاودية والانهار كلها تجري من الجبال والتلال وتمر في سيلها وجريانها نحو البحار والاجام والغدران ، ومن شدة اشراق الشمس والقمر والكواكب على الجبال طيلة الأزمنة والدهور تنشف رطوبتها وتزداد جفافاً ويبسا وتتقطع وتتكسر وتصير أحجاراً أو صخوراً أو حصى ورمالاً . ثم ان الأمطار والسيول تحط تلك الصخور والرمال الى بطون الأودية والانهار وتحملها شدة جريانها الى البحار والغدران والاجام ، كما وقسموا الأرض الى دوائر هوائية ومائية حيث قالوا :

«ومن تحت دائرة الهواء وكيفيتها مستديرة ممتزجة ولونها أيما نحوني وهو لون السماء »

وقد مهد اخوان الصفا الطريق للفيلسوف العربي ابن سينا سنة (٩٨٠ ـ ١٠٣٧ م) الذي درس طبيعة تكوين الجبال وقسمها من حيث نشأتها الى قسمين :

أ ـ جبال تكونت نتيجة تحركات رافعة كتلك التي تصاحب الزلازل .

ب ـ جبال تكونت بفعل المياه الجارية والرياح ، فكان أول من أشار الى وجود جبال التحات وتباينها حيث قال :

« وأما السبب بالذات فكما يتفق عند كثير من الزلازل طائفة من الأرض ، ويحدث رابية من الروابي دافعة » .

وقد أكد ابن سينا في كتابه « الشفاء » بأن عملية النحت تتم بصورة طبيعية جداً

وتستغرق وقتاً طويلاً لكي تتم ، ومن الجدير بالذكر بأن الفكرة السائدة آنذاك كانت تشير الى أن التضاريس الأرضية خلقت كما هي عليه أو أنها تعود الى عوامل فجائية أحدثت تغيرات جوهرية سريعة عليها .

وهذه العوامل الفجائية يمكن أن تكون كوارث فجائية تتعرض لها الأرض فتحصل فيها تغيرات جيولوجية . وهي قد تحدث أيضاً عن التجوية حيث قال :

« أن الارض الخالصة لاتتحجر ، لأن استيلاء اليابس على الأرض لايفيدها استمساكاً بل تفتيتاً .. وأكثر الجبال الآن هي في الانقراض والتفتت ذلك لأن عهد نشوئها وتكوينها انما كان من انكشاف المياه عنها يسيراً ، وانها الآن في سلطان التفتت » .

وقد نبغ في نفس العصر محمد البيروني (٩٧٣ ـ ١٠٤٨ م) وكان ثالث ثلاثة ازدهرت بهم الحضارة العربية الاسلامية مابين منتصف القرن الرابع الهجري ومنتصف القرن الخامس ، أولئك هم ابن سينا وابن الهيثم والبيروني .

نبغ البيروني في علم المعادن كما يدل على ذلك كتابه الموسوم « الجماهير في معرفة الجواهر » وهو الذي أوضح العلاقة بين طبيعة المعادن وسرعة التجوية . كما تحدث عن حركات الأرض (Dynamics) وأدرك أنها تتغير بتغير مستمر وبطيء جداً .

وقد حافظ الرواد العرب على التراث الاغريقي القديم والروماني خلال العصور الأوربية المظلمة وأودعوا الغرب هذا التراث بعد أن طوروه عند بزوغ عصر النهضة . ومن الرواد في هذا العصر المظلم العالم العربي الشيخ الرئيس الذي كتب عن الزلازل والينابيع والمياه الجوفية .. حيث قال :

« وجاز أن يكون بسبب الرياح نقل التراب من مكان الى مكان وتحدث تلالاً ووهاداً ، ثم يتحجر بسبب ماقلنا » .

٢ ـ ٤ ـ الجيومورفولوجيا ابان عصر النهضة : ☆

لقد مرت فترة من الجمود على علم الأرض بصورة عامة بعد أن أضاء العلماء العرب الفترة المظلمة التي خيمت على أوربا والتي طغت عليها آراء الكنيسة اللاهوتية . ففي

ايطاليا ظهر الفنان ليونارد دافنشي (Leonardo Davinci) (١٤٥٢ ـ ١٥١٩) الذي برع في العلوم الطبيعية اضافة الى مواهبه الفنية الكثيرة وقد أوضح بأن المجاري المائية هي التي تشق وديانها وهي التي تنقل فتات الصخور من مكان الى آخر (لتكون تضاريس القشرة الأرضية) .

وفي فرنسا كتب بافن (Buffon) (١٧٠٧ ـ ١٧٨٨ م) بأن الانهار لها قدرة هائلة على نحت المناطق المرتفعة وتسويتها حتى تصبح في مستوى سطح البحر ، ولهذا أشار بافن الى وجود مستوى أدنى لعمليات النحت (المنسوب القاعدي) « مستوى القاعدة » (Base Level) .

أما كرجيوني توزيتي (Tiagionitozetti) (١٧١٢ ـ ١٧٨٤ م) الايطالي فهو الآخر أكد على حت الانهار وان الطبيعة المتعرجة للانهار (Meander) تدل على اختلاف صلابة الصخور التي تمر بها وهذا يوضح مبدأ التجوية المتباينة Different Weathering .

وفي فرنسا كان كويتهارد (Gutt hard) (١٧١٢ ـ ١٧٨٤ م) يبحث عن ظاهرة التعرية والتجوية وكيفان الجبال تتآكل بفعل سيل الماء وان المواد التي تزيلها الأنهار لاتصل الى البحر مباشرة حيث أن جزءاً كبيراً منها يسهم في بناء السهول الفيضية (Flood plains) كما أنه بين أن للبحر أثر في التحات أمضى من تأثير النهر على اليابسة وضرب لذلك مثلاً بتآكل الساحل الطباشيري بفعل أمواج البحر على الساحل الفرنسي . واستعمل العالم السويسري دي سوسر (De Saussaer) (١٧٢٥ ـ ١٨١٥ م) لأول مرة مصطلح « علم الأرض » و« الجيولوجيا » في اطارهما الحديث ، وكان من الرواد الأوائل لدراسة جبال الألب كما أنه درس الأنهار وأوضح قدرتها على التحات والترسب والتعرية (Denudation) وأظهر أن هناك أنهاراً جليدية لها القدرة على التحات وتغيير معالم شكل سطح الأرض وجاء بعده العالم « جيمس هاتن » (James Hutton) (١٧٢٦ ـ ١٧٦٧ م) الاسكتلندي الذي اعتمد على سلفه اعتماداً كبيراً في تكوين مبدأ التوافق كما اعترف هو بذلك وأصبح من رواد القرن الثامن عشر في وضع أسس علم الأرض الحديث واعتبر صاحب مدرسة البلوتونين نسبة الى بلوتو (Ploto) (اله جوف الأرض) .

ومن كبار الرواد الأوائل الذين وضعوا أسس علم الأرض الحديث العالم الالماني « براهام فرنر » (Abraham Werner) (١٧٥٠ ـ ١٨١٧ م) الذي عاصر هاتون وصاحب المدرسة المشهورة بالنبتونيين (Neptunts) (نسبة الى نبتون اله البحر) . ومن جملة آرائه ان جميع الصخور رسوبية كانت أم نارية تكونت خلال عمليات كيميائية في محيط قديم هائل كان يلف الأرض في العصور القديمة .

هاجم هاتن هذا الرأي الخاطىء وبين أن الصخور الكرانيتية مثلاً هي صخور نارية تكونت في أعماق الأرض وبعد ذلك اندفعت الى خارج الأرض عن طريق البراكين واتخذت أشكالاً مختلفة ، وانها كثيراً ماتتعرض للتحول والتغير بعد ذلك . وقد استمر الجدال بين البلوتونيين والنبتونيين سنين طويلة امتد حتى النصف الثاني من القرن الثامن عشر وظهر في نفس الوقت الرياضي والفيلسوف الاسكتلندي بليفر Plafaer (١٧٨٤ ـ ١٨١٩ م) الذي نشر كتاباً بعد وفاة هاتن بعنوان (توضيح نظرية هاتن حول الأرض) أبان فيه بصورة دقيقة أن لنظام الأنهار أهمية كبيرة في تغيير شكل الأرض .

لقد أثرت آراء هاتن وأبحاثه بشكل واضح على العلماء فيما بعد ولاسيما سير جارلس ليبيل الذي أصبح فيما بعد داعياً من دعاة التوافق .

أصبح جارلس ليبيل (Charles Lyell) (١٧٩٧ ـ ١٨٧٥ م) من أكبر أنصار مبدأ التغيير التدريجي البطيء ولكنه عارض الرأي الذي نادى به هاتن وهو أن المجاري المائية هي التي تنحت أوديتها وذكر بأنه من المحتمل أن يكون قد تم حفر الوديان النهرية الكبيرة بواسطة الأمطار والسيول ولكن مما لاشك فيه أن بعض الحركات الباطنية تسهم هي الأخرى في زيادة سرعة عملية الحفر خلال مراحل تكون هذه الوديان كما جاء في كتابه (مباديء علم الأرض) الذي نشره سنة ١٨٧٢ م .

أما العالم لويس اكازيز (Louis Agassiz) (١٨٥٧ ـ ١٨٧٣) فكان فضله على دراسة العصر الجليدي حيث ذكر في كتاباته أن الجزء الشمالي من القارة الأوربية كان مغطاً بالجليد خلال العصر الجليدي . بيد أن هناك عدداً كبيراً من الباحثين شاركوه في هذا الاستنتاج دون أن يذكر لهم مثل هذا الفضل ، فقد كانت تشيع بين فلاحي سويسرا فكرة بأن ثلاجات جبال الألب كانت تغطي مساحات أوسع مما هي عليه الآن اذ انهم

لاحظوا المخلفات التي تغطي الأودية التي تشير الى أن هذه المناطق كانت مغطاة بالجليد ثم انحسر عنها .

لقد نشر لويس اكازيز مؤلفاته سنة ١٨٤٠ تحت عنوان (دراسة في الثلاجات) استنبط منها أنه لابد من أن يكون هنالك عصر جليدي مرت به الأرض .

أما عالم الأرض الانكليزي اندرو رامزي (Andrecw Ramsay) (١٨١٤ ـ ١٨٩١) فقد درس عمليات التعرية البحرية (التي تصنعها مياه البحر في اليابسة) وأعلن بأنها العملية الوحيدة التي تحدث على سطح الأرض لكنه سرعان مابدل رأيه بعد ذلك .

ونشر جيبكس (Jukes) سنة ١٨٦٢ م بحثه المشهور عن انهار جنوب ايرلنده ذكر فيه بأن هناك نوعين من الأنهار : أنهار تجري بصورة طويلة (على امتداد الصخور) وأخرى تجري بصورة عريضة (متعامدة على امتداد الصخور) أي باتجاه البيئة كما ذكر أن الاولى تنشأ بعد الأخرى فأطلق عليها تسمية الأنهار اللاحقة أو التالية (Subsequent Streams) وقد أصبحت هذه الآراء كما سنرى بعد من الآراء الأساسية في فكرة تطور الأنهار وتعليلاً معقولاً لما يسمى بقرصنة الأنهار (الأسر النهري) .

٢ ـ ٥ ـ الجيومورفولوجيا حديثاً :

أخذ علم الشكل الأرضي يتطور بشكل سريع في الثلث الأخير من القرن التاسع عشر حيث صدر كتاب (شكل سطح الأرض) للعالم الالماني بينك سنة ١٨٩٤ م . عالج فيه أشكال الأرض من حيث نشأتها ، وخلال نفس الفترة تطور علم الأرض في أمريكا الشمالية بحيث سميت هذه الفترة بالعصر الذهبي بالنسبة لعلم شكل الأرض ، ويعزي هذا التطور السريع الى جهود فريق من علماء الأرض كانوا يقومون بسلسلة من عمليات المسح الجيولوجي في غرب الولايات المتحدة الامريكية وان هذا الفريق الذي يضم الميجر بأول وجلبرت وديتن Powell (١٨٣٤ ـ ١٩٠٢ م) Gilbert (١٨٧٣ ـ ١٩١٨ م) Dutton (١٨٤١ ـ ١٩١٢ م) أصبح رائداً في هذا المضمار حيث عني لأول مرة بتصنيف التضاريس الأرضية على أساس عامل بنية الأرض (Structural Geology) كما قام بدراسة منطقة تكسرات هضبة الكولورادو وبعض وديان الأنهار حيث قسم الوديان الى

قسمين بعضها يرتبط ارتباطاً وثيقاً بشكلها واتجاهها مع الطبقات التي تخترقها ، والبعض الأخر يتشابه فيما بينه من حيث الأصل . فهناك وديان تكونت بالأصل (سالفة Antecedent) واخرى أساسية (رئيسية Conesquent) وثالثة منطبعة أو متعرضة (Superimposed) وكل هذه التقسيمات يشيع استخدامها في الوقت الحاضر ومع أن الفضل في تسمية (المنسوب القاعدي) قد أعطى الى باول الا أن الحقيقة هي أن الكولونيل الانكليزي جورج كرين وود سنة ١٨٦٨ م هو الذي جاء بهذه العبارة وقد وضح له بأن الطبقات الصلبة الموازية لمجرى النهر لها القدرة على مقاومة المياه .

وعلى الرغم من أن وود كان من أشد المناصرين لأهمية الحت النهري الا أنه لم يحظ باعتراف يستحقه أبداً نظرا لسلوكه المتعجرف نحو علماء الأرض الذين اختلفوا معه علمياً . وبذلك يعتبر الميجر بأول واضع الأساس للمدرسة الامريكية لعلم شكل الأرض .

أما الثاني وهو جلبرت فهو أول عالم درس شكل الأرض واهتم بدراسة العمليات الأرضية بأنواعها الهوائية والجليدية الظاهرة منها والباطنة (السطحية والجوفية) . كما قام بدراسة الحوض العظيم في امريكا الشمالية حيث قال : « ان هذه البحيرة الملحية العظيمة Great Salt Lake كانت خلال العصر الجليدي أكثر مساحة واتساعاً مما عليه الآن » .

وتعتبر دراسة جلبرت للسواحل القديمة لهذه البحيرة أول دراسة دقيقة من نوعها لشكل الأرض في الولايات المتحدة .

وأخيراً كان داتن مختصاً بتحليل التضاريس حيث قام بدراسة دقيقة لهضبة الكلورادو ووجد بأنها تعرضت لحركة هبوط أرضي قبل أن يشغلها نهر الكولورادو وهو أول من أشار الى ظاهرة توازن قشرة الأرض .

لقد تأثر وليم موريس ديفز تأثراً كبيراً بهؤلاء العالقة من علماء شكل الأرض الذين مهدوا له الطريق ، فظهر اسم هذا العالم وارتبط بموضوع شكل الأرض أكثر من أي عالم آخر بحيث ترادف اسمه مع (المدرسة الاميركية لعلم شكل الأرض) أو (بمدرسة ديفز لشكل الأرض) . لقد كان ديفز معرفاً ومحللاً ومنظماً لهذا العلم . لقد اعتمد الوصف الشكلي للفترة التي سبقته على مصطلحات تجريبية الى حد كبير .

ويبدو تقسيمه لمراحل التطور النهري عند دراسته لعملية الحت النهري الى ثلاث مراحل :

١ ـ مرحلة الشباب

٢ ـ مرحلة البلوغ

٣ ـ مرحلة الشيخوخة

مطابقاً لنظرية دارون للتطور .

هذه المراحل سماها ديفز بـ « دورة الحت القياسية » ، Normal cycle of Erosion وكان ديفز على اتصال وثيق بالمدرسة الاوربية بقيادة (بينك) أو (مدرسة بينك لشكل الأرض) أو (المدرسة الالمانية لشكل الأرض) وقد حاضر ديفز في جامعة برلين ـ المانيا لمدة سنة لنشر آرائه كما حاضر بينك في جامعة كولومبيا وييل بالولايات المتحدة الامريكية لنفس الغرض .

وانتشرت آراء ديفز انتشاراً كبيراً أثناء العقدين الأولين من القرن العشرين وكان لها الكثير من المؤيدين والمعارضين على السواء . ومن الجدير بالذكر أنه رغم الصلة المستمرة التي كانت قائمة بين ديفز وبينك الا ان بينك واتباعه حملوا حملة كبيرة على دورة ديفز للتحات . وقد بلغت هذه الحملة أوجها ابان العقد الثالث من القرن العشرين . لقد اعتقد ديفز بأن دورة التحات التي تسببها المياه الجارية تبدأ في الغالب بحركات أولية رافعة سريعة ونسبية تتعرض لها منطقة ماتتبعها فترة سكون تام تؤدي الى اتمام هذه الدورة واكتمالها ، وتصبح المنطقة ذات التضاريس في النهاية سهلاً مستوياً أو شبيهاً بالاستواء والذي يسمى قاعاً صفصفاً (السهل التحاتي) .

لكن بينك وأتباعه عارضوا هذا الرأي وبينوا أن تتابع مراحل دورة شكل الأرض (Geomorphological Cycle) لاتتم على النحو الذي بينه ديفز . اذ أن هذه الدورة كما يعتقد علماء شكل الارض الالمان ـ تبدأ في المعتاد بتعرض المنطقة لحركات رافعة متناهية في البطيء تزداد سرعتها بعد ذلك زيادة تحول دون مرور المنطقة بالمراحل التي تحولها الى شبه سهل منخفض كما أن عدداً آخر من علماء الأرض الامريكيين الذين تخصصوا بدراسة ساحل امريكا الغربي (منطقة تعتبر من مناطق التغير السريع على سطح

الأرض) ابدوا شكوكهم في صحة دورة التحات هذه وذلك لأن سطح الارض في منطقة كهذه نادراً مايظل على حالة ثابتة ولفترة طويلة تسمح باكتمال الدورة . ورغم كل هذه الحملات العنيفة التي وجهت الى اراء ديفز الا ان تلك الحملات لم تقلل بأي حال من الأحوال من أهمية تلك الاراء التي أضافت الى علم شكل الأرض الكثير من الحقائق التي مازالت ماثلة لحد الآن .

نظريات ديفز وبنك وصعوباتها :

تعتبر دورة الحت من امثلة الاستاجات الطبيعية أي الفرضيات التي تستند على افتراضات معينة فهذه النظرية تفترض وجود منطقة تعرضت للرفع بشكل سريع أولاً ومن ثم تكونت أشكال السطح التي تظهر فوقها فهي نتاج للتطور (من مرحلة الشباب الى مرحلة الهدم) . كما تعتمد أيضاً على التركيب الجيولوجي ونوع عمليات الحت والتعرية السائدة وعلى المدة الزمنية التي تستمر فيها مثل هذه العمليات . ويكون مثل هذا الأسلوب صحيحاً ومقبولاً في حالة كون الافتراضات التي تستند عليها هذه الدراسات صحيحة ومقبولة . (ومن الممكن مقارنة هذه الطريقة مع الطريقة الاستقرائية التي تروم التوصل الى دلائل تجريبية وكمية لذلك الغرض سواءً تم التوصل اليها في المختبرات أو في الدراسات الحقلية المقننة) . وهناك أسباب كثيرة تبعث على الاعتقاد بأنه لاتحدث عملية رفع سريعة وعلى نطاق واسع في الطبيعة غير أن مثل هذه العملية تبدأ بشكل بطيء ومن ثم تزداد (بتذبذب) حتى تصل الى أوجها ومن ثم تتلاشى . وهذا هو الارتباط الذي كان في ذهن بنك عن علاقة سرعة الرفع بالأشكال التي يتخذها سطح الأرض . وهناك أدلة مشجعة تدل على أن بعض أشكال سطح الأرض تظهر في حالة من التوازن بحيث ان المواد التي تنتقل نحو أسفل المنحدر الى النهر تكون متناسبة بصورة دقيقة مع قابلية النهر على نقلها . وبهذا تمنع عملية التعرية الرأسية . لقد أشار ديفز الى هذه الظاهرة وذلك عندما تبين أن المقطع الطولي للنهر قد يكون في حالة تدرج أو اتزان . ولكن من الواضح أن المظهر الأرضي الذي يكون في حالة الاتزان لايمكن تفسيره على أساس هذه النظرية التي تتطلب تطوراً مستمراً للوصول الى المرحلة النهائية . وقد كان هذا تناقضاً لم يتمكن ديفز من حله على الاطلاق .

وعلى الرغم من ظهور بعض النظريات والفرضيات المقبولة التي تعتمد على الدراسات الكمية فلا تتوفر لحد الآن الأدلة الكافية عن تكوين قوانين وقواعد دقيقة تتعلق بتطور الأشكال التي يتخذها سطح الأرض . ان استمرارية عملية الحت تؤدي الى ازالة ونقل معظم دلائل المرحلة الأولى من تطور أشكال السطح ، فلا تبقى سوى دلائل واهية لتوضح أن أشكال سطح الأرض قد تطورت وتغيرت وفق النظريات السابقة ولاتظهر السفوح الشديدة الانحدار على أنها أكثر حداثة من السفوح المعتدلة الانحدار . وربما كانت استمرارية فكرة ونموذج دورة التعرية في مثل هذه المدة الزمنية . نتيجة لتكرار اقتباسها في العديد من الكتب ومن حيث كونها وسيلة سهلة مؤثرة في عمليات التفسير للظواهر الجيومورفولوجية بحيث يسهل استيعابها من قبل الطلبة .

٢ ـ ٦ ـ الجيومورفولوجيا في القرن العشرين :

مما تقدم تبين لنا أن الدورة الجيومورفولوجية القياسية تعتبر الحجر الأساس لعلم الجيومورفولوجيا الحديث . لقد اعتمدت هذه الدراسة على الظواهر الجيومورفولوجية الحقلية بمختلف ظروف أصلها ونشأتها . لقد ركز وليم موريس ديفز صاحب الدورة الجيومورفولوجية المثالية على أسطح الحت في مناطق العالم المختلفة حيث حدد أعمار هذه الأسطح . لقد سادت آراء ديفز فترة طويلة من القرن العشرين حيث انتمى اليها لوبيك وفون انجلن وثورنبري ولنتن وولدرج وبراون وسباركس .

أما قالتر بينك فقد اتمد في فلسفته على العوامل الداخلية وعلى التراجع المتوازي للسفوح في تحديد الأشكال الأرضية كما أنه رجح فكرة الأقاليم المناخية ولذلك برزت فكرة المورفومناخية والمورفوتكتونك .

ان قياس عناصر شكل الأرض التي تعتمد على غوامل مختلفة ومتغيرة منها الطبيعة الصخرية والنباتية والغطاء النباتي والمناخ و ... الخ . حدد طبيعة هذه العوامل حيث أوجب تحليلها احصائياً وذلك باستعمال الحاسب الالكتروني لبناء نموذج رياضي للأشكال الأرضية . لقد طرح فكرة التحليل الاحصائي للأشكال الأرضية كل من هورتن ١٩٤٥ وشتراهلر ١٩٥٢ حيث أطلقا عليها اسم الدراسات المورفومترية . وبتطور التكنولوجيا

وبدخول الأجهزة الالكترونية في حقل الجيومورفولوجيا برزت فكرة رسم الأشكال الأرضية رياضياً .

ونتيجة لاشتغال فئة علمية متنوعة من الجيولوجيين والمهندسين والكيميائيين والزراعيين والهيدرولوجيين والمشتغلين بعلوم البحار والعلوم العسكرية في المجال الجيومورفولوجي ، واهتمام كل هؤلاء بدراسة أشكال ظواهر سطح الأرض وتحديد مدى الاستفادة منها ، فقد ظهرت في الآونة الحديثة أهمية القيمة العلمية والعملية للدراسات الجيومورفولوجية . وعلى سبيل المثال اهتمت الجيولوجيا الاقتصادية Economic Geolgy بتحديد أسهل الطرق وأنسب الوسائل لاستغلال المعادن المختلفة والبحث عنها عن طريق دراسة جيومورفولوجية الرواسب السطحية ودراسة جيولوجية ماتحت السطح . في حين عنيت الهيدرولوجيا التطبيقية (Applied Hydrology) بالبحث عن المياه الجوفية ودراسة التصريف المائي للآبار والمجاري النهرية السطحية ومعرفة العوامل الجيومورفولوجية التي تتحكم في ذلك . واهتمت الجيولوجيا الهندسية Engineering geology بدراسة العوامل الجيومورفولوجية التي تتحكم في اختيار مواقع الخزانات والسدود المائية واختيار أنسب المناطق لاقامة المطارات ، وشق الطرق ، وحفر الانفاق ، وتثبيت جوانب المنحدرات الجبلية منعاً لحدوث عمليات الانهيار والانزلاق الأرضي .

أما علماء التربة Pedologists فيدركون تماماً أن التربة الزراعية اما تكونت محليا In Situ في مواقعها ، واما نقلت Transported بفعل عوامل النقل المختلفة من مواقع قد تكون بعيدة جداً عن مواقع تراكمها وعن المناطق المترسبة فيها حالياً . ومن ثم ينبغي التعرف على عوامل الحت المختلفة لايضاح التغيرات التي تتعرض لها تكوينات التربة الزراعية من وقت الى آخر . وقد ساهم كثير من العلماء من تخصصات مختلفة الى جانب علماء المحيطات في ايجاد الحلول ووضع المقترحات المناسبة للتغلب على مشكلة تآكل الشواطىء بفعل التعرية البحرية ، واختيار أنسب المواقع لاقامة الموانيء والثغور الملاحية . ان تطبيقات الجيومورفولوجيا شملت أيضاً المشاكل العسكرية وصار لها باع طويل فيها ، وان معارك الحرب العالمية الأولى التي دارت في العراق بين الامبراطوريتين البريطانية والعثمانية خير دليل على ذلك .

وعلى الرغم من أن الجيومورفولوجيا المناخية نشأت كفرع جديد يعارض آراء ديفز الا ان جذور هذا العلم ترجع الى كتابات وليم موريس ديفز عن الدورة التحاتية النهرية في المناطق المعتدلة عام ١٨٩٩ The Temperate Fluvial Cycle والدورة التحاتية في المناطق الجافة عام ١٩٠٥ The arid cycle والدورة التحاتية في المناطق الجليدية عام ١٩٠٠ ـ ١٩٠٦ The glacial cycle . كما أن وليم موريس دافيز اشار الى بعض التغيرات المناخية التي يتعرض لها بعض أجزاء سطح الأرض خلال فترات زمنية مختلفة ومالها من أثر في تشكيل سطح الأرض وأطلق على تلك التغيرات المناخية تعبير Climatic accidents وقد عني بدراسة هذا الموضوع الأستاذ كوتون Cotton فيما بعد . ومما يؤخذ على دراسات دافيز أنه عند تحليل الظواهر في الصحاري الحارة الجافة مثلاً اهتم بالتركيب الجيولوجي والبنية أكثر من عنايته بدراسة العوامل الخارجية التي تشكل ظواهر سطح الأرض . واشتملت دراسته في هذا الموضوع على دراسة مناطق الأحواض والهضاب الصدعية في غرب الولايات المتحدة الامريكية ومن ثم لاتتفق دراساته مع مايتمثل في مناطق الصحارى الحارة الجافة في آسيا وأفريقيا . وقد أضاف الأستاذ كوتون Cotton عام ١٩٤٢ اقتراحات عن الدورة الثانية في مناطق السفانا ، وعدل بعض الشيء عن آرائه عام ١٩٦١ .

ونحن نشاهد في هذه الأيام مع حلول عهد استكشاف الكواكب وحرب النجوم تطوراً لعلم الجيومورفولوجيا حيث يتضمن هذا العلم التاريخ الجيومورفولوجي للكواكب والمجموعات الشمسية الأخرى .

٢ ـ ٧ ـ مفاهيم النظريات الجيومورفولوجية Concepts of geomorphic theories :

نظرية الكوارث : لقد ارتبطت النظريات الجيومورفولوجية بالمفاهيم الجيولوجية . وهذه المفاهيم ارتبطت بالتغير المناخي الذي طرأ على الكرة الارضية . فطوفان نوح (ع) الذي ذكر في القرآن الكريم كان بسبب كارثة الفيضان والامطار الغزيرة ، حيث ارتبط ذلك بالعصر المطير . ان الماء الجاري من أهم العوامل الجيومورفولوجية التي تغير في شكل الأرض

نظرية الوتيرة الواحدة والتدرج الطبقي لهاتن :-

ففي سنة ١٧٨٥ طور هاتن نظريته المعروفة (بقانون الوتيرة الواحدة) Low of Uniformitatianism والتي ينص جوهرها على أن (الحاضر مفتاح للماضي) . أي أن العوامل الجيومورفولوجية التي عملت في الماضي هي نفسها التي تعمل الآن . وان الأشكال الأرضية التي تغيرت في الماضي هي نفسها تتغير الآن . كما أن هاتن من مؤيدي ارجاع أصل الطبيعة الصخرية الكرانيتية الى الصخور النارية في حين يعتقد (فونر) بأن أصل الكرانيت هو تفاعل كيمياوي حدث في الماء .

فالتغيير الجيومورفولوجي المتدرج يقصد به هاتن ذلك التغير الذي يطرأ على سطح الأرض وبدرجة بطيئة . حيث العوامل الجيومورفولوجية والقوى الجيولوجية تؤثر على هذا السطح باستثناء التغيرات المفاجئة (بسبب القوى الداخلية) . فالفتات الصخري المنقول بالماء الجاري يمكن ملاحظة تأثيره بسرعة خاصة بعد الفيضان مما يدحض نظرية هاتن .

والحالة نفسها على السواحل البحرية حيث الجزر والخلجان فالرمال الساحلية تترسب وتنجرف في كل موجة بحرية تقريباً .

فالصعوبات والمشاكل التي تواجه فرضية هاتن هي :

أ ـ الحت البحري .

ب ـ الحت المائي ـ مرحلة الترسيب والتعرية التي تتم في قاع النهر .

حـ ـ التجوية أو حركة الفتات الصخري هي الأخرى تعاني من فرضية هاتن .

د ـ بقايا الأشكال الأرضية (اطلال الأشكال الأرضية) وعلاقة هذه الأطلال بالأشكال الأرضية الحديثة وعلاقة التغير البيئي بها .

التأثير البيئي : أو كما يسمى أحياناً فرضية التدرج ، أو ذات الوتيرة الواحدة لهارلس لهل Leel وهاتن لقد شملت هذه الفرضيات رعاية من الآراء الجيومورفولوجية . وهذه الآراء لخصها وليم موريس ديفيز ١٨٩٩ بفلسفته المعروفة حول العصر الجليدي بأنها كارثة مناخية . لقد شارك كوتن آراء ديفيز الجيومورفولوجية عام ١٩٤٤ حيث ألف كتاباً باسم

« الكوارث المناخية » ، ان هذه الفرضية كما جاءت في كتاب كوتن ، حيث ناقشت آراء ديفيز على أن الأشكال الأرضية هي حصيلة التراكيب الجيولوجية Geological Structure والعوامل الجيومورفولوجية Geomph – Processes ثم عامل الزمن ، لقد فسر ديفيز عوامل الحت أو حت الأشكال الأرضية على أنها متغيرة لنقصان في الطاقة الحركية أو تأثير القوى على حركة الفتات الصخري ، وهذه القوة في ذهن ديفيز هي الماء الجاري . وتلخص هذه التأثيرات على أنها حصيلة العوامل التالية :

أ ـ التأثير البيئي المستمر . ويقصد به التغير الذي يطرأ في البيئة الرطبة من مطر ـ نباتات ـ تجوية كيمياوية ـ وأنظمة تصريف ماء .

حيث كان يطلق على مثل هذه البيئة تسمية البيئة الطبيعية أو البيئة القياسية . كان يصف النهر بأنه يبدأ بالجريان ثم يتغير بسرعة حيث تزداد كمية الماء ثم يتغير الى نهر كبير ـ وقد ذكر لنا اخوان الصفا مايلي :

ان الأودية والأنهار كلها تجري من الجبال والتلال وتمر في سيلها وجريان الى الأودية والأنهار والاجام والغدران . ثم ان الامطار والسيول تحط تلك الصخور والرمال الى بطون الأودية والانهار ويحمل ذلك شدة جريانها الى البحار والغدران والاجام .

والآن قارن بين الفلسفتين والفضل للأقدم طبعاً .

في سنة ١٩٠٥ طور ديفيز فلسفته حيث اعتقد بأن التغير المناخي المفاجيء حدث في البيئة الصحراوية .

ب ـ الحت المائي : ان الحت الميكانيكي الذي شرحه ديفيز هو حت المياه الجارية في مجاري الأنهار والتي تعمل على نقل المفتتات الصخرية ومفتتات التربة باتجاه المنحدر .

جـ ـ النهر المتعادل : لقد أثار موضوع النهر المتعادل جدل الباحثين فـ ديوري عام ١٩٦١ يرى أن موضوع النهر المتعادل موضوع معقد بالنظر لتغيره وعدم وضوحه في فترة معينة في حين لخصه ديفيز بأنه ذلك النهر الذي بلغ مرحلة البلوغ أو الشيخوخة وهي حالة تعادل بين الحت والترسيب . وعلى هذا فقد تبنى ديفيز فكرة التعادل التي اقترحها جيبرت عام ١٨٠٨ في حين وجد Kesseli عام ١٩٤١ أن فكرة التعادل مستحيلة وغير

عملية حيث لايمكن حصولها في الطبيعة . كما وجد العالمان ليوبولد ومادوك سنة ١٩٥٣ أن نظام الصرف النهري يميل لبناء حالة من التعادل بين شكل واديه من جهة وبين الفتات الصخري وكمية الماء النهري من جهة أخرى بينما وجد العالم وولمن ١٩٥٥ أن المقطع الطولي للنهر مقعر للأعلى الا أن هذا المقطع العام تتخلله منحدرات شديدة موضعية لذلك برزت فكرة حالة النهر شبه المتعادل .

في الختام يمكن تلخيص دورة الحت بالطبيعة على أنها تلك الدورة القياسية المثالية التي تحدث في البيئة الرطبة حيث التربة غنية بموادها العضوية ونشاط حركة الفتات الصخري على سفوحها ونضوج الشبكة المائية فيها .

وفي الختام فان أي نظرية ماهي الا افتراض أساسي لموضوع معين يرددها صاحبها . وبعد وليم موريس ديفيز أحد هؤلاء المنظرين . ان الحقيقة المثبتة للحت النهري الطولي تبدو واضحة في البيئة الرطبة أكثر من البيئة الجافة .

أما ثبوت وقياسية الدورة في مثل هذه البيئة فهو غير ثابت . ان ظاهرة تكوين التربة وحركة الفتات الصخري في البيئة الرطبة واضحة جداً . الا أن المنحدرات وأشكالها ومتغيراتها قد شذت عن نظرية ديفيز شذوذاً واضحاً . لقد كان ديفيز حذراً في تفسير نظريته للعوامل الأساسية أو أشكال المنحدرات ، على أنه كان أول جيومورفولوجي حاول أن يحلل الأشكال الأرضية وأن يقدر طبيعة تطور هذه الأشكال .

ان الهدف الأساسي لتطور شبكة الصرف المائي يحدد بالنهر المتعادل ، أما درجة تأثيره فأمر مشكوك فيه ، ان معظم أفكار ديفيز وتحليلاته تستحق الدراسة واعادة النظر فيها ومن ثم فان العلاقة بين تطور الأشكال الأرضية وعامل الزمن يجب اعادة النظر فيها أيضاً خاصة في البيئة الرطبة .

دورة التبطح في الطبيعة Pediplanation cycle .

وفرضية تريـــــن : (Trppen concept) .

لقد تبلور أول بديل لفرضية دورة الحت الديفيزية بعد ربع قرن من تاريخ ظهورها أي سنة ١٩٢٤ من قبل العالم الأوربي فالترينك فقد اعتمدت تحليلات بينك

للأشكال الأرضية على التقنية الحقلية والدراسات الجيومورفولوجية الكمية التي أخذت في تطبيقها معظم المدارس الجيومورفولوجية في العالم وتتلخص فيما يأتي :

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

٢ ـ يؤدي تراجع المنحدرات هذه الى تقعر الجزء الأسفل من السطح التحاتي وبهذه المناسبة فقد استعمل بينك اصطلاح سهل تحاتي Peneplain أو سطح شبه مستوي والذي نشير له في الوقت الحاضر باسم المدرجات النهرية أو التبطح أو سفوح الجبال Pediment, Pedmont, Terraces .

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

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

٥ ـ ان الميكانيك العام المسؤول عن تكوين الأشكال الأرضية ليست له علاقة في تباين المناخ المحصور بين الغلاف الهوائي والغلاف المائي لسطح الكرة الأرضية . لذلك فان الأشكال الأرضية المتعرضة لتأثير العوامل الخارجية لفترة طويلة أي (ميكانيك تربين) تسمى بالشواخص أو الجبال المنفردة Inselberg وتعرف باسم الطار Tor في البيئة الرطبة .

عرفت نظرية بينك فيما بعد بفرضية تربين نسبة الى الأشكال الأرضية المتدرجة التي تكونت بعامل التراجع ، ان أول فكرة نشرها بينك سنة ١٩٢٤ كانت باللغة الالمانية وترجمت الى اللغة الانكليزية عام ١٩٥٣ وقد انتقد ديفيز فرضية بينك عام ١٩٣٢ الا ان كنك King تبناها عام ١٩٥٣ وطرح فلسفة التبطح ، وهذه لاتختلف عن الجبال المنفردة (الجزر الجبلية) . يتبين مما تقدم ان فلسفة King تشبه الى حد كبير فلسفة ديفيز ، الا أنها أكثر مطابقة لفلسفة بينك التراجعية . لقد تبنى كنك فكرة المنسوب القاعدي أو

مستوى القاعدة على أساس أنه الحد الأقصى للحت الذي يكون سطح التعرية . وبهذه المناسبة نشير الى أنه العامل المستعمل في النهر المتعادل وعلى هذا فان كنك أكد على فكرة العمليات Processes والزمن Stage والبنية Structure بينما تتلخص فكرة ديفيز :

البنية Structure .

العمليات Processes .

الزمن Stage .

لذلك يمكن تلخيص فلسفة King بما يلي :

١ ـ تحدث كنك عن المرحلة المتقدمة لتعميق النهر .

٢ ـ ان الرفع البنائي كما ذكره كنك يتبع فقرة تعميق النهر دون أن يتطرق الى كمية الماء الجاري للنهر مما يؤدي الى قطع هذا الرفع . ففي سنة ١٩٦٣ لاحظ شورم Sehurm أن معدل الحد الأدنى للتعرية في الأحواض المائية للبيئة الرطبة يتراوح بين ٣ ـ ١٠ سم لكل ١٠٠٠ سنة وان معدل الحد الأقصى للتعرية في البيئات المتأثرة بحركات الرفع التي يصل معدلها حوالي ثمانية أمتار خلال ألف سنة تقع بحدود ٩١ سم . ولقد لخص فرضيته بأن شكل منحدرات السفوح له علاقة بالانحدار وبسرعة حت الوادي الذي يعكس أو يعارض سرعة الرفع .

٣ ـ أكد كنك امكانية نشوء عوامل التبطح Pediplan a Dion processes في البيئات الرطبة والجافة وشبه الجافة .

الا أن الواقع المورفولوجي يناقض فكرته اذ كيف تفسر التغير المناخي وماهو تأثير هذا التغير على الأشكال الأرضية من ترسيب وتعرية . ولو كان هذا صحيحاً لوجب علينا أن نجد بعض اطلال هذه الأشكال الأرضية . فشكلة الاطلال أو كما تسمى أحياناً آثار الأشكال الأرضية لأن التغير المناخي يكون أشكالاً أرضية مختلفة حيث تعد من أهم الشواهد في الجيومورفولوجيا لأن الظواهر الجيومورفولوجية المتكونة في ظروف بيئية حتية يمكن اعتبارها بيئة مقاومة أو معاكسة يمكن اعتبارها اطلال لمثل هذه الظروف .

فلو حاولنا تطبيق فلسفة هاتن للتوافق على هذه الظاهرة فان العوامل الجيومورفولوجية الحالية السابقة هي غير مانراها الآن أي أن فلسفة الحاضر مفتاح الماضي تبدو صحيحة فقط عندما تشاهد أو نلاحظ أطلال الأشكال الأرضية القديمة وعليه فأن الحالة ستختلف في حالة وجود مثل هذه الأطلال . يبدو واضحاً أن اصرار ديفيز على أهمية البيئة الرطبة أو الجافة ليس له ما يبرره وخاصة بالنسبة لاطلال الأشكال الأرضية مالم يحدث هناك تناوب بين المناخ الحار والمناخ البارد بين فترة وأخرى . وعلى العكس فان كل بيئة تبقى محافظة على صفاتها ومواصفاتها ، ومعنى ذلك أن الأشكال الأرضية تبقى كما هي ومن يدري أن المناخ العالمي خلال العصور الجيولوجية لم يتغير ؟ قيل أن هناك بحيرات كبيرة في مكان ما من العالم هي الآن صحراء كما هو الحال في الجنوب الغربي من امريكا الشمالية . كما وان ادلة كثيرة طرحها كوتن Cotton عام ١٩٦٨ عن تربة اللاتريت Laterite والتي هي تربة استوائية رطبة حفظت تحت (اللاڤا) اللابه الانسيابية في وسط الصحراء الغربية في شمال افريقيا .

كما وأن الوديان الجافة في الصحراء الغربية العراقية هي الأخرى أطلال لأنهار كانت تجري في يوم ما وكذا الحال في صحراء اتكاما في بيرو وصحراء كلفورنيا .

ان النظرة الثانية لمثل هذه البيئة الجافة وجود بحار الرمل التي تعرف بالعرق Erg وهي رمال تغطي مساحات شاسعة تصل الى آلاف الكيلومترات المربعة وتكثر في الصحراء الغربية من مصر العربية والجزائر .

ان المساحات الشاسعة للرمال المتحركة المغطاة بالكثبان الرملية دليل على ظاهرة الجفاف وخاصة عندما يحتوي هذا الرمل على حبات الكوارتز المكورة والصقيلة والمنسقة والمتشابهة Frosted أي الجليدية المنشأ والمتأثرة بالعوامل النهرية .

وهناك دليل آخر على البيئة الصحراوية هو وجود تجمعات واسعة من الطين والحجر الرملي المتجوي بطريقة ميكانيكية (آركوز Arkos) والموجود بكميات كثيرة في المناطق الاستوائية الواطئة حيث انعدام الانجماد كأحد العوامل الأساسية للتجوية الميكانيكية ، ان معظم صخور الاديم Bed - Rock قد ذابت وتحللت كيماوياً ، وقد لاحظ الباحثون ومنهم تريكا Tricat ١٩٧٥ وداموث ١٩٦٥ وفهربرج ١٩٧٥ أن كل هذه الأشكال الأرضية السابقة تكونت في بيئة غير بيئتها الحالية كما هو الحال في تربة اللاتريت في الصحراء الغربية بالقطر العراقي أي أنها تكونت ونشأت في بيئة مضادة أي أنها اطلال أو بقايا لظروف مناخية وبيئية قديمة .

ومن البديهي أن هذه الأطلال تعكس تغيراً مناخياً وبيئياً . وهنالك مئات الأمثال على بقايا أطلال الأشكال الأرضية المنتشرة في الطبيعة . ومن هذا نستنتج أن المناخ والبيئات تتغير باستمرار والا فان الاطلال التي ذكرناها سابقاً بقيت محافظة على بيئاتها التي تكونت فيها أي عكس البيئة الحالية .

أما نظرية المنظومات العامة فانها تعتمد على طبيعة البيئات التي ذكرناها سابقاً والتي ناقشنا فيها الأشكال الأرضية ونشاطاتها الجيومورفولوجية لأنها تضم عادة المنظومات العامة الطبيعية . ان نظرية هذه المنظومات تساعدنا على فهم المتغيرات التي تطرأ على هذه المنظومات .

ان المشاكل التي تواجهنا هي تأثير هذه التغيرات وتكرارها على نظرية الوتيرة الواحدة لهاتن وكما ذكر لنا هاورد ١٩٦٥ Howard فان نظرية المنظومات العامة ماهي الا مجموعة فرضيات متكاملة ، الا أن سمولي فيتافيزي عام ١٩٦٩ Smalley Fvita Finzi اعترض على استخدام هذه النظرية في الجيومورفولوجيا لأنها تحتاج الى متغيرات متعددة مثل البيئة وقوة العامل والناتج .

ان العاملين في التفاعلات الحرارية والثيرموداينمك يدركون ما المقصود بالأنظمة المفتوحة والأنظمة المغلوقة ، Open system, and closed System .

فالأنظمة المغلوقة في مفهوم قوانين الثيرموداينك معناه الطاقة الثابتة الأولية التي يمكن أن تستعمل تدريجياً خلال فترة النظام . ان مثل هذه الحالة تعرف بالعامل

الرياضي فهو ذو فائدة في نظام دينامي حراري فالنموذج الجيومورفولي الكلاسيكي لمثل هذا النظام يقع ضمن دورة الحت الجيومورفولوجية ، كما يمكن القول بأن فلسفة ديفيز لم تكن نظاماً مغلوقاً .

أما النظام المفتوح فانه يضم التسرب الحراري والطاقة خلال تبادل أجزاء الجهاز عندما يكون توازناً في الطاقة الداخلة والطاقة الخارجة هذه هي حالة التوازن أو الحالة الثابتة . ومن الجدير بالذكر أن جميع الأشكال الأرضية تتكون في مثل هذه الظروف ان مثل هذه الفرضية تنطبق على الأفكار الكلاسيكية لشتراهلر ١٩٥٠ Strahler وجولي ١٩٥٠ Cholley .

الأنظمة الجيومورفولوجية : ان اهتمامنا في الوقت الحاضر ينحصر في الأنظمة الطبيعية المسؤولة عن الأشكال الأرضية التي تتفرع منها أنظمة أخرى فرعية كالأحواض النهرية أو حتى متغيرات هذه الأحواض ، ففي سنة ١٩٥٨ اقترح كوتن Cotton فكرة الأشكال الأرضية الحتية كسطوح التعرية وتطورها ، أما الأشكال الأرضية الرسوبية التي سميت فيما بعد بالمورفوجينات Morphogenetics فهي نظام الأشكال الأرضية التي عرفها كوتن Cotton بأنها مجموعة عوامل تتفاعل تحت ظروف مناخية معينة مكونة أشكالاً أرضية معينة . بما أن مصطلح الجيومورفولوجيا يضم أيضاً أصل ومنشأ الأشكال الأرضية وعليه فأن كلمة Morphogenetics معناه جيومورفولوجي) لذلك سنستعمل مصطلح الأنظمة الجيومورفولوجية من الآن فصاعداً وان اصطلاح مورفوجنس Morphogencis هو إصطلاح يطلق على الأشكال الأرضية المتكونة بواسطة الأنظمة الجيومورفولوجية وعليه يمكن طرح هذين السؤالين :

١ ـ كم من الوقت يستغرق نقل شكل معين من الأشكال الأرضية الى مكان آخر ؟
٢ ـ ماهي درجة تغير المناخ وماهي فترتها أو شدتها أو تكرارها ؟

وللاجابة على هذين السؤالين نحتاج الى تجارب عملية ، فلو أخذنا ٥٠ غم من طبقة الدولومايت المتحجرة وسحقناها وأخذنا ١٥٠ غم من فتات المادة ووضعنا المسحوق والفتات في قدح وأضفنا اليه ٢٠٠ ملغرام من حامض HCl المركز فان كاربونات

الكالسيوم تذوب بالحامض ويتحرر غاز ثاني أوكسيد الكاربون CO^2 من التفاعل ، ويمكن اضافة الحامض تدريجياً لغرض تهيئة بيئة التفاعل الكيميائي كما في المعادلة التالية :

$$CaCO^3 + 2HCl \longrightarrow CO^2 + H^2O + CaCl^2$$

ولو حاولنا دراسة هذه البيئة الكيميائية الصغيرة لوجدنا تغيرات في الطاقة الحرارية وان اللاتوازن في النظام الكيميائي في التفاعل يبدو واضحاً في حالة نقصان كمية الحامض .

تتوضح سرعة تحرر غاز CO^2 من التفاعل الكيميائي الناتج من النظام الطبيعي غير المتوازن والظروف الديناميكية المتعادلة الناتجة من التفاعل .

فعندما لانستطيع قياس سرعة التغير الزمنية لغاز ثاني أوكسيد الكربون CO^2 تتكون حالة الركود Steady State أو حالة الاستمرارية . ويمكننا أن نرسم خطاً بيانياً لتحرير الطاقة من هذا التفاعل . فلو حاولنا تطبيق هذا النموذج على الأطلال (بقايا سطوح حتية) من الحجر الجيري معتمدين على التغير المناخي والبيئي في تكسير وتفتيت الصخور في الطبيعة فما هي الفترة الزمنية لتفتيت هذه الأطلال اذن ؟

وخلاصة القول يمكن اعتبار عوامل الأشكال الأرضية على أنها نظام مفتوح دون أن تمر بحالة الاستقرار (هذا معناه عدم تغير في التضاريس) التي تحدث عندما تكون الظروف الخارجية والداخلية ثابتة فقط وقلما يحدث ذلك في الطبيعة .

وحتى لو تصورنا ثبوت المناخ وهدوء النشاط التكتوني (التشكيلي) فيحدث التغير في التضاريس أيضاً ويرافق ذلك فقدان الطاقة في هذا النظام .

ونتيجة لذلك تحصل على تطور تدريجي للأشكال الأرضية وهذا ماتفسر به جيومورفولوجيا منطقة الرطبة حيث تطلق على الطية المحدبة هناك تسمية التضاريس السالبة .

٢ ـ ٨ ـ علم التقويم الجيولوجي والمناخ القديم للعصر الرباعي :
Geochronology and Quaternary Paleoclmatalogy

خلال العقدين الأولين ومنتصف القرن العشرين ومنذ فكرة كنك King للبيدبلين (سطح التبطح) تطورت سجلات التغيرات المناخية المختلفة وكذلك تقنية التقويم المناخي بالطرق الاشعاعية . فالعلاقة بين اليورانيوم الى الرصاص أو الى عنصر آخر بحساب نصف العمر الزمني لها لم يستعمل كثيراً في الجيومورفولوجي اذ قد استعمل الكاربون ١٤ في تحديد الأعمار الزمنية للمواد العضوية حيث قدر عمرها بحدود ٥٠ر٠٠٠ سنة وقد استعمل الاوكسجين ١٨ في تحديد الأعمار حيث حدد بـ ١٧٥ر٠٠٠سنة كما استعمل البوتاسيون ٤٠ الى الارغون ٤ أيضاً في تحديد التقويم الجيولوجي وأخيراً استعمل البوتاسيوم ٢٣١ الى الثوريوم ٢٣٠ في تحديد التقويم الجيولوجي Pa ٢٣١ / Th ٢٣٠ وقد استعمل البوتاسيوم ارغون في تحديد المتحجرات قبل ظهور الانسان والتي تقدر بـ ٢ ـ ٣ مليون سنة .

ان تقنية التقويم الجيولوجي المطلق استعملت في تحديد بعض الظواهر الجيومورفولوجية الحديثة الا أنها محددة ببعض المتغيرات . ان مقياس الزمن له عدة فجوات وخاصة خلال فترة العصر الجليدي ونهاية العصر الثلاثي حيث الترسبات القارية ، وقد ساعدنا الغبار البركاني والمغناطيسية القديمة في تحديد علم التقويم الجيولوجي .

هناك نوع خاص من الفورامينفرا العالقة Planktonic Forameni Fera أو القواقع الأرضية أو الفقريات أو السبورات أو حبوب الطلع قد استعملت في تحديد الأعمار الجيولوجية ، لها أهمية تاريخية وان معظم هذه المتحجرات تتأثر بالتغير الحراري وبعضها حساس بحيث يستعمل كدليل على نوع بيئات معينة .

ان علماء البحار وعلماء البايولوجية البحرية غالباً مايستعملون التتابع الزمني للتغير الحراري للماء وربط ذلك بدرجة حرارة اليابسة . وبهذا الصدد فانه لم تثبت لحد الآن امكانية مقارنة درجة حرارة ماء المحيط المتجمد (صفر) بدرجة اليابسة الباردة أو بدرجة الهواء البارد الملامس له .

وهنالك عدة طرق استعملت من قبل الجيومورفولوجيين لتحديد عمر البيئة منها الحفر الذي جرى في جزيرة كرين لاند والقارة القطبية المتجمدة وقد تبين أن مناخ هذه البيئة ودرجة حرارتها قد تغيرا خلال الـ ١٠٠ر٠٠٠ سنة الماضية كما أن التغير العشوائي للمغناطيسية الأرضية وعكس هذه المغناطيسية ساعد في اعداد جدول تقويمي للمغناطيسية القديمة ، أما التتابع الطبقي فله السهم الأوفر في تحديد الأعمار الجيومورفولوجية .

سجل المناخ القديم للعصر الرباعي :

ان تفاصيل المناخ القديم للعصر الرباعي تتلخص بما يأتي :

١ ـ التغير المستمر للمناخ ودليله التغير المتتابع للمناخ الجليدي وللفترات الجليدية . كما وان هنالك أدلة وافية على وجود تغير جليدي في نهاية العصر الثلاثي .

٢ ـ انتشار هذا التغير على رقعة جغرافية واسعة .

٣ ـ يشمل هذا التغير الاختلاف في البيئات وتقدر فترة العصر الجليدي بحوالي ٢ ـ ٥ر٢ مليون سنة فخلال العصر الرباعي كانت هنالك أربعة مراحل من مراحل التتابع الجليدي والتي تركت أثراً كبيراً في النصف الشمالي من الكرة الأرضية وكذلك كانت في أوربا ثمانية أو عشرة مرات تغير فيها المناخ خلال ٥ر٢ مليون نسمة من العصر الجليدي وقد بلغ ذلك بمعدل كل ٢٥٠ ألف سنة .

التتابع في اوربا وآسيا	التتابع في شمال امريكا	العمر المطلق بآلاف السنين
الحديث العمر	الهولوسين	
بعد الجليدي	العمر	
		١١
عمر فورم الجليدي	عمر وسكونسن الجليدي	٤٥
		٦٠
الجليدي الثالث	عمر السنيموني بين الجليدي	
		١٠٠
عمر ريس الجليدي	الالينوي الجليدي	
الجليدي الثاني	عمر يرموث بين الجليدي	
عمر منذل الجليدي	الكنساسي الجليدي	
عمر بين الجليد الأول	الافتونسي	
		٣٣٠
جونز الجليدي	التبراسكي الجليدي	
		٤٥٠

الأوسين الحديث

الأوسين الأوسط

الأوسين القديم

يشير الجدول السابق الى أن العمر الجليدي الأول (جونز) قد انتهى بحوالي ٣٣٠ ألف سنة ، وتدل دراسات تحديد العمر المطلق من الرسوبيات النهرية للدور الرابع على أن أقدم هذه الرسوبيات لايزيد عمرها على مليون سنة ، لذلك كان يظن أن الدور الرابع قد ابتدأ منذ مليون سنة تقريباً . الا أنه بعد ضم الرسوبيات البحرية والقارية التي حوت أدلة على انخفاض درجات الحرارة بشكل كبير جداً خلال المناخات السائدة على سطح الأرض وخاصة في نهاية عصر البليوسيني مثل رسوبيات طبقات الفيلافرانشي القاري أو الطابقيني الكلابري والصقلي البحريني للدور الرابع فقد حدد بالباحثين الى تحديد بداية هذا العصر بمليونين أو ثلاثة ملايين سنة تقريباً .

الفصل الثالث

الكون والمجموعة الشمسية

٣ ـ ١ ـ أصل الأرض :

لقد أشرنا سابقاً الى أن التطور الحديث في علوم الأرض ساهم في تعميق كثير من المفاهيم الخاصة بالعلوم الجيولوجية الكلاسيكية . ومن أهم معالم هذا التطور توضيح علاقة الكرة الأرضية بالكون . وسوف يتضمن جزء هام من هذا الفصل عرضاً عاماً لبعض المفاهيم الأساسية الخاصة بالكون والناتجة عن المشاهدات الفلكية التي تؤدي الى التعرف على الأجسام السماوية المختلفة وخواصها . وقد تمكن العلماء من خلال التحليل الطيفي Spectral analysis للضوء المنبثق أو المنعكس من الأجسام السماوية (النجوم والكواكب وغيرها) من تحديد بعض صفات هذه الأجسام مثل تركيبها الكيميائي ودرجة حرارتها وسرعة حركتها النسبية بعضها لبعض أو بالنسبة للكرة الأرضية . وفي كثير من الأحيان يمكن أيضا تحديد كثافة وحجم هذه الأجسام وبالاضافة الى ذلك يمكن استعمال الطرائق الفلكية الكلاسيكية في تحديد المسافات بين الأجسام السماوية المختلفة .

أما مناقشة الطرق الفلكية المتبعة في تحديد صفات الأجسام السماوية فهي خارج نطاق هذا الكتاب وسوف نقتصر في هذا الباب على عرض نتائج المشاهدات الفلكية التي تؤدي الى تصنيف وتعريف الأجسام السماوية الهامة . وهدف هذا العرض توضيح وضع الكرة الأرضية في الكون .

ويمكن من خلال نتائج المشاهدات الفلكية وضع نظريات تشرح تكون الكرة الأرضية والمجموعة الشمسية . ومما يدعم اعتقاد بعض العلماء في هذا المجال وضع نظريات لتكوين الكواكب والنجوم تطبق نظرية الوتيرة الواحدة لهاتون على المشاهدات الفلكية . فيعتقد الكثير من العلماء بأن الشمس ومجموعة الكواكب الخاصة بها مرت بعدة مراحل أثناء تاريخها ، وان جميع النجوم الشبيهة بالشمس تمر بمثل هذه المراحل . ولكن هذه النجوم لاتمر بنفس المراحل في الوقت نفسه ، بذلك يمكن مشاهدة نجوم ذات مستويات مختلفة من التطور في نفس الوقت في الكون ، حيث ان العوامل التي كانت

تسود في مرحلة من مراحل تكون الشمس والمجموعة الشمسية هي نفس العوامل التي يمكن أن تسود الآن في الكون عند النجوم التي تمر بنفس الظروف التي مرت بها الشمس سابقاً . ولذلك سوف يتعرض هذا الفصل ، بعد عرض نتائج المشاهدات الفلكية التي تؤدي الى تصنيف الأجسام السماوية ، الى النظريات الخاصة بتكوين الكون والنجوم والكواكب بصفة عامة والشمس والمجموعة الشمسية بصفة خاصة . وعند وضع نظرية تكون الأرض يجب مراعاة الكثير من الصفات المميزة لهذا الكوكب ومن أهم هذه الصفات التركيب الغلافي للأرض .

فقد تبين أن الأرض تتكون من عدة أغلفة بعضها غازي وبعضها سائل والبعض الآخر صلب ، وتعرف العلماء على أغلفة الكرة الأرضية بطرائق جيوفيزيائية مختلفة . وهذه الطرائق لاتخص علم الفلك ، ومن أهمها دراسة الزلازل للتعرف على الأغلفة الصلبة للأرض . وسوف نتعرض لدراسة الزلازل بالتفصيل في فصل قادم من هذا الكتاب أما في هذا الفصل فسوف نكتفي بعرض نتائج الدراسات والمشاهدات الجيوفيزيائية في تحديد الأغلفة المختلفة للكرة الأرضية وسوف نبين كيف يمكن ربط هذه النتائج ببعض المشاهدات عن الأجسام السماوية الصغيرة التي تتساقد على سطح الأرض (النيازك Meteorites) لتحديد التركيب الكيمائي والمعدني للأغلفة الصلبة السفلى للكرة الأرضية والبعيدة عن نطاق المشاهدة المباشرة .

أما في نهاية هذا الباب فسوف نربط بين المشاهدات عن الأجسام السماوية البعيدة (النجوم والكواكب ومثيلاتها) والأجسام السماوية الصغيرة التي تتساقط على الأرض (النيازك) والتركيب الغلافي للأرض من أجل مناقشة بعض النظريات المهمة التي يقدمها العلماء في محاولات لتفسير تكون الكرة الأرضية والمجموعة الشمسية والكون .

٣ ـ ٢ ـ المشاهدات الفلكية :

الأجسام السماوية البعيدة :

الكون يحتوي على مادة وطاقة . وتظهر الطاقة عموماً في الكون على هيئة ضوء أو حرارة أو حركة أو أشعة كونية . أما المادة فمن أهم مظاهرها في الكون النجوم والكواكب والشهب والسحابات الغازية أو النارية .

السدم والمجرات :

تتكون السحابات الغازية التي يمكن مشاهدتها في الكون في معظم الحالات من غاز الهيدروجين . ويحتوي الفراغ الواقع بين الأجسام السماوية المختلفة على الهيدروجين بنسبة ضئيلة جداً . فيقدر العلماء الكثافة الهيدروجينية الواقعة بين المجموعة الشمسية والنجوم الأخرى بذرة واحدة في السنتيمتر المكعب . أما السحابات الغازية فكثافتها أكبر من ذلك بكثير . وتغطي أحيانا هذه السحابات الغازية مساحات شاسعة تقدر بعدد من السنين الضوئية والسنة الضوئية Light Year هي وحدة قياس المسافات الكونية وهي تمثل المسافة التي يعبرها الضوء في سنة واحدة علماً بأن سرعة الضوء ٣٠٠ر٠٠٠ كيلو متر في الثانية ، وتتكون بعض السدم Nebulae (ومفردها سديم nebula) من مثل تلك الكتل الغازية أو الغبارية ومن الأمثلة الشهيرة للسدم الغازية أو الغبارية سديم السرطان Crab nebula الذي تكون نتيجة لحدوث انفجار نجمي عظيم في عام ١٠٥٤ م وتعرف هذه الانفجارات العظيمة للنجوم باسم السوبر نوفا Supernova ، ويلاحظ حينئذ ان النجم يشع آلاف المرات مثل اشعاعه العادي في فترة قصيرة من الزمن لاتتجاوز عدداً قليلاً من الأيام ، وبعد ذلك يختفي النجم تماماً ، ولكنه أحياناً يترك سحابة غازية أو الغبارية مثل سديم السرطان . (١)

والسديم لفظ يستعمله الفلكيون للاشارة الى جسم سماوي يختلف عن النجم في مظهره . فالنجم عبارة عن نقطة مضيئة ليس لها حجم ملحوظ عند النظر اليها في التليسكوب . أما السديم فله حجم واضح وشكل معين منتظم أو غير منتظم . وتبين بعد

ذلك ان بعض السدم كتل غازية أو كتل من الغبار قريبة نسبياً من الشمس ، ولكن هناك سدم أخرى تتكون من عدد هائل من النجوم تقع على أبعاد شاسعة من الأرض ويطلق على هذه السدم المكونة من نجوم اسم المجرات Galaxies .

وسديم السرطان جسم سماوي صغير نسبياً ، انما السديم الكبير Great nebula كوكبة اوريون Constellation of Orion فهو أكبر من ذلك بكثير . ويطلق الفلكيون لفظ « كوكبة » Constellation على مجموعة من النجوم المترتبة ترتيباً خاصاً ومميزاً يمكن التعرف عليها نتيجة هذا الترتيب وتستعمل (الكوكبات) في علم الفلك لتحديد اتجاهات الكون والتعرف على أماكن النجوم . وقد تبين أن نجوم الكوكبة الواحدة تتحرك حركة بطيئة بالنسبة لبعضها البعض . ويمكن تحديد هذه الحركة التي تسير في شكل الكوكبة . ويستعمل المؤرخون أحياناً هذه الظاهرة لتحديد عمر بعض الآثار التي تشير الى شكل الكوكبات .

والنجوم أبرز المظاهر الفلكية للمادة وهي تقع عادة في مجاميع تحتوي على الآلاف من هذه الأجسام وتسمى هذه المجاميع « مجرات » (ومفردها مجرة Galaxy) . والشمس نجم يقع في مجرة تعرف باسم طريق التبانة أو الطريق اللبني Milky Way ومعظم النجوم المكونة لطريق التبانة مركزة في منطقة قرصية رقيقة نسبياً منفتحة في الوسط . وتقع الشمس في وسط احد الأطراف الدقيقة لهذا القرص . ولكن تحتوي هذه المجرة أيضاً على نجوم قديمة جداً تنتشر حول هذا القوس بكثافة قليلة حيث ان الشكل العام للمجرة يكون كروياً اذا اعتبرنا النجوم القديمة وجزءها القرصي كروياً . ولكن لاتوجد النجوم الحديثة الا في مستوى القرص ذي الكثافة الكبيرة من هذه الأجسام السماوية .

ويبلغ قطر قرص مجرة طريق التبانة حوالي ١٠٠ر٠٠٠ سنة ضوئية وتدور نجوم هذه المجرة حول محور يمر بمركز القرص ، ويقدر العلماء أن الشمس ، التي تبعد ٣٠ر٠٠٠ سنة ضوئية عن مركز المجرة ، تكمل دورة واحدة حول هذا المركز في فترة زمنية تساوي ٢٠٠ مليون عام . وتعادل القوى الطاردة المركزية الناتجة عن دوران النجوم حول مركز المجرات قوى الجاذبية بين الأجسام السماوية . ويظن العلماء أن هذا الدوران يمنع النجوم من السقوط في مركز المجرات ومن الامتزاج بعضها ببعض . وأقرب مجرة لطريق التبانة مجرة تسمى السديم الكبير في كوكبة اندروميدا The Great nebula in Andromeda

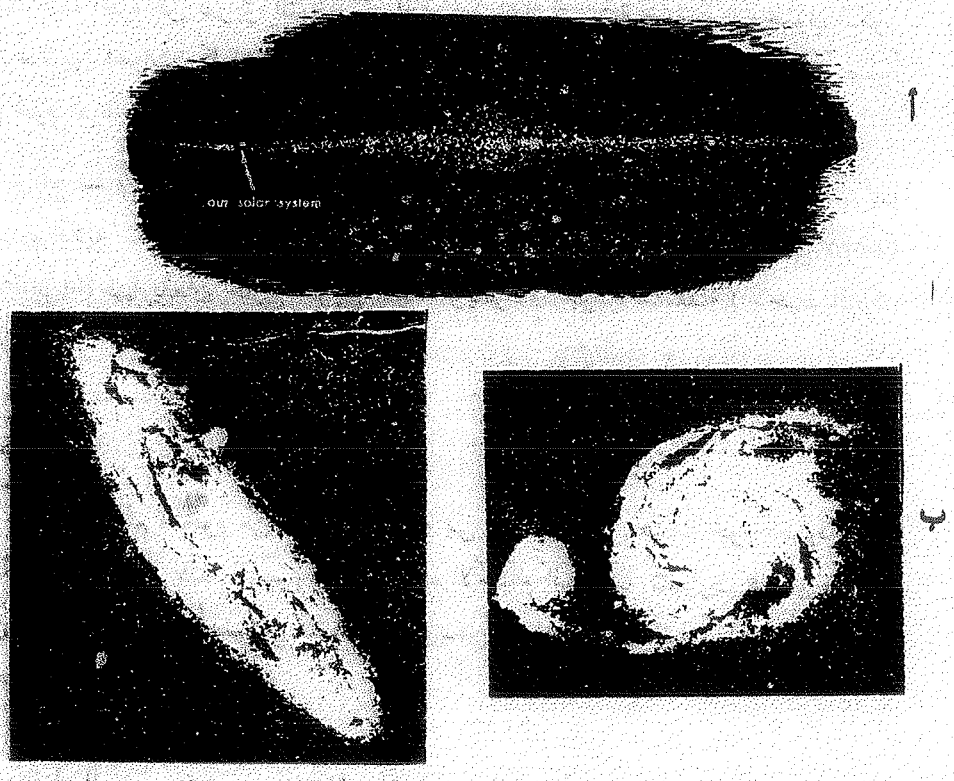
وتبعد هذه المجرة عن طريق التبانة مسافة نصف مليون سنة ضوئية . ويحتوي الكون على ملايين المجرات وكل مجرة تحتوي على ملايين النجوم وليست الشمس الا نجماً صغيراً من نجوم مجرة من أصغر المجرات في الكون العظيم .

ويقع سديم السرطان والسديم الكبير لكوكبة أوريون داخل طريق التبانة . أما السديم الكبير لكوكبة اندروميدا والسديم الكبير لكوكبة كوما بريينيس Coam Barenices فهما يقعان خارج طريق التبانة ويكونان مجرات مستقلة (لاحظ الشكل ٣ ـ ١) .

النجوم :

تتكون معظم النجوم من كميات متقاربة من المادة . فليس هناك نجوم معروفة ذات كتلة تقل عن عشر كتلة الشمس . ولكن هذه الأجسام السماوية تتفاوت في كبرحجمها ومن ثم فهي تتفاوت أيضاً في كثافتها . ويمكن التعرف على ثلاثة أنواع أساسية من النجوم من حيث حجمها :

١ ـ الأقزام البيضاء White dwarfs ، وتقارب حجومها حجم الأرض ، وكثافة هذه النجوم عالية جداً ، حيث ان سنتمتراً مكعباً واحداً من مادة هذه النجوم يمكن أن يزن أكثر من مائة كيلوغرام .
٢ ـ النجوم المتوسطة البيضاء أو الصفراء ، ومنها الشمس .
٣ ـ النجوم الضخمة الحمراء Red Giants ومن أمثلتها نجم انتاريس Antares ويزيد قطر الواحد من هذه النجوم على خمسمائة مليون كيلومتراً ، وهي مسافة يمكن أن تضم الشمس ومدارات مجموعة الكواكب الداخلية لها (عطارد ☿، الزهرة ، الأرض ، والمريخ) وتبلغ كثافة النجوم المردة الحمراء ١ / ١٠٠٠ من كثافة هواء الأرض فوق سطح البحر .



شكل (١٠٣)

ربع التبانة (الدرب اللبني) - سديم كبير

وهناك علاقة بين درجة حرارة اسطح النجوم وألوانها . فدرجة حرارة النجوم البيضاء والزرقاء (والأخيرة نوع من النجوم البيضاء الاقزام) مرتفعة للغاية حيث أنها تصل الى ٣٠٠ر٢ درجة مئوية ، وتلي ذلك درجات حرارة النجوم البيضاء فالنجوم الصفراء ، أما النجوم الحمراء فهي أقل حرارة ، وتقل حرارتها عن ٣٠٠٠° مئوية . أما درجات الحرارة في باطن النجوم فتقدر بملايين الدرجات . ويعتقد بعض العلماء ان الحرارة في باطن الشمس تصل الى ١٤ مليون درجة وان الضغط هناك يساوي بليون ضغط جوي . وتؤدي هذه الظروف الرهيبة الى تغيرات جذرية في طبيعة المادة التي نعرفها على سطح الأرض ، فتكون العناصر مجردة من الالكترونات باستثناء بعض الالكترونات الواقعة في المدارات الداخلية للذرات (انظر مايلي في شرح المدارات والالكترونات) . وهذه الظروف تعمل على تحرك الذرات بسرعات فائقة تؤدي الى تصادم نوى الذرات بعضها ببعض . ويؤدي هذا أيضاً الى حدوث مايسمى بالتفاعلات الذرية . وينتج عن هذه التفاعلات ارتباط نواتين لذرتين خفيفتين وهذا يؤدي الى انطلاق كمية من الطاقة حسب معادلة اينشتاين Einstein الشهيرة $E=mc^2$. وفي هذه المعادلة تكون E الطاقة المنطلقة و m الكتلة المفتوحة و c سرعة الضوء . والطاقة المنطلقة نتيجة لمثل هذه التفاعلات تنبثق على هيئة ضوء وحرارة وأشعة كونية وهي السبب في المظهر المضيء للنجوم . ومعظم الطاقة المنبثقة من الشمس مثلاً ناتجة عن اتحاد ذرتين من الايدروجين لتكوين ذرة من الهيليوم لأن الايدروجين أكثر العناصر انتشاراً في الشمس . ويقدر العلماء ان في الشمس وقوداً من الايدروجين يتيح لها ان تشع لمدة خمسة ملايين سنة قادمة . أما كمية الهيليوم الموجودة في هذا الكوكب فتشير الى أن الشمس بدأت بالاشعاع منذ خمسة بلايين سنة على وجه التقريب .

ويقدر العلماء ان النجوم تتكون نتيجة لانكماش سحابات غازية أو غبارية مثل السديم الكبير في كوكبة اوريون . وسبب هذا الانكماش فعل الجاذبية التي تؤدي الى تركيز المادة نحو مركز السحابة . وحينما يصبح الضغط داخل المادة المنكمشة للسحابة عالياً بحيث يسمح ببدء التفاعلات الذرية المشار اليها سابقاً يبدأ الجسم السماوي بالاشعاع مكوناً نجماً . وتؤدي الطاقة المنبثقة من النجم الى نشوء ضغط يتحرك نحو الخارج فيقيم توازناً مع تأثير قوى الجاذبية . وحينما تنفذ كمية الايدروجين المغذية للتفاعل الذري

المسؤول عن تكوين النجم يعود هذا النجم الى الانكماش ويزداد الضغط في داخله وهكذا تتهيأ الظروف للبدء في نوع آخر من التفاعلات الذرية . ففي هذه الحالة تتحد ذرات أثقل من ذرات الايدروجين بعضها ببعض اتحاداً نووياً مؤدياً الى انطلاق كميات من الطاقة أكثر من تلك المنبثقة في المرحلة السالفة . وتفوق هذه الطاقة الجديدة قوى الجاذبية في النجم وتؤدي الى تمدده وازدياد حجمه حتى يصير نجماً ماردا أحمر . ولكن الفترة الزمنية التي يقضيها النجم على هيئة نجم مارد أقل من الفترة التي يقضيها على هيئة نجم متوسط أبيض أو أصفر . وهناك علاقة بين الفترة الزمنية التي يقضيها أي نجم في المراحل المختلفة من تطوره وكمية المادة المكونة له . وكلما زادت كمية مادة النجم زاد معدل ارتفاع ضغطه الداخلي وتسارعت أيضاً التفاعلات النووية التي تتسبب في تطور النجم ، وذلك يؤدي الى نتيجة غريبة وهي أن عمر النجوم الكبيرة أقل من عمر النجوم الصغيرة وبخاصة في مراحل تطورها الأولى . وبعد الانتهاء من مرحلة المارد الأحمر نتيجة لنفاذ الوقود المغذي للنوع الثاني من التفاعلات الذرية في قلب النجم يعود النجم مرة أخرى الى الانكماش ويتحول الى قزم أبيض أو أبيض - أزرق ويصحب هذا الانكماش انطلاق كميات هائلة من الطاقة الضوئية في فترات قصيرة من الزمن لاتتعدى بضعة أيام أو أسابيع . وهذا يؤدي الى الظاهرة المعروفة لدى الفلكيين باسم النوفا nova . ويطلق هذا الاسم على ظهور نجم براق في السماء لمدة بضعة أيام ، وبعد ذلك يختفي النجم أو يقل اشعاعه بطريقة ملحوظة . أما النجوم التي تحتوي على كميات كبيرة جداً من المادة فهي بعد المرور بمرحلة المارد الأحمر تنفجر انفجاراً مريعاً أثناء مرحلة انكماشها ويؤدي هذا الانفجار الى ظاهرة السوبر نوفا Supernova السالفة الذكر . ويكون اشعاع السوبر نوفا أقوى عشرات آلاف المرات من اشعاع النوفا العادية . ويؤدي انفجار السوبر نوفا الى فقدان حوالي نصف كمية مادة النجم على هيئة غاز أو غبار . ويظن العلماء ان سديم السرطان ناتج عن انفجار سوبر نوفا حدث في ١٠٥٤ م . ولكن هذه النجوم ثقيلة جداً ولاتشع الا كميات قليلة جداً من الطاقة الضوئية ولايمكن رؤية هذه النجوم بواسطة التلسكوبات ولكنها تطلق كميات من موجات الراديو القصيرة يمكن التقاطها بأجهزة لاستقبال موجات الراديو وبذلك يمكن أيضاً تحديد مواقعها . وقد اكتشف العلماء نجماً من مثل هذه النجوم الثقيلة في قلب سديم السرطان . واطلق على هذه النجوم اسم البولسار Pulsar وهذه الكلمة تعني « النابض » أي الجسم الذي يرسل

نبضات من موجات الراديو القصيرة والقوية . وتوجد المادة في البولسار على هيئة نيوترونات نتيجة للضغط الهائل السائد فيها . ويقدر الباحثون انه توجد في البولسار الواحد كمية من مادة تساوي كمية مادة الشمس متركزة في كرة لايزيد قطرها على خمسة عشر كيلومتراً . وذلك يعني أنه اذا كانت مادة الأرض كلها في مثل هذه الكثافة فأنه يمكن وضعها في حيز سكن متوسط الحجم لايزيد على أربع حجرات . وبعد أن تفقد مادة البولسار أو النجم الأبيض القزم كل طاقتها تعود مرة أخرى الى الانكماش حتى تصبح مايسميه العلماء « الخرق الأسود » Black hole . ولايدرك العلماء حتى الآن كيف تكون حالة المادة في الخروق السوداء فهي مناطق في الكون لاينبعث منها أي نوع من الطاقة ، ولكن يظهر أن لهذه المناطق قوى جاذبية هائلة تستطيع ان تجذب الفوتنات Photons (أي جسيمات الضوء) اثناء مرورها بجوارها . وقد تمكن العلماء من التعرف على الخروق السوداء في الكون نتيجة لاكتشاف تأثيرها على مسار الأشعة الضوئية المنبعثة من النجوم المجاورة أثناء اتجاه الضوء نحو الأرض

٣ ـ ٢ ـ المجموعة الشمسية :

الشمس نجم أصفر متوسط الحجم . ونتيجة لقربه من الأرض يمكن دراسته بدقة واستخدام نتائج هذه الدراسة لتفسير الكثير من المشاهدات الفلكية عن النجوم الأخرى . والشمس جسم مضيء يدور حول نفسه ويمكن تصور حجمه اذا علمنا أن كرة في حجمه يمكن ان تحتوي على ١٫٣٠٠٫٠٠٠ كرة أرضية بداخلها . ومعظم الطاقة التي تصل الى سطح الأرض تأتي من الشمس ، حيث ان درجة حرارة سطح هذا النجم تصل الى ٥٫٧٠٠ درجة مئوية . وتدور حول الشمس تسعة كواكب ومن بينها الأرض . والكواكب أجسام أصغر من الشمس بكثير ولكنها ماتزال كبيرة اذا قورنت بأجسام سماوية أخرى مثل الكويكبات asteroids والشهب . وليس للكواكب اشعاع ذاتي للضوء مثل الشمس ، ولكن يمكن رؤية هذه الأجسام بالعين أو من خلال التيليسكوبات نتيجة لانعكاس ضوء الشمس على سطحها . ومن العجيب ان هناك نظاماً خاصاً يحكم مسافات الكواكب بالنسبة لبعدها عن الشمس . وقد اكتشف العالم بود Bode في عام

١٧٧٢ هذا النظام الذي يعرف باسم قانون بود . ويعطي قانون بود طريقة لتحديد أبعاد الكواكب بالنسبة للشمس باعتبار مسافة بعد الأرض عن الشمس وحدة للقياس . فاذا اعتبرنا ان بعد عطارد عن الشمس يساوي ٤ر٠ فيكون بعد الزهرة عن الشمس ٤ر٠ + ٣ر٠ = ٧ر٠ وبعد الأرض عن الشمس ٤ر٠ + ٢ × (٣ر٠) = ١ أما بعد المريخ عن الشمس فيكون ٤ر٠ + ٢× (٢ × ٣ر٠) =٦ر١ .. الخ . (لاحظ الجدول في الشكل ٣ - ٢) .

ونلاحظ ان قانون بود يسفر عن نتائج جيدة في حالة معظم الكواكب ، ماعدا نبتون وبلوتو . وبالرغم من أن المسافة التي يحددها قانون بود لبلوتو تقارب المسافة الفعلية لنبتون فيعتقد العلماء ان حدثاً هاماً أثر على مدار هذين الكوكبين بعد تكونهما وان بلوتو كان في الأصل قمراً لنبتون . والجدير بالذكر أن معظم الكواكب تدور تقريباً في مستوى واحد ماعدا بلوتو .

ولا يوجد تفسير حتى الآن لقانون بود ولكن يجب ان تراعى أي نظرية لنشأة الشمس والكواكب هذا القانون . وعدم مراعاة النظريات الحديثة لهذا القانون يعتبر قصوراً جاداً في هذه النظريات ولكن المعلومات الفلكية والفيزيائية الحالية لاتقدم أي تفسير لهذا القانون . ومما يؤكد أيضاً أهمية قانون بود في تكون الكواكب أن العلاقة التي تربط أبعاد الأقمار المختلفة هي كواكبها فأقمار المشتري وزحل متفقة مع قانون بود . وقد اكتشفت الكويكبات واورانوس ونبتون وبلوتو في ضوء قانون بود ، وقد اكتشف مؤخراً بأن عدد أقمار اورانوس ١٥ . واكتشف الكويكبات من أبرز الانتصارات العلمية لهذا القانون . وقد اكتشف العالم الصقلي بيازي Piazzi الكويكب سيريس Ceres في المكان الذي كان يحدده قانون بود . وقطر هذا الكويكب ٨٠٠ كيلو متر . والآن يعرف العلماء بضعة آلاف من الكويكبات تتراوح أقطار معظمها مابين ١٦ و٤٠ كيلومتراً . وكان العلماء يعتقدون أن الكويكبات بقايا الكوكب الذي انفجر بعد تكونه . وسبب هذا الاعتقاد ان الكويكبات بقايا الكوكب الذي انفجر بعد تكونه . وسبب هذا الاعتقاد ان الكويكبات تشغل مكان كوكب حسب تنبؤات قانون بود . ولكن يظن الآن بعض العلماء أن الكويكبات هي كوكب لم يتم تكونه ، وسوف نشرح هذا الاعتقاد فيما بعد . وبالاضافة الى الكويكبات توجد في المجموعة الشمسية أجسام سماوية أخرى أصغر بكثير من الكواكب وهي المذنبات Comets والشهب Meteors .

الشهب الأصغر فهي تحترق تماماً في الجو . وأحياناً يزن الواحد من الشهب التي تترطم بسطح الأرض عدة أطنان وحينئذ تكوّن فوهات ارتطام impact craters مميزة عند مكان ارتطامها بالأرض . وتشبه هذه الفوهات فوهات الارتطام التي توجد على سطح القمر . وتبين الطرق المستعملة لتحديد مسارات الشهب التي تتساقط على الأرض أن الكثير من هذه الأجسام تمر بحزام الكويكبات ولكن هناك أيضاً شهب تأتي من أماكن أبعد من ذلك بكثير . ويقسم العلماء المختصون النيازك الى خمس مجاميع هي :

١ ـ الكوندريت Chondrites : وهي أكثر النيازك انتشاراً وتتكون من حبيبات صغيرة متفاوتة في الحجم وكروية الشكل . وبعض هذه النيازك تحتوي على مواد عضوية تكونت خارج الأرض ويظن العلماء ان هذا النوع من النيازك يمثل ماتبقى من المادة الغبارية الأصلية التي كانت توجد في السديم الأولى الذي تكونت منه المجموعة الشمسية . ويظن العلماء ان الكوندريت الغنية بالمواد العضوية تكونت بعيداً عن مركز هذا السديم ، في درجات حرارة منخفضة وفي ظروف اختزالية لاتؤثر على المواد العضوية .

٢ ـ اللاكندريت Achondrites : أو النيازك الحجرية التي لاتحتوي على حبيبات كروية . وهي تتكون في المادة من معادن شبيهة بالمعادن التي تكوّن صخور البريدوديت Peridodite على الأرض . وتكوّن صخور البريدوديت غلافاً من الأغلفة الصلبة للأرض وتختلف النيازك الحجرية عن البريدوديت الأرضي بأنها تحتوي في بعض الحالات على نسبة ملحوظة من النيكل والحديد . ويظن العلماء بأن اللاكوندريت تكونت من أجسام كبيرة نسبياً مثل الكويكبات وانها ناتجة عن تحول مادة الكوندريت نتيجة تأثرها بدرجات حرارية تصل الى ١٠٠ر٥ درجة مئوية . ويظن العلماء أيضاً ان مادة النيكل والحديد التي توجد بكميات ملحوظة في الكوندريت والتي تكون قليلة في اللاكندريت قد انفصلت من المادة الكوندريتية الاصلية في هذه الأجسام السماوية الكبيرة نسبياً أثناء تحولها الى مادة الشهب الحجرية . ويجوز أن تكون الكتل الصغيرة للشهب الحجرية ناتجة عن تفتت كويكبات أثناء ارتطام بعضها ببعض .

٣ ـ النيازك الحجرية الحديدية Stony-Iron meteorites : وهي تحتوي على كميات كبيرة من النيكل والحديد بالاضافة الى معادن سليكاتية قاعدية مثل السليكات الموجودة في أنواع النيازك السالفة الذكر ، وهي غالباً متكونة أيضاً نتيجة لانصهار مادة الكوندريت ولكنها لاتتأثر بعمليات فصل النيكل والحديد منها مثل النيازك الحجرية .

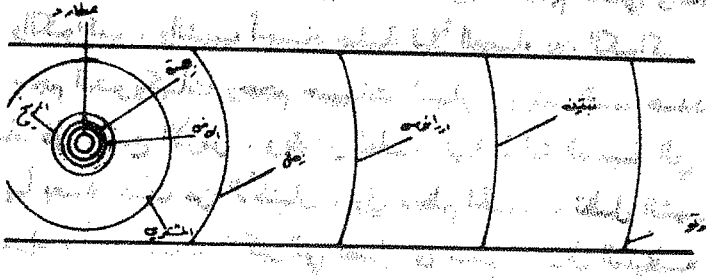
٤ ـ النيازك الحديدية : وهي تتكون من حديد ونيكل وغالباً ماتتكون من الجزء الناتج عن فصل الحديد والنيكل عن مادة الشهب الكوندريتية أثناء تحولها الى مادة الشهب الحجرية . ان مادة النيازك الحديدية كانت في الأصل مركزة في قلب الكويكبات نتيجة لكثافتها العالية .

ويظن العلماء ان الكندريت تمثل بقية المادة الأصلية التي كان السديم يحتوي عليها والذي كوّن المجموعة الشمسية وان القطع الكروية المكونة للكندريت ومنها معادن سليكات وحديد ونيكل وأحياناً مواد عضوية اتحدت في الفضاء مباشرة . ومما يدعم هذا الرأي هو التشابه الكبير بين التركيب الكيماوي للكندريت العضوي وتركيب الشمس الكيماوي وهذا دليل على أن لهذين النوعين من الأجسام السماوية أصلاً واحداً .

٣ ـ ٥ ـ أصل الكون والمجموعة الشمسية :

أول نظرية جادة حاولت تفسير أصل المجموعة الشمسية هي نظرية كانت ـ بلاس Kant-Laplace Theory التي ظهرت قرب نهاية القرن الثامن عشر . وهذه النظرية سماة باسمي الفيلسوف الالماني عمانويل كانت Immanuel Kant (١٩٢٤ ـ ١٨٠٤) وعالم الرياضيات الفرنسي بطرس سيمون لابلاس (١٧٤٩ ـ ١٨٢٧) Pierre Simon1fon حدهما بالآخر . وقد تم وضع هذه النظرية بناء على بعض المشاهدات الفلكية . وترى نظرية كانت ـ لابلاس ان المجموعة الشمسية تكونت نتيجة لتكثيف كتلة غازية هائلة وكروية الشكل . وكانت هذه الكتلة في بداية الأمر تدور حول نفسها . وفي نفس الوقت أدت قوى الجاذبية الى

الاسم	المسافة بالمليون كيلومتر	القطر بالكيلومتر	فترة الدوران	عدد التوابع
عطارد Mercury	٣٦	٤,٩٥٠	٨٨ يوم	صفر
الزهرة Venus	٧٦	١٢,١٠٠	٢٢٤,٧ يوم	صفر
الارض Earth	٩٣	١٢,٧٥٦	٢٣ ساعة ٥٦ دقيقة	١
المريخ Mars	١٤٤	٦,٧٩٤	٢٤ ساعة ٣٧ دقيقة	٢
المشتري Jupiter	٤٨٦	١٤٢,٨٠٠	٩ ساعة ٥٠ دقيقة	١٢
زحل Saturn	٨٩٥	١٢٠,٠٠٠	١٠ ساعات ١٤ دقيقة	٩٠
اورانوس Uranus	١,٧٩٠	٥١,٨٠٠	١٠ ساعات ٤٥ دقيقة	١٥
نبتون Neptune	٢,٨٣٠	٤٩,٥٠٠	١٥ ساعة ٤٨ دقيقة	٢
بلوتو Ploto	٣٧٨٠	٢,٧٠٠	٦,٤ يوم	؟



شكل (٢-٢) المجموعة الشمسية

والمذنبات أجسام مكونة من ثلج ونشادر ومهشان في الحالة الصلبة بالاضافة الى بعض الكتل « الصخرية » وحينما تقترب المذنبات من الشمس تتبخر بعض محتوياتها القابلة للتبخر (المهشان والنشادر) ويكوّن هذا البخار ذيلاً من الغاز المضيء نتيجة لانعكاس الأشعة الشمسية . ويلاحظ أن هذا الذيل الغازي الذي يمكن ان يمتد آلاف الكيلومترات يتجه دائماً في اتجاه معاكس للشمس . ويعزو العلماء هذه الظاهرة لتأثير « ضغط » الأشعة الكونية المنبثقة من الشمس على غازات المذنب . وأحياناً يطلق على هذا الضغط اسم « الرياح الشمسية » Solar Winds ، أما الشهب فهي كتل صغيرة من المادة الصلبة تحترق في الفضاء ، وكثيراً ماتتساقط على سطح الأرض فتسمى بالنيازك Meteorites ، فيمكن دراستها دراسة مباشرة . ولذلك سوف نتناولها على حدة في الجزء التالي ..

ومن الجدير بالذكر بأن مذنب هالي قد اقترب من الأرض عام ١٩٨٦ م وسيعود هذا المذنب بالاقتراب من الأرض عام ٢٠٦١ م .

٣ ـ ٤ ـ الشهب والنيازك :

ان أهمية دراسة الشهب والنيازك لوضع نظرية تشرح أصل تكون الأرض والمجموعة الشمسية تكمن في ان هذه الأجسام تكون في بعض الحالات بقايا للاجزاء الصلبة للسحابة الغازية والغبارية التي كانت تكون السديم الأصلي والذي نشأت منه الشمس والكواكب . والشهب أجسام صلبة تملأ الفضاء بين الكواكب ويتفاوت حجمها بين حجم الكويكبات وحجم حبيبات الغبار . ويتساقط عدد كبير من هذه الأجسام على سطح الأرض . ويقدر العلماء كمية المادة الصلبة التي تصل الى الأرض سنوياً بعدة مئات من الأطنان . وفي معظم الحالات تظل الشهب الصغيرة معلقة في الهواء ، أما الشهب الأكبر التي تصل الى حجم الرمال الغليظة أو الحصى فهي تسقط بسرعة فائقة وتحترق في الغلاف الجوي تاركة آثاراً مضيئة مميزة تتألق في السماء لمدة ثوان . ويمكن في الليلة الواحدة ، حينما تكون السماء صافية مشاهدة أكثر من عشرة شهب وهي تخترق الغلاف الجوي في طريقها الى سطح الأرض . ولاتصل الى سطح كوكبنا الا الشهب الكبيرة نسبياً ، أما

اكتسب حركة دورانية حول الشمس قادراً على مقاومة قوى جاذبية هذا النجم ويصبح نواة لتكوين كوكب . ويبين الشكل رقم (٢ ـ ٣) تكوين الشمس والقرص لمادة السديم التي تدور حولها بفعل قوى الجاذبية القوى الطاردة المركزية الناتجة من دوران السديم حول نفسه . ويقدر العلماء ان الشمس والكواكب تجمعت من السديم الأولي منذ حوالي ٥٠٠٠ مليون عام . أما الكون (أن النجوم والمجرات) فيظن العلماء أنه تكون منذ حوالي ١٠٫٠٠٠ أو ١٥٫٠٠٠ مليون عام .

والمشاهدات الفلكية التي أدت الى وضع نظرية لتكوين الكون هي أن المجرات تبتعد بعضها عن بعض بسرعات فائقة . وكلما ابتعدت من الأرض كلما زادت سرعتها . ويمكن تقدير سرعة ابتعاد المجرات بدراسة طيف الموجات الضوئية التي تصلنا من هذه المجرات . فالمعروف لدى الفيزيائيين ان لطيف الموجات التي تنبعث من أجسام تتحرك بالنسبة لبعضها البعض زحزحة نحو الموجات الأقصر أو الأطول اذا شوهد هذا الطيف من خلال نقطة واقعة على أحد الأجسام . فاذا كان الجسم المشع للموجات يتحرك بعيداً عن نقطة المشاهدة تكون الزحزحة نحو الموجات الأطول . وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة دوبلر Doppler effect نسبة الى العالم الذي اكتشفها . وقد تبين ان طيف الضوء المنبعث من المجرات يتزحزح دائماً نحو الموجات الحمراء (أي الموجات الأطول) . ويمكن تقدير سرعة حركة المجرات بقياس مقدار هذه الزحزحة والتي تسمى أيضاً الانزياح الأحمر Red Shift . ويقدر العلماء ان مادة الكون كلها كانت مركزة في حيز صغير منذ حوالي ١٠٫٠٠٠ أو ١٥٫٠٠٠ مليون عام عندما بدأت الحركة المؤدية الى ابتعاد المجرات بعضها عن بعض . وبدأت هذه الحركة بانفجار عظيم ولذلك تسمى نظرية تكون الكون بهذا الانفجار بنظرية « الانفجار العظيم » Big Bang theory . ويقدر العلماء ان مادة الكون كانت قبل هذا الانفجار مركزة في بروتون (مادة بروتونية ، أي موجبة) ضخم تدور حوله سحابة من المادة الالكترونية (أي المادة السالبة) وكانت في هذه المادة كميات هائلة من الطاقة الكامنة التي أدت الى الانفجار العظيم وتحولت الى سرعة وضوء وحرار وأشعة كونية ، أي الى مظاهر الطاقة كما نعرفها الآن .

شكل (٣-٢)

تكوين الشمس والقرص السديمي

انكماش المادة الغازية نحو مركزها ، والقوى الطاردة المركزية الناتجة من دوران الكتلة الغازية أدت الى تحويلها من كرة الى قرص . وبعد ذلك تحولت بعض الأجزاء الخارجية لهذا القرص الى حلقات انفصلت عن المادة المتركزة في المركز والمكونة للشمس ، أما المادة المكونة للحلقات فأخذت تتكثف حتى أصبحت كواكب ، وتكونت بنفس الطريقة في بعض الحالات حلقات من مادة الكتلة الغازية الأولية حول الكواكب وذلك أدى الى تكون الأقمار التي تدور حول بعض الكواكب .

ولكن بعد ذلك ، في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن الحالي ، وضع بعض العلماء نظريات لأصل المجموعة الشمسية تعتمد على افتراض أن الشمس تكونت أولاً وان الكواكب ظهرت نتيجة لتأثير جاذبية نجم آخر مر بمقربة من الشمس . وأدى مرور هذا النجم الى انفصال جزء من مادة الشمس الملتهبة لتكون الكواكب .

ومن أبرز العلماء الذين قدموا مثل هذه النظريات الجيولوجي الامريكي تشمبر لين Chamberlin (١٨٤٣ - ١٩٢٨) وعالم الفلك مولتون Moulton ، وتعرف نظريتهما باسم نظرية تشامبرلين - مولتون .

وهناك أيضاً عالمان بريطانيان ، وهما عالم الفيزياء المعروف جيمس جينز Sir James Jeans (١٨٧٧ - ١٩٤٩) وعالم الفلك السير هارلود جيفري Sir Harold Jeffreys (١٨٩١ - مايزال على قيد الحياة) ولهما نظرية شبيهة بنظرية تشمبرلين - مولتون ، ولكنهما يفترضان ان النجم الذي مر بجوار الشمس قد أدى الى فصل شريط طويل من المادة الشمسية تكثف فيما بعد الى عدة كواكب .

أما تشامبرلين ومولتون فكانا يعتقدان أن مادة الشمس انفصلت نتيجة لمرور النجم الى عدة كتل منفصلة منذ البداية وان تكثف هذه الكتل أدى الى تكوين الكواكب . والنظريات التي تعتمد على مرور نجم بمقربة من الشمس لشرح أصل كواكب المجموعة الشمسية مبنية على حدث فريد أو نادر جداً في تاريخ الكون وهو مرور نجم بجوار نجم آخر بحيث ان جاذبيتها تؤدي الى فصل جزء من المادة المكونة لها في الفراغ . وهذا الحدث لا يمكن مشاهدة أي دليل عليه الآن .

أما النظريات الحديثة لأصل المجموعة الشمسية فهي مبنية على تطبيق نظرية الوتيرة الواحدة لهاتون على المشاهدات الفلكية ، وكلها تشبه كثيراً نظرية كانت ـ لابلاس ، ولكن تمتاز النظريات الحديثة عن نظرية كانت ـ لابلاس بأنها مبنية على معلومات ومشاهدات أكثر دقة مما كانت عليه البيانات التي كانت في متناول أيدي العالمين الأوربيين في أواخر القرن الثامن عشر ، ولذلك فهي تعطي تفاصيل أكثر من التفاصيل التي تعطيها النظرية القديمة . وتختلف النظرية الحديثة أيضاً عن نظرية كانت ـ لابلاس في أنها تصور أن المجموعة الشمسية تكونت من سديم غازي وغباري وليس من سديم غازي فقط . وبالاضافة الى ذلك تعطي النظرية الحديثة تفاصيل أكبر عن طبيعة مادة هذا السديم الغازي والغباري فهي تفترض أن الأجزاء الصلبة (أي الجسيمات الغبارية) لهذا السديم كانت شبيهة في تركيبها الكيميائي والمعدني لتركيب النيازك الكندريتية ، والتي تعد بقية السديم بعد تكوين الكواكب . ويظن بعض العلماء أيضاً ان الغبار السديمي الذي أدى الى تكوين الكواكب كان ماراً على مقربة من مركز السديم نتيجة لفعل الطاقة الشمسية التي بدأت بالتدفق من قبل تكون الكوكب . وكانت المادة السديمية الحارة تتجمع لتكون كواكب . ففي بداية الأمر تجمعت العناصر الثقيلة مثل النيكل والحديد ، وهما يكونان مادة اللب في جميع الكواكب . وبعد ذلك تجمعت مواد البريدوتيد لتكون وشاح الكواكب . أما آخر المواد الصلبة التي تجمعت فهي السليكات المكونة للقشرة الأرضية . وعندما برد السديم نتيجة لانخفاض ضغط الغازات المكونة له والتي أصبحت غير قادرة على حبس كمية كافية من الطاقة الشمسية الحرارية ، تكون الغلاف المائي والهوائي للكواكب الثقيلة . أما الكواكب الخفيفة فلا تسمح جاذبيتها بتكون غلاف يذكر . وقد قدم العلماء هذه النظرية لتكوين الكواكب لكي تتماشى مع ما نعرفه عن تركيبها الغلافي وعلى وجه الخصوص في حالة الأرض . ويجب هنا أن نتأمل قليلاً تأثير كل من فعل الجاذبية وفعل القوى الطاردة المركزية في تكوين المجموعة الشمسية . فقوى الجاذبية تؤدي الى تجمع المادة في قلب السديم والى تكوين الشمس (النجم) وفي نفس الوقت تحدث الحرارة المنبعثة من الشمس أثناء تكوينها حركات عشوائية من مادة السديم المتبقية . وتؤدي هذه الحركات وأيضاً قوى الجاذبية على مادة السديم الى ظهور حركة دوران حول مركز السديم ، وبذلك يصبح الجزء من المادة الذي

وهنا يثار السؤال : ماذا قبل هذا الانفجار العظيم ؟ والاجابة على هذا السؤال صعبة وغير ممكنة حتى الآن لعدم وجود أي مشاهدات أو أدلة يمكن أن تضيء الطريق للعلماء . ويعتقد بعض المفكرين ان الكون يجب أن يتوقف انتشاره في وقت ما . ومن الجائز أنه سيبدأ حينئذ بالانكماش حتى تتجمع المادة مرة ثانية في حيز صغير كما كانت قبل الانفجار العظيم ، وبعد ذلك تنفجر هذه المادة ثانية وتعود الى الانتشار ، فمن الجائز حسب رأي هؤلاء المفكرين أن يتذبذب الكون باستمرار حيث يمر بمراحل انكماش وانتشار متتالية وان هذا الوضع ابدي . ولكن كما قلنا ، ليس لنظرية الكون النابض Pulsating Universe هذه أي أدلة ملموسة يمكن استنباطها من المشاهدات الفلكية أو العلمية التي توصل اليها العلماء حتى الآن .

وقد تنبأ العلماء للانفجار العظيم ان يعقبه انبعاث نوع خاص من موجات الراديو والأشعة الكونية ، وتعرف الأشعة الكونية التي تنبأ العلماء بتكوينها أثناء الانفجار العظيم باسم أشعة الثلاث درجات كلفينية 3_o Kelvin radiation . وقد تمكن العلماء بالفعل من التعرف على هذه الأشعة في الكون ، واستطاعوا أيضاً أن يلتقطوا موجات راديو يعتقدون انها نشأت نتيجة للانفجار العظيم .

أغلفة الكرة الأرضية :

ان بعض النيازك ناتجة عن تفتت أجسام سماوية كبيرة نسبياً (مثل الكويكبات) . وان في التركيب المعدني لهذه النيازك أدلة على حدوث نوع من الفرز للمادة الأساسية للغبار السديمي الأولي ، حيث ان معادن النيكل والحديد تنفصل عن باقي السليكات . وتفترض النظرية الحديثة في تكوين الأرض ان هذا الكوكب ، مثل الكواكب الأخرى والكويكبات ناتج عن تجمع مادة الغبار السديمي الأولي . وكانت هذه المادة شبيهة في تكوينها وطبيعتها بمادة النيازك الكوندريتية (انظر المناقشة عن الشهب) وتعتبر النيازك الكوندريتية ماتبقى من الأجزاء الصلبة للسديم الأولي . ولكن الأرض تختلف عن الكويكبات بأنها جسم سماوي كبير جداً ولذلك فأنها قد تعرضت أثناء تكوينها لعمليات أدت الى فصل محتويات المادة الأساسية المكونة لها الى عدة طبقات متباينة في تركيبها الكيميائي والبناء الفيزيائي ، وقد أظهرت المشاهدات العلمية

المختلفة الكثيرة (الجيوفيزيائية الأخرى) ان الارض مكونة من عدة أغلفة بعض هذه الأغلفة غازي (الغلاف الجوي) أو سائل (مثل الغلاف المائي) والبعض الاخر صلب (الأغلفة الصلبة للأرض) . وسوف نتناول فيما يأتي مناقشة أصل هذه الأغلفة وطبيعتها .

الغلاف الجوي :

يكون هذا الغلاف الغازي النطاق الخارجي للأرض . ويبين الجدول الآتي محتويات هذا الغلاف من الغازات :

نتروجين	٧٨ ٪
أوكسيجين	٢١ ٪
أرجون	٠٫٠٩٣ ٪
ثاني أكسيد الكربون	٠٫٠٢٣ ٪
غازات أخرى	٠٫٨٨٤ ٪
المجموع	١٠٠٫٠٠ ٪

ويعتقد العلماء أن هذا الغلاف تكون نتيجة لتصاعد المحتويات الغازية لمادة الشهب المكونة للسديم بالاضافة الى اجتذاب بعض المحتويات الغازية الثقيلة نحو الأرض بفعل الجاذبية ولكن التركيب الأساسي للغلاف الجوي الأولي للأرض كان مختلفاً تماماً عن تركيبه الحالي والمبين في الجدول السابق . فيمكن ان تتحول المواد العضوية الموجودة في الكوندريتات العضوية بفعل الحرارة وفي وسط اختزالي خال من الاوكسيجين الى غازات الميثان والنشادر وربما النيتروجين . أما المحتويات غير العضوية لهذه الكندريتات فيمكنها أن تساهم في اطلاق بخار الماء وثاني أكسيد الكربون نتيجة لتفاعلات معقدة .

ومعظم هذه الغازات السالفة الذكر موجودة في الغلاف الجوي للكواكب الخارجية للمجموعة الشمسية والتي تتمتع بكتل هائلة وبجاذبيات قوية . أما الكواكب الداخلية فهي صغيرة وقوى جاذبيتها ضعيفة ، فهي لاتستطيع أن تحافظ على الغازات الخفيفة مثل الميثان والنشادر . ولذلك يتسرب الميثان والنشادر من الغلاف الجوي لهذه الكواكب الى الفضاء الخارجي ولاتحتوي الأغلفة الجوية لمعظم الكواكب الداخلية الا على بخار الماء وثاني أكسيد الكربون وبعض النيتروجين . والأرض تمثل شذوذاً لهذه القاعدة فغلافها الجوي يحتوي على القليل من ثاني أكسيد الكربون وعلى نسبة عالية من النيتروجين والاوكسيجين . ويظن العلماء أن الاوكسيجين المكون لنسبة كبيرة من غلاف الأرض الجوي الحالي ناتج عن تأثير النباتات (أي الحياة) على هذا الغلاف وذلك بفعل التمثيل الضوئي الذي يحول ثاني أكسيد الكربون الى اوكسيجين . فكان الغلاف الجوي الأولي للأرض قبل ظهور الحياة شبيها جداً بأغلفة الكواكب الداخلية الأخرى مثل المريخ والزهرة . ويظن العلماء ان معظم الارجون الموجود في الغلاف الجوي للأرض ناتج عن التفتت الذري للبوتاسيوم المشع المنتشر في كثير من المعادن المكونة للقشرة الأرضية .

ويمكن تقسيم الغلاف الجوي للأرض الى عدة طبقات كما يأتي ، من أسفل الى أعلى :

١ ـ **التروبوسفير Troposphere ، ويرتفع هذا النطاق الى حوالي ١٠ ـ ١٥ كم وهو الجزء الأسفل للغلاف الجوي وفيه تهب الرياح وتتساقط الأمطار . ويقتصر وجود السحب على هذا النطاق .**

٢ ـ **الاستراتوسفير Stratosphere ، ويمتد هذا النطاق من حوالي ١٥ كم الى خمسين كيلومتراً ، وهو لايحتوي على سحب ولكن يظن العلماء أن العواصف والزوابع تنشأ فيه وأنه في هذه الحالات يؤثر على طبقة التروبوسفير .**

٣ ـ **الميزوسفير Mesosphere ، تتناقص درجة الحرارة مع الارتفاع في الاستراتوسفير حتى تصل الى ٥٥°م . وبعد ذلك تتزايد الحرارة في الاستراتوسفير حتى تصل الى حوالي عشرة درجات على ارتفاع خمسين كيلومتراً ، أما على ارتفاع مابين خمسين وثمانين كيلو متراً ، تتناقص درجات الحرارة للغلاف الجوي مرة أخرى حتى تصل الى ـ ٦٠ درجة مئوية . ويسمى هذا النطاق الميزوسفير ويكون ضغط الهواء فيه ١ / ١٠٫٠٠٠ من ضغط الغلاف الجوي فوق سطح البحر .**

٤ ـ الترموسفير Thermosphere أو الغلاف الحراري ، عند ارتفاعات مابين ٨٠و٦٠٠ كيلومتراً ترتفع درجات الحرارة حتى تصل الى حوالي ١٠٠٠ درجة مئوية . ويسمى هذا النطاق الترموسفير وهنا يحدث تغير جذري في صفات الغلاف الجوي حيث تزداد نسبة الايونات (أي جزئيات الغازات المشحونة كهربائياً) ولذلك تسمى أحياناً الترموسفير بالايونوسفير Ionosphere . وفي هذا النطاق عدة طبقات من الغازات المتأينة (حوالي أربع طبقات تستطيع أن تعكس موجات الراديو) .

٥ ـ الاكسوسفير Exosphere أو النطاق الخارجي للغلاف الجوي ، وهنا يتضاءل الغلاف الجوي للأرض تدريجياً حتى يصل الى الفضاء الخارجي الخالي من كميات ملحوظة من الغازات . ويستمر الاكسوسفير الى ارتفاعات بعيدة جداً .

والجدير بالذكر أن هناك غلافاً غنياً بغاز الاوزون Ozone يمتد بين الأجزاء العلوية للاستراتوسفير والأجزاء السفلى للميزوسفير . والاوزون نوع من الاكسيجين ولكن يتكون الجزء الواحد في حالة الأوزون من ثلاث ذرات من الاكسيجين بدلاً من ذرتين كما هو الحال في الاكسيجين العادي . ويتكون الاوزون نتيجة لتأثير الموجات الفوق بنفسجية Ultra Violet Wave على الاكسيجين وتصل هذه الموجات الى الأرض مع باقي الأشعة القادمة من الشمس . ولطبقة الأوزون في الغلاف الجوي دور مهم جداً في الحفاظ على الفوق بنفسجية القصيرة تماماً . وهذه الموجات قاتلة لمعظم الكائنات الحية . ولو ان طبقة الأوزون غير موجودة في الغلاف الجوي فان الحياة لايمكن أن توجد خارج البحار فمياه البحار تستطيع أيضاً أن تحجب هذه الأشعة القاتلة . ويظن بعض العلماء أن سبب عدم وجود حياة على اليابسة قبل الحقب السيلوري هو عدم تكون كمية كافية من الاكسيجين في الغلاف الجوي للأرض لبناء طبقة وقائية من الأوزون تحجب الأشعة الفوق بنفسجية .

الغلاف المائي : Hydrosphere

ويشمل هذا الغلاف المحيطات والبحار والبحيرات والانهار والمياه الجوفية وأيضاً كتل الجليد القارية ، ولا يكون الغلاف المائي طبقة كاملة بين الغلاف الصخري (وهو أعلى

الأغلفة الصلبة للأرض) والغلاف الهوائي ولكنه يغطي مايقرب من ٧١ ٪ من الغلاف الصخري . ولو ان سطح الأرض الصخري كان مستوياً حتى يمكن للغلاف المائي ان يغمره جميعه فان سمك هذا الغلاف المنتظم من الماء سيبلغ حوالي ثلاثة كيلومترات . ويحتوي ماء المحيط على ٣ ٪ من الغازات الذائبة ومنها النيتروجين والاكسيجين الى جانب غازات أخرى بكميات قليلة . ويحتوي ماء المحيط أيضاً على نسبة من الأملاح المذابة تكون حوالي ٣٫٥ ٪ من وزن هذا الماء في حالة البحار والمحيطات المعتدلة اللوحة . ولكن يمكن أن تزيد أو تقل هذه النسبة على حسب الظروف الخاصة للأجسام المائية البحرية المختلفة . والعجيب أن المتبقي الصلب عند تبخر ماء البحر يحتوي دائماً على نسب ثابتة من الأملاح الأساسية وهي مبينة في الجدول الآتي :

كلوريد الصوديوم	٧٧٫٧ ٪
كلوريد ماغنسيوم	١٠٫٨ ٪
كبريتات ماغنسيوم	٤٫٧ ٪
كبريتات كالسيوم	٣٫٦ ٪
كبريتات بوتاسيوم	٢٫٥ ٪
كربونات كالسيوم وماغنسيوم	٠٫٣ ٪
بروميد ماغنسيوم	٢ ٪
أملاح أخرى	٢ ٪
المجموع	١٠٠ ٪

ويعتقد العلماء ان سبب وجود الأملاح الذائبة في ماء البحار هو صخور القشرة الأرضية وان عمليات التجوية (أي تحول الصخور بفعل الحاليل المائية والهواء) تؤدي الى اذابة بعض محتويات هذه الصخور والتي تحملها الأنهار الى المحيطات على هيئة محاليل مائية . وربما يعود جزء من هذه الأملاح المذابة في البحار الى النشاط البركاني الذي يتم على سطح القارات وفي قاع المحيطات ، حيث أن هذا النشاط البركاني تصحبه عادة انبثاقات من الغازات والحاليل المائية الساخنة المحملة بالأملاح الذائبة . وربما يمكن تفسير

التركيب الثابت نسبياً للأملاح المذابة في المحيطات بأن التيارات المائية المختلفة التي تؤثر على الدهان تؤدي الى مزج هذه المياه ومحتوياتها من الأملاح الناتجة من عمليات التجوية والانشاقات البركانية عبر ملايين السنين منذ بداية تكوين المحيطات في كوكبنا. وقد تبين ان التركيب الكيميائي للأملاح المذابة في مياه الأنهار يختلف من مكان الى آخر ومن نهر الى آخر وانه دائماً مختلف عن التركيب الكيميائي للأملاح المذابة في البحار. والجدول الآتي يبين الفرق بين متوسط التركيب الكيميائي للاملاح الذائبة في مياه الأنهار والأملاح الذائبة في البحار.(١)

المادة	نسبها المئوية في ماء البحر	نسبها المئوية في مياه الأنهار
كالسيوم	١ر١٩	٢٠ر٣٩
سليكا ( )	آثار	١١ر٦٧
صوديوم	٣٠ر٥٩	٥ر٧٩
مغنيوم	٣ر٧٢	٣ر٤١
أكاسيد الحديد والالومنيوم	صفر	٢ر٧٥
بوتاسيوم	١ر١١	٢ر١٢
شق الكربونات	٢١	٣٥ر١٥
شق الكبريتات	٧ر٧٠	١٢ر١٤
شق الكلوريد	٥٥ر٤٨	٥ر٦٦
شق النترات	صفر	٩٠

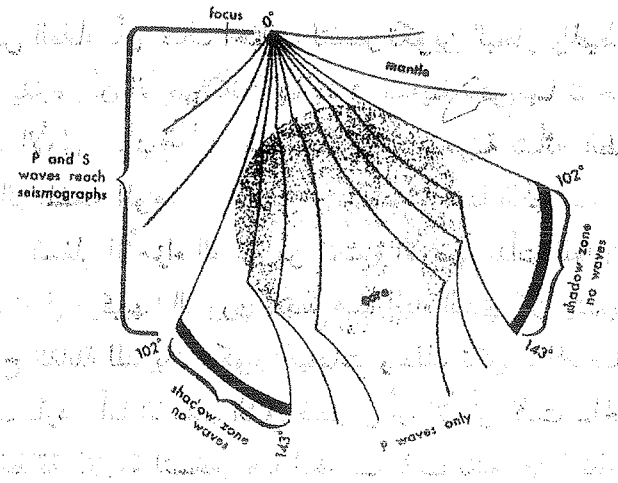
ويظن العلماء بأن هناك احتمالين لتفسير تكوين البحار والمحيطات في الأرض . الاحتمال الأول يفترض أن الأرض كانت باردة في بداية تكوينها نتيجة لتجمع الشهب المكونة للسديم الأولي ، وأنها بدأت بعد ذلك تزداد سخونة بتأثير الطاقة المنبعثة من نشاط النظائر المشعة الموجودة في الصخور المكونة لهذا الكوكب . وبزيادة درجة حرارة المناطق السفلى للأجزاء الصلبة من القشرة الأرضية بدأت المعادن الحاوية على جزيئات من الماء في تركيبها البلوري تفقد هذا الماء الذي كان يتسرب الى السطح مع بعض الأملاح القابلة للذوبان مكوناً المحيطات وبذلك تكونت المحيطات تدريجياً فوق سطح كوكب بارد . أما الاحتمال الثاني فيفترض أن الأرض كانت ساخنة في بداية تكوينها . وان الطاقة اللازمة لتسخين هذا الكوكب كانت تنتج عن ارتطام الأجسام السماوية (اي الشهب والكويكبات) أثناء تجمعها لتكوين كوكبنا . وبذلك تحول كل الماء المختزن في المادة الصخرية الى بخار تساقط فجأة على هيئة أمطار غزيرة ليكون المحيطات في فترة زمنية قصيرة . وحسب هذا الافتراض الذي يقول أن الارض كانت ساخنة في بداية تاريخها يظن العلماء أن المحيطات تكونت بطريقة مفاجئة وأنها كنت منذ بداية ظهورها في تاريخ الأرض على حجمها الحالي .

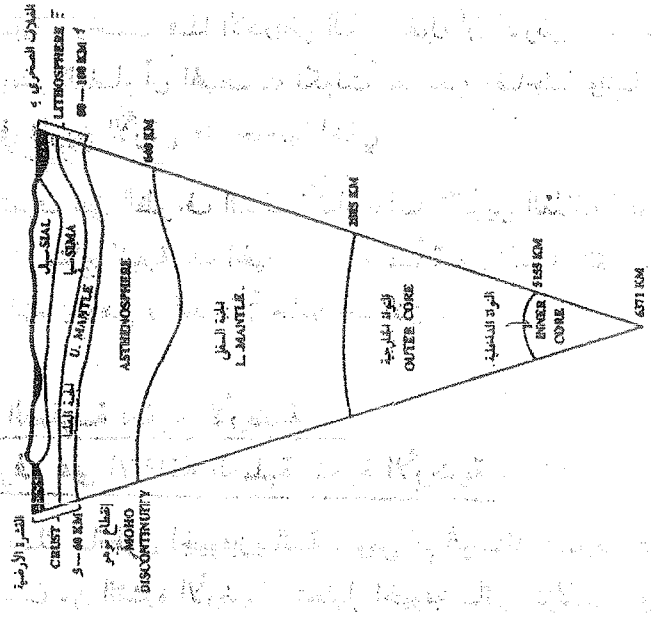
ان التعرف على الظروف السائدة أثناء بداية تكوين الغلاف الجوي والمائي للأرض مهم جداً لاستنتاج كيفية بدء الحياة . وهذه المسألة من المسائل التي حيرت فكر الانسان منذ قديم الزمان وهي لم تجد حلاً حاسماً لحد الآن .

الأغلفة الصلبة للكرة الأرضية :

التعرف على الأغلفة الصلبة للكرة الأرضية :

ويتم ذلك بالطرق الجيوفيزيائية . ومن أهم الوسائل للتعرف على التركيب الغلافي للجزء الصلب من القشرة الأرضية التحليل الجيوفيزيائي لزلازل . وسوف نتعرض لهذا التحليل بنوع من التفصيل في جزء مقبل من هذا الكتاب ، أما هنا فسوف نكتفي بمناقشة نتائج هذه التحاليل من حيث استخدامها في التعرف على الأغلفة . يبين الشكل (٣ ـ ٤) كيفية استخدام الموجات الزلزالية التي تمر عبر الكرة الأرضية في تحديد حجم لب الأرض .





يشكل (٣ - ٤)

مقطع في الكرة الأرضية وتأثير الموجات الزلزالية فيها

والمعروف أن هناك ثلاثة أنواع من الموجات الزلزالية : موجات تضاغطية ، موجات مستعرضة وموجات سطحية ونلاحظ في الشكل السابق وجود منطقة أمام المركز البؤري للزلزال لاتصل فيها الموجات المستعرضة التي تستطيع أن تخترق السوائل وذلك يشير الى أن لب الأرض له بعض صفات السوائل فيما يتصل بالموجات المستعرضة. أما الموجات التضاغطية فهي تنكسر عند الحدود بين لب الأرض ووشاحها ، وذلك هو السبب في أن هناك منطقة لاتصل اليها الموجات التضاغطية للزلازل عند حدوث أي زلزال قوي في الأرض . ويمكن تحديد الأغلفة الصلبة للأرض بواسطة معرفة التغيرات في سرعة الموجات الزلزالية مع العمق في باطن الأرض من الشكل السابق .

والجدير بالذكر أن أول من اقترح وجود حدود جيوفيزيائية زلزالية بين القشرة الأرضية والوشاح هو العالم اليوغسلافي موهورفيتشيك Mohorovicic في بداية القرن العشرين ولذلك يسمى أحياناً الحد بين القشرة الوشاح بمنطقة انقطاع موهوروفيشيك Mohorovicic discontintity أو باختصار الموهو Moho . وقد لاحظ هذا العالم أن كل الزلازل التي لها مراكز يقل عمقها عن ٤٠ كم رسل مجموعتين من الموجات الزلزالية التضاغطية والمستعرضة الى أجهزة التسجيل الواقعة على مسافات تزيد عن ٨٠٠ كيلومتراً من مراكز الزلزال ، فاستنتج العالم اليوغسلافي أن المجموعة الأولى من الموجات تمثل موجات تمر بمادة موجودة تحت القشرة وتختلف عن مادة القشرة في أنها تسمح بمرور الموجات الزلزالية بسرعة . أما المجموعة الثانية من الموجات فهي تمر ببطء خلال القشرة الأرضية .

ومن خلال جميع هذه المشاهدات استنتج العلماء أن الجزء الصلب للقشرة الأرضية يتكون من عدة أغلفة وهي من أعلى الى أسفل القشرة ، الاستينوسفير (وهذا الغلاف يعتبر أحياناً جزءاً من الوشاح) ، الوشاح . اللب (وهو ينقسم الى لب خارجي ولب داخلي) وسوف نتناول كل غلاف من هذه الأغلفة بشيء من التفصيل فيما يأتي :

ميزات الأغلفة الصلبة المختلفة وأصل تكوينها :

ان التركيب الغلافي للكرة الأرضية يدل على أن هذه الكرة مرت بفترة أثناء

تكوينها سمحت للمادة المكونة لها بأن ينفصل بعضها عن بعض فالأجزاء الثقيلة لهذه المادة تركزت في مركز الكرة والأجزاء الخفيفة لمادة الأرض طفت قرب السطح . وكان العلماء يعتقدون في بداية الأمر أن هذا دليل على أن الارض مرت بمرحلة انصهار تام . ففي نظريات أصل الأرض التي تقول بأنها انفصلت من الشمس وأنها أخذت تبرد بعد ذلك تدريجياً يسهل التصور بأن الكرة الأرضية مرت بمرحلة انصهار حيث أن مادة الشمس حارة للغاية . ولكن النظريات الحديثة لأصل الأرض المبنية على الكثير من المشاهدات الفلكية والكونية تشير الى أن الأرض تكونت من سديم غباري أو غازي بارد . وبذلك تحتم النظريات الحديثة لأصل الأرض أنها تكونت على هيئة كوكب بارد وان محتوياتها الصلبة كانت في حالتها الراهنة منذ بداية تاريخ الكوكب . فكيف اذن يمكن أن يحدث فصل المواد الصلبة الخفيفة من المواد الثقيلة المبينة في التركيب الغلافي المميز للجزء الصلب للكرة الأرضية ؟

وحاول بعض العلماء أن يجيب على هذا السؤال بافتراض أن ارتطام الكويكبات ، والشهب بالأرض كان يحدث بكثرة فائقة في بداية الأمر عند تكوين الأرض ، وان كثرة هذه الارتطامات كانت كافية لتزويد الكواكب بالطاقة الحرارية اللازمة لصهر محتوياتها الصلبة . وهناك محاولة أخرى للعلماء يشرحون فيها أصل الحرارة اللازمة للانصهار الجزئي للمواد الصلبة للأرض حتى يمكن أن تنفصل الأجزاء الثقيلة من الأجزاء الخفيفة لهذه المواد . وفي هذه المحاولة يعتبر العلماء ان الحرارة الناتجة عن تحليل النظائر المشعة الموجودة في الأرض كافية لاحداث انصهار جزئي للمادة الصلبة لهذا الكوكب . ولكن أحدث النظريات لنشأة الكواكب تفترض أن السديم الأولي كان حاراً عندما تجمعت المواد الصلبة التي أدت الى تكوين الكواكب وان التركيب الغلافي للجزء الصلب من الكرة الأرضية تركيب أولي وليس ثانوياً بمعنى أنه تكون عند تجمع مادة الأرض وليس بعد هذا التجمع . وهذا لايتطلب قيام عوامل تؤدي الى زيادة درجة حرارة الأرض أو أي جزء منها لصهر المواد الصلبة فيها بعد تكوينها . وسوف نناقش النظرية الحديثة لأصل الأرض فيما بعد . أما الآن فسوف نتناول الأغلفة الصلبة للكرة الأرضية من أعلاها الى أسفلها .

١ ـ القشرة : Earth Crust

وهذا هو الغلاف الصلب العلوي للأرض . ويحدد العلماء حدوده السفلى بالطرق الجيوفيزيائية الزلزالية . وتدل الدراسات التي أجريت على نطاق موهو أنه أكثر عمقاً تحت الجبال العالية والقارات حيث يصل هذا العمق الى ٦٠ كيلومتراً في المناطق الجبلية وحوالي ٢٠ كيلومتراً في المناطق القارية المنبسطة . أما في أعماق البحار والمحيطات فلا يتعدى نطاق موهو العشر كيلومترات . وكان العلماء يعتبرون نطاق موهو هو الحد الأسفل للقشرة الأرضية . أما الآن فمندل الدراسات التي أجريت على التغيرات في سرعة انتشار الموجات الزلزالية مع العمق في الأغلفة الصلبة للأرض على أنه توجد تحت نطاق موهو بقليل منطقة تحيط بالكرة الأرضية على أعماق مختلفة (وهي تكون مثل نطاق موهو أكثر عمقاً في المناطق القارية) ويقع الحد الأعلى لهذه المنطقة على عمق حوالي مائة كيلومتراً ، أما الحد الأدنى لنفس المنطقه فيقع على عمق حوالي ٢٥ كيلومتراً . وتنخفض سرعة الموجات الزلزالية عبر هذه المنطقه وبذلك يستدل العلماء على أن المادة الصخرية في هذه المنطقة في حالة سائلة . وتسمى هذه المنطقة الاستينوسفير Astenosphere . ويرى العلماء ان الحدود العلوية للاستينوسفير تمثل الحدود السفلى الليثوسفير Lithosphere حيث أن القشرة تمثل الجزء العلوي لليثوسفير . وكل هذه الاعتبارات تؤكد أن القشرة الأرضية أكثر سمكاً في المناطق القارية منها في المناطق المحيطية ، وتبين أيضاً الدراسات على جاذبية الأرض في مناطق مختلفة أن القشرة القارية أقل كثافة من القشرة المحيطة (كثافة القشرة القارية ٢٫٧ وكثافة القشرة المحيطية ٣) . وسبب ذلك ان القشرة القارية يتكون معظمها من صخور نارية حامضية قليلة الكثافه . وتكثر في هذه الصخور نسبة الالومنيوم والسيليكون ولذلك تسمى أحياناً القشرة النارية سيال Sial وهي كلمة مركبة من Si للاشارة الى السيليكون al للاشارة الى الالومنيوم . أما القشرة المحيطية فتتكون عموماً من صخور نارية قاعدية ثقيلة الوزن ، ولذلك تسمى أحياناً سيما Sima بالاشارة الى السيليكون والمغنسيوم ، حيث أن المغنسيوم من المكونات الأساسية للصخور القاعدية . وان معنى الارتفاعات Hypsographic curve للقشرة الأرضية يمثل المناسيب المختلفة من أعلى قمم الجبال الى أعمق أعماق المحيطات . وعليه يمكننا أن نذكر المناسيب والمناطق الهامة الآتية لسطح القشرة الأرضية :

١ ـ الرصيف القاري : Continental Platform، وهو يمتد من مستوى متوسط ارتفاع اليابسة (١٠٠٠ م فوق منسوب البحر) حتى منسوب البحر تقريباً .

٢ ـ الرصيف المحيطي Oceanic Platform : وهو يمتد من مستوى متوسط عمق المحيطات (٤٠٠ م تحت منسوب البحر) حتى قاع المحيط .

٣ ـ المنحدر القاري Continental Slope : وهذا هو المنحدر للرصيف الذي يربط بين الرصيف القاري والرصيف المحيطي .

٤ ـ الرصيف القاري Continental shelf : وهذا هو الحافة الخارجية للرصيف القاري وهو يمتد من ساحل البحر الى عمق ٢٠٠ م ويسمى جزء الغلاف المائي الذي يغطيه بالبحار فوق القارية Epicontinental Seas .

ومن الناحية التركيبية يجب ألا يعتبر الحوض الحقيقي بادئاً من خط الشاطيء نفسه ولكن من المسافة الخارجية للرف القاري (أي حافته البعيدة عن الشاطيء) . ولقد لعبت البحار فوق القارية أدواراً هامة في التاريخ الجيولوجي . فقد كانت هناك عصور تراجعت فيها مياه المحيطات تاركة هذه البحار أرضاً يابسة وكانت هناك عصور أخرى لفت فيها المياه فحولت هذه البحار الى جزء من المحيط نفسه . ويتكون الغلاف الصخري ، الى جوار الصخور النارية السابقة الذكر والتي تكون أكبر نسبة من هذا الغلاف ، من نسبة قليلة من الصخور المتحولة والصخور الرسوبية . ويحتوي الغلاف الصخري على المحتويات الصلبة الخفيفة للكرة الأرضية .

٢ ـ الوشاح : Mantle

يمتد وشاح الأرض من ١٠٠ كم الى ٢٨٨٣ كم وهو مكون من مادة صخرية صلبة تشير في تركيبها الى ان مكوناتها هي صخور البريدوديت (كثافة ٣ر٢) . وقد أمكن التعرف على مادة الوشاح من خلال دراسة بعض الصخور التي تصل الى السطح نتيجة لحركات

أرضية عنيفة في قلب بعض الجبال . وقد لاحظ العلماء أن تركيب هذه الصخور شبيه بتركيب بعض النيازك الحجرية التي لاتحتوي على حبيبات كروية .

٣ ـ اللب : Core

يمتد لب الأرض من عمق ٢٨٨٣ الىٰ مركز الكرة الأرضية . وتدل الاختلافات في سرعة الموجات الزلزالية التي تمر من خلاله على ان الجزء الخارجي للب سائل اما الجزء الداخلي فصلب وبدايته الفاصلة بين اللب ومركز الكرة الأرضية على بعد ٦٣٧١ كيلومتر من السطح .

الفصل الرابع
الأرض ومكوناتها

الأرض هي احد كواكب المجموعة الشمسية ، وتشغل الشمس مركز هذه المجموعة وتبعد عن الأرض بحوالي ١٥٠ مليون كم ، يبلغ قطرها حوالي ١٣٨٠٠٠ر١ كم وكتلتها أكبر من كتلة الأرض بـ ٢٣٢٠٠٠ر مرة . أما الأرض فهي عبارة عن كرة ضخمة مفلطحة عند القطبين ومنبعجة قليلاً عند الاستواء تدور حول نفسها مرة كل ٢٤ ساعة تقريباً وتدور دورة كاملة حول الشمس في كل ٣٦٥ يوم وربع تقريباً . وبالرغم من ضخامة الأرض فهي ليست سوى هباءة ضئيلة من المادة طافية في محيط ضخم من الفضاء اللانهائي الذي يضم الكون . يبلغ قطر الأرض الاستوائي ١٢٧٥٥ كم أما قطرها أما قطرها القطبي فحوالي ١٢٦٤٢ كم . وللأرض تابع (قمر) يدور حولها مرة كل ٢٨ يوم ، ويبعد عنها بنحو ٨٦٩٠٢٢ر كم .

وبالرغم من أن القمر أصغر من الأرض بكثير ، الا أنه يؤثر عليها تأثيراً جيولوجياً غير مباشر اذ أن جذب القمر للأرض يحدث ظاهرة المد والجزر في بحارها ومحيطاتها ، كما أن للشمس تأثيراً جيولوجياً على الأرض أقوى من تأثير القمر حيث أنها مصدر أساسي للطاقة الضوئية والحرارية التي تساعد على استمرارية الحياة عليها . ويوضح الجدول التالي (٤ ـ ١) الصفات الفيزياوية للشمس والأرض والقمر .

(الجدول رقم ٤ - ١)

يوضح أنصاف أقطار الشمس والأرض والقمر ومعدل كثافتها

	نصف القطر بالكيلومترات	معدل الكثافة جم / سم ٣
الشمس	٦٩٤ × ١٠^٣	١٫٤
الأرض	٦٫٣٧ × ١٠^٣	٥٫٥٢
القمر	١٫٧٤ × ١٠^٣	٣٫٣٣

٤ - ١ - الأغلفة الأرضية :

ويمكن تقسيم الأرض الى ثلاثة أجزاء أو أغلفة وهذه الأجزاء تمثل أجزاء المادة وهي :

انغلاف الهوائي (الغازي)	Atmosphere
الغلاف المائي (السائل)	Hyarosphere
الغلاف الصلب (اليابس)	Lithosphere

الغلاف الهوائي : ويضم هذا الجزء الطبقة الهوائية التي تغلف الكرة الأرضية والتي تمثل الغازات والأبخرة ، كما وأن لهذا الجزء أهميته الجيومورفولوجية لكونه مصدراً لعناصر الطقس والمناخ (الرياح والأمطار والثلوج) . يتكون هذا الغلاف من خليط غازي شفاف لايمكن رؤيته . ومن أهم هذه الغازات الأوكسيجين والأزوت (النايتروجين) وثاني أكسيد الكربون وكذلك بعض الغازات النادرة كالهيليوم والكريتون والاركون والنيون . كما أنه يحتوي على نسبة من بخار الماء تتغير بتغير الرطوبة في الجو . يحتوي الجزء الهوائي كذلك على غازات بركانية وذرات ترابية دقيقة جداً لها أثر كبير في تكوين الضباب والأمطار ، لأنها تكون بمثابة نواة تتكاثف عليها القطرات المائية .

الغلاف المائي : يغطي الماء سطح الكرة الأرضية مكوناً المحيطات والبحار والأنهار ، يتراوح متوسط عمق المحيطات بين ٣٧٥٠ و٤٠٠٠ م وان أعظم عمق في المحيطات يصل الى ١١٠٣٤ م في المحيط الهادي .

يتركب الماء كما نعلم من الأوكسيجين والهيدروجين بنسبة ذرة من الأول وذرتين من الثاني وهو أما عذب أم مالح . ان نسبة الأملاح المذابة في الماء المالح (ماء البحر) تبلغ نحو ٣٥ كغم في كل طن من الماء المالح (٣٥ر٠) وتزيد نسبة الأملاح في البحار المغلقة المذابة في الماء العذب فهي لاتتعدى ٢٠٠ غرام في الطن الواحد من الماء .

ومن الجدير بالذكر أن الاوكسيجين وثاني أوكسيد الكربون كليهما مذابان في الماء لأنهما من الضروريات لحياة الحيوانات والنباتات المائية .

والجزء المائي في حركة مستمرة بفعل الرياح التي تنتج عنها الأمواج البحرية كما ان المد والجزر ينتجان عن جذب الشمس والقمر والأرض . وتنشأ التيارات المائية المختلفة عن اختلاف درجات الحرارة في الأماكن المختلفة .

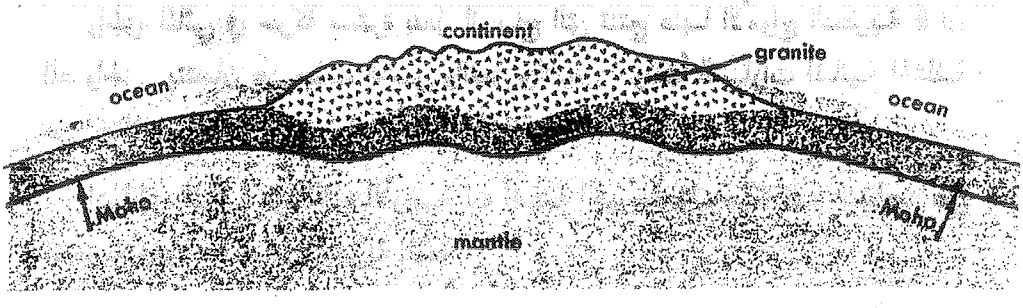
ان الجزء المائي من الكرة الأرضية له أهميته الجيومورفولوجية فهو يساعد على التجوية وهو أحد عوامل التعرية المهمة .

الغلاف اليابس (الصخري) :

هو الجزء الخارجي الصلب من الكرة الأرضية ويشمل على الصخور المختلفة والمعادن والتربة . ان الجزء اليابس أو الصلب من الأرض يمثل القشرة الأرضية ويتكون من مواد غير متجانسة سمكها ٥٠ كم ويعتقد العالم سوس بأن الصخور التي تكون الجزء اليابس من الكرة الأرضية يمكن أن تقسم الى قسمين :

صخور السيال (Sial) : وهي صخور فاتحة اللون قليلة الكثافة (٢ر٧) غرام / سم ٣ ، تتكون من السليكا بنسبة ٧٠ ٪ والالمنيوم بنسبة ٣٠ ٪ وتشمل صخور الكرافيت التي تتكون منها كتل القارات ، ونظراً لقلة كثافة هذه المادة يعتقد العالم سوس بأن هذه الصخور تطفو فوق مادة أخرى أكثر منها كثافة هي السيما .

صخور السيما (Sima) : وهي صخور سوداء ثقيلة ذات كثافة تصل (٣ر٦) غرام / سم ٣ ، تتكون من السليكا بنسبة ٥٠ ٪ والمغنسيوم بنسبة ٥٠ ٪ وتشمل صخور البازلت التي يتكون منها قاع المحيطات كما وأن كتل القارات تطفو عليها . ولكي تحتفظ كتل القارات الخفيفة بتوازنها فوق طبقة السيما الثقيلة أثناء دوران الأرض يعتقد علماء الأرض بأن جزءاً كبيراً من كتل القارات يبلغ ثمانية أمثال الجزء الظاهر منها يتعمق في طبقات السيما التي ترتكز عليها ، كما هو الحال في الجبال الجليدية التي يكون جزؤها الغاطس تسعة أمثال الجزء الظاهر منها . هذه النظرية القائلة بأن كتل القارات تكون متوازنة على سطح الأرض بسبب عمقها في طبقة السيما التي توجد تحتها أي لها رواسي . (شكل ٤ ـ ١) .



شكل (٤ ـ ١)

يوضح صخور القارة والمحيط

وعلى ضوء المعلومات الحديثة التي توصل اليها علماء الأرض فان جوف الأرض يتكون من منطقة الجبة (الوشاح) التي تقع تحت القشرة الأرضية ويفصلها عن القشرة الأرضية حاجز موهو وسمكها يقدر بـ ٢٨٠٠ كم ، أما اللب (النواة) فهو ينقسم الى قسمين اللب الخارجي وسمكه ٢٣٠٠ كم واللب الداخلي وسمكه ١١٧١ كم . ويعتقد علماء الأرض والفلك والطبيعيات بأن معدل كثافة الكرة الأرضية تبلغ حوالي ٥ر٥٢ غرام / سم ٣ بينما تبلغ كثافة القشرة الأرضية وحدها ٢ر٦ ومن ذلك يتضح أن متوسط كثافة باطن الأرض يتراوح بين ٧ ، ٨ غم / سم ٣ لأن الصخور البركانية أكثف بكثير من صخور القشرة الأرضية . ومن الجدير بالذكر أن المواد المكونة لباطن الأرض (اللب) هي الحديد والنيكل والتي تعود اليها الصفة المغناطيسية للأرض .

ان باطن الأرض شديد الحرارة وقد دلت حرارة المواد المنصهرة الخارجة من فوهة البراكين على أن الحرارة تزداد كلما تعمقنا في القشرة الأرضية بمعدل درجة مئوية واحدة لكل ٣٣ متراً في داخل الأرض . الا أن هذا المعدل يختلف من منطقة الى أخرى .

ومما تقدم يتبين أن القشرة الأرضية تتكون من طبقة السيال التي تبلغ كثافتها ٢٫٧ ويعتقد علماء الأرض بأن طبقة السيال سميكة تحت القارات وأقل سمكاً أو تنعدم في قاع المحيطات وخاصة في قاع المحيط الهادي ، ويلي طبقة السيال طبقة السيما التي تكون قاع المحيطات وترتكز عليها طبقة السيال ، تبلغ كثافتها ٣٫٦ في حين يبلغ سمكها ١٢ كم . ويلي طبقة السيما طبقة الأكاسيد والكبريتيدات ، يتكون جزؤها العلوي من أكاسيد الحديد والكروم والتيتانيوم ، أما جزؤها الأسفل فيتكون من كبريتيدات الحديد والزنك ، وتتراوح كثافة هذه الطبقة بين ٥ ـ ٦ كما يبلغ سمكها ١٧٠٠ كم تقريباً ويلي طبقة الأكاسيد والكبريتيدات طبقة اللب والتي يعتقد أنها تتكون من الحديد والنيكل . تزداد سرعة الموجات الزلزالية داخل طبقات الكرة الأرضية حيث تبلغ سرعتها حوالي ٦٫٤٩ كيلومتراً في الثانية في نهاية القشرة الأرضية والى حوالي ١٣٫٧ كم / ثانية في نهاية الوشاح الأرضي (الجبة) ثم تنخفض الى حوالي ٧٫٩ كم / الثانية في طبقة اللب الخارجي المائع ، ثم ترتفع مرة أخرى في طبقة اللب الداخلي حتى تصل في المركز الى حوالي ١٠٫٨ كم / الثانية . لاحظ الجدول التالي رقم (٤ ـ ٢) :

الجدول رقم (٤ - ٢)

كثافة صخور الكرة الأرضية طبقاً لأعماقها

وسرعة الموجات الزلزالية عبر الأعماق

الأجزاء	العمق	الكثافة	السرعة الطولية
	كيلومتر	غرام / سم ٣	كم / ثانية
حاجز موهو	صفر - ١٥	٣ر٢٢	٥ر٥٧
	١٥ - ٣٣	٣ر٦٠	٦ر٤٩
	٣٠ - ١٥٩	٣ر٧٠	٧ر٧٥
	١٥٩ - ٢٠٠	٣ر٧٠	٨ر١
	١٥٩ - ٢٠٠	٣ر٧٠	٨ر١
	٢٠١ - ٤٠٠	٣ر٧٠	٩ر٦
	٤٠١ - ٨٠٠	٤ر٤٩	١١ر٢
	٨٠١ - ١٢٠٠	٤ر٨٠	١١ر٧
	١٢٠١ - ١٨٠٠	٥ر١٣	١٢ر٠
حدود الجبة	١٨٠١ - ٢٩٠٠	٥ر٦٨	١٣ر٧
بداية النواة	٢٩٠١ - ٣٠٠٠	٩ر٤٣	٧ر٠
العليا	٣٠٠١ - ٤٠٠٠	١٠ر٦٧	٩ر٤
	٤٠٠١ - ٥٠٠٠	١١ر٥٤	١٠ر٢
	٥٠٠١ - ٥١٢٠	١٤ر٢٠	١٠ر٢ حدود
	أكثر من ٥١٢٠	١٦ر٨٠	١٠ر٢ النواة
			السفلى
	٦٣٧٠	١٧ر٢٠	١٠ر٨ مركز الأرض

التركيب الصخري لقشرة الأرض :

تتركب قشرة الأرض من غلاف صخرى صلب ، يتعرض القسم الخارجي منه لتاثير الغلاف الجوي ومن ثم لفعل عوامل الحت والتعرية ، لم يتيسر للعلم بعد الوصول الى أعماق الكرة الأرضية لمعرفة معادنها ومكوناتها الصخرية حيث أن أعمق ماوصلت اليه المجسات الجيولوجية لايزيد على عشرة كيلومترات الا أننا نجد بعض الجهات من الكرة الأرضية التي اصابتها ظاهرة الطي والتصدع تحتوي على صخور كانت في الأصل على عمق يتراوح بين ١٥ ـ ٢٠ كيلومتراً ثم رفعتها الحركات والقوى التي أدت الى نشوء النظام الجبلي .

لقد أمكن معرفة التركيب الكيمياوي لصخور قشرة الأرض عن طريق تحليل المعادن والصخور المكونة للقشرة وقد ظهر أنها تتكون من جميع العناصر الكيمياوية في جدول الاحلال الا انها تختلف بنسبها فمنها ماينتشر بشكل واسع ويشكل نسباً عالية بينما البعض الآخر لايمثل الا نسباً تافهة جداً غير أن العناصر الأساسية التي تتكون منها صخور القشرة الأرضية هي :

العنـــاصـــر	النسبة المئوية
١ ـ الاوكسيجين	٤٦ر٦ ٪
٢ ـ السيليكـــون	٢٧ر٧ ٪
٣ ـ الالمنيـــوم	٨ر١٣ ٪
٤ ـ الحـــديـــد	٥ر٠ ٪
٥ ـ الكالسيـــوم	٣ر٦٣ ٪
٦ ـ الصـــوديـــوم	٢ر٨٣ ٪
٧ ـ البوتـــاسيـــوم	٢ر٥٩ ٪
٨ ـ المغنسيـــوم	٢ر١ ٪
المجمـــوع	٩٨ر٥ ٪

يتبين ان العناصر الثماني السابقة تشكل حوالي ٩٨٫٥ ٪ من وزن صخور القشرة الأرضية بينما تمثل بقية العناصر الأخرى نسباً واطئة جداً مثل الكبريت والباريوم والنيكل والراديوم والكوبالت .. الخ حيث تسمى هذه العناصر « بالنادرة » . من بين العناصر المعروفة لانجد سوى القليل منها في حالته العنصرية الأصلية حيث لم يتحد مع غيره من العناصر كالذهب والبلاتين والنحاس والكاربون الذي يظهر على هيئة فحم الانثراسايت أما معظم العناصر الأخرى التي تكون صخور القشرة الأرضية فتتكون من مركبات كيمياوية متحدة مع بعضها مكونة مايطلق عليه المعادن أو البلورات . ويجدر بنا ان نشير الى أن غالبية حجم القشرة الأرضية تتكون من عنصر الأوكسيجين اذ يكون أكثر من ٩٠ ٪ على هيئة أوكسيدات بينما يشكل كل من الأوكسيجين والسليكا حوالي ٧٥ ٪ من وزن القشرة الأرضية وحوالي ٩٥ ٪ من حجمها ، لذا فأن أغلب مكونات القشرة لابد وأن تتكون من هذين العنصرين التي يطلق عليها عادة بالسليكات Silcates متحدة مع الأوكسيجين مثل أوكسيد السيليكون SiO_2 أو متحدة مع عناصر أخرى .

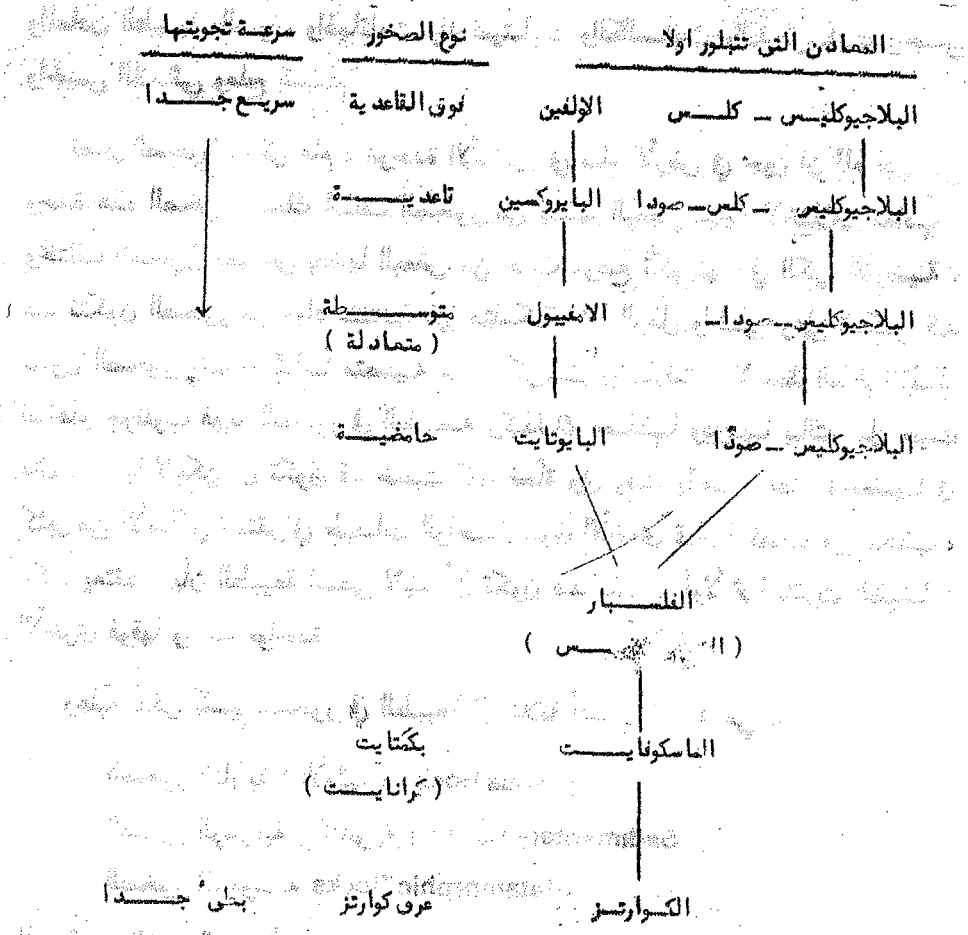
٤ - ٥ - الصخور وأنواعها :

هي عبارة عن مجموعة من المعادن في الطبيعة وتكوّن جزءاً أساسياً من القشرة الأرضية .

هنالك نوعان من الصخور لاتنضم الى هذه المجموعة أي لاتتكون من معادن ولكن احدهما يتكون من مادة عضوية كالفحم الحجري والآخر من مواد زجاجية طبيعية ، حيث يتكون النوع الأخير من تصلب الحمم البركانية (اللافا أو اللابا) السريع على سطح الأرض والتي تزيد حرارتها على ألف درجة مئوية .

قد تتكون الصخرة من معدن واحد وهذه حالة شاذة وعادة تتكون الصخرة من عدة معادن . ان المعادن الأساسية الداخلة في تكوين الصخور لاتتعدى العشرين معدناً وهي :

معادن الفلسبار والفلسبار تويد والأخيرة تشبه معدن الفلسبار في التركيب الكيمياوي ولكن نسبة السليكا فيها قليلة ، وكذلك معادن البايروكسين والامفيبول والميكا



شكل (٢٠٤)

سلسلة التفاعل المستمر والمتقطع

والاوليفين والابيدوت والكارنيت والكلوريت والتالك والسوبنتين والكاوولينايت والمعادن الطينية والصوان والهيماتايت والماكنيتايت والكالسايت والدولومايت والجبس والجبس اللامائي وملح الطعام .

تعتبر الصخور بشكل عام ، الوحدة الأساسية في بناء الأرض في حين ان المعادن هي وحدة هذه الصخور ولذلك تختلف الصخور عن بعضها البعض نتيجة لاختلاف معادنها . وتختلف الصخور أيضاً عن بعضها البعض من حيث موضع تكوينها في الكرة الأرضية . قد تتكون الصخور من مواد متفتتة غير متماسكة مثل الرمل والحصى وعلى العكس قد تكون الصخور متماسكة تماماً متصلبة مثل الكرانيت والبازلت . لاحظ العالم الالماني ابراهام جوتلوب فيرنر الصخور في الطبيعة وكذلك معادنها ودرسها بالتفصيل حيث قال : « انها لايمكن ان تكون قد خلقت كلها فجأة وفي وقت واحد ، لقد لاحظتها في كثير من الأماكن تستقر في طبقات الواحدة فوق الأخرى تماماً كصف من الكتب ، وكان يعتقد ، بأن الطبيعة السفلى لابد أن تكون قد تكونت أولاً ثم استقرت الطبقات الأخرى فوقها واحدة فواحدة .

وعليه يمكن تقسيم الصخور في الطبيعة الى ثلاثة أقسام رئيسية هي :

الصخور النارية (الأولية) Igneous Rocks

الصخور الرسوبية (الثانوية) Sedimentary Rocks

الصخور المتحولة Metamorphic Rocks

الصخور النارية (الأولية) :

هي تلك الصخور التي تتكون من تصلب المواد المنصهرة (الماكما أو الافا أو اللابا) مثل الكرانيت والبازلت . تخرج هذه المواد من داخل الأرض ـ متصاعدة منها الأبخرة والغازات . ان صهارة الكرانيت لاتظهر فوق سطح الأرض كالحمم بل أنها تصعد بعض الشيء الى الأعلى ثم تتوقف وتمكث هناك بحيث تبرد وتكون بلورات صخرية صلدة ، هناك عاملان يؤثران على الصفات العامة للصخور الأولية أو النارية هما :

أ ـ التركيب الكيماوي للكتل الأصلية التي يتكون منها الصخر .

ب ـ الحالة الطبيعية التي يتبلور عليها الصخر (سريعة أم بطيئة) .

من الصفات المميزة للصخور النارية هي وجودها في حاله بلور وتكتل أي لاتحتوي على طبقات أو متحجرات أو حفريات (بقايا عضوية لاحياء عاشت ومـاتت) ، توجد هـذه الصخور أما متداخلة في صخور أخرى على شكل عروق أو شقوق أو قواطع أو سدود وأما منتشرة على سطح الأرض على هيئة هضاب أو أجسام نارية كبيرة جداً . (١)

ويمكن تصنيف الصخور النارية على أساس الخواص الآتية :

التركيب المعدني :

عندما تبرد الماكما وتصل المعادن الموجودة فيها الى درجة فوق الاشباع عندئذ تبدأ هذه المعادن بالتبلور . تقسم هذه المعادن الى مجموعتين :

أ ـ **مجموعة المعادن الأساسية :** وهي تلك المجموعة التي توجد في الصخور النارية بكميات كبيرة والتي تعتمد صفات الصخرة ونوعها مثل الفلدسبار البيروكسينات ، المايكا ، الامفيبول ، الفلسباتويد ، الاوليفين ، الصوان (الكوارتز) والنيفيلين .

ب ـ **مجموعة المعادن الاضافية :** وهي تلك المعادن التي توجد بكميات صغيرة تؤثر في خواص الصخور وتضم المغنيتات ، الاسبتايت ، الزركون السفين ، الرتايل والبيرايت ، تتبلور المعادن الاضافية أولاً بحيث تصبح أشكالها البلورية كاملة ، عندئذ يتبعها في التبلور كل من المعادن الحديدية والمغنيسية التالية كالاوليفين والبايروكسين والامفيبول ، تأتي بعدها سلسلة معادن الفلسبار كالبلاجيوكليس والاورثوكليس ، ثم الكوارتز على التوالي . ان هذا النظام أو التسلسل في التبلور هو المسؤول عن تكوين الأنواع المختلفة من الصخور النارية من منشأ أصلي واحد هو الماكا Magma الذي يسمى بعملية تفاضل الماكا أو **التبلور الصهيري** (شكل ٤ ـ ٢) .

Magmatic Differentiation Or Magmatic Crystallization

تتكون في هذا التفاضل أو التنوع البلوري المعادن الفقيرة الى السلكا أي القاعدية أولاً ، ذلك في الدرجات الحرارية العالية لأنها تمثل المعادن ذوباناً وهي المسؤولة عن تكون الصخور القاعدية . بعدئذ تبقى لدينا الماكا التي يختلف تركيبها الكيمياوي عن

الماكا الأصلية بحيث تحصل على الصخور المتعادلة . وفي النهاية تتكون لدينا الصخور الحامضية الغنية بمعادن السليكا الى جانب وجود الكوارتز من بقايا الصهير (الماكا) التي تتراوح حرارتها بين ٦٠٠ - ٩٠٠ درجة مئوية .

التركيب الكيميائي

يتبين مما سبق ان التركيب المعدني للصخور النارية يعتمد بصورة أساسية على التركيب الكيميائي للماكا أي اذا كانت الماكا غنية بالسليكا فان الصخور الناتجة سوف تحتوي على معادن غنية بالسليكا أيضاً والعكس بالعكس ، فلذلك اعتمدت نسبة ثاني أوكسيد السيليكون أساساً في تقسيم الصخور كيميائياً وكما يأتي :

أ - الصخور الحامضية : هي تلك الصخور النارية التي تحتوي على السليكا بنسبة عالية بنسبة تتراوح بين ٦٥ ٪ الى ٨٠ ٪ في حين ان نسبة الحديد والمغنسيوم في هذه الصخور تكون قليلة ، ومن صفات هذه الصخور أن يكون لونها فاتحاً وتحتوي على معادن الاورثوكليس أو المايكروكلين بكثرة وكذا الحال في معادن البلاجيوكليس الصودي وحجر الصوان (الكوارتز) ومن أمثلة هذا النوع من الصخور هو الكرانايت والرايولايت والكرانوديوريت والفلسيت والابلايت .

ب - الصخور متوسطة الحامضية أو المتعادلة : تكون نسبة السليكا في هذا النوع من الصخور النارية بنسبة ٥٢ ٪ الى ٦٥ ٪ ونسبة الحديد والمغنسيوم فيها متوسطة ومن صفاتها أن لونها أغمق من الصخور الحامضية ، ومن أمثلة هذا النوع من الصخور النارية هو الديوريت والانديسايت السايناييت والتراخايت .

جـ - الصخور القاعدية : ان نسبة السليكا في هذا النوع من الصخور النارية أقل من ٥٢ ٪ ونسبة الحديد والمغنسيوم فيها أعلى منها في الصخور الحامضية والمتعادلة ويكون لونها عادة مائلاً الى السواد حيث فيها معدن الكوارتز ومن أمثلة هذه الصخور ، الكابرو والبزالت والدولوريت .

اللـــون : يمكن تقسيم الصخور النارية الى قسمين رئيسيين بالنسبة للونها :

أ - صخور معتمة أو قاتمة اللون مثل صخر البازلت وفيه يكون الصخر أخضر اللون مائلاً الى السواد وتتفاوت هذه الدرجة من صخر الى آخر .

ب - صخور ذات لون فاتح مثل صخور الكرانيت وغيرها .

ان لون الصخور النارية يعتمد على التركيب الكيميائي والمعدني كما تبين لنا أعلاه .

النـــسيج : تختلف الصخور النارية لدرجة كبيرة بسبب اختلاف حجم البلورات والحبيبات المكونة لها وشكلها وترتيبها . وتعيين هذه الخواص المختلفة للمعادن المكونة للصخور النارية وعلاقتها ببعضها البعض هو تعيين لخاصية النسيج .

ويقصد بالنسيج هنا احجم النسبي لبلورات المعادن المكونة للصخر وشكلها وطريقة ترتيبها التي تعتمد على سرعة التبريد . فالصخور النارية التي تكونت في جوف الأرض أي بعيدة جداً عن سطح الأرض ، هي تلك التي بردت ببطء شديد مما أدى الى تكون نمو بلورات كبيرة الحجم أي أن نسيج هذا النوع من الصخور هو نسيج خشن . ويمكن رؤية مكوناته المعدنية وتمييزها بسهولة وبالعين المجردة . ان مثل هذا النوع من الصخور يسمى بالصخور الجوفية أو الصخور العميقة . وعلى العكس من ذلك اذا ظهرت الماكما (المادة المنصهرة) الى سطح الأرض على شكل حمم بركانية فانها تبرد وتتجمد بسرعة فائقة وتحت هذه الظروف لاتجد البلورات الصغيرة الفرصة الكافية لنموها ، في هذه الحالة يتكون لدينا صخر دقيق الحبيبات ويوصف نسيجه بهذه الصفة أيضاً (نسيج دقيق الحبيبات) وفي هذه الحالة يمكن تمييز البلورات بواسطة عدسة مكبرة وفي حالات أخرى عندما يكون النسيج من الصغر بدرجة لايمكن معها تمييز حجم البلورات الا والمايكرسكوب عندئذ يسمى هذا النوع من النسيج الصخري بالنسيج المجهري التبلور وهنالك بعض الحالات لايمكن تمييز البلورات فيها حتى بالميكرسكوب العادل ولكن يمكن معرفة تبلورها بالميكرسكوب المستقطب حيث ان المواد المتبلورة تجعل الضوء المار بها يتذبذب في مستوى محدد وهذه طبعاً خاصية ضوئية ذكرناها سابقاً تحدث في المواد ذات البناء الذري المنتظم أما المواد غير المتبلورة فانها لاتستقطب الضوء أي أنها لاتحدد مستويات ذبذبته . ان هذا النوع من النسيج الصخري يسمى بالنسيج الخفي التبلور .

لقد اتفق علماء الصخور (البترولوجست) على تسمية الصخور النارية التي تـ
أحجام جميع بلوراتها تقريباً بالصخور المنتظمة الحبيبات أما الصخور التي تظ
بلورات كبيرة الحجم مدفونة في حبيبات أصغر حجماً فأطلقوا عليها تسمية الصخور
النارية ذات النسيج البورفيري في حين أطلق اسم الفينوكرست على البلورات الكبيرة
الحجم الآنفة الذكر . أما اذا لم يسمح للبلورات بالتكون بتاتاً وذلك بسبب التبريد
المفاجيء (السريع) أي عندما تخرج الحمم البركانية (الماكا) الى السطح فان هذا النوع
من النسيج يسمى عادة بالنسيج الزجاجي .

ان الحمم البركانية التي تنساب على سطح الأرض يكون جزؤها الخارجي ذا نسيج
زجاجي بينما تكون أجزاؤها الداخلية الأخرى دقيقة التبلور مجهرية التبلور . وعندما
تنحصر الغازات في حمم اللابا (اللافا) Lava وتتسرب فيما بعد فانها تترك فراغات في
مكانها وهذه الفراغات تسمى بالفقاعات ومن أمثلتها حجر الخفاف . ان مثل هذه
الصخور يكون نسيجها فقاعياً . وقد تمتلىء هذه الفقاعيع بالمعادن الثانوية التي تكونت
نتيجة مرور محاليل عليها فيما بعد ، فتتكون لدينا صخور نارية ذات النسيج اللوزي
(الاميكدلويدل) (Amygdaloidal) .

أشكال وجود الصخور النارية في الطبيعة :

تتصلب المادة المنصهرة (الماكا) في مواقع مختلفة من القشرة الأرضية فهي تارة
تتصلب في جوف الأرض وتارة أخرى على سطحها وتارة أخرى في موقع آخر مغاير ،
وفي كل حالة من هذه الحالات ينتج لدينا نوع معين من الصخور النارية يتميز بصفات
خاصة من حيث درجة التبلور ونوع البلورات وحجمها ، أي يكون له نسيج معين .
لذلك يمكن تقسيم الصخور النارية حسب موقع تبلورها أو مكان تبلورها في الطبيعة
الى :

أ ـ الصخور الجوفية : وهي تلك الصخور التي بردت وتصلبت في أعماق بعيدة
من جوف الأرض وتحت عوامل كثيرة من الضغط والحرارة مما جعلت التبريد بطيئاً
وبذلك تمكن المعادن المكونة لها من التبلور تبلوراً ظاهراً أي أنها ذات نسيج خشن .
وفي بعض الأحيان توجد الصخور الجوفية على شكل كتل صخرية هائلة جداً بحيث تبلغ

مئات الكيلومترات المربعة في مساحتها وتتسع قاعدتها كلما تعمقنا الى الأسفل وتعرف هذه الكتل من الصخور النارية الجوفية باسم الباثولث Batholith وتعرف طبيعة هذا النوع من الصخور بالطبيعة الكرانيتية . وتوجد في الطبيعة أصغر من هذه الكتل الصخرية النارية وتسمى عندئذ بالستوك (Stock) أو البوص ولاتتجاوز مساحتها الـ ٤٠ كم مربع (لاحظ الشكل ٤ - ٣) .

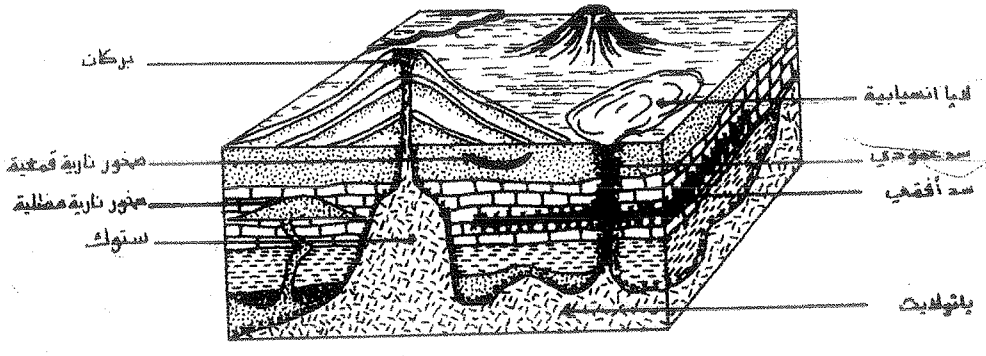
وهنالك نوع آخر من الصخور الجوفية ولكنها ليست عميقة كما ذكرنا أعلاه بل هي متوسطة العمق وهي التي تدخل في صخور وطبقات القشرة الأرضية والتي تصلبت بالقرب من السطح أي أنها بردت وتجمدت بسرعة أكثر من سرعة انجماد الصخور الجوفية ، لذلك فان بلوراتها دقيقة الى متوسطة الحجم ونسيجها يسمى دقيق البلور .

يحدث في بعض الأحيان أن بعض البلورات التي قد نمت في الماكما في جوف الأرض ثم تنتقل من الماكما المكونة لهذه الصخور الجوفية حيث تترسب كبلورات بالقرب من السطح أي في محيط بلوري ناعم عندئذ يكون نسيج مثل هذه الصخور بورفريا أي تكون ذات بلورات خشنة مدفونة في بلورات ناعمة .

ومن أمثلة هذه الصخور هي الدولورايت والفلسايت وتكثر هذه الأنواع من الصخور على شكل سدود أفقية Sills أوقاطعة كما في الشكل أدناه .

فالأولى عبارة عن كتل صخرية نرية داخلية (جوفية) مسطحة نتجت عن بروز الماكما وانجمادها في الطبقات الصخرية الرسوبية الأفقية المحيطة . أما الأخيرة السدود (Dikes) القاطعة - فهي تلك الصخور النارية التي تكونت من انجماد الماكما عندما دخلت في الشقوق او الصدوع او ملأت العروق الموجودة في الصخور المجاورة وتكون عادة أما عمودية أو مائلة . ويتراوح سمك هذه السدود من بضعة سنتمترات الى مئات الأمتار ولكن معدل سمكها لايتجاوز الثلاثة أمتار . (١)

قد تكون الكتل الصخرية النارية المتوسطة العمق على شكل مظلة فتسمى بالكتل المظلية (Laccolith) أو على شكل قمع فتسمى عندئذ بالكتل القمعية (Lapolith) أو على شكل قوس فتسمى عندئذ بالكتل القوسية (Phacolith) .



شكل (٢٠٤)

أشكال الصخور النارية الجوفية

ب ـ الصخور السطحية أو البركانية : هي الصخور النارية التي بردت وتصلبت على سطح الأرض بسرعة لم تسمح للبلورات فيها أن تتكون أو أن تنمو بالمرة فنتج عنها نسيج زجاجي ومن أمثلة هذه الصخور هو الرايولايت والبازلت والتراخايت والانديسات والاوبيسيديات وعندما تبدأ الماكا بالانسياب على السطح فإنها تنتشر على مساحات واسعة ويكون سمكها خفيفاً شبيهاً بالصفائح فتسمى باللابا أو اللافا .

بنية الصخور النارية أو تركيب الصخور النارية :

عندما تتمدد الغازات على سطح الأرض في الحمم البركانية تتكون في الصخور البركانية بنية فقاعية وتأخذ هذه الفقاقيع شكلاً بيضوياً نتيجة لانسياب اللابا وحركتها أثناء خروج الغازات من الفقاعات . وقد تترسب معادن ثانوية أثناء مرور محاليل جديدة في هذه الفجوات وخاصة معدن الزيولايت (سلكات الصوديوم أو البوتاسيوم أو الكالسيوم المائية) يترسب هذا المعدن غالباً في هيئة بلورات شعاعية ويعرف هذا البناء بالبناء اللوزي . وعندما تبرد اللابا وتجمد فانها تكوّن صخوراً بركانية ملساء أو متموجة السطح و تكون على شكل حبل (Ropy) وقد تكون على شكل وسادة وتسمى عندئذ بنية وسادية Pillow بحيث يتراكم بعضها فوق بعض الآخر . ويحدث هذا غالباً في الحمم البركانية التي تنساب تحت سطح البحر . قد توجد الصخور البركانية في هيئة قطع صغيرة مكسرة وذات أحجام مختلفة وذلك لتراكم المواد المختلفة التي يقذفها البركان في الهواء والتي تسمى أحياناً بالقنابل البركانية Bombs .

تنتج البنية الأساسية في بعض الأحيان عن وجود بعض بلورات المعادن المكونة للصخور والموازية لبعضها البعض والمرتبة في اتجاه واحد ، بحيث أن البلورات قد ترتبت باتجاه حركة اللابا .

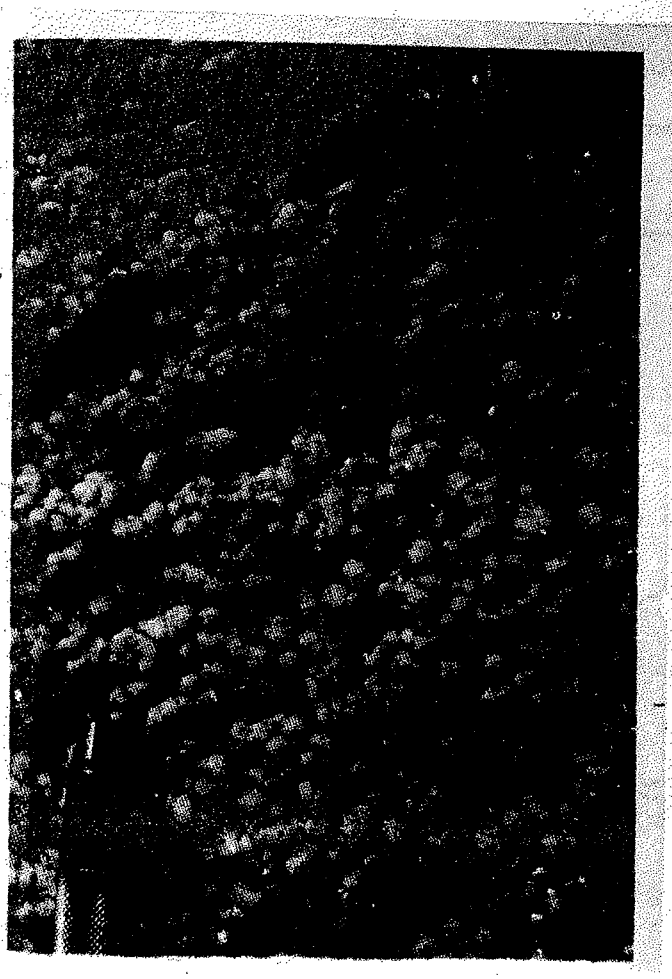
الصخور الرسوبية :

تعتبر الصخور الرسوبية ذات أصل ثانوي أي أنها تكونت من صخور أولية كانت موجودة سابقاً فتفتتت وتحللت بفعل العوامل الجوية المختلفة . قد تترسب هذه الفتات ثانية في أماكن تجمعه بواسطة المياه الجارية (المياه السطحية) و بواسطة الثلاجات

(الجليد) أو الرياح . تقوم عوامل التجوية بعملية تحلل المعادن المختلفة التي سيأتي ذكرها بالتفصيل في الفصل القادم . وتنتج عن هذه العمليات المعادن الطينية والأملاح المختلفة وحبيبات صغيرة من المعادن التي تقاوم التحلل والتفتت والتكسر (التجوية) مثل الكوارتز (حجر الصوان) والزركون والكارنت والماكينتايت .

تشكل الصخور الرسوبية في الحقيقة نسبة ضئيلة لاتتجاوز ٥ ٪ من حجم القشرة الأرضية (الغطاء الصلب) والبالغ سمكه ١٦ كم بينما نجد المساحة الظاهرة من الرسوبيات تشكل من ٧٥ ـ ٨٠ ٪ من مساحة سطح الأرض (الحمدان ، ١٩٧٥) فهي اذن تكون طبقة رقيقة تغطي سطح الأرض . لاتنتج الرسوبيات عن تجمع الرمال والطين المنقول بواسطة الأنهار والرياح فقط بل ان هنالك عمليات تكوينية أخرى لايمكن رؤيتها وذلك مثل التغيرات أو عمليات النشوء المتأخرة التي تتضمن عمليات الهاليل بين الطبقات وعمليات السمنت وعمليات الكونكريت الطبيعي وهناك أيضاً عمليات التيارات العكرة التي تعتبر مسؤولة عن نقل وترسيب وتشكيل الكثير من الرواسب البحرية ، فضلاً عن كثير من الرواسب الكيميائية التي لايمكن رؤية عملية تكوينها أبداً ، تتكون الصخور الرسوبية عادة في أحواض ترسيبية كبيرة (البحار والمحيطات) . أي أن فتات الصخور وكسارها التي تنتقل بواسطة المياه السطحية الجارية (الأنهار مثلاً) تنقل الى هذه البحار والمحيطات . وتترسب بعض الرواسب التي يبلغ وزنها ملايين الأطنان سنوياً في المياه الضحلة قريباً من اليابسة ، وعلى مدى ٢٠٠ الى ٣٠٠ كم من الشاطىء ، في حين أن الرواسب الدقيقة لاصداف الحيوانات المجهرية وكذلك الرماد البركاني الدقيق الذي تطوف به الرياح والتيارات الهوائية حول الأرض ينتهي به المطاف ليسقط على سطح البحار والمحيطات . ثم تتراكم هذه الرواسب الدقيقة جميعها في قاع البحار والمحيطات ، كما وان هنالك رواسب تنتج عن تآكل وتفتت الشواطيء بفعل الأمواج والتي تترسب أيضاً بدورها على شاطيء البحر . أما البحيرات الداخلية (داخل القارات) فانها تتلقى رواسب الأنهار التي تصب فيها وكذلك رواسب الرياح . تترسب في بعض البحيرات رواسب كيمياوية كالملح والجبس وذلك نتيجة لتبخر مياهها المالحة كبحيرة ساوة في الساوة وبحيرة الشارع في سامراء (لاحظ الشكل ٤ ـ ٤) .

ان السهول الفيضية وشواطيء الانهار هي الأخرى تشهد ترسب كميات ضخمة من



شكل (٤ - ٤)

رسوبيات ملحية في بحيرة ساوه تشبه زهرة القرنابيط

الرواسب النهرية في حين ان البحيرات الضحلة والمستنقعات في المناطق الاستوائية الرطبة تراكم فيها النباتات لكي تتحول فيما بعد الى صخور الفحم . هناك رواسب أخرى تترسب مباشرة على سطح الأرض ، فعند حواف الهضاب والجبال تتراكم أكوام من المواد الصخرية المهشمة ، في حين تتراكم في الصحاري أكوام ذات أشكال مختلفة من الرمال والأتربة التي تذروها الرياح وتنقلها من مكان الى آخر ويطلق عليها اسم الكثبان الرملية . وفي مناطق مختلفة من العالم تكثر الينابيع حيث تخرج المياه من باطن الأرض محملة بالمواد المعدنية الذائبة والتي لاتلبث أن تترسب حول الينبوع بعد تبخر الماء مكونة الرواسب المعدنية ، بنوعيها الجيرية أو السلكية .

تتميز الصخور الرسوبية بالصفات الآتية :

أ ـ وجودها على شكل طبقات وتتميز عن بعضها البعض بالسمك واللون والنسيج والبنية وتكون عادة أفقية مالم تتأثر بحركات أرضية تجعلها مائلة أو محدبة أو مقعرة أو مكسرة .

ب ـ تحتوي على متحجرات مرئية أو مجهرية .

جـ ـ تحتوي على خامات معدنية كالنفط والفحم والماء والفوسفات والكبريت ... الخ .

د ـ بعضها يحتوي على مسامات ولهذه المسامات أهمية كبيرة في تواجد النفط والمياه والغاز في الأرض (لاحظ شكل ٤ ـ ٥) .

التركيب المعدني للصخور الرسوبية :

للصخور الرسوبية تراكيب معدنية مختلفة ، يتركب بعضها من المواد الكاربونية مثل الفحم والبعض الآخر يتركب من المواد السليكية مثل الصخور الرملية والبعض الآخر يتركب من الكاربونات الكلسية مثل حجر الكلس (الصخر الجيري) في حين أن بعضها الآخر يتركب من معادن مركبات السليكات المائية للالمنيوم (الكائولين أو طين خاوه) مثل الصخور الطينية .

وبصورة عامة نوجد المعادن الآتية في أغلب الصخور الرسوبية :

أ ـ **حجر الصوان (الكوارتز)** : يوجد هذا المعدن في الرمل والصخور الرملية .

ب ـ **الكالسايت** : يوجد عادة في الصخور الجيرية (الكلسية) كالحجر الجيري والطباشيري .

جـ ـ **معادن أكاسيد الحديد** : توجد هذه المعادن في الرواسب الحديدية الرملية التي تكثر في طبقات الفارس الأعلى (الهمتايت) أما الكانتايت فيوجد في رواسب الرمال السوداء المنتشرة على شواطىء دجلة والفرات .

د ـ **الجبس** : يكثر وجوده في طبقات الفارس الأسفل وكذلك في رواسب البحيرات .

هـ ـ **ملح الطعام** : يكثر وجوده في رواسب البحيرات المالحة كبحيرة الشارع (قرب سامراء) .

ومن الجدير بالذكر أن معادن الفلدسبار والتورمالين والهورنبلند وغيرها من المعادن المختلفة توجد في بعض الصخور الرسوبية وبكميات ضئيلة .

تصنيف الصخور الرسوبية :

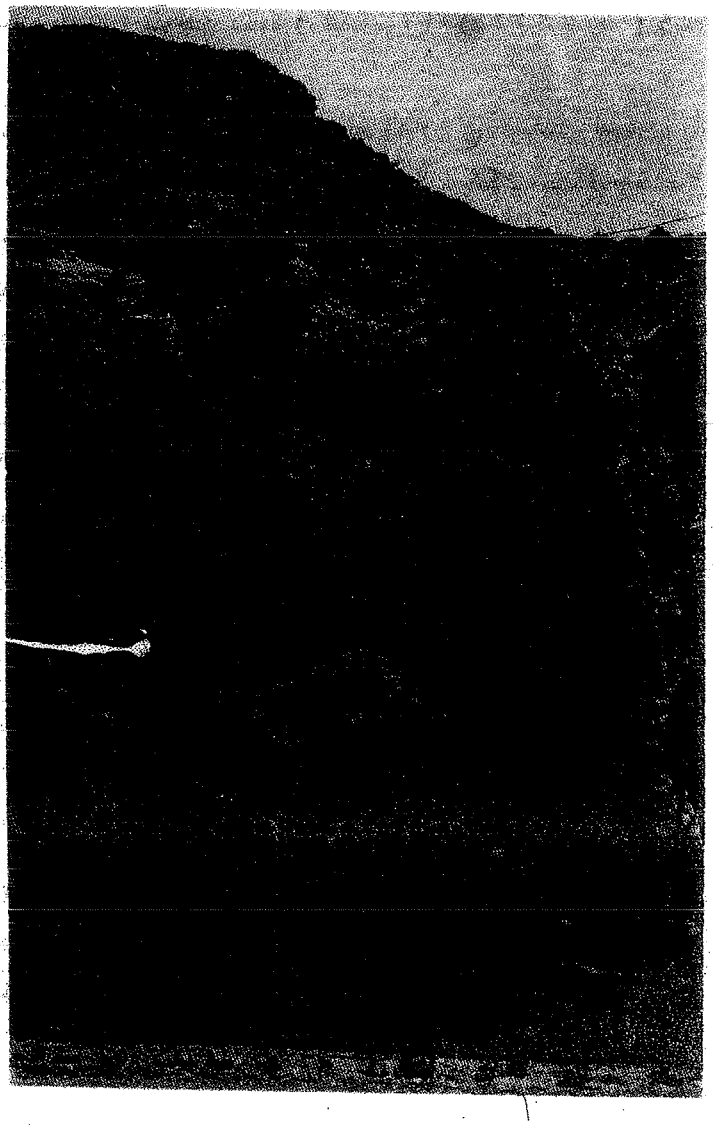
تصنف الصخور الرسوبية حسب نشأتها وتكوينها الى ثلاثة أصناف هي :

أولاً : صخور رسوبية ميكانيكية :

هي عبارة عن فتات الصخور التي سبق أن تجوت ونقلت وترسبت (تمرت) بواسطة الماء أو الهواء أو الجليد دون أن يحدث لها أي تحلل كيميائي ومن أمثلة هذه الصخور تكتل المتكورات (المجمعات) (الصخور المدملكة) أو الصخور الرملية أو السلتية أو الطينية (شكل ٤ ـ ٦) .

تكتل المتكورات Conglomerate :

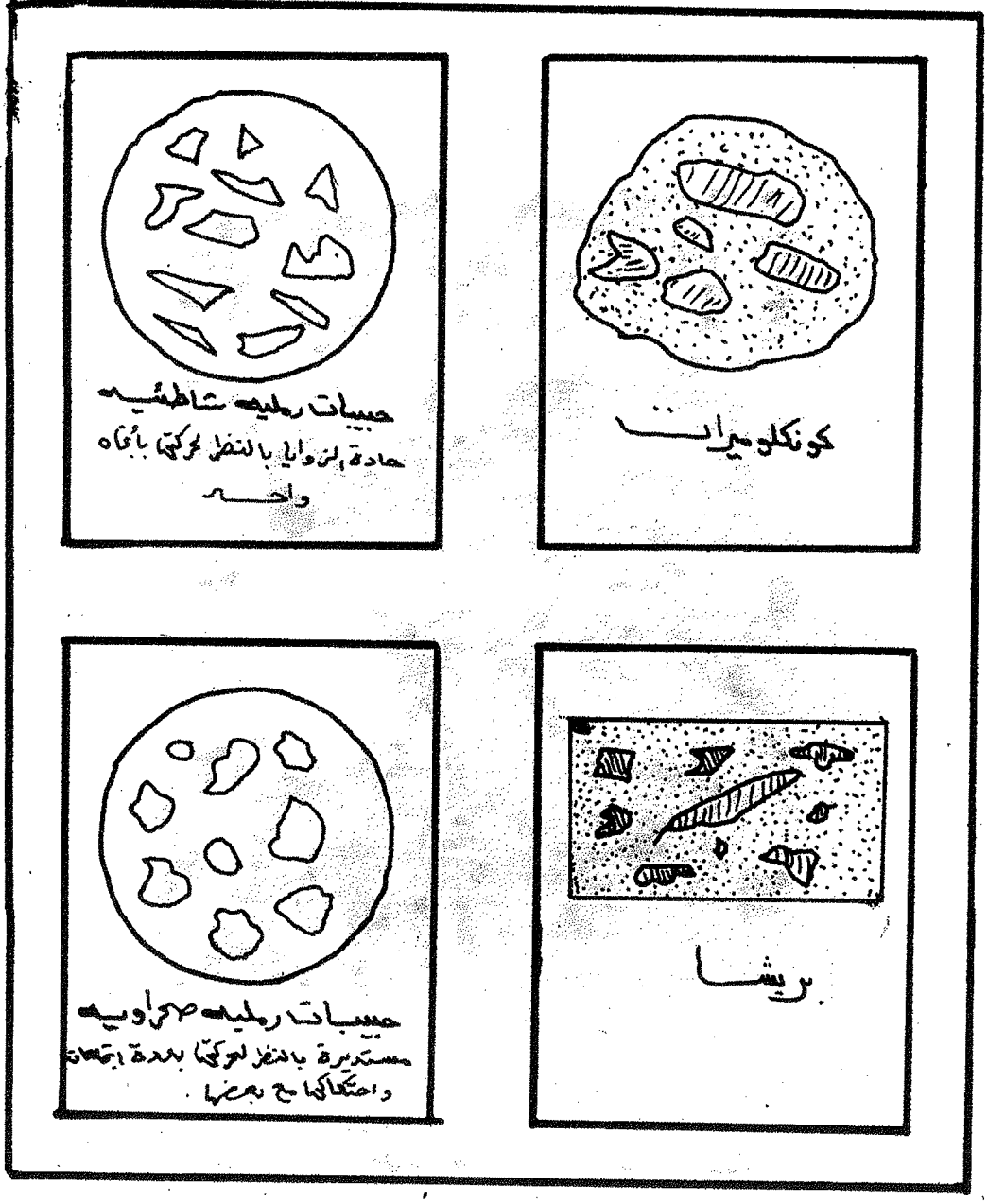
هي صخور متكتلة من الحصى والرمل والسمنت مكورة الشكل وكبيرة الحجم يتراوح قطرها بين ١٠ الى ٢٠ سم (شكل ٤ ـ ٧) .



شكل (٤ - ٥)

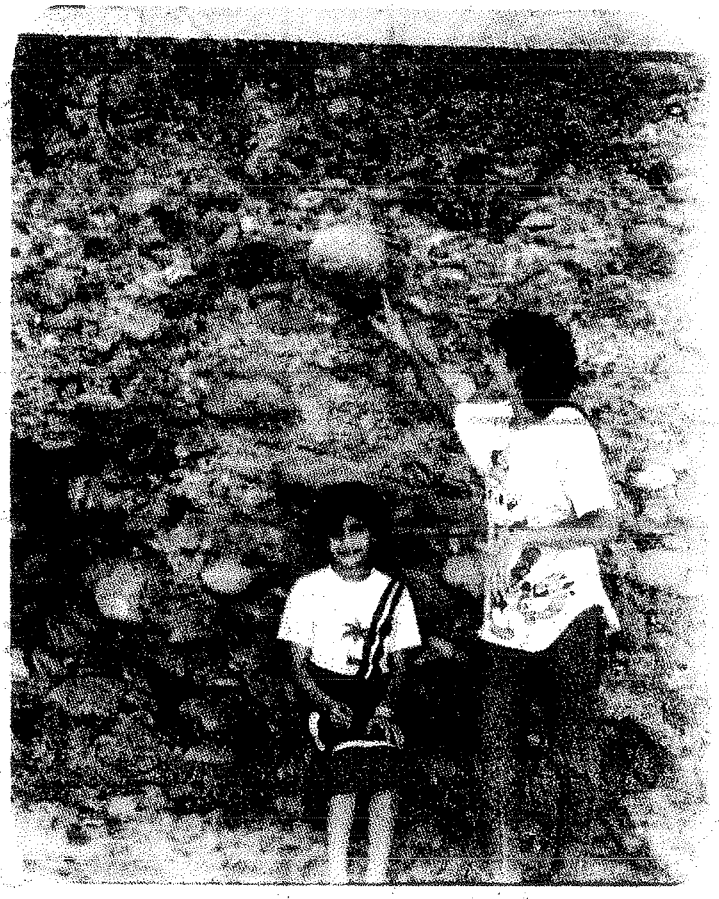
صورة توضح طبيعة الصخور الرسوبية من طباقية ومسامية

ومستحالات وشقوق وفواصل (جبل عمان - الجزء الشمالي)



شكل (٦٠٤)

خطط لنسيج صخري ورسوبي



شكل (٤ - ٧)
صورة توضح صخور تكتل المتكورات (المدملكة) اي الكونكلاموريت
في جبل بي خير مطل على نهر الخابور قرب الجسر العباسي - مدينة زاخو

الصخور الرملية :

هي عبارة عن حبيبات رملية متماسكة بواسطة مادة السليكا أو الكاربونات أو أكاسيد الحديد أو مواد معدنية طينية دقيقة ، يعتمد لون الصخور الرملية على لون المادة الماسكة (اللاصقة) ، فهناك صخور رملية صفراء أو حمراء أو سوداء .

ومن الجدير بالذكر أنه عند كسر الصخور الرملية يحدث الكسر في المادة الماسكة (اللاصقة) بحيث تبقى الحبيبات الرملية على حالها . ان سطح الكسر يكون حبيبياً وأهم المعادن المكونة لهذه الصخور هي حجر الصوان (الكوارتز) . وأحياناً تحتوي الصخور الرملية على كمية كبيرة من الفلدسبار (الفلسبار) عندئذ يعرف الصخر باسم آركوز . اما الحبيبات الرملية فهي عبارة عن صخور رملية مفككة أي عند تجوية الصخور الرملية نحصل على رمل ، اذ يبلغ قطر هذه الحبيبات مابين ٢ ملم الى ١ / ١٦ ملم . ويصنف الرمل عادة الى رمل خشن ومتوسط وناعم كما في الجدول التالي (٤ - ٥) .

الجدول رقم (٤ ـ ٥) أشكال الحبيبات الصخرية وقياساتها

اسم المادة	قطر الحبيبات	ومايقابل ذلك من أحجام فتحات المناخل الاميركية
الجلاميد	أكبر من ٢٥٦ ملم	
الحصى الكبيرة	٢٥٦ ـ ٦٤ ملم	
الحصى	٦٤ ـ ٤ ملم	
الحبيبات	٤ ـ ٢ ملم	٥ ، ٦ ، ٧ ، ٨ ، ١٠
الرمل ـ الخشن جداً	٢ ـ ١ ملم	١٢ ، ١٤ ، ١٦ ، ١٨
الرمل ـ الخشن	١ ـ ٢/١ ملم	٢٠ ، ٢٥ ، ٣٠ ، ٣٥
الرمل ـ المتوسط	٢/١ ـ ٤/١ ملم	٤٠ ، ٤٥ ، ٥٠ ، ٦٠
الرمل ـ الناعم	٤/١ ـ ٨/١ ملم	٧٠ ، ٨٠ ، ١٠٠
الرمل ـ الناعم جداً	٨/١ ـ ١٦/١ ملم	١٢٠ ، ١٤٠ ، ١٧٠ ، ٢٠٠
الطين والغرين ـ الطمي	١٦/١ ـ ٢٥٦/١ ملم	٢٣٠ ، ٢٧٠ ، ٣٢٥
الطين والغرين ـ الصلصال	أقل من ٢٥٦/١ ملم	

ان كثرة معادن الاكتنايت في الرمال تغطيها صفة السواد ويسمى الرمل عندئذ بالرمل الأسود . توجد في هذا النوع من الرمال عادة بعض المواد المشعة التي تحتوي على عناصر مشعة مثل اليورانيوم والثوريوم بالاضافة الى بعض العناصر النادرة مثل السيريوم والزركونيوم . وهذه بدورها تكون مصدراً اقتصادياً .

تكثر الرمال في الوطن العربي وتكون موزعة على مساحات كبيرة جداً في الصحاري العراقية والمصرية والليبية والجزائرية . وهي أيضاً تغطي ضفاف الأنهار كدجلة والفرات والنيل . كما وأنها توجد على شكل كثبان رملية كما في شبه جزيرة العرب ودولة الامارات العربية المتحدة (شكل ٤ ـ ٨) .



شكل (٤-٨)
كثيب رملـــي

الصخور الطينية والصخور الصفاحية Argillites and Shales :

أن الطين الصفاحي (الصفحي) Shale هو أكثر الصخور الرسوبية تواجداً في الطبيعة ويقدره العالم كونين (Kuenen ١٩٦٤) بحوالي ٦٥ ٪ من الصخور الرسوبية . ومن الناحية الجيولوجية يكون الطين الصفحي من ٧٠ ـ ٨٠ ٪ من مجموع الرسوبيات المتكونة خلال العصور الجيولوجية . أما الصلصال Clay فانه صخر مرن ويتكون من معادن طينية وهو عبارة عن سليكات الالمنيوم المائية وحبيباته دقيقة لاتتجاوز ٠,٠٠٢ من الملم أي ١/٢٥٦ .

أما حجر الصلصال Claystone فانه صلصال متصلب وقديم ، أي أنه يحتوي على أسطح طبقية أو شقوق موازية للطبقات . اذن فالطين الصفحي هو حجر صلصال أو حجر طيني يحتوي على صفائح رقيقة . أما حجر الصلصال الذي لايحتوي على صفائح رقيقة فيسمى حجر الطين Mudstone أما الغرين Silt فهو من الرواسب الدقيقة المفككة التي يتراوح قطر معظم حبيباتها بين ١/١٦ ـ ١/٢٥٦ ملم وحقيقة حجر الغرين Siltstone أنه طين أو غرين قديم متصلب . فان احتوى على تشقق طبقي فيسمى بالحجر الغريني الصفاحي (Shaly Siltstone) أو بالحجر المتصفح الغريني (Silty Shale) .

يمكن اطلاق كلمة حجر الطين المتصلب (Argillite) على الصخور الناتجة من الحجر الغريني أو الحجر الصفحي Shale القديم الذي فقد كثيراً من الماء بحيث زادت صلابته ومر بمراحل من التغير أكثر من تلك التي تعرض لها الحجر الطيني أو الحجر الصفحي . وتمثل الدورة الآتية التغيرات التي تطرأ على هذه الصخور الرسوبية في الطبيعة .

ويمكن القول بصورة عامة . أن اللون في الطين الصفحي هو أكثر الصفات الفيزيائية وضوحاً في تحديد هذا النوع من الرسوبيات وكلما كان لون الطين الصفحي معتماً كلما كانت كمية المواد العضوية فيه كبيرة . فالأطيان الصفحية السوداء تكون عادة غنية بالمواد الكاربونية . وأما الأطيان الصفحية الحمراء فتكون غنية بأكاسيد الحديد (الهيماتايت) في حين أن الأطيان الصفحية الخضراء والسوداء تحتوي على عنصر الحديد في تكافئه الأقل (الحديدوز) . ويعزي تغير لون الطين الصفحي المحتوي على معدن السديرايت من الرمادي أو الأزرق الى البني أو اللحمي الى عدم ثبات معدن السديرايت .

نسيج وتركيب الصخور الطينية :

تبدو حبيبات (نسيج) الصخور الطينية ككرات من الكوارتز (حجر الصوان) كاملة الاستدارة . ان معظم أنواع الصخور الطينية تحتوي على نسبة كبيرة من الغرين . لذلك فقد افترض أن الأطيان الصفحية تحتوي على وحدتين من الغرين Silt ، ووحدة من الطين Clay .

أما شكل الصخور الطينية وتنظيمها Skewness and Sorting فغير واضحين ، وذلك نتيجة لعمليات النقل والترسيب أو التحليل التي تتعرض لها هذه الصخور باستمرار .

خاصية التشقق : Fissility

هي تلك الخاصية التي تترتب فيها معادن المايكا في وضع موازٍ للطبقات وذلك أثناء ترسيبها أو قد يكون نتيجة لعملية التماسك التي قد تصحب عملية التبلور الثانوية . وقد لوحظ أيضاً بأن خاصية التشقق لاتكون دائماً موازية للطبقات أو قد تكون في الطبقات القديمة . وبصورة عامة فأنه يمكن القول بأن خاصية التشقق هي الى حد ما من الأشكال الثانوية التي تكونت بواسطة دورة نمو معادن المايكا في الطبيعة نتيجة للضغط الشديد . مثال على ذلك عند كسر صخر السليت (الصخر المتحول) فان الكسر أو التشقق يحدث بصورة عمودية على محور الطبقة .

وعلى العكس من ذلك الحجر الطيني المتصلب Argillite اذ ليست له هذه الخاصية رغم كونه يحتوي على صفائح رقيقة ولايختلف في تركيبه عن الطين الصفحي المعروف أو عن السليت (الصخر المتحول) فانه ليس له تشقق سواء في وضع موازٍ للطبقة أو في أي وضع آخر .

التصفح : Lamination

ان هذه الخاصية موجودة ومعروفة في الطين الصفحي . ويتراوح سمك الصفائح في الطين الصفحي بين ٢/١ الى ١ ملم وغالبيتها تقع بين ١ر٠ - ٤ر٠ ، وتوجد ثلاثة أنواع

من التصفح :

١ ـ تبادل صفوف الحبيبات الخشنة والحبيبات الناعمة مثل الغرين والطين .
٢ ـ تبادل الصفوف القاتمة اللون والصفوف ذات اللون الخفيف والتي تتميز بمحتوياتها العضوية .
٣ ـ تبادل طبقات حجر الكلس والغرين .

يتضح من هذا ان تكوين هذه الصفوف المتبادلة يعتمد على تباين سرعة الترسيب للحبيبات المختلفة ، أو على اختلاف معدل المواد الموجودة في حوض الترسيب ، وقد يحدث التصفح نتيجة للعواصف والفيضانات أو يكون نتيجة للتغير في كمية الترسيب خلال السنة عندئذ تسمى بالصفائح السنوية .

المسامية :

تكون المسامية في الطين المترسب حديثاً عالية جداً بينما تنخفض نسبتها كثيراً في الطين الصفحي . ان قلة المسامية هذه ترجع الى التماسك الناتج عن ضغط الطبقات المتراكمة فوق بعضها البعض . وقد وجد أن المسامية هي دالة على كثافة المواد المترسبة ، كما وجد أيضاً أن المسامية تقل نتيجة لتكسر المواد المترسبة .

أنواع التربة في الصخور الطينية :

١ ـ **اللاترايت** : تتكون هذه التربة تحت الظروف الاستوائية أي الحرارة الشديدة والأمطار الغزيرة بحيث أن العناصر والمعادن تنجرف (تشطف) جميعها من التربة بما في ذلك مادة السليكا . وتوصف تربة اللاترايت بأنها صلصال أسمر محمر أسفنجي القوام تكثر الفراغات بين حبيباتها . يكثر هذا النوع في المناطق الرطبة الحارة .

٢ ـ **البيدالفر Pedalfer** ، يكون هذا النوع من التربة غنياً بهيدروكسيد الحديد والالمنيوم ويفتقر الى الكالسيوم والمغنيسيوم والقلويات ويتكون في المناطق الرطبة من العالم .

٣ ـ البيدوكال Pedocal ، يتكون هذا النوع من التربة في المناطق الصحراوية كتربة الكاليجي Caliche والديوريكراست Duricust . فيتكون في الأراضي المنبسطة المستوية المتميزة بتعاقب الرطوبة العالية والجفاف الشديد واتساع المدى الحراري بين الليل والنهار والصيف والشتاء . ويتكون نتيجة صعود المياه الجوفية الى الأعلى واقترابها من السطح بواسطة الخاصية الشعرية أثناء الصيف .

يتكون من المكونات الصلصالية والأطيان الصفحية المنقولة بصورة عامة أما نتيجة النحت وغالبيتها من الغرين أو من التجوية وغالبيتها من الصلصال أو من تغيرات كيمياوية أو تغيرات كيمياء حياتية .

٤ ـ رواسب اللوس Loess ، هي رواسب من الغرين ذات ميزات خاصة ، مفككة ، صفراء أو تميل الى اللون الأحمر ، لاتحتوي على طبقات ولها قدرة فائقة على الثبات في السطوح الشديدة الانحدار ، تحتوي على نسبة عالية من حجر الكلس . تمتاز هذه التربة بوجود كثير من الأنابيب العمودية الدقيقة المتكلسة والتي هي بقايا جذور النباتات التي عاشت في هذه التربة وتكثر فيها أيضاً بقايا القواقع البرية الحديثة .

ثانياً : الصخور الرسوبية الكيميائية :

هي تلك الصخور التي تكونت بطرق كيميائية أو هي رواسب المحاليل التي تبخرت . يكثر هذا النوع من الصخور الرسوبية في المناطق الصحراوية حيث تتعرض مياه البحيرات الموجودة هناك الى درجة كبيرة من التبخر . ومن هذه الصخور الملح ، والجبس والجبس اللامائي والدولومايت وحجر الكلس وبعض أنواع الصخور الكلسية .

ومن الجدير بالذكر ان المعادن التي تترسب أولاً هي المعادن الأقل ذوباناً في حين أن المعادن الأكثر ذوباناً تترسب في النهاية .

فمثلاً عند تحليل نموذج من مياه البحر أو المحيط نحصل على العناصر المختلفة الموضحة في الجدول رقم (٤ ـ ٦) .

جدول رقم (٦٠٤) يوضح العناصر الذائبة في ماء البحر

العنصر	جزء من المائة من المادة الصلبة
صوديوم	٣٠٫٦٤
كالسيوم	٣٫٧٦
مغنيسيوم	١٫٢٠
بوتاسيوم	١٫٠٩
كلوريد	٥٥٫٢١
كبريتات	٧٫٧
كربونات	٠٫٢١
روميد	٠٫١٩
	١٠٠ ٪

يسمى التركيز الحقيقي لهذه الأملاح بدرجة الملوحة التي تختلف من مكان الى آخر داخل البحر أو المحيط ، الا أن المعدل النسبي للأملاح الذائبة فيه تبقى ثابتة .

ومع أن تركيب أملاح البحر ثابت تقريباً الا أن التركيز الحقيقي أو درجة الملوحة تختلف من مكان الى آخر في هذه الأحواض ، ويعبر عن درجة الملوحة عادة بوزن الأجزاء من الأملاح الذائبة في اللتر (١٠٠٠ ملم) أي بأجزاء من الألف من المحلول وتتراوح درجة الملوحة بين ٣٤ ٪ في المحيطات الهادي والأطلسي والهندي الى ٣٩ ٪ قرب قبرص (البحر المتوسط) وأكثر من ٤٠ ٪ في خليج السويس والخليج العربي والبحر الأحمر .

ان الأسباب التي تؤدي الى زيادة الملوحة في البحار والمحيطات هي عدم وجود الاضافة الكافية من المياه العذبة أو أن يكون البحر مقفلاً كما هو الحال في البحر الميت أو بحر قزوين أو أن يكون في منطقة حارة يزداد فيها معدل التبخر . أما الأسباب التي تؤدي الى نقص الملوحة فهي كثرة التزود بالمياه العذبة من الأنهار التي تصب في البحر أو وجود منطقة ثلوج قريبة أو مناطق تكثر فيها الأمطار وانخفاض معدل التبخر . ان الترسبات الملحية التي تنتج مباشرة عن تبخر مياه البحر تتكون عادة في مناطق خاصة ومحدودة نوعاً ما ، فالترسب لايحدث في وسط البحر ، وانما ينحصر في المستنقعات والبرك الساحلية وكذلك على الامتدادات الضحلة من البحر التي تتصف بحركة المياه المحدودة ، ولاتصل اليها الا كميات قليلة من المياه العذبة . ان عملية التبخر هذه تجعل المياه مركزة بالنسبة لبعض الأملاح مما يسبب تبلورها وانفصالها . وأول ما ينفصل من هذه الأملاح كاربونات الكالسيوم ثم تتبعها كبريتات الكالسيوم ثم كلوريد الصوديوم وبعد ذلك تترسب أملاح المغنيسيوم الشديدة الذوبان والتي لاتترسب الا تحت ظروف من الجفاف الشديد . ويتبلور ملح الطعام في الوقت الحاضر في مناطق عديدة من العالم مكوناً مايسمى بالمالح . ومن أحسن الأمثلة على المالح في منطقة البحر المتوسط ، تلك المملحة الموجودة في قبرص وكذلك المالح الموجودة قرب مدينة السماوة ، ومملحة بحيرة الشارع في العراق ومملحة منخفض القطارة في مصر ومملحة العرائش في القطر المغربي .

تتكون رواسب الملح الصخري والجبسم الموجودة على طول ساحل بحيرة ساوة بسبب جفاف مياه البحيرة التي تقذف بها الرياح أو الأمواج الى الشاطيء على شكل رذاذ . ويعتقد في بعض المناطق أن رواسب الجبسم المتبلورة تنتج عن تبخر مياه البحر التي تصعد خلال الرمل الى السطح بواسطة الخاصية الشعرية . ويبدو أن شدة التبخر لاتكفي لتبلور ملح الطعام . وعندما يكون الرمل محتوياً على مواد كلسية فانه يحدث احلال أيوني لكاربونات الكالسيوم بواسطة كبريتات الكالسيوم حيث ينتج عن ذلك الجبسم . ☆

أما العمليات المتأخرة التي تحدث تحت السطح والتي يتكون فيها الجبسم والجبسم

اللامائي (الانهيدريت) والدولومايت اذ يتم تكون هذه الترسبات الكيمياوية عادة في السبخة كما ذكرها لنا كرتس وجماعته سنة ١٩٦٣ Curtis وشيرمان ١٩٦٣ أيضا Shearman وايللنك وجماعته سنة ١٩٦٥ Illing . (يقصد بالسبخة الأراضي المرتفعة وأحياناً المجاورة للساحل والتي تتركز فيها الملوحة وأحياناً يغطيها ماء البحر عندما يعلو المد) واذا صادف سقوط الأمطار خلال عملية المد فيخفف ذلك من ملوحة ماء البحر مما يؤدي الى اذابة ملح الطعام ثم عندما يحدث الجزر فان مياه البحر تنحصر وتكون البرك والمستنقعات ونتيجة للبخر الشديد يزداد تركيز الأملاح مما يؤدي الى ترسيب الجبسم والاركونات وهذا بدوره يؤدي الى زيادة في تركيز نسبة المغنيسيوم الى الكالسيوم والذي يؤدي الى تكوين الدولومايت . وعند تكرار هذه العملية يزداد تراكم الأراكونايت والطين والرمال . وباستمرار العملية فان مستوى الارض يرتفع وتتقدم هذه الأراضي المرتفعة نحو البحر .

ومن الجدير بالذكر أن المد العالي وهبوب الرياح يساعدان على ترسيب المواد الرسوبية مما يساعد على تكوين الأراضي المرتفعة حول الشاطيء ، ومن صفات هذه الأراضي أنها تتميز بالمسامية والنفاذية العاليتين وكذلك بوجود الطبقات فيها . ومن الصخور الرسوبية الكيميائية الستالكتايت والستلاكايت (لصواعد النوازل) وهي عبارة عن أعمدة مخروطية الشكل مكونة من الكالسايت والتي تتدلى من سقوف الكهوف الجيرية أو ترتفع قائمة على أرضية هذه الكهوف ، وقد ترسبت هذه الأعمدة نتيجة لتبخر هاليل المياه الأرضية المحتوية على حامض الكاربونيك وكاربونات الكالسيوم المائية الذائبة فيها .

ان الرواسب الكيميائية السليكية التي تتكون حول بعض أنواع الينابيع الحارة الفوارة والمساة (بالكيزر) تتكون من ثاني أوكسيد السليكون .

ثالثاً : الصخور الرسوبية العضوية :

هي تلك الصخور الناتجة عن تراكم المواد الصلبة التي خلفتها الحيوانات أو النباتات والتي قد تتحول الى صخور فيما بعد كالصخور الكلسية والطباشيرية المتكونة من أصداف ومحارات الحيوانات المختلفة وكذلك الفوسفات والفحم . تكثر مثل هذه الأنواع من الصخور في مناطق مختلفة من العراق .

اما الفوسفات فيوجد بكمية قليلة في التربة وفي مياه الانهار والبحيرات والبحار . وتبقى معظم هذه الكميات في دورتها الطبيعية حيث يمتص جزء بسيط منها بواسطة النباتات وتستخدم الحيوانات الجزء الأكبر منها . وفي الدورة العادية نجد أن نسبة كبيرة من الرواسب الفوسفاتية تعود الى الحالة غير العضوية وذلك بتحلل افرازات الحيوانات وبقاياها وعندئذ تبدأ الدورة من جديد . ومن الجدير بالذكر أن المصدر الأول للفوسفات هو بلورات معدن الابتايت الموجودة في الصخور المتبلورة والتي تتحرر عند تجوية هذه الصخور كما وان الفسفور يخرج عن الدورة الطبيعية عندما تدفن البقايا الحيوانية لتكون فيما بعد رواسب فوسفاتية .

ومن أهم مركبات الفوسفات هي :

الكولوفين (ثلاثي فوسفات الكالسيوم)	$Ca_3(PO_4)_2 . H_2O$
الابتايت	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,CH)$
داهليت	$4Ca_3(PO_4)_2 CaCO_3 . H_2O$
فارسايت	$AlPO_4 . 2H_2O$
فيفينايت	$Fe_3(PO_4)_2 . SH_2O$

يوجد الفسفور بكميات قليلة في الأجزاء الرقيقة من عظام الحيوانات بينما توجد كميات كبيرة منه في عظام الحيوانات الفقرية وفي أصداف بعض اللافقريات .

توجد الفوسفات في عظام الحيوانات الفقرية على هيئة فوسفات الكالسيوم كما توجد في أصداف البراكيوبودا وكثير من القشريات . وبالاضافة الى ذلك فان كثيراً من اللافقريات البحرية تفرز هياكل فوسفاتية وبذلك تسهم هي الأخرى في تكوين رواسب الفوسفات التي تملأ قاع البحار . ومن جهة أخرى فان افرازات بعض الطيور البحرية تتجمع بكميات كافية لتكون رواسب فوسفاتية أيضاً .

ومن الجدير بالذكر أن بعض صخور الفوسفات قد تحتوي على نسبة ضئيلة من عنصر اليورانيوم ، تشكل الفوسفات حجر الزاوية في الاقتصاد القومي لبعض أقطار الوطن العربي كما في المغرب والجزائر وتونس ومصر وموريتانيا والأردن والعراق وفلسطين . اذ يأتي الانتاج المغربي من الفوسفات بالدرجة الثالثة بين دول العالم وينتج الفوسفات المصنع في القطر العراقي في مجمع عكاشات .



شكل (٤-٦٠)

صورة توضح صخور متحولة وصخور نارية (منطقة شمالي . دبي)

أما الفحم الحجري والرواسب الفحمية والنباتات المختلفة فهي الأخرى كلها رسوبيات عضوية من أصل نباتي. فالبيت (الفحم الأسن Peat) مثلاً هو أرخص أنواع الفحم ويتكون من مواد نباتية مكدسة في المناطق الرطبة وهو أشبه بالدبس الهش المضغوط حيث تبلغ نسبة الكاربون فيه ٦٠ ٪ أما اللكنايت أو الفحم الكاذب فهو الآخر رواسب نباتية مضغوطة تحتوي على ٥٥ - ٧٥ ٪ كاربون ولونه اسود الى أسود الون ، ويوجد في طبقات العصور الجيولوجية الحديثة ، في حين ان الفحم الحجري الانثراسايت صخر صلد أصم حالك السواد سريع الكسر (محاري) وتبلغ نسبة الكربون فيه ٧٥ - ٩٠ ٪ ويحترق بسهولة ويقطي لهباً صافياً ويوجد في طبقات العصر الكاربوني

الصخور المتحولة

هي تلك الصخور التي طرأت عليها تغيرات فيزياوية من ضغط أو حرارة أو كليهما أو تغيرات كيماوية أي أن عملية التحول هي هي العملية التي بموجبها تتغير الصخور من حالتها الأصلية الى الحالة المتحولة ذات الخواص الجديدة من تصلب وتبلور. وتتكون من تحول الصخور الرسوبية أو النارية (شكل ٤٠ ، ٩ ، ٤٠ ، ٩ ، ٤٠ ، ٩ ،

الطبقات والتي فوقها لذلك فان الضغط في القشرة الارضية يزداد بمعدل ضغط جوي واحد كل أربعة أمتار . أما في الأعماق فان الزيادة تكون أكثر وتزداد حيث تصل الى أربعة ملايين ضغط جو في مركز الأرض .

سبق وأن ذكرنا أن كل جزء من أجزاء الأرض (القشرة أو الجبة او اللب) يتألف من مواد متجانسة الا أن الكثافة تزداد كلما ابتعدنا عن السطح بحيث يصغر حجم الصخور في كل جزء نتيجة للضغط الكبير المسلط عليه . وقد وجد بأن جميع أنواع الصخور تصبح ليه عندما تكون على بعد حوالي ٢٠ كم من السطح تقريباً . وان هذا العمق يتغير من مكان الى آخر نتيجة لعوامل أخرى . فمثلاً يتحول الطين الصفائحي (Shale) الى طين (Clay) تحت عمق ٣ كم تقريباً . وبصورة عامة هنالك نوعان من الضغوط التي تؤثر على صخور القشرة الأرضية .

- ضغط منتظم : وهو ذلك الضغط الذي يكون متساوياً في جميع الجهات .

ب - **ضغط موجه** : يكون هذا الضغط باتجاه واحد بحيث تختلف المعادن المتأثرة بهذا الضغط في بعض خواصها ، فيقل حجمها أو تترتب وتتصطف بحيث يكون محورها الطويل عمودياً على اتجاه القوة الضاغطة ، فنحصل على صخور ذات معادن مستطيلة أو صفائحية مثل المايكا أو التالك أو الهورنبلند بحيث تبدو وكأن لها طبقات رقيقة . فاذا كانت سميكة (سنتمتر واحد او أقل) فانها تسمى بالنايس واذا كان سمكها متوسطاً أي ٢/١ سم فأقل فانها تسمى بالشيست، واذا كان سمكها قليلاً جداً سميت عندئذ بالسليت . وفي هذه الحالة يمكن فصل هذه الطبقات الرقيقة بسهولة لذا تسمى هذه الصخور في بعض الأحيان بالصخور الرقاقية (المتورقة) ، كما وأن هذا الضغط يحدث بعض التغيرات في الصخور حيث تظهر شقوق توجد في بعضها معادن . أما المعادن القوية كحجر الصوان (الكوارتز) التي لاتتأثر بعملية التحول فانها تتكسر وتتفتت الى حبيبات أصغر . كما هو الحال في تحول الصخور الرملية الى الكوارتزايت . أو تحول الصخور الكلسية الى المرمر (الرخام) .

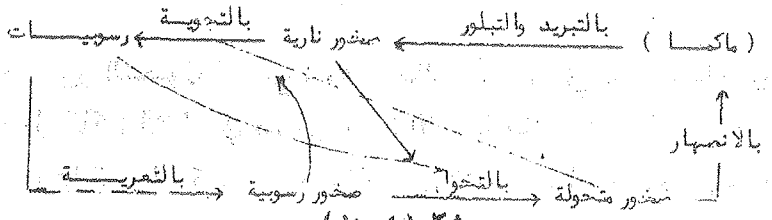
تقسم الصخور المتحولة بصورة عامة الى قسمين :

أ ـ صخور التحول التماسي : وهي تلك الصخور التي تتحول بالحرارة وذلك عندما تدخل الماكا (اللابا) في صخور القشرة الأرضية فانها تؤدي الى تغييرها وتحولها بواسطة حرارتها العالية وكذلك وجود المحاليل المختلفة فيها . وتنتج عن هذا التحول معادن جديدة تعرف باسم المعادن المتحولة بالحرارة . توجد هذه المعادن في الأماكن القريبة أو المتماسكة مع الصخور النارية . يوصف نسيج هذه الصخور بالحبيبي أي ذي البلورات المتداخلة والموزعة بدون ترتيب معين كما في المرمر (الرخام) ، وتعتمد كمية ونوعية هذه الصخور المتحولة على حجم الصخور النارية المساهمة في عملية التحول وكذلك على التركيب الكيمياوي والخواص الفيزيائية للصخور المحيطة أي المتحولة مثلاً تتحول الصخور الرملية الى صخور الكوارتزايت وتتحول صخور الطفل الى صخور الهورنفلس وهذه الأخيرة تحتوي على معادن البايوتايت والاندلوسايت Al 2SiO 5 والستورولايت Al 2 ,Fe (OH) 2 والكورديورايت (Si5 AL 3 ((Mg,Fe) 2 A)O 18 والكارنيت .

ب ـ صخور التحول الاقليمي :

هي تلك الصخور التي تتحول بالضغط والحرارة ولقد سمي هذا التحول بالاقليمي لأنه يحدث على نطاق واسع و يشمل اقليماً كبيراً ، تشترك فيه عوامل عديدة أهمها الضغط والحرارة والمحاليل الكيمياوية .

ان هذا التحول يشمل كالسابق ترتيب المعادن المكونة في الظروف الجديدة . ان عملية التحول هذه قد تصل في تغييرها درجة تزيل معها معالم الصخور الأصلية كالطبقات أو المتحجرات . ويحدث هذا التحول نتيجة حركات في القشرة الأرضية وذلك عند تكوين الجبال . وعليه فكلما اشتد التحول نتيجة ازدياد الضغط والحرارة تكونت لدينا مجموعات من المعادن تتناسب مع شدة هذا التحول ، ويكون نسيج هذا النوع من التحول صفائحياً في جميع الأحوال كما في صخور الشست والنايس والسليت ، ويمثل الجدول التالي رقم (٤ ـ ٧) تصنيفاً مبسطاً للصخور المتحولة بحسب نسيجها .



شكل (٤ - ١٠)

دورة الصخور

الجدول رقم (٤ - ٧) تصنيف الصخور التحولة بحسب نوعية نسيجها

نوع التحول	النسيج	اسم الصخرة
تحولي	حبيبي أو موزاييك، ويتدرج حجم الحبيبات من دقيقة الى متوسطة ويقسم الى :	
	١ - صخور ذات صلابة تتراوح بين ٣ - ٦ ويتفاعل هذا النوع من الصخور مع حامض الهيدروكلوريك .	الرخام (المرمر)
	صخور ذات صلابة تتراوح بين ٦ - ٧ وهذا النوع من الصخور لايتفاعل مع الحامض	
اقليمي	حبيبي دقيق ، ويتشقق بسهولة	الستيت
	متوسط الحبيبات وصفائحها متصلة	الشست
	خشن الحبيبات، وصفائحها غير متصلة	النايس

دورة الصخور في الطبيعة :

تبين مما تقدم ، أن صخور القشرة الأرضية غير مستقرة على حالة واحدة ، بل هي تتغير أما بتكسرها أو تفتتها (أي بتجويتها) أو بتعريتها أو بالحرارة أو بالضغط والحرارة معاً . (كما موضح في الشكل رقم ٤ - ١٠) .

الفصل الخامس

العمليات الداخليـــة

تدل الملاحظات الجيومورفولوجية على أن الملامح الخارجية والداخلية للقشرة الأرضية في تغير مستمر على الرغم من أن سرعة حدوث هذه التغيرات بطيئة للغاية ، الا أنه من الممكن تحديد سرعة هذه التغيرات ومتابعتها باستخدام الطرائق الجيومورفولوجية المختلفة .

هناك مصدران للطاقة اللازمة لاحداث التغيرات التي نشاهدها في القشرة الأرضية وهما مصدر خارجي (الشمس) ومصدر داخلي (باطن الأرض) .

تتكون غالبية الطاقة الشمسية التي تصل الى سطح الكرة الأرضية من طاقة حرارية وطاقة ضوئية . وتؤثر هذه الطاقة على الأغلفة الجوية والمائية والحيوية للكرة الأرضية وهي سبب التغيرات الناتجة عن العمليات الخارجية التي تصيب سطح القشرة الأرضية .

تؤدي الطاقة الحرارية التي تؤثر في سطح البحار والبحيرات الى تبخر المياه المكونة للغلاف المائي والى تكوين السحاب في المستويات السفلى للغلاف الجوي (التروبوسفير) . وتنشأ في نفس الوقت التيارات الهوائية (أي الرياح) في الغلاف الجوي نتيجة لتأثير الحرارة الشمسية فيه كما أسلفنا . وتنقل هذه الرياح السحب والمياه المتبخرة مسافات كبيرة حتى تسمح الظروف بسقوطها على هيئة أمطار . وتتجمع هذه الأمطار على سطح الأرض في هيئة تجار مائية وأنهار ، تنتقل من المناطق العالية في القارات (الجبال) الى المناطق المنخفضة حتى تصل عادة الى شواطيء البحار . وتساعد الرياح والأنهار في أثناء مسيرها على نقل المواد الصخرية المتفتتة نتيجة لعوامل التجوية Weathering الى المناطق المنخفضة للقشرة الأرضية والى البحار ، حيث تترسب المواد الصخرية النتائية والذائبة هناك على هيئة صخور رسوبية (لاحظ الشكل ٥ ـ ١) .

تسمى المناطق المنخفضة من سطح القشرة الأرضية التي تتراكم عليها الرسوبيات بالأحواض الترسيبية Sedimentary basins . أما المناطق العالية التي تفقد كميات كبيرة من الفتات الصخري والمادة الصخرية المذابة في مياه الأنهار فتتعرض لعمليات التعرية Denudation .

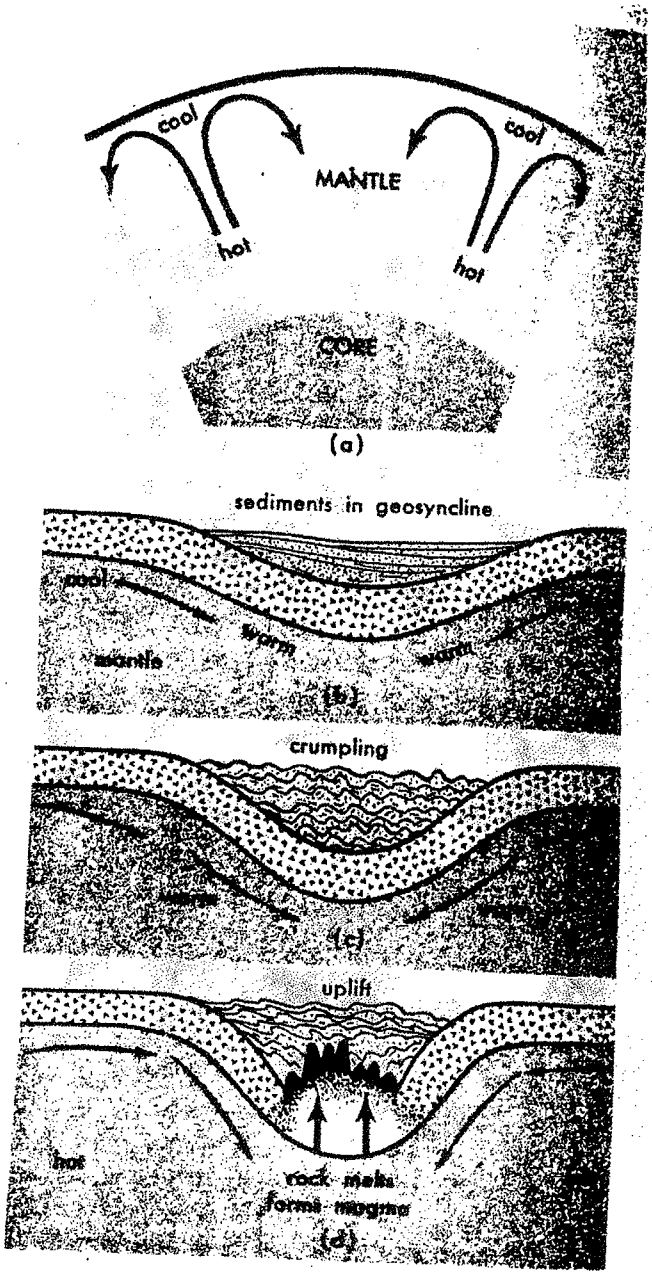
تؤدي الحركة المستمرة للمادة الصخرية من المناطق العالية المتعرضة للتعرية نحو الأحواض الترسيبية المنخفضة الى ازالة تضاريس سطح القشرة الأرضية وتحولها الى سهل منبسط . وبهذه العمليات تزول الجبال العالية من فوق القارات وتردم الأغوار العميقة في المحيطات .

والطاقة الشمسية مسؤولة أيضاً عن نشاط الغلاف الحيوي الذي يؤثر في سطح القشرة الأرضية . فللغطاء النباتي في المناطق القارية تأثير كبير في تحديد عوامل التعرية السائدة في منطقة معينة . وللكائنات الحية في البحار (وأحياناً في القارات أيضاً) أثر في تكوين الكثير من الرسوبيات العضوية .

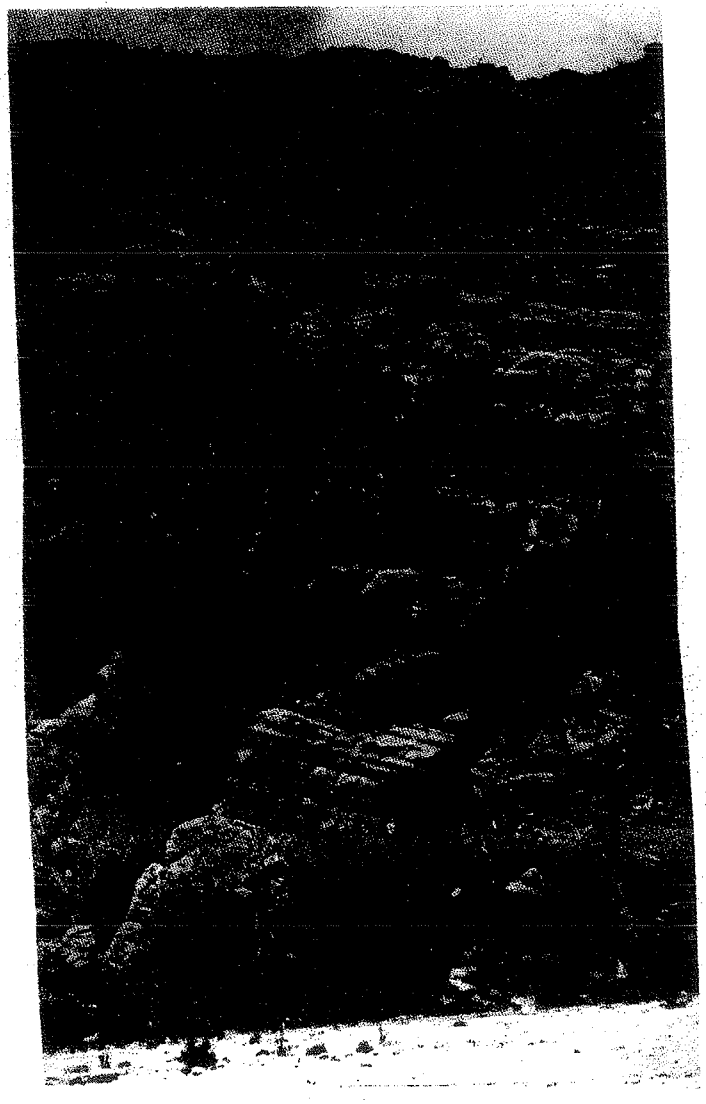
يكفينا الآن أن نلخص تأثير الطاقة الشمسية في سطح القشرة الأرضية كما يأتي :

« تحدث الطاقة الشمسية حركات في الأغلفة العليا للكرة الأرضية (الغلاف الجوي والغلاف المائي والغلاف الحيوي) تؤدي الى تهدم المناطق المرتفعة فوق القشرة الأرضية (الجبال) والى نقل الفتات الناتج عن ذلك الى المناطق المنخفضة (الأحواض الترسيبية) . ونتيجة هذه العمليات التي تغذي نشاطها الطاقة الشمسية (العمليات الخارجية) هي ازالة تضاريس سطح القشرة الأرضية أو بكلمة أخرى تسوية سطح الأرض . أما المصدر الداخلي فهو - كما يرى بعض العلماء - الطاقة الحرارية الكامنة في باطن الأرض أي النظائر المشعة الموجودة في الأغلفة السفلى للكرة الأرضية (الوشاح واللب - الستار الأرضي والنواة) . وان مواقع تركيز هذه العناصر تكون مناطق حارة تعمل على نشوء تيارات صاعدة وهابطة في الوشاح (الستار الأرضي) أو الاستينوسفير وان هذه التيارات تسبب حركات أفقية في الغلاف الصخري الذي يتكون من عدة ألواح (صفائح Plates) تطفو على الاستينوسفير . » .

ويبين الشكل (٥ - ٢) حركات هذه التيارات في باطن الأرض وتأثيرها في حركة الألواح التي تكون القشرة الأرضية ، ولكن لاتوجد حتى الآن نظرية متفق عليها لشرح



شكل (٥ - ١)
صورة توضح طبقات صخرية فتاتية
(جبل خفيت مدينة العين - الامارات العربية)



شكل (٢٠٥)
حركة التيارات الحرارية في باطن الأرض

تكون هذه التيارات . فيظن بعض العلماء ان هذه التيارات منحصرة في الاستينوسفير (وهي الطبقة شبه السائلة التي تعلو الوشاح مباشرة) . وفي هذه الحالة يكون مصدر الطاقة هو الجزء العلوي للب الذي سيؤثر أيضاً في الوشاح شبه الصلب .

وسنتناول، موضوع (توزيع الطاقة الحرارية في القشرة الأرضية) بشيء من التفصيل في جزء قادم من هذا الكتاب . والمهم ان نلاحظ هنا أن الطاقة القادمة من باطن الأرض والمسؤولة عن العمليات الداخلية تؤدي الى بناء الجبال وتحريك القارات وتكوين قيعان المحيطات . فهذه الطاقة تؤدي الى التكوين المستمر لتضاريس القشرة الأرضية التي تعدل الطاقة الشمسية والعمليات الخارجية باستمرار على ازالتها أيضاً .

ان دراسة الحركات الأرضية الداخلية التي تؤدي الى تكوين التراكيب الجيولوجية المختلفة المميزة للقشرة الأرضية لها علاقة بالتراكيب الجيولوجية الاقليمية والمحلية . تتكون التراكيب الجيولوجية نتيجة لحركات أرضية بطيئة (ودراستها تخص علم الحركات الأرضية أو التكتونيكا أو الحركات التشكيلية Tectonics) ، ولكن هناك ظواهر أخرى ناتجة عن حركات أرضية سريعة مثل الزلازل Earthquakes والانفجارات البركانية Volcanic Erruptions ، وقد حصل العلماء نتيجة للتقدم الحديث لعلوم الأرض على الكثير من المعلومات التفصيلية عن خواص مهمة للقشرة الأرضية ، مثل اتجاه المغناطيسية القديمة Paleomagnetism للصخور وقياس الحرارة المنبثقة من باطن الأرض في المناطق المختلفة ، بالاضافة الى معلومات عديدة عن طبيعة قيعان المحيطات . وقد ساعدت هذه البيانات الجديدة على وضع نظرية ، ظهرت في السنوات الخمسة عشرة الأخيرة ، تشرح تكوين القارات والمحيطات والجبال ومعظم تراكيب القشرة الأرضية . وتربط هذه النظرية أيضاً تراكيب القشرة الأرضية والقارات والمحيطات بتوزيع البراكين والزلازل .

وتعرف هذه النظرية باسم نظرية تكتونية الألواح (الصفائح) أو الصفيح Theory of plate tectonics وتشرح هذه النظرية ظهور التراكيب المكونة لسطح الأرض على أنها نتيجة لحركات أفقية لعدة ألواح قارية أو محيطية Continental or oceanic plates تتكون منها القشرة الأرضية ، وهذه الألواح تطفو على طبقة الاستينوسفير شبه السائلة . وسوف نتناول في الأجزاء القادمة من هذا الكتاب كل المشاهدات التي أدت الى

وضع نظرية تكتونية الألواح وهي :

١ ـ مشاهدات على الأشكال الهندسية للصخور (التراكيب الجيولوجية) .
٢ ـ مشاهدات على الحركات الأرضية السريعة (الزلازل والبراكين) .
٣ ـ مشاهدات على انتشار الحرارة المنبثقة من باطن الأرض .
٤ ـ مشاهدات على التغيرات في اتجاه المجال المغناطيسي للكرة الأرضية أثناء التاريخ الجيولوجي .
٥ ـ مشاهدات على جغرافية وطبيعة التكوين الصخري العام للقارات والمحيطات .
٦ ـ مشاهدات على توزيع الكائنات الحية على القارات في العصور الجيولوجية المختلفة ومقارنتها بالتوزيع الحالي لهذه الكائنات .

وفي نهاية المناقشة سنعرض نظرية تكتونية الألواح وبعض الأدلة الاضافية عليها والمنبثقة من دراسة بعض الكواكب الاخرى (القمر والمريخ) .

وفي النهاية سنختتم هذا الجزء بتصنيف للجبال والأحواض الترسيبية الموجودة على سطح القشرة الأرضية في ضوء نظرية تكتونية الألواح .

٥ ـ ٢ ـ التراكيب الجيولوجية وعلاقتها بالحركات الأرضية :

التراكيب الجيولوجية التي تدل على تغير الأشكال الأصلية للصخور من أكثر الشواهد الجيولوجية شيوعاً على حدوث حركات أرضية حيث لايمكن أن تتشوه الأجسام الصلبة الا اذا تعرضت لقوى تسبب حركات مصحوبة بتشويه الأشكال الأصلية لهذه الأجسام . والصخور الرسوبية أفضل الصخور التي يمكن دراسة التراكيب الجيرلوجية عليها ، لأن طبيعة تكوين هذه الصخور تسهل معرفة أشكالها الأصلية قبل حدوث أي تشوه لها . فالصخور الرسوبية تتكون أصلاً على هيئة طبقات أفقية موازية لمستوى الترسيب الذي يوافق مستوى سطح الأرض أثناء تراكم الرسوبيات ، فأي انحراف عن الوضع الأفقي لهذه الطبقات يدل على حدوث حركات أرضية أثرت في الطبقات الرسوبية بعد ترسيبها .

حتى عملية الترسيب نفسها تعتبر دليلاً على حدوث حركات أرضية هابطة (من أعلى الى أسفل) . والعالم الامريكي دانا Dana ، ١٨٧٣) هو أول من تفهم أهمية الحركات الأرضية الهابطة Subsidence لتراكم كميات كبيرة من الرسوبيات في الأحواض

الترسيبية . فقد لاحظ أن سمك رسوبيات حقب الحياة القديمة في جبال الابلاش في شمال أمريكا يصل الى عدة آلاف من الأمتار على الرغم من أن هذه الرسوبيات تدل على ترسيب بحار ضحلة لايتجاوز عمقها بضعة عشرات من الأمتار . يدل ذلك على أن هذه الرسوبيات لم تتكون نتيجة ردم ترسيبي عميق (يصل عمقه آلاف الأمتار وهو سمك الرسوبيات اللازمة لردم هذه الحفرة) ولكن تدل المشاهدات السالفة الذكر على أن رسوبيات الباليوزووي في جبال الابلاش تكونت نتيجة لانخفاض مستمر لقاع بحر ضحل أثناء فترة طويلة من الزمن (وهذه الفترة هي على امتداد حقب الحياة القديمة) .

تدل المناقشة السالفة على امكانية تقسيم التراكيب الجيولوجية العامة في الصخور الرسوبية والناتجة عن الحركات الأرضية الى نوعين :

١ ـ **النوع الأول** : يحتوي على التراكيب التي تنشأ نتيجة لتأثير الحركات الأرضية في الترسيب وفي عملية تكوين الطبقات الرسوبية نفسها . وتتمثل هذه التراكيب عموماً في ظاهرة عدم التوافق Unconformity في التسلسل الاستراتجرافي للطبقات .

٢ ـ **النوع الثاني** : يحتوي على التراكيب التي تنتج عن تأثير الحركات الأرضية على الشكل الهندسي العام للطبقات الرسوبية بعد ترسيبها . ويمكن أن نطلق على هذه التراكيب اسم التراكيب البنائية (أو التراكيب الثانوية) لأنها مسؤولة عن تكوين الشكل البنائي للقشرة الأرضية في الكثير من المناطق .

وهناك نوع ثالث من التراكيب الجيولوجية للصخور الرسوبية ، وهو لاينتج عن الحركات الأرضية التابعة للعمليات الداخلية بل هو ناتج عن تأثير العوامل الخارجية للترسيب . وأحياناً يشار الى هذه التراكيب باسم التراكيب الأولية Primary structure of sedimentary rocks لأنها تتكون أثناء تكوين الصخور نفسها .

ينتج الجزء الأكبر من التراكيب الأولية عن تأثير التيارات المائية (بحرية أو نهرية) أو الهوائية في عمليات الترسيب . وهناك علاقة كبيرة بين هذه التراكيب والوضع الجغرافي لمكان الترسيب أثناء تراكم الرسوبيات فهناك تراكيب مميزة للمناطق القارية أو النهرية أو الشاطئية أو البحرية الضحلة أو العميقة .

والتراكيب الآتية أكثر التراكيب الأولية انتشاراً :

١ ـ التطبق والترقق Stratification and Lamination :

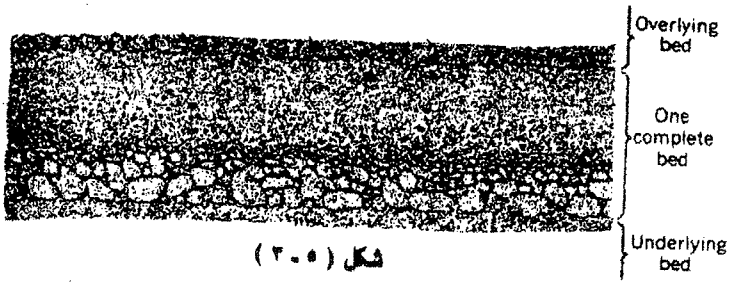
تتميز الكثير من الصخور الرسوبية بوجود تغيرات رأسية في مظهرها الصخري . والتطبيق ليس الا نتيجة هذه التغيرات . ويتراوح سمك الطبقات التي يمكن ان تميزها العين المجردة في الصخور الرسوبية بين جزء من المليمتر ومئات الأمتار . ويطلق اسم الطبقة Stratum على جزء من الصخور الرسوبية محدد بمستويين متوازيين (مستوى علوي ومستوى سفلي) ويتراوح سمك هذا الجزء من الصخور بين سنتمتر واحد وعدة أمتار . أما مصطلح الرقائق Laminae (ومفردة رقيقة Lamina) فيطلق للدلالة على صفيحات لايزيد سمكها على بضعة ملليمترات حيث يصعب هنا تميز أي تدرج أو اختلاف في حجم الحبيبات المكونة للصخر بالعين المجردة . كما يصعب تميز رقائق الصخور الرسوبية الفتاتية ذات الحبيبات الدقيقة (مثل الطفل والغرين والرمل الناعم) .

٢ ـ التطبق المتدرج Graded Bedding :

وفي حالة الرسوبيات الفتاتية الخشنة مثل الرمل الخشن والحصى يمكن في بعض الأحيان ملاحظة تدرج حجم الحبيبات مع التطبق . وعادة يبدأ هذا التدرج بالحبيبات الغليظة في المستويات السفلى للطبقة ويتدرج الى حبيبات أصغر فأصغر في اتجاه المستويات العليا للطبقة ويتدرج الى حبيبات أصغر فأصغر في اتجاه المستويات العليا للطبقة ويمكن ان يتكرر هذا النظام في عدة طبقات متتالية . ويعرف هذا النوع من التراكيب الأولية للصخور الرسوبية باسم التطبق المتدرج . وهو ممثل عادة بطبقات يتراوح حجمها بين سنتمتر واحد وبضعة عشرات السنتمترات حيث يمكن ملاحظة هذا التدرج بالعين المجردة أو باستعمال عدسة ذات تكبير متوسط (لاحظ الشكل ٥ ـ ٣) .

٣ ـ التطبق الكاذب والتطبق المتقطع False and cross bedding :

تنشأ التراكيب الأولية التي ناقشناها في الفقرات السابقة من عمليات الترسيب بواسطه الجاذبية ولايظهر فيها أي أثر لاتجاهات التيارات التي تنقل المواد الترسيبية ، وانما توجد أحياناً في الرسوبيات ذات الحبيبات الغليظة أنواع أخرى من التطبق . وهذه الأنواع من



شكل (٤-٥)
تطبق متدرج

التطبق غير موازية لمستوى الترسيب . بل تميل عن هذا المستوى في اتجاه التيارات التي كانت سائدة أثناء تراكم الرسوبيات ، ويكون انتشار الطبقات محدداً في هذا النوع من التطبق ، كما تكون الطبقات نفسها غير موازية لبعضها البعض . (كما هو مبين في الشكل ٥ - ٤) .

وتحتوي هذه الأنواع من التطبق على مايسمى بالتطبق الكاذب Flase bedding (أو تطبق التيارات) Current bedding والتطبق المتقطع Crose – bedding .



شكل (٤-٥)
تطبق كاذب

ويكون أحياناً انتشار كل طبقة في التطبق الكاذب كبيراً نسبياً ، وهذا النوع من التطبق يميز رسوبيات تكونت في مناطق تسود فيها تيارات ثابتة الاتجاه ، مثل الانهار او مناطق الدلتا ، اما التطبق المتقطع ، فيوجد في المناطق التي يكون فيها اتجاه التيار متغيراً . ويظن بعض العلماء ان التطبق المتقطع الذي له أحجام كبيرة (اي الذي يكون فيه سمك الطبقة المتقطعة كبيراً نسبياً) يشير الى رسوبيات تراكمت بفعل الرياح . فيكون هذا التطبق المتقطع نتيجة لتراكم كثبان رملية Sand dunes ، لايمكن ان يكون حجمها صغيراً .

اما الرسوبيات التي لها تطبق متقطع صغير في الحجم ، فتعد رسوبيات بحرية ضحلة (تراكمت على قاع متأثر بفعل الامواج او التيارات السطحية) او هي رسوبيات نهرية او متكونة في بحيرات بعيداً عن تأثير التيار الأساسي للنهر الذي يسود في مجرى النهر نفسه .

وميكانيكية تكوين التطبق الكاذب غير مفهومة حتى الآن . ويظن بعض العلماء ان وجود اختلاف كبير في حجم الحبيبات الفتاتية المكونة للرسوبيات عامل مهم لتكوين الطبقات الكاذبة .

٥ ـ علامات الغيم (التموج) Ripple marks :

وهذه العلامات هي تموجات صغيرة لاتتجاوز السنتمتر بكثير تتكون على سطح الرسوبيات (مثل الرمال) نتيجة لفعل الرياح او التيارات المائية . ويمكن بدراسة هذه العلامات تحديد اتجاه الرياح أو التيارات . ووجودها في الرسوبيات المائية يدل على ضحالة المياه .

٦ ـ الفواصل والشقوق في الرسوبيات الطينية Mud Cracks :

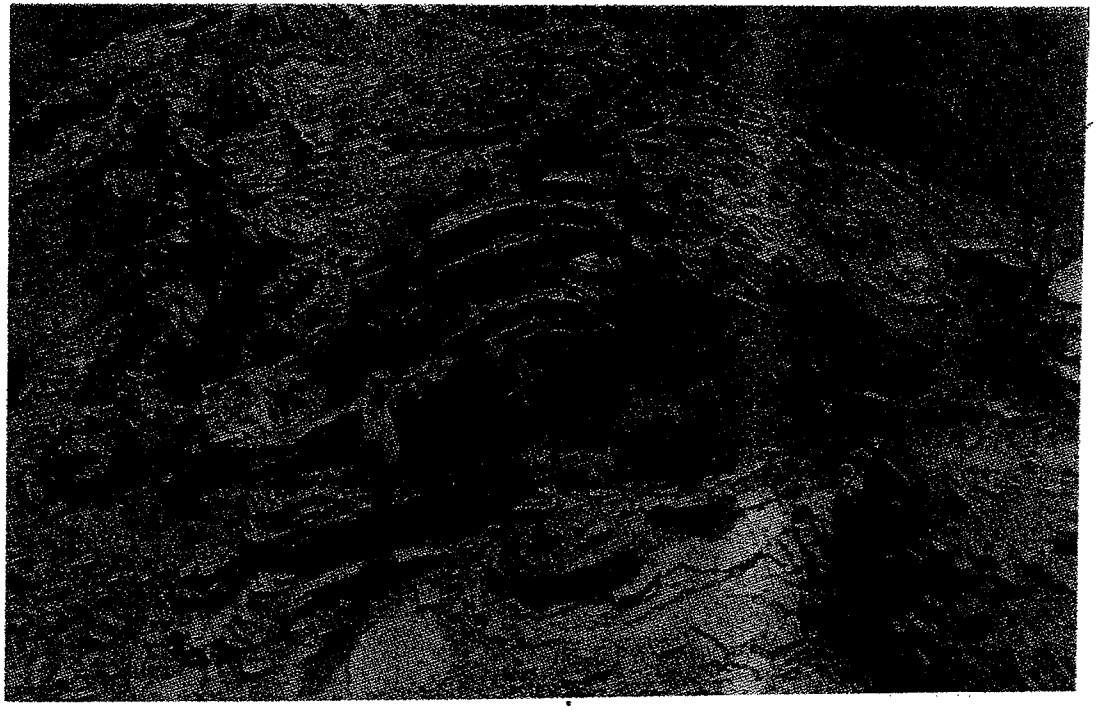
عندما تجف الرسوبيات الطينية ينكمش سطح هذه الرسوبيات مكوناً شقوقاً مميزة . ووجود مثل هذه الشقوق في الصخور يدل على تعرض الرسوبيات للهواء وللجفاف بعد فترة من البلل . (لاحظ الشكل ٥ ـ ٥) .



شكل (٥-٥)
تشقق طيني في منطقة الفتحة

لقد أشرنا سابقاً الى وجود نوع من التراكيب في الصخور الرسوبية ناتج عن تأثير الحركات الأرضية في عملية الترسيب نفسها . ففي كثير من الأحيان تسبب حركات أرضية رافعة انقطاعاً في الترسيب ، وفي نفس الوقت يمكن ان تؤثر هذه الحركات على وضع الطبقات التي ترسبت قبل حدوثها ، حيث ان الحركات الأرضية تسبب في تكوين انثناءات في الطبقات القديمة (شكل ٥ ـ ٦) .

واذا حدث أن سمحت الظروف باعادة الترسيب مرة ثانية فوق الطبقات القديمة التي تعرضت للحركات الأرضية ، فيتكون بين مجموعة الطبقات القديمة (التي ترسبت قبل حدوث الحركات الأرضية) والطبقات الحديثة (التي ترسبت بعد حدوث الحركات الأرضية) سطح من عدم التوافق .



شكل (٦٠٥)
طبقات منثنية في سلاسل جبال عمان

وهناك عدة انواع من عدم التوافق :

١ ـ حينما تعقب عملية ترسب الطبقات العليا فترة من النشاط التكتوني الذي يؤدي الى تغير ميل الطبقات السفلى تغيراً جذرياً يتكون عدم التوافق زاوي angular unconformity ، وفي هذه الحالة يوجد فارق واضح في الميل بين المجموعتين الصخريتين اللتين يفصل بينهما سطح عدم التوافق .

٢ ـ واذا ترسبت مجموعة من الصخور الرسوبية على صخور نارية او متحولة يتكون سطح عدم توافق بين الصخور الرسوبية والصخور الاخرى . ويمكن تسمية هذا النوع من عدم التوافق باسم اللاتوافق التخالفي (non-conformity) .

٣ ـ أحياناً يتكون عدم التوافق بين مجموعتين من الصخور لها نفس الميل بحيث يكون سطح عدم التوافق متعرجاً قاطعاً مستويات الطبقة . ويمكن تسمية هذا النوع من عدم التوافق باسم اللاتوافق الانقطاعي (disconformity) .

٤ ـ وهناك حالات يكون فيها سطح عدم التوافق موازياً لأسطح الطبقة ، ويسمى هذا النوع من عدم التوافق : شبه توافق Paraconformity . وعلى عكس الحالات الثلاث السالفة الذكر ، فالنوع الرابع من عدم التوافق (شبه التوافق) يصعب التعرف عليه في الحقل بدراسة العلاقات التركيبية بين الطبقات والصخور .

وأحياناً يمكن استخدام ادلة ترسيبية Sedimentological criteria التعرف على هذا النوع من عدم التوافق مثل وجود طبقة الكنجلوميرات الناتجة عن فترة من التعرية واعادة الترسيب لصخور مجاورة . ويمكن أيضاً التعرف على شبه التوافق بوجود طبقات قارية محدودة السمك تتخلل تتابعات بحرية سميكة او بوجود ادلة على حدوث تعرية شاطئية (مثل وجود محاريات حفارة Boring molluscs ، خصوصاً في الشواطيء الصلبة الجيرية) . وفي أحيان أخرى لايمكن التعرف على شبه التوافق الا بدلالة السجل الحفري الناقص ، وذلك يمكن ان يؤخذ كدليل على وجود فترة زمنية من عدم الترسيب ويختلف مدى الانتشار الافقي لاسطح عدم التوافق ، فيكون أحياناً محدوداً (محلياً Local) وأحياناً اخرى شاسع الانتشار (اقليمياً Regional) وهذا على حسب مدى انتشار الحركات الارضية التي ادت الى تكوين عدم التوافق .

التراكيب الثانوية Secondary Structures :

وهي التراكيب المكونة نتيجة لتأثير قوى Forces في الصخور ، ويعني التعريف الفيزيقي للقوة انها الطاقة الموجهة (ويمكن تمثيلها بتجه Vector) التي تؤدي الى احداث تغير في اتجاه حركة الأجسام او في مقدارهاوفي شكلها . والوحدة المستعملة في قياس القوة هي الداين وهي القوة التي تعطي تعجيلاً مقداره سنتمتر واحد في الثانية لجسم يزن غراماً واحداً .

وهناك نوعان من القوى التي تؤثر في الاجسام :

١ ـ قوى غير متكافئة unbalanced forces ، وهي تحدث حركة في الأجسام .

٢ ـ قوى متكافئة balanced forces ، وهي تكون موزعة على الجسم بحيث لاتحركه وهذا النوع من القوى هو الذي يسبب تشوه الاجسام وهو المسؤول عن تكوين معظم التراكيب الثانوية للقشرة الأرضية .

ويمكن تمييز عدة انواع من الحالات التي تتوزع فيها القوى المتكافئة في الأجسام :

١ ـ تؤثر القوى في بعض الحالات في اتجاهين متضادين ، ويقال حينئذ ان الجسم في حالة شد tesion وهناك مجموعة واسعة الانتشار من التراكيب الجيولوجية الثانوية الناتجة عن الشد وهي صدوع عادية .

٢ ـ تؤثر القوى في حالات اخرى في اتجاهين متقابلين . ويقال حينئذ ان الجسم في حالة ضغط compression . وهناك مجموعة كبيرة اخرى من التراكيب الجيولوجية الثانوية الناتجة عن ضغط وهي الطيات والصدوع المقلوبة .

٣ ـ يمكن ان تتوزع القوى المؤثرة في جسم مافي عدة اتجاهات . ويسمى هذا النوع من توزيع القوى بالازدواج couple . والتشوه الناتج عن تأثير الازدواج على الأجسام يسمى ليا torsion ، وينتج هذا التشوه خصوصاً اذا كانت المجموعتان من القوى المتكافئة تؤثران في مستويين مختلفين .

وهذا النوع من التشوه لايؤدي الى تكوين تراكيب جيولوجية ثانوية مهمة في

القشرة الأرضية . والحالة التي يكون فيها الجسم معرضاً لقوى متكافئة تسمى الاجهاد Stress . أما التشوه الناتج عن الاجهاد فهو الانفعال Strain . وعندما تتعرض الاجسام الصلبة للاجهاد نتيجة لتزايد مقدار شدة القوى التي تؤثر عليها فهي تمر بثلاث مراحل من الانفعال :

١ ـ فالتشوه (الانفعال) يكون أولاً تشوهاً مرناً elastic deformation وذلك يعني أن في امكان الجسم الرجوع الى حالته الطبيعية بعد ازالة القوى المؤثرة عليه . وهذا النوع من التشوه نادراً وقليل القيمة في دراسة التراكيب الثانوية للصخور .

٢ ـ وبعد ذلك يتشوه الجسم تشوهاً لدناً Plastic deformation وذلك يعني ان الجسم يلتوي ويشكل مثل قطعة العجين ، ولكنه لايرجع الى حالته الأولى بعد ازالة القوى المؤثرة عليه . وتنتج عن هذا النوع من التشوه مجموعة كبيرة من التراكيب الجيولوجية الثانوية وهي الطيات .

٣ ـ وأخيراً يتمثل التشوه في الأجسام المعرضة لقوى كبيرة بالكسر او الانهيار rupture وهناك مجموعة كبيرة من التراكيب الجيولوجية الناتجة عن هذا النوع من التشوه وهي الصدوع والفوالق .

يوجد نوعان من المواد الصلبة ، مواد مطيلة ductile substances وهي تحتاج لقوى كبيرة للوصول الى مرحلة التشوه بالكسر ، ومواد صلبة قصيفة brittle substances تنكسر بسهولة . تميل الصخور المدفونة في اعماق بعيدة في القشرة الأرضية الى المطيلية ، حيث الضغط المحاصر confining pressure في هذه الاعماق كبير للغاية . اما الصخور الصلبة الموجودة قرب السطح فهي قصيفة في العادة .

الطيـــات :

الطيات هي التواءات في الصخور المكونة للقشرة الأرضية . وهي منتشرة عادة في الصخور المتطبقة وخصوصاً الصخور الرسوبية او الصخور المتحولة الناتجة عن صخور

رسوبية . وتتكون الطيات نتيجة لحركات ارضية ممثلة بضغط جانبي عمودي على اتجاه استطالة الطية . وحيث ان هناك حاجة لتفهم بعض العلاقات الهندسية للطبقات المائلة لدراسة جناحي الطيات (لانه يمكن اعتبار كل جناح في طية واحدة طبقة مائلة) فالشكل (٥ ـ ٧) يوضح بعض صفات الطبقات المائلة (مثل خط المضرب المتجهة) والميل الحقيقي والظاهري للطبقة .

وهناك نوعان من الطيات : الطيات المقعرة او القعائر Synclines وتتكون القعيرة منها من جناحين تميل طبقاتها في اتجاه واحد . والطيات المحدبة او الحنائر anticlines وتتكون الحنيرة منها من جناحين تميل طبقاتها في اتجاهين متعاكسين (الشكل ٥ ـ ٨) .

واذا كان محور الطية أفقياً تكون الطية غير غاطسة non – plunging fold ، واذا كان هذا المحور مائلاً تكون الطية غاطسة plunging fold وهناك أيضاً طيات متماثلة symetrical folds (ميل الطبقات في جناحي الطية له قيمة واحدة) ، وطيات غير متماثلة Assymetrical folds اذا كانت الطيات في جناحي الطية تميل بمقدارين مختلفين من الميل .

ويحدد وضع المستوى المحوري للطية ايضاً انواعاً مختلفة من الطيات . ففي حالة الطيات المتماثلة يكون هذا المستوى رأسيا وفي حالة الطيات غير المتماثلة يكون هذا المستوى مائلاً واذا كان هذا المستوى مائلاً بحيث يكون ميل الطبقات في كل من الجناحين للطية في نفس الاتجاه تكون الطية طية مقلوبة (Over turnded fold) .

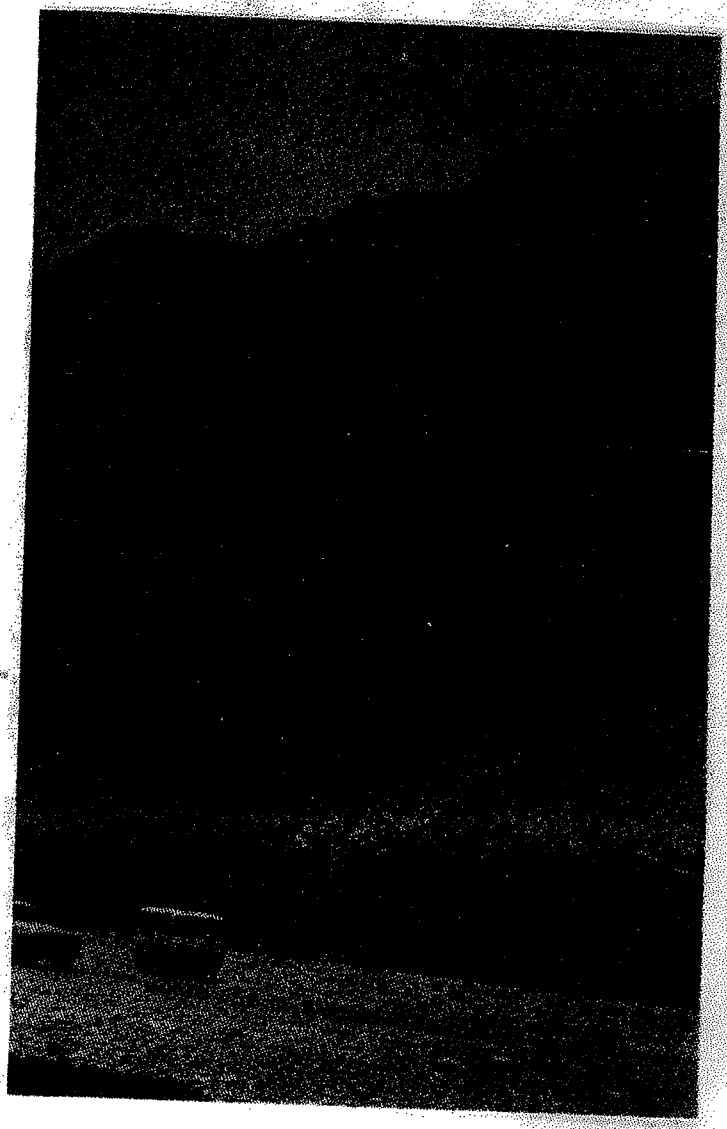
واذا تعرضت الطبقات للثني الى أعلى بحيث تميل في جميع الاتجاهات من نقطة مركزية فان الطية تسمى عندئذ قبة Dome . واذا انثنت الطبقات الى اسفل بحيث تميل جميعها نحو نقطة مركزية . فان الطية تسمى عندئذ حوضاً Basin . والقباب والأحواض عادة نادرة نسبياً اذا قورنت بالطيات الاخرى . وهناك أنواع

خاصة من القباب تنشأ نتيجة لصعود كتلة هائلة من الملح دفينة في أعماق الأرض الى قرب السطح ، وتسمى هذه القباب قباب الملح Salt dome . وهذه التراكيب منتشرة في الطبيعة لأن الملح يكون عادة لدناً للغاية حينما يوجد تحت ضغط عالٍ ويمكن حينئذ ان يتشكل مثل العجين وان يخترق الصخور الاخرى . وتكون قباب الملح أحياناً مصايد لتراكم النفط . ومن أهم الحقول المكتشفة في مثل هذه التراكيب بعض حقول النفط في الخليج العربي وجنوب الولايات المتحدة الامريكية قرب خليج المكسيك وفي المانيا الغربية .

وفي كثير من الأحيان لاتوجد الطيات في الطبيعة بمفردها بل تكون على هيئة سلاسل من الانثناءات المتصلة تمتد في مناطق شاسعة مستطيلة الشكل يبلغ طولها آلاف الكيلومترات وعرضها مئات الكيلومترات . وهذه هي مناطق السلاسل الجبلية ، ويشار اليها أحياناً في الجيولوجيا باسم الجيوسنكلينات أو القعائر العظمى Geosynclines لانه ثبت ان هذه المناطق كانت أغواراً ترسيبية تمتلىء بكميات من الرسوبيات التي تعرضت لضغوط جانبية شديدة في فترة معينة من تاريخها الجيولوجي حتى أصبحت سلسلة جبلية مكونة من عدد كبير من الطيات المختلفة التي تكون شديدة التعقيد قرب قلب هذه الجبال وبسيطة عند أطرافها .

الصدوع :

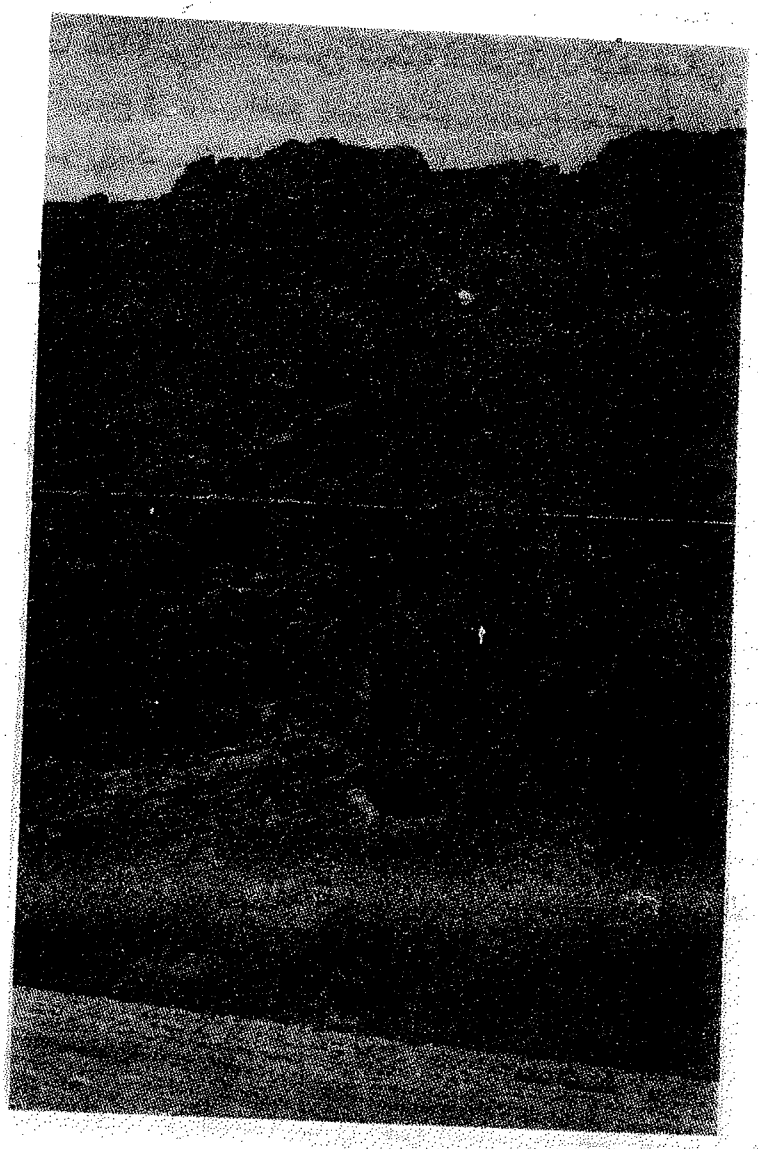
لقد أشرنا الى انه عندما تتعرض المواد الصلبة القصيفة الى ضغط أو شد جانبي فهي تتكسر والصدوع عبارة عن كسور في الصخور نتيجة لتعرضها لضغط أو شد . وتختلف هذه الصدوع عن الكسور أو الفوالق بأنها تنشأ عنها في الصخور حركة تحدث على مستوى الكسر الذي يمثل الصدع ، أما الفواصل فهي كسور لم تحدث لها اي حركة ملحوظة (لاحظ الشكل ٥ ـ ١) .



شكل (٧٠٥)
صورة توضح طرف طية (طبقات صخرية مائلة)



شكل (٨٠٥)
صورة توضح جناحي طبة عدبة في إتجاهين متعاكسين



شكل (٩٠٥)
صورة توضح مجاميع من الفواسل والصدوع في منخفر بمال المنايين - انكلترا

ويمكن تصنيف الصدوع الى نوعين حسب علاقة ميل سطح الصدع باتجاه رميته . فاذا كان الميل في نفس اتجاه الرمية يكون الصدع صدعاً عادياً normal fault . وينشأ هذا النوع من الصدوع نتيجة لتأثير قوى شد جانبي . واذا كان ميل مستوي الصدع في عكس اتجاه رميته فيكون الصدع معكوساً reverse fault وتنشأ الصدوع العكسية او المعكوسة نتيجة لتأثير قوى ضغط جانبي مثل الطيات . ولذلك تكون الصدوع المعكوسة في كثير من الأحيان ملازمة للطيات .

واذا كانت الحركة على مستوى الصدع في مستوى أفقي بحيث تتحرك الصخور على جانب من الصدع بعكس اتجاه حركة الصخور على الجانب الآخر فيسمى الصدع انزلاقاً مضربياً Strike - slip fault . وينشأ هذا النوع من الصدوع نتيجة لتأثير مزدوج Couple على الصخور القصفية . وهناك مجموعة من صدوع الانزلاق المضربي واسعة الانتشار في قيعان المحيطات وبعض الأحيان في القارات وتسمى « صدوع التغير » Transform fault .

وفي كثير من الأحيان تقع مجموعة كبيرة من الصدوع في منطقة معينة . واذا كان لهذه المنطقة عدد لايذكر من الطيات ، فغالباً ماتكون الصدوع صدوعاً عادية . وتكون أحياناً الصدوع العديدة الواقعة في منطقة واحدة تراكيب مميزة مثل الصدوع البارزة horst وهي عبارة عن تركيب بارز محدد على جانبيه بصدوع متوازية . اما الصدوع الخسفة graben فتكون تركيباً منخفضاً (حوضاً) محدداً على جانبيه بصدوع متوازية أيضاً . ومن أشهر الأمثلة لتركيب الصدوع الخسفة على القشرة الأرضية خليج السويس والبحر الأحمر .

٥ ـ ٣ ـ الحركات الأرضية السريعة (الزلازل والبراكين) :

ان غالبية التراكيب التي أشرنا اليها في الجزء السابق من هذا الباب تنتج عن حركات أرضية بطيئة . ولكن هناك نوعاً آخر من الحركات الأرضية هو الحركات السريعة ، ومعظم هذه الحركات ممثلة في الزلازل . وهناك أيضاً شواهد أخرى تدل على وجود نشاط في باطن الأرض وانبثاق طاقة قادمة من الأعماق . وهذه الشواهد تمثلها البراكين والنشاط البركاني . وسنتناول فيما يلي الزلازل والبراكين وطرائق

دراستها والأدلة التي يمكن ان نحصل عليها من تلك الظواهر لفهم الميكانيكية العامة التي تؤدي الى تشكيل القشرة الأرضية .

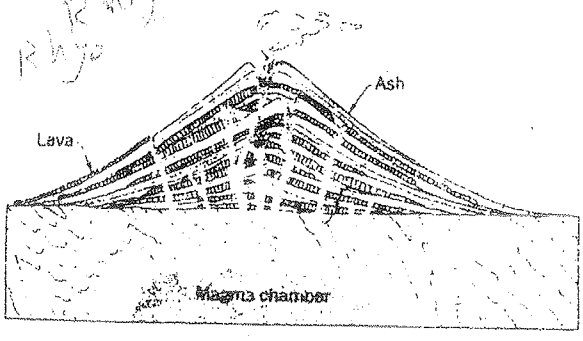
الزلازل Earthquakes :

الزلازل عبارة عن هزات أرضية تحدث في مناطق معينة من القشرة الأرضية نتيجة لانتقال موجات زلزالية seismic waves في الصخور . ويظن العلماء أن السبب المباشر لحدوث الزلازل هو انكسار الصخور انكساراً مفاجئاً نتيجة لتعرضها للضغط أو الشد أو الانزواج الشديد الذي يوصلها الى حد من الاجهاد يتسبب في انفعالها وتشوهها بالكسر .

البراكين Volcanoes :

البراكيب عبارة عن تراكمات من اللابة المتجمدة على سطح الأرض وهي تكوّن قباباً أو جبالاً مميزة الشكل . وهي في العادة مخروطية الشكل وبها فتحة أو عدة فتحات تخرج منها اللابة . والبراكيب الخامدة لاتخرج منها لابة قط . أما البراكين النشيطة - وهي منتشرة في انحاء العالم - فينبثق منها من حين الى آخر كميات متفاوتة من اللابة .

أهمية دراسة البراكين في الجيومورفولوجيا ناتجة من أن هذه التراكيب هي الأماكن الوحيدة التي تكون فيها اللابة المنبثقة من باطن الأرض قريبة من حالتها الأصلية . وهذه اللابة هي البيئة التي تتبلور فيها المعادن المكونة للصخور النارية ولكثير من الصخور الرسوبية الترابية . والشكل (٥ - ١٠) يبين الأجزاء التركيبية للبراكين وتسميتها . وعادة ماتكوّن البراكين تلالاً أو جبالاً عالية تبلغ ارتفاعاً عالياً مثل بركان كوتوباكس Cotopax الذي يقع في جبال الانديز Andes في أمريكا الجنوبية والذي يرتفع ٦٠٠٠ متراً فوق سطح البحر . وهناك براكين مثلة فقط بشقوق أو فتحات لاترتفع كثيراً عن سطح الأرض .



شكل (٥ - ١٠)
مقطع في بركان

وهناك نوعان أساسيان من البراكين :

١ - البراكين الدرعية Shield Volcanoes :

وهي تتكون نتيجة لتراكم طفوح بركانية من اللابة البازلتية خلال فترات طويلة من الزمن . والمعروف أن اللابة البازلتية قليلة اللزوجة فهي تفقد الغازات والسوائل الموجودة داخلها بسهولة و يمكنها الانتشار على مساحات كبيرة . ولذلك تكوّن البراكين الدرعية قباباً واسعة الانتشار لها ميل خفيف لايزيد على بضعة درجات وتقع معظم هذه البراكين في الأحواض المحيطية على الشقوق والسلاسل الجبلية المغمورة في قاع المحيطات (الحيود الوسط محيطية Mid-occear ic ridges) ومعظم بولينيزيا Polynesia في المحيط الهادي عبارة عن قمم لبراكين درعية ترتفع فوق سطح البحر . وجزيرة هاواي Hawai مثلاً تتكون من عدة براكين درعية متلاحمة نمت نتيجة لتراكم كميات كبيرة من اللابة خلال مدة زمنية لاتزيد عن مليون عام .

والجدير بالذكر ان اللابة البازلتية تنبثق أحياناً من شقوق وشوالق طويلة دون ان تكون براكين بالمعنى الدقيق لهذا اللفظ . فتنتشر اللابة في هذه الحالات مسافات كبيرة على هيئة غطاء بازلتي شبه أفقي دون تكوين ارتفاعات جبلية وبراكين . ومثال ذلك الطفح البازلتي الذي عمر منطقة لاكي Laki في آيسلاند Iceland في عام ١٧٨٣ والذي انبثق من شق في الأرض طوله ٣٣ كيلومتراً وعمر منطقة مساحتها ٥٥٨ كم

٢ ـ البراكين المركبة Composite Volcanoes or Stratovolcanoes :

واللابة التي تتكون منها هذه البراكين تتركب من مادة الاندزيت Landesite او الرويوليت Rhyolite وهي أكثر لزوجة من اللابة البازلتية ولذلك فهي لاتنتشر مسافات واسعة بل تكون جبالاً مخروطية الشكل ذات ميل كبير وتسمى هذه البراكين بالبراكين المركبة لأن المواد الناتجة عن انفجاراتها ـ على عكس المواد الناتجة عن انفجارات البراكين الدرعية ـ عديدة ومختلفة . فبجوار اللابة شبه السائلة تقذف البراكين كميات من المقذوفات البركانية (القنابل) Volcanic bombs بالاضافة الى كميات كبيرة من الغازات التي تحتوي على بخار الماء والامونيا وثاني اوكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين) وتتدفق هذه الغازات بشدة لان اللابة المكونة من الاندزيت لاتطلق السوائل الحبيسة في نجواتها الداخلية بسهولة مثل اللابة البازلتية ، ولكن تنفجر هذه اللابة المكونة من الاندزيت والتي هي في حالة شبه صلبة حيث تنطلق الغازات نتيجة لهذه الانفجارات مصحوبة بكميات كبيرة من الرماد البركاني Volcanic ash وهي حبيبات دقيقة من المعادن النارية الناتجة عن تفتت اللابة اثناء الانفجارات .

وتقع البراكين المركبة النشيطة حتى الآن في المناطق القارية وفي مناطق السلاسل الجبلية الجيوسنكلينية للحقب الثالث والتي توجد على حافة القارات بجوار أغوار محيطية عميقة مثل الغور الموجودة امام الجزر اليابانية .

وهناك تراكيب وظواهر أخرى متعلقة بالنشاط البركاني للمناطق المختلفة . ومن أهم هذه التراكيب الكالديرا Caldera ، وهي منخفضات على هيئة احواض مستديرة تشبه في شكلها فوهة البركان . وأحياناً تكون الكالديرا مليئة بالماء (مثل كراترلاك Crater lake في الولايات المتحدة الامريكية) وأحياناً أخرى تكون مساحة كبيرة مثل يلوستون بارك Yellowstone park الشهيرة في الولايات المتحدة الامريكية أيضاً . وفي كثير من الأحيان يستمر النشاط البركاني بعد تكوين هذا التركيب نتيجة لانهيار سقف حجرة الصهير Chambre magmatic التي توجد مادة تحت البراكين . و يمثل هذا الاستمرار للنشاط البركاني بركان أو براكين

صغيرة داخل الكالديرا (بالبركان المسمى جزيرة ويزارد Wizard island في كراترلاك) او بانبثاق نافورات من الماء الساخن (مراجل) التي تدل على وجود صخور ساخنة ولكنها ليست منصهرة في حجرة الصهير .

تتكون مياه هذه المراجل من ماء الأمطار او ماء متخللاً Water of infiltration يتصل بالصخور الساخنة حيث يتبخر نتيجة لفعل حرارة الصخور ويصعد الى أعلى من خلال شقوق . ومن أهم أمثلة هذه المراجل الاولدفاثفول Old faithful في حديقة يلوستون بالولايات المتحدة الامريكية .

٥ ـ ٤ ـ المغناطيسية القديمة للكرة الأرضية :

سبب وجود مجال مغناطيسي للكرة الأرضية غير معروف بالضبط ، فالكواكب الأخرى ـ مثل القمر والمريخ والزهرة ـ ليس لها مجالات مغناطيسية . ويعزو بعض العلماء وجود مجال مغناطيسي للأرض الى حركات في الحديد السائل المكون للطبقة الخارجية من اللب ، حيث ان دوران الكرة الأرضية حول نفسها بسبب هذه الحركات وبذلك يصبح هذا اللب مثل مولد الكهرباء Dynamo فمن خواص مولدات الكهرباء تكوين مجالات مغناطيسية . والجدير بالذكر أن القطب المغناطيسي الشمالي لايقع بالضبط مكان القطب الشمالي الجغرافي للكرة الأرضية . فالقطب الجغرافي يمثل على سطح الأرض مكان تقاطع محور دوران هذا الكوكب على نفسه . وتعضد ظاهرة عدم تطابق هذين القطبين النظرية التي تعتبر المجال المغناطيسي للكرة الأرضية ناتجاً عن حركات الطبقة الخارجية للب السائل . لان هذه الحركات فعلاً يجب ان تكوّن مجالاً مغناطيسياً مطابقاً تماماً لمحور دوران الأرض . وعلى الرغم من ان تأثير المجال المغناطيسي للأرض على الصخور طفيف للغاية ، الا ان الطرق الحديثة المبتكرة للقياس قد تمكنت من قياس اتجاه ومقدار مغناطيسية هذه الصخور التي تتكون نتيجة لتأثير المجال المغناطيسي للأرض .

والمعروف أن لكل مادة صلبة قابلية للمغنطة Magnetization ودرجة حرارة اذا وصلت اليها أو تعدتها فان هذه المادة تفقد مجالها المغناطيسي . وتسمى هذه الدرجة من الحرارة نقطة كوري Curie point الخاصة بهذه المادة . فعندما يبرد

صخر ناري ويصل الى نقطة كوري فهو يكتسب مغنطة خاصة به . ويكون اتجاه هذه المغنطة المكتسبة هو نفس اتجاه المجال المغناطيسي للأرض وقت تكوين الصخر الناري .

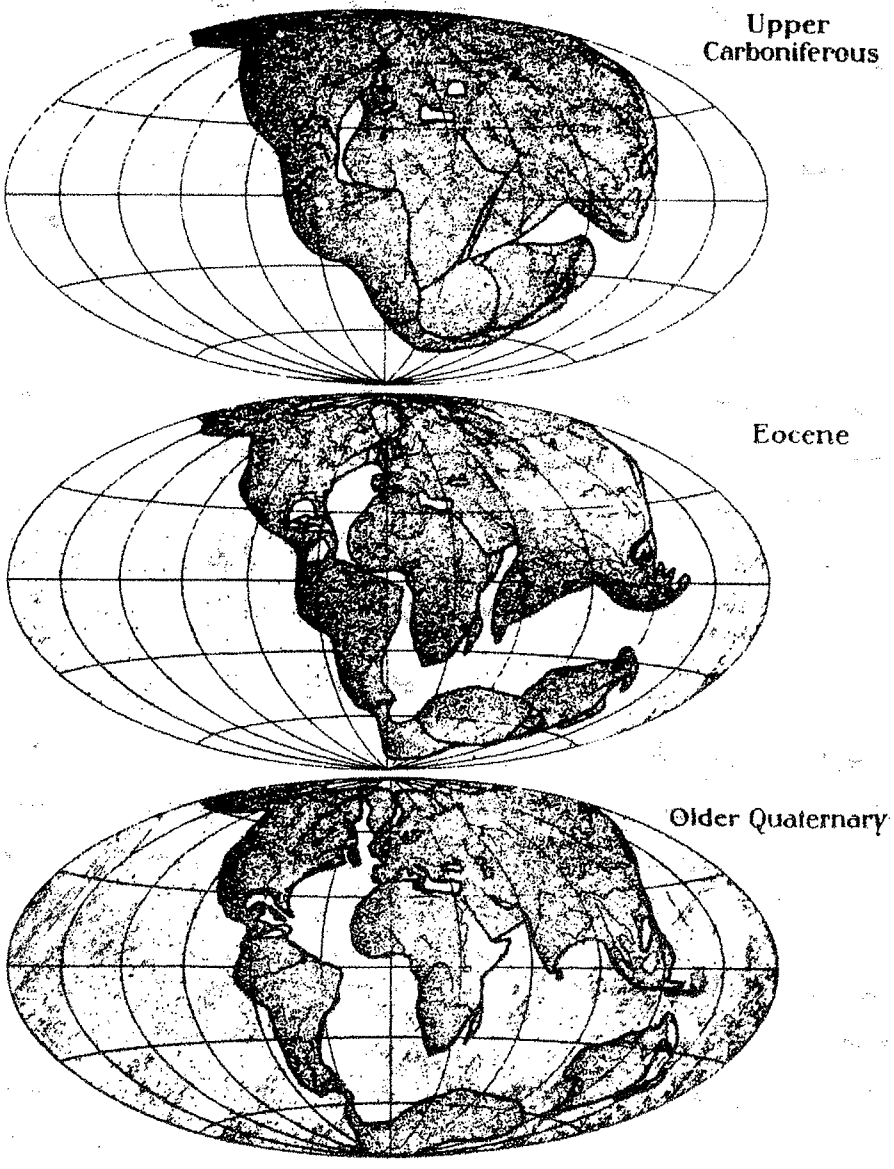
أما بخصوص الصخور الرسوبية ، فيمكن ان تحتوي أثناء ترسيبها على نسبة قليلة من المعادن الممغنطة ، ومثال هذه المعادن كثير من أكاسيد الحديد مثل المجنتيت Magnetite وعادة ماتتخذ هذه المعادن اتجاهاً موازياً للمجال المغناطيسي للأرض أثناء ترسيب الصخر الرسوبي وبذلك يكون هذا الصخر ممغنطاً مغنطة قليلة ولكن يمكن قياسها . والصخور التي تحتوي على معادن ممغنطة ولكن ليس لها أي اتجاه معين تبدو غير مغناطيسية . ويمكن ان تحافظ الصخور على مغناطيسيتها لفترات طويلة من الزمن طالما لاتتعرض لحرارة تفوق نقطة كوري .

وقام العلماء بدراسة تغيرات مغناطيسية الأرض أثناء التاريخ الجيولوجي بقياس مغناطيسية صخور تكونت أثناء فترات زمنية مختلفة . ويمكن أحياناً تحديد العمر المطلق لهذه الصخور باستعمال النظائر المشعة التي توجد في الصخر . والنظائر المشعة التي تستعمل لهذا الغرض هي اليورانيوم او البوتاسيوم المشعان . وفي أحيان أخرى يمكن تحديد عمر الصخور المستعملة في دراسة المغناطيسية القديمة للأرض بواسطة الطرائق الاستراتجرافية الكلاسيكية أو الحفريات .

وبينت القياسات العديدة لمغناطيسية صخور مختلفة العمر ان اتجاه المجال المغناطيسي للأرض لم يتغير أثناء التاريخ الجيولوجي فحسب بل ان وضع القطب المغناطيسي الشمالي قد انقلب تماماً وأصبح مكان القطب الجنوبي عدة مرات (٧٨ مرة) في الثمانين مليون عام الأخيرة لتاريخ كوكبنا . وقد انقلب المجال المغناطيسي تسع مرات أثناء الأربع ملايين سنة الأخيرة .

وهذه الطريقة تزود الجيولوجيين بدليل قوي لنظرية تكتونية الألواح وتبين ان القشرة المحيطية التي تتكون نتيجة لانبثاق المواد البازلتية من الشقوق الناشئة على طول الحيود المحيطية ليست عتيقة اذا قورنت بالعمر المطلق للقشرة الأرضية .

شكل (٥-١١)
البراكين المركبة المتأثرة بالتعرية



شكل (٥ ـ ١٢)
تطور زحزحة القارات بعد ڤاكر عام ١٩٢٤
« أصل البحار والقارات »

ان عمر القشرة المحيطية لقاع المحيط الأطلسي كما يقدره العلماء من خلال نتائج قياسات المغناطيسية القديمة للصخور ومن الوسائل الأخرى المتبعة في الجيولوجيا لتحديد عمر الصخور . ويوضح الشكل ان القشرة المحيطية للمحيط الأطلسي بدأت في التكوين منذ ١٨٠ مليون عام فقط أي أثناء العصر الجوري في منتصف حقب الحياة الوسطى .

٥ ـ ٥ ـ مشاهدات تؤيد نظرية تكتونية الألواح :

يعد العالم الالماني فيجنر Wegener أول من وضع نظرية تعتبر ان القارات (أي سطح القشرة الأرضية) تتحرك أثناء التاريخ الجيولوجي . وتعرف هذه النظرية باسم نظرية الانحراف القاري (زحزحة القارات) Theory of continental drift . ولم تحرز هذه النظرية في بداية الأمر قبولاً كبيراً لدى العلماء . وبنى فيجنر نظريته على نوعين من المشاهدات :

١ ـ مشاهدات جغرافية وباليوجغرافية :

لاحظ فيجنر تشابهاً كبيراً بين الشواطيء المتقابلة لبعض القارات مثل افريقيا وجنوب امريكا واعتبر العالم الالماني هذا التشابه دليلاً على ان القارات كانت في بداية الأمر ملتصقة قبل ان تنفصل نتيجة لحدوث شقوق فيها ولتحركها للابتعاد عن بعضها البعض ولأخذ الوضع الذي هي عليه الآن .

وهناك مشاهدات أخرى قام بها فاكنر ، وهي خاصة بالتكامل الجيولوجي والبنائي للقارات المتقابلة . وتشير تلك المشاهدات أيضاً الى احتمال أن تكون هذه القارات جزءاً من قارة واحدة في فترة من فترات تاريخها الجيولوجي (انظر شكل ٥ ـ ١٢) .

وبالاضافة الى المشاهدات التي قام بها فاكنر فان الدراسات الطبقية التي قامت على التتابعات الاستراتجرافية في المناطق المتقابلة لبعض القارات ساعدت على التعرف على التغيرات التي طرأت على هذه الرسوبيات في الأوقات التي سبقت فترة انفصال القارات مباشرة . ونتائج الدراسات المبينة في الشكل السابق تشير الى ان

قارة جنوب امريكا انفصلت عن افريقيا اثناء العصر الطباشيري . وتتفق هذه النتائج الى حد كبير مع نتائج تقدير عمر قاع المحيط الاطلنطي باستخدام العناصر المشعة والمغناطيسية القديمة .

٢ ـ مشاهدات بيولوجية :

استعان فاكنر أيضاً في وضع نظريته القائمة على الانحراف القارى بالمعلومات الخاصة بتوزيع الكائنات الحية على القارات . فالمعروف انه يمكن تقسيم المناطق القارية من حيث توزيع النباتات والحيوانات فيها الى ست مناطق حيوية biogeographic realms وهي :

١ ـ المنطقة القطبية القديمة Paleoaretic realm ، وتشمل أمريكا الشمالية من وآسيا وشمال الهملايا وافريقيا شمال الصحراء الكبرى ، وهذه المنطقة هي المنطقة التي ظهرت فيها الخيل والجمال والبقر وكثير من الحيوانات المألوفة لدى حضارات البحر الأبيض المتوسط .

٢ ـ المنطقة القطبية الحديثة Neoarctic realm ، تشمل أمريكا الشمالية من شمال هضبة المكسيك ، وظهرت فيها مجموعة من الحيوانات مثل « الديك الرومي » و « الكاستور » .

٣ ـ المنطقة الاثيوبية Ethiopian realm ، وهي تمتد في افريقيا جنوب الصحراء الكبرى وتتميز هذه المنطقة بوجود حيوانات مثل الشمبانزي Chimpanzee والغوريلا Gorilla والقرود المتقدمة والأسد والفيل الافريقي والزرافة والنعامة ... الخ .

٤ ـ المنطقة الاستوائية الحديثة Neotropical realm ، وهي تشمل الجزء الاسيوي الواقع جنوب الهملايا وجبال فان لينج في الصين . وتتميز بوجود النمر والفيل الاسيوي والاورنج اوتان Urang-utan ومجموعة خاصة من الحيوانات .

٦ ـ المنطقة الاسترالية Australian realm ، وتشمل استراليا والجزر المحيطة بها . وتتميز بوجود الكنغر والثدييات البدائية .

وتكونت هذه المناطق الحيوية نتيجة لوجود حواجز تحول دون انتشار الحيوانات والنباتات البرية على سطح جميع القارات . وهذه الحواجز نوعان :

أ ـ حواجز جغرافية وهي البحار والمحيطات .

ب ـ حواجز مناخية حيث ان الكائنات التي لاتستطيع ان تعيش في جميع المناخات التي يتميز بها سطح الكرة الأرضية ، والسلاسل الجبلية العالية (مثل الهيمالايا) والصحارى (مثل الصحراء الكبرى) تكوّن حواجز مناخية تعوق انتشار الكائنات الحية .

فالحواجز المناخية مسؤولة عن تكوين مجموعتين من المناطق الحيوية :

١ ـ المجموعة الأولى :

وتشمل المنطقة القطبية القديمة والمنطقة القطبية الحديثة وتفصلها حواجز جغرافية (المحيط الأطلنطي والمحيط الهادي) .

٢ ـ المجموعة الثانية :

تشمل باقي المناطق الحيوية التي تفصل بينها حواجز جغرافية وهي المحيطات الجنوبية .

ويرى العلماء ان الكائنات الخاصة بكل منطقة حيوية كانت منفصلة تماماً عن الكائنات التي تعيش في مناطق حيوية اخرى ، ولذلك تطورت الكائنات الخاصة بكل منطقة حيوية معينة تطوراً ذاتياً ، ويصبح تشابهها بالكائنات التي تعيش في أماكن أخرى ضئيلاً .

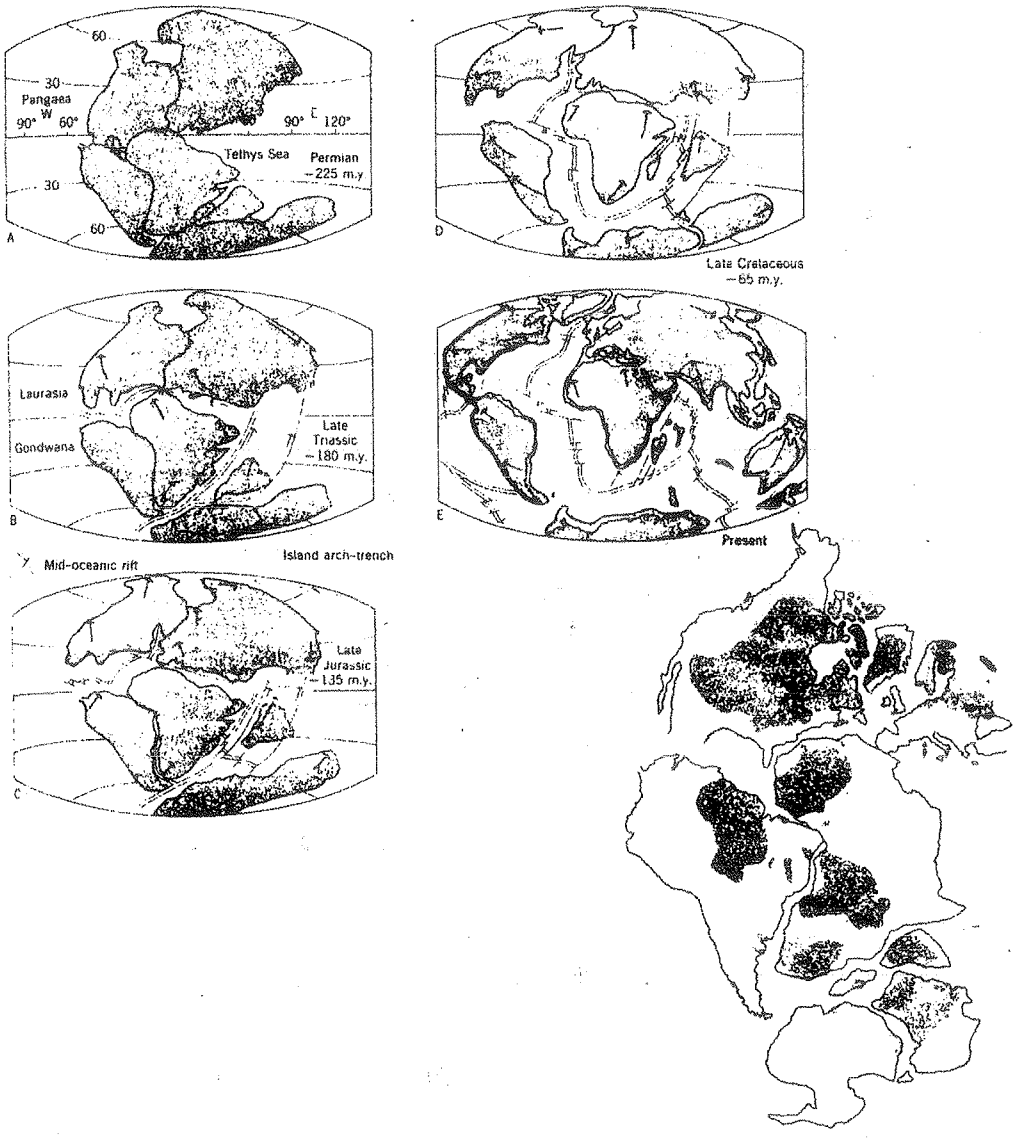
ولاحظ فاكنر ان الدراسات الباليونتولوجية عن بقايا الفقاريات والنباتات التي وجدت في رسوبيات العصور المختلفة لهذه المناطق الحيوية توضح ان الاختلافات بين الكائنات الحية البرية التي كانت تعيش في المناطق المختلفة في بعض العصور السالفة كانت طفيفة للغاية وتوضح هذه الدراسات أيضاً أن الاختلافات بين الكائنات الخاصة بالمناطق الحيوية المختلفة ازدادت مع مرور الزمن الجيولوجي .

فالكائنات التي تعيش في حقب الحياة الوسطى في افريقيا وفي جنوب امريكا كانت تتشابه الى حد كبير ، مما يدل على انها كانت على اتصال جغرافي بعضها ببعض . اما الاختلافات فبدأت تظهر في حقب الحياة الحديثة ، وذلك بشير الى ان القارات كانت متباعدة في ذلك الزمان . وبذلك استدل فاكنر على أن جنوب امريكا انفصلت عن افريقيا قرب نهاية حقب الحياة الوسطى .

وكان كثير من العلماء يستعينون بوجود تشابه في نباتات البرمى والترياس في معظم القارات الجنوبية (مثل جنوب امريكا وافريقيا ومدغشقر والهند واستراليا وقارة القطب الجنوبي) لاستنتاج وجود قارة جنوبية تشمل هذه الأراضي وتسمى قارة الجندوانا Continent of Gondwana . وتتميز المجموعة النباتية لهذه العصور في قارة الجندوانا بوجود أنواع من جلوسوبتيريس Glossopteris وهناك دليل آخر قوي يدل على وجود هذه القارة ، وهذا الدليل يتمثل بالرسوبيات الجليدية التي تتخلل صخور البرمى والكربوني الأعلى في جنوب امريكا وافريقيا والهند واستراليا . ويوضح الشكل (٥ ـ ١٣) نظرة العلماء الأخيرة في انجراف القارات وتكوين المحيطات على سطح الكرة الأرضية منذ العصر البرمي حتى الآن وهذه النظرية قريبة جداً من أفكار فاكنر في هذا الموضوع ، وهي تعتمد على الملاحظات المختلفة التي أدت الى وضع نظرية تكتونية الألواح .

٥ ـ ٦ ـ الأحواض الترسيبية والجبال :

ان معظم التضاريس العامة للقشرة الأرضية (مثل القارات والمحيطات والجبال والاغوار المحيطية) ناتجة عن الحركات الأرضية التي تصحب حركة الألواح . ولذلك يمكن تصنيف هذه التضاريس على حسب نشأتها بمعرفة موقعها بالنسبة للألواح المتحركة . وهناك علاقة أيضاً بين الأماكن التي يمكن أن تتكون فيها كميات كبيرة من الرسوبيات وبعض الجبال . ولذلك سنتناول فيما يأتي تصنيف الأحواض الترسيبية (أي الأماكن التي تتراكم فيها رسوبيات كثيرة) وذلك من قبل ان نصنف الجبال .



شكل (٣٠٥)

نظرة جديدة في فلسفة إنحراف القارات

الأحواض الترسيبيـــة

يمكن تصنيف الأحواض الترسيبية التي تتراكم فيها كميات كبيرة من الرسوبيات ، على أساس تكتونية الألواح ، الى ثلاثة أنواع :

١ ـ الأحواض الجيوسنكليتية : Geosynclinal traughs :

وهي تنتشر على طول الحدود الهدامة بين الألواح حيث أنها تكون أحواضاً ترسيبية مستطيلة ، لايزيد عرض الواحد منها على بضع المئات من الكيلومترات ولكن طوله قد يتعدى الآلاف من الكيلومترات . وتنشأ هذه الأحواض نتيجة لقوى ضغط جانبية عمودية على اتجاه استطالتها . وتتراكم في هذه الأحواض عادة كميات كبيرة من الرسوبيات يصل سمكها الى عدة كيلومترات . وتكوّن الرسوبيات الخاصة بهذه الأحواض في بعض الأحيان رسوبيات بحرية عميقة (كما هو الحال في جبال الألب) .

وتتأثر هذه الأحواض عادة بحركات أرضية بانية للجبال movements oragenic tectonic . وتوجد رسوبياتها في كثير من الأحيان في باطن سلاسل جبلية على سطح القارات .

٢ ـ الأحواض الرسوبية الضحلة البين قارية Epicontinental sedimentary basins :

وهي مناطق منخفضة يمكن أن تترسب فيها كميات كبيرة من الرسوبيات البحرية الضحلة لايزيد سمكها على بضع مئات من الامتار ، وتقع هذه الأحواض على حافة القارات ، بعيدة عن الحدود بين الألواح ، وهي تمتد بين الرف القاري والرصيف القاري للقارات . ومن أمثلة هذه الأحواض القديمة حوض باريس من فرنسا والحوض الترسيبي الذي كان يغطي مصر أثناء العصر الطباشيري والايوسين . ويتأثر الترسيب في هذه الأحواض بالحركات الأرضية الخفيفة والشاسعة الانتشار ، وهي الحركات البانية للقارات movements epeirogenic tectonio .

٣.الأحواض الترسيبية الخسفية Faulted traugh أو وديان الانخساف Valleys rift :

وهي أحواض ترسيبية محدودة بصدوح عادية وتتكون حينما ينشق لوح قاري الى جزئين قبل تكوين المحيط . ولاتتأثر هذه الأحواض الترسيبية بحركات أرضية بانية للجبال movements orageuic tectonic ، ونادراً ماتوجد رسوبياتها على سطح القارات . ومثال هذا النوع من الأحواض خليج السويس بمصر والبحر الأحمر . ولايمكن دراسة رسوبياتها الا عن طريق الحفر العميق في القشرة الأرضية .

تصنيف الجبال

هناك ثلاثة أنواع أساسية من الجبال :

١ - جبال جيوسنكلينية (التوائية) Geosynclinal mountains ويطلق عليها أحياناً اسم أحزمة الطيات Folded belts لكثرة وجود الطيات في داخلها . وهي تتكون نتيجة لرفع وطي الرسوبيات المتراكمة في الأحواض الجيوسنكلينية . وتعرف الحركات الأرضية التي تتحكم في تكوين مثل هذه الجبال باسم الحركات الأرضية البانية للجبال . وأمثلة هذه الجبال جبال السلاسل الالبية Chains Alpine . والجبال الممثلة للحزام الحول باسيفيكي (مثل سلطة الانديز Andes والسلسلة اليابانية ... الخ) وأيضاً جبال الاورال Oural mountains في الاتحدا السوفيتي والجبال الهرسينية Hercynian mountains والكاليدونية Mountains Caledonian في أوربا الغربية والجبال الكاليدونية ، والهرسينية تكونت أثناء حقب الحياة القديمة ، أما الجبال الالبية فابتدأت في التكون أثناء حقب الحياة الوسطى واستمرت أثناء حقب الحياة الحديثة .

٢ ـ جبال بركانية Volcanic Mountains وهي عدة أنواع :

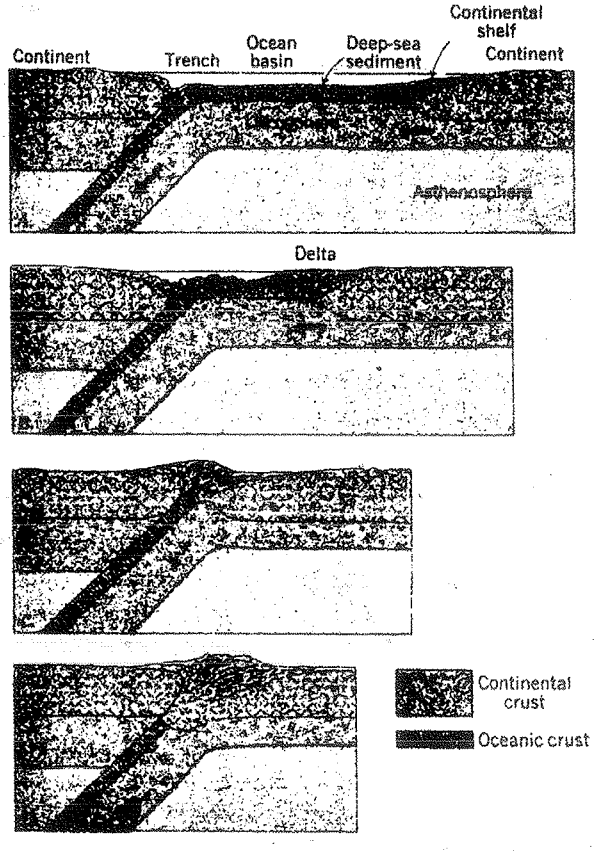
أ ـ الحيود الوسط محطية Mid–occeanic ridges التي تكون سلاسل جبلية مغمورة في قيعان المحيطات على طول الحدود البناءة وتتكون هذه الجبال من الانبثاقات البازلتية التي تكوّن قيعان المحيطات أثناء عملية انتشار قاع البحار .

ب ـ جبال بركانية مكونة في وسط الألواح ، مثل جزر هاواي التي تقع فوق نقطة ساخنة تحت القشرة الأرضية ..

جـ ـ سلاسل بركانية موجودة على حدود هدامة بين لوحين . ومثال هذه السلاسل الجبلية سلسلة جبال جزر تونجا التي تقع عند تلاقي لوحين محيطيين ، وفي هذه الحالة لاتوجد كميات كافية من الرسوبيات الجيوسنكلينية لتكوين جبال جيوسنكلينية . وهناك مثال آخر لها وهو سلسلة كاسكيد Range cascade في غرب الولايات المتحدة الامريكية . وتوجد هذه السلسلة على اللوح القاري الامريكي قرب حدوده مع لوح جوردا Gorda plate المحيطي . ويظن العلماء ان هذه السلسلة تكونت نتيجة لصعود الصهير (الماجما) المتكونة عند ذوبان لوح جوردا تحت اللوح الامريكي (انظر الشكل ٥ ـ ١٤) .

٣ ـ جبال تصدعية Fault Mountains ، وتوجد في وسط ألواح قارية ثابتة وتتكون أحياناً الرسوبيات التي تؤدي الى تكوين مثل هذه الجبال في أحواض ترسيبية ضحلة بين قارية . وفي أحيان أخرى تكون هذه الجبال متكونة من صخور القاعدة (أي الصخور النارية والمتحولة التي تكوّن القلب الثابت للقارات) .

والجدول الآتي يوضح أنواع الجبال والأحواض الترسيبية وعلاقتها بالألواح المكونة للقشرة الأرضية (لاحظ الجدول ٥ ـ ٣) .



شكل (٥ - ١٤)

حدود هدمية بين لوحين

جدول (٥ ـ ٣) يبين العلاقة بين الألواح والأحواض الترسيبية والجبال والحركات الأرضية

المكان بالنسبة للألـــواح	نوع الألواح المعنيـــة	الاحواض الترسيبية	الحمكات الارضيـــة	نوع الجبـــال	امثـــلة
	الواح قارية	احواض فوق قارية	حركات بانية للقارات	جبال مكونة نتيجة التصدع	منطقة الأحواض والسلاسل بالولايات المتحدة
وســـط الألـــواح	—	—	—	—	—
	الواح محيطية	-	-	جبال بركانية	جزر هاواي
—	—	—	—	—	—
	بين لوحين محيطيين	-	-	جبال بركانية	الجيود الوسط محيطية / جزيرة ايسلاندا
حـــدود بنـــاءة	—	—	—	—	—
	بين لوحين قاريين	وديان انخساف	-	-	البحر الاحمر / وادي الانخساف الافريقي
—	—	—	—	—	—
حدود هدامة	بين لوحين محيطيين	غور محيطي اوجوسينكليني	حركات بانية للجبـــال	جبـــال بركانيـــة	سلسلة تونجـا / الجزر الاليونية
—	—	—	—	—	—
	بين لوح محيطي ولوح قاري	غور محيطي اوجوسينكليني	حركات بانية للجبـــال	جبـــال جيوسينكلينية	جبال الانديز / جزر اليابان
—	—	—	—	—	—
	على لوح قـــاري	-	-	جبـــــال بركانيـــــة	سلسلة كاكسيـــد
—	—	—	—	—	—
	بين لوحين قاريـــين	غـــور جيوسينكليني	حركات بانيـــة للجبـــال	جبـــال جيوسنكلينية	جبـــال الهملايـــا

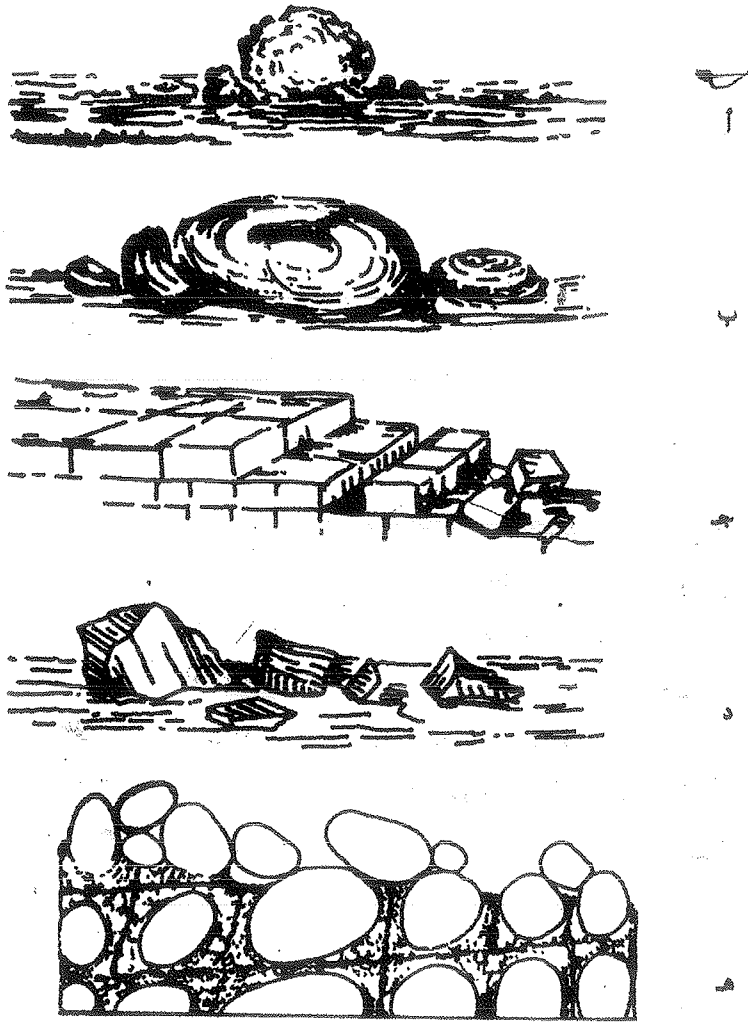
الفصل السادس

التجوية والتربة وحركة الفتات الصخري

لقد عرّف التجوية (اولير سنة ١٩٦٩ Olier) بانها عملية تكسر وتغير المواد القريبة من سطح الأرض وتحولها الى نواتج في حالة تعادل مع الظروف الطبيعية لمنطقة ما . فمثلاً يتكون الكرانيت تحت ضغط وحرارة معينة وفي أعماق الأرض بعيداً عن الماء والهواء .. فعندما تزال طبقات الأرض السميكة بواسطة عوامل حتية ، فإن الكرانايت يتأثر بالظروف الجديدة من حرارة وضغط وماء وهواء . لذلك يطرأ على الكرانايت تغير بسبب هذه الظروف الجيولوجية الجديدة والتي تعرف بالتجوية .

والتجوية لها علاقة بعوامل الجو من رطوبة وجفاف وحرارة وأشعة شمس ورياح فضلاً عن أنها نتيجة تغيير كبير في الظروف الطبيعية وحتى ارتفاع وانخفاض مستوى المياه الجوفية له تأثير معين ، وبصورة عامة فان التجوية تعرف بأنها :

عملية تفكك او تكسر او تحلل او نحت او تهشم الصخور في موقعها بطرق كيمياوية أو فيزياوية أو حياتية أي أنها عملية ثابتة (Static) شكل (٦ ـ ١) . فكثيراً ما توصف التجوية بأنها عملية تهيئة المواد الصخرية للنقل باحدى العوامل الآتية : المياه الجارية أو الرياح أو الجليد وعندئذ تسمى بالتعرية . وبما ان ظاهرة الجذب الأرضي تؤثر على كل العوامل الأرضية بصورة عامة فان هذه المواد المتكسرة أو المتفتتة تنزلق أو تتدحرج أو تزحف اذا تهيأت لها الظروف الطبيعية كالميل أو الانحدار وعندئذ توصف هذه الظواهر الآنفة الذكر جميعها بالانهيارات الأرضية (Maswasting) .



شكل (٦-١)

يوضح نواتج تجوية الصخور

أ - فتات صخري ب - تقشر جـ - كتلي د - شظايا هـ - فتات صخري كروي

٦ ـ ١ ـ أنواع التجويـــة :

هناك ثلاثة أنواع من التجوية في الطبيعة :

التجوية الفيزياوية أو الطبيعية أو الميكانيكية :

وهي التجويـة النـاتجـة عن تكسر الصخور بصـورة ميكانيكيـة دون أن يصحب ذلك أي تغيير في الصفة الكيماوية أو المعدنية للصخور .

ان التجوية الفيزياويـة أو الميكانيكيـة كما ذكرهـا رجي (Reiche) سنـة ١٩٥٠ م تسببها عدة عوامل هي :[١]

أ ـ **التمدد الحـراري :** لقد كان يعتقـد في المـاضي بـأن التمـدد والتقلص يلعب دوراً هاماً في تفويض أشكال الصخور في الطبيعة أي تجويتهـا فيزيـاويـاً لـذلـك فـان هـذه التعريـة تنشـط في المنـاطـق الصحراويـة حيث الرطـوبـة قليلـة . كما وان التفـاوت الحراري بين منطقتي الظـل والشمس كبير ، وكـذا الحـال بين الليـل والنهار وان ارتفاع درجة الحرارة نهاراً يعمل على تمدد الصخور كما وان انخفـاضهـا ليلاً يؤدي الى انكماشها ، لذلك فان تكرار هـذا التمـدد والتقلص يؤدي من ثم الى تكسر الصخور وتفتتهـا ، ويكون هـذا التفتت سريعـاً اذا كان الفرق بين درجتي الحرارة ليلاً ونهـاراً كبيراً كما هو الحـال في المنـاطق الصحراويـة حيث يصـل هـذا الفرق صيفاً في الصحاري العراقية الى ٥٢° م . ففي سنـة ١٩٢٥ م وصف البـاحث (بـلاك ويلـدر Black Welder) تجربتـه التي اجراهـا على كتلـة صخريـة ، سخنهـا تسخينـاً يتراوح بين ١٥٠ ، ٢١٠ م وذلـك بغمسهـا في زيت مغلي بـأن الكتلة الصخرية لم تظهر عليها أية علامـة تكسر أو تفتت أو أي تمزق بالرغم من الظروف الحرارية القاسية التي عرضت الصخرة لها . وفي سنـة ١٩٣٣ وصف بلاك ويلدر صخور الكرانايت والبازلت بأنها صخور تقـاوم التسخين المفـاجيء ، وقـد

اجرى تجارب اخرى على صخور بركانية زجاجية حامضية (كالاوبسيديون) (Obsidian) فوجد أنها تقاوم التغير المفاجيء دون أن تتكسر .[1]

وفي سنة ١٩٣٦ م اجرى الباحث كريكز (Griggs) تجربته بجهاز اكتشفه بنفسه وهذا الجهاز يمكن بواسطته تعريض كتلة من الصخور لعدد كبير من التغييرات السريعة في درجة الحرارة ، واستنتج من هذه التجربة بأن الصخور التي استعملها في تجربته لم تتأثر بهذا التغيير السريع والمفاجيء للحرارة . بيد أنه أعاد التجربة ثانية وعلى نفس النوعية من الصخور بحيث أخذ يرد النماذج الحارة بالماء الاعتيادي ولعدة مرات ، عندئذ ظهرت شقوق على سطح الصخرة . هذا من ناحية ومن ناحية أخرى فان التشققات التي كانت موجودة في البلورات المكونة لهذه الصخور قد ازدادت اتساعاً ، وهذا يعني أن التجوية الكيمياوية تلعب دوراً مهماً في عمليات التجوية الفيزياوية . ومن الجدير بالذكر أن التجوية التي تحدث على سطح القمر هي من هذا النوع تقريباً . وبصورة عامة فان التغيير الحراري هو الأساس في التجوية الميكانيكية وهذا التغيير يؤثر على الصخور بدرجات متفاوتة وذلك لاختلاف الصفات الفيزياوية للمعادن المعرضة لها وبصورة خاصة قابليتها للتوصيل الحراري . فاذا كانت الصخور رديئة التوصيل للحرارة فان حرارة الشمس مثلاً تؤثر على سطحها الخارجي فقط ولا تنتقل هذه الحرارة الى داخل الصخرة مما يؤدي الى تمدد السطح العلوي فقط وهذا بدوره يؤدي الى زيادة في الضغط الداخلي للصخرة فاذا ازداد هذا الضغط على معامل تمدد تلك الصخرة فانها تتكسر بمستويات موازية لسطحها وهذا مايسمى بالتقشر (Exfoliation) لقد لاحظ هذه الظاهرة الباحث ماثوس (Mathes) سنة ١٩٣٧ في سلسلة جبال سيرا نيفادا في امريكا الشمالية . وبصورة عامة فان المعادن المكونة للصخور النارية والمتحولة والتي تتأثر بالحرارة وبنسب مختلفة تؤدي الى تهشم دقيق لبلورتها ، كما وان اختلاف ألوان هذه المعادن يؤدي

الى تفاوت درجة امتصاص هذه المعادن للحرارة ومن ثمّ الى تفاوت في كمية تمددها ولذلك فان المناطق القطبية الشديدة البرودة وذات الانجماد المستمر يكون تفاوت درجات الحرارة بين ليلها ونهارها عالياً بحيث يؤدي الى انجماد المياه في الليل وذوبانه في النهار . وان هذا الانجماد يؤدي الى تكسر هذه الصخور وتفككها . فعندما تتجمد المياه المتسربة الى شقوق الصخور أو حتى شقوق القشرة الأرضية فان حجمها يكبر ومن ثمّ فانها تسبب ضغطاً جانبياً شديداً مما يؤدي الى تهشم الصخور . ان هذه الحالة منتشرة في المناطق الباردة والرطبة أي التي تنخفض فيها درجة الحرارة الى درجة الانجماد . ومن الملاحظ ان هذه الظاهرة تسبب تحطيم السفوح الجبلية الهائلة في المناطق القطبية خلال عملية الانجماد والذوبان المستمرة .

وبصورة عامة هنالك أربعة أشكال هندسية منتظمة يمكن ان تتكسر بها الصخور الى قطع صغيرة (فتات صخري) كما ذكرها شتراهلر Strahler سنة ١٩٧١ م حيث قال ان بعض الجيولوجيين يستعملون جملة تعابير يصفون بها الطرق التي تتكسر بها لصخور والتي لاتدل على القوى التي تسبب التجوية بل هي تكسر أشكالها الهندسية البحتة . وهي التكسر الحبيبي والتقشر والتكسر التشققي والتكسر الذي يتم على شكل شظايا .

اما جابمن Chapman وكرينفيليد Greenfield فقد ذكرا بأن مثل هذا التكسر يؤدي الى تكون الحصى والرمل في حين ان التقشر الذي ذكرناه سابقاً يحدث عندما تتواجد الشقوق والفواصل في الصخور بحيث ان التكسر يأخذ شكلاً هندسياً مطابقاً لاتجاهات الفواصل وتكون على شكل كتلة منفصلة (Jcint Block) وقد يحدث التهشم (Shattering) أحياناً عند تكسر الصخور المتبلورة الصلبة جداً ويكون عادة تكسر زاوي أي زواياه حادة كالذي يحدث عندما ترمي حجراً على صفيحة زجاجية ، ومن الجدير بالذكر ان الفاصل والشقوق في الصخور بصورة عامة تساعد على تسرب المياه المحملة بثاني اوكسيد الكاربون مما يؤدي الى تفتت هذه

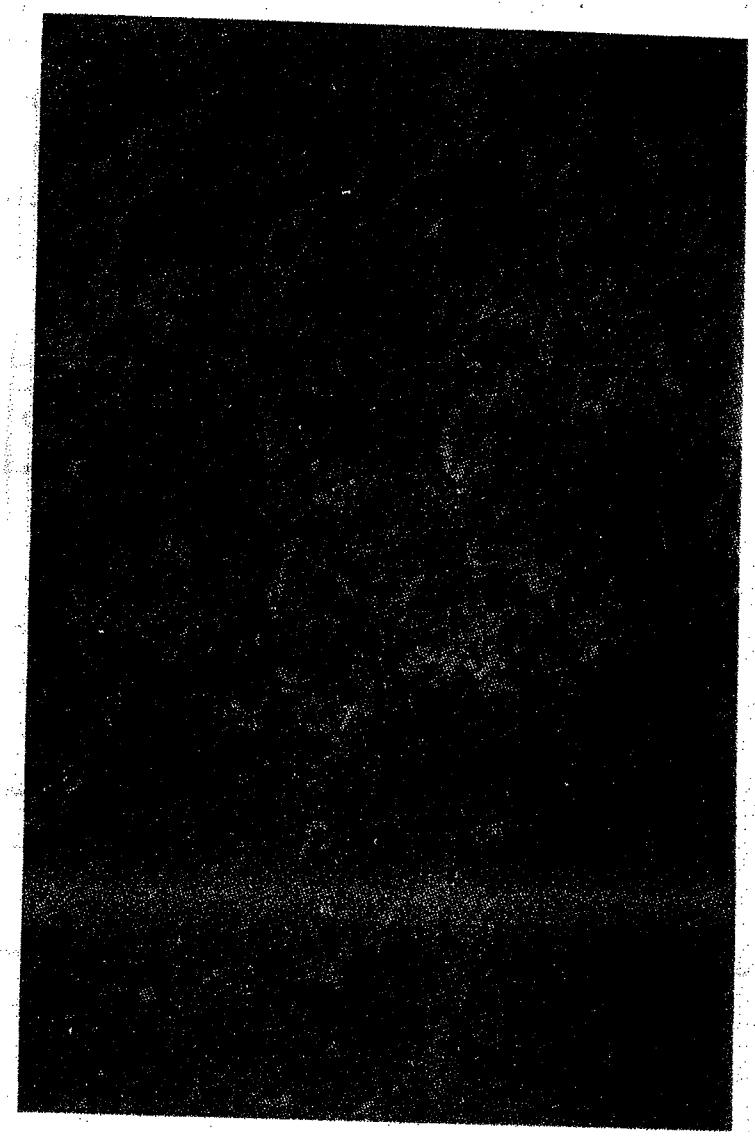
الصخور وتكسرها وتفككها الى اشكال كروية ويسمى هذا النوع من أنواع التجوية بالتجوية الكروية (Speroidal Weathering) (شكل ٦ - ٢) .

وهناك أنواع أخرى من التجوية أقل انتشاراً مما سبق يكون التكسر فيها على طول الشقوق أو الصفائح الوقائية للمعادن كما هو في حجر الاردواز أو أي صخر صفائحي آخر .

ب - النمو البلـــوري :

يساعد عامل النمو البلوري على تشقق الصخور وتكسرها ، فعندما تملأ مياه الأمطار هذه الشقوق أو المفاصل (Joints) ويصادف ان تتجمد هذه المياه فان حجمها يزداد حوالي ١٠ ٪ وذلك لنمو بلورات الثلج وهذه الزيادة في الحجم تسبب ضغطاً على الصخور التي تجاورها ومن ثمّ فان الصخور تتهشم وتتفكك ويزداد تأثير هذا العامل في المناطق التي تتعاقب فيها فترات الانجماد والذوبان وكثيراً مايزداد نمو البلورات وبعض الأملاح بواسطة الجاذبية الشعرية (Capillary) أو بمعنى آخر أثناء صعود محاليل هذه الأملاح من جوف الأرض الى سطحها مما يساعد على تفكك سطوح الصخور التي تنفذ خلالها ولكن هذه العملية تأثير محلي محدود وقلما تحدث على نطاق واسع .

ان تأثير الانجماد والذوبان على الصخور الرسوبية الهشة كبير ، وحتى خلال فترات البرد القصيرة التي يتميز بها شمال قطرنا على سبيل المثال يؤدي الانجماد والذوبان الى انفصال بعض الطبقات الطينية والطفلية خلال نمو بلورات الثلج بزوايا قائمة بالنسبة للوجه الأسفل ونفس الشيء يحدث في مقالع الحصى حيث نجد هشيماً من الحصى أو فتات الصخور عند اقدام وجهة سفح الجبل وذلك عندما تكثر موجات الانجماد والذوبان في تلك المنطقة وقد يؤدي التمدد الذي يتعرض له النمو البلوري الى تشقق في الصخور وهذا يشمل تكون البلورات الجليدية ونموها . ومن الجدير بالذكر ان الأملاح التي تنشأ في المناطق الجافة ، وذلك باعتراض المياه الحاوية على أملاح ذائبة فانها تقوم بنفس العمل ، كما هو الحال في منطقة الفتحة ،



حيث النمو البلوري للأملاح يؤدي الى تجوية الصخور الهشة ، وقد أوضح العالم تابر سنة ١٩٣٠ (Taber) بأن القوة الدافعة للصقيع تعتمد اعتماداً كلياً على الكتل الجليدية وليس على تجمد الماء في باطن الأرض ، وعليه فان تعاقب تجمد الماء وذوبانه يصبح أكثر فعالية في الصخور ذات الشقوق أوالسطوح الكثيرة . وتزداد فعالية هذا العامل عندما تتكرر عملية الانجماد والذوبان .

جـ ـ التمـدد (Dilation) :

وهذا النوع من التجوية يحدث عندما يزاح الضغط المسلط على الصخور فالصخور النارية والمتحولة تتبلور تحت ظروف حرارية وضغوط مختلفة عن تلك التي توجد على سطح الأرض ، وهذا يعني أن المعادن المكونة لهذه الصخور لاتكون ثابتة في ظروف ودرجات حرارة السطح وضغطه . فاذا ما ازيحت الطبقات الصخرية هذه لسبب ما فان الضغط المحصور يقل ومن ثمّ تتقشر هذه الصخور الكرانيتية المحاطة بأسطح موازية لسطح التضاريس . ومما لاشك فيه فان الفواصل تتكون نتيجة لهذا التمدد والناتج عن التقشر وعليه فان التجوية الكيمياوية وقلة الضغط المحصور يتظافران كلاهما مع تغيرات الحرارة لتكوين الشقوق في الصخور الصلبة . وقد استنتج الباحث ماثز ١٩٣٧ (Mathes) أنّ التقشر المتراكز (Concentric Exfoliation) الذي تتصف به معظم قباب امريكا الشمالية وخاصة في منطقة المتنزه الوطني (National Park) قد نتجت عن تمدد هذه القباب بعد أن أصابها الحت وازاح الترسبات الثقيلة عن كاهلها ، وقد دلت الدراسات المجهرية للصخور هذه على أن التمدد كان ميكانيكياً في طبيعته وليس ناتجاً عن تغير كيمياوي . وقد وصف برادلي سنة ١٩٦٣ (Bradley) التقشر الموجود على نطاق واسع في العديد من الصخور الرملية في منطقة هضاب الكولورادو وقال بأن الانفصام لازم عملية التمدد وذلك عندما تتخلص الصخور من الضغط المحصور الواقع عليها كنتيجة لظهورها الى السطح أو قريباً منه وذلك بسبب حتها وتعريتها بعد أن كانت مطمورة في الأعماق السحيقة .

د ـ التشبع بالماء والجفاف :

عندما يتعاقب تشبع الصخور بماء المطر ثم جفافها تحت تأثير أشعة الشمس يحدث تفكك في أجزائها ويؤدي الى انهيارها على هيئة تراب أو فتات صخري ، ويلاحظ هذا بوضوح على الصخور الطينية التي لها قدرة كبيرة على امتصاص الماء ، لما اذا زادت كمية المطر الى الحد الذي يمكن الماء الجاري على سطح الأرض من نقل الفتات الصخري فان تأثير الماء على الصخور يتحول من مجرد التجوية الى التحات أيضاً

التجويـة الحياتيـة :

ان العامل الحيوي له تأثير مباشر على عملية التجوية الميكانيكية اذ ان الحيوانات القارضة (Rodents) وأنواع مختلفة من النمل (Termites) لها قدرة كبيرة على تهيئة الصخور العملية التكسر والتفتت ، كما وان ديدان الأرض (Earth Warms) هي الأخرى تلعب دوراً كبيراً في تفكيك التربة والصخور في كثير من مناطق العالم . كما وأن نمو جذور النباتات في الصخور يساعد على توسيع شقوقها مما يؤدي الى تكسرها . وهناك بعض أنواع الفطريات والاشنات لها قدرة كبيرة على استخلاص بعض العناصر الكيمياوية الداخلة في تركيب معادن الصخور مما يؤدي الى تفككها وسهولة انجرافها بعد ذلك ، كما وان للبكتريا أثراً واضحاً في تحليل بقايا الكائنات الحية النباتية والحيوانية ، مما يؤدي الى تحرير ثاني اوكسيد الكاربون ، وبعض الأحماض العضوية ، بالاضافة الى النشادر وحامض النتريك وكلها تعمل على زيادة الطاقة الحامضية للمياه الموجودة في التربة . ونتيجة لذلك يكون لدينا مركب غروي الملمس يعرف بالدبال (Humus) والذي هو عبارة عن طبقة غروية سوداء تكثر في المناطق التي يزداد فيها نشاط عمليات التحلل العضوي . وان هذه المادة الغروية تساعد على تفكيك التربة كما شاهدها رجي (Reiche) سنة ١٩٥٠ حيث سماها بالجذب الغروي (Colloid Plucking) حيث لاحظ أن هذه المادة تساعد على اجتذاب فتات وشظايا صخرية صغيرة . ومن الجدير بالذكر ان الكائنات الحية والنباتات ليست لاتساعد على التجوية الفيزياوية فحسب بل على العكس من ذلك تعمل على تماسك التربة ومنعها من الانزلاق وكذلك تعمل على تهوية التربة مما يساعد على نمو الغابات وازدهارها ، كما وان ازالتها يترك اثاراً سلبية على التربة



شكل (٦-٢)
صورة توضح التعرية المهاتية
(جبال بناين - انكلترا)

وعلى تكوين الصخور حيث تتصف الأرض الوعرة أو الجرداء Badland بأنها خالية من التربة ومن النبات

تقوم الحيوانات والنباتات بدور هام في تفتت الصخور سواء كان ذلك بطريقة مباشرة أو غير مباشرة . فالنباتات الكبيرة خصوصاً ترسل جذورها داخل شقوق الصخور وفجواتها ، وينتج عن نمو هذه الجذور داخل الصخور تولد قوة كبيرة تكفي في كثير من الأحيان لفلق الصخور وشطرها (شكل ٦ ـ ٣) . يؤدي تكرار عملية الشطر هذه الى تفتت الصخور وتحولها الى حطام . كما ان الحيوانات الحفارة كديدان الأرض والنمل والسنجاب الأرضي وغيرها تساعد عوامل التجوية عن طريق تعريض أجزاء جديدة من الصخور الى السطح وكذلك بتهيئة مسالك سهلة لعوامل التجوية لكي يصل تأثيرها الى ماتحت سطح الأرض .

وقد أثبت العالم البريطاني الشهير داروين ان الديدان الأرضية التي تعيش في هكتار واحد من الأرض تبتلع وتلفظ من أمعائها مايصل الى أكثر من عشرة أطنان من التربة في السنة الواحدة .

التجوية الكيميائية :

يمكن القول أن أهم مكونات الجو من الناحية الجيومورفولوجية (أي من حيث تأثيرها الكيميائي على الصخور) هي الأوكسيجين وثاني أوكسيد الكاربون وبخار الماء ، نظراً لما لهذه المكونات من نشاطات كيميائية . يعتبر بخار الماء من أهم هذه المكونات لما له من تأثير مباشر في التحلل المائي والتمؤ وتأثير غير مباشر لاتمام التفاعلات الكيميائية وخاصة في عمليات الأكسدة والتكربن والى جانب العناصر التي سبق ذكرها فهناك مواد أخرى نشيطة كيميائياً توجد في الهواء الجوي ولكن كميتها ضئيلة وانتشارها منحصر في أماكن محددة مثل حامض الكبريتيك والنتريك وغاز الأمونيا .

يزيد الارتفاع في درجات الحرارة من قدرة التجوية الكيميائية كما هو معروف أيضاً بالنسبة لمعظم التفاعلات الكيميائية الأخرى . ووجود الرطوبة عامل آخر مهم لاتمام هذا

النوع من التجوية ، لأن وجود الماء يساعد على تحريك الأيونات لكي يتفاعل بعضها مع البعض ، لذلك تكون التجوية الكيميائية أكثر كفاءة في المناطق الدافئة الرطبة منها في المناطق الباردة أو الجافة .

وهناك خمس عمليات مهمة تؤدي الى تحلل الصخور نتيجة للتجوية الكيميائية وهي :

١ ـ التحلل المائي Hydrolysis :

وتكمن فاعلية الماء في اتمام عمليات التحلل المائي في أيونات الهيدروجين الصغيرة التي تستطيع أن تتخلل التركيب البلوري للسليكات وان تفتته ، وبذلك تتكون مركبات جديدة أبسط تركيباً من السليكات الأصلية . ولايمكن في العادة ان تبقى هذه المركبات البسيطة ملامسة للعناصر المكونة للهواء وللمحاليل المائية دون ان تتفاعل كيميائياً معها لتكون اكاسيد وهيدروكسيدات وكربونات وأحياناً كبريتات بالاضافة الى بعض السليكات الأبسط تركيباً من السليكات التي لم يسبق لها أن تأثرت بعمليات التجوية الكيميائية .

يتضح من المناقشة السابقة أن التحلل المائي يمهد عادة لعمليات التجوية الكيميائية الأخرى التي سنعالجها فيما بعد .

من أشهر الأمثلة على عملية التحلل المائي في تجوية المعادن النارية عملية تحويل الفلدسبار البوتاسية الى كاولينيت Kaolinite والكاولينيت هو أحد المعادن الطينية بالاضافة الى معادن طينية أخرى . وتعرف أحياناً عملية تحول الفلدسبار البوتاسية الى كاولينيت باسم الكولنة Kaolinitization .

تقوم الكميات القليلة لثاني اوكسيد الكاربون الموجودة في الهواء بدور كبير في تنشيط عملية الكولنة . يذيب الماء الذي يسيل فوق السطح ، قبل ان يتخلل المسام الموجودة في

في التربة وفي الصخور ، بعض جزيئات من ثاني اوكسيد الكاربون الموجودة في الجو التي سرعان ماتتحول الى حامض الكربونيك بالطريقة الآتية :

$$H_2O + CO_2 \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + (HCO_3)^-$$

وذلك يزيد من مقدار أيونات الهايدروجين الموجودة في الماء . تتخلل هذه الأيونات الصغيرة من الهيدروجين في التركيب البلوري للفلدسبار البوتاسية وتحللها بالطريقة الآتية :

$$2K\,AlSi_3O_8 + 2H + H_2O \longrightarrow 2K^+ + Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2$$

وبذلك تنتقل ايونات البوتاسيوم في الماء مكونة محلولاً ، الا ان بعض هذه الايونات تستعملها أحياناً النباتات كغذاء وأحياناً تضاف الى التركيب الخاص لبعض المعادن التي تترسب في مياه البحر أو تضاف الى بعض المعادن الطينية الأخرى التي تتكون نتيجة التفاعلات مثل التفاعل الذي يؤدي الى تكوين الكاولينيت . أما السليكا فيبقى جزء في التربة ويتحرك الجزء الآخر مع الهاليل على هيئة هاليل غروية .

من أبرز نتائج هذا التحليل بقاء الكاولينيت على هيئة معدن متبق أو معدن ثانوي residual or secondary mineral ، اما السليكا والبوتاسيوم المذابان فانها يرتشحان They are leached من التربة أو الصخر الأساس .

يؤدي التحلل المائي في بعض الأحيان الى انتفاخ الصخور المتأثرة به . ففي حالة

تكوين الكالوينيت ينتفخ الصخر لأن حجم الكالوينيت أكبر من حجم الفلسبار البوتاسي ، ويساعد هذا على تشقق exfoliation الصخور المتأثرة بهذه العملية وتقشرها .

(٢) التأكسد Oxidation :

التأكسد هو اتحاد الاوكسيجين مع العناصر أو المركبات . يوجد الاوكسيجين في الهواء الجوي بنسبة ٢١ ٪ وله القدرة على الذوبان في الماء . تتوقف عملية التأكسد الطبيعية على وجود جو رطب كما أنها أكثر سرعة في المناخ الحار . لذلك نجد أنها أكثر نشاطاً وتأثيراً على الصخور في المناطق الاستوائية حيث تنتج عنها أنواع من التربة التي تعرف باسم اللاتريت Laterite والبوكسيت Bauxite . تمتاز الأولى بلون أحمر لعلو نسبة أكاسيد الحديد فيها أما الثانية فهي ذات لون أصفر أو أبيض لانخفاض نسبة أكاسيد الحديد وارتفاع نسبة أكاسيد الألومنيوم فيها . بما أن الكثير من الصخور النارية والمتحولة تحوي عنصر الحديد على هيئة كاربونات موجبة (غالباً ماتكون حديدوز) في تركيب معادن السليكات المكونة لها فان عملية التحلل المائي التي تتبعها عملية التأكسد تؤدي في معظم الأحيان الى تكوين أكاسيد الحديديك بكثرة نتيجة للتجوية مما يجعل اللون الأحمر غالباً في معظم نواتج هذه التجربة .

تتحول الصخور المعرضة للتجوية أولاً الى ألوان سوداء أو صفراء محمرة وأخيراً الى اللون الأحمر والبني ، نتيجة لتحلل المعادن الى مركبات الحديدوز أولاً ثم تعرض هذه المركبات الى التأكسد والاتحاد بالماء شيئاً فشيئاً .

ومن أشهر الأمثلة على التأكسد الطبيعي تحلل معدن البيريت وهو شائع في كثير من الصخور ويجري التفاعل حسب المعادلة الآتية :

$$FeS_2 + 2O_2 \longrightarrow FeSO_4 + S$$

كبريتات الحديدوز الناتجة سهلة الذوبان في الماء وسريعة التحول الى مواد أخرى . أما الكبريت الناتج فلا يلبث أن يتأكسد ويتحول الى حامض كبريتيك وهذا سرعان مايتفاعل مع معادن الالومينا والكربونات مكوناً الكبريتات ومعظمها قابلة للذوبان الذي يساعد على زيادة تحلل الصخور .

يحل في بعض الأحيان الاوكسيجين محل الكبريت في البيريت مكوناً ليمونيت :

$$4FeS_2 + 11O_2 + 2nH_2O \longrightarrow 2(Fe_2O_3.nH_2O) + 8SO^2$$

سرعان مايتحول ثاني اوكسيد الكاربون الى حامض كبريتيك الذي يمكنه ان يكوّن املاحاً سريعة الذوبان مع كاتيونات أخرى . اما الليمونيت فيشابه الكاولينيت باعتباره معدناً ثانوياً متبق حيث انه غير قابل للذوبان في الماء .

(٣) التكربن Carbonation :

يتحد في هذه العملية حامض الكربونيك مع بعض القواعد أو مع كاربوناتها وخصوصاً اكاسيد وكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم فتتكون الكاربونات أو البكربونات .

ومن الأمثلة على التكربن في الحياة اليومية تجمد الملاط (المونة) من قبل ثاني اوكسيد الكاربون في الهواء أي الجير :

$$Ca(oH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_2 + H_2O$$

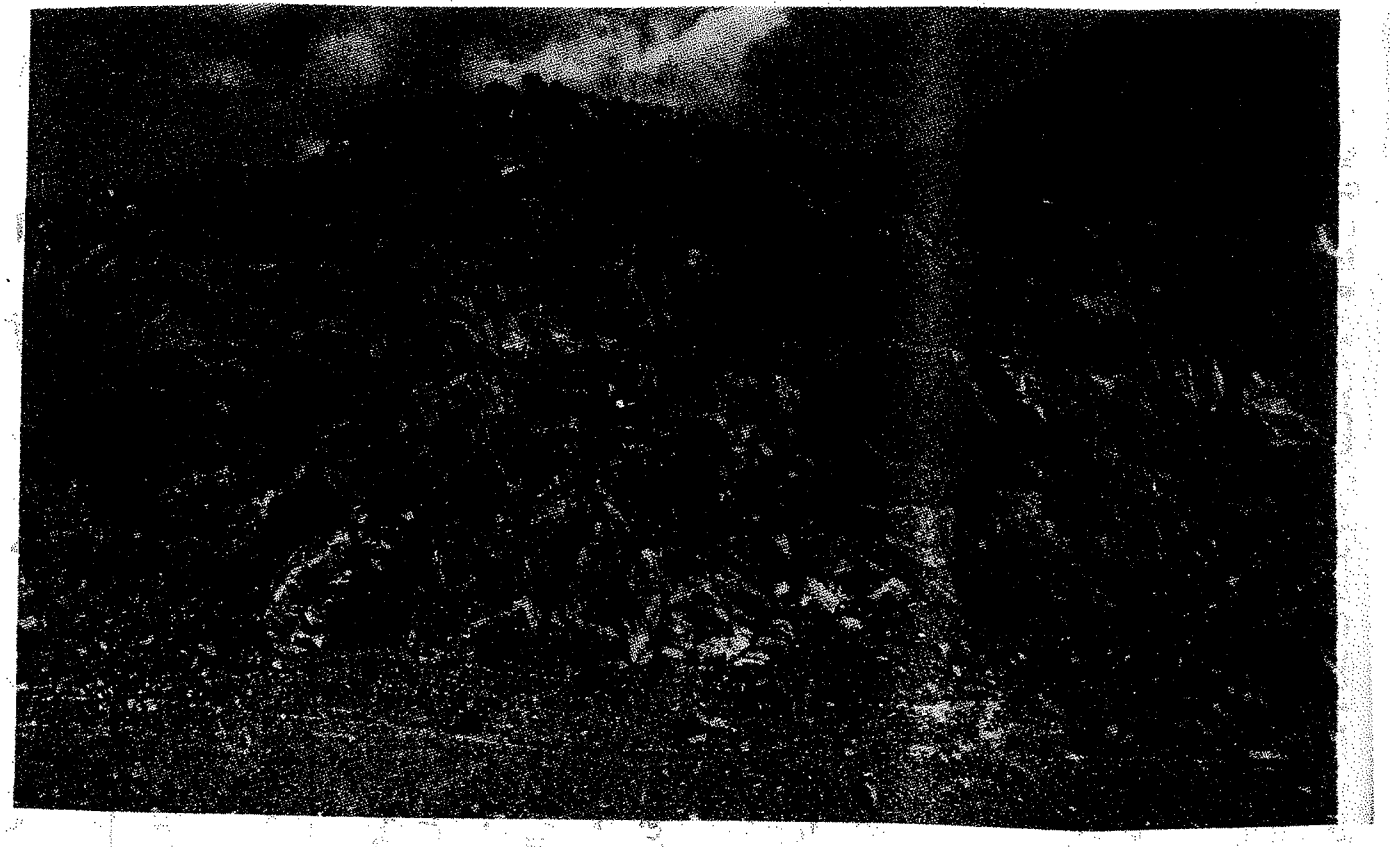
ومن أمثلة التجوية الكيميائية بالتكربن ذات الأهمية الجيولوجية تأثير حامض الكربونيك على الصخور الجيرية وهذا يؤدي الى اذابة هذه الصخور حسب المعادلتين الآتيتين :

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_2$$

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \longrightarrow Ca(HCO^3)_2$$

من الجدير بالذكر ان بيكربونات الكالسيوم قابلة للذوبان في الماء ، وبذلك يؤدي فعل حامض الكربونيك على الصخور الجيرية الى ذوبانها وارتشاحها . ويمكن أن تتخلل المياه المحملة بثاني اوكسيد الكاربون الشقوق في الصخور الجيرية ويؤدي الى ذوبان الصخور والى تكوين فجوات وكهوف ـ ولذلك تكون المناطق التي تتصف بوجود مكاشف شاسعة من الحجر الجيري غنية عادة بالكهوف ، وقد يؤدي تطورها الى انهيار الصخور المتبقية كأسقف هذه الكهوف مكونة أشكالاً طبوغرافية مميزة على سطح الأرض تشبه الأحواض ، حيث ينحدر سطح الأرض في كل واحد منها نحو مركز الحوض الذي يؤدي بدوره الى نشوء ملامح تضاريسية خاصة تعرف باسم تضاريس الكارست Karst Topography ، وكلمة كارست يوغسلافية تشير الى منطقة مشهورة بانتشار هذا النوع في الطبوغرافية الجيرية الذائبة (لاحظ الشكل ٦ ـ ٤) .

وتحدث نفس العملية في صخور المباني الجيرية نتيجة سقوط الأمطار المحملة بثاني أوكسيد الكاربون عليها وهذا يفسر سرعة تآكل أحجار المباني .



شكل (٤٠٦)
صورة توضح ظاهرة الكارست في شمال العراق

يتفاعل ثاني اوكسيد الكاربون أيضاً مع نواتج تحلل الفلسبارات وكثير من السليكات الأخرى المعقدة ليكون كربونات أو بيكاربونات العناصر القاعدية لهذه السليكات . ومعظم هذه الأملاح قابلة للذوبان وتسهل ازالتها وتصفيتها بواسطة المياه الجارية لتصل في النهاية الى البحر .

٤ ـ التمـــؤ Hydration :

التمؤ هو عملية اتحاد الماء مع بعض المعادن مكوناً مايسمى بالمعادن المائية . فمعادن السليكات ومعادن الأكاسيد تتحول نتيجة هذه العملية الى سليكات وأكاسيد مائية وهكذا . وفي حالة السليكات تصحب عادة عملية التمؤ عملية التحلل المائي ، فالتحلل المائي يؤدي الى تفكك التركيب البلوري الاصلي للمعادن . اما التمؤ فهو اضافة جزيء أو عدة جزيئات من الماء الى التركيب البلوري للمعدن ، ويمكن ان تؤثر هذه الاضافة على التركيب البلوري للمعدن ولكنها لاتؤدي الى هدم هذا التركيب أو فقدان بعض العناصر الموجودة داخله أو استبدالها كما هو الحال في عملية التحلل المائي . ففي حالة تكوين الكاولينيت يفقد التركيب البلوري للفلسبار الأصلي البوتاسيوم والالومنيوم نتيجة التحلل المائي . أما اكتساب ناتج هذا التحلل لجزيئات من الماء فهو عملية تمؤ ويمكن تمثيل التفاعل كالآتي :

$$2KALsi^3O^8 + 2H^2O + CO^2 + Al^2si^2O^7.2H^2O + 4siO^2 + K^2CO^3$$

كاربونات بوتاسيوم سليكا كاولينيت ثاني اوكسيد الكاربون ماء
فلسبار بوتاس (اورثوكلاز)

فتحويل $2KAlsi^3O^8$ الى $Al^2si^2O^7$ نتيجة لفقدان ذرتين من الـ K واربع ذرات من الـ Si وتسع ذرات من الاوكسيجين هو عملية تحلل مائي لأن هذا التحويل يتم بفعل جزيئات الماء وأيونات الهيدروجين الصاحبة لها كما أشرنا في الصفحات

السابقة . أما عملية اضافة $2H^2O$ الى $Al^2si^2O^7$ فهي عملية تمؤ-ويمكن القول أيضاً ان الـ($4siO^2$) ناتجة عن التحلل المائي للاورثوكلاز . أما البوتاسيوم المنطلق من الاورثوكلاز وهو أيضاً نتيجة للتحلل المائي فانه يتكربن لتكربن K^2SO^3 . وبذلك يمكن القول باختصار ان عملية الكولتة Kaolinitization هي عدة عمليات من عمليات التجوية الكيميائية وهي :

١ ـ التحلل المائي
٢ ـ التمـؤ
٣ ـ التكربـن .

وهذا يوضح كيف تتم عدة عمليات من عمليات التجوية الكيميائية عند تحول معدن غير ثابت في الظروف السائدة على سطح القشرة الأرضية الى معدن أو عدة معادن ثابتة نتيجة للتفاعل الكيميائي بين المعدن غير الثابت ومكونات الغلافين الجوي والمائي(١) .

وهناك مثال آخر مشهور للتمؤ في الصخور وهو تحول معدن الانهيدرايت الى معدن الجبس .

$$CaSO_4 + sH_2O \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

وهذا يفسر كثرة وجود الجبس في مكاشف هذه الصخور التي تتأثر بالغلافين الجوي والمائي أما الانهيدرايت فيوجد في التتابعات تحت السطحية . وتجرى في بعض الأحيان عملية التأكسد والتمؤ بواسطة الجو في نفس الوقت قبل تحول معدن البيريت بتأثير الماء والهواء الى الليمونيت .

٥ ـ الذوبان Solution :

هو ذوبان المعادن المكونة للصخور أما في المياه الجوفية وأما في مياه الأمطار . وعملية الذوبان في حد ذاتها ليست عملية كيميائية . والحقيقة ان المعادن القابلة للذوبان في الماء النقي قليلة جداً . غير أن معظم المعادن يمكنها أن تذوب بدرجات متفاوتة في الماء اذا كان الماء يحتوي على بعض المواد الكيمياوية النشيطة . فمثلاً السليكا لاتذوب في الماء النقي ولكنها تذوب الى حد ما في المياه القلوية . وقد بينا كيف يساعد وجود ثاني أوكسيد الكاربون في الماء الطبيعي على تكوين كربونات الكالسيوم وتحول هذه الكاربونات الى بيكربونات قابلة للذوبان في الماء .

وكثيراً مايكون الماء الطبيعي مختلطاً ببعض الأحماض العضوية التي تنشأ من تحلل المواد النباتية في التربة والتي تسمى بالأحماض الدبالية humic acids تزيد هذه الأحماض من قدرة المياه الطبيعية على اذابة المعادن فالسليكا مثلاً والالومينا (Al_2O_3) وأكاسيد الحديد أكثر ذوباناً في المياه المختلطة بهذه الأحماض منها في الماء العادي .

هناك عدد قليل جداً من المعادن يمكن أن يذوب ذوباناً بسيطاً في الطبيعة ومن أكثر هذه المعادن انتشاراً الملح الصخري ويليه النطرون اللذان يذوبان في الماء النقي بسهولة .

درجة ثبات المعادن بالنسبة للتجوية :

تتحلل المعادن المختلفة بدرجات متفاوتة عند تعرضها لعمليات التجوية المتعددة ، اذ بعض هذه المعادن أكثر ثباتاً من البعض الآخر . وقد تمكن جولدیتش Goldich من ترتيب معادن السليكات حسب درجة ثباتها على الوجه الآتي :

يلاحظ ان هذا الترتيب شبيه بترتيب بووين Bowen للتتابعات التفاعلية لمعادن السليكا ، حيث ان السليكات التي تتبلور من الصهير في درجات حرارة أعلى تكون أقل

ثباتاً تجاه عمليات التجوية الكيميائية من السليكات التي تتبلور من الصهير في درجات حرارة أقل (شكل ٤ - ٢) .

بين ترتيب جوليتش للمعادن معادن الصخور النارية فقط ، أما بخصوص الصخور المتحولة فان المعادن التي توجد فيها ، والتي لها مثيلات في الصخور النارية ، تتصف بوجه عام بأنها أكثر ثباتاً تجاه التجوية الكيميائية من معادن الصخور النارية فالجارنيت $Mg^3(OH \times SI^2O5)^2$ talc والطلق garnet $(mg\ e\ fe, Mn)^3\ (Al.Crfe^2)$ والسربنتين Serpentine $(Mg,Fe,Ni,Mn)^6Si^4\ O^{10}(OH)^8$ أكثر ثباتاً حق من الكوارتز (جدول رقم ٦ - ١) .

يلاحظ من الجدول السابق والشكل (٦ - ٤) ان تجوية معظم المعادن المكونة للصخور النارية أو المتحولة تؤدي الى تكوين معادن طينية وأكاسيد حديد (هيماتيت وليمونيت وهي مكونات غير قابلة للذوبان ، كما تؤدي الى تكوين الرسوبيات المتبقية Vesidual Doposits . وفي نفس الوقت تؤدي هذه التجوية الى اطلاق بعض الأيونات على هيئة محاليل مائية . فالصخور النارية الحامضية الغنية بالارثوكلاز والفلسبار الصودي والميكا تعطي محاليل تكثر فيها أيونات البوتاسيوم والصوديوم بجانب السليكا التي تذوب على هيئة محاليل غروية . أما الصخور النارية القاعدية فهي تحتوي على كثير من السليكات الأقل ثباتاً من سليكات الصخور النارية الحامضية وهي تزود بعد تجويتها المحاليل المائية بأيونات المغنيسيوم والحديد والكالسيوم .

سرعة التجويــة :

تتغير سرعة التجوية بتغير الظروف أو بسرعة عواملها وعليه فقد تحدث التجوية بنوعيها الكيمياوي والفيزياوي في مكان ما ولاتحدث في مكان آخر أي أنها تتغير من منطقة الى أخرى اعتماداً على عوامل خمسة مهمة هي :

جدول رقم (١٠٦) يبين نواتج تجوية بعض المعادن الشائعة

المعدن الأصلي	المعادن المتبقية بعد التحليل	الايونات الطليقة في الهواء
اوليفين	معادن طينية - ليمونيت - هماتيت	Mg, Fe
بيروكسين	" " "	,Mg, Fe, Ca
امفيبول	" " "	Nu, K, Ca, Mg
بيوتيت	" " "	K, Mj
اورثوكلاز	" " "	K, SiO2
بلاجيوكلاز	معادن طينية - ليوثيت - سليكا	Wa, Ca,
موسكوفيت	يتحلل بصعوبة الى معادن طينية وليمونيت	
كوارتز	كوارتز	
جارتيت	جارتين	
الطلق	الطلق	
سربنتين	سربنتين	
كلوريت	معادن طينية	
معادن طينية	قد تتحلل الى بوكسيت في الجو الحار الرطب	
بيريت	ليمونيت . هماتيت .	
كالسيت	لايتبقى شيء اذا كان المعدن نقياً ويتبقى من الحجر الجيري بعض الكوارتز ومعادن طينية وهماتيت .	

أ ـ الطبقة الصخرية :

كما أوضحنا سابقاً فان التركيب المعدني يحدد الطبقة الصخرية وهذا بدوره يحدد سرعة التجوية ، فحجر الصوان مثلاً (معدن الكوارتز) هو أكثر المعادن مقاومة للتجوية . وبما أن الصخور الرملية والصخور الرملية المتحركة (الكوارتز) تحتوي على كميات كبيرة من معدن الكوارتز فان تأثرها بعوامل التجوية أقل من أي صخر آخر في حين أن صخور حجر الكلس والمرمر تحتوي على معادن كلسية ولذلك فانها بطبيعتها تتأثر بالمحاليل ومن ثم تتجوى بسرعة في المناخ الرطب ، كما في الجدول أعلاه .

فالكوارتز والبايوتايت لايتأثران بالتجوية الكيمياوية على الاطلاق . ولذلك عند تجوية الصخور التي تحتوي على هذين المعدنين فانها ينفصلان على شكل حبيبات وشظايا ولايتحولان الى معادن طينية كما يحدث للفلسبار مثلاً . وعليه فان الكرانايت يكون أخشن من فتات الكابرو .

ب ـ المنـــاخ :

للمناخ تأثير كبير في تحديد نوعية التجوية ، حيث أن كمية الأمطار وتوزيعها لها أهمية كبيرة في تحديد سرعة التجوية ، كما أن الرطوبة هي الأخرى تحدد سرعة التجوية أيضاً . ففي مناطق خط الاستواء مثلاً حيث الرطوبة عالية ، تنشط التجوية الكيمياوية ومن ثمّ نحصل على تربة سميكة في حين أن المناطق الجافة تنشط فيها التجوية الفيزياوية ولذلك تكون التربة قشرية فيها . أما الحرارة فتلعب دوراً كبيراً في عملية التجوية حيث ان المناطق المتأثرة بالانجماد تكثر فيها عملية التجوية الفيزياوية وخير مثال لتأثير المناخ على تجوية الصخور هي مقارنة عملية تجوية حجر الكلس في الظروف المناخية الرطبة والجافة . ففي الأولى يتجوى حجر الكلس بوجود المحاليل في حين أن هذا الحجر لايتأثر في الظروف المناخية الجافة ولهذا السبب تظهر الطبقات الصخرية الكلسية بشكل منحدرات وتضاريس واضحة في هذه المناطق . ان احتمال وجود التجوية الكيمياوية في المناطق الجافة قليل جداً فمثلاً ظاهرة التقشر هي احدى الظواهر التي تحدث نتيجة للتجوية الصحراوية فصخور الكرانايت الموجودة في الصحراء تتكسر وتتجوى الى رمل

خشن مقارنة لأحجام البلورة المكونة لهذه الصخور . وبصورة عامة تكثر ظاهرة التجوية الفيزياوية في المناطق الباردة والجافة (القطبية) بينما تسود التجوية الكيمياوية المناطق الرطبة (الاستوائية) .

جـ ـ النسيج :

للنسيج تأثير مباشر على التجوية فالصخور ذات النسيج الخشن تتجوى أسرع من الصخور التي يكون نسيجها دقيق الحبيبات والتي لها نفس التركيب المعدني . وبصورة عامة فان الصخور تتفاوت في درجة تجويتها بتفاوت نوع نسيجها حيث إن تجوية معدن واحد معين تؤدي الى تجوية النسيج الكلي للدقائق السطحية للصخور وبصورة عامة اذا كان النسيج الصخري خشناً فان التجوية فيه تكون أسرع من التجوية في النسيج الصخري الناعم الرقيق والذي هو قد يعود الى تداخل في البناء البلوري .

د ـ البنية الثانوية :

للبنيان او التراكيب الثانوية كالصدوع والفواصل والطبقات الصخرية والشقوق تأثير على سرعة التجوية حيث ان هذه البنيات الثانوية تسمح بتسرب الماء الى داخل الصخور مما يساعد على تعجيل التجوية الكيمياوية كما وان وجود المفاصل او الفواصل او الشقوق يزيد من المساحة السطحية المعرضة لعوامل التجوية ومن ثمّ فان ذلك يزيد من المساحة السطحية المعرضة للتفكك مما يؤدي الى زيادة سرعة التجوية . وعلى سبيل المثال لا الحصر فان صخور الكرانايت هي صخور جوفية تكثر فيها المفاصل والشقوق ، وعندما تؤثر التجوية الكيمياوية عليها فانها تنحت أركانها وتجعلها مستديرة تقريباً بعد أن كانت حافاتها حادة وقد سماها العالم لنتن (Linton ١٩٥٥) بتور (Tor) وبنفس الطريقة تتجوى صخور البزالت بحيث تبدو وكأنها كتل صخرية مستديرة نتيجة التجوية الكيماوية وهذه العملية تسمى التجوية الكروية (Spheroidal Weathering) ومن الجدير بالذكر أن صخور البزالت هي أكثر الصخور السطحية أو البركانية شيوعاً في الطبيعة وغالباً ماتكون الفواصل فيها على شكل أعمدة سداسية عمودية وهذا معناه تعرض أكبر عدد ممكن من أسطح هذه الصخور الى التجوية .

هـ ـ النباتـات :

ان النباتات بصورة عامة تعتمد في وجودها على المناخ ولذلك يمكن اعتبار النباتات جزءاً من المناخ . ان نسبة كمية الماء المتسربة الى داخل الأرض الى كمية الماء التي تسيل على سطح الأرض تعتمد على نوع وكمية النباتات التي تغطى هذه الأرض ومن ثم فانها تحدد سرعة التجوية . ففي المناطق ذات المنحدرات الجرداء تكون كمية الماء المتسربة الى داخل الأرض قليلة وبالتالي فان التجوية الكيمياوية تكون قليلة أو معدومة . كما وان النباتات تساعد على تكوين التربة وبنائها . ان الحوامض العضوية (الكيمياوية) الناتجة عن وجود النباتات تساعد على تجوية الصخور ، وان المواد العضوية الناتجة عن تفسخ النباتات وتعفنها تضاف هي الأخرى الى التربة . والتي بدورها تساعد على التجوية الكيمياوية .

و ـ التضاريس :

ان تأثير التضاريس على التجوية يعتمد مبدئياً على الارتفاع عن مستوى سطح البحر وكذلك على المنحدرات . ففي المناطق الجبلية العالية (فوق خط النباتات) حيث النباتات قليلة ، تنشط عملية الانجماد والذوبان والتي هي احدى العوامل المهمة للتجوية الفيزياوية بينما المناطق الواطئة والقليلة الانجماد التابعة لنفس البيئة المذكورة تكثر فيها النباتات ومن ثمّ تنشط فيها التجوية الكيمياوية . ومن ناحية ثانية عندما تكون المنحدرات شديدة فان عملية الجريان السطحي تزداد عندئذ تكون عملية التجوية الكيمياوية قليلة ولذلك تقل النباتات . وعلى العكس من ذلك المناطق القليلة الانحدار حيث تقل فيها سرعة الجريان السطحي مما يزيد من رطوبة التربة وهذا بدوره يساعد على وجود النباتات .

ز ـ الزمـــن :

للزمن تأثير واضح على سرعة التجوية أي كلما طال الزمن ازدادت عملية التجوية والعكس بالعكس . فلو تعرض سطح الأرض لعوامل التجوية ولفترة زمنية قصيرة عندئذ لايكون للزمن تأثير واضح . ولكن عندما ينقل الفتات الصخري لسبب ما وليكن مثلاً بسبب هزات أرضية أو حركة جليدية أو لأي سبب آخر خلال العصر الجليدي ، عندئذ يكون للزمن تأثير على سرعة التجوية . ان سرعة التجوية للصخور المغطاة بالغطاء الجليدي القاري خلال الحقبة الجليدية تكون قليلة أو معدومة حيث ان بعض الجيومورفولوجيين يعتقدون ان هذا الغطاء يقوم بمثابة مانع للتجوية .

٦ ـ ٢ ـ نواتج التجوية :

أشرنا الى ان عمليات التجوية الميكيانيكية والكيميائية تؤدي الى تهشم الصخور وتحويلها الى حطام صخري Regolith . وفي كثير من الأحيان يتراكم هذا الحطام على الصخور غير المجواة ، خصوصاً اذا كانت المنطقة المتعرضة لعوامل التجوية غير متأثرة تأثراً كبيراً بعمليات التحات والنقل التي تؤدي الى ازالة الحطام الصخري .

تختلف نواتج التجوية هذه حسب العوامل التي انتجتها ، وليس من السهل أحياناً أن تعزو النفاية الصخرية Rock Waste الناتجة عن تأثير التجوية الى عامل معين من عوامل التجوية ، وسبب ذلك ان عدة عوامل تشترك عادة في التأثير على الصخور في وقت واحد . وعلى الرغم من ذلك فان احد العوامل يطغى غالباً على العوامل الأخرى ، ولذلك يترك أثره بشكل واضح على النواتج (أي البقايا الصخرية) .

يطلق بعض العلماء على الغطاء السطحي للقشرة الأرضية المكوّن من الحطام الصخري أو البقايا الصخرية الناتجة عن التجوية اسم الوشاح الحطامي السطحي Surfical Mantle Regolith او اسم الرسوبيات السطحية Sur Ficial Deposits .

وهناك نوعان من الرسوبيات السطحية :

١ ـ رسوبيات سطحية متبقية Residual Regolith :

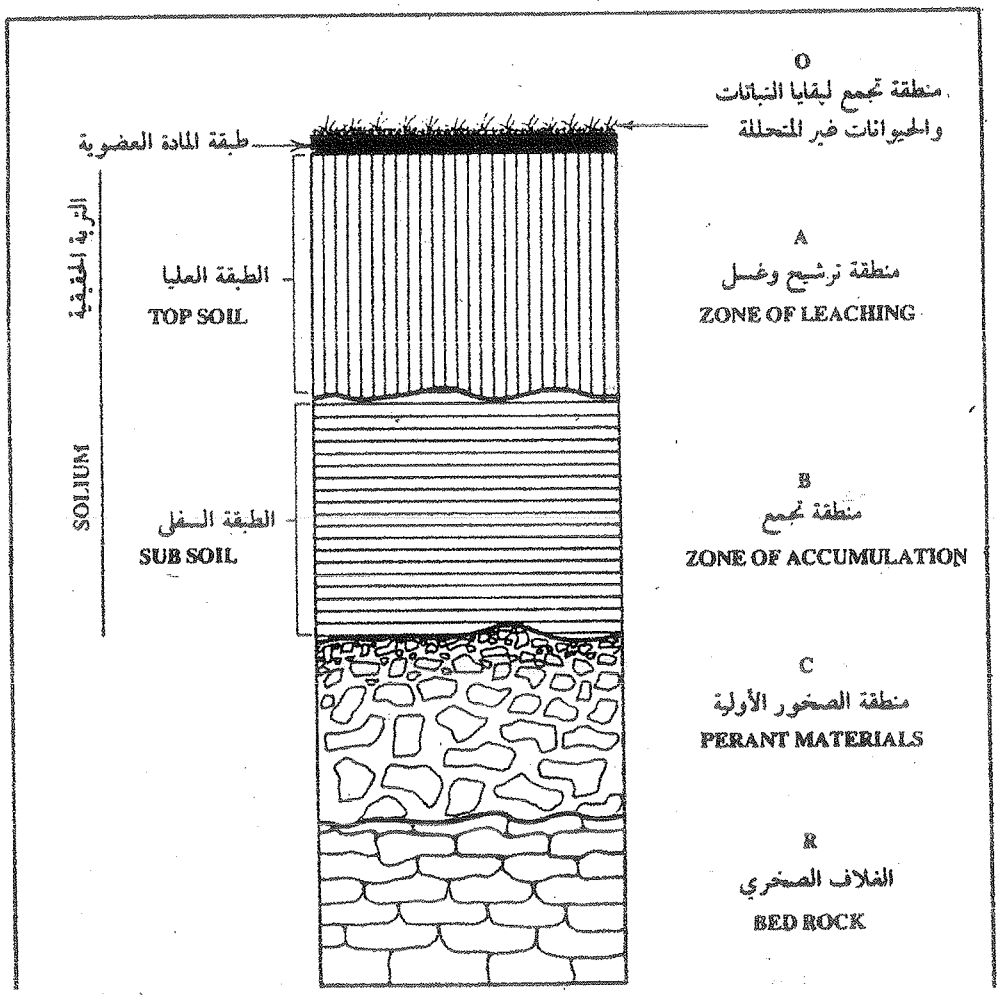
ناتجة عن تأثير عوامل التجوية على الصخور الموجودة مباشرة تحت الوشاح الصخري الحطامي لمنطقة معينة ، دون أن تكون فيها أية رسوبيات غريبة منقولة من مناطق أخرى .

٢ ـ رسوبيات سطحية منقولة Transported regolith :

وهي حطام صخري متجوي منقول بواسطة عوامل النقل ومترسب في منطقة معينة ومن أمثلة هذه الرسوبيات الحريث والرسوبيات النهرية والكثبان الرملية .

يبين الشكل (٦ ـ ٥) علاقة كل من الوشاح الصخري الحطامي المتبقي والمنقول بالصخور غير المتجوية في منطقتين مختلفتين . ويمكن ملاحظة أن الحد الفاصل بين الوشاح الصخري والصخر غير المتجوي يكون متدرجاً في حالة الوشاح الصخري المتبقي ، أما في حالة الوشاح الصخري الحطامي المنقول فيكون هذا الحد الفاصل متساوياً واضحاً ومحدداً .

تكون المناطق السهلة والمنبسطة المتأثرة بعوامل التجوية النشيطة مغطاة عادة بوشاح صخري سميك يتأثر تأثيراً واضحاً بعوامل التجوية الكيميائية . وسوف نتناول موضوع تأثير التجوية الكيميائية على الوشاح الصخري في فقرة قادمة من هذا الفصل . أما في الفقرات الآتية فسوف نعرض نواتج التجوية التي يمكن التعرف عليها فوق الصخور غير المغطاة بوشاح صخري سميك ومتكامل . فيمكن التعرف على هذه النواتج في المناطق ذات الانحدار الكبير او في المناطق التي تسود فيها عمليات تحات ونقل نشيطة تزيل باستمرار الوشاح الصخري عند تكونه ، حيث تبقى الصخور في حالة شبه عارية . ويمكن اعتبار نواتج التجوية في مثل هذه المناطق أمثلة للمراحل الأولى لتكوين الحطام الصخري الذي يشكل الوشاح الصخري الحطامي العلوي .



شكل (٥٠٦)

مقطع في تربة ناضجة يوضح الوشاح الصخري الخطامي

وأهم نواتج التجوية في مثل هذه المناطق مايأتي :

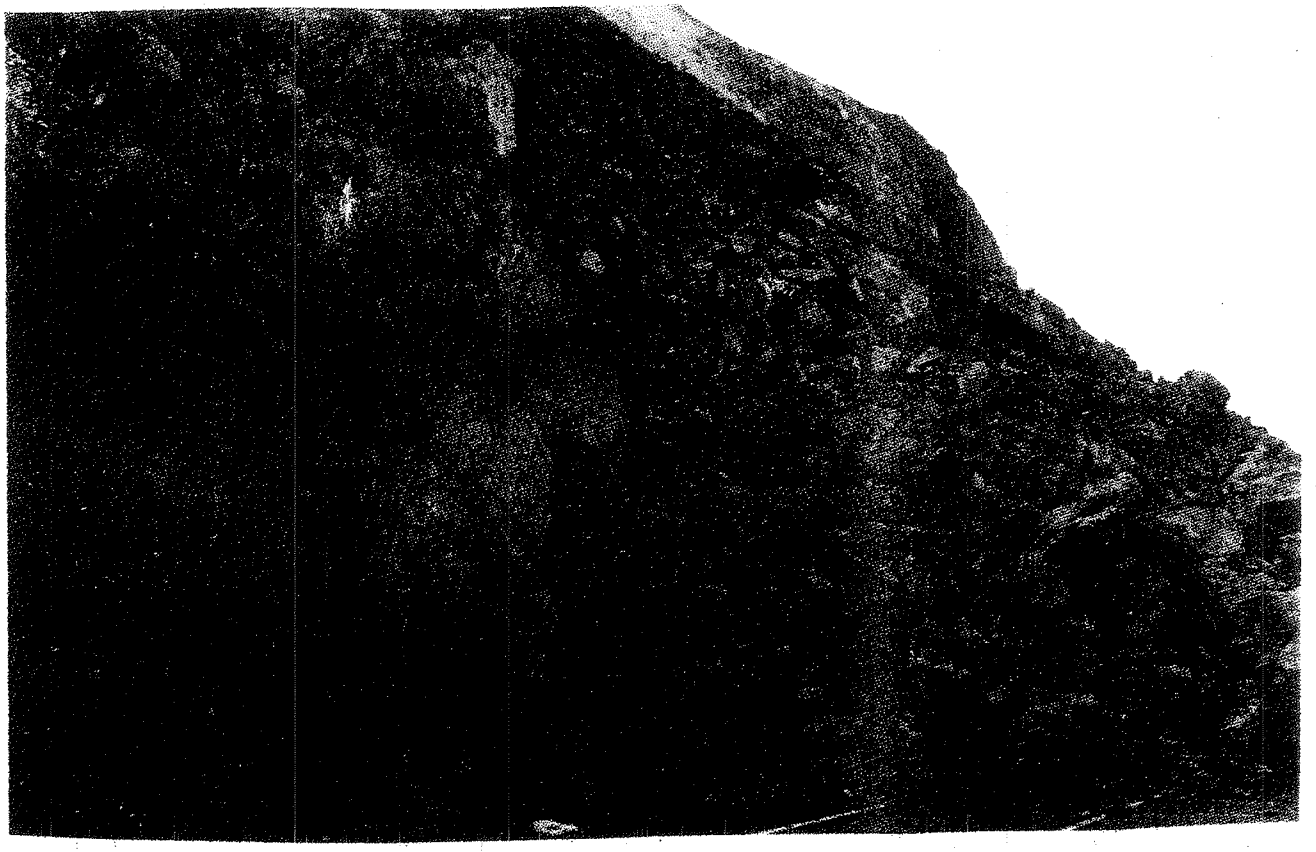
١ ـ التقشـــر Exfoliation :

عندما تسخن كتلة من الصخر بواسطة حرارة الشمس ، ثم يبرد الجو المحيط بها ، فان الجزء السطحي من الكتلة الصخرية يبرد وينكمش بسرعة بينما تحتفظ باقي الكتلة الصخرية بحرارتها لفترة أطول من الزمن ، وبذلك لاتتأثر بالانكماش المصحوب لانخفاض درجات الحرارة . وبالتكرار المستمر لهذه العملية تتكون قشرة سطحية على الكتلة الصخرية تنفصل بمرور الزمن عن باقي الكتلة نتيجة للتمدد والانكماش المتكررين للمادة الصخرية قرب سطح هذه الكتلة الصخرية . ويكون من نتيجة هذه العمليات أن تصبح الكتل المقشرة كروية تقريباً . ويعرف هذا النوع من التجوية بالتجوية الكروية Spheroidal Weathering ، وهو شائع في الصخور النارية عموماً ، وخاصة الصخور الكرانيتية ، كما أنه قد يحدث بصورة أقل وضوحاً في بعض الصخور الجيرية (لاحظ الشكل ٦ ـ ٢) .

يعتقد البعض ان عملية التقشر لاعلاقة لها بالتسخين والتبريد بواسطة حرارة الشمس ، انما هي نتيجة تجوية كيميائية يؤدي فيها تكون المعادن المائية التي يزيد حجمها على حجم المعادن الأصلية الى فصل القشور عن الصخر الجوي ، ولكن الكثيرين من المهتمين بدراسة التجوية يرجعون العملية الى تجوية طبيعية تصحبها وتساعدها تجوية كيميائية .

٢ ـ ركام السفوح Scree or Talus :

وهو ركام صخري يتجمع على المنحدرات السفلى للتلال والجبال نتيجة للتجوية الطبيعية ، وهو متكون من قطع صخرية مدببة أو غير مهذبة ذات زوايا . ويسمى هذا الركام أيضاً كولوفيوم Colluvium وهي كلمة لاتينية تعني ركام (لاحظ الشكل ٦ ـ ٦) .



شكل (٦٠١)
ركام السفوح (سلاسل جبال عمان)

أهم العوامل الطبيعية التي تشترك في تكوين ركام السفوح هو تأثير الجمد Frost والتغيرات المناخية بحسب المنطقة المناخية التي توجد فيها الصخور .

تزداد باستمرار كميات ركام السفوح التي تتعرض عادة لعوامل التعرية والنقل كالجاذبية الأرضية التي تدفعها ببطء الى مستويات أكثر وأكثر انخفاضاً . وفي المناطق الممطرة وخاصة عندما لاتكون السفوح شديدة الانحدار وعندما يكون الركام مكوناً من حطام دقيق نوعا ما ، فانه يتغطى بطبقة من النباتات التي تعمل على توقف حركة انزلاقه وعلى حماية السفوح من التعرية .

يفسر ذلك أهمية تغطية سفوح الجبال بغابات لحماية الوديان من شدة الفيضانات . فالغطاء النباتي الموجود على الجبال يحمي السفوح من التحات ويحجز في نفس الوقت كميات كبيرة من الماء ، ويؤدي ذلك بدوره الى منع تدفق المياه بغزارة في الأنهار مما يساعد على منع الفيضانات وتأثيراتها المفجعة على المناطق الزراعية والمأهولة بالسكان والتي تنتشر عادة في الوديان المنبسطة .

٣ ـ حقول الجلاميد Boulder Fields :

هي مساحات واسعة جداً ومسطحة تنتشر عليها الجلاميد المستديرة التي يعزي ظهورها أساساً الى أثر التجوية الكيميائية . اذ أن معظم الصخور الجيرية تحمل درنات صخرية Concretions مختلفة الاحجام ، تتكون هذه الدرنات من مادة مختلفة عن مادة الصخور التي تحتويها . تكون الدرنات عادة من الصوان وهو أكثر صلادة من الحجر الجيري . وعند تعرض الصخر الأصلي للتجوية الكيميائية نتيجة لنشاط المياه الجوفية او مياه الأمطار ، فان المكونات الجيرية للصخر تذوب بمعدل أسرع من معدل ذوبان الدرنات والتي قد لاتستجيب اطلاقاً للتجوية الكيميائية . وبذلك يتآكل الصخر الأصلي مخلفاً على أسطحة كميات كبيرة من الدرنات المختلفة الحجم فيكوّن ذلك حقولاً شاسعة الانتشار من الجلاميد التي في أصلها درنات قاومت التجوية الكيميائية .

هناك مثال ملفت للأنظار من حقول الجلاميد يمكن أن يراه المسافر بالقطار أو الطيارة من وادي النيل الى الواحات الكبرى بالصحراء الغربية المصرية ، وهو مثال للساحات الشاسعة لسطح الهضبة المكونة من الحجر الجيري الايوسيني التي تمتد الى هذه المناطق ، فيبدو سطح هذه الطبقة مغطى تماماً بأكداس من الجلاميد الكروية الشكل والمتباينة الأحجام . تتكون مادة الجلاميد من الصوان ، أما الصخر الأصلي للهضبة الايوسينية فيتكون من الحجر الجيري .

نطق التجوية في الوشاح الصخري الحطامي :

في المناطق التي يتكون فيها وشاح صخري حطامي ، تؤثر عمليات التجوية على هذا الوشاح تأثيراً يختلف باختلاف عمقه بالنسبة الى سطح الأرض ، وقد يصل سمك الوشاح الحطامي في بعض المناطق الى مايقرب من مئة متر ، خصوصاً في المنطاق الاستوائية الحارة التي تسود فيها عمليات تجوية نشيطة والتي يكون فيها النشاط التكتوني مواتياً حيث ان سرعة انخساف سطح الأرض تحمي هذه المناطق من تأثير عملية التعرية والنقل . ولكن في معظم الحالات لايزيد سمك الحطام الصخري على بضعة أمتار .

يمكن التعرف على التدرج الطبقي الرأسي الآتي في معظم تراكمات الحطام الصخري السطحي حسب طبيعة تأثير عوامل التجوية مع العمق والتتابع من أعلى الى أسفل ، حيث يقل تأثير عوامل التجوية كلما زاد العمق :

أ ـ الغلاف الخارجي الغني بأكاسيد الألمنيوم والحديد ($Fe^2O^3 + Al^2O^3$)
تتكون في الجزء العلوي من هذا الغلاف في المناطق الاستوائية الحارة كميات كبيرة من أكاسيد الحديد الحمراء غير المتمؤة . بجوار أكاسيد الالمنيوم البيضاء ، مما يعطي هذا الغلاف لوناً أحمر مميزاً يشبه لون الطابوق الحراري الأحمر Brick ، ولذلك يطلق على هذا الغلاف اسم الغلاف اللاتيريتي Lateritic mantle بالاشارة الى الكلمة اللاتينية Later التي تعني طابوق حراري أحمر .

أما الأجزاء العميقة للغلاف الخارجي الغني بأكاسيد الالمنيوم والحديد فتكون مشبعة بالماء بصفة مستمرة (خصوصاً في المناطق الاستوائية الرطبة) ولذلك تزداد نسبة الأكاسيد المتمؤة في الغلاف الصخري الحطامي الخارجي كلما زاد عمق هذا الغلاف ، حيث يتحول لون هذا الحطام من الأحمر الى البني والأصفر تدريجياً كلما زاد العمق .

وتجدر الاشارة الى أن أهمية الطبقة الحاوية على أكاسيد متميعة تقل بصفة ملحوظة في المناطق الجافة .

ب ـ نطاق تكوين الكاولينيت :

تساعد الحركة المستمرة للماء من أعلى الى أسفل في الوشاح الصخري الحطامي الى نقل حبيبات السليكات الدقيقة التي تصل الى حجم حبيبات الطين الى المستويات السفلى لهذا الوشاح ، حيث يتكون تحت الغلاف الخارجي السالف الذكر نطاق غني بحبيبات الطين التي تتأثر بعمليات التحلل المائي والتمؤ والتكربن التي أشرنا اليها سابقاً لكي تكون كاولينيت . ويسمى هذا النطاق نطاق الكاولنيت . يبدو هذا النطاق فاتح اللون (حيث ان لون الكاولينيت النقي أبيض) ولكنه يتميز بوجود بقع دقيقة وكثيرة من اللون البني . تعدّ هذه البقع مواقع تركيز لأكاسيد الحديد المتمؤة . ولذلك يبدو نطاق الكاولينيت وكأنه منقط .

جـ نطاق تكوين الموتموريلونيت، والبيديليت والميكا المائية :

(Motmorillonite) (bedéllite, hydromical)

الموتموريلوثيت والبيديليت معادن طينية تتكون نتيجة للتحلل المائي ولتمؤ السليكات مثل الكاولينيت . تتكون هذه المعادن في وسط قلوي بعكس الكاولينيت الذي يتكون في وسط حامضي ، يفسر ذلك تكون نطاق الموتموريلونيت - بيديليت تحت نطاق الكاولينيت ، فيتكون الكاولينيت بالقرب من سطح الارض ومن المناطق المتأثرة بالغطاء النباتي الذي يفرز الأحماض الدبالية ، أما المونتموريلونيت والبيديليت فهي تتكون بعيداً عن تأثير حموضة المواد الدبالية .



شكل (٧٠٦)
مقطع عرضي في تربة ـ قرى دوكان ـ

د ـ ويلي هذا النطاق تدريجياً الى أسفل نطاق الضمور أو الحطام الصخري غير المتأثر بالتجوية الكيميائية .

ان الوشاح الصخري الحطامي لايتأثر كثيراً بعوامل التجوية الكيميائية في المناطق الجافة أو الشديدة البرودة مثل الصحارى والتوندرا ، حيث أن سطح الأرض في هذه المناطق يكون خالياً تقريباً من النباتات ومن تأثير حركة المياه خلال فجوات الحطام الصخري .

٦ ـ ٣ ـ التربة وأنواعهـا :

هي عبارة عن الجزء العلوي للوشاح الصخري الحطامي الذي يتكون نتيجة لتفاعل الغطاء النباتي مع المادة الصخرية . يهم هذا الجزء العلوي من الوشاح الانسان من الناحية التطبيقية (زراعية وهندسية) . فتعتمد الزراعة على خواص التربة التي تحدد خصوبتها . لذلك يقوم المهندسون الزراعيون بدراسة الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة لمعرفة طريقة معالجتها للحصول على محاصيل زراعية مرضية . ويهتم المهندس بالصفات الفيزيائية للوشاح الصخري ، خصوصاً عند اقامة المنشآت الهندسية عليه (لاحظ الشكل ٦ ـ ٧) .

يهتم علم التربة Pedology بنشأة التربة وتصنيفها بجانب تحديد العوامل التي تحدد طبيعتها عند هذه النشأة . وقد ذكرنا في الصفحات السالفة ان خواص التربة تعتمد الى حد كبير على الظروف المناخية السائدة أثناء تكوينها .

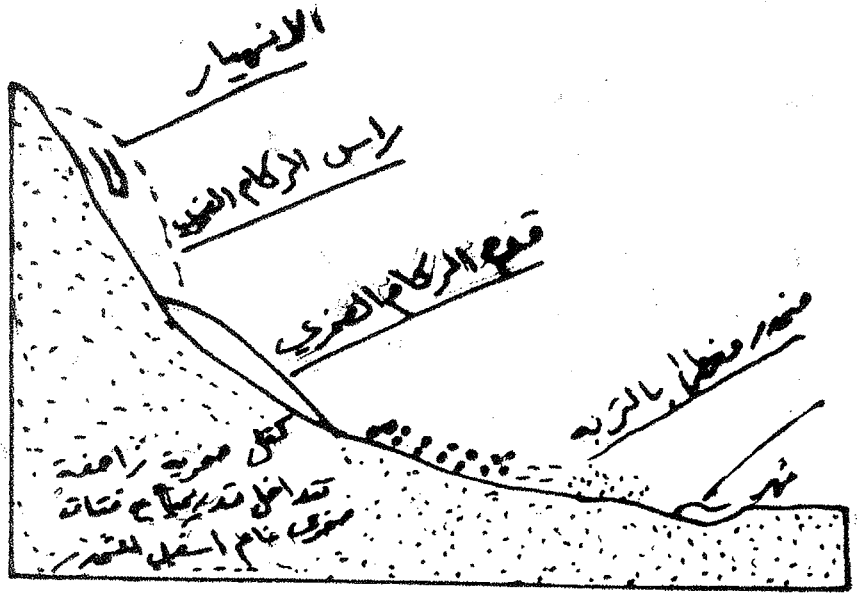
ولقد أشرنا سابقاً الى ان ترك أي منطقة من سطح الأرض بدون عناية يؤدي الى تطور الغطاء النباتي فيها تلقائياً حتى يصل الى مايسمى بالغطاء النباتي الذروي . ويتم هذا التطور عادة في مراحل محددة ومتتالية كالآتي :

١ ـ أول النباتات التي تنمو على الصخور غير المجواة هي باكتيريا وطحالب زرقاء مخضرة Bacteria and blue–green alge ويؤدي النشاط الحيوي لهذه النباتات البدائية الى تحطم الصخر وتجهيز سطحه لكي يتحول الى تربة بدائية حاوية على كائنات حية مجهرية ساعد على استقبال نباتات أكثر تطوراً مثل الفطريات البدائية Fujgi والطحالب الدياتومية Diakmaceeus alga .

٢ ـ تحضر الفطريات البدائية والدياتومات التربة الجديدة لاستقبال بعض النباتات المحبة للصخور lithophyllic plants مثل الاشن Lichens والحزازيات (Mossos) والطحالب .

٣ ـ تساعد كل هذه الكائنات في تحضير التربة لكي تستقبل نباتات وحيوانات أكثر تطوراً . فالحيوانات التي تعيش في التربة مثل الديدان وبعض الكائنات الأخرى تساعد على تفتيتها وتقليبها وهذا يؤدي بدوره الى تهوية التربة باستمرار . بعد نمو النباتات وموتها تتراكم بقاياها وتتحلل الى مواد عضوية نشيطة تساعد على زيادة خصوبة التربة .

تتم باستمرار حركة من المادة بين الغطاء النباتي والمواد الصخرية المكونة للتربة فتمتص النباتات بواسطة جذورها أملاح وأيونات مختلفة تأخذها من التربة مثل K, P, Al, S, Na, Mg, SiO^2, Ca .. الخ . وترجع هذه العناصر بمركبات عضوية الى التربة بعد موت النباتات . يتم تحلل المادة العضوية للنباتات في التربة نتيجة لنشاط البكتريا الهوائية واللاهوائية ويؤدي التحلل الهوائي العادي بواسطة الاوكسيجين الى تحول المادة العضوية الى مركبات بسيطة مثل الماء وثاني اوكسيد الكاربون وأحماض مثل حامض الفسفوريك والكبريتيك وأحماض أخرى ، تتفاعل هذه الأحماض مع بعض المواد القلوية الموجودة في التربة لتكون مركبات مختلفة تساعد على تغذية النباتات الحية . أما التحلل الهوائي بواسطة البكتريا الهوائية فيؤدي الى تكوين حامض الدباليك Humic Acid وهو مادة قابلة للذوبان في الماء ، ولكنها تتحول نتيجة للتجفيف أو التجمد Congelation الى مادة الدبالين Humin وهي مادة غروية لزجة غير قابلة للذوبان في الماء .



شكل (٦ - ٨)
مقطع في سفح جبل يوضح العلاقة بين الكتل الصخرية والرسوبيات
مع الجدار السفح

أما التربة التي تشتد حموضتها نتيجة لتراكم نباتات حاوية على كميات كبيرة من التانين Tannins (وهي مواد حامضية كالتي توجد في أوراق الشاي) فانها تساعد على وجود البكتريا الهوائية ، لذلك يتم في هذه الحالة تحلل المادة النباتية بمساعدة فطريات بدائية هوائية تؤدي الى تكوين حامض الكرانيك Crenic Acid وهو مادة قابلة للذوبان في الماء الا أنها في كثير من الأحيان تختزل هذه المادة نتيجة لنشاط البكتريا اللاهوائية وتتحول الى حامض الابوكرانيك Apocrenic Acid وهي مادة قليلة الذوبان في الماء .

أما تحلل النباتات بواسطة البكتريا اللاهوائية فيؤدي الى تكوين حامض الاوليك Ulmic Acid الذي يتحول عند الجفاف أو التجمد الى اولين Ulmin والاولين مادة غير قابلة للذوبان في الماء بعكس حامض الاوليك .

تتم جميع الأنواع السالفة الذكر من التحلل (التحلل الهوائي البسيط والتحلل بواسطة البكتريا والفطريات البدائية والهوائية والتحلل بواسطة البكتريا اللاهوائية) في نفس الوقت في التربة . ويحدد التوازن المواتي لجميع نواتج هذه العمليات خصوبة التربة . تسمى المركبات العديدة الناتجة عن هذه العمليات (أحماض الدباليك والكراتيك والابوكراتيك والاولبيك والهيومين والاولين) بالدبال Humus ، وكلمة هيوموس Humus مشتقة من الكلمة اللاتينية Gumus التي تعني التربة . تنقل المياه التي تتسرب في الوشاح الصخري من أعلى الى أسفل بعض المواد المكونة للأجزاء العلوية لهذا الوشاح لترسيبها في مستويات سفلى ولذلك تتكون معظم انواع التربة من طبقتين واضحتين على الأقل : الطبقة العلوية تسمى النطاق « أ » A Horizon ويكون هذا النطاق منطقة تركيز للمادة العضوية وللدبال وفي نفس الوقت يكون النطاق (أ) منطقة استنزاف وغسل دائم لبعض مكونات الوشاح الصخري القابلة للذوبان وبعض الحبيبات الطينية الدقيقة أيضاً . تتركز المكونات المستنزفة من النطاق (أ) في النطاق (ب) B Horizon الموجود أسفل النطاق (أ) ويعتبر النطاق (ب) منطقة تركيز للأملاح وللحبيبات الطينية ويوجد عادة تحت النطاق (ب) نطاق ثالث لاينتمي للتربة بالمعنى الحقيقي لهذه الكلمة وهو النطاق (جـ) C Horizon ، الذي يتكون من باقي الوشاح الحطامي غير المتأثر بعمليات تكوين التربة .

يقسّم بعض علماء تربة النطاق (أ) الى عدة مستويات فيتكوّن النطاق (أ) صفر AO من طبقة المادة النباتية المتساقطة الميتة غير المتحولة الى دبال . أما النطاق (أ ١) فهو النطاق الغني بالمادة الدبالية المختلطة ببعض بقايا المادة الصخرية التي لم تستنزف بعد ويبين الشكل (٦ ـ ٨) الأنطقة المختلفة المكوّنة للتربة .

لاحظ العالم الروسي دوكو جاييف Dokuchaev في النصف الأول من هذا القرن أن طبيعة التربة في منطقة معينة يعتمد على عوامل مترابطة وهي :

(١) طبيعة المادة الصخرية أو الوشاح الصخري الذي تتكون عليه التربة .
(٢) المناخ الذي يحدد طبيعة الغطاء النباتي في المنطقة وحركة الماء من أعلى الى أسفل في المادة الصخرية ، حيث أن هذه الحركة تؤدي الى غسل النطاق (أ) وترسيب بعض المكونات في النطاق (ب) وبذلك تؤثر حركة الماء هذه على فاعلية عملية فصل النطاقين (أ) و (ب) عن بعضها وتكوين تربة ناضجة .

(٣) طبيعة الغطاء النباتي ، يعتمد هذا العامل على المناخ كما أشرنا سابقاً .

(٤) التضاريس وطبيعة العمليات الخارجية (تحات ، نقل ، ترسيب) السائدة في منطقة معينة ، فعندما تكون منطقة معينة معرضة لعمليات تعرية نشيطة ، كما هو الحال في المناطق ذات التضاريس المكونة من انحدارات ملحوظة ، لايتاح للتربة ان تنضج وحينئذ تتكون انواع من التربة غير ناضجة (تحتوي على النطاق « أ » فقط) وتستقر في هذه الحالات مباشرة فوق الصخر غير المجوي . وسبب ذلك الازالة المستمرة لمادة التربة نتيجة للتعرية التي لاتتيح للتربة فرصة تكوين النطق المميزة لها .

هناك حالات أخرى تتكون فيها تربة غير ناضجة ، هي حالات المناطق التي تسود فيها عمليات ترسيب نشيطة ، مثل ضفاف ووديان الأنهار المتأثرة

بالفيضانات المتكررة التي تؤدي باستمرار الى ترسيب رسوبيات جديدة، ومثال ذلك وادي دجلة والفرات الأدنى ، وبذلك لاتمر فترات كافية من الزمن على هذه الرسوبيات الجديدة لكي تتيح لعمليات تكوين التربة ان تؤدي الى نمو النطاقين المميزين لهذه التربة .

(٥) عامل الزمن : يجب ان تمر فترة معينة من الزمن على الصخور أو الرسوبيات لكي تتكون تربة ناضجة ، تعتمد هذه الفترة الى حد كبير على الظروف المناخية ، فاذا كانت الصخور أو الرسوبيات في منطقة معينة في حالة تعرية مستمرة أو في حالة تكون مستمر نتيجة لعمليات ترسيب فعالة فلا يمكن ان تتكون تربة ناضجة ، ففي بعض مناطق شمال الولايات المتحدة الامريكية توجد أنواع من التربة غير الناضجة ، لأن هذه المناطق التي تأثرت بالأعمار الجليدية الأخيرة مغطاة بطبقة من الحريث (تيليت) التي تكونت منذ ١٠،٠٠٠ عام .

ان التربة التي تنمو على هذه الطبقات لم يتح لها الوقت الكافي لكي تنضج نضوجاً كافياً تحت الظروف المناخية السائدة في هذه المناطق . أما التربة التي توجد عادة في جنوب وسط الولايات المتحدة فهي تربة ناضجة لأنها تكونت وتطورت منذ مئات الآلاف من السنين .

تصنيف التربة :

في هذا الباب سنناقش علاقة الرتب المختلفة للتربة بالظروف المناخية وفي مايلي تصنيف التربة المتبع في الولايات المتحدة الذي يصنِّف أنواعها الى عشر رتب Orders وكل رتبة من هذه الرتب تقسم بدورها الى وحدات تصنيفية أصغر . ولكننا سنكتفي في المناقشة الآتية بعرض الرتب العشر للتربة وهي :

١ ـ التربة غير الناضجة او الانتيسول Entisol :

ينتشر هذا النوع من التربة تحت جميع الظروف المناخية وليس له أي معنى مناخي . يمكن أن يختلف الغطاء النباتي الطبيعي لمثل هذا النوع من التربة اختلافاً كبيراً فيمكن ان يكون غابات أو حشائش أو أعشاب صحراوية حسب الظروف المناخية السائدة ولا يظهر في هذه التربة أي تطبق . حيث يوجد النطاق (أ) فوق النطاق (جـ) مباشرة تنتشر هذه التربة على الحطام الصخري الحديث لبعض المناطق مثل الرسوبيات النهرية أو على المناطق ذات الانحدار الكبير التي تسود فيها تعرية نشطة . يمكن أن يوجد هذا النوع من التربة أيضاً على صخور أو رسوبيات لها قابلية كبيرة لمقاومة التجوية مثل الاورثوكوارتزيت أي الرمال المكونة من كوارتز صافي .

٢ ـ التربة الطينية أو الفارتيسول Vertisol :

ينتشر هذا النوع من التربة في المناطق التي تسود فيها مناخات تكتنفها فترات جافة وحارة تليها فترات رطبة حيث الأمطار الغزيرة . يتكون الغطاء النباتي الطبيعي لهذه التربة من حشائش أو من شجيرات صغيرة وأعشاب ويمتاز هذا النوع من التربة باحتوائها على كميات كبيرة من الطين . تتكون تشققات عديدة في هذا الطين أثناء المواسم الجافة ، أما أثناء المواسم الممطرة فينتفخ الطين المكون لهذه التربة التي تمتاز بعدم وجود النطاق (ب) . تنتشر هذه التربة على مناطق سهلة ومسطحة أو على مناطق ذات أسطح منحدرة . ولكنها تنمو باستمرار على صخور أو رسوبيات فيها كميات كبيرة من الطين أو الطفل الذي ينتفخ عند التبلل .

(٣) تربة الصخور غير المجواة في المناطق الباردة او الانسيبتيسول Incoptisol :

ينتشر هذا النوع من التربة في المناطق الرطبة أو شبه الرطبة والتي تكون في العادة باردة وينعدم وجوده في المناطق الصحراوية . الغطاء النباتي الطبيعي لهذه التربة

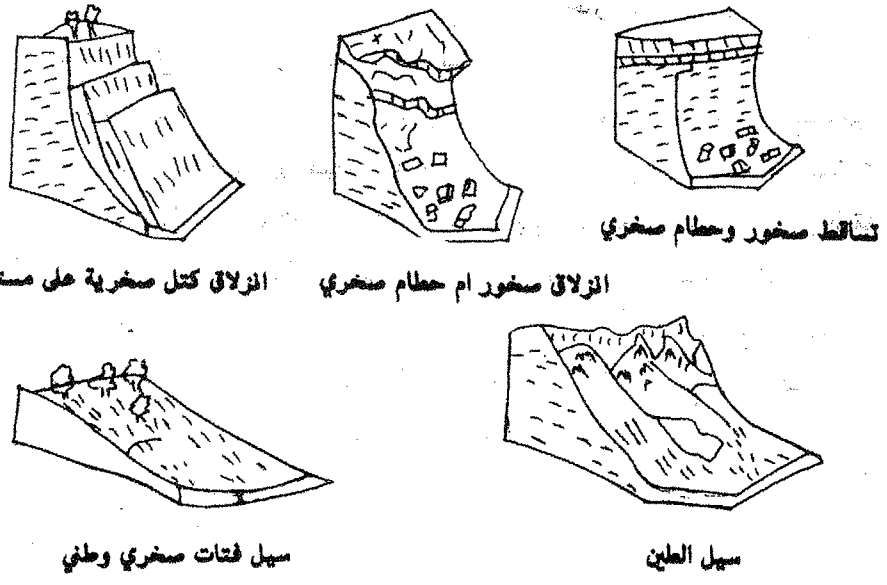
يتكون غالباً من غابات ولكن في بعض الأحيان يمكن أن يكون من الحشائش ، يمتاز هذا النوع من التربة بعدم تكون نطق مميزة بداخلها ولكنها تحتوي على النطاق (أ) فقط الغني جداً بالمواد العضوية . يمكن أن توجد هذه التربة في كل المناطق المسطحة أو المنبسطة والمناطق ذات الأسطح المنحدرة .

(٤) تربة المناطق الجافة أو الاريديسول Aridisol :

ينتشر هذا النوع من التربة في المناطق الجافة وشبه الجافة وفي مناطق السهوب . الغطاء النباتي الطبيعي لهذه التربة عبارة عن حشائش وأعشاب قليلة وأنواع من الصبار Cuctus ونباتات صحراوية أخرى . توجد في هذا النوع من التربة تركيزات لكربونات الكالسيوم (الجير) وكبريتات الكالسيوم (الجبس) وكلوريد الصوديوم (ملح الطعام) في مستويات مختلفة من التتابع الرسوبي المميز لها . وفي بعض الأحيان يلحم الجير حبيبات التربة بعضها مع بعض مكوناً طبقة صلبة من الكاليش Caliche ولاتظهر نطاقات التربة فيها بشكل جيد التكوين . تتراوح ألوان هذا النوع من التربة من اللون الرمادي في مناطق الستبس (السهوب) الى اللون الأحمر (أي لون اكاسيد الحديد غير المتمؤة) في المناطق الصحراوية الحقيقية ويكون النطاق (أ) في هذه التربة عادة فقيراً في المادة العضوية .

٥ ـ التربة القاتمة أو الموليسول Mollisol :

ينتشر هذا النوع من التربة في المناطق التي تمتاز بمناخات رطبة ذات شتاء بارد وصيف حار ، يكون النطاق (أ) في هذه التربة غنياً بالمواد العضوية المختلطة بالمادة الصخرية المعدنية ، أما النطاقان (ب) و (جـ) فهما في كثير من الأحيان يمتازان بوجود ترسبات ثانوية من الجير ، يقسم هذا النوع من التربة طبقاً للون النطاق (أ) فيها اذ يعتمد هذا اللون على تركيز المواد العضوية في هذا النطاق فهناك التربة الكستنائية Soil Chestnut والتربة السوداء Chernozem والتربة السمراء أو البنية Brunizem ، وهناك أيضاً التربة الحمراء لمناطق البراري ، يكون الغطاء النباتي للموليسول عبارة عن حشائش كثيفة .



شكل (٩-٦)

بعض أنواع انزلاقات الفتات الصخري

٩ ـ ٤ ـ حركة الفتات الصخري Mass Wasting :

ان عملية ازالة الوشاح الصخري الحطامي هي العملية الخارجية التي تلي التجوية في تسلسل العمليات التي تؤدي الى هدم التضاريس ونقل المواد الصخرية من المناطق العالية الى المناطق المنخفضة . ويمكن ان تقوم عملية ازالة الوشاح الصخري الحطامية وهدم التضاريس نتيجة لتأثير عوامل النقل على الصخور وعلى الوشاح الصخري الحطامي ، وتسمى عملية تفتت الصخور وهدم التضاريس الناتجة عن تأثير عوامل النقل بالتحات Erosion . سوف نعالج عملية التجوية والتحات بواسطة عوامل النقل (الرياح ـ المياه الجوفية ـ الثلاجات أي المياه المتجمدة المتحركة) عند دراسة العمليات الخارجية التي تعمل في البيئات الجغرافية المختلفة ، أي البيئات التي يسود فيها فعل الرياح (البيئات الصحراوية) أو فعل المياه الجارية (الأنهار) أو فعل حركة المياه المتجمدة (الثلاجات) .

يمكن ان تتم عملية ازالة الفتات والحطام الصخري الناتج عن التجوية بواسطة فعل الجاذبية الأرضية فقط بدون تدخل أي تأثير مهم لعناصر النقل ، اذ ان عناصر النقل في مفهومها الدقيق هي التيارات التي تنشأ في الغلافين الجوي والمائي للكرة الأرضية بفعل الطاقة الشمسية .

يتم فعل الجاذبية الأرضية في ازالة الفتات والحطام الصخري الناتج عن التجوية بواسطة فعل الجاذبية الأرضية فقط بدون تدخل أي تأثير مهم لعناصر النقل ، اذ ان عناصر النقل في مفهومها الدقيق هي التيارات التي تنشأ في الغلافين الجوي والمائي للكرة الأرضية بفعل الطاقة الشمسية .

يتم فعل الجاذبية الأرضية في ازالة الفتات والحطام الصخري ، على المنحدرات والسفوح التي توجد في كثير من الأماكن فوق سطح الأرض ، وسوف نعالج في الفقرات القادمة عملية ازالة الحطام والفتات الصخري بواسطة الجاذبية .

عليها غابات الأشجار المتساقطة الأوراق أو غابات استوائية ممطرة . تتكون هذه التربة من نطاق (أ) غني بالمواد الدبالية ونطاق (أ٢) ذي لون فاتح . أما النطاق (ب) فيحتوي على حبيبات دقيقة جداً من الطين المترسب وعلى بعض أكاسيد الحديد والالمنيوم . يتأثر هذا النوع من التربة كثيراً بعوامل التعرية واستنزاف مكوناتها . يتكون الاولتيسول فوق صخور ورسوبيات قديمة وشديدة التأثر بعوامل التجوية ، ويمكن ان يتبقى فيها بعض الفلسبار والميكا .

٩ ـ تربة المناطق الاستوائية أو الأوكسيسول Oxisol :

ينتشر هذا النوع من التربة في المناطق الاستوائية أو المدارية والتحت مدارية يتكون غطاؤها النباتي الطبيعي من غابات استوائية مطرة . يتميز هذا النوع من التربة بوجود نطاق (أ١) سميك وداكن اللون ويتميز النطاقان (ب) و (جـ) بسمك كبير . تتراكم في هذه التربة أكاسيد الحديد والالمنيوم مكونة رسوبيات متبقية . تتكون هذه التربة على المناطق التي يكون فيها وشاح صخري فتاتي سميك مغطى بغلاف لاتيريتي . يوجد في هذا النوع من التربة أيضاً تجمعات من السليكا المتبقية فضلاً عن احتوائها على نسبة عالية من الطفل الا أن نفاذيتها تكون كافية للسماح بمرور الماء بسهولة من خلال الرسوبيات الأصلية التي تتأثر كثيراً بعوامل التجوية . لايوجد في هذه الأنواع من التربة معادن غير متأثرة بالتجوية ، تتكون أحياناً في النطاق (أ٢) أو (ب) من هذه التربة طبقة متصلبة من أكاسيد الحديد أو الالومنيوم تعرف باسم الدرع الحديدي Ferruginous Shield .

١٠ ـ تربة المستنقعات والمياه الراكدة او الهيستوسول Histosol :

تنتشر هذه التربة في المناطق الرطبة وهي التربة التي توجد في مناطق المستنقعات والبرك . تتكون هذه التربة عندما يكون صرف الماء سيئاً . لاتوجد طبقات واضحة في هذه التربة التي تتكوّن من تراكمات المادة العضوية ويتكون فيها أحياناً الفحم النباتي .

٦ ـ التربة الشهباء او السبودوسول Spodosol :

تعرف أيضاً باسم البدزول Podsol ، ينتشر هذا النوع من التربة تحت الظروف المناخية الرطبة القارية والتحت ـ مدارية الغطاء النباتي الطبيعي لهذه التربة يتكون من غابات من المخروطيات وبعض غابات الأشجار ذات الأوراق المتساقطة . تتميز التربة الشهباء بوجود النطاق (أ١) الغني بالمواد العضوية والنطاق (أ٢) ذي اللون الفاتح نتيجة لانخفاض نسبة أكاسيد الحديد والمواد العضوية فيه .

النطاق (ب) في هذا النوع من التربة غني بالمواد المترسبة التي تتكون من مواد عضوية وأكاسيد الحديد والالومنيوم . يكون هذا النطاق ذا لون بني أو أسود . لايتكون هذا النوع من التربة فوق الصخور أو الرسوبيات الغنية بالمعادن الطينية .

٧ ـ تربة المناطق المناخية المعتدلة والباردة أو الالفيسول Alfisol :

ينتشر هذا النوع من التربة في المناطق الباردة الرطبة أو المناطق الدافئة التحت ـ رطبة ، وتكون عادة مغطاة بنباتات الأشجار ذات الأوراق المتساقطة . يتميز هذا النوع من التربة بوجود النطاق (أ١) الغني بالمواد الدبالية مثل التربة الشهباء الا أن النطاق (أ٢) في الالفيسول يظهر عادة سميكاً وذا لون بني أو رمادي نتيجة لوجود بعض المواد العضوية وأكاسيد الحديد فيه . يتميز النطاق (ب) في الالفيسول بأنه سميك وفيه نسبة عالية من حبيبات الطفل الدقيقة جداً وكميات قليلة من المواد العضوية وأكاسيد الحديد . يتكون هذا النوع من التربة على صخور ذات عمر جيولوجي صغير (أي على صخور ورسوبيات حديثة نسبياً) . تحتوي هذه الرسوبيات عادة على كميات ملحوظة من الجير .

٨ ـ تربة المناطق المدارية والاستوائية أو الاولتيسول Ultisols :

ينتشر هذا النوع من التربة في المناطق الرطبة المدارية أو التحت المدارية ، تنمو

ان تأثير الجاذبية على كتل صخرية واقعة فوق مستويات ذات انحدارات مختلفة ، يبدو واضحاً في جميع البيئات وخاصة في البيئة الصحراوية . كما وأن لكل كتلة صهرية أو كتلة من الحطام الصخري انحداراً معيناً اسمه منحدر الاستقرار أو زاوية الاستقرار angle of repose، فاذا زادت قيمة أي منحدر عن قيمة زاوية الاستقرار تنزلق الكتلة الصخرية أو كتلة الفتات الصخري الى أسفل المنحدر بفعل الجاذبية . أما اذا قلت قيمة المنحدر عن قيمة زاوية الاستقرار فتبقى الكتلة الصخرية في مكانها (شكل ٦ - ٨) .

على هذا يلاحظ أن عملية ازالة الوشاح الصخري الحطامي الناتج عن التجوية تبدأ بفعل الجاذبية على المنحدرات حتى تصل مكونات هذا الوشاح الحطامي الى مكان يمكن ان تؤثر فيه عناصر النقل (مثل الأنهار) على الفتات الصخري لحمله الى الأحواض الترسيبية .

يبين الشكل (٦ - ٩) بعض الأنواع المهمة من الانزلاقات للحطام الصخري على المنحدرات . تختلف سرعة هذه الأنواع من الانزلاقات عن بعضها ، فبعضها مفاجىء وسريع جداً ، ويمكن ان يسبب كوارث وخسائر جسيمة في الأرواح كالتي ينتج عنها ردم القرى والمدم المفاجىء للمنشآت الهندسية (الطرق والجسور والسدود) ، والبعض الآخر من هذه الانزلاقات بطيء ، ويمكن ان يتسبب أيضاً في خسائر جسيمة للمباني وللمنشآت الهندسية ، ولكنه لايتسبب عادة في خسائر في الأرواح . سوف نعرض باختصار في الفقرات الآتية بعض الأنواع المهمة لانزلاقات الحطام الصخري على المنحدرات .

١ ـ انزلاق الحطام الصخري وتساقطه Rock fall and rock slide :

تنشأ هذه العمليات في كميات محدودة من المادة الصخرية . تحدث هذه العمليات (التساقطات أو الانزلاقات) على المنحدرات الشديدة ، خصوصاً على الجروف Cliffs .

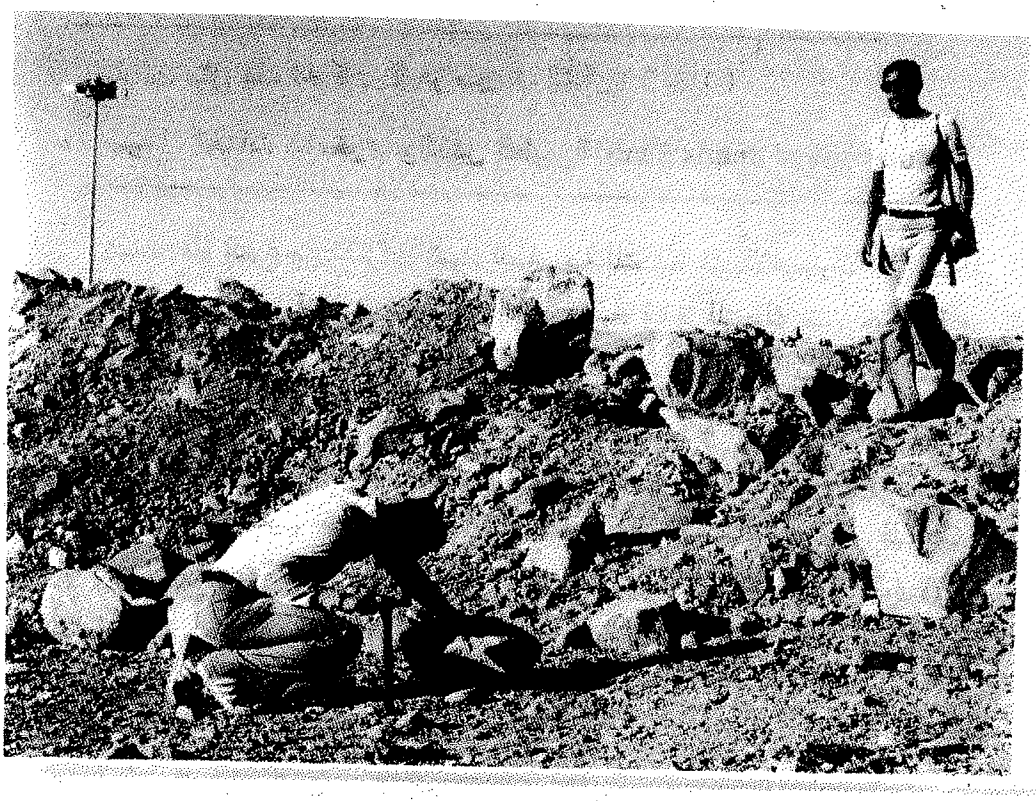
٢ ـ الانهيارات الجبلية أو الصخرية Rock avalanche :

وهي انهيارات مفاجئة لكميات هائلة من الصخور المتحطمة . تحدث عادة في المناطق

الجبلية . ان سبب الانهيارات الجبلية في كثير من الأحيان هو ذوبان الجليد والثلوج أثناء الربيع ، حيث تتخلل الثلوج الشقوق مابين الصخور وتعمل على تفتيت هذه الصخور أثناء الشتاء ، لكنها تبقى متماسكة نتيجة لالتحام اجزائها بالثلوج المتجمدة في الشتاء ، الا ان الثلوج تذوب عند حلول الربيع وتنهار الصخور فجأة مما يسبب الانهيارات الجبلية السالفة الذكر .

تتم هذه الانهيارات الجبلية في بعض الأحيان بانهيار مئات بل آلاف الاطنان من المواد الصخرية التي تتحرك الى اسفل بسرعة يمكن ان تصل الى ١٠٠ كم / ساعة ، حيث تنزلق الصخور وتتساقط من ارتفاعات تصل الى ١٠٠٠ متر أو أكثر مسببة كوارث وحوادث عديدة في المناطق الجبلية ، لذلك تهتم كثير من الدول التي توجد فيها مناطق جبلية آهلة بالسكان بالحد من شدة الانهيارات الجبلية ، وذلك باتخاذ احتياطات عديدة عند اختيار مواقع القرى والمنشآت القديمة والمناطق السكنية عن طريق بناء حواجز خاصة أو بتثبيت الصخور الآيلة للسقوط بالخرسانة أو بشبك من السلك القوي أو الحديد .

وقد يحدث أيضاً أن تنهار الصخور في مناطق جبلية لاجليد فيها ، مثل مناطق من جبال عمان في دولة الامارات العربية المتحدة ، تحدث هذه الانهيارات عادة بعد سقوط أمطار غزيرة على المنطقة . ان سبب الانهيارات هو تبلل الصخور الطينية المتحولة عن صخور أكثر صلابة وتماسكاً ، ففي جبال عمان يوجد كثير من الصخور المتحولة أو النارية القاعدية التي تكثر فيها الشقوق والفوالق العديدة . تتأثر هذه الصخور من خلال مستويات شقوقها وفوالقها بعوامل التجوية التي تحول الكثير من محتوياتها المعدنية الأصلية غير المجواة الى معادن طينية ، وبذلك تتركز المادة الطينية في الشقوق والفوالق ، هذه المادة الطينية قابلة للبلل والانتفاخ حيث تتحول الى كتلة صابونية تساعد على الانزلاق عند تساقط كمية من الأمطار على المنطقة . وذلك بسبب الانزلاق المفاجيء للكتل الصخرية في هذه المناطق عند تساقط الأمطار . لهذا يجب اتخاذ احتياطات خاصة لحماية المنشآت الهندسية مثل (الطرق والجسور) من خطر هذه الانزلاقات الجبلية في هذه المناطق .



شكل (٦ - ١٠)

انزلاق الحطام الصخري على المنحدرات (سلاسل جبال عمان)

٣ ـ انزلاق الكتل الصخرية الكبيرة على مستويات مقعرة Slump :

وتحدث مثل هذه الحركات كما هو مبين في الشكل (٦ ـ ١٠) .

٤ ـ سيول الفتات الصخري والكتل الطينية Mud Flow of debris Flow :

يحدث هذا النوع من الانزلاق للمواد الصخرية المتفتتة على الانحدارات في المناطق الغنية بالصخور الطينية ، عندما يتبلل الطين يصبح قابلاً للتحرك مثل أي كتلة من العجين . قد تحدث تحركات لكميات محدودة من الفتات والكتل الصخرية المختلفة الأحجام والمختلطة بالطين على مناطق منحدرة كما هو مبين في الشكل (٦ ـ ١٢) ، يطلق العلماء على هذه الحركات اسم سيول الفتات الصخري ، وفي حالات أخرى تتحرك كميات كبيرة من الطين قليل اللزوجة ، نتيجة لاختلاطه بنسبة عالية من الماء وعلى مسافات كبيرة وعندئذ تسمى هذه الحركات بسيول الكتل الطينية . تسلك سيول الكتل الطينية الوديان الجافة في المناطق الصحراوية او شبه الجافة ، مسببة في بعض الأحيان خسائر جسيمة في المنشآت والمباني .

٥ ـ زحف الوشاح الصحراوي الفتاتي على المنحدرات Creep :

ان معظم أنواع الانزلاقات للحطام والفتات الصخري التي ذكرناها من قبل ، تحدث بسرعة كبيرة نسبياً ، وهناك نوع آخر من الانزلاقات يحدث ببطء شديد بحيث يصعب ملاحظته ولكن يمكن التعرف على نتائجه . ويسمى هذا النوع البطيء من الانزلاق بالزحف الذي يحدث في معظم المناطق ذات الانحدار الخفيف ولايحدث في المناطق ذات الانحدارات الشديدة ، حيث أن الانحدارات الشديدة تسبب انزلاقات سريعة للمادة الصخرية الحطامية . أما المناطق ذات الانحدارات الخفيفة فهي تتميز بحركة بطيئة جداً للوشاح الصخري الحطامي (لاحظ الشكل ٦ ـ ١١) .

وتجدر الاشارة هنا الى ان عملية الزحف مسؤولة عن نقل معظم الحطام الصخري الذي يتكون على سطح الأرض نتيجة لعمليات التجوية حتى يصل الى الأماكن التي

يمكن ان تقوم فيها عوامل النقل بمتابعة نقل هذا الحطام الى الأحواض الترسيبية . أما باقي أنواع الانزلاقات للمادة الصخرية المطاطية وهي الانزلاقات السريعة السالفة الذكر ، فلا تساهم الا بنسبة قليلة في نقل الوشاح الحطامي للصخور الى أماكن تأثير عناصر النقل ، على الرغم من ان هذه الانزلاقات السريعة أكثر وضوحاً وبروزاً من ناحية الأضرار المفاجئة التي تسببها للمنشآت الهندسية وللمناطق السكنية .

الرسوبيات المتكونة نتيجة لانزلاق الحطام الصخري على المنحدرات :

اعتاد العلماء على ان يطلقوا على الرسوبيات التي تتراكم على سفح الانحدارات نتيجة لانزلاق الحطام الصخري بفعل الجاذبية اسم الرسوبيات المتراكمة او الكولوفيوم Colluvium . وهي كلمة لاتينية مشتقة من لفظ Colluvia ويعني تراكم . ويجب تمييز الرسوبيات المتراكمة عند أسفل الانحدارات عن الرسوبيات التي تتكون نتيجة لعمليات النقل بواسطة الأنهار ويطلق على الرسوبيات النهرية عادة اسم الطمي Alluvium يبين الشكل (٦ ـ ١٢) علاقة الرسوبيات المختلفة التي تتكون على الانحدارات ببعضها البعض .



شكل (٦ ـ ١١)

حركة بطيئة للوشاح الصخري في كلابريا ـ جنوب ايطاليا

مقاطعة كلابريا ـ لاحظ تقوس سيقان الأشجار



شكل (٦ ـ ١٢)

علاقة الرسوبيات المختلفة التي تتكون على المنحدرات بعضها مع البعض الآخر

الفصل السابـــع

الرياح والصحارى ودورة الجفاف في الطبيعـة

من المعلوم أن زخم الطـاقـة الحركيـة للريـاح يتحـول على سطـح الأرض الى شكل احتكاك حركة اضطرابية . وبصورة عامة فـان قوة الريـاح غير كافيـة لقلع المعـادن من صخور سطح الأرض الرطبـة والطينيـة مهما بلغت من قوة . غير ان عمـل الريـاح يعتبر من أهم أوجـه النشـاط الجيومورفولوجي للغـلاف الجـوي في قلـع المعـادن الصغيرة والمـواد العضوية في الصخور المشة وخاصة في البيئات الصحراوية وشبه الصحراوية التي تعد من المعالم المميزة لها الآن وفي العصور الجيولوجية القديمة . ان قلـة الأمطـار والجفـاف العـالي للرسوبيات أو للوشاح الصخري الحطامي في المناطق الصحراويـة يسـاعـدان الريـاح على نقل الرسوبيات يؤدي هذا النقل الى عمليات تحاتية وترسيبية مميزة للمناطق الجافـة وشبـه الجافة ، لايمكن ان يظهر فعل الريـاح بوضوح في المنـاطق الممطرة أو الرطبـة لأن هـذه الرياح لاتستطيع ان تنقل رسوبيـات مبللـة مثل الرمـال والوحل ، أمـا الرمـال الجـافـة والتراب فيمكن ان تنقل بسهـولـة بـواسطـة الريـاح . ولاتسمـح الظروف في العـادة بتراكم كميات وفيرة من الرسوبيات الجافة في المناطق الممطرة .

ان كلمة الصحراء المستعملة في هذا الفصل ويقصد بها كل المناطق الجافة وشبه الجافـة خارج منطقة القطبين المتجمدين حيث انعـدام الرطوبـة والنبـاتـات والتربـة . ان هـذه المناطق تغطي ربع سطح الأرض تقريباً وتحتوي على ظروف بيئية متباينة .

لقد حاول هاويل وجماعته سنة ١٩٦٨ تحديد المناطق الصحراويـة وشبـه الصحراويـة في العالم معتمداً على العوامل المناخية كما في شكل (٧ ـ ١) . ان كمية الأمطار الساقطة في المناطق شبه الجافة تتراوح بين ٢٥٠ ـ ٤٥٠ ملم .

هناك ثلاثة أنواع أساسية من الصحارى وهي :

١ ـ الصحارى التي تتكون نتيجة لطبيعة طبقات الرياح على سطح الكرة الأرضية مثل الصحاري الكبرى العربية .

٢ ـ الصحارى التي تتكون وسط القارات نتيجة للجفاف الذي يسود هذه المناطق أثناء فصل الشتاء (حيث انخفاض درجة الحرارة وتجمد المياه) وارتفاع الحرارة لدرجة تسبب جفافاً شديداً لهذه المناطق في فصل الصيف مثل الصحارى المنتشرة في وسط آسيا .

٣ ـ الصحارى الواقعة خلف المناطق الجبلية العالية التي تحجب الرياح المحملة بالرطوبة اذ ان الرياح الرطبة تصطدم بالجبال وتصعد الى أعلى في واجهة الجبال المعترضة للرياح . وعند صعودها تبرد فيؤدي ذلك الى تكثف ماتحمله من بخار الماء مما يسبب سقوط كميات كبيرة من الأمطار على واجهة الجبال المعترضة للرياح (في مهب الريح) أما السفوح الواقعة خلف مناطق المطر فتكون جافة تماماً مثل الصحارى الموجودة خلف جبال السيرا نيفادا Sierra Nevada في الولايات المتحدة الامريكية .

٧ ـ ١ ـ العمل الجيومورفولوجي للرياح في البيئات الصحراوية :

مما لايجوز تجاهله من النشاط الجيومورفولوجي للرياح هو قيامها بالدور الأول في توزيع بخار الماء فوق المناطق المختلفة من الأرض مما يجعلها مسؤولة عن اختلاف الطقس وتحديد المناخ وطبيعة التجوية في الأماكن المختلفة وكذلك عن تزويد الأنهار والمقالع بالماء وفضلاً عن ذلك فان الرياح هي العامل الأول المسؤول عن النشاط الجيومورفولوجي للأمواج عن طريق انتقال الطاقة منها الى سطح الماء في المحيطات لذلك سوف نبدأ بمناقشة العوامل التي تؤدي الى تكوين التيارات الهوائية على سطح كوكبنا قبل ان ندخل في موضوع فعل الرياح في المناطق الصحراوية .

يعتمد التأثير الجيومورفولوجي للرياح في المناطق الصحراوية على قدرة الرياح على نقل الفتات الصخري في هذه المناطق . ينتج الفتات الصخري كما ذكرنا سابقاً عندما تؤدي عوامل التجوية الى تكوين وشاح صخري حطامي .

يزداد سمك هذا الوشاح الصخري وتزداد أهميته في أي مكان عندما تتظافر عمليات التجوية الكيمياوية مع عمليات التجوية الميكانيكية (الفيزياوية) لتحطيم الصخور وتفتيتها .

على الرغم من أن تأثير التجوية الكيميائية ضعيف في المناطق الصحراوية الا أن لعوامل التجوية الفيزيائية أثراً واضحاً على تكوين الفتات الصخري . لقد أشرنا سابقاً الى تكون الوشاح الصخري الفتاتي في المناطق الصحراوية بفعل عوامل التجوية الفيزيائية نتيجة للتباين الحراري الواسع في درجة الحرارة بين الليل والنهار الذي يؤدي الى انشطار الصخور وتكسره نتيجة لتبلور الأملاح من محاليل مائية متواجدة في الصخور ، حيث تصعد هذه المحاليل عادة قرب سطح الأرض نتيجة للخاصية الشعرية ، وحينما تصل المحاليل الى السطح تتبخر بفعل أشعة الشمس الساطعة في سماء المناطق الصحراوية الخالية من السحب . وعند تبخرها تترك أملاحاً متبلورة في الشقوق تؤدي قوة تبلورها الى انشطار الصخور وتحطيمها .

غير أن معظم الرسوبيات التي تنتقل فوق المناطق الصحراوية ليست ناتجة عن الوشاح الصخري الفتاتي الذي تكون ومازال يتكون تحت الظروف المناخية الحالية التي تسود هذه الصحاري . لقد اثبت العلماء ان كثيراً من الصحاري الحالية كانت تسودها أنواع من المناخات الرطبة أثناء بعض الفترات من تاريخها الجيولوجي . والدليل على ذلك اكتشاف بقايا تربة متحجرة Fossil Soils كان مناخها يتميز بأنه أكثر رطوبة من المناخات الحالية فضلاً عن وجود ملامح طبوغرافية تدل على حدوث عمليات تحاتية ناتجة عن فعل انهار دائمة لايمكن أن توجد في الصحاري ، وقد اثبت العلماء أيضاً ان الفترات التحاتية الممطرة التي مضت على المناطق الصحراوية الحالية أدت الى تكوين وشاح صخري حطامي سميك فوق كثير من

هذه المناطق وتكونت أثناء الفترات الممطرة التي سادت الصحاري في الماضي رسوبيات نهرية في كثير من الوديان التي تبدو جافة هذه الأيام والتي تمتلىء بالماء بصفة موسمية عند تساقط نسبة غير اعتيادية من الأمطار ويؤدي ذلك أحياناً الى تكوين مايعرف بالسيول Seils (وهذه الكلمة الانكليزية مأخوذة من العربية) . والسيول عبارة عن كميات كبيرة من الماء والطين والحطام الصخري تسير بسرعة وبصفة مفاجئة في الوديان الموجودة في المناطق الصحراوية بعد تساقط كميات غزيرة من الأمطار فوق المناطق الصحراوية الجبلية . يمكن اعتبار حركة المادة الصخرية التي تندفع مع الفتات الصخري والكتل الطينية عند حدوث السيل على انها نوع من عمليات ازالة الوشاح الصخري الحطامي بواسطة فعل الجاذبية على المنحدرات والسفوح فضلاً عن انها عملية تحاتية وعملية نقل تحدث بفعل المياه الجارية .

توضح المناقشة السابقة ان الجزء الأكبر من الرسوبيات التي تنقلها الرياح فوق المناطق الصحراوية نتج عن تكوين وشاح صخري حطامي تحت ظروف مناخية أقل جفافاً من الظروف التي تسود هذه الصحاري حالياً .

هناك جانبان أساسيان لتأثير الرياح على سطح الأرض وعلى الصخور في المناطق الصحراوية وهما :

١ ـ التأثير الهدمي أو التحاتي للرياح : ينتج هذا عن ازالة الرسوبيات المتفتتة بقوة الرياح (وتسمى هذه العملية بالتذرية Deflation) وينتج أيضاً عن بري الصخور نتيجة ارتطام الحبيبات الرسوبية التي تحركها الرياح (وتسمى العملية بالبري أو السحج Abrasion) .

٢ ـ التأثير أو العمل البنائي للرياح : ينتج هذا العمل عن قدرة الرياح على نقل الفتات الصخري وترسيبه .

سنتناول في الفقرات القادمة كل جانب من هذين الجانبين بالتفصيل .

العمل الهدمي للرياح :

يتجلى أثر الرياح كعامل هدمي خصوصاً في الأماكن التي تكثر فيها الرمال وتقل الأمطار والنباتات مما يساعد على حمل حبيبات الرمال والوشاح الصخري الحطامي واستعمالها كعاول في نحت الصخور وتحطيمها ، يبلغ الأثر الهدمي للرياح أقصاه في المناطق الصحراوية الشديدة الجفاف في اتخاذها معالم غريبة نتيجة الحت المتفاوت differential erosion في اجزائها المختلفة ويسمى العمل الهدمي للرياح بالتحات الريحي Winderosion وهو نتيجة عمليتين مختلفتين هما :

التذرية deflation والبري او السحج Abrasion .

(١) التذرية :

وهي عملية ازالة الرواسب التي تفككت نتيجة عمليات التجوية ونقلها الى أماكن اخرى . أهم نواتج التذرية تكوّن الأنواع المختلفة من الأسطح الصحراوية الحجرية والحصوية التي تسمى بالمساحات الصحراوية الحجرية وتتكون غالباً من صخور طبقية على هيئة هضاب شاسعة الانتشار تسمى بالحمادة desert or Hamada rocky . تتميز الصحاري الحجرية بأن سطحها مكون من الأساس الصخري الذي لاتغطيه رواسب متفتة الا نادراً نتيجة عملية التذرية (النفخ) الدائة للرياح . أما الصحاري الحصوية Stony desert فيسميها البدو في الصحراء الكبرى « السرير » Serir desert وفي الجزائر والمغرب العربي تسمى بالرق Reg desert تستعمل هاتان التسميتان في اللغات الأوروبية أحياناً للاشارة الى هذا النوع من الصحاري .

تعتبر المنخفضات الحوضية Basin–like depressions من المعالم الصحراوية المميزة التي تنتج عن عمليات التذرية خاصة في المناطق التي يغطيها وشاح صخري غير متماسك

من الطين والطفل كما هو الحال في بعض مناطق صحراوات شمال أفريقيا وكلهاري ومنغوليا . يتوقف مدى مزاولة هذه العملية لتعميق المنخفضات على عمق مستوى الماء الجوفي من السطح حيث تختلط جسيمات الصخر بالرطوبة وتصبح عملية التذرية غير ممكنة تقريباً . توجد في الصحراء الغربية من جمهورية مصر العربية عدة منخفضات للتذرية . فالى الغرب من الدلتا تقع سلسلة من هذه المنخفضات ينخفض مستوى القاع فيها عن منسوب سطح البحر بكثير في بعض الأحيان مثل منخفضات وادي النطرون والقطارة وسيوة . ويبلغ منسوب قاع منخفض القطارة حوالي ٢٤٠ م تحت منسوب البحر . وهو منخفض شاسع تغطي أرضه المستنقعات المالحة وتوجد في الصحراء الغربية بعض المنخفضات الكبرى المشهورة بالواحات الجنوبية كالبحرية والفرافرة والداخلة والخارجة وكلها ذات قيعان ترتفع فوق منسوب البحر وفيها مناطق غنية بالمياه الجوفية كما انها ذات تربة غاية في الخصوبة . ومساحات هذه المنخفضات شاسعة جداً ، يعتقد العلماء ان التذرية ليست وحدها المسؤولة عن تكون هذه الواحات الجنوبية فهي ذات تاريخ جيولوجي طويل معقد وعلى الأغلب انها ظهرت نتيجة عوامل جيولوجية عديدة وجيومورفولوجية أثرت عليها في الماضي ، مثل الحركات الأرضية وفعل المياه الجارية والمياه الجوفية وأخيراً فعل الرياح التي تؤثر عليها حتى وقتنا الحاضر ، كما وتوجد عدة منخفضات في الصحراء الغربية العراقية كمنخفض الكعرة ومنخفض ام الكمين .

ومن النتائج الخطيرة التي تلحقها عملية التذرية بالانسان مايحدث أحياناً في بعض المناطق شبه الصحراوية من ازالة كمية ضخمة من التربة في زمن قصير جداً نتيجة هبوب رياح قوية . كما وقد حدث هذا في السهل العظيم غرب نهر ميسيسبي في الولايات المتحدة حيث اكتسحت الرياح كميات هائلة من التربة من مزارع خصبة كانت في الأصل مغطاة بالحشائش لكن تكرار حرثها للاستصلاح والزراعة أضعف القوة الرابطة للتربة وعرضها في موسم الجفاف لتذرية الرياح الشديدة .

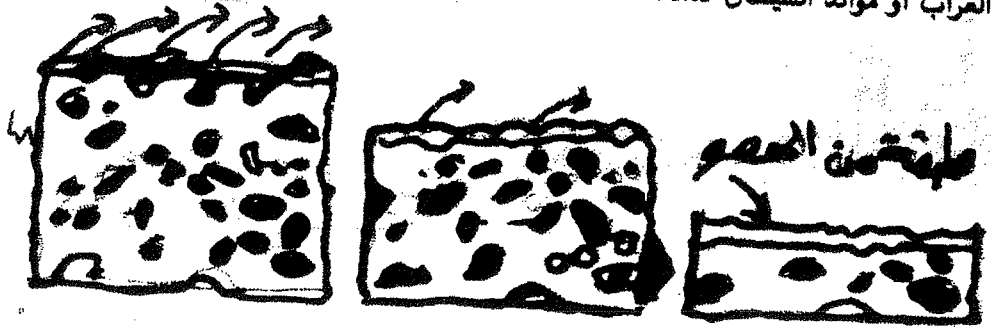
ويبيّن الشكل (٧ ـ ١) تكوين سطح الصحاري الحصوية نتيجة التذرية ويوضح أيضاً كيف ان طبقة الحصى التي تغطي الوشاح الحطامي تحمي هذا الوشاح من استمرار تذريته بفعل الرياح .

(٢) البري او السحج :

هي عملية تؤدي الى بري الصخور وتشكلها بأشكال غريبة نتيجة احتكاكها وصقلها بحبات الرمل التي تحملها الرياح . عملية الرياح وبريها wind abrosion ذات أثر ملحوظ جداً في المناطق الصحراوية . وقد أجريت بعض التجارب لتقدير قوة هذه العملية في الصحراوات المصرية بتعريض ألواح الصفيح والأواني الزجاجية لسحج الرياح لمدة يومين في الواحات الخارجية فكانت النتيجة ازالة طبقة القصدير من الصفيح وتحويل الزجاج الشفاف الى زجاج معتم « مصفر » .

وقد لوحظ أن هذه العملية تكون على أشدها على ارتفاع قليل من سطح الأرض (أقل من متر) حيث يتركز الرمل في الرياح يكون أعلى مايمكن وتكون النتيجة مايسمى بالنحر السفلي Undercutting . ويلاحظ تأثير هذه العملية على أعمدة التلغراف والتلفون في المناطق الصحراوية حيث تنحرها الرياح على ارتفاع حوالي نصف متر من سطح الأرض . ولذا يجب حماية مثل هذه المنشآت في المناطق الصحراوية بأكوام من الصخر أو بقاعدة هرمية من الأسمنت حتى ارتفاع حوالي ثلاثة أرباع المتر .

ومن المعالم الصحراوية التي تنشأ نتيجة عملية النحر السفلى مايسمى بصخور عش الغراب أو موائد الشيطان mush room rocks . تتكون هذه الظاهرة عند وجود طبقة



شكل (١٠٧)

تكوين سطح الصحارى الحصوية نتيجة للتذرية حيث تنقل الرياح الحبيبات الرملية والطينية وتترك في النهاية طبقة من الحصو تحمى الوشاح الصخري الحطامي المتبقي من الفصل المتواصل للرياح .



شكل (٧ - ٢)

ظاهرة البرى توضح معالم صحراوية تسمى موائد الشيطان

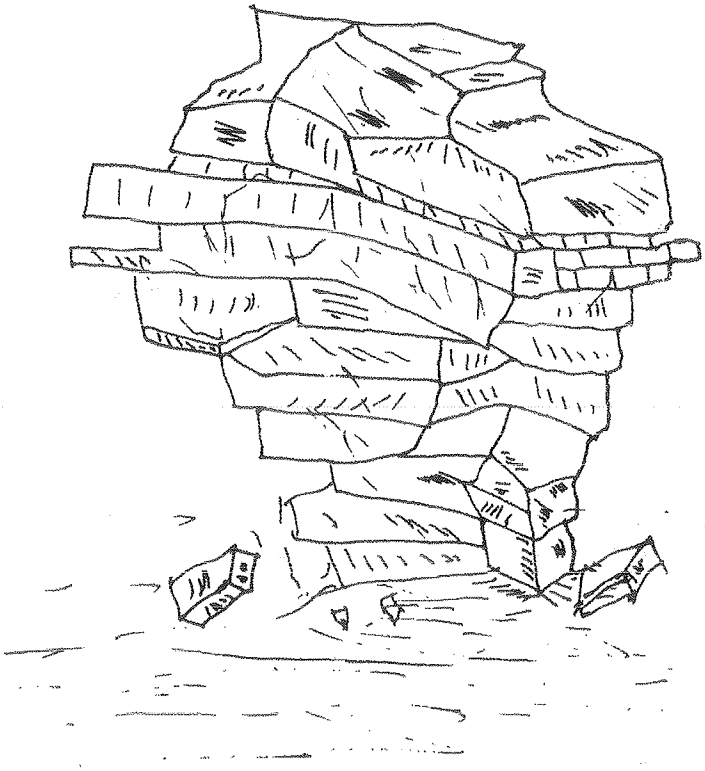
(منطقة تلول المطار - الرزازة)

من صخر صلد تعلو طبقة أخرى من صخر أقل صلادة تتآكل الطبقة السفلى بفعل الرياح بمعدل أسرع من معدل تآكل الطبقة العليا (شكل ٧ - ٢) .

ويعمل بري الرياح بسهولة أكثر من نقط الضعف في الصخور كأسطح الفواصل التي تحدد في العادة أشكال المعالم الصحراوية المسماة بالأبراج الصخرية Pinnacles or rock towers التي تتخلف أمام الجبال والسفوح المتراجعة نتيجة عمل الرياح ومن أشهر الأمثلة للأبراج الصحراوية مايسمى بقصور البنات في الصحراء الشرقية المصرية . وتوجد آلاف من هذه الأبراج أيضاً في منطقة واحة الفرافرة بالقرب من الحائط الشمالي للمنخفض وفي الصحراء المغربية والجزائرية وفي شبه جزيرة العرب في المنطقة الواقعة بين تبوك وعمان وفي المنطقة الواقعة بين مكة المكرمة والمدينة المنورة ، وتوجد مثل هذه الأشكال في المنطقة الواقعة جنوب مدينة مراكش في القطر المغربي (شكل ٧ - ٣) .

يلاحظ في عملية بري الرياح انها عملية تفاوتية differential أي ان قوتها تتفاوت حسب تفاوت درجة صلادة الطبقات الصخرية وطبقاً للتركيب الأصلي للصخر . فالصخور الجيرية المتماسكة تنصقل تماماً نتيجة بري الرياح أما اذا كانت تحمل بداخلها بعض الحصى الصواني أو الحفريات فان هذه تترك ناتئة نتيجة بري الرياح حتى تسقط في آخر الأمر . ان عملية بري صخور الجرانيت تؤدي الى تلميع سطحه أو تغيره . أما صخور النايس والشيست المتبلورة ذات التركيب الرقائقي فانها تتحول الى أسطح ذات حزوز وحيود مستطيلة .

من النواتج الأخرى لعملية الرياح بعض الأحجار المعروفة باسم ventifacts ، وهي حصى له أشكال غريبة وأسطح منحوتة مصقولة بفعل الرياح ، ينتشر مثل هذا الحصى كثيراً على وجه الأرض في المناطق الصحراوية ، فاذا ماكانت الريح السائدة في اتجاه واحد طول العام تقريباً فانها تعمل على شطف الحصى المعرض لها من جانب واحد فيتكون للحصى وجه عريض منحدر نحو الاتجاه الذي تهب منه الريح ، أما اذا كانت الريح تغير اتجاهها مع تغير الفصول أو



شكل (٢٠٧)

الموائد الصحراوية « قصور النبات »

إذا حدث ان انقلبت الحصى نتيجة انزلاق أو غير ذلك فان جانباً آخر أو أكثر يعتريه ماحدث للجانب الأول ويشطف هو الآخر . وهكذا تتقابل الأسطح المشطوفة في حروف حادة يتوقف عددها على عدد الجوانب التي تتعرض لفعل الرياح وتسمى الوجه ريحيات ذات الوجهين والحد الواحد بثنائية الأوجه Zweikanter (وهذه كلمة ألمانية تعني ثنائية الحواف) . أما الوجه ريحيات ذات الثلاثة أوجه والثلاثة حدود فتسمى ثلاثية الأوجه Dreikanter (لاحظ الشكل ٧ ـ ٤) .

العمل البنائي للرياح :

الرياح عامل قوي جداً من عوامل النقل الطبيعية فهي تحمل كميات هائلة من الرمال والغبار حيث يمكن ان تنقل أثناء عاصفة قوية واحدة كميات من الرسوبيات تتراوح بين عشرة ملايين ومائة مليون طن عبر مسافات تبلغ أكثر من ثلاثة آلاف كيلومتراً .

ويمكن تمييز حمولة الرياح الى نوعين :

(١) حمولة عالقة Suspended load :

تتكون من حبيبات لايتجاوز قطرها ربع من الميليتر (وهي في حدود حجم الرمال الناعمة) والجدير بالذكر أن أقصى حجم من الحبيبات يمكن أن تحمله الرياح معلقاً هو ثلث من الميليتر .

(٢) حمولة متحركة : Transported load :

تتكون من رمال تتحرك بالقرب من سطح الأرض نتيجة لقوة التيارات الهوائية . وتتطاير الحبيبات الدقيقة المعلقة وتتبدد عبر مسافات ومساحات كبيرة في صورة غبار dust ينقل بعيداً عن مصدره . ولذلك لاتوجد في الصحراء مواد دقيقة اذ انها تنقل



شكل (٤٠٧)

التعرية الريحية (الوجهة ريحيات)



(٧٠٥) لوحة

بسلفسالا بصنالا

بعيداً أول بأول عند تكونها . أما الحبيبات الأكبر حجماً والتي يمكن للرياح ان تنقلها نتيجة لقوة اندفاعها فهي أول ماتتدرج على الأرض وتطير في الهواء على ارتفاع محدود ، وعندما تهب عاصفة رملية على الصحراء تتكون سحابة رمال لايزيد ارتفاع سطحها العلوي على مترين فوق مستوى سطح الأرض الا نادراً .

وقد أمكن بملاحظة الحبيبات المفردة المكونة لسحابات الرمل التي تهب في الصحاري التأكد من أنها لاتنتقل في خطوط أفقية متصلة ، ولكنها تتحرك في مسارات طويلة خفيفة الانحدار حتى تصطدم بالأرض وعندئذ اما ترتد مرة أخرى الى الهواء واما تدفع حبيبات اخرى من الرمل الى تيار الرياح . وتتكون سحابات الرمال المتحركة من عدد لايحصى من الحبيبات القافزة . وأقصى ارتفاع تبلغه الحبيبات يكون بالقرب من الأرض على ارتفاع لايتجاوز النصف متر . ويعرف ذلك بعملية النحر السفلي (شكل ٧ ـ ٥) .

يتضح مما تقدم أن تعرض المواد الحطامية اللامتماسكة (المفككة) وغير المبتلة (الجافة) الموجودة على سطح الأرض لفعل الرياح يؤدي الى تطاير الحبيبات الصغيرة التي يقل قطرها عن ربع ميليتر في الهواء على صورة غبار معلق يصل الى ارتفاعات كبيرة وينتقل الى مسافات بعيدة . بينما تنقل الرياح الحبيبات التي يزيد قطرها على ربع ميليتر (والتي يدخل حجمها في نطاق قدرة الرياح على الحمل) اما بالقفز واما بالدحرجة على ارتفاعات قليلة لاتبعد كثيراً عن سطح الأرض . وأما الحطام الصخري الذي يزيد حجمه عما يمكن للرياح ان تنقله فيبقى في مكانه على هيئة حصباء متخلفة Lag gravel . وتترسب حمولة الرياح المعلقة (الغبار) بالتدريج عندما تهدأ تماماً سرعة هذه الرياح ، ويكون ذلك عادة خارج المناطق الصحراوية حيث تساهم الرطوبة المتزايدة في الهواء التي تسود خارج حدود الصحاري في تجميع الحبيبات الغبارية الدقيقة في حبيبات أكبر يفوق حجمها قدرة الرياح على حملها . وتكوّن هذه المواد رواسب ضخمة في المناطق الحول ـ صحراوية (الهامشية) وتتميز هذه الرواسب بعدم وجود تطبيق واضح فيها كما تتميز بحجم حبيباتها الصغيرة . وتعرف هذه باسم الطيس Loess .

اما الحمولة المتحركة للرياح التي لايمكن ان تبقى في الهواء الا بفعل حركة الرياح الشديدة فتترسب عندما تقل حدة الرياح حيث لاتستطيع ان تستمر في حمل هذه الحبيبات وهناك عدة عوامل يمكن ان تؤدي الى كسر حدة الرياح وترسيب الحبيبات المكونة لحمولتها المتحركة . ومن أهم هذه العوامل العاملان الآتيان :

١ ـ عدم ثبات سرعة طبقة الهواء المتحركة بالقرب من الأرض نتيجة لتأثير التعرجات المميزة لتضاريس سطح الأرض على التيارات الهوائية المنخفضة . ولذلك تتكون في الطبقة السفلى للهواء المتحرك دوامات تؤدي الى فقدان طاقة الرياح او تقليلها مما يجعلها تلقي بحمولتها من الرمال .

٢ ـ مقابلة الرياح لأي عائق طبيعي أو اصطناعي يجعل الرمال تتراكم في الجهة المدابرة للرياح من العائق وينمو الجسم الرملي المتراكم أمام العائق ويقوم هو نفسه بعد ذلك بمهمة العائق في وجه الرياح مما يزيد من حجم الرواسب باستمرار .

ويمكن تقسيم الرواسب التي تتكون بواسطة الرياح حسب حجم الحبيبات المكونة لها الى نوعين أساسيين هما :

١ ـ **التجمعات الرملية Sand accumulations** التي تتراكم عادة داخل حدود المناطق الصحراوية التي يسود فيها فعل الرياح الشديدة .

(٢) رواسب الطيس Loess ذات الحبيبات الدقيقة التي تتراكم خارج حدود المناطق الصحراوية عندما تفقد الرياح قدرتها على حمل التراب المعلق ، وسوف نعالج في الفقرات القادمة كل نوع من هذه الرواسب الرياحية **aoliandeposits** على حده .

فالتجمعات الرملية تتكون على مساحات محدودة بالقرب من شواطىء البحار أو على ضفاف الأنهار في المناطق المناخية المعتدلة . وتتكون التجمعات الرملية أيضاً على مساحات شاسعة في المناطق الصحراوية وتتخذ هذه التجمعات أشكالاً مختلفة أهمها ما يأتي :

١ ـ الظلال الرملية وسفي الرمال Sand shadous and sand drifts .
٢ ـ الكثبان الرمليـــة Sand dunes .
٣ ـ المسطحات الرملية أو بحار الرمال Sand sheets or Sand Seas .

تنتشر مثل هذه المسطحات في المناطق الصحراوية وتسمى في أقطار المغرب العربي باسم الارج Erg (العرق) .

نتناول كل نوع من هذه التجمعات الرملية في الفقرات القادمة على حده بشيء من التفصيل .

الظلال الرملية والسفي :

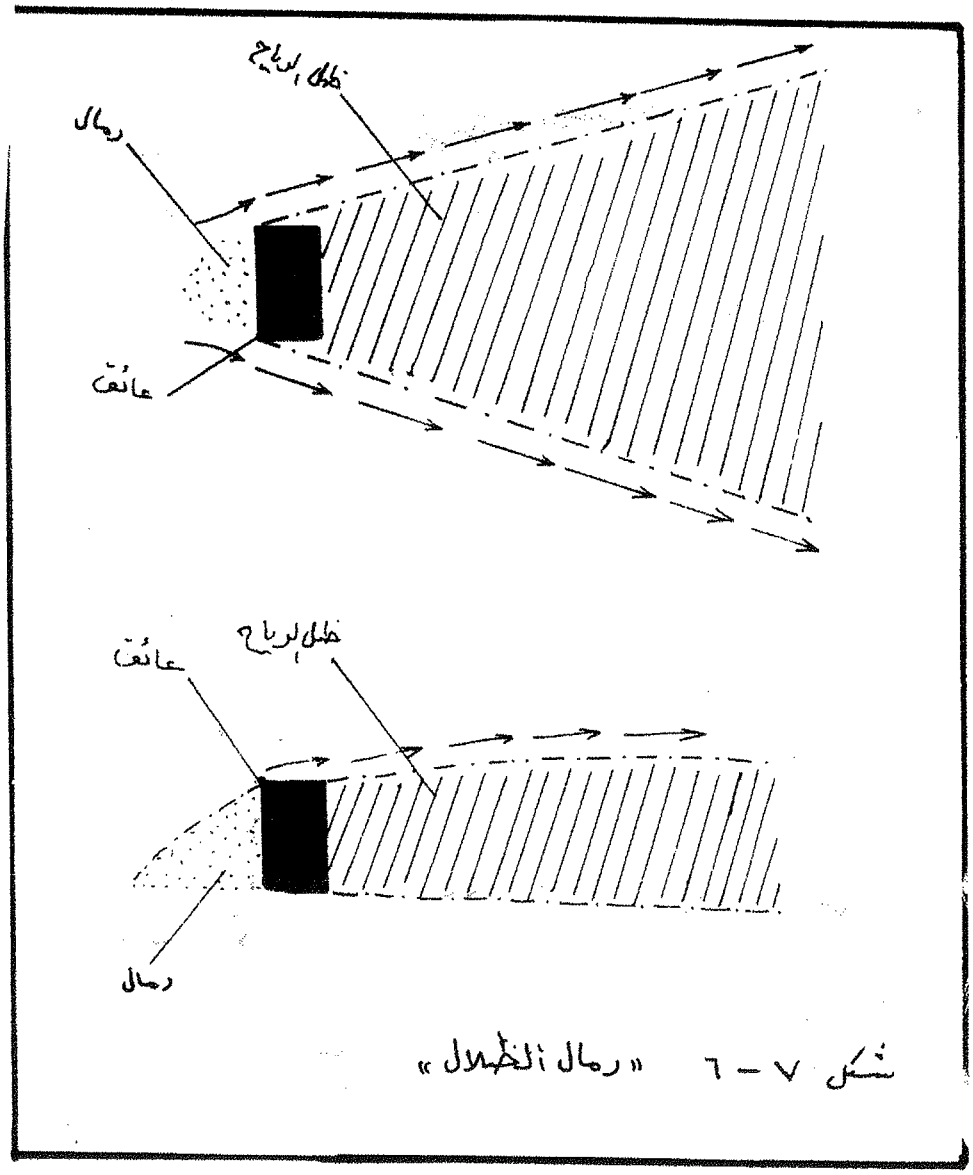
هي تجمعات رملية تتكون مباشرة نتيجة وجود عائق ثابت في مسار الرياح المحملة بالرمل . فقد يكون هذا العائق حصاة أو كتلة من الصخر أو جرفاً Cliff أو شجرة يتوقف وجود الظلال الرملية والسفلي على بقاء العائق في مكانه . كما ان هذه التجمعات الرملية لاتنتقل من مكانها الذي يحدده العائق .

ويمكن شرح ميكانيكية تكون الظلال الرملية بما يأتي :

١ ـ تسقط حبيبات الرمال التي تصطدم بالعائق وتتراكم امامه حيث يكون الهواء راكداً .

٢ ـ بعد ذلك ينقسم تيار الهواء الذي يمر بالعائق الى ذراعين يمران بجواره ولايتم الترسيب في خارج حدودها . كما ان الترسيب يكون قليلاً جداً خلف العائق حيث تنشط الدوامات الهوائية .

٣ ـ يزداد بعد ذلك حجم شريطي الرمل الجانبيين خلف العائق تدريجياً حتى يتلاقيا وتمتلىء بذلك المساحة الموجودة خلف العائق بتجمع رملي يكون بمثابة ظل للعائق (الشكل ٧ ـ ٦) .



شكل ٧ – ٦ «رمال الظلال»

شكل (٦٠٧)

« رمال الظـلال »

أما السفى الرملي فيتكون عادة على منحدرات التلال المواجهة للرياح التي تجعل الرياح تتحرك الى أعلى . تقل سرعة الرياح خلال هذه الحركة مما يجعلها ترسب ماتحمله من رمال . وفي بعض الأماكن التي تكون فيها الرياح شديدة لاترسب الا كميات ضئيلة من حمولتها في الأجزاء السفلى من المنحدرات حيث يصبح الترسيب مركزاً في أعلى المنحدرات . من الأمثلة لهذا النوع من السفى مايوجد على الجزء العلوي من منحدر جبل يقع الى غرب أسوان بجمهورية مصر العربية ، الشكل العام لهذا الجبل هو هلالي . لذلك نجد أن معظم الرمال تترسب في كتلة مستطيلة وسط المنحدر الهلالي مكونة مايشبه البقعة البيضاء على جبين الحصان وتسمى (الغرة) لذلك يطلق الأهالي على هذا الجبل اسم جبل الغرة .

الكثبان الرملية :

تركزت بحوث بعض الجيومورفولوجيين على الكثبان الرملية خلال النصف الثاني من القرن العشرين ، فالعالم لونكويل وجماعته (Longwell et al., 1948) اعتبروا الكثبان الرملية على أنها « عصف الرياح بالحطام الصخري ، الذي يكون رملاً ، ليتجمع بعد ذلك ويكوّن هضبات صغيرة دائرية او ذات شكل طولي أحياناً أو غير منتظمة الشكل أحياناً أخرى ، تعرف بالكثبان » . أما العالم باكنولد (Bagnold, 1954) فاعتبر الكثبان الرملية على أنها « رابية او تل من الرمل يرتفع ليكون قمة مفردة » في حين ان العالم ستون (Stone, 1967) عرّف الكثبان الرملية بأنها « تجمع من مواد ذات حجم رملي تذروه الرياح » . واعتقد العالم هولم (Holm, 1968) بان الكثبان الرملية « ظاهرة طوبوغرافية ذات منشأ هوائي Eolian Origin تتكون من حبيبات الرمل القادمة من مصدر طبيعي والمترسبة في الجهة البعيدة عن اتجاه هبوب الرياح downwind كما أنها تتكون في أية بيئة تحتوي على دقائق فتاتية من الرمال وهي حرة التنقل والتجمع في كتل غير متصلبة » . وأعطى العالم كلين (Glenn, 1979) وصفاً آخر للكثبان من خلال تعريفه لها بقوله : « هي تجمع على شكل رابية أو سلسلة من الترسبات التي تذروها الرياح وعادة لها منحدر قليل مواجه للرياح ، وآخر أكثر انحداراً في الجهة المحجوبة عن الرياح أطلق عليه وجه الانزلاق » .

أما حسن وجماعته 1982 فقد بينوا ان الكثيب الرملي عبارة عن « تجمعات عملية ذات أحجام مختلفة ، وقد تكون ذات احجام ومساحات ضخمة ومن مميزاتها انها تتخذ أشكالاً معينة وتتكون بفعل عملية السفي » . وعند البحث عن معنى كلمة كثبان في القاموس الجيولوجي الامريكي (Glossary of Geology, 1957) نجده يعرفها على أنها تلال واطئة من الرمل المندفع ويمكن اعتبار هذا التعريف وصفياً . او هي رمال هوائية أو روابي أو سلاسل تذروها الرياح .

والكثيب يصبح عقبة بوجه الرمال التي تعصف بها الرياح وتسبب استقرارها وتراكمها مما يؤدي الى نموها . واعتمد هذا المفهوم على العوامل المسببة في تكوين الكثيب . يساق الرمل بواسطة الرياح بصورة متكررة في أي جزء من العالم يكون سطحه رملياً . ومن ثم يؤدي اندفاع الرمل الى تكوين روابي أو أكوام تعرف بالكثبان . وهذا التعريف يصور ميكانيكية الترسيب المتكرر للرمال والتي تؤدي الى تكوين الكثبان . ويمكن تعريف الكثبان الرملية على أنها تلال أو سلاسل ، تتكون بواسطة الرياح ، من الرمال ، أو أية مواد حبيبية أخرى . وهذا مفهوم للكثبان هو تعريف طوبوغرافي عام يطبق على أي نوع من الكثبان وبدون تخصيص ، أما القاموس الاعتيادي فقد عرف الكثبان الرملية على أنها « تلال رملية أو سلاسل رملية تتكون بواسطة الرياح وتتواجد بصورة اعتيادية في المناطق الصحراوية أو قرب البحيرات والمحيطات » .

مما تقدم يتبين لنا أن ليس هنالك تعريف واحد يصف الكثبان الرملية ، غير أن هناك خصائص معينة تحدد الشكل العام للكثبان الرملية وهذه الخصائص هي :

أ ـ ان العامل الأساسي في تكوين الكثبان الرملية هو الرياح وبدون حركة الرياح لايوجد أي نوع من الكثبان الرملية .

ب ـ ان الفتات الصخري يجب أن يكون بحجم حبات الرمل أي يتراوح بين ٨/١ الى ١٦/١ من المليمتر ويمكن ان تتواجد معه نسبة قليلة جداً من فتات حبيبي أصغر حجماً هو الطين Clay .

ج ـ ان شكل الكثيب الرملي هو الصفة الأساسية التي يتميز بها ، فلا يوجد هناك كثيب رملي بدون شكل محدود وواضح بحيث يسهل وصفه والتعرف عليه ، ان تعدد هذه الأشكال وتداخلها مع بعضها واختلاف بيئاتها وسرعة الرياح المكونة لها يجعل من الصعب اعطاء تعريف واحد دقيق وشامل لمعنى الكثبان الرملية .

بيد ان التعريف العام يفي بالغرض حيث تعرّف الكثبان بأنها تجمعات رملية ذات أحجام مختلفة وقد تكون ذات أحجام ومساحات ضخمة ومن مميزاتها انها تتخذ أشكالاً معينة وتتكون بفعل عملية السفي ولكن لايتوقف تكونها ووجودها على وجود عائق كما هو الحال عند تكوين الظلال الرملية . والكثبان الرملية تقسم أساساً الى طائفتين حسب مكان تجمعها فهناك طائفة الكثبان الشاطئية والنهرية وطائفة الكثبان الصحراوية .

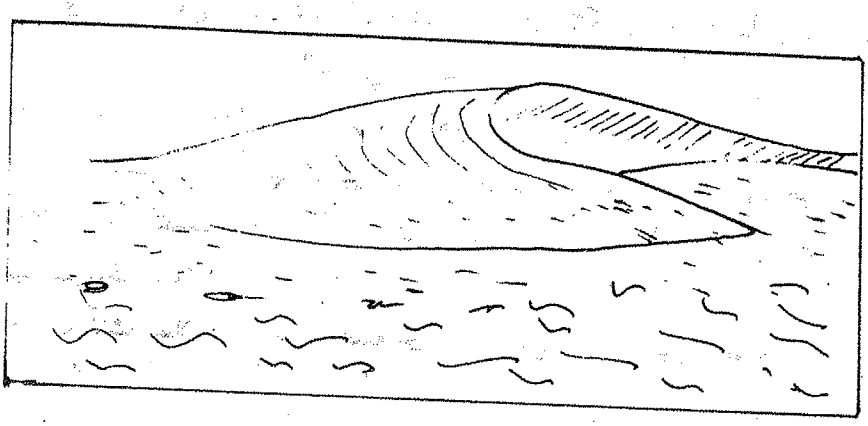
لقد اعتمد باكنولد عام ١٩٤٣ في تصنيف الكثبان الرملية على شكلها وعلى حركة الرياح .
حيث صنفها الى ثلاثة أنواع رئيسية هي الهلالية والمستعرضة والطولية (شكل ٧ ـ ٧) .

الكثبان الهلالية :

وهي كثبان رملية ذات شكل هلالي وجناحين يشيران الى الجهة المعاكسة لاتجاه هبوب الرياح . يوجد هذا النوع من الكثبان في الصحارى ذات الأرضية المسطحة والصلبة مع وجود الرياح الثابتة وكميات محددة من الرمال . ويتراوح ارتفاع هذا النوع من الكثبان بين متر الى أكثر من ٣٠ متراً .

الكثبان المستعرضة :

وهي كثبان رملية تتكون على شكل سلاسل متموجة تمتد بصورة مستعرضة على اتجاه الرياح وتتواجد في الصحاري ذات الرمال الكثيرة والنباتات القليلة ، وهذا النوع من الكثبان يعتبر المرحلة الثانية التي تعقب تكون الكثبان الرملية الهلالية .



شكل (٧-٧)

كثيب هلالـــي

الكثبان الطولية :

وهي كثبان رملية طولية مستقيمة على شكل سلاسل موازية لاتجاه الرياح السائدة وبارتفاع يقارب الـ ١٠٠ م وطول يصل الى ١٠٠ كم ، يتواجد هذا النوع من الكثبان في الصحارى ذات الكميات الوفيرة من الرمال والرياح القوية المتغيرة الاتجاه قليلاً مع وجود اتجاه عام الرياح . ويتغير وجه الانزلاق بتغير اتجاه الرياح وانحرافها .

تكون الكثبان الرملية وحركة الرمال :

في حالة الكثبان الشاطئية والنهرية التي تتكون على السهول المنبسطة للشواطىء الرملية او بالقرب من الأنهار لايكون أصل الرمال التي تتكون منها محلياً ولكنها تكون منقولة بتيار الماء ومترسبة على الشاطيء حيث تجف وتحولها الرياح لتكون كثباناً غير بعيدة من الشاطىء . ومثل هذه الرمال تكون في العادة على درجة عالية من الفرز Sorting . حيث تكون أحجام الحبيبات المكونة لها متقاربة فيقال عنها جيدة الفرز well sorted . تتصف هذه الرسوبيات الرملية في العادة بأنها خالية تقريباً من الحبيبات الكبيرة وعلى العكس من ذلك فان الرمال التي تتكون منها الكثبان الصحراوية تنشأ أصلاً من المنطقة المحلية أي مستمدة من نفس صخور المنطقة .

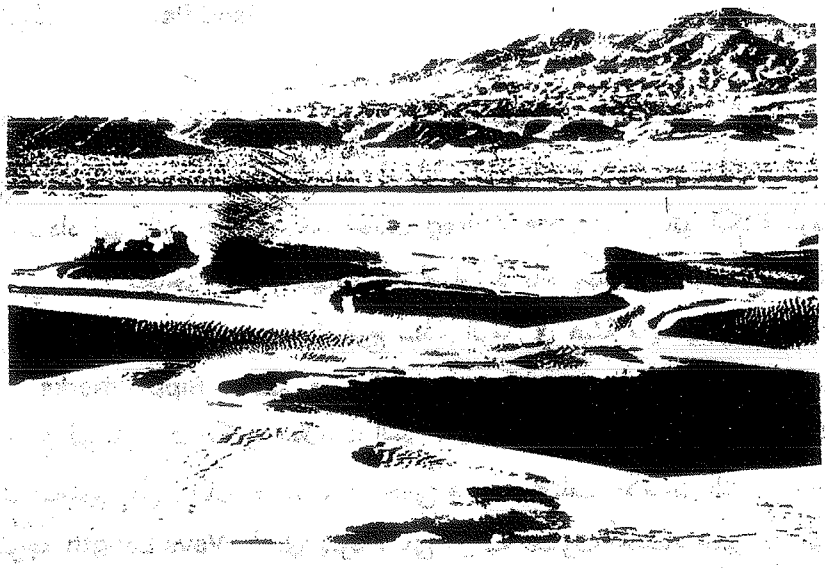
تتوقف هنا درجات التقارب بين حجم الحبيبات على بيئة ترسيب الصخور الأصلية الممدة للفتات الصخري وما اذا كانت مائية أو برية ، وفي حالة الرسوبيات البحرية تكون الرمال جيدة الفرز كثباناً رملياً تشبه الكثبان الرملية الصحراوية المكونة من مثل هذه الرمال . أما في حالة الرمال المكونة تحت ظروف برية اي نتيجة للفعل التحاتي للرياح (بري وسحج الصخور النارية أو المتحولة) فان هذه الرمال تكون سيئة الفرز badly sorted . ومن أهم العوامل التي تكوّن الكثبان الرملية الصحراوية (وذلك في حالة عدم وجود عائق يؤدي الى نمو ظلال رملية) هو تفاوت أحجام الحبيبات المكونة منها الرمال فقد لوحظ بالتجربة ان حركة الرمال تزداد نشاطاً مع زيادة درجة التفاوت بين أحجام الحبيبات المكونة لهذه الرمال .

عندما تهب ريح خفيفة فوق سطح مغطى برمال ذات حبيبات متفاوتة الأحجام فان ذلك يؤدي الى تطاير الحبيبات الدقيقة من فوق السطح تاركة الرمال الخشنة في مكانها وبذلك تتكون بقع حصوية Pebbly Patches .

ويزيد استمرار هبوب هذه الرياح من التذرية الخفيفة لهذه البقع التي تتميز بتركيز الحبيبات والحبات الكبيرة وكذلك يمكن ان تترسب الرمال الدقيقة في بقع أخرى تسمى بالبقع الرملية Sand Pat-ches .

واذا هبت ريح قوية فانها تزيد من تذرية البقع الحصوية . اذ ان الرمال الدقيقة تصطدم بالحصى وتزداد قوة تطايرها . اما البقع الرملية فانها تستقبل مزيداً من الرمال الدقيقة ويزداد فيها الترسيب بفعل قوة الجذب Force of drag أي بتأثير الكتلة الرملية المتراكمة التي تعمل كحاجز يصد الحبيبات التي تحملها الرياح وبذلك تعلو البقع الرملية بالنسبة للبقع الأخرى وينتج عن ذلك تموج سطح الرمل في هيئة مايسمى بعلامات النيم التموجية Ripple marks . تنتشر هذه العلامات بكثرة على المسطحات الرملية . ويلاحظ ان قمم الموجات المكونة لعلامات النيم تحتوي رمالاً دقيقة ، أما المنخفضات بين الموجات فتحتوي على رمال خشنة وعلى حصى صغير. تختلف علامات النيم من حيث طول الموجه Wave Length الذي يتوقف على درجة تفاوت أحجام حبيبات الرمل وقوة الرياح .

وفي المناطق الصحراوية حيث تندر الحياة النباتية أو تنعدم تماماً فضلاً عن جفاف المناخ المطلق تتكون علامات نيم ضيقة عندما تكون حبيبات الرمال على درجة عالية من الفرز ، عندئذ تتباطأ حركة الرمال نسبياً . لاتساعد مثل هذه الظروف على تكوين الكثبان الرَملية ولكن اذا كانت درجة تفاوت حجم الحبيبات المكونة للرمال عالية حتى في حالة عدم وجود أية عوائق صخرية أو نباتية ، فان علامات النيم المتكونة تكون واسعة ، ويمكن ان تنمو حتى تصبح كثباناً رملية (الشكل ٧ ـ ٨) .



شكل (٧-٨)

كثيب رملي تكون في صحراء نيومكسيكو

لاحظ تغير المنحدر على جانبي الكثيب

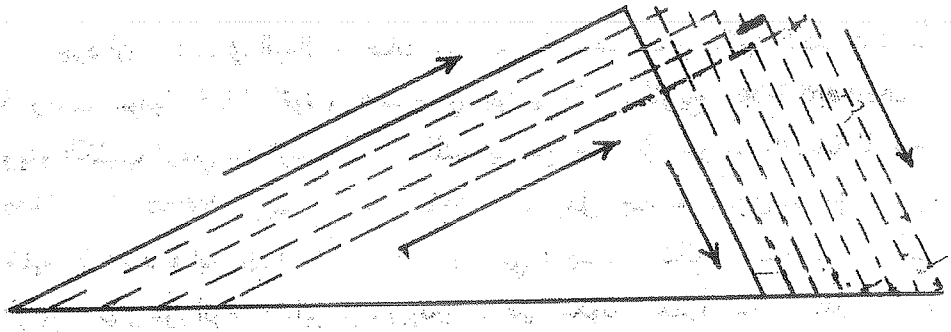
وقد دلت التجارب المختبرية على ان هناك حداً أدنى لطول موجات النيم يقع مابين ٤ الى ٦ أمتار . يجب الا يقل عنه طول هذه الموجات لكي يتسنى لها ان تنمو الى كثبان النيم المتكونة . لذا يعتمد تكون الكثبان الرملية على طول الموجة بين علامات النيم المتكونة . ويعتمد طول الموجة بدوره على متوسط سرعة الرياح وعلى متوسط حجم الحبيبات المكونة للرمال وعلى درجة فرز هذه الحبيبات التي تذروها الرياح أيضاً . تحدد كل هذه المتغيرات مايسمى بقوة انسياب الرمال والتي تقدر بالغرامات في الثانية في المليتر المربع .

نمو الكثبان الرملية وحركتها :

بمجرد ان تتكون في الرمال موجات من النيم على سعة تسمح بتكون الكثبان تبدأ الدوامات الهوائية المختلفة القوة في النشاط في جوانبها المدابرة للريح Leeward Sides . وينمو الكثيب الرملي من ترسب الرمال المنسابة مع الهواء على جوانبه المقابلة للريح Wind Ward Side . ويصبح انحدار سطح الكثيب على جانبه المقابل للريح انحداراً خفيفاً لايزيد عادة على (١٠°) . أما المواد التي لايجذبها ذلك الجانب وتنساب مع الريح فتنهار على الوجه المدابر للريح وتترسب عليه مكونة منحدراً شديداً يعادل زاوية الاستقرار الطبيعية للرمال الجافة Natural angle of repose of sands .

وتتراوح قيمة هذه الزاوية بين ٣٠ و ٣٥° (لاحظ الشكل ٧ ـ ٩) .

تعمل الدوامات في الجانب المدابر للريح من الكثيب على عدم تجاوز الرمال المتطايرة لقمة الكثيب الناشىء .. وبهذا ترتفع القمة ويستطيل الكثيب في الناحية المقابلة للريح على هيئة منحدر طويل معتدل الميل إلا إن هذا لايمنع بعد درجة معينة من النمو من تدحرج حبيبات الرمل الى أعلى المنحدر الخفيف المقابل للريح بفعل دفع قوة الرياح حتى تصل هذه الحبيبات الى قمة الكثيب وهناك تسقط على المنحدر الشديد للجانب المدابر للريح .



شكل (١٠٧)

مقطع يوضح طريقة تحرك الكثبان الرملية

باستمرار هذه العملية يتقدم وجه الكثيب المدابر للريح على حساب الرمال المكونة للجانب المقابل للريح لنفس الكثيب . وبهذه الطريقة يتقدم الكثيب كله في الاتجاه المدابر للريح .

اذا استمرت هذه العملية دون امداد رملي جديد فان الكثيب يتوقف عن النمو وتدفع الرمال المكونة لجانبه المواجه للرياح تدريجياً الى الجانب الآخر على حساب ارتفاع الكثيب . بذلك يقل هذا الارتفاع تدريجياً اما اذا كان هناك امداد رملي فان الكثيب ينمو باستمرار ويزداد الكثيب في النمو الى ارتفاع يتوقف على طول الموجة في علامات النيم الأصلية . ولقد وجد العلماء من خلال ملاحظات وقياسات حقلية عديدة أن هناك علاقة ثابتة بين طول موجة الكثبان الرملية وارتفاعها . وهذه العلاقة هي :

$$\frac{ل}{ع} = ١٧$$

حيث ان « ل » هي طول الموجة و « ع » هي ارتفاعها . وتسمى هذه النسبة بنسبة النضوج . وينمو الكثيب الرملي في الارتفاع حتى يصل الى هذه النسبة . والجدير بالملاحظة ان هذه النسبة هي نفس النسبة لمتوسط سلسلة من الأمواج تنشأ في مياه المحيط نتيجة عاصفة قوية . تؤدي الرمال التي يحملها الهواء الى الكثيب الى نمو هذا الكثيب . الذي لا يبدأ في الحركة الا عندما تتحقق نسبة النضوج المبينة أعلاه . وعندما تتحقق نسبة النضوج يتوقف نمو الكثيب . ويبدأ في الحركة بفعل طاقة الرياح التي لاتفده بعد ذلك برمال تزيد من نموه . اذ تتحرك الرمال الزائدة التي يمكن ان تحملها الرياح الى مسافات أبعد والى كثبان أخرى لم يكتمل نموها بعد وتستمر حركة الكثبان الناضجة طالما لا يعترض سبيلها نبات أو عائق آخر .

أشكال الكثبان الصحراوية :

يتوقف الشكل الذي يتخذه الكثيب على عدة عوامل أهمها سرعة الرياح وثبات اتجاهها والامداد الرملي . ودرجة ثبات الرياح التي تعد من أهم هذه العوامل . ففي المناطق التي تسودها رياح في اتجاهات معروفة يمكن التمييز بين عدة أنواع أساسية من الكثبان الصحراوية وهي :

١ ـ الكثبان الهلالية أو البرخان Crescentic dunes or barchan :

كلمة برخان كلمة تركمانية تستعمل في المناطق الصحراوية لوسط آسيا (مثل جنوب الاتحاد السوفيتي) للاشارة الى مثل هذه الكثبان . تتكون الكثبان الهلالية عندما يبلغ الكثيب المستطيل نسبة النضوج ويبدأ بالحركة في اتجاه الرياح السائدة . وفي أثناء هذه الحركة تكون أطراف الكثيب النحيلة أقل مقاومة للريح من وسط الكثيب . وبذلك يمتد طرفا الكثيب في هيئة جناحين يصل طولها وتقوسها الى الدرجة التي تحقق مقاومة للريح تساوي مقاومة الجزء الأوسط من الكثيب عندئذ يتكون الكثيب الهلالي أو البرخان النموذجي والذي يظل على شكله هذا طالما بقيت الريح تهب في نفس الاتجاه .

يتراوح ارتفاع الكثبان الهلالية عادة بين متر واحد وخمسة عشر متراً ويصل ارتفاعها أحياناً الى عشرين أو ثلاثين متراً (مثل الكثبان الموجودة في الصحراء الغربية المصرية وفي صحراء وسط آسيا (قره قوم) وفي معظم الحالات يتراوح عرض هذه الكثبان بين ٤٠ و ٧٠ متراً وقد يصل عرضها أحياناً الى ١٥٠ م أو أكثر . لقد وجد بأن معدل اتجاه محاور الكثبان الرملية الهلالية في السهل الرسوبي بين دجلة والفرات ـ جنوب بغداد هو ١٣٥ درجة وهذا الاتجاه يوازي اتجاه الرياح الشمالية الغربية ـ الجنوبية الشرقية ، كما ان معدل ارتفاع هذه الكثبان يتراوح بين ٦ الى ١٠ أمتار .

والكثبان الهلالية المنفردة نادرة الوجود في الصحراء اذ ان الكثبان تميل عادة الى التجمع في مجاميع كبيرة . توجد الكثبان الهلالية المنفردة عندما تكون كمية الرمال في الصحراء قليلة وتنمو هذه الكثبان على الصحراء الصخرية (الحمادة) أو الصحراء الحصوية (السرير) وتوجد في آسيا الوسطى صحارى طينية (التاكير Takyr) التي يمكن ان توجد على سطحها برخانات منفردة أحياناً .

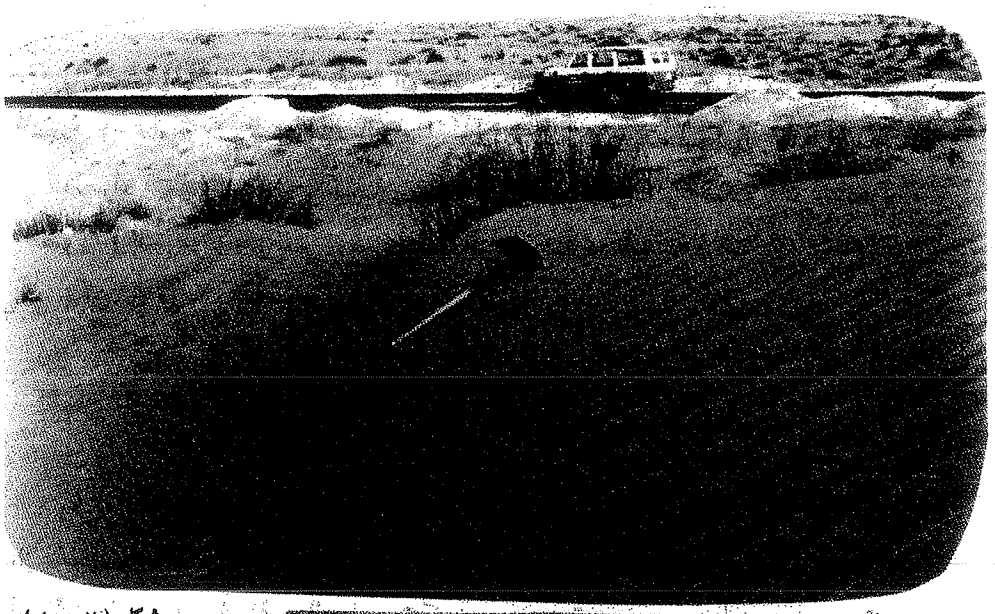
٢ ـ الكثبان الرملية المستعرضة Transverse dunes :

وهي عبارة عن كثبان رملية غير متناظرة تمتد بصورة مستعرضة بالنسبة لاتجاه الرياح السائدة والمحركة للرمال . كما انها تعتبر صفوفاً من الكثبان البرخانية حيث ان اتجاهها عمودي على اتجاه الرياح وتتكون عادة فوق سطح صحراوي صلب . تنمو عندما يتغير اتجاه الرياح بصفة موسمية الى اتجاه عمودي على الاتجاه الأصلي . تظهر هذه الظروف عادة في المناطق الصحراوية التي تقابلها جبال عالية حيث تصطدم الرياح بالجبال وترتد مرة ثانية في اتجاه معاكس لاتجاهها الأصلي .

لقد لوحظ أن المنحدر المحجوب عن الرياح في الكثبان الرملية المستعرضة في منطقة السهل الرسوبي يكون زاوية مقدارها ٣٢° وهي تقريباً نفس زاوية استقرار الرمال . في حين ان المنحدر المواجه للرياح تتراوح زاوية انحداره بين ١٢ و١٧ درجة . ان هذا النوع من الكثبان الرملية يغطي الجزء الأعظم من منطقة السهل الرسوبي (الشكل ٧ ـ ١٠) .

٣ ـ الكثبان الطولية أو « السيفية » أو الكثبان الممتدة :
Longitudinal or seif dunes

تتكون هذه الكثبان في مناطق الصحاري المدارية التي تسود فيها الرياح التجارية أي الصحاري ذات الرمال الغزيرة والرياح الشديدة مثل شمال افريقيا . تتكون هذه الكثبان بشكل خطوط مستقيمة متوازية لذلك تسمى أحياناً بالكثبان



شكل (٧ ـ ١٠)

كثبان رملية مستعرضة



شكل (٧ ـ ١١)

بحر من الرمال

الرملية الخطية وتكون عادة شبه متناظرة في مقطعها العرضي وهي تتكون من مركبات مستطيلة من الرمال تمتد في اتجاه موازي للرياح ، خصوصاً في المناطق التي يكون فيها اتجاه الرياح ثابتاً . والشكل (٧ ـ ١١) يبين مراحل نمو كثبان طولية ابتداء من مرحلة البرخان ، التي تستطيل تدريجياً نتيجة لاستطالة احد جناحيها .

يمكن ان تنمو هذه الكثبان الطولية الى أحجام هائلة ، فقد ترتفع مثلاً في الصحاري المغطاة بالرسوبيات النهرية لنهر امودار يا Amudarya في وسط آسيا الى ١٢ متراً ، وفي صحاري (قره قورم) Kara-Kum (في وسط آسيا) تصل الى ارتفاع ٤٠ و٦٠ ، ومن الجدير بالذكر ان عملية تكوين هذه الكثبان الضخمة بدأت منذ عصر البلايوستوسين . هناك كثبان سيفية أكبر مما ذكر تنتشر في الصحراء الغربية المصرية في المنطقة الممتدة من جنوب الواحات البحرية حتى الواحات الخارجية . تمتد هذه المجاميع من الكثبان أحياناً مسافة تبلغ درجتين ونصف من درجات العرض . يبلغ متوسط ارتفاع هذه الأحزمة من الكثبان السيفية حوالي ١٠٠ متر . وقد يصل ارتفاعها أحياناً الى ٢٠٠ متر . اما عرض هذه الأحزمة فلا يزيد على عدة كيلومترات ولكنها تمثل أصعب المناطق اجتيازاً في الصحراء ، وقد يضطر المسافر عبر الصحراء من الشرق الى الغرب ان يتجه شمالاً أو جنوباً عدة أيام قبل أن يجد طريقاً بين هذه الكثبان . ومن الصفات المميزة للكثبان الطولية ان المسافات التي تفصل بين الواحد والآخر منها والتي تصل الى أكثر من ثلاث كيلومترات تكاد تكون خالية تماماً من الرمال ويعزي ذلك الى تولد دوامات هوائية بين هذه الكثبان نتيجة نمو الكثبان الطولية الموجودة على جانب المساحة الفاصلة .

٤ ـ الأشكال الهرمية للتراكمات الرملية : Pyramidal sand forms :

تتكون هذه الأشكال في المناطق التي يكثر فيها تغير اتجاه الرياح . مثل هذه الأشكال الهرمية للتراكمات الرملية قليلة الانتشار وتوجد عادة في المساحات الصحراوية الواقعة أمام كتل جبلية غير منتظمة تؤثر على حركة التيارات الهوائية .

الكثبان التي تتكون في المناطق المناخية المعتدلة :

من أهم هذه الكثبان ، الكثبان البارابولية Parabolic dunes التي تتكون في العادة في المناطق التي توجد فيها النباتات التي تعوق حركة الرمال الى حد ما .

سرعة حركة الكثبان الرملية :

البرخانات هي أكثر الكثبان الرملية حركة اذ انها تتقدم تحت تأثير الرياح المتوسط القوة بسرعة تتناسب عكسياً مع أحجامها (أي أن الكثبان الضخمة تتحرك بسرعة أقل من سرعة الكثبان الصغيرة) . اما تحت تأثير العواصف القوية فقد لوحظ ان الكثبان الكبيرة هي التي تتحرك بسرعة أكبر حيث تتكون الدوامات الهوائية القوية عند جوانبها المدابرة للريح والتي لاتعد في هذه الحالة أمكنة هادئة بل أمكنة للاضطراب الشديد الذي يساعد على تطاير الرمال .

تتفاوت سرعة هجرة الكثبان في اتجاه الرياح السائدة حسب حجم الكثبان وقوة الريح ودرجة الرطوبة وغير ذلك ، وقد تبطء هذه السرعة حيث لاتتعدى (٥) أمتار في العام ، وقد تسرع حتى تصل الى خمسة وعشرين متراً . تصل سرعة الكثبان تحت الظروف الاستثنائية مئات الأمتار في العام الواحد ، نناقش في فقرات قادمة من هذا الفصل الأخطار التي تسببها هجرة الكثبان الرملية على الحقول الزراعية والمنشآت الهندسية والمناطق الآهلة بالسكان في الأقاليم الصحراوية .

أحزمة الكثبان الرملية Sand dune belts :

ان الكثبان الهلالية (البرخان) تميل الى الانتظام في أحزمة أو سلاسل تمتد من منطقة نشوئها في اتجاه الرياح السائدة وانسياب الرمال وتترتب هذه الأحزمة بشكل معين . فتظهر في حالة أحزمة الكثبان الهلالية النموذجية على صورة كثبان كثيرة ومتراحة قرب منطقة نشأتها (أي في المنطقة الواقعة عكس اتجاه الريح بالنسبة للحزام

الكثيبي) سبب تزاحم الكثبان على مقربة من منطقة المنشأ هو النمو النشيط لهذه الكثبان لكثرة الرمال المتوافرة في هذه المنطقة . حيث تظهر الكثبان بأحجام كبيرة ولذلك تكون حركتها بطيئة ، ولاتتاح لها الفرصة لأن تتقرب ويبعد بعضها عن بعض . اما اذا تقدمنا في اتجاه الرياح السائدة الى مسافات ابعد بالنسبة لمنطقة المنشأ ، فيمكننا ملاحظة الكثبان الصغيرة الحجم والتي يتباعد بعضها عن البعض الآخر وعن كثبان منطقة المنشأ . ويرجع السبب في ذلك الى قلة الرمال المتوافرة في المناطق البعيدة عن منطقة المنشأ . مما لايساعد على تكون كثبان كبيرة . فالكثبان الصغيرة أسرع في حركتها من الكثبان الكبيرة وذلك يؤدي الى تفرقها وتباعدها كلما بعدنا عن منطقة المنشأ في اتجاه الرياح السائدة .

ومن الأمثلة الشهيرة للأحزمة البرخانية ذلك الحزام الذي يبدأ من جنوب الواحات الجنوبية في الصحراء الغربية المصرية ممتداً الى مسافة ١٢٠ كيلو متراً نحو الجنوب متفقاً مع اتجاه الرياح السائدة في المنطقة . وهي رياح تجارية شمالية ـ شرقية . يبلغ متوسط ارتفاع الكثبان في هذا الحزام حوالي عشرة أمتار . واذا فرضنا ان الكثبان تتحرك بسرعة تتناسب مع ارتفاعها (فيمكن تقدير سرعة حركتها بحوالي ١٥ متراً في العام الواحد ، والوقت الذي استغرقه كثيب المقدمة لهذا الحزام حتى يصل الى مكانه الحالي يمكن حسابه كالآتي :

$$\frac{١٢٠٫٠٠٠}{١٥} = ٨٠٠٠ \text{ عام}$$

يستغرق تكون هذا الحزام الكثيبي حوالي ٨٠٠٠ عام ، هذا دليل على ان الظروف الصحراوية في هذه المنطقة استمرت لمدة ٨٠٠٠ عام على الأقل . غير ان هذا لايعني بالضرورة ان هذه الظروف الحالية استمرت لمدة ٨٠٠٠ سنة متتالية ، فيحتمل أن تكون قد تخللت الفترات المناخية الجافة فترات رطبة ، وحينذاك كانت حركة الكثبان تتوقف نسبياً لحين عودة الظروف المناخية الجافة .

وتبين الاعتبارات السابقة صعوبة تقدير الفترات الزمنية التي انقضت منذ بداية تكوين حزام كثيبي حتى وقتنا الحاضر .

اخطار هجرة الكثبان الرملية :

لقد رأينا كيف تهاجر الكثبان في اتجاه الرياح السائدة وان متوسط سرعة حركة الكثيب البرخاني الذي يصل ارتفاعه حوالي عشرة أمتار في الصحراء الليبية حوالي ١٥ متراً في العام ، وهذه سرعة كبيرة تجعل الكثبان مصدر خطر وتخريب للمنشآت الحضرية البشرية وللمناطق الزراعية الواقعة في الصحاري وفي أطرافها . كان الانسان الذي يعيش على الزراعة في تلك المناطق في نضال مستمر مع كثبان الرمال المتحركة منذ زمن طويل ، ونتيجة لذلك تدميرت المجتمعات البشرية على مدى التاريخ طرقاً مختلفة لعرقلة تقدم الكثبان . وأساس معظم التدابير الكلاسيكية لمكافحة هجرة الكثبان واحد تقريباً ولو أنها اختلفت في تفاصيلها ، ينحصر هذه الأساس في معرفة اتجاه الريح واقامة عوائق أو حواجز تكسر قوتها وتمنع الرمال من الانجراف معها .

أما الطرق الحديثة المتبعة في هذه الأيام للحد من تقدم الكثبان الرملية وزحف الصحراء فهي مزيج من الطرق الكلاسيكية وبعض الطرق الحديثة ويمكن تلخيصها بما يأتي :

١ ـ خفض ارتفاع الكثبان المحيطة بأماكن العمران ، وذلك بمنع الامداد الرملي عنها . ويتم خفض ارتفاع الكثبان بنقل بعض الرمال في كل كثيب في الجهة المقابلة للريح الى الناحية المدابرة لها حتى تتم تسوية قمة الكثيب بباقي اجزاءه وهنا يتوقف عن الحركة .

٢ ـ يمكن بعد اتمام العملية السابقة ، وأحياناً بدون القيام بها ، ان توقف حركة الكثبان بغرس دعامات خشبية أو غيرها في هذه الكثبان وأيضاً بمحاولة زرع بعض النباتات على الجوانب المقابلة للرياح من الكثبان ، وذلك يثبت الرمال ويمنع دحرجتها نحو

قة الكثبان . وهناك أنواع خاصة من النباتات تصلح أكثر من غيرها لهذا الغرض وهي تختلف باختلاف المناطق المناخية التي توجد فيها الكثبان المراد وقف حركتها . وفي المناطق الصحراوية ينبغي أن تكون هذه النباتات من الأنواع التي يمكنها أن تقاوم الجفاف .

٣ ـ في حالة وجود غطاء نباتي على الكثبان يجب حمايته وذلك بالري وعدم اقتلاع جذور هذه النباتات وسيقانها ، اذا كانت نباتات ذات قيمة اقتصادية ، والاكتفاء بجمع بذورها فقط . وذلك لأن السيقان والأوراق المكونة للغطاء النباتي للكثبان تساعد على تماسك الرمال وعلى تكوين مواد دبالية ، وتربة تقلل من تبخر الماء الكامن في الكثبان . وكل هذه العوامل تساهم في تثبيت هذه الكثبان .

٤ ـ زرع الأشجار الكبيرة والمعمرة في مناطق الكثبان . وخاصة عند حدودها المقابلة للريح ، وفي العادة لاتزرع هذه الأشجار الا بعد عدة محاولات لتعشيب الكثبان وزراعتها بالنباتات الصغيرة والحولية .

٥ ـ توجد طرق حديثة لمكافحة حركة الكثبان وتتلخص هذه الطرق بما يسمى بقتل الكثبان Killing of dunes وذلك برشها بطبقة من الحصى والحصباء على جوانبها المقابلة للرياح . يؤدي هذا الى الاقلال من تطاير الرمال مع هبوب الرياح . هناك طرق تعتمد على قتل الكثبان برشها بالقار أو بأي مواد اصطناعية لزجة غير قابلة للتطاير . وقد طبقت هذه الطرق في السعودية والمناطق الصحراوية القاحلة التي لاتسمح بنمو أي نوع من النباتات فيها . ولكن هذه الطرق كلها مكلفة للغاية ولايبدو انها تعطي نتائج جيدة . لان مفعول هذه السوائل اللزجة يزول بعد فترة من الزمن .

في المناطق المناخية المعتدلة كغرب فرنسا وشاطىء خليج بسكاي تكثر أحياناً أخطار الكثبان الشاطئية التي تتحرك بسرعة كبيرة من الشاطىء نحو البر فتخرب المزارع والمنشآت الهندسية والغابات والقرى ، ولكن مكافحة الكثبان في هذه المناطق أيسر من مكافحتها في المناطق الصحراوية اذ تسهل الرطوبة المتوفرة استزراع الكثبان وتشجيرها واقامة الأسوار عليها .

تتخذ الجهات المسؤولة في بعض الأقطار العربية الساحلية مثل المغرب والجزائر ومصر العربية وبعض الأقطار الخليجية احتياطات مماثلة لتلك التي تتخذ في فرنسا في المناطق الساحلية . الا ان خطر هجرة الكثبان في الصحراء الغربية والكبرى والخليج العربي شديد جداً ومكافحتها تعتبر من الأمور العسيرة .

على الرغم من اجراء المحاولات والتجارب الكثيرة للحد من تقدم الكثبان ، الا انها كثيراً ماتعطل طرق المواصلات وتغمر المزارع والمنشآت محدثة ذعراً وتخريباً كبيراً . فهناك مناطق شاسعة لايمكن الاستفادة منها لشدة جفافها وكثرة الكثبان الرملية فيها .

فوائد الكثبان في خزن مياه الأمطار :

ليست الكثبان الرملية مصدر أخطار دائماً ولكنها تكون أحياناً ذات فائدة للانسان . فهي في بعض المناطق الصحراوية الساحلية وغيرها تشكل مستودعات طبيعية وحيدة لخزن مياه الأمطار على هيئة مياه جوفية . وبذلك تساعد على حفظ المياه التي تتساقط على هذه المناطق أثناء موسم المطر ويمكن الاستفادة من هذه المياه في فترات الجفاف فكثبان الرمال تمتص مياه الأمطار وتحتجزها ، كما ان مياه الأمطار هي الاخرى تعمل على تثبيت الكثبان . تعد الكثبان التي تحجز المياه مستودعات نموذجية للماء اذا كانت تحتها طبقة غير نفاذة كالطين والطفل واذا كان ارتفاع الكثبان معقولاً . وكثيراً ماتحدث هذه الظروف في حالة وجود كثبان على سطح صحراء طينية (تاكير) . ففي هذه الحالات عندما يسقط الماء يتسرب بسرعة في الكثبان التي تحميه من التبخر ، ويصل الماء المتسرب بعد ذلك الى الطبقة غير النفاذة الموجودة تحت الكثبان . ولطبقة الماء المتخلل مستوى علوي يتبع بالتقريب تضاريس سطح الكثبان . ومنسوب هذا المستوى متغير حيث يزداد في موسم الأمطار ويقل في موسم الجفاف . يسمى هذا المستوى بمستوى الماء الموسمي Intermittent water table .

يمكن حفر آبار للماء في مناطق الكثبان الحاملة للمياه الجوفية في الأماكن المنخفضة لهذه الكثبان حيث يكون فيها الماء قريباً نسبياً من السطح . وقد يخرج الماء في بعض

المناطق من تلقاء نفسه مكوناً واحات بين الكثبان كما هو الحال في منطقة العرق الكبير الغربي من غرب الجزائر (العرق Erg) عبارة عن صحاري رملية مليئة بالكثبان وبالتراكمات الرملية ، وهذا لفظ بربري مستعمل في شمال افريقيا . للاشارة الى مثل هذه الصحاري تسمى أحياناً ببحار الرمال Sand Seas ، يغطي في مصر العربية بحر كبير من الرمال الربع الجنوبي الغربي للصحراء الغربية .

يعتمد بعض السكان في المناطق الساحلية في شمال مصر وخاصة في برج العرب ومرسى مطروح وبلطيم والعريش اعتماداً كبيراً على الغدران والآبار التي تتغذى من مياه الأمطار المخزونة في الكثبان الرملية .

بعض الظواهر الغريبة المتصلة بالكثبان الرملية :

(١) قابلية الكثبان على اجتذاب الرمال المحيطة بها :

هذه ظاهرة غريبة تعرف عن كثبان الرمال في المناطق الصحراوية وغيرها ، ويشار أحياناً الى هذه القابلية للكثبان الرملية باسم ظاهرة الرعي Shepherding effect of sand dunes اذ يلاحظ ان للكثبان قوة ظاهرة على جذب وجمع كل الرمال التي في جوارها . فتجعل المساحات التي بينها نظيفة تماماً من الرمال . وهناك تفسير ممكن لهذه الظاهرة وهو ان قوة جذب الأسطح الملساء نسبياً للمساحات الواقعة بين الكثبان للرمال أقل كثيراً من قوة جذب أسطح الكثبان المائلة التي تصعد الرياح المحملة بالرمال اليها ، ويترتب على ذلك ظهور تيارات هوائية حول الكثبان ، مما يساعد على ابقاء المساحات الواقعة حول الكثبان خالية من الرمال .

(٢) موسيقى الرمال :

اغرب الظواهر التي تصدر عن الكثبان هي تلك الأصوات التي تشبه أصوات الأبواق أو الأجراس أو محركات الطائرات أو السيارات وقد سجلها بعض الرحالة في نشراتهم عن الرحلات التي قاموا بها في المناطق الصحراوية .

يوجد في شمال سيناء مكان يسمى جبل الناقوس نسبة الى تلك الأصوات التي تتردد من تجمعات الرمال التي تكثر في هذا المكان . ويسمى الى حالة الأجانب هذه الأصوات التي تصدرها الكثبان الرملية « غناء الرمال » Song of Sands وقد كتب باكنولد العالم الريطاني مايأتي في هذا الشأن « لقد قصصت حكايات الأهالي (الذين يسكنون المناطق التي تصدر فيها الرمال غنائها) هذه الأصوات بأثواب من الخيال ، فهي أحياناً حداء جنيات الصحراء التي تجر الرحالة التي نهايتهم المحتومة في بقاع موحشة ليس بها ماء ، وأحياناً يظنها الأهالي تصدر عن أجراس المعابد والأديرة التي ابتلعتها الصحراء في أزمنة بعيدة ولازالت تردد صداها من تحت الرمال ، وأحياناً يقال أنها ليست الا صيحات غضب الجن تصدر من تحت الأرض ، ولكن هذه الأساطير التي جمعها اللورد كورزون Curzon في كتابه « قصص الرحلات » ليست أغرب من الظاهرة نفسها لقد سمعت بنفسي غناء الرمال في احدى المناطق بصحراء مصر الجنوبية على بعد ثلثمائة ميل من أقرب مكان مأهول . وقد صدر غناء الرمال هذا على مرتين في ليلة ساكنة وكان صدور الصوت الذي يشبه الطنين المتردد مفاجئاً ، وكان عالياً بدرجة انني كنت مضطراً الى ان ارفع صوتي عالياً حتى يسمعني من كان معي من الرفاق . وسرعان ماتناهت الى أسماعنا أصوات أخرى وكأنها اجابة للنداء الأول وقد استمر هذا الصوت لمدة تزيد عن خمس دقائق متواصلة قبل ان يخيم السكون ثانية .

وأحسن الأوقات لسماع « غناء الرمال » هو الأمسيات الهادئة في اللحظات التي تلي غروب الشمس . حيث تكون أوضح مايمكن عندما يسبق هذه الأمسيات سقوط مطر خفيف ، لايوجد حتى الآن شرح مرضي لتفسير هذه الظاهرة . ويظن البعض أن أي اضطراب يحدث على سطح الكثبان (وقد يكون نتيجة لهبوط درجة الحرارة فجأة) يجعل طبقات الرمال تنزلق فوق بعضها البعض مما يؤدي الى احداث ذبذبات تصدر صوتاً يشبه مايصدر عن الاحتكاك السريع لكتابين مجلدين بنسيج موج وخشن .

بحار الرمال :

توجد في الصحاري أحياناً مساحات شاسعة مغطاة بالرمال الكثيفة وتعرف هذه

المساحات باسم بحار الرمال Sand Seas . وتعرف هذه المساحات أيضاً باسم الصحاري الرملية أو العرق Erg تغطي بحار الرمال هذه مساحات شاسعة تصل الى آلاف الكيلومترات المربعة .

ومن أشهر بحار الرمال في الوطن العربي بحر الرمال الكبير الذي يغطي الجزء الجنوبي الغربي للصحراء الغربية المصرية . والعرق الغربي الكبير Grand Ergoccidental الممتد على مساحات شاسعة في غرب الجزائر على حدودها مع المغرب . وينتهي العرق الغربي الكبير نحو الغرب أما مساحة من الصحراء الصخرية تعرف باسم حمادة الجير Hamada du Guir وعند هذه الحمادة في الجزء الشرقي للصحاري المغربية . وهي عبارة عن هضبة شاسعة الانتشار مكونة من طبقات جيرية تنتمي الى العصر النيوجيني ، تكون رمال الكثبان المكونة للعرق الغربي الكبير خزانات جيدة للمياه الجوفية الناتجة عن الأمطار القليلة التي تتساقط على هذه المنطقة . تؤدي الظروف الجيومورفولوجية لهذه المنطقة الى تراكم هذه المياه الجوفية على الحدود بين العرق الغربي الكبير وحمادة الجير ، حيث تظهر مجموعة من الواحات الخصبة وان كانت محدودة في انتشارها . ومن أهم هذه الواحات واحة بني عباس في الجزائر قرب الحدود المغربية .

أما بحر الرمال الكبير الممتد في الصحراء الغربية المصرية فيتميز بغزارة غطائه الرملي وتتكون أحياناً طبقات عريضة من الرمال تتخلل مساحات مغطاة بالكثبان البرخانية أو السيفية . يظن العلماء ان سبب تكوين هذه الطبقات غزارة الغطاء الحصوي الذي يوجد تحت الكثبان في هذه المناطق .

تنتشر التراكمات الحصوية على مسافات تحول دون تكوين كثبان ولذلك تتراكم الرمال في هذه المساحات على هيئة طبقات أو كتل متجانسة ليست لها الأشكال المميزة للكثبان .

ومن بحار الرمال المشهورة أيضاً تلك التي توجد في صحاري الجزيرة العربية (لاحظ الشكل ٧ - ١١) .

الطيـــس (اللوس Loess) :

هي رواسب ريحية تتكون من جسيمات دقيقة من الغبار الذي تحمله الرياح على هيئة حمولة معلقة . أثناء هبوبها وتذريتها للمناطق الصحراوية تظل هذه الحبيبات معلقة في الهواء حتى تصل الى مناطق ذات رطوبة كافية فتسقط نتيجة لفعل الأمطار والجاذبية الأرضية في مناطق الاستيبس (السهوب) المحيطة بالمناطق الصحراوية . تنتشر هذه الرواسب المميزة حول المناطق الصحراوية والمناطق التي تأثرت بالأعمار الجليدية فوق مساحات شاسعة من آسيا وأوروبا وأمريكا الشمالية والجنوبية . تمتاز رسوبيات الطيس برقة أحجام حبيباتها (أغلبها في حجم الغرين ونسبة قليلة منها في حجم الطين أو الرمل الناعم (الشكل ٧ ـ ١٢) .

وتتكون هذه الحبيبات من الكالسيت (الجير) والفلدسبار والميكا والقليل من الكوارتز . تتميز رسوبيات الطين بلونها الأصفر المائل الى الاحمرار الخفيف وبعدم وجود أية علامة للتطبق فيها . توجد في هذه الرسوبيات فجوات عديدة أنبوبية الشكل اتجاهها السائد هو الاتجاه العمودي على سطح الأرض .

تتصف الفجوات الأنبوبية عادة بأنها مبطنة بغشاء من كربونات الكالسيوم ويظن العلماء ان هذه الفجوات الأنبوبية هي آثار لجذور وجذيرات وسيقان النباتات الحشائشية التي تنتشر في مناطق الاستبس التي يترسب فيها الطيس . وقد بنيت المشاهدات التي قام بها بعض العلماء في شمال الصين ، حيث تتكون حتى الآن كميات كبيرة من الطيس الناتج عن ترسيب الغبار الذي تحمله الرياح القادمة من صحاري وسط آسيا . ان الطيس يترسب فوق حشائش الاستبس ويردمها وينمو في كل عام غطاء حشائشي جديد فوق مستوى أعلى بقليل من مستوى نمو الحشائش في العام الذي سبقه . يؤدي تحلل الحشائش التي ردمت الى تكوين الفراغات الانبوبية السالفة الذكر والتي تميز معظم رسوبيات الطيس . وبذلك يصح القول بأن العثور على رسوبيات من الطيس في السجل الجيولوجي يمكن ان يعتبر دليلاً على ترسيب في مناطق كانت تسود فيها ظروف مناخية تساعد على انتشار الاستبس .



شكل (٧ ـ ١٢)

رواسب الطيـــن

يعتقد العلماء ان رسوبيات الطيس الموجودة في أوربا ناتجة عن ترسيب في استيبس تحيط بالمناطق المتأثرة بالأعمار الجليدية وليس عن ترسيب في استيبس يحيط بالمناطق الصحراوية بالمعنى الدقيق لهذا اللفظ . ويظن هؤلاء العلماء أن الغبار المكون لهذا الطيس كان يأتي من الرسوبيات الجليدية التي كانت تجرفها الثلاجات على أطراف المناطق المغطاة بالجليد أثناء الأعمار الجليدية . وقد وضع بعض العلماء السوفييت نظرية تشرح نشأة الرياح التي كانت تسود آنذاك بين المناطق المتجمدة والمغطاة بالجليد أثناء الأعمار الجليدية والمناطق التي كانت تحيط بها والتي كان لها غطاء نباتي حشائشي مميز لمناطق الاستيبس . فيعتبر العلماء السوفيت ان الرياح الباردة المتراكمة فوق المناطق المغطاة بالثلوج تسبب وجود ضغط جوي عال فوق هذه المناطق ، يؤدي هذا الى نشأة تيارات من الرياح الباردة المتجهة من مركز الغطاء الجليدي الى أطرافه . كانت هذه الرياح الباردة تهبط تدريجياً أثناء هبوبها الى الجنوب (أي الى أطراف الغطاء الجليدي للنصف الشمالي للكرة الأرضية) وأثناء هبوطها كانت حرارة هذه الرياح تزداد بمقدار درجة مئوية واحدة لكل مائة متر . لذلك كانت هذه الرياح الساخنة نسبياً جافة جداً عند وصولها قرب أطراف الغلاف الجليدي وبذلك أصبحت هذه الرياح الجافة قادرة على حمل الحبيبات الدقيقة الموجودة في الرسوبيات الجليدية المتراكمة على أطراف الغلاف الجليدي . تظل الحبيبات الغبارية مغلقة في الهواء حتى تصل الرياح الى مناطق ذات رطوبة كافية لتساعد على اسقاط هذا الغبار وترسيبه خاصة في المناطق التي كانت مغطاة باستيبس حشائشية اثناء العصور الجليدية وهي نفسها المناطق التي نعثر فيها الآن في أوربا وغرب آسيا على رسوبيات الطيس .

لرواسب الطيس في وسط أوربا وفي كثير من المناطق الأخرى نوع مميز من الملامح الطبوغرافية والآثار الحية . اذ تظهر على هيئة جروف شديدة الانحدار غير قوية التماسك . وأحياناً على هيئة أعمدة طويلة جداً ومتراصة بجوار بعضها البعض كالمداخن المتراصة . تحفر الأنهار في هذه الأراضي وديانا عميقة ذات ضفاف مكونة جروفاً شديدة الانحدار . تؤثر عوامل التجوية على سطح طبقات الطيس في المناطق المناخية المعتدلة مثل وسط أوربا حيث يتكون هذا السطح من طين أو وحل Mud غني بالمعادن الطينية وأكاسيد الحديد ولذلك يميل لون الطيس المتجوي الى الاحمرار ، في حين تصبح

طبقة الطيس المتجوية خالية من الكربونات التي تذوب في الماء المتخلل من هذه الرسوبيات وتترسب ثانية على مستوى تحت مستوى طبقة الطيس المجوي ، وهنا تتكون درنات من الكربونات .

في المناطق الصحراوية الجافة تتكون عادة قشرة من الكربونات فوق سطح طبقات الطيس بالنظر لأن حركة المياه المتخللة للصخور الى السطح نتيجة للخاصية الشعرية حيث تتبخر تاركة الأملاح المذابة فيها على هيئة قشرة فوق أسطح الرسوبيات .

تسمى عملية تحويل الطيس الى طين أو وحل في المناطق المناخية المعتدلة بعملية التطين أو (اللهمنة) أثناء التاريخ الجيولوجي القديم الذي شهد ترسيب طبقات الطيس . ويستدل العلماء من ملاحظة مستويات اللهمنة هذه على الأعمار (الدافئة) البين ـ جليدية للدور الرابع . فالطيس نفسه يترسب أثناء الأعمار الجليدية أما الوحل والطين فيتكونان أثناء الفترات الزمنية التي كانت فيها مناخات هذه المناطق شبيهة بالمناخات الحالية .

وترجع التسمية الافرنجي للطيس Loess الى مدينة لوس التي تقع في منطقة الالزاس في شمال فرنسا . حيث توجد هذه الرواسب ولكن الصين وأمريكا الشمالية هي أكثر البلدان شهرة برواسب اللوس ، وتوجد بشمال الصين منطقة تبلغ مساحتها أكثر من (ربع مليون كيلومتر مربع) مغطاة برواسب الطيس التي يبلغ سمكها مئات من الأمتار ولاشك أن مصدر هذه الرواسب هو الصحاري الشاسعة التي تنتشر في آسيا الوسطى . وتكون منطقة الطيس الصينية هذه أغنى أنواع الترب في الصين . تجتاز هذه المنطقة جداول وانهار تقطع فيها الخوانق والأخاديد العميقة وتحمل منها كميات هائلة من الغرين الأصفر يصبها النهر الأصفر في بحر بنفس الاسم . لاشك أن السبب في هذه التسمية هو اللون الذي تضفيه هذه الرواسب على مياه النهر والبحر .

٧ ـ ٣ ـ الرسوبيات الصحراوية اللاريحية (غير الهوائية) :

توجد في بعض المناطق الصحراوية رسوبيات قديمة تراكمت تحت ظروف مناخية مختلفة عن الظروف الحالية ، فهناك بعض الأحواض المنخفضة المليئة برسوبيات طينية جرفتها الأنهار في الماضي من مناطق جبلية مجاورة وبعيدة . ويمكن ان تمتلىء هذه

الأحواض (أي المناطق المنخفضة) بالماء بعد فترة تساقط أمطار غير عادية مكونة مايسمى ببحيرات البلايا Playa Lakes وعندما يجف الماء تترك هذه البحيرات ورائها طبقة من الطين المتشقق . ويتركز الطين عادة في مثل هذه الظروف لأن عوامل التذرية تحمل حبيبات الرمل بسهولة عندما تجف بحيرات البلايا ولكنها لاتستطيع ان تحمل الطين الجاف المتماسك . ولذلك تزداد باستمرار نسبة حبيبات الطين والغرين في قيعان هذه البحيرات الجافة عند تكرار عملية التبلل والجفاف لهذه القيعان .

ويمكن أحياناً أن تتركز في مثل هذه الظروف طبقات من الجبس أو الملح في قيعان بحيرات البلايا اذا كانت الرسوبيات الأصلية لهذه القيعان تحتوي على نسبة معقولة من هذه الأملاح القابلة للذوبان في الماء ، اذ تصعد الى السطح مع الماء المتخلل داخل الرسوبيات عندما تجف هذه الرسوبيات . وبذلك تتركز الأملاح القابلة للذوبان في الماء (المتبخرات) فوق سطح بحيرات البلايا ، كما في بحيرة الشارع ، قرب سامراء .

٧ ـ ٣ ـ دورة الحت في البيئة الصحراوية :

هنالك ثلاثة مراحل تمر بها سلسلة جبلية تتعرض لعوامل الحت في البيئة الصحراوية . والسلسلة المبينة في هذا الشكل عبارة عن جبال تصدع تبدأ دورة التحات Erosion cycle ، والتي تؤدي الى ازالة السلسلة الجبلية فيما بعد وتحويلها الى منطقة منبسطة تعرف باسم السهب (السهل التحاتي) Peneplain ، فتبدأ هذه الدورة التحاتية في المناطق الصحراوية بحفر وديان عديدة على سفوح الجبال حيث تتراكم في منطقة قدم الجبل عدة مراوح نهرية ، تتكون كل مروحة منها عند التقاء المجرى النهري أو الجدول بالمنطقة السهلة المحاطة بالسلسلة الجبلية .

تتكون هذه الوديان في كثير من الأحيان نتيجة لفعل المياه الجارية التي كانت تؤثر على كثير من المناطق الصحراوية أثناء تاريخها القديم ، اذ ان معظم هذه المناطق كانت تنعم في أوقات مختلفة من تاريخها بمناخات أكثر رطوبة من المناخات التي تسودها الآن . يمكن ان يكون جزء كبير من رسوبيات السفوح هذه قد ترسب أيضاً بفعل

السيول الموسمية التي تحدث بعد فترة من تساقط الأمطار غير الاعتيادية في هذه المناطق الصحراوية .

في المرحلة التالية تزيل الرياح كمية كبيرة من هذه الرسوبيات وفي الوقت نفسه تؤدي عمليات البري والسحج بفعل الرياح الى تضاؤل الكتلة الجبلية . وتظهر منحدرات هذه الكتلة متآكلة وعارية تقريباً من الفتات الرسوبي ويسمى الجزء الأسفل لهذه المنحدرات بالمنحدرات أو البيديمنت Pediment ، ذلك لأن كل جانب من جانبي السلسلة الجبلية يكون سطحاً مائلاً يشبه أسطح المنازل المائلة والمثلثة في مقاطعها الجانبية المنتشرة في أوربا وشمال أمريكا وبلاد أخرى ، والتي تقام بميل مناسب يسمح بانزلاق الماء عليها عند تساقط الأمطار الغزيرة وتسمى قمة هذه الأسطح المثلثة المقطع مثل الأهرام بيديمنت .

يوجد فرق واضح في الميل بين الانحدارات الهرمية الواقعة على قدم الجبل والانحدارات القريبة من قمة الجبل . لايوجد حتى الآن تفسير مرضي للانكسار المفاجيء في الميل عند الحدود بين هذين النوعين من الانحدارات .

في المرحلة الأخيرة من دورة التحات للمناطق الصحراوية تزول السلسلة الجبلية ولايبقى منها الا بعض التلال المتناثرة .

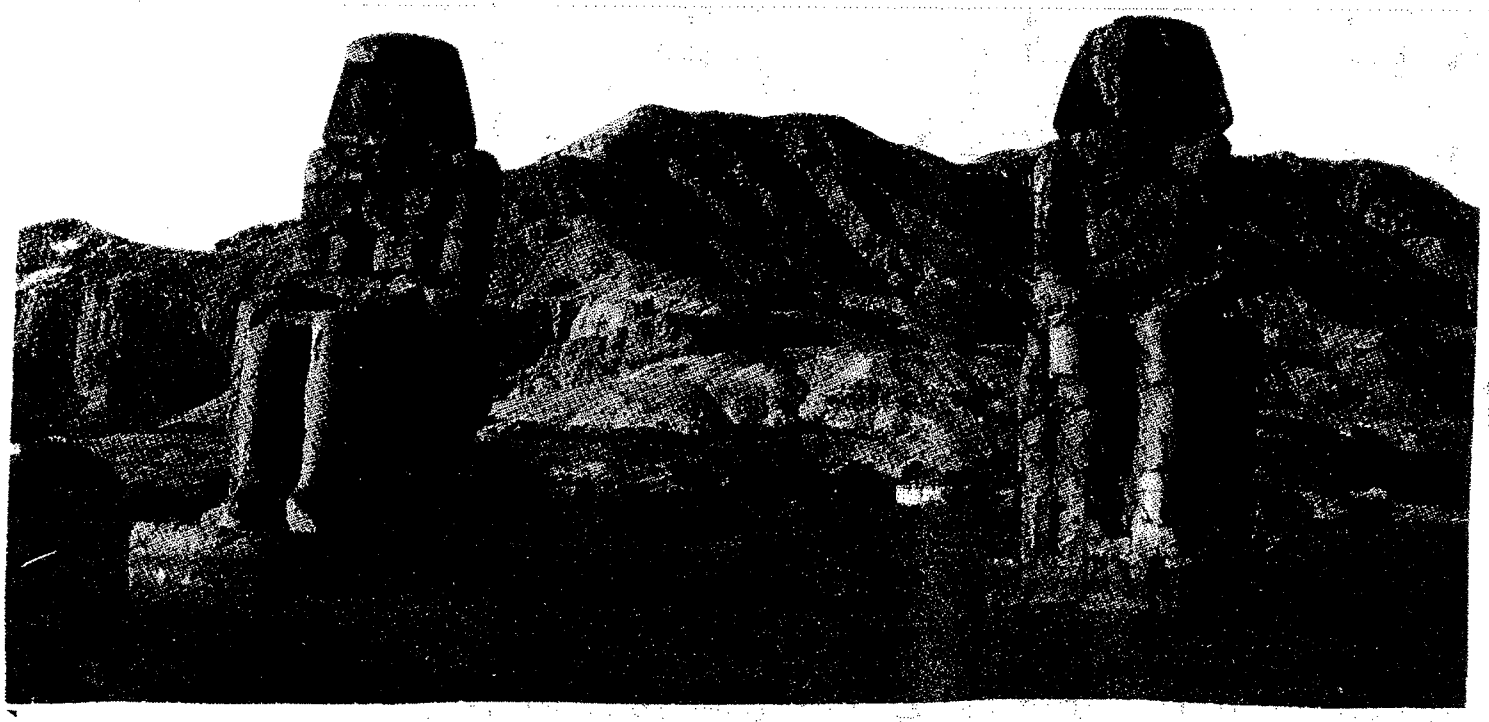
وتتميز تضاريس المناطق الصحراوية بحدة الزوايا حيث يكون سطح الأرض في هذه المناطق خالياً من أي غطاء نباتي أو وشاح صخري حطامي مما يؤدي الى بروز المكاشف الصخرية والطبقات المكونة لسطح القشرة الأرضية (الشكل ٧ ـ ١٣) .

وفي حالة وجود رسوبيات طينية ذات تماسك ضئيل مثل الطيس تؤدي عوامل الحت الى ظهور تضاريس غير منتظمة تنتشر فيها وديان عميقة تسمى بالحزن أو بالأراضي الممزقة (السيئة) Badland لصعوبة التجول فيها ولعدم امكانية استعمالها في أي غرض اقتصادي مثل الزراعة وانشاء الطرق ... الخ ، كما وأن الحت الريحي يؤثر في المنشآت الآثارية (شكل ٧ ـ ١٤) .



شكل (٧ ـ ١٣)

تضاريس المنطقة الصحراوية المتميزة بالزوايا الحادة



شكل (٧ـ ١٤)

عوامل الحت الريحي في بيئة صحراوية (مصر العربية)

٧ ـ ٤ العواصف الغبارية في العراق :

الغبار هو جزيئات صلبة تنقل بالهواء وقد تتكون بصورة طبيعية نتيجة للعوامل الحتية أو بصورة صناعية وذلك بسبب المقالع ومعامل الاسمنت . وبصورة عامة فان جزيئات الغبار غير منتظمة الشكل والحجم والذي يتراوح بين مائة مايكرون و٠,٥ من المايكرون . أما الغبار الخشن فقد يترسب ويستقر بالقرب من مصدره في حين ان الفتات الناعم من الغبار يبقى عالقاً وقد ينقل بالرياح الى مسافات بعيدة .

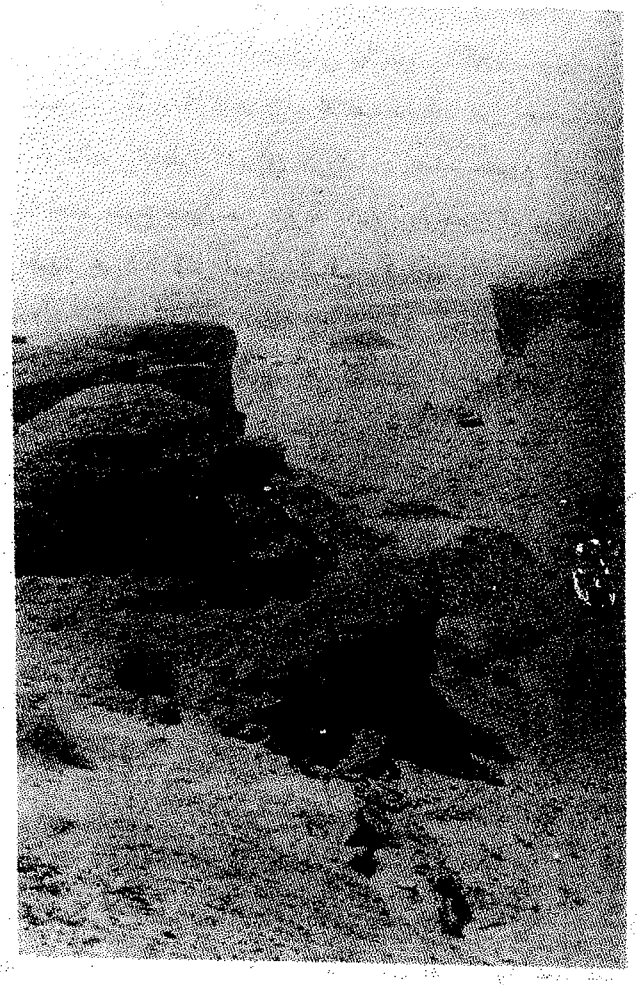
ان هذا الغبار يسقط ويترسب عندما تسقط عليه الأمطار . تعتبر العواصف الغبارية على أنها كتل هوائية مليئة بجزيئات الغبار الصغيرة والتي تحجب الرؤيا لمسافة ديلو متر واحد تقريباً ، وهي من معالم البيئة الصحراوية المميزة .

ان تكرار العواصف الغبارية والرملية في العراق في الوقت الحاضر تسبب معضلة بيئية تؤثر على صحة المجتمع وسلامته واقتصاده . ان الطبيعة الحيرية هي الصفة الغالبة للعواصف الغبارية العراقية وان سرعة ترسيب الغبار في العواصف الغبارية في وسط العراق تقدر بـ ٢,١ سم في السنة .

ان علاقة العواصف الغبارية بالتغيرات المناخية والتقلبات الجوية تدل على ان هنالك منطقتين واسعتين للعواصف الغبارية إحداهما وسط العراق أي فوق بغداد والأخرى في جنوب العراق أي شمال غرب البصرة ويمكن اعتبار المنطقة الجنوبية هي الأساسية والمنطقة الوسطية هي الثانوية .

أما في المنطقة الشمالية أي بالقرب من مدينة الموصل فقد وجد أن كمية الغبار الساقطة هناك تقدر بـ ٩,٧٦ طن لكل كيلومتر مربع .

ان سرعة ترسيب الغبار تزداد كلما اتجهنا من الشمال الى الجنوب حيث تصل الى أقصى درجة لها في الناصرية ، وتقل هذه العواصف باتجاه صفوان . ان مصدر غبار العواصف العراقية تحدد بالمنطقة المحصورة بين الناصرية والسماوة (شكل ٧ ـ ١٥)



(شکل ۷ ـ ۱۵)

٧ ـ ٥ ـ ظاهرة التصحر وطرق تثبيت الكثبان الرملية :

ان كلمة صحراء Desert مشتقة من الكلمة اللاتينية Desertis وهي الأرض العاقر أو القاحلة وهي عبارة عن منطقة جافة ليس بها ماء ولا كلاء . وليس أمراً يسيراً تحديد المفهوم العلمي للصحراء ، لأن كلمة صحراء يختلف معناها من اختصاص الى آخر ، فعالم النبات يرى ان خصائص الغطاء النباتي هو الذي يحدد مفهوم الصحراء ، وعالم التربة يرى ان الصحراء تحدد بنوع معين من التربة ذات لون معين أو درجة نضوج خاصة بها . أما عالم المناخ فيهتم بحركة كتل الهواء الجاف وكميات الأمطار الساقطة وغيرها من العوامل المناخية التي ترسم الحدود الفاصلة بين المناطق الجافة وشبه الجافة والرطبة . كما ان بعض العلماء اهتموا بنسبة الرطوبة في الجو لتحديد حالة الجفاف دون أخذ درجة التبخر بنظر الاعتبار . وبناءً على هذا فان جميع المفاهيم التي أعطيت للصحراء يمكن حصرها بأنها تلك المناطق التي تكون فيها موارد المياه قليلة جداً نتيجة قلة الأمطار وعدم انتظامها ونتيجة شدة التبخر بالاضافة الى التفاوت الشديد في درجات الحرارة بين الليل والنهار ، والصيف والشتاء ، كما ان تربتها تتميز بقلة مواردها العضوية بسبب قلة كثافة الغطاء النباتي الذي يكون مبعثراً هنا وهناك . وتتميز الصحراء باحتوائها على مناطق جرداء شاسعة خالية تماماً من الغطاء النباتي . كما وتعتبر الكثبان الرملية من أوضح معالمها الجيومورفولوجية (البتاتوني ، ١٩٧٦) .

لقد أعطى معجم الجيولوجيا (A. G. I.) تعريفين للصحراء الأول على أنها مناطق قادرة على تغذية أنواع محددة من الحياة فيها . ان هذا التعريف ينطبق على الأراضي التي تسقط عليها الأمطار بصورة قليلة جداً مما يؤدي الى وجود عدد قليل من الحيوانات والنباتات الخاصة والقادرة على التكيف لمثل هذا الجو الجاف .

من المعلوم ان حوالي خمس مساحة الكرة الأرضية تسقط عليها أمطار سنوياً بمعدل أقل من ٢٥٤ ملميتر وهو يعتبر صحراء في مفهوم هذا التعريف . أما التعريف الثاني فقد اعتبر الصحراء منطقة جرداء ، خالية من النباتات ولهذا فهي غير مهيأة لعيش الانسان فيها وقد قسمها المعجم الى أربعة أنواع :

١ ـ صحراء باردة وتشمل منطقة القطبين ، وصحارى الثلوج والتي تتميز بوجود الغطاء المتجمد الابدي ، وذات البرودة القارصة .

٢ ـ صحارى خطوط العرض الوسطي وهي صحاري تنتشر داخل القارات كصحراء كوبي Gobi . ويتصف هذا النوع من الصحاري بوجود الأمطار **القليلة** ، ودرجات الحرارة المرتفعة .

٣ ـ صحارى الرياح التجارية والتي تمتاز بوجود معدلات تساقط أمطار قليلة جداً وارتفاع درجات الحرارة اليومية ، مثل الصحراء الغربية في شمال أفريقيا ومنطقة السهل الرسوبي في العراق .

٤ ـ الصحاري الساحلية وتهب عليها التيارات الباردة مثل الصحاري الواقعة في الساحل الغربي في بيرو .

لقد عرّفت الصحراء أيضاً على أنها مناطق قاحلة غير مسكونة ، وذات أمطار قليلة وتبخر عال . ان هذه الظروف تؤدي الى نمو النباتات الهزيلة والقليلة ، وتكون هذه الأراضي ذات طوبوغرافية متباينة نتيجة عمليات التعرية والتحت . أما التصحر فيقصد به أحداث تغير في خصائص البيئة مما يؤدي الى خلق ظروف أكثر صحراوية أو أكثر جفافاً ، بمعنى آخر هي عملية تعميق للظروف الصحراوية من خلال انخفاض أو تدهور حمولة الطاقة البيولوجية للبيئة بما يقلل من قدرتها على اعالة استخدامات الأرض الريفية ، لذلك فان التصحر بالمفهوم البايولوجي هو تدهور قدرة الانتاج البايولوجية للأرض وبالتالي فهو توسع للرقعة الصحراوية مما يؤدي الى تراجع المناطق المزروعة والمنتجة خلف خطوطها الأصلية ، وهذا معناه انتشار مكاني للظروف الصحراوية في اتجاه المناطق الزراعية والعمرانية ، وذلك بسبب الرعي الجائر أو بسبب سوء استخدام الانسان للبيئة .

ان الهدف المباشر لمكافحة التصحر هو منع اندفاع الصحراء أو على الأقل وقفه ، واستصلاح الأراضي المتصحرة ، واستعادة انتاجيتها . أما الهدف النهائي فهو زيادة انتاجية الأرض وزيادة الرقعة الزراعية لذلك ينبغي أن تحتل خطة مكافحة التصحر الصدارة في الجهود التي تبذل من أجل التنمية وتوفير متطلبات الانسان الضرورية .

من المعلوم أن مظاهر التصحر وأشكاله تتباين من منطقة الى أخرى تبعاً لاختلاف المسببات التي تسهم في توسيع هذه المشكلة . وهذه تتلخص بما يأتي :

أ ـ حت الجزء العلوي من التربة :

وذلك نتيجة تدمير الغطاء النباتي الواقي للتربة مما يؤدي الى زيادة عملية الحت ومن ثم انجراف الجزء العلوي من التربة نتيجة هذه العوامل .

ب ـ نشاط الكثبان الرملية :

ان حركة الكثبان الرملية في أية منطقة يشكل خطورة كبيرة عليها لكونها السبب الرئيسي في تدمير الأراضي الحضارية والزراعية مما يجعل المنطقة المتأثرة بهذه الحركة تتحول الى منطقة تعاني من ظاهرة التصحر الشديد . فعلى سبيل المثال لا الحصر ، غطت الكثبان الرملية المتحركة مشروعات الري والصرف في مناطق المسيب وشمال شرق الحلة والديوانية وجنوب خط النجف ـ الزبير .

جـ ـ تقلص الغطاء النباتي :

ان تقلص الغطاء النباتي وتدهور نوعيته يعتبر صورة من صور التصحر وبداية لمرحلة انعدام النبات بصورة تامة ومن ثم بداية المرحلة الأولى من حت التربة أو ازالتها .

د ـ ملوحة التربة :

ان زيادة الأملاح في التربة الزراعية كما هو الحال في جنوب العراق ووسطه يقلل من الخصوبة الانتاجية للتربة . لقد أصبحت هذه المشكلة تشكل تهديداً خطيراً لمستقبل الانتاج الزراعي في المنطقة .

هـ ـ زيادة كمية الغبار في الهواء :

تعتبر هذه الظاهرة من المؤثرات الأساسية لظاهرة التصحر في أولى مراحلها وهذا يعني أن التربة أصبحت معرضة لعمليات الجرف والتذرية الشديدتين .

حالات التصحر ودرجة خطورتها :

تختلف حالات التصحر ودرجة خطورتها من منطقة الى أخرى تبعاً لاختلاف البيئة وطبيعة المنطقة والمناخ السائد فيها ، وعليه فان هناك أربع درجات لحالات التصحر في العالم هي :

الدرجة الأولى : تصحر خفيف Slight desertification :

ويدل عليه وجود تلف أو تدمير قليل جداً في الغطاء النباتي والتربة مع عدم التأثير بشكل واضح على القدرة البيولوجية للبيئة .

الدرجة الثانية : تصحر متوسط أو معتدل Moderate desertification :

ويدل عليه حدوث تلف بدرجة متوسطة للغطاء النباتي وتكوين كثبان رملية صغيرة ، كما تظهر حالة تملح واضحة للتربة مما يسبب قلة في الانتاج الزراعي تتراوح بين ١٠ ٪ ـ ٥٠ ٪ .

الدرجة الثالثة : تصحر شديد Severe desertification :

تعتبر عملية الحت بنوعيها ، هوائية كانت أم مائية ، اكتساحية في هذه الدرجة من التصحر مما يؤدي الى ازالة الغطاء النباتي وظهور حشائش وشجيرات غير مرغوب فيها على حساب الأنواع الرعوية الأصلية والمرغوب فيها كما ويزداد تملح التربة . ان هذه المميزات تقلل الانتاج بنسبة أكثر من ٥٠ ٪ .

الدرجة الرابعة : تصحر شديد جداً Very severe desertification :

تعتبر المنطقة شديدة التصحر جداً عندما تتكون الكثبان الرملية الكبيرة والعارية والنشيطة ، وتزداد درجة ملوحة التربة فيها ، مما يفقدها قدرتها الانتاجية بصورة ثابتة . ان هذه الدرجة من التصحر تعد من أخطر الحالات ، حيث تتحول المنطقة كلياً الى النمط الصحراوي الحقيقي بحيث يصبح استصلاحها واستعادة قدراتها البيولوجية مرة ثانية عملية صعبة جداً ، وكثيراً ماتكون غير اقتصادية .

ان هذا يؤكد أهمية مكافحة التصحر في أول مراحله قبل استفحاله ومن ثم فقدان السيطرة عليه . وان خطورة التصحر لأية منطقة ترتفع في حالة كون المنطقة هدفاً للتصحر السريع جداً ، مع ثبات الظروف الطبيعية القائمة دون تغيير . فالتعرف على درجة خطورة التصحر مهم جداً لكونه يدل على سرعة تدهور النظام البيئي لمنطقة ما مما يساعد على وضع الحلول المناسبة في الزمان والمكان المناسبين .

لقد بينت الدراسة التي قدمها (الطائي ، ١٩٨٤) في الندوة العربية الأولى لتثبيت الكثبان الرملية ومكافحة التصحر في بغداد ان اكثر من ٨٥ ٪ من ترب العراق متأثرة باحدى فعاليات التصحر بدرجة أو بأخرى حسب النسب الآتية :

١ ـ تعرية ريحية :	
أ) تعرية ريحية ضئيلة	٣٠ ٪
ب) تعرية ريحية متوسطة	٣٢ ٪
ج) تعرية ريحية شديدة	١٦ ٪
د) تعرية ريحية شديدة وغطاء رملي	٢ر٤ ٪
هـ) تعرية ريحية شديدة جداً	١ر٢ ٪
٢ ـ كثبان رملية وشبه رملية :	
أ) كثبان شبه رملية	٥ر٠ ٪
ب) كثبان رملية	٦ر٠ ٪
٣ ـ أراضي ملحيـــة	٣ر٢ ٪
٤ ـ أراضي غدقـــة	٨ر٠ ٪

ان هـذه الـدراسـة تبين أن (٣٢٥٠٠) كيلو متراً مربعاً من منطقـة السهل الرسـوبي متأثر بالحت الريحي الشديد جداً . كما وان تواجد الكثبـان الرمليـة المتحركـة والتي تؤثر تأثيراً سيئـاً على المرافق الحيويـة في المنطقـة وخصوصاً على المصب العـام جعلت المنطقـة ذات تصحر شديد .

طرق مكافحة التصحر :

تبلغ المساحة الكلية للعالم حوالي ١٣٣ر٩ مليون كم٢ منهـا ٤٨ر٦ مليون كم٢ تمثل مجموع مساحة أراضي المناطق القاحلـة (التصحريـة) والتي تبلغ نسبتهـا ٣٦ر٣ ٪ . يعيش ١٦ ٪ من سكان العالم على هذه الأراضي . تضم المنطقة العربية أوسع الأقاليم الجـافـة في العـالم ، حيث تبلغ مساحة الصحراء الكبرى في شمال افريقيـا حوالي ٩ ملايين كم٢ . أمـا في آسـيـ

فتبلغ مساحة الأراضي الجافة حوالي ٣ ملايين كم٢ وتقع صحاري شبه الجزيرة العربية ضمن هذه المساحة ان هذه الأرقام تقارب المساحات التي تقل فيها كمية الأمطار الساقطة عن ٣٠٠ ملم / سنة في ارجاء الوطن العربي ، حيث تبلغ ١١ر٢٥ مليون كم٢ وتقع ٢ر٢ مليون كم٢ منها ضمن حدود المملكة العربية السعودية . وبما ان المساحة الكلية للوطن العربي هي ١٤ مليون كيلومتر مربع ، منها ٢ر٧٥ مليون كيلومتر مربع تزيد فيها الأمطار عن ٣٠٠ مليمتر في السنة ، يتبين لنا ان حوالي ٨٠ ٪ من مساحة الوطن العربي أراضي معرضة للتصحر ، الا اذا اتخذت الاجراءات اللازمة للحد من ذلك . ويمكن تلخيص الأهداف التي نسعى للوصول اليها من أجل السيطرة على الرمال الهوائية بما يأتي :

١ ـ العمل على تثبيت التجمعات الرملية (أي الكثبان الرملية) وعدم تقدمها بصورة تدريجية على المواقع المدنية أو الزراعية المنتجة أو الستراتيجية .

٢ ـ العمل على تحويل مسار الرمال التي تذروها الرياح بعيداً عن المساحات المزمع الحفاظ عليها .

٣ ـ العمل على ايقاف الرمال بصفة مباشرة ودائمة ، أو سجن الرمال واحتجازها قبل مسافة من الموقع المراد حفظه .

وبصورة عامة فان العالم بدأ باستخدام عدة طرق لمنع تقدم الكثبان الرملية بصورة مفردة أو جماعية (Keer et el., 1952) وهذه الطرق هي :

أ ـ حفر خنادق	Trenching
ب ـ التحويل أو النقل	Transporting
ج ـ التشجير	Planting
د ـ تغيير اتجاه حركة الرياح	Panelling
هـ ـ بناء الأسيجة	Fencing
و ـ التزييت	Oilfing

أ ـ حفر الخنادق :

تتلخص هذه الطريقة بتخريب وهدم الكثبان ، وذلك بقطع أو بحفر خنادق طولية وعرضية خلالها لهدم نظام تكونها بواسطة البلدوزر . وقد استعملت هذه الطريقة بنجاح في بناء الطريق المرتفع في صحراء (Yuma) يامًا بين كاليفورنيا واريزونا ، حيث تبقى هذه الخنادق فترة طويلة قبل أن يعاد دفنها نتيجة تجمع الرمال فيها ، ولذلك يجب اعاد حفرها بصورة دورية (Keer et al., 1952) .

ب ـ التحويل أو النقل :

ويقصد بها تحويل الكثبان الرملية ، وذلك بنقلها من مكانها الأصلي الى مكان آخر . وتتم هذه الطريقة بتحطيم التجمعات الرملية وازالة الرمال من مواقعها الأصلية بواسطة **الآلات** الجارفة والرافعات ومن ثم اقامة الحواجز والسدود الترابية على ارتفاعات مختلفة .

تفرض الأساسي من اقامة هذه السدود هو تشكيل خطوط حجز متفاوتة ومن ثم **تحجيم** الكثبان واعاقة حركتها ، لذلك يطلق على هذه الطريقة في منطقة الدراسة اسم **السدود** الترابية . ان هذه السدود تعمل على حماية النباتات والأشجار المزروعة من خطر **تراكم** الرمل عليها أو طمر السواقي والقنوات الموازية لها . أما الأراضي الواقعة بين هذه السدود فترفع الرمال منها صناعياً ، حيث يتم انشاء سدة ترابية عرضية بين السدود السابقة على ان تكون متعامدة مع اتجاه الرياح السائدة في المنطقة . بهذه العملية يتم حصر الكثبان الرملية داخل مربعات كبيرة لتحديد حركتها (تقرير داخلي من دائرة تثبيت الكثبان في الرميلة في منطقة المصب العام) . ان ارتفاع الحواجز الترابية يتراوح بين ٢ ـ ٥ م اعتماداً على ارتفاع الكثبان الرملية الموجودة في المنطقة . لقد أجريت دراسة حقلية لحساب كمية الرمال المتراكمة على جانبي السدة الترابية (أي كميات الرمال التي تم اعاقتها ومنع وصولها الى المصب العام بفعل هذه السدود) . فبلغت حوالي ٩٠٠٠ م ٣ متجمعة خلال سنة واحدة على جانبي سدة طولها كيلومتر واحد ، مع العلم أن المسافة بين الكثبان الرملية وهذه السدة هي ٢ ـ ٣ كم .

ومن الجدير بالذكر ان كميات الرمال المترسبة تزداد كلما كانت الكثبان الرملية قريبة من السدة الترابية كما لوحظ نمو النباتات الطبيعية والادغال بشكل جيد وبكثافة كبيرة في المنطقة . الا ان هذه النباتات تقل الى درجة الانعدام تقريباً خارج هذه السدود .

لقد أجريت بعض التجارب الحقلية ، وذلك باقامة سدود ترابية بزاوية منفرجة على اتجاه الرياح السائدة مما شتت عمل الرياح المحملة بالرمال حيث تم ترسيبها خارج المناطق المراد حمايتها . ونعتقد ان هذه الطريقة غير عملية وغير اقتصادية الا أنها متبعة في منطقة الدراسة لحماية مشروع المصب العام من خطر زحف الرمال نحوه ومنع طمره والقضاء عليه مما يؤدي الى انهاء احدى المشاريع الستراتيجية العملاقة في القطر العراقي .

ج - التشجير :

تعتبر هذه الطريقة من أحسن وأفضل الطرق ذات الفعالية العالية للسيطرة على الرمال الهوائية ، وذلك باستخدام الزراعة لوقف وتقييد حركة الرمال . ان طبيعة الغطاء النباتي يجب ان تكون من النوع العشبي كالمراعي والبقليات أو خشبي كالأشجار والشجيرات ، لأن هذه الأنواع بطيئة النمو في الأراضي المجدبة والمتآكلة وذات الرياح العالية . عند استعمال هذه الطريقة يجب الأخذ بنظر الاعتبار توفر الوسائل الملائمة لزراعة النباتات الدائمية بواسطة البذور وعمل المهاد Mulching (وهي طبقة من النشارة أو التبن تفرض على الأرض لوقاية جذور النباتات الغضة من الحرارة أو البرد) . كما يجب توفير الكميات الكافية من المياه لاروائها . وبهذه الطريقة يتم تثبيت الكثبان الرملية بصورة دائمة ومستمرة (Keer et al., 1952) .

لقد اتبعت هذه الطريقة بنجاح في منطقة الربع الخالي في المملكة العربية السعودية وفي دولة الامارات العربية المتحدة (غنيمي ، ١٩٨٠) . كما ان هذه الطريقة متبعة في منطقة الفجر في السهل الرسوبي لحماية مشروع المصب العام .

ان جميع طرق تثبيت الكثبان الرملية تعتبر مؤقتة لأنها تخدم لفترة معينة أي لغاية نمو النباتات والأشجار المزروعة ، وذلك لغرض توفير غطاء نباتي يعمل على تماسك سطح التربة ومنع انجرافها . كما انها تحافظ على المنطقة من التصحر لأنها تحوّل المنطقة من أراضي مجدبة الى أراضي خصبة . ففي منطقة المصب العام تزرع أشجار الاثل Tamarix articulate ونبات الدخن الأزرق Panicum spp. لمقاومته الجفاف . كما تزرع نباتات اليوكالبتوس Eucalyptus والكزم Casuarina spp. والاكاسيا Acacia spp. والطرفة Tamarix spp. والسدر والاتربلكس . الا أنه في بعض الحالات يوجد غطاء نباتي طبيعي على قمم الكثبان الرملية في منطقة الدراسة ، لذلك وجب المحافظة عليه وذلك بالري المستمر وعدم اقتلاعه لأن سيقان الأشجار وأوراقها المكونة للغطاء النباتي تساعد على تماسك رمال الكثبان كما انها تكوّن احماضاً دبالية تقلل من تبخر الماء الكامن في الكثبان وتزيد من خصوبة التربة .

د ـ تغيير اتجاه حركة الرمال :

تعتمد هذه الطريقة على مبدأين ، الأول هو العمل على حرف الرمال عن طريق سيرها الاعتيادي ، أو العمل على الايقاف المباشر للرمال . وهذا يحصل بوجود حاجز صلب قائم مباشرة أمام سير الرياح ، يقام أمام المساحة المراد الحفاظ عليها ، ويقع على مسافة منها . هذه الحواجز تشيد من الخشب أو تبنى بناءً متكاملاً بزاوية مائلة معترضة طريق الرياح . ويمكن ان تكون ذات انحدار مفرد أو على شكل الرقم سبعة (٧) .

وبهذه الطريقة يتم تغيير اتجاه حركة الرمال وتحويلها عن الطريق الذي تسلكه .

وقد تعمل هذه الحواجز على انحباس الرمال القادمة اليها نتيجة اصطدام الرياح القادمة بجزء من الجدار المائل بالنسبة لاتجاه سير الرياح ، وهذا يؤدي الى الايقاف المباشر للرمال وسقوطها بزاوية عمودية . لقد أعطت التجارب التي أجريت على هذا الأسلوب نتائج غير مشجعة اضافة الى كونها غالية التكاليف .

كما وأن الاستفادة منها محددة ، لأن الجدران يجب أن تكون طويلة وقائمة بصورة مستمرة ، والا تصبح المنطقة التي يراد المحافظة عليها صغيرة وضيقة ، اضافة الى ان كمية الرمال التي يتم اصطيادها بهذه الطريقة قليلة جداً ومحددة ، لذلك فاننا لانتصح بهذه الطريقة للأسباب المذكورة أعلاه . الا انها قد تكون مفيدة اذا ما استخدمت مع الطرق التي سبق ذكرها .

هـ ـ عمل الأسيجة :

ان هذه الطريقة تعتمد على تحطيم التجمعات الرملية والعمل على استقرارها وذلك باستعمال الأسيجة . ان هذه الطريقة تختلف عن بعض الطرق الأخرى في عدة قواعد منها أن عمل الأسيجة يجب أن يتم باستعمال مواد ذات طبيعة محلية ويجب أن تكون خفيفة نسبياً ومرنة أي قابلة للانثناء والنقل وسهلة التركيب والانشاء ومعتدلة السعر ، وأن المواد المستعملة فيها تزرع محلياً كسعف النخيل أو القصب أو شرائح الخشب . حيث تلصق مع بعضها البعض أو تشد بصورة عمودية أو أفقية لتصبح جاهزة للاستعمال . وعندما تدفن قاعدة الأسيجة بالرمال يجب وضع أسيجة جديدة فوق القديمة لتكوين قمة جديدة لتصبح بعد ذلك حجاباً واقياً ، وهكذا . لقد أجريت هذه الطريقة لتثبيت الكثبان الرملية في منطقة المصب العام ، حيث غرست النباتات الجافة بصورة قائمة في خنادق ذات عمق يتراوح بين ١٥ ـ ٢٠ سم وبارتفاع يتراوح بين ٢٥ ـ ٤٠ سم فوق سطح الأرض وعلى شكل خطوط متوازية على اتجاه الرياح . ان النباتات المستعملة في صنع هذه الأسيجة هي نباتات الطرطيح Saueda spp. والأرطة Calligonum spp. والعاكول Alhagi mauroum وسعف النخيل .

و ـ التزييت :

ان تثبيت التجمعات الرملية ممكن أن ينجز بصورة كفوءة وسريعة ورخيصة في البلدان النفطية باستعمال المنتجات النفطية لأن تحطيم تناظر الكثيب الرملي يتم بتغطية

الجهة المقابلة للرياح من الكثيب أو أجنحته بالاسناد للحد من حركته . ان هذه الطريقة من أكثر الطرق التي يمكن عمليا واجراؤها على الصعيد العالمي ، حيث يتوقف زحف الكثبان بواسطة تزييت سطحها بصورة تامة . كما يمكن استعمال هذه الطريقة لتزييت طبقات الرمال الممتدة بين الأسيجة لحفظها من الرمال (Keer et al. 1952) ولقد بينت الدراسة ان النفط يوفر للطبقة السطحية الرملية تثبيتاً يدوم عادة من سنة الى عدة سنوات حسب كفاءة المادة النفطية وحجم المادة المرشة على وحدة المساحة . ان هذه الفترة في التثبيت التي توفرها المشتقات النفطية تفسح المجال لعمليات التشجير وتنمية الغطاء النباتي الذي يقوم بدوره بالتثبيت الدائمي . أما في الحالات التي لا تجري فيها تنمية غطاء نباتي ، وذلك لعدم توفر المياه أو لأي سبب آخر فيجري اعادة رش دورياً كل عدة سنوات . ومن ضمن النتائج التي حصل عليها كل من (مولود وآخرين ، ١٩٨٤) خلال تجاربهم حول تأثير مشتقات النفط على الخواص الفيزيائية للتربة هو اعتماد هذه التأثيرات على نوع المادة النفطية المستخدمة وكميتها ، بالاضافة الى تأثير نوع التربة ، وقد كان تأثير المشتقات النفطية واضحاً في تغيير الخواص الفيزيائية للتربة ، وبالامكان استخدام مادتي مستخلب البتيومين والنفط الأسود كمحسنات للخواص الفيزيائية للتربة مع الأخذ بنظر الاعتبار مستوى الاضافة المناسب . ففي منطقة المصب العام جرى استخدام المشتقات النفطية مثل زيت الاكستراكست مع عدد من المذيبات العضوية . ان الملاحظة الأولية على التجارب الحقلية هي تكون قشرة بلاستيكية مع تكون طبقة من المشتق النفطي بعمق يتراوح بين ١ ـ ٥ سنتيمتر ، وهذه الطبقة تعيق نفاذية مياه الأمطار الساقطة ، هذا بالاضافة الى موت النباتات النامية على المناطق المعاملة بهذه الطريقة . لقد اثبت هذا الأسلوب فشله التام في السيطرة على زحف الكثبان الرملية في منطقة المصب العام ، ولذلك ترك العمل بهذه الطريقة .

ز ـ التثبيت بواسطة تغطية الكثيب الرملي بالمواد الطينية :

يتم بهذه الطريقة نقل المواد الطينية من مصادر قريبة لتغطية سطح الكثيب بسمك يتراوح بين ٢٠ ـ ٣٠ سنتيمتر .

ان التثبيت في هذه الحالة يكون للكثيب ككل ، حيث ان الطبقة الطينية الممتدة على سطح الكثبان وخاصة بعد ضغطها بالمكائن الثقيلة ، تحد من تأثير الرياح عليها ومن ثم تمنع الرمال المكونة للكثيب من الانتقال ، تزداد فعالية هذه الطبقة بعد سقوط الأمطار عليها لأن الكثبان الرملية المغطاة تغطية كاملة تشكل حواجز طبيعية تعمل على الحد من سرعة الرياح واضعافها ومن ثم التقليل من تأثيرها . ومن المشاهدات الحقلية التي سجلت على هذه الطريقة ظاهرة تكسر الطبقة الطينية وتكوّن الشقوق الواسعة فيها بعد مرور فترة من الوقت ، حيث تظهر رمال الكثيب الى السطح لتكون تحت تأثير الرياح ، ومن ثم تتكرر عملية النقل ثانية ، لذلك تعتبر هذه الطريقة غير اقتصادية ومكلفة ، وهناكْ بعض الطرق لتثبيت الكثبان الرملية وهي مزيج من الطرق التقليدية وبعض الطرق الحديثة ومنها :

العمل على التقليل من ارتفاع الكثبان الرملية ، وذلك بمنع الامداد الرملي عنها والعمل على خفض ارتفاع الكثبان بنقل الرمال من الجهة المقابلة للرياح من الكثيب الى الجهة المحجوبة عن الرياح لنفس الكثيب حتى تتم تسوية قمة الكثيب بباقي أجزائه ، في هذه الحالة يتوقف عن الحركة . ان هذه الطريقة غير اقتصادية وغير عملية ولكنها ممكنة التطبيق على نطاق ضيق جداً ، كمناطق الكثبان الرملية المحيطة بأماكن العمران أو ماشابه ذلك .

يمكن ان تتوقف حركة الكثيب بغرس دعامات خشبية أو غيرها في هذه الكثبان وفي الجهة المقابلة لاتجاه هبوب الرياح . أما الطريقة الأخيرة فتدعى بقتل الكثبان Killing of dunes ، وذلك بفرشها بطبقة من الحصى وعلى جوانبها المقابلة لاتجاه هبوب الرياح مما يؤدي الى الاقلال من تطاير الرمال مع هبوب الرياح .

من در لطرق الثلاثة السابقة نرى أنها غير عملية ومكلفة ولاتطبق على نطاق واسع ، ولذلك أهمل العمل بها .

الفصل الثامـــن

المياه الجارية وعملهـــا

٨ ـ ١ ـ توزيع مياه الأمطار المتساقطة فوق سطح الأرض اليابسة :

تتوزع المياه الساقطة على الأرض كما يأتي :

١ ـ جزء يتبخر مباشرة ويعود الى الغلاف الجوي .

٢ ـ جزء يجري على السطح الى أسفل المنحدرات تتكون منه الأنهار والجداول ويسمى هذا الجزء بالماء السطحي أو الماء الجاري Surface or running water .

٣ ـ جزء يدخل التربة ويتسرب منها الى الصخور التي توجد تحتها يسمى هذا الجزء من الماء بالماء المتخلل Percolating water ، وهو المكون الأساس لما يعرف باسم المياه الجوفية Ground water .

هناك ثلاثة عوامل أساسية تؤثر في توزيع مياه الأمطار المتساقطة على سطح الأرض وهي :

١ ـ التبخر : Evaporation

تتوقف كمية الماء المتبخر على (١) درجة حرارة الهواء و(٢) درجة رطوبة الرياح التي تسبب تحريك الهواء وتجدده . فللهواء المتحرك قدرة أكبر من قدرة الهواء الساكن على ازالة الرطوبة الناتجة عن التبخر فوق منطقة معينة ، فاذا كانت هناك منطقتان متماثلتان في كل من (١) درجة حرارة الجو السائد عليها و(٢) رطوبته ، فان التبخر في المنطقة ذات الهواء المتحرك يكون أكثر شدة من التبخر في المنطقة ذات الهواء الساكن . تتوقف كمية الماء المتبخر أيضاً على (٣) درجة حرارة السطح الذي تسقط عليه

الأمطار . تدخل عادة كمية الماء الذي تطرحه النباتات في عملية النتح Transpiration ضمن حساب الماء المتبخر . تدل الاحصائيات في معظم الأقطار العربية ذات المناخ الصحراوي على أن أكبر نسبة من التبخر تحدث في شهر تموز وأدناها في شهر كانون الثاني .

٢ ـ التضاريس والغطاء النباتي Topography and Vegetation :

تزيد سفوح الجبال الشديدة الانحدار من كمية الماء الجاري ، خاصة اذا كان سطح الأرض على هذه السفوح عارياً من النباتات ، وعلى العكس من ذلك تزداد نسبة التبخر ويقل الماء الجاري على الأسطح المنبسطة التي تكسوها النباتات .

تحمل الأشجار والنباتات التي تمتص كمية كبيرة من مياه الأمطار على خفض نسبة الماء المتغلل والماء الجاري في أي منطقة وتزداد في نفس الوقت نسبة التبخر في المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف . أما في المناطق الجرداء فتحفر الأمطار أودية عميقة أثناء جريانها على سطح الأرض ، وهذا يمكن أن يؤثر في الطرق المرصوفة في مثل هذه المناطق ، كما هي الحال في كثير من المناطق الصحراوية الجبلية التي تداهمها السيول عند تساقط الأمطار الغزيرة غير الاعتيادية .

٣ ـ طبيعة الصخور الواقعة تحت التربة Nature of subsioi rocks :

تؤثر طبيعة هذه الصخور على النسبة بين الماء المنطلق والمتخلل تأثيراً كبيراً ، ففي حالة وجود طبقة من الطين المصمت مكشوفة على سطح الأرض فانها تمنع الى حد كبير تخلل الماء في الصخور وتؤدي الى زيادة كمية الماء الجاري في المنطقة المجاورة لها . أما في حالة وجود مكاشف من الصخور الرملي النفاذ ، فتكون نسبة الماء المتخلل كبيرة ومن ثم تنقص كمية الماء الجاري . يمكن ان يتخلل الماء بعض الصخور المصمتة نتيجة لوجود كسور وتشققات وفواصل في تلك الصخور (تراكيب

ثانوية) انَّ وجود طبقات من الوشاح الصخري المصمت فوق أي نوع من الصخور يزيد أيضاً من نسبة الماء الجاري في المنطقة .

من خلال المناقشة السالفة يتحتم على الجيومورفولوجي دراسة كل منطقة على حدة من حيث تضاريسها وغطائها النباتي وطبيعة صخورها وكثافة الأمطار التي تتساقط عليها لتحديد كميات الماء المتخلل والماء الجاري المتوفر في كل منطقة منها .

يميز العلماء ثلاثة أنواع من الماء الذي يمكن أن يوجد في الصخور أو أن يتدفق على سطح الأرض :

١ ـ النوع الأول : الماء الناتج عن تساقط الأمطار ، وهو الماء الذي يشترك حالياً في دورة الماء المبينة في الشكل (٥ ـ ١) . ويعرف هذا النوع بالماء الجوي Meteoric water .

٢ ـ النوع الثاني : الماء الحبيس في مسام الصخور والمتبقي من الوسط المائي الأصلي الذي تترسب منه الصخور ، يسمى هذا الماء بالماء المقرون Connate water ، وهو ماء مالح لأن معظم الصخور الرسوبية تترسب من وسط مائي بحري ، هذا الماء هو ماء البحر الأصلي الذي احتبس في مسام الرسوبيات أثناء تراكمها . يوجد هذا النوع في معظم الصخور الرسوبية التي تمر خلالها الآبار العميقة خلال عمليات التنقيب عن النفط . أما قرب سطح الأرض فيختلط الماء المقرون بالماء الجوي ويمكن أن تتغير صفاته وتكوينه الكيميائي تماماً طبقاً للظروف السائدة في المناطق الجغرافية المختلفة .

٣ ـ النوع الثالث : الماء المنبثق من باطن الأرض نتيجة النشاط البركاني وهو الماء المتبقي من تبلور الصهير . ونسبة هذا النوع الى الماء الجوي ضئيلة جداً قرب سطح الأرض ويسمى الماء المتبقي من تبلور الصهير بالماء الصهاري Juvenil water الذي يكوّن معظم المحاليل الحارة التي ترسب الكثير من الخامات الفلزية .

ان الدور الجيومورفولوجي للمياه الصهارية المقرونة في العمليات الخارجية محدودة جداً . في الفقرات الآتية نورد الدور الجيومورفولوجي لكل من المياه الجوية الجوفية والمياه الجوية الجارية .

٨ - ٢ - المياه الجارية :

تعريف المياه الجارية وتبيين مدى تأثيرها على المساحات القارية :

يعتبر الماء أحد القوى الخارجية الأساسية في تسوية سطح الأرض وبنائه بما يقوم به من تعرية وتحات وبناء . تتخذ المياه الجارية أو السطحية (Running or surface waters) طريقها مع انحدار الأرض (الجاذبية) حتى تصل الى البحر أو البحيرة أو المحيط أو الى أية منطقة منخفضة .

تعتبر المياه الجارية أهم العوامل الحتية الثلاثة : الهواء والماء ، والجليد ، يسقط على سطح اليابسة كل عام حوالي ٩٩ر٠٠٠ كيلومتر مكعب من مياه الأمطار والثلوج ، تتصرف ٢٢ ٪ من هذه الكمية الهائلة من الماء الى البحر ، ومن ثم يمكن تصور مقدار الطاقة الجبارة التي تنشأ عن حركة هذه المياه وهي في طريقها الى البحر ، خاصة اذا علمنا انها تنحدر من ارتفاع يبلغ متوسطه حوالي كيلومتراً حتى تصل الى هذا المنسوب (متوسط ارتفاع التضاريس لسطح الأرض) .

تستهلك هذه الطاقة في حت وتفتيت الصخور التي تسقط عليها الأمطار عند منابع الأنهار ، كذلك الصخور المكونة لقيعان وجوانب المجاري المائية المختلفة . تقوم المياه أيضاً بنقل هذه الكميات الهائلة من الحطام والفتات الصخري الى البحار . يقدر وزن ماتحمله الأنهار الى البحار بحوالي ٨٠٠٠ مليون طن سنوياً منها ٣٠ ٪ من المواد الذائبة والباقي من الفتات الصخري ، ينقل نهر دجله وحده حوالي ٦٣ مليون طن من هذه الحمولة في حين أن أنهار أمريكا الشمالية تنقل حوالي ٦٠٤ مليون طن وأمريكا الجنوبية ٦٠٩ مليون ، وقارة أفريقيا ٢١٦ مليون ، وقارة استراليا ٤٧ر٠ مليون ، وأوربا ١٢٢ر٠ مليون وقارة آسيا ٦٤١٥ مليون طن سنوياً .

تتوقف قدرة النهر على الحت على حجم ما يجري فيه من ماء وعلى سرعة تياره . وبناءً على حساب حمولة أنهار أمريكا الشمالية قدّر الطهاء أنها تعمل على خفض سطح تلك القارة بمعدل ٣ سنتيمتر كل ٨٠٠٠ سنة (هي مدة لاتذكر بالنسبة للأزمنة الجيولوجية) . من هذا يتضح مدى التغيير الذي تحدثه الأنهار في سطح القشرة الأرضية .

المصدر الرئيسي للمياه الجارية هو السقط (الأمطار والثلوج) وان جزءاً منها يأتي عن طريق تفجر العيون والآبار ، ولو أن مصدر هذه في الأصل هو السقط أيضاً . يسمى جزءاً من مياه الأمطار الذي ينطلق على السطح على هيئة أنهار بالماء المنطلق (الماء الجاري) run – off الذي يعتبر العامل الأكبر من تعرية سطح الأرض وتشكيلها في هيئات طبوغرافية مختلفة وتحويل مرتفعاتها الى سهول منبسطة في النهاية .

يتأثر توزيع الأمطار في العالم باتجاهات الرياح التي تنقل بخار الماء من أماكن تصاعده وتجمعه الى تلك التي يتكثف فيها ويسقط أمطاراً وثلوجاً .

لاتتساوى كميات الماء المنطلقة في الأماكن المختلفة حتى ولو تساوت في كمية سقوطها . ففي الأماكن ذات التضاريس المتباينة تفوق كمية الماء المنطلق تلك التي تجري فوق السهول المنبسطة ، كما أن المناطق التي تتكون تربتها أو الأساس الصخري فيها من صخور غير متماسكة تتشرب أرضها جزءاً كبيراً من ماء المطر أكثر مما تتشربه المناطق ذات الاديم الصخري الصلب .

تقل جداً كمية الماء المنطلق في المناطق القاحلة بسبب ارتفاع نسبة التبخر السريع وذلك على عكس المناطق الرطبة التي لاتتبخر فيها الا نسبة ضئيلة من مياه الأمطار .

٨ ـ ٣ ـ العمل الجيومورفولوجي للأنهار :

ينقسم العمل الجيومورفولوجي للأنهار الى العمليات الآتية :

١ ـ التحات : ان التحات هو عملية تفتيت الصخور بفعل عوامل النقل . المياه الجارية والأنهار من أبرز عوامل النقل الثلاثة : الرياح ، المياه الجارية ، والثلاجات . يتم العمل التحاتي للمياه الجارية أساساً بواسطة ماتحمله من مواد صلبة معلقة ، كالغرين والرمل والحصى الصغير ، وأيضاً بواسطة ماتدفعه الأنهار فوق قيعانها من حصى كبير وأحجار وجلاميد . يتوقف العمل التحاتي بواسطة الرسوبيات التي تحملها أو تجرفها

المياه الجارية على الطاقة الناتجة من ارتطام هذه الحبيبات والكتل الرسوبية المتحركة بالرسوبيات والصخور المكونة لقيعان وضفافها ، فتؤدي هذه الارتطامات الى تفتيت الصخور وازالة الرسوبيات ، يساهم في العمل التحاتي للأنهار أيضاً التأثير الهيدروليكي للمياه الجارية والعمل الهيدروليكي عبارة عن الفعل الميكانيكي لارتطام الماء نفسه بالصخور والرسوبيات ، قد يؤدي هذا الارتطام الى تفكك الرسوبيات غير المتماسكة وتوسيع الشقوق والفجوات الموجودة في بعض الصخور ، ولكن لايعتبر العمل الهيدروليكي الصرف للأنهار ذا تأثير كبير في بري الصخور وسحبها ، فهو لايظهر الا في حالة وجود رسوبيات غير متماسكة أو صخور شديدة التشقق ، قد يكون العمل التحاتي للأنهار كيميائياً حيث يتم عن طريق الفعل الاذابي للمياه على المعادن المكونة لصخور قيعان الأنهار وضفافها .

٢ ـ النقل Transportation : وهو ازالة المواد المتفتتة الناتجة عن فعل التجوية والعمليات التحاتية وحملها ونقلها الى أماكن ترسيبها في السهول والبحار حيث تعد الأنهار من أهم عوامل النقل في الطبيعة وتليها الرياح والثلاجات . تنقسم الحمولة التي تنقلها مياه الأنهار Stream load الى قسمين رئيسيين هما :

أ ـ حمولة ظاهرة Visible load تتكون من الفتات الصخري الذي تحمله الأنهار، وتنقسم بدورها الى قسمين وحسب وضع الحبيبات المكونة لها :

١ ـ حمولة معلقة Suspended load وهي الحمولة المعلقة في الماء ، اذ تظل نسبة كبيرة من هذه الحمولة معلقة نتيجة لقوة تيار الماء أثناء جريانه وتتكون هذه الحمولة عادة من حبيبات صغيرة نسبياً لايتعدى حجمها حجم الرمل .

٢ ـ حمولة متدحرجة Rolled load ، هي الكتل الفتاتية التي تتدحرج في قاع النهر أثناء جريان الماء ، تتكون هذه الحمولة عادة من حبيبات فتاتية كبيرة نسبياً تتراوح أحجامها بين حجم الرمال الغليظة والحصى وتصل أحياناً الى حجم الجلاميد .

ب ـ حمولة غير ظاهرة Invisible Load ، هي مايحمله النهر من مواد ذائبة مثل الأملاح والمواد الغروية ، يعتبر الفعل الأساسي للحمولة غير الظاهرة للأنهار كما أشرنا سابقاً هو زيادة قدرة الماء على اذابة بعض المحتويات المعدنية للصخور والرسوبيات المكونة لقيعان الأنهار وضفافها .

لايوجد ماء نقي فوق سطح الأرض ، فمياه الأمطار بمجرد سقوطها على الأرض تبدأ في اذابة الصخور ، وهذه المواد التي تذيبها تعمل بدورها على زيادة قوتها الاذابية . قد تبدو كمية المواد التي يحملها جدول أو نهر معين عن طريق الاذابة صغيرة ، ولكن كمية المواد المذابة التي تستقبلها البحار كل عام كبيرة جداً بدرجة مذهلة ، فقد قدرت بما يزن حوالي ٢٧٠٠ مليون طن تقريباً ، تحمل المياه الجوفية جزءاً منها وبلغ نصيب نهر دجلة وحده من الحمولة الذائبة هذه مايساوي ١٠ ملايين طن تقريباً .

تستمد الأنهار حمولتها من عدة مصادر أهمها نواتج التجوية عند المنابع الأصلية للأنهار ومنابع روافدها ، وتستمد جزءاً من حمولتها من ضفافها وقيعان وديانها في أماكن مختلفة . تساهم الرياح أيضاً في تزويد الأنهار بجزء من حمولتها بما تلقيه من مواد معلقة في مياهها . معظم الحمولة الذائبة للأنهار تأتي من الصخور السطحية ويأتي الجزء الآخر من المياه الجوفية التي تتسرب الى مجرى النهر ، أما من الينابيع أو من خلال الطبقات .

تنقل الأنهار حمولتها الظاهرة بثلاث طرق :

أ ـ الطفو Floating وذلك في حالة المواد الدقيقة ذات الكثافة النوعية المنخفضة .

ب ـ التعلق Suspention وذلك في حالة المواد الدقيقة التي يستطيع التيار حملها ويمنعها من الترسيب .

ج ـ الدفع traction في حالة الحطام الصخري والكتل الكبيرة نسبياً ، فيتم نقلها بواسطة سلسلة من القفز والدحرجة والجر على القاع .

لا يتأثر الوزن الكلي لحمولة النهر من الوجهة النظرية بحالة تفتت الحمولة بشرط ألا يتجاوز حجم الأجسام المحمولة النهاية العظمى التي يمكن للنهر نقلها . غير أن العلماء قد وجدوا من الناحية العملية ان الأنهار يمكن ان تنقل حمولة من المواد الدقيقة أكبر مما يمكن ان تحمله من المواد الكبيرة الحجم ، أي أن الأنهار يمكن ان تحمل عشرة حبيبات وزنها الكلي غراماً واحداً مثلاً بسهولة أكثر من حملها حصاة واحدة لها نفس الوزن ، معنى ذلك ان القوة الناقلة لأي نهر تتوقف فعلاً على حالة تفتت حمولته الظاهرة .

أما سرعة النهر فلها اثر كبير على قدرته التحاتية فتتناسب هذه السرعة مع قدرة النهر التحاتية تناسباً طردياً . فتؤدي ازيادة سرعة النهر الى زيادة حمولته ، وهذه بدورها تزيد من قدرته التحاتية . وقد حسب بعض العلماء العلاقة بين قوة النقل وسرعة تيارات الأنهار فوجدوا ان قوة النقل (الممثلة بوزن الحمولة الظاهرة في وحدة الحجم من مياه النهر المتحركة) تتناسب طردياً مع القوة السادسة لسرعة التيار ، ويمكن تمثيل هذا رياضياً بالعلاقة الآتية :

ومعنى هذه المعادلة انه اذا زادت سرعة النهر الى الضعف فان حمولته تتضاعف ٦٤ مرة ، وهذا مايسمى بقانون النقل بالأنهار transportation by stream .

ح = س٦

حيث ح = حمولة النهر الممثلة بالغرام في اللتر .

س = سرعة التيار الممثلة بالأمتار في الثانية .

٣ - الترسيب : عندما تبلغ حمولة النهر غايتها القصوى فان اية زيادة في هذه الحمولة تؤدي الى ترسيب كمية مكافئة لها من الحمولة الأصلية . وبعبارة اخرى ، فانه يوجد في هذه الحالة توازن بين التحات والترسيب ولايكون للنهر قدرة على تعميق مجراه . ومن الناحية الأخرى فان النهر لايقوم بعمل تحاتي يذكر اذا خلا تماماً من الحمولة وكانت سرعة تياره بطيئة جداً ، اذا لابد ان تكون هناك حمولة متوسطة تناظرها أكبر قوة تحاتية للنهر .

في كثير من الأحيان تقوم المياه الجارية بترسيب جزء من حمولتها عندما تصل الى المناطق السهلة أو في مناطق أقدام الجبال ، ففي هذه المناطق يقل

الحدار مجرى النهر ومن ثم تقل سرعة تدفق المياه في هذا النهر وتتكون حينئذ رسوبيات اقدام الجبال والرسوبيات النهرية الأخرى مثل رسوبيات ضفاف الأنهار ووديان الفيضانات أو رسوبيات مصبات الأنهار أو الدالات . وسوف نتناولها في فقرات قادمة من هذا الفصل .

يمكن ان يلاحظ من المناقشة السابقة ان للأنهار عملاً هدمياً وعملاً بنائياً ، كعمل الرياح تماماً ، فالعمل الهدمي للأنهار (او للمياه الجارية) يتم اثناء عملية النقل ويتلخص في التحات الناتج من فعل المياه الجارية وحمولتها من المواد الصخرية المتفتتة والذائبة ، أما العمل البنائي للمياه الجارية فيتلخص في تكوين الرسوبيات النهرية المختلفة .

تصنيف وتطور الوديان والمجاري :

يبدأ فعل المياه الجارية عند تساقط الأمطار على منطقة منحدرة ، واذا كان سطح هذه المنطقة مستوياً ، فان مياه الأمطار تجري الى أسفل المنحدر على هيئة طبقات عريضة وضحلة من الماء الجاري ، وفي حالة عدم وجود غطاء نباتي كاف على مثل هذه المساحات يمكن ان يؤدي سريان الماء الجاري عليها الى ازالة كميات كبيرة من الفتات الصخري والتربة التي تسبب اضراراً غظيمة في بعض المناطق الزراعية ولذلك يجتهد الزراعيون باستمرار في مثل هذه المناطق بإبقاء غطائها النباتي حتى اذا تركت الأرض بدون زراعة ، فهم يقومون بتشجيرها . ويمكن في بعض الأحيان أن يؤدي الرعي المتزايد لبعض المراعي الى تخفيف غطائها النباتي فيزداد التأثير التحاتي للمياه الجارية عليها حتى تزول منها التربة تماماً ، بذلك لايمكن أن تنمو عليها أية كمية معقولة من النباتات مما يفقدها قيمتها الاقتصادية .

ولذا يقوم المسؤولون عن هذه المراعي بتحديد عدد الحيوانات التي ترعى فيها للمحافظة على سلامة غطائها النباتي اما اذا كان سطح الأرض المنحدرة متعرجاً فيمكن ان يسيل الماء الجاري عليها على هيئة مجاري طولية تتطور مع الوقت الى اخاديد ، تتكون الاخاديد الطبيعية عادة في الرسوبيات اللامتماسكة مثل الرمال والطين .

تسيل المياه السطحية عادة حتى تصل الى بعض المناطق التضاريسية المنخفضة وتشق طريقها عبر هذه الانخفاضات مكونة مجاري لجداول وأنهار . يتحكم التركيب الجيولوجي للأرض في التضاريس وفي مجاري الأنهار والجداول ، حيث تنتج الكثير من الأنهار في العادة صدوعاً أو شقوقاً في الصخور ، ويمكن ان تنتج الأنهار أيضاً مكاشف الطبقات اللينة حينما تتداخل هذه الطبقات مع طبقات أخرى صلدة . وأحياناً قد تنتج مجاري الأنهار محاور طيات محدبة أو مقعرة تتجمع الجداول عادة مع بعضها البعض مكونة حوض صرف . فحوض الصرف هو المساحة التي تغطيها مجموعة من الجداول والأنهار التي تصب كلها في نهر أساسي واحد ، والشكل (٨ ـ ١) يبين كيف يمكن تقسيم مساحة فوق سطح الأرض الى عدة أحواض صرف . وتسمى الحدود بين حوضي صرف متجاورين بالمقسم (Divide) (خط تقسيم المياه) .

أنماط الصرف النهري :

يعتمد المظهر العام لتوزيع الوديان فوق منطقة معينة على التركيب الجيولوجي والجيومورفولوجي لهذه المنطقة وعلى طبيعة الصخور المكونة لها . يعرف مظهر توزيع الوديان في منطقة معينة باسم نمط الصرف (drainage pattern) . وهناك أربعة أنواع واسعة الانتشار من انماط الصرف (الشكل ٨ ـ ٢) هي :

١ ـ نمط صرف متفرع (شجري) ، ويتكون هذا النمط من الصرف في الصخور المتجانسة مثل الصخور النارية غير المتشققة والطبقات الرسوبية الأفقية والحطام الصخري المتجانس .

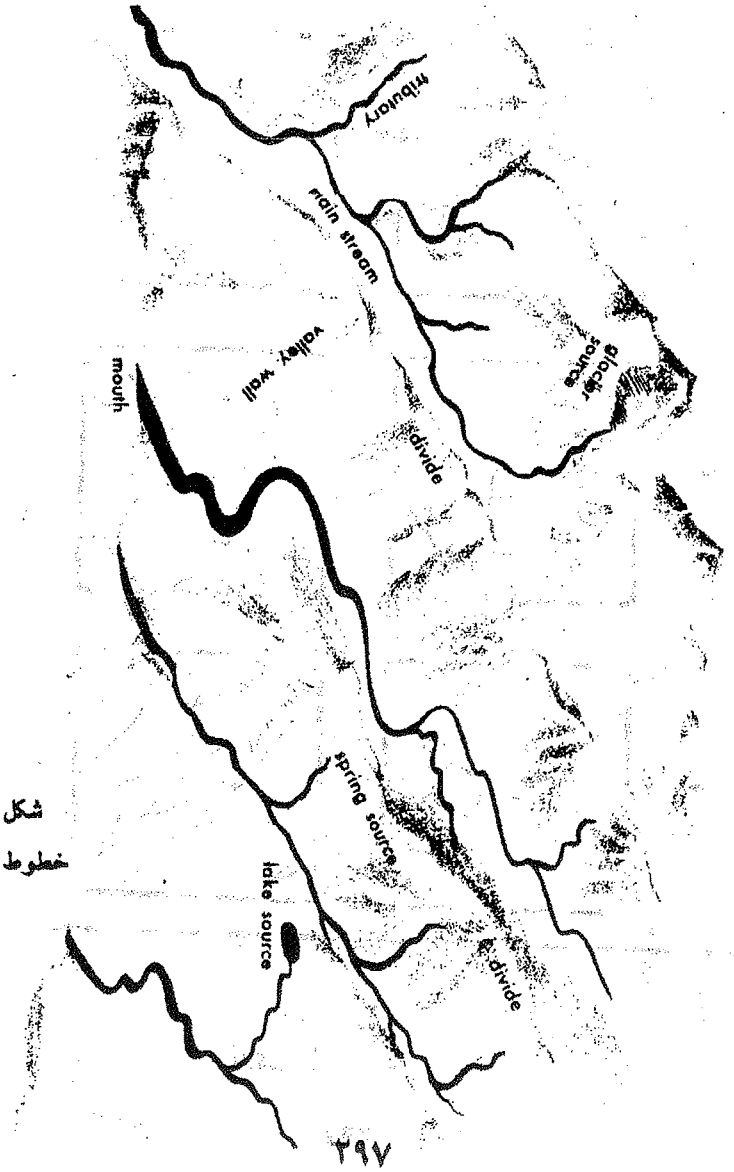
٢ ـ نمط صرف شبكي ، يتكون هذا النمط من الصرف في الطبقات المائلة والمطوية حينما تتبادل طبقات صلدة بطبقات غير متماسكة ، يتميز هذا النمط من الصرف بتعامد روافده على الجداول الرئيسية .

٣ ـ نمط صرف شعاعي . يظهر هذا النمط من الصرف حول الجبال المخروطية مثل البراكين او عند وجود تراكيب القباب .

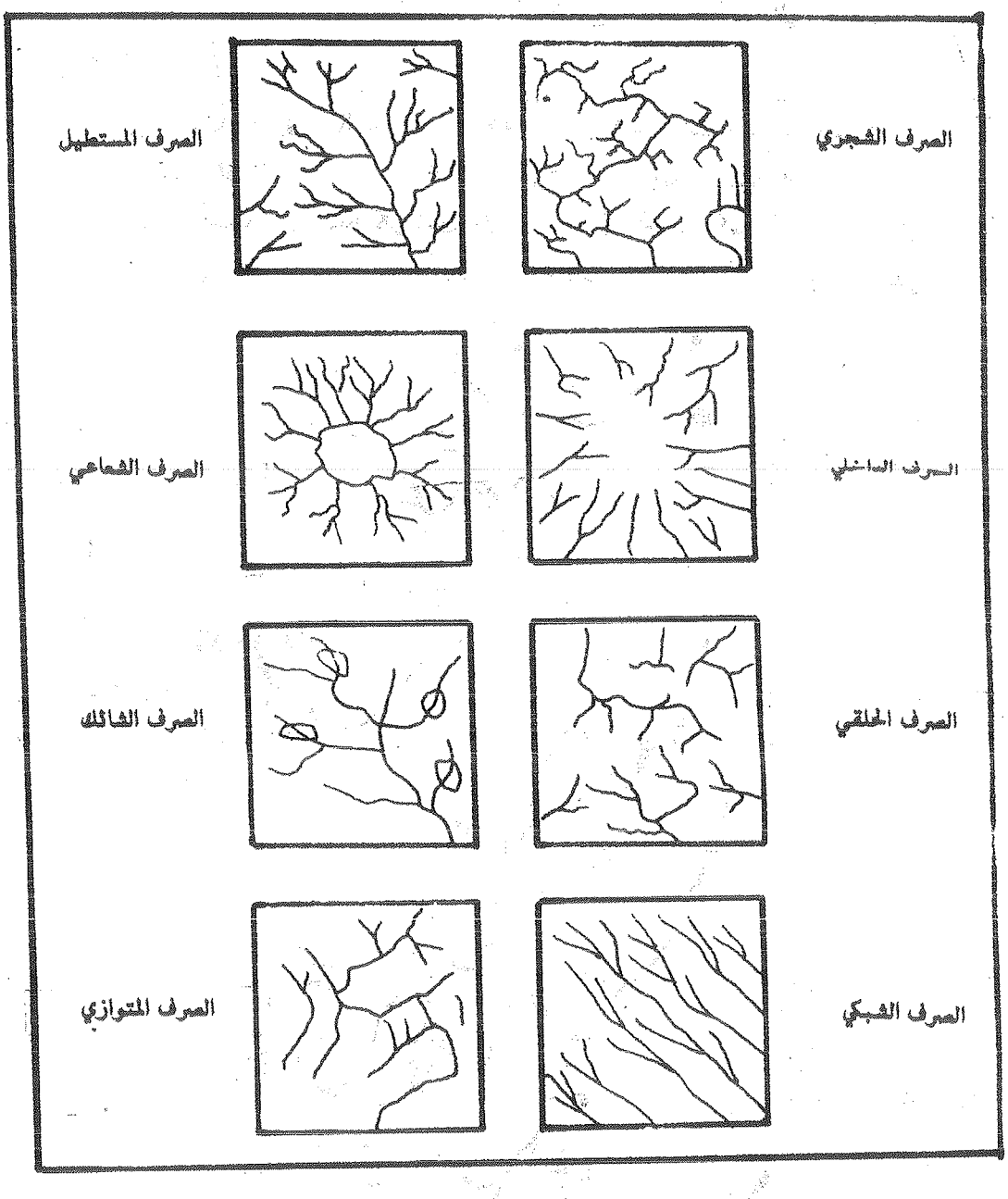
٤ ـ نمط صرف متوازي . يظهر هذا النمط من الصرف فوق المساحات العريضة المائلة خصوصاً حول اقدام المناطق الجبلية الواقعة تحت ظروف مناخية

صحراوية . تمتلىء الوديان المكونة لهذا النمط من الصرف عادة بالمياه بصفة موسمية .

يمكن تصنيف المجاري المائية حسب علاقتها بميل الطبقات التي تقطعها هذه المجاري . فاذا كان المجرى ينحدر في اتجاه ميل الطبقات يسمى هذا المجرى جدولاً انحدارياً ((أصيل)) ، واذا كان الجدول ينحدر في اتجاه عكسي لاتجاه ميل الطبقات فيسمى هذا الجدول جدولاً مضاداً (عكسي) ، واذا كان الجدول ينحدر



شكل (٨ ـ ١)
خطوط تقسيم المياه



شكل (٢٠٨)

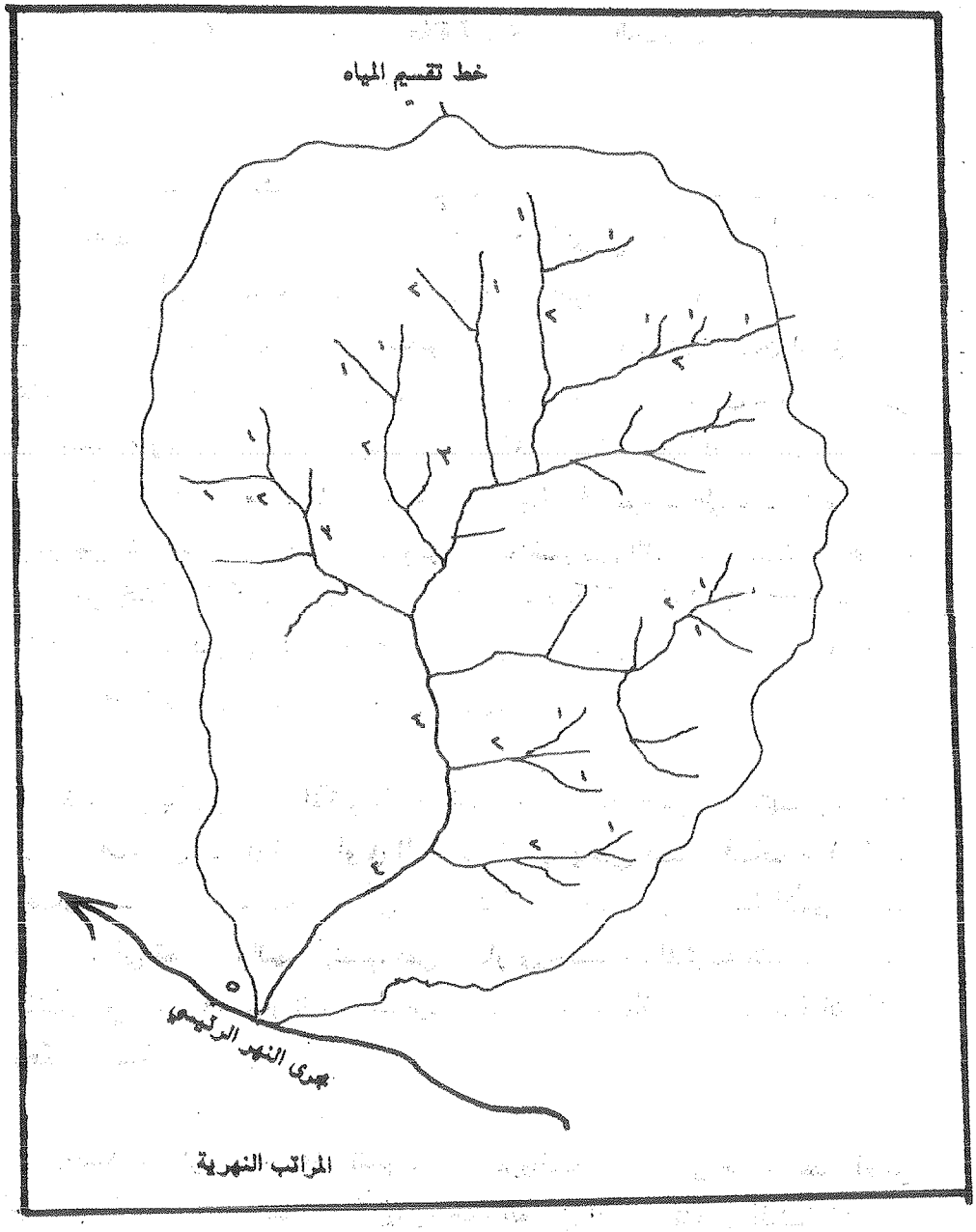
أشكال الصرف الزهري

في اتجاه مواز لاتجاه متجهات الطبقات يسمى جدولاً لاحقاً ((تالياً)) اما اذا كان الجدول ينحدر في اتجاه ليست له أي علاقة باتجاه ميل الطبقات فيسمى جدولاً غير محدد الاتجاه .

يحدث احياناً ان تتأثر المناطق التي يسيل فيها نهر معين بحركات أرضية بعد تكون النهر وفي هذه الحالة يمكن ان يستمر النهر في مجراه على الرغم من ظهور عائق طبوغرافي (منطقة مرتفعة مثلاً) يعترض مجرى النهر ، وحينئذ يسمى النهر بالنسبة لهذا العائق نهراً سابق التكوين (السالفة) . وفي أحيان أخرى تقوم عمليات التعرية بتكوين نهر على سطح حتة يعلو سطح حتة قديم مغطى برسوبيات ، ومع مرور الزمن تزيل عوامل الحتة الرسوبيات الحديثة وتكشف السطح التحاتي القديم مع تضاريسه القديمة ، فيمكن ان توجد على هذه التضاريس انهار ليس لها علاقة بالتراكيب الجيولوجية للتضاريس القديمة ، حيث ان مجراها تحدد من خلال التراكيب المميزة للتتابعات الرسوبية الحديثة التي حتها سواء الحتة ، وحينئذ يظهر نهر لاعلاقة له بالتراكيب المميزة لتضاريس منطقة معينة ويسمى هذا النوع من الأنهار بالراكبة أو المنطبعة

تقسم الوديان والأنهار المكونة لحوض صرف واحد حسب علاقتها بالوادي الرئيسي الذي يصب في البحر او في المنخفض الذي ينتهي فيه مطاف صرف الماء الجاري فالوادي او النهر الرئيسي يسمى نهراً أو وادياً من المرتبة الأولى . اما الروافد التي تصب في النهر الرئيسي فهي أنهار وروافد من المرتبة الثانية ، اما الأنهار التي تصب في أنهار المرتبة الثانية فهي أنهار وروافد من المرتبة الثالثة وهكذا (الشكل ٨ ـ ٣) .

أوجد سترهلر سنة ١٩٥٢ تقسيماً آخر للروافد والأنهار حيث أعطى أصغر الجداول الاولية المرتبة النهرية الأولى وبتجمع العوامل الأولية تتكون المرتبة الثانية وباتحادها تتكون المرتبة الثالثة وهكذا الى ان نصل الى أعلى المراتب النهرية التي تمثل المجرى الرئيسي للنهر .



شكل (٨ـ٣٠٠)

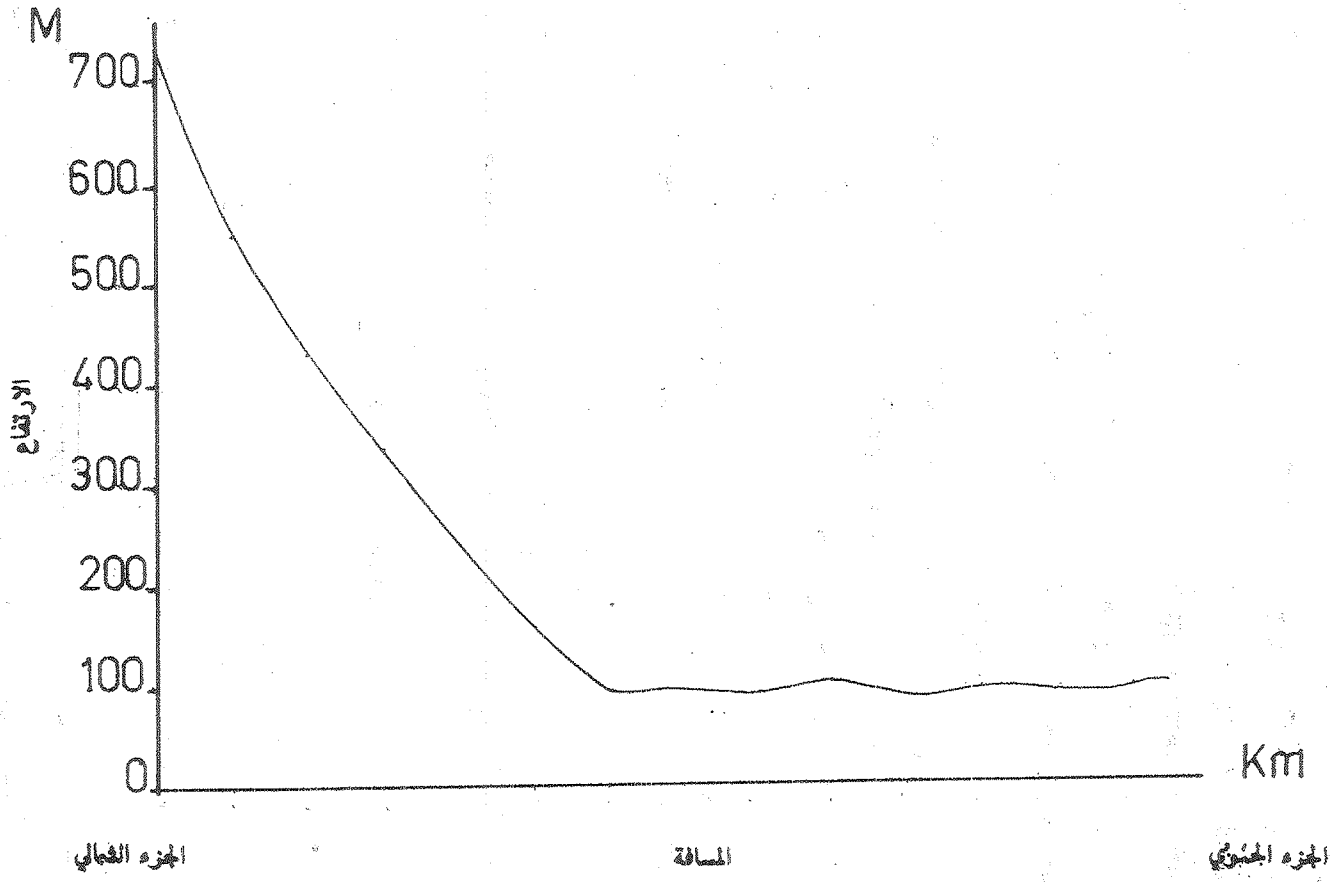
حوض نهـــري

يقوم العمل التحاتي للأنهار والمجاري المكونة لأحواض الصرف بمحو التضاريس تدريجياً . فعندما تتأثر منطقة معينة بحركات أرضية وتتكون تضاريس عالية ، تبدأ المياه الجارية بالانسياب على هذه التضاريس حسب ميل الطبقات والتراكيب الجيولوجية مكونة أنهاراً انحدارية عموماً . وفي بداية الأمر يكون هذا الانحدار كبيراً مما يتسبب في ظهور انهار ذات تيارات قوية ، لها القدرة على حمل كميات كبيرة من الحمولة الظاهرة . ولذلك فالانهار المكونة في مناطق ذات تضاريس عالية ، أي من مناطق تعرضت لحركات أرضية منذ فترة قليلة من الزمن الجيولوجي ، تكون شديدة الانحدار ولها قدرة كبيرة على حت الصخور وحفر وديانها .

وفي هذه المرحلة تكون وديان الأنهار عميقة لاتوجد على ضفافها رسوبيات تذكر . تسمى هذه المرحلة من مراحل تطور الأنهار بمرحلة الشباب حيث يكون المقطع الرأسي العرضي لهذه الوديان على شكل رقم (٧) .

مع استمرار التعرية والتحات تتغير طبوغرافية المنطقة المحيطة بالنهر ، او بالأنهار والجداول المكونة لحوض صرف معين ، حتى تتحول المظاهر المميزة لمراحل شباب النهر الى مظاهر تدل على نضوجه فبعد أن كانت الأرض تتميز بخطوط حادة مستقيمة يبدأ ظهور الوديان الواسعة ذات الجوانب المعتدلة الانحدار ، ويسمى النهر « ناضجاً » عندما تبلغ قيمة منحدره أو تدرج مجراه الحد الذي يزود مياه النهر بالسرعة التي تكفي فقط لمجرد حمل الحطام الصخري الذي يأتيه من جوانبه ، دون ان تحدث أي تحات يذكر على قاع النهر .

حينما يكون منحدر المجري في حالة توازن تام تقريباً بين كمية الفتات الصخري التي ينحتها النهر والكمية التي يرسبها ، يسمى النهر متدرجاً graded stream أو متعادلاً تدريجياً كلما اتجهنا نحو المنبع ، ويكون مقطع التدرج (بروفيل Profile of the gradient) غير منتظم في حالة الأنهار الشابة ، أما في حالة نضوج الأنهار فيكون على درجة كبيرة من الانتظام وعندما يصبح بروفيل التدرج بحيث يعطي الحد يُعيّن حد العمق Depth limit في واد ما بمنسوب الجسم المائي (البحر أو البحيرة) الذي ينتمي اليه النهر ومن هذا المنسوب يزداد منحدر المجرى في الارتفاع



شكل (٣٠٨)

٣٠٣

مقطع طولي لنهر دجله داخل الحدود العراقية ١٩٨٧

الأدنى من الانحدار فقط ويسمح بجريان الماء المحمل بالفتات الصخري في كل مكان من المجرى يسمى البروفيل بروفيلاً متدرجاً Graded Profile بروفيلاً متوازناً (التعادل) Profile of equilibrium ويكون في حالته النموذجية على هيئة منحنى على شكل قطع زائد مقعر الى أعلى (الشكل ٨ ـ ٤) .

عندما يصل النهر الى طور التدرج أو النضوج السالف الذكر لاتتوقف عملية الحت الرأسي (أي تعميق النهر تماماً) لكنها تقل الى درجة كبيرة عندما تتسوى تماماً المظاهر الطوبوغرافية المستديرة لمرحلة النضوج ، وعندما تتحول المجاري العميقة الى وديان واسعة يصل المنحدر النهري تقريباً الى مرحلة الترسيب فقط ، وعندئذ يوصف النهر بأنه وصل الى مرحلة الكهولة Old agr stage ويوصف بروفيله بأنه بلغ خط (مستوى القاعدة) نهاية التحات النهري Base line of river erosion .

يتضح من المناقشة السابقة ان الأنهار وأحواض الصرف عموماً تمر بمراحل مختلفة من التطور أثناء تاريخها الجيولوجي ، فهي تبدأ عند انتهاء فترة من النشاط التكتوني في منطقة معينة حيث تؤدي هذه الفترة من النشاط التكتوني الى ظهور تضاريس عالية .

وتظهر في نفس الوقت فوق هذه التضاريس أحواض صرف مختلفة تؤدي شيئاً فشيئاً الى محو هذه التضاريس وتحويل المنطقة الى مساحة منبسطة تسمى صفصفاً أو سهباً (سهلاً تحاتياً Peneplain) ، تسمى هذه العملية بالتسهيب Penepination التي تنتج في معظم الحالات عما يعرف بدورة التحات النهري Fluviatile cycle of erosion .

تمر الأنهار في كل دورة من التطور بالمراحل الثلاث التي سبق ذكرها وهي مرحلة الشباب ومرحلة النضوج ومرحلة الشيخوخة أو الكهولة . تصنف الأودية النهرية وفق معايير متعددة منها التصنيف الذي يتطابق مع المرحلة التطورية للمجرى النهري السابق ، بينما يعتمد التصنيف الآخر على أساس أصل منشأ المجرى المائي مثل الأنهار الأصلية والعكسية والتالية ... الخ ، ويستند التصنيف الثالث على أساس البنية التضاريسية للمجرى كالثنيات المقعرة والمحدبة او مناطق الضعف الجيولوجي وهناك تصنيف رابع يعتمد أساسه على مدى تغير مستوى القاعدة التي

تؤدي الى نشوء بعض الأشكال مثل المدرجات النهرية والمنعطفات الحادة العميقة ، بينما اعتمد التصنيف الخامس للمجاري النهرية على مدى اعتراض الأنهار للبنيات الجيولوجية القائمة كالأنهار السالفة والتراجعية .

تصابي الأنهار

تؤدى بعض الظروف في أية لحظة من لحظات تطور النهر الى استعادته لشبابه ، وهو مايسمى بالتصابي rejuvenation ، عندما يستعيد النهر قوته بعد أن يكون قد وصل الى مرحلة متقدمة من تطوره ، تؤثر هذه الظروف على بروفيل تدرجه اذ يرتفع تدرج مجرى النهر بحيث تزداد قوة تيار الماء فيه الى الحد الذي يجعله قادراً على حت الصخور والرسوبيات الواقعة على ضفافه وفي مجراه مرة أخرى .

أهم العوامل التي تؤدي الى تصابي الأنهار مايأتي :

١ ـ **انخفاض مستوى حد العمق الخاص بالنهر ، يؤدي الى خفض مستوى خط نهاية التحات النهري (مستوى القاعدة) أو المنسوب القاعدي ، مما يجعل النهر يستعيد نشاطه التحاتي مرة أخرى ، تحدث هذه الحالة عندما ينخفض مستوى سطح البحار مثلاً . فأثناء العصور الجليدية التي ميزت الدور الرابع من تاريخ الأرض كانت كميات كبيرة من مياه الهيطات محجوزة في الغطاء**

الجليدي للمناطق القريبة من قطبي الأرض مما أدى الى انخفاض عام في منسوب سطح البحار ، وقد وصل هذا الانخفاض في بعض الفترات الجليدية الى ٢٠٠ متر . وقد أدى هذا الانخفاض في سطح البحار الى اعادة النشاط التحاتي للأنهار التي تصب فيه .

لقد جف البحر المتوسط تماماً أثناء عصر المايوسين المتأخر بسبب انغلاق مضيق جبل طارق نتيجة لحركات أرضية وبدأت الانهار التي تصب في هذا البحر تحفر مجاريها بنشاط متزايد أثناء العصر الميسيني وهو الجزء المتأخر من عصر المايوسيني حيث انخفض مستوى حد عمقها الى بضعة مئات من الأمتار ، وعندما أدت

الحركات الأرضية في منطقة جبل طارق الى فتح هذا المضيق مرة أخرى أثناء عصر البالیوسین المبكر ، اندفعت المياه ثانية في حوض البحر المتوسط وكان ذلك أيضاً سبباً في حدوث عدة طغيانات للبحار في كل الوديان المهمة التي تصب في البحر لذلك نجد أن معظم طغيانات الباليوسين في المناطق المطلة على حوض البحر المتوسط تنحصر حول وديان الأنهار الكبيرة مكونة خلجاناً مستطيلة تعرف بالرياس (Rias) . من أمثلة هذه الخلجان خليج البليوسين الأسفل الذي كان يتخذ مجرى وادي النيل متجهاً له حيث وصل الطغيان البليوسيني البحر الى خط عرض مدينة الفشن في صعيد مصر .

سادت هذه الفترة الجافة حوض البحر المتوسط أثناء الميسيني وقد عرفت هذه الفترة باسم ازمة الملوحة للبحر المتوسط Mediterranean salinity حيث زادت ملوحة مياه هذا البحر أثناء الميسيني قبل أن تجف تماماً مكونة في بعض المناطق طبقات من المتبخرات (الرواسب) (جبس انهايدرايت أو ملح) .

تسمى التغيرات في منسوب مياه البحار نتيجة للتغيرات المناخية بالتغيرات اليوستاتيكية Eustatic changes .

٢ ـ رفع الأرض نتيجة لحركات أرضية قرب منابع الأنهار :

يؤدي ذلك الى زيادة تدرج مجرى النهر واستعادة نشاطه التحاتي . يعتقد بعض العلماء ان التغيرات المناخية التي تؤدى الى زيادة في كمية المياه الجارية التي تغذي الأنهار يمكن ان تزيد من قوة تياراتها ومن ثم من نشاطها التحاتي ، فذوبان الجليد مثلاً الذي يصاحب الفترات الجليدية (الدافئة) للزمن الرابع ادت الى زيادة القدرة التحاتية للأنهار .

ويمكن أن يؤدي ذلك الذوبان الى اختلال في التوازن الايزوستاتيكي للمناطق المغطاة بالجليد أثناء الفترات الجليدية ، حيث تقلل ازالة الجليد الضغط على العمود الصخري في تلك المناطق مما يؤدي الى رفعها تدريجياً بالنسبة للمناطق المجاورة . يساعد ذلك على تنشيط عمليات التحات في الأنهار ، فقد تبين أن المناطق الاسكندنافية مثلا ترتفع تدريجياً بالنسبة لسطح البحار المجاورة لها بمقادير تصل الى بضعة سنتيمترات لكل مئة عام .

يعتقد العلماء ان هذا الارتفاع ناتج عن تضاؤل الضغط الايزوستاتيكي على هذه المناطق نتيجة لذوبان الثلوج عند نهاية العصر الجليدي الأخير ، الا أنه في نفس الوقت تصاحب فترات ذوبان الثلوج ارتفاعات في مستوى البحار مما يقلل من النشاط التحاتي للأنهار ويبين ذلك أنه في أي فترة من فترات تاريخ أي نهر يكون نشاطه التحاتي ناتجاً عن عدة عوامل متداخلة ومتضاربة مما يعقد عملية استنتاج أسباب التغيرات التي طرأت على النشاط التحاتي للأنهار .

يميل معظم العلماء الى الاعتقاد بأن الأسباب التكتونية (أي تأثير الحركات الأرضية الرافعة أو الهابطة) أكثر أهمية من تأثير التغيرات في كميات المياه المتدفقة في النهر نتيجة للتغيرات المناخية .

المظاهر التضاريسية للمراحل المختلفة لدورة الأنهار التحاتية :

ان لكل مرحلة من مراحل تطور الأنهار في دورة التحات النهري مظاهر تضاريسية مميزة . وسنناقش بشيء من التفصيل في السطور القادمة هذه المظاهر التضاريسية . وجد من التجارب المختبرية ان الصخور الواقعة تحت ضغوط عالية ودرجات حرارية مرتفعة تتغير بواسطة الضغط مطاطياً اولا ثم تطرأ عليها حالة التكسر فتعرف مثل هذه الصخور في الطبيعة بالصخور المهشة ، بينما يؤدي تغير الصخور الباطنية الواقعة على درجة عالية من الضغوط الى تغيرات مطاطية على هيئة تغيرات اللدائن ولاتظهر عليها حالة التكسر الا في ظروف خاصة .

يمكن التعرف على المظاهر التضاريسية في المناطق التي لم تتكون فيها أنهار بعد ومع ذلك فانها تقع تحت تأثير العمل التحاتي للمياه الجارية ومنها :

١ ـ الأراضي الممزقة أو الحزون Badlands :

تنتج هذه عن نوع خاص من التعرية تحدثه الأمطار والمياه في المناطق شبه الجافة Semi arid regions حيث تسقط الأمطار النادرة بغزارة أحياناً مكونة السيول ، فاذا كانت الارض مكونة من رواسب غير متماسكة تماسكاً قوياً ، كبعض الأنواع من الطفل أو الطباشير أو الجبس ، فسرعان ماتنحت السيول هذه الصخور وتحيل الأرض الى شبكة من الحزوز والخوانق والغدران الصغيرة التي تتخللها بروزات أو جروف حادة مما يجعل الأرض منطقة صعبة لايمكن عبورها بسهولة ، ومن هنا جاء الاسم الانجليزي لهذا النوع من تعرية المطر أي الأرض الممزقة وتنتشر مثل هذه الأراضي البرتاواريزونا يوزونا في شمال امريكا وتنتشر هذه الأراضي أيضاً في غرب سيناء ، حيث توجد مكاشف شاسعة بين الجبس السهل المتأثر بالمياه الجارية وهنا يتأثر الجبس نتيجة لفعل مياه السيول التي تصيب هذه المناطق ، كما وتوجد أيضاً في منطقة حوض العظيم .



شكل (٨ ـ ٥)

الحفر الوعائية Pot Holes

٢ ـ الأعمدة الترابية Earth pillars :

هي أعمدة عالية من صخور رخوة غير متماسكة كالطفل والطين ، تتوج رؤوسها جلاميد من الصخور الصلدة . تتكون هذه الأعمدة نتيجة فعل المطر على صخور الطين الجلمودي أو بعض صخور الكنجلوميرات (المجمعات) حيث تتآكل المواد الطينية غير المتماسكة بسرعة وتبقى الجلاميد الصلدة كدروع تحمي ما تحتها من تلك الصخور التي تظل قائمة على هيئة اعمدة طويلة قد تبلغ في بعض الأحيان ارتفاعات مدهشة تزيد على عشرين متراً . ومن اجمل امثلة الاعمدة الترابية تلك التي توجد في منطقة البترول في جبال الألب النساوية .

للوديان والأنهار الشابه مظاهر تضاريسية خاصة ومميزة أهمها :

١ ـ الحفر الوعائية Pot Holes ، هي حفر تختلف في السعة تنشأ عن السرعة المتفاوتة لمياه النهر ، بتأثيرها على صخور القاع حينما تكون هذه الصخور صلبة ويكون سطحها غير منتظم ، وبذلك تنشأ تيارات ودوامات صغيرة تكون لها حركة دائرية لولبية محركة معها قطع الصخور والحصى التي يحركها تيار النهر في حركة دائرية تحفر في صخر القاع حفراً تكاد تكون مستديرة الشكل ، ومع مرور الزمن تتسع هذه الحفر وتزداد عمقاً ، وتتقعر جوانبها فتشبه بذلك الأوعية أو القدور ، وفي كثير من الأحيان يتلاصق عدد كبير من هذه الحفر ويتصل بعضها ببعض ، تظهر بعض هذه الحفر كبيرة وعميقة وفي هذه الحالة تسمى قدور المالقة Manuites Degeante باللغة الفرنسية (الشكل ٨ ـ ٥) .

٢ ـ مساقط المياه (الشلالات) Water falls : تنشأ هذه المظاهر الطبوغرافية عندما يندفع الماء فوق جروف مكونة من طبقات صلدة تتخلل طبقات أقل صلادة في مجاري الأنهار أو الجداول الشابة . أحسن الظروف التي تساعد على تكون مساقط المياه عندما توجه طبقة صلدة كثيرة الفواصل ، كالحجر الجيري مثلاً ، تليها من أسفل طبقة رخوة ضعيفة كالطفل ، تتآكل الطبقة الأخيرة وتبلى بسرعة ويتقهقر مكيثفها الى الخلف وتبقى الطبقة العليا بارزة ويبقى وجهها رأسيا ، فيندفع الماء منحدراً من فوقها رأسيا أيضاً مكوناً مسقط مياه (لاحظ الشكل ٨ ـ ٦) .

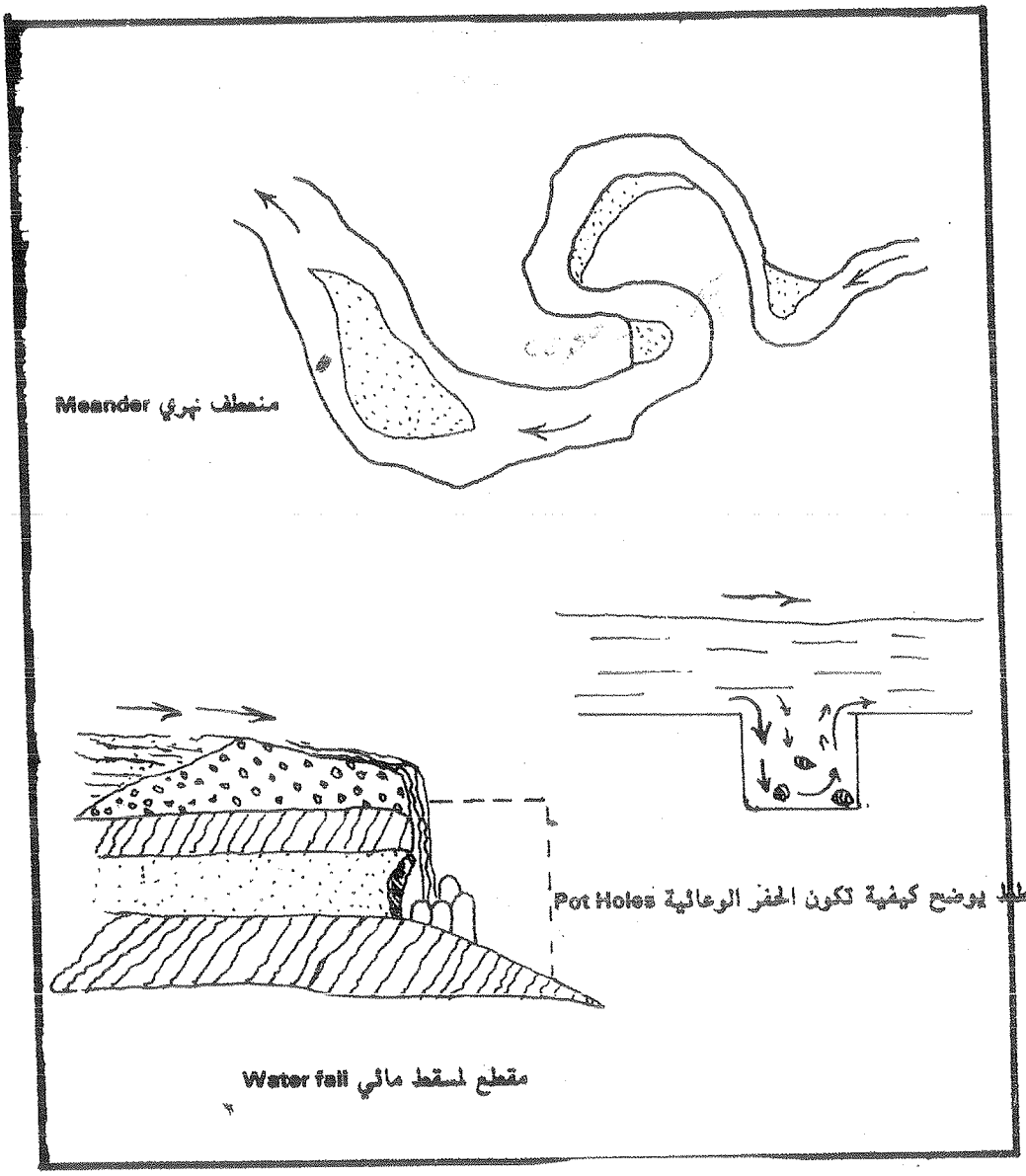
من أمثلة مساقط المياه الجبارة مسقط « فيكتوريا في نهر زمبيزي » ، حيث يهوي الماء من ارتفاع ١١٠ م فوق هضبة من البازلت ، ومسقط « نياجارا » بامريكا الشمالية حيث يسقط الماء من ارتفاع ٥٠ متر فوق حجر دولوسيني يعلو أحجاراً طفلية ورملية ومسقط كلي علي بك وبيخال في القطر العراقي وشلال صفرح في القطر المغربي وغيرها .

٣ ـ المسارع Rapids : عندما يتحول الصخر الصلب في مسقط المياه الى منحدر طويل شديد الميل يندفع الماء عليه اندفاعاً شديداً أو يجري بسرعة هائلة ، يتحول مسقط المياه في هذه الحالة الى مايسمى « بالمسرع » ومن المسارع الشهيرة في العالم مناطق المنارع في نهر النيل Nile catract ، ويوجد احد هذه المسارع بالقرب من مدينة اسوان ، وهو المسرع الثاني للنيل .

٤ ـ الخوانق والأخاديد Gorges and Canyons : الخانق هو واد ضيق ذو جوانب شديدة الانحدار أو رأسية تقريباً ، أما الأخدود فهو خانق متسع وضيق جداً بالنسبة لاتساعه تتكون الخوانق والأخاديد عندما تتدفق الأنهار الشابه ذات السرعة الكبيرة على انحدارات شديدة في مناطق لاتوجد فيها ظروف تساعد على التعرية بالعوامل المختلفة التي تؤدي الى توسيع وديان ومجاري الأنهار ، فيكون عامل الحت السائد في المنطقة هو نشاط المياه الجارية للنهر فقط .

تتكون الأخاديد عادة في المناطق الصحراوية أو شبه الجافة حيث لايمكن لعمليات التجوية الكيميائية ولا لتأثيرات المياه السطحية وتحت السطحية ان تؤدي عملها ، حيث يقتصر العمل الجيومورفولوجي السطحي في مثل هذه المناطق على تعميق وادي النهر فقط كما هو الحال في وادي كلوراد و (الولايات المتحدة) .

لوديان الأنهار التي تمر بالأطوار المتأخرة من تطورها معالم تضاريسية خاصة ومن أهمها المنعطفات النهرية River meanders .



شكل (٦٠٨)

مسقط مائي (شلال) وحفر وعائية ومنعطف نهري

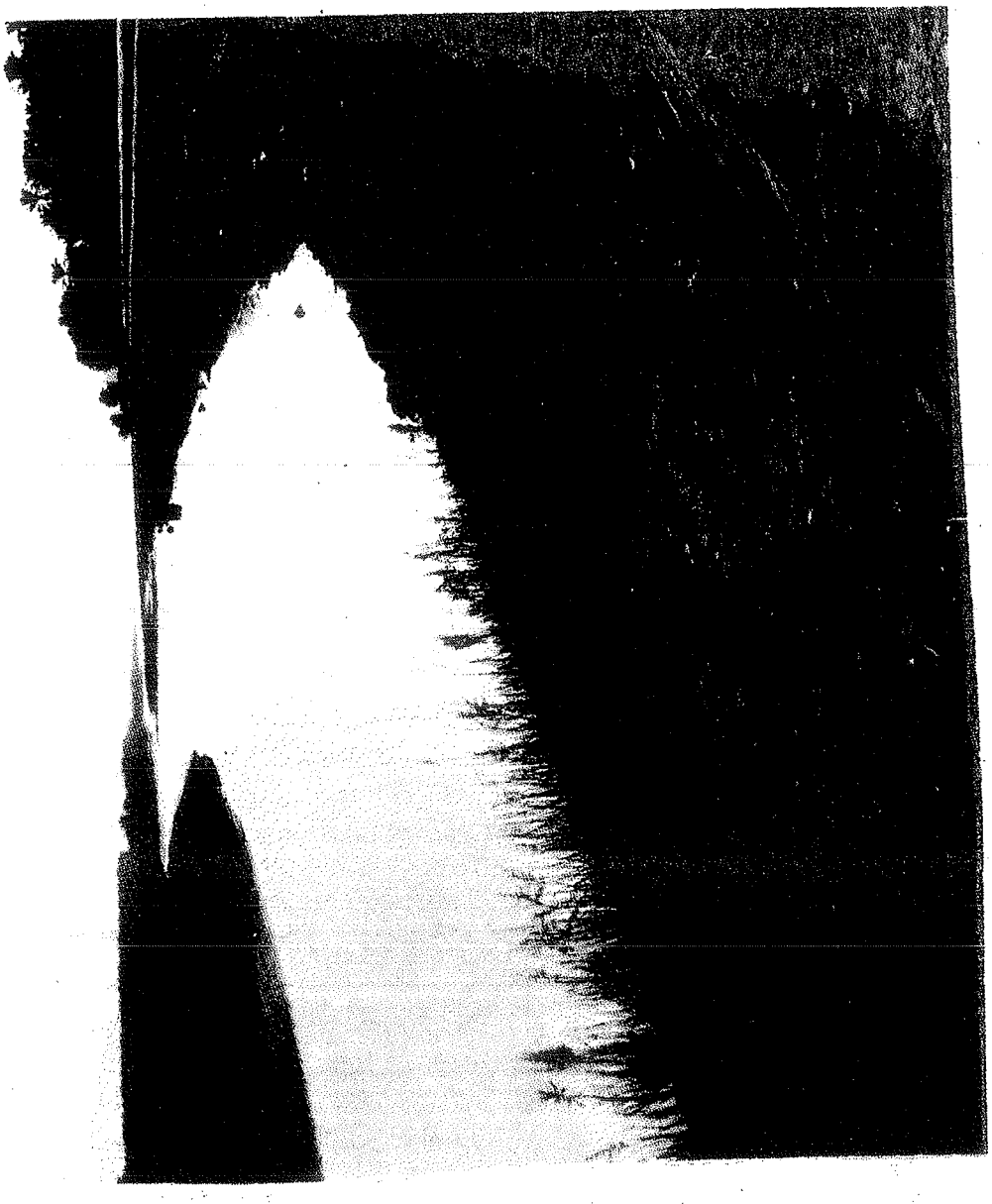
المنعطفات النهرية :

تتكون المنعطفات عندما يصل النهر الى خط نهاية التحات (مستوى القاعدة) حيث يبلغ النهر مرحلة الكهولة ، وعندئذ تنخفض سرعة التيار فيه الى درجة كبيرة فيتحول نشاطه تماماً من النحت السفلي الى التآكل الجانبي الذي يؤثر على الرواسب المفككة الجانبية (ضفاف النهر) خلال انخفاض سرعة التيار في النهر فان أقل العوائق وأضعفها يؤثر على اتجاهه ، وينتج عن ذلك ان يتخذ النهر الكهل مجرى متعرجاً بصورة بسيطة في أول الأمر .

وعندما يرتطم التيار في مساره نحو المصب بأحد الجوانب المحدبة عند مدخل احدى هذه التعرجات يرتد نحو الجانب المقعر منه ويتجه بعد ذلك الى الجانب الآخر في طريقه الى ناحية المصب ، اما الجانب المحدب فتقل عنده سرعة التيار مما يؤدي الى الترسيب ، فيزداد تحدبه الى الداخل ومع تكرار هذه العملية تزداد الجوانب المقعرة تقعراً والجوانب المحدبة تحدباً ، فتكون سلسلة من الانحناءات الواضحة تسمى بالمنعطفات النهرية (شكل ٨ - ٧) .

توجد علاقة بين سعة المجرى وسعة المنعطف . فهي محددة الأبعاد في المجاري الصغيرة لكنها كبيرة نسبياً في المجاري النهرية الكبيرة وكلما ازداد مجرى النهر تعرجاً كلما ضاقت الحواجز الأرضية بين طرفي كل منعطف لدرجة أنه قد يسهل على النهر في بعض الأحيان اقتحام هذه الحواجز تاركاً المنعطفات المقطوعة في هيئة بحيرات هلالية على جوانبه .

وبعد جفافها وانقطاع المياه عنها تسمى بندبة المنعطف Meander scar . تعتبر المنعطفات النهرية والبحيرات الهلالية من علامات الكهولة في الأنهار . من الأسباب المهمة لتكون ظاهرة المنعطفات النهرية التي ظهرت حديثاً هي ان المنعطفات النهرية ماهي الا مراحل متقدمة في تطور الثنيات حيث يتغير اتجاه المجرى تغيراً حاداً . اذ لاتقتصر ظاهرة الانعطاف على الأنهار وحدها بل تظهر أيضاً في التيارات الهوائية ، وفي التيارات البحرية وغيرها حيث وجد ان هذه



شكل (٧٠٨)

منعطف نهري (الفـرات)

الانعطافات هي من خصائص التيارات بمختلف أنواعها ، وقد وجدت هذه المنعطفات في أنهار تخلو مياهها من رواسب وفتات كما وجدت في أنهار تتدفق فوق فتات الصخور .

ولقد وجدت مؤخراً علاقة ارتباط بين التنشيط التكتوني للمنطقة ودرجة انعطاف النهر وتغير مجراه ونشوء المنعطفات النهرية كالمنعطف الموجود في نهر دجلة بين بغداد والكوت أو في المنطقة المحصورة بين بلد وبغداد وفي منعطف الأعظمية والزويّة ... الخ .

أما أهم المظاهر التضاريسية لعملية تصابي الأنهار فهي :

١ ـ المنعطفات المعمقة Incised meanders ، يصادف ان يكوّن النهر الكهل منعطفات في مجراه ثم عند ارتفاع الأرض التي يجري عليها من ناحية المنبع (تغير في مستوى القاعدة) تزداد سرعة التيار ويبدأ النهر في تعميق مجراه . بذلك يظهر النهر بانعطافات عميقة تفصل بعضها عن بعض تلال عالية .

٢ ـ الشرفات النهرية أو المدرجات النهرية River terraces وهي امتدادات طولية من الأرض على جانبي النهر تكون في هيئة مصاطب واحدة فوق الأخرى وغالباً ماتظهر منها عدة أزواج ويكون مجرى النهر محصوراً بين الزوج الأسفل منها (الأحداث) .

يمثل كل زوج من هذه الشرفات فترة من حركات الرفع التي جددت نشاط النهر . فزوج الشرفات الأعلى يمثل مستوى قاع الوادي أثناء احدى مراحل كهولته الأولى ، وقد أدت بعد ذلك فترة من التصابي للنهر الى حفر واد جديد في الرسوبيات المكونة لهذه الشرفات العالية ، وحينما عاد النهر الى مرحلة الكهولة بدأ يرسب في الوادي الجديد الذي حفره في الشرفات الأولى العالية رسوبيات جديدة مكونة مستوى جديداً من الشرفات أقل ارتفاعاً من المستوى السابق ، وبتكرار هذه العملية يمكن ان تتكون مستويات من الشرفات النهرية وبذلك يمكن ان

تعتبر كل زوج من الشرفات خاصاً بمستوى معين يمثل فترة من حركات الرفع الى تجديد النشاط التحاتي للنهر ، فزوج الشرفات الأعلى يمثل مستوى قاع الوادي أثناء مرحلة الكهولة الأولى التالية لحركة رفع ، والزوج الذي يليه الى اسفل يمثل أول فترة للتصابي (أي ثاني فترة من النشاط التكتوني بعد ظهور النهر) تليها فترة أخرى للكهولة . والزوج الذي يليه فترة أخرى وهكذا . ومعنى ذلك أن اقدم الشرفات هي اعلاها واحدثها هي اسفلها ، مثل الشرفات النهرية الواضحة المعالم في نهر ديالى في موقع الصدور وكذلك الشرفات النهرية في نهر دجلة شمال مدينة بغداد .

هناك عدة أنواع من الشرفات النهرية يتكوّن بعضها من أسطح تحاتية بدون وجود رسوبيات نهرية على ضفاف النهر ، يحدث عند تعاقب التصابي مراحل نضوج في النهر وليس مراحل كهولة ، حيث لاتتوفر للنهر المتصابي فرصة للوصول الى مرحلة الكهولة وترسيب رسوبيات على ضفافه . أما البعض الآخر من الشرفات النهرية فيكون منحوتاً في الهدبيات النهرية نفسها .

هناك شرفات نهرية تتكوّن من اسطح تحاتية عن تآكل الصخور الأصلية المكونة لضفاف الأنهار بالاضافة الى وجود بعض الرسوبيات النهرية التي تعلو هذه الأسطح التي تنشأ حينما تطول مرحلة الشباب بعد كل فترة من فترات التصابي حتى يصل العمل التحاتي للنهر الى التأثير على الصخور المكونة للقشرة السطحية تحت مجراه . بعد ذلك يصل النهر الى مرحلة الكهولة ويرسّب على هذا السطح من الصخور رسوبيات نهرية .

من الجدير بالذكر هنا أنه يمكن للأنهار وأحواض الصرف الواسعة مثل نهر النيل أو النيجر أو الكونغو والميسيسبي أو الأمازون ان يظهر النهر الواحد في اجزاء مختلفة من مجراه في مراحل مختلفة من النمو ، فالنيل مثلاً في مجراه في مصر في مرحلة النضوج ، أما في مجراه عبر بلاد النوبة فقد كان قبل بناء السد العالي نهراً في مرحلة الشباب ، وذلك نتيجة للنشاط التكتوني الخاص بكل منطقة يمر بها النهر .



قرصنة الأنهار River piracy :

تعرف هذه الظاهرة أيضا باسم الاسر النهري River capture وهي ظاهرة طريفة تحدث بين الأنهار والجداول مع تقدم عوامل الحت وانخفاض المنسوب القاعدي العام لأحواض الصرف ، تنشأ هذه الظاهرة عادة بين أنهار تنتمي الى أحواض صرف مختلفة وهي عبارة عن سطو أحد الأنهار على مياه نهر آخر . تتكون ظاهرة الأسر النهري عندما يكون أحد الأنهار مجاوراً لحوض صرف آخر اكثر نشاطاً في خفض مستوى التضاريس عن حوض الصرف الذي ينتمي اليه النهر المسطو عليه . فتأخذ مياه النهر المسطو عليه طريق النهر ذي الانخفاض الأكبر ويسمى النهر المسطو عليه في هذه الحالة النهر « الاسير » اما النهر الذي حصل على المياه فيسمى النهر « القرصان » أو الاسر .

وقد يفتك النهر القرصان باسيره تماماً فيحرمه من كل مائة في الجزء الأسفل من مجراه (أي الذي يكون اكثر قرباً الى مصبه) ابتداء من المنطقة التي يلتقي عندها النهران ، فيسمى النهر الاسير عندئذ بالنهر السليب Beheaded stream . وقد يتبقى للنهر الأسير بعض مائة بعد عملية الأسر وعندئذ تكون كمية الماء التي تجري فيه لاتتناسب مع عمق مجراه فيسمى بالنهر السيء المطابقة Misfit .

العمل البنائي للأنهار

ان معظم العمليات التي تقوم بها الأنهار والمظاهر التضاريسية الناتجة عنها التي ناقشناها في الصفحات السابقة بشيء من الاسهاب تختص بالعمل الهدمي للأنهار باستثناء تكون الشرفات النهرية . أما العمل البنائي للأنهار فيكون أكثر وضوحاً في الأجزاء السفلى من مجاريها (أي الأجزاء الأقرب من مصباتها) .

يقتصر العمل البنائي للأنهار على الترسيب ونشوء الرسوبيات النهرية المختلفة . يحدث الترسيب في الأنهار عندما تتناقص قدرة نقل هذه الرسوبيات نتيجة تأثير

عوامل معينة تؤدي الى تراكم الرواسب في أجزاء مختلفة من المجري النهري حينما تنخفض سرعة التيار النهري على فترات كثيرة متكررة اذ تتناسب كمية الحمولة النهرية تناسباً طردياً مع سرعة المياه وحجمها لهذا من المتوقع ان تترسب الحمولة كلها أو جزء منها اذا تعرض أي من هذين العاملين (سرعة الانسياب وكمية الماء) للنقصان .

حيث يرتبط انخفاض سرعة التيار ونقصان التصريف النهري بعوامل متعددة منها :

(١) العوامل التي تؤدي الى انخفاض سرعة المياه هي :

١ ـ انخفاض درجة انحدار المجرى ويظهر بوضوح خاص عند مناطق أقدام الجبال السالفة الذكر .

٢ ـ تغير شكل المجرى ، فاتساع المجرى المفاجيء يؤدي الى انخفاض سرعة التيار كما ان وجود التعرجات يمكن ان يؤدي الى انخفاض مماثل .

٣ ـ تعرض المياه الجارية لعوائق من أنواع مختلفة ، ككتل صخرية ضخمة أو سدود أو تراكيب جيولوجية بارزة خاصة .

٤ ـ تدفق المياه في جسم مائي هادىء كبحيرة او خليج او بحر ، وهذا كثيراً مايحدث في مصبات الأنهار (دالات النهر) عندما تصل الأنهار الى نهاية مطافها عند التقائها بالبحر .

(٢) العوامل التي تؤدي الى نقصان حجم مياه الأنهار هي :

١ ـ يقل حجم مياه النهر في مواسم الصيهود ، فينتج عن ذلك ترسيب الحمولة التي يأتي بها النهر في مواسم الفيضان .

٢ ـ مرور النهر على مساحات واسعة من الصخور الجافة المسامية او اجتيازه مناطق رطبة ثم دخوله في مناطق جافة .

يمكن تقسيم الرسوبيات النهرية حسب موقعها في مجرى النهر ، فهناك رسوبيات تتكون في الأماكن العلوية من مجراه ، ومن أهمها المراوح النهرية ، تتكون في العادة في مناطق أقدام الجبال ، وهناك رسوبيات تتكون في الأجزاء السهلة من مجرى النهر على طول سهول الفيضان ، وتتكون الرسوبيات النهرية أيضاً عند التقاء النهر بالبحر في نهايه مطافه (المصب) وهي رسوبيات مصبات الأنهار والدلتات ، نتناول كل نوع من هذه الرسوبيات على حدة في الفقرات الآتية :

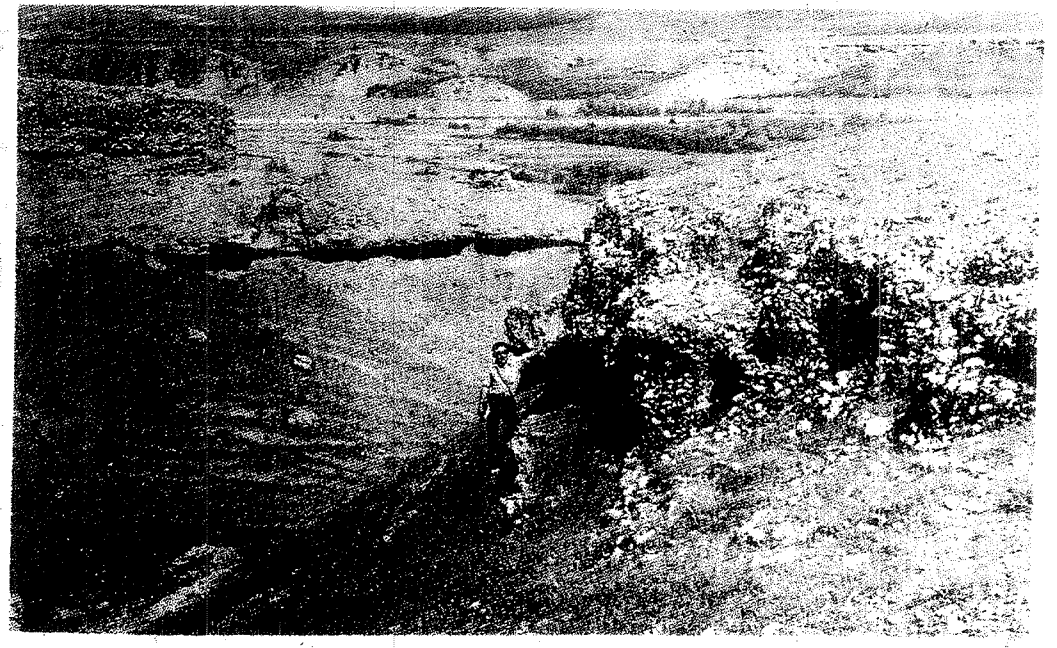
١ ـ المراوح الفيضية أو الفرينية أو الطميية أو (السهول المروحية) Alluvial fans :

وهي مساحات مرتفعة مثلثة ومخروطية الشكل . وتتكون من رواسب الطمي التي ترسبها الجداول والنهيرات الشديدة الانحدار عند هبوط مياهها سفحاً يؤدي الى سهل فسيح ، حيث تنخفض سرعة المياه فجأة مما يؤدي الى ترسيب كل حمولتها مكونة مايشبه الدلتا البعيدة عن البحر (الشكل ٨ ـ ٢٠) .

تتكون المراوح الفرينية او الطميية في جميع المناطق البيئية من جليدية الى معتدلة،صحراوية وشبه صحراوية ، وهي تختلف عن رسوبيات أقدام الجبال بأنها مكونة من رواسب فتاتية دقيقة ، أما رسوبيات أقدام الجبال فتتكون عادة من رواسب غليظة مثل تكتل المتكورات والرمال المختلطة بالطمي شكل (٨ ـ ٨) .

٢ ـ السهول الفيضية Flood plains :

هي الأراضي المنبسطة من الوديان على جانبي مجرى النهر التي يغمرها الفيضان ، فتترسب عليها كميات كبيرة من الغرين . وفي الأنهار الشابة أو متوسطة العمر يترسب اضافة الى الطمي الرمل والحصى والجلاميد ، أما السهول الفيضية الممتدة على جوانب الأنهار الكهلة فتكون غنية بالغرين .



شكل (٨ - ٨)

مروحة غرينية حصوية في منطقة دربندخان

في كثير من الأحيان تتخلل هذه الرسوبيات طبقات من الطمي تترسب في فترات الصيهود التي تصيب الأنهار في الفترات الجافة من العام . وفي نهاية الأمر يمكن أن تتكون بحيرة هلالية تمتلىء برسوبيات دقيقة الحبيبات وبرواسب عضوية (خشب صخري) . أما في المراحل المتقدمة من تاريخ النهر فيمكن ان يمتلىء وادي الفيضان بصفة موسمية برواسب من الطمي . ويتراوح سمك الرسوبيات النهرية المتكونة في وديان الفيضان مابين عشرة أمتار وثلاثين متراً ، وقد يزيد على ذلك في حالة الأنهار ذات التاريخ المعقد والعمل الجيولوجي الطويل ، فسمك رسوبيات نهري دجلة والفرات في مجريها الأدنى يزيد على ٤٠٠ متر ، ويصل سمك رسوبيات نهر النيل في قرب مدينة قنا مثلاً الى ٥٠٠ متر ، ويزداد هذا السمك في اتجاه الشمال حتى يصل الى بضعة كيلومترات في دلتا هذا النهر ، وفي هذه الحالة يكون التتابع الرأسي للروسبيات النهرية معقداً حيث يتعرض النهر الى عدة مراحل وفترات من التصابي .

٣ - رسوبيات مصبات الأنهار والدالات Deltaic and estuarine deposits :

حينما يصل النهر الى البحر يمكن ان يتكون في العادة نوعان من المظاهر

تعد السهول الفيضية من أخصب الأراضي الزراعية . معظم الأراضي الزراعية في وديان دجلة والفرات والنيل تتكون من رواسب الفيضان . يمكن بمتابعة التتابع الرأسي للرسوبيات المكونة في سهول الفيضان تباين مراحل تكوين مثل هذه السهول . هناك تتابع نموذجي من الرسوبيات النهرية تتكون في مثل هذه السهول حسب المراحل المختلفة من دورة التحات النهرية . يتسع سهل الفيضان عادة في المراحل المتأخرة من شباب النهر عن طريق تكوين منعطفات نهرية في بداية الأمر تكون الرسوبيات المكونة في هذا الوادي رسوبيات غليظة حيث تكون للنهر الشاب قدرة كبيرة على الحمل . ويكون توزيع هذه الرسوبيات غير متماثل ومقتصراً على جانب واحد من النهر ، عند موقع منعطف نهري معين فتترسب الرمال الخشنة وصخور المجمعات على الأجزاء المحدبة من المنعطف أما الأجزاء المقعرة فتتعرض للتآكل (شكل ٨ ـ ٩) .

الطبوغرافية : مصبات الأنهار أو الدالات وهناك عدة عوامل تحدد طبيعة الملامح الطبوغرافية التي يكونها النهر عند التقائده بالبحر ، وهذه العوامل هي :

١ ـ سرعة وصول الرسوبيات النهرية الى البحر .

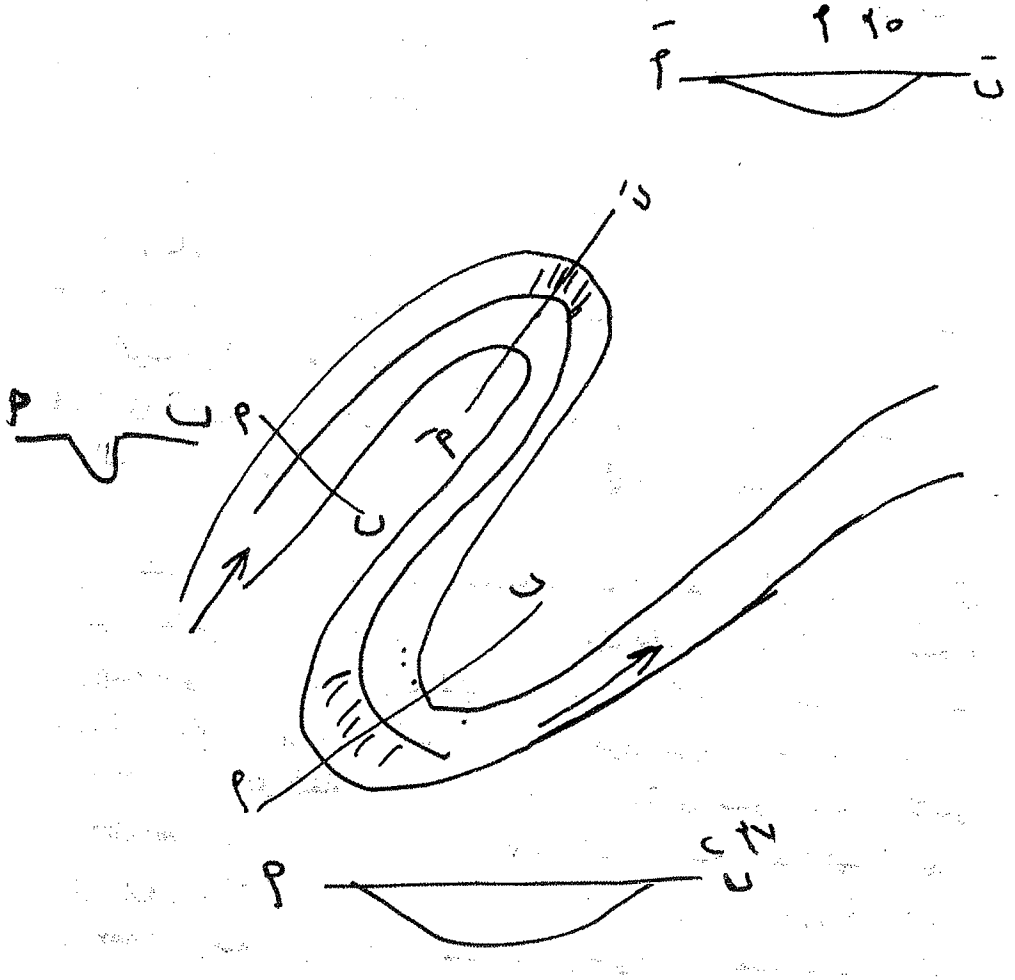
٢ ـ سرعة هبوط المنطقة الساحلية التي يلتقي عندها النهر بالبحر .

٣ ـ سرعة التيارات البحرية في ازالة الرسوبيات التي حملها النهر الى منطقة التقائه بالبحر .

٤ ـ عمق منطقة المصب ومدى استقرارها جيولوجياً .

اذا فاقت سرعة هبوط المنطقة التي يلتقي فيها النهر بالبحر وسرعة ازالة الرسوبيات منها بواسطة الموجات البحرية الشديدة والتيارات البحرية سرعة تزويد هذه المنطقة بالرسوبيات من النهر يتكون حينئذ مصب نهري estuary . والمصب النهري عبارة عن خليج مستطيل في اتجاه مجرى البحر يصب فيه النهر . ومن الأمثلة الشهيرة لمصبات الأنهار مصب نهر الأمازون في امريكا الجنوبية ومصبات الأنهار الأوربية الكبيرة التي تصب في المحيط الأطلسي مثل أنهار السين واللوار والجارون في فرنسا ، وأيضاً مصبات بعض الأنهار الاسيوية مثل نهر أوب ونهر الينساي Yenisei في الاتحاد السوفيتي اللذين يصبان في المحيط المتجمد الشمالي ومصب شط العرب في الخليج العربي ومصب نهر النيل في البحر المتوسط وغيرها .

اما اذا كانت سرعة هبوط المنطقة التي يلتقي فيها النهر بالبحر وسرعة ازالة الرسوبيات منها بواسطة التيارات البحرية أقل من سرعة تزويد هذه المنطقة بالرسوبيات من النهر فتتكون الدلتا أو دال النهر Delta وأطلق بعض العلماء الاغريق هذا اللفظ لأول مرة على دلتا النيل حيث تكون هذه الدلتا (مثل معظم دالات الأنهار) على شكل مثلث صغير مميز يشبه الحرف الاغريقي (دلتا) على هذا اختار الاغريق اللفظ للاشارة الى المظهر الطبوغرافي الخاص لدلتا النيل .



شكل (٨-٩)

مقطع في التواء نهري يوضح عمليتي الترسيب والحت

يمكن التميز في كل من الدالات ومصبات الأنهار بين ثلاث مناطق من الترسيب حسب وضع هذه المناطق بالنسبة للبحر وهي :

١ ـ الجزء النهري القريب من المصب النهري Near estuary section of the river تتراكم في هذا الجزء رسوبيات نهرية عادية .

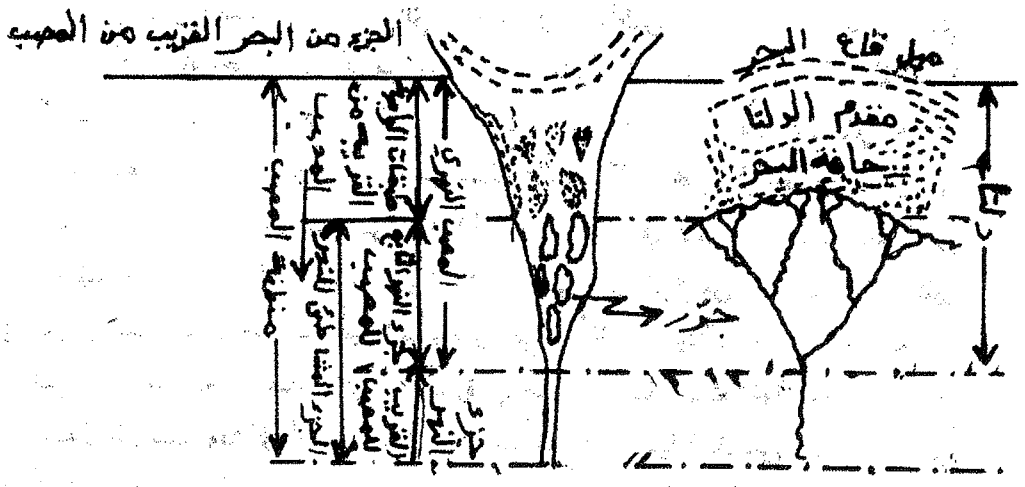
٢ ـ جزء المصب الخليجي (المصب الخليجي أو الدلتا) تتراكم في هذا الجزء الرسوبيات النهرية الخشنة .

٣ ـ الطبقات الصخرية القريبة من المصب ، تمتد هذه الى حدود الجهات الضحلة بالقرب من الشاطىء البحري .

٤ ـ الجزء البحري القريب من المصب ، ويقع ضمن تلك المنطقة التي تتناقص فيها الملوحة الى حد واضح وذلك عندما يكون النهر في مرحلة الفيضان .

الدلتا (دال النهر) هي سهل ينشأ على قاع البحر أو المحيط ويرتفع الى مستوى سطح البحر . يتكون من فتات صخري تنقله الأنهار . يمتد بصورة تدريجية نحو البحر . عند اقتراب الأنهار من مصباتها البحرية تتناقص سرعتها ونتيجة لذلك تلقي برواسبها المحمولة على قاع المجرى النهري وقاع منطقة المصب ، وفضلاً على ذلك يؤدي التقاء المياه العذبة بالمياه المالحة الى حدوث مايشبه التخثير (Coagulation) ينتج عن ذلك ترسيب الحبيبات الناعمة المعلقة بمياه النهر . يتكون بمرور الوقت الكافي سهل مروحي واسع بشكل تدريجي ويكون لهذا السهل رأس Apex يواجه النهر وقاعدة واسعة تنحدر نحو البحر . فعندما يكون البحر ضحلاً ، وسرعان ماتنسد قناة النهر بواسطة الرواسب الملقاة بحيث لاتسمح بمرور جميع المياه الموجودة في النهر ومن ثم يرتفع مستوى المياه في النهر بعد اجتيازها ، بهذه الطريقة يحاول النهر التوصل الى مخرج عن طريق كسر ضفافه فيكون مجموعة جديدة من القنوات (شكل ٨ ـ ١٠) .

ينتج عن ذلك تكوين تفرعات أو انقسامات جديدة للنهر عند مصبه ان هذه الصفة هي خاصية واضحة للأنهار عند مصباتها ويتغير شكل الدلتا خلال كل فيضان من الفيضانات ، فيزداد عرض ارتفاعها وتمتد باتجاه البحر . تؤدي هذه



شكل (٨ - ١٠)

دال نهر (دلتا) يوضح مصبات متباينة

العمليات الى تكوين سهل طولي دلتاوي واسع . ومن أوسع هذه السهول الدلتاوية الامتداد الواسع للرواسب الدلتاوية المغمورة لنهر الهوانكو (النهر الأصفر) حيث يصل طوله الى حوالي ١١٠٠ كم وعرضه الى ٤٠٠ كم ومن الدلتاوات الواسعة أيضاً دلتا نهر اليانكستي ودلتا نهر ابراهما بوترا (الذي يصب في خليج البنغال)ودال نهر الكنج ودال نهر ماهاندي . ويبلغ طول دال نهر المسيسيبي ٣٢٠ كم وعرضه ٣٠٠ كم بينما تبلغ مساحة دال نهر النيل حوالي ٣٥ ألف كم ٢ .

لايكون معدل زيادة اتساع الدلتا وتوسعها باتجاه البحر ثابتاً فيذكر كلينوف (١٩٥٠) بأن دلتا نهر الفولغا تمتد باتجاه البحر بمعدل حوالي ١٧٠ م في السنة وقد ازداد هذا المعدل في السنوات الأخيرة الى حوالي ٥٠٠ م سنوياً بالنظر لانخفاض مستوى مياه بحر قزوين .

ومن أبرز الأمثلة النموذجية التي تحدث في مناطق الدالات هو التغير الذي يحصل في قناة الحفر بمرور الزمن ومن أبرز الأمثلة على ذلك مايحصل في المنطقة الدلتاوية لنهر الهوانكهو . فقد أصبحت القناة الرئيسية للنهر تمر شمالي جبال شانتونغ منذ سنة ١٨٥٢ ، أما قبل ذلك فانها كانت تجري في الجزء الجنوبي من الدلتا ، فتعبر جبال شانتونغ في الجنوب وتصب في البحر على بعد ٤٨٠ كم من مصبها الحالي . بينما تنمو دلتا النيل بشكل بطيء على الرغم من ان النهر يفقد كثيراً من مياهه خلال مسيرته عبر الصحراء ويلقي بأغلب حمولته عند رأس الدلتا المروحية اضافة الى عامل هبوط القشرة في هذه المنطقة حيث يفوق معدل الهبوط معدل الترسيب وتشكل أبعاد الدلتا ومعدل اتساعها وسيلة لقياس كمية المواد التي تحملها الأنهار الى البحر كما وأنها تبين نظام الحوض البحري الذي تتصرف اليه المياه . اذ يكون تغير ضحالة مياه البحر عند المصب وكثرة المفتتات الصخرية المنقولة وقلة التيارات البحرية وموجات المد عوامل أساسية في بناء الدلتا . يشكل الرمل والطين الجزء الأعظم من رواسب الدلتا للأنهار السهلية بينما تتكون رواسب الأنهار الجبلية من المواد الخشنة كالحصى .

عند دراسة المقطع العرضي للدالات يمكن تمييز أربعة أنواع من الرواسب المتراكمة على شكل طبقات وهي :

١ ـ الطبقة العليا فوق مستوى سطح الماء وتتكون من الرواسب الخشنة للأنهار والمستنقعات .

٢ ـ الطبقة الفوقية العليا تتكون من رواسب الأنهار بشكل رئيسي الا انها تكون في العادة تحت مستوى سطح البحر .

٣ ـ الطبقات الأمامية الوسطى وتتكون من رواسب القيت على سفح شديد الانحدار .

٤ ـ الطبقات الدنيا تتكون من مواد غروية .

تتخذ الدالات أشكالاً متعددة نظراً للظروف البنيوية لمنطقة المصب ولظروف النهر الهيدرولوجية ومن هذه الأشكال :

١ ـ الدالات المروحية (المقوسة) Arcuate Delta مثل دال نهر النيل .

٢ ـ الدالات الاصبعية Digitate delta او تسمى بدالات اصبع الطير Bird's foot delta مثل دال نهر المسيسبي .

٣ ـ الدالات الخليجية Tevere delta تتصف بأنها طويلة جداً مثل نهر فيفير في ايطاليا .

٤ ـ الدالات القرنية Cupsate delta مثل نهر السين وتظهر على هيئة أسنان متوازية .

الفوائد الاقتصادية من دراسة الرسوبيات النهرية

تحتوي الرسوبيات النهرية أحياناً على بعض المعادن الاقتصادية وعلى النفط . وتكون مياه البحار في مناطق مقدمة الدلتا (البرودلتا) غنية بالمواد العضوية والأملاح الصالحة لغذاء النبات نتيجة لاثراء هذه البحار بالمواد التي تحملها مياه الأنهار وهذا سبب التكاثر الكبير في الكائنات الحية الذي يحدث في مثل هذه المناطق لذلك اتسمت الرسوبيات في قاع مقدمة الدلتا بأنها غنية بالمواد العضوية الصالحة لتكوّن النفط في باطن الأرض . اما باقي الرسوبيات النهرية للدلتا فتمتاز بوجود عدسات عديدة من الرمال النفاذة تتخلل طبقات غير نفاذة من الطمي ، من المحتمل جداً ان تصبح العدسات هذه أماكن مناسبة لتراكم كميات اقتصادية من النفط ، وتسمى مثل هذه

الأماكن التي يتراكم فيها النفط بالمصايد النفطية Trops oil . ان معظم حقول بترول نيجيريا تقع في رسوبيات دلتا النيجر لذلك تقوم الكثير من شركات البترول بالتنقيب عن هذا الوقود الطبيعي في دلتات الأنهار .

وقد تم اكتشاف حقول مهمة من الغاز الطبيعي مثلاً في دلتا النيل مؤخراً وفي المناطق المستنقعية القريبة من مصب شط العرب في القطر العراقي وهناك محاولات عديدة للبحث عن البترول في رسوبيات الدلتات القديمة والجديدة في مناطق كثيرة من العالم . اما بخصوص احتواء الرسوبيات النهرية على معادن اقتصادية ، فتجدر الاشارة هنا الى ان معظم الرسوبيات النهرية هي رسوبيات فتاتية ترابية ، أي أنها ناتجة عن تفتت صخور نارية أو متحولة أو رسوبية سابقة التكوين ، فغالباً ماتحتوي هذه الروسبيات على معادن تكونت في عروق صخور مختلفة أو داخلها وفي غالب الأحيان تكون هذه المعادن قد تأثرت داخل الصخور الأصلية التي تكونت فيها بحيث أصبح تركيزها غير كاف للاستغلال الاقتصادي ، يمكن ان تؤدي عملية تفتت الصخور الحاوية على مثل هذه المعادن الاقتصادية ونقل هذا الفتات وفرزه وترسيبه الى تركيز بعض المعادن في أماكن معينة من مجرى النهر (كالاجزاء المقعرة للمنعطفات النهرية القديمة أو الحديثة) وتسمى هذه الرسوبيات النهرية الحاوية على معادن اقتصادية مركزة برواسب البرقة Placer deposits تمتاز المعادن التي توجد في رواسب البرقة بأنها ذات

صلادة وكثافة عاليتين وتتركز هذه المعادن عادة في أسفل الطبقات النهرية التي تحتوي على الحبيبات الغليظة . ومن أشهر رسوبيات البرقة الذهب والبلاتين والالماس ومعادن التنجستين (الولفراميت والشيليت) ومعادن التيتانيوم (الروتيل) والقصدير (الكاسيناريت) ، ومن الجدير بالذكر أن رسوبيات الذهب كانت تستغل في الجوانب المقعرة من مجرى نهر الفرات في منطقة المسيب .

الفصل التاسع

المياه الجوفية وعملهـــا

٩ ـ ١ ـ المياه الجوفية :

هي المياه الموجودة تحت سطح الأرض والمخزونة في مسام الصخور المختلفة . ان معظم المياه الجوفية الحبيسة في الصخور القريبة من سطح الأرض والموجودة على أعماق لاتزيد عن بضعة مئات من الأمتار من سطح الأرض هي مياه جوفية ، وهي المياه الجوفية التقليدية التي يهتم بها الجيولوجيون والجيومورفولوجيون عند التنقيب عن خزانات الماء لاستعمالها في الزراعة والصناعة والأغراض المنزلية . ولهذه المياه الجوفية أيضاً عمل جيومورفولوجي واضح بتأثيرها على بعض الملامح التضاريسية لسطح الأرض .

توجد المياه الجوفية في الصخور المسامية وذات النفاذية العالية (Highly porous and Permeable rocks) وتعرف هذه الصخور باسم الصخور الخازنة (Reservoir rocks) ، أما التركيب العام المكّون من هذه الصخور الخازنة والذي يحتوي على كمية محددة من المياه الجوفية في منطقة معينة فاعتاد العلماء ان يطلقوا عليه اسم « مكمن المياه الجوفية » (Ground water reservoir) أو الحشارج

مسامية الصخور الخازنة للمياه الجوفية ونفاذيتها :

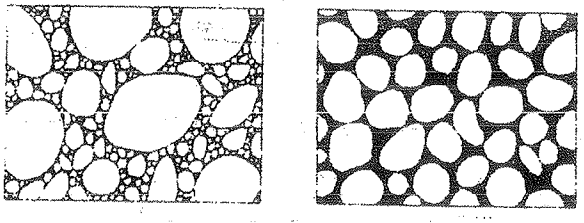
المسامية (Porosity) من الصفات المميزة للصخور . فمسامية بعض الصخور ضئيلة ، مثل صخور الكرانيت ومعظم الصخور النارية والمتحولة ، أما مسامية بعض الصخور الأخرى فتتدرج من معتدلة الى عالية ، من أمثلتها الكنجلوميرات (صخور المجمعات) والرمال غير الملتحمة أي الخالية من المواد المعدنية المتبلورة التي تتبلور في مسام بعض الصخور الفتاتية والتي تسمى بالأسمنت الطبيعي ، يؤدي تبلور هذا الاسمنت الطبيعي في مسام الصخور الى خفض مساميتها . يعرّف العلماء مسامية أي صخر بأنها نسبة حجم

الفراغات الموجودة بين المحتويات المعدنية لكتلة صخرية معينة الى الحجم الكلي لهذه الكتلة الصخرية . ويمكن تمثيل المسامية بالمعادلة الآتية :

$$\text{المسامية} = \frac{\text{حجم الفراغات الموجودة في الكتلة الصخرية}}{\text{الحجم الكلي للكتلة الصخرية}}$$

مسامية الصخور الرسوبية الفتاتية عالية في العادة ، بعكس مسامية الصخور المتبلورة ، تعتمد مسامية الصخور الفتاتية على عدة خواص للحبيبات الفتاتية المكونة للصخر ، ومن أهم هذه الخواص ماياتي :

١ ـ درجة فرز Sorting الحبيبات المكونة للصخر . الفرز مفهوم علمي في علم الصخور (البتروغرافيا) يعني درجة تفاوت أحجام الحبيبات المكونة للصخر . فاذا كان الفرز جيداً تكون الحبيبات المكونة للصخر متقاربة في أحجامها ، اما اذا كان الفرز سيئاً فتكون الحبيبات المكونة للصخر متفاوتة في أحجامها . تكون مسامية الصخور الرديئة الفرز أقل في العادة من مسامية الصخور الجيدة الفرز (لاحظ الشكل ٩ ـ ١) .



شكل (٩ ـ ١٠)

تفاوت أحجام حبيبات الصخر

٢ ـ استدارة الحبيبات المكونة للصخر Roundness وشكلها Shape فمن حيث الاستدارة يمكن التميز بين حبيبات مستديرة Rounded وحبيبات زاوية Angular . اما من حيث الشكل فيمكن التميز بين حبيبات متساوية الأبعاد Equal ,pfdfhj kqudm Tabular وحبيبات عدانية Columnar of prolate وحبيبات نصلية Bladed .

٣ ـ ترتيب الحبيبات في الصخر أو مايعبر عنه بالاندماج Packing ، يؤثر هذا الترتيب مع شكل الحبيبات على مسامية الصخر . فالصخور ذات الحبيبات المرتبة ترتيباً مندمجاً أقل مسامية من الصخور المرتبة ترتيباً أقل اندماجاً .

وبالاضافة الى الخواص المذكورة آنفاً التي تعتمد أساساً على الظروف المصاحبة للترسيب Syndepositional Factors ، توجد صفات يمكن أن يكتسبها الصخر بعد الترسب عندما يندفن تحت تراكمات رسوبيات احدث منه ، تسمى هذه الظروف او العوامل بعوامل مابعد التكوين او العوامل البعدية Diagenativ processes التي تؤدي الى انخفاض مسامية الصخور نتيجة لتبلور بعض المعادن في مسام الصخر على هيئة اسمنت طبيعي كما أشرنا سابقاً . الا انه يمكن للظروف البعدية ان تؤدي الى زيادة في المسامية عن طريق اذابة بعض المحتويات المعدنية للصخر . وقد تؤدي الحركات الأرضية أيضاً الى تكوين تشققات في الصخر تزيد من مساميته .

على الرغم من عدم وضوح تأثيرات حجم الحبيبات المكونة لصخر فتاتي على مساميته من الناحية النظرية ، الا ان العلماء قد وجدوا ان للصخور الدقيقة الحبيبات مسامية أكبر من مسامية الصخور الغليظة الحبيبات ، اما الصخور الرسوبية غير الفتاتية فتكون في العادة شديدة التأثر بالظروف البعدية لذلك تتفاوت كثيراً من حيث مساميتها (كما هو مبين في الجدول الآتي) :

درجات المسامية الشائعة في بعض الصخور والرسوبيات

الصخور او الرسوبيات	المسامية ٪
التربة المزيجية	اكثر من ٥٠
الطفل والطين	اكثر من ٥٠
الرمل الدقيق	٤٤ ـ ٤٩
الرمل المتوسط الحبيبات	٤١ ـ ٤٨
الرمل الغليظ والحصباء	٣٩ ـ ٤١
الحجر الرملي (فيه بعض الاسمنت الطبيعي)	٥ ـ ١٥
الحجر الجيري (يتأثر بالظروف البعدية)	٥ ـ ٢٠ وأكثر
الدولوميت	٢٥
الصخور النارية والمتحولة	٢١

أما نفاذية Permeability الصخر فهي قابلية الصخور لامرار الماء او المائع بين حبيباته . ويمكن التعبير عن نفاذية أي صخر بالمعادلة الآتية :

$$ك = م \frac{س \quad ص}{ل \quad ط}$$

حيث :

ك = كمية الماء أو السائل بالسنتيمتر المكعب التي تمر في الثانية الواحدة من خلال العينة الصخرية المراد قياس نفاذيتها .

س = مساحة المقطع العمودي على اتجاه سير الماء أو السائل خلال الصخر . وتقاس بالسنتيمتر المربع .

ط = طول العينة الاسطوانية بالسنتيمتر .

ل = لزوجة المائع المار خلال العينة مقيسة بوحدات السنتيبواز والسنتيبواز Centipoise هو حدة اللزوجة .

ص = فرق الضغط بين موقع دخول المائع في العينة وموقع خروجه من العينة .

م = معامل ثابت لكل عينة وهو مقدار نفاذية الصخر الممثل بالعينة المدروسة .

تعتمد نفاذية الصخور الفتاتية على حجم الحبيبات المكونة للصخر ، فكلما قل حجم الحبيبات قلت النفاذية وذلك لأن حجم الفراغات الواقعة بين الحبيبات يتحكم في سهولة مرور السوائل من خلالها ، كلما قل هذا الحجم أصبح مرور السوائل من خلال هذه الفتحات عسيراً . لذلك تكون نفاذية الطَفل والطين قليلة جداً على الرغم من مساميتها الكبيرة . يتصف حجم المسامات في صخور الطفل بانه صغير الى الحد الذي يجعل قوة التوتر السطحي Surface tension بين سطح السوائل الموجودة في الصخر وسطح المكونات المعدنية للصخر كبيرة جداً بحيث لاتسمح بمرور السوائل من خلال الصخر . اذ ان صغر الحبيبات والفجوات الموجودة في الصخر يجعل سطح المادة الصخرية المعرضة للسوائل كبيراً جداً اذا قورن بسطح المادة الصخرية المعرضة للسوائل في صخور فتاتية اخرى ذات حبيبات اكبر مثل الرمل والحصى وتلعب نسبة الفجوات المتصلة ببعضها الى الفجوات غير المتصلة دوراً في تحديد نفاذية الصخور أيضاً فاذا كانت الفجوات غير متصلة فلا يمكن ان تمرّ السوائل من خلال الصخر وبذلك يكون الصخر غير نفاذ .

توضح الاعتبارات السالفة الذكر كلها مقدار نفاذية الصخور المختلفة لمنطقة معينة للحكم على امكانية وجود مكامن للمياه الجوفية . هناك طرق مختبرية وجيوفيزيائية لتقدير نفاذية الصخور ومساميتها ، الا ان مناقشة هذه الطرق خارجة عن نطاق هذا الكتاب .

تتخلل مياه الأمطار المتساقطة الصخور متجهة الى أسفل نحو باطن الأرض طالما كانت نفاذية تلك الصخور تسمح بذلك . وعندما تصل هذه المياه المتخللة الى طبقة أو صخور صماء يتوقف سريانها،وتتراكم المياه فوق هذه الطبقة أو تلك الصخور ، عندئذ يمكن أن يتكون مكمن للمياه الجوفية . قد تجري المياه فوق

الطبقة المصمتة بنفس طريقة جريانها فوق سطح الأرض . لذلك يهتم الباحثون بتحديد تركيب أسطح الطبقات المصمتة في التسلسل الطبقي القريب من سطح الأرض عند البحث عن المياه الجوفية . ففي المناطق المناخية المعتدلة أو التي تتساقط فيها أمطار غزيرة يكون منسوب الماء الجوفي قريباً جداً من سطح الأرض ، حيث يكون الوشاح الصخري الحطامي في هذه المناطق مشبعاً بالماء المتخلل . اما في المناطق الجافة ، فيكون منسوب هذه المياه بعيداً نسبياً عن سطح الأرض ، حيث تتراكم المياه الجوفية في جيوب دقيقة في أعماق الوشاح الصخري أو في داخل رسوبيات نهرية أو في طبقات نفاذة للصخور القريبة نسبياً من سطح الأرض . غير أنه في كثير من الأحيان يجب البحث عن مكامن المياه الجوفية في مثل تلك المناطق في أعماق لاتقل عن بضعة مئات من الأمتار . سوف نتناول في الفقرات الآتية مناقشة الأجزاء المختلفة لمكن مياه جوفية في المناطق المناخية المعتدلة ، وذلك قبل ان نتناول أنواع مكامن المياه الجوفية بالدراسة .

المكونات العامة لمكامن المياه الجوفية :

يعرف السطح العلوي للماء المتخلل في الصخور باسم منسوب الماء الجوفي (م م ج) ، لايظهر هذا السطح بشكل مستقيم أو أفقي ، بل انه يتبع تقريباً الشكل الطبوغرافي لسطح الأرض ، الا اذا حالت بينه وبين سطح الأرض طبقة مصمتة (غير منفذة) (Impermeable bed) . ففي هذه الحالة يمكن ان يتكون بصفة استثنائية مكمن مياه جوفية Perched Water Table . يسمى هذا النوع من المياه الجوفية بالماء الجائم أو ماء نطاق التهوية Perched or vadese water . كميات هذا الماء قليلة ومحدودة بالمقارنة بكميات المياه الجوفية الموجودة في المكمن الأصلي لهذه المياه في المنطقة . مستوى منسوى الماء الجائم أعلى من منسوب الماء الجوفي .

ويبين الشكل (٩ ـ ٤) الأحزمة المختلفة للرطوبة تحت الطبقة السطحية المحيطة بمكامن المياه الجوفية في المناطق المناخية المعتدلة . يمكن التعرف على الأحزمة الآتية من أعلى الى أسفل :

١ ـ حزام رطوبة التربة Belt of soil moisture ، يتصف هذا الحزام باستمرار رطوبته نتيجة لتبلله بمياه الأمطار . لايوجد هذا الحزام عادة في المناطق المناخية الجافة (الصحراوية) شبه الجافة . يختفي هذا الحزام بصفة موسمية في المناطق التي تتعرض لفترات موسمية من الجفاف .

٢ ـ حزام متوسط Intermediate belt ، تزداد رطوبة التربة في هذا النطاق وخاصة في المناطق المناخية الرطبة ، اما في المناطق الصحراوية فتكون جافة تقريباً .

٣ ـ حزام او منطقة تركيز الماء المتصاعد نتيجة للخاصية الشعرية Capillary Fringe يستقر هذا الحزام فوق مستوى او منسوب الماء الجوفي مباشرة .

٤ ـ حزام التشبع الدائم Belt of zone of saturation or shreaticbelt هو المنطقة التي يوجد فيها الماء الجوفي الذي يملأ تماماً الفجوات في الصخور النفاذة . يمكن تمييز نطاقين داخل هذا الحزام في المناطق التي تتسم بتغيرات موسمية واضحة في كمية المياه المتساقطة عليها ، وهذان النطاقان هما :

(أ) نطاق التشبع الموسمي Zone of periopdic saturation . ويلاحظ ان الآبار المحفورة خلال هذا النطاق والتي لاتصل الى النطاق الأسفل تجف بصفة موسمية .

(ب) نطاق التشبع الدائم Zone of permanent saturation تتميز الإبار المحفورة الى هذا النطاق بأنها مليئة بالماء دائماً (شكل ٩ ـ ٥) .

تكوّن الأحزمة الثلاثة الأولى المذكورة آنفاً نطاق التهوية Zone of aeration او منطقة عدم التشبع ، حيث تحتوي الرسوبيات في هذا النطاق على كمية قليلة من الماء المختلط بالهواء . توجد في هذا النطاق مكامن المياه الجائمة السالفة الذكر . يسمى هذا النطاق أحياناً بنطاق الماء الجائم Vadose Zone .

أنواع مكامن المياه الجوفية :

هناك أربعة أنواع أساسية من مكامن المياه الجوفية في الطبيعة :

١ ـ مكامن المياه الجوفية الحرة : Free under ground water :

تنتشر في المناطق ذات الأمطار الغزيرة او المناطق التي ترد اليها المياه الجوفية من نهر أو أنهار مليئة بالمياه حينما تكون معظم الصخور بين حزام التشبع الدا وسطح الأرض صخوراً ذات نفاذية عالية (شكل ٩ ـ ٢) .

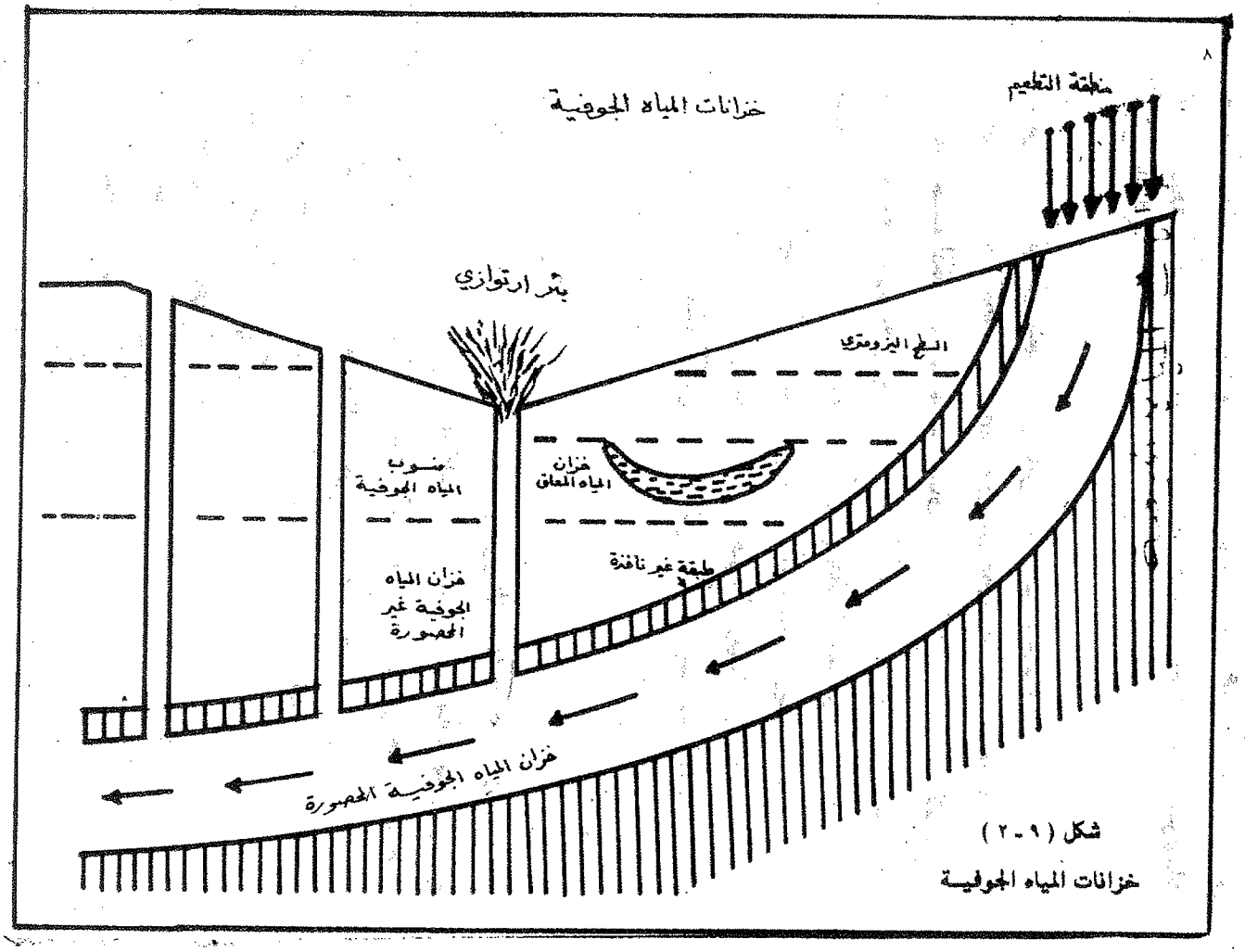
vadose underground water

٢ ـ مكامن المياه الجوفية الجائمة ، تتكون في نطاق التهوية وذات مستويات أعلى من منسوب الماء الجوفي عند وجود طبقات من الرسوبيات المصمتة في هذا النطاق .
النطاق .

٣ ـ مكامن المياه الجوفية المحصورة Confined underground water :

تتكون في طبقات نفاذة محاطة من أسفلها وأعلاها بطبقات مصمتة (غير نفاذة) ، لاتتكون مثل هذه المكامن الجوفية بالماء من سطح الأرض الذي يملوها مباشرة ، كما هو الحال في مكامن المياه الجوفية الحرة ، بل تنتشر فقط في المناطق التي تنكشف فيها الطبقة النفاذة المشبعة بالماء فوق سطح الأرض ، تسمى المناطق التي تتشرب منها مثل هذه المكامن بمناطق التشرب Areas of reacharge or catchment areas .

يعتقد العلماء ان معظم مكامن المياه الجوفية الموجودة في الصحراء الغربية المصرية توجد في طبقات « تكوين رمال النوبة Nabia Sandstone ، التي تمتد مئات الكيلومترات في جنوب الصحراء الغربية المصرية ، والتي تميل طبقاتها ميلاً خفيفاً نحو الشمال ، وان مناطق التشرب التي تزود تلك المكامن بمائها توجد جنوب الصحراء الكبرى في السودان في المناطق المناخية الممطرة (السفانا والغابات الاستوائية الافريقية) . هذا هو شأن المياه الجوفية الموجودة في تتابعات الصخور القارية المتداخلة Continental Intercalaire في جنوب



شكل (٩-٢)
خزانات المياه الجوفية

الصحراء الكبرى في بلاد المغرب العربي . أغلب الظن أن الصخور القارية المتداخلة هي نفس تكوين رمال النوبة اذ ان عمرها يتراوح مابين الباليوزووي الأعلى والطباشيري الأسفل وكلاهما تتابعات من الرسوبيات الترابية الفتاتية القارية .(١)

٤ ـ مكامن مياه جوفية غير متجددة ، ومكامن مياه جوفية متحجرة :

Non renewable ground water reservoirs or fossil ground water.

تقع هذه المكامن عادة عند أعماق كبيرة (بضع مئات من الأمتار) . تراكمت المياه المخزونة في هذه المكامن في الماضي الجيولوجي تحت ظروف مختلفة عن الظروف السائدة الان . يظن بعض الجيولوجيين ان جزءاً من مكامن المياه الجوفية الموجودة في الصحراء الغربية المصرية من هذا النوع وكذلك المياه الجوفية في القطر الليبي والأجزاء الشرقية من المملكة العربية السعودية . وعيب هذه المكامن ان الماء الموجود فيها يستهلك تماماً مع كثرة الاستعمال بعد فترة من الزمن .

حركة المياه الجوفية :

ان المياه الجوفية تتحرك في باطن الأرض فوق الأسطح المكونة من طبقات مصمتة . يتميز منسوب الماء الجوفي في المناطق المناخية المعتدلة بأنه يوازي سطح التضاريس تقريباً . وتنساب المياه الجوفية عادة من المناطق المرتفعة الى المناطق المنخفضة ، تعتمد سرعة حركة هذه المياه على مسامية الصخور الخازنة وعلى التدرج الهيدروليكي Hydraulic gradient بين النقطتين التاليتين التي تتحرك فيهما المياه ، يمكن تمثيل التدرج الهيدروليكي كالآتي :

التدرج الهيدروليكي = هـ / ل

حيث : هـ = الفرق في الارتفاع بين النقطتين

ل = المسافة الأفقية بين النقطتين .

اما تأثير مسامية الصخر في حركة المياه الجوفية فيمكن تمثيله بما يعرف باسم معامل النفاذية Permeanility coefficient ، الذي يقدر لكل مكمن للمياه الجوفي ، وهو كمية المياه التي تتسرب من متر مربع من مكمن الماء الجوفي خلال يوم واحد عندما يكون التدرج الهيدروليكي ١٠٠ ٪ . بنيت القياسات الحقلية والمختبرية لمكامن مختلفة من المياه الجوفية ان معاملات النفاذية في المكامن المكونة من الطفل تقل عن لتر واحد في اليوم للمتر المربع ، اما معاملات النفاذية في مكامن مكونة من صخور الجمعات شديدة النفاذية ، فتصل الى أكثر من ١٠،٠٠٠ لتر في اليوم للمتر المربع ، تتحرك المياه الجوفية عادة من المناطق العالية الى المناطق المنخفضة ، وفي كثير من الأحيان ترفد هذه المياه الجوفية المتحركة الأنهار المختلفة التي تجري في الوديان الواقعة في مناطق منخفضة . تظهر المياه الجوفية أحياناً في المناطق المنخفضة أيضاً فوق سطح الأرض مكونة مايعرف باسم الينابيع Springs (الشكل ٩ - ٣) .

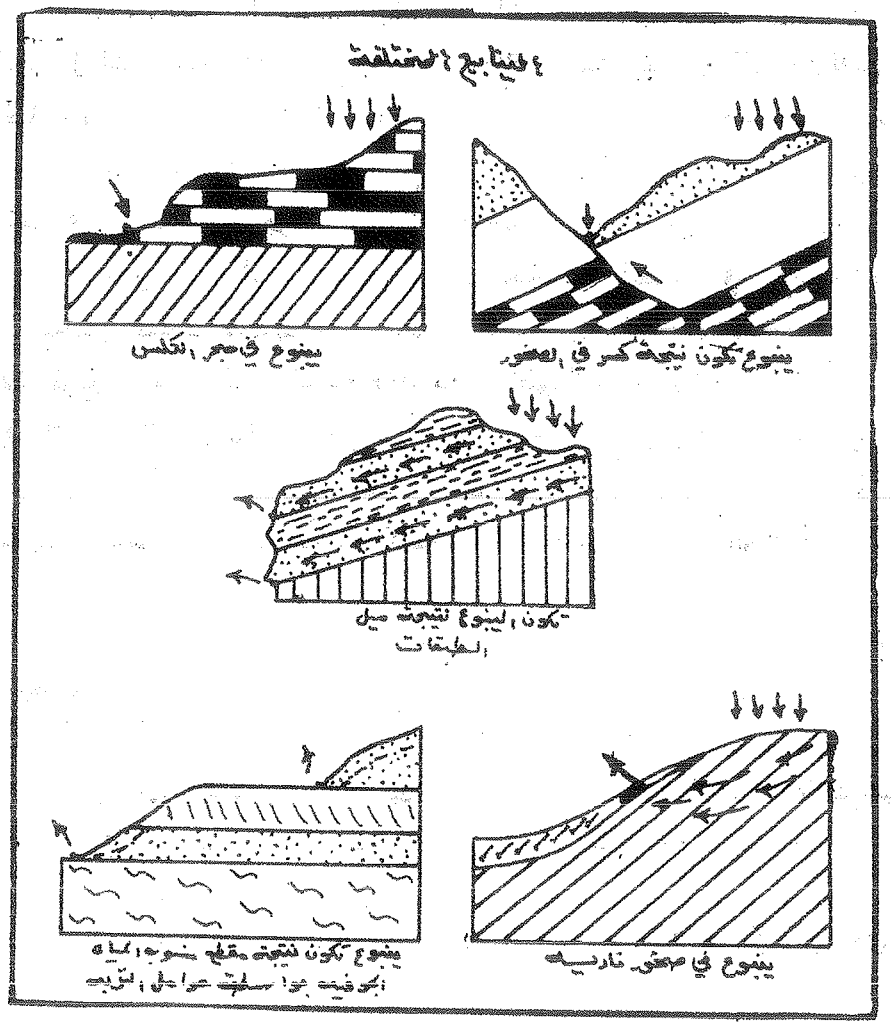
الينابيع :

الينابيع هي الأماكن التي تظهر فيها المياه الجوفية على سطح الأرض بصفة طبيعية . يمكن استخراج المياه الجوفية الى السطح بوسيلة اصطناعية كحفر آبار .

يمكن التعرف على ثلاثة أنواع أساسية من الينابيع من حيث العوامل التي تؤدي الى ظهورها :

(١) الينابيع الطبوغرافية :

تنشأ مثل هذه الينابيع عندما يصل منسوب الماء الجوفي في منطقة معينة الى سطح الأرض ، يحدث هذا في المناطق المنخفضة من الناحية الطبوغرافية ، ميل الأحواض والوديان . والواحات المنتشرة في الصحاري هي أصلاً ينابيع دائمة الجريان ، ان كثيراً من الواحات الواقعة في الصحراء الغربية المصرية والهضبة الغربية في القطر العراقي والصحراء الجزائرية والمغربية وفي شبه جزيرة العرب هي ينابيع ناتجة عن وصول منسوب الماء الجوفي قرب سطح الأرض وفي منخفضات طبوغرافية مميزة .



شكل (٢٠١)

أنماط الينابيع

(٢) الينابيع التركيبية :

تنشأ عندما يؤدي التركيب الجيولوجي لمنطقة معينة الى اعتراض صخور مصمتة لطريق المياه الجوفية المتحركة في صخور نفاذة ، ومن أمثلة هذا النوع ينابيع القواطع (السدود) Dike Springs وينابيع الصدوع Fault Springs .

(٣) الينابيع الطبقية Stratum Springs :

هي التي تنبثق اذا اعترضت المياه الجوفية طبقة مصمتة كالطين تبرز عند سطح الأرض ، تساعد التضاريس في هذه الحالة على انكشاف الطبقة المصمتة في منطقة منخفضة لكي يظهر الينبوع . ويمكن ان يكون الينبوع الواحد مزيجاً من الأنواع الثلاثة السالفة الذكر . فيمكن ان يكون ينبوعاً تركيبياً وطبوغرافياً في نفس الوقت . ومن أمثلة الينابيع التي تنشأ عند الصدوع تلك الينابيع التي تقطع بعض الوديان في المناطق الصحراوية التي تقطع بعض الوديان الصحراوية وغيرها .

يمكن أيضاً تصنيف الينابيع بصفة خاصة والمياه الجوفية بصفة عامة حسب طبيعة محتوياتها من الأملاح الذائبة . يطلق على بعض المياه الجوفية ذات المحتويات غير الاعتيادية من الأملاح الذائبة (وهي المياه التي تزيد فيها نسبة الأملاح الذائبة عن الحدود العليا المسموح بها للاستعمالات المختلفة) اسم المياه المعدنية Mineral water .

تعرف الينابيع التي تتدفق منها هذه المياه باسم الينابيع المعدنية mineral springs . تأتي المعادن والأملاح الذائبة في المياه الجوفية عن طريق اذابة المياه لبعض المحتويات المعدنية للصخور التي تخترقها . اشهر أمثلة الينابيع المعدنية عيون كارلسباد (كارلوفيفاري) Karlsbad في تشيكوسلوفاكيا وفيسبادن Wiesbaden في المانيا وفيش Vichg في فرنسا وباث Bath في غرب انجلترا ، وعيون حلوان في مصر وعيون مولاي يعقوب وسيدي حرازم وفاطمة في المغرب وعين الكبريت وحمام العليل وكبيسة وعين حمود والزهرة والقديس وعين كبريت وبني خيلان وعين بازياني وغيرها في القطر العراقي . لمياه بعض الينابيع قيمة كبيرة من الناحية الصحية اذ يكون للأملاح الذائبة في بعض المياه فوائد طبية علاجية تستخدم لمعالجة بعض الأمراض داخلياً بالشرب أو خارجاً بالسباحة وفقاً لارشادات الطبيب المختص .

تسمى الينابيع أو المياه المعدنية حسب مايغلب على مياهها من معادن ذائبة فهناك الينابيع المالحة Saline Springs وهي التي تكثر في مياهها أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والينابيع الحديدية Chaly beate springs التي تكثر في مياهها مركبات الحديد والينابيع الكلسية Calcareous springs وتكثر في مياهها كاربونات الجير ، والينابيع الكبريتية Sulphurous Springs التي تحتوي مياهها على مركبات الكبريت

وخاصة غاز كبريتيد الايدروجين كما هو الحال في ينابيع حمام العليل ، وحينما يكون أصل الينابيع الكبريتية بركانياً (مياه صهارية) تسمى بالكبريتات Solfataras . تقابل أحياناً المياه الجوفية في أعماق القشرة الأرضية بعض الأجسام الساخنة مثل الكتل الصهارية الدفينة حين تدفقها الى السطح فتخرج على هيئة ينابيع ساخنة أو دافئة ، مثال ذلك : « العين السخنة » في الصحراء الشرقية المصرية وعيون حمام فرعون في سيناء وبعض الانبثاقات المائية الدافئة في جبل حفيت بالقرب من مدينة العين بدولة الامارات العربية المتحدة وعين حمام العليل في القطر العراقي وعين مولاي يعقوب سيدي حرازم في القطر المغربي . قد تكون درجة حرارة الماء المتدفق من مثل هذه العيون عالية اذ تدنى الى درجة الغليان أحياناً . وفي هذه الحالات يتدفق الماء من مثل هذه العيون على هيئة مراجل متدفقة (العيون الفوارة) وأشهر هذه المراجل في العالم مراجل ايسلندا ومرجل اولد فيثفل Old Faithful . بالولايات المتحدة الامريكية .

آبار المـــاء :

من أكثر طرق الحصول على المياه الجوفية شيوعاً هي حفر بئر تخترق مستوى الماء الجوفي ، ويمكن تقسيم آبار الماء حسب عمقها وطريقة الحصول على الماء منها الى نوعين : الآبار الضحلة التي لايتجاوز عمقها ٣٠ م ، والآبار العميقة التي يمكن ان يصل عمقها الى بضع مئات من الأمتار . اما من حيث طريقة الحصول على الماء من الآبار فيمكن التمييز بين نوعين من الآبار : النوع الأول يشمل الآبار التي لاتنطلق منها المياه تلقائياً الى السطح ، اذ يجب في حالة هذه الآبار استعمال وسائل مختلفة للحصول على الماء منها كالمضخات والسحب اليدوي وغير ذلك ، أما النوع الثاني من الآبار فهو الآبار الارتوازية artesian wells التي يتدفق منها الماء تلقائياً .

١ ـ الآبار الضحلة Shallow wells :

لايزيد عمق هذه الآبار عن ثلاثين متر ، يبطن البئر غالباً بالحصى والخرسانة ، يجب تبطين الجزء العلوي لهذه الآبار بمادة غير نفاذة يتسرب الماء السطحي غير النقي الى البئر . توجد أمثلة كثيرة على هذه الآبار في المناطق الجافة وشبه الجافة الواقعة حول حوض البحر المتوسط . وكمية الماء التي يمكن الحصول عليها من مثل هذه الآبار قليلة ولاتكفي الا للاستخدام المحلي في المنازل والمزارع الصغيرة . تستمد الآبار الضحلة ماءها من المستويات العليا لحزام التشبع ، يكون هذا الماء أكثر قابلية للتلوث بعكس الماء

المستمد من الآبار العميقة . عند اختيار موقع لحفر بئر ضحلة أو عميقة يجب ألا تحفر البئر في مكان يمكن أن يتلوث بالمياه المارة بمناطق فيها حفر صرف Refuse pits أو مياه بزل زراعية . لذا يجب ان يكون منسوب الماء الجوفي للبئر المحفور لاستخراج مياه للشرب أعلى من منسوب الماء الجوفي في الأماكن التي توجد فيها مياه ملوثة .

الا أنه يمكن في كثير من الأحيان أو الحالات ان تنتقي المياه الجوفية وتترشح أثناء مرورها خلال الصخور ، لذلك كلما طالت المسافة التي يقطعها الماء المتخلل زادت نقاوته .

اما اذا كانت الطبقة الحاملة للماء الجوفي تعلوها طبقة مصمتة (في حالة مكامن المياه الجوفية المحصورة) فيصبح احتمال تلوث مياه الآبار المحفورة في مثل هذه الطبقة قليلاً .

والجدير بالذكر ان الآبار الضحلة قابلة للجفاف تماماً عندما يقل هطول الأمطار لعدة مواسم على المنطقة ، وذلك لعدم ثبات منسوب الماء الجوفي ، حيث يمكن الا تصل الآبار الضحلة الى مستوى منسوب التشبع الدائم ، في هذه الحالات يكون منسوب الماء الجوفي في مثل هذه الآبار واقعاً في حدود نطاق التشبع الموسمي Water table zone of periodic saturation or intermitent ، مثل الآبار المنتشرة في المنطقة المحصورة بين دجلة والفرات والممتدة من بغداد جنوباً الى الخليج العربي .

٢ ـ الآبار العميقة Deep wells :

تحفر مثل هذه الآبار في حالة المشاريع الضخمة ، مثل المستودعات الزراعية او الاسكانية في المناطق الصحراوية ، حيث يكون منسوب الماء الجوفي على أعماق كبيرة ، وتعطي الآبار العميقة عموماً كميات من المياه أكبر وأنظف مما تعطيه الآبار الضحلة ، حيث يكون احتمال تلوث الآبار العميقة التي تصل الى بضع مئات من الأمتار قليلاً جداً .

لايمكن أن يقدم المهندسون على حفر هذه الآبار العميقة المكلفة الا اذا تأكدوا من ان مكن الماء الجوفي العميق يحتوي على كميات كبيرة من الماء تغطي تكاليف الحفر ، قامت مشاريع زراعية ضخمة في القطر المصري بمنطقة الواحات الخارجة والداخلة وكذلك في القطر المغربي والجزائري والليبي والعراقي وأقطار الخليج العربي ، بالاعتماد على حفر آبار ماء عميقة تصل الى خمسمائة متر للوصول الى مكامن الماء الجوفي الموجودة في هذه

المناطق ، يبلغ عمق بعض الآبار في منطقة الهبارية (القطر العراقي) في الهضبة الغربية أكثر من ٢٠٠ متر .

٣ ـ الآبار الارتوازية Artesiah Wells :

الآبار الارتوازية هي آبار تدق في الأرض للوصول الى مكامن للمياه الجوفية لها وضع تركيبي خاص يجعل الماء يرتفع في البئر باستمرار ويفيض بقوة عند سطح الأرض ، سميت الآبار التي يندفع فيها الماء الجوفي الى السطح تلقائياً بهذا الاسم نسبة الى ارتوا (Artois) بشمال فرنسا حيث حفرت أول بئر ارتوازية في أوربا في القرن الثاني عشر .

يجب أن تتوفر في الطبقات الحاملة للمياه بعض الشروط حتى يمكن ان تعتبر مكمناً للمياه الجوفية مناسباً لحفر آبار ارتوازية ومن هذه الشروط :

أ ـ ان يكون مكمن الماء الجوفي Aquifer تكويناً مائلاً أو على هيئة ثنية مقعرة ضحلة واسعة Broad syncline وان يكون هذا المكمن أيضاً مكمناً محصوراً .

ب ـ ان تكون منطقة التشرب Catchment area للمكمن على ارتفاع يكفي ان يولد ضغطاً مائياً رأسياً Hydraulic pressure يوصل الماء في المناطق المنخفضة للمكمن الى منسوب أعلى من منسوب سطح الأرض التي تحفر عندها الآبار .

ج ـ ان تكون منطقة التشرب ذات مناخ مطير تكفي كمية الأمطار فيه لتشبع المكمن باستمرار ، او ان يقع في هذه المنطقة نهر او بحيرة عذبة يمكن ان تغذي المكمن بالماء .

د ـ عدم وجود تراكيب تؤدي الى تسرب مياه المكمن من خلالها ، حيث تكون الآبار التي تحفر في المكمن هي الأماكن الوحيدة التي يمكن ان تتسرب منها المياه .

ومن الأمثلة الشهيرة لمكامن مياه جوفية حفرت فيها آبار ارتوازية ، المكمن الارتوازي لحوض لندن London Basin الذي يزود مدينة لندن بمعظم ماتستهلكه من مياه الشرب . ينشأ هذا المكمن في طية مقعرة كبيرة من طبقات الطباشيري الأعلى ، محصورة من الأعلى بتكوين طين لندن London Clay ومن الأسفل بتكوين طين الجولت Foult Clay وهما تكوينان مصمتان .

من التكاوين الأخرى الهامة في العالم والحاملة للمياه الجوفية الصالحة لحفر آبار ارتوازية تكوين الحجر الرملي النوبي المنتشر في جنوب الصحاري المصرية وفي شمال السودان وتشاد أما أرض الجزيرة في العراق والعربية السعودية فصخور تكوين النتياري وتكوين دبدبة . لقد وجدت كميات غزيرة في المياه الجوفية المحصورة في القطر العربي الليبي ومثلها في القطر العراقي في منطقة الجزيرة المحصورة بين دجلة والفرات شمال بغداد .

عند استخراج المياه العذبة من آبار الماء يجب اخذ احتياطات معينه لضمان حسن استغلال مكمن المياه الجوفية وعدم استنزافه او اتلافه . ففي حالة اي بئر يجب ملاحظة درجة انخفاض مستوى التشبع في المنطقة المحيطة بالبئر خلال عملية الضخ ، ويتخذ سطح هذا المستوى شكلاً مخروطياً مقلوباً يعرف باسم « مخروط الاستهلاك » ، او مخروط الانخفاض Cone of Depression تتسطح جوانب هذا المخروط في الرسوبيات ذات المسامية العالية مثل الجرول ، لكنها تكون شديدة الانحدار في الرسوبيات أو الصخور ذات المسامية المنخفضة كصخور الطباشير مثلاً . يعرف فرق المنسوب بين مستوى الماء الجوفي الطبيعي (المستوى الاستاتيكي Non pumping or static level) ومستوى الماء الجوفي في البئر التي يضخ منها الماء باسم « انخفاض السحب » The draw down . اما اقصى مسافة أفقية يمكن ان يظهر فيها مفعول الضخ في بئر معينة على منسوب الماء الجوفي الطبيعي فتعرف باسم « نصف قطر التأثر Radias of influenve » . كلما انخفضت القمة المقلوبة لمخروط الانخفاض في البئر كلما زاد تيار الماء الذي يتدفق من مكمن الماء الجوفي اليه ، ولهذا يعود السبب في انخفاض سرعة اتساع هذا المخروط مع الزمن أثناء ضخ الماء من البئر ، يثبت ارتفاع قمة مخروط الانخفاض في البئر حينما تصل سرعة ضخ الماء الى مثل سرعة التزويد الطبيعي للبئر بالماء من مكمن الماء الجوفي ذي المنسوب المنحدر نحو قمة مخروط الاستهلاك . يبين ذلك كيف تؤثر سرعة ضخ الماء في مقدار انخفاض منسوب الماء الجوفي في البئر ، فكلما زادت سرعة الضخ كلما انخفض هذا المنسوب .

عندما تحفر عدة آبار متقاربة من بعض ، حيث تكون المسافة بين كل بئرين أقل من مسافة نصف قطر التأثر ، يسبب هذا انخفاضاً تاماً في مستوى الماء الجوفي في منطقة معينة في المناطق الجافة أو شبه الجافة يمكن أن يؤدي ذلك الى جفاف مكمن الماء الجوفي

تماماً . لذلك يحرص جيولوجيو المياه على تحديد قيمة نصف قطر التأثر في الآبار لكي يتجنبوا حفر آبار تتداخل مخاريط استهلاكها وتسمى هذه الظاهرة التي يجب تجنبها ظاهرة تداخل الآبار Interference of wells .

يمكن تقدير كميات الماء المسموح بضخها من الآبار والمسافات الواجب تركها بين الآبار المتتالية لكي لايزيد انخفاض منسوب الماء الجوفي في منطقة الحفر الى حد يهدد سلامة مكمن الماء الجوفي وذلك باستخدام المعادلة الآتية :

$$ص = \frac{ط \times ن \times (ع_1^2 - ع_2^2)}{٢{,}٣ \times ٢ \times \log \frac{م}{}}$$

حيث : ص = تصريف البئر باللتر في اليوم

ط = معامل ثابت تقريبي يساوي ١٠٫٨٧٢

ن = معامل النفاذية لمكمن الماء الجوفي

ع١= ارتفاع مستوى الماء الجوفي الطبيعي في المنطقة

ع٢= ارتفاع مستوى الضخ في البئر

م = قطر مخروط الاستهلاك عند اتزان سرعة الضخ ، وسرعة التزويد الطبيعي للبئر بالماء الجوفي .

يقدر جيولوجيو المياه القيمة ع٢ - ع١ المسموح بها في بئر معين لكي لاينخفض منسوب الماء الجوفي في البئر الى حد يؤثر على انتاجيته في المستقبل . أما « ب » فيمكن أيضاً اختيارها عند حفر الآبار . في كثير من الحالات يختار جيولوجيو المياه المعدل المطلوب لكميات الماء التي يجب استخراجها من كل بئر لتحقيق أهداف المشروع الذي حفرت البئر من أجله . بناء على هذا المعدل يمكن تقدير المسافات التي يجب تركها بين كل بئر وأخرى ، اذ يجب ألا تقل هذه المسافات عن $(\frac{٢}{م})$ وهي نصف قطر مخروط الاستهلاك .

يمكن حساب معامل نفاذية مكمن الماء الجوفي في منطقة معينة باستعمال معادلة دارسي Darcy formula التي تحقق العلاقة بين سرعة سريان الماء الجوفي في صخر معين ودرجة نفاذيته ومقدار الميل الهيدروليكي لخزان الماء وكما يأتي :

س = ن × ع / ف

حيث : س = سرعة سريان الماء الجوفي

ن = معامل النفاذية

ع = فرق المنسوب بين نقطتين تقاس بينهما سرعة سريان الماء الجوفي

ف = المسافة بين النقطتين التي تقاس بينهما سرعة سريان الماء الجوفي

ع / ف = الميل الهيدروليكي

يلزم لاستخراج معامل النفاذية معرفة سرعة السريان (س) التي تقاس عادة عملياً بالقاء كميات مناسبة من ملح الطعام في أحد الآبار بالمنطقة ثم اخذ عينات من مياه الآبار المجاورة مع تعيين وقت اخذها . يتم تعيين متوسط سرعة سريان المياه من بئر الى اخرى من معرفة زمن أخذ العينة ذات النسبة الأعلى من ملح الطعام في كل بئر . هناك طرق أخرى لتقدير سرعة سريان الماء في مكامن المياه الجوفية ، تعتمد على استعمال الأصباغ والالكتروليتات بدلاً من ملح الطعام . هناك أيضاً جداول محسوبة من خلال قياسات عديدة لمعامل النفاذية في صخور مختلفة ، يمكن الرجوع الى هذه الجداول عند تحديد معامل نفاذية مكمن ماء جوفي معين ويمكن الاستفادة من ظاهرة تكون مخروط الاستهلاك عند القيام ببعض الأعمال الهندسية التي تستلزم خفض منسوب الماء في منطقة معينة خفضاً مؤقتاً ، فمثلاً قد يكون من الضروري أحياناً أن تبقى حفرة معينة جافة تماماً لمدة من الزمن يجري خلالها وضع أساس لمبنى في طبقة الرمل أو الحصى الحاملة للماء الجوفي ، حيث يكون مستوى التشبع على بعد قليل من سطح الأرض . يحفر بئر أو عدة آبار في هذه الحالة على مقربة من موضع حفرة وضع الأساسات ، فيكون الضخ من الآبار مخاريط للاستهلاك تؤدي الى تكون منطقة جافة مؤقتاً في موقع وضع الاساسات حتى يتم العمل في هذا الموقع تماماً . يجب أخذ الحيطة والحذر عند استغلال مكامن المياه الجوفية العذبة والقريبة من شواطىء البحار لكي لايختلط الماء العذب بالماء المالح الذي يمكن ان يتسرب خلال طبقات نفاذة ويصل الى مكمن الماء الجوفي العذب ، عادة يطفو الماء العذب في مثل هذه الحالات ولايمتزج الا قليلاً بالماء المالح ، يمكن ان يؤدي استنزاف الماء العذب من خلال حفر آبار في المنطقة الى خفض منسوب الماء الجوفي حتى يصل الى مستوى التقاء الماء العذب بالماء المالح ، حينئذ يتدفق الماء المالح في الآبار مما يسبب متاعب كثيرة ، وتفقد الآبار قيمتها كمصادر للماء العذب للزراعة او للشرب والاستخدامات الأخرى .

يمكن تقدير عمق الماء العذب تحت مستوى سطح البحر في مثل هذه المناطق بتطبيقه قانون « ارخميدس » وهو :

$$ع \times ث_م = (س + ع)\, ث_ع$$

$$ع = \frac{س}{ث_م - ١} = \frac{س}{١٫٠٢٥ - ١} = س \times \frac{١٠٠٠}{٢٥} = ٤٠ س$$

حيث : ع = عمق الماء العذب تحت سطح البحر

س = ارتفاع منسوب الماء الجوفي العذب فوق سطح البحر

$ث_ع$ = كثافة الماء العذب ، وهي تساوي ١ (واحد) .

$ث_م$ = كثافة الماء المالح ، وهي تساوي ١٫٠٢٥ .

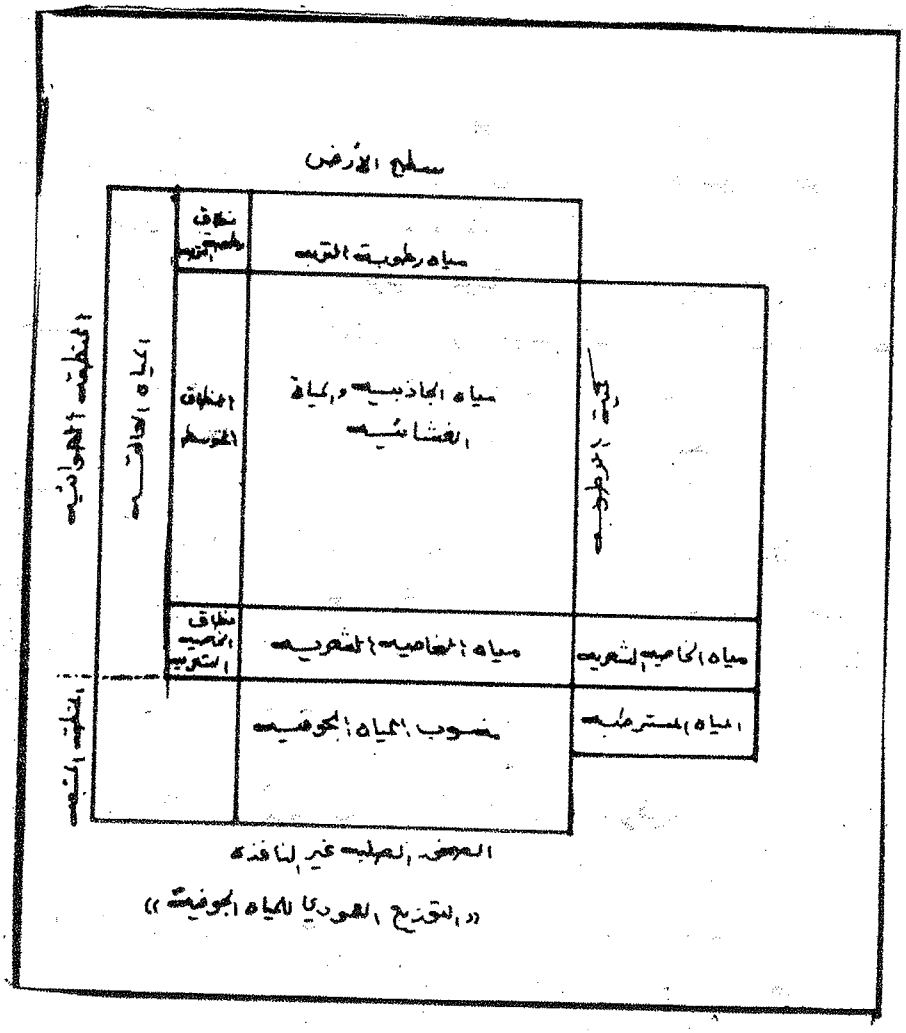
ويمكن ايضاً كتابة المعادلة السابقة كالآتي :

وهي صيغة تسهل حساب قيمة (ع) بمعرفة (س) .

يرتفع مستوى التشبع وينخفض عدة مرات في اليوم الواحد في الصخور المنفذة القريبة من الشاطىء تزامناً مع حركة المد والجزر ، تعرف الآبار المتأثرة بهذا الارتفاع والانخفاض بالآبار الجزرية Ebbing wells .

العمل الجيومورفولوجي للماء الجوفي (الخفي) :

ينحصر النشاط الجيومورفولوجي للمياه الأرضية أو الجوفية أو (المياه الخفية كما سماها العالم العربي الحاسب الكرخي) أساساً في الناحية الكيميائية وذلك لاختلاطها المستمر بالمعادن والصخور ، لأن الماء بطبيعته يسبب تغيرات كيميائية في المواد التي يختلط بها ، سواء أكان هذا الماء يحتوي على مواد مذابة ، أم كان نقياً . تقوم المياه الجوفية أيضاً ببعض النشاط الميكانيكي ، وسنتناول في الفقرات الآتية كلاً من النشاط الكيميائي والنشاط الميكانيكي للمياه الجوفية بشيء من التفصيل وهذا يعتمد على التوزيع العمودي للمياه الخفية (شكل ٩ ـ ٤) .



شكل (٩-٤)

مخطط يوضح التوزيع العمودي للمياه الخفية

(١) النشاط الكيميائي للمياه الجوفية :

ينقسم النشاط الكيميائي للمياه الجوفية الى ثلاثة أقسام : الذوبان والاحلال والترسيب ، لكل من هذه العمليات نتائجها الخاصة التي تؤدي الى تكوين معالم طبوغرافية خاصة أو رسوبيات من أنواع معينة .

أ ـ الذوبان Solution : تذيب المياه الجوفية كثيراً من المعادن والصخور وخاصة اذا كانت محتوية على ثاني اكسيد الكاربون والدليل على ذلك وجود كثير من المواد المعدنية في مياه العيون والآبار مما لايوجد في مياه الأمطار .

تسمى المواد الذائبة في المياه الجوفية بحمولة المياه الجوفية Load of underground water . تستمد المياه الجوفية حمولتها اما من الرواسب السطحية كالتربة او من الصخور التي تحت التربة وبخاصة من الصخور الجيرية والدولوميتية . هناك تصنيف للمياه الجوفية يعتمد على محتوياتها من الأملاح الذائبة أوردناها في الصفحات السابقة بشيء من التفصيل .

تتضح أهمية فعل الاذابة بالمياه الجوفية في هدم صخور الكربونات وتكوين المظاهر الطبوغرافية التي تميزت بها مناطق الكارست السالفة الذكر والتي تتكون تحت ظروف مناخية ملائمة ، من أهم التراكيب الصخرية والملامح الطبوغرافية الناتجة عن فعل المياه الجوفية على صخور الكربونات مايأتي :

٩ ـ ٣ ـ الأشكال الأرضية الناتجة عن عمل المياه الجوفية :

١ ـ **خطوط الذوبان Styolites** : وهي خطوط متعرجة تظهر في داخل صخور الكربونات خاصة في المناطق التي تنعم بأمطار غزيرة ، قد تكون هذه الخطوط شديدة التعرج أحياناً ، نتيجة الذوبان التفاوتي Differential Solation على أسطح التطبق في صخور الكربونات التي تتسرب اليها المياه الجوفية . ينتج الذوبان التفاوتي من عدم نقاء هذه الصخور التي تحمل حبيبات لبعض المعادن غير القابلة للذوبان أو الصعبة الذوبان في الماء فتذيب المياه الجوفية كربونات الكالسيوم بسهولة وبسرعة أكبر من سرعة اذابتها للمواد الأخرى الموجودة على نفس السطح ، يؤدي ذلك الى تعرج سطح الصخر المعرض للذوبان على هيئة منخفضات في المواقع التي تذوب بسرعة ، ومرتفعات وبروزات في المواقع التي تذوب ببطء .

تسبب المواقع البارزة في سطح الطبقة ضغطاً زائداً على المكان المقابل لها في السطح الآخر للطبقة الملامسة للسطح المذاب ، مما يزيد من درجة ذوبان المادة الصخرية للسطح الآخر . ينشأ من هذا تكوين سطح متعرج لكلتا الطبقتين ، يؤدي الى تكوين انخفاضات عميقة وبروزات طويلة تتداخل في بعضها البعض كما تتداخل شعرات فرشتين خشنتين ضغطتا الواحدة فوق الأخرى ، يظهر هذا التركيب على واجهة الصخر بهيئة خطوط متعرجة لم تكن في الأصل الا خطوطاً مستقيمة لأسطح التطبق . في كثير من الأحيان تتزاحم خطوط الذوبان في الصخور مما يدل على الكمية الكبيرة من الصخر التي ذابت نتيجة لهذه العملية . قام العلماء باجراء تقديرات تقريبية في بعض المناطق للكميات التي ذابت في الصخور الحاوية على الكثير من خطوط الذوبان فوجدوا ان هذه الكميات يمكن أن تصل الى مايقرب من ٤٠ ٪ من السمك الأصلي للطبقات .

٢ ـ أحواض الذوبان أو البالوعات :

تنشأ أحواض الذوبان في صخور الكربونات وخاصة تلك التي تحتوي على فواصل كثيرة . تتم عملية الاذابة في هذه الصخور بصفة خاصة عند النقاط التي تتلاقى فيها الفواصل حيث تتركز المياه فتوسع هذه الفواصل التي تأخذ اشكال الأقماع شيئاً فشيئاً ، ثم تتحول الى كهوف أو مغارات تحت سطح الأرض ، تتسع هذه الكهوف في كثير من الأحيان الى درجة تؤدي الى انهيار سقوفها التي لم تذب بعد ، فتتكون حينئذ الأحواض المذكورة . قد تمتلىء الأحواض بالماء وتكون حدوداً مستديرة تقريباً فتظهر على شكل بحيرات جميلة .

توجد في بعض المناطق سلسلة طويلة من كهوف الذوبان تتصل ببعضها البعض بواسطة قنوات ذوبان . تكون بذلك نهراً حقيقياً تحت الأرض ، اذا تهدمت اسقف بعض هذه الكهوف المتجاورة فانها تكون مايسمى (بالجسور الطبيعية) Natural bridges . كالجسور الطبيعية في شمال القطر العراقي وفي القطر اللبناني (جسر الحجر) الواقع عند أعالي نهر الكلب مجاوراً لنبع اللبن . قد تنهار أخيراً هذه القناطر مع تقدم عملية الاذابة فينشأ عن ذلك مايسمى بوديان الذوبان Solution Valleys التي تختلف عن وديان الأنهار السطحية بأن مقاطعها المستعرضة تكون على هيئة حرف U في حين ان مقاطع الأنهار السطحية تظهر على شكل (V) . وهكذا يشبه المقطع المستعرض لوديان الذوبان مقطع الوديان التي نحرتها المثالج .

ب ـ الاحلال Replacement : الاحلال هو ترسيب احدى المواد المعدنية التي تحملها المياه الجوفية محل المادة العضوية التي تتكون منها البقايا النباتية أو الحيوانية الدفينة في الرسوبيات أو محل بعض المواد المعدنية المكونة لصخر معين . من أكثر الأمثلة على الاحلال شيوعاً هو تحويل بقايا الأشجار في الأزمان الجيولوجية الغابرة الى مادة السليكا ، عند تخلل المياه الجوفية السليكية هذه الصخور مدة طويلة . تعمل هذه العملية على ازالة المادة الخشبية الأصلية للأشجار ببطء وترسيب مادة السليكا بدلاً منها ، فتتحول هذه البقايا الى أخشاب متحجرة Petrified Wood على هيئة حفريات تحتفظ بالتفاصيل العضوية تكون من مادة السليكا . هناك أمثلة شهيرة لمثل هذه الحفريات موجودة بكثرة في الصخور ، عندما توجد مثل هذه الحفريات بكثرة على سطح الأرض تسمى بالغابات المتحجرة Petrified forests ، كتلك التي توجد شرق القاهرة بالعباسية وعلى طول أجزاء من طريق القاهرة السويس في صخور عصر الاوليجوسين ، والغابات الحجرية الجيرية في منطقة عجلتون من مرتفعات لبنان الغربية . قد يتم الاحلال بالسليكا محل كربونات الكالسيوم في محارات وهياكل البقايا الحيوانية ، وقد يكون الاحلال بمادة أخرى غير السليكا كمادة كربونات الكالسيوم أو أكسيد الحديد . تسمى عملية تكون الحفريات بهذه الطريقة بالتحجر Petrification . مثال آخر لاحلال بعض القواقع والمحاريات البحرية بمادة أكسيد الحديد (اللهونيت) هو حفريات الباليوسين في طبقات من الطفل في منطقة واحات الفرافرة والداخلة والخارجة بالصحراء الغربية المصرية وفي منطقة فيترون بالقطر اللبناني .

ج ـ الترسيب Deposition : تسمى المياه الجوفية بالمشبعة عندما تكون قد اذابت من الصخور كل مايمكنها حمله من معادن ذائبة ، مما يسبب تغيراً بسيطاً في ظروفها الفيزيائيةوالكيميائية يؤدي الى ترسيب بعض حمولتها .

اهم اسباب الترسيب في المياه الجوفية هي :

١ ـ فقدان ثاني اكسيد الكربون يسبب ترسيب كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم بالنظر لضعف درجة ذوبانها في الماء النقي .

٢ ـ انخفاض درجة الحرارة يؤدي الى ترسيب المركبات التي تزيد درجة ذوبانها في المياه الدافئة .

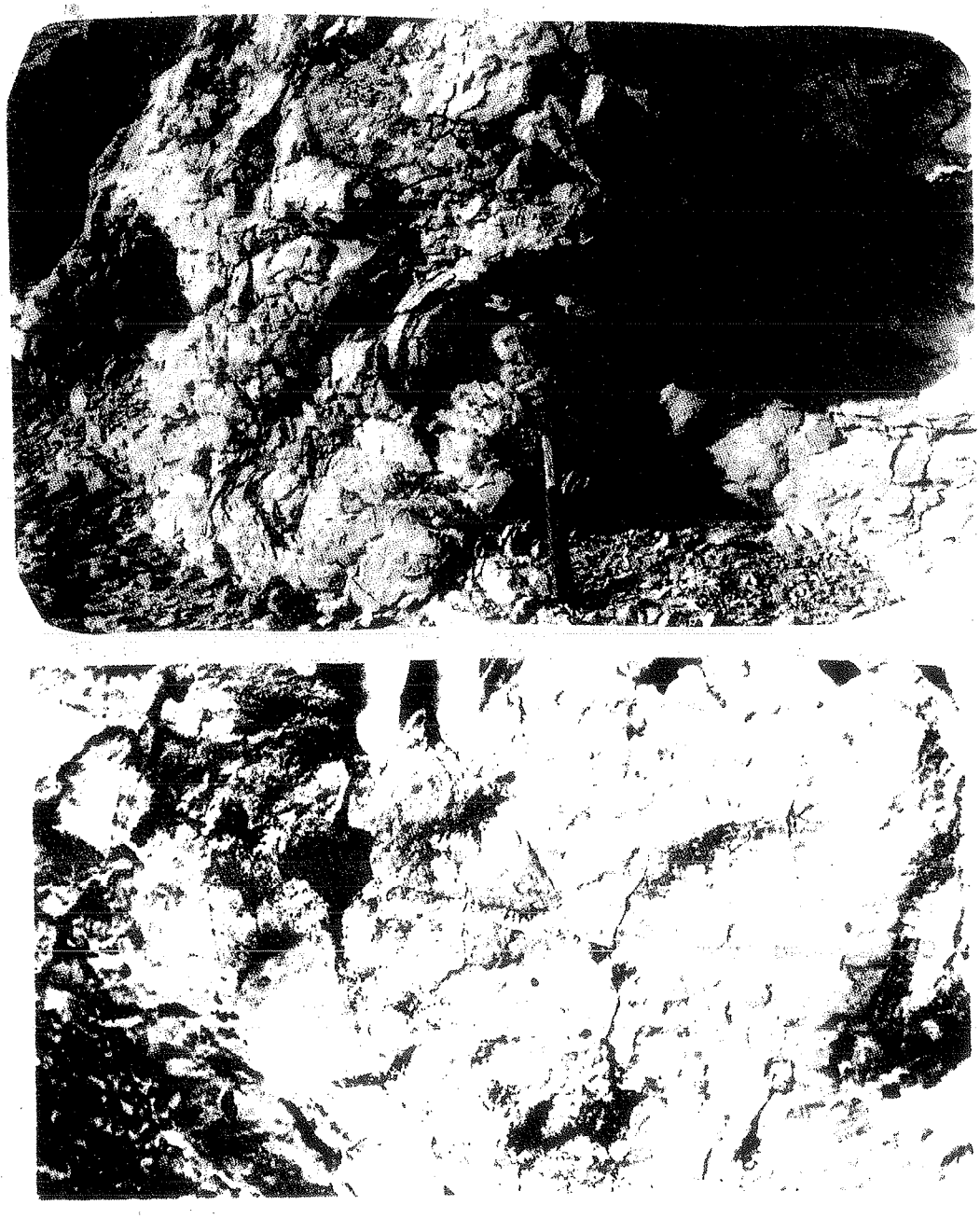
٣ ـ التبخر الكامل يؤدي الى ترسب كل المواد الموجودة في المحلول .

٤ ـ الترسيب نتيجة التفاعل المتبادل Doubble ion effect بين محاليل تحتوي على مواد وأيونات تكون رواسب عند امتزاجها ببعض .

وأكثر الأماكن التي يحدث فيها الترسيب تحت السطح في المياه الجوفية هي المسام المنتشرة بين حبيبات الصخور حيث تكون المادة المترسبة مادة لاحمة Cement للحبيبات ، قد تكون هذه المادة جيرية أو حديدية أو سليكية ، تلي في الأهمية بعد الشقوق والفواصل والفجوات الكبيرة الموجودة في مسام الصخور كأماكن للترسيب من المياه الجوفية ، اذ تكوّن المواد المترسبة في هذه الحالة مايسمى بالعروق Veins ، التي تتكون غالباً من الكالسيت ولكنها في بعض الأحيان تتكون من بعض المعادن الاقتصادية .

قد يكون الترسيب أحياناً حول نواة على هيئة حبيبة صغيرة من معدن معين أو حول حفرية عن طريق الاحلال والالتحام المركز Concentrated replacement or cemmentation ، حيث يتكون مايسمى بالدرنات الصخرية Concretions ، تتخذ هذه الدرنات أشكالاً وتركيبات معدنية مختلفة ، فقد تكون من السليكا أو الكربونات أو غير ذلك (لاحظ الشكل ٩ ـ ٥) .

اذا كان الترسيب حول جدران فجوة صغيرة فان بلورات المادة المترسبة تنمو من هذه الجدران في اتجاه مركز الفجوة تقريباً وتكون في النهاية مايسمى بالنرجيل الصخري Geode . يلاحظ ان الشبه بينها وبين الدرنات الصخرية سطحي فقط ، فهما يختلفان في طريقة تكونها وفي تركيبهما الداخلي .



شكل (٩ - ٥)
أنواع مختلفة للدرنـات

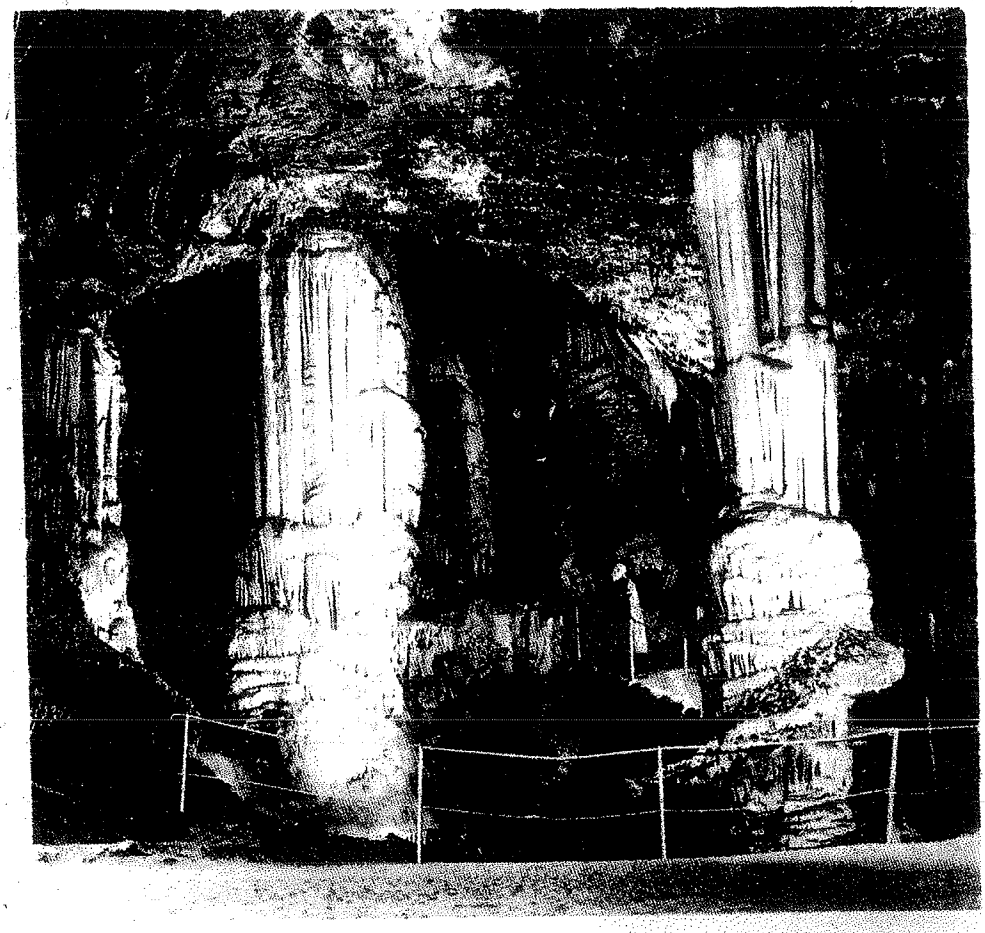
هناك نوع آخر من الترسيب التحت سطحي في داخل المغارات والكهوف فالماء الجوفي الذي يتخلل الأحجار الجيرية يكون مشبعاً بكربونات الكالسيوم وخلال مروره فوق سقف أحد الكهوف ينضح منه ويبدأ بالتساقط في قطرات نحو أرضية الكهف. تتصف عملية التقاطر هذه بالبطء بما يكفي لتبخر جزء من الماء وتطاير بعض مافيه من ثاني اكسيد الكاربون قبل ان تسقط قطراته الى اسفل فيؤدي ذلك الى ترسيب جزء من كربونات الكالسيوم مكوناً طبقات تبرز قليلاً من السقف ، وتنمو شيئاً فشيئاً الى أسفل حتى تكون أعمدة مختلفة في الطول والقطر مدلاة من سقف الكهف ، تسمى هذه الأعمدة بالهوابط Stalactites وتقابلها أعمدة أخرى تنمو من أرضية الكهف الى أعلى بنفس الطريقة ولكنها عادة تكون أسمك في القطر أو تكون على شكل مخروطات كبيرة وتسمى بالصواعد Stalagmites ، وقد تتصل بعض الصواعد والهوابط أحياناً على هيئة أعمدة تصل بين السقف والأرضية ، ومن الأمثلة على هذه الظاهرة الجيومورفولوجية مغارة جعيته في القطر اللبناني والكهوف العجيبة في القطر الجزائري وبعض الكهوف في منطقة سرسنك وحديثة في القطر العراقي اضافة الى المغارات في كل من يوغسلافيا وفرنسا والاتحاد السوفيتي والولايات المتحدة (شكل ٩ - ٦) .

(٢) النشاط الميكانيكي للمياه الجوفية :

لايظهر العمل الميكانيكي للمياه الجوفية بنفس قدر أهمية عملها الكيميائي . وقد لاحظنا ان هذا العمل يتم بشكل ثانوي في تكوين أحواض الذوبان (Sinks) الا ان هناك مظاهر اخرى للعمل الميكانيكي للمياه الجوفية منها مايسمى بالانهيارات الأرضية (Land Slide) أو (Land Slip). يجب ملاحظة ان المياه الجوفية تساعد على تسهيل فعل الجاذبية على الانحدارات حيث ان المواد الصخرية المبللة تكتسب زاوية استقرار أقل من زاوية استقرار المواد الصخرية الجافة .

يظهر هذا التأثير بشكل أكثر وضوحاً في حالة الرسوبيات الطينية ، يبرز مفعول المياه الجوفية في احداث انهيارات أرضية عندما توجد بعض الطبقات المسامية كالحجر

الرملي أو كتل من الركام الصخري مرتكزة على سطح منحدر ثم تتشبع بالمياه الجوفية شيئاً فشيئاً فتنزلق على السطح نتيجة التزايد المستمر في وزنها ، ومما يساعد على حدوث الانهيارات في حالة ارتكاز هذه الصخور أصلاً على طبقة طينية ، اذ ان الطين عندما يبتل يصبح صعيداً زلقاً لايثبت عليه شيء .



18. POSTOJNSKA JAMA

شكل (٩ ـ ٦)
مغارة طبيعية

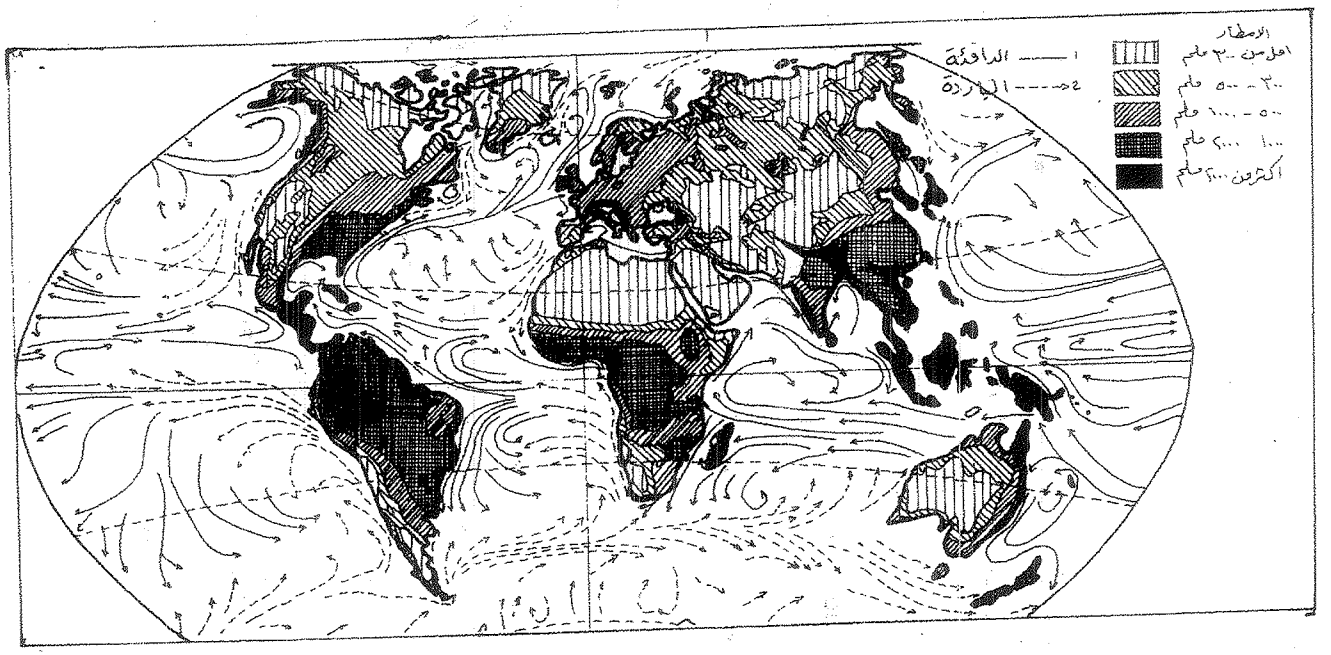
الفصل العاشر

البحـار والسواحـــل

تغطي البحار ٧١ ٪ من سطح الكرة الأرضية ، أي بمساحة مقدارها ٣٦١ مليون كم٢ بينما تغطي القارات حوالي ٢٩ ٪ من مساحة الكرة الأرضية البالغة ٥١٠ كم٢ ، تتوزع قارات الكرة الأرضية بشكل غير متماثل بين نصفي الكرة الأرضية اذ انها تكون حوالي ٣٩ ٪ من مساحة النصف الشمالي من الكرة الأرضية ، لذلك يسمى هذا الجزء من الكرة الأرضية « نصف الكرة القاري Land Hemisphere » ، الا انها لاتشكل سوى ١٩ ٪ من مساحة النصف الجنوبي من الكرة الأرضية . ان هذا التوزع غير المتجانس للقارات يؤثر تأثيراً كبيراً على توزيع التيارات البحرية (شكل ١٠ - ١) .

تصل أقصى الأعماق في المحيطات (الأغوار المحيطية) الى عمق ١١ كيلومتر تحت سطح البحر ، أما أعلى قمم الجبال المعروفة (ايفيرست Mount Everest في الهملايا) فتصل الى ارتفاع ٨٫٩ كيلومتر ، يعني ذلك انه اذا غمر جبل ايفيرست في أعمق الأغوار المحيطية المعروفة (تقع بالقرب من جزيرة جوام Guam في غرب المحيط الهادي) فسوف يغطي قمة هذا الجبل سمك من مياه المحيط يصل الى كيلومترين . يبلغ متوسط عمق المحيطات حوالي ٣٫٨ كيلومتر ، ومتوسط ارتفاع القارات فوق مستوى سطح البحر حوالي ٨٤٠ متراً . تغطي مياه البحار في كثير من الحالات أجزاء من القشرة القارية الواقعة على أطرافها والمغمورة تحت مياه البحار بالرفوف القارية (الأرصفة القارية) Continental Shelves ، حيث لايزيد عمق المياه فوق الرفوف القارية على ٢٠٠ متر .

نتيجة للبحث الجيوفيزيائي الزلزالي وجد الباحثون ان اجزاء القشرة الواقعة تحت الرفوف القارية تنتمي الى القشرة القارية وليس الى القشرة المحيطية . اما القشرة المحيطية فلا تنتشر في العادة الا تحت المساحات البحرية التي يزيد عمقها على ١٠٠٠ متر .



شكل (١٠ - ١)

خارطة التيارات المحيطية في المحيط العالمي وأثرها على توزيع التساقطات على قارات اليابسة

أشرنا في الصفحات السابقة الى ان متوسط عمق المحيطات يقع بحدود ٣٫٨ كيلومتر ، بينما لاتشكل المناطق العميقة من قشرة المحيطات الا نسبة قليلة جداً تنحصر في مناطق الأغوار المحيطية الواقعة على الحدود الفاصلة بين الألواح الأرضية (الصفائح) السالفة الذكر ، لذا فقد اعتاد الباحثون الاشارة الى الجزء الأعتيادي من قاع البحار في المساحات المحيطية باسم الرصيف المحيطي Oceanic plat form حيث يشبه هذا الوضع حالة المساحات القارية التي لايزيد ارتفاعها في العادة على ١٠٠٠ متر والتي تسمى بالأرصفة القارية ، اذ تكون السلاسل الجبلية مناطق استثنائية من حيث ارتفاعها العالي .

تصنف المساحات المحيطية حسب عمقها الى التقسيمات المذكورة في الصفحات السابقة ، فالمناطق البيية neritic هي المناطق الواقعة على الأرصفة القارية Continental Shelves ، والمناطق العميقة Bathyal هي المناطق الواقعة على المنحدرات القارية ، اما المناطق السحيقة abyssal فهي مناطق الأرصفة المحيطية . يمكن بصفة عامة التمييز بين المساحات الخاصة بالأرصفة القارية والمناطق المحيطية الأصلية ، حيث ان كل نوع من هذه المناطق يتميز بصفات خاصة من حيث العمليات الجيولوجية السائدة عليه . ففي المناطق الساحلية للبيئات البيية تنحصر عمليات التعرية والتحات في فعل التيارات البحرية والأمواج السائدة ، وفي باقي المناطق البيية تنتقل وتترسب الرسوبيات الناتجة عن عمليات التعرية والنقل السائدة على المساحات القارية (وقد تناولنا هذه العمليات في الفصول السابقة من هذا الكتاب) .

ان هذه الرسوبيات المتكونة في المناطق البيية تمثل نسبة كبيرة من الرسوبيات المميزة للتتابعات الجيولوجية المنكشفة فوق المساحات القارية ، حيث ان المناطق البيية الواقعة على الأرصفة القارية تتأثر بسهولة بالحركات الأرضية التي تؤدي الى رفع الصخور الرسوبية المكونة فيها فوق سطح البحر . لذلك تظهر للبيئات البيية أهمية كبيرة في الدراسات الجيومورفولوجية والجيولوجية . يمكن تلخيص صفات البيئة البيية بأنها تتميز بتأثرها بالعوامل السائدة على المناطق القارية المجاورة للأرصفة القارية . أما البيئات المحيطية (العميقة والسحيقة) فهي قليلة التأثر بنواتج العمليات السائدة على المساحات القارية ، ولايتأثر قاع المحيط فيها الا بعمليات تنشيط في داخل اطار المساحات المحيطية

نفسها . ويمكن ان تقوم هذه العمليات تحت سطح الأرض في قاع المحيط (مثل النشاط البركاني والـزلـزالي التحت بحري Submarine volcanic and Seismic activity ، او يمكن ان تقوم هذه العمليات فوق سطح مياه المحيط في مجال معيشة الكائنات العائمة (البلانكتون) Planktic organisms او في داخل المحيط في مجال معيشة الكائنات السابحة Pelagic Organisms .

وفي الفقرات التالية سندرس العمليات الجيومورفولوجية والجيولوجية المميزة لكل من المجالات البحرية الآتية :

١ ـ البيئات الشاطئية التي تسود فيها عمليات التحات والتعرية بفعل التيارات البحرية والأمواج .
٢ ـ البيئات البية التي تمثل أماكن ترسيب الرسوبيات القارية الترابية .
٣ ـ البيئات المحيطية (العميقة والسحيقة) التي تتميز بقلة تأثرها بالعمليات السائدة على المساحات القارية والتي تسود فيها عمليات جيولوجية خاصة .

وقبل ان نتعرض لهذه المجالات البحرية الثلاثة يجب ان نتفهم بعض العمليات الخاصة بتوزيع ونقل الطاقة بواسطة المياه في المساحات المحيطية حيث ان هذه الطاقة هي التي تسبب معظم العمليات الجيولوجية الخارجية السائدة في البحار ، فالطاقة تنتقل في البحار والمحيطات في أغلب الأحيان على هيئة تيارات وأمواج ، والكثير من التيارات والأمواج تنشأ نتيجة لفعل الرياح على سطح البحر ، ولذلك ستسبق مناقشاتنا للمجالات المحيطية دراسة الأمواج والتيارات في البحار .

١٠ ـ ٢ ـ البحـــار

الأمواج والتيارات في البحر :

تنتقل الطاقة عادة في المساحات المحيطية والبحرية عبر الغلاف المائي على هيئة أمواج وتيارات بحرية ، تنتج الأمواج عادة من فعل الرياح على سطح البحار ، أما

التيارات البحرية فتتكون نتيجة لمؤثرات مختلفة بالاضافة الى فعل الرياح ، فالطاقة الناتجة من الأمواج والتيارات البحرية مسؤولة عن العمل الجيولوجي للبحار وعن العمليات الجيومورفولوجية والجيولوجية الخارجية التي تسود فوق هذه المساحات .

الأمواج وعملها الجيومورفولوجي على الشواطىء :

هناك نوعان من الأمواج ، النوع الأول هو تلك الأمواج التي تتولد في البحار والمحيطات المفتوحة بعيداً عن الشواطىء وتسمى هذه الأمواج أمواج التذبذب Waves of oscillation ، تنتج من تذبذب المياه في حركة رأسية نتيجة هبوب الرياح في اتجاه معين . والنوع الثاني من الأمواج ، أمواج تتولد قريباً من الشاطىء وهي في الأصل أمواج تذبذب ، وعندما تقترب من الشاطىء تدخل في عمق من الماء يقل عن ارتفاعها . تتكسر الموجة وترتطم على الشاطىء بقوة شديدة (شكل ١٠ ـ ٢) وتسمى هذه الأمواج ، أمواج الانتقال Waves of translation ، حيث ينتقل الماء بشدة نحو الشاطىء حينما يتأثر بمثل هذه الأمواج . ويسمي بعض العلماء هذه الأمواج أحياناً أمواج الارتطام حيث أنها ترتطم بشدة على الشاطىء (لاحظ الشكل ١٠ـ ٣) .

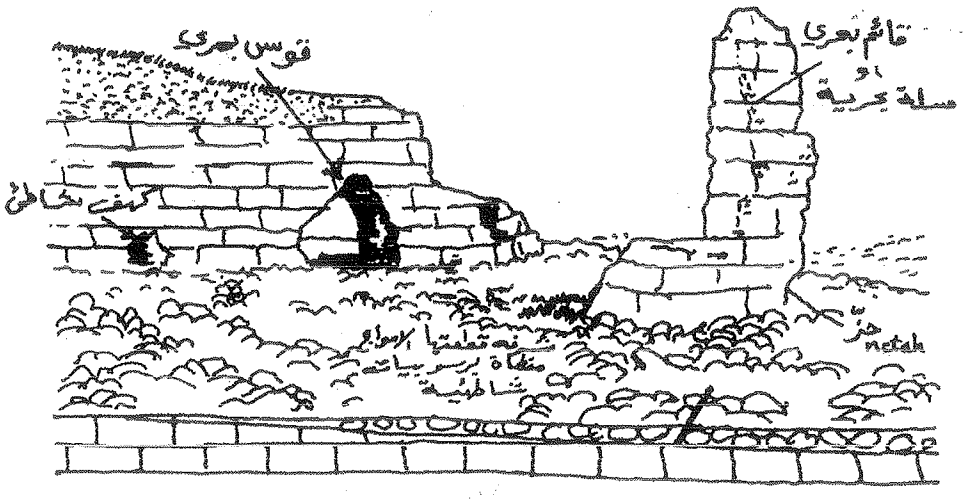
يختلف حجم أمواج التذبذب حسب قوة الرياح واتساع مساحة المياه . ففي البحر المتوسط ، وهو من البحار المغلقة نسبياً ، يبلغ متوسط طول الموجة (أي المسافة بين قمة موجة والتي تليها) نحو ٥٠ متراً وارتفاعها (أي المسافة بين قمتها وقاعدتها) نحو ٣ ـ ٦ أمتار . أما في المحيط فيبلغ متوسط طول الموجة ١٦٠ متراً وارتفاعها من ٨ ـ ٩ أمتار .

أما القوة التي تبذلها أمواج الارتطام القوية على الشاطىء فتتراوح بين ٣ ـ ٣٠ طناً على المتر المربع .

يميل سطح البحر عند الشاطىء الى الارتفاع نتيجة وصول الأمواج المتتالية الى الشاطىء . ويقابل ارتطام الموج بالشاطىء نشوء تيار ضد اتجاه تقدم الأمواج ، ويسمى هذا التيار تيار السحب (الراجع) Undertow current الذي يندفع الى القاع بعيداً عن الشاطىء .

تختلف درجة مقاومة الشواطىء الرسوبية لفعل الأمواج حسب الوضع التركيبي للطبقات المكونة لهذه الشواطىء وكذلك حسب وجود الفواصل في هذه الطبقات وغيابها ، وطبقاً لكثافة وطبيعة انتشار هذه الفواصل في الصخور .

تعتبر الشواطىء المكونة من تتابعات متجانسة من الصخور الطبقية الأفقية أو المائلة نحو البر من أشد الشواطىء مقاومة لفعل الأمواج . اما اذا كانت طبقات الشاطىء مائلة نحو البحر فيساعد هذا على سرعة حدوث الانهيارات الأرضية وكثرتها نتيجة لفعل الأمواج على مثل هذه الطبقات ، وذلك يؤدي الى اضعاف الشاطىء وسهولة تعريته (الشكل ١٠ ـ ٤) .



شكل (١٠ ـ ٤)

مظاهر تضاريسية في شاطىء صخري

تحدث الانهيارات الأرضية بكثرة وسهولة على الشواطىء المكونة من طبقات متبادلة من صخور صلبة وأخرى رخوة ، كصخور الطباشير أو الحجر الجيري الذي يغطي طبقات من الطفل أو الطين .

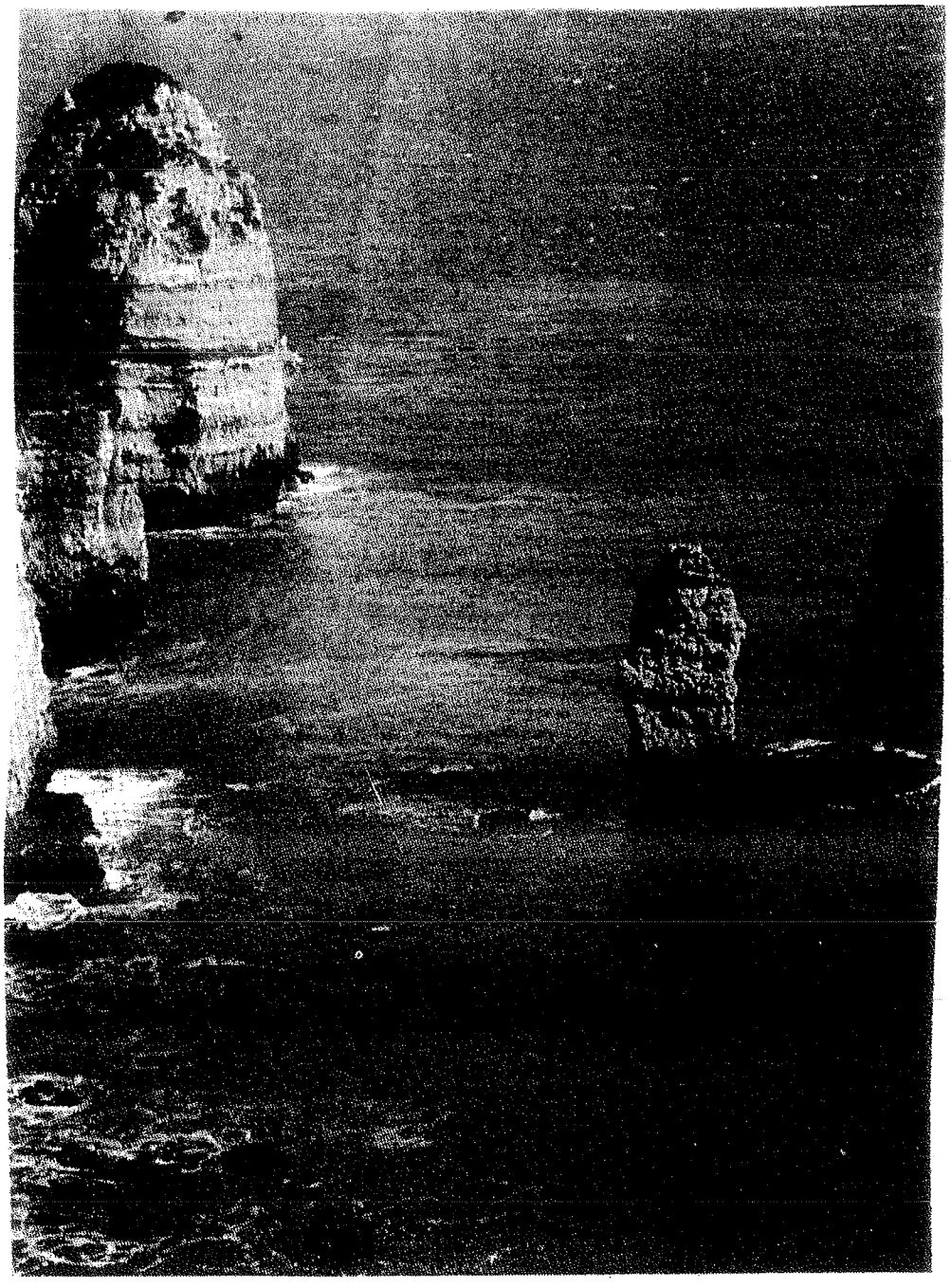
مما يزيد الفعل الهدمي للأمواج على الشواطىء الرسوبية وجود فواصل كثيرة في الصخور وخاصة وجود فواصل رأسية ، فالتحات والتعرية يحدثان بسولة على أسطح الفواصل ، مما يسهل توغل فعل الأمواج في الصخور الى مسافات كبيرة ، وفي كثير من الأحيان تنشط عوامل التعرية بالأمواج في مثل هذه الصخور الى الداخل ، فتتآكل الشواطىء وتتراجع نحو اليابسة تاركة وراءها أعمدة رأسية من الصخور تشبه المداخن (المسلات البحرية) وهي من مميزات الشواطىء الكثيرة الفواصل ، وتسمى هذه الأعمدة الرأسية بالمسلات البحرية أو المداخن الصخرية Chimney rocks or sea stacks (شكل ١٠ ـ ٥) .

١٠ ـ ٢ ـ السواحل وحمايتها :

تحمى الشواطىء من تأثير الأمواج الشديدة والتيارات البحرية خاصة أثناء العواصف باقامة حوائط بحرية أو أرصفة كما يشاهد على شواطىء المدن الساحلية مثل بيروت والاسكندرية والدار البيضاء وغيرها .

تبنى هذه المنشآت موازية غالباً للشاطىء ، وبعضها يبنى مائلاً بزاوية كبيرة حتى يكون ذا تأثير كبير في صد الأمواج الشديدة . تتكون هذه المنشآت من تراكمات من الصخور الصلبة ومن المواد المختلفة مثلاً الجلاميد والصخور والحصى والرمال والاسمنت وغيرها من المواد الصخرية التي يمكنها مقاومة التيارات وأمواج العواصف الشديدة كما تدخل في تركيب بعضها قطع خشبية متينة أو شرائح من الصلب . وقد تبنى سدود متعامدة مع الشاطىء في سبيل تكسير الموجات المتقدمة نحوه أو قد ترصف المنطقة الشاطئية بكتل مكعبة من الأسمنت وبأحجام كبيرة لغرض كسر الأمواج . كما يلاحظ ذلك في أغلب المدن الساحلية العربية كالدار البيضاء والجزائر وتونس .

ان المنشآت الواقية السابقة تبنى عادة من مواد متينة متماسكة وقوية تصد الماء ولاتسمح بنفاذه خلالها ، حتى لايؤثر على الصخور الطبيعية للشاطىء ، وهذه المنشآت ذات أهمية كبرى لحماية الشواطىء ، والا فان التيارات الشاطئية والأمواج قد تنفذ في



شكل (١٠ ـ ٥)

مسلاة بحرية قرب شواطىء البرتغال

الصخور الشاطئية وتتسبب في هبوطها وجرفها ، ومن ثم يمكن ان تؤثر في الطرق الشاطئية والمباني القريبة من الشاطىء التي لاتلبث ان تنهار .

تنتشر في بعض الأقطار ظاهرة حماية الشواطىء عن طريق زراعة النباتات والحشائش الكبيرة التي يمكن ان تحمي تلك الشواطىء من التدهور بفعل التيارات المائية والأمواج . ففي هولندا تثبت قواطع خشبية كبيرة أمام الحواجز التي تنشأ لهذا الغرض ، وتعتبر هذه القواطع ذات تأثير كبير لصد قوة الأمواج .

في الحقيقة ان لكل شاطىء طرقاً خاصة لحمايته تتوقف على نوع الصخور المكونة له حسب اختلافها في الصلابة وقوة الاحتمال ، كما ان هندسة اقامة حوائط البحر أصبحت تتطور بتقدم العلم . فقديماً كانت تبنى الحوائط في وضع رأسي ، ولكن المهندسين قد وجدوا بالتجربة ان خير الأوضاع هي ان تكون هذه الحوائط منحدرة صوب البحر أو مقعرة في نفس الاتجاه فتكون في هذه الحالة أكثر مقاومة لعوامل الهدم المائية .

١٠ ـ ٣ ـ المد والجزر :

لقد أدرك الصينيون القدماء واليابانيون والاغريق والرومان والعرب حدوث ظاهرة المد والجزر بالمسطحات البحرية وعند مصبات الأنهار كما لاحظ الرحالة العرب هذه الظاهرة في الخليج العربي وبعض المسطحات المائية كما جاء في كتابات العالم العربي المقدسي في كتابه « أحسن التقاسيم في معرفة الأقاليم » ص ١٣ ، وكذلك ذكرها ابن حوقل في كتابه « مختصر البلدان » وتطرق اليها شمس الدين الأنصاري الدمشقي في كتابه « نخبة الدهر في عجائب البر والبحر » . لقد ذكر الاغريق منذ القدم أن السبب الحقيقي لنشوء هذه الظاهرة هو حركة القمر الا ان هذه المقولة لم تثبت صحتها الا بعد مجيء اسحق نيوتن وقانونه في الجاذبية سنة ١٦٨٢ ميلادية والذي نص على أن قوة الجذب بين جسمين تتوقف على حاصل ضرب الجسمين الى مربع المسافة بينهما .

كتلتي

قوة الجذب تتناسب مع ك ١ × ك ٢ / ف ٢

حيث أن : ك ١ : كتلة الجسم الأول
ك ٢ : كتلة الجسم الثاني .
ف ٢ : مربع المسافة بين الجسمين .

ان ظاهرة المد والجزر تحرك مياه المحيط بأجمعه بالاضافة الى أنها تحرك قاع المحيط والهواء الملامس لمياهه ، اضافة الى انها تؤدي الى رفع سطح اليابسة بحوالي ٥ر١ سم أثناء حدوث ظاهرة المد ، ويندفع الغلاف الغازي باتجاه القمر أو الشمس لعدة كيلومترات ، وحتى الانسان يفقد بعض وزنه خلال عمليات المد . غير ان الجاذبية القمرية تتضاءل اذا ماقورنت بقوة جذب الأرض فهي لاتعادل جزءاً واحداً من عشرة ملايين جزء من الجاذبية الأرضية ، ومع ذلك لاتكاد تفلت من آثار جاذبية القمر ذرة واحدة على سطح الأرض ، فالانسان لايشعر بما تحدثه تلك القوة في وزن جسمه من زيادة أو نقصان لايتجاوز جزء من الغرام ، في حين يستجيب لها بوضوح الغلاف المائي ولذا أطلق عليه الفيزيائيون « نبض الأرض » ، وتختلف الاستجابة البحرية للمد ، فقد تكون ضعيفة في بعض المواضع حيث تضعفها الرياح وتقلبات الطقس المحلية ، في حين يعمل المد في اصقاع اخرى على رفع المياه وخفضها مقداراً قد يبلغ ٢٢ متراً .

أسباب حدوث ظاهرة المد والجزر :

على الرغم من أن أسباب نشوء المد لم تعد خافيةً على أحد الا ان تفاعل العوامل المختلفة المؤثرة على ظهور المد أصبحت من التعقيد بحيث أضحت معضلة لخبراء المد خلال تتبع تلك العوامل .

يجذب القمر الأرض بمقدار وكذا الأرض تجذب القمر بمقدار ثم انهما يدوران في نفس الوقت حول مركز مشترك ولولا هذه الحركة الدائرية لاصطدما ولكن القوة الطاردة المركزية لحركتهما توازن تماماً قوة الجذب المركزية لحركتها وتوازن تماماً قوة الجذب الى الداخل (ان كل شيء يدور حول نقطة مركزية يثبته في دورته قوتان ـ قوة جاذبية تجذبه الى هذا المركز ، وقوة طاردة يكتسبها بسرعة دورانه حول المركز تطرده بعيداً عن

المركز وتعرف بالقوة المركزية الطاردة) ، ومن ثم يمضي القمر والأرض دائرين معاً في فلكهما حول الشمس ، ولكن بينما يكون هذا الدولاب المزدوج المكون من الأرض والقمر متوازناً في مجموعة ، فان جزيئات المادة الغروية على سطح الأرض ليست متوازنة على هذا الشكل ، ففي نصف الكرة الواقع تحت تأثير جاذبية القمر مباشرة تزيد قوة جذب القمر لها زيادة قليلة على قوى الطرد المركزية المضادة ، بينما تكون الغلبة في نصف الكرة الآخر لقوى الطرد المركزية ونتيجة لهذا الاختلاف اليسير في التوازن تحدث ظاهرة القوة القمرية المولدة لظاهرة المد .

تتكون هذه القوة من عنصرين احدهما رأسي والآخر أفقي ، فالقوة القمرية الرأسية ليست بذات قيمة كبيرة اذا ماقورنت بجاذبية الأرض ، أما القوة الأفقية فانها ذات أثر كبير على ظاهرة المد ، وذلك لأنها اذا ماكانت في مواجهة القمر جذبت المواد نحو النقطة الواقعة تحت سمت القمر مباشرة ، اما في نصف الكرة الآخر فانها تجذب المواد نحو النقطة المقابلة للنقطة الأولى نتيجة للقوة المولدة من دوران كل من الأرض والقمر حول الآخر فتدفع بالماء الى هذا الجانب .

ولكن القمر لايتحول عن الأرض كل يوم وانما تتحول الأرض ، انها تدور حول محورها في اليوم دورة واحدة ، ومعنى هذا ان كل بقعة على سطح الأرض لابد ان تواجه القمر مرة واحدة في اليوم الواحد ، وان كل جزء من البحار والمحيطات اجمالاً يصيبه المد مرة كل ٢٤ ساعة ، وتدور الأرض حول نفسها وتتم دورتها هذه في ٢٤ ساعة ، ولكن القمر يكون في هذه الأثناء غير ثابت ، انه يكون قد تزحزح عن موضعه بعض الشيء في مداره الشهري حول الأرض ، وتضطر الأرض ان تزيد في سرعة دورانها اليومية حول نفسها ٥٠ دقيقة حتى تعطي الفرصة لكل سطح مائي عليها ليواجه القمر مرة في اليوم ، ومعنى هذا ان اجزاء البحار والمحيطات على سطح الأرض تجد الفرصة مرة واحدة لتواجه القمر كل ٢٤ ساعة و ٥٠ دقيقة ومعنى هذا بالطبع ان اي نقطة في بحر تواجه القمر في الساعة التاسعة مثلاً من يوم الجمعة فسيأتيها المد يوم السبت في الساعة التاسعة والدقيقة الخمسين .

هذا مايشاهده أهل السواحل من تأخر المد كل يوم حوالي خمسين دقيقة عن اليوم السابق .

فاذا حدث مد في المحيط الأطلسي عند دولة المغرب مثلاً وهي مواجهة للقمر ، يحدث في نفس الوقت مد مثله من الناحية الأخرى غير المواجهة للقمر ، تلك الواقعة في أواسط المحيط الهادي (عند جزر مارشال) .

والخلاصة يمكن القول أنه حينما يكون مد في ناحية من الأرض مواجهة للقمر يكون مد مثله في الناحية الأخرى المقابلة من سطح الأرض . اذن فالمدّ في اليوم الواحد في حقيقته مدان ، مد في مواجهة القمر والآخر في الجهة الأخرى المقابلة ، وبين المدين القائمين في الوقت الواحد في سطح الأرض ، لابد ان يكون هنالك جزر قائم ، فماء المد انما يأتي من حيث تنخفض مياه البحار الأخرى فيصيبها الجزر

أما الشمس فعلى الرغم من عظم حجمها نجد ان تأثيرها في احداث المد والجزر يعادل نصف تأثير القمر تقريباً وذلك لشدة بعدها عن الأرض ، الا انها قد تقوى أو تضعف تأثير جذب القمر على التوالي تبعاً لموقعها النسبي منه وعلى هذا فعند المحاق وعندما يكون القمر بدراً ـ أي عندما تكون الشمس والأرض والقمر كلها على استقامة خط واحد تقريباً ـ تتآزر قوى المد الشمسية والقمرية معاً ـ ومن ثم تقفز البحار عندئذ لتبلغ أعلى وأدنى انخفاض لها فيما يسمى بـ « المد الربيعي » أو « المد القافز » ، أما عندما تشكل الشمس والقمر والأرض زاوية قائمة ، وهو مايحدث في التربيعين الأول والثالث للقمر ، فان قوى المد الشمسية والقمرية تعارض كل منهما الأخرى ، ومن ثم يحدث « المد الأدنى » وعندها يبلغ الفرق بين مستوى الماء عند ارتفاعه ومستواه عند انخفاضه أدنى حدوده .

أنواع المد :

ان ميلان محور الأرض ونشوء الفصول الأربعة واختلاف بعد الأرض عن الشمس خلال تلك الفصول بالاضافة الى دورة الأرض الاهليجية التي تبتعد او تقترب من القمر أثناءها ، وأثر اختلاف سمة المسطحات المائية وكذلك الأشكال الجيومورفولوجية لتلك

المسطحات وحجومها كلها عوامل ساعدت على تنوع أشكال المد فكل حوض من أحواض المحيط أو كل خليج صغيراً كان أم كبيراً له طرازه الطبيعي الخاص بالمد ، فاذا ما اضطرب الماء في داخله كانت ذبذبته ذات نمط خاص وفي فترة زمنية خاصة مميزة يحددها شكل الحوض ، كما ان الحركة الرأسية الى أعلى والى أسفل سوف تبلغ حدا أدنى أو تنعدم تماماً في بعض المناطق .

أما في عرض المحيط فان قوة كوريولس الناتجة عن دوران الأرض يكون لها تأثير بالغ ، وينشأ هذا التأثير حين يجنح المد للتقدم في المحيط في صورة أمواج فيحمل معه تيارات مائية كبيرة تسحبها من مناطق المياه المرتفعة الى مناطق المياه المنخفضة ، ودوران هذه التيارات بقوة كوريولس الى اليمين في نصف الكرة الشمالي والى اليسار في نصفها الجنوبي ، يغير طراز المد بصورة معقدة حينما يكون حجم الماء كبيراً .

ان معرفتنا بتداخل القوى المتباينة المحدثة للمد تعيننا على فهم بعض المعالم البارزة في حركات المد بيد أن تأثير القمر هو العامل السائد في معظم المناطق ففي كل يوم يتأخر ظهور القمر نحو خمسين دقيقة عن اليوم السابق له وكذلك تتأخر نوبات المد نحو ٥٠ دقيقة أيضاً ولكن هذا التوافق يختفي في بعض المناطق كما في (تاهيتي) مثلاً ، حيث يتعاقب المد والجزر بشكل مضبوط كل يوم وفي ساعة معلومة هي منتصف النهار ومنتصف الليل (حيث تسود دورة الشمس لا القمر) ، وهذا مايطلق عليه اسم « المد اليومي » Daily tide .

وفضلاً عن أن الشمس والقمر يفرضان ايقاعها الأساسي على نوبات المد فان أشكال الأحواض نفسها تتحكم في مقدار ارتفاعاته المحلية ومواعيد حدوثه فينشأ المد المحلي خلال دورة يومية أمدها ٢٤ ساعة و ٥٠ دقيقة أي الدورة القمرية المميزة للقمر ، بحيث يكون الفاصل بين المدين المتتاليين ١٢ ساعة و ٢٥ دقيقة ولكن ارتفاع المد الفعلي قد يتأخر ساعات عدة بعد موعد مرور القمر بالسمت المحلي ففي بعض المناطق مثل خليج

المكسيك ، لايحدث للماء الا مد وجزر بطيئان مرة واحدة كل ٢٤ ساعة و ٥٠ دقيقة .(١)

أما اذا اتفقت المدة الطبيعية للماء مع مدة قوى المد الفلكية فان هذين الشكلين من الذبذبة يقوى بعضها بعضاً وتبلغ المياه في هذه الحالة ارتفاعات كبيرة يطلق عليها اسم « المد التجاوبي » ، فالجانب الجنوبي من خليج فندي Fundy في نيوبرونزويك يتميز بأعلى مدي في العالم (وهو الفرق بين أعلى منسوب للمد وأوطأ منسوب للجزر) والذي يبلغ حوالي ٢٢ متراً حيث تقدر كمية المياه المندفعة نحو الخليج بحوالي ٤٠ ـ ١٠٠ مليون متر مكعب حيث يلعب شكل الخليج وعمقه دوراً في زيادة مدة المد .

يحدث ان يتناوب مدان وجزران خلال الفترة القمرية التي أمدها ٢٤ ساعة و ٥٠ دقيقة الا ان هذين المدين لايتمان في وقت واحد اضافة الى اختلاف ارتفاعات هذين المدين خلال اليوم الواحد وتسمى هذه الظاهرة بـ « المد الخليط Mixed tide » .

ان تدرج المجرى المائي الضيق وقلة غور قعره قد يغيران أحياناً من شكل موجة المد الداخلة تغييراً كبيراً حتى ان الماء يتدفق فيه (في اتجاه المنبع) بجبهة عالية شديدة الانحدار تدخل في مصبات الأنهار لمسافة قصيرة مثل جبهة نهر اليانكتسي في الصين حيث يبلغ ارتفاعها حوالي ٨ أمتار وجبهة نهر الأمزون التي تعرقل الملاحة فيه لعدة ساعات وجبهة شط العرب التي تسقي البساتين الواقعة على مسافة من شط العرب .

التنبؤ بالمد والجزر :

ان التغيرات في المسافات والأوضاع النسبية بين الشمس والقمر والأرض تغير القوى المحدثة للمد . ويستطيع خبراء المد أن يحسبوا قيم هذه الآثار الفلكية للشمس والأرض والقمر بالرجوع الى قوانين الحركة السماوية وهم بذلك قادرون على أن يجددوا حالة القوى المحدثة للمد في أي زمن مضى من التاريخ السحيق أو أن يتنبؤوا بها تنبؤاً دقيقاً على امتداد فترات غير محدودة من المستقبل البعيد .

من الضروري جداً معرفة فترة المد وليس على وجه التقريب في كل الموانىء التي تدخلها السفن اذ لابد من التعرف على عمق الماء عند مدخل الموانىء التي قد لاتلائم غاطس السفينه الا في فترة ارتفاع منسوب الماء أثناء المد ، ولهذا أصبح من الأمور الهامة التنبؤ بوقت المد في كل يوم من أيام السنة ولمدة سنة سلفاً

ومما هو معلوم ان عمق الماء وقت المد في أي ميناء لايكون واحداً دائماً وذلك لختلف لأسباب الفلكية ، وحين يكون جذب القمر والشمس في وقت واحد تستطيع باخرة كبيرة ان تعبر مدخل الميناء بأمان ، ولكن حين لايجتمعان في آن واحد يدرك ربان السفينة ان سفينته قد جنحت ، وعلى هذا يجب اضافة الى التنبؤ بوقت المد ، التنبؤ بعمق الماء في مختلف أجزاء المرفأ الواحد .

يمكن التنبؤ عن المد وسعته عن طريق رسم خطين بيانيين واضافة بعضها الى بعض ، فنرسم مثلاً خطاً بيانياً يمثل الارتفاع القمري للماء وانخفاضه لنطقة (ساندي هوك) في ميناء نيويورك ، ثم نرسم على الورقة نفسها خطاً بيانياً يمثل الارتفاع الشمسي للماء وانخفاضه لنفس المكان ونفس الوقت فاذا أضفنا هذين الخطين البيانيين بعضها الى بعض فاننا نحصل على خط بياني نهائي ، وهذا يمثل ماسيفعله الماء عندما يؤثر كل من المدين فيه . وعندما تتطابق قمتا الخطين البيانيين نحصل على مد الربيع . وعندما تقابل قمة أحد الخطين قاع الخط الآخر نحصل على مد كامل .

واحدى طرق التنبؤ بالمد في الساعة الرابعة من بعد ظهر اليوم الثالث من كانون الأول مثلاً هي ان نقيس على الخط البياني للمد القمري الارتفاع المضبوط في المستوى السوي لماء المد لذلك اليوم في تلك الساعة ثم نفعل نفس الشيء بالنسبة للخط البياني للمد الشمسي ، فاذا أضفنا هذين المقدارين بعضها الى بعض عرفنا بالتأكيد عمق الماء في الساعة الرابعة من بعد ظهر يوم ٣ كانون الأول . واذا فعلنا ذلك لكل ساعة من ساعات اليوم حصلنا على خط بياني ربما يبين قمتين للماء المرتفع وقاعين للماء المنخفض ، وسنعرف من مجرد النظر الى هذا الخط المركب ان الماء المرتفع سيحدث حوالي الساعة الثامنة والدقيقة العشرين من بعد ظهر يوم ٣ كانون الأول .

لقد استطاع لورد كلفن سنة ١٨٧٢ اختراع جهاز تنبؤ جديد للمد والجزر وقد تطور هذا الجهاز بحيث أصبح جهازاً يتنبأ عن المد في كل مكان ويعطي نتائجه لمدة سنة مسبقاً وخلال سبع ساعات فقط بالاضافة الى ان هذا الجهاز يعطي عمق الماء مقدراً بالأمتار ، هذا الى جانب بساطة هذا الجهاز .

١٠ ـ ٤ ـ العمل الجيومورفولوجي البنائي للبحار : الترسيب في البيئات البحرية الضحلة (الشاطئية) :

لقد أشرنا الى العمليات الترسيبية التي تتم على الشواطىء في دورة التحات الشاطئي . وقد تحدث التعرية والترسيب كما مبين في الشكل ١٠ ـ ٦ عندما تطغى البحار على اليابسة ، وتسمى الشواطىء التي تتطور بشواطىء الغمر Shore lines of submergence ويكون العمل الجيومورفولوجي للبحر (أي الأمواج) في هذه الحالة عملاً هدمياً أساساً ، ويؤدي الى تحطيم التضاريس وتحويلها الى سطح مغطى في معظم الحالات برسوبيات غليظة . أما في حالة انحسار البحار (أي عندما ترتفع اليابسة بالنسبة للبحر) فتتكون ماتسمى بشواطىء الرفع Shore Lines of emergence . تتميز هذه الشواطىء في مراحلها الأولية بسهول منبسطة مسطحة تقريباً مغطاة برواسب بحرية مفككة ناتجة غالباً عن مرحلة مبكرة من تطور الشاطىء ، وقد يكون تطور الشاطىء في هذه المرحلة حسب النموذج المتبع في تطور شواطىء الغمر . تتميز مرحلة الشباب لشواطىء الرفع بظهور شواطىء حاجزية بين البحر وبين الشاطىء على هيئة ألسنة رملية Sand Spits نتيجة لفعل الانجراف الشاطئي الطولي السالف الذكر . وتتكون بين هذه الألسنة الرملية والشاطىء نفسه بحيرات شاطئية طولية ممتدة على طول الشاطىء . تسمى لاكونات Lagoons . ومع تقدم الشاطىء نحو النضوج تمتلىء هذه البحيرات بالرواسب المنقولة الى الشاطىء (من اليابسة أو من البحر) وتتقهقر الحواجز الرملية نحو خط الشاطىء نتيجة الهجوم المستمر للأمواج . ويؤدي ذلك التطور الى تكوين المستنقعات التي تميز أواخر مرحلة الشباب . وعندما تمتلىء المستنقعات الشاطئية تماماً وتنهدم الحواجز وتتلاشى نتيجة للفعل المستمر للأمواج يدخل الشاطىء في مرحلة الكهولة ، ويتحول الى خط مستقيم تقريباً تنتشر عليه شرفات المد Wave built



شكل (١٠ ـ ٦)

عملية الترسيب في ساحل رملي

terraces كما هو الحال في السواحل الغربية من الخليج العربي في دولة الامارات العربية المتحدة والكويت والمملكة العربية السعودية وكذلك السواحل الغربية من القطر المغربي والموريتاني .

يلاحظ أن العمل الجيومورفولوجي للأمواج والتيارات البحرية الشاطئية أثناء تطور شواطىء الرفع يكون عملاً بنائياً ينحصر في اعادة توزيع الرسوبيات الشاطئية وبعض الرواسب التي تصل الى الشاطىء من اليابسة بفعل الرياح والانهار أو الرسوبيات التي تصل الى الشاطىء من البحر بفعل التيارات الشاطئية الطولية .

هناك شواطىء حديثة جداً ، لاتؤثر الأمواج فيها ، وتعرف باسم شواطىء التعادل Neutral Shore Lines ومن أمثلتها الشواطىء التي تنشأ على خطوط الصدوع العظمي أو من انسياب فيضانات اللافا (الحمم) وقد تنشأ هذه الشواطىء أيضاً نتيجة للنشاط الحيوي للشعاب المرجانية ، ويمكن اعتبار الشواطىء الناتجة عن العمل البنائي للأنهار عند مصباتها (مثل الدالات) شواطىء تعادل أيضاً حيث يقل تأثير البحر في تطورها ، على الرغم من ان الدلتات تكون في العادة مناطق انحسار للبحار ، وبذلك يمكن اعتبارها أيضاً شواطىء رفع ، الا أنها تختلف عن شواطىء الرفع السالفة الذكر بأن رسوبياتها ناتجة عن العمل البنائي للنهر وليس عن العمل البنائي للبحر الذي يؤدي الى توزيع الرسوبيات على الشواطىء نتيجة للانحراف الشاطئي الطولي . غير أنه في كثير من الأحيان يكون تطور الشواطىء معقداً ، وتعزى طبيعتها الى توقف دورة التطور عدة مرات في مراحل مختلفة من نموها وبداية دورات اخرى ذات طبيعة مختلفة . ويمكن لشاطىء ما ان يبدأ كشاطىء غمر ، وقبل ان يصل الى مرحلة النضوج ينحسر عنه البحر ويبدأ في التطور على هيئة شاطىء رفع ، وبعد ذلك يمكن أن يبدأ النهر في توزيع رسوبياته على هذا الشاطىء نتيجة لتغير مناخي على المنطقة وكل ذلك يعطي الملامح الترسيبية والتضاريسية لشاطىء معين مظهراً معقداً يصعب تقسيمه ببساطة وحينئذ تسمى بالشواطىء المركبة Compound shore lines ان معظم عمليات ترسيب الشاطئية التي ناقشناها في الفقرات السابقة عمليات ترسيب تخص رسوبيات فتاتية ، وفي كثير من الأحيان ترابية . تسود هذه العمليات في العادة في المناطق المناخية المعتدلة ،

أما في المناطق المناخية الجافة التي تضعف فيها عمليات جلب الرسوبيات الترابية بواسطة الأنهار الى البحار أو تنعدم أحياناً ، فتظهر فيها عمليات الترسيب الكيميائي بوضوح على الشواطىء وتغطي هذه العمليات الى حد كبير عمليات ترسيب الرواسب الفتاتية . فتتكون في هذه الحالات رسوبيات كيميائية (كربونات ومتبخرات) تميز شواطىء المناطق الصحراوية ، وتسمى هذه الرسوبيات بالسبخات Sabkha .

يقسم معظم العلماء البيئات الشاطئية الى عدة مناطق كالآتي :

١ ـ منطقة فوق المد Supratidal environment لاتغمر هذه المنطقة تحت مياه البحر الا نادراً عند حدوث فترات من المد العالي الشاذ أو أثناء حدوث زوبعة قوية غير عادية . وعندما تكون هذه المنطقة مكونة من تراكمات رملية تسمى بالقضه أو السيف Beach وتجمع قضاض .

٢ ـ منطقة وسط المد Intertidul environment وتسمى أحياناً الساحة التي تغمرها مياه المد وتنحسر منها مياه الجزر بسطح المد والجزر Tidal Flat .

٣ ـ منطقة تحت الجزر Subtidal environment وتكون هذه المنطقة غالباً مغمورة تحت مياه البحر ، ولاتنحسر عنها المياه الا نادراً خاصة عند حدوث فترات من الجزر الشديد غير العادي ، تتأثر هذه المنطقة ورسوبياتها تأثراً شديداً بالأمواج .

في حالة ترسب مايسمى بالسبخات تترسب كربونات الكالسيوم عادة في منطقة تحت الجزر وفي منطقة سطح المد والجزر وفي كثير من الأحيان تترسب هذه الكربونات حول نوى مكونة من كسارة أصداف مهشمة لكائنات بحرية لافقارية وتؤدي حركة الأمواج النشيطة والتيارات الشاطئية الى دحرجة هذه النوى التي تترسب حولها كاربونات الكالسيوم ، حيث يصبح الترسيب متساوياً حول هذه النوى مكوناً كريات مستديرة مميزة (لايزيد قطر الواحدة منها على ٢ سم وتسمى هذه الكريات بالسرئيات Oolites نظراً لتشابهها بالسمك أي بيض السمك) .

تترسب كربونات الكالسيوم في مثل هذه البيئات على هيئة معدن الاراكونايت aragonite الذي يتبلور في فصيلة الرباعي ، ولكن سرعان مايتحول الاراكونايت الى الكالسيت الذي له نفس تركيب الاراكونايت الكيميائي والذي يتبلور في فصيلة السداسي . وهذا يفسر عدم وجود سريات أو صخور حاوية على اراكونايت في رسوبيات الأزمنة الجيولوجية القديمة .

تتكون عملية ترسيب رسوبيات السبخة من ترسب كربونات الكالسيوم أولاً نظراً لقلة درجة ذوبانها في الماء الدافىء ويؤدي ترسيب كاربونات الكالسيوم في المناطق التحت جزرية ومناطق مسطحات المد والجزر في الشواطىء الواقعة تحت ظروف مناخية جافة الى سحب معظم الكالسيوم المذاب في مياه هذه البحار ، الذي يساعد على تركيز الايونات الأخرى في هذه المياه ، ومنها الماغنيسيوم ، ويبدأ بعد ذلك معدن الدولوميت $Ca,mg(CO_3)_2$ في الترسيب في المنطقة العليا لمسطحات المد والجزر . ان منطقة المستنقعات الواقعة حول مدينة أبو ظبي في دولة الامارات العربية المتحدة أول مكان تم فيه اكتشاف عملية ترسيب دولوميت أولى مباشرة من مياه البحر في أيامنا هذه وقد تم هذا الاكتشاف في أواخر الستينات من هذا القرن .

أما في منطقة فوق المد ، فيتخلل ماء البحر في الرسوبيات الفتاتية (ومعظمها من الكربونات والطين الكربوناتي) حيث يفقد هذا الماء معظم الكربونات والكالسيوم والماغنيسيوم المذابة فيه وهنا يبدأ في ترسيب الجبس $CaSO_4.2H^2O$ الفجوات الواقعة بين رسوبيات الكربونات الفتاتية . واذا تعرضت هذه الرسوبيات لفترة طويلة من الجفاف (كما يحدث في المناطق الشاطئية البعيدة نسبياً من الشاطىء نفسه) ولتأثير مياه البحر المتخللة في الرسوبيات ، قد يتحول الجبس الى الانهايدرايت (anhydrite ($CaSO^4$ الذي يكون عقداً مميزة ذات لون أبيض ونسيج دقيق . أما الجبس فيكوّن في العادة بلورات شفافة صفائحية او يكوّن أشكالاً تعرف باسم (ورد الصحراء) (Desert rose) اذ ان هذه الأشكال المكونة من بلورات صفائحية متداخلة من الجبس تشبه بمظهرها زهرة الورد .

وفي حالة انحسار البحار ، كما يحدث الآن في منطقة ابو ظبي مثلاً ، قد يوجد في مكان معين تسلسل رأسي من رسوبيات السبخة تمثل كل طبقة منه مرحلة من مراحل ترسب الأملاح من المياه البحرية ، ويتكون هذا التسلسل من أسفل الى أعلى ، من الطبقات الآتية :

١ ـ طبقة حاوية على حفريات بحرية (أصداف لقواقع تنتمي الى الجنس Cerithium وفوراً مينيفرا تنتمي الى الجنس Penevoplis وأيضاً محاريات) وتوجد في هذه الطبقة أيضاً كمية من السرئيات، ومعظم رسوبيات هذه الطبقة تتكون من كربونات الكالسيوم (أراكونايت أوكالسايت) وتحتوي أحياناً على بعض حبيبات من الكوارتز في حجم الرمال ، ويظن العلماء أن هذه الحبيبات نقلت بفعل الرياح . وتمثل هذه الطبقة رسوبيات تحت جذرية تكونت في البحيرات الشاطئية (لاكون) .

٢ ـ طبقة حاوية على طحالب زرقاء ـ خضراء تحتوي أحياناً على نسبة من الدولوميت . تمثل هذه رسوبيات تكونت في سطح المد والجزر وكثيراً مايمكن اكتشاف مثيل هذه الطبقات في السجل الجيولوجي القديم ، وحينئذ توصف مثل هذه الصخور بأنها حجر جيري دولوميتي (اودولوميته) حاو على استروماتوليت Stromatolithes إن الطحالب الزرقاء ـ الخضراء لها قدرة كبيرة على تحمل الأشعة فوق البنفسجية وذلك يفسر ظهور هذه الطحالب على الأرض منذ زمان سحيق جداً أثناء فترة ماقبل الكامبري عندما كان النطاق الجوي للأرض خالياً من طبقة الأوزون التي تقي كوكبنا الآن من تأثير هذه الأشعة القاتلة القادمة من الشمس .

٣ ـ طبقة حاوية على كميات كبيرة من بلورات الدولوميت وهي رسوبيات تكونت في منطقة فوق المد .

٤ ـ طبقة حاوية على بلورات من الجبس تمثل رسوبيات تكونت فوق خط أعلى مد ، ولكنها تبعد عن الشاطىء أكثر مما تبعد عند الطبقة (٣) .

٥ ـ طبقة حاوية على عقد من الانهدريت .

هذا التتابع في منطقة ابو ظبي لا يزيد على متر واحد في السمك ولكن السجل الجيولوجي لكثير من رسوبيات البحار فوق القارية في أوربا وشمال امريكا تظهر فيه تتابعات مماثلة ، وقد كانت لغزاً لكثير من الجيولوجيين منذ بداية البحث الجيولوجي العلمي . وقد تم تفسير هذا اللغز عند اكتشاف السبخة للشواطىء الواقعة في المناطق الصحراوية ودراستها ويظهر أن الخليج العربي Arabian Gulf يشبه كثيراً من البحار فوق القارية epicontinental seas التي ترسبت منها كثير من رسوبيات الكربونات في السجل الجيولوجي للمناطق النموذجية للوحدات الستراتغرافية الزمنية الاساسية للعمود الجيولوجي في كل من اوربا وشمال امريكا ولذلك يهتم الكثير من الهيئات العلمية العالمية الآن بدراسة هذا الجسم المائي والظروف الترسيبية السائدة فيه .

يؤدي النشاط البيولوجي لبعض الأحياء البحرية الى تكوين رسوبيات سميكة في المناطق الضحلة لبعض البحار . من أمثلة هذه الأحياء المرجان والطحالب الجيرية التي تكوّن الشعاب Reefs . يتوقف تكوّن الشعاب على الظروف التكتونية بالاضافة الى الظروف المناخية والبيئية ، وسوف نناقش هذا الموضوع في الفقرة التالية من هذا الكتاب .

أما قيعان باقي مناطق الرصيف القاري للبحار والمحيطات فتتميز بما يسمى بالبيئات البيية .

أشرنا في الصفحات السابقة الى ان الترسيب في البيئات البيية يتأثر كثيراً بالظروف السائدة على المناطق القارية المجاورة . ويمكن القول بصفة عامة أن الرسوبيات البيية التي تتكون قرب المناطق الشاطئية تحتوي على كمية ملحوظة من المواد الفتاتية الترابية الغليظة (مثل الرمال) أو الكربونات الحاوية على بقايا من المرجان أو الطحالب الجيرية المتفتتة أو الكاملة . وبالاضافة الى ذلك تحتوي هذه الرسوبيات على نسبة كبيرة من بقايا الكائنات القاعية (مثل الهاريات والقواقع والفورامنيفرا القاعية) . تنتمي هذه

الرسوبيات الى مايعرف باسم البيئات البية الداخلية Inner nertic environment التي تقع بالقرب من الشواطىء ، أما البيئات البية الخارجية Outer nertic envir فتحتوي على رسوبيات دقيقة الحبيبات تتكون غالباً من المارل الحاوي على بقايا كثيرة لكائنات هائمة (مثل بعض الرأسقدميات والفورا مينيفرا الهائمة) بالاضافة الى نسبة ملحوظة من بقايا كائنات قاعية . وهي تختلف عن رسوبيات البيئات العميقة والسحيقة بكثرة هذه البقايا التابعة لكائنات قاعية .

تتعقد طبيعة الترسيب في مناطق البيئات البية في كثير من الحالات نتيجة لانحسار البحار عنها فوق كثير من المناطق الواقعة على الأرصفة القارية أثناء العصور الجليدية لذلك توجد في بعض الأحيان رسوبيات قارية أو شاطئية في تلك الأماكن . ومثال ذلك الرسوبيات الجليدية التي تغطي قاع بحر الشمال بين انكلترا والبلاد الاسكندنافية والرسوبيات الرياحية (رمال كوّنت في الماضي كثباناً رملية) التي توجد على الرصيف القاري امام الشواطىء الجنوبية للساحل الأطلسي للولايات المتحدة . وقد يحدث ان تتأثر هذه الرسوبيات بعد ذلك بالتيارات البحرية عندما تنغمر هذه المناطق بالبحار مما يعقد عملية دراستها والتعرف عليها .

وتوجد في بعض المناطق على سطح الأرصفة القارية ملامح تضاريسية تميز تأثير النحات في المناطق القارية ، ومن أبرز هذه الملامح الاخاديد التحت برية (المغمورة) Sub marine canyons وهي عبارة عن وديان غمرتها المياه أو الثالج . ففي شواطيء البلاد الاسكندنافية ملامح تضاريسية مميزة تعرف باسم الفيوردات Fjords ، وهي وديان غمرتها الثالج في أثناء العصور الجليدية ، وتمتد هذه الودسان تحت سطح البحر فوق الرصيف القاري مكونة بحيرات جليدية عند مقدمة الثلاجة .

وفي ابان الطغيان الأخير للبحار في هذه المناطق بعد ذوبان ثلوج العصر الجليدي الأخير ، دخل البحر في هذه الوديان الى مسافات طويلة داخل المناطق القارية مكوناً خلجاناً مستطيلة عميقة مميزة . والفيوردان من الملامح الطبوغرافية المميزة لكثير من شواطىء البلاد الاسكندنافية ، وهي أماكن سياحية مشهورة يقوم فيها السائحون

برحلات بحرية لمشاهدة المناظر الطبيعية الرائعة الناتجة عن هذه التضاريس فضلاً عن أهميتها التجارية .

العمل البنائي للكائنات الحية البحرية والشعب المرجانية :

الشعب المرجانية هي رواسب بحرية جيرية تراكمت نتيجة لنمو مستعمرات حيوان المرجان وبعض الكائنات الأخرى التي تعيش في مستعمرات (مثل بعض الطحالب الجيرية وبعض أنواع البرايوزوا) التي تترك هياكلها الصلبة بعد موتها على هيئة أرصفة ممتدة . تستمر الأجيال الجديدة للكائنات الحية الباقية للشعب المرجانية في النمو فوق الهياكل المتبقية للأجيال التي سبقتها . وقد كانت هذه الكائنات مصادر هامة للرسوبيات الجيرية الشعابية Bioherms في الأزمنة الجيولوجية القديمة ومازالت كذلك في الزمن الحديث ، تفضل هذه الكائنات الحياة في المياه الضحلة للبحار الاستوائية التي لاتنخفض درجة حرارتها عن ٢٠° م والتي لايتجاوز عمقها ٥٠ متراً .

والجدير بالذكر أن اللفظ الانكليزي Reef أو الفرنسي Recif كلاهما لفظان بحريان يشيران الى كتل صخرية على هيئة أرصفة توجد في أعماق ضئيلة تحت سطح البحر والتي تشكل خطراً على الملاحة حيث أنها تعترض طرق السفن التي تصطدم بها دون ان يراها الملاحون ، وبذلك يؤدي اصطدام السفن بهذه الشعاب أو الصخور الى غرقها . أما من الناحية الجيومورفولوجية فقد اقتصر معنى هاتين الكلمتين الاجنبيتين reef, recif على كل تكوين صخري بحري صلب متماسك ينمو نتيجة للنشاط البيولوجي لكائنات حية بحرية .

تتكون معظم الشعاب الكبيرة في البحار الحالية نتيجة لنمو المرجان والطحالب الجيرية ، وقد توجد الشعاب أيضاً في بعض البحار الواقعة في مناطق مناخ معتدلة ، أو ذات مياه مكرة تتكون نتيجة نمو الطحالب الجيرية فقط دون المرجان . أما في الأزمنة الجيولوجية القديمة فقد نمت شعاب مكونة من بعض المحاريات ، مثل شعاب الرودست Rudists في بحار الطباشيري وشعاب الاسفنج الجيري المعروف باسم الاركيوسياتيا Archaeocyatidae في بحار الكبري .

يكون نمو الشعاب اكثف مايكون في البحار المفتوحة حيث يتوافر الغذاء والاوكسجين ومركبات الكالسيوم التي تأتي بها الأمواج والتي تلزم لنمو هياكل المرجان . يفضل حيوان المرجان المياه الصافية الخالية تماماً من الحبيبات الصلصالية المعلقة ، ولذلك فهو لاينمو في أماكن مصبات الأنهار أو على شواطىء الأراضي ذات المناخات المطرة . تكثر الشعاب المرجانية على شواطىء المناطق الصحراوية أو على شواطىء الجزر الصغيرة الواقعة في وسط مساحات محيطية شاسعة كجزر المحيط الهادي .

تقسم الشعب المرجانية الى أربع أنواع حسب أماكن نموها بالنسبة للأرض اليابسة وهي :

١ ـ الشعاب السجافية (الهامشية) Fringing reefs وهي مصاطب أو أرصفة ملاصقة للشواطىء ولاتظهر فوق الماء الا أثناء الجزر .

٢ ـ الشعاب الحاجزية Barrier reefs وهي أرصفة في هيئة حواجز حول الشاطىء وتفصل الشاطىء عنها بحيرات شاطئية طويلة تسمى (لاكونات) .

٣ ـ الشعاب الحلقية Atolls وهي شعاب شكلها دائري تماماً أو تقريباً تحصر بداخلها لاكرنات مستديرة الشكل . تنمو الشعاب الحلقية في أعالي البحار مكونة جزراً مميزة خصوصاً في المحيط الهادي ، أما الشعاب السجافية والحاجزية فتنمو باستمرار بجوار مساحات قارية أو جزيرة صخرية .

٤ ـ شعاب نضدية table, Patch or platform reefs تكوّن هي الأخرى جزراً مثل الشعاب الحلقية الا انها لاتحتوي على البحيرات الشاطئية وغالباً ماتكون هذه الشعاب نتيجة ردم البحيرات الساحلية لبعض الشعاب الحلقية وذلك بسبب النمو السريع للمرجان داخل هذه البحيرات وبسبب مايتراكم بداخلها من الفتات الجيري الناتج عن نمو الشعاب وتحطمها بفعل الأمواج .

اما بالنسبة لأصل تكون الشعاب المرجانية ومميزاتها التضاريسية فلا تحتاج الشعاب السجافية الى جهد خاص في شرح طريقة نموها ، اذ تنمو هذه الشعاب في الشواطىء وتمتد في المياه الضحلة خصوصاً اذا كانت هذه المياه دافئة وخالية من العكر ولكن الوقوف على أصل الشعاب الحاجزية والشعاب الحلقية يحتاج الى شيء من التفصيل .

يظن العلماء أن الشعاب السجافية التي تنمو أساساً تجاه البحر تتحول الى شعاب حاجزية عندما يهبط القاع الذي ترتكز عليه ببطء نتيجة حدوث حركة صدعية أو تكتونية مثلاً ، بينما تظل الشعاب مستمرة في النمو . وأشهر الشعب المرجانية الحاجزية المعروفة في العالم هو الحاجز المرجاني العظيم Great Barrier Reef الذي يمتد امام الشواطىء الشمالية الشرقية لاستراليا . يبلغ طول هذا الحاجز أكثر من ١٥٠٠ كم ويتراوح عرضه بين ١٥ ـ ٢٠ كم ، تفصل بينه وبين الشاطىء بحيرات شاطئية يتراوح عرضها بين ٣٠ ـ ٧٠ كم وعمقها بين ٢٠ ـ ٨٠ متراً .

أما بخصوص أصل الشعاب الحلقية فأول العلماء الذين حاولوا ان يضعوا نظرية لشرح مراحل تكوينها هو داروين وتعرف نظريته باسم نظرية الهبوط لداروين Darwin's subsidence theory . يعتقد داروين ان الشعاب السجافية والحاجزية والحلقية تكوّن ثلاث مراحل متعاقبة في نمو المرجان حول بركان أو جزيرة بركانية في حالة هبوط بطيء مستمر . ولابد للهبوط ان يكون بسرعة تتكافأ مع سرعة نمو المرجان . وعندما تصبح الجزيرة مغمورة تماماً بالماء تتحول الشعاب السجافية الأصلية الى شعاب حاجزية ثم الى حلقية في النهاية .

وعلى الرغم من أن نظرية داروين تفسر بشكل مقنع معظم المظاهر التي تصاحب نمو الشعاب الحلقية الا أنها لم تفسر لماذا يكون عمق البحيرات الشاطئية المستديرة داخل هذه الشعاب الحلقية منتظماً تماماً ، كما وأنها لاتفسر بالضبط سبب وجود سمك ضخم من الرواسب المرجانية التي تعلو عادة القاعدة البركانية لكثير من الشعاب الحلقية . فغالباً لاتظهر هذه القاعدة البركانية في التتابع الصخري تحت السطحي للشعاب الحلقية (الجزر الحلقية) Atolls . عند حفر آبار عميقة فيها . فقد قامت بعض الشركات المهتمة بالتنقيب

عن النفط بحفر آبار يصل عمقها الى أكثر من ٤٠٠٠ م في بعض الجزر الحلقية للمحيط الهادي دون الوصول الى القاعدة البركانية لهذه الجزر ، تبين أن الكثير من هذه الآبار اخترقت تتابعاً زمنياً مستمراً في الرسوبيات الشعابية المتتالية يصل الى الايوسين الأسفل أو الطباشيري .

بالنسبة لتفسير تكون السطح المستوي للبحيرات الحلقية فقد وضع دالي Daly نظرية عن التحكم الجليدي في تشكيل بعض الملامح التضاريسية للشعاب المرجانية في العالم .

يعتقد دالي ان القيعان المنتظمة المستوية لأسطح البحيرات الشعابية يمكن تفسيرها بنمو الشعاب المرجانية الى أعلى من حواف أرصفة مغمورة (الشرفات التي بنتها وقطعتها الأمواج) تكون نتيجة للتحات البحري أثناء فترات كان فيها منسوب سطح البحار أقل من المنسوب الحالي ، حينما كانت المثالج تنتشر على سطح الكرة الأرضية أثناء العصور الجليدية . واعتبر دالي ان الارتفاع التدريجي الذي صحب ذوبان الثلوج في الفترة الدفيئة الأخيرة كان مصحوباً بنمو مرجاني في كثير من مناطق العالم وان الأسطح المستوية لبعض البحيرات الشاطئية ليست الا ماتبقى من الأسطح التحاتية القديمة الناتجة عن فعل الأمواج عندما كان منسوب البحار أقل من المنسوب الحالي .

ان نظرية تكتونية الألواح (الصفائح) وانتشار قاع المحيطات والبحار عند تكون المساحات المحيطية ، يمكن أن تفسر نمو الكثير من الجزر الشعابية الواقعة في وسط هذه المساحات المحيطية . فتوجد هذه الجزر في كثير من الأحيان فوق الرصيف المحيطي الذي يصل عمقه الى بضعة آلاف من الأمتار ، وتظهر الجزر نفسها على هيئة أعمدة طويلة ترتفع فوق سطح الرصيف المحيطي حتى تظهر عند سطح البحر . ويمكن من خلال التعرف على التتابع الستراتغرافي للصخور الشعابية المكونة لهذه الجزر متابعة عملية انتشار قاع المحيطات التي تقع فيها الجزر المرجانية . ففي المراحل الأولى لتكوين المحيط يظهر في مكان ما (عند التقاء لوحين متباعدين) حاجز وسط محيطي ، وفي نفس الوقت تظهر على هذا الحاجز وحوله عدد من الجزر البركانية نتيجة للنشاط البركاني الكبير الذي يصحب تكوّن مثل هذه الحيود وكلما ابتعدت منطقة معينة من قاع المحيط عن الحدود

البناءة للوحين ، والتي يتكون عليها الحاجز الوسطي المحيطي ، يهبط قاع المحيط تدريجياً وتهبط معه أيضاً الجزر البركانية وتتكون أثناء هذا الهبوط جزر شعابية واتولات (شعاب حلقية) حسب النظرية التي وضعها داروين .

ويظن العلماء ان الصخور المكونة للحيود الوسط محيطية لها تركيب معدني من البيروكسين والسليكات الأخرى يتميز بثباته عند درجات عالية من الحرارة . ولكن عندما تبتعد هذه الصخور بمحتوياتها المعدنية عن مركز انتشار قاع المحيط نتيجة لعملية انتشار قاع البحار المشار اليها سابقاً تتحول المحتويات المعدنية للصخور الى معادن من البيروكسين والسليكات الأخرى الأكثر ثباتاً في درجات منخفضة نسبياً من الحرارة ، وتكون بلورات هذه السليكات والبيروكسين أقل حجماً من نظائرها الأكثر ثباتاً عند الدرجات العالية من الحرارة . وهذا يؤدي الى انكماش القشرة المحيطية كلما ابتعدنا عن مركز انتشارها ومن ثم يسبب هذا الانكماش انخفاضاً تدريجياً لقاع المحيط كلما ابتعد هذا القاع عن الحدود البناءة بين الألواح حتى يصل الى العمق المتوسط للرصيف المحيطي المشار اليه في الصفحات الأولى من هذا الكتاب .

وقد بينت الدراسات التي اجريت على الشعاب المرجانية المختلفة ان بنيانها يتبع في معظم الحالات نظاماً موحداً وان معظم هذه الشعاب تتكون من عدة نطق موازية للشاطىء أو للحدود الفاصلة بين الشعاب والبحر وهذه النطق كالآتي ابتداء من أقربها الى البحر :

١ ـ منطقة الحافات / وتحتوي على حفر وقنوات :

Marginal Grooves and Surge Channels

تتكون هذه المنطقة (أو النطاق) من صخر جيري عضوي ناتج عن نمو طحالب جيرية تنتمي لأجناس شبيهة بالجنس Lithothamnion ويظن العلماء أن الحفر والقنوات التي تميز هذه المنطقة تساعد على امتصاص صدمات الأمواج وعلى حماية الشعب على قدر الامكان من التفتت بفعل الأمواج . والجدير بالذكر أن هذه المنطقة للشعاب المرجانية تقع في العادة تحت مستوى الجزر .

٢ ـ نطاق الحاجز الحافي (الهامشي) :
Marginal ridge

هذا الجزء من الشعب يكون في العادة أنشط جزء في النمو ويتكون من طحالب مرجانية Coralline algae مثل Lithothamnion السالف الذكر .

٣ ـ المسطح الشعبي **Reef Flat** : المكون من تجمعات مرجانية وطحلبية يكون الجزء المقابل للبحر من هذا السطح غنياً بالطحالب ، وتتضاءل نسبة الطحالب تدريجياً في الجزء البعيد عن البحر وتزداد نسبة المرجان في بنيان الشعب كلما اتجهنا بعيداً .

٤ ـ قطنة رملية **Beach** : تتكون الرمال في هذه الأنواع من القضاض من فتات جيري ناتج عن تفتت الحائط الشعابي بفعل الأمواج ومن تفتت بعض أصداف الرخويات التي تعيش على الحائط الشعابي نفسه . في العادة تحتوي هذه القضاض على نسبة كبيرة من السرئيات Oolites التي تتكون نتيجة لترسيب الكربونات مباشرة من ماء البحر فوق المياه الضحلة التي تغطي الشعاب في معظم الأحيان .

مما تجدر الاشارة اليه الى ان الشعب نفسه يكون في العادة مغطى بماء البحر ، الا في بعض الحالات التي تتعرض أجزاء منه للهواء أثناء فترات الجزر .

يوجد في معظم الأحيان أمام جسم الشعب نفسه منحدر يتجه نحو البحر وتتراكم على هذه المنحدرات رسوبيات فتاتية ناتجة عن فعل الأمواج على الحائط الشعابي ، وتتداخل هذه الرسوبيات تدريجياً في اتجاه البحر مع الرسوبيات الدقيقة المحيطية التي تميز الترسيب في أعماق البحار .

الفصل الحادي عشر
الجليـــد والثلاجـات

١١ ـ ١ ـ مقدمـــة

يسود العمل الجيومورفولوجي للجليد في المناطق المناخية الواقعة في العروض العليا والمناطق القطبية أو فوق الجبال الشديدة الارتفاع مثل مناطق الجليد والثلج الدائمين .

ليس للثلج أو الجليد عموماً في الأقطار العربية أي أثر جيومورفولوجي ملحوظ في تشكيل سطح الأرض باستثناء بعض المناطق الجبلية مثل جبال الأطلس في المغرب وجبل بيرة مكرون في العراق . ولكن ثبت من الدراسات الجيومورفولوجية أن بعض الصخور القديمة للوطن العربي تأثرت وتشكلت بفعل الجليد أو الثالج ومن أمثلة هذه الصخور بعض رسوبيات ماقبل الكبري ورسوبيات الدور الرابع في المناطق الجبلية العالية . لذلك يجدر بنا ان نقدم في هذا الكتاب نبذة عن الفعل الجيومورفولوجي للجليد والثالج .

فضلاً عن ذلك فانه يلزم لأي جيولوجي وجيومورفولوجي عربي أن يكون ملماً الماماً متكاملاً بكل العوامل الجيولوجية والجيومورفولوجية التي تؤثر على كوكبنا وأن لاتقتصر معلوماته على مجموعة دون أخرى . سوف نتناول في الفقرات الآتية الثالج والرواسب الجليدية والأشكال التضاريسية الناتجة عنها وبعض التراكيب الجيومورفولوجية الناتجة عن فعل الجليد في المناطق ذات الثلوج الفصلية .

١١ ـ ٢ ـ الثلاجات (الثالج) وحركتها وأنواعها :

يسقط الثلج شتاء في العروض العليا التي يتميز مناخها بانخفاض درجات الحرارة خلال الشتاء وفي المناطق المرتفعة حيث تهبط درجات الحرارة فيها بعامل الارتفاع فوق مستوى سطح البحر ، وقد لايذوب الثلج أثناء فصل الصيف بالنظر لانخفاض درجة حرارته أيضاً ، وبذلك تتكون فوق سطح الأرض طبقة أو غطاء من الجليد المتراكم خلال السنين . وقد تتحول الطبقات السفلى من هذا الثلج الى جليد متجمد نتيجة لضغط

الجليد المتراكم . ومع ذلك فان انخفاض درجة الحرارة لاتكفي لوحدها لتكوين حقل دائم من الثلج . بل يستلزم الأمر سقوط كميات وافية من الثلج ، اذ انهما عنصران أساسيان لبقاء غطاء ثلجي دائم وسميك .

تتحرك الكتل الجليدية لهذه الأغطية من أعلى المنحدرات الى أسفل ، ويتم ذلك بفعل الجاذبية . تنقل الكتل الجليدية أثناء تحركها الى أسفل كميات هائلة من الحطام الصخري المتفاوت الأحجام .

يقوم الجليد والحطام الصخري المحمل بداخله ببري أسطح الصخور الصلبة التي تكوّن سطح القشرة الأرضية الملامس للغطاء الجليدي المتحرك . يؤدي ذلك الى ظهور ملامح تضاريسية مميزة على أسطح الأراضي التي كانت مغطاة بغطاء جليدي عند ذوبان الجليد فوق سطح الأرض . تبين ان الأرض كانت مغطاة بأغلفة جليدية واسعة الانتشار أثناء فترات مختلفة من الزمن الرابع ، وقد انكشت هذه الأغطية أو تراجعت في الوقت الحاضر ، يغطي الجليد الآن بعض المناطق الشمالية من نصف الكرة الشمالي وخاصة بعض مناطق المحيط المتجمد الشمالي وجزيرة كرينلاند وآيسلندا والقارة القطبية الجنوبية بمساحة مقدارها (١٦٫٣) مليون كيلومتر مربع غير ان الغطاءات الجليدية قديماً كانت أوسع انتشاراً حيث وصل الجليد الى دائرة عرض ولاية نيويورك في الولايات المتحدة مغطياً بذلك كلا من كندا والاسكا وشمال الولايات المتحدة الامريكية ووصل الى شمال فرنسا مغطياً بذلك الدول الاسكندنافية وانكلترا وبعض أجزاء المانيا وهولندا وبولندا والأجزاء الشمالية من الاتحاد السوفيتي .

تسمى الأغطية الجليدية المتحركة بالمثالج (الثلاجات) glaciers . وهناك نوعان من المثالج : مثالج الوديان أو الانهار الجليدية ومثالج الأغطية الجليدية . اضافة الى نوع ثالث يطلق عليه اسم الثلاجات المتوسطة أو الثلاجات الاسكندنافية التي تتمثل بثلاجات المضاب وثلاجات البيدمونت Piedmont .

١ ـ مثالج الوديان أو الانهار الجليدية Valley glaciers :

تتكون فوق الجبال العالية التي تتخطى قممها خط الثلج الدائم ، وهو الحد الأدنى للغطاء الثلجي أو المستوى الذي يبدأ الثلج دونه بالذوبان في فصل الصيف اذ يتبقى الثلج الواقع فوق هذا الخط دون ذوبان . يختلف ارتفاع هذا الخط على سطح الكرة الأرضية فهو قريب لسطح البحر في القارة القطبية الجنوبية والقطب الشمالي ويصل ارتفاعه الى أقصاه في الجهات المدارية الحارة .

وهناك عوامل متعددة تؤثر في وضعية هذا الخط منها الاختلافات في عوامل المناخ والتضاريس والرياح واختلاف موقع السفوح بالنسبة لأشعة الشمس ، حيث تتراكم الثلوج في الوديان وتنزلق تدريجياً الى أسفل بفعل ذوبان الجليد في المناطق المنخفضة . تتصف الوديان التي تحرثها مثل هذه المثالج بمظاهر طبوغرافية مميزة ، حيث يكون مقطعها الرأسي العمودي على اتجاه انحدار الوادي على شكل حرف U ، وتتميز هذه الوديان بتكوين مايعرف أحياناً باسم الوديان المعلقة Hanging vallyes .

من أهم مظاهر الثلاجات هي الشقوق Crevasses التي تتكون على سطح الجليد أثناء حركته ومما يساعد في سعة هذه الشقوق التباين في المقطع العرضي للوادي الذي تتحرك الثلاجة فيه أو الاختلاف في الانحدار بين جزء وآخر من المجرى ووجود النتوءات والبروزات فوق قاع المجرى حيث تتكون الشقوق الطولية في الحالات الأولى والشقوق العرضية في الحالات الأخيرة وتؤدي اشعة الشمس أحياناً الى زيادة عمق هذه الشقوق ليصل الى حوالي ٥٠ ـ ٢٥٠ م ، تحتوي مثالج الوديان على كميات كبيرة من المواد الرسوبية الرديئة الفرز تعرف باسم الركام الثلجي أو المورين Moraines فهناك فتات صخري منتشر على جوانب المثلجة يسمى بالركام الجانبي Lateral Moraines ، وعندما تلتقي مثلجتان يتجمع الركام الجانبي لكلتيهما ويتكون من ذلك الركام الذي يعرف باسم الركام الوسطي Mediam moraines ويسمى الفتات الذي يترسب بدون نظام عند نهايتها بالركام النهائي End or terminal moraines (لاحظ الشكل ١١ ـ ١) .



شكل (٢٠١١)

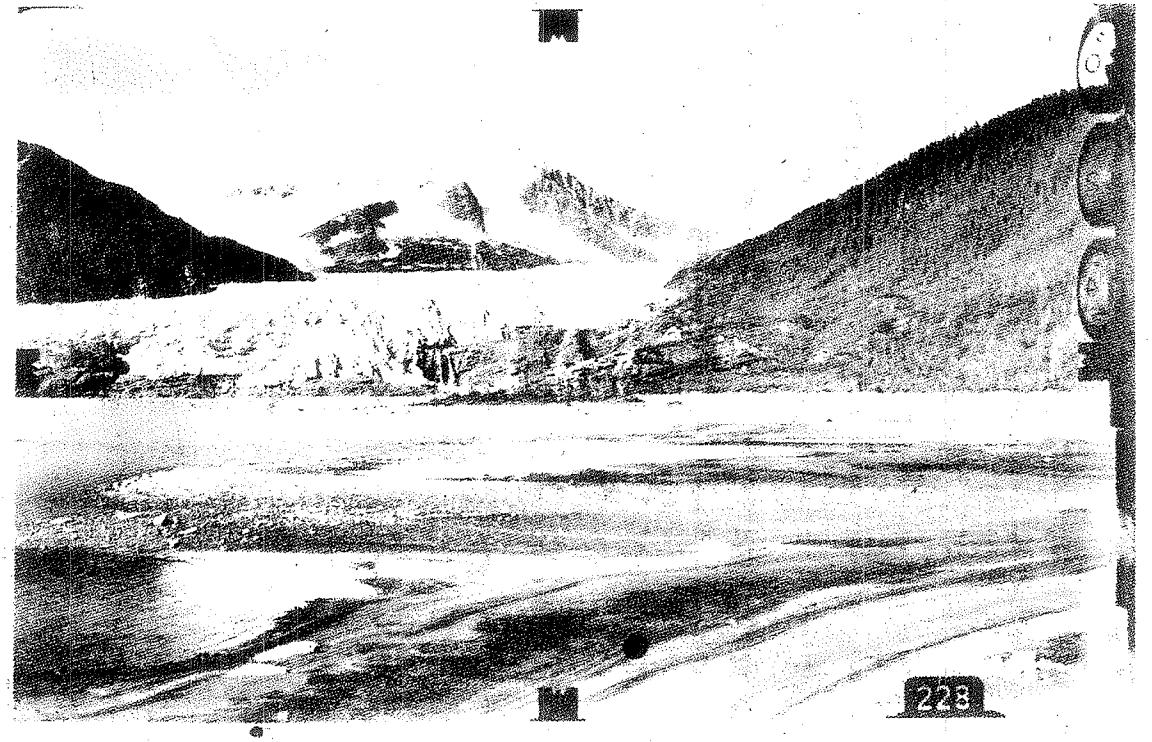
غطاء جليدي وملامح جليدية في شمال العراق

١ ـ مثالج الوديان أو الانهار الجليدية Valley glaciers :

تتكون فوق الجبال العالية التي تتخطى قممها خط الثلج الدائم ، وهو الحد الأدنى للغطاء الثلجي أو المستوى الذي يبدأ الثلج دونه بالذوبان في فصل الصيف اذ يتبقى الثلج الواقع فوق هذا الخط دون ذوبان . يختلف ارتفاع هذا الخط على سطح الكرة الأرضية فهو قريب لسطح البحر في القارة القطبية الجنوبية والقطب الشمالي ويصل ارتفاعه الى أقصاه في الجهات المدارية الحارة .

وهناك عوامل متعددة تؤثر في وضعية هذا الخط منها الاختلافات في عوامل المناخ والتضاريس والرياح واختلاف موقع السفوح بالنسبة لأشعة الشمس ، حيث تتراكم الثلوج في الوديان وتنزلق تدريجياً الى أسفل بفعل ذوبان الجليد في المناطق المنخفضة . تتصف الوديان التي تحرثها مثل هذه المثالج بمظاهر طبوغرافية مميزة ، حيث يكون مقطعها الرأسي العمودي على اتجاه انحدار الوادي على شكل حرف U ، وتتميز هذه الوديان بتكوين مايعرف أحياناً باسم الوديان المعلقة Hanging vallyes .

من أهم مظاهر الثلاجات هي الشقوق Crevasses التي تتكون على سطح الجليد أثناء حركته ومما يساعد في سعة هذه الشقوق التباين في المقطع العرضي للوادي الذي تتحرك الثلاجة فيه أو الاختلاف في الانحدار بين جزء وآخر من المجرى ووجود النتوءات والبروزات فوق قاع المجرى حيث تتكون الشقوق الطولية في الحالات الأولى والشقوق العرضية في الحالات الأخيرة وتؤدي اشعة الشمس أحياناً الى زيادة عمق هذه الشقوق ليصل الى حوالي ٥٠ ـ ٢٥٠ م ، تحتوي مثالج الوديان على كميات كبيرة من المواد الرسوبية الرديئة الفرز تعرف باسم الركام الثلجي أو المورين Moraines فهناك فتات صخري منتشر على جوانب المثلجة يسمى بالركام الجانبي Lateral Moraines ، وعندما تلتقي مثلجتان يتجمع الركام الجانبي لكلتيهما ويتكون من ذلك الركام الذي يعرف باسم الركام الوسطي Mediam moraines ويسمى الفتات الذي يترسب بدون نظام عند نهايتها بالركام النهائي End or terminal moraines (لاحظ الشكل ١١ ـ ١) .



شكل (١٠١١)

رکام جليـــدي

ويسمى الركام المثلجي الذي يترسب عند نهاية المثالج أحياناً بالحريث او التِل Till ، أما الصخر المكون من التِل فهو التيليت أو الحريث Tillite .

استطاع الباحثون من خلال دراسة توزيع رسوبيات الحريث (الركام النهائي) للمثالج القديمة من معرفة نتائج ترسيب الرسوبيات المحملة في مثالج الأنهار التي تؤدي الى تكوين التضاريس خاصة مثل الرسوبيات النهارة والكامس Kames والاسكير Esker .

يؤدي ترسيب وسط المثالج أحياناً الى نقل كميات كبيرة من الصخور ووضعها في أماكن بعيدة عن منبعها . هذا يفسر وجود كتل صخرية غريبة تسمى بالكتل (الشاذة) الضالة Erratic blocks في المناطق التي تأثرت بالمثالج ، ومثال ذلك وجود كتل من الجرانيت يصل وزنها الى بضعة آلاف من الأطنان في مناطق يكون تركيبها الجيولوجي رسوبياً ، وتتكون من الحجر الجيري أو الحجر الرملي .

الأغطية الجليدية Ice Sheets :

لايوجد على الكرة الأرضية الآن سوى غطاءان جليديان عظيمان وهما الغطاء الجليدي لكرينلاند ويرتفع حوالي ٣٠٠٠ متراً فوق سطح البحر والغطاء الجليدي للقارة القطبية الجنوبية الذي يمتد على مساحة ٢٤ مليون كيلومتراً مربعاً ، وهو أكبر بكثير من الغطاء الجليدي لكرينلاند ، والذي يغطي ١٫٧٣٦ مليون كيلومتراً مربعاً .

كان انتشار هذه الأغطية الجليدية أكبر بكثير أثناء العصور الجليدية للزمن الرابع . ويطلق العلماء الاسكندنافيون اسم (الاسلاندسيز Islandsis) على الغطاء الجليدي الذي كان يغطي الجزء الشمالي للكرة الأرضية أثناء الأعمار الجليدية .

والدليل على انتشار هذا الغطاء الجليدي وجود رسوبيات جليدية وملامح تضاريسية جليدية في معظم المناطق (شكل ١١ - ٢) .



شكل (١١ - ٢)

غطاء جليدي وملامح جليدية في شمال العراق

تسبب الأغطية الجليدية نقل كميات كبيرة من الرسوبيات الجليدية (التيليت أو صخور الحريث) . وقد رسبت هذه الأغطية صخوراً حريثية قرب خط نهاية انتشارها في اتجاه الجنوب حينما كان هذا الخط يقع على مساحات قارية . أما في حالة انتشار غطاء جليدي بالقرب من مساحة بحرية أو محيطية (مثل حالة الغطاء الجليدي لشبه جزيرة كرينلاند) فانه يساهم في تكوين جبال جليدية ضخمة (Ice bergs) تجرفها تيارات البحر عبر المساحات المحيطية ، حيث تذوب هذه الجبال عندما تصل الى خطوط عرض منخفضة ، وتساهم هذه الجبال الجليدية التي تحتوي على بعض الرسوبيات الجليدية في توزيع هذه الرسوبيات عبر المحيطات ولكن اكتشاف مثل هذه الرسوبيات في المحيطات ليس من الأمور الهينة .

أما بخصوص تأثير الأعمار الجليدية على القارات الجنوبية ، فليست هناك معلومات كافية بهذا الشأن ، ولا يعلم الباحثون بعدما اذا كانت تلك الأعمار الجليدية في هذه القارات تطابق مثيلاتها في القارات الشمالية أم لا .

١١ ـ ٣ ـ الأشكال الجيومورفولوجية الجليدية :

يمكن تقسيم العمل الجيومورفولوجي للمثالج ، كما هو الحال بالنسبة للعمل الجيومورفولوجي لجميع عناصر الحت (الرياح والمياه الجارية والمثالج) الى :
(١) عمل هدمي . (٢) عمل بنائي .

يظهر العامل الهدمي للمثالج في بعض الملامح التضاريسية للمناطق التي تأثرت بفعل المثالج . فتؤدي الرسوبيات التي تتحرك مع المثالج أثناء زحفها نحو المناطق المنخفضة الى بري الصخور وظهور أسطح مرقشة ترقيشاً مميزاً ، ويظهر هذا الترقيش على أسطح الجلاميد التي حملتها المثالج ، وفوق بعض الأسطح التحاتية الشاسعة الانتشار ، التي تكونت بفعل المثالج ، حيث تظهر الصخور الصلبة المبراة وكأنها مصقولة في مستويات واضحة . هناك مظاهر مميزة لبعض الكتل الصخرية غير المستوية اذ تكون كتلاً ذات أسطح غير متماثلة ومستديرة . وتسمى أحياناً بالصخور الفنية لأنها تشبه في مظهرها قطيعاً من الغنم .

يتغير مظهر المفتتات والكتل الصخرية الموجودة في الجليد وذلك أثناء حركته اذ تنفصل الكتل الصخرية وتستدير في شكلها وتصبح ملساء تكثر فيها الشقوق ويطلق عليها اسم الكتل الصخرية الجليدية Glacial Boulders وتظهر مجموعة من الأشكال الأرضية في المناطق الجبلية مرتبطة من حيث تكونها بشكل وثيق مع العمل التحاتي الذي يقوم به الجليد والثلج وتشمل هذه الأشكال ، الحلبات الجليدية الصغيرة Corries . والحلبات الجليدية الكبيرة Cirques والأخاديد الجليدية Tranches . فالأولى تشتمل على منخفضات تشبه المقلة في شكلها توجد على سفوح الجبال تنشأ فيها ثلاجات صغيرة تسمى الثلاجات الحلبية . تحيط بهذه المنخفضات حوائط شديدة الانحدار من جهات ثلاثة في حين ينفتح الجانب الرابع نحو واد في رصيف شديد الانحدار ، ومن المحتمل جداً أن تكون هذه المنخفضات الصغيرة قد تكونت بفعل الثلج أو الجليد بشكل متكرر فضلاً عن تأثير التجوية الفيزياوية . أما الحلبات الكبيرة فانها تشبه الوعاء في شكلها ، تبدو على شكل مدرج يشغل الأجزاء العليا من الوديان الجبلية التي عملت الثلاجات على زيادة عرضها وتكون هذه الحلبات محاطة بحيطان عودية شديدة بشكل تدريجي وتكون هذه الحلبات المصدر الرئيسي لتكوين الأنهار الجليدية ويعزي السبب في تكونها الى عمليات عديدة منها :

١ ـ تأثير الأنهار الجليدية .
٢ ـ تأثير عمليات التجوية .
٣ ـ تأثير المياه المتخلفة عن عمليات الذوبان .

أما الأخاديد الجليدية فتنشأ عادة عند ظهور الأنهار الجليدية من حقل الثلج الجليدي وانحدارها الى الوديان التحاتية التي حفرتها الأنهار المائية في فترة سابقة . يكون الجزء العلوي من الأخدود تحاتياً مفتوحاً تحده سفوح معتدلة الانحدار حيث يتراوح انحدارها بين ٤٠ ـ ٤٥ درجة أما الأجزاء الدنيا منه فتحيط بها سفوح شديدة الانحدار تتميز بعدم انتظام قيعانها بشكل واضح فضلاً عن تواجد مدرجات عرضية يطلق عليها اسم الحواجز الصخرية Riegels ويعزي سبب تكوينها الى وجود تباين في مدى مقاومة الصخور التي يتكون منها قاع الوادي والى تباين سمك الجليد في أجزاء الوادي . ويمكن

في هذه الحالات تحديد اتجاه زحف الجليد في هذه المناطق . ومن خلال دراسة حركة الجليد في المثالج أثناء الأعمار الجليدية يمكن تحديد مراكز انتشار القطاعات الجليدية ، وقد كانت تلك المراكز بعيدة عن القطب الشمالي الحالي ، فهناك مركزان واضحان في شمال امريكا ، احدهما في خليج (هدسون) والثاني سلسلة جبال (روكي) وكان هناك مركز آخر في شبه جزيرة كرينلاند ومركزان رئيسيان في شمال سيبيريا .

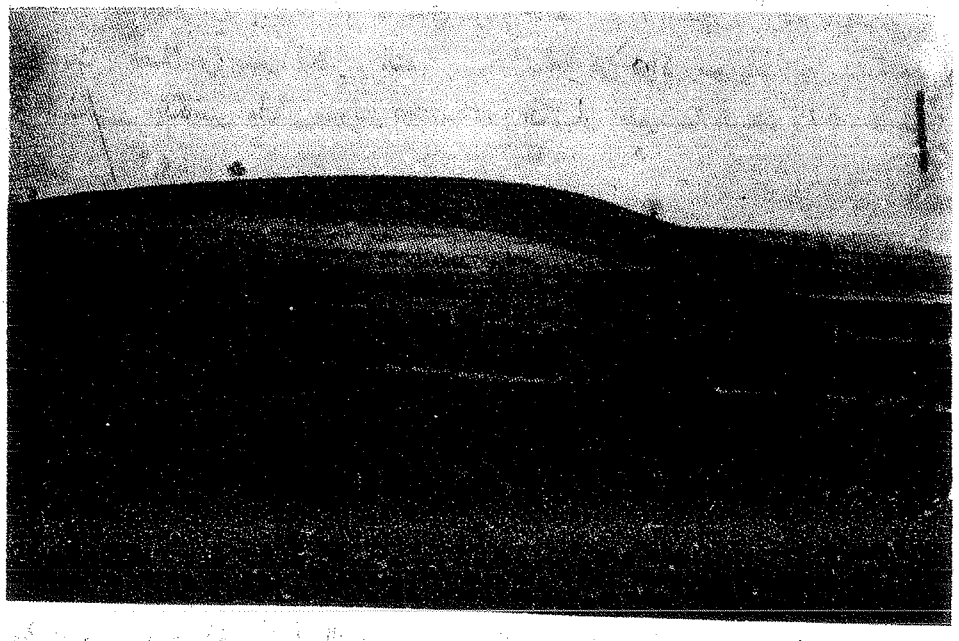
أما فيما يختص بالعمل البنائي للمثالج ، فيمكن الاشارة الى الرسوبيات الجليدية المختلفة الناتجة عن تراكم الركام الجليدي قرب خط انتهاء الثلج (الركام النهائي او الحديث) فضلاً عن بعض المظاهر التضاريسية الناتجة عن تراكم رسوبيات جليدية مثل « الاسكيرز والكامس والدروملين » Drumlin (الكثبان الجليدية البيضوية) (لاحظ شكل ١١ ـ ٣) .

هناك عدة رسوبيات وملامح طبوغرافية ناتجة عن الترسيب قد تظهر فوق المناطق المتأثرة بالمثالج ، حيث يذوب الجليد في مثل هذه المناطق ويكوّن بحيرات أو جداول تمتلىء بالرسوبيات الجليدية المجروفة مع المياه الجليدية الناتجة عن ذوبان ثلوج المثالج .

وتتميز الرسوبيات النهرية التي تتكون في الأنهار التي تستمد مياهها من ذوبان ثلوج المثالج ، خصوصاً قرب المثالج أنفسها ، بما يسمى برسوبيات الاكتساح Out wash deposits ، وهي في كثير من الأحيان رسوبيات متطبقة يظهر فيها تطبق متدرج ، وتختلف عن صخر الحريث أو التيليت وعن الركام النهائي بوجود هذا التطبق ، حيث ان صخر الحريث يكون غير متطبق ورديء الفرز جداً .

وتجدر الاشارة هنا الى نوع خاص من الرسوبيات التي تتكون حول المناطق المتأثرة بالمثالج ، ولهذه الرسوبيات تراكيب أولية مميزة تسمى بالتطبق الحولي Varves .

تتكون هذه الرسوبيات الدقيقة الحبيبات نسبياً (حيث لايزيد حجم هذه الحبيبات عن حجم الرمال) في قيعان البحيرات الواقعة حول المثالج ، حيث تكون مياه هذه



شكل (١١-٣)

كثيب جليدي بيضوي في ولاية نيويورك

البحيرات متجمدة (مثلجة) أثناء الشتاء ، ولاتترسب حينئذ الا طبقة رقيقة جداً من الطين ، أما في الربيع والصيف فتجلب المياه الذائبة من المثالج كميات كبيرة نسبياً من الرسوبيات الجليدية ولذلك تترسب أثناء هذه الفصول من العام طبقة سميكة من الرمل .

بتكرار هذه العملية مع توالي السنين يمكن ان تتكون في قاع تلك البحيرات رسوبيات رملية لها تركيب مسين وهو نوع من التطبق المميز يعرفه الجيومورفولوجيون الاسكندنافيون باسم « الوارف » (التطبق الحولي) حيث تمثل كل طبقة عاماً من الترسيب . واستفاد الجيومورفولوجيون من هذه الظاهرة في تقدير عدد السنين التي استغرقتها بعض الفترات الجليدية او البين جليدية في المناطق الاسكندنافية والمناطق الواقعة في وسط أوربا ، وذلك بمعرفة الوضع الجغرافي لبعض البحيرات وزمن تكوين الوارف فيها .

فاذا تبين ان بعض الرسوبيات الحاوية على تطبق حولي وقد تكونت في بحيرة واقعة قرب خط نهاية انتشار مثلجة تمثل عمراً جليدياً معيناً ، يمكن تقدير الفترة الزمنية التي استغرقها هذا العمر الجليدي ، خصوصاً اذا تبين ان هذا التطبق الحولي يعلو رسوبيات المياه الجارية العادية التي تكونت أثناء الفترة البين جليدية الدفيئة التي سبقت العصر الجليدي المعنى ، واذا كانت تعلو هذا التطبق الحولي رسوبيات نهرية أخرى تمثل الفترة البين جليدية التي أعقبت الفترة الجليدية المعنية . وبذلك يكون مؤكدا أن تتابع الرواسب الحاوية على التطبق الحولي كامل وانه يمثل فعلاً الفترة الزمنية الكلية للعمر الجليدي الذي تكونت فيه البحيرة الحاوية على التطبق الحولي .

بعض المظاهر التركيبية للرسوبيات الناتجة عن فعل الثلوج خارج نطاق الجليد الدائم :

تؤدي عملية تكرار ذوبان وتجمد الجليد في التربة في المناطق المناخية الباردة الى تكوين بعض الملامح التضاريسية والتركيبية المميزة لهذه المناطق .

يتميز الكثير من هذه المناطق بوجود نطاقين في التربة ، احدهما وهو الأول يتأثر بعملية ذوبان الثلج في الربيع ، ويعرف هذا النطاق أحياناً باسم النطاق المتجمد الموسمي Perenioll frozen zone أما النطاق المتجمد الثاني فهو نطاق التجمد الدائم Peretually frozen zone أو Permafrost ويعرف أحياناً باسم نطاق الصخور الباردة المتجمدة Cryolithic zone (الكلمة اليونانية Cryos تعني برد) .

وهناك فرع في علم الجيولوجيا يسمى بجيولوجيا الصقيع Geocryology ويهتم هذا الفرع بدراسة فعل تجمد المياه في الصخور . ولهذا العلم أهمية تطبيقية كبيرة في المناطق الباردة مثل معظم مساحات الاتحاد السوفيتي وبلاد شرق امريكا وكندا . يوضح الشكل رقم (١١ ـ ٤) بعض الملامح التضاريسية المميزة للمناطق المتأثرة بعمليات تجمد وذوبان الجليد في التربة .

يوجد تركيب مميز في بعض المناطق المتأثرة بالتجمد وهو مايعرف باسم الوتد الثلجي Ice Wedge الذي يتكون في شقوق التربة التي تمتلىء بالماء المتعرض للتجمد في الشتاء . ويتكرار هذه العملية عبر سنوات عديدة كما هو مبين في الشكل يتكون الوتد الثلجي . فالمظاهر التضاريسية المميزة للمناطق المتأثرة بعمليات تجمد وذوبان الجليد تتكون من :

أ ـ تضاريس ناتجة عن سيلان التربة Solifluxion phenomena :

١ ـ شرفات (مدرجات) انزلاق التربة altiplanation terraces ، وهي تتكون في الجبال المرتفعة التي لاتحتوي على غطاء نباتي ، ولاتتكون من فعل الأنهار كالشرفات العادية ولكنها تتكون نتيجة عوامل التعرية المعقدة وتتم في جبال عالية ذات مناخات شديدة البرودة .

٢ ـ قطار من الكتل الصخرية Block train .

٣ ـ اكليل صخري Stone garland .

٤ ـ شرفات (مدرجات) سيلان النهرية Solifluction terraces and banks وتتكون

هذه الشرفات على الانحدارات المغطاة برسوبيات دقيقة .

٥ ـ انزلاق صخري على صخور طينية .

ب ـ تضاريس ناتجة عن تشقق التربة المتجمدة :

تمتلىء الشقوق برسوبيات غليظة أو تتعرى نتيجة لفعل الماء الجاري .

٦ ـ أشرطة الحجارة . . . . . Stone ribbons .

٧ ـ تربة متخربة .

٨ ـ تضاريس خشنة متمرجة . . . . . Rough hummocky relief .

٩ ـ شقوق جمد مضلعة . . . . . Fissure frost polygons .

١٠ ـ تضاريس ناعمة متمرجة . . . . . Pine hummocky relif .

١١ ـ تربة مضلعة . . . . . Polygonal structures in soils .

الفصل الثاني عشر
البيئات الجيومورفولوجية المختلفة
(الحتية والترسيبية)

يعتبر الماء من اهم عوامل النقل باستثناء المناطق الجافة أو الشديدة البرودة ، وحالما تصل المياه الى المجرى النهري فانها تصبح وسيلة سريعة وفعالة لنقل المواد التي تنشأ نتيجة لعملية التعرية ، وعادة تجري الأنهار في أدنى مكان من المقطع العرضي لوديانها وبهذا تعمل على تكوين مستويات قاعدة تحت السفوح والانحدارات فضلاً عن ان النهر يعمل على نحت ضفافه وتعميق مجراه أو رفع قاعه نتيجة لتراكم الرواسب وبهذا يغير النهر مستوى قاعدة المنحدرات المجاورة والأشكال الأرضية المصاحبة .

ينقل النهر حمولته Load على هيئة حمولة ذائبة أو عالقة أو طافية أو متدحرجة ، أما حمولته الكامنة فانها تمثل كمية المواد التي يتمكن النهر من حملها ونقلها في أي جزء من مجراه طبقاً لمدى تغير سرعته وتصريفه .

تشمل الحمولة الذائبة جميع المواد العضوية والمعدنية القابلة للذوبان بالاضافة الى المياه الزراعية التي تحتوي على المخصبات والمواد الكيمياوية الزراعية والصناعية . في حين تمثل رواسب القاع bed – Load جميع المواد التي تتدحرج على طول قاع النهر نتيجة لعملية السحب أو الجر والتي تتكون اساساً من الحصى والرمال الصخرية التي تتوقف أحجامها على كفاءة النهر في دحرجة او دفع هذه الرواسب على القاع . بينما تشكل الحمولة العالقة Suspended جميع المواد الناعمة المحمولة التي يتمكن النهر من نقلها اعتماداً على سرعة المياه وكميتها وتتكون الرواسب العالقة من الحبيبات الرملية والغرين والطين اذ ان الأولى أكثر الحبيبات استجابة للترسيب في حالة انخفاض سرعة الماء .

تتفاوت كمية الحمولة النهرية المنقولة من نهر لآخر اعتماداً على مساحة منطقة الصرف ومقدار التصريف السنوي وخصائص التركيب الجيولوجي اضافة الى درجة تشجير منطقة الصرف النهري واسهامات النشاط البشري في ذلك .

تعتمد مقدرة النهر على التعرية على مقدار الطاقة الحركية فيه فكلما زادت سرعة الجريان كلما زادت طاقته الحركية وعلى هذا تتناقص فعالية الأنهار خلال الفصول الجافة حيث تعتمد الأنهار في تغذيتها على المياه الجوفية اذ تكون التعرية في هذه الحالة على أقلها أو يمكن اعتبارها معدومة تماماً وتتوقف عملية نقل الرواسب على القاع ولاتظهر في النهر حمولة عالقة . في حين يستمر النهر في نقل حمولته الذائبة .

١٢ ـ ١ ـ السفـــوح :

تظهر السفوح المتأثرة بعوامل التعرية كما في الجروف البحرية على هيئة صخور عارية في حين تتكون بعض السفوح من فرشات ركامية بينما يوجد نوع آخر من السفوح مغطاة بفرشات من المفتتات الصخرية الناعمة المعرضة للتعرية أو السقوط .

ان العمليات التي تجري على السفوح في المناطق الرطبة يمكن ان تصنف الى ثلاثة أنواع :

أ ـ التعرية المباشرة بالذوبان نتيجة لمرور المياه الى الاسفل خلال الغطاء الصخري من الفتات .

ب ـ حركة سطح السفح الناتجة عن الجرف السطحي واصطدام قطرات المطر والابر الجليدية وحركة الحيوانات .

ج ـ حركات الطبقات السطحية التي تعتمد على كمية المياه المتوفرة ودرجة الحرارة ونوع الصخور ودرجة نفاذيتها وخاصة في منطقة الغطاء الصخري **Regolith** (شكل ١٢ ـ ١) .

يعتمد تأثير الماء في تعرية السفوح على كمية الأمطار وكثافتها وتوزيعها السنوي وعلى كثافة الغطاء النباتي ودرجة الحرارة . وعلى هذا فان المطر هو أساس عمليات تفتت التربة في حين ان عمليات الجريان هي أساس عمليات نقل الحبيبات .



شكل (١٢ - ١)

ركام السفوح (الامارات العربية المتحدة)

ان فعالية التعرية لجميع أنواع الانجراف السطحي تختلف تبعاً لجيب الزاوية للسفح حيث ان سرعة الجريان تكون كبيرة على السفوح ذات الانحدارات الشديدة ونتيجة لذلك فان الجريان سيكون دوّاسياً حيث تعطي دوامات الجريان السريع وبصورة عامة فان المناطق السفلى من السفوح تكون أكثر تأثراً بالجرف من أعالي السفوح والسبب في ذلك ان المياه الجارية في الأعلى والمتسربة خلال الفتات الصخري تميل الى الخروج الى السطح في أسفل السفح . وينتج عن ذلك ان تتشبع المناطق السفلى من السفوح بالمياه أسرع من أعاليها عند سقوط الأمطار لفترة معينة . وعلى هذا الأساس نجد أن الجريان السطحي للمياه لايختلف من منطقة لأخرى على نفس السفح . وهناك عوامل تؤثر في حركة المياه على السطح منها الحيوانات التي تعمل لها جحوراً وانفاقاً في التربة وبصورة خاصة الكبيرة منها ، وغالباً ماتنهار هذه الجحور الأمر الذي يؤدي الى نزول التربة الى الأسفل خلال هذه الحفر . وبنفس الطريقة فان أغصان وسيقان النباتات المدفونة تتعفن وتتحلل الأمر الذي يؤدي الى وجود انفاق تغمرها المياه خلال تسربها الى الأسفل .

وغالباً ماتتجمد المياه الموجودة في الأقسام العليا من طبقات التربة خلال فترات البرد الطويلة الأمر الذي يؤدي الى تمددها مما يعمل على رفع سطح التربة الى الأعلى بصورة عمودية على السفوح . وعندما يتجمد جميع السفح فان التمدد الجانبي يقل وتصبح الحركة الوحيدة الممكنة هي الى الأعلى . وعند ذوبان تلك الثلوج الموجودة في التربة فان الضغط الجانبي يقل ، لذا فان حركة التربة سوف تأخذ شكل حركة عمودية الى الأسفل الأمر الذي يؤدي الى زحفها قليلاً باتجاه أسفل السفح . اضافة الى ان هناك مصدراً آخر للتغيير الحجمي في التربة ويرجع الى عاملي الترطيب والتجفيف حيث ان كثرة المياه تؤدي الى تمدد التربة ورفعها ، اما الجفاف فيؤدي الى تقلص التربة وتشققها وقد تتمدد عميقاً الى الأسفل ، وقد تمتلىء تلك الشقوق بالتربة نتيجة لحركة الرياح أو الحيوانات الأمر الذي يؤدي الى حركة التربة بصورة عامة نحو أسفل السفح .

يمكن تلخيص العمليات المورفولوجية التي تجري على السفح الى مايأتي :

أ ـ العمليات التي تحدث في قمة السفح المحدبة وأغلبها يشمل الجرف السطحي

والزحف والازاحة بواسطة المياه الموجودة في التربة ، بالنظر لخفة الانحدار في الجزء الأول فان جميع الحركة محصورة في عملية تغلغل ونزول مياه التربة الى الأسفل غير أن الحركة تزداد بالانحدار نحو الأسفل الا ان الحركة تبقى محصورة بالمياه تحت السطحية أما في الجزء الثالث من هذا القطاع فان العمليات السائدة هي عمليات الزحف حيث تزداد سرعة الحركة بازدياد الانحدار اذ يصبح السفح غير مستقر وتنشأ فيه المدرجات .

ب ـ السفح الأوسط : يتميز بشدة الانحدار ، لذا فان التحركات تكون سريعة وتوصف الحركات بأنها مباشرة وآنية حيث تعمل عمليات التعرية البطيئة والسريعة .

ج ـ اقدام السفح : تتصف هذه الأجزاء بالاستقرار حيث تسود فيها عمليات تكون المحاليل والحركات البطيئة الى الأسفل . وفي المناطق المعتدلة الرطبة سوف لاتكون هناك تربة أو صخور مكشوفة ، كما لاتوجد حركات واضحة باستثناء حدوث زحف التربة . ويبدو القسم الأعلى الأكثر انحداراً من أقدام السفح مستقيماً ويأخذ بالتقعر كلما انحدرنا الى الأسفل .

١٢ ـ ٢ ـ التعرية الثلجية Nivation :

يستعمل هذا المصطلح للتعبير عن التعرية والنقل الى أسفل الجبل أو التل عندما تتواجد بقع من الثلج فالغطاءات الثلجية تحمي ماتحتها من سطح الأرض من ظاهرة التعرية ولكن عندما تبقى بقع الثلج على الأرض فان التعرية سوف تبدأ خلال فترة التجمد حول الحواف المنخفضة لتلك البقع الثلجية . يذوب بعض الثلج أثناء النهار وتمتصه الأرض الواقعة تحت الثلج أو ينحدر الى أسفل السفح . اما اذا كان السفح مشبعاً بالمياه وغالباً مايكون كذلك فان جميع المياه سوف تجري الى أسفل المنحدر ، أما خلال الليل فغالباً ماتتجمد الأرض المشبعة بالمياه وبهذه الطريقة فان الصقيع سيقلل من حجم المفتتات الواسعة في حين تصبح المياه الزائدة واسطة لنقل هذه المفتتات ، وخاصة الدقيقة منها ، الى اسفل المنحدر كما توفر وجود الماء في التربة للصقيع التالي ليكون مؤثراً . ان ازالة المواد والتربة بهذه الطريقة سوف يؤدي الى زيادة سعة الحفر الى درجة

تكون كافية لتجمع الثلج بحيث يستمر تواجده خلال الصيف وبهذا فانه يعتبر مصدراً مهماً لتجهيز الماء بصورة دائمة كما يزيد من عملية النقل التي تؤدي الى وجود عملية تعرية نشطة . واذا تواجد التجمد الأزلي في منطقة ما فقد تزداد عملية التعرية وذلك لسهولة تجمد المياه مرة ثانية ، كما ان السيول الطينية قد تساعد في ازاحة المفتتات طالما ان المياه لاتجد لها منفذاً لكي تتوغل في الأرض وطالما ان المواد جاهزة للنقل . وكنتيجة لذوبان الثلج فان البقع الثلجية ، يصغر حجمها باستمرار معرضة اراضي جديدة ينكشف عنها الثلج للتعرية وبهذه الطريقة فان عملية التعرية الثلجية المرافقة لبقعة ثلجية واحدة قد تنتشر فوق مساحة واسعة من الأرض . وقد تكون الرياح عاملاً مهماً للنقل في مناطق الحدود الجليدية التي تتصف بالمناخ الجاف ، فخلال ظروف الرياح الغربية السائدة فان كميات هائلة من الحبيبات الناعمة (Loess) قد ترسبت على طول الحدود الجليدية في العصر البلايوستوسيني ممتدة من شمال أوربا حتى شمال الصين بسمك يصل الى ٣٠٠ متر تقريباً ، وقد انتقلت نسبة عالية من الرمال بهذه الطريقة كما هو الحال في بولندا .

حركة الجليد والتعرية :

تتميز حركة الثلاجات في المناطق المعتدلة بأنها أسرع من ثلاجات المناطق الباردة نتيجة لسرعة التراكم الثلجي ولهذا تظهر الكثير من الاختلافات الموجودة بين الثلاجات المختلفة وكذلك بين فترات مختلفة لثلاجة واحدة اضافة الى اختلافات كثيرة بين نقطة وأخرى على طول الثلاجة ولكن معظم الثلاجات تشترك في صفة واحدة وهي ان معدل سرعتها أقل من ٥٠ سنتيمتراً في اليوم .

ان سرعة الجليد في الوادي الجليدي يشابه الى حد ما سرعة الماء في النهر المائي حيث تختلف هذه السرعة في الأجزاء المختلفة لمقطعها العرضي ، ان سبب الاختلافات في السرعة هو احتكاك الثلاجة بقاع الوادي وجوانبه . ان اسرع الأجزاء يتركز في الجزء الوسطي من سطح الثلاجة . ويكتسب الجليد صفة اللدائنية أو البلاستيكية والقدرة على الجريان فيما اذا تعرض للضغط ولهذا فان احتكاك الثلاجة مع سطح الصخر يمكن ان ينتقل الى الجليد غير المهشم من خلال تحوير شكله . وحينما يتعرض الجليد الى التوتر أو الشد الكبير فانه قد يتكسر بواسطة تكوين الشقوق .

تتميز سفوح التلال واقدام المرتفعات والتلال بانها مظاهر للتعرية ، اما سهول اقدام المرتفعات (البهادا المحيطة بالمرتفعات فهي احد مظاهر الارساب . اذ ان سفوح التلال تكون غالباً مستقيمة ولهذا فان المحافظة على مقطع السفح على ماهو عليه يتوجب استمرارية ازالة المواد وعدم تراكمها على السفح . في المناطق الحارة حيث يكون الماء موجوداً على هيئة مطر أو ندى ، فان الحرارة سوف تزيد من العمليات الكيميائية التي تحدث فوق السفح بأجمعه . وفي حالة الصخور الكرانيتية فان جزئيات البلورات الصلبة غالباً ماتفقد ترابطها من خلال التحلل الكيمياوي للمواد التي تحيطها ، ان هذه العملية غالباً ماتزيد فعاليتها نتيجة المدى الحراري اليومي الكبير . ان الأجزاء التي تنفصل من سفوح التلال ستنقل تبعاً لحجمها بواسطة الرياح مباشرة على شكل غبار أو قد تتدحرج أو تجرف الى الأسفل كحبيبات الرمل وقد تنقل هذه الحبيبات بواسطة القفز أو الجرف السطحي الشديد المميز للمواسم المطيرة . ولهذا فان السفح يتراجع بصورة موازية لنفسه وبذلك يحتفظ بنفس انحدار المقطع السابق .

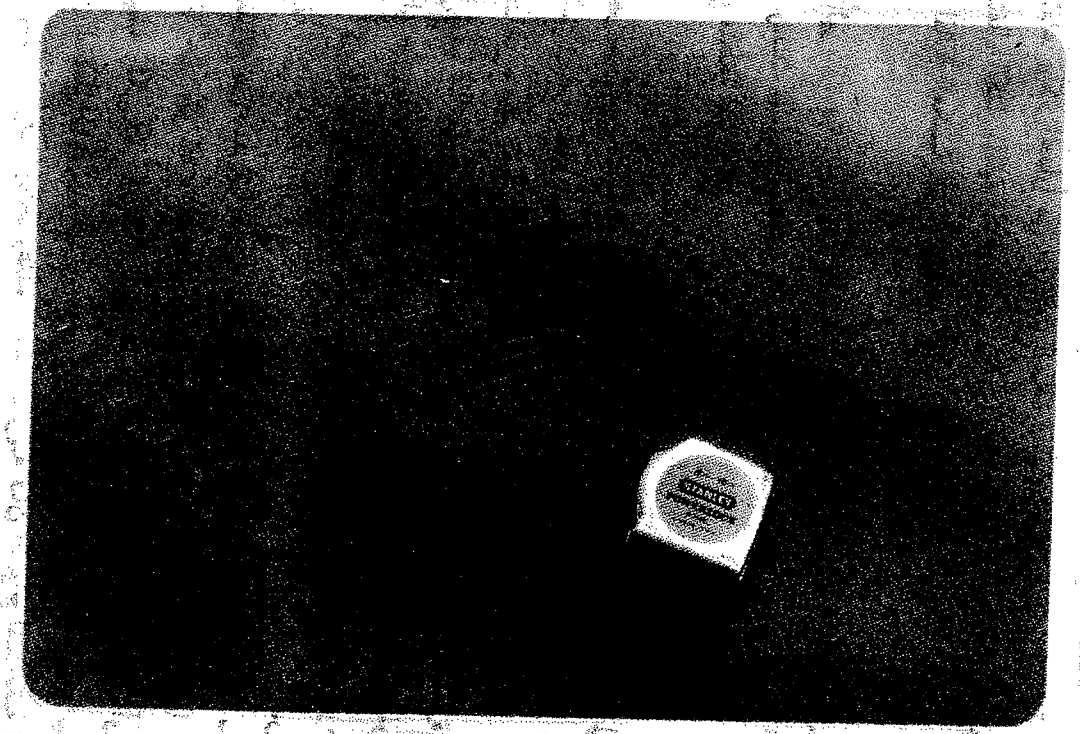
كما تحدث التجوية في اقدام التلال غير ان ازالة المواد لاتظهر بنفس الدرجة التي تظهر فيها على السفوح . فعلى الرغم من ان الغبار وبعض الرمال قد تنقل بواسطة الرياح فان الحبيبات الكبيرة تبقى في اماكنها لمدة طويلة قبل ازالتها بواسطة الجرف السطحي وذلك بسبب الانحدار الطفيف في هذه المناطق ولهذا السبب تكون عملية التعرية بطيئة .

١٢ ـ ٣ ـ الحت الصحراوي :

تعمل الرمال العاصفة ببطء على مقطع الصخور البارزة من الأسفل القريب من القاع ولكن الأشكال الصحراوية الغريبة والموائد الصحراوية هي ليست نتاج الرياح الهابة . وقد تبين ان الرمال نادراً ماتحمل بواسطة الرياح الى ارتفاع يزيد على المترين فوق سطح الأرض وان معظم الحركة محصورة في ارتفاع يقل عن متر واحد ، اما العواصف الترابية في المناطق الصحراوية والتي تكون على شكل غيوم مكونة من الجزيئات الجافة ترتفع الى مئات الأمتار والتي تجعل السماء مظلمة فانها تعجز عن تعرية اي شيء . ان ازالة الحبيبات الدقيقة من الغبار بواسطة الرياح تعتبر عاملاً مهماً من عوامل التعرية في المناطق الجافة تتصف المناطق الصحراوية باتساع المدى الحراري اليومي وحدوث الصقيع ليلاً وهذا يؤدي الى زيادة التجوية الميكانيكية وازدياد التحلل الكيمياوي مما يفكك حبيبات الصخور النارية والرملية وتظهر ظاهرة التقشر في الصخور المتجانسة ذات الحبيبات الصغيرة غير المعرضة للتخلخل والتفكك حيث تدخل الرطوبة من خلال الشقوق الدقيقة جداً وتبقى فيها لفترة طويلة حينئذ يبدأ الانحلال في طبقة تحت السطح حيث ينجم عن ذلك تقشر نموذجي .

وقد تترسب البلورات الملحية داخل شقوق الصخور واذا ماحصل الملح على رطوبة ما سواء بواسطة الأمطار أو الندى فانه سوف يتمدد ويؤدي الى تحلل وتفكك الصخر ويعتقد بان لهذه التجوية أثرها في المناطق الصحراوية وخاصة بالقرب من السواحل البحرية الجافة حيث تنقل أملاح البحر الجافة الى اليابسة بواسطة الرياح .

وقد تؤدي الرياح الى نشوء المنخفضات الواسعة التي تبلغ أقطارها من بضعة أمتار الى عشرات الكيلومترات كما هو الحال في منخفض القطارة في صحراء مصر الغربية الذي تبلغ مساحته ١٣٢ ألف كم ٢ ويصل عمقه الى ١٣٤ م تحت مستوى سطح البحر . ان حفر هذه المناطق يبدو وكأنها تكونت نتيجة التحلل الكيمياوي للصخور ومن ثم نقلها بواسطة الرياح . كما ان النباتات الصحراوية تسبب خدوش دائرية أو شبه دائرية في الصخور نتيجة حركتها بواسطة الرياح (شكل ١٢ ـ ٢) .



شكل (١٢ - ٢)

خدوش دائرية سببتها نباتات صحراوية (منطقة العين - الامارات العربية المتحدة)

١٢ ـ ٤ ـ التعرية البحرية :

تتكون الموجات الهدامة نتيجة للرياح الشديدة العاصفة حيث تتصف بأنها أقل طولاً وأعلى ارتفاعاً وأكثر انحداراً من الموجات البناءة . ان عواصف الرياح المتجهة الى الساحل تسبب انتقال الكتل المائية المتكونة على سطح البحر باتجاه الساحل والتي تكون بدورها التيارات المائية العكسية التي تجري مع القاع باتجاه البحر .

ان تأثير ذلك فيما اذا كان الشاطىء يتعرض للمد هو تسوية المناطق المنخفضة من الساحل وذلك بتمشيط وسحب كتلة من المواد باتجاه البحر بينما يكون المقطع أشد انحداراً في منطقة المد العالي .

ويظهر دور الموجات الهدامة في شواطىء الجروف اذ تتكسر الموجات على الساحل الصخري حيث تحرر هذه الموجات قدراً كبيراً من الطاقة بما تولده من ضغط شديد على صخور الشاطىء وقد يصل الضغط الى حوالي ٣٠ طناً على المتر المربع الواحد ، ويحدث هذا الشيء فيما اذا حصل وجود جيب هوائي فيحصر بين الموجة المتكسرة وحائط الجرف . ان عمق الماء له أهميته في هذا المجال فاذا كان الماء عميقاً جداً فان الموجة سوف لاتتكسر ولكن تنعكس بصورة خفيفة ، واذا كان الماء ضحلاً جداً فان الموجة تتكسر قبل وصولها الى حائط الجرف وفي كلا الحالتين فان الضغط يتناقص بدرجة كبيرة وتصبح مقدرته على التعرية ضعيفة جداً . واذا كان جدار البحر والجرف سليمين عند تحرر الطاقة حتى ولو كانت الموجات كبيرة جداً فانها لاتسبب أي ضرر او انها قد تسبب اضراراً بسيطة ولكن اذا كان هناك أي خلل في كونكريت الجدار أو انكسار أو صدع في الجرف فان الضغط الهايدروستاتي الموجود داخل الجيب الهوائي قد يكون كافياً لالحاق ضرر كبير بذلك الجرف الحائط وعندما تبدأ التعرية فان الأمواج المتلاحقة تصبح لها القدرة على استغلال وتوسيع أي ضعف في شواطىء الجروف .

١٢ ـ ٥ ـ الارساب الجليدي :

من أشكال الارساب الجليدي التلال الضبابية المبعثرة Pingosالتي تنتشر في مناطق الجليد البلايوستوسيني ، يتراوح ارتفاعها بين متر واحد الى ستين متراً مع قاعدة يصل قطرها أحياناً الى ٣٠٠ متر ، وتظهر قمم البعض منها على هيئة روابي مكورة الشكل وفي قمم البعض الآخر منخفضات أشبه بفوهات بركانية . ان تكون هذه التلال يمكن ان يكون نتيجة ضغط السوائل الموجودة تحت الطبقة السطحية في مناطق الجليد الأزلي التي تجبر المياه على الارتفاع الى السطح خلال نقاط الضعف وان هذه القباب تكونت نتيجة لترسيب المواد المرفوعة الى الأعلى نتيجة الضغط الآنف الذكر .

ومن الأشكال الأخرى المنخفضات الحرارية التي تكونت بعد ازالة الجليد من تحت سطح الأرض حيث ترك وديباناً جافة قعية الشكل أشبه ماتكون بمظاهر الكارست التقليدية .

ومن نتائج الارساب الجليدي ظاهرة الركامات النهائية التي تنشأ فيما اذا كانت كمية التراكم أكثر من كمية الازالة بصورة مستمرة ولفترة معينة فان طول الثلاجة سوف يزداد ومعنى ذلك انها سوف تكبر وتصبح أكثر سمكاً وقد تحدث هذه الظاهرة بسبب الزيادة في تساقط الثلج أو بسبب النقص في ازالة الثلج نتيجة انخفاض درجة الحرارة أو بكليهما معاً ، واذا انعكست هذه الظروف فان طول الثلاجة سوف يتناقص ومن الخطأ ان نقول ان الثلاجة سوف تتراجع أو ان الغطاء الجليدي يمكن ان يتراجع أو يتحرك الى الخلف . انما الذي يحدث هو ان جريان الجليد الى الأسفل غير كاف لموازنة ازالة الجليد في الجزء النهائي من الثلاجة ، ولهذا السبب فان مساحة الجليد تصغر بصورة مستمرة وفي النهاية يختفي الجليد تاركاً وراءه كميات كبيرة من حطام الصخور وخلفاتها التي يطلق عليها اسم الركام النهائي .

وللرواسب الجليدية التي يطلق عليها أحياناً اسم « المجروفات » أهمية خاصة لكونها تغطي مساحات شاسعة من سطح الأرض في المناطق المعتدلة الشمالية وغالباً مايكون لها تأثير على النشاط الزراعي .

ويمكن أن تصنف هذه الرواسب الى نوعين حسب مصادرها :

١ ـ رواسب الأنهار الجليدية وتترسب بواسطة المياه النائبة وتكون مفروزة وربما تكون منطبقة الشكل وتشتمل على مكونات بعض الظواهر مثل الايسكر Eskers والرواسب المجروفة سطحياً كالرمال والحصى .

٢ ـ الرواسب الجليدية وتترسب بواسطة الجليد مباشرة ولهذا فهي رواسب غير مفروزة مثل الركامات .

ومن الرواسب جلاميد الطين وهي نوع من المجروفات الجليدية غير المفروزة وقد تسمى أحياناً باسم الطفل الجليدي Till .

ان التجمد قد يحدث في المناطق الشمالية من أوربا وأمريكا الشمالية وخاصة في مناطقها المرتفعة الا ان كميات الثلج الهائلة التي تتساقط كانت كافية لتغطية مساحات واسعة وجريانها على هيئة الأنهار الى المناطق المنخفضة . وعلى الرغم من وجود مظاهر للترسبات الجليدية في المناطق المرتفعة الا ان اكثر العلامات وضوحاً في هذه المناطق هي مظاهر التعرية الجليدية . اما اهم علامة من علامات التجمد في المناطق المنخفضة فهي الترسبات التي تصاحبها أحياناً بعض التغيرات في نمط الصرف .

ومن مظاهر الجليد أيضاً الكثبان الجليدية Drum iine التي تكونت تحت الغطاءات الجليدية واتجاهها ينطبق مع اتجاه حركة الجليد .

١٢ ـ ٦ ـ الارساب الصحراوي :

تحتل الرمال مساحات صغيرة فقط من المناطق الجافة التي تتكون أغلب أراضيها من الصخور والحجارة ولكن الصحاري كبيرة الى درجة ان مساحة الرمال في منطقة الصحراء الافريقية الكبرى وحدها تبلغ سبعة ملايين كيلومتر مربع . وقد تتكون بعض

المظاهر الجيومورفولوجية المهمة من الرمال في المناطق المعتدلة الرطبة أيضاً كالمناطق الساحلية التي تتكون فيها الكثبان الرملية التي تكون حاجزاً يحمي الأرض التي خلفها من تأثير البحر . ان معظم الرمال تتكون من السليكا SiO_2 وأحياناً يمكن ان يتكون الرمل من مواد أخرى كما هو الحال في رمال الحواجز المرجانية وبعض سواحل جنوب شرق آسيا او يتكون من صخور بازلتية كما هو الحال في رمال ايسلند وجزر الهواي . (شكل ١٢ ـ ٣) .

عندما تبلغ سرعة الرياح بالقرب من سطح الأرض سرعة حرجة فان الرمال تبدأ بالحركة . ان الرمال لاتستطيع البقاء معلقة في الهواء وهي تتحرك بطريقتين مختلفتين اما بالزحف وأما بالقفز فالأولى حركة طبقة من الرمال تلامس الأرض باستمرار حيث ان حبيبات الرمل تتدحرج على السطح بتأثير الرياح اما اذا ازدادت سرعة الرياح عما هي عليه في حالة الزحف فان حبيبات الرمال سوف تتحرك قافزة بواسطة الرياح لمسافة قصيرة قبل ان تسقط الى الأرض ثانية وعند اصطدامها بسطح الأرض قد تؤدي الى ازاحة أو اقتلاع ذرات أخرى من سطح الأرض تقفز هي الأخرى بواسطة الرياح لمسافات قصيرة ، وهكذا تتكرر العملية . عندما تحدث عملية النقل بواسطة القفز يمكن للناظر ملاحظة أن هناك عشرات آلاف من الحبيبات الرملية تتحرك خلال الهواء بنفس اتجاه الرياح على شكل سلسلة من القفزات القريبة من سطح الأرض . قد ترتفع هذه الحبيبات الرملية الى ارتفاعات تزيد على المترين كما في حالة الدوامات الهوائية (السويرات) Dust - Devil الا انها ظاهرة محلية لاتستمر الا لفترة قصيرة وبشكل عشوائي .

١٢ ـ ٧ ـ الارساب البحري :

تقوم الأمواج الهائية بعمليات الارساب حيث ان تكسر الموجات البحرية في المياه الضحلة تعقبه عملية هجوم المياه الى الامام على شكل كتلة . ان الكتلة المائية المشوشة التي تندفع الى الساحل تدعى العجيج Swash أما الماء الراجع من الساحل الى البحر فيسمى الخضرية Backwash . ان اندفاع العجيج الذي يحدث في الموجة الهائية تدعمه

طاقة الموجة المتكسرة عند اندفاع الموجة البانية على الساحل ، وعندما تعود الموجة أو معظمها على شكل عائد أو خضربة فان الجانبية وحدها هي التي سوف تتغلب على الاحتكاك الحاصل مع المواد المكونة للساحل . ان نتيجة ذلك هو تحرك المواد باتجاه أعلى الساحل . ان الأمواج البانية هي نتيجة للانتفاخ الذي يحدثه امتصاص الهواء من الأعلى . وان هذه الأمواج غالباً ماتكون مسطحة ذات انحدار قليل وتكون طويلة قياساً الى ارتفاعها مع فترة زمنية معدلها بين (٧ ـ ١٠ ثانية) .

ان نشوء التيارات الساحلية الطولية يعمل على نقل المواد الصغيرة الحجم او دحرجة بعض الصخور الكبيرة حتى تبرى وتصبح بحجم الحصى أو الرمل . كما ان الأنهار تجلب الرواسب الى البحر بصورة مستمرة وتنتقل هذه المواد على طول الساحل بواسطة بعض العمليات التي يطلق عليها اسم الانجراف الشاطئي وكذلك بواسطة التيارات الساحلية الطولية . ومن المحتمل ان تكون أهم واسطة من وسائط النقل هي التيارات التي تتكون تحت نقطة تكسر الأمواج باتجاه حركة الموجة . وقد تتواجد بعض التيارات الأخرى ولكن هذه الطرق معقدة كما أنها عرضة لتغيرات وتأثيرات عالية . ان حركة جميع المواد على طول الساحل بأي طريقة كانت يطلق عليها اسم الانجراف الساحلي الطولي . واذا كانت المواد التي يزيلها البحر اكثر من المواد التي يستلمها في منطقة من المناطق ففي هذه الحالة ينعدم وجود الشاطىء واذا لم تتخذ الوسائل الكفيلة لحماية الشاطىء فانه سوف يتعرى بشكل سريع . واذا كانت المواد التي يستلمها البحر في منطقة من المناطق أكثر من المواد التي يزيلها فان شاطئاً سوف يتكون في هذه المنطقة . واذا كانت كمية المواد المستلمة مساوية للمواد المجروفة فسوف ينجم عن ذلك ساحل متوازن .

ان الجرف الساحلي غالباً ماتعوقه الرؤوس الأرضية الممتدة في البحر ، واذا كان عمق الماء يصل الى عشرة أمتار أو أكثر عند الساحل فان الأمواج تصبح غير قادرة على ازالة الكثير من المواد الساحلية الا اذا عملت الترسبات على تقليل عمق الماء . وهناك بعض الشواطىء التي تكون في حالة توازن على تام خصوصاً سواحل رؤوس الخلجان .
(شكل ١٢ ـ ٤) ان انكسار الأمواج على السواحل ذات الألسنة يميل الى تركيز طاقة الامواج



شكل (١٢ - ٣)

رواسب صخرية (مدينة العين - الامارات العربية المتحدة)

والتعرية التي تحدث على الألسنة البحرية أو الرؤوس الأرضية ، ونتيجة لتعرية الامواج المستمرة فان هذه الألسنة سوف تختفي وباختفائها سوف يكون الساحل مستقيماً والشاطىء يسير بمحاذاته .

ان عمليات الانجراف الساحلي الطولي تؤكد ان الشواطىء تميل في النهاية لان تكون عمودية على اتجاه الأمواج السائدة . وعندما تصل السواحل الى هذه المرحلة فان عملية الانجراف الساحلي التي تجري تحت تأثير الرياح السائدة تبقى مهمة فقط لتصحيح حركات صغيرة للمواد التي قد تحدث خلال الاختلافات الموسمية أو المحلية في اتجاه الموج .

ان عملية الانجراف الطولي الساحلي لاتؤدي دائماً الى استقامة الساحل اذ قد تؤدي الى حدوث الالسنة البرية التي تصل الجزر بالبر والمظاهر الأخرى .(شكل ١٢ ـ ٥)

ومن اشكال الارساب للموج البحري الشواطىء الحصوية وهي من المظاهر النادرة بمقياس الزمن الجيولوجي وذلك لانه مالم تستمر الأمواج بتجهيز الشاطىء بالحصى بصورة مستمرة فان عملية الاحتكاك والبري التي تقوم بها الأمواج في الشواطىء الحصوية سوف يؤدي الى تقليل الحصى بتحويله الى ذرات رملية . ان السواحل الحصوية تعتبر من المظاهر المألوفة على السواحل الانكليزية الآن وذلك بسبب الظروف غير العادية للعصر البلايوستوسيني والذي عمل على تجهيز البحر حول هذه السواحل بترسبات كثيفة تحتوي على الحصى وشظايا الصخور .

ان ارتفاع مستوى القاعدة بعد آخر عصر جليدي رفع مياه البحر فوق هذه الترسبات حتى غمرتها . ومن المحتمل ان يكون اصل الحصى في شاطىء جيزل Chesil من الحصى التي غمرها البحر عند ارتفاع مستوى القاعدة والذي يعتبر ظاهرة غريبة وذلك لأن اضافة المواد الحصوية الجديدة قد انعدمت منذ وقت طويل .

ان الشواطىء بصورة عامة تقسم الى ثلاثة أجزاء هي الشاطىء الخلفي والشاطىء الأمامي والشاطىء القريب . فالأول هو الجزء الذي يقع فوق مستوى المد العالي اما

الثاني فهو الجزء الذي يقع بين مستوى الجزر ومستوى المد العالي أما الثالث فهو الشاطىء الذي يقع بين أوطأ جزر حتى عمق عشرة أمتار ، أي يكون مغموراً بالمياه بصورة دائمة وهو جزء من قاع البحر والذي يتأثر بفعل الأمواج .

ان الانحدار المتعادل أو المتوازن للساحل يعتمد على حجم المواد المكونة له وطبيعة الأمواج السائدة عليه ولذا فان الشاطىء الأمامي الحصوي يكون شديد الانحدار بصورة عامة لأن المياه تترشح خلال الحصى بسهولة مقللة كمية المياه العائدة الى البحر (الخضرية) وجاعلة تأثير موجة الاندفاع (العجيج) أكثر فاعلية كما ان كبر الزاوية القصوى التي تقف عندها المواد الجافة غير المتماسكة تعتمد على حجم أجزاء تلك المواد .

أما الشواطىء الرملية فانها تختلف عن الشواطىء الحصوية السابقة في كثير من الملامح ، وأوضح هذه الصفات هي كونها أكثر انبساطاً وبسبب الحجم الصغير لحبيبات الرمل التي يتكون منها الساحل الرملي يحدث قليل من الترشيح مقارنة مع الساحل الحصوي ، خاصة عندما يكون السطح رطباً ومن ثم فان جميع المياه المندفعة الى الساحل تعود الى البحر حاملة معها نسبة كبيرة من الرمل الذي سبق وان نقلته الى أعلى الشاطىء ، وهذه أهم العوامل التي تعمل على جعل الساحل قليل الانحدار .

ان الانحدار الطفيف للشواطىء الرملية يؤدي الى تبدد طاقة اندفاع الموجة فوق مساحة واسعة وهذا بدوره يبعثر ويشتت الطاقة الأمر الذي يجعل السواحل الرملية أقل استجابة لعمل الأمواج .

لاتظهر في الشواطىء الرملية علامات مميزة كالحواف التي تظهر على الشواطىء الحصوية اذ ان الانحدار الخفيف يقلل من احتمال وضوح مثل هذه العلامات الدقيقة ، كذلك فان الرمال يسهل ازالتها بواسطة الرياح ولهذا فان الحافة الطفيفة التي يسببها المد العالي غالباً ماتزال قبل وصول المد العالي الثاني ، كما ان الرمال يمكن حملها على شكل مواد عالقة بواسطة مياه البحر ولكن لايمكن قذفها في الهواء كما هي الحال في الحصى ولهذا فان شواطىء العواصف نادراً ماتتكون فيها الشواطىء الرملية ولكن عندما توجد مثل هذه السواحل فان الرياح العاصفة تعتبر عاملاً أساسياً في بنائها .

تعتبر الرياح عاملاً مهماً من عوامل نقل الرمال المجانة ، ويحدث هذا حتى في حالة كون الرمال مشبعة بالماء حيث أن حبيبات الرمال المنفردة سرعان ماتهب قرب السطح وتنقل كميات كبيرة منها بواسطة القفز. ان هذه العملية لها أهميتها لأن الرمال المنقولة بواسطة الرياح قد تكون الكثبان الرملية الساحلية التي تختلف عن الكثبان الصحراوية من حيث امكانية تثبيت هذه الكثبان بصورة طبيعية أو صناعية بواسطة النباتات لتكون حاجزاً يحمي المناطق الساحلية من شدة الموج البحري .



شكل (١٢ - ٥) الرواسب الشاطئية

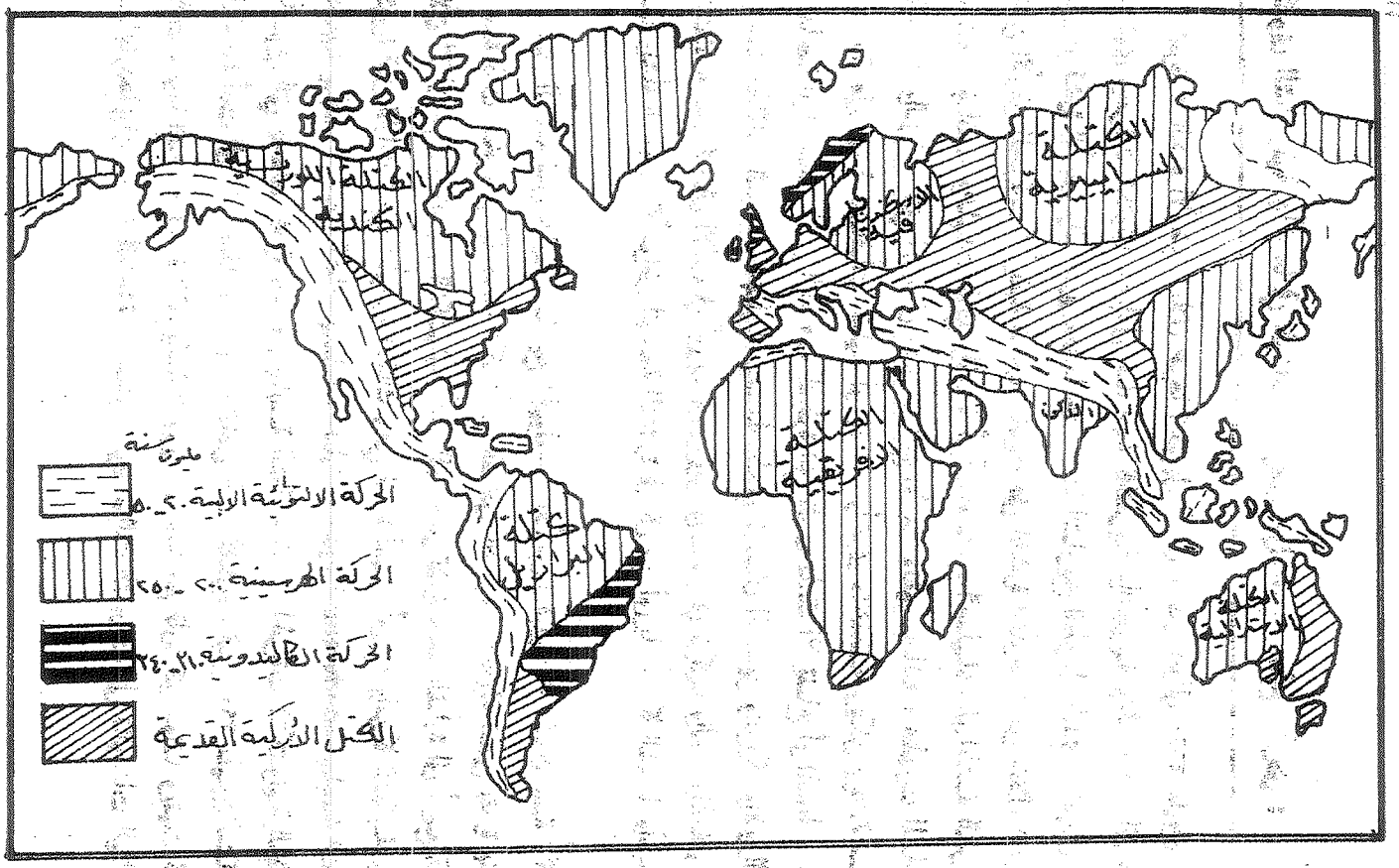
الفصل الثالث عشر

المناطق الجيومورفولوجية في العالم

القوى التكتونية وأثرها في البناء الجيومورفولوجي لسطح الأرض :

تعرضت الكرة الأرضية خلال عمرها الطويل الذي يقدر بحوالي ٤٦٥٠ مليون سنة الى قوى وحركات تكتونية وعوامل خارجية كالتعرية والتجوية والحت ادت الى عدم استقرار قشرة الأرض والى تغيير معالمها خلال هذا التاريخ الطويل الذي تعرض فيه باطن الأرض للحركات الأرضية الكبرى فأثرت على القشرة الخارجية من خلال عمليات الضغط الجانبية وعمليات الرفع والهبوط أو أثناء نشوء العمليات الباطنية السريعة كالبراكين والزلازل التي أدت الى نشوء سطح الأرض وتغير معالمه ، فظهرت المناطق المرتفعة على هيئة نطاقات جبلية أو هضاب وأخرى منخفضة ويمكن برهنة مدى ارتفاعها أو انخفاضها من الشواهد المتوفرة التي تثبت ذلك الارتفاع أو الهبوط ، وقد ارتفعت نطاقات السلاسل الجبلية بامتداد طولي كجبال الانديز والروكي والاورال او بامتداد عرضي كجبال الألب في أوربا وطوروس ونبدس في تركيا والبرز والهملايا في آسيا ونشأة السهول والأحواض الواسعة المنتشرة في كل من أوربا وأميركا الشمالية وآسيا .

تمثل اليابسة قبل بداية التاريخ الجيولوجي للأرض (قبل ٧٠٠ مليون سنة) قارة واحدة ذات صخور اركية صلبة تتكون من الصخور النارية والمتحولة تسمى بقارة بنكايا الآن الا ان عوامل القوى التكتونية أدت الى تكسر قشرة هذه القارة الى أربع قطع كبيرة تمثل قارات الكرة الأرضية آنذاك وهي قارة آسيا وأوربا واميركا الشمالية وتمثل جميعها يابسة النصف الشمالي بينما تمثل قارة كوندوانا Gondwana يابسة النصف الجنوبي التي يفصلها بحر التيس من يابسة الشمال[1] ، الا ان الحركات التكتونية العظمى اللاحقة أدت الى تغير هذا التوزيع فتقلص عدد القارات قبل ٣٩٠ مليون سنة الى ثلاث ، بينما اندمجت القارة الامريكية الاوربية الموحدة مع قارة كوندوانا وبقيت قارة آسيا بمفردها إبان الحركة اللاحقة الهرسينية . وقد توالت التغيرات على تكوينات اليابسة



شكل (١٣ ـ ١)

القوى التكتونية وأثرها على سطح الكرة الأرضية

الواطئة والممزقة مثل جبال الابلاش والاورال وجبال اسكندنافية وشمال انكلترا وغيرها ، في حين سادت آثار الحركات الحديثة (الالبية) جميع أجزاء الكرة الأرضية فشملت نطاقات جبلية عظيمة الامتداد وشاهقة الارتفاع ممتدة في جميع قارات الأرض ومحيطاتها فضلاً عن نشوء الأحواض العميقة والهضاب والسهول الفسيحة التي نتجت عن عاملي الطي والصدع ، ومن الجدير بالذكر ان الجبال العراقية هي من آثار هذه الحركات .

ندرج فيما يأتي وصفاً مسهباً للأشكال الجيومورفولوجية الأرضية الرئيسة ، حيث يتصف سطح الكرة الأرضية بعدم الاستواء بالنظر لتعرضه الى الحركات والقوى التكتونية الداخلية والخارجية بأنواعها وأشكالها المتعددة التي سبق ذكرها في الفصول السابقة ، سنتناول في هذا الفصل الأشكال الرئيسة المختلفة لسطح الأرض متمثلة بالجبال والهضاب والسهول والوديان .

١٣ ـ ٢ ـ الجبـــال :

هي تلك المناطق المرتفعة من الأرض تتصف بوجود قمة أو محور وقد حدد ارتفاعها بأكثر من ٥٠٠ متر فوق مستوى الأراضي المجاورة بينما تسمى المرتفعات التي تقل عن ذلك بالتلال .

تتصل الجبال مع بعضها على هيئة سلسلة Range مكونة حائطاً يمتد لمسافة طويلة مثل سلسلة جبال طوروس في تركيا وسلسلة جبال الأطلسي في المغرب العربي ، بينما يطلق اسم مجموعة System على عدد من السلاسل الجبلية التي تمتد مجتمعة مع بعضها البعض وتشترك بتكونها خلال فترة واحدة فضلاً عن تقاربها . بينما يطلق مصطلح كورديليرا Cordillera على عدد من المجموعات الجبلية كما هو الحال في الجبال الغربية (الروكي) بامريكا الشمالية ومجموعة جبال سيرانيفادا ومجموعة الحوض الكبير حيث تشتمل كل مجموعة من تلك المجموعات على عدد من السلاسل الجبلية .

تقسم الجبال جيومورفولوجياً الى عدة أنواع طبقاً لعوامل تكونها وهي :

خلال الفترة اللاحقة ذا حدث التفتت الأكثر أهمية قبل حوالي ٧٠ مليون سنة حيث انفصلت القارة الهندية عن قارة آسيا وانفصلت القارة الافريقية وابتعدت قارة انتاركتيكا (القارة القطبية الجنوبية) ، واندفعت بعيداً قارة استراليا وتزحزحت قارة اميركا الجنوبية الى الغرب بعيداً عن قارة افريقيا وبقيت قارتا اميركا الشمالية واوراسيا في موقعهما ، الا انه في نهاية الحركة التكتونية الالبية تزحزحت القارة الهندية الى الشمال والتحمت مع قارة اوراسيا تاتية (انظر الشكل ١٣ ـ ١) .

الحركات التكتونية العظمى المعروفة في الوقت الحاضر والتي أثرت في بناء سطح الأرض هي :

١ ـ الحركة الكالدونية Caledonian في الزمن الأول وفي نهاية العصر الديفوني .
٢ ـ الحركات الهرسينية Hercynian في نهاية الزمن الأول في العصر الكاربوني المتأخر .
٣ ـ الحركة الاورالية Uralian في نهاية العصر البرمي .
٤ ـ الحركة اللارامانية Laramide في نهاية العصر الطباشيري.
٥ ـ الحركة الالبية Alpine في نهاية عصر البلايوسيني .

أثرت هذه الحركات العامة والحركات المحلية على نشوء الأشكال الجيومورفولوجية العالمية الواسعة المتمثلة بالمضاب القديمة الفسيحة والسهول الشاسعة ، فقد عملت الحركات التكتونية على تصدع الكتل القارية القديمة الاركية وزحزحتها عن بعض لتكون الكتل القارية الصلبة التي تتكون من صخور نارية وصخور متحولة مثل الكتلة اللورنسية (اميركا الشمالية) والافريقية والبرازيلية وكتلة سيبريا وجزيرة العرب وهضبة الدكن واستراليا حيث تعتبر هذه الكتل القارية أكثر مناطق الكرة الأرضية استقراراً وهدوءاً ، وعملت هذه الحركات الأرضية ذات التأثير الاقليمي أو العالمي على رفع السلاسل الجبلية القديمة التي ارتفعت ابان الحركات الأولى خلال الزمن الجيولوجي الأول ، غير ان طول المدة التي مضت على ارتفاعها وتأثرها بالحركات الأرضية اللاحقة وتأثيرات القوى الخارجية قد خفضت من ارتفاعاتها أو طمست جميع معالمها ، فأضحت الكرة الأرضية خالية نسبياً من آثار تلك الحركات باستثناء بعض الشواهد المتمثلة ببعض السلاسل الجبلية

١ ـ الجبال الالتوائية :

تنشأ نتيجة لتعرض صخور القشرة الأرضية للضغوط الجانبية حيث تتأثر الصخور الرسوبية الحديثة بمثل هذا الطي ولذا فان المناطق البحرية هي التي تأثرت بعوامل القوى الباطنية التكتونية فالتوت على هيئة طيات محدبة ومقعرة ، اذ كونت الطيات المحدبة الجبال بينما شكلت الطيات المقعرة الوديان والسهول ونورد مثلاً على ذلك جبال الالب والهملايا والأطلس والروكي وغيرها ، حيث يمكن ملاحظة الصخور الرسوبية الطباقية التي تحتوي على مجموعات من المستحاثات على ارتفاعات شاهقة تزيد على خمسة آلاف متر فوق مستوى سطح البحر وهذا دليل على انها كانت في بداية تكونها رواسب متجمعة على قاع المسطحات المائية ثم تأثرت بالقوى التكتونية فارتفعت على شكل طيات بالنظر لمطاوعتها للضغوط الجانبية .

يعد هذا النوع من الجبال بأنه أكثر الأشكال الجيومورفولوجية الجبلية انتشاراً على سطح الأرض (على اليابسة وعلى قاع المحيط العالمي) حيث تبدو الآن على هيئة سلاسل جبلية عظيمة الامتداد على قارات اليابسة وعلى قاع محيطات العالم . كما هو الحال في مجموعة الالب والروكي والهملايا والانديز وسلسلة جبال المحيط الأطلسي ومجموعة سلاسل المحيط الهادي والمحيط الهندي والمتجمد الشمالي (يقدر طول السلاسل المحيطية بحوالي ٦٤ ألف كيلومتر .

تنشأ هذه الجبال كما أسلفنا نتيجة لتعرض الصخور الرسوبية الحديثة الى عوامل تكتونية وضغوط جانبية تؤدي الى طيها مكونة طيات بسيطة من التحدب والتقعر أو أنها تشكل طيات متعاقبة معقدة زاحفة الواحدة على الأخرى مما تؤدي الى اختفاء التكوينات الحديثة وظهور التكوينات القديمة كما تؤدي الى تعقيد التدرج الجيولوجي للطبقات الصخرية .

تتعرض هذه المرتفعات المطوية خلال عمرها الطويل الى القوى الخارجية المتمثلة بالتجوية والتعرية. فالتباين في درجات الحرارة وظاهرة التجمد والذوبان وسقوط الأمطار وانحدارها بقوة بعامل الجاذبية وحركة الرياح جميعها عوامل تتجمع وتعمل على

تخفيض ارتفاع هذه الجبال وعلى تعريتها وتمزيقها الى كتل وفتات سرعان مايتساقط ويهوي بقوة الجاذبية . حيث تعطي القوى الخارجية المظهر النهائي للجبال الالتوائية اذ انها تبدو أحياناً على هيئة سلاسل جبلية متوازية مسننة Sierra (وهي كلمة اسبانية تعني الجبال المسننة) (محمد متولي) وقد تسمى القمم المدببة Piz أو القمم القرنية ـ بشكل قرن ـ Horn، . وقد تنقطع السلاسل الجبلية بواسطة الوديان والخوانق العميقة ، وقد استغلت هذه الوديان والخوانق كممرات جيدة تسهل حركة النقل بين المرتفعات والسلاسل الجبلية كما هو الحال في ممرات جبال الالب والبنين وجبال الهملايا التي يصل ارتفاع ممرات الاخيرة الى حوالي ٥ ـ ٦ آلاف متر فوق مستوى سطح البحر (ممر خيبر في أفغانستان) .

تنتشر بعض التراكات البركانية في السلاسل الجبلية الالتوائية كما في جبال القفقاس وجبال البرز وجبال الأطلسي وجبال جاوه وسومطره .

ومن أمثلة الجبال الالتوائية في العالم جبال الألب والبرانس والكربات والبلقان وسيرانيفادا والاطلسي والابنين والالب الدينارية وجبال بندس وجبال كريت وطوروس والقرم والقوقاز والبرز وهندوكوش ونبط وارمينيا وجبال العراق وزاجروس وبامير وهملايا وقره قوم وكون لن وثيان شان وجبال الملايو وسومطره وجاوه وجبال غرب اميركا الشمالية الروكي وكاسكيد وسيرانيفادا وجبال الاندير .

٢ ـ الجبال الانكسارية :

تنشأ هذه المرتفعات نتيجة لتعرض صخور قشرة الأرض الصلبة الى الحركات التكتونية العنيفة حيث تتصدع هذه الصخور وتتكسر نتيجة لعدم مطاوعتها الضغوط والحركات الرأسية والجانبية ، اذ وجد أن أغلب صخور هذا النوع من المرتفعات تتكون من صخور رسوبية قديمة متصلبة أو من صخور نارية صلبة ، تظهر هذه المرتفعات على هيئة هوامش مرتفعة تتطابق ومناطق الصدوع التي أصابت القشرة الأرضية فقد تظهر على هيئة جبال ترتفع عن المناطق المجاورة أو أن المناطق المجاورة تبدو مناطق مرتفعة

بالنسبة للمنطقة التي هبطت بعامل التصدع كما يظهر في الجبال الممتدة شمال انكلترا جبال البنين وجبال الفوج في فرنسا والغابة السوداء في المانيا وسويسرا . اذ تعود نشأة الكتلة الجبلية التي أصابها التصدع (جبال الفوج والغابة السوداء) الى الحركات التكتونية خلال الزمن الجيولوجي الأول اذ ظهرت واكتملت في بداية العصر البرمي وتأثرت بعامل الهبوط والتصدع خلال العصر الجورا ي والاوليجوسيني حيث طغت مياه البحر على المناطق المنخفضة مكونة بحراً داخلياً يغمر وسط أوربا . وخلال الحركة التكتونية الالبية (في عصر الميوسيني) حدث اضطراب جديد في هذه المنطقة مما أدى الى نشوء صدعين متوازيين هبط على طولها اخدود الرين بينما بقيت كتلة الجبال القديمة المتمثلة بالفوج والغابة السوداء في مستواها اذ يبلغ ارتفاع قمم الجبال حوالي ١٥٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر بينما لايزيد ارتفاع الكتلة الهابطة (الرين) على ٢٠٠ متر .

ومن أمثلة الجبال الانكسارية جبال خنجان (الحافة الشرقية لهضبة منغوليا) وجبال سيخوتا الن (الحافة الشرقية لمنشوريا) اللذان تعرضا لعوامل التحات والتعرية لفترة طويلة مما أدى الى تمزقها وظهورها على هيئة سلاسل جبلية ، وتظهر جبال اليابان وجبال غات الشرقية (في هضبة الدكن في الهند) والجبال المطلة على البحر الأحمر (من الشرق والغرب) كمثل للجبال الانكسارية .

٣ ـ الجبال البركانية (التراكمية) :

تتكون هذه المرتفعات نتيجة لتراكم الحطام الصخري والمصهورات البركانية (magma) المنبثقة من البراكين على هيئة صهارة لزجة تتجمع على بعضها مكونة مخروطاً مستديراً او قبة مستديرة قد يصل ارتفاعها الى عدة مئات من الأمتار ، على هيئة صهارة سائلة تمتد الى مسافات بعيدة مكونة الهضاب البركانية او الحرات . فقد خرجت ابان الزمن الجيولوجي الثالث كميات عظيمة من الصهارة السائلة فتراكمت على بعضها مكونة الهضاب الواقعة في غرب اميركا الشمالية (هضبة كولومبيا وهضبة ايداهو) وهضبة الدكن في الهند وبعض الأجزاء من شمال الجزر البريطانية .

قد تظهر المخروطات البركانية من السعة والضخامة بحيث يصل ارتفاع البعض منها الى حوالي ٤٠٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر (بركان مونالوا Mona Loa) ومعدل قطر فوهته ١٥ كيلومتراً ، ويقدر ارتفاع المخروط من قاعدته على قاع المحيط الى قمته بحوالي ٩٥٠٠ متر (جزر الهوائي) ويظهر مخروط كيلاما Kilama الواقع في مجموعة جزر المحيط الهادي على نفس ضخامة البركان السابق . (شكل ١٣ ـ ٢)

لقد وجد ان المخروطات البركانية تتركب من طبقات من الصهارة والحطام الصخري أو الجمرات البركانية وهذا دليل يثبت ان المخروط البركاني لم يتكون خلال فترة واحدة وانما نتيجة لعدة ثورانات بث فيها البركان الصهارة ولمدة طويلة مثل بركان اثنا في صقلية الذي يبلغ ارتفاعه حوالي ٤ آلاف متر وبركان تناريف في جزر الكناري الذي يبلغ ارتفاعه ٣ر٥ألف متر وبركان فوجي ياما في اليابان الذي يبلغ ارتفاعه ٤ر٥ الف متر . وبركان شستا Shasta في الولايات المتحدة الامريكية الذي يبلغ ارتفاعه ٤ر٥ الف متر وبركان كوتوباكسي Cotopaxi في اميركا الجنوبية الذي يبلغ ارتفاعه حوالي ٦٤٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر .

٤ ـ الجبال التحاتية :

تتعرض الجبال السالفة الذكر لعوامل التحات والتعرية (التي سبق ذكرها في الفصول السابقة) حيث تزيل عوامل التعرية والتحات قمم تلك الجبال وتعمل على تمزيقها وتقطيعها بشكل يؤدي الى هبوطها وتغير معالمها اذ لايبقى منها الا بعض الشواهد مثل جبال اسبانيا والابلاش واوزارك وغيرها .

تؤثر عوامل التعرية والتجوية على تغيير معالم المناطق المرتفعة بالنظر لتعرضها أكثر من غيرها لقوى التعرية والتجوية الشديدة فضلاً عن أن بنية وموقع الجبال نفسها وجوانب انحداراتها وارتفاعاتها تساعد على عمليات الهدم والانجراف ، فالجوانب المنحدرة

الغربية (الانديز) ، بينما تقع هضبة الشطوط بين السلاسل الالتوائية الالبية في شمال افريقيا (جبال الأطلس البحري والأطلس الصحراوي) .

٢ ـ الهضاب التحاتية :

عند تعرّض المناطق الجبلية المرتفعة لعوامل التعرية والتحات المختلفة لفترة طويلة تزول قممها وحوافها وتصبح سطحاً مستوياً ، وغالباً ماتنتشر مثل هذه الهضاب في التكوينات الالتوائية القديمة التي تعود الى الحركات الكارنية والكاليدونية والهرسينية كما يلاحظ في التكوينات الاسكندنافية والفارسكية في وسط أوربا ومنها هضبة بريتاني في فرنسا وهضبة الاردين وايفل وهضبة بوهيميا . تؤدي المجاري المائية الى تكوين خوانق عميقة خلال هذه الهضاب كما هو الحال في هضبة كولورادو ونهر الكلورادو في الولايات المتحدة .

تدخل ضمن هذه الهضاب التحاتية بعض الهضاب الصدعية بعد تعرضها لعوامل التعرية والتحات التي ازالت كثيراً من معالمها وقطعتها الى هضبات متعددة كما هو الحال في هضبة البرازيل وهضبة سيبيريا الشرقية وهضبة الصين الجنوبية وهضبة الدكن والهضبة اللورنسية باعتبار ان جميع هذه الهضاب كانت جزءاً من القارة القديمة الاركية الصلبة (كوندوانا) التي تعرضت الى التكسر والتباعد بعوامل الحركات التكتونية .

(٣) ـ هضاب الصدوع :

تتكون هضاب الصدوع نتيجة تصدع قشرة الأرض وتعرضها لظاهر الرفع فارتفعت الأجزاء الوسطى من القشرة الأرضية وبقيت جوانبها على مستواها السابق او هبطت المناطق الجانبية الى مستويات أوطأ من المستوى الأساسي لقشرة الأرض المتمثلة في الأجزاء الوسطى من القشرة فيظهر هذا الجزء على شكل هضبة مرتفعة مقارنة مع الأجزاء المنخفضة . تنتشر هضاب الصدوع عادة في الكتل القارية الاركية القديمة التي قاومت الحركات التكتونية الالتوائية فتصدعت بالنظر لصلابة صخورها مقارنة مع الصخور الرسوبية الحديثة المطاوعة لحركات الطي ، توجد مثل هذه الهضاب في سيبريا والبرازيل والكتل الكندية والهضبة الافريقية وهضبة جزيرة العرب وهضبة الدكن

وهضبة استراليا الغربية . تتميز الهضاب الصدعية عادة بأنها تتكون من صخور صلبة أركية (متحولة ونارية) تحف بها جروف رأسية مرتفعة تطل على المسطحات المائية كالبحار والمحيطات كما هو الحال في هضبة افريقيا التي تطل على المحيط الأطلسي والمحيط الهادي والأطلسي بجروف عميقة ، كما تحف بجزيرة العرب الجروف المطلة على البحر الأحمر من الغرب وجروف الجنوب المطلة على بحر العرب وجروف الخليج العربي وخليج عمان من الشرق . كما ونلاحظ الجروف التي تحيط بهضبة استراليا من الشمال والغرب والجنوب حيث بقيت الكتلة الاسترالية المصدعة على مستواها بينما غمرت هوامشها مياه المحيط .

٤ ـ الهضاب التراكمية (البركانية) :

تتكون الهضاب التراكمية نتيجة لتجمع الصهارة البركانية القاعدية وتراكمها على بعضها خلال فترات طويلة جداً من تاريخ الأرض مكونة أرضاً مرتفعة مستوية السطح . تندفع الحمم البركانية القاعدية عادة من شقوق طويلة على سطح الأرض حيث يستمر التدفق لفترات طويلة تتراكم الحمم على بعضها وتتصلب مكونة مايسمى بالهضاب البركانية (التراكمية) . ينتشر وجود مثل هذه الهضاب في مناطق الضعف الجيولوجي التي يسودها النشاط البركاني مثل هضبة الدكن وهضبة اليمن وهضبة اثيوبيا وهضبة كولومبيا في غرب كندا وهضبة ايداهو في الولايات المتحدة وهضبة فرنسا الوسطى وجهات من اسكتلنده وبوهيميا .

١٣ ـ ٤ ـ الأحواض :

تنتشر ظاهرة الأحواض في المناطق الجبلية والهضبية وترجع نشأتها الى عاملين أحدهما باطني تكتوني والآخر خارجي تحاتي .

١ ـ الأحواض التكتونية :

وهي المناطق المنخفضة نسبياً التي تكونت نتيجة للحركات التكتونية التي عملت على طي صخور قشرة الأرض المطاوعة أو على تصدعها . ويمكن ارجاع أصل نشأة الأحواض التكتونية الى عاملين :

مثلاً لاتساعد على بقاء المواد المفتتة والصخور في موضعها حتى تقي الصخور الأساس من عمليات التجوية والتفتت ، لذا أضحت المناطق الجبلية عرضة لنشاط العمليات الخارجية فظهرت فيها جميع أشكال التجوية والتعرية فتظهر فيها الكهوف والتجاويف وكثرة الالتواءات وخشونة السطح وتفتت صخورها السطحية . فعند تعرض الجبال الى عوامل النقل أو بعامل الانهيارات حيث قد تصبح الثنيات المقعرة مناطق مرتفعة مقارنة مع الثنيات المحدبة التي تعرضت لعامل التحات . وعندما تتعرض المناطق الجبلية التي تخترقها أودية نهرية لفترة طويلة من الزمن تسودها صنوف التحات والتعرية فان ذلك يؤدي الى ازالة المناطق المرتفعة التي تفصل بين الأودية كلياً ويحول المنطقة من أرض جبلية كثيرة التضاريس الى أرض مستوية تعلوها بقايا المرتفعات التي كانت تشغلها قبلاً ، ويطلق عليها مصطلح السهول التحاتية والجبال التحاتية . مثل مناطق المرتفعات الشمالية الغربية من اسكتلانده (كانت تنتشر فيها جبال قديمة تعود الى الحركة الكاليدونية) ، ومثلها الكتلة الجبلية التي تتألف منها الاقطار الاسكندنافية والكتلة اللورنسية وكتلة الابلاش في شرق الولايات المتحدة الاميركية والجبال التحاتية في جنوب ولاية داكوتا الاميركية التي أطلق عليها اسم الأراضي الممزقة Bad Land ، وتظهر الجبال التحاتية أيضاً في المناطق الحدودية بين بوهيميا وسكسونيا حيث يظهر اثر التعرية المائية في تقطيع السلسلة الجبلية الى جبال وهضاب تحاتية متقطعة ممزقة منفردة . وتعرضت هضبة اسبانيا وهضبة الصين الى صنوف التحات والتعرية اذ قطعتها الأنهار الى جبال منفردة وهضاب تحاتية منعزلة وتظهر آثار الجبال التحاتية في المنطقة الجنوبية الشرقية من هضبة أثيوبيا اذ قطعتها الأنهار الى هضاب صغيرة تحاتية منعزلة على الرغم من وجود الصخور النارية التي تغطي بعضاً منها وقد ظهرت على هيئة مصاطب على جوانب الأودية العميقة ويظهر أثر التعرية المائية في الصخور الجيرية بجنوب فرنسا وفي المناطق الجنوبية الشرقية من قارة افريقيا (مرتفعات دراكنزبرج) .

١٣ ـ ٣ ـ الهضاب :

مناطق مستوية ترتفع كثيراً عن مستوى الأراضي المجاورة وعن مستوى سطح البحر ، تختلف الهضاب عن بعضها بتباين نشأتها وتكوينها ، تنشأ الهضاب بعوامل متعددة ، لذلك كانت على أشكال مختلفة ، هي :

١ ـ الهضاب الاندفاعية
٢ ـ الهضاب التحاتية
٣ ـ الهضاب الانكسارية
٤ ـ الهضاب البركانية (التراكمية)

١ ـ الهضاب الاندفاعية :

عند تعرض صخور القشرة الأرضية لظاهرة الضغوط الجانبية والرأسية تندفع الى الأعلى مشكلة طية مستوية واسعة مقارنة مع الطيات المقعرة المحاذية كما يلاحظ في هضبة اسبانيا Meseta وهضبة اوفرن Auvergne نتيجة لتأثرها بالحركة الالبية (عصر الميوسين) وكذلك هضبة آسيا الصغرى وحوض تاريم وهضبة يوكن وكولمبيا ويوتا وكلورادو والمكسيك في اميركا الشمالية وهضبة بيرو وبوليفيا في اميركا الجنوبية وهضبة الشطوط في قارة افريقية .

ان جميع الهضاب الاندفاعية السالفة الذكر تتكون من مناطق مرتفعة شاسعة المساحة تحيط بها الجبال من جميع جهاتها تقريباً وترتبط بها جيولوجياً ، فتقع هضبة تركيا مثلاً بين جبال بندس في الشمال وطوروس في الجنوب ، وتقع هضبة ايران بين جبال البرز وكوبت داغ وهندكوش من الشمال وجبال سليمان في الشرق وجبال زاجروس في الغرب ، بينما تقع هضبة التبت بين جبال البامير وهملايا وكركوم وكون لن ، ويتحدد حوض تاريم بجبال تيان شان من الشمال وجبال التن داغ من الجنوب ويبلغ ارتفاعه حوالي ألف متر ، وتقع هضاب اميركا الشمالية في موقع متوسط بين السلاسل الالتوائية الغربية وكذلك هضاب اميركا الجنوبية التي تقع بين السلاسل الجبلية

أ - الأحواض التكتونية الالتوائية :

وهي الأحواض التي تشغلها الطيات المقعرة من قشرة الأرض مقارنة مع الطيات المحدبة التي تشغلها الجبال مثل الطية المقعرة التي يشغلها حوض السندي وحوض شهرزور ورانية في القطر العراقي أو السهل الرسوبي العراقي بأجمعه حيث يشكل ثنية كبيرة تقع بين جبال زاجروس شرقاً والهضبة الاركية الصلبة غرباً ، وسهل تادلة في المغرب والثنية المقعرة التي تشغلها منطقة لندن وحوض باريس وحوض سان جواكين وسكرامنتو في الأجزاء الغربية من الولايات المتحدة وحوض المسيسبي والأحواض الطولية الممتدة بمحاذات السلاسل الجبلية في الهند ومنطقة التبت والتي تجري فيها انهار ابراداري وسالوني وميكنج واليانكستي وأنهار جبال الجورا (الالب) الذي تسلك الأحواض الالتوائية .

ب ـ الأحواض الصدعية :

تنشأ الأحواض الصدعية نتيجلا تصدع في صخور القشرة الارضية حيث ينخفض احد جانبي الصدع فيكون تصدعياً بالنسبة للجزء الآخر او قد ينخفض الجزء الأوسط من الصخور التي تعرضت الى صدعين طوليين مكوناً حوضاً اخدودياً Rift Valley كالأخدود الافريقي الأعظم الذي يضم بحيرات افريقيا الاستوائية والبحر الأحمر وغور الأردن حتى جبال طوروس لمسافة ٤٥٠ كيلومتراً وحوض اندوليسيا المحصور بين سلاسل جبال سيرانيفادا والحافة الصدعية للهضبة الاسبانية ، وحوض الرين الذي يبلغ طوله حوالي ٣٠٠ كيلومتر وعرضه حوالي ٣٠ كيلومتراً منحصراً بين هضبة الغابة السوداء شرقاً وكتلة جبال الفوج غرباً .

ان معظم الأحواض الصدعية امتداداً هو الحوض الافريقي الذي يمتد من بحيرة نياسا جنوباً حتى جبال طوروس شمالاً ، ويتكون من فرعين : شرقي يسلك البحر الأحمر وخليج العقبة والسويس شاملاً البحر الميت وخور الأردن وحوض لبنان الأوسط (البقاع ط حتى مرتفعات طوروس ، بينما يمتد الفرع الغربي خلال بحيرات تنجانيقا وكيفو والبرت ادور وحوض بحر الجبل .

تعد بحيرة بايكال من الأمثلة للأحواض الصدعية حيث يصل عمق هذه المنطقة الانكسارية الى ١٧٣٠ متراً عن الأراضي المجاورة .

٢ ـ الأحواض التحاتية :

تنشأ الأحواض التحاتية نتيجة لعوامل التعرية المختلفة الجليدية والمائية والهوائية ومن أهم مظاهر هذه الأحواض هي الخوانق (Canyons) ، Gorges التي تكونها الأنهار على هيئة جروف رأسية عميقة قد يصل عمقها الى حوالي ٢٠٠٠ متر ومن أشهر هذه الخوانق طولاً وعمقاً خانق كلورادو (في الولايات المتحدة) ، والخوانق المنتشرة في الأجزاء الجنوبية من هضبة أثيوبيا . والخوانق المتعددة التي يكونها نهر السند ونهر براهموبوترا أثناء اجتيازه جبال الهملايا . ومن الخوانق المشهورة خانق كلي علي بك وخانق الفتحة ودميرقبو في القطر العراقي وخانق تازة في القطر المغربي .

ومن الأحواض التحاتية الأحواض السائدة في المناطق الجافة الصحراوية التي تنتشر فيها الوديان الجافة وخاصة في الصحراء الكبرى وصحراء العرب حيث تمتد الوديان الجافة لمسافات طويلة وقد تكونت خلال العصر الأول من الزمن الرباعي (البلايوستوسيني) ابان الظروف المناخية الرطبة . ومن الأحواض التحاتية أيضاً مايخلفه الجليد في المناطق الجبلية وخاصة في جبال الهملايا والانديز وجبال الالب .

١٣ ـ ٥ ـ السهول :

تطلقت هذه التسمية على المناطق المستوية التي لايزيد انحدارها على خمس درجات ولاترتفع كثيراً عن مستوى سطح البحر وتشغل مساحات واسعة من سطح الأرض ، تختلف السهول باختلاف نشأتها فنها مايتكون نتيجة لعوامل التحات والتعرية ومنها مايتكون نتيجة لعوامل الارساب والتراكم .

١ ـ السهول التحاتية :

تنشأ مثل هذه السهول نتيجة لتظافر عوامل التعرية والتحات في تكوينها وتقسم الى :

حتى جبال الاورال في الشرق ومن سواحل المحيط المتجمد الشمالي الى قدمة المرتفعات الجبلية في الجنوب ، يتكون هذا السهل الواسع من عدد من السهول منها سهل الفلاندر والأراضي الواطئة Netherland وسهل المانيا والسهل الروسي الواسع الممتد من البحر الأبيض الروسي شمالاً الى البحر الأسود جنوباً ومن البحر البلطي غرباً الى جبال الاورال شرقاً وسهول سيبيريا التي تمتد من جبال الأورال غرباً حتى سواحل المحيط الهادي شرقاً وسهول حوض بحر الخزر وبحر اورال الواقعة حول هذين البحرين الداخليين ومن السهول الواسعة في قارة اميركا الشمالية السهل الأعظم الأوسط الذي يمتد بين جبال الروكي غرباً وجبال الابلاش شرقاً ومن المحيط المتجمد الشمالي وخليج هدسن في الشمال حتى السواحل الجنوبية للولايات المتحدة المطلة على خليج المكسيك ، وتنتشر في اميركا الجنوبية عدد من السهول الواقعة بين جبال الاندين غرباً وسواحل المحيط الأطلسي شرقاً وهي سهل الاورينوكو وسهل الامزون وسهول لابلاتا بمبا ، وتنتشر سهول فسيحة في وسط استراليا محصورة بين هضبة استراليا في الغرب والمرتفعات الشرقية ومن السهول المصحورة بين السلاسل الالتوائية أو بين الكتل الاركية القديمة سهل المجر وسهل لمباردي وسهول الاندلس وسهل وادي الرون وسهل مابين النهرين (العراق) وسهل السند والكنج .





شكل (٢٠١٣) بركان ثائر

الفصل الرابع عشر
الجيولوجيا التركيبية (المورفوتكتونك

١٤ - ١ - المقدمة :

من المعلوم ان صخور الاديم (Bed Rock) الموجودة في القشرة الأرضية يتراوح تركيبها ونسيجها من الناعم جداً الى الخشن جداً . ان هذا التباين في الطبيعة الصخرية هو من الصفات الأساسية لتجانس صخور الاديم كما وانه يؤثر في طبيعة التضاريس التي هي الحجر الأساس للعاملين في الجيومورفولوجيا ، وعليه فان تضاريس الأرض يمكن ان تكون قليلة أو معدومة مالم يساعد في تكوينها ميكانيك القوى الداخلية ، اذ بانعدام التضاريس تواجه سكان المعمورة الصعاب في وقف تقدم ماء البحر على هذه اليابسة البطحاء .

ان التضاريس وتجانس صخور الاديم يضيفان على القشرة الأرضية أشكالها وحركاتها . نتناول في هذا الفصل أهمية العناصر التكتونية وتأثيرها على التضاريس ، وعلينا التمييز بين الظواهر الباطنية والظاهرية بسبب الكوارث فضلاً عن ضرورة التمييز بين التضاريس المتكونة بعوامل التشوه والتضاريس التي تكونت بسبب العوامل الداخلية نتيجة التغيرات التي تحدث للصهير في منطقة الوشاح (الجبة) ، وبهذه المناسبة فان كثيراً من التضاريس التكتونية تبقى مجهولة الأصل والمنشأ ومن أجل فهم هذا الموضوع وجب علينا دراسة تاريخ وتطور الأفكار التي طرحت في هذا المضمار . ففي سنة ١٩٠٤ م اقترح كرابو Grabau فكرة التضاريس المتكونة بسبب العوامل الداخلية وقد طور هذه الفكرة ارثر هولمز عام ١٩٢٠ (Holmes) حيث قال ان هذه التضاريس تكونت بسبب القوى المنبثقة من داخل الأرض وربما اختلفت معالمها عن المعالم الداخلية الناتجة عن العوامل الداخلية الاعتيادية .

ويمكن وصف هذه العوامل الداخلية المؤثرة على القشرة الأرضية بأنها داخلية المنشأ (Mesogenic) تحررت بسبب حركة ميكانيكية داخلية .

ان معظم القوى الداخلية هي تكتونية في طبيعتها غير ان بعض النشاطات الميسوجينية وكل العوامل الخارجية هي غير ذلك .

وعليه فان التضاريس الداخلية المنشأ والتضاريس الخارجية المنشأ Exogenic هما موضوع هذا الفصل .

تأثيرات التضاريس الداخلية المنشأ : Endognic topographic Effects :

ان القوى والعوامل التي تتفاعل داخل الأرض والتي تنتج عنها التضاريس هي مسؤولة أيضاً عن الأنظمة الجيومورفولوجية كما ان معظم التضاريس الداخلية المنشأ تتكون ببطء بسبب ميكانيك التكتونك التي تتطور بسبب العوامل الجيومورفولوجية ، ان انطباع وليم موريس ديفيز عن الارتفاع الأولي الفاجيء للأرض وليكن ظهور يابسة في بحر أنه يتبعه نحت تحت هوائي (Sub Aerial) كما يلاحظ هذا خلال السجل الجيولوجي . فالتجوية والنحت والترسيب والظواهر الأخرى المشابهة تتم بمصاحبة جميع الحركات الأرضية الرئيسية وعلى هذا الأساس فان ابعاد التضاريس الداخلية وطبيعتها محكومة بقوى خارجية وداخلية . ان مثل هذه الطبيعة التكتونية جلبت انتباه الجيومورفولوجيين حيث انها تضم أشكالاً بنائية ـ طباقية متطورة بسبب العوامل الخارجية والداخلية . وبصورة عامة فان معظم سطح الأرض قد تأثر بهذه الأشكال ، ان تباين الأشكال الأرضية على سطح الكرة الأرضية دليل على وجود نشاطات تكتونية . لذلك فان التكتونية الجيومورفولوجية يجب ان تصنف على أساس تضاريسها المتفاوتة . فالتضاريس التكتونية هي ذلك الجزء من القشرة الأرضية الذي يسوى بالعوامل الخارجية نظرياً . وعليه فاننا نتوقع أنظمة جيومورفولوجية نشطة متقطعة متأثرة بتضاريس تكتونية أي لها بروزات وقد تترك أطلالاً . فكل من قيعان البحر والقارات تحتوي على بروزات تختلف عن تلك البروزات المتكونة بسبب الهزات الأرضية أو بسبب الانحرافات المغناطيسية أو الجذبية وحتى النشاطات البركانية وبصورة عامة فان الأدلة الجيوفيزياوية تدل على أن معظم التلاسل الجبلية التي يقل عمرها عن مائة مليون سنة أي التكونة قبل العصر الثلاثي هي من هذا النوع من التضاريس التكتونية والتي سنشير اليها من الآن فصاعداً بالتضاريس الديناميكية .

وعلى العكس من التضاريس الديناميكية فان هنالك ظاهرة لجماعيد مقيدة للقشرة الأرضية سببها يبدو وكأنه يعود الى التوزيع الصخري عليها . لذلك فان ارتفاع القارة فوق معدل علو قاع البحر سببه فرق الكثافة الصخرية لقارات وقيعان المحيطات والذي بدأ وتطور منذ العصور القديمة للأرض . وقد تستمر هذه الظاهرة ، الا ان التضاريس الحالية التي نشاهدها يومياً تعزى الى انها اطلال تكتونية وبالتالي فان اجزاء القارة المتأثرة بالنشاطات الزلزالية والتي ترتفع فوق معدل ارتفاع القارة فانها تتميز بمعظم سمك القشرة الأرضية فيها وخير مثال على ذلك هضبة كولورادو الاميركية . وكما هو الحال في جميع القارات فان أعلى جزء فيها يعود الى السمك المتميز للقشرة الأرضية فيها والذي يعرف بتضاريس الاطلال التكتونية (Tectonic Relief) ، ولو استطعنا تصور القوة التكتونية التي سببت هذا الثخن في القشرة الأرضية لأمكننا تسمية هذه الأطلال بالتضاريس المتوازنة (Isostutic relief) فالتضاريس الديناميكية (Dynamic Relief) تكونت بسبب النشاطات التكتونية المستمرة والتي تعاكس التضاريس المتوازنية التي تكونت بسبب تثخن القشرة الأرضية تحت الأطلال وهي مهمة من الناحية الجيومورفولوجية ولو ان كليهما تكون بسبب التضاريس التكتونية لأن العوامل الجيومورفولوجية تنشط فيها . اما مناطق التضاريس المتوازنة فان الارتفاعات تنخفض فيها تدرجيا بسبب التوازن المنتظم المرافق لثخن القشرة الأرضية فيها تدرجياً بسبب التوازن المنتظم المرافق لثخن القشرة الأرضية بسبب عوامل الحت أو أي عامل آخر يقلل من ثخن القشرة . تنتشر مثل هذه الحوادث في جميع السلاسل الجبلية القديمة كسلاسل جبال الابلاشيان وجبال الاورال . ان سمك ارتفاع القشرة الأرضية المجاورة والمحيطة للقشرة السميكة يعود الى نشاطات الحت المزايدة والى ادنى حد من النشاطات الزلزالية ، وبصورة عامة فان مناطق أطلال التضاريس المتوازنة تكون فيها فترة تكرار النقاط العالية متناسبة مع الارتفاع .

ان أثر التكتونية في مناطق التضاريس الديناميكية وأضح بسبب العوامل الجيومورفولوجية النشطة وان درجة النشاط هذه تلاحظ بسبب الارتفاعات الواضحة الحالية والتراكيب المتميزة والانحدارات المتكونة بسبب التوازن الظاهري بين التضاريس التكتونية والأشكال المتشابهة بمرور الزمن كما هو الحال في حالة التوازن الظاهري بين

النشاط الزلزالي والبركاني واللاتوازن الايسوستاتيكي (اللاتوازن الساكن) Isostatic Imbalance وبالنظر لشكل الأرض الكروي قانّ حركة القشرة الأرضية تتصف دائماً بقوة عمودية رافعة مسؤولة عن تغير التضاريس فيها وهذه في الواقع أكثر تأثيراً من القوة الأفقية .

ومن الناحية المبدأية فان التضاريس الجبلية تبدو وكأنها تكونت بفعل هذه القوة العمودية في حين ان الجبال المتكونة بسبب القوة التكتونية والتي هي من المفترض تعاكس عملية الحت فاننا سنطلق عليها من الآن فصاعدا تسمية العوامل البانية للجبال (Orogeny) ان تأثير هذه العوامل يكون مباشراً وموضعياً عادة وان العوامل الجيومورفولوجية التكتونية تضفي عادة بعض التغيرات على التضاريس وعلى نسيج صخور الاديم . ان القوة الأفقية المؤثرة على القشرة الأرضية يمكنها أيضاً ان تتوزع جغرافياً ولمسافات واسعة في حين ان القوة العمودية تبقى محصورة في منطقة ضيقة من القشرة الأرضية ، وان مصطلح الحركات الأرضية البانية للقارات (التعاج) (Epeirogeny) يبدو وكأنه ينطبق على هذا النوع من القوة .

لقد استخدم كيلبرت عام ١٨٨٠ هذا المصطلح ووصفه بأنه قوة عمودية اقليمية تؤثر على القشرة الأرضية وقد فسر هذا المصطلح مؤخراً على أنه قوة جانبية عظيمة تؤثر على القشرة الأرضية . ان جميع الاختصاصات والفروع الجيولوجية لم تنجّ من التطورات التي طرأت على علم الجيولوجيا في الخمسينات والستينات ، فعلم الجيومورفولوجيا الذي يهتم بوصف وتصنيف وتحليل ودراسة تطور التضاريس ونشأتها قد تأثر كثيراً بهذه التطورات فالعوامل الداخلية وتأثيراتها لها السهم الاوفى في هذ التطور (Hart,1969) ولكي نفهم بهم العلاقة الوطيدة بين الطبيعة الصخرية والتركيب والجيومورفولوجي علينا آن نقدم نبذة مختصرة عن التطورات الحديثة والاكتشافات النظرية في الجيولوجيا التركيبية والجيوفيزياء .

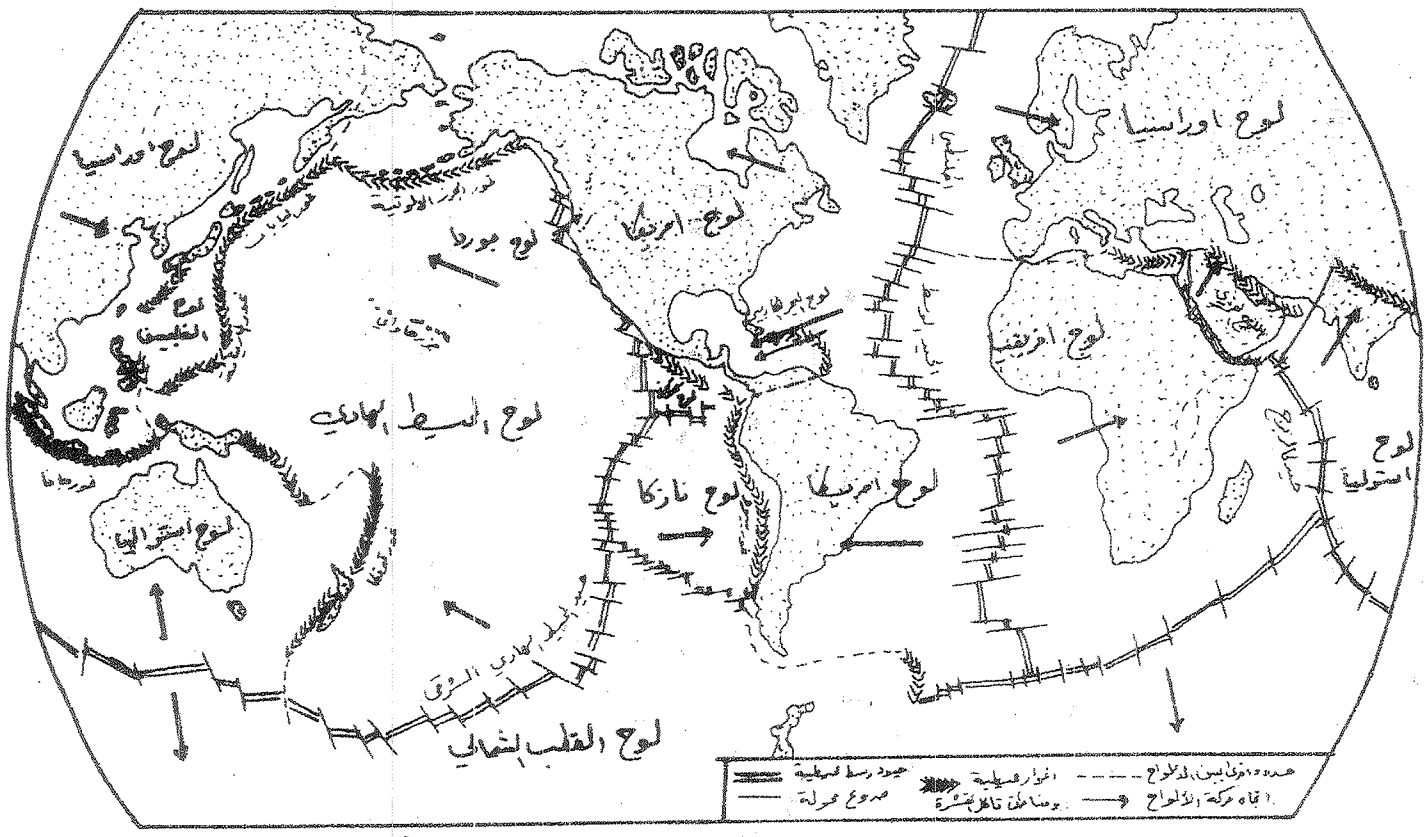
١٤ ـ ٢ ـ نظرية تكتونية الألواح وتطورها (نظرية الصفائح الأرضية) :

ان العالم الالماني فجنر Wegner أول من وضع نظرية زحزحة القارات أي أن سطح القشرة الأرضية تحرك أثناء التاريخ الجيولوجي وقد بنى فنجرّ نظريته على نوعين من المشاهدات :

أولاً : مشاهدات جغرافية وباليوجغرافية حيث لاحظ تشابهاً كبيراً بين الشواطىء المتقابلة لبعض القارات مثل افريقيا وجنوب اميركا وكذلك التكامل الجيولوجي والبنائي لمثل هذه القارات .

ثانياً : مشاهدات بيولوجية حيث استعان فجنر بالتوزيع البايولوجي للكائنات الحية على القارات وكانت الحواجز المناخية هي السبب الوحيد لهذا التوزيع فعند دراسة المتحجرات التي تعود الى حقب الحياة المتوسطة وجد فجنر تشابهاً كبيراً بين الكائنات التي كانت تعيش آنذاك مما يدل على أن هناك اتصالاً جغرافياً بين القارات الا ان الاختلافات ظهرت في حقب الحياة الحديثة ، بعد ذلك ظهرت نظرية تكتونية الألواح وتفترض هذه النظرية ان سطح الكرة الأرضية مغلف بعدد ثابت من الألواح المحيطية والقارية ذات سمك يتراوح بين ١٠٠ ـ ١٥٠ كم وعددها ست ألواح هي :

١ ـ لوح اوراسيا (اوربا ـ اسيا) . ٢ ـ لوح استراليا . ٣ ـ لوح افريقيا . ٤ ـ لوح اميركا . ٥ ـ لوح المحيط الهادي . ٦ ـ اللوح العربي . اضافة الى عدد من الألواح الصغيرة .



شكل (١٤ ـ ١)

توزيع الألواح المكونة للقشرة الأرضية

أنواع الحدود بين الألواح :

تفترض هذه النظرية (تكتونية الألواح) ان سطح الكرة الأرضية مغلف تماماً بعدد ثابت من الألواح المحيطية والقارية ذات السمك القليل نسبياً (لايزيد عن ١٠٠ أو ١٥٠ كيلومتر) .

ويمكن تقسيم القشرة الأرضية الى ستة ألواح كبيرة وعدد من الألواح الصغيرة . وقد رسمت الحدود بين الألواح كما هي موضحة في الشكل (١٤ ـ ١) .

وهناك ثلاثة أنواع من الحدود بين الألواح :

(١) **حدود بناءة Constructive margins** ، وهي حدود تبتعد فيها الألواح بعضها عن بعض (حدود متباعدة Divergent margins) وتنبثق على طول هذه الحدود المادة الصخرية من الوشاح لتكوين قيعان المحيطات . وبذلك تزداد مادة الألواح على طول هذه الحدود كلما تباعدت الألواح بعضها عن بعض ، ويتميز النشاط البركاني الذي يوجد على هذه الحدود بانبثاق لابة قاعدية Lava basic تشبه في تركيبها المعدني تركيب الوشاح وتسمى هذه اللابة التي تنتشر في كثير من الأحيان على قاع المحيطات « اوفيوليت » Ophiolites وتتسع قيعان المحيطات بانبثاق هذه الصهارة التي تأتي من الوشاح أثناء حركة تباعد الألواح بعضها عن بعض . وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة انتشار قاع البحار Spreading sea floor ، وتعد ركناً من أركان نظرية تكتونية الألواح .

والجدير بالذكر أنه عندما تصعد مادة الوشاح المنصهرة لتكوين قيعان المحيطات فهي تنقسم الى طبقات مميزة نتيجة لتبردها التدريجي . ويبين الشكل (١٤ ـ ٥) مقطعاً في القشرة المحيطية التي تتكون من ثلاث طبقات مميزة من أعلى الى أسفل :

أ ـ طبقة رقيقة نسبياً من الرسوبيات .

ب ـ طبقة من البازلت (اللابة) الوسادي Pillow bassalt وهي متكونة من طفوح بازلتية على قيعان المحيطات وتكوّن تراكيب مميزة تشبه الوسائد .

ج ـ طبقة مكونة من سدود موازية من الجابرو تقطعها سدود قاطعة من البازلت ويكوّن سمك الطبقتين الثانية والثالثة معاً حوالي تسعة كيلومترات .

د ـ يعلو الطبقات السالفة الذكر الوشاح المكون من مادة تشبه في تركيبها المعدني صخور البيريدوديت peridodite

ترتفع القشرة المحيطية أحياناً في بعض المناطق التي تعرضت لحركات أرضية قوية قرب سطح الأرض ، خصوصاً في مناطق الحدود الهدامة التي سنتناولها في الجزء القادم من هذه الفقرة .

ومن أشهر المناطق التي يمكن أن تدرس فيها القشرة المحيطية في مكاشف على سطح الأرض جزيرة قبرص في البحر المتوسط وسلسلة جبال عمان في جنوب شرق الجزيرة العربية . وتعتبر الحدود البناءة للألواح اماكن تكوين للقشرة الأرضية ولذلك تسمى أحياناً « المنبع » Source (أي منبع تزويد للمادة المكونة للقشرة المحيطية) . وتنتشر هذه الحدود في معظم الحالات بين لوحين محيطيين ، وتتكون على طولها سلاسل جبلية مغمورة في قيعان المحيطات ومتكونة من المادة البازلتية المنبثقة من الوشاح . وتسمى هذه السلاسل الجبلية الحيود الوسط محيطية Oceanic ridges – mide ، وأشهرها الحيد الوسط ـ اطلنطي Mid – Atlantic ridge . وتكون هذه الحيود متأثرة بصدوع عادية عديدة وشاسعة الانتشار ، تمتد موازية للحدود الواقعة بين اللوحين (وهي أيضاً عمودية على اتجاه حركة الألواح المتباعدة) وأحياناً تظهر بعض القمم البركانية للحيود الوسط ـ محيطية على سطح البحر مكونة جزراً ، واشهر هذه الجزر وأكبرها جزيرة ايسلاند Iceland التي تقع على امتداد الجزء الشمالي للحيد الوسط ـ اطلنطي . وأحياناً تقع الحدود البناءة بين لوحين قاريين . ومن أشهر الأمثلة لهذه الحالة وأبرزها البحر الأحمر الذي يقع بين اللوح الافريقي واللوح العربي وهو يمثل مرحلة مبكرة في تكوين محيط بين كتلتين قاريتين ، وأثر هذا الحيد واضح على تكتونية العراق والجزيرة العربية .

أ ـ السهول التحاتية النهرية Peneplains :

تتكون نتيجة لعمل الأنهار التحاتي التراجعي الذي يطلق عليه نهاية الدورة التحاتية الجغرافية Geographical Cycle حيث تعمل الأنهار على ازالة الأشكال التضاريسية حيث تظهر الأرض على هيئة منطقة سهلية تكتنفها بعض المرتفعات المنعزلة ، اذ يتشابه المظهر الجيومورفولوجي لمناطق السهول التحاتية من حيث درجة الانحدار والفرشات الارسابية ونمط الصرف النهري (يتحول الصرف النهري من انهار اولية Consequent الى انهار تالية تتبع مناطق الضعف الجيولوجي Subsequent) .

ب ـ السهول التحاتية البحرية :

تتكون السهول التحاتية البحرية نتيجة لعمل الأمواج البحرية وتيارات المد والجزر والتيارات المحيطية حيث تتكون السهول الساحلية الفسيحة نتيجة لتراجع البحر عن اليابسة المجاورة أو تقدمه على حساب اليابسة المجاورة ، تتغطى السهول التحاتية البحرية برواسب بحرية ورواسب حصوية وصخور المجمعات Conglomerate ، وقد تظهر السهول البحرية على هيئة مدرجات Terraces .

ج ـ السهول التحاتية الهوائية (سطوح التبطح) :

تنشأ السهول التحاتية الهوائية بفعل عامل التعرية الهوائية في المناطق الصحراوية خلال الدورة التحاتية الجغرافية في هذه المنطقة حيث تتآكل الطبقات الصخرية وتتراجع الى الوراء لتكوّن سهولاً مستوية مفروشة برواسب ومفتتات صخرية وقد تظهر في بعض اجزاءها الجبال المنفردة Inselberg . يطلق على السهول التحاتية الهوائية الصحراوية اسم Pediplains ، تتصف السهول الصحراوية التحاتية بسمات خاصة منها الانحدار التدريجي من الجبال المنفردة أو الحافات الصخرية Escarp;ent صوب السهول .

د ـ السهول التحاتية الجليدية :

تنشأ مثل هذه السهول نتيجة للعمل الجليدي البلايستوسيني الا ان نطاق انتشار

هذه السهول ينحصر عادة تحت أقدام الحلبات الجليدية تبعاً للتراجع الخلفي لهذه الظاهرة ، تتسم السهول التحاتية الجليدية بمحدودية امتداداتها .

تتسم السهول التحاتية الجليدية بمحدودية امتداداتها .

٢ ـ السهول الارسابية :

تتكون السهول الارسابية نتيجة لتراكم الرواسب النهرية والبحرية :

أ ـ السهول الارسابية النهرية (الفيضية) Alluvial plains :

تنشأ مثل هذه السهول على جانبي المجرى النهري نتيجة القاء النهر مايحمله من رواسب على جانبيه خلال فترة الفيضانات حين يطغى النهر على جانبيه ويتسع مجراه وتنخفض سرعته فيطرح مايحمله من عوالق ورواسب على المناطق المحاذية لمجراه ، ان تكرر هذه العملية يولد سهولاً ارسابية مغطاة بفرشات غرينية أو طينية سميكة .

ب ـ السهول الارسابية البحرية

تتكون السهول الارسابية البحرية نتيجة لعامل الأمواج أو التيارات المحيطية وتيارات المد والجزر البنائية حيث تقوم الموجات البحرية بنقل الرواسب وكذلك التيارات المحيطية وموجات المد ترسب ماتحمله من رواسب بحرية أو قارية على المناطق المحمية كالخلجان والسواحل المستوية او ذات الانحدارات الخفيفة لذا يضعف تراجع الرواسب المندفعة لمثل هذه السواحل صوب البحر بعامل الانحدار أو بواسطة الموجات الراجعة فتتجمع الرواسب على شكل فرشات تتكون من رواسب متعددة (رملية وحصوية) وقد تعمل الأمواج الراجعة أحياناً على نقل المفتتات الصغيرة تاركة الرواسب الخشنة في مكانها مكونة مايطلق عليه اسم الفرشات الحصوية .

ومن أهم السهول وأكثرها شهرة على امتداد التاريخ القديم والحديث السهول التي كانت موطناً لحضارات عريقة ترعرعت في كنفها ومنها سهل مابين النهرين وسهل وادي النيل وسهل السند والسهل الأوسط من أوربا الذي يمتد من الجزر البريطانية في الغرب

(٢) النوع الثاني من الحدود :

الحدود الهدامة Destructive margins وهي حدود تقترب فيها الألواح بعضها من بعض Convergent margins . وينزلق في هذه الحدود لوح تحت اللوح الآخر ، حيث يصل المنزلق الى الوشاح ليذوب في الأعماق . وبهذه الطريقة تهدم المادة الصخرية المكونة للقشرة . وتسمى هذه الحدود أحياناً « البالوعة » Sink لأنها أماكن ابتلاع للمادة الصخرية في باطن الأرض .

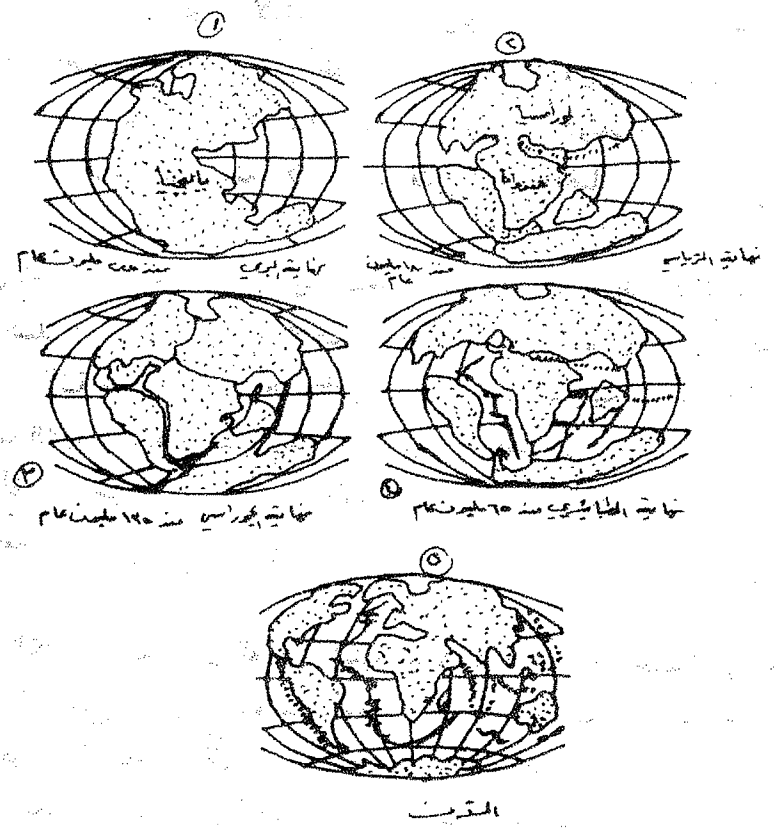
وتقابل في كثير من الأحيان في اللوح الواحد الحدود الهدامة حدوداً بناءة ، بحيث ان المادة الصخرية للألواح التي تذوب في الحدود الهدامة (البالوعة) تتكافىء مع كمية المادة التي تضاف الى الألواح في الحدود البناءة (المنبع) ولكن لهذه الظاهرة شذوذ ، فاللوح الافريقي مثلا له حدود بناءة (الحيد الوسط ـ اطلنطي في الغرب وحيد كارلزبرج Carlsberg ridge على طرفيه) يمكن هنا التساؤل : هل تزداد في هذه الحالة دائرة محيط الكرة الأرضية نتيجة لزيادة كمية المادة المكونة للقشرة في منطقة اللوح الافريقي .. ؟ هناك احتمال كبير ان تكون دائرة محيط الكرة الأرضية لم تزد شيئاً يستحق الذكر أثناء التاريخ الجيولوجي . ولذلك يجب ان تتكافىء كمية المادة الصخرية التي تغذى قيعان المحيطات أثناء عملية انتشار قاع البحار في منطقتي الحيد الوسط ـ اطلنطي وحيد كارلزبرج بالاضافة الى المادة المنبثقة في منطقة الحيد الباسفيكي الشرقي مع كميات المادة التي تذوب في الوشاح في مناطق غور بيرو وشيلي ومناطق الأغوار المحيطية الواقعة في غرب المحيط الهادي ، والتي تكون حدوداً هدامة . وبذلك يمكن ملاحظة ان هناك دورة المادة الصخرية التي تكون الألواح المحيطية . تبدأ بانبثاق المادة في مناطق المنبع (الحدود البناءة) وتنتهي بذوبان مادة الألواح المحيطية في مناطق البالوعة (الحدود الهدامة) . ويمكن ان توجد الحدود الهدامة بين لوحين محيطيين (مثل الحدود الممثلة بمنطقة غور تونجا في جنوب المحيط الهادي) وفي مثل هذه الحدود يمكن التعرف على اللوح الذي يذوب طرفه في الوشاح بتحديد اتجاه ميل نطاق بنيوف . وتوجد الحدود الهدامة أحياناً بين لوح قاري ولوح محيطي (مثل الحدود الممثلة بغور بيروشيلي الذي يقع غرب أميركا) . وتبين الدراسات على نطاق بنيوف في هذه المناطق ان اللوح المحيطي هو الذي يذوب في مثل هذه الحالات تحت اللوح القاري . وفي المثال

المذكور أعلاه وجد العلماء أن لوح نازكا Plate Nazca المحيطي يذوب تحت لوح أميركا القارىء وذلك يبين أن الألواح القارية ثابتة للغاية وان مكوناتها الصخرية لاتسام في دورة المادة التي تنتقل من الوشاح الى القشرة المحيطية وبالعكس . وذلك يبين أيضاً ان القشرة المحيطية هي وحدها التي تسام في هذه الدورة . وهناك نوعان من الحدود الهدامة هي الحدود التي يتقارب فيها لوحان قاريان بعضهما من بعض . وتتكون هذه الحدود عندما تصطدم قارتان Continents Collision .

ومن أشهر هذه الحدود منطقة جبال الهيمالايا التي ارتفعت نتيجة لتصادم الهند بآسيا في أثناء الايوسين . وتعتبر بصفة عامة السلال الجبلية الالبية Alpine Chains الممتدة من الغرب الى الشرق (من جبال البيرينية والأطلسي المغربية عبر البحر المتوسط حتى تصل الى شمال الصين قرب الشواطىء الشرقية لآسيا) حدوداً هدامة واقعة بين كتلتين قاريتين . وتحتوي هذه المجموعة من السلاسل الجبلية المنتشرة من الغرب الى الشرق على جبال الهيمالايا .

وهناك أدلة على حدوث تصادمات بين القارات عدة مرات أثناء التاريخ الجيولوجي للكرة الأرضية فيظن الكثير من العلماء أن القارات تكونت نتيجة تجمع ألواح قارية أي بعملية تجمع قاري Continental accretion . ومثال ذلك قارة بانجايا Pangaea (أم القارات) التي كانت موجودة أثناء العصر البرمي فتكونت هذه القارة نتيجة لتجمع عدة ألواح قارية . وجبال السلسلة الكاليدونية التي تقع في البلاد الاسكندنافية وانجلترا وجبال الاورال التي تفصل أوربا عن آسيا عبارة عن مناطق التحام للأطراف الشمالية لقارة بانجايا . وهناك أدلة أيضاً على حدوث تصادمات بين القارات أثناء حقب ماقبل الكبرى ، فيظن أن سلسلة جبال الحجاز وسلسلة جبال البحر الأحمر أماكن لارتطام قارتين الواحدة بالأخرى منذ أكثر من الفي مليون عام (شكل ١٤ ـ ٢) .

وهنا يمكن ملاحظة أن المناطق التي يتفاعل فيها لوحان ، أحدهما قاري والثاني محيطي ، وتوجد فيها أغوار بحرية عميقة توازيها سلاسل جبلية يمكن أن يكوّن سلسلة من الجزر أو قوساً من الجزر Islands are (ومثال ذلك جزر اليابان والفلبين



شكل (١٤ - ٢)

زحزحة القارات من العصر البرمي الى الوقت الحاضر

وجزر أندونيسيا) ، أو سلسلة جبلية شاطئية مثل جبال الانديز Andes جنوب أميركا . وتوضح المقاطع المبينة في الشكل العلاقة بين اللوحين والسلسلة الجبلية والغور المحيطي عند الحدود الهدامة بين الألواح .

ويبين الشكل المراحل المختلفة لارتطام لوحين قاريين ، يفصل بينهما في بداية الأمر جزء من اللوح المحيطي الذي يمتد أمام أحد الألواح القارية ، ويمكن أن تؤدي في هذه الحالات الحركات الأرضية الرافعة للسلسلة الجبلية الناتجة عن الارتطام ، تؤدي الى رفع جزء من القشرة المحيطية فوق سطح الأرض (في قلب السلسلة الجبلية) .

وتكون الحدود الهدامة (مثل الحدود البناءة) أيضاً أماكن للنشاط الزلزالي والبركاني وفي حالة السلاسل الواقعة بين لوح محيطي ولوح قاري أو بين لوحين محيطيين تتكون الانبثاقات البركانية من الاندزيت Andesite ، وهي صخور نارية بركانية حامضية معتدلة . اما اللابة المنبثقة في مناطق السلاسل الجبلية الواقعة بين كتلتين قاريتين فهي تتكون في أغلب الأحيان من مادة الريوليت Rhyolite وهي صخور نارية بركانية شديدة الحامضية وغنية بالسليكا مثل الجرانيت .

ويظن الكثير من العلماء ان اللابة البازلتية القاعدية هي المادة المنصهرة التي تكوّن الأجزاء العليا للوشاح . وتنبثق هذه المادة بدون ان تختلط بكميات ذات شأن من المواد المكونة للأجزاء العليا للقشرة الأرضية في مناطق المنبع (أي مناطق الحدود البناءة) . اما اللابة الحامضية فتتكون نتيجة لصهر الصخور الرسوبية المكونة للسلاسل الجبلية التي ترتفع في مناطق تقابل لوحين . ويمكن في بعض الحالات أن تختلط لابة قاعدية قادمة من الوشاح مع مواد رسوبية من الأجزاء العلوية للقشرة الأرضية وتتكون حينئذ لابة اندزيتية (معتدلة الحموضة) .

أما الزلازل العميقة التي تنتشر على طول الحدود الهدامة للألواح ، فيظن العلماء أنها تنشأ نتيجة لانزلاق الألواح المحيطية تحت ألواح أخرى .

(٣) النوع الثالث من الحدود :

الحدود المحافظة Conservative margins وهي حدود تنزلق فيها الألواح بالنسبة لبعضها أفقياً في اتجاهين متضادين ولاتوجد على طول هذه الحدود أية حركة للمادة الصخرية من أعلى الى أسفل أو الى الأعلى ، ولذلك تسمى بالحدود المحافظة وتتكون هذه الحدود من صدوع ذات انتشار شاسع وانزلاق Strike – Slip fault ، وتسمى بالصدوع المحولة Faults transform ، لاحظ الشكل ١٤ ـ ٨ الذي يوضح علاقة الصدوع المحولة بالصدوع البناءة .

ومن أشهر لصدوع المحولة صدع سان اندرياس San Andreas fault الذي يمتد في غرب الولايات المتحدة ويفصل شبه جزيرة كاليفورنيا عن المناطق القارية . وتتميز الحدود المحافظة بحدوث نشاط زلزالي مهم على طولها وتكون أحياناً مراكز للنشاط البركاني المصحوب بانبثاقات قاعدية .

المناطق الواقعة وسط الألواح :

تكون المناطق الواقعة وسط الألواح المحيطية مناطق خالية نسبياً من النشاط التكتوني ولاتوجد فيها تراكيب جيولوجية بارزة . ولكن هناك بعض الاستثناءات لهذه القاعدة ، فتقع جزر هاواي مثلاً وسط لوح المحيط الهادي وهي جزر بركانية .

ويظن بعض العلماء أن هذه الجزر تقع فوق نقطة ساخنة من المناطق العليا للب الأرض . ويظن العلماء أنفسهم ان الحرارة التي تصدر عن هذه النقطة خلال الوشاح والقشرة الى سطح الأرض مسؤولة عن انصهار أجزاء من القشرة المحيطية ومن الجزء العلوي للوشاح . وبذلك تتدفق اللابة المنصهرة الى السطح مكونة جزراً بركانية نتيجة لنمو براكين درعية هائلة . وتبين نتائج تقدير عمر لابة هذه البراكين باستخدام النظائر المشعة ان الجزر الواقعة في المناطق الشمالية الغربية أقدم عمراً من الجزر الواقعة في المناطق الجنوبية الشرقية ويعد ذلك دليلاً على انتقال لوح المحيط الهادي في الاتجاه الشمالي الغربي منذ فترة بداية تكوين هذه الجزر ، حيث ان البراكين الواقعة على الجزر الشمالية خاصة

الآن لاتقع فوق النقطة الساخنة التي توجد في هذه الأيام تحت جزيرة هاواي نفسها وتوجد على هذه الجزيرة الآن عدة براكين نشيطة تنبثق منها الصهارة . اما المناطق الواقعة وسط الألواح القارية فهي أكثر تعقيداً من مناطق الألواح المحيطية وذلك لأن الألواح القارية أقدم عمراً من الألواح المحيطية . فمادة الألواح القارية ثابتة ولذلك فهي تحافظ على ملامح تركيبية تكونت في مراحل مبكرة من تاريخ الأرض .

ويظن العلماء أن القشرة الأرضية تكونت نتيجة لالتحام عدد من السلاسل الجبلية التي نشأت في مناطق التقاء لوحين ، وبذلك تلتصق هذه السلاسل التي تتكون من صهارة حرانيتية وصخور متحولة . ففي بداية الأمر كانت هناك قشرة محيطية فقط ، تعلوها طبقة من الرسوبيات الكيميائية . ولكن بعد فترة من الزمن بدأت القشرة المحيطية تتجزأ الى ألواح تفصل بينها حدود بناءة وهدامة تكونت على الحدود الهدامة سلاسل جبلية بركانية ترسبت حولها أول الرسوبيات الفتاتية التي كانت المادة الأصلية لتكوين كميات الصهارة الجرانيتية (الحامضية) التي تميز الألواح القارية ، وربما تكونت في بعض الحالات كميات من المادة الجرانيتيه نتيجة لانفصالها المباشر عن الصهارة القاعدية المكونة للوشاح . وبعد ذلك اخذت القارات تنمو أثناء التاريخ الجيولوجي نتيجة لتكوين سلاسل جبلية متتالية في مناطق تسود فيها الظروف المميزة للحدود الهدامة الواقعة بين الألواح ، حيث ان الحركة المستمرة لهذه الألواح تؤدي الى التصاق الكثير من السلاسل الجبلية والكتل الجرانيتية وتعرف المناطق المركزية القديمة للقارات التي تكونت أثناء حقب ماقبل الكمبري بالدروع Shields والشكل يبين توزيع الدروع المهمة في العالم . فالدروع مناطق قارية ثابتة لها تضاريس منبسطة ومكونة من صخور نارية ومتحولة لم تتأثر بالحركات الأرضية البنائية للجبال (أي التي تميز مناطق البالوعة بين الألواح) في العصور التي أعقبت حقب ماقبل الكمبري . فلا تقع على هذه المساحات حدود نشيطة بين الألواح . وتنتشر حول هذه الدروع في بعض الأحيان سلاسل جبلية حديثة نسبياً مثل السلاسل الكاليدونية Caledonion Chains الممتدة عبر البلاد الاسكندنافية وانجلترا وتكونت هذه السلاسل أثناء الباليوزوي المبكر وهي تمثل مناطق التحام بين درعين (الدرع البلطيقي) Baltic Shield والدرع

اللورنتي Laurentian Shield وهناك السلاسل الهرسينية Hercynian chains التي تمتد في وسط أوربا وفي شمال افريقيا وتكونت أثناء الباليوزوي المتأخر وهي تمثل مناطق التحام بين قارة شمالية وقارة جنوبية (قارة لوراسيا Laurasia وقارة جوندوانا Gondwana) أما السلاسل الالبية Alpine Chains فهي تمثل في غرب امريكا مناطق انتشار القشرة القارية على حساب القشرة المحيطية . اما في شمال الهند فهي منطقة التحام لوحين قاريين . ويطلق اسم سلاسل البية على الجبال التي تكونت أثناء حقبتي الحياة الوسطى والحياة الحديثة . ويمكن في أحيان أخرى أن تنفصل الكتل القارية بعضها عن بعض كما يظهر في الشكل رقم (١٤ ـ ٤) ، الذي يوضح تطور القارات الحالية التي انفصلت جميعها عن قارة أساسية تكونت نتيجة لتجمع عدد من الكتل القارية أثناء العصور الجيولوجية التي سبقت العصر البرمي .

بعض المظاهر الهندسية لحركات الألواح :

ان حركة الألواح على سطح الكرة الأرضية يمكن اعتبارها حركة دوران حول محور يمر بمركز الكرة ، حيث تكون الألواح عند نقطة تقاطع هذا المحور بالكرة الأرضية ثابتة وتزداد حركة الألواح كلما ابتعدت عن هذه النقطة الثابتة . ويمكن أيضاً ملاحظة أن الصدوع المحولة تكون في اتجاه موازٍ للدوائر الصغيرة الواقعة على الكرة الأرضية وهذه الدوائر تمثل تقاطع المستويات العمومية على محور انتشار حركة الألواح .

أسباب حركة الألواح :

لم يتفق العلماء حتى الآن على تعليل للأسباب التي تؤدي الى حركة الألواح فوق سطح الكرة الأرضية ويمكن تقسيم الاقتراحات التي تحاول ان تفسر سبب تحرك الألواح الى نوعين :

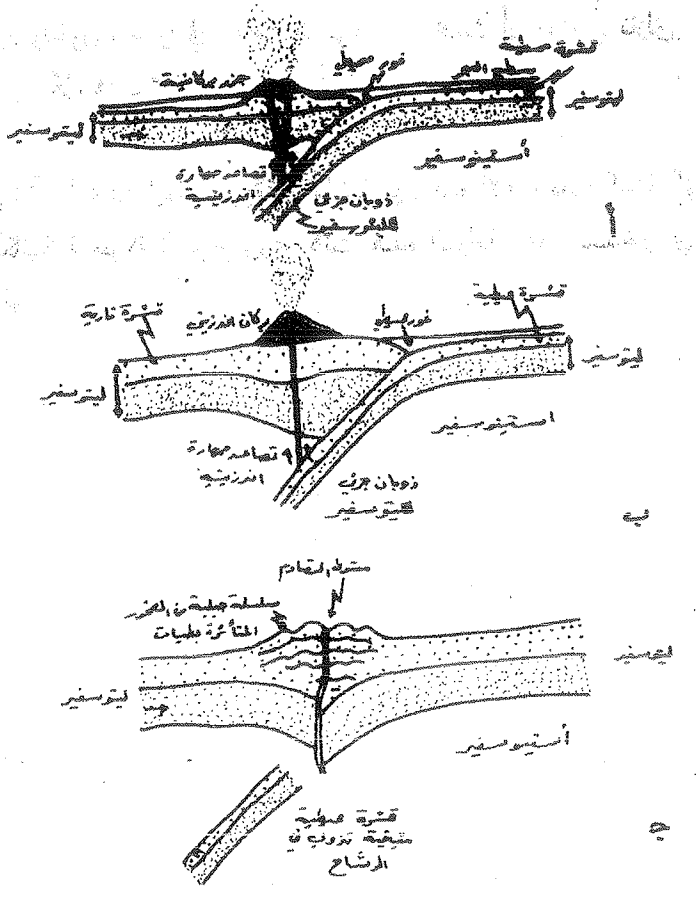
١ ـ النوع الأول من الاقتراحات يعتبر أن سبب حركة الألواح هو وجود مناطق ساخنة أسفل القشرة الأرضية (في الاستينوسفير) أو في الأجزاء العليا للوشاح ، حيث ان هذه المناطق الساخنة تؤدي الى تكوين تيارات صاعدة من المادة الصخرية الساخنة . ويعتقد البعض أن هذه المناطق الساخنة تنشأ نتيجة لتركيز عناصر مشعة فيها . وفي الافتراضين الممثلين في (أ) ، (ب) تعتبر الحدود البناءة مناطق تقع فوق الأماكن التي تتميز بتيارات صاعدة للمادة الصخرية ، أما الحدود الهدامة فهي مناطق واقعة في أماكن تتميز بتيارات هابطة للمادة الصخرية ، وتتكون بهذه الطريقة دورة من التيارات في الأغلفة الموجودة أسفل القشرة (الاستينوسفير والوشاح) . ويعتقد بعض العلماء ـ مثل العالم الانجليزي آرثر هولمز Halmes Arther ـ ان تحت كل لوح دائرة أو (خلية) Convection Cell من التيارات الصاعدة والهابطة الناتجة عن اختلافات في درجة الحرارة للمادة الصخرية .

أما الاقتراح الممثل في (جـ) فهو يعتبر أن حركة الألواح ناتجة عن وجود حوالي عشرين عموداً اسطواني الشكل من المادة الصخرية الساخنة الصاعدة Thermal Plames وتقع أحياناً هذه الأعمدة أسفل مناطق موقع وسط الألواح . وهذه المناطق تتميز بنشاط بركاني مثل جزر هاواي وأحياناً توجد هذه الأعمدة تحت مناطق التقاء ثلاثة ألواح . وتسمى مثل هذه المناطق بالنقاط الثلاثية Triple points . وجزر الآزور Azares Islands في الأطلسي مثال لنقطة ثلاثية تقع عند التقاء ألواح أوراسيا وافريقيا وأمريكا . وجزر الكلايكاز Clapagos Islands في المحيط الهادي تعتبر مثالاً آخر لهذه النقاط الثلاثية ، وتقع هذه الجزر عند التقاء ألواح نازكا والمحيط الهادي والقارة الجنوبية . وفي الاقتراح الممثل في (جـ) لاتوجد مناطق خاصة للتيارات الهابطة ، فهي تخص معظم الوشاح باستثناء المناطق الخاصة بالتيارات الصاعدة الاسطوانية .

٢ ـ النوع الثاني من الاقتراحات يعتبر ان سبب حركة الألواح هي حركات في الليثوسفير (القشرة) نفسها . فالاقتراح المبين في الشكل أ يعتبر اندفاع الصهارة (الماكما) في مناطق الحدود البناءة كافياً لاعطاء الطاقة اللازمة لتحريك الألواح . أما الاقتراح

(ب) المبين في نفس الشكل فهو يعتبر سقوط الجزء البارد من الليثوسفير في الحدود الهدامة كافياً لاحداث تيارات في الاستينوسفير تحرك هذه الألواح . والجزء (جـ) يعتبر أن حركة الصهارة التي ترتفع في الحدود البناءة ترفع الاستينوسفير على طول هذه الحدود وتكون انحداراً في اتجاه (البالوعة) ، بحيث أن الألواح تنزلق على هذا الانحدار . (شكل ١٤ - ٣) .

وحتى الآن لايمكن ايجاد طريقة للمفاضلة بين هذه الاقتراحات الستة التي تحاول تعليل ميكانيكية حركة الألواح وربما كانت هذه العوامل كلها تتدخل في احداث حركة الألواح .



شكل (١٤ ـ ٣)

مقاطع رأسية تبين المكونات المختلفة للحدود الهدامة في الألواح الأرضية

الفصل الخامس عشر
الجيومورفولوجية التطبيقية

١٥ ـ ١ ـ المقدمـة :

تطور علم الجيومورفولوجيا بتطور العلوم الطبيعية الأخرى مسايراً العلوم للوصول الى خدمة الانسان في الميادين المختلفة ، فقد تبدل مفهوم هذا العلم من دراسة عناصر سطح القشرة الأرضية بالتفسير والتعليل ، انعكاساً للتاريخ الجيولوجي والبنية والتركيب الصخري للمنطقة ، الى العناية بامكانية استغلال مكونات سطح الأرض واستثمار مكنوزات القشرة الأرضية ، فضلاً عن ايجاد السبل الكفيلة للتقليل من أثر العمليات الجيومورفولوجية الطبيعية وماتؤول اليه من اشكال طبيعية متغيرة ومن أضرار تؤدي بحياة الألوف من الناس أو تلحق الضرر بالموارد الطبيعية والاقتصاد القومي .

ان الأسلوب الحديث التطبيقي في الدراسات الجيومورفولوجية ، جعل الجيومورفولوجي يلاقي حصيلة رقمية كبيرة نتيجة لاستخدامه وسائل القياس والرصد المتعددة كأجهزة قياس أبعاد الظواهر الجيومورفولوجية الثابتة أو قياس العمليات التي تعمل على نشوء هذه الظواهر ، مثل أجهزة قياس حجم حبيبات الصخور والتربة بدرجاتها المختلفة وأجهزة قياس حركة الرمال وحركة مياه الأنهار والسيول وقياس كمية الحمولة في مياهها وقياس حركة الموج البحري وأثره على الأشكال الجيومورفولوجية في المناطق الساحلية ، فضلاً عن قياس حركة المفتتات الصخرية على المنحدرات والسفوح الجبلية وقياس حركة الجليد في المناطق المرتفعة أو في المناطق القطبية ، وتتبع تطور بناء الدالات وتغيرات مجاري الأنهار وبناء المنعطفات النهرية وتطوراتها ، كما ان حركة السفوح هي الأخرى مهمة بالنسبة للبيئة ومتغيراتها

ان معرفة شكل الأرض وتطورها الطبيعي أعطت الجيومورفولوجيين البينة على التعرف على مكنوزات القشرة من الموارد الطبيعية المختلفة ومدى امكانية استغلالها بالشكل الاقتصادي الأفضل ومنها :

١٥ ـ ٢ ـ الاستخدامات الجيومورفولوجية في مجال التعدين :

تدخلت الجيومورفولوجيا في مجال التنقيب عن المعادن ومدى امكانية استخدامها ، وذلك لما لهذا العلم من ملاحظات ظاهرة يمكن الاستدلال بها على الرواسب والعروق المعدنية ، اذ ان لبعض الرواسب المعدنية تأثيرها المباشر على الشكل الطبوغرافي للمنطقة ، وان طبوغرافية المنطقة يمكن أن تعطي صورة أكثر وضوحاً عن البنية الجيولوجية التي تساعد على تجمع العروق المعدنية ، فضلاً عن أن الفهم الصحيح للتاريخ الجيومورفولوجي يقود الى التعرف على الظروف الطبيعية التي تساعد على درجة تجمع المعادن .

قد تظهر انعكاسات المعادن على سطح الكرة الأرضية على هيئة أكاسيد ذلك المعدن أو على شكل مفتتاته أو قد ينعكس ذلك على الأشكال الطبوغرافية كظهور نمط معين من الشقوق والفوالق كما هو الحال في رواسب الرصاص والزنك في منطقة بروكن هيل في استراليا التي تحدده سلسلة واضحة من التضاريس ، وقد تظهر بعض عروق الكالسيت مع وجود المنخفضات في سطح الأرض كما في منطقة Oatman في ولاية اريزونا وكذلك المكسيك .

قد تؤدي عملية تصلب كتلة الصهير وأكسدتها الى حدوث ظاهرات الانزلاقات الأرضية التي تعرف باسم Mineraliisation slump كما هو الحال في المكسيك في اقليم سيراموجادا الذي يتكون من الحجر الجيري . تدل بعض الظواهر السطحية على وجود خامات الحديد في التلال والسلاسل الجبلية المرتفعة كتلك السلاسل الموجودة في سوبيريور (الولايات المتحدة) وفنزويلا وكذلك في المناطق التي تتعرض لعمليات التفكك والتحلل الصخري كما في جزيرة كوبا مثلاً . وقد توجد رواسب الطين والكاليش والبوكسايت والمنغنيز والنيكل على هيئة فتات ومتحللات على السطح . وقد تظهر الرواسب المعدنية أيضاً على هيئة رواسب نهائية للأنهار والسيول والجليد والهواء مثل رواسب الذهب والبلاتين والقصدير والنحاس والماس . وفضلاً عن أهمية التضاريس

السطحية المرئية وأهميتها في معرفة الرواسب والعروق المعدنية . فقد دلت الدراسات الجيومورفولوجية القديمة Palaeogeo morphology على توفر التكوينات المعدنية في صخور تكتل المتكورات (المجمعات Conglomerate) التي تعود الى الحقبة القديمة في العصر الكامبري ورواسب أخرى تعود الى الزمن الثالث (الحقب الحديث) ، كما وجدت رواسب أخرى في أرصفة غطتها مياه البحار في الوقت الحاضر كما هو الحال في جزيرة جاوة (اندونيسيا) وجنوب الصين .

لقد وجدت رواسب معدنية في أودية تعود الى الزمن الجيولوجي الثالث ، في ولاية كلفورنيا ، حيث نشطت أثناءها عملية التعرية النهرية لرواسب الذهب الموجودة في جبال سيرانيفادا .

قد تظهر أهمية الجيومورفولوجيا في الكشف عن رواسب بعض المعادن الناتجة عن عمليات تحول لدورات جيومورفولوجية قديمة أو حديثة على أساس أن التجوية والتعرية تعملان باستمرار على صخور سطح الأرض ومن هذه المعادن الطين والقشرة الجيرية المتصلبة والبوكسايت وبعض خامات المنغنيز والنيكل ، اذ ان خير المناطق لتجمع رواسب هذه المعادن هي السهول التحاتية أو السهول التي تقترب من مرحلة السهل التحاتي .

تنتشر كثير من الرواسب المعدنية في مناطق سطوح التعرية القديمة ، فقد توجد رواسب البايرايت والفلورايت والرصاص والنيكل والمنغنيز واليورانيوم والفاناديوم والنحاس التي يتراوح عمرها من عصر ماقبل الكامبري الى الزمن الثالث .

من تطبيق العلاقة بين الظواهر الجيومورفولوجية وتوزيع الرواسب المعدنية أمكن التعرف على تسعة أنواع من الرواسب المعدنية منها معادن الأشكال المختلفة ومعادن الرواسب الغروية والهوائية والبجادا والساحلية والجليدية بما فيها الرواسب المنتشرة في الركامات النهائية ورواسب الوديان والرواسب التي تحتوي على المعادن المطمورة والقديمة الا أن أهمها جميعاً الرواسب الطينية والغرينية .

ان ادراك التاريخ الجيومورفولوجي الشامل للمنطقة له أهمية في التعرف على الرواسب والعروق المعدنية المحتملة الوجود . فالدراسة التي قام بها تريكا الجيومورفولوجي الفرنسي سنة ١٩٥٢ في افريقيا للتنقيب عن الماس خير دليل على أهمية الجيومورفولوجيا التطبيقية وذلك بتحليل التربة وتتبع هذا التحليل الى منطقة المصدر . لقد استعملت هذه الطريقة في التطر العراقي بمنطقة بنجوين وماوت خلال سنة ١٩٦٠ و ١٩٦٢ لغرض الكشف والتنقيب عن النيكل والكوبالت والكروم .

١٥ ـ ٣ ـ استخدامات الجيومورفولوجيا في الكشف عن النفط :

أوضحت الدراسات والنظريات الحديثة العلاقة الايجابية بين طبوغرافية المنطقة المحدبة والقباب الملحية والتراكيب الجيولوجية لحقول النفط وتحليل الصرف السطحي وأنماطه وشذوذياته ، ترجع هذه العلاقة الى ان عوامل الحت قد بدأت عملها حديثاً في هذه المناطق ولم يكن لديها الوقت الكافي حتى تغير آثار الحركات الالتوائية الحديثة التي نشأت عنها تلك التراكيب الجيولوجية المرتفعة التضاريس . ان التنشيط التكتوني الذي يحدث الآن في منطقة سلمان باك ومنطقة العزيزية دليل جديد يدعم النظريات السالفة الذكر .

لقد وجدت بعض العلاقات اللونية بين ألوان أوراق أشجار النباتات ووجود المعادن المختلفة في التربة التي يتغذى عليها هذا النبات ، فضلاً عن العلاقة بين وجود القباب الملحية وحقول النفط كما هو الحال في حقول البترول في سواحل الخليج العربي وفي فنزويلا .

توجد علاقة ارتباط مباشرة بين نوعية الصرف النهري وشذوذياته وانحرافاته المحلية الظاهرة ووجود حقول النفط . والتي يمكن استنباطها من الصور الجوية وخاصة في المناطق الرسوبية ذات الانحدار الخفيف ، حيث وجد ان غالبية الصرف السطحي يأخذ النمط الشجري عادة ويبتعد عن هذا النوع من الصرف ، الى أنواع اخري كالصرف

الشعـعي واحتفي والمركـزي والمنحرف ، والى كثرة الروافـد وتعـدد مجـاري وتعميق الوديان وانحدار النهر الحاد في المناطق ذات الصخور المتجانسة أو ذات الضيق أو الاتساع غير المألوف والشاذ في الوديان وقنوات الأنهار اضافة الى تشكيله مجاري مقوسة او منحنية أو يؤدي الى تغير في مجاري الأنهار وهـذه جميعها شواهـد تؤيـد عـامل الشـذوذ النهري وتدل على احتمالية وجود انحراف محلي في البنية تكونت نتيجة حركة تنشيـط تكتوني قـد يضم بين طياته حقولا نفطية(١)

يتبين من هذا أن الاشكال الجيومورفولوجية تتأثر بالعمليات التشكيلية التي أثرت على خرية الداخلية حيث ترتبط معظم الحقول النفطية والغازية بسطوح نير سطوح تعرية قديمة مطمورة تظهر على أربعة أشكال هي :

١ ـ حقول منتشرة فوق التكوينات الكارستية المدفونة .
٢ ـ حقول الارسابات النهرية والساحلية .
٣ ـ حقول سطوح الانفصال المدفونة .
٤ ـ حقول الدالات القديمة .

١٥ ـ ٤ ـ الجيومورفولوجيا واستثمار المياه الأرضية :

تعالج الدراسات الجيومورفولوجية طريقة وجود المياه الأرضية في التكوينات الجيرية المختلفة النشأة (الجيرية الصلبة ذات المسامات الكثيرة أو نتيجة لوجود الصدوع والفوالق أو وجود الفراغات والمسالك الناتجة عن عمليات الاذابة) فضلاً عن أهمية طبوغرافية المنطقة وموقع الصخور الجيرية منها ، ومدى درجة تأثيرها في الدورة الكارستية التحاتية ، اذ يعتمد توفر فتحات الذوبان على موقع الصخور الجيرية السابقة ومدى تأثرها بالتوسع الاذابي الذي يعتمد بالدرجة الأساسية على ماإذا كان الحجر الجيري مغطاً حالياً بسطح تحاتي أو أنه كان قديماً تحت التأثير الاذابي للمياه الجوفية ، فقد تتطور مراحل الأشكال الكارستية من ظروف أولية لاتختلف عن معالم سطح الأرض الأخرى الى

تطور في ممرات الذوبان المفتوحة حيث تصبح الأنهار السطحية قليلة العدد ووقتية في الغالب وحينئذ تصبح ينابيع المناطق الجيرية الجوفية المصدر الأساس للماء[1]

لايقتصر وجود المياه الجوفية على التكوينات الجيرية الظاهرة وانما يتعداه الى التكوينات الكارستية المدفونة ففي منطقة Roswell (ولاية نيومكسيكو - الولايات المتحدة) أمكن الحصول على كميات هائلة من المياه بواسطة الآبار الارتوازية التي تمتد الى مشارف اقليم الكارست القديمة المتكونة في العصر البرمي ، وعليه فان التعرف على طبوغرافية الكارست القديمة المدفونة الآن لها أهميتها في تقدير احتالية الحصول على المياه في المناطق المدروسة ، حيث ان مثل هذه المناطق الواقعة تحت مستوى المياه الجوفية تكون ذات مورد مائي ثابت يعطي كميات كبيرة من المياه والذي يحدد أفضل مورد مائي في أراضي الكارست هو مدى تقدم ظاهرة الكارست في المنطقة ومدى صلابة الصخور الجيرية ودرجة احتواءها على فتحات الذوبان ودرجة نفاذيته ، الا ان كثرة البالوعات في التكوينات الجيرية لها مردودها السلبي في تلوث المياه الجوفية

يمكن الحصول على مزيد من المياه الباطنية من المناطق التي تعرضت للتحات الجليدي عن طريق التعرف على نوعية الرواسب وتاريخ تطور المنطقة خلال الفترة الجليدية ، حيث تأكد من الدراسات الميدانية وفرة المياه العذبة وغزارتها في بطون الأودية النهرية القديمة التي كانت سائدة قبل حلول الفترة الجليدية وخصوصاً في العدسات الحصوية المحصورة بين فراغات الطفل الجليدي

١٥ ـ ٥ ـ دور الجيومورفولوجيا في بناء الطرق :

تؤدي الجيومورفولوجيا دوراً أساسياً في بناء الطرق المحلية والدولية ، حيث ان بناء الطرق خلال التكوينات الجيرية الكارستية يعتبر نوعاً من ضروب المغامرة اذ تتأثر هذه التكوينات بعوامل خارجية مما لايتيح لهذه الطرق الاستمرار على تقديم الخدمات الضرورية للنقل ، لذا وجب املاء هذه المنخفضات والبالوعات بمحلول الاسمنت تلافياً لعمليات الاذابة المتوقعة بعد سقوط الأمطار مثلاً ، فضلاً عن بناء الطرق عبر البحيرات الجافة أو المستنقعات المردومة أو المناطق الفابية يعتبر نوعاً من الأعمال الانشائية التبذيرية حيث ان مرور العربات الثقيلة يؤدي الى عمليات الخسف المحلية ونشوء المطبات الموضعية على طول الطريق .

كما ويجب الحذر عند بناء الطرق في المناطق ذات التضاريس التي تخترقها بعض الوديان النشطة والخوانق الجبلية الشديدة الانحدار ، اذ ان التطور الجيومورفولوجي المحتمل لمثل هذه الوديان والخوانق كفيل بتدمير هذه الطرق وتخريبها ، مما يتطلب الحذر والحيطة من خلال التعرف على نوعية الصخور ومدى مقاومتها لعوامل التعرية والتحات المائي ، وعلى الفَراشات الصخرية السائدة وبنيتها الظاهرة في المنطقة فضلاً عن ضرورة دراسة درجة الانحدار ونوعية صخور السفوح العليا ومدى تأثرها بظاهرة الانزلاقات والزحف الأرضي وظاهرة التجمد والذوبان حيث تنشط مثل هذه الظواهر في المناطق ذات التضاريس التي تؤدي الانهيارات فيها الى حدوث مشاكل معقدة كما حدث في طريق صندور سنة ١٩٧٥ في شمال العراق وفي طريق دبا مسافي سنة ١٩٨٠ في دولة الامارات العربية المتحدة

لايقتصر هذا على بناء الطرق الجبلية فحسب وانما ينسحب أثره على مجالات هندسية أخرى مثل ميلان ابراج البترول وتكسر أنابيب نقل الغاز والنفط وحتى أنابيب نقل الماء وقد تتشقق غطاءات الآبار وقضبان السكك الحديد والابنية

ان العوامل السابقة توضح مدى أهمية بناء مثل هذه الطرق بأساليب جيدة مدروسة وتنبه الى ارشاد مهندسي بناء الطرق الى امكانية تلافي المخاطر السابقة عن طريق تغيير مسالك الطرق أو الحد والتقليل من شدة الظواهر الجيومورفولوجية السابقة عن طريق حقن المناطق المنخفضة والجيرية أو انشاء المصدات الاصطناعية الكونكريتية أو الخشبية ، وتدريج انحدار السفوح المعرضة لظاهرة الانزلاقات او تشجير بعض السفوح والجبال .. الخ فضلاً عن امكانية اتباع الطريق الموائم للخطوط الكنتورية واتباع محاور الأراضي الكائنة مابين الأودية ، كما يمكن تقدير العلاقة بين تربة أسس الطريق المزمع بناؤه والظروف الطبوغرافية عن طريق التعرف على نوعية المجمعات التي استعملت في بناء الطريق العام وقياس نسيج التربة ومدى قدرتها على صرف المياه ، اذ ان الترب الطينية والغرينية تتصف عادة بارتفاع منسوب الماء الجوفي على نقيض التربة الخشنة التي ينخفض فيها منسوب الماء الجوفي الى مستويات واطئة نسبياً .

من المشاكل المعقدة التي تواجهها طرقنا البرية وخاصة في الجزء الجنوبي والأوسط من القطر العراقي استواء الأرض وكثافة الجداول النهرية وشبكة قنوات الري والبزل وارتفاع منسوب الماء الأرضي فضلاً عن مشكلة تحرك الكثبان الرملية في الأجزاء الغربية من الهضبة الغربية (العراق) اذ تعاني طرقنا مشكلة الغمر بعد سقوط الأمطار أو تظهر فيها حالات من الخسف الموضعي نتيجة عدم تحمل الطرق للأثقال والحمولة المتتالية فتظهر عليها المطبات الطبيعية المتتالية أو أنها قد تغطى بطبقة من الرمال المتقدمة من حافة الصحراء الغربية من الطريق كما هو الحال في طريق بغداد الرطبة وطريق كربلاء النجف وطريق الديوانية الناصرية وطريق كربلاء عين التمر وطريق الحج البري وطريق الناصرية البصرة .

ان تتبع اضرار تلك الظواهر السابقة يتطلب الدراسة الجيومورفولوجية المستفيضة لتلك المشاكل قبل البدء بانشاء الطرق ومدها كالتعرف على درجة تحرك الكثبان الرملية واتجاهاتها ودراسة نوعية تربة الطريق وارتفاع منسوب الماء الجوفي لتلافي الكوارث المتوقعة عن طريق ايجاد السبل الكفيلة للحد من شدة الظواهر الجيومورفولوجية

السائدة في مسارات الطرق والاهتمام بتحديد درجات المناطق التي تؤثر عليها عمليات زحف التربة وظاهرة الانهيارات والانزلاقات الخطيرة المحتمل حدوثها خلال فصل الأمطار أو بعد ذوبان الثلوج والتي تؤثر سلباً على حركة المواصلات ، وذلك عن طريق إتباع الطرق الهندسية الكفيلة بتقليل شدة هذه الظواهر فضلاً عن تحديد المناطق الموائمة لشق الانفاق وبناء المنعطفات والجسور خاصة في المناطق الجبلية ، كما يجب الاهتمام بدراسة صخور المناطق السهلية لاجتناب الأراضي الطينية الزلقة اللاصقة وتجنب الأحواض المنخفضة التي تتعرض للغمر أثناء سقوط الأمطار اضافة الى تحديد الأماكن التي يمكن فيها تسوية الطريق الجيد السالك ، حيث أصبحت معرفة الترب التحتية الواقعة تحت الطريق العام ذات أهمية متزايدة في انشاء الطرق العامة التي تحمل حركة مزدحمة لأنها تتحكم في الصرف المائي تحت الطريق ، اذ يتحدد العمر الزمني لأي طريق بنوعية المجمعات المستعملة في بنائه ونسيج التربة ودرجة صرفها .

١٥ ـ ٦ ـ دور الجيومورفولوجيا في اختيار مواقع السدود والخزانات :

ان بناء السدود والخزانات المائية لتنظيم عملية جريان الماء في الأنهار والوديان على الأمد القصير والطويل ضرورة قومية لمواجهة التطور الاقتصادي والسكاني ، الا ان بناء الخزانات الكبيرة والسدود المعقدة قد سبب اهداراً للأموال وتخريباً للثروة القومية ، فاذا كان التوقع الاحتمالي المائي مبالغاً فيه لدرجة كبيرة فمعنى ذلك صرف مبالغ كبيرة لامبرر لها ، اما اذا كان التخمين اقل من الواقع فقد يتسبب في خسارة هائلة في الثروة والأرواح والمنشآت الحضرية ، يؤدي انهيار الخزانات والسدود الى نشوء كارثة اقتصادية وبشرية (هذا ماحدث في ايطاليا سنة ١٩٦٣ وسنة ١٩٨٥ عندما انهار أحد السدود الصغيرة في منطقة سياحية وطغى الماء على مدينة سياحية وأغرق ساكنيها من السياح بالماء والوحل ومن ذلك مد في سيريلانكا سنة ١٩٨٦) .

يجب الأخذ بنظر الاعتبار عند اختيار مواقع السدود والخزانات المميزات الجيولوجية والجيومورفولوجية للموقع والتي منها :

١ ـ يجب ان تكون سعة الخزان كافية لخزن المياه المتوقعة استناداً الى الدراسات الهيدرولوجية المبنية على سجلات تصاريف النهر للسنين الماضية وسجلات معدلات الأمطار السنوية للمحطات المتوفرة في حوض التغذية وكذلك التعرف على المسوحات الطبوغرافية للمواقع والخيارات المناسبة .

٢ ـ يجب أن تكون كلفة انشاء السد وكلفة الاستملاكات المترتبة نتيجة انغمار الأراضي بمياه الخزان مقدم السد ، يضمن ذلك القرى والطرق والسكك الحديدية .. الخ اقل كلفة ممكنة لوحدة الحجوم من الماء والمخزون وعليها يستند اختيار الموقع بالنسبة للخيارات المتوفرة .

٣ ـ يفضل انشاء السد في موقع ضيق على انشائه في موقع عريض ضحل لتقليل التبخر من سطح الخزان وتقليل احتمال نمو الحشائش والأعشاب الضارة عند مقدم السد .

٤ ـ يترك قسم من حجم الخزان عند مقدم السد لتراكم الترسبات ويسمى بالخزن الميت ، حيث يتوقف عمر الخزان المفيد على الوارد الرسوبي السنوي الذي تحمله المياه الجارية وحجم المنخفض الكلي ، ولهذا يفضل عدم اختيار الموقع قدر الامكان في مقدم اقسام حوض التغذية التي تجلب كميات كبيرة من الترسبات سنوياً .(١)

٥ ـ توفر المواد الأولية اللازمة لعمليات بناء جسم السد .

يتضح من النقاط الواردة سلفاً أن أهم مشكلة لها علاقة ببناء الخزان وهي مشكلة بنية أرضية أسس جسم السد ودرجة مسامية صخور أرضية البحيرة المنشأة أمام السد ، اضافة الى مشكلة الترسبات التي ينقلها النهر الى البحيرة .

تتطلب النقطة الأولى دراسات جيولوجية ومورفولوجية لاختيار مدى متانة وصلابة صخور أساس حجم الخزان ومدى امكانيتها لتحمل الثقل الهائل والتأكد من عدم وجود الفوالق والصدوع والشقوق في صخور الأساس وانها لم توضع فوق فرشات صخرية هشة معرضة لظاهرة الانزلاق والانخساف والتكسر فضلاً عن اجراء التجارب لمعرفة درجة مسامية صخور قاع الخزان وجوانبه وانعدام الكهوف والحفر ، حيث ان ارتفاع المسامية وكثرة الكهوف والبالوعات والصخور الجيرية جميعها عوامل مشجعة على تسرب غالبية مياه الخزان فعندئذ يتطلب اختيار الموقع الملائم الجيد للخزان وحقن الحفر والكهوف ان وجدت بمجلول السمنت (هذا ماحدث فعلاً عند بناء خزان دوكان ودربندخان وسد القادسية) .

ظاهرة التعرية السطحية والاخدودية التي تتعرض لها منطقة أعالي الحوض ونقل نتائجها مع الجداول والوديان والأنهار لتستقر على قاع الخزان مما تقلل من العمر المفيد الخدمي له .

تمتلىء كافة الخزانات بالرواسب التي تحملها مياه الأنهار عاجلاً أم آجلاً وتشكل دراسة الترسبات في الخزانات عنصراً هاماً يتحتم أخذه بنظر الاعتبار في الدراسات التخطيطية والتصميمية للخزانات وبالنظر لندرة المواقع الجيدة لبناء السدود ، ومن الأمثلة التي تورد بشأن مايمكن حدوثه عند انشاء خزان دون اخذ عامل الترسيب بنظر الاعتبار ، امتلأ الخزان الصغير بالترسبات بعد عام واحد فقط من انشائه وهو الخزان الذي سبق وان انشيء في سنة ١٩٣٦ على نهر اوسبورن بولاية كنساس الاميركية لأغراض تجهيز مياه الشرب .

تهدف دراسة الترسيب في الخزانات الى تحديد العمر المفيد للخزان بموجب التحليلات الجيومورفولوجية الاقتصادية والذي يتراوح عادة بين ٥٠ ـ ١٠٠ سنة ووضع التصاميم الملائمة وتعيين مناسيب فتحات مخارج المياه من السد بحيث يتم ترك حجم كاف في الخزان لاستيعاب الترسيبات السنوية دون التأثير على تحقيق المنافع التي انشيء من أجلها الخزان خلال العمر المفيد المخمن ، لقد صممت الخزانات العراقية مثلاً على أساس الأعمار الآتية :

خزان دربندي خان	٥٠ سنة
خزان سد صدام	٨٠ سنة
خزان دوكان	١٠٠ سنة
خزان حمرين	٥٠ سنة
خزان بخمة	١٠٠ سنة
خزان القادسية	٥٠ سنة

ان الطرق الكفيلة للحد من الوارد الرسوبي الى الخزانات هي :

١ ـ ضبط التعرية والتحات في أحواض التغذية
٢ ـ استعمال أحواض الترسيب
٣ ـ تأسيس مشبكات نباتية
٤ ـ تشجير منطقة الحوض .

يسود الارساب امام السد على بعد مئات الأمتار ويستمر الارساب الى عدة كيلومترات حيث يلقي النهر بجميع مايحمله من رواسب نتيجة التقائه بالبحيرة وبجسم السد ، فقد يصل طول امتداد الرواسب الى عشرات الكيلومترات وبسمك يصل الى عدة أمتار (عبدالحميد كليو ، ١٩٨٥) . يزداد الحت المائي خلف السد نتيجة لتدفق المياه من وراء السد الى المجرى النهري مؤثراً على قاعه وجوانبه نتيجة لاخلال حالة التوازن

في النهر بعدما فقد أغلب حمولته أمام السد ، ومحاولة النهر تحقيق توازنه واستقراره من جديد عن طريق نحت قاعه أو خلق المنعطفات النهرية ، اذ يستمر النحت النهري من بعد السد مباشرة والى بعد حوالي ١٥٠ كيلو متراً منه .

تتراجع السهول الساحلية المصبية نتيجة لفصل الرواسب المنقولة بعد بناء الخزانات ولتأثير الموج البحري على عمليات الهدم في المناطق المصبية .

ان الثقل الكبير لجسم السد وكتلة المياه المخزونة يعمل على نشوء هزات زلزالية خفيفة أو متوسطة تعتمد على درجة ملء الخزان كالهزات التي حدثت في اليونان سنة ١٩٣١ والهند سنة ١٩٦٧ وايطاليا سنة ١٩٦٣ وتركيا سنة ١٩٧٤ وكندا سنة ١٩٧٥ ومصر ١٩٨٣ وفي ايطاليا سنة ١٩٨٥ (عبدالحميد كليو ١٩٨٥) لذا يتطلب اجراء قياسات سيسمولوجية في طبقات المنطقة قبل بناء السد وأخذ الحيطة والحذر تلافياً من الحركات الزلزالية المتوقع حدوثها في منطقة السد .

١٥ ـ ٧ ـ دور الجيومورفولوجيا في تحسين الأنهار وتهذيبها :

تنبع أغلب الأنهار من المناطق الجبلية والهضبية ثم تنحدر نحو السفوح والأراضي السهلية . حيث يشق النهر مجراه الضيق الطويل بين الهضاب ثم يدخل الأراضي الرسوبية ، وعندما يقل انحدار الأرض وتصبح شبه مستوية لايتمكن المجرى من استيعاب التصاريف العالية فيتفرع الى فرعين أو أكثر متجهاً في النهاية نحو مصبه في البحار أو المحيطات أو البحيرات أو في الصحراء ان كان صرفه داخلياً .

عندما يصل النهر السهول الرسوبية يغير مجراه تبعاً لطبيعة الأرض ومقدار التصريف وكمية الحمل الرسوبي ونوعيته ، اذا ترك النهر دون تهذيب أو تحسين تكثر فيه الانحناءات والجزر وتفيض المياه في مواسم الفيضان لتغمر المنخفضات أو السهول المحيطة بضفافه ،

وقد تهدد الموجات المائية السريعة وتجرف الطرق وسكك الحديد القريبة من النهر فتفقد بذلك كميات كبيرة من المياه وتذهب هدراً . لذا يتطلب دائماً العمل على تهذيب مجاري الأنهار وتحسينها من أجل :

١ ـ تهيئة مجرى مناسب لامرار مياه الفيضان دون تعرض الممتلكات والمزارع وطرق المواصلات والأرواح للخطر .
٢ ـ عدم السماح بتغيير مجرى النهر تاركاً للمنشآت المقامة عليه كالجسور والسدود وفتح مجرى جديد له بعيداً عنها .
٣ ـ تحويل التيارات المائية النهرية عن أقسام الضفاف المعرضة لمهاجمة التيار .
٤ ـ تهيئة عمق مائي مناسب للأغراض الملاحية طيلة أيام السنة .

ومن الطرق المستخدمة في أعمال التهذيب هي :
١ ـ تعديل المنعطفات الحادة في المجرى وحفر مجرى جديداً لذلك القسم .
٢ ـ انشاء السنون الحجرية بأطوال وأعماق مناسبة لتحويل التيار عن المناطق المعرضة لمهاجمة النباتات المائية .
٣ ـ بناء المسنيات وانشاء الأكسية للضفاف لتثبيت المجرى داخل المدن وخارجها .
٤ ـ انشاء السداد الترابية على الجانبين على ارتفاعات وأبعاد مناسبة عن الضفاف وبمقاطع ملائمة بموجب المبادىء الجيومورفولوجية لتتحمل ضغوط مناسيب المياه العالية وضمان امرار موجات الفيضان بسهولة .

من أهم الأشكال الجيومورفولوجية التي تنشأ على طول المجرى النهري هي المنعطفات النهرية Meanders حيث ان حركة النهر الجانبية ذات تأثيرات واسعة المدى ، اذ يرى بعض الباحثين ان الأنهار ربما تكون أكثر الأنماط الطبيعية من مجاري الأنهار هي أسرع الأجزاء عرضة للتغيير والتبديل ، لذلك فان علاقتها المتبادلة مع بيئاتها الطبيعية والبشرية تتغير باستمرار ، ان الكشف عن بعض هذه العلاقات هو من اختصاصات الجيومورفولوجيا .

تمتاز الحركة الجانبية للنهر المنعطف بسرعة حدوثها مقارنة بالتغيرات التي تصيب الظواهر الجيومورفولوجية الأخرى مما يتيح للجيومورفولوجي متابعة مجرياتها بشكل مباشر وخلال زمن قصير جداً مقارنة بما يحصل لظواهر جيومورفولوجية اخرى (الجبوري ، ١٩٨٥) . اذ تمثل المنعطفات النهرية مراحل متقدمة في تطور الثنيات ، حيث يتغير اتجاه المجرى تغيراً حاداً نتيجة لشدة التعرية والقطع النحتي في الجوانب المقعرة من المجرى ، بينما يزداد الارساب في الجوانب المحدبة منه .

وقد وجد الجبوري بدراسته السابقة أنّ منعطفات نهر دجلة بين بغداد والكوت تتأثر بالعوامل الجيومورفولوجية الآتية :

١ ـ تتميز المنعطفات بحساسية زلزالية عالية تضم في أعماقها تراكيب تحت سطحية موجبة ، تؤدي فترات التنشيط التي تمر بها الى رفع أجزاء منها وهبوط أجزاء أخرى تؤثر بدورها على الاتجاه العام للمجرى وتطور المنعطفات **النهرية فيها** .
٢ ـ ان الاختلافات الكبيرة في التصاريف النهرية اليومية والشهرية والسنوية لها آثارها الايجابية في نمو المنعطفات وتطورها خاصة بعد فترة الفيضان للفترة الممتدة بين كانون الأول وشهر نيسان .
٣ ـ للحمولة النهرية العالقة دور أساسي في تغيير المجرى وخاصة خلال فترة الفيضانات العالية .
٤ ـ تسهم السداد الترابية في الاسراع في تكوين المنعطفات النهرية بسبب حصرها النشاط النهري داخل مجراه .

من أجل التحكم في نمو المنعطفات النهرية وتطورها وآثارها السلبية اقترحت الدراسات الجيومورفولوجية ضرورة الحد من الذبذبات في التصاريف اليومية والشهرية والسنوية عن طريق تنظيم عمليات الجريان على الأمد القصير والطويل فضلاً عن ضرورة السيطرة على الرواسب المنقولة عن طريق تشجير أحواض الأنهار وبناء السدود وأحواض الأنهار وأحواض الترسيب للتقليل من نسبة التعرية والتحات وخفض كمية الرواسب في مياه الأنهار .

لقد نشط جيومورفولوجيو المانيا في تهذيب نهر الراين وذلك بقطع كل المنعطفات وجعل المجرى المائي يسير بخط مستقيم قدر الامكان لغرض استخدامه كوسيلة قصيرة للنقل النهري .

١٥ ـ ٨ ـ دور الجيومورفولوجيا في الحركات العسكرية :

تعتبر طبيعة سطح الأرض وتضاريسها أحد العوامل الأساسية في سير المعارك العسكرية ولها أهميتها في تحديد نتائجها ، فمن البديهيات ان يدرك القائد العسكري الأهمية الاستراتيجية للتضاريس أثناء المعارك وادراك فن الاستفادة من أشكال التضاريس في الدفاع والهجوم ، فقد تنبه العرب المسلمون الأوائل الى استعمال فنون الاستراتيجية الجيومورفولوجية في ادارة دفة المعركة الحربية وماعملية حفر الخندق حول مدينة الرسول المنورة او احتلال آبار بدر أو أخذ المواقع الممتازة على جبل أحد الا نماذج وأشكال من ستراتيجية التضاريس ، ومن ذلك بناء التضاريس الدفاعية الحديثة التي تأخذ شكل الخنادق العميقة جداً وعلى مسافة كبيرة وبناء الربايا الدفاعية والسواتر مثل خط ماجينو الفرنسي وخط بارليف على قناة السويس الذي اجتازته القوات العربية البطلة ابان حرب التحرير سنة ١٩٧٣ ضد العدو الصهيوني .

ان التخطيط السليم الهيئة لحفر الخنادق وبناء المواضع الأمامية ودرع الأعمام الخاصة بصيانة طلائع الجيوش وحمايتها لها أهميتها الخاصة في المناورات والعمليات العسكرية فضلاً عن أن التعرف على مصادر الماء السطحي والجوفي لها دورها في اتمام العمليات التموينية والتعبوية للجيوش المحاربة كما يبرز دور التضاريس المرتفعة والوهاد المنخفضة وأهميتها في الاحتماء لكونها خير ستر تحتمي خلاله الجيوش المهيئة والمستعدة للدفاع أو الانقضاض اذ تهيء مثل هذه التضاريس عنصر المناورة المرنة حيث تتمكن الجيوش من خلالها من الانقضاض الخاطف والسريع على العدو وامكانية الاستفادة منها في الانسحاب المدروس المبرمج ، فالجبال والكويستات والمضاب والحافات الصخرية الرأسية والوديان والخوانق

والمنخفضات جميعها ظواهر جيومورفولوجية سطحية لها أهميتها في التخطيط للحركات العسكرية البرية والبحرية والجوية . لاشك أن الاستيلاء على أحد هذه المواقع العسكرية الستراتيجية يعتبر من مهمات الانقضاضات والهجمات العسكرية المفاجئة ، حيث ان احتلال قمة الجبل أو مدخل الخوانق والممرات يعتبر انتصاراً عسكرياً يعمل على توجيه دفة المعركة زمانياً ومكانياً ، اذ ان المناطق الجيومورفولوجية تتصف بسهولة الدفاع عنها وأهميتها في توفير الحماية **الكافية** (الجوية والبرية) للجيوش من خلال **ماتوفره من غطاء طبيعية أو أشجار كثيفة أو متاهات معقدة .**

تتطلب حركة الجيوش وآلياتها أرضاً صلبة ذات بنية صخرية تقاوم الثقل والحركة الدؤوبة ، لذا يتطلب اختيار أفضل الطرق المناسبة لحركات آليات الجيوش وتجنب الأراضي المنخفضة ذات الترب الملحية أو الكلسية أو الكارستية أو الرملية التي تؤدي الى عرقلة سير الآليات والأفراد وقد تؤدي الى تعززها في الوحول أو سقوطها في حفر كارستية اذابية ولهذا يختار القادة العسكريون عادة السلاح الملائم الذي يناسب الظروف التضاريسية لأرضية المعركة ، فحركة جيوش المشاة والآليات تختلف في المناطق الطينية الموحلة عن المناطق الصلبة الجافة وتختلف سرعتها في المناطق الرملية المملوءة بالكثبان الرملية عنها في المناطق الرسوبية الصلبة ، حيث تتطلب مثل هذه التضاريس استخدام الآليات الخاصة لتخطي هذه العقبات مثل السيارات المجنزرة ونصف المجنزرة أو الاطارات العريضة أو استخدام العربات البرمائية والزوارق المطاطية ذات الغطس القليل جداً واستخدام الأسلحة الخفيفة خاصة في المناطق الجبلية الوعرة ذات المسالك الصعبة التي يتم اختيارها لبناء الحصون والقلاع بخاصة عند الممرات الطبيعية والخوانق كما **هو الحال في مضيق كلي علي بك ودربندي خان في القطر العراقي وقلعة الحصن في سوريا والممرات في سيناء وممر خيبر بين الهند وأفغانستان وممر تازة في القطر المغربي .**

يتصف الجيومورفولوجي بقدرته على تحديد الظواهر السابقة وفرزها ويتحلى بحسن انتقاء يميزه عن غيره من الاختصاصيين كما جاء بقول العالم (Erdmann, 1943) **« ان الجيومورفولوجي قد حباه الله بعين فاحصة لسطح الأرض ، لها القدرة**

على تكوين صورة كاملة من اجزاء متناثرة ، كما ان له القدرة على التحقق من الظواهر البعيدة التي كثيراً ماتخدع المرء ... » .

بالاضافة الى ماتقدم فان الجيومورفولوجي هو أقدر من غيره على قراءة الخرائط الجوية واستنباط مافيها من اشكال جيومورفولوجية كالانحدار والتضاريس والسهول والمستنقعات والمناطق المشحرة التي بدورها تساعد الجيوش على سلوك الطريق الأسلم والأصلح لادارة العمليات العسكرية رغم انعدام الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية أو انعدام التقارير الأولية من جهاز المخابرات وطلائع الجيوش عن المنطقة وطبيعة أرضيتها ، اذ ان أرضية المعركة هي التي تحدد نتائجها .

١٥ - ٩ - دور الجيومورفولوجيا في تكوين التربة :

يتعلق نوع الترب ودرجة تكونها بالبيئة التضاريسية والعوامل الطبيعية المؤثرة على نشوءها وتطورها في المنطقة ، فضلاً عن المشاكل التي تتعرض لها التربة وخاصة مشكلة الجرف التي تعد من الأمور المعقدة التي تتطلب دراسة طبوغرافية لشكل سطح الأرض وكيفية السيطرة على ظاهرة الجرف وزحف التربة وزحف الصخور والانزلاقات الأرضية وعملية نشوء الأخاديد على المنحدرات نتيجة سقوط الأمطار الغزيرة التي تتعلق أصلاً بنوعية الصخر وشكل التضاريس السائدة ودرجة انحدار السطح ، حيث تؤثر الطبوغرافية على تكوين التربة وتطورها بصورة غير مباشرة كالمتغيرات المناخية وحركة الماء على سطح التربة وباطنها (علي شلش ، ١٩٨١) اذ ان الانحدارات الشديدة تتصف بترب جافة بعكس الانحدارات الخفيفة التي تتميز تربها برطوبة عالية نسبياً ، فضلاً عن وجود العلاقة العكسية بين الانحدار وسمك التربة ، اذ تزداد التربة سمكاً في المنحدرات الخفيفة ويقل أو ينعدم سمكها في الانحدارات الشديدة ، حيث تتعرض تربتها الى شكل من أشكال الجرف أو الزحف بفعل الجاذبية الأرضية . ان معرفة نوعية الترب التحتية الواقعة تحت الطرق العامة أو البنايات والمصانع ذات أهمية خاصة لمعرفة مدى مقاومة مثل هذه الترب للضغوط الجديدة بالنظر لتحكم هذه الترب بدرجة الصرف المائي ومدى استجابتها لنوعية المواد المخلوطة المستعملة في بناء القواعد الأساسية للبناء .

يمكن التعرف على نوعيات الترب ومدى صلاحيتها للنشاط الزراعي عن طريق معرفة درجة قابليتها الصرفية ، فالترب الرديئة الصرف لاتسمح بتوغل المياه الى مستويات أدنى ولذا تبقى مغمورة بالماء حيث تتلون بمرور الزمن باللون الرمادي أو الأزرق أو الأخضر الرمادي . وتعتبر الترب ذات الحبيبات الخشنة والرملية ذات صرف عال جداً بالنظر لعدم استطاعتها الامساك بالماء بين حبيباتها وبهذا تعتبر غير صالحة للانبات الزراعي ، بينما تتصف الترب الجيدة الصرف بعدم ركود الماء بين حبيباتها وتسمح له بحرية الحركة الأفقية والرأسية مما يجعلها ملائمة لزراعة مختلف المحاصيل الزراعية .

ان الحد من ظاهرة جرف التربة وردها وخاصة في المناطق المتوجة يعتبر من أساسيات العمل الجيومورفولوجي لصيانة هذا المورد الطبيعي الذي يتعرض لعوامل التعرية المائية والهوائية السطحية منها Sheet Erosion والاخدودية Gully Erosion وماتحدثه من تخريب للاقتصاد القومي خاصة في المناطق الرطبة ذات الانحدارات الشديدة والمناطق الجافة شبه الصحراوية (وفيق الخشاب ـ مهدي الصحاف ، ١٩٧٦) .

١٥ ـ ١٠ ـ دور الجيومورفولوجيا في تحليل البيئة الطبيعية :

يظهر دورة الأشكال الأرضية في تحديد البيئة الطبيعية للمنطقة من خلال تأثير تلك الأشكال على كل عناصر المناخ الرئيسية ، فتعمل التضاريس الأرضية على خفض درجات الحرارة بالارتفاع عن مستوى سطح البحر ، فضلاً عن الاختلاف في كمية الاشعاع الشمسي الواصلة الى السفوح الجبلية طبقاً لمواجهتها للشمال أو الجنوب أو لفترة تعرضها للاشعاع . تظهر أهمية التضاريس في تفاوت كميات السقيط بين السفوح المواجهة للرياح الرطبة والسفوح الواقعة في ظل المطر وأثرها في زيادة كمية السقيط وتجمع الصلب منه على هيئة غطاء ثلجي يمون الأنهار والماء الجوفي بالمياه خلال الفصل الحار الجاف ، فضلا عن أهمية هذه المرتفعات في نشوء بعض الرياح المحلية الحارة الجافة المندفعة نحو الجانب الآخر منها فتزداد حرارة وجفافاً بعامل الهبوط الادياباتيكي (رياح الفهن) ، بينما تعمل

المناطق الواطئة على رفع درجات الحرارة بالمقارنة مع مايجاورها من مناطق تعتدل فيها الحرارة نسبياً كما هو الحال في منطقة البحر الميت وغور الأردن واريحا .

تعمل البيئات التضاريسية أيضاً على تنوع السكن البشري وتحديد نشاطاته المختلفة فتتغير معها أنماط حياته الاجتماعية والبشرية وأشكال النمو النباتي (عماد الموصلي ، ١٩٧٥) .

ان العلاقات الجغرافية السالفة الذكر بين أشكال سطح الأرض ونشاطات الانسان المختلفة توضح الحقل التطبيقي لعلم الجيومورفولوجيا ومدى مساهماته مع الاختصاصات الأخرى في الحفاظ على البيئة التضاريسية الجيدة وحمايتها من التغيرات التي قد تطرأ عليها خلال استغلالها بشكل غير عقلاني ، فضلاً عن دورها في التطوير الايجابي لأشكال سطح الأرض التي قد تؤدي الى عمليات تخريب وتدمير لنشاط الانسان على سطح الأرض ، ندون فيما يأتي بعضاً من اسهامات الجيومورفولوجي وهي :

١ ـ حماية التربة من الانجراف والانزلاق .
٢ ـ حماية الطرق والمدن والمناطق العمرانية من الانزلاقات الأرضية والانهيارات .
٣ ـ حماية بعض الأنهار من الأسر النهري الجوفي والسطحي .
٤ ـ تقليل أثر الانجراف النهري في مناطق المنعطفات النهرية .
٥ ـ التحذير من العواقب والمخاطر المتوقعة من فيضانات الأنهار .
٦ ـ ايجاد السبل الجيدة للاستفادة من المياه الفائضة عن طريق بناء الخزانات والسدود .
٧ ـ الاستفادة من الرسوبيات النهرية الحصوية والرملية والغرينية .
٨ ـ مساهمة الجيومورفولوجي في المعارك الحربية عن طريق توضيح أثر التضاريس وبنيتها في خدمة المعركة .
٩ ـ اشتراك الجيومورفولوجي في الكشف عن المعادن المطمورة برواسب العصور الحديثة .
١٠ ـ مساهمة الجيومورفولوجي في عمليات بناء الطرق في المناطق الجبلية والسهلية .
١١ ـ مساهماته في اعداد تخطيطات المدن .

١٥ ـ ١١ ـ التطبيقات الحقلية :

لا يقف علم الجيومورفولوجيا الحديث عند حدود الوصف الطبيعي والخيال والتعليل البسيط لمظاهر سطح الأرض بل يتعداه الى التحليل والتعليل الكمي والتصنيف العملي المنطقي (الجيومورفولوجيا وصف وتعليل وتحليل وتصنيف ونشوء وتكوين سطح الأرض) عن طريق دراسة الأشكال الأرضية ووصفها وتصنيفها في مجموعات معينة تبعاً لمظهرها الخارجي وتمييز كافة المظاهر المختلفة للتضاريس وتمثيلها على الخارطة ، ودراسة نشوء مظاهر سطح الأرض وتكويناتها وتطوراتها بالعوامل الداخلية (التكتونية) والخارجية (التجوية والحت) ، فضلاً عن ضرورة تحديد العمر الزمني التقريبي لهذه الظواهر السطحية متطرقاً الى تطورها منذ نشوئها وماتؤول اليه مستقبلاً ، باعتبار ان الحاضر مفتاح للماضي وصورة للمستقبل ، هذا ما اعتقد عليه العالم الاسكتلندي (١٧٢٦ ـ ١٧٩٧) **هاتن** الذي وضع الأسس الضرورية لتطوير علم الجيومورفولوجيا الحديث ، اذ كان يدعم دراساته وأعماله بالبحث الحقلي على أساس مبدأ التطور التدريجي **البطيء** للظواهر الطبيعية . تلاه رواد التطور في هذا المضمار مثل بنك الالماني (١٨٥٨ ـ ١٩٤٥) وابنه والتر بنك ١٩٢٤ الذي نشر آراء أبيه مطوراً اياها في كتابه « التحليل الجيومورفولوجي » الذي تناول سفوح المنحدرات والانزلاقات الأرضية وتفتت الصخور وتحللها وترسبها ، وظهر موريس ديفز (١٨٥٠ ـ ١٩٣٤) كرائد لهذا العلم الحديث في اميركا ، ودي مارتون وكيليه في فرنسا ومكافاييف وليونتف وشوكين وماركوف وغيرهم في الاتحاد السوفيتي سالكين هدى المناهج الاقليمية والكمية والتطبيقية في بحوثهم ودراساتهم الجيومورفولوجية .

طرق البحث التطبيقي في الجيومورفولوجيا :

يمكن تقسيم البحث الجيومورفولوجي التطبيقي الى ثلاث مراحل هي :

١ ـ مرحلة الاختيار والاعداد .

٢ ـ مرحلة الدراسات الحقلية .

٣ ـ مرحلة تحليل الدراسات الحقلية ونتائجها في المختبر .

١ ـ مرحلة الاختيار والاعداد :

تعتبر هذه المرحلة أولى الخطوات الضرورية للقيام بالدراسات التطبيقية الحقلية وتشمل اختيار المنطقة التي يراد دراستها وتحديدها على الخارطة Land System ، تتم عملية اختيار المنطقة الملائمة للعمل المورفولوجي التطبيقي ضمن عدد من المواصفات لتفضيل موقع على آخر ومنها :

أ ـ ضرورة اختيار المواقع التي تشتمل على أغلب المعالم الجيومورفولوجية المطلوب دراستها تطبيقياً .

ب ـ سهولة الانتقال الى منطقة الدراسة اعتماداً على عدد المشاركين والواسطة المتوفرة والامكانيات المتاحة .

جـ ـ تقدر سلفاً المدة الزمنية التي تتطلبها الدراسة التطبيقية الحقلية بضمنها ساعات الوصول الى المنطقة والرجوع منها .

د ـ ضرورة التعرف مسبقاً (من جانب المشرف على الدراسة التطبيقية) على نوعية الطريق وظروف المنطقة وامكانية تأمين السكن والغذاء للأعضاء المشاركين في نفس الموقع أو بالقرب منه ، فيما اذا كانت مدة الدراسة تزيد على اليوم الواحد وللتعرف على بعد المنطقة عن مركز الجامعة أو المعهد .

هـ ـ اعداد مجموعة من المتدربين لجمع المعلومات المكتبية عن طبيعة هذه المنطقة ومن ضمنها الخرائط والكتب والبحوث والاحصائيات والصور الجوية .

ان أهم المعلومات المكتبية التي تدخل في تنفيذ الخطة التطبيقية الحقلية هي الصور الجوية التي توضح جميع المعلومات المورفولوجية لمنطقة الدراسة ، من مظاهر السطح والتركيب الجيولوجي ونوعية الصخور والنظام الهيدرولوجي ونوعية التربة والنبات الطبيعي واستغلال الأرض ، حيث استخدمت هذه الصور في عمل خرائط جيومورفية ساعدت على تحقيق وتسهيل العمل الجيومورفولوجي .

بعد جمع البيانات والصور الجوية عن منطقة الدراسة يبدأ فريق العمل التطبيقي بدراسة وتحليل الصور الجوية مختبرياً وفق الترتيب الآتي :

أ ـ ترتيب الصور الجوية حسب تسلسل أرقامها حيث توضع الصور التي تحمل الرقم الزوجي الى الأعلى والصور التي تحمل الرقم الفردي الى الأسفل بحيث تغطي الصورة العليا نصف الصورة السفلى تقريباً بغية تطبيق مظاهر سطح الأرض مع بعضها لتعطي صورة واحدة عن المنطقة (اذ ان الصور الجوية تصور سطح الأرض على هيئة صور متتالية حيث تتداخل بعض المعالم في الصورة الأولى مع المعالم الموجودة في الصورة الثانية وهكذا بالنسبة الى الصورة الثانية والثالثة على التوالي) .

تحلل الصورة الجوية المزدوجة للمنطقة وذلك بتأشير المنطقة المشتركة بين الصورتين بقلم أحمر ، ثم وضع الصورتين تحت جهاز تحليل الصور الجوية (جهاز التجسيم) (Steroscope)☆ ، بحيث تسحب الصورة العليا على الصورة السفلى الى ان تتطابق المعالم الأرضية في كلا الصورتين لتكون صورة واحدة مجسمة . عند ملاحظتنا الصورة من خلال عدسات الجهاز ، تتوضح لدينا المعالم الأرضية بشكل مجسم بحيث يمكن ملاحظة الصرف النهري وانحدارات الجبال والسفوح والوديان والسهول والنبات الطبيعي والأشكال الجيومورفولوجية الأخرى على طبيعتها ، يمكن تحديد هذه المعالم بالقلم الأحمر لمقارنتها مع طبيعتها الأرضية عند التوجه الى منطقة العمل التطبيقي . تحلل الصور الجوية وفق تسلسل ارقامها لتمثيل جميع منطقة الدراسة المزمع التوجه اليها (وفيق الخشاب ، ١٩٨٠) .

بعد الانتهاء من الدراسات التحليلية المكتبية يتم تحديد موعد انطلاق المرحلة التطبيقية الى موقع الدراسة وتحديد الطريق الذي نسلكه للوصول الى المنطقة ، فضلاً عن ابداء التوجيهات والارشادات الى المشاركين في العمل الحقلي حول مايمكن جلبه من ملابس وأدوات أثناء المرحلة ، حيث يزود كل مشارك في الدراسة هذه بحقيبة الحقل المصنوعة من الجلد أو القماش السميك ، تحتوي على خارطة المنطقة مؤشر عليها طريق الوصول ، اضافة الى المطرقة الجيولوجية وسكينة صغيرة وبوصلة لقياس الارتفاعات والانحدارات Clinometer ودفتر الحقل وقلم ملون وأوراق شفافة وممحاة ومبراة للأقلام مع عدد من أكياس النايلون وقنينة صغيرة تحتوي على حامض الكلوردريك المخفف وشريط مساحة اضافة الى كمية من الغذاء والماء ، ومن الضروري اعداد المختبر المتنقل الذي يشتمل على عدد من الشواخص الخشبية ومسطرة المساحة وأوتاد ومطرقة وعدد من المطارق الجيولوجية وجهاز قياس التسوية (ثيودولايت) وبوصلة المساحة وجهاز تحليل الصور الجوية البسيط وجهاز قياس حموضة التربة ph meter وغرابيل التربة Seives بمقاييس متنوعة وعدد من الحبال وأكياس النايلون (لأخذ عينات من التربة والصخور) وقنينة حامض الكلوردريك المخفف وعدد من القناني الفارغة وجهاز قياس سرعة الماء Current meter (دوارة الماء) وميزان صغير وشريط مساحة وأوراق ترشيح وموقد صغير وبعض المعاول ومرساة وآلة تصوير وسبورة وطباشير .

تستعمل جميع هذه المواد والأدوات في تنفيذ العمل الحقلي أو لجمع بعض النماذج التي يمكن نقلها الى مركز الجامعة أو المعهد بغية اجراء المزيد من التحليل والكشف عنها بعد الرجوع من الحقل . يمكن تحديد الأدوات والأجهزة المطلوبة وفقاً لنوعية الدراسة التطبيقية المزمع اجراؤها .

٢ ـ مرحلة الدراسات الحقلية :

بعد الوصول مباشرة الى منطقة الدراسة التطبيقية يتم اختيار الموقع القريب المناسب الذي تتوفر فيه الظروف الملائمة للاقامة ، فيما اذا كانت فترة العمل التطبيقي تزيد على اليوم الواحد ، تنظم الأجهزة والمعدات المختبرية والحقلية بشكل يسهل استعمالها وبعيداً عن المؤثرات الخارجية ، يبدأ بتوزيع فريق العمل التطبيقي الى مجموعات لايزيد عدد أعضاء الوحدة منها على عشرة بضمنهم المشرف الأول (اذا كان عدد المشاركين كبيراً نسبياً) موزعين على أساس الاختصاص لدراسة مختلف الظواهر الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة ، حيث يقوم مشرف المجموعة بتوزيع الأعمال والاشراف على نتائج الدراسة الحقلية التطبيقية للظاهرة وتسجيلها وأخذ عينات منها والخروج بنتائج الدراسة بعد اجراء المناقشة الجماعية مع أعضاء المجموعة (يمكن اعادة جدولة توزيع المجموعات على اختصاصات اخرى فيما اذا كانت الدراسة التطبيقية الميدانية تعليمية الغرض منها تدريب الطلبة على الدراسات الحقلية ، وبهذه الصورة يتبادل جميع الطلبة الاختصاصات المختلفة ضمن العمل الحقلي التطبيقي وخلال المرحلة التطبيقية الواحدة) .

تحدد منطقة الدراسة بثلاثة شواخص خشبية مثبتة على استقامة واحدة حيث يمثل أوسطها مركز منطقة الدراسة .

قبل البدء بالأعمال التطبيقية يناقش المشرف العام ومشرفو المجموعات موقع منطقة الدراسة ومدى مطابقته للمنطقة المحدودة في الصورة الجوية وبيان أوجه الاختلاف بينهما ان وجدت .

تتوزع المجموعات مع مشرفيها على الظواهر الجيومورفولوجية المختلفة للقيام بالدراسات التطبيقية ضمن اختصاصاتها (مجموعة الصخور ، مجموعة التربة ، مجموعة

الانحدارات والسفوح ، مجموعة النظام النهري ، مجموعة التجوية والتحات ، مجموعة المياه الجوفية ، مجموعة الأشكال الجيومورفولوجية الهوائية ... الخ) تنقل الأجهزة والمعدات الضرورية لاجراء الدراسة الحقلية اضافة الى حقيبة الحقل الفردية لكل عضو من أعضاء المجموعة .

عند وصول المجموعة الخاصة الى الظاهرة الجيومورفولوجية المعينة ، يبدأ النقاش أولاً بين مشرف المجموعة ومجموعته حول أوجه الشبه ومدى الاختلاف بين ماهو موجود فعلاً في الطبيعة وماشاهدوه من خلال الصور الجوية ، يدور الحوار وتتبادل الآراء حول أرجحية هذا المكان على غيره للقيام بالدراسة الميدانية بالنظر لتوفر جميع الظروف المثالية المطلوبة للقيام بالدراسات الحقلية ، ويمكن تبديل المكان الى موقع آخر فيما اذا لم تتوفر الحدود الدنيا للظروف التطبيقية في الموقع . وبعد الاتفاق على الموقع الأمثل لاجراء الدراسة الميدانية يعطي المشرف توجيهاته للبدء بالعمل .

أولاً : مرحلة الدراسة الحقلية المورفولوجية :

تشتمل الدراسة التطبيقية المورفولوجية ايجاد درجة انحدار الأرض والسفوح في المنطقة المختارة عن طريق استخدام جهاز الثيودولايت والشواخص الخشبية ومسطرة المساحة ، اذ يثبت جهاز قياس الانحدار في موقع متوسط بين شاخصين يبعدان عن بعضهما ١٠٠ متر ويبدأ الراصد بقراءة منسوب ارتفاع الشاخص الأول من خلال عدسة الجهاز ويسجل القراءة لثلاث مرات ثم يأخذ الوسط الحسابي للقراءات الثلاث . ينقل اتجاه الجهاز الى الشاخص الثاني الواقع بالاتجاه المعاكس ويقرأ درجة منسوب الارتفاع ويسجل القراءة لثلاث مرات أيضاً ويستخرج الوسط الحسابي لها . ثم يقارن القراءتين ويستخرج درجة انحدار الأرض أو السفوح للمسافة الواقعة بين الشاخصين عن طريق ايجاد الفرق بين معدل القراءة في الشاخص الأول ومعدل القراءة في الشاخص الثاني . يمكن اعادة القياس للمسافات الأخرى الباقية أو الاتجاهات الأخرى ان وجدت ، وعلى هذا الأساس يرسم خط المنحدر أو خط السفح ودرجة انحداره على ورقة خاصة توضح درجة انحدار الأرض للمسافة المبينة ، حيث تظهر العلاقة الموجبة بين شدة الانحدار

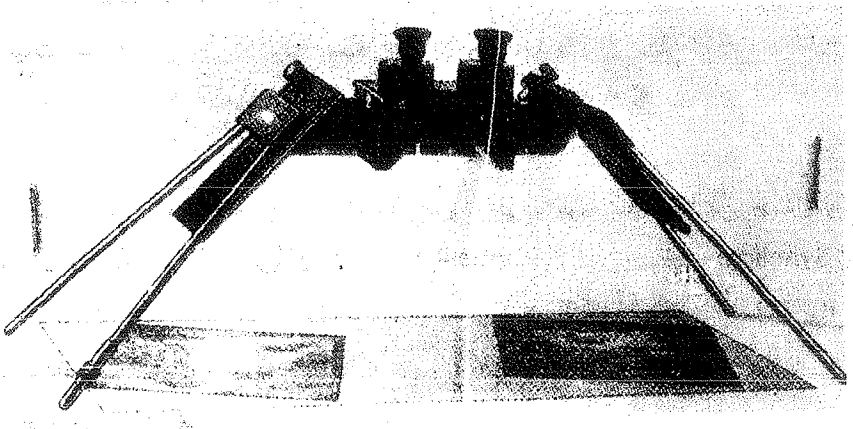
وازدياد عمليات التحات والتعرية المائية فضلاً عن ان رسم خارطة الانحدار وازدياد عمليات التحات والتعرية المائية فضلاً عن ان رسم خارطة الانحدار تعطي للباحث نظرة شمولية عن درجات التحات المحتملة وأشكالها في المستقبل . (شكل ١٥ ـ ١) .

يلي الخطوة السابقة وصف المنطقة جيومورفولوجيا بما فيها من جبال ووديان وسهول وهضاب وقباب طبيات محدبة Anticline أو طبيات مقعرة Syncline وبيان درجة تلك الطبيات واتجاهاتها وميزاتها وتدريجية التكوين كانت أم فجائية المظهر باحداثيات الشمال الى الجنوب واحداثيات الشرق الى الغرب المحددة سلفاً بواسطة الشواخص الخشبية.

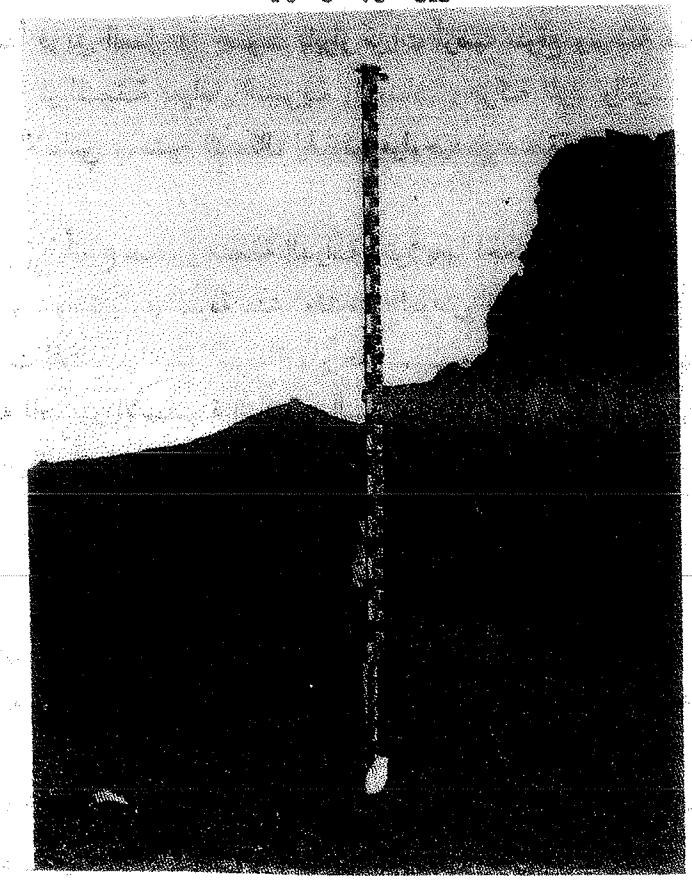
يبدأ فريق العمل في المجموعة بابراز ميزات أرضية الموقع ونوعيّة صخورها الظاهرة ومدى تأثر المنطقة بعوامل التجوية والتحات وحركة المواد والترسيب ، والوقوف على العامل الأساسي في نشوء الأشكال الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة .

يتم تميز أنواع صخور منطقة الدراسة وتوزيعها الجغرافي وبنائها الطباقي وتكوينها الفيزياوي والكيمياوي لمعرفة مدى مقاومتها لعوامل التعرية والتفكك وتحديد درجة ميل الطبقات المختلفة بواسطة البوصلة ، وأخذ عينات من الصخور ومقارنتها مع المواصفات العامة للصخور الأساسية الثلاث (النارية ، الرسوبية والمتحولة من حيث الكثافة والمسامية والتبلور والكتلية والطباقية ووجود المستحاثات ونوعية حبيبات الصخر ونوعية المادة اللاحمة) .

تحدد نوعية الصخور السائدة وطريقة تكونها ، عن طريق أخذ عينات من حبيبات الصخر بتكسيره بالمطرقة واستعمال السكينة لخدش الصخر لمعرفة درجة صلابته واستخدام العدسة لتحديد بلورات الصخر ونسيجه ، واستعمال بعض الحوامض المخففة مثل حامض الكلوردريك المخفف لمعرفة الصخور الجيرية القابلة للذوبان في هذا الحامض أو معرفة المادة اللاصقة حيث تكوّن الصخور الجيرية أو كاربونات الكالسيوم راسباً أبيض وفقاعات بينما لاتحدث مثل تلك الفقاعات والراسب في الصخور التي لاتحتوي على عنصر الجير كالصخور السليكية .



ستريوسكوب ذو المرايا



شكل (١٥ - ١)

أجهزة حقلية ومكتبية

تخضع مظاهر التعرية والحت والتجوية في منطقة الدراسة لعوامل الماء والهواء والجليد والموج البحري ، وأثر عامل التجوية في تهشم الصخور وتفتتها ، حيث ان شكل الحبيبات يدل على طريقة التجوية التي تكونت بها تلك المفتتات (تجوية كيمياوية أم فيزياوية) ، كما تلاحظ أثر الانزلاقات الأرضية وزحف التربة والصخور والانهيالات على منطقة الدراسة . مع الأخذ بنظر الاعتبار وجود بعض الظواهر الجيومورفولوجية الناتجة عن مقاومة بعض الصخور لعوامل التعرية والتجوية وظهورها الى السطح بالقوى الباطنية التكتونية أو بتأثير عوامل التحات مثل السدود الرأسية والأفقية أو الرواسب النارية الضخمة أو الحافات الصخرية والمدرجات النهرية والكويستات . فضلاً عن ضرورة معرفة ميزات صخور المنطقة وأعمارها الجيولوجية والتكوينات المعدنية لها ومقاطعها وبلوراتها وصلابتها ودرجة تركيبها الطبيعي ومدى انتشارها بالمنطقة وشكل هذه الطبقات (مائلة ، ملتوية ، شديدة الميل ، أفقية مصدعة) حيث تظهر بأشكال جيومورفولوجية على هيئة كويستات ، ظهور الخنازير ، قبابية ، مصدعة ، مائلة ، أو أنها قد تظهر على شكل سهول صحراوية ، اذ تقاس درجة ميل الطبقات عادة بواسطة آلة مبسطة يطلق عليها اسم كلينوميتر Clinometer ، وأخيراً يمكن التعرف على عمق الصخور بالنسبة الى سطح الأرض في منطقة الدراسة .

ان تتبع ظاهرة الوديان والصرف المائي وعلاقتها بالطبقات الصخرية ودرجات ميلها واتجاهاتها لها أهميتها في الوصول الى نوعية وأشكال الصرف المائي الأولية ، والمكسية والتالية والسالفة والمنطبعة .

كما وان ملاحظة ظاهرة الترسيب في المنطقة ومدى اختلافها بين المناطق المتوجة والمنخفضة والسهلية لها شأنها في تحديد نوعية الرواسب السائدة وتكوين الفرشات الارسابية الحصوية ، الرملية ، الطموية ، كما يمكن للباحث التطبيقي تحديد الشواهد والأدلة على الدورات التحاتية المتتالية وخاصة النهرية منها ، والتي تظهر على هيئة سطوح مدرجة يطلق عليها اسم المصاطب النهرية . تكونت هذه المدرجات نتيجة للتغيرات التي طرأت على مستوى القاعدة أو التبدلات في المناخ السائد خلال الفترات

الجيولوجية السابقة ، فضلاً عن ملاحظة أشكال المصاطب البحرية واشكال الكثبان الرملية ومدى ارتفاع وميل السهول التحاتية Peniplain .

تدلنا دراسة الرواسب المختلفة على مصادرها وعوامل نقلها ، فمن خلال دراسة الرواسب المختلفة يمكن تحديد مسارات الروافد القديمة التي كانت تصب حمولتها في مجرى النهر الرئيس أو تحديد مسارات الزحف الجليدي أثناء ترسب هذه الرواسب ، كما انها ترشدنا الى وجود ظواهر جيومورفولوجية اخرى كالأسر النهري أو تغير مجرى النهر أو نشوء المنعطفات وغيرها . يمكن التعرف على المكان الذي انتقلت منه هذه الرواسب عن طريق مقارنة الرواسب مع صخور المنطقة الأساسية حيث يمكن تصنيفها الى صخور شائعة الوجود لاتختلف كثيراً عن صخور المنطقة أو انها صخور غريبة ضالة انتقلت بواسطة عوامل النقل الأخرى كالماء والهواء والجليد اذ تتصف الصخور الجليدية الضالة بصفات خاصة تختلف عن الصفات التي تتسم بها الصخور المنقولة بواسطة الهواء أو الماء .

تدل الرواسب الكلسية والحديدية والمنغنيزية على نوعية التجوية التي أثرت على صخور المنطقة ، حيث ان دراسة مفتتات الصخور وخاصة الرواسب الحصوية من حيث حجومها ومظهرها وملمسها له أهميته في معرفة المسافة التي قطعتها هذه الرواسب والظروف المناخية التي ساعدت على نقلها ، فالاستدارة في الحصى تدل على بعد المسافة التي قطعتها الصخور خلال تدحرجها على قاع المجرى النهري ، وعلى هذا يمكن تمييز صخور الأنهار عن الصخور المنقولة بواسطة السيول والوديان أو الجليد أو نتيجة لانزلاقات السفوح . تتراكم الصخور ذات الزوايا الحادة بالقرب من صخور الام او قرب مجرى الوادي او قرب المنابع النهرية ، بينما تتوزع الصخور المستديرة كالحصى الصغير المكور والصقيل على مسافات بعيدة نتيجة لتأثره بعوامل الحت والبري لمسافة طويلة بحيث تهذبت جوانبه واضحى مستدير الشكل ، كما تدل أشكال طبقات الحصى على اتجاه حركة الثلاجات ، فتتكون الطبقات من زوايا حادة جداً من الأسفل الى الأعلى ويزداد حجم الحصى بنفس الاتجاه فيما اذا كان اتجاه النهر الجليدي الى الامام وبالعكس في حالات تراجع الجليد ، يمكن تحديد اتجاه محاور الحصى المترسب على هيئة فرشات في المصاطب النهرية أو البحرية ، حيث يتطابق الاتجاه العام لمحاور الحصى الكبرى

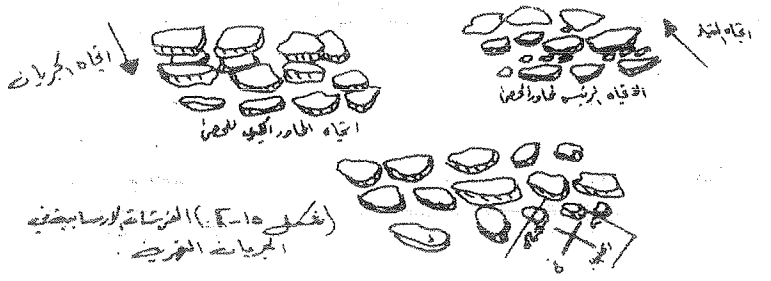
الأساسية مع اتجاه الجريان بشكل عام اما اذا كانت الحالة تعاكس هذا التطابق فمرده ترنح الجريان النهري في اتجاهات مختلفة نتيجة المنعطفات النهرية ، اذ تدل كل فرشة حصوية على شكل اتجاه الجريان خلال عملية الارساب (لاحظ الشكل ١٥ ـ ٢) .

لتحديد محاور الحصى الرئيسية ، نرسم على ورقة من الكارتون دائرة توضع عليها الاتجاهات الرئيسية والثانوية وتثبت هذه الورقة بشكل أفقي بحيث يشير فيها اتجاه الشمال الى الشمال الحقيقي لمنطقة المقطع ثم تؤخذ عينة من الحصى المترسب في ذلك الاتجاه وتقارن الرواسب الحصوية طبقاً للاتجاه المرسوم وتسجل النتائج على ورقة خاصة ، ثم يستدل من غالبية الاتجاه للرواسب الحصوية على اتجاه التيار أثناء فترة الترسيب .

يمكن تحديد حجم الحبيبات الرسوبية اما بغرابيل خشنة خاصة أو بغرابيل التربة المعروفة Seives ومن خلالها تحدد الصفات النوعية لحبيبات التربة أو الصخور (الجلاميد ، الحصى ، الرمل ، الغرين والطين) .

يمكن تطبيق نفس الخصائص والملاحظات السابقة على الرمال من خلال فحص حبيباتها بواسطة المجهر المجسم ، اذ يتضح من خلاله ان حبيبات الرمل المدببة تتلاحم مع بعضها بينما تنعدم ظاهرة التلاحم بين الذرات المستديرة فتصبح سهلة الحركة ، ويمكن تمييز الرمال الهوائية عن الرمال النهرية حيث تتصف الأولى باللمعان الداكن بينما تتميز الرمال النهرية باللمعان الجيد الواضح كما وتظهر الرمال المنقولة بواسطة الماء والهواء ذات لمعان متوسط بين النوعين السابقين

لغرض تحديد نسبة الحصى والجلاميد في منطقة الدراسة ، تؤخذ نماذج عشوائية تتكون من (١٠٠ ـ ١٥٠) حصاة وتقاس أبعادها والنسبة المئوية لمعامل التفلطح كما يلي :



شكل (١٥ - ٢)

فرشة حصوية تبين اتجاه الجريان خلال عملية الارساب

$$\text{معامل التفلطح} = \frac{\text{الطول الأعظم للعصاة} + \text{العرض الأكبر لها}}{\text{نصف سمكها}}$$

عند جمع معاملات التفلطح لجميع النماذج المأخوذة من العينة العشوائية يمكن اعطاء متوسط تفلطح الحصى في منطقة الدراسة .

ويمكن استخراج درجة استدارة الحصى بالطريقة التالية :

$$\text{معامل الاستدارة} = \frac{\text{قطر أقصر قمدب} \times ١٠٠٠}{\text{أكبر طول}}$$

(لقد ضربنا الناتج في الرقم ١٠٠٠ تلافياً للكسور العشرية التي قد تحصل) .

تصنف حبيبات الفرشات والرواسب المختلفة طبقاً لطول أقطارها من خلال غربلتها بغرابيل التربة الخشنة ، حيث يبلغ نصف قطر الرمل الهوائي بين ٢ ـ ١ / ١٦ من المليمتر وعلى أساس النسبة المئوية لهذه الحبيبات تتحدد نوعية الترب والفرشات من رملية الى غرينية الى طينية أو مزيجية (الغرينية من ١ / ١٦ ـ ١ / ٢٥٦ من المليمتر والطينية أقل من ١ / ٢٥٦ من المليمتر) .

يتم تصنيف الحبيبات الصخرية وحبيبات التربة بعد القيام بأخذ عينة مختارة من الرواسب السطحية أو من حفرة بطول متر واحد وبعرض نصف متر وبعمق ٣٠ سنتيمتراً ، وأخذ عينات من التربة بعد تنظيفها من الأدغال والحشائش ، ويمكن استعمال المثقب اللولبي Auger في حفر ثقب عميق يصل الى مستويات أوطأ للتربة ، ومن خلاله يمكن تحديد آفاق التربة وأخذ عينات منها من مستويات مختلفة لتحديد حجم حبيباتها ونسيجها ونوعيتها ولونها عن طريق الغربلة أو التحليلات المختبرية البسيطة ، بينما

تؤخذ نماذج أخرى بأكياس النايلون ويكتب عليها اسم المنطقة المأخوذة منها حيث تجرى عليها الدراسات التحليلية المختبرية في الجامعة أو المعهد بعد الرجوع من الرحلة أو بعد انتهاء العمل الحقلي التطبيقي . يتم تحديد لون التربة بواسطة دليل ألوان التربة Munsel colour chart الذي يوضح مدى احتواء التربة على المواد العضوية أو المعدنية ، يقاس اللون عادة أثناء ترطيب التربة وبعد تجفيفها حيث تظهر بالألوان التالية : الداكنة ، الخفيفة ، مدى وضوح اللون . ويحدد نسج التربة بما تحتويه من نسب من الرمل أو الغرين أو الطين فالترب الرملية ذات نفاذية عالية جداً ، بينما تعتبر الترب الطينية ذات نفاذية واطئة ، وتعتبر الترب المزيجية معتدلة النفاذية ، ويمكن قياس نسيج التربة باليد عن طريق لمسها بالأصابع بعد ترطيبها بالماء Hand Texturing (جدول ١٥ ـ ١) .

قياس حبيبات الصخور باليد :

يتم تصنيف الحبيبات الصخرية بواسطة اليد عن طريق القياسات الاعتيادية للأطوال والأوزان وتحديد الأنواع الصخرية بالعين المجردة أو باليد أو بواسطة قطعة من الصفيح بمساحة متر مربع تحتوي على ثقوب مستديرة ذات أقطار متباينة تستخدم لتحديد أقطار الرواسب الكبيرة عن طريق التجوية حيث توضع قطعة الصفيح على الرواسب بشكل عشوائي لأخذ عينات الصخور والحصى ثم قياسها طبقاً لمساحة الفتحات الموجودة في الصفيحة .

طريقة الغربلة الجافة :

تستخدم طريقة تفتيت الرواسب بطرقها بالخشب أو بقطعة من المطاط ثم تجفيفها بالفرن الكهربائي ووزنها وهي بحالتها الجافة ثم غربلتها بسلسلة من غرابيل التربة المتدرجة الفتحات وهزها بحركات يدوية ، أو بجهاز هزاز خاص تسمح بتساقط الذرات الدقيقة الى الغرابيل السفلى ثم اعادة وزن الحبيبات المغربلة في كل غربال واستخراج النسبة المئوية لكل عينة من رواسب الغرابيل ، مقارنة مع الوزن الكلي للرواسب

المغربلة والتي تمثل مئة بالمائة ، فاذا كانت غالبية الرواسب والحبيبات تقع في غربال معين ، عندئذ تصنف الرواسب من الحبيبات الخاصة بذلك النوع من الغربال (رملية ، صلصالية ، غرينية) أما اذا كانت الغالبية من الحبيبات تقع موزعة بين غربالين فتكون الرواسب خليطة (مزيجة) من نوع الحبيبات الخاصة بهذين الغربالين .

جدول رقم ١٥ ـ ١ أنواع التربة ومميزاتها الطبيعية التجريبية في الحقل[١]

انواع التربة	نسيجها ومميزاتها
١ ـ التربة الرملية	خشنة محببة لاتتماسك عند ترطيبها بالماء ، وعندما تجف فانها تتفرط على شكل حبيبات رملية يمكن رؤيتها بالعين المجردة .
٢ ـ خليطة رملية	خشنة محببة ، تتوشك ان تتماسك عند ترطيبها بالماء .
٣ ـ رملية مزيجة	خشنة يمكن ان ترى حبيبات الرمل بالعين المجردة ولكنها تتماسك بوضوح عند ترطيبها .
٤ ـ رملية غرينية مزيجة	ملمسها صابوني حريري خفيف ولكن حبيبات الرمل يمكن مشاهدتها بالعين المجردة ، عند ترطيبها تلوث الأصابع قليلاً . ويتغير شكلها عند الضغط عليها ، ولايمكن صقلها أو تكوين كرات منها عند ترطيبها .
٥ ـ رملية طينية مزيجة	خشنة تلتصق قليلاً ، الرمل يمكن رؤيته بالعين المجردة ، يمكن تكوين كرات منها عند ترطيبها ولكن لايمكن صقلها .

٦ . طينية مزيجة	تلتصق بالاصابع ، يمكن تكوين كرات ، قابلة للصقل ، تقاوم الضغط وتحوير الشكل عند ترطيبها .
٧ . غرينية طينية مزيجة	صابونية الملمس ، تلتصق قليلاً ، تلوث الاصابع ، قابلة للصقل عند ترطيبها .
٨ . رملية طينية	حبيبات الرمل واضحة ، تلتصق بشكل
٩ . غرينية طينية	عام فيها بعض المحتويات الخشنة ، تقاوم الضغط وتغيير الشكل ، قابلة للصقل وتتكون منها الكرات بعد ترطيبها .
١٠ . طينية	تلتصق وهي ملمس صابوني ، تلوث الاصابع يمكن عمل شرائط منها عند نقلها ولصقها ، لايمكن تكوين حلقات منها . تلتصق بقوة قابلة لعمل الحلقات وقابلة للصقل ببساطة ، مقاومة للضغط يتغير شكلها عند ترطيبها .

طريق تصنيف الرواسب بجهاز الهيدرومتر :

تتم عملية تصنيف الحبيبات الصخرية بطريقة التحليل بالانابيب الماصة التي تتلخص عمليتها بالخطوات الآتية :

تؤخذ عينة جافة وزنها ٢٠٠ غرام من الحبيبات الصخرية ، بعد استبعاد الحبيبات الخشنة التي يزيد قطرها على ٢ مليمتر بواسطة النخل الجاف ، ثم تعزل حبيبات الرمل الخشن والمتوسط بواسطة النخل بالماء والتي تشتمل على رمل خشن جداً بقطر يتفاوت بين ١ ـ ٢ مليمتر ، ورمل خشن بقطر يتراوح بين ٥ر٠ ـ ١ مليمتر ، ورمل متوسط الخشونة بقطر بين ٢ر٠ ـ ٥ر٠ مليمتر ، ورمل ناعم بقطر ١ر٠ ـ ٢ر٠ مليمتر ، ثم تؤخذ الرواسب التي يقل قطر حبيباتها عن ١ر٠ مليمتر وتجفف بالفرن الكهربائي الى درجة ١١٠ درجة مئوية لاستبعاد الماء الكامن منها ، ثم توزن الرواسب ، تطرح المواد العضوية من الرواسب المنتقاة بواسطة محلول كلوريد الكالسيوم وتجفف لتؤخذ منها كمية مقدارها ٥٠ غراماً لمتابعة التحليل .

توضع الرواسب التي يبلغ وزنها ٥٠ غراماً في قنينة اختبار ذات حجم ٧٥٠ سم ٣ ويضاف الى المحلول ٥٠٠ سم ٣ من الماء المقطر وغرامين من مادة الكالجون بغية فصل الحبيبات وتشتيت بعضها عن البعض الآخر ثم توضع القنينة فوق الجهاز الهزاز (أو هزها باليد هزات متتالية) لعدة ساعات تقريباً حيث يزداد هذا الوقت بازدياد نسبة الطين في العينة ، ثم تفرغ العينة من قنينة الاختبار (ذات الحجم ٧٥٠ سم ٣) في بودقات زجاجية اسطوانية مدرجة بسعة ١٠٠٠ سم ٣ ويسكب بداخلها الماء المقطر حتى يرتفع المحلول الى مستوى ١٠٠٠ ملم . يحرك المحلول بشدة بقضيب زجاجي بغية وصول المحلول الى حالة التجانس ويترك في درجة حرارية لاتقل عن ٢٠ درجة مئوية لتظل الحبيبات عالقة الماء قبل وضعها في جهاز القياس (الهيدرومتر) ثم يسكب المحلول في جهاز القياس Bougoux Hydrometer وتجرى عليه القراءات المتلاحقة بعد ذلك خلال فترات معينة (دقيقة ، دقيقتين ، خمس دقائق .... الخ) وبذلك نحصل على النتائج المطلوبة في تصنيف الحبيبات الصخرية .

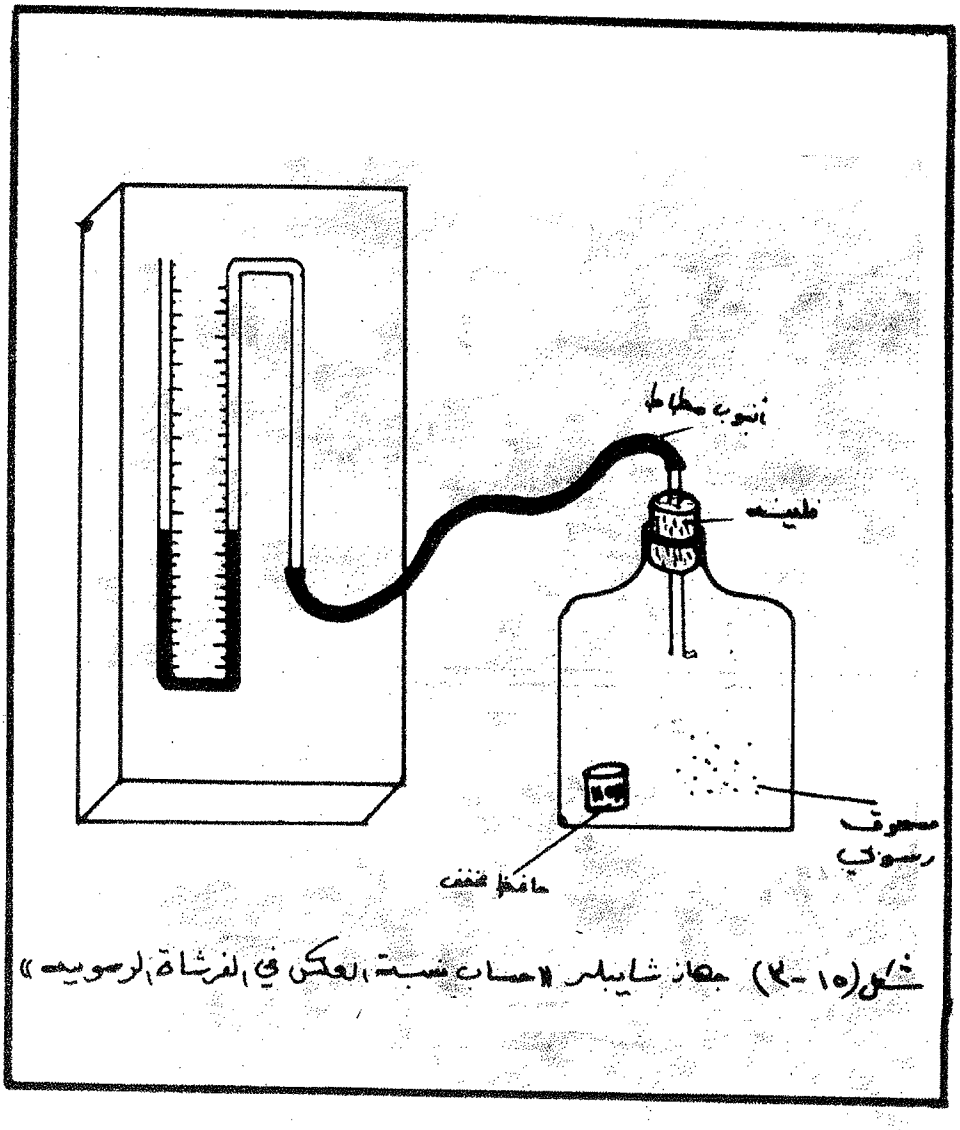
التحليل بواسطة الأنابيب الماصة :

تعتبر هذه الطريقة من أفضل الطرق المستعملة في تصنيف الحبيبات الرسوبية بالنظر لنتائجها الدقيقة ، حيث تتبع فيها نفس الخطوات السابقة ، باستثناء الخطوة الأخيرة حيث يسحب المحلول المخلوط في البودقة الزجاجية الاسطوانية المدرجة بواسطة انبوبة ماصة ولعدة مرات متتالية بحجم مقداره ١٠ سم ٣ لكل مرة ، اذ توضع العينة الجديدة التي يبلغ حجمها ٧٠ سم ٣ في سبعة أوان خزفية (يوضع في كل اناء خزفي ١٠ سم ٣ من المحلول) ثم تجفف هذه العينة الموضوعة في الأواني السبعة في فرن كهربائي لاتزيد درجة حرارته عن ١١٠ درجة مئوية ولمدة ٣٠ دقيقة ، ثم يوزن الناتج المجفف من الرواسب وتحسب نسبته المئوية وتسجل النتائج وترسم الأشكال البيانية لتحديد النسب المئوية للحبيبات في عينة الرواسب المختارة . نتيجة للملاحظات المتكررة وجد ان ٥٠ بالمائة من حبيبات الرواسب الهوائية تتفاوت أقطارها بين ٠٫٠٢ ـ ٠٫٠٥ من المليتر ، بينما تتصف الرواسب المائية بحبيبات أكثر خشونة اذ تقطع أقطارها بين ٠٫٠٢ ـ ٠٫٠٠٢ من المليتر .

تحديد رواسب الكلس في الصخور الرسوبية :

يمكن تحديد كاربونات الكالسيوم في الصخور الرسوبية بشكل عام عن طريق اضافة حوامض مخففة مثل حامض الكلوردريك Hcl المخفف ، بينما يجري تحديد نسبة كاربونات الكالسيوم مختبرياً بواسطة جهاز خاص يسمى شايبلر البسيط (لاحظ الشكل ١٥ ـ ٣) .

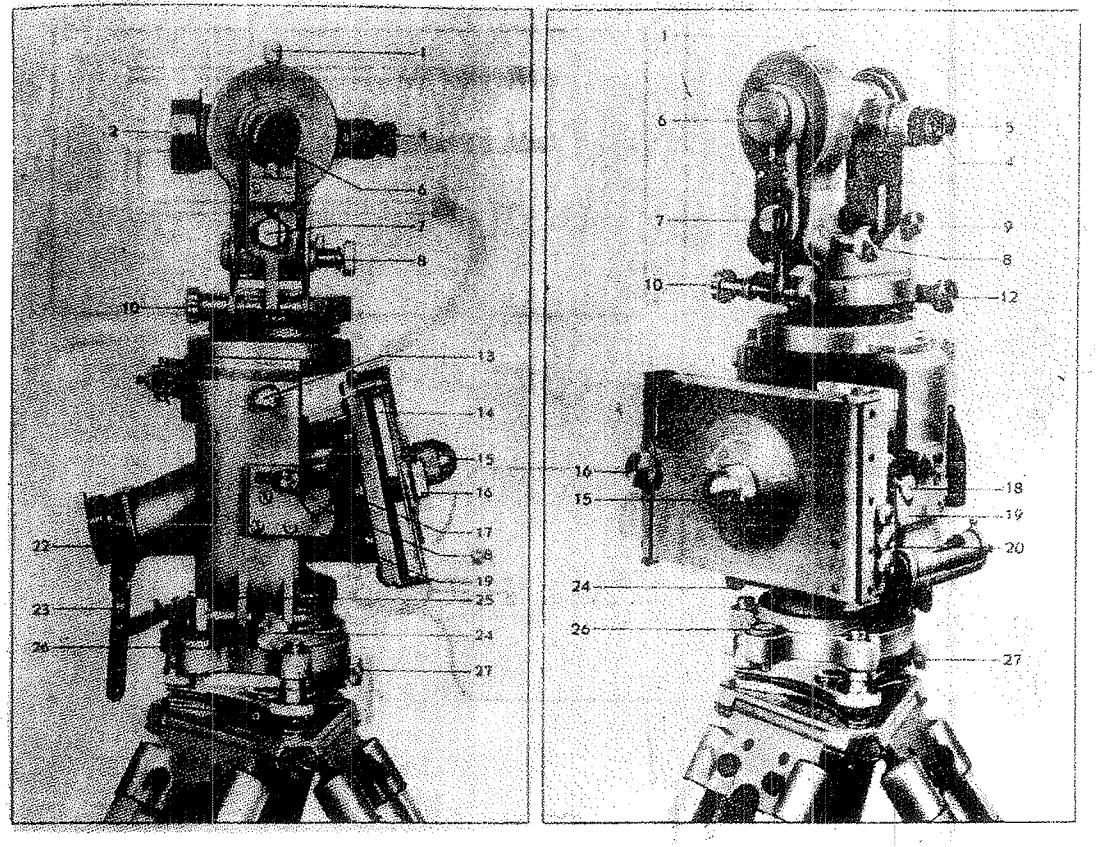
بعد الانتهاء من الأعمال الجيومورفولوجية السابقة لابد من التعرف على نوعية النبات الطبيعي السائد في منطقة الدراسة ابتداء من الحشائش والاعشاب الى الاشجار الكبيرة مع تسجيل نسبة كل من تلك النباتات في المنطقة مع أخذ عينات منها .



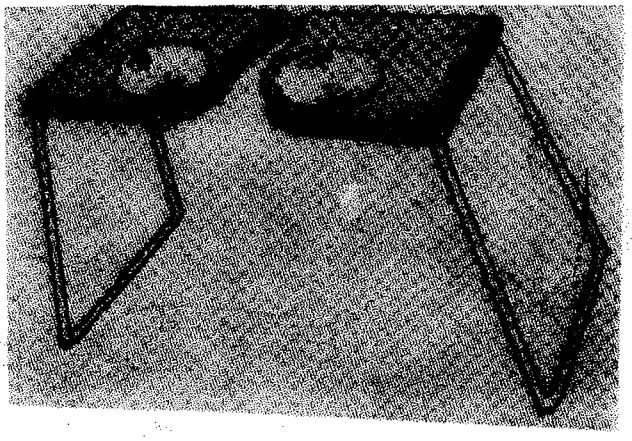
شكل (١٥-٢) جهاز شايبلر لحساب نسبة الكلس في الفرشاة الرسوبية »

شكل (١٥ ـ ٣)

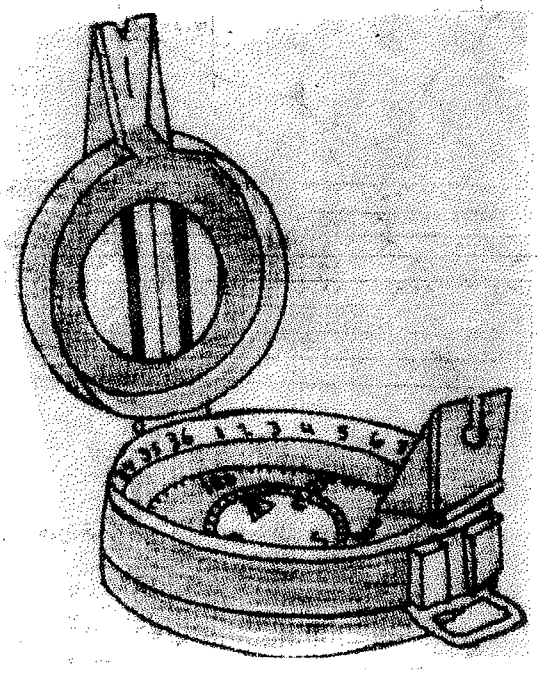
جهاز شايبلر ، قياس نسبة الكلس في الفرشاة الرسوبية »



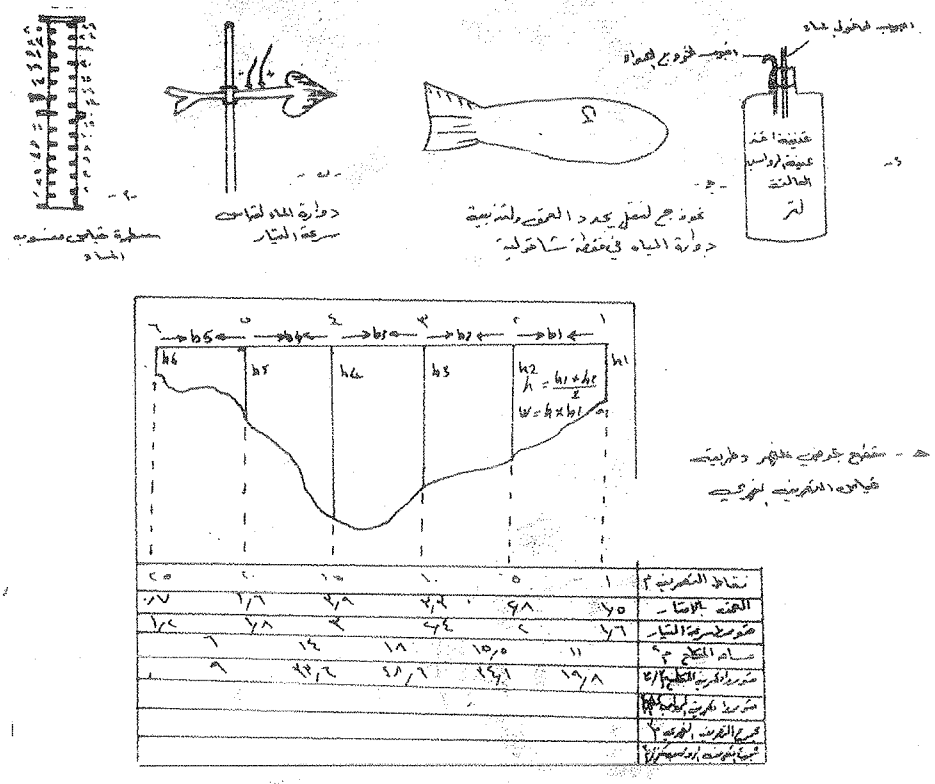
فوتو ثيودولايت



ستريوسكوب -بيبي



بوصلة



شكل (١٥ ـ ٤)

أجهزة قياس عمق المياه وسرعة الماء وكمية الحمولة العالقة

وطريقة قياس التصريف الهزي ومنسوب الماء

تجرى مناقشة ومداولة نتائج الأعمال الحقلية التطبيقية وتقويمها بعد الانتهاء من العمل التطبيقي لتلافي النقائص والأخطاء والسهو التي يمكن ان تحدث خلال العمل الحقلي ومن الممكن تجاوزها وتلافيها خلال العمل التطبيقي اللاحق (ان وجد) أو خلال العمل المكتبي فيما بعد . يمكن مناقشة النتائج والمحصلات التطبيقية مع الفرق والمجموعات الأخرى التي قامت بنفس العمل الجيومورفولوجي والذي انجزته من قبل للتعرف على أوجه التشابه والاختلاف بين نتائج المجاميع المختلفة .

العمل المختبري المكتبي :

يتم تقويم العمليات التطبيقية السابقة ونتائجها واجراء بعض التحليلات المختبرية التي تعذر اجراؤها في الحقل مثل قياس درجة حموضة التربة بواسطة جهاز ph meter☆ (اذ تقاس حموضة التربة عادة بواسطة جهاز كهربائي ذي شاشة زجاجية تظهر عليها أرقام تدل على درجة حموضة التربة عند غمس قطبين كهربائيين في اناء يحتوي على محلول من التربة الممزوجة بالماء ، تمزج عشرة غرامات من التربة المطحونة مع ٥٠ سم ٣ من الماء المقطر وتوضع في قنينة زجاجية تترك لمدة ٢٤ ساعة لغرض اتمام عملية انحلال التربة بالماء) حيث يتصل القطبان بسلكين مربوطين الى الجهاز نفسه .

تقارن نتائج فرق العمل المختلفة مع بعضها بالنتائج السابقة او بالتطبيقات الحقلية السابقة وتقوّم النتائج المستنبطة وتستدرك النقائص والأخطاء بعد الاطلاع مرة أخرى على الخرائط الجيومورفولوجية والصور الجوية لمنطقة الدراسة فضلاً عن ضرورة مراجعة التقارير التي تناولت دراسة المنطقة ومقارنتها مع المشاهدات والملاحظات والتجارب الفردية التي نفذتها المجموعات الحالية للتأكد من تطابقها . بعد الانتهاء من مناقشة العمل

التطبيقي بايجابياته وسلبياته في هذه المنطقة ، يحدد المشرف منطقة أخرى بعد مناقشتها واجراء التعديلات الضرورية على مواقعها اذا اقتضت الضرورة ، لاجراء نفس الدراسات الحقلية متجاوزين النقائص والسلبيات التي طرأت على الدراسة الأولى ، وقد يوجه المشرف مجموعته الى دراسة حقلية تطبيقية أخرى كالصرف المائي او دراسة الأشكال الجيومورفولوجية الساحلية البحرية أو الأشكال الجيومورفولوجية الصحراوية طبقاً للجدول المحدد سلفاً للدراسات الحقلية التطبيقية .

وقد تصنف التربة طبقاً لأعماقها كما في الجدول رقم ١٥ ـ ٢ .

الجدول رقم ١٥ ـ ٢ تصنيف الترب طبقاً لأعماقها

اسم التربة	العمق
١ ـ التربة الضحلة جداً	من صفر الى ٣٠ سم
٢ ـ التربة الضحلة	من ٣٠ ـ ٦٠ سم
٣ ـ التربة المتوسطة العمق	من ٦٠ ـ ٩٠ سم
٤ ـ التربة العميقة	من ٩٠ ـ ١٥٠ سم
٥ ـ التربة العميقة جداً	أكثر من ١٥٠ سم

ثانياً : الدراسة الحقلية الهيدرولوجية :

خلال الدراسات الحقلية الهيدرولوجية من المفيد جداً التعرض لمعرفة النظم النهرية وأحواض الصرف النهري وأنواعها التي تطرقنا اليها في دراستنا النظرية السابقة ثم الانتقال الى معرفة ومقياس المراتب النهرية المختلفة في الحوض النهري الواحد . يقصد بالمراتب النهرية مجموعة الروافد التي يتكون منها النهر نتيجة لتجمع الروافد الصغيرة جداً والتي تعد بدايات المسيلات والجداول المائية الى ان تتجمع مع بعضها فتنمو طولاً وسعة وتصريفاً الى ان يتكون النهر الرئيس الذي يأخذ مجراه الى مصبه في البحر أو المحيط أو البحيرة أو في نهر آخر أو داخل اليابسة فيما اذا كان من أنهار الصرف الداخلي .

توجد عدد من الطرق لتحديد المراتب النهرية منها طريقة **شتراهلر وهورتن** ، لفوفج وستريف وشايدكر ، الا ان الطريقة الأولى يغلب استعمالها لسهولتها ووضح طريقة تحديد مرتبة الجداول والوديان . تتلخص طريقة **شتراهلر** (سنة ١٩٥٢) بان المسيلات والجداول الصغيرة التي لاتصب فيها أية مسيلات أو وديان أخرى تعتبر أنهار من المرتبة الأولى بينما تتكون أنهار المرتبة الثانية من تجمع أنهار المرتبة الأولى وتتكون انهار المرتبة الثالثة من تجمع أنهار ووديان المرتبة الثانية على التوالي حتى نصل الى النهر الرئيس الذي يحمل المرتبة العليا حيث يتكون من مجموع أنهار المراتب المختلفة (تتلخص طريقة لفوفج بشكل معاكس تقريباً للطريقة السابقة حيث جعل النهر الرئيس يحمل أصغر المراتب وتزداد درجة المرتبة النهرية بتجمع الوديان والجداول الى ان نصل الى أصغر الجداول والمسيلات والتي تحمل أعلى المراتب) راجع الفصل الثامن .

ان طريقة شتراهلر في تحديد المراتب النهرية لها أهمية في دراسة كمية التصريف المائي الخاصة بكل نهر او رافد أو بمجموعة من الوديان ذات مراتب متشابهة أو متباينة .

عند مقارنة النسبة بين عدد مجاري مرتبة ما الى مجاري مرتبة تالية او سابقة أمكن استخراج مايطلق عليه اسم « نسبة التشعب » .

مجموع الوديان في مرتبة عليا

نسبة التشعب = ——————

مجموع الوديان في مرتبة لاحقة

يمثل الجدول الآتي ١٥ ـ ٣ عدد المراتب النهرية لنهر ما وعدد مجاري كل مرتبة ونسبة التشعب .

الجدول ١٥ ـ ٣

مرتبة المجرى النهري (م)	مجموع المجاري في كل مرتبة (ن)	نسبة التشعب (ب)
١	١٣٩	-
٢	٤٦	٣ر٢
٣	١١	٤ر١٨
٤	٣	٣ر٦٦
٥	١	٣

لقد أوضح هتون عند دراسته الأحواض النهرية المختلفة أن نسبة التشعب بين مراتب مجاري الأنهار تشكل نسبة ثابتة من حوض لآخر فيما اذا كانت الظروف المناخية والبنية والتركيب الجيولوجي متشابهة بين الحوضين وغالباً ماتقع هذه النسبة بين ٣ و ٥ . اما اذا اختلفت الظروف المناخية والبنية والتركيب الجيولوجي بين حوضي نهرين متجاورين أو غير متجاورين فحينئذ تختلف نسبة تشعبها الواحدة عن الأخرى نتيجة لذلك الاختلاف في البنية الطبيعية لهما .

أوجد هورتون (١٩٤٥) قانوناً يحدد فيه عدد المجاري المائية النهرية في الحوض (Low of stream numbers) ويتلخص بأن عدد المجاري المائية التي تتدرج تناقصياً في مجاميعها أو مراتبها تكوّن متوالية هندسية تبدأ بأعلى المجاري مرتبة وتزداد طبقاً لنسبة تشعب ثابتة . فمثلاً اذا كانت نسبة التشعب تساوي ٣ وكانت مرتبة المجرى الرئيسي تساوي ٦ فان عدد المجاري المائية لكل مرتبة ستظهر على الشكل الآتي : ن١ = ٣٦ - ١ ، ٣ ، ٩ ، ٢٧ ، ٨١ ، ٢٤٣ .

وقد أوجد هورتن أيضاً قانوناً لاستخراج مجموع مجاري الحوض طبقاً للشكل الآتي :

$$\frac{ب^{ن}-١}{ب-١}$$

حيث أن : ك = مجموع مجاري الحوض لدرجة معينة

ب = نسبة التشعب

ن = المرتبة العليا للمجرى النهري

فعند تطبيق المثال السابق على هذه المعادلة يمكن استخراج عدد المجاري النهرية في الحوض .

عدد المجاري في الحوض =

$$= \frac{٣^{٦}-١}{٣-١} = \frac{٧٢٩-١}{٢} = \frac{٧٢٨}{٢} = ٣٦٤$$

طول المجرى النهري :

هي المسافة التي يقطعها النهر على اليابسة ويمكن قياس الأطوال النهرية من الخرائط الطبوغرافية باستعمال الخيط أو عجلة القياس أو الفرجال لتحديد طول النهر على الخارطة ثم تحويلها الى كيلومترات اعتماداً على مقياس رسم

الخارطة . ويقاس طول النهر أو الوادي حقلياً بواسطة سلسلة طولها ٢٠ متراً لقياس مقاطع من النهر ثم جمع هذه القياسات لتكون من ثم الطول الحقيقي للنهر . وعادة مايكون الطول الحقيقي أكبر من طول النهر بخط مستقيم (أو الطول النموذجي) ولذا ظهر لدينا مايطلق عليه معامل الانعطاف الذي يستخرج عادة على الشكل الآتي :

$$\text{معامل الانعطاف} = \frac{\text{طول النهر الحقيقي}}{\text{طول النهر النموذجي}}$$

فاذا كان طول النهر الحقيقي مثلاً ٣٤٠ كم وطوله النموذجي ٢١٠ كم فمعامل الانعطاف يساوي ٦٢ر١ ولمعامل الانعطاف أهمية خاصة في معرفة مدى زوغان النهر وانعطافه والتوائه مما له تأثيرات سلبية على طرق المواصلات النهرية وعلى عملية الجريان النهري .

تتصف أطول مجاري الأنهار من المرتبة الأولى بأنها أصغر طولاً من وديان المرتبة الثانية وجداول المرتبة الثانية أصغر من وديان المرتبة الثالثة على التوالي .

وقد قدر العالم هورتن العلاقة بين طول المجرى النهري ومرتبته بالشكل الآتي : (يزداد متوسط طول المجاري النهرية بنسبة ثلاثة أمثال طولها بازدياد مرتبة المجرى) وقد تتغير هذه النسبة في بعض الأنهار نتيجة لعوامل وظروف طبيعية على طول المجرى النهري حيث تتغير بوضوح نسبة أطوال المجاري النهرية .

الكثافة النهرية الطولية (كثافة الصرف) :

تستخرج الكثافة النهرية الطولية بتجميع أطوال جميع الجداول والانهار بمراتبها المختلفة مقسوماً على مساحة الحوض العامة ، فيوضح الناتج طول الأنهار والمجاري المائية على الكيلومتر المربع الواحد من الحوض النهري .

$$\text{ك ط} = \frac{\text{مجموع أطوال الأنهار كم}}{\text{مساحة الحوض كم ٢}}$$

الكثافة العددية النهرية (التكرار النهري) :

يقصد بها عدد الأنهار والمجاري المائية على الكيلومتر المربع الواحد من الحوض النهري وتستخرج عادة كالآتي :

$$\text{ك ع} = \frac{\text{مجموع الأنهار}}{\text{مساحة الحوض كم ٢}}$$

الحوض النهري :

تختلف الأحواض النهرية بمساحاتها وأشكالها وتضاريسها ، توجد أحواض نهرية واسعة جداً بينما توجد أخرى قليلة المساحة ، وتتباين أشكالها من الشكل المستدير الى المستطيل بينما تختلف التضاريس بين أحواض مضرسة وأحواض غالبيتها مناطق سهلية .

تستخرج مساحة الحوض عادة بعد تحديد الحوض النهري على الخارطة الطبوغرافية اذ يفصل خط تقسيم المياه (وهي المناطق المرتفعة التي تفصل بين منطقتين متجاورتين) بين الأحواض المتجاورة وعلى هذا الأساس يحدد الحوض ثم تستخرج مساحته باستخدام جهاز بلانوميتر أو استخدام طريقة المربعات والأشكال الهندسية المنتظمة أو التكيلية ثم تحويل المساحة المستخرجة من الخارطة الى الكيلومترات المربعة طبقاً لمقياس رسم الخارطة .

تستخرج نسبة استدارة الحوض وفق الشكل الآتي :

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

حيث توضح هذه النسبة مدى مقاربة شكل الحوض للشكل المستدير .
ويستخرج معامل شكل الحوض كالآتي :

$$\text{معامل شكل الحوض} = \frac{\text{مساحة الحوض كم}^2}{\text{مربع طول الحوض كم}^2}$$

يتضح من هذه النسبة مدى تشابه الحوض مع الشكل الرباعي أو المستطيل . أما نسبة التفرس فتستخرج طبقاً للمعادلة الآتية :

التضرس (الفرق بين أعلى وأوطأ نقطة في الحوض / بالأمتار

نسبة التضاريس = ----------

طول الحوض (بالكيلومترات)

الخصائص الشكلية للحوض النهري :

ان لشكل الحوض تأثيراً واضحاً على الصرف المائي وله دلالات هيدرولوجية واضحة ، وعلى الرغم من امكانية معرفة شكل الحوض من خلال ملاحظة خارطة الحوض ، الا ان اجراء القياسات المورفومترية للأحواض المائية تقودنا الى استنتاج العلاقة الكية بين خصائص شكل الحوض وهيدرولوجية النهر ، ومن ابرز خصائص شكل الحوض ذات الأثر على الوضع الهيدرولوجي للنهر هي نسبة تماسك المساحة ونسبة تماسك المحيط ومعامل شكل الحوض .

ان أشكال الأحواض المائية تقارن عادة بأشكال هندسة كالشكل الدائري والمستطيل والمثلث ، حيث تشير نسبة تماسك المساحة الى اقتراب أو ابتعاد شكل الحوض عن الشكل الدائري ، فالقيم المرتفعة في نتائج نسبة تماسك المسافة تشير الى اقتراب شكل الحوض من الشكل الدائري . اما انخفاض نسبة تماسك المساحة فتشير الى ابتعاد الحوض عن الشكل الدائري ، اما انخفاض نسبة تماسك المساحة فتشير الى ابتعاد الحوض عن الشكل الدائري ، وبعبارة أخرى ان خطوط تقسيم المياه لاتسير بشكل منتظم بل تمر بتعرجات واضحة . إذ يتم استخراج نسبة تماسك المساحة وفق المعادلة السابقة :

مساحة الحوض / كم ٢

نسبة تماسك المساحة = ——————————

مساحة دائرة يساوي محيطها محيط الحوض / كم ٢

اما نسبة تماسك المحيط فيتم بمقارنة محيط الحوض بمحيط دائرة لها نفس مساحة حوض النهر ويتم استخراجه وفق المعادلة الآتية :

$$\text{نسبة تماسك المحيط} = \frac{1}{\text{نسبة تماسك المساحة}}$$

تظهر نتيجة هذه المعادلة بقيمة تزيد على الواحد دائماً ، فكلما ارتفعت قيمة نسبة تماسك المحيط كلما ابتعد شكل الحوض عن الشكل الدائري .

اما معامل شكل الحوض فيستدل منها على مدى تباعد أو تقارب شكل الحوض من الشكل الهندسي المثلث ، فانخفاض قيم معامل الشكل يدل على اقتراب شكل الحوض من الشكل المثلث ، وارتفاع القيم يعني ابتعاد شكل الحوض عن الشكل المثلث ويتم استخراج معامل شكل الحوض طبقاً للمعادلة السابقة وهي :

$$\text{معامل شكل الحوض} = \frac{\text{مساحة الحوض / كم}^2}{\text{مربع طول الحوض / كم}^2}$$

للخصائص الشكلية السابقة تأثير واضح على الوضع الهيدرولوجي للنهر وبشكل خاص طبيعة الصرف المائي للنهر ، فالأشكال الحوضية المستطيلة تتصف بجريانات مائية منتظمة من الناحية الزمانية وبكميات تصريفية واطئة نسبياً مقارنة مع الأشكال الحوضية القريبة من الشكل الدائري بسبب تعرض الكميات التصريفية الى عاملي التبخر والتسرب خلال رحلة المياه من المنبع الى المصب .

تتصف الأشكال الحوضية الدائرية بجريانات مائية غير منتظمة زمانياً وبكميات تصريفية عالية بسبب سرعة وصول الموجات التصريفية من بيئة المنبع الى المصب .

يستنتج من ذلك ان طول فترة الفيضان في الأحواض المائية المستطيلة أطول منها في الأحواض المائية القريبة من الشكل الدائري وهذا يعني أن دلالة خطر الفيضان في الأحواض المائية المستطيلة أقل من دلالة خطر الفيضان في الأحواض المائية المستديرة . ان لمعامل شكل الحوض أثراً واضحاً في سرعة وصول الموجات التصريفية الى الذروة وفي سير التصاريف المائية ، ففي حالة انخفاض قيم معامل شكل الحوض واقترابه من شكل المثلث مع كون منطقة المنبع تشكل رأس المثلث ومنطقة المصب تشكل قاعدته فان التصريف المائي يبلغ الذروة بعد سقوط الأمطار مباشرة كما ان الفترة الزمنية اللازمة لوصول موجة الفيضان من المنبع الى المصب تكون قصيرة جداً ، بينما يحصل العكس تماماً في حالة كون منطقة المنبع تشكل قاعدة المثلث ومنطقة المصب تشكل رأسه ، حيث ان التصريف المائي يحتاج الى فترة زمنية طويلة لوصول الذروة أولاً ومن ثم الوصول الى منطقة المصب ثانياً ، بسبب اتساع مساحة الحوض تجاه منطقة المنبع .

عند تطبيق هذه الخصائص والمعادلات السابقة على احد الأنهار في العراق مثلاً نجد ان نسبة تماسك مساحة حوض نهر ديالى تقع بحدود ٠٫٢٣٨ اي بمعنى ابتعاد شكل الحوض عن الشكل الدائري وعدم الانتظام في اتجاه خطوط تقسيم المياه بين حوض النهر والأحواض النهرية المجاورة ، وان تأثير هذا الشكل على الوضع الهيدرولوجي للنهر يبدو واضحاً من حيث ارتفاع قيم فترة التلكؤ الـ ٤٨ ساعة وانخفاض دلالة خطر الفيضان الى ١٢٫٧ وارتفاع نسبة تصريف الفيضان من التصريف الكلي الى ٦٦ ٪ في سنة ١٩٦٩ بسبب طول فترة الفيضان ١٠٩ يوم الناجم عن تأخر وصول الموجات المائية الى موقع التصريف طبقاً لخصائص شكل الحوض (يقصد بفترة التلكؤ الفترة الزمنية بين أعلى قمة مطرية وذروتها التصريفية النهرية ، في حين ان دلالة خطر الفيضان تمثل أقصر تصريف عال مسجل مقسوماً على الجذر التربيعي لمساحة حوض التغذية / بالكيلومترات المربعة) وبمقارنة خصائص شكل الحوض في أعالي نهر ديالى يلاحظ ارتفاع نسبة تماسك المساحة حوالي ٠٫٣٠ أي يقارب شكل الحوض الشكل الدائري وعلى هذا تصل الموجات التصريفية بشكل أسرع من المقطع السابق بدليل انخفاض فترة التلكؤ الى ٢٤ ساعة وارتفاع معامل انحراف التصريف العالي الى ٨٦ ٪ ، مع ارتفاع خطر الفيضان الى ١٥٫٧ ، وانخفاض

نسبة تصريف فترة الفيضان في نفس السنة المائية الى ٤٨ ٪ بسبب قصر طول فترة الفيضان الى ٨٨ يوماً .

يمكن القول ان تباعد شكل حوض نهر ديالى عن الشكل الدائري راجع الى الحركات التكتونية التي حدثت في المنطقة وادت الى تكوين السلاسل الجبلية ضمن منطقة الحوض ، اذ ان عدم استقرار المنطقة تكتونياً وتعرضها الى الهزات الأرضية المتباينة من حيث الشدة أسهم في اعطاء شكل الحوض صفة الابتعاد عن الشكل الدائري .

قياس مناسيب وتصاريف الأنهار والجداول حقلياً :

يوجه مشرف المجموعة فريق عمله للقيام بالقياسات الميدانية لمنسوب الماء والتصريف في الوادي و النهر الموجود في منطقة الدراسة الحقلية . يتباحث المشرف معهم حول اختيار الموقع الجيد لاجراء القياسات المطلوبة كعدم وجود الحواجز الصخرية والنباتية في المجرى وابتعاده عن منطقة المنعطف النهري ومن المفضل اختيار بعض الجسور للقيام بعملية القياس .

تختلف عمليات قياس المنسوب والتصريف المائي بين الأنهار والوديان الضحلة والأنهار العميقة لذا ستعالج هذه الدراسة الحقلية كلا على حده .

أ ـ الأنهار والوديان الضحلة (قليلة العمق ٢٠ ـ ١٢٠ سم) .

يتم قياس منسوب وتصريف الوديان والأنهار الضحلة (قليلة العمق) التي يتراوح عمقها بين ٣٠ ـ ١٢٠ سم بالطريقة الآتية :

١ ـ تحديد مسافة طولها ٢٠ متراً على طول ضفة النهر ووضع علامة تحدد ذلك .

٢ ـ قياس عرض النهر بواسطة شريط المساحة وتسجيله في الجدول .

٣ ـ تثبيت شواخص حديدية على عرض النهر وعلى بعد خمسة أمتار بين الواحدة والأخرى .

٤ ـ قياس عمق الماء في النقاط السالفة الذكر وتسجيله في الجدول الخاص .

٥ ـ قياس سرعة الماء (اذا كان عمق الماء أقل من ٥٠ سم) عن طريق رمي فلينة في عرض المجرى ومتابعة جريانها زمانياً بواسطة ساعة توقيت من بداية تحركها حتى وصولها الى نقطة النهاية التي تبعد عشرين متراً (المذكورة في الفقرة الأولى) ثم تكرر هذه العملية عدة مرات ومن نقاط متعددة على عرض النهر . حيث يسجل الوقت الذي تقطعه الفلينة في كل مرة وبعملية حسابية بسيطة نستخرج سرعة الماء في الثانية في النقاط المتعددة على عرض الواد ويمكن استخدام متوسط السرعة لجميع النقاط عن طريق قسمة مجموع السرع على عدد النقاط المأخوذة فيها تلك السرع .

$$\text{سرعة الماء تساوي} = \frac{\text{المسافة (٢٠ م)}}{\text{الزمن (١٠ ثانية}} = ٢ \text{ م / ثانية}$$

وتقاس سرعة الماء الذي يزيد عمقه على ٥٠ سم بواسطة دوارة الماء ـ جهاز قياس سرعة الماء Current meter ، حيث يثبت الجهاز في شاخص حديدي متدرج الارتفاع اذ يمكن قياس عمق الماء وتثبيت دوارة الماء فيه وتبدأ سرعة الماء عن طريق حساب عدد الدورات التي تدور فيها دوارة الماء في الثانية ، وتعاد الطريقة مرتين أو ثلاث مرات ثم تأخذ الوسط الحسابي لعدد الدورات ونعيد العملية نفسها في بقية النقاط المؤشرة في الفقرة (٣) وبعد الانتهاء من قياس وتسجيل دورات الجهاز في الجدول الخاص تقارن هذه الدورات مع جدول خاص بالجهاز حيث يبين لنا سرعة الماء مقابل عدد الدورات المعينة وبهذه الطريقة نتمكن من قياس سرعة الماء في النقاط المؤشرة وبطريقة بسيطة اذ يقوم أحد أعضاء الفريق بمسك الشاخص الذي يحمل دوارة الماء ويعمل الثاني على ملاحظة الجرس الكهربائي الذي يبين عدد الدورات ويعمل الآخر على تحديد الوقت بين ضربة الجرس الأولى وضربة الجرس الثانية والثالثة (حيث يعرف مسبقاً كم هي الدورات بين دقة وأخرى) .

٦ ـ يستخرج التصريف النهري بالطريقة الآتية :
مساحة المقطع المائي × متوسط السرعة حيث أن :
مساحة المقطع المائي = عرض النهر × متوسط عمق الماء

يمثل الناتج التصريف النهري أو تصريف الواحدي في الثانية الواحدة من تلك النقطة ويقدر عادة بالأمتار المكعبة أو اللترات .

قياس منسوب الأنهار العميقة وتصريفها (أكثر من ١٢٠ سم) :

يتطلب قياس الأنهار التي يزيد عمقها على ١٢٠ سم الى تثبيت شاخص حديدي او خشبي مؤشر عليه الارتفاع بالسنتيمترات وباللون الأحمر أو الأسود على الشاخصة المطلية باللون الأبيض ، تثبت هذه الشاخصة على مستو ينخفض عن ادنى مستو للماء على مدار السنة ، فقد تثبت في احد جانبي النهر وبشكل ثابت بحيث لايمكن تحريكها او زحزحتها بواسطة الماء او غير ذلك او تعلق على احد الدعائم الخشبية أو الكونكريتية للجسور أو السدود أو جسور السابلة المقامة على عرض النهر بحيث يكون مستوى هذه الشاخصة أدنى من المستوى الواطىء جداً لمياه النهر خلال السنين الماضية . يتم من خلال هذا الشاخص قراءة منسوب الماء في النهر في جميع الأوقات وللأيام والأشهر القادمة .

يتم قياس تصريف النهر في المنطقة المحدودة سلفاً والتي تتصف بتوفر الظروف المثالية لعملية القياس كتوفر جسر للسابلة أو جسر عائم أو بناء غرفة معلقة متحركة على سلك مربوط بين عمودين متينين على جانبي النهر او استخدام زورق صغير أحياناً مربوط بسلك يقطع عرض النهر في منطقة قياس التصريف ، ثم تبدأ بقياس التصريف النهري وفق الخطوات الآتية :

١ ـ قياس عرض النهر بالأمتار .
٢ ـ تقسيم عرض النهر الى نقاط متعددة تبعد عن بعضها بأبعاد متساوية طبقاً لعرض النهر (اذا كان عرض النهر لايزيد على ٢٠ متراً تحدد المسافة بمترين ، واذا كان

عرضه ٢٠ ـ ٥٠ متراً تحدد المسافة بخمسة أمتار واذا كان عرض النهر بين ٥٠ ـ ١٠٠ متر تحدد المسافة بعشرة أمتار واذا كان عرضه أكثر من ذلك فتحدد المسافة بعشرين متراً بين نقطة وأخرى) .

٣ ـ قياس عمق النهر في النقاط المذكورة في الفقرة الثانية (بواسطة سلك حديدي مربوط في نهايته ثقل يتفاوت وزنه بين ٥ كغم ـ ٥٠ كغم بغية نزول السلك المعدني بشكل عمودي ليبين عمق الماء الحقيقي ، اذ يؤدي تيار الماء الى سحب السلك المعدني لمسافة بعيدة عن الوضع الشاقولي أحياناً) وتسجل هذه القياسات في دفتر خاص .

٤ ـ قياس سرعة الماء في النقاط المذكورة في الفقرة السابقة وعلى مستويات متعددة هي ٠ر٢ من السطح و ٠ر٤ من السطح و ٠ر٦ من السطح و ٠ر٨ من السطح وعند القاع اذ تختلف سرعة الماء عند السطح حيث تكون أعظمها قريبة من السطح وأدناها عند القاع وعادة تؤخذ قراءتان الاولى بالقرب من سطح الماء والثانية قريبة من القاع ثم يستخرج متوسط السرعة عن طريق قراءة التسجيلات الخمسة وقسمتها على خمسة أو جمع القرائتين الاخيرتين وقسمتها على اثنين لاستخراج متوسط السرعة في النقطة المحددة .

$$\text{السرعة المتوسطة} = \frac{\text{السرعة عند السطح} + \text{السرعة عند القاع}}{٢}$$

تقاس السرعه كما أسلفنا بواسطة دوارة الماء ـ جهاز قياس سرعة التيار Current meter الذي يتألف بشكل عام من مروحة اعتيادية وقد تظهر على شكل نصف اكواب تدور على عمود أفقي وتعتمد المروحة في دورانها على سرعة التيار وتسجل عدد الدورات على عداد خاص مرتبط بالجهاز كما يسجل الزمن الذي تستغرقه الدورات المسجلة على العداد والمتبع هو تسجيل عدد الدورات لمدة نصف دقيقة وبمعرفة عدد الدورات والزمن الذي استغرقته يمكن الرجوع الى منحنيات وجداول

خاصة لكل جهاز يحول بواسطتها عدد دورات المروحة الى سرعة التيار (نضير الانصاري ، ١٩٧٩) ومن أجل سهولة العمل واستغلال الوقت يربط عادة جهاز قياس التيار (دوارة الماء) فوق الثقل المربوط بسلك معدني حيث يمكن قياس عمق الماء في المنطقة وقياس سرعة الماء في المستويات المطلوبة لنفس النقطة .

يسجل متوسط سرعة الماء في كل نقطة من النقاط المؤشرة في الفقرة السابقة .

٥ ـ تستخرج مساحة المقطع المائي المحصورة بين النقاط المذكورة وذلك بايجاد :

$$\text{متوسط العمق} = \frac{ع_1 + ع_2}{2}$$

مساحة المقطع الأول = متوسط العمق × عرض المقطع (المحدد سلفاً

$$\text{مساحة المقطع الثاني} : \text{متوسط العمق} = \frac{ع_2 + ع_3}{2} \times \text{عرض المقطع} .$$

$$\text{مساحة المقطع الثالث} = \text{متوسط العمق} = \frac{ع_3 + ع_4}{2} \times \text{عرض المقطع}$$

وبهذه الطريقة نستخرج مساحة جميع المقاطع المحددة على عرض النهر .

٦ ـ يستخرج تصريف الماء في المقطع كالآتي :

$$\text{تصريف المقطع الأول} = \text{مساحة المقطع الأول} \times \left(\text{متوسط سرعة الماء} \times \frac{س_1 + س_2}{2} \right)$$

$$\text{تصريف المقطع الثاني} = \text{مساحة المقطع الثاني} \times \left(\text{متوسط سرعة الماء} \times \frac{س_2 + س_3}{2} \right)$$

تصريف المقطع الثالث = مساحة المقطع الثالث × (متوسط سرعة الماء :

$$\frac{\text{س}_2 + \text{س}_1}{2} \times$$

وهكذا نستخرج تصريف الماء في المقاطع المتعددة على عرض النهر .

٧ ـ يستخرج التصريف الكلي للنهر عن طريق جمع تصاريف المقاطع السالفة الذكر ويكون الناتج بالأمتار المكعبة أو الترات في الثانية .

٨ ـ بعد الانتهاء من قياس التصريف النهري في ذلك اليوم يسجل ارتفاع (منسوب) الماء في منطقة قياس التصريف بالنظر لأهميتها في بناء منحنى العلاقة بين التصريف والمنسوب فيما اذا توفر عدد كاف من الرصدات للتصريف النهري ومن خلاله يمكن رسم منحنى العلاقة الذي يعوض بدوره عن العمليات الشاقة في تحديد كمية التصريف النهري والاستعاضة عنها بقراءة المنسوب النهري فقط حيث يمكن من خلال ذلك المنحنى استخراج كمية التصريف النهري لذلك المنسوب . لاحظ الأشكال في (١٥ ـ ٤) (أ ، ب ، جـ ، د ، هـ) .

قياس رسوبيات النهر :

خلال جريان النهر ينقل من سطح الحوض وجوانب مجراه وقاعه رواسب مختلفة الأحجام والأشكال فمنها الحمولة الذائبة التي لاترى كالهاليل والأملاح والغازات والحمولة الظاهرة التي يمكن ملاحظتها كالجلاميد والحصى والرواسب الدقيقة . حيث تعتمد كمية الحمولة الذائبة والظاهرة على نوعية الصخور التي تمر بها مياه النهر ومصادر تغذيته اضافة الى عامل التحات والتعرية التي تقوم بها المياه الجارية منذ بداية سقوط الأمطار أو ذوبان الثلوج الى تجمعها على هيئة مسيلات ووديان وأنهار ، اذ تتجمع المواد المنحوتة على شكل رواسب محمولة أو متدحرجة أو ذائبة اعتماداً على قدرة الماء وطاقته في نقل هذه الحمولة على هيئة حمولة متدحرجة أو قافزة على قاع المجرى ومعلقة أو طافية فيما اذا

كانت سرعة النهر وقدرته كافية لحمل مثل هذه الحمولة حيث يتناسب حجم حبيبات الرواسب النهرية مع مربع سرعته وتتناسب كميتها مع كمية المياه الجارية .

حمولة النهر الظاهرة :

تتكون حمولة النهر الظاهرة من رواسب القاع المتدحرجة التي تتكون من الأحجار والحصى والرمال الخشنة ومن الرواسب العالقة التي تتكون من الحبيبات الصغيرة مثل الرمال الناعمة والغرين والطين .

تقاس رواسب قاع النهر الظاهرة بالقاء شبكة حديدية في مواقع مختارة من النهر وبعدة نقاط بحيث تكون فتحتها معاكسة لمجرى التيار وتبقى الشبكة على قاع النهر لمدة عشرة ـ ثلاثين دقيقة ثم ترفع ويوزن مافيها من رواسب القاع الخشنة وتوزن في ميزان خاص وتصنف وفق أحجامها . ثم تؤخذ رصدات متعددة على هذا الشكل وأخيرا تجمع أوزان الرواسب المستخرجة من القاع وتقارن بكمية التصريف المائي لذلك اليوم .

يستخدم جهاز بولياكوف أيضاً لأخذ عينات من رواسب القاع

تقاس حمولة النهر العالقة بأخذ عينات من مستويات مختلفة من النهر وبنقاط متعددة على عرض النهر تتطابق مع النقاط التي ورد ذكرها في موضوع قياس التصريف النهري (وعلى الأغلب تتم عملية أخذ العينات في نفس الوقت الذي يؤخذ فيه قياس الأعماق وسرعة الماء حيث توضع القنينة التي تؤخذ فيها عينة من مياه النهر داخل الثقل المستخدم في تحديد العمق) . تتم أخذ عينة الماء من النهر بواسطة قنينة بحجم لتر واحد مغطاة بغطاء من فلين أو مطاط يحتوي على فتحتين فيهما انبوبان احدهما لدخول الماء والآخر لخروج الهواء من القنينة . بعد اخذ العينات المائية التي تحتوي على الرواسب العالقة تفرغ في قناني اخرى مغلقة لنقلها الى المختبر الموجود في منطقة العمل الحقلي أو الى مركز الجامعة أو المعهد حيث توضع هذه القناني على حامل وينزل الماء من خلالها ماراً بورقة ترشيح الى ان تتجمع الرواسب على ورقة الترشيح ثم تجفف في الفرن

الكهربائي وتوزن حيث ان الوزن النهائي يمثل كمية الرواسب العالقة في اللتر الواحد وبعملية حسابية يمكن معرفة كمية الرواسب على عرض النهر وبمستويات متعددة ، يتم تحويل كمية هذه الرواسب طبقاً لكمية التصريف النهري في ذلك اليوم مقدرة بالكيلوغرامات في المتر المكعب الواحد من التصريف النهري .

مجموع تصريف الرواسب العالقة في النهر / غم = كمية الرواسب العالقة في اللتر / غم × ١٠٠٠ × تصريف النهر بالأمتار المكعبة .

تعامل عينة الماء السابقة في المختبر الكيمياوي لتحديد الأملاح الذائبة في مياه النهر اذ ان مياه الأنهار تحتوي على عناصر وأيونات متعددة الا أن أهمها وأكثرها شيوعاً هي **العناصر ذات الشحنات الموجبة الكات أيون مثل الصوديوم ، الكالسيوم ، البوتاسيوم والمغنيسيوم والعناصر ذات الشحنات السالبة الان أيون مثل الكلور والكاربونات** والبيكاربونات والكبريتات . اذ تحدد نسبة هذه العناصر مختبرياً ومنها يمكن التعرف على مجموع الأملاح الذائبة ومدى ملائمة المياه للأغراض والنشاطات البشرية المختلفة . تزداد نسبة الأملاح الذائبة في مياه الأنهار عادة خلال فصل الصيهود بالنظر لقلة التصاريف وتركيز الأملاح في المياه القليلة فضلاً عن أن أغلب مصادر تغذية الأنهار في هذا الفصل تعتمد على المياه الجوفية التي تحتوي على نسب عالية من الأملاح الذائبة والغازات .

١٥ ـ ١٢ ـ جيومورفولوجية الخزانات ومواقع السدود :

أهمية الدراسات الجيومورفولوجية عند اقامة الخزانات والسدود :

تشتمل الموارد المائية على المياه المستمدة محلياً ومباشرة من مياه الأنهار ومن المياه الجوفية وذلك الجزء الذي يحتجز خلف خزانات تنشأ في أماكن معينة من مجاري الأنهار .

قد تكون المياه التي تحجز في خزانات خلف السدود مياه الأمطار المحلية أو مياهاً تجلبها الأنهار الى أماكن الاستغلال ، وغني عن البيان ان دراسة العوامل الجيومورفولوجية لها أهميتها الكبرى عند اختيار مواقع الخزانات والسدود حيث ان أهم صفات الخزان ان تكون أرضيته على أعلى درجة ممكنة من القدرة على الاحتفاظ بالمياه وعدم تسربها ، كما ان أساس السد لابد ان يكون على أعلى درجة من المتانة وقوة الاحتمال .

يتطلب ضمان النجاح في كل المشروعات الهندسية المدنية الكبرى أن تؤخذ المشورة الجيولوجية والجيومورفولوجية قبل البدء في العمل . تتسم هذه المشورة بالأهمية البالغة في عمليات اختيار مواقع السدود والخزانات وحينما تكون الظروف الجيولوجية والجيومورفولوجية غير معقدة الى درجة كبيرة فان اختيار هذه المواقع يمكن ان يقوم به مهندسون على درجة كافية من الدراية الجيومورفولوجية والجيولوجية التي تمكنهم من التنبؤ بما يمكن ان يحدث من صعوبات ، ومايمكن تدبيره لتفاديها . كما يمكن للمهندس ذي الدراية الجيولوجية الكافية في مثل هذه الحالات ان يستعين بطلب استشارة خبراء الجيولوجيا .

أما في المناطق ذات البنية الجيولوجية المعقدة وفي حالة انشاء الخزانات الكبرى فمن الواجب دائماً ان تجرى الاختبارات الجيولوجية والجيومورفولوجية الدقيقة قبل البدء بالعمل الانشائي وان تستمر هذه الاختبارات أثناء العمل كذلك ، حيث يمكن الحصول على كثير من المعلومات الجيومورفولوجية الاضافية عن موقع الخزانات أثناء القيام بالأعمال الانشائية ولهذه المعلومات الجيولوجية أهمية بالغة عند وضع البرنامج الهندسي للحفر واقامة أساس الخزان أو السد .

لاتكلف الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجية لاقامة السدود سوى تكاليف زهيدة في العادة اذا ماقورنت بالنفقات الكلية للمشروع . وقد تراوحت هذه التكاليف في بعض الانشاءات الحديثة بين ٢٫٥ و ١٠ ٪ من المصاريف الكلية لهذه الانشاءات . ولكن هذه المبالغ الضئيلة تكون دائماً ضمان النجاح للمشروع وكثيراً ماتوفر مبالغ أخرى

طائلة يلزم صرفها على معالجة مصاعب تنشأ أثناء التنفيذ أو بعده ، والتي يمكن توقعها وتلافيها منذ البداية بفضل الأبحاث الجيولوجية .

أجريت قبل اقامة سد دوكان ودربندي خان وحديثة والموصل أبحاث جيولوجية مفصلة عن قاع النهر وعن الصخور المكونة لجوانب المجاري في موقع السدود وأمامها لحساب مقدار المياه التي يمكن ان تنفذ خلال هذه الصخور وقد استمرت هذه الأبحاث خلال اقامة الانفاق التي يمر فيها ماء السدود ، كما تمت الدراسات على الصخور الرملية المحيطة بالوديان على طول مجاريها بالقرب من الحدود لمعرفة كميات المياه التي ستدخل هذه الصخور واحتمالات الحصول على كميات جوفية لري مساحات ضخمة واستمرت الدراسات الجيولوجية طوال فترة اقامة السدود وبعد الانتهاء منها لمعرفة معدلات ترسيب الفتات الصخري والطمي أمامها واكتشاف المناطق التي يمكن ان تسرب الماء وما الى غير ذلك من المعلومات الحيوية لبناء السدود وسلامتها ولاستغلالها الاستغلال الأمثل وبالمناسبة فقد حقنت المياه المشبعة بالأسمنت في الشقوق والفواصل التي اكتشفت في داخل خزان دوكان لتلافي تسرب المياه والرشح الفائض .

العوامل التي تتحكم في اختيار أماكن الخزانات :

هناك عوامل كثيرة تتحكم في اختيار مواقع الخزانات ، ومن أمثلة ذلك العوامل قُرب الخزان أو بعده عن المنطقة المراد امدادها بالماء وكمية الأمطار التي تسقط على المنطقة والارتفاع الطبوغرافي للخزان نفسه وعمر الخزان التقريبي ووضعيته بالنسبة لمنسوب الماء الجوفي في المنطقة وغيرها . سنتناول في المناقشة الآتية القواعد العامة للدراسات الجيومورفولوجية الخاصة بانشاء السدود ، وليس من الضروري تطبيق هذه القواعد كلها على الحالات جميعها ، ولكن العبرة في اختيار الوسائل الملائمة لكل حالة ضماناً للوصول الى أفضل النتائج .

جيومورفولوجية مناطق الخزانات :

عند دراسة جيومورفولوجية المنطقة التي ينوي المهندسون اقامة خزان مياه عليها يجب مراعاة الجوانب الآتية :

١ ـ دراسة طبيعة الرسوبيات السطحية لموقع الخزان . تكون المنطقة المقترح اقامة الخزان عليها واقعة على وادي نهر أو جدول في الغالب ، ولذلك يمكن أن تكون مغطاة بطبقات من الرواسب السطحية غير المتماسكة (وهذه حالة معظم الرواسب النهرية) فقد تكون مغطاة بطبقات الحث او الخشب الصخري Peat اذا كان اصل الموقع مستنقعاً قديماً أو حديثاً ، أو برواسب الأنهار أو المثالج أو غير ذلك .

وفي حالة وجود طبقات من الحث (الخشب الصخري) فيجب التخلص منها على قدر الامكان ، وخاصة اذا كانت ذات سمك بسيط ، اذ انها تسبب اضراراً كثيرة عند انشاء الخزان كتكوين أحماض عضوية ومواد ملوثة للماء في الخزان ، وقد تكون تكاليف ازالة هذه الطبقات باهظة اذا كانت سميكة وفي هذه الحالة يمكن تغطيتها بطبقة من الرمال النظيفة والحصى بسمك ٥٠ سنتيمتراً على الأقل .

أما رواسب الأنهار فلا تسبب مشاكل صعبة في حالة حفر قناة اذ انها غير متماسكة ، واذا كانت تلك الرواسب تحتوي على كميات كبيرة من الماء الجوفي الذي يعوق عملية انشاء السد فيمكن في هذه الحالة حفر بعض الآبار حول موقع الانشاء وضخ الماء منها كما أشرنا سابقاً ، لاتسبب رواسب المثالج متاعب مشابهة اذا كانت عند أطراف السد أو في قاعه اذ أنها تؤثر على اساس السد نفسه ويجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار عند هذه الدراسات أنه لاتوجد علاقة بين شكل الأساس الصخري الصلب الموجود تحت الرسوبيات السطحية والشكل الطبوغرافي لسطح الأرض في مثل هذه المواقع . فقد توجد في هذا الأساس الصخري كثير من الحفر والفجوات التي تطمرها الرواسب السطحية وسوف نعود الى هذا الموضوع عند مناقشة الدراسات التي تجرى من أجل اختيار مواقع السدود وتقييمها .

٢ ـ دراسة طبيعة صخور الأساس الصخري لموقع الخزان ، ان اكبر المشاكل التي يمكن ان يتعرض لها المهندسون عند اختيار منطقة الخزان ترتبط بالخواص الصخرية وجيولوجية الصخور الصلبة التي توجد تحت الرواسب السطحية في هذه المنطقة ، خصوصاً اذا كانت هذه الصخور ذات نفاذية عالية وهذا يقلل من قدرة الخزان على الاحتفاظ بالماء .

اسوأ أنواع الصخور من حيث عدم قدرتها على الاحتفاظ بماء الخزان هي الحجر الجيري والصخور القابلة للذوبان في الماء (مثل الجبس والملح) بالنظر لاحتوائها على مايسمى بمجاري الذوبان Solution channels التي تتسرب من خلالها كميات ضخمة من الماء أمام السد . وعندما لايكون هناك سبيل الى اقامة الخزان الا على مثل هذه الصخور فيكون العلاج بحقنها بالأسفلت الساخن خلال مجموعة من الفتحات التي تحفر فيها وذلك كما حدث في حالة خزان (هيلزبار) Hillsbar بالولايات المتحدة الاميركية . وتعتبر صخور الجبس من أسوأ أنواع الطبقات في مناطق الخزانات حيث أنها أكثر ذوباناً من الحجر الجيري نفسه . وقد فشلت بعض الخزانات تماماً بعد انشائها بسبب التسرب السريع للماء خلال طبقات من الجبس .

يحدث التسرب أحياناً من الخزانات خلال بعض الشقوق في صخور المنطقة ، ولكن هناك أيضاً بعض الأمثلة على خزانات التحمت فيها الشقوق تماماً بعد فترة قصيرة من انشائها نتيجة لترسب الضئيل من مياه الخزان داخل الشقوق . أفضل الصخور الصماء لبناء خزانات للمياه عليها هي صخور الطفل والاردواز والشست والنايس والصخور النارية المتبلورة كالكرانيت .

٣ ـ دراسة التراكيب الجيولوجية للأساس الصخري . من الأفضل اختيار مكان الخزان على قدر الامكان في مناطق ذات تركيب بنائي بسيط أي خالية من التجعدات والصدوع .

أما العوامل الجيولوجية فيمكن تصنيفها كالآتي :

١ ـ جيولوجية منطقة التشرب ، تؤثر طبيعة الصخور في هذه المنطقة على النسبة بين الماء المطلق والماء المتحلل في المنطقة .

٢ ـ جيولوجية منطقة الخزان Reservor Area . فمنطقة الخزان هي المساحة التي ستغمرها المياه بعد اقامة السد ويجب ألا يكون في هذه المنطقة أي مجال لتسرب المياه خلال صخورها عند تعرضها للضغط الذي يسببه الماء المخزون . تتطلب دراسة هذا الموضوع الحصول على خرائط جيولوجية دقيقة وتقارير وافية عن المنطقة ، اضافة الى معلومات كافية عن منسوب المياه الجوفية في المنطقة وعن مدى احتمال توحل الخزان Silting up of the reservor اي امتلاء الخزان بالطمي الذي تحمله مياه النهر . كل هذه الدراسات تتطلب اخذ عينات صخرية وقياس نفاذيتها والقيام بتجارب مختبرية على سلوك الصخور تحت الظروف المحتلة التي ستتعرض لها عند اقامة السد . تتطلب هذه الدراسات أيضاً تقدير كمية الحمولة الظاهرة لمياه النهر الذي سيقام عليه السد .

٣ ـ جيولوجية موقع السد نفسه Geology of dam site لتفادي انهيار السد يجب ان يكون اساس الصخور المقام عليها السد على درجة كبيرة من المتانة وللتحقق من ذلك يجب التعرف على التفاصيل الجيولوجية للطبقات الداخلية لمكان السد أما بواسطة الحفر وأما بالطرق الجيوفيزيائية بالاضافة الى رسم خريطة جيولوجية لهذا المكان على مقياس كبير جداً (١ سم = ١٠ متر مثلاً) .

يتطلب انشاء السدود في أغلب الأحيان حفر قناة لتحويل ماء النهر وتجفيف جزء من مجراه لوضع الأساس واقامة جدار في وسط السد ، ثم وضع الخرسانة أو الركام الصخري حول هذا الجدار ولذلك فان المعرفة الجيولوجية التفصيلية لموقع هذه القناة

أمر بالغ الأهمية . في الأحوال المثالية يجب أن يكون طول أساس السد ممتداً في صخور غير منفذة للماء ، وهذه الظروف نادراً ماتتحقق من الناحية العملية ، ولذلك يجب التأكد من حساب مقدار التسرب المحتمل من تحت السد عندما يمتلىء الخزان ، وكذلك التأكد من ارتفاع الماء في الخزان الواقع في اتجاه التيار كما انه يجب التأكد من أية طبقات مسامية ظاهرة في المنطقة سوف لاتؤدي الى تسرب خطير للمياه بعد انشاء الخزان فاذا كانت هناك طبقات مسامية ظاهرة في الجوانب الداخلية للوادي الذي سيغمر بالمياه وجب تتبع هذه الطبقات ودراسة المنطقة المحيطة بالخزان لمعرفة ما اذا كانت هذه الطبقات ظاهرة في أي مكان آخر خارج حدود الخزان واذا كان من شأن وضع هذه الطبقات أن يؤدي الى تسرب خطير للمياه بعد انشاء الخزان .

أما عن الصدوع فان وجودها يتسبب في تسرب الماء من الخزان بعد انشائه أو في اندفاع الينابيع خلالها أثناء الانشاء مما يعرقل عمليات التنفيذ وفي الحالة الأولى يمكن ملء الصدع بالطفل أو حقنة بالأسمنت أما في الحالة الثانية فيكون العلاج بخفض مستوى الماء الجوفي وتؤخذ ظواهر الانهيارات الأرضية (Land Slids) كأدلة على عدم الثبات التركيبي في المنطقة وقد يؤدي تسرب بسيط للمياه خلال الطبقة المنفذة الى حدوث مثل هذه الانهيارات على مدى واسع في المنحدرات المجاورة للسد ولذلك يجب على قدر الامكان تفادي مثل هذه المناطق عند بناء الخزانات .

٤ ـ دراسة منسوب المياه الجوفية للمنطقة ، قد يحدث اختلال في التوازن الطبيعي للمياه الجوفية في منطقة معينة عند اقامة خزان للمياه ، وذلك نتيجة لوجود كميات كبيرة من المياه في مثل هذه الخزانات . لذلك يجب الاهتمام بدراسة منسوب المياه الجوفية واتجاه تحركها في المنطقة قبل اقامة الخزان ، حيث يحتمل ان كمية من مياه الخزان ستتخلل الأرض ، وحينئذ تتوقف حركة هذه المياه المتخللة على وضع منسوب المياه الجوفية في الصخور المكونة للمنطقة .

يتبع منسوب المياه الجوفية في العادة الشكل الطبوغرافي لسطح الأرض فاذا كان منسوب الماء في الخزان لايتجاوز ارتفاع ذلك المنسوب في أي من المناطق المجاورة ، فإن الماء المتسرب لايكون بدرجة كبيرة ، اما اذا تجاوزه فان التسرب يحدث بكمية تعتمد على طبقة الصخور التي يلامسها ماء الخزان ، أي اذا كانت هذه الصخور منفذة أو غير ذلك .

وتجدر الاشارة هنا الى انه يجب التأكد عند تحديد منسوب المياه الجوفية في منطقة ما للقيام بانشاء خزان للمياه عليها يجب التأكد من أن هذا المنسوب هو المنسوب الدائم وليس المنسوب الموسمي .

٥ ـ دراسة هيدرولوجية وظروف ترسيب المجرى المائي المراد اقامة الخزان عليه . وهذه الدراسة خارج نطاق الدراسات الجيولوجية العادية ، ولكنها ذات أهمية كبيرة عند اقامة الخزانات ، وذلك لأنه يحتمل ان النهر سوف يرسب عند دخول منطقة الخزان مايحمله من فتات صخري (حمولة ظاهرة) . واذا تراكمت هذه الرواسب بكميات كبيرة فقد يؤدي ذلك الى رفع قاع البحيرة الصناعية خلف السد خلال سنوات معدودة (تقليل عمر الخزان) مما يؤثر على صلاحية الخزان ، وفي حالة احتمال حدوث هذا الترسيب (المسمى بالتوحل Silting) لابد من وضع تصميم للسد يسمح بطرد الرواسب خلال هذا السد أو غسل الخزان على فترات بطريقة أو بأخرى .

ان الدراسات الهيدرولوجية والترسيبية على المجاري المائية تتم في معظم الحالات في مراكز أبحاث خاصة بواسطة نماذج وباستعمال أجهزة الكترونية وحاسبات الكترونية معقدة ، للقيام بالتجارب التي تتيح للباحثين الفرصة للتنبؤ بما يحتمل ان يحدث للخزان بعد بناء السد وللتثبت من المزايا والعيوب للتصميمات المختلفة للسد المزمع بناؤه .

جيومورفولوجية مواقع السدود :

ان هدف الدراسة الجيولوجية والجيومورفولوجية لمواقع السدود تختلف عن هدف دراسات مواقع الخزانات ، فالدراسات التي تتناول مواقع السد تهتم بتقدير صلابة الصخور المكونة للموقع من حيث كفاءتها لتحمل جسم السد نفسه ، أما الدراسات التي تجرى على مواقع الخزانات فتستهدف أساساً اختبار مسامية الصخور المكونة للخزان ، من حيث قابليتها للاحتفاظ بالماء المخزون ، وتتضمن الدراسات الجيولوجية لمواقع السدود النقاط الآتية :

١ ـ القيام بأخذ جسات اختبارية . والجسات عبارة عن عينات صخرية اسطوانية تؤخذ عند حفر آبار في باطن الأرض . فعند اختيار موقع لاقامة سد يجب رسم خرائط تفصيلية لمكان السد ومايجاوره للكشف التركيبي الجيولوجي الدقيق للمنطقة ، وهذا يتطلب في كثير من الأحيان حفر جسات (أي آبار ضحلة ، لايزيد عمقها على بضعة أمتار ، لجلب عينات صخرية) عديدة في المنطقة للتأكد من التفاصيل الجيولوجية التحت سطحية عند توزيع مواقع حفر الجسات يجب مراعاة الحصول على أكبر قدر ممكن من المعلومات عن التراكيب الموجودة وعن طبيعة الصخور ، ولذلك يجب وضع برنامج الحفر بالاشتراك بين المهندس والخبير الجيولوجي حتى لاتفوت ملاحظة أية أدلة وشواهد ذات أهمية بالنسبة للمشروع .

٢ ـ دراسة طبوغرافية سطح الأساس الصخري لموقع السد . قد يكون من الممكن أحياناً ازالة الرواسب السطحية كلية من مكان السد لكشف الأساس الصخري الذي سيقام عليه هذا السد . أما في حالة تعذر ذلك فيكن تعيين شكل سطح الأساس الصخري من المعلومات التي يحصل عليها من حفر الجسات ولكن يجب ان يكون عدد هذه الجسات كافياً لعمل خريطة كنتورية دقيقة لهذا السطح .

والخريطة الكنتورية هي خريطة تبين التغيرات في الارتفاعات لسطح معين في حدود منطقة معينة بواسطة خطوط متعرجة حيث يمثل كل خط من هذه الخطوط المتعرجة تقاطعاً له ارتفاع واحد ويسمى هذا الخط بالخط الكنتور Contour line ويطلق على الخارطة الكنتورية Contour map .

يمكن في كثير من الأحيان الاستعانة بالطرق الجيوفيزيائية التحت سطحية لتحديد طبوغرافية سطح الأساس الصخري لمنطقة معينة بدقة كبيرة . تكمن أهمية مثل هذه الخرائط (التي يجب ان تكون على مقياس كبير مثل « ١ سم = ٥ متر » في انها تمكن من الكشف عن الوديان المردومة وعن مجاري الأنهار المختفية تحت الرسوبيات السطحية ، وبذلك يستطيع المهندسون عمل الاحتياطات اللازمة لتعميق أساسات السد في أماكن وجود مثل هذه الوديان لكي ترتكز على الأساس الصخري الصلب .

٣ ـ دراسة طبيعة الصخور التي يقام عليها السد ، يتضمن مفهوم طبيعة الصخور صفات مختلفة مثل درجة تجوية الصخور وقوة تحملها ودرجة مساميتها ونفاذيتها للماء ، وكذلك طبيعة التركيب البنائي للصخور كميل الطبقات الصخرية ووضع أسطح التطبق ووجود الطيات والصدوع والفواصل والتشققات المختلفة ومناطق التكسر ، ويفضل في بناء السدود وبخاصة الكبيرة منها ، ان تقام على صخور صلبة كالكرانيت والنايس وقد يكون بعض الصخور ذات الصلابة غير العالية ، كالطفل مثلاً ، قواعد ممكنة لاقامة بعض السدود الصغيرة ولكن الأمر المهم في هذا الشأن هو تفادي اقامة السدود على صخور غير متجانسة أي على صخور مكونة من طبقات صلبة متتالية مع طبقات رخوة .

لقد وجد انه عند الاضطرار الى اقامة سد صغير أو متوسط على أساس من صخور رخوة مثل الطفل فانه من المفيد لضمان ثبات السد ان تزال من مكان الانشاء وقبل بناء السد كمية من صخور المنطقة تساوي في وزنها وزن السد المقترح انشاؤه . اما من جهة التراكيب البنائية فأخطر الحالات هي ان يبنى السد على صدع أو صدوع معروفة بنشاطها في الأزمنة الحديثة فلذلك يجب دراسة التاريخ الجيولوجي للصدوع في أماكن اقامة السدود بعناية خاصة .

ويمكن الكشف عن الصدوع النشيطة تكتونياً باستعمال صور جوية مأخوذة بالأشعة تحت الحمراء ، حيث تظهر مناطق النشاط التكتوني على الصدوع على هيئة خطوط افتح لونا بالنسبة للصدوع الأقل نشاطاً ، ويفضل في حالة بناء السدود على صخور رسوبية اختيار الأماكن التي يكون فيها ميل الطبقات قليلاً ومتجهاً نحو الخزان ، أي ضد اتجاه تيار المياه ، وان يكون خط مضرب هذه الطبقات بعرض الوادي وذلك لأن محصلة وزن السد وقوة ضغطه تكون في هذه الحالة متعامدة تقريباً على أسطح التطبق ، والمعروف ان الطبقات تكون أكثر تماسكاً عندما يكون الحمل عمودياً على أسطح التطبق فيها .

٤ ـ دراسة تسرب المياه تحت السدود . لدراسة نفاذية الصخور تحت السد أهمية كبيرة أيضاً نظراً لتحكم هذه النفاذية في كمية تسرب الماء تحت السد وهذا لا يؤدي الى نقصان الماء المخزون فقط ، بل يؤدي أيضاً الى توليد ضغط عالٍ تحت قاعدة السد ، مما يمكن ان يسبب تشققات في مبنى السد نفسه قد تؤدي الى انهياره .

ويمكن خفض هذا التسرب بدرجة كبيرة عن طريق اطالة المسافة التي تسلكها المياه أثناء تسربها من تحت السدة ومن ثمّ التقليل من درجة الانحدار المائي Hy draulic gradient بين الجزء الأمامي والجزء الخلفي للسد . ويمكن احداث ذلك بحفر خندق بطول السد وموازٍ له من خلف ثم يملأ هذا الخندق بمواد غير منفذة (مثل الطفل) أو بصب خرسانة في الخندق . وبذلك يكون على الماء المتسرب ان يقطع مسافات كبيرة قبل ان يصادف الصخر المسامي الذي يمكنه التسرب من خلاله . وفي نفس الوقت فان هذا يقلل من درجة الانحدار المائي للماء المتسرب مما يقلل من ضغط الماء الى أعلى تحت قاعدة السد .

الفصل السادس عشر

جيومورفولوجية القطر العراقـــي

١٦ ـ ١ ـ مقدمـــة :

تطرقنا في الفصول السابقة الى ان قارات الكرة الأرضية التي لم تكن على حالتها الراهنة وانما تغيرت وتطورت مواقعها ومساحاتها ولم تثبت على شكل واحد خلال الأزمنة والعصور الجيولوجية التي مرت بها الكرة الأرضية ، حيث أنها تأثرت بالحركات التكتونية العظمى التي ورد ذكرها في فصول سابقة ، فضلاً عن القوى السريعة التي غيرت بعض معالمها ، لذا فقد هبطت بعض أجزاء اليابسة مقارنة مع المسطحات المائية ، فقد غطت مياه البحار بعض أجزاء اليابسة خلال فترات من عمرها الجيولوجي ، الاأنها ارتفعت ثانية فانحسرت عنها المياه وازدادت مساحة يابسة الكرة الأرضية مرة أخرى . ان عملية ارتفاع اليابسة او انخفاضها بالنسبة الى مستوى سطح البحر ومدى تأثرها بعوامل الغمر او انحسار الماء عنها مما يقلل او يزيد من آثار التعرية والتحات على صخور يابسة الأرض ، أو أنها تزيد من تراكم الرواسب والفتات الصخري المنقول الى المسطحات المائية مما تشكل طبقات تراكمية عظيمة السمك قد تتعرض الى عوامل رفع وضغوط جانبية شديدة فتلتوي مكونة طيات مرتفعة تشكل الجبال أو طيات منخفضة تكون التلال .

تأثر تكوين وتطوير جيولوجية العراق طبقاً لموقعه الجغرافي بين وحدتين رئيسيتين من وحدات الجيوتكتونيكة وهما :

أ ـ الهضبة العربية : وهي جزء من الهضبة الاركية الافريقية التي يطلق عليها اسم الهضبة العربية النوبية التي تكونت وتكاملت خلال العقد الأخير من حقبة ماقبل الكمبري وبداية الكمبري .

ب ـ الحوض الرسوبي الالبي Alpine Geosyncline : ان موقع العراق بين الهضبة العربية والايرانية والاناضولية التي تعود الى الصفيحة (اللوح) الافريقية African Plate ، حيث تأثرت بفترة تكوين الحوض الرسوبي الالبي الذي يقدر بحوالي بداية العصر الترياسي بالنسبة الى تركيا وفي نهاية هذا العصر بالنسبة الى ايران ، اذ انفصلت يابسة القطر العراقي من الهضبة الايرانية والاناضولية بفعل مجموعة من الصدوع والفوالق العميقة المنتشرة في الأجزاء الشمالية الشرقية والشمالية والتي ساعدت على تزحزح يابسة العراق نحو الجنوب والجنوب الغربي تحت تأثير ظاهرة انخفاض وامتداد الجزء (الصفيحة العربية) العربي تحت نظيره الأناضولي الايراني .

وعلى هذا فان يابسة القطر العراقي كانت جزءاً من الصفيحة العربية التي تأثرت اجزاؤها الشرقية والشمالية بحركات القشرة الأرضية وانتابتها عمليات طغيان وانحسار مياه البحر القديم الواسع الانتشار حيث انكشفت مساحتها في بعض العصور الجيولوجية نتيجة لتقدم مياه هذا البحر ، في حين اتسعت رقعتها خلال انحسار مياه البحر عنها ، لذا فمن الواضح اننا نجد أغلب تكوينات العصور الجيولوجية في أرض العراق ، فالبعض منها مايزال مغطاً بالرواسب الحديثة ، بينما ظهرت التكوينات الأخرى نتيجة لتأثرها بعوامل التعرية والتحات ، غير أنه لاتظهر آثار تكوينات بعض العصور الجيولوجية في القطر العراقي مثل تكوينات الفترة المحصورة بين العصر الاوردوفيسي والعصر الديفوني وبين العصر الكاربوني والعصر البرمي الأعلى وبين العصر الجوراسي الأوسط والأعلى وبعض الفترات من العصر الطباشيري والكريتاسي .

(١)

يتبين من دراسة صخور القطر العراقي ان أقدم التكوينات الصخرية تعود الى حقبة الحياة القديمة من عصر الاوردوفيسي متمثلة بتكوينات الخابور الكوارتزية الموجودة على الحدود العراقية التركية في حوض نهر الخابور (في المنطقة الشمالية من قضاء العمادية)

حيث تظهر التكوينات الصخرية الكوارتزيتية (حجر الصوان) متداخلة مع طبقات من الكلس والطفل والمايكا والحجر الرملي الناعم جداً (Silts – tone) ، اذ ان معظم هذه التكوينات قد ترسبت في ظروف وجود المياه الضحلة (Shallow water) . تعلو التكوينات القديمة رواسب حمراء وتكوينات الجالكي البركانية التي تعود الى العصر الاوردوفيسي والعصر الديفوني . ومن الملاحظ انعدام تكوينات فترة السلوري المحصورة بين العصرين السابقين نتيجة لتأثر المنطقة بالحركة التكتونية الكاليدونية Calidonian التي امتدت من العصر الكامبيري حتى نهاية العصر السيلوري.

تظهر تكوينات العصر الديفوني على هيئة رواسب حمراء بسمك ٨٥ متراً ، ا/ بعض يعتقد بعدم وجود تكوينات هذا العصر بالنظر لأن المنطقة كانت تتكون الجبال والهضاب . تشتمل رواسب هذا العصر على صخور الطفل والرمل الناعم .

تغطي تكوينات العصر الفحمي Carboniferous بعض المناطق من المنطقة الشمالية وخاصة في كيستا واورا وحرور (منطقة العمادية) ، تتكون صخور هذا العصر من صخور الكلس والطفل وتحتوي بين طياتها على مستحاثات نباتية كلسية يصل سمكها الى حوالي ٦٧ متراً .

كانت أرض القطر العراقي في حالة عدم استقرار ابان العصر البرمي المتقدم Permian حيث ارتبطت هذه الفترة بالحركات البنائية الهرسينية لذا تظهر تكوينات هذا العصر في المرتفعات الواقعة على الحدود العراقية التركية·ويصل سمك الرواسب الى عدة مئات من الأمتار ، وتظهر تكوينات جيازاري في منطقة العمادية كنهاية التكوينات التي تعود الى حقبة الحياة القديمة Paleozoic اذ يصل سمك هذه التكوينات الى حوالي ٨١٠ متر .

خلال الحقبة المتوسطة من العمر الجيولوجي لأرض القطر العراقي نلاحظ تكوينات العصر الترياسي Triassic منتشرة في مناطق متعددة وخاصة قرب الحدود العراقية التركية (قرب العمادية) والحدود العراقية الايرانية ، اهم تكوينات هذا العصر تكوين ميركامير الكلسي الذي يتداخل مع رواسب صخرية من الطفل والطين يصل سمكها الى حوالي ٢٠٠ متر . ويظهر رواسب هذا العصر في القسم الغربي من العراق في تكوينات الكعرة الرملي Gaara Sandstone (الصحراء الغربية) الذي تظهر فيه الصخور الرملية والملحية والكلسية وطبقات من صخور الطفل والدولومايت . يمثل هذا التكوين فترة انتقالية بين العصر الترياسي والعصر الجوري

تظهر تكوينات العصر الجوري Jurassic في منطقة بالوطي ومنطقة ساركي Sarki ، تتكون رواسب هذا العصر من صخور كلسية كيمياوية تتداخل مع طبقات طينية وصخور الدولومايت التي تمثل بدورها تكوينات الجوري الأسفل . تظهر تكوينات العصر الجوري غرب مدينة الموصل حتى الحدود العراقية السورية (سهل السنوى ، ١٩٧٩) في حين تظهر تكوينات الجوري الأوسط التي تتكون من صخور كلسية تتداخل مع القار والدولومايت والطفل كفرشات متوضعة فوق التكوينات الجورية السفلى . وتظهر تكوينات الجوري الأعلى في منطقة نجمة (في الأجزاء الشمالية الغربية من القطر) حيث تتكون من صخور كلسية ورملية ، وتظهر تكوينات هذه الفترة في الأجزاء الشمالية الشرقية من العراق على هيئة صخور طفلية وكلسية تمتد حتى مجرى نهر دجلة . لقد تأثر القطر العراقي خلال العصر الجوري بانسحاب البحر وانقطاع اتصاله بالمسطحات المائية الأخرى واشتداد ظاهرة التبخر مما كونت رواسب ملحية واسعة الانتشار تتمثل بتكوينات جيكارا الغنية بالرواسب النفطية .

غمرت مياه البحر ثانية ارض العراق خلال العصر الطباشيري Cretaceeous وارتفعت الجبال في مناطق أخرى ، وقد تعرضت مناطق اليابسة للتعرية والتحات وكونت رواسب جديدة اضيفت الى رواسب قاع البحر .

تظهر رواسب العصر الطباشيري المتقدم على هيئة رواسب بحرية عميقة تنتشر في الأجزاء الشرقية من القطر العراقي (محافظة السليمانية ـ حلبجة) تتكون تكوينات هذا العصر من صخور سميكة متداخلة مع طبقات من الطين والطفل ، تمتد تكويناته على شكل نطاق من كركوك الى مجرى نهر دجلة . ويظهر هذا التكوين في المناطق الغربية من العراق في تكوينات سارمود وفي الأقسام الجنوبية من القطر بتكوينات الزبير حيث يتكون من صخور رملية وطفل (يتصف هذا التكوين باحتوائه على الحقول النفطية) . تعود أغلب صخور جبال شمال العراق الى الفترة المتقدمة من العصر الطباشيري .

تنتشر تكوينات العصر الطباشيري الأوسط فوق تكوينات الفترة السالفة الذكر وتظهر على شكل صخور طفلية وملحية . تتسم رواسب الفترة الطباشيرية الحديثة بسمات تختلف عن تكوينات الفترتين المتقدمة والوسطى حيث تظهر صخورها (في القسم الشمالي من القطر) على هيئة صخور طفلية تحتوي على كثير من المستحاثات نتيجة لكونها جزءاً من قاع البحر العميق ، في حين تظهر على شكل صخور كلسية تحتوي على المتحجرات البحرية في منطقة عين زالة وبطمه . بينما تظهر تكوينات أخرى على هيئة أحواض متوازية بامتداد من الشرق الى الغرب متمثلة بتكوينات سنجار ونجمه ومكحول (سهل السنوي ، ١٩٧٩) .

غمرت مياه البحر مرة أخرى غالبية أرض القطر العراقي بضمنها الصحراء الغربية حتى وصل الى الأراضي الأردنية خلال الحقبة الحديثة (الزمن الجيولوجي الثالث) في عصري الباليوسيني Palaeocene والايوسيني Eocene ونقلت عوامل التعرية والتحات الرواسب المعراة التي تتكون غالبيتها من الرمل الى قاع البحر . تظهر رواسب هذه الفترة في المنطقة الممتدة بين شقلاوة وبازيان وسنجار ، وتظهر في الأجزاء الجنوبية من

القطر في تكوين ام الرظومة والدمام ، وقد ترسبت فوق هذه التكوينات فرشات ارسابية لاحقة تتكون من صخور المجمعات Um Radhuma Cong lomerate التي تعتبر الأساس السفلي لتكوينات فارس الأسفل . تتكون أغلب صخور هذه الفترة من الكلس .

واستمرت الظروف البحرية خلال عصر الايوسيني وحدثت التعرية والتحات الواسعان وتجمعت الترسبات المجروفة في منطقة مابين تكوينات الكلكلا والمقة التي كانت تغطيها المياه والتي سميت بتكوينات الجركس الحمراء الممتدة من الهضبة الغربية حتى الشمال الشرقي ، في أواخر هذا العصر ارتفع البحر تدريجياً فغطى مساحات واسعة من اليابسة من ضمنها مناطق ترسب فيها تكوينات الجركس فأدى ذلك الى تكوين أحواض نصف مغلقة ، بعد عملية المد التي حدثت خلال عصر المايوسيني حدث انسحاب بحري شديد خاصة من المناطق الشمالية والشمالية الشرقية من القطر فظهرت مناطق واسعة من اليابسة ، يعزي ظهور هذه اليابسة الى عمليات رفع أولية ظهرت في المنطقة أردفتها حركات رفع أساسية أخرى فأصبحت بداية لنطاق التكسرات والفوالق في القسم الشمالي والشمالي الشرقي من القطر العراقي Faulted Zone (عدنان النقاش ، ١٩٨٥) ، ثم انقطع اتصال البحر بالمحيط الهندي في بداية عصر المايوسين فأدى ذلك الى زيادة ملوحته حيث بدأت ترسبات الفارس الأسفل المتكونة من صخور الجبس وحجر الكلس والمارل بالتجمع فغطت أجزاءً واسعة من القطر العراقي وايران .

وتتعاقب رواسب الجبس مع الحجر الجيري والمارل في تكوينات فارس الأسفل نتيجة لحدوث انقطاع واتصال البحر مع المحيط الهندي .

تظهر تكوينات عصر الاوليكوسيني في منطقة كركوك (حيث وصل خط الساحل البحري الى حدود كركوك) ممتداً الى الغرب حتى منطقة الموصل وشمال سنجار ووصل غرباً الى منطقة عنة والصحراء الغربية ، تتكون تكوينات هذه الفترة من رواسب

بحرية ومستحاثات تتميز باحتوائها على كميات كبيرة من البترول . ثم ظهرت اليابسة مرة أخرى نتيجة انحسار البحر عن الأجزاء الشمالية من القطر خلال نهاية العصر المايوسيني الأسفل والأوسط عند انسحاب البحر تدريجياً نحو الجنوب والغرب ، ظهرت خلال هذه الفترة تكوينات فارس الأعلى بما فيها من صخور غرينية ورملية ومارل .

لقد غمرت مياه البحر تلك الأجزاء ثانية فشملت منطقة ممتدة من الأجزاء الشمالية الغربية الى الأقسام الجنوبية الشرقية من القطر . من رواسب هذا العصر رواسب الفرات الكلسية Limestone التي تتكون من الكلس والطفل والرمل تفصلها عن بعضها فرشات ارسابية جبسية .

تظهر تكوينات العصر البلايوسيني Pliocene في مناطق متعددة من القطر أطلق عليها اسم رواسب البختاري الأعلى والأسفل وهي رواسب قارية فتاتية تتواجد فوق تكوينات فارس الأعلى السالفة الذكر . تتكون تكوينات هذا العصر من صخور المجمعات (رمال مخلوطة مع الحصى) المنتشرة في مناطق متعددة من وسط وشرق القطر العراقي ، لقد تكونت هذه نتيجة لعوامل التعرية والتحات ونقلت بواسطة الأنهار والسيول وترسبت في جهات منخفضة .

تظهر رواسب الزمن الرباعي في جميع مناطق العراق ، حتى شملت تأثيرات عصره الأول (البلايستوسيني) جميع مناطق العراق في فترات باردة وحارة أدت الى نشوء فرشات ارسابية رملية وحصوية أثر ذوبان الثلوج وعمليات الجرف خلال فترة الأمطار الغزيرة . سادت حالة الجفاف في فترة لاحقة من الزمن الرابع (العصر الحديث Holocene) فقد حلت ظروف الجفاف واشتدت درجات الحرارة ونشطت عمليات التجوية والتعرية الهوائية والارساب في أغلب أجزاء القطر والتي

مازالت تعمل في تجميع الترسبات الفتاتية نتيجة تكسر وتفتت مكونات المدرجات النهرية القديمة والترسبات النهرية مثل الحصى والطين . تعود جميع الفرشات الرباعية هذه الى ظروف البيئة القارية حيث تجمعت في المنخفضات المتكونة بسبب الحركة البنائية لمجموعة جبال الألب التي غطت بدورها جميع التكوينات القديمة المختلفة المتكونة خلال فترات جيولوجية متعددة

١٦ ـ ٢ ـ الأقاليم الجيومورفولوجية العراقية :

تأثر القطر العراقي كما أسلفنا في الصفحات السابقة بدرجة كبيرة بعوامل طغيان البحر وانحساره عن اليابسة العراقية وبالتراكيب الجيولوجية الالبية ، فخلال الحركة الأخيرة تكونت التراكيب والبنيات الجيومورفولوجية لأغلب مناطق العراق ولذا فقد اعتبرت هذه البنيات جزءاً من التراكيب الالبية فضلاً عن تأثرة بشكل أم وخاصة الأجزاء الوسطى والجنوبية والغربية بظواهر الزمن الجيولوجي الرابع حيث تظهر مخلفاته في هذه الاجزاء بشكل واضح .

يمكن تقسيم القطر العراقي جيومورفولوجيا الى مناطق رئيسية هي :

١ ـ اقليم جيومورفولوجي للصدوع الزاحفة في المنطقة الشمالية الشرقية من القطر .

٢ ـ اقليم جيومورفولوجي التوائي في المنطقة الشمالية من العراق .

٣ ـ اقليم جيومورفولوجي مستقر (غير ملتوي) يشمل وسط وجنوب وغرب العراق . لاحظ الشكل رقم (١٦ ـ ١) .

١ ـ الأقاليم الجيومورفولوجي للصدوع الزاحفة :

Upper folds and Nappes

توجد الجبال العالية والصدوع الزاحفة في أقصى الجهات الشمالية والشمالية الشرقية من القطر العراقي فيشكل حدوداً سياسية بين العراق وايران والعراق وتركيا . في هذا الاقليم طبيعة جيومورفولوجية وعرة وتراكيب التوائية معقدة بالاتجاه الشمالي الغربي ـ الجنوبي الشرقي اضافة الى كثرة الصدوع والفوالق في مختلف صخور هذه الجهة والتي تتكون غالبيتها من صخور نارية ومتحولة . يمكن تفسير ارتفاع الجبال وتعقدها وتصدعها في هذه الجهات بتأثرها بالحركة الالبية البانية للجبال خلال عصر الميوسين التي أدت بدورها الى رفع مجموعة الالب الجبلية الواسعة من مثل جبال طوروس وجبال زاجروس[١] ، وقد اتفق أغلب الباحثين على ان الحدود الجنوبية التي تفصل هذه الجهات عن جهات الاقليم الجيومورفولوجي الالتوائي تتمثل في مجموعة من سلاسل جبلية تمتد باتجاه شمالي غربي وجنوبي شرقي ، تشمل جبل بيخير والجبل الأبيض وجبل شيرمان وعقرة وبيرمام وهيبه سلطان وجبل سكرمة وقرة داغ[٢] .

٢ ـ الاقليم الالتوائي :

تقع هذه الجهات في موضع انتقالي بين الاقليم الأول الزاحف والجهات الثالثة المستقرة (غير الملتوية) حيث تعتبر مرتفعات حمرين ـ مكحول حدوداً جنوبية له . تتميز هذه الجهات بكثرة الجبال الالتوائية وتنوع تراكيبها الجيولوجية الممتدة باتجاه شمالي غربي وجنوبي شرقي في أجزاء شمالية شرقية من القطر كذلك باتجاه

ان أغلب صخور هذا الاقليم تعود الى الزمن الرباعي والثلاثي ، وقد تظهر بعض التكوينات العائدة الى العصر البرمي خاصة في منطقة الكمرة (الهضبة الغربية) وهي ذات اتجاه عام من الغرب الى الشرق . تنتشر الصدوع والفوالق المتشابهة في هذه الجهات وتوازي صدوع في الجزيرة العربية ذات اتجاه شمالي جنوبي او ذات اتجاه شمالي شرقي ـ جنوبي غربي ، او من الشرق الى الغرب .

غربي شرقي في جهات شمالية من القطر العراقي لذلك تماشت في اتجاهها مع جبال زاجروس في شرقها وجبال طوروس في شمالها . تزداد شدة الطي والتحدث في هذا الاقليم من الجنوب الى الشمال والشمال الشرقي في اقترابها من جبال زاكروس وطوروس ، فتظهر طيات مقلوبة Overturned قرب جبال معقدة التوائية سابقة ، (لاحظ الشكل ١٦ ـ ١) .

تتميز منطقة الالتواءات بجبالها الطويلة الامتداد وتلالها الواسعة وسهولها المحصورة بين الجبال ، ومرتفعاتها غير متناظرة Asymmetrical ، في بعضها انحدارات تتميز بأنها شديدة في سفوحها الشمالية وتظهر في بعض آخر منها انحدارات شديدة وجروف في السفوح الجنوبية أو الغربية . تمتاز مرتفعات هذه الجهات بأنها تزداد ارتفاعاً وتقل امتداداً وتكثر فيها صدوع وفوالق بالاقتراب من اقليم الصدوع الزاحفة السالف الذكر في حين يتناقص ارتفاعها وتخف وعورتها بالاقتراب من الجهات الجيومورفولوجية المستقرة في الجنوب والجنوب الغربي .

ان للتكوين الجيولوجي لجبال وهضاب وتلول الجهات الالتوائية أثراً واضحاً على نوعية وبنية صخورها لأن أغلب صخورها تتكون من صخور جيرية وطفل وتراكمت فوقها ترسبات نهرية لاحقة متكونة من الحصى والرمال والصخور المتكتلة يشمل هذا الاقليم بقية أقسام القطر العراقي متمثلة في الأجزاء الوسطى والجنوبية والغربية الواقعة جنوب سلسلة مرتفعات حمرين ـ مكحول ـ سنجار .

تتميز هذه الجهات بتضاريسها الواطئة غير ان اتجاهات تراكيبها الشمالية تكون موازية للاتجاه العام لجبال طوروس في حين ان اتجاهات تراكيبها الجنوبية موازية لجبال زاجروس .

ونظراً لاتساع هذا الاقليم وتباين بنياته الجيومورفولوجية وارتفاعاته فوق مستوى سطح البحر فقد قسم الى الأقسام الآتية :

أ ـ سهول الجزيرة ..... Plains of the Jezira

ب ـ السهل الرسوبي ..... Delta plain

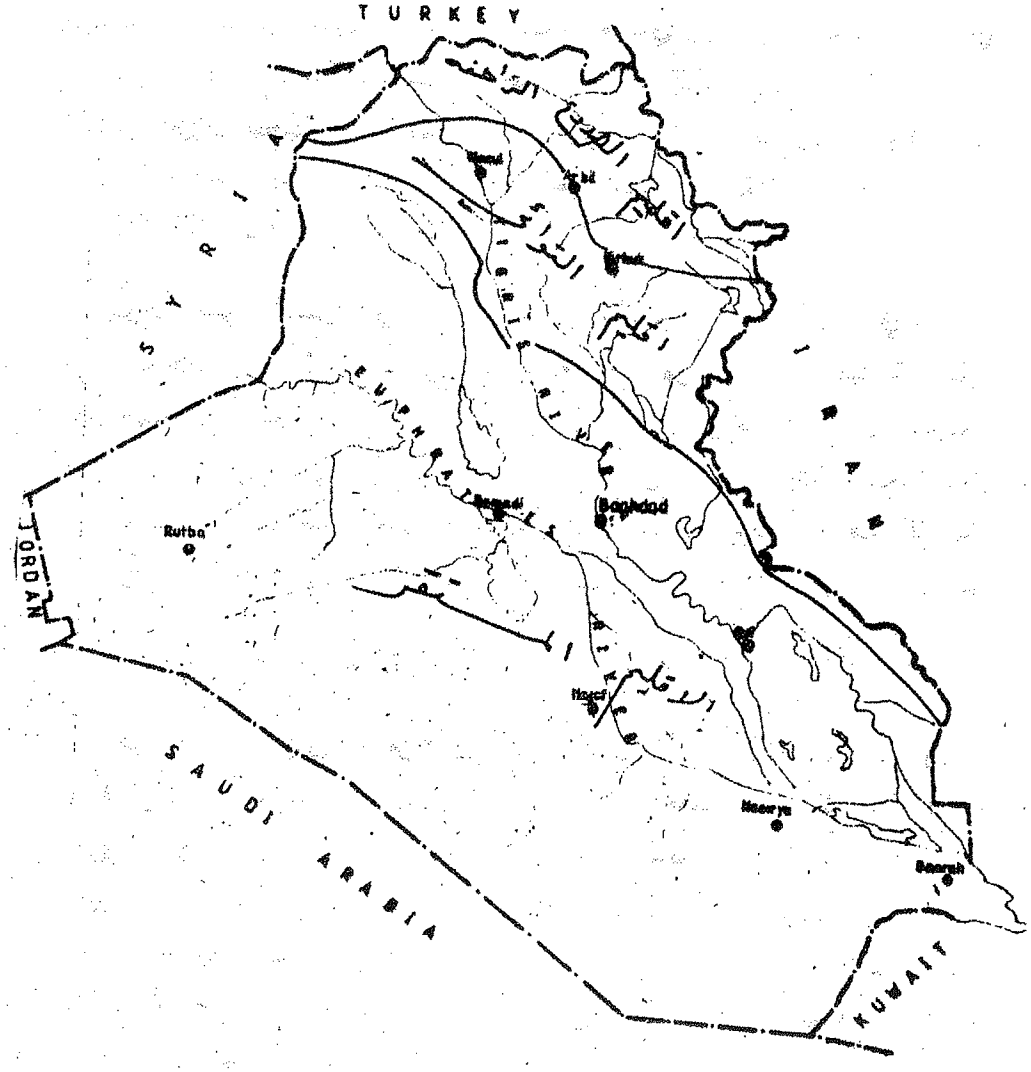
حـ ـ منطقة الوديان العليا ..... Upper wadies

د ـ منطقة الوديان السفلى ..... Lower wadies

هـ ـ منطقة سهل الحجارة ..... Al Hajara Stony plain

و ـ منطقة سهل الدبدبة ..... Dibdibba plain

ز ـ منطقة سهل الحماد ..... Al – Hamad plain



100 50 0 50 100 150 200

شكل (١٦ ـ ١)

خارطة العراق الفيزيوغرافية

أ ـ سهول الجزيرة :

تشغل الأجزاء الشمالية من الاقليم المستقر تنحصر بين مجرى نهري دجلة والفرات وحتى منخفض الثرثار (لاحظ الشكل رقم ١٦ ـ ١) ، تتكون من سهول مرتفعة ذات صخور جبسية منحدرة باتجاه شمالي وجنوبي حيث يكون وادي الثرثار المصرف الرئيسي لمياه هذه المنطقة (المصرف الداخلي) ، تنتشر في سهول الجزيرة بحيرات ملحية جافة Playas كما تحتوي على المنخفضات والتلال والهضاب المائدية mesa اضافة الى الكثبان الرملية في اجزاء جنوبية غربية من هذه الجهة .

ب ـ السهل الرسوبي :

يوجد السهل الرسوبي في الجهات الوسطى والجنوبية من القطر العراقي ، يمتد من هيت على نهر الفرات وبلد على نهر دجلة ، ثم يظهر السهل على هيئة التواء مقعر تحف به مرتفعات وهضاب من جهات ثلاث (من الشمال والشرق والغرب) بينما يحده مسطح مائي وحيد هو الخليج العربي من الجنوب ، يتميز سطح السهل الرسوبي بالاستواء وتناقص الانحدار وخفته باتجاه الجنوب ، لايتجاوز هذا الانحدار ٢٢ متراً لمسافة ٥٥٠ كيلومتر من بغداد حتى الفاو وحوالي ٥٠ متراً من الرمادي حتى الفاو[١] .

نظريات عديدة وردت عن أصل نشوء وتكون هذا السهل ، منها ماتقول ان نشأة السهل جاء نتيجة لتراكم الترسبات النهرية في المنخفضات الواطئة من الخليج العربي الذي كان يمتد الى الخط الوهمي الواقع شمال مدينة بغداد بحوالي ٩٠ كم ، في حين يرى الاستاذ ان فالكون وليز (١٩٥٢) ان سبب نشوء السهل جاء نتيجة التواء القشرة الأرضية الأمر الذي أدى الى ارتفاع بعض الأراضي وانخفاض البعض الآخر وان هبوط قاع الخليج العربي مع ارتفاع مستوى سطح البحر قد دفن بقايا عدة مدن تحت الرواسب ! و تحت ماء الخليج . وان حوض السهل الرسوبي قد

المنخفض ومـايـزال مستمراً في الانخفـاض بسبب نقـل الرواسب المتراكمـة وبسبب حركات باطنيـة أعقبهـا انحنـاء محـدب قـد تراكمت فيـه في المـاضي آلاف الملايين من الأمتـار المكعبـة من الرواسب ، ويبـدو ان التـوازن بين الهبـوط والترسبـات في المـاضي القريب قـد تم بصـورة معقـدة وفي فترات كادت أن تمـلأ المنخفضـات بـالرواسب ، غير أن الهبـوط كان هـو السـائـد بـاستثنـاء بعض المرتفعات المحليـة الصغرى التي تمثـل حركـة متأخرة من تركيب المنحنيات المحدبة .

حـ ـ منطقة الوديان العليا :

تقع السهـول العليـا في أجـزاء غربيـة من القطر في موقـع يتـوسـط منطقـة الحمـادة غربـاً وسهـل الحجـارة والـوديـان السفلى شرقـاً ، ترتفـع فـوق مستـوى سطـح البحر بحوالي ٥٠٠ ـ ٨٠٠ متر ، تتكـون من شبكـة كبيرة ومعقـدة من الـوديـان الجافـة أغلبهـا ينشـأ في المنـاطق الجنـوبيـة الغربيـة الـواقعـة داخـل الحـدود العربيـة السعـوديـة حيث تنحـدر هـذه الـوديـان الفصليـة نحـو الشمال الشرقي طبقـاً للانحـدار العـام لسطـح الأرض ، توجـد في منطقـة الوديـان العليـا تكوينـات تعود الى الزمنين الثـاني والثـالث مثـل صخـور الكلس والرمـل والطين والمـــارل والحصى والجبس ، يغلب الصرف الشجري لـوديـان هـذه الجهـة نتيجـة لتجـانس مكـونـات السطـح ، تظهر في المنطقـة المدرجـات النهريـة River terraces والحـافـات الصخريـة والصـدوع الانكسـاريـة . لم تتعرض منطقـة السهـول العليـا لظـاهرة الطي خـلال عمرهـا الجيـولـوجي ولهـذا لانـلاحـظ تضـاريس معقـدة أو ملتـويـة بـاستثنـاء منخفض الكعرة وهـو من أوسع المنخفضـات في الهضبـة الغربيـة الـذي تصـل مسـاحتـه الى حـوالي ٨٠٠ كيلومتر مربع (جـاسم الخلف ، ١٩٥٩) ، تكـون منخفض الكعرة نتيجـة لتصـدع قشرة الأرض وهبـوطهـا (Mitchel, 1957)ء من اكبر وديـان هـذه المنطقـة وادي حـوران ، تقع

عليـه مـدينـة الرطبـة والـذي يصل وارده السنوي أحيـانـاً الى حـوالي ٦١٥ر٠ مليـار متر مكعب ، ووادي القـائم الـذي يتكـون من أربـع شعب صغيرة تقـع شمال غرب كارة جبـاب ، ووادي المـانعي الـذي يصـل أحيـانـاً الى نهر الفرات عنـد منطقـة الكراملـة قرب حصيبة (باقر كشاف الغطاء ، ١٩٨٣) .

د ـ منطقة الوديان السفلى :

تقع منطقة الوديان السفلى في الجهة المحصورة بين نهر الفرات شرقاً وسهل الحجارة والوديان العليا غرباً وسهل الدبدبة جنوباً ، لاترتفع هذه السهول كثيراً عن مستوى سطح البحر ، يتفاوت ارتفاعها بين ٩٠ ـ ١٨٠ متر فوق مستوى سطح البحر ، تكون هذه من مجاري مائية جافة قد تملؤها المياه عند سقوط أمطار غزيرة خاصة في الأجزاء الغربية من الصحراء الغربية التي يكون انحدارها من الغرب الى الشرق قد يصل بعضها الى نهر الفرات مثل وادي حوران . تظهر في منطقة السهول السفلى الأشكال الصدعية الانكسارية والحافات الصخرية وتنبثق بعض العيون المعدنية عند التقاء حافات منطقة السهول السفلى بالسهل الرسوبي مثل العيون المنتشرة قرب مدينة هيت وكبيسة وعين التمر وعين عطيه والرحالية وعين حمود اضافة الى عين ابن نجم وغيرها . ومن وديان هذه المنطقة وادي الحمدي الذي يقع على بعد ٩٠ كم جنوب غرب الرمادي عند كارة الفهد ، ومن المفيد ان نذكر ان وديان هذه الجهة تتصف بقصرها وأعماقها القليلة بالنظر لقلة الأمطار وخفة انحدار الأرض . تظهر في هذه المنطقة بعض المنخفضات كالحبانية وبحر الدبس والرزازة وتظهر فيها بعض الأشكال الجيومورفولوجية مثل هضاب مائدية ومصاطب نهرية Benches وتلال شديدة الانحدار وكويستات ووديان ضيقة جافة

هـ ـ سهل الحجارة :

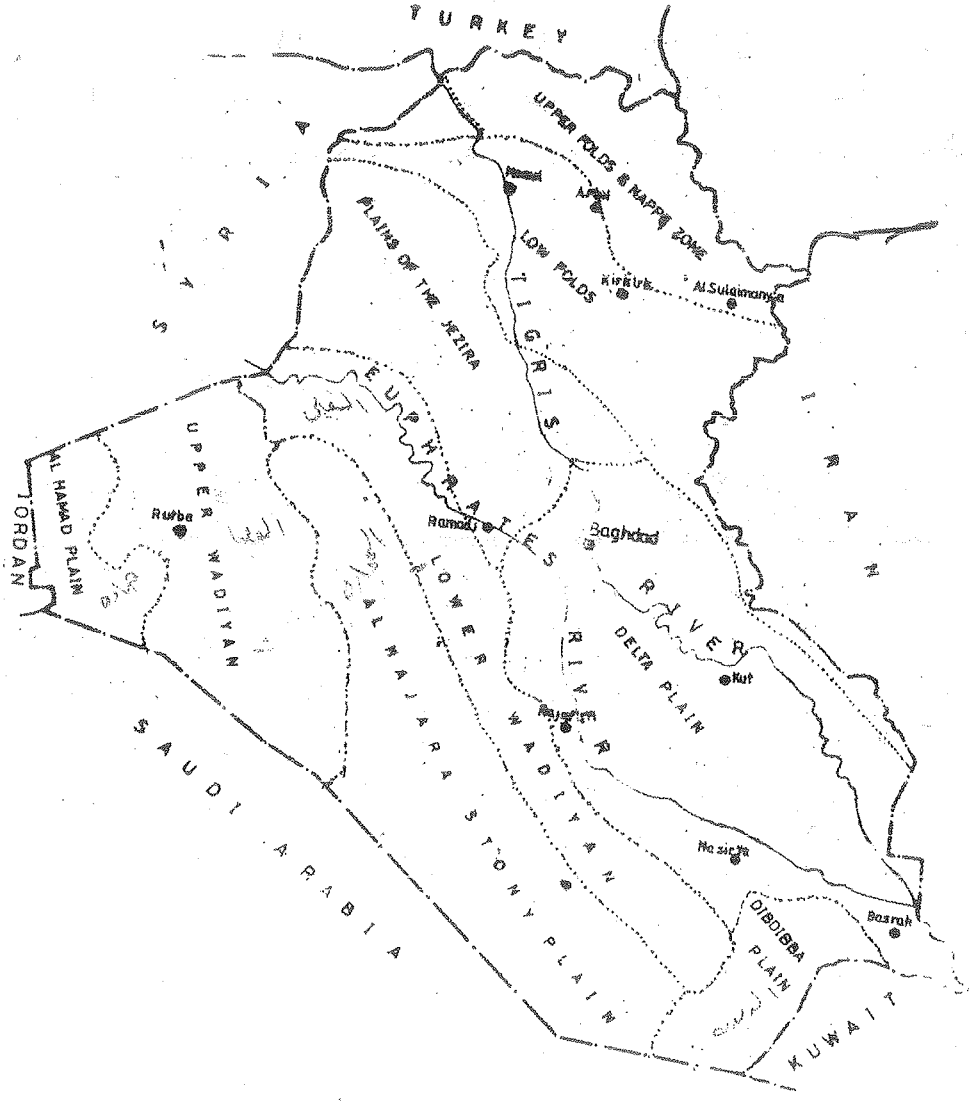
تقع منطقة الحجارة الى الغرب من السهول السفلى والى الشرق من السهول العليا السالفة الذكر في حين تحدها الأراضي السعودية في جهاتها الجنوبية ، تقع على ارتفاع يتراوح بين ٢٠٠ ـ ٣٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر . تتصف منطقة الحجارة بكثرة الرواسب الصخرية الحادة الجوانب المدببة ، تنتشر في هذه المنطقة المنخفضات الواسعة التي نشأت لعامل تكتوني الطي او التصدع او نتيجة لعوامل التعرية المائية والهوائية ومن أهمها منخفض السلمان الذي تصل مساحته حوالي ٣٥٠ كيلومتر مربع ومنها منخفضات واطئة تكونت نتيجة لعامل الخسافي ملأتها المياه المعدنية مثل بحيرة ساوه . تغطي المنطقة رواسب كلسية وجبسية وصخور الصوان .

و ـ منطقة سهل الدبدبة :

تقع منطقة الدبدبة الى الجنوب من السهل الرسوبي والسهول السفلى السالفة الذكر (لاحظ الخارطة ١٦ ـ ٣) تتميز منطقة الدبدبة باستواء ارضيتها المغطاة بفرشات رملية وحصوية نقلتها الوديان النهرية الفصلية والرياح المندفعة من الجنوب والجنوب الغربي ، تحتوي على عدد قليل من الوديان تنحدر نحو الشمال الشرقي تبعاً للانحدار العام لسطح الأرض ومن أكبر وديانها وادي الباطن العميق ذو الحواف المرتفعة وهو وادي جاف أصله صدعي .

ز ـ منطقة سهل الحمادة :

تقع في أقصى غرب القطر العراقي ممتدة داخل الحدود الاردنية من جهاتها الشرقية منطقة الوديان العليا تتكون هذه المنطقة من سهول صخرية منبسطة تأثرت بعوامل التعرية الهوائية فأزالت فرشاتها الرملية ، تحتوي على واد الولج الذي ينحدر نحو الشمال تبعاً للانحدار العام للأرض . أغلب صخورها تتكون من الكلس ، ترتفع في اجزاءها الجنوبية الغربية لتكون جبل غنزّة الذي يرتفع حوالي ٩١٥ متراً فوق مستوى سطح البحر ويشكل جزءاً من الحدود العراقية الاردنية السعودية .



شكل (١٦ - ٢)

خارطة العراق الفيزيوغرافية

المراجـــع

● المراجع العربية ●

(أ)

١ ـ انور عبد الحليم ، القاهرة ـ ١٩٦٤ ، البحار والمحيطات .

٢ ـ الكسندر فسكايا وغيرها ، موسكو ـ ١٩٦٣ ، الجغرافية الطبيعية لاجزاء من العالم (باللغة الروسية) .

٣ ـ ابراهيم شريف وعلي حسين شلش ، بغداد ـ ١٩٨٥ ، جغرافية التربة .

٤ ـ إتزل . ج ، الجغرافية العسكرية ، بغداد ـ ١٩٧٥ ، ترجمة عبدالرزاق عباس .

٥ ـ ابرودوف في . أ ، موسكو ١٩٦٥ ـ نيو تكتونيا ـ باللغة الروسية .

٦ ـ أركان : أ ، موسكو ـ ١٩٣٥ . تكتونيا آسيا ـ باللغة الروسية .

(ب)

١ ـ باسكوم ويلارد ، ثقب في قعر المحيط ، ١٩٥٧ ، تعريب فوزي قبلاوي ، المؤسسة الشرقية للترجمة والنشر ـ بيروت .

٢ ـ برتران ، د . ترجمة محمد اسماعيل الشيخ ـ الكويت ـ ١٩٨٥ ، الديناميكية الحالية للتطور المورفولوجي الريحي والمطري في صحراء اواسط الجزيرة العربية .

(ث)

١ ـ ثورنبري ـ ترجمة وفيق الخشاب ، بغداد ، ١٩٧٥ ، أسس الجيومورفولوجيا ـ الجزء الأول والثاني .

(ج)

١ ـ جودة حسنين جودة وسيد احمد ابو العينين ، القاهرة ، ١٩٦٨ ، سطح هذا الكوكب وظواهره التضاريسية الكبرى .

٢ ـ جودة حسنين جودة ، القاهرة ، ١٩٧١ ، معالم سطح الأرض .

٣ ـ جورلي ، ر . ح . ترجمة وفيق الخشاب ، بغداد ، ١٩٧٩ ، الماء والأرض والانسان .

٤ ـ جامعة الكويت ـ قسم الجغرافية ، ١٩٨٣ ، الجيومورفولوجيا ـ مجالها ومقياس الدراسة فيها وعلاقتها بالعلوم الاخرى ـ نشرة دورية .

٥ ـ جعفر الساكني ، البصرة ، ١٩٨٤ ، التنشيط التكتوني الحديث وأثره على الانحدار والتراكيب التحت سطحية بين جنوب بغداد وجنوب سامراء ـ بحث مكتوب على الرونيو .

٦ ـ جاسم محمد الخلف ، القاهرة ، ١٩٥٩ ، محاضرات في جغرافية العراق الطبيعية والاقتصادية .

٧ ـ جودة حسنين جودة ، القاهرة ، ١٩٦٨ ، أساليب الدراسات الجيومورفولوجية ـ مجلة الجمعية الجغرافية المصرية .

٨ ـ ـــــــــــ ، القاهرة ، ١٩٨١ ، الجغرافية الطبيعية لصحاري العالم .

(ح)

١ ـ حسن ابو العينين ، الاسكندرية ، ١٩٧٦ ، أصول الجيومورفولوجيا .

٢ ـ ـــــــــــ ، ١٩٧١ ، الملامح الجغرافية للصحراء الغربية في القطر المصري ، مجلة كلية الآداب ـ جامعة الاسكندرية ، المجلد ٢٥ .

٣ ـ ـــــــــــ ، ١٩٦٥ ، الدراسات الجيومورفولوجيا ـ مناهجها ووسائل البحث الحديث فيها ـ مجلة كلية الآداب ـ جامعة الاسكندرية المجلد ، ١٩ سنة ١٩٦٥ .

٤ ـ ـــــــــــ ، الاسكندرية ، ١٩٧٦ ، دراسات في جغرافية البحار والمحيطات .

٥ ـ حسن صادق ، القاهرة ، ١٩٣٠ ، الجيولوجيا .

(خ)

١ ـ خروموف ، لينكراد ، ١٩٦٨ ، الطقس والمناخ والارصاد الجوي ـ باللغة الروسية .

(د)

١ ـ دافيدوف ، موسكو ، ١٩٥٨ ، دراسات في الهيدرولوجيا ، باللغة الروسية .
٣ ـ ديفيز ، ب . م . موسكو ، ١٩٦٢ ، ملاحظات جيومورفولوجية ، باللغة الروسية .

(ر)

١ ـ روبرت برندزي ، بيروت ـ ١٩٦١ ، في أغوار المحيط ـ ترجمة عادل زيتوني .
٢ ـ ريا بيجكوف أ ، م ، ميلوبيقا ، موسكو ، ١٩٨١ ، كتب جديدة في صيانة البيئة ، باللغة الروسية .

(ز)

١ ـ زنكوفيج ، ف ، ب ، موسكو ـ ١٩٦٢ ، دراسات في تطور السواحل البحرية ـ باللغة الروسية .
٢ ـ زاسليفسكي ، م ، ن ، موسكو ، ١٩٨٠ ، صيانة التربة من التعرية ـ باللغة الروسية .
٣ ـ زين الدين عبدالمقصود الغنيمي ، ١٩٨٠ ، مشكلة التصحر في العالم الاسلامي ـ نشرة ٢١ ، الكويت .

(س)

١ ـ سميرنوف ، موسكو ، ١٩٧٤ ، علم المحيطات ـ باللغة الروسية .
٢ ـ سبارکس ، ب ، ترجمة ليلى عثمان ، القاهرة ، ١٩٧٨ ، الجيومورفولوجي .
٣ ـ سحر نافع شاكر ، جامعة بغداد ، ١٩٨٥ ، جيومورفولوجية الكثبان الرملية للمنطقة المحصورة بين كوت ـ ديوانية ـ ناصرية ، رسالة ماجستير .
٤ ـ سهل السنوي ، الموصل ـ ١٩٨٢ ، معجم مصطلحات علم الأرض .
٥ ـ ـــــــ وآخرون ، الجيولوجيا العامة ، ١٩٧٩ ، بغداد .
٦ ـ سوكولوف ، لينكراد ، ١٩٦٩ ، دراسة في الموارد المائية ـ باللغة الروسية .
٧ ـ ـــــــ موسكو ، ١٩٦٢ ، الظروف الأساسية لعمليات الكارست ، باللغة الروسية .

(ش)

١ ـ شريف محمد شريف ، القاهرة ، ١٩٦٤ ، جغرافية البحار والمحيطات .
٢ ـ شاكر خصباك ، بغداد ، ١٩٧٣ ، العراق الشمالي .
٣ ـ شوكين ، أ ، س ، موسكو ، ١٩٦٤ ، الجيومورفولوجيا العامة ، الجزء الأول والثاني (باللغة الروسية) .

(ع)

١ ـ عدنان النقاش وأسادور هامبرسوم ، بغداد ، ١٩٨٥ ، الجيومورفولوجيا التركيبية وجيولوجيا العراق .
٢ ـ عبد الله يوسف الغنيم ، الكويت ، ١٩٨١ ، أشكال سطح الأرض المتأثرة بالرياح في شبه الجزيرة العربية .
٣ ـ عبدالعزيز طريح شرف ، القاهرة ، ١٩٧٦ ، أشكال سطح الأرض .
٤ ـ عبد الله السياب وآخرون ، الموصل ، ١٩٨٢ ، جيولوجيا العراق .

٥ ـ عبدالوهاب الدباغ ، بيروت ، ١٩٦٤ ، القاموس الجغرافي والجيولوجي .
٦ ـ علي شلش ، البصرة ، ١٩٨١ ، جغرافية التربة .
٧ ـ عبدالحميد احمد كلو ، الكويت ، ١٩٨٥ ، الانسان كعامل جيومورفولوجي .
ـ عبد الهادي الصايغ وفاروق صنع الله العمري (الموصل ، ١٩٧٧) . الجيولوجيا العامة .
٨ ـ علي عبدالوهاب شاهين ، بيروت ، ١٩٧٨ ، مقالات في الجيومورفولوجيا .
٩ ـ ـــــــــــ ، القاهرة ، ١٩٦٣ ، نشأة الفكر الجيومورفولوجي وتطوره ـ الجمعية الجغرافية المصرية الموسم الثقافي .
١٠ ـ عماد الدين الموصلي ، دمشق ، ١٩٧٥ ، محاضرات في الجيومورفولوجيا .
١١ ـ عبد الله العقيل ، الرياض ، ١٩٧٥ ، الصخور الرسوبية .

(ف)

١ ـ فريدك هـ . لاهي ، القاهرة ، ١٩٦٧ ، ترجمة فتح الله عوض وآخرون ، جيولوجيا الحقل .
٢ ـ فيدورفيج ، ب ، أ ، موسكو ، ١٩٥٤ ، صورة الصحارى ، باللغة الروسية .
٣ ـ فاسيليفا ، د ، ب ، موسكو ، ١٩٧٩ ، جغرافية السطح ، باللغة الروسية .
٤ ـ فسكر سينسكي ، س . س . موسكو ، ١٩٨٠ ، الظروف الجيومورفولوجية في بناء المجرى النهري ، باللغة الروسية .
٥ ـ فاروق صنع الله العمري وعلي صادق ، الموصل ، ١٩٧٧ ، جيولوجيا شمال العراق .
٦ ـ فليح حسن هادي الطائي ، بغداد ، ١٩٨٤ ، واقع التصحر في الجمهورية العراقية وطرق مكافحته ، الندوة العربية الأولى لتثبيت الكثبان الرملية ومكافحة التصحر .

(ك)

١ ـ كلينوف ، ي ، ١٩٨٠ ، موسكو ، ظروف المصبات النهرية في السواحل الروسية .
٢ ـ كمال الدين حسن البتاتوني ، ١٩٧٦ ، الصحراء ، مرجع في التعليم البيئي لمراحل التعليم العام ، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم .

(م)

١ ـ محمود أبو العلا ، القاهرة ، ١٩٦٥ ، جغرافية شبه جزيرة العرب .
٢ ـ مهدي الصحاف ، بغداد ، ١٩٧٠ ، التصريف النهري والعوامل التي تؤثر فيه ـ مجلة الجمعية الجغرافية العراقية العدد السادس .
٣ ـ محمد سلمان الجبوري ، بغداد ، ١٩٨٥ ، منعطفات نهر دجلة بين الصويرة والعزيزية ، رسالة دكتوراة مقدمة الى كلية الآداب ـ بغداد ـ غير منشورة .
٤ ـ محمد يوسف حسن ، عمر حسين شريف ، وعدنان باقر النقاش ، أساسيات علم الجيولوجيا جون وايلي ، وأولاده ، ١٩٨٣ .
٥ ـ محمد ابراهيم فارس ومحمد يوسف حسن ، القاهرة ، ١٩٦١ ، قواعد الجيولوجيا العامة والتطبيقية ، الطبعة الثانية .
٦ ـ محمد عبدالوهاب الشناوي ، مقدمة في علم البلورات والمعادن الأخرى والصخور .
٧ ـ مدحت فضيل ، البصرة ، ١٩٨٠ ، حساب الرسوبيات العالقة بعد سدة الكوت ، بحث مقدم الى المؤتمر العالمي الثاني للنقل المائي وهندسة الموانىء .
٨ ـ محمد عز الدين حلمي ، القاهرة ، ١٩٦٤ ، علم المعادن .
٩ ـ محمد رضوان خومي ، بيروت ، ١٩٨٥ ، التصحر في الوطن العربي .

(ن)

١ ـ نجيب خروفه ـ مهدي الصحاف ، وفيق الخشاب ، بغداد ، ١٩٨٤ ، الري والبزل في العراق والوطن العربي .
٢ ـ نوري البرازي ، ١٩٦٢ ، التربة وأثرها في التطور الزراعي مجلة الجمعية الجغرافية العراقية ، المجلد الأول ، السنة الأولى .

(و)

١ ـ وفيق الخشاب ، مهدي الصحاف ، بغداد ، ١٩٧٧ ، علم الجيومورفولوجيا .
٢ ـ ـــــــــ ، بغداد ، ١٩٧٦ ، الموارد الطبيعية .
٣ ـ ـــــــــ ، وعبدالعزيز حميد ، بغداد ، ١٩٨٠ ، الجيومورفولوجيا التطبيقية .

(ي)

١ ـ يحيى محمد أنور ، محمد العربي فوزي ، القاهرة ، ١٩٦٥ ، الجيولوجية الطبيعية والتاريخية .
٢ ـ يوسف عبدالمجيد ، بيروت ، ١٩٧١ ، دراسات في الأوقيانوغرافية .
٣ ـ ـــــــــ ، بيروت ، ١٩٧١ ، جغرافية السطح .
٤ ـ يوسف ثولي ، ١٩٦٤ ، معجم المصطلحات الجغرافية .
٥ ـ يوسف أبو الحجاج ، القاهرة ، ١٩٦٤ ، السد العالي والتنمية الاقتصادية .

● المراجع الأجنبيـــة

(A)

1. Al Jabbari M.H. and Al Ansari N.A., the effect of channel geometry on the estemation of sediment load in the river Tigris within Baghdad proceeding of the second Arab symposium on Water resources, moroco, 1981.
2. Abul Haggag. Y. (1960). North East Iraq –A physiograghical study Bull. Soc. Geog.d Egypte, Vol. 33.
3. Al mond, D. C. (London, 1976). Rocks and mineral.
4. (Scheidegger Abrain, E. – New York, 1970). Theoretical geographology.
5. Biswas, M. R. and Biswas, A.K. (Oxford 1980). Desertification.

(B)

1. Beiser, A. and Kreuskopt (New York, 1975). Introduction to earth seience.
2. Bott, N.H. (London, 1971). The Interior of the earth.
3. Bowen, N.L.(New York, 1956). Igneous Rocks.
4. Buday, I. (Baghdad, 1980). The regianal Geology of Iraq.
5. Bagnold, R.A. (1954) The physical of blown sand and desert dunes London.
6. Betz, Fredrich, J.R. (U.S.A. 1975). Enveranmental geology.
7. Bridges, (London, 1978). World Soils.
8. Bhagirathlalburta (Delhi, 1979). Water Resources Engineering and Hydrology.
9. Bykov, V.E. (Moscow – 1980). An intersting investigation of U.S.S.R. Rivers systems.
10. Buringh, p. (Baghdad, 1960). Soil and soil conditions in Iraq.

(C)

1. Cuchlain, A.M. King, (London, 1967). Oceanography for geographers.
2. Cuchlaine, A.M. King. (London, 1975). Introduction to physical and Biological Oceanography.
3. Cuchlaine, A.M. King. (London, 1972). Beaches and Coasts.
4. Cuchlaine, A.M. King. (London, 1978). Techniques in Geomorphology.
5. Chorley, Rechard, J. (G.B. 1977). Introduction to fluvial process.
6. Chorley, (U.S.A. 1969). Water, Earth and man.

7. Chorley, Rechard and stanley schumm, (New York, 1985). Geomorphology.
8. Craig, R.G. and Craft, J.L. (London, 1982). Applied Geomorphology.
9. Chow, V.T. (New York, 1964). Handb.L. (London, 1982). Applied Geomorphology.
9. Chow, V.T. (New York, 1964). Handbook of applied hydrology.
10. Cotton C.A. (London, 1952) Geomorphology
11. Chistyakov, A.A. (Moscow, 1981) A new manual on general Geomorphology.
12. Cuchlaine, A.M. King, 1978. Landforms and geomorphology.
13. Charles, D. Curtis, 1976. Chemistry of rock weathering, fundamental reactions and controld.

(D)

1. Donald, W.Hood (Washington, 1974).
Chemical Cycles in the sea (Ocearography).
2. Douglas, L. Luman (Washington, 1974).
Shore processes, Oceanography the last fronter.
3. Danial, J.F., Channel movement of meandering stream U.S. Geol. Survey, 1971. Proff. papter, 732.
4. Donald Steila, (N.9. 1976).
The Geography of Soils.
5. Dregne, H.E. (Amstrdam, 1976).
Soils of Arid Regions.
6. Davis, S. N. (New York, 1966).
Hydrology.
7. Dury, Q.H. (U. K. 1971).
The face of the Earth.
8. David Keith, Tood 1970.
The water Encyclopedia.

(E)

1. Erkin et al/ cut off and Oxbow lakse, Geographical Soc, of new south weles.
Australian geographers Vol. 15, No . 3, 1982.

2. Erdmann, C.E. 1943.
Application of Geology to the principles of water, geol, Soc., Am., Bull, 54, PP.1169 – 1194.
3. Edward Derby shire (London, 1076).
Geomorphology and Climate.

(F)

1. Fitzgiraold (Oxford, U.P. 1978).
Modern Concepts in Geomerphology.
2. Flint, Richard forster (New York, 1977).
Physical geology 2nd Ed.
3. Foster, R. (Columbus, 1976).
General Geology.
4. Fuchs, N. (London, 1966).
The Earth.

(G)

1. Grant Gross. M. (New – Jersey, 1977).
Oceonography a view of the Earth.
PP. 207.
2. Goldberg E.D. and others (New York, 1977).
The Sea.
3. Gorshkov G.A. (Moscow, 1967).
Physical geology.
4. Gregory K.J. (Ireland, 1969).
River Channal changes.
5. ———K. J. and Walling, D.E. (London, 1973).
Drainage basin form and process a geomorphological approch.
6. Glossary of Geology and Related Sciences, 1957.
Washington D.C.

(H)

1. Harold Urey (Washington, 1974) the brith of the Oceanography,
Oceanography last frontier U.S.A. PP.15.
2. Horrocks N.K. (London, 1978).
Physical Geography and Climatology.

3. Holmes A. (London, 1969).
Principles of physical Geology.
4. Hails, John, R. (Amsterdam, 1970).
Applied Geomorphology.
5. Hicken, Edward J. The development of meanders in Natural (River chanal, Amer Journal of Sci Vol. 244, 1974.
6. Howard A.D. 1978.
Drainage analysis in geologic interpretation, Asummation Geol. 51, PP. 2246 – 2259.
7. Henry D. Fath (New York, 1978).
Fundamentals of Soil Science.
8. Harry R. London, 1974.
Morphology and and Land Scape.
9. Hails, J.R. (Amsterdam, 1977) Applied Geomorpholoy.

(J)

1. John, R.H. (Elsvir Publishing co. 1976).
Applied Geomorphology.
2. John, S. Shelton (London, 1965).
Geology Illustrated.
3. James T. MEAL (Pennsylvania, 1975).
Playas and dried lakes.
4. Joseph Weisberg and Haward (London, 1974).
Introductory Oceanography.

(K)

1. King, C.A. (London, 1972).
Beaches and Caosts.
2. *King, L.C. (Edinburgh, 1967).*
Morphology of the earth.
3. Katia, Maurice Krafft (U.S.A. 1980).
Volcanoes (Earth Awaking).
4. Krivtsov, V.A. (Moscow, 1980).
Some Peculiarities of slope.
Structure and shaping in low mountain Low – Amur Basin.

5. Konstov, S.V. (Moscow, 1981).
The Role of Loese deposits in the differentition of Landscopes of the Altai mountain (in Russian).
6. Kakal, Z. and Nagash, A. 1970, Schratch circles, N. Iraq, Z. of Geoworphology, No.1.

(L)

1. Lobeck, A.K. (New York, 1939).
Geomorphology an introduction to the study of londscapes.
2. Lloyd, S. (Oxford, 1943).
Twin Rivers.
3. Long Well chester and others (U.S.A. 1964).
Physical Geology.
4. Leopold, L.B. and Wolman, M.G. River meanders, Geol Soc. Amer Bull Vol, 71, 1960.
5. Lake, P. (Combridge – 1949).
Physical Geography.
6. Less, G.M. Faleon, N.L. (1952).
the geogrphical plains Geog.
Jour. Vol. 118 Part,1.

(M)

1. Mitchell Beazley (London, 1977).
Atlas of the Oceans.
2. Minard, W.H. (San Francisco, 1974).
Geology Resources and socity.
3. Merrill, G.P. (New York, 1921).
Rocks, Rock weathering and Soils.
4. Mitchel, R.C. 1957.
Physiographic regions of Iraq Bull. Soc. Geog. Egypt, 30.
5. Malakov, M. (Moscow, 1970).
The mystery of the earth mantle.
6. Makunina, A.A. (Moscow, 1980).
Landscape functioning and dynamics.
7. Moskovkin V.M., Trofimov, A.M. (Moscow, 1980).
On the theory of geomorphological similarity.