

# جيومورفولوجية الأشكال الأرضية

الدكتور

**محمد صبرى محسوب**

أستاذ الجغرافية الطبيعية

كلية الآداب - جامعة القاهرة

الطبعة الأولى

١٤١٧هـ / ١٩٩٧م

ملتزم الطبع والنشر

**دار الفكر العربى**

الإدارة : ٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر

ت : ٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس : ٢٧٥٢٧٣٥

٩١٠,٠٢ محمد صبرى محسوب.

٥٤٢٢ جيومورفولوجية الأشكال الأرضية / محمد صبرى

محسوب. - القاهرة : دار الفكر العربى، ١٩٩٧.

٤٨٤ ص : إيض : ٢٤ سم.

ببليوجرافية: ص ٤٧٥ - ٤٨٤.

تدمك: ٣ - ٠٨٩٤ - ١٠ - ٩٧٧.

١ - الجيومورفولوجيا. ٢ - الجغرافيا الطبيعية.

١ - العنوان.

## بسم الله الرحمن الرحيم

### تقديم:

أحمد الله تعالى وأصلى وأسلم على أشرف المرسلين «سيدنا محمد خاتم النبيين».

يسعدنى أن أقدم هذا الكتاب إلى كل من يهتم بعلم الجيومورفولوجيا من طلاب وباحثين، ويزيدنى سعادة أن أستشعر إفاذتهم منه بقدر ما بذل فيه من جهد.

هذا الكتاب المعنون «**جيومورفولوجية الأشكال الأرضية**» جاء بعد تفكير عميق وبعد إنحجار أكثر من عشرة كتب فى الجغرافيا الطبيعية وأكثر من عشرين بحثًا متخصصًا، مهدت جميعها لإنحجار هذا الكتاب بهذه الصورة التى بين أيدى الدارسين. والذى لم يكن الهدف من إنحجاره زيادة عدد كتب الجيومورفولوجيا بقدر إضافة شىء ذا قيمة، أفاد مما هو موجود من كتب متخصصة وأضاف إليها ما استحدثت من معالجات ومفاهيم حديثة وآساليب ارتبطت بالتطور الكبير الذى شهده هذا المجال الهام من مجالات علم الجغرافيا.

ويبدأ الكتاب بدراسة الخصائص الرئيسية للصخور المكونة لقشرة الأرض وأنواعها التفصيلية، ثم دراسة تحليلية للأشكال الأرضية الناتجة عما انتاب الأرض من حركات تكتونية، وكذلك الأشكال والملامح الجيومورفولوجية والتركيبية المرتبطة بكل نوع من أنواع هذه الصخور.

ويعالج الكتاب فى فصوله من الثالث حتى التاسع العمليات الجيومورفولوجية والأشكال المرتبطة بها معالجة تحليلية متعمقة مستخدما فى ذلك أحدث الأساليب والطرق الكمية فى كثير من المواضع وذلك بهدف التمكن من تفهم وتطبيق النماذج الجيومورفولوجية الحديثة مثل نموذج التوازن الديناميكي dynamic equilibrium الذى استعان به المؤلف فى كثير من المعالجات. وهذا النموذج يعنى ببساطة «أن التفاعل بين أغلفة الأرض وبعضها يعطى سطح الأرض

وأشكاله الناتجة عن هذا التفاعل تعقيدات بالغة، ويهدف فهم وتطبيق هذا المفهوم أو النموذج إلى تبسيط هذه الصورة المعقدة وذلك من خلال تحليل العملية والشكل باعتبارهما يعكسان التوازن اللحظى لهذا التفاعل (التوازن بين قوى التشكيل وقوى المقاومة) مع الأخذ فى الاعتبار دائما أثناء المعالجة أثر عامل الزمن على تغيير هذا التوازن (صبرى وراضى، ١٩٨٥). ومن ثم كانت الاستعانة كثيرا بنموذج دورة التعرية الديفزية الذى وضعه W.M.Davis والذى يهتم بدراسة أشكال الأرض فى ضوء التركيب (البنية) والعملية التى تشكل السطح والفترة الزمنية التى مر بها الشكل مع اهتمامه البالغ بمراحل التطور على حساب الاهتمام بالتركيب الجيولوجى والعملية.

ويتهى الكتاب بفصل غير تقليدى يعالج دور الإنسان فى العمليات والأشكال الجيومورفولوجية وذلك من خلال إبراز دوره فى كل عملية على حدة وما يرتبط بها من أشكال فى محاولة لوضع إطار علمى لمعالجة مثل هذه الأدوار التى يقوم بها الإنسان من خلال نشاطاته وتدخلاته المتعددة.

ويتضمن الكتاب ١٥٠ شكلا وخريطة ورسمًا توضيحيًا إلى جانب نحو ٣٥ صورة فوتوغرافية معظمها من البيئة العربية؛ وذلك لتوضيح ما جاء فى الكتاب من معلومات، والمساعدة فى تفهم العمليات والأشكال الأرضية التى تناولتها الدراسة. ويطيب للمؤلف أن يتقدم بالشكر والعرفان لكل من ساعد فى إنجاز هذا الكتاب ويخص بالذكر الزميل الدكتور أحمد معتوق، والفنان سمير دهية الذى قام بالمساعدة بتصميم غلاف الكتاب ورسم عدد من الأشكال التى تتضمنها صفحاته. كما يطيب له أن يتقدم بالشكر والعرفان للزميل والأخ العزيز الدكتور محمد ركنى السليمى على ملاحظاته ومراجعاته للأشكال والصور وأمل أن يكون هذا الجهد العلمى كشجرة طيبة يقطف ثمارها أو يستظل بظلها طلاب الجيومورفولوجيا.

## وعلى الله قصده السبيل

المؤلف

مدينة نصر - القاهرة

١٩٩٧



# المحتوى

٣

\* المقدمة

## الفصل الأول

١٧

\* صخور قشرة الأرض.

## الفصل الثانى

٣٣

\* الأشكال الأرضية

( التكتونية والتركيبية )

## الفصل الثالث

٧٣

\* التجوية والأشكال الأرضية المرتبطة بها

## الفصل الرابع

\* السفوح .

١٠٧

[العمليات المرتبطة بها - أشكالها وزوايا انحدارها]

## الفصل الخامس

١٣٧

\* التعرية النهرية والأشكال الأرضية المرتبطة بها.

## الفصل السادس

٢٢٧

\* المياه تحت الأرضية وأشكال الأرض الكارستية .

## الفصل السابع

\* العمليات الهوائية والأشكال الأرضية المرتبطة بها

## الفصل الثامن

د \* التعرية الساحلية وأشكالها الأرضية.

## الفصل التاسع

\* التعرية الجليدية .

٧ [العمليات والأشكال الأرضية المرتبطة بها]

## الفصل العاشر

\* الإنسان ودوره في تشكيل سطح الأرض.

٢١ [أثره في العمليات والأشكال الجيومورفولوجية]

٧٣ قائمة المراجع

## فهرس الأنكال

- ٣٧ ١ - البراكين
- ٣٨ ٢ - البراكين المركبة
- ٣٩ ٣ - جبل شاستا .
- ٤٠ ٤ - مكونات الكالديرا .
- ٤١ ٥ - بحيرة كريتير .
- ٤٢ ٦ - بحيرة تشغل فوهة بركان .
- ٤٢ ٧ - تجمد اللافا وتكوين بحيرة طولية .
- ٤٣ ٨ - الوند اللافى .
- ٤٥ ٩ - التضاريس الأصلية مدفونة تحت اللافا .
- ٤٥ ١٠ - وادى نهري منطبع فى طفوح لافية .
- ٤٥ ١١ - الأشكال الماآمية تحت سطح القشرة الأرضية .
- ١٢ - آ - تكون حافة بارزة من السدود المتداخلة . ب - تكون منخفض  
٤٨ طولى ضحل .
- ٥٠ ١٣ - أنواع الصدوع .
- ٥٢ ١٤ - صدوع الهورست والأخدود .
- ٥٤ ١٥ - حافة صدعية متزحزحة .
- ٥٤ ١٦ - حافة صدعية تكونت نتيجة لعمليات تصدع سابقة .
- ٥٥ ١٧ - سلسلة واساتشى .
- ٥٨ ١٨ - الالتواءات وأجزاء الطية .
- ٦٠ ١٩ - نشأة الجبال الالتوائية تبعا لهولمز .
- ٦٤ ٢٠ - منخفض الواحات البحرية .

- ٦٥ - ٢١ - قبو جرنفيل .
- ٢٢ - قطاع في جبل قصور شرق عين شرفا بالجزائر - وادي طيبة محذباً  
٦٧، ٦٦ (محدب منحوت) .
- ٦٧ - ٢٣ - منطقة جبلية تعرضت لالتواء خفيف .
- ٧٩ - ٢٤ - التفصل العمودي .
- ٨١ - ٢٥ - أثر دورات الصقيع في تقطع كتل الفواصل وتفككها .
- ٨٢ - ٢٦ - تكسر الصخور إلى كتل مستطيلة بفعل الصقيع والتغير الحرارى .
- ٨٧ - ٢٧ - دورة التملح .
- ٩٠ - ٢٨ - أثر التجوية الحرارية على جلمود صخرى .
- ١٠٣ - ٢٩ - بعض أشكال التجوية فوق سطح جبرى .
- ١٠٤ - ٣٠ - قبو صخرى فى بيئة مدارية .
- ١٠٥ - ٣١ - نطاقات تجوية الصخور النارية بهونج كونج .
- ١١٠ - ٣٢ - تأثير قوى الجاذبية على حبة صخرية فوق سفح .
- ١١٤ - ٣٣ - نظام السفح .
- ١١٧ - ٣٤ - سفح شديد التقطع مع ركام السفوح .
- ١٢٠ - ٣٥ - انزلاق دورانى .
- ١٢٠ - ٣٦ - انزلاق ثانوى مع امتداد لسان باتجاه أقدام السفح .
- ١٢٢ - ٣٧ - رحف التربة والفتتات الصخرية .
- ١٢٥ - ٣٨ - اختلاف سرعة حركة المواد فوق السفح عند أعماق مختلفة .
- ١٣٣ - ٣٩ - سفح من وجهين أحدهما حر والآخر هشيمى مقيد .
- ١٣٤ - ٤٠ - نموذج «ورد» للسفوح .
- ١٣٦ - ٤١ - نموذج «كين» .
- ١٤٢ - ٤٢ - التدفق الدوامى .

- ١٤٢ - ٤٣ - دوامات رأسية بقناة النهر .
- ١٤٣ - ٤٤ - الحفر الوعائية بقاع النهر
- ١٥١، ١٤٦ - ٤٥ - نقل النهر لرواسبه
- ١٥٤ - ٤٦ - قطاعات النهر .
- ١٥٦ - ٤٧ - مراحل تطور الأشكال الأرضية في أحواض الأنهار تبعا لديفز .
- ١٥٨ - ٤٨ - نتوءات نهريّة متداخلة .
- ١٦٠ - ٤٩ - الشلالات الناتجة عن الحواجز الصخرية .
- ١٦٤ - ٥٠ - انطباق نطاق الثنيات مع حدود السهل الفيضى .
- ١٦٨ - ٥١ - خصائص القناة النهريّة المتعرجة وتطورها .
- ١٦٩ - ٥٢ - التيارات الثانوية العرضية ، وأثرها فى تطور القناة النهريّة .
- ١٧٠ - ٥٣ - مراحل تطور الثنيات النهريّة .
- ١٧١ - ٥٤ - العناصر الهندسية للثنيات النهريّة .
- ١٧٢ - ٥٥ - العلاقة بين تطور الثنيات وتكون السهل الفيضى -
- ١٧٣ - ٥٦ - كيفية تكون الجسور الطبيعية للنهر .
- ١٧٥ - ٥٧ - هجرة النهر لمجرهه وشكل المدرجات النهريّة .
- ١٧٦ - ٥٨ - تطور مدرجات نهريّة على جانبيّ إحدى الثنيات النهريّة المتأثرة بتغير مستوى القاعدة .
- ١٧٨ - ٥٩ - مدرجات نهريّة سابقة للسهل الفيضى الحالى .
- ١٧٩ - ٦٠ - نتوء أرضى متوغل داخل إحدى الثنيات المتعمقة .
- ١٨٠ - ٦١ - مراحل تطور الثنيات المتعمقة .
- ١٨١ - ٦٢ - القناة النهريّة المضفرة .
- ١٨٦ - ٦٣ - السهل الدلتاوى .
- ١٨٧ - ٦٤ - امتداد الدلتا وتطورها .
- ١٨٩ - ٦٥ - أشكال الدالات أ - ب

- ١٩١ - ٦٦ - مروحة فيضية .
- ١٩٢ - ٦٧ - النظام السيلي في منطقة جبلية .
- ١٩٤ - ٦٨ - أ - أنماط التصريف النهري . ب - كيفية حدوث الأسر النهري .
- ١٩٩ - ٦٩ - منطقة تقسيم المياه بالصحراء الشرقية
- ٢٠٠ - ٧٠ - أكواع الأسر قرب هولسبرج .
- ٢٠١ - ٧١ - أسر نهري في منطقة يوركشير .
- ٢١٣ - ٧٢ - الحوض الأعلى لوادي بيثة .
- ٢١٧ - ٧٣ - حوض وادي لين بهضبة لمجد .
- ٢١٩ - ٧٤ - أحواض أودية نقارة وجاسوس وجوسيس .
- ٢٢١ - ٧٥ - أحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة .
- ٢٤٢ - ٧٦ - صور الإذابة بكتلة من الحجر الجيري .
- ٢٤٧ - ٧٧ - أنواع حفر الإذابة وحفر الانهيار .
- ٢٤٩ - ٧٨ - (أ) الملامح المورفولوجية لعيون الأفلاج . (ب) - العلاقة بين محاور البحيرات الثلاثة بالأفلاج .
- ٢٥٦ - ٧٩ - كهف كارستي .
- ٢٥٧ - ٨٠ - غار الشباب بجبل قارة بالإحساء
- ٢٦٠ - ٨١ - انبجاس مياه النهر الأعمى .
- ٢٦٢ - ٨٢ - دحل الهيت قرب مدينة الرياض .
- ٢٧٦ - ٨٣ - تشكيل الحصى الهندسى بفعل الرياح وبعض أشكاله .
- ٢٧٧ - ٨٤ - المائدة الصحراوية .
- ٢٨٠ - ٨٥ - ظاهرة الزيوجين أ - ب .
- ٢٨١ - ٨٦ - ظاهرة الياردنج أ - ب .
- ٢٨٢ - ٨٧ - تلان وسط أرض منخفضة .
- ٢٨٤ - ٨٨ - الكدوات الناتجة عن نحت الرياح .

- ٢٨٩ - ٨٩ - مصايد الرمال
- ٢٩٣ - ٩ - كفاءة المصائد الرأسية والأفقية
- ٣٠٤ - ٩١ - غرد طولى تطور نتيجة لهبوب رياح من الجهات مختلفين.
- ٣٠٧ - ٩٢ - الكثبان الرملية قرب الواحات الخارجة.
- ٣٠٨ - ٩٣ - كثبان رملية برخانية مع تحديد كيفية تكونها.
- ٣١٣ - ٩٤ - بعض الكثبان والأشكال الرملية فى المناطق القاحلة.
- ٣٢٤ - ٩٥ - تراجع الجروف الساحلية بفعل الانهيارات.
- ٣٢٦ - ٩٦ - قطاع فى جرف طباشيرى بجزيرة ثانت بالمجرترا.
- ٣٢٧ - ٩٧ - تكون الكهوف والشروم والخلجان والرصيف الشاطئ وغيرها.
- ٣٣٠ - ٩٨ - قطاع جرف بحرى فى خليج جنبه جنوب جزيرة فرسان.
- ٣٣٢ - ٩٩ - رصيف الشاطئ جنوب بحيرة مرسى مطروح الشرقية.
- ٣٣٤ - ١٠٠ - جرف بساحل أبو سمرة.
- ٣٣٩ - ١٠١ - فجوة الأمواج فى جرف طينى بساحل إيدهاما باليابان.
- ٣٤١ - ١٠٢ - شرم بحرى ناتج عن انهيار سقف كهف بحرى.
- ٣٤٥ - ١٠٣ - رأس أبو سومة.
- ٣٤٦ - ١٠٤ - تومبولو جزيرة بارنجوى.
- ٣٤٧ - ١٠٥ - ساحل أوتواى وأشكال رصيفه البحرى.
- ٣٥٠ - ١٠٦ - تكون الجروف وتطورها.
- ٣٥١ - ١٠٧ - النطاقات الساحلية وبعض الملامح الشاطئية.
- ٣٥٣ - ١٠٨ - بلاج رملى وحصوى.
- ٣٥٦ - ١٠٩ - تكون لسان رملى منحنى (معقوف) بفعل أمواج بحرية منحرفة.
- ٣٥٧ - ١١٠ - لسان ساندى هوك.
- ٣٥٩ - ١١١ - تطور الحواجز الشاطئية وتكون اللاجون.
- ٣٦١ - ١١٢ - حاجز بحيرة المنزلة.

- ٣٦٣ ١١٣ - (١) تكون الحافات الرملية المنخفضة (ب) - مسنات الشاطئ
- ٣٦٦ ١١٤ - جزيرة سفاحة
- ٣٦٧ ١١٥ - خلجان وأشكال إرسائية على ساحل منخفض
- ٣٦٨ ١١٦ - مصب خليجي متسع .
- ٣٧٢ ١١٧ - قطاع عرضي في قناة مدية .
- ٣٧٤ ١١٨ - قنوات مدية بساحل هولندا
- ٣٧٦ ١١٩ - مستنقع مانجروف وسط جزيرة مرجانية
- ٣٨ ١٢٠ - الكثبان الأمامية الساحلية
- ٣٨١ ١٢١ - جرف رملي منحوت بفعل الحت الموجي لجهة كتيب أمامي .
- ٣٨٢ ١٢٢ - كتيب رملي مجدوع .
- ٣٨٩ ١٢٣ - شكل الإطار المرجاني
- ١٢٤ - رسم توضيحي لإطار مرجاني بالساحل الشمالي الشرقي للخليج  
العقبة .
- ٣٩ ١٢٤ - ساحل سفاحة المرجاني .
- ٣٩٢ ١٢٦ - الحاجز المرجاني .
- ٣٩٣ ١٢٧ - نقل المفتتات بفعل الجليد .
- ٤ ٢ ١٢٨ - أحد الأودية الجليدية بالعروض العليا .
- ٤ ٤ ١٢٩ - أحد الأودية الجليدية تحده حافات مسنة وقمم هرمية .
- ٤ ٥ ١٣٠ - وادي معلق يلتقي بالنهر الجليدي الرئيسي .
- ٤ ٦ ١٣١ - منطقة تعرضت للنحت الجليدي
- ٤ ٧ ١٣٢ - أثر النحت الجليدي في تحذب القمم الهرمية التي تظهر بالشكل  
السابق ١٣١ .
- ٤ ٧ ١٣٣ - أعالي نهر أفون جلين .
- ٤ - ٩ ١٣٤ - ظهور غنمية .
- ٤ - ٩



- ٤١٠ - ١٣٥ - منطقة ساحلية مرتفعة أثناء تعرضها للنحت الجليدى .
- ٤١٠ - ١٣٦ - غمر البحر للمنطقة السابقة وظهور مصبات بجوانب منحدره .
- ٤١٢ - ١٣٧ - تكون الركام الأوسط من اندماج ركامين جانبيين لنهرين جليديين  
التقيا ببعضهما البعض .
- ٤١٣ - ١٣٨ - أشكال إرساب جليدى بقاع إحدى الثلجات بعد ذوبان الجليد .
- ٤١٥ - ١٣٩ - امتداد نطاق من الركامات الجليدية النهائية .
- ٤١٦ - ١٤٠ - حافة إسكرو .
- ٤١٨ - ١٤١ - مجموعة من الكثبان الجليدية غرب نيويورك .
- ٤١٩ - ١٤٢ - الوند الجليدى .
- ٤٣٣ - ١٤٣ - الزراعة الكنتورية .
- ٤٤٥ - ١٤٤ - العلاقة بين التوسع العمرانى وحدود المجرى المائى .
- ٤٥٨ - ١٤٥ - الحوائط البحرية .
- ٤٦٠ - ١٤٦ - أثر حواجز الرمال فى ساحل بحيرة «إيرى» الجرفى .
- ٤٦٢ - ١٤٧ - حائط حاجز بحيرة المتزلة (تكسية الشاطئ) .
- ٤٦٣ - ١٤٨ - بعض وسائل حماية جروف منطقة والتن .
- ٤٦٥ - ١٤٩ - نظام تغذية البلاج .
- ٤٦٩ - ١٥٠ - مناطق الهبوط الارضى بولاية كاليفورنيا الأمريكية .

## فهرس الصور الجئوتوغرافية.

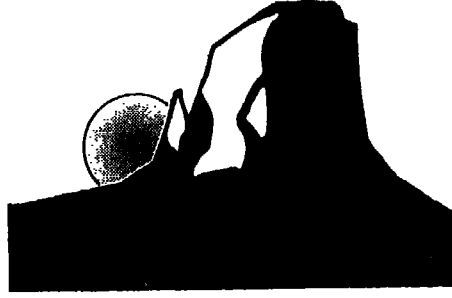
- ٤٦ (١) جدة (سد أفقى) متداخلة .
- ٤٧ (٢) قاطع رأسى (عرضى من الكوارتز) متداخل فى صخور متحولة .
- ٦٩ (٣) انهيارات أرضية على أحد السوح الجبلية .
- ٧١ (٤) تشققات سطحية غير منتظمة فى إحدى السبخات بالإحساء
- ٧٢ (٥) تشققات طينية كبيرة فى قاع بحيرة سد أبها أثناء الجفاف .
- ٨٠ (٦) تفصل عمودى بجانب أحد الأودية الجافة .
- ٨٣ (٧) تفكك كتلى بالصخور النارية .
- ٨٨ (٨) تشقق الطرق المسفلطة بفعل التجوية الملحية .
- (٩) مفتتات ناتجة عن التجوية . يلاحظ تورق الكتلة الصخرية كبير الحجم .
- ٩٠
- ٩٩ (١٠) أثر جذور النباتات على تفكك الصخور .
- ١٠٢ (١١) حفر تجوية .
- ١٠٣ (١٢) كهوف إذابة وفواصل صخرية بإحدى الحافات بنجران .
- ١١٧ (١٣) سفح شديد التقطع على جانب وادى «حلى» بعسير .
- ١٣٠ (١٤) سفح مستقيم من صخور نارية مع حدوث انزلاق لوحى للصخور .
- ١٥٩ (١٥) كتل صخرية جندلية بقاع أحد الأودية الجافة أثناء الجريان السيلى .
- ١٦٢ ١٦ - شلال دقيق على جانب وادى أبها .
- ٢٥١ ١٧ - منخفض سبرة بوكرباس بليبيا .
- ٢٥٣ ١٨ - سطح مشرشر (بوجاز) فى يوركشير .
- ٢٥٦ ١٩ - أحد الكهوف الكارستية عند حصيى حافة جيرية .
- ٢٠ - انهيار وسقوط كتل من الحجر الجيرى عند مدخل غار الشاب بجبل غارة بالإحساء .
- ٢٥٨

- ٢٧٨ - ٢١ - مائدة صحراوية بوادي الريان .
- ٢٧٩ - ٢٢ - شواهد صحراوية شكلتها التجوية والرياح .
- ٢٨٢ - ٢٣ - أربع جزر جبلية وسط سهل صحراوي متسع ومنخفض
- ٣٠٨ - ٢٤ - كثيب برخاني ساحلي .
- ٣٢١ - ٢٥ - تنقيح صخور رصيف الشاطئ بساحل مرسى مطروح .
- ٣٣٠ - ٢٦ - شرفة وفجوات الأمواج بساحل فرسان .
- ٣٣١ - ٢٧ - انهيار جرف بحري منخفض بساحل جنابة بجزيرة فرسان الكبرى .
- ٣٣٣ - ٢٨ - صورة رصيف بحري بمنطقة مرسى مطروح يظهره جرف جيبي .
- ٢٩ - حاجز مرجاني مرتفع بجزر فرسان تظهر به أقواس بحريا  
٣٤٣ وجزيرات .
- ٣٥٤ - ٣٠ - صورة بلاج رملي .
- ٣٧٧ - ٣١ - مستنقع مانجروف .
- ٣٢ - سفحان متجاوران أحدهما تم تدريجه وزراعته والآخر على صورتها  
٤٣٤ الأصلية .
- ٣٣ - تدرج السفوح بشبكات من الصلب في الباحة بعسير للحماية من  
٤٣٧ الانهيارات الأرضية .
- ٤٤٠ - ٣٤ - منزل فوق حافة سفح جبلي .
- ٤٥٥ - ٣٥ - سد وادي نجران .

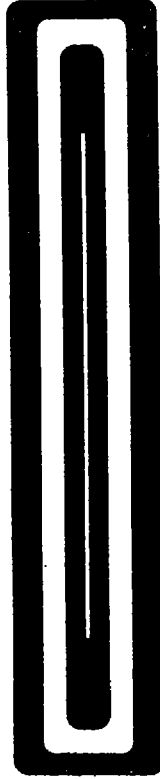
## فهرس الجدول

- ٢٤ (١) تصنيف الحبيبات الرسوبية والصحور المكونة منها
- ١٢٦ (٢) قياسات «راب Rapp» للعمليات المرتبطة بالسفوح
- ١٤٩ (٣) معدلات نقل الرواسب العالقة بالأنهار الرئيسية في العالم.
- ٢٠٤ (٤) المتغيرات المورفومترية لأحواض التصريف النهري.
- ٢١٢ (٥) عدد من المتغيرات المورفومترية لشبكة التصريف النهري
- ٢١٣ (٦) معدل التشعب (التفرع) بحوض وادي بيثة الأعلى
- ٢١٨ (٧) نسب التشعب بوادي لبن.
- ٢٢٠ (٨) بعض القياسات المورفومترية لأودية نقارة وجاسوس وحوسيس
- (٩) بعض القياسات المورفومترية بأحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة
- ٢٢١ (١٠) قيم معدل التضرس والوعورة والكثافة التصريفية بأحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة
- ٢٢٣ (١١) بعض الخصائص المورفومترية لأودية أبو سمرة وجابر والضبعة.
- ٢٢٥ (١٢) أبعاد عيون (بحيرات) الأفلاج بهضبة نجد.
- ٢٥٠ (١٣) العلاقة بين سرعة الرياح سم/ثانية وطول موجة النيم.
- ٣٠٦ (١٤) الأشكال المرجانية الرئيسية
- ٣٨٨ (١٥) تغير معدل ناتج الرواسب من سطح الأرض بحوض النهر والقناة مع زيادة أشكال الاستخدامات البشرية للأرض.
- ٤٤١

## الفصل الاول



صخور قشرة الأرض





تعد الصخور المكون الرئيسي لقشرة الأرض، وهى فى الأصل عبارة عن مجموعة من المعادن التى تراكمت فى منطقة ما وتعرضت لظروف تكوين معينة.

وقد قسم العالم Rosenbusch صخور قشرة الأرض إلى ثلاثة أنواع رئيسية تتمثل فى -

١ - الصخور النارية .

٢ - الصخور الرسوبية .

٣ - الصخور المتحولة.

تتركب قشرة الأرض فى معظمها من صخور نارية نتجت عن تصلب الصهارة المنذفة من داخل الأرض إلى أعلى باتجاه السطح، ويعتمد التركيب المعدنى والكيماوى للصخور النارية على التركيب الأصيلى للصهارة والذى يعد أكسيد السليكون (السليكا)  $\text{SiO}_2$  المكون الرئيسى لها، بينما تتحد الأكاسيد الأخرى وأهمها أكسيد الألومنيوم وأكسيد الحديدور وأكسيد المغنسيوم بالسليكا مكونة المعادن الهامة التى تعرف بالسيليكات وهى المكون الرئيسى للصخور.

ويعد الكوارتز من أهم المعادن المكونة للصخور النارية، بالإضافة إلى مجموعة الفلسبارات وتشمل الأرتوكليز والأليت ومجموعة الميكا وتشمل المسكوفيت والبيوتيت، وهناك معادن أخرى مثل الأوجيت والماجنيثيت وغيرها.

أما الصخور الرسوبية فتنشأ عن تراكم مفتتات صخرية مشتقة من كل أنواع الصخور بفعل عمليات التجوية والتعرية، وعادة ماترسب فى شكل طبقات *strata* ولذلك فإنها كثيرا ماتعرف بالصخور الطباقية.

ويتم تماسك الصخور الرسوبية بفعل ماينشأ من ضغط عليها نتيجة لتراكم الطبقات التى تعلوها، أو تماسك بسبب وجود مواد لاحمة

Cementing materials، مثل كربونات الكالسيوم وأكاسيد الحديد بين حبيباتها. بالنسبة للصخور المتحولة فهي عبارة عن صخور ذات أصل نارى أو رسوبى تعرضت للتحويل بفعل الحرارة أو الضغط مما أدى إلى حدوث تغير فى النسيج الصخرى الأسمى مع تكون معادن جديدة.

وفى الصفحات التالية دراسة تفصيلية بعض الشىء لخصائص هذه الأنواع الصخرية الثلاثة:

#### أولا - الصخور النارية: Igneous Rocks :-

تتكون الصخور النارية إما داخل القشرة الأرضية كصخور متداخلة Intrusive rocks بين الطبقات فى الشقوق والتجويفات التى توجد بالصخور الأخرى أو تتكون فوق سطح الأرض، وتعرف فى هذه الحالة بالصخور السطحية أو البركانية حيث تنساب كحمم بركانية مختلطة بالرماد البركانى .

وكما ذكرنا فإن التركيب المعدنى والكيماوى للصخور النارية يعتمد أساساً على التركيب الأسمى للصحارة التى تحتوى بدورها على مكونات غير طيارة non volatiles ودرجة تصلبها حوالى ١٠٠٠ درجة مئوية ومكونات طيارة volatiles وهى عبارة عن غازات وبخار ماء ومواد طيارة تحمل معها عديد من المعادن الفلزية (موسى وزملاؤه ، ص ٣٧) .

وتتركب الصحارة من عدد من المعادن الرئيسية أهمها أكسيد السليكون  $\text{SiO}_2$  بنسبة تتراوح بين ٣٥-٧٥٪ وأكسيد الألومنيوم  $\text{Al}_2\text{O}_3$  من صفر - ٢٥٪ وأكسيد الحديدوز Feo من صفر - ٢٠٪ وأكسيد المغنسيوم MgO من صفر - ٤٥٪ وأكسيد الكالسيوم وأكسيد الصوديوم وغيرها .

ويعد أكسيد السليكيون ( السيلكا ) المكون الرئيسى للصحارة، بينما تتحد الأكاسيد الستة الأخرى بالسيلكا مكونة المعادن الهامة التى تعرف بالسيليكات



المكونة للصخور وعادة ما تتحد هذه المعادن والمكونات المختلفة مع بعضها البعض عندما تنخفض درجة الحرارة ، وإذا ما توافرت نسبة السيليكا فإنها تظهر في الصخر الناري على هيئة معدن الكوارتز .

أهم المعادن المميزة للصخور النارية :

تشتمل الصخور النارية على عدد كبير من المعادن أهمها الكوارتز ومجموعة الفلسبارات وتشمل الأرتوكليز والأليت والأورثيت، ومجموعة الميكا وتشمل السكوفيت والبيوتيت ومجموعة البيركسين وأهمها الأوجيت، ومجموعة الأمفيبول وأهمها الهورنبلند وبعض أكاسيد الحديد مثل الماجنيتيت والأليت ، ومن المعادن أيضاً الأوليفين والأخير من المعادن قائمة اللون .

تنقسم الصخور النارية على أساس نسبة ما تحتويه من سيليكات إلى :-

تقسيم الصخور النارية حسب درجة حموضتها :

(١) صخور حمضية : **Acidic Rocks** :-

تتميز السيليكات التي تتبلور في درجات حرارة منخفضة بغيرها في مادة السيليكا ، أى أن نسبة شقها الحمضى أكبر من شقها القاعدى ولذلك تسمى بالصخور الحمضية حيث تصل نسبة السيليكا بها إلى نحو ٧٠٪ وعادة ما تتميز هذه الصخور بلونها الفاتح وقلة كثافتها النوعية بالمقارنة بالصخور القلوية، ومن أهم أنواع هذه الصخور [ الجرانيت - والجرانوديوريت - والريوليت ] .

(٢) الصخور القلوية : **Alkaline Rocks** :-

وهى الصخور التي تبلورت فى درجات حرارة عالية مما أدى إلى زيادة نسبة الشق القاعدى أو القلوى فيها ، ولذلك تسمى بالصخور القاعدية أو القلوية ومنها صخر البارلت وصخر الجابرو **Gabbro** ، الأول من الصخور البركانية والثانى من الصخور البلوتونية **Plutonic** ومن الصخور القلوية أيضاً البريوديت **peridotite** .

وتتراوح نسبة السيليكا في هذه الصخور بين ٤٥-٥٥٪ وترتفع فيها أيضاً نسبة الحديد والمغنسيوم وهي أقل مقاومة لعمليات التعرية من الصخور الحمضية وتتميز بألوانها القاتمة بسبب زيادة نسبة مركبات الحديد بها، وتوجد صخور أخرى فوق قاعدية Ultrabasic تتراوح فيها نسبة السيليكا ما بين ٥٪ - ٣٥٪ ( صفي الدين ، ١٩٧٦ ، ص٥٨) ومن أهم أنواعها السربنتين Serpentine .

وهناك أنواع أقل قلوية وأكثر حموضة ( وسط بين القلوية والحمضية ) تتراوح نسبة السيليكا بها ما بين ٥٥ - ٦٥٪ وتتمثل أساساً في الصخور المتداخلة في قشرة الأرض والمكونة للسدود والجلدد الغائرة وغيرها .

وتختلف الصخور النارية عن بعضها البعض في حجم بلوراتها، فهناك صخور ذات بلورات دقيقة مثل البازلت والذي يبرد على السطح بسرعة لم تسمح له بالتبلور بشكل جيد، وهناك الصخور النارية جيدة التبلور مثل الجرانيت والذي أتيج له التجمد في أعماق بعيدة يبطء شديد مما سمح له بنمو بلورات واضحة .

وهناك صخور نارية وسط بين الاثنين وهي الصخور المتداخلة المكونة للسدود الرأسية والخزانات الصخرية .

#### ثانياً - الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks :-

تتكون الصخور الرسوبية من ترسيب مواد مفتتة أو ذائبة نتجت عن تعرض الصخور المختلفة لعمليات التجوية والتعرية المختلفة<sup>(١)</sup> .

وعادة ما تنقل المفتتات الصخرية من أماكنها الأصلية إما في شكل حبيبات صلبة أو في صورة محاليل ثم ترسب بعد ذلك في طبقات بعد توزيعها بفعل العمليات الهوائية والنهرية وغيرها مكونة الرواسب الطبقيّة ، وتتراكم معظم الرواسب على هيئة مواد مفتتة غير متماسكة Unconsolidated ثم تتعرض لعمليات تجعلها أكثر تماسكاً وصلابة تتمثل أهمها فيما يلي :-

---

(١) تغطي الصخور الرسوبية أكثر من ثلاثة أرباع سطح القشرة الأرضية، بينما تكون نحو ٥٪ فقط من صخورها ويرجع ذلك إلى وجودها كغطاء رقيق غير متصل .

## الضغط والتجفيف :

حيث يؤدي ثقل الرواسب المتراكمة فوق بعضها على تماسك جزيئاتها، كذلك يؤدي الضغط إلى طرد ما في مسامها من مياه فتجف وتتماسك الجزيئات التي تتكون منها تلك الصخور، ومن الصخور الرسوبية التي تكونت بهذه الطريقة الحجر الطيني mud stone .

## التلاحم - Cementation :

يؤدي وجود بعض المعادن بين الرواسب على تماسكها وتلاحم الجزيئات بعضها ببعض، وأهم المعادن اللاحمة السيليكا وأكاسيد الحديد و كربونات الكالسيوم، وتعد السيليكا أكثر المواد اللاحمة تأثيراً ويتم ترسيب المواد اللاحمة بين الرواسب عندما تتخلل مساحاتها في شكل محاليل ما يقلل من الفراغات البنية voids للرواسب ويؤدي إلى التحام مساماتها، ومن الصخور التي تماسكت بهذه الطريقة الحجر الرملي .

## التبلور - Crystalization :

عندما تعرض بعض الصخور الرسوبية للضغط فإنها تتماسك نتيجة لتبلور بعض مركباتها أو نتيجة لإعادة تبلورها مرة أخرى حيث تتداخل بلوراتها وتتلئ الفراغات الموجودة بينها وتتماسك جزيئاتها مكونة صخوراً رسوبية .

## تصنيف الرواسب تبعاً لطرق تكوينها :

يمكن تصنيف الرواسب تبعاً لطرق تكوينها إلى ثلاث مجموعات هي :-

### ١- الرواسب الميكانيكية والصخور المكونة منها :

تتكون من حبيبات فتاتية نتجت عن تعرض صخور قديمة لعمليات التجوية والنحت ونقلت إلى مناطقها الحالية بفعل الرياح أو الأنهار أو الجليد، ويتمثل هذا النوع من الرواسب في الجلاميد boulders والحصى والرمل والطين والتي يبين الجدول التالي تصنيفها الحجمي .

جدول رقم (١) تصنيف الحبيبات الرسوبية والصخور المكونة منها

اسم الصخور التي تتكون من ملامحها	الحجم بالمليمتر	اسم الفتية ( الحبة )
كنلجو أوبريشيا Conglomerate at Breccia	٢٥٠	Boulder جلمود
	٢٥-٦٤	Cobble زلط
	٦٤-٤	Pebbel حصي
	٤-٢	Granule حبية
حجر رملي Sandstone	٢ - $\frac{1}{16}$	Sand حبة رمل
حجر غريني أو طفلي Claystone or Shale	$\frac{1}{16}$ - $\frac{1}{250}$	Silt حبة غرين
	$\frac{1}{250}$	حبة طين

عن محمد حسن وزملائه ١٩٩٠

وفي كثير من الأحيان يحدث أن تتكون الصخور الرسوبية الفتاتية (الميكانيكية) من نسب مختلفة من الأحجام وهنا نستعمل تسميات مزدوجة أو ثلاثية للتعبير عن هذه الصخور مثل طين غريني أو رمل طيني غريني أو غرين طيني رملي.

وفيما يلي إيجاز لأهم خصائص الصخور الرسوبية الفتاتية أو الميكانيكية:

- الصخور الحصوية: Rudaceous Rocks:-

تتكون الصخور عادة من تلاحم حبات صخرية يزيد قطرها على مليمترين

وعادة ما تتكون من صخور نارية كالجرانيت وترجع فى نشأتها إلى عمليات ترسيب بحرية على شواطئ ضحلة تتم مع وجود تيار مائى ضعيف يساعد على توزيع الرواسب الحصوية الفككة على مسافات متقاربة من الشاطئ ، وتعرض رواسب الحصى لتآكل الأجزاء اللينة منها تاركة الأجزاء الصلبة التى تكون هنا قريبة من الاستدارة لتتلاحم مع بعضها البعض<sup>(١)</sup> مكونة صخر الكنجلوميرات أو الرصيص . كذلك توجد هذه الرواسب الحصوية عند أقدم السفوح التى تتعرض للانهيارات الأرضية متميزة بعدم انتظام شكل حباتها التى عادة ما تكون حادة الزوايا angular والتى عندما تتلاحم تعطى صخوراً قريب الشبه من الكنجلوميرات يعرف بصخر البريشيا breccia والذى يدل وجوده على تماسكة بالقرب من مصدره<sup>(٢)</sup> وكذلك يقتصر وجوده فى الغالب على المناطق المنخفضة المتاخمة للمنحدرات الجبلية التى تمثل مصدراً لهشيم السفوح الناتج عن عمليات الانهيارات الأرضية بأنواعها المختلفة .

#### - الصخور الرملية : Arenaceous Rocks (٣):

تتكون من تلاحم حبات الرمل التى يتراوح قطرها ما بين  $\frac{1}{16}$  - ٢ ملليمتر وتتكون عادة من الكوارتز مع احتوائها على كميات ضئيلة من معادن الفلسبار والميكا .

تتلاحم هذه الرواسب الرملية مكونة صخور الحجر الرملى sand stone ويتم تلاحمها من خلال تسرب المياه فى مسامها ، وكما ذكرنا فإن أهم المواد اللاحمة كربونات الكالسيوم والسيليكا وأكاسيد الحديد ، وتترسب هذه الصخور عادة فى المياه الشاطئية الضحلة أو فى مجارى الأنهار أو على سطح الأرض فى مناطق

(١) عادة ما تتلاحم بواسطة مواد كلسية أو حديدية .

(٢) حيث لم تتعرض حباته الحصوية للدرجة لمسافات بعيدة مما جعلها تحتفظ بشكلها الزاوى عكس الحال مع الكنجلوميرات الناتج عن تلاحم رواسب نهريّة أنتت من مسافات بعيدة أو رواسب شاطئية تعرضت لتكرار نحت الأمواج .

(٣) تكون الصخور الرملية حوالى ١٥% من جملة الصخور الرموية .

واسعة تظهر فى الصحارى الآن مثل هضبة الجلف الكبير فى صحراء مصر الغربية وهضبة العبادلة بالصحراء الشرقية والتي تعرف هنا بالحجر الرملى النوبى بسمك يبلغ نحو ٥٠٠ متر وقد تكونت فى جزء كبير منها فى الجوراسى والكريتاسى الأسفل كرواسب رفرية لبحر تثنس القديم .

وبشكل عام يمكن تمييز أنواع عديدة من الصخور الرملية تبعاً لنوع المادة اللاحمة مثل الحجر الرملى الجيرى ومادته اللاحمة الكالسيت والحجر الرملى الحديدى والمادة اللاحمة أكاسيد حديد حمراء أو بنية، والحجر الرملى الطينى ومادته اللاحمة الطين ، وإذا كانت المادة اللاحمة سيليكاً سمي بالحجر الرملى السيليكى .

كذلك تختلف صلابة الصخور الرملية تبعاً لاختلاف مادتها اللاحمة ومقدارها وحجم الحبيبات الرملية المكونة لها ، وكثيراً ما اكتسب الصخور الرملية ألواناً تختلف باختلاف المواد الداخلة فى تكوينها منها الأحمر والأصفر والبني ، فالصخر الرملى المائل إلى الحمرة تكون عادة المادة اللاحمة نوع من أكاسيد الحديد مثل الليمونيت أو الهيماتيت ، وإذا ما كان أيضاً شديد الصلابة فيكون الكوارتز بمثابة المادة اللاحمة .

#### ١- الصخور الطينية : Argillaceous Rocks :

تكون من حبيبات دقيقة ناعمة متوسط قطرها ٠,٥ من المليمتر وعادة ما تتكون الرواسب الطينية من معادن الصلصال وتركيبها الكيماوى سيليكات الألومنيوم المائية الناتجة عن تحلل معدن الفلسبار وتحتوى على معادن أخرى مثل الكوارتز وأكاسيد الحديد والمنجنيز والميكا .

وتتراكم رواسب الطين فى المناطق العميقة التى تلقى فيها الأنهار حمولتها أو فى قيعان البحيرات العذبة ، وعندما تتعرض للتجفيف تفقد مياهها التى طردت من مساهمها بسبب تعرضها - أى الرواسب - لضغوط كبيرة وتتماسك وتتحول إلى صخر طينى ينقسم بدوره إلى نوعين :

أ- صخر طيني متجانس : ويتكون نتيجة إرساب مواد متجانسة لفترة طويلة بحيث إذا تعرض للضغط والتجفيف تحول إلى صخر متجانس .

ب- صخر طيني صفحي : يتركب من وريقات أو صفائح صخرية رقيقة تنفصل عن بعضها إذا ما تعرض لأقل ضغط ، ويتكون نتيجة عملية ترسيب متقطع لمواد غير متجانسة تماسك بالضغط والتجفيف<sup>(١)</sup> .

ويعد الصلصال الحرارى fire clay أكثر أنواع الصخور الطينية نقاءً وخلوًا من الشوائب، خاصة المواد الجيرية والقلوية ، وله القدرة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة ولذلك يستخدم كعازل في الأفران الكهربائية ، وإذا ما ارتفعت نسبة كربونات الكالسيوم فى الصخر الطينى يسمى بالمارل<sup>(٢)</sup> أما إذا ارتفعت نسبة الكوارتز فيه فيطلق عليها الطين الرملى أو الطينية الصفراء loam .

## ٢- الصخور الرسوبية ذات الأصل العضوى : Organically Formed Rocks :

تتكون هذه الصخور نتيجة حدوث عمليات ترسيب لمخلفات وبقايا عضوية نباتية أو حيوانية لأحياء كانت تزخر بها الكتل اليابسة أو البحر ، وغالبًا ما تحتوى على حفريات تدل على أصولها<sup>(٣)</sup> .

وتمثل أهم البقايا العضوية فى هياكل الحيوانات أو إفرازات بعض الطحالب وجذور النباتات وغيرها ، وتتكون معظم الهياكل الحيوانية من بلورات معدنية ترسبت فى داخل جسم الحيوانات نتيجة لنشاطه الحيوى ( البيولوجى ) ( حسن وزملاؤه ، ص ١٠٧ ) .

ويعد الحجر الجيرى lime stone الذى تكون نتيجة لتراكم هياكل حيوانات بحرية مثل الإفرازات المرجانية أو هياكل الكائنات البحرية الفقارية واللافقارية وتراكم الأصداف والرخويات mussels .

(١) يكون الطين الصفحي والصلصال نحو ٨٠٪ من الصخور الرسوبية .

(٢) يتكون المارل من ٥٠٪ من الطين والنسبة الباقية من الجير أو الحجر الجيرى الرملى

(٣) تكثر فى هذه الصخور الحفريات مثل القواقع والأصداف وبعض الحفريات الاسطوانية الشكل مثل النصليات belemnites وغيرها .

ومن أنواع الحجر الجيري ما يعرف بالحجر الجيري السريى أو البطروخى -Oo lithic Limestone ويبدو فى هيئة بويضات ملتحمة كل بويضة منها لها نواة مركزية عبارة عن محارة فى معظم الأحيان وتغلف هذه النواة طبقات متتالية من كربونات الكالسيوم ( صفى الدين ، ص ٦٩ ) .

وتظهر فى مصر على طول الساحل الشمالى حافات مكونة من هذا النوع من الصخور تفصلها عن بعضها أحواض طولية ، من هذه الحافات ، الحافات الثلاث الممتدة شرقى بحيرة مريوط حتى العلمين .

وتعد صخور الفوسفات نوعاً من الصخور العضوية(\*) التى تكونت نتيجة لتراكم هياكل حيوانات فقارية ومخلفات الطيور .

### ٣- الصخور الرسوبية ذات الأصل الكيماوى :

تتكون هذه الصخور نتيجة للتفاعلات الكيماوية والترسيب من محاليل مائية بعد تعرضها للتبخر أو عند بلوغها درجة التشبع حيث تبقى فى شكل رواسب جييرية أو ملحية، أو تكوينات من الجبس وترسب الأملاح فى قيعان بحيرات ملحة وتعرف الرواسب الناتجة عن التبلور من محاليل مائية شديدة الملوحة على سطح الأرض باسم المتبخرات evaporites، ويعد صخر الترافرتين من الصخور الجييرية الكيماوية، ونادراً ما تحوى هذه الرواسب حفريات حيث يستحيل وجود حياة فى ظروف الملوحة الشديدة التى كانت سائدة فى مثل هذه المواضع .

وتمثل الصخور الرسوبية الكيماوية الناتجة عن التفاعل الكيماوى فى ترسيب الحجر الجيري من محاليل بيكربونات الكالسيوم نتيجة فقدانها ثانى أكسيد الكربون [ثانى أكسيد كربون + ماء + كالسيت → بيكربونات الكالسيوم] .

ومن أنواع الرواسب الكيماوية الأخرى الأنهدريت وأملاح البوتاسيوم والصوديوم والنطرون .

---

(\*) تكون هذه الرواسب من فوسفات الكالسيوم وبعض الكربونات والعناصر الأخرى وبعد الفحم كذلك نوع من الصخور العضوية التى نتجت عن عمليات احتزال ( تنخم ) للنباتات المتراكمة فى المستنقعات .



كذلك تعد الصخور الجيرية بالكهوف الكارستية المعروفة باسم الهوابط stalactites والهوابط stalagmites من الأنواع التي تكونت نتيجة لإعادة ترسيب الكربونات من المحاليل المائية المشبعة ، وتكون صخور الشرت chert نتيجة زيادة نسبة السيليكا في فجوات داخل الحجر الجيري .

أما صخر dolomite الذى يحتوى معدن الدولوميت الغنى بالمغنسيوم فيتكون عادة نتيجة للتبادل المزدوج لعنصرى المغنسيوم والكلسيوم فى الصخور الجيرية عندما تتأثر هذه الصخور بمحاليل غنية بأيونات المغنسيوم .

ويعتبر الصوان كذلك حجر رسوبى كيمارى وهو عيار عن كتل مادة السيليكا غير المتبلورة ( حسن وزملاؤه ؛ ص ١١٣ ) التى ترسب فى محاليل غروية colloidal solutions وتتكون هذه الكتل فى شكل عقد modules أو فى شكل طبقات رقيقة بين الطبقات الرسوبية .

### ثالثاً - الصخور المتحولة - Metamorphic Rocks :

تتج الصخور المتحولة عن تعرض الصخور النارية أو الصخور الرسوبية للضغط والحرارة ويمكن أن ينتج الضغط والحرارة عن تأثير تراكم الصخور بعضها فوق بعض أو بفعل الطاقة الناتجة عن حركات الأرض earth movements ، وينعكس أثر كل من الضغط والحرارة على خصائص الصخور المتحولة التى يمكن أن نتبينها وإن كان من الصعب الفصل بين التأثير الحرارى والتأثير الناتج عن الضغط .

وعموماً، يحدث التحول نتيجة تغيير الظروف الطبيعية والكيمائية التى تتعرض لها الصخور النارية أو الرسوبية أو المتحولة الاصلية مما يجعل كثيراً من المعادن المكونة لهذه الصخور غير ثابت وبالتالي تتحول إلى معادن أخرى .

وتتم عملية تحويل المعادن بينما تبقى الصخور فى الحالة الصلبة وكثيراً ما تتكون للصخور المتحولة أنسجة جديدة تختلف عن أنسجة الصخور الأصلية اختلافاً تاماً .

وتتم عمليات التحول للصخور بطرق شديدة التعقيد يمكن إيجاز هذه التحولات فيما يلى :

- حدوث تغير ميكانيكى فى الشكل :

ويحدث هذا التغير بسبب الضغط الزائد الذى يؤدي إلى إعادة ترتيب المعادن المسطحة الشكل مثل الميكا بحيث يكون مستوى تسطحها متعامداً مع اتجاه الضغط

- إعادة التبلُّور : Recrystallization:

تؤدى هذه العملية إلى تكوين بلورة كبيرة من مجموعة بلورات صغيرة موجودة فى الصخر الأصيلى قبل تعرضه لعمليات التحول، وكلما زاد مقدار التحول فى الصخر زاد حجم بلوراته، وتتم هذه العملية بسبب التأثير الحرارى thermal effect. وقد تنمو معادن جديدة فى الصخور بسبب تكون بلورات جديدة باستخدام العناصر الكيماوية المكونة للمعادن الموجودة فى الصخر الأصيلى قبل تأثره بعمليات التحول.

### أنواع التحول الذى تتعرض له الصخور :

١- التحول الحرارى أو الاحتكاكى ( التماسى ) :

ينشأ نتيجة تأثر الصخور المحيطة بالكتل النارية مرتفعة الحرارة مما يؤدي إلى إعادة تبلور بعض أو جميع المعادن المكونة للصخر الأصيلى، فعلى سبيل المثال فى الصخور الرملية يعاد تبلور الكوارتز إلى بلورات صغيرة الحجم متداخلة فيتكون صخر الكوارتزيت وتتحول الصخور الجيرية والدلوميت النقى إلى رخام، بينما تتحول الصخور الجيرية التى تحتوى على شوائب من أكاسيد المغنسيوم والسيليكا إلى رخام به عروق ملونة بمختلف معادن السيليكات خاصة الأوليفين داكن اللون، كذلك تتحول الصخور الطينية إلى صخور صلبة دقيقة الحبيبات تعرف بالصخر الرنان ( الهورنفلس ).

وفى كثير من الحالات تتكون المعادن الاقتصادية المتبلورة من محاليل حارة hydro thermal solutions فى شقوق الصخور المتأثرة بهذا النوع من التحول.

٢- التحول بالضغط ( التحول الديناميكي ) : Dynamic Metamorphism:

تسبب الإجهادات وتغير درجة الحرارة فى تحول الصخور فى مناطق واسعة

ويساعد هذا النوع من التحول على نمو معادن جديدة مسطحة الشكل أو نصلية بحيث تتعامد جوانبها المفلطحة على اتجاه حركة الضغط ، ونتيجة لذلك ينشأ بالصخور المتحولة تركيب متوازي يعرف بالتورق أو الشستية .

ويتحول الطين الصفحي بهذه الطريقة إلى صخر الإردواز Slate الذى تترتب فيه المعادن الصفائحية كالميكا والكلوريت بحيث تكون أسطحها موازية للتشقق الإردوازي حيث تصبح حبيبات الكوارتز مفلطحة وبزيادة التحول يتدرج الإردواز إلى الميكاشست .

وتتحول صخور الجرانيت والصخور الرملية عادة إلى صخور الشست والنائيس .

### أمثلة لصخور متحولة :

#### ١- الإردواز : Slate :-

تتحول معظم المعادن الطينية إلى بلورات صغيرة من الميكا، وتنظم هذه البلورات المسطحة فى اتجاه عمودى كما ذكرنا على اتجاه الضغط، ويتكون الإردواز نتيجة لانتظام بلُورات الميكا فى نوع معين من التشقق المتوازي لاتجاه ترتيب مسطحات الميكا .

#### ٢- الكوارتزيت :-

وينتج عن تحول الصخور الرسوبية التى تحتوى بشكل كامل تقريباً على الكوارتز من الحجر الرملى الصوانى ، ويتكون الكوارتزيت من هذه الصخور نتيجة إعادة تبلور المعادن المكونة لها تحت تأثير التحول التماسى contact metamorphism أو التحول الديناميكى ويحدث فى بعض الأحيان أن ترسب السيليكات بين حبيبات الصخور الرملية كمادة لاحمة بين حبيباته مما يؤدى بالتالى إلى تكوين الكوارتزيت .

ويختلف لون الكوارتزيت من القرمزى إلى الأحمر نتيجة لوجود شوائب من الأكاسيد الحديدية ، ويكون الكوارتز نحو ٩٨٪ من مكونات صخر الكوارتزيت

والذى يتميز بدوره بدقة جيبياته وصلاته . ويوجد على شكل طغاب متاحه بشه  
فى ذلك الصخور الرسوبية وتستخدم الأنواع النقية مه فى صناعة الزجاج وصاعه  
أحجار الطواحين وغيرها

### ٣- الشست : Schist :-

مع زيادة الضغط والحرارة يتحول الفيليت إلى شست بحيث بمكر روية  
البلورات بالعين المجردة، وأكثر المعادن انتشاراً فى صخور الشست الميكا البيضاء  
والسوداء والهورنبلند ، ويوجد الكوارتز بكثرة فى صخور الشست ويقل بها  
الفلسبار، ويختلف لون الشست باختلاف التركيب المعدنى للصححر وكذلك  
باختلاف مستويات التشقق، وهو من الصخور المتحولة التى تنفصل سهولة إلى  
وريقات رقيقة مثله ذلك مثل الميكاشست

### ٤- الناييس :

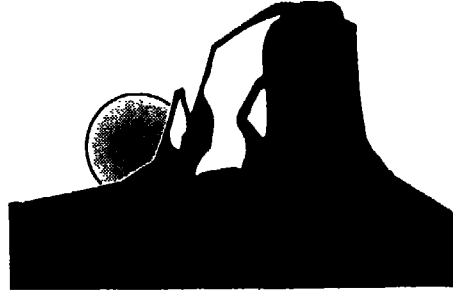
صخر متحول من الجرانيت أو الصخور النارية البلوتوية بواسطة الضغط  
والحرارة التى مع زيادة تأثيرها تتكون معادن أخرى وتزداد أحجام البلورات  
ولا يظهر فى الناييس الوريقات أو الصفائح بنفس الوضوح الذى توجد به فى  
صخور الشست .

### ٥- الرخام : Marble :-

صخر متحول محبب يتكون من بلورات من الكالسيت المتداخلة وهو محول  
من صخور جيرية ودلوميتية ، ويختلف لونه اختلافاً كبيراً فإذا ما كان محولاً من  
صخور الجير والدلوميت النقية يكون لونه أبيض ، أما إذا ما احتوى على شوائب  
مختلفة فيصبح لونه أخضر أو أحمر ، ويرجع اللون الأخضر فى الرخام إلى وجود  
السربنتين ، كما تسبب البقايا العضوية التى توجد فى الصخور الجيرية إلى ظهور  
الألوان القائمة فى الرخام

والرخام ذو سيج منتظم يختلف حجم جيبياته تبعاً لنوع الصخور  
الجيرية أو الدولوميتية التى تحول عنها

## الفصل الثاني



الاشكال الارضية التكتونية والتركيبية





## أولاً. الأشكال الناتجة عن النشاط البركاني

### مقدمة :

يتمثل المصدر الرئيسي للصهارة في النطاق الأسفل من قشرة الأرض أو الحد الأعلى من طبقة المانتل ، حيث تكون الصخور في حالة مرنة ، وعندما تتحول إلى حالة سائلة liquid state نتيجة تخفيف الضغط فوقها بسبب حدوث صدوع أو التواءات في القشرة الخارجية تخرج منبثقة على السطح من خلال الشقوق .

وإذا ما وصلت الصهارة وما يصاحبها من غازات ومواد صلبة إلى السطح من خلال أعناق البراكين أو الشقوق السطحية يحدث ما يعرف بالاندفاع أو الثوران البركاني أو الطفح اللافي ، ويعتمد نوع الخروج أو الطفح البركاني على درجة الحرارة ومكونات الصهير وكمية الغازات والمواد الصلبة واتساع الشقوق والثغرات التي تتحرك خلالها الصهارة، ويعتمد كذلك على لزوجة الصهارة والضغط المصاحب لها .

وبالنسبة للمواد البركانية التي تتكون منها الصخور البركانية فهي في الأصل عبارة عن مواد سائلة ولكنها تبرد وقد تتجمد في عنق البركان أو على السطح ، وعندما تتجمد في العنق تندفع بعد ذلك في حالة حدوث نشاط بركاني تالي ، فتخرج بعنف في شكل مقذوفات بركانية ، وقد يصل وزن بعض هذه الكتل أو المقذوفات إلى عشرات الكيلوجرامات ، وقد تتكون رغوة من صهارة سيليكية تتخللها غازات متنوعة ، وعندما تتجمد تتحول إلى صخر غني بالمسام في نسيج إسفنجي يعرف بحجر الخفاف Pumice .

أما المواد السائلة ( اللافا ) فتخرج من فوهة البركان وتساب على السطح لمسافات بعيدة نسبياً ، تخضع تلك المسافات في مداها على عدة عوامل أهمها خصائص الصهارة من حيث درجة الحموضة أو القلوية وقوة الاندفاع والثوران

البركاني ودرجة انحدار سطح الأرض ، وتتراوح درجة حرارتها عند خروجها مباشرة ما بين ٨٠٠ - ١٢٠٠ درجة مئوية مع انخفاض درجة الحرارة كلما ابتعدت عن الفوهة ، كما تزداد درجة لزوجتها إلى أن تتصلب وتتحول إلى صخور بركانية تتراكم فوق بعضها البعض حول جسم البركان .

ويصحب البركان غازات تنبعث من الفوهة ومن الشقوق المجاورة - أكثرها شيوعاً - بخار الماء Water vapour الذى يتكاثف فى الجو لتسقط أمطار غزيرة فى أعقاب الانفجار البركاني ، وتختلط مياه الأمطار فى أحيان كثيرة بالرماد البركاني مما يؤدي إلى حدوث تدفقات طينية mud flow تسبب تدميراً للمراكز العمرانية القريبة .

وبشكل عام إذا ما وصلت الماجما إلى السطح من خلال الشقوق أو الثغرات الموجودة بقشرة الأرض فإنها تأخذ أشكالاً متباينة من البراكين، أو تتخذ شكل تدفقات لافية مكونة ما تعرف بالأرصفة اللابية lava platforms، أما إذا لم تتمكن من الوصول إلى السطح فإنها تتجمع داخل قشرة الأرض مكونة أشكالاً مورفولوجية مميزة مثل السنام الغائر والجدد والحواجز الصخرية وغيرها من الأشكال المدفونة والتي كثيراً ما تنكشف فوق السطح فى فترات لاحقة بسبب عمليات التعرية المختلفة أو بسبب حركات تكتونية، وكل الأشكال البركانية - السطحية منها والمدفونة - عادة ما تتعرض للقوى التحتية gradational forces التى تعدل من أشكالها الأصلية مع مرور الزمن، وقد تختفى الظاهرة كلية باستثناء بعض البقايا التى ندل على وجودها فى مرحلة سابقة كما سيتضح ذلك فيما بعد .

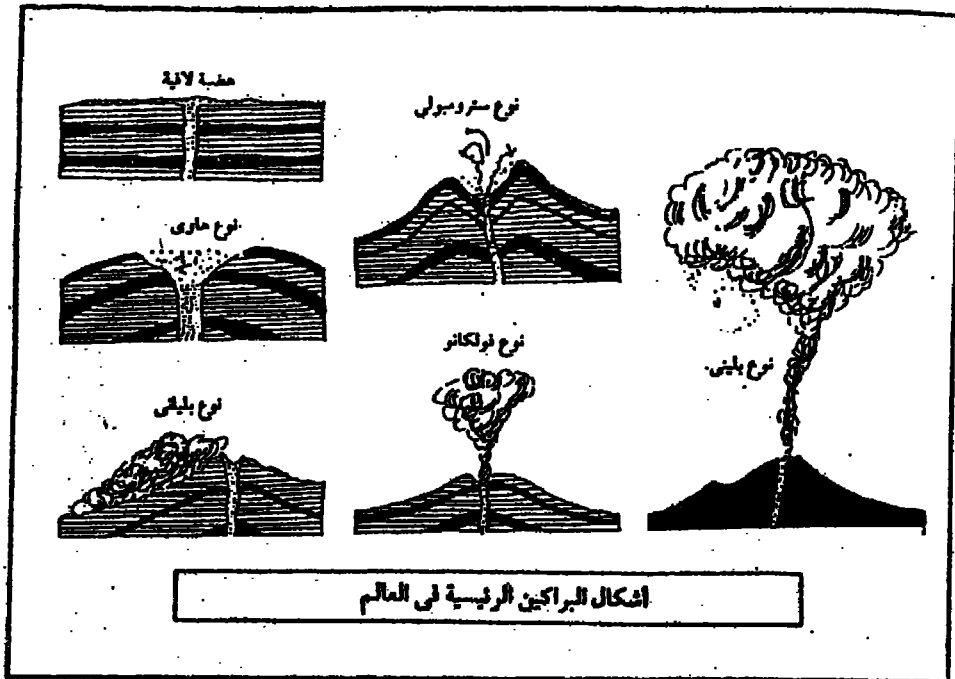
وفيما يلي دراسة تحليلية لأهم الأشكال الأرضية البركانية سواء السطحية منها أو المتداخل ( المدفون ) .

#### أ- المخاريط البركانية: Volcanic Cones :-

تتكون من اللافا المختلطة بصخور، مشتقة من قشرة الأرض أو من الرماد البركاني والنظايا اللافية lava fragments ، وينوقف انحدار جوانب المخروط

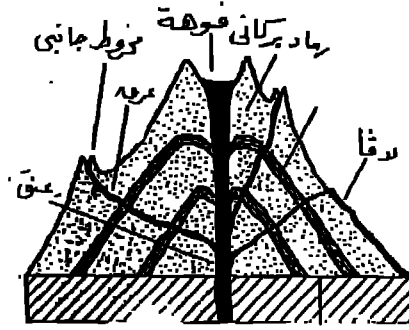


البركاني على حالة اللافا المكونة له في وضعها وهي منصهرة ، فإذا ما كانت قلوية alkaline وسائلة أعطت بركائناً ذا جوانب قليلة الانحدار يمثلها نوع بركان مونالو Maunaloa بجزر هاواي<sup>(١)</sup> ، أما إذا كانت لافا حمضية لزجة acidic viscous lava فإن المخروط البركاني في هذه الحالة يتميز بجوانبه شديدة الانحدار ، ويبدو من الخريطة الكنتورية أنها ذات جوانب منتظمة في انحدارها حيث تتساوى المسافات تقريباً بين خطوط الكنتور ، ومن هذه الأنواع بركان إتنا بجزيرة صقلية وبركان سترومبولي بإيطاليا كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١) .



شكل رقم (١)

(١) يبلغ ارتفاعه أكثر من ٤٣٠٠ متر ويائل في ارتفاعه بركان موناكيا بنفس الجزر .



شكل رقم (٢)

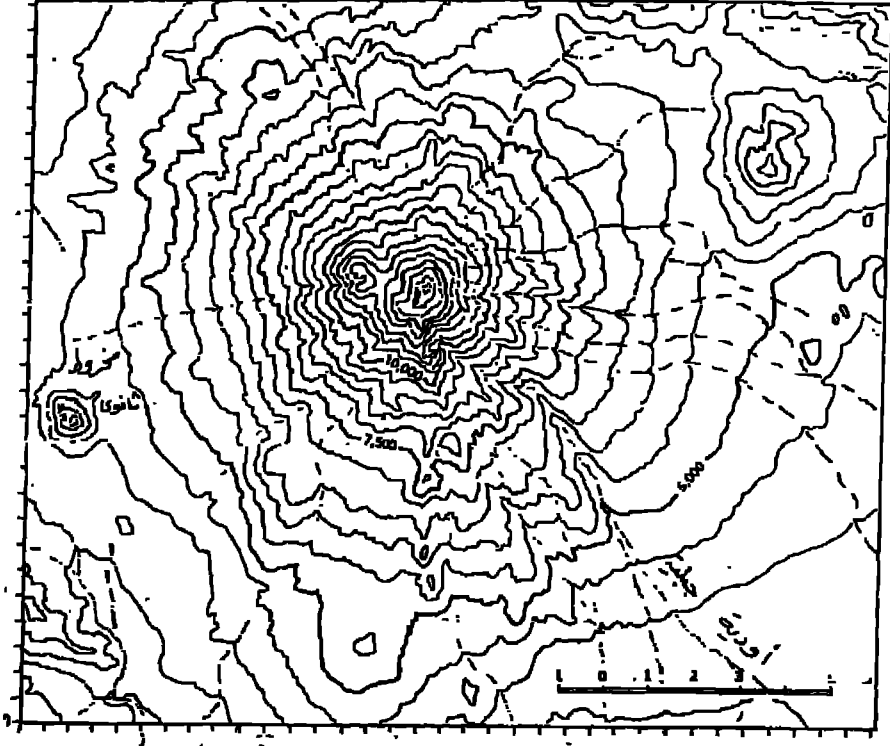
ويوضح الشكل رقم (٢) البراكين المركبة والتي تتكون من تعاقب طبقات اللانفا مع الرماد البركاني ، ويبدأ هذا النوع من البراكين ثورته باندفاع عنيف للصحير البركاني ، وقد تندفع بعض الصحارة من الجوانب - وذلك من خلال الشقوق fissures التي توجد في جوانب البركان - لتكوّن مخاريط بركانية صغيرة الحجم Conelets ( راجع الشكل السابق رقم ٢ ) ، ويشبه هذا النوع بركان إتنا Etna volcano بجزيرة صقلية ، وقد تتكون هذه المخروطات الثانوية نتيجة لانسداد فوهة البركان الرئيسي .

ويوضح الشكل رقم (٣) جبل شاستا البركاني وهو عبارة عن قمة بركانية ضمن سلسلة جبال كسكيد Cascade الأمريكية بارتفاع نحو ٤٨٠٠ متر ويمكننا أن نلاحظ منه العديد من الخصائص والملامح الجيومورفولوجية والتي من أهمها :-

- الشكل المخروطي الواضح للجبل ويظهر ذلك من خلال الشكل الحلقي المتداخل لخطوط الكنتور واقتراب المسافات بين خطوط الكنتور الداخلية - أى قرب القمة - وابتعادها كلما اتجهت نحو أقدام المخروط والذي يبدو كذلك ذو قمة أو فوهة مركزية .

- وجود بعض المخاريط [ المخروطات ] البركانية الصغيرة في الشمال الشرقي والغرب ، وهي كما ذكرنا نتجت عن خروج كميات من الصحارة خلال الشقوق الموجودة بجوانب المخروط وتتميز بكونها أقل منسوباً من المخروط البركاني الرئيسي .

- وجود عدد من المجارى المائية التى تنحدر فى نمط إشعاعى Radial pattern كانت فى الأصل عبارة عن أنهار جليدية Glaciers، ويلاحظ تراجع خطوط الكنتور مع طول امتدادها وذلك باتجاه قمة المخروط البركانى .

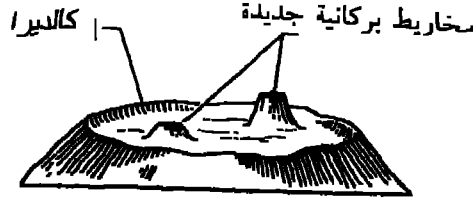


شكل رقم (٣)

يوضح قمة جبل بركانى (جبل شاستا) ضمن سلسلة جبال الكاسكيد بغرب الولايات المتحدة

- الكالديرا : Caldera -

إذا ما كان اندفاع الصهارة عنيفا للغاية فإنه غالبًا ما يؤدي إلى تدمير قمة البركان بحيث يجعلها تغوص فى الصهارة أسفل العنق ، مكونا فوهة ضخمة huge crater ، يدل وجودها على موضع بركان قديم تعرض لسلسلة من الثورات البركانية المتعاقبة خلال فترات زمنية متباعدة .



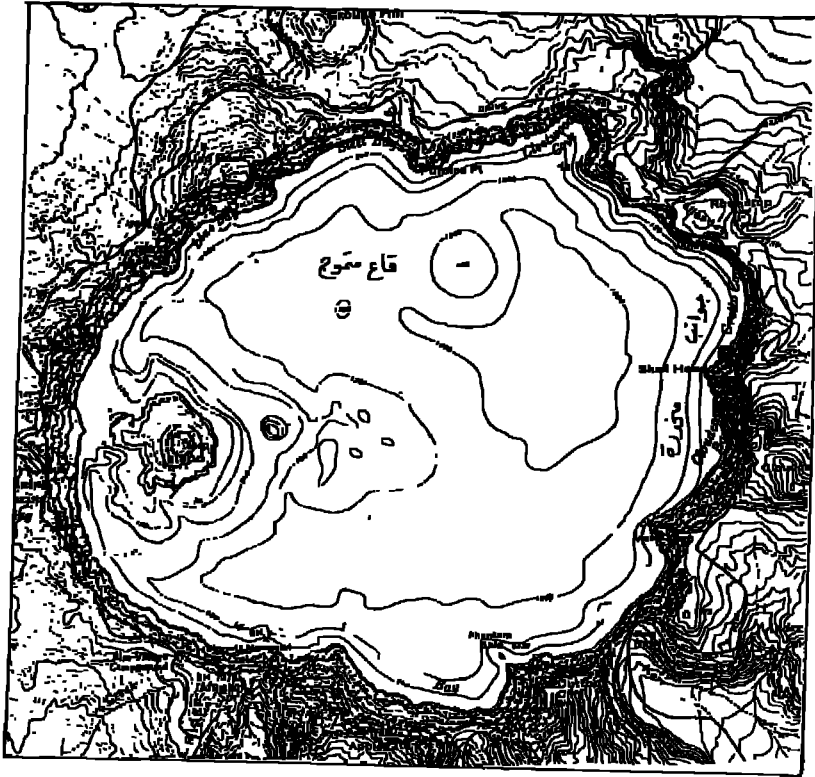
شكل رقم (4)

ويوضح الشكل رقم (4) المرحلة النهائية لتكون الكالديرا والتي يمكن تتبعها بالشرح على النحو التالي :

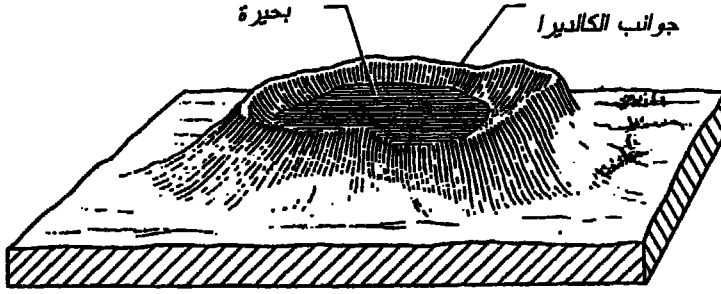
- شكل البركان قبل حدوث الثوران .
- تحطم المخروط البركاني وتدمير فوهته بسبب الثوران البركاني وما صاحبه من انفجارات explosions .
- توقف اندفاع الصهارة وهبوط قمة البركان فيها .
- تكون الكالديرا التي تظهر بداخلها مخاريط بركانية جديدة تالية لتكونها - أي لتكون الكالديرا - حيث نشط البركان من جديد مشكلا قمما داخل الكالديرا .

وقد تصبح الكالديرا موضعا لبحيرة مثل بحيرة « توبا » شمالي جزيرة سومطرة الأندونيسية وبحيرة « كريتر » بولاية أوريغون الأمريكية ، وقد كانت البحيرة الأخيرة في فترات سابقة أكثر ارتفاعا بكثير ولكنها فقدت قممها نتيجة لتعرضها لاندفاعات بركانية عنيفة خلال فترات زمنية متعاقبة أدت إلى تدمير - قمة البركان - ويتضح من الشكل رقم (5) خريطة لهذه البحيرة تظهر فيها جزيرة صغيرة بداخل الكالديرا تعرف بجزيرة ويزار Wezard island نشأت في البداية كقطع بركاني محدود في شكل مخروط صغير يتميز بجوانبه المنحدرة وقد أدت عمليات التعرية المختلفة - وخاصة الجليدية والنهرية - إلى تخفيض منسوبها لتظهر

فى الشكل الذى نراها عليه الآن ، وتميز البحيرة نفسها كما يظهر ذلك من الخريطة بشكلها القريب من الشكل الدائرى مع إحاطتها بحافات شديدة الانحدار ترتفع عن القاع - قاع البحيرة - بأكثر من ١٦٠٠ متر أو نحو ٥٠٠٠ قدم ، ويلاحظ أيضا تـموج قاع البحيرة التى تقع على ارتفاع ٢٠٠ متر فوق المستوى العام للمنطقة ، مع ظهور بعض الأودية المائية منحدره على السفوح الخارجية منها وأهم هذه الأودية وادى كير Kerr - Valley الذى تحده حافات شديدة الانحدار مما يدل على أصله القديم كوادى جليدى ينبع من حلبة جليدية cirque نحتها الجليد فى الحافة المحيطة بالبحيرة (صبرى محسوب والشريعى ، ١٩٩٦ ، ص ٩١).



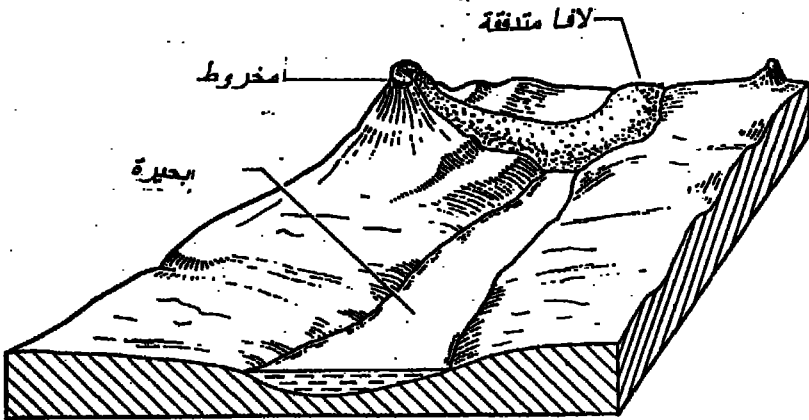
شكل رقم (٥)



شكل رقم (٦)

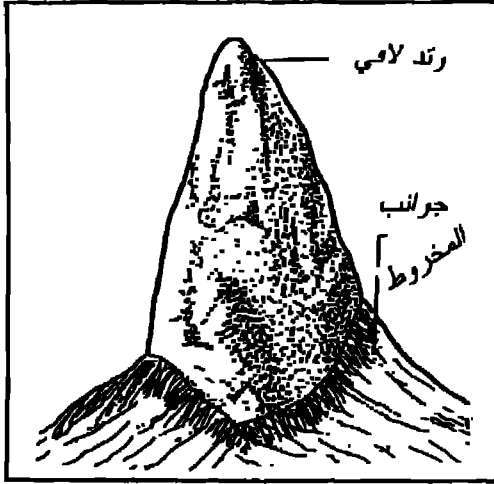
ويبين الشكل رقم (٦) بحيرة تشغل فوهة بركان يلاحظ منه اتساع الف التي تشغلها البحيرة وشدة انحدار جوانبها وارتفاعها المحدود نسبياً عما يحيط من أراض .

وفي كثير من الأحيان تظهر بحيرات طويلة نسبياً نتيجة لحدوث تدفق / بحيث تعمل هذه التكوينات اللافية عند تجمدها على حجز المياه في أعالي الأ التي تجرى في مناطق النشاط البركاني كما يظهر ذلك بوضوح من الشكل الك رقم (٧) :-



شكل رقم (٧)

- رقبة البركان Volcanic Neck :-



شكل رقم (٨)

يتضح من الشكل رقم (٨) إسفيناً ( وتدًا ) من اللافا Lava wedge الحمضية اللزجة وقد برزت في شكل عمود يشغل فوهة البركان وغالبًا ما ينتج مثل هذا الملمح أو الشكل عن تجمد اللافا بعد برودتها داخل عنق البركاني، ثم تعرض المخروط البركاني للنحت بفعل العمليات الخارجية التي تكشف العمود اللافي على النحو الذي يظهره الشكل السابق .

ب - الملامح والأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن طفوح اللافا:

تنتج هذه الطفوح اللافية نتيجة لتدفق كميات ضخمة من المصهورات النارية من خلال الشقوق - غالبًا ما تكون بارلتية تحتوى على سليكات أقل من ٤٥٪ من مكوناتها - وفتحات طولية تنتشر في شكل غطاءات لافية واسعة تعرف بالرصيف اللافي الذي يتميز باتساعه وارتفاعه بحيث يبدو أقرب إلى شكل الهضبة، وقد يصل سمك هضاب اللافا lava plateaux إلى أكثر من ٢٠٠٠ متر مثلما الحال في هضبة الدكن وخاصة قرب مدينة بومباي .

ومن هضاب اللافا البركانية :

- هضبة كولومبيا وسنيك شمالي غربي الولايات المتحدة الأمريكية وتبلغ مساحتها نحو نصف مليون كيلو متر مربع .

- شمال غرب هضبة الدكن بالهند وتزيد في المساحة عن الهضبة السابقة .

- أجزاء من هضبة جنوب إفريقيا وتظهر أجزاءها المرتفعة متمثلة في جبال

دراكنزبرج .

وتظهر الطفوح البركانية فى مناطق كثيرة أخرى من العالم مثل جزيرة إيلندا وهضبة إثيوبيا حيث تعرف التكوينات البركانية فى الأخيرة باسم «أشالجي ومجدالا» ويزيد سمكها على ٣٠٠٠ متر ، كذلك توجد فى مناطق متفرقة فى جبال الحجاز وعسير واليمن بالجزيرة العربية ، وتعرف هناك باسم « الحرات » ومن هذه الحرات حرة «الرحاء» جنوب غرب تبوك وحرة «خبير» شمال المدينة المنورة، وتميز الأخيرة باتساعها وتوجد قريبا مدينة خبير ، وحرة « ثنان » وهى عبارة عن امتداد لحرة خبير إلى الشمال الشرقى ، وحرة « هرمة » وتقع جنوب حرة «خبير» وتميز الأخيرة بتكويناتها من البازلت الأوليفينى التى تبدو فى شكل فرشاة بارلتية ترجع فى نشأتها إلى الزمنين الرابع والثالث ، كما أنها تشتمل كذلك على صخور بركانية أخرى حديثة مغطاة بالرماد البركاني volcanic ash ، وتظهر بين تلك الفرشاة البازلتية فوهات صغيرة لبراكين خامدة تمتلئ بتكوينات رسوبية حديثة ، وتكثر بسطح الحرة فواصل صخرية وشقوق ، ومع تميز سطحها بالاستواء بشكل عام فقد تظهر وعورة التضاريس بها قرب الأطراف حيث تظهر قمم تتراوح ارتفاعاتها ما بين ٨٠٠ - ١١٥٠ متراً (القلأوى ، ١٩٩١ ، ص ٧٢ ) ومن مناطق الحرات بعسير حرة « سراة عبيدة » وتميز بخشونة سطحها وبروز بعض القمم البركانية وكثير من الشقوق والفواصل الصخرية .

ويوضح الشكل رقم (٩) التضاريس الأصلية وقد دفنت أسفل طفوح اللافا كما يوضح الشكل (١٠) وادى نهري وقد قُطع مجراه فى منطقة ذات طفوح لافية ليصبح نهراً منطبقاً Superimposed river فوق صخور الأساس .  
ويوجد مثال واضح على الحالة الأخيرة فى نهر سنك بولاية أوريجون الأمريكية .

#### ج - الأشكال اللافية [ البركانية ] المتداخلة :-

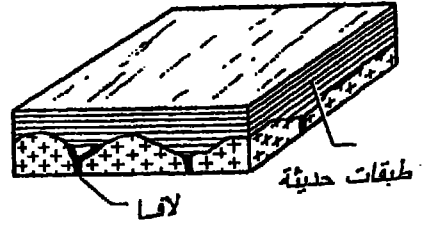
تظهر منطقة الماجما الرئيسية أسفل سطح الأرض ( داخل القشرة الأرضية ) فى شكل خزانات بالونية المظهر تعرف بالبائولت batholiths<sup>(١)</sup> تعد المصدر الرئيسى

(١) تختلف الخزانات النارية المكشوفة فى الحجم من آلاف الكيلو مترات المربعة إلى نويات للجبال المنزلة cores of individual mountains وتطور فوقها عادة أنماط تصريف شجرى وتوتر عليها بوضوح عليات التجوية خاصة فى مواضع الفواصل والشقوق .





شكل رقم (١٠)



شكل رقم (٩)

للمواد الجرانيتية والبازلتية ، تمتد إلى أعلى أعمدة من الصهارة الحمضية مكونه خزانات تتوقف عند أعماق ليست بعيدة من سطح الأرض تغذى بشكل مباشر البراكين .

وجدير بالذكر أن هناك علاقة قوية بين الأشكال البركانية التي تظهر فوق سطح الأرض وتلك الأشكال المتداخلة في القشرة الأرضية - تحت السطحية - والتي نتجت بدورها عن تداخل الماجما ( الصهارة ) بين الطبقات الصخرية ، ويوضح الشكل التالي رقم (١١) تجمد وتبلور الصخور الماجمية تحت سطح الأرض واتخاذها أشكالاً متباينة ومتميزة ، وهي عادة ما تتميز بنسيجها الكتلي Massive texture وخشونة حباتها Coarse grained ، وقد تنكشف فوق السطح بسبب عمليات التعرية المختلفة .



شكل رقم (١١)

وكما يتضح من الشكل السابق رقم (١١) فإن أهم الأشكال والملامح الأرضية المدفونة ( المتداخلة ) .

- الجدد الغائرة Sills وتعرف كذلك بالسدود الأفقية وتبدو ممتدة فى شكل تداخل نارى أفقى فى موازاة سطح الطبقة فيما بين الطبقات الرسوبية ، وكثيراً ما تنكشف فى الصخور الرسوبية والنارية على حد سواء كما يتضح ذلك من الصورة الفوتوغرافية رقم (١) ، ومن أشهر الجدد الغائرة جدة « هواين الكبرى » شمال إنجلترا .



صورة رقم (١)

تداخل افقى (جدة غائرة) من صخور الكوارتز

وقد تظهر السدود الأفقية كذلك فى شكل جنادل أو مندفعات عندما تقطع الأنهار مواضعها مثلما الحال فى منطقة جنادل أسوان فى مصر .

- الحواجز الصخرية : Dykes :-

تعرف كذلك بالسدود الرأسية وتظهر عندما تمتد أسافين من الماجما النارية متقاطعة مع سطح الطبقات إذا ما وجدت فى صخور رسوبية أو تظهر متوغلة فى

الشقوق الرأسية أو المائلة بالصخور النارية<sup>(١)</sup> كما يتضح ذلك من الشكل السابق والصورة التالية رقم (٢) .



صورة رقم (٢)

قاطع راسي (عرق من الكوارتز) في صخور متحولة

#### - اللاكوليث Lacolith :-

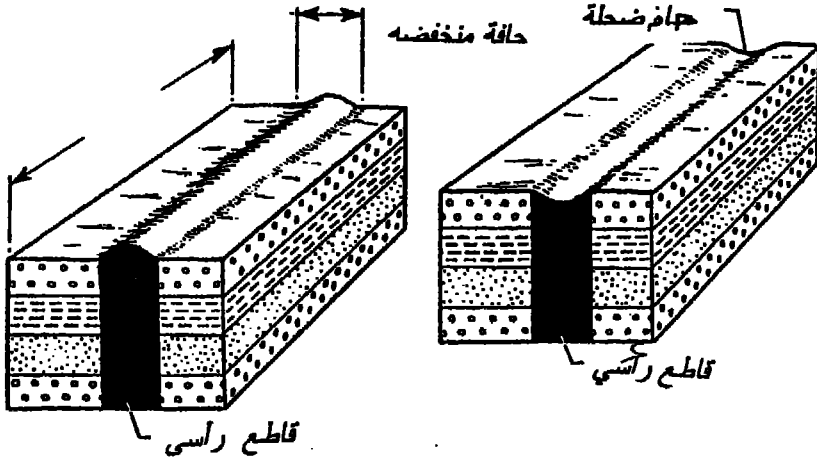
يتضح من الشكل السابق كتلتان من اللاكوليث تأخذان الشكل العدسي إحداهما ما زالت تحت سطح الأرض، بينما انكشفت الثانية على السطح بفعل عمليات التعرية، ويطلق على هذا المظهر أحياناً كتل الأعماق وعادة ما تأخذ هذه الكتل شكلاً قبويًا domal يتقوس إلى أعلى بسبب ضغطها على الطبقات التي تعلوها وذلك أثناء اندفاعها باتجاه سطح الأرض .

وفي كثير من الأحوال تظهر الحواجز الصخرية الرأسية أو المائلة مكشوفة فوق سطح الأرض بعد إزالة الصخور التي تعلوها فتأخذ أحياناً شكل عرق جبلي

---

(١) تظهر في كثير من الأحوال على مندرات الجبال النارية الأقدم متميزة بالشقوق الضخمة أو الخطوط الصدعية، وعادة ما تبدو مغايرة في لونها ودرجة صلابتها عن الصخور المحيطة بها .

ridge أو حافة بارزة وذلك بسبب صلابة صخورها ومقاومتها لعمليات الحث المختلفة كما يظهر ذلك من الشكل رقم (١١٢) وفي أحوال أخرى تبدو في شكل منخفضات ضحلة shallow - depressions طولية الشكل وذلك عندما تتكون من صخور ضعيفة يسهل على عمليات التعرية حثها وإزالتها كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٢ب)



شكل رقم (١١٢) . (١٢ب)

## ثانياً- الأشكال الأرضية الناتجة عن الصدوع والمرتبطة بها

### مقدمة :-

تحدث الصدوع بسبب قوى رأسية Vertical forces وقوى أفقية تنتج أساساً عن حدوث ضغط Compression أو شد tension تتعرض لها الصخور .

والصدوع ببساطة عبارة عن تشققات في قشرة الأرض تتعرض الصخور على جوانبها للتزحرج في موازاة سطح الكسر Surface of fracure ، وهذه التشققات أو الصدوع تحدث في كل أنواع الصخور ولكنها تبدو أكثر وضوحاً في الصخور الرسوبية الطبقية ، وعادة ما تتراوح الإزاحة ما بين نحو المليمتر الواحد وعدة كيلو مترات

والحقيقة أنه يصعب تحديد أى الجانبين قد استقر فى موضعه وأى منهما قد تحرك، كما أنه يصعب كذلك تحديد ما إذا كانا قد تحركا سويا بشكل غير متماثل أو منساو

ويطلق على السطح الذى تعرضت الصخور على طول امتداده للإزاحة Displacement مستوى الصدع أو سطح الصدع fault plane ، وعادة ما يغطى بمفتحات صخرية نتجت عن تفتت وسحق للصخور أثناء انزلاق الكتل الصخرية على مستوى الصدع والذى قد يمتد امتداداً رأسياً أو مائلاً .

وبالنسبة لمعدلات التصدع فإنه قد تحدث على طول بعض الصدوع إزاحة تتراوح بين أقل من المتر حتى ١٢ متراً خلال بضع دقائق ، على سبيل المثال حدثت إزاحة بواى إمبريال بولاية كاليفورنيا أثناء تعرض المنطقة لزلازل عام ١٩٤٠م بلغت ١١ متراً، وكذلك حدثت إزاحة بواى أوينز بالولاية السابقة أثناء زلزال عام ١٩٧٢م بلغت ستة أمتار على طول مسافة ٦٠ كيلو متر .

وفى زلزال أكتوبر ١٩٩٢م يعتقد بأنه قد أثر فى وضع الصخور القابعة فوق مركزه والتي تأثرت حتماً بحركة الصخور السفلى على القائق كما ظهرت آثاره فى حدوث شقوق وهبوط أرضى فى مناطق قريبة من مركزه فى العياط ودهشور وغيرها من المناطق .

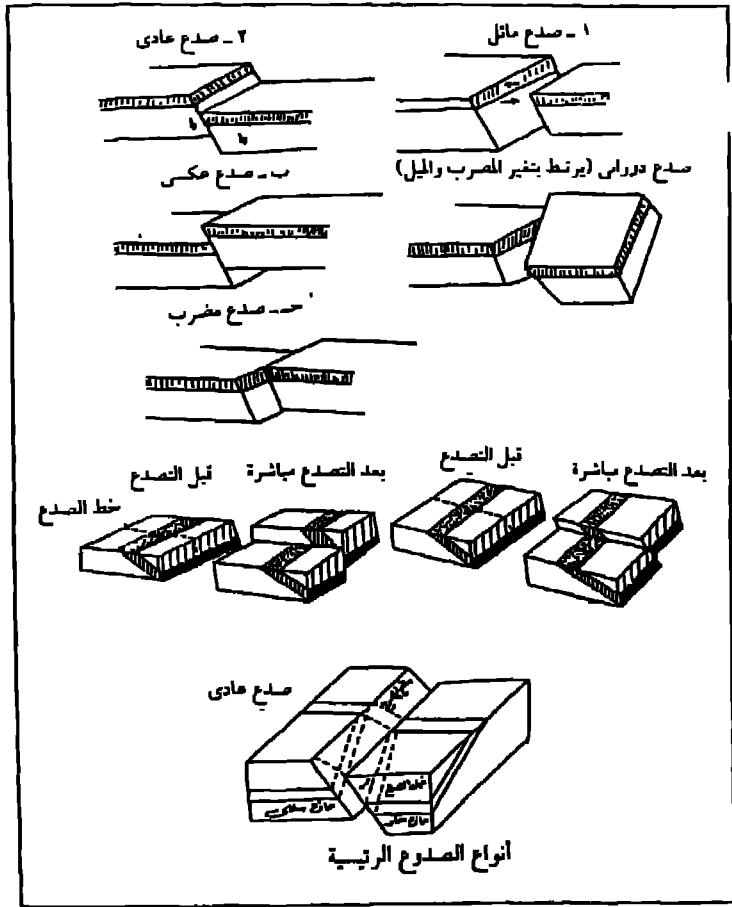
وقد تحدث الإزاحة بشكل مستمر ولكنها تتم بمعدلات بطيئة فى عملية تعرف بالزحف الصدعى fault - creep كدليل على استغراق الإزاحة فترة زمنية طويلة .

### أنواع الصدوع ( الانكسارات ) :

أ- أنواع الصدوع وفقاً لنوع الحركة الرأسية المسيبة لها واتجاه حركة الكتل :

١ - الصدع العادى : Normal Fault :-

يعرف كذلك بصدع الشد أو صدع الجاذبية ، يتميز بزواوية ميل كبيرة مع زحزحة ظاهرية للحائط العلوى إلى أسفل كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٣) .



شكل رقم (١٣)

## ٢- الصدع المعكوس : Reverse or Thrust Fault :-

ينتج عن الضغط compression ويتزحزح فيه الحائط العلوي إلى أعلى وينقسم إلى قسمين :

١- الصدع الاندفاعي العلوي : وتندفع فيه الكتلة الصخرية المرتكزة على الحائط العلوي إلى أعلى مع ثبات الحائط السفلي .

٢- الصدع الاندفاعي السفلي : ينزلق الحائط السفلي إلى أسفل مع بقاء العلوي ثابتاً، وقد يحدث الصدع المعكوس نتيجة لتعرض الطيات النائمة (ذات

المستوى المحورى الأفقى ) لضغوط شديدة تتجاوز لدونة الصخر مما يجعله يتصدع على طول المستوى المحورى للطبقة .

٣- الصدع الدورانى : ينشأ هذا النوع من الصدوع بفعل حركات دورانية وينقسم إلى عدة أنواع منها المفصلى والمنزلق .  
ب - أنواع الصدوع وفقا لفصائلها :-

غالبًا ما توجد عدة أنواع من الصدوع متجمعة فى فصيلة واحدة من أهمها:  
١ - الصدوع الدرجية Step faults وهى عبارة عن عدد متقارب من الصدوع فى منطقة ما بحيث تقسم إلى كتل متوازية ويكون اتجاه هبوط أو سقوط الحائط العلوى إلى أسفل بالنسبة للحائط السفلى ، وينتج هذا النوع من الصدوع عن حركات رأسية تؤدي إلى سقوط ( هبوط ) أو رفع للكتل الصخرية بشكل تدريجى (موسى وزملاؤه ١٩٦٨ ، ص ١٥٩) .

٢- صدوع الأخاديد والأحواض: عبارة عن منخفضات تركيبية تحيط بها صدوع عادية أو معكوسة ذات زوايا ميل كبيرة ، وتظهر عادة على سطح الكتل القارية أو فوق قيعان الأحواض المحيطية ، ومن هذه الأخاديد وأشهرها: الأخدود الإفريقي الذى يمتد لمسافة أكثر من ٥٠٠٠ كيلو متر، وصدع وادى الراين وغيرها .

٣- الهورستات Horsts: تنشأ بسبب ارتفاع كتل صخرية يحدها من الجانبين صدعان لهما ميل كبير ويحدث ذلك إما بسبب رفع الكتلة الوسطى إلى أعلى أو بسبب هبوط على الجانبين كما يظهر ذلك من الشكل رقم (١٤) ..

### الأدلة على وجود الصدوع :

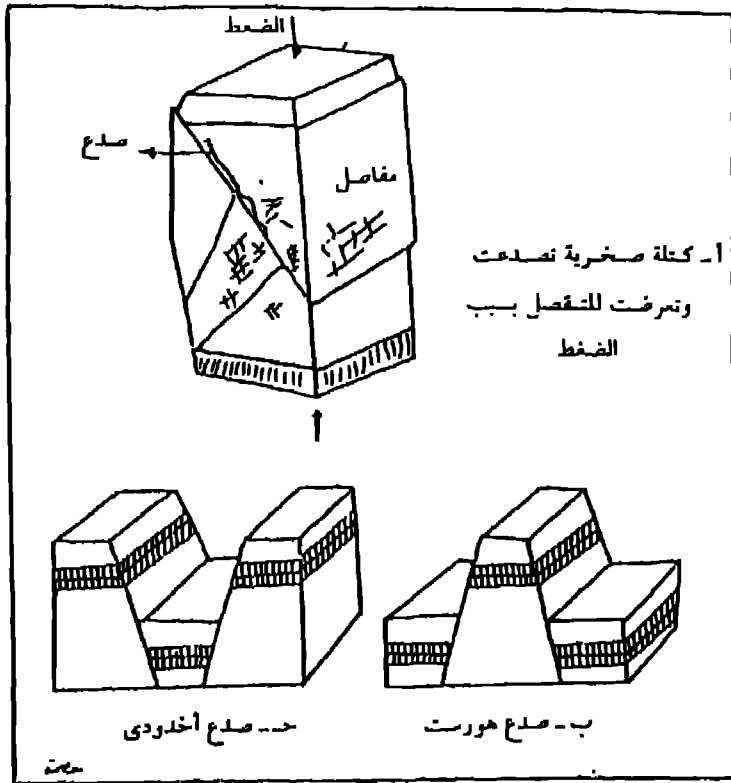
يمكن إيجاز الأدلة والآثار التى تشير إلى حدوث صدع فى منطقة ما على النحو التالى :-

١- الخدوش :

قد تظهر نتيجة لاحتكاك الكتلة الصخرية المنزلقة بالصخور المقابلة خدوش وتمززات (١) على السطح الصدعى يمكننا من خلالها تحديد اتجاهها وتحديد اتجاه

(١) تشبه هذه الخدوش تلك الخدوش والتمززات التى تحدث نتيجة لعمليات التعرية الجليدية .

تحرك الصخور وذلك بتحريك اليد في الاتجاه من السطح الخشن إلى السطح الناعم، وعادة ما تكون هذه الحدوش موجودة فقط في حالة السطوح الصدعية ذات الزحزة المحدودة.



شكل رقم (١٤)

## ٢- البريشيا التكتونية Tectonic Breccia:-

تختلف عن البريشيا الناتجة عن التجوية الميكانيكية والتي تتراكم في شكل هشيم السفوح screes، وتظهر البريشيا التكتونية في صورة مفتتات غير منتظمة الشكل مما يدل على حدوث زحزة للطبقات فوق سطح الصدع وتساين أحجام جباتها، فقد تكون كبيرة الحجم وفي ظروف معينة - بفعل شدة الاحتكاك تكون ناعمة للغاية في حجم الصلصال .



### ٣- منطقة القص : Shearing Zone :-

تتميز الصدوع بوجود منطقة من الشقوق المتقاربة التي تمتد موازية لبعضها البعض تعرف بمنطقة القص الجيولوجي ، وهي من المناطق المعرضة للنحت بمعدل أسرع من غيرها من المناطق الأخرى بسبب شدة تقطعها ، وعادة ما تكون مواضع لبعض الرواسب المعدنية مثل النحاس والرصاص التي ترسبت من المحاليل المعدنية المارة خلال الشقوق والكسور ، وكثيراً ما نجد مثل هذه الظروف موجودة في بعض مناطق الصحراء الغربية في مصر حيث نجد على بعض الحافات امتداداً لعروق من الجبس والكالسيت وغيرها من المتبخرات .

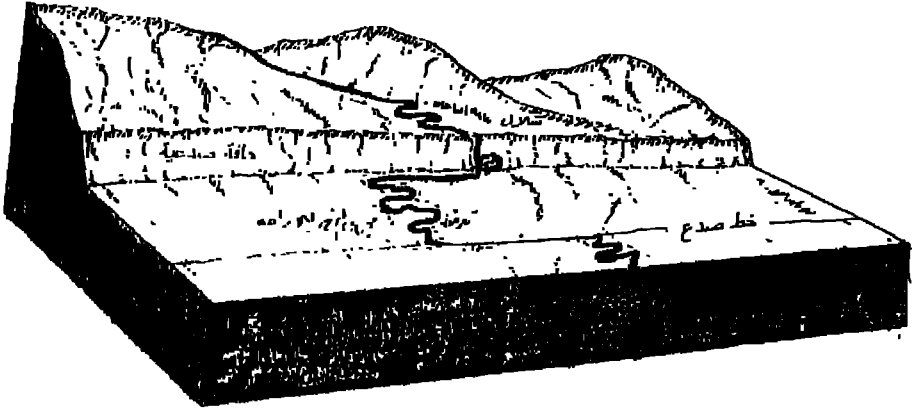
٤- حدوث تغير مفاجئ : في اتجاه ميل الطبقات أو في خطوط المضرب على طول سطح الصدع فيما يعرف «بسحب الطبقات» ، حيث إن حدوث ميل مفاجئ لطبقات متوازية يدل على احتمال وجود صدع في الطبقة ( موسى ورملاؤه ، ص١٦٢) كما قد يسبب الصدع كذلك في حدوث زحزحة للطبقات الرسوبية مما يؤدي إلى تكرار صور بعضها أو اختفاء البعض الآخر .

### بعض الأشكال الأرضية (الجيومورفولوجية) المرتبطة بالصدوع :-

يصعب في كثير من الأحوال تحديد الأشكال الجيومورفولوجية التي ترتبط بعمليات التصدع faulting من الخريطة الكنتورية دون الرجوع إلى الخريطة الجيولوجية وتفهم التاريخ الجيولوجي والخصائص البنائية للمنطقة إلى جانب الأهمية البالغة للدراسة الحقلية في تحديد مواضع الصدوع والأدلة على حدوثها تبعاً لما ذكر سابقاً .

ومن أهم الأشكال الأرضية المرتبطة بالصدوع والتي يمكننا تحديدها من الخريطة الكنتورية حافة الصدع A fault scarp وهي تنتج أساساً بشكل مباشر من تحرك الصخور وتزحزحها نتيجة لتعرضها للشد أو الضغط المصاحب للتصدع ، وتبدو في شكل شديد الانحدار very-steep-slope تطورت على خط صدع بفعل عمليات التعرية المختلفة على جانبي الصدع والتي بدورها تعمل على تعديل شكل الأرض بالمنطقة .

ويبين الشكل التالي رقم (١٥) حافة صدعية تعرضت للتزحزح على طول خط الصدع يدل على ذلك ما تعرض له النهر المنحدر فوقها من قطع بجراها، ويمثل هذا الشكل أيضاً منطقة تصدع نشطة يدل على ذلك ما يظهر فيها من أدلة ومؤشرات جيولوجية وجيومورفولوجية سطحية واضحة ، كذلك يوضح الشكل رقم (١٦) حافة صدع تكونت نتيجة لعمليات تصدع سابقة ( يلاحظ من الرسم الجسم الأدلة على حدوث التصدع واتجاه حركة الكتلتين على جانبي خط الصدع).

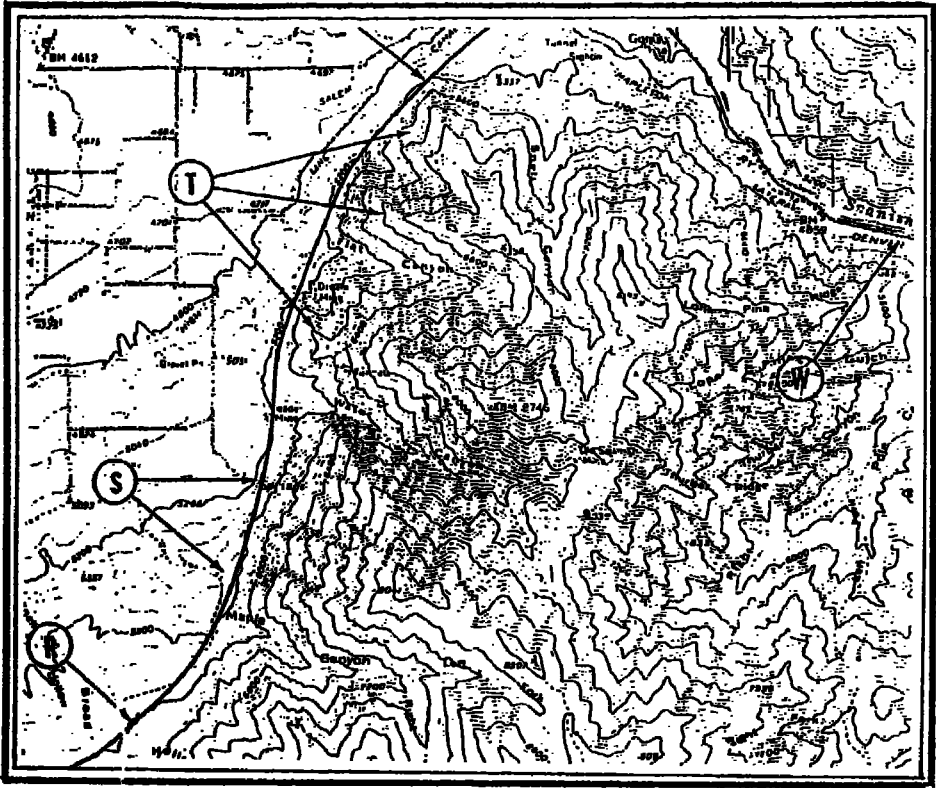


شكل رقم (١٥)



شكل رقم (١٦)

وتوضح الخريطة الكنتورية رقم (١٧) جزءاً من سلسلة جبال واساتش  
Wasatch تعرضت لعمليات تصدع في مرحلة سابقة يمكننا أن نحدد منها  
الخصائص الجيومورفولوجية التالية :-



شكل رقم (١٧)

- بين الخط السميك خط صدع يمتد على طول جبهة سلسلة واساتش .
- تعرض الحافة للتقطع بفعل التعرية النهرية ، بينما تعرضت الأجزاء العليا منها للتعرية الجليدية .
- يمتد نهر سبانس فورك ( السهم من حرف W ) الذي كان كما اتضح ذلك من الخريطة الجيومورفولوجية للمنطقة - سابقا - في وجوده لحركات الرفع التكتوني للمنطقة وقد تمكن من الحفاظ على مجراه رغم حركات الرفع التي تعرض لها .
- تشير الأسهم المتجهة من الحرف T إلى أنوف التتراءات البينية ( نهايات مناطق ما بين الأودية المنحدرة نحو الغرب ) .

يلاحظ تغير الانحدار بشكل تدريجى واضح باتجاه الغرب نحو شواطئ بحيرة بونفيل Bonieville lake .

- تكثر الخواثق canyons فى المنطقة ما بين حافة « لوفر » باتجاه الشرق ونحو الغرب باتجاه بحيرة بونفيل .

ومن الأشكال الأرضية التى تنتج من الصدوع ، الهضاب والأحواض منها هضاب شرق إفريقيا وهضبة التبت وهضبة كلورادو ، أما الأحواض فهى ذات أنواع مختلفة مثلها فى ذلك مثل الهضاب فى تنوعها فهناك أحواض بحرية Sea - basins مثل بحر سلبيز وحوض البحر الأحمر الذى يتميز بوضوح الأصل الصدعى لقطاعات طويلة من سواحله ، وهناك أحواض تطوقها أذرع جبلية عادة ما تكون التوائية مثل الحوض العظيم<sup>(١)</sup> إلى الغرب من جبال الروكى بالولايات المتحدة الأمريكية وحوض تاريم وسط آسيا وحوض بحيرة فيكتوريا والتى يتضح الأصل الصدعى على سواحلها الشرقية بشكل خاص وحوض بحيرة « ألبرت » .

وقد تؤدى الحركات الصدعية إلى تقسيم سطح الأرض فى المنطقة التى تعرضت لها إلى كتل مستطيلة الشكل Rectangular - shaped blocks بعضها فى صورة هورست والآخر فى صورة حوض طولى .

### ثالث - الالتواءات والأشكال الأرضية المرتبطة بها

#### مقدمة :

تنتج الالتواءات بسبب حدوث تجعدات فى قشرة الأرض تحدثها ضغوط جانبية lateral compressions أو ضغط رأسى من أسفل إلى أعلى باتجاه سطح الأرض ، وعادة ما تحدث الالتواءات فى المناطق الرسوبية الطبقيّة .

وقد تعرض سطح الأرض خلال العصور والأزمنة الجيولوجية لحركات التوائية نتج عنها السلاسل الجبلية الضخمة التى تمتد فى شكل أذرع طويلة لآلاف

---

(١) عبارة عن هضبة تعرضت لمجموعة من الصدوع الكتلية block faulted تمثل الجبال الجزء العلوى من الصدع ، ويتميز عدد من منخفضاته بالتصريف الداخلى مما يؤدى إلى تكوين بحيرات مالحة تتحول نتيجة لطاقة التبخر الرائدة إلى أسطح ملحية جافة تعرف بالبلايا .

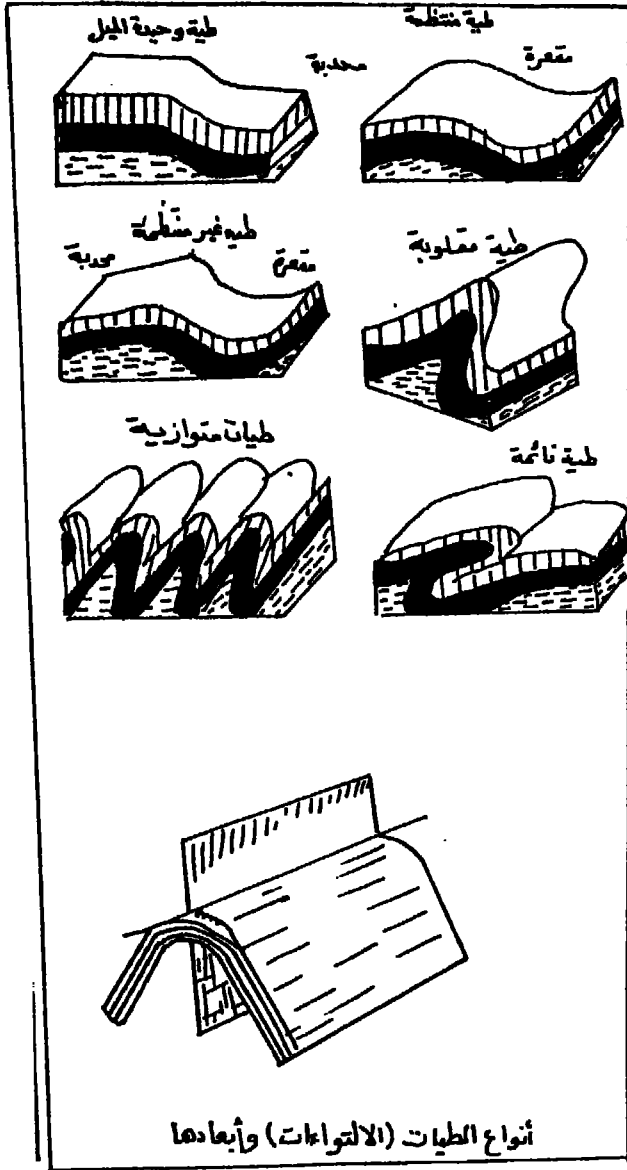
الكيلو مترات مثل سلاسل جبال الهيمالايا وتيان تشان وكوين لن بقارة آسيا والألب في أوروبا والروكي وكسكيد في أمريكا الشمالية والأنديز في أمريكا الجنوبية وأطلس في إفريقيا ، وكل هذه السلاسل الجبلية تكونت خلال عصور الزمن الثالث وخاصة عصر الميوسين الذي شهد أكبر حركة بانينة للجبال الالتوائية في العالم، وقد سبقتها حركتان قديمتان تمتا خلال عصور الزمن الجيولوجي الأول أقدمهما الحركة الكاليدونية نسبة إلى مرتفعات كاليدونيا شمالى أسكتلندا والثانية الحركة الهرسينية نسبة إلى مرتفعات الهارتز الألمانية ، ونظراً لقدمهما فإنه من الصعب الآن تحديد وتتبع أبعاد هذه الجبال على الخرائط التضاريسية حيث تعرضت خلال تاريخها الطويل لعمليات التعرية المختلفة وتم بذلك نحتها وتخفيضها وتحويلها إلى أشكال هضبية أو سهلية منخفضة<sup>(١)</sup> .

### أ- أجزاء الالتواء ( الطية ) Fold :-

يتضح من الشكل التالى رقم (١٨) الأجزاء المختلفة للطيّة كما يلي :-

- ١- طول الطية : عبارة عن امتداد الطية على طول خط المضرب strike-line .
- ٢- عرض الطية : يمثل المسافة بين الطبقات المتتوية (المطوية) folded فى اتجاه الميل ويتفاوت العرض تفاوتاً كبيراً للغاية ما بين عشرات الكيلو مترات وعدة ستيمترات .
- ٣- سطح محور الطية: هو المستوى أو السطح الذى يقسم الطية إلى قسمين متماثلين تقريباً ، وأحياناً ما يكون عبارة عن سطح منحنى ويمكن تحديده بخطوط المضرب وذلك بمقدار واتجاه ميله .
- ٤- محور الطية : هو الخط الناتج عن تقاطع مستوى المحور مع سطح الطبقة المتتوية ولكل طية عدد من المحاور قد تكون فى وضع رأسى أو مائل أو أفقية الامتداد .
- ٥- جناح الطية limbs: يقصد بهما الطبقات المائلة على جانبي السطح المحوري .
- ٦- قمة الطية : هى نقطة تمتد على منسوب أعلى منسوب من الطية المحدبة ، وتوجد فى شكل طبقة من الطبقات المكونة للطيّة .

(١) قد توجد كذلك فى الصخور البركانية وكذلك فى الصخور المتحولة وقد تكون فى شكل تموجات ripples صغيرة الحجم أحياناً ما تكون مجهرية .



شكل رقم (١٨)

٧- خط القمة : هو الخط الذى يصل بين النقطة التى تقع فى أعلى جزء من الطية ، ويعرف مستوى القمة بالمستوى الذى تقع عليه خطوط القمة .

٨- قاع الطية : هو النقطة التى تمر بأدنى منسوب للطية المقعرة ويوجد قاع لكل طبقة من طبقات الطية المقعرة .

#### ب- أنواع الطيات :-

عندما تتعرض الطبقات لضغوط أقوى من حدود مرونتها elastic limit فإنها تشكل ببطء فى صورة التواءات ( طيات ) تتمثل أهم أنواعها فيما يلى :-

#### ١- الطيات وحيدة الميل : Monoclines

وهى عبارة عن طيات تميل مسافة غير محددة فى

اتجاه واحد، أو بمعنى آخر هى عبارة عن التواء شبه درجى فى طبقات أفقية أو خفيفة الميل بحيث يحدث تغير فى قيمة زاوية الميل .

ومن أمثلة هذه الأنواع من الطيات فى مصر تلك الطية التى تحتل منطقة أبوسمره وجروف ساحل « السيرة » على الساحل المتوسطى قرب رأس الضبعة والتى تأخذ اتجاهًا عامًا نحو الشمال الشرقى ( صبرى محسوب، ١٩٩٣ )

## ٢- الطيات المحدبة Up Folds :-

تتقوس فيها الطبقات إلى أعلى مع وجود الصخور الأقدم في الوسط وميل جناحاً طية نحو الخارج بعيداً عن المحور وأحياناً بميلان في اتجاه واحد ، وبالنسبة لمحور الطية المحدبة فإنه قد يبدو في وضع رأسى أو مائل بدرجة متفاوتة، وعندما ينحط السطح العلوى للطية تظهر في الوسط الطبقات الأقدم بينما تظهر الطبقات الأحدث على الجانبين ( شكل رقم ١٨ ) .

## ٣- الطيات المقعرة Down Folds :

تتقوس الطبقات نحو الداخل في اتجاه المستوى المحورى الذى يمثل في هذه الحالة قاع الطية كما يميل الجناحان نحوه، وتظهر كل من الطيات المحدبة والمقعرة تغيرات في أبعادها واتجاهات أجزائها، فقد تظهران في شكل منتظم بعض الشيء كطيات محدبة أو مقعرة منتظمة الأبعاد، بحيث يكون المستوى المحورى عمودياً على المستوى الأفقى ويميل الجناحان بزوايا متساوية ويكونان - فى نفس الوقت - متساويان فى الطول. وفى حالة ميل المستوى المحورى على المستوى الأفقى تظهر طيات محدبة وطيّات مقعرة غير منتظمة وهناك الطية المقلوبة Overturned ويزيد فيها ميل أحد الأطراف على ٩٠ درجة بحيث يصبح أحد الطرفين أسفل الطرف الآخر ، وعندما يصبح طرف الطية فى وضع أفقى أو شبه أفقى تعرف فى هذه الحالة بالطية النائمة (المضجعة) Recumbent وكثيراً ما تتعرض هذه الطية للتصدع وذلك نتيجة لزيادة ميلها عن وضعها السابق لهذه الحالة مباشرة، وحينئذ تعرف بالطية المتصدعة Overthrust .

وتوجد أنواع أخرى من الطيات مثل الطية المصطبية وتوجد فى المناطق التى تعرضت لضغوط معتدلة وتعد ذات أهمية كبرى كمصائد لتجمعات البترول والغاز الطبيعى حيث يمكن اكتشافها بواسطة أجهزة مساحية متقدمة .

ومن الطيات أيضاً الطية القباية domal fold وهى عبارة عن طية محدبة تميل فيها الطبقات ميلاً خارجياً فى جميع الاتجاهات من نقطة القمة ( الوسط ) ونادراً ما يكون القبو ذا حدود دائرية ، إذ عادة ما يستطيل فى أحد اتجاهات ميل الطبقات، ومن هذه البنيات القباية جبل مغارة بسيناء ، وهناك كذلك الطية الاختراقية وتنشأ بسبب حدوث ضغط رأسى من أعلى إلى أسفل على طبقة لدنة مثل الملح الصخرى والجبس ، وفى هذه الحالة تساب إلى أعلى فى المواضع الأقل

ضغطاً ويرتفع الصخر نتيجة لعملية الانسياب اللدن إلى أعلى ويحدث بالتالي تقوس الطبقات العلوية تقوساً تدريجياً مكوناً قبة ملحياً Salt dome مع انثناء الصخور التي تعلوها مكونة طية محدبة تسمى بالطية الاختراقية ، وقد تظهر الطية الاختراقية بفعل الصهارة النارية ودفعتها للصخور الرسوبية التي تعلوها كما يتضح ذلك في كثير من قباب الأقواس السورية شمالي سيناء .

### ج - الجبال الالتوائية :

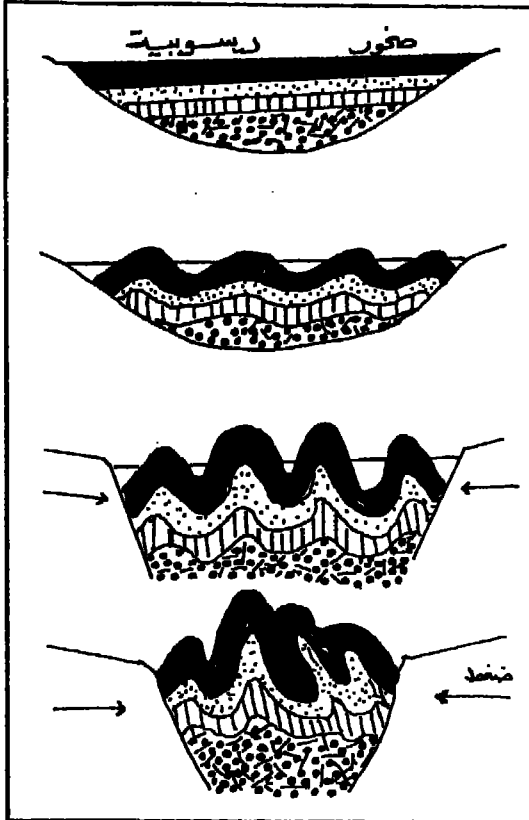
تتكون الجبال الالتوائية من كتل ضخمة من الصخور الرسوبية الملتوية التي يصل سمكها إلى أكثر من ١٣.٠٠٠ متر، وهذه الصخور الرسوبية السمكية قد تكونت في بادئ الأمر في وضع أفقى ثم حدث لها التواء بسبب تعرضها لضغوط جانبية كما ذكرنا آنفاً عملت بالتالي على تناقص امتدادها الأفقى وزيادة سمكها ، ويعتقد البعض أن الجبال الالتوائية

قد تكونت بسبب تجمعات أصابت قشرة الأرض بعد برودتها ولكن هذه الاعتقاد لم يعد مقبولاً الآن حيث إن نشأة الجبال الالتوائية وغيرها من أشكال سطح الأرض أعقد من ذلك بكثير .

وقد أوضح هولمز Holmes، كيفية نشأة الجبال الالتوائية كما يظهر ذلك من الشكل التالي رقم (١٩) .

١- بحر جيولوجى قديم Geosyncline ينحصر بين كتلتين قاريتين .

٢- تحركات في طبقة السیما أدت إلى اقتراب الكتل القارية من بعضها البعض .



شكل رقم (١٩)



٣- الاقتراب الواضح للكتل القارية من بعضها أدى إلى التواء شديد لرواسب البحر الجيولوجى القديم (Robinson, A and Hudson, 77) .

٤ - الصورة النهائية للتواء .

والواقع أن الجبال الالتوائية البسيطة نادرة الوجود ومن أمثلتها جبال جورا Jura فى فرنسا حيث تعد هذه الجبال بمثابة التواء محدب واضح الأبعاد، أما الالتواءات المعقدة فهى أكثر انتشاراً مثلها فى ذلك مثل غيرها من ظاهرات سطح الأرض المعقدة والبالغة التعقيد .

### الظواهر والأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بالالتواءات

#### القباب والأحواض Domes and Basins :-

عرفنا مما سبق أنه مع تعرض الصخور لحركات أرضية معينة فإنها قد تتشكل فى صورة قباب بركانية أيضاً ، وإن كانت الأخيرة ترتبط بالبراكين وليست بالحركات الالتوائية ، وبالنسبة للقباب الملحية فإنها - كما أشرنا - تنشأ بطبقات القشرة الأرضية كنوع من الالتواءات الاختراقية حيث تتكون بداخلها وأسفلها كتل ضخمة من الأملاح ، ويتنشر هذا النوع من القباب فى ولاية تكساس الأمريكية وسهول شمال ألمانيا وفى مناطق متفرقة من روسيا وإيران والساحل الشرقى للخليج العربى وبعض سواحل مصر والجزائر وساحل جيزان السعودى على البحر الأحمر (١) .

وتظهر هذه القباب مغلقة من الخارج بغطاءات صخرية صلبة من الدولوميت والجبس والأنهيدريت والحجر الجيري وهى بشكل عام تختلف فى مظهرها المورفولوجى من منطقة إلى أخرى ، كما أن الكثير من الجزر فى الخليج العربى قد نشأت كقباب ملحية .

وعندما تتعرض الطبقات الصخرية الرسوبية لحركات رفع تكتونية فإنها قد تتشكل فى طيات محدبة متباينة الأبعاد ومنها الطيات المحدبة العظمى فى قوس

---

(١) تظهر الشات الملحية فى مواضع عديدة من ساحل جيزان السعودى على البحر الأحمر، كما تعد جرر مرسان الواقعة أمامها بمثابة قباب ملحية بارزة فوق سطح البحر .

سنسنتى وسان رفائيل بولاية يوتاه الأمريكية ، طيات يعلق والمغارة ولبنى وحلال وغيرها فى شمال سيناء والتي تبدو ذات محاور تمتد من الشمال الشرقى باتجاه الجنوب الغربى مع تميز سفوحها الشرقية والجنوبية الشرقية بشدة انحدارها على العكس من السفوح الشمالية والشمالية الغربية التي تتميز بانحداراتها الخفيفة ويرجع ذلك إلى قديم الحركات التي سببتها من الاتجاه الشرقى .

وتبرز الجبال القباية شمالى سيناء - بشكل فجائى وسط سهول مستوية تنتظم فى خطوط متوازية محصورة بين خطى كتور ٢٠٠-٥٠٠ متر ، وهى تختلف فى أطوالها وارتفاعاتها وإن اشتركت مع بعضها البعض فى كونها ترجع إلى حركات تكتونية واحدة مع تكونها من صخور الحجر الجيرى والطفل والرمال مع اتخاذها اتجاهها عاماً نحو الشمال الشرقى ، كل واحد منها يبدو فى صورة بيضية oval shaped غير منتظمة تتميز الجوانب منها المواجهة للشمال الغربى بانحدارها المعتدل ما بين ٥-٢٠ درجة، بينما يشتد الانحدار فى الجوانب الجنوبية الشرقية ليتراوح ما بين ٤٥-٩٠ درجة مع ظهور خطوط الصدوع العرضية التى صاحبت عملية الالتواء folding .

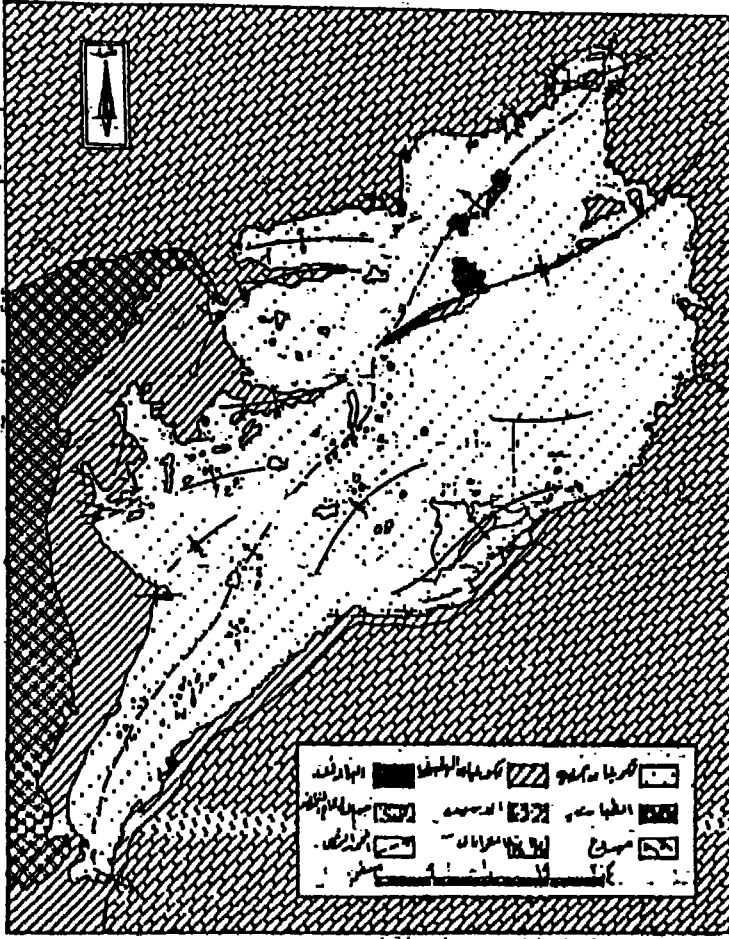
وإذا أخذنا جبل « مغارة » كمثال للقباب بشمالى سيناء فإننا نجد عبارة عن قبو طولى يبلغ طوله نحو ٤٠ كيلو متر وعرضه ٢٤ كيلو متر ويتراوح ارتفاعه ما بين ٥٠٠- إلى ٦٤٠ متراً فوق مستوى سطح البحر وتتضمن كتلته عدة قمم تمتد متوازية فيما بينها وممتدة فى نفس الاتجاه العام للكتلة الرئيسية ، وتتخذ القمم الشرقية شكلاً حلقياً تنحدر بشدة فى جوانبها المتقابلة والمتجهة نحو الداخل ، وتلك سمات رئيسية مميزة للبنى القباية domal structures ، وذلك بسبب تعرضها للعديد من التصدعات وتأثرها بعمليات التعرية المختلفة والتي أدت إلى نحت قمة القبو وكشفت النقباب عن التكوينات الجوراسية الأقدم والتي يبلغ سمكها نحو ٢٢٠٠ متر ( عوض ، ١٩٦٠ ، ص ١٢ ) .

وبعد منخفض الواحات البحرية فى صحراء مصر الغربية موضعاً لقبو قديم تعرض للنحت والتخفيض ، وبسبب تأثر البنية القباية بالحركات التكتونية والتي تظهر آثارها فى ميل الطبقات فى الحافات المحيطة به والتلال الداخلية ميلاً خفيفاً يتراوح ما بين درجتين وعشر درجات فى كل الاتجاهات ، كذلك تظهر الحافات

الصدعية واضحة فى بعض المواضع التى تأثرت بالتصدع ، ونجد أيضاً انعكاساً تضاريسياً للطيات المحلية بالمنخفض فى ملامح طبوغرافية معكوسة، أو بمعنى آخر فى وجود أودية طية محدبة anticlinal valleys ووجود حافات وتلال طية مقعرة، مثال الحالة الأولى: وادى الحارة بالحافة الشرقية ووادى التينية بالحافة الغربية وكذلك الطيات المقعرة جنوب تنوع التينية ، وليست التلال المنعزلة المتشرة داخل المنخفض سوى البقية المتبقية من القبو القديم .

ويبدو من الشكل رقم (٢٠) أن منخفض الواحات البحرية ذو شكل بيضاوى يتجه محوره الرئيسى من الشمال إلى الجنوب الغربى يمتد منه خليجان ضيقان عند نهايته الشمالية والجنوبية، ويبلغ أقصى طول له من الشمال إلى الجنوب ٩٤ كيلو متر وأقصى اتساع له لا يزيد على ٤٢ كيلو متر ويقل منسوب قاع المنخفض عن مستوى سطح الهضبة المحيطة والتي حفر بها بحوالى ٢٠٠ متر وتبلغ جملة مساحته ١٨٠٠ كيلو متر مربع، ويتميز عن باقى منخفضات الصحراء الغربية بإحاطته إحاطة تامة بحافات مرتفعة شديدة الانحدار نحو قاعه إلى جانب تميزه بكثرة التلال الصغيرة المنعزلة التى يفوق بعضها فى ارتفاعها الحافات- escarpments المحيطة بالمنخفض .

ويوضح الشكل رقم (٢١) خريطة كتتورية تظهر بنية قباية محلية تعرف بقبو جرينفيل Grenville بولاية ويومنج الأمريكية تعرضت لعمليات تعرية طوال تاريخها الجيولوجى مما أدى إلى تقشر الطبقات الصلبة وتكوين كويستات أو حافات أكثر تحديداً تعرف باسم ظهور الخنازير hogbacks وكان يسود المنطقة نمط تصريف إشعاعى Radial drainage pattern تجرى خلاله الأنهار على سفوح كويستات غير مكتملة الشكل ، ولكن مع سيادة عمليات التعرية ظهر نمط حلقى annular Pat- tern كما يظهره الشكل السابق والذي يظهر كذلك مرحلة النضج التى تعيشها المنطقة ، وقد انعكس ذلك أيضاً فى وجود نوع من الكويستات تمتد فى شكل حلقى جيد التطور .



الخريطة الطبوغرافية للمنطقة الواقعة على الخليج العربي

شكل رقم (٢٠)

- ويمكننا أن نلاحظ من الشكل السابق عدة ملاحظات نجملها فيما يلي :-
- ١- وجود كتلة مرتفعة في الوسط مكونة من صخور صلبة لم تستطع عوامل التعرية إزالتها يحدها خط كتطور ٦٧٠٠ قدم مع وجود قممتين بارتفاع ٦٧٤٧ قدم يفصل بينهما نطاق متسع أقل منسوباً ( صبرى محسوب والشريعى ، ص ٩٦ ) .
  - ٢- تقطع سطح القبو الخارجى بواسطة عدد من الأودية النهريّة .
  - ٣- تبيان الأسهم الممتدة من النقطة A امتدادات أوجه الكويستات التي تطورت بالقبو .



٤- تبين الخطوط الممتدة من النقطة B نمط متطور من نظم التصريف الحلقي.

٥- يشير السهمان الممتدان من النقطة C إلى مواضع الصخور اللينة التي تحتلها منخفضات مركزية Cen - tral - depressions تظهر فوق قيعانها بحيرات بلايا playa lakes .

### الأشكال المرتبطة بالمحذبات والالتواءات :-

ليس أمراً مؤكداً أن تكون الجبال المرتفعة في الوقت الحاضر عبارة عن طيات محدبة والأودية والمنخفضات طيات مقعرة ، ولكن قد تظهر الجبال في طيات مقعرة وتشق الأودية مجاريها على طول امتداد محاور طيات محدبة حيث يسود النحت في مناطق الشد

الصخري على طول هذه المحاور على عكس الحال مع مناطق

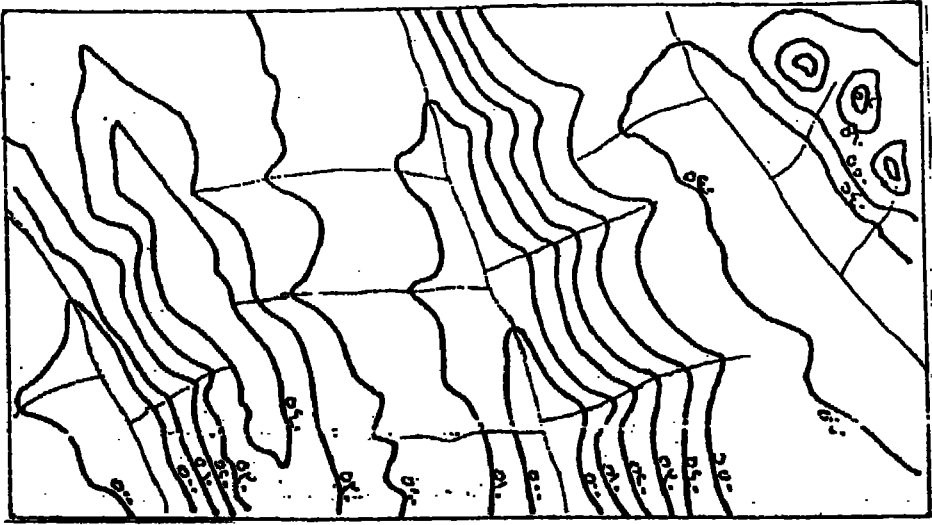
الضغط في الطيات المقعرة والتي يزداد تماسك صخورها بسبب شدة اقتراب جزئياتها من بعضها البعض مما يجعلها أكثر مقاومة لعمليات التعرية المختلفة .

ويوضح الشكل رقم (١٢٢) قطاعاً في جبال قصور شرق عين شرفا بالجزائر يظهر منه جبل رونجاري الذي يحتل موضع طية مقعرة ويبلغ ارتفاعه نحو

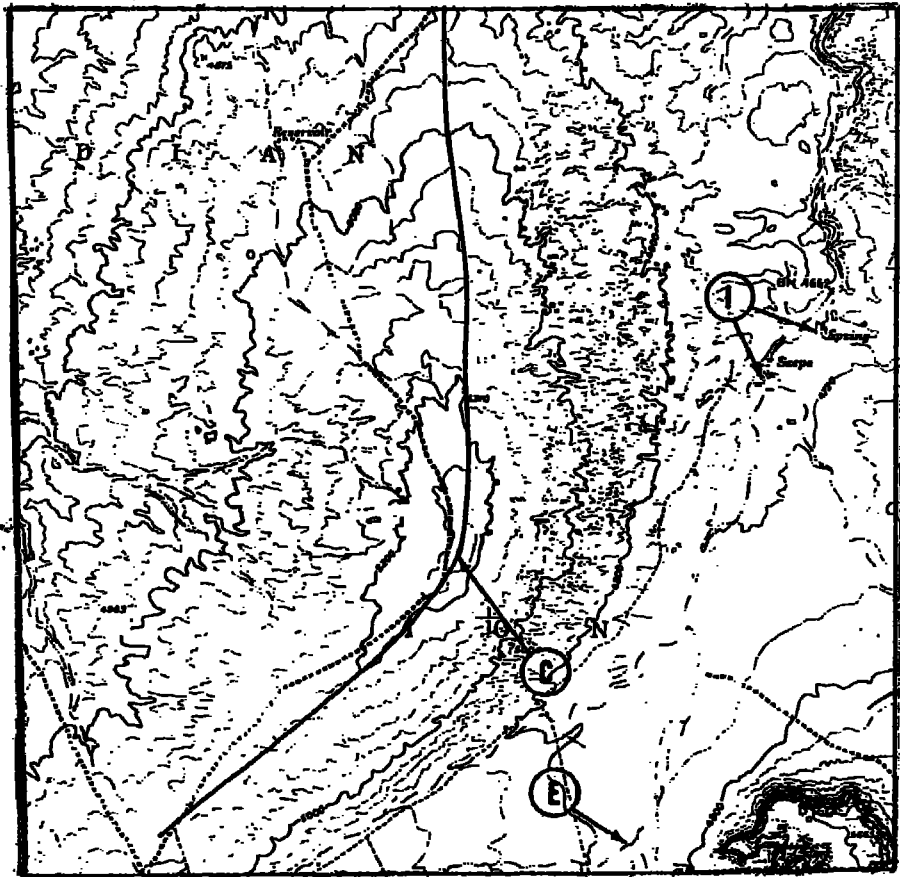
شكل رقم (٢١)

قبو جرينفيل بولاية ديومنج الأمريكية





شکل رقم (۲۲) (ب)



شکل رقم (۲۳)

بعض الأشكال والملاح الجيومورفولوجية والتركيبية المرتبطة بأنواع الصخور :-  
يندرج تحت هذا العنوان العديد من الأشكال والملاح المرتبطة بصخور بعينها  
سواء كانت رسوبية أو نارية بأنواعها المختلفة .

ونظراً لأهمية الأشكال والصور التركيبية المرتبطة بالصخور الرسوبية سنكتفى  
هنا بإيجاز لأهمها وأكثرها وضوحاً وتأثيراً على فعالية العمليات  
الجيومورفولوجية .

#### ١- الأشكال المرتبطة بالصخور الرسوبية الأفقية دون تعرضها لحركات أرضية :-

عادة ما نجد أن الطبقات الرسوبية الأفقية horizontal strata توجد في شكل  
تتابع طبقات تختلف في درجة مقاومتها لعمليات التعرية، فنجد أن الطبقات  
الأكثر صلابة تشكل جروفاً Cliffs بينما نحتت الصخور اللينة الهشة friable  
rocks لتكون سفوحاً أقل انحداراً وينتج عن ذلك نوع من الطوبوغرافيا تتعاقب فيها  
الجروف مع الدرجات benches يطلق عليها مصطلح Cliff and slope topogra-  
phy ، وعادة ما نجدها تتعرض لحركات مع انهيارات أرضية (صورة رقم ٣) مع  
تميز قسم التلال في أغلب الأحوال باستوائها (Morisawa.M, ١4) مثلها نلاحظ  
ذلك ، التلال المنعزلة Isolated hills والمنتشرة في قيعان المنخفضات الصحراوية  
مثل تلال منديشة والتينينية بالوحدات البحرية والأخير عبارة عن كتلة جيرية  
مستطيلة الشكل تقريباً تتميز باستواء قممها، والتلال المنتشرة في منخفض واحات  
سيوة والتي تتماثل في تكوينها مع تكوينات الحافة الشمالية الجيرية التي تركز على  
تكوينات مغرة الهشة منها تل الحريقة وأم الحرس وجبل المرتزق وغيرها من التلال  
التي تتعاقب فيها صخور صلبة مع صخور لينة مع وتميز قممها بالاستواء .

#### ٢- الأشكال التركيبية :-

تعد الصخور الرسوبية من أفضل أنواع الصخور التي يمكن دراسة التراكيب  
الجيولوجية عليها؛ لأن طبيعة تكوينها تسهل معرفة أشكالها الأصلية قبل  
حدوث أي تشوه لها ، فأى تغير في الوضع الأفقى الذى ترسبت عليه في  
الأصل يدل على حدوث حركات أرضية، والكثير من الأشكال التركيبية ينتج



عن عوامل خارجية أثرت في الترسيب ويطلق على تلك الأشكال التراكم الأولية  
primary structures وذلك لأنها تتكون أثناء تكون الصخور نفسها ( حسن  
وزملاؤه ، ١٩٩٠ . ص ١٢٦ )(\*) .



صورة رقم (٣)

انهيارات أرضية على احد السفوح الجبلية

#### - الترقيق Lamination :

يبدو المظهر العام في شكل صفائح رقيقة لا يزيد سمكها عن بضعة  
مليمترات وعادة ما تتميز به الصخور الرسوبية دقيقة الحبيبات مثل الطفل  
والغرين .

#### - التطبق الكاذب False Bedding :

يظهر في شكل خطوط غير موازية لمستوى الترسيب ولا تدل على تنابع  
طبقي حقيقي ولكنها تنتج أساسًا بسبب تأثير تيارات كانت سائدة أثناء تراكم هذه

(\*) سوف نقتصر على معالجة مختصرة للتراكيب الأولية الناتجة عن عمليات خارجية في الصخور .

الرواسب، وقد تتعرض بعض الجروف الساحلية لمثل هذا المظهر نتيجة لتأثير التيارات المائية عليها مثلما الحال على جروف سواحل عمجية غرب مرسى مطروح . وتوجد كذلك ظاهرة التطبيق المتقطع cross bedkriy وهو نوع من التطبيق الكاذب تتعارض فيه رقائق الطبقة الواحدة وعادة ما يسود في المناطق التي تتعرض لتيار متغير الاتجاه .

ويرى البعض أن التطبيق المتقطع الذى// يتميز بكبر سمك الطبقة المتقطعة يشير إلى رواسب تراكمت بفعل الرياح ( كثبان رملية ) أو التطبيق المتقطع صغير الحجم فتعد رواسبه من نتاج إرساب بجرى فى مياه ضحلة تأثرت بفعل الأمواج أو التيارات السطحية، أو قد تكون رواسب نهريّة أو بحيرية بعيدة عن أثر تيار النهر الرئيسى ، والواقع أن ميكانيكية تكوين التطبيق الكاذب غير مفهومة - حتى الآن - فهما دقيقاً ( حسن وزملاؤه ، ص ١٢٨ ) ، وإن كان البعض يرى أن اختلاف حجم الحبيبات المكونة للصخور تعد عاملاً مهماً فى إبراز مثل هذا الملمح .

#### - الفواصل الصخرية Joints :-

من الملامح الجيومورفولوجية التى تميز الصخور بجميع أنواعها ، وهى عبارة عن مستويات أو سطوح للتشقق تقسم الصخر إلى أجزاء مختلفة الحجم ولا يرتبط بها تزحج للكتل الصخرية على جانبى هذه السطوح .

وبالنسبة للصخور الرسوبية يوجد نوعان من الفواصل متعامدة على مستوى التطبيق bedding plane ، أما فى الصخور النارية فتوجد ثلاثة أنواع ، النوع الأول ويمتد امتداداً أفقيّاً فى موازاة خطوط الانسياب وتعرف بالفواصل الأفقية والنوع الثانى وتمتد فواصله فى وضع رأسى بالنسبة لخطوط الانسياب وتعرف بالفواصل القاطعة، أما النوع الثالث فهو عبارة عن فواصل طولية تمتد فى أعماق الصخر .

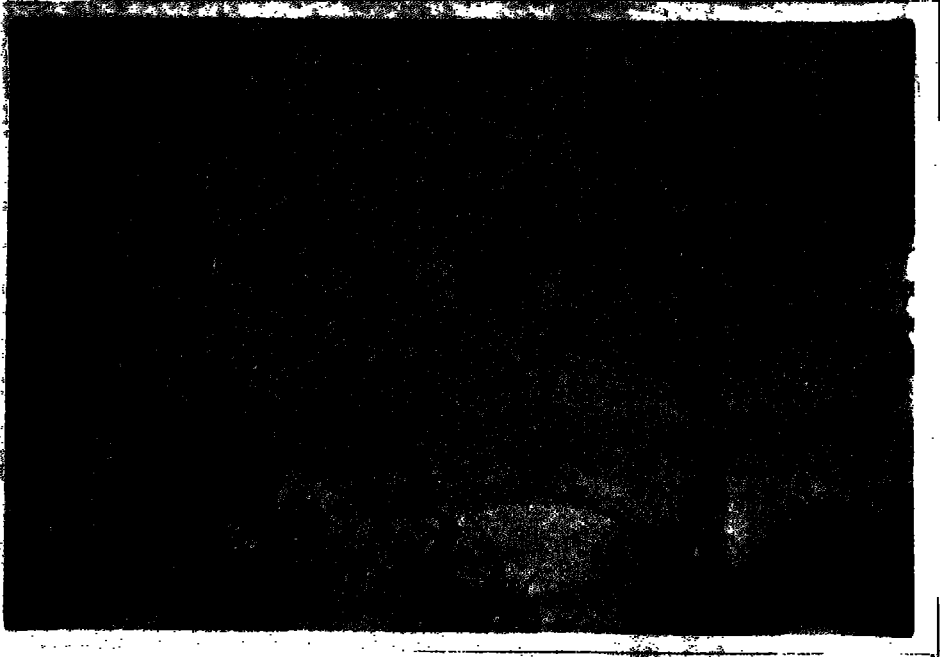
أما عن أهم خصائص الفواصل الصخرية التى تساعد على دراستها نوجزها فيما يلى :-

- يمكن تحديد اتجاهاتها بالنسبة لخط المضرب كما يمكن تحديد اتجاه ميلها وكثافتها بالصخر .

- ترجع الفواصل في تكوينها إلى عمليات الضغط أو الشد التي تتعرض لها الصخور وكذلك نتيجة لعوامل القص Shearing ، وبالنسبة للصخور النارية توجد شقوق نتيجة لانكماشها عند تجمدها ، وتحدث أنواع من الفواصل المتقاطعة في بعض الصخور البركانية التي تؤدي إلى تفصل الصخر في هيئة أعمدة سداسية .

- تظهر في الصخور الطينية فواصل وشقوق cracks ، نتيجة لتماسك الصخر وتصلبه مع التجفيف وكثيراً ما تظهر التشققات الطينية في قيعان الخبترات والسبخات الطينية الجافة حيث يجف السطح الخارجى للرواسب الطينية بدرجة أسرع من الداخل نتيجة لتعرضه لحرارة الشمس التي تزيد بدورها من طاقة التبخر، وتختلف هذه الشقوق في أشكالها وأحجامها وطولها، وعموماً فإن وجدت مثل هذه الشقوق في الصخور فإنها تدل على تعرض الرواسب الطينية للهواء بعد فترة من البلل .

توضح الصورة رقم (٤) تشققات سطحية غير منتظمة في إحدى السبخات الجافة بواحة الإحساء قرب جبل « قارة » . لاحظ منها اتساع الشقوق وامتلانها ببقايا النباتات والأفرع الجافة .



صورة رقم (٤)

تشققات سطحية غير منتظمة في سطح إحدى السبخات الجافة بالإحساء

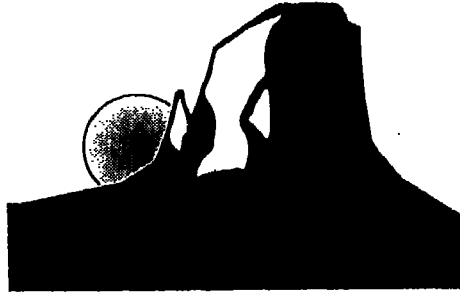
كما توضح الصور رقم (٥) تشققات طينية ضخمة في قاع بحيرة سد أبها وقد ظهرت هذه التشققات بعد تفريغ الخزان المائي وانكشاف رواسب القاع وتعرضها للجفاف، ويلاحظ منها ضخامة الشقوق الرئيسية والتي يبلغ عمقها أكثر من متر ونصف مع ظهور تشققات دقيقة في الرقعة العلوية، يلاحظ كذلك هبوط خفيف في منتصف الصورة وهذا الهبوط نتج أساساً عن عملية تقويض سفلى في هذا الوضع؛ وذلك لأن ما تحتها من رواسب ما زالت مشبعة بالمياه إلى جانب امتلاء قيعان الشقوق الضخمة بالمياه التي تساعد بدورها في عمليات الهبوط الموضحة بالصورة حيث تبدو الشقوق الضخمة وكأنها عملية تخوير نشطة في هذه الرواسب.



صورة رقم (٥)

تشققات كبيرة الحجم في رواسب قاع بحيرة سد أبها أثناء الجفاف

## الفصل الثالث



التجوية والاشكال الارضية  
المرتبطة بها





## مقدمة :

التجوية ببساطة عبارة عن عمليات تفكك disintegration أو تحلل decay للصخور فى مواضعها in situ دون تحركها .

ويمكننا تعريفها بشيء من التحليل الدقيق بأنها : تحطم وتغيير يتتاب المواد الصخرية قرب سطح الأرض ، وذلك لكى يحدث تنوع من التوازن مع الظروف الفيزيائية والكيميائية التى استجدت بالموضع .

وقد تسبب التجوية فى إحداث نوع من الإراحة المحدودة للمفتحات المجراة؛ وذلك لأن ما تتعرض له المواد الصخرية من تغييرات فى أحجامها - مثل النمو البلورى Crystal growth والانبعاج والغسل والانتفاش إلخ - يؤدى إلى حدوث عمليات منفردة لكل مكون صخرى .

ولتبسيط معالجة هذه العمليات ، فقد حدد العديد من المهتمين نوعين رئيسيين من التجوية ، النوع الأول وهو التجوية الفيزيائية physical weathering والنوع الثانى التجوية الكيميائية Chemical weathering ويقصد بها تحلل معادن الصخر decomposition والأحماض العضوية Organic acids .

أما بالنسبة للتجوية الحيوية biotic weathering فإنها تقوم فى الواقع بدور التجوية الفيزيائية مثل تفكك الصخر splitting of rocks من خلال امتداد جذور النباتات ( مجاميعها الجذرية ) فى التربة ، وتقوم كذلك بنفس الدور الذى تقوم به التجوية الكيميائية مثل تحلل الحجر الجيرى بمخلفات الطيور bird dropping ومن ثم فإن المعالجة ستضمن دراسة العمليات البيولوجية ضمن النوعين الرئيسيين وذلك وفقاً لخصائصها .

والواقع أنه من الصعوبة الفصل بين العمليتين الفيزيائية والكيميائية ، فرغم أنهما لا يعملان فى معظم الأحوال مع بعضهما البعض ، إلا أن كل واحدة منهما تعضد الأخرى ، فعندما يتشقق الصخر بفعل التجوية الفيزيائية بمفردها نجد أن تلك الشقوق تعد بمثابة مسالك يسيرة لمياه الأمطار المتخللة للصخور لتقوم بدورها فى التحلل الكيماوى للمعادن الصخرية وخاصة على حدود هذه الشقوق ، ويظهر

ذلك بشكل واضح في أعالي الجبال حيث تسود التجوية الفيزيائية بفعل الصقيع مع تركيز لنشاطها في تلك المواضع - أى الشقوق والفجوات - الضعيفة بالصخور ، وفى المقابل تعمل التجوية الكيماوية على توسيع الفراغات البينية void spaces مما يساعد على تغلغل المياه داخلها وقيامها بالعمل الميكانيكى ( الفيزيائى ) وذلك من خلال تعاقب التجمد والانصهار .

ومن الأمثلة الأخرى على تضافر عمليتى التجوية الميكانيكية والتجوية الكيماوية فى القيام بدور مشترك لتفكك وتحلل الصخور ما يحدث فى عمليتى النمو البلورى للأملاح وتآكل بلورات الملح داخل الشقوق الصخرية وما ينتج عن ذلك من تقشر للصخر exfoliation .

### العوامل المؤدية للتجوية :-

تتأثر عمليات التجوية بعوامل داخلية endogenetic وعوامل خارجية exogenetic ، ترتبط العوامل الداخلية بالبنية ( التركيب ) والتكوين الصخرى ، فالمعادن المكونة للصخر تتحكم فى نمط وفى فعالية التجوية الكيماوية ، مثلنا فى ذلك أن الكالسيت يتأثر بالتكرين والفلسبار feldspar يتغير بفعل التحلل المائى ، كذلك نجد أن للنسيج الصخرى texture أهميته أيضاً ، فالصخور المكونة من حبيبات ناعمة fine grained تتجوى بمعدلات أسرع من الصخور خشنة الحبيبات Coarse grained حيث تحتوى الأخيرة على خطوط ومواضع ضعف أقل منها فى الأولى .

أما بالنسبة لآثر بعض الصور التركيبية للصخور على زيادة فعالية عمليات التجوية فإننا نجد أن الفواصل الصخرية Joints وأسطح الطباقية bedding planes إلى جانب الشقوق الدقيقة micro fissures تعد من المواضع الصخرية التى تجدد التجوية فيها مسالك للقيام بدورها فى تفكك الصخر وتحلله ، فالصخور التى تقل بها الفواصل - الصخور الكتلية - عادة ما تكون شديدة المقاومة لعمليات التجوية بنوعها وتظهر فى أغلب الأحوال فى شكل أوجه حرة free faces أو فى شكل أبراج تضاريسية عالية .

أما عن العوامل الخارجية المؤثرة على عمليات التجوية فإنها تتمثل أساساً فى كل من المناخ بعناصره المختلفة والنبات ، الأول يتحكم فى إمكانية توفير المياه وفى درجة حرارة الصخر والفوارق الحرارية اليومية والسنوية فى أية منطقة، ومن



المعروف أن الماء مطلوب في أغلب عمليات التجوية الفيزيائية والكيميائية وعلي ذلك نجد أن التجوية بشكل عام غير ذات أهمية تذكر في المناطق الجافة ولا ينتج عنها سوى مفتتات قليلة من التربة والمواد الصخرية ، وعادة ما تتخير المواضيع شديدة الضعف في الصخور ( Cooke, R.U. and Warren, A, 1973, P30 ) .  
أو مواضع الظل التي قد تتوفر بها نسبة من الرطوبة تساعد في القيام بعملها الفيزيائي أو الكيماوي ، ويقدر بأن معدل تراجع الأوجه الصخرية في المناطق المدارية الجافة يبلغ أقل من نصف ملليمتر كل عشرة آلاف سنة ، بينما يصل معدل تراجعها في جبال الألب السويسرية وفي هضبة البرازيل ما بين ملليمتر واحد وملليمترين في السنة ( Clark, M, and small, J, p. 15 ) وهذا دليل واضح على مدى أهمية توافر المياه لإتمام عمليات التجوية وزيادة فعاليتها .

وتلعب الحرارة المرتفعة دورها في عمليات التجوية ، حيث يقدر بأنه مع زيادة في درجة الحرارة قدرها عشر درجات مئوية تزيد معدلات التفاعل الكيماوي للمواد الصخرية بما يتراوح من مرتين إلى ثلاث مرات ، وعلى ذلك نجد أن التجوية في المناطق المدارية الرطبة humid tropical areas تزيد عنها في المناطق المعتدلة temperate- areas بنحو أربع مرات ( Thomas, M. F, 1974 ) .

يضاف إلى توافر عنصر الحرارة في المناطق المدارية الرطبة المياه الجوفية (تحت الأرضية) والمادة النباتية المتحللة والتي يقدر بأن كمياتها في الغابات المدارية يتراوح ما بين ١٠٠ - ٢٠٠ طن في كل هكتار، بينما تتراوح كمياتها في الغابات المخروطية الباردة ما بين ٢٠ - ٢٥ طنا فقط للهكتار ، ومن المعروف أن التحلل النباتي عادة ما يصاحبه خروج أحماض عضوية تعمل بدورها على زيادة فعالية أنواع معينة من عمليات التحلل الكيماوي كما سيتضح ذلك فيما بعد ، ونتيجة لذلك نجد أن معدلات التجوية في المناطق المدارية الرطبة تزيد عن مثيلاتها في المناطق المعتدلة بنحو أربعين مرة ( Clark, M, and small, J, P 15 ) وهذا الأمر يفسر بوضوح تام سبب وجود المفتتات الصخرية السميقة deep regoliths في المداريات الرطبة .

كذلك نجد أن الفارق الحرارى اليومى والسنوى يعد من الضوابط الهامة لبعض أنواع التجوية الفيزيائية وخاصة فيما يتعلق بعملية التفكك الصخرى الناتج عن الجليد بفعل النمو البلورى الجليدى ، وكذلك التفكك الناتج عن تعاقب ارتفاع درجة الحرارة وانخفاضها الحاد وخاصة فى المناطق ذات المناخ القارى المتطرف extreme continental climate مثل هضبة نجد وصحراء مصر الغربية وصحارى ليبيا وغيرها .

ويقوم النبات بدور كبير فى عمليات التجوية الميكانيكية من خلال امتداد جذوره وانتشارها داخل شقوق الصخر مما يؤدي إلى زيادة اتساعها وتفكك الصخر .

### أولاً- عمليات التجوية الفيزيائية Physical Weathering :-

تعنى التجوية الفيزيائية كما ذكرنا آنفاً حدوث تفكك للصخور فى مواضعها دون حدوث تغيرات فى خصائصها الكيماوية .

وتتمثل العمليات المرتبطة بالتجوية الفيزيائية ( الميكانيكية ) فيما يلى :-

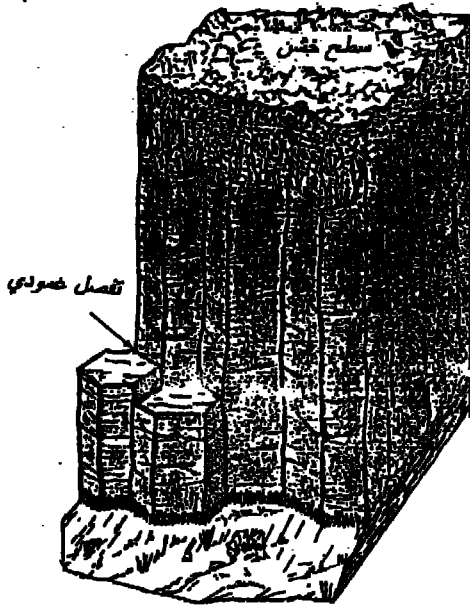
#### (أ) إزالة الضغط من فوق الصخر Pressure Release :

تعد هذه العملية بعيدة نوعاً ما عن عملية التجوية ولكنها رغم ذلك تؤدي إلى تفكك فيزيائى للصخر إلى جانب أنها تزيد من فعالية وتأثير العديد من أشكال التجوية .

من المعروف أن الصخر الذى يتعرض لضغط ما نتيجة لشغل الرواسب والتكوينات التى تعلوه تزداد قوة تماسكه من خلال شدة اقتراب جزيئاته من بعضها البعض مثلما الحال مع صخور الجرانيت والشست والديوريت وغيرها من الصخور التى تتكون عند أعماق بعيدة نسبياً عن سطح الأرض ، وعلى ذلك فعندما تتم إزالة الرواسب التى تعلوها overlying - deposits بفعل عمليات التعرية الخارجية أو بفعل حركات تكتونية ، فمعنى ذلك بيساطة إزالة ثقل من فوقها عمل فترة زمنية طويلة على ضغطها وزيادة تماسكها وقوتها وينتج عن ذلك انكشافها وتعرضها للتمدد المرن elastic expansion بشكل بطيء .

ونظراً لكون هذه الصخور المتداخلة Intrusive مقيدة في مواضعها Confined من جميع الجهات باستثناء أعاليها ، فإن ما تتعرض له من تمدد سيكون في اتجاه رأسى متعامد على سطح الصخر مما يؤدي إلى ظهور مجموعات من الشقوق والفواصل التي تمتد في موازاة السطح ، وهذه الفواصل المعروفة باسم « الفواصل الغطائية sheet joints » يمكن أن نلاحظها بوضوح في الصخور الجرانيتية التي تتعرض لمثل هذه العمليات سابقة الذكر .

وعندما تتقاطع هذه الفواصل مع الفواصل الرأسية vertical Joints التي تحدث للصخر بفعل ميكانيكيات أخرى ينتج عن ذلك حدوث تفصل عمودي للصخور cuboidal jointing كما يتضح من الشكل رقم (٢٤) وصورة رقم (٦)



شكل رقم (٢٤)

وجدير بالذكر أنه كثيراً ما تظهر الفواصل الغطائية على هوامش الجرز الجبلية Inselbergs التي تختلف في خصائصها الصخرية عما يحيط بها من صخور والتي كانت في فترة سابقة مدفونة تحت طبقات صخرية ثم انكشفت وخفضت المناطق المحيطة بها بفعل عمليات التعرية الخارجية .

وبطبيعة الحال فإن هذه الفواصل بأنواعها المختلفة عادة ما ينتهي بها الأمر إلى حدوث تفكك للصخور التي تفصلها ،

حيث إنها كما ذكرنا تمثل خطوطاً ضعف في الصخور تتخللها المياه والهواء وأحياناً جذور النباتات لتقوم جميعها بأدوارها في التجوية بنوعها مما يؤدي إلى انزلاق أو انهيار الكتلة الصخرية المجاورة .



صورة رقم (٦)

تفصل عمودي مع بعض الفواصل العرضية على جانب وادي جلي بمحايل عسير مع انقلاب كتل صخرية

ويتراوح عمق الفواصل الغطائية الناتجة عن هذه العملية ما بين خمسة وعشرة أمتار وقد يقل اتساعها joint spacing قرب سطح الأرض إلى بضعة سنتيمترات .

كذلك فإن إزالة الضغط من فوق الصخور المتداخلة قد ينتج عنه تشققات دقيقة وشقوق مجهرية micro fissures في تلك الصخور المكشوفة تؤدي إلى تقشرها فيما يعرف بعملية التقشر الصخري exfoliation والتي قد تتسبب كذلك عن تتابع ارتفاع وانخفاض درجة الحرارة في المناطق القارية المتطرفة كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

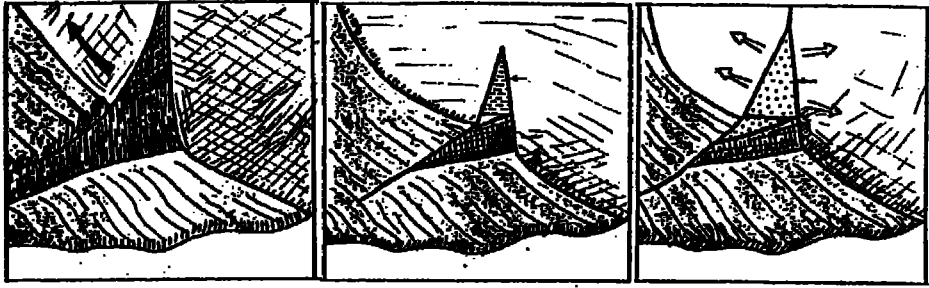
(ب) التجوية بفعل الصقيع Frost - Action ( تعاقب التجمد والانصهار ) :-

يعد هذا النوع من التجوية أكثر الأنواع الفيزيائية شيوعاً وانتشاراً وخاصة في

العروض العليا وفي المناطق المرتفعة في جميع العروض تقريباً بما فيها الصحاري المدارية والمنطقة الاستوائية<sup>(١)</sup>.

وتزداد الفعالية أساساً أثناء فصل التساقط الثلجي snow precipitation وخاصة أن معظم هذه المناطق تقع على مناسيب تتراوح ما بين ٥٠٠ - ١٥٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر .

ومن المعروف أن التجوية بفعل الصقيع تنتج في الأساس من تخلل المياه للفواصل وأسطح الطبقات متحولة خلالها إلى أسافين جليدية ice wedges أثناء فصل الشتاء، ومن ثم تتعرض للتمدد مع زيادة أحجامها بنسبة ١٠٪ تقريباً وخاصة عندما لا تكون هذه الأسافين الجليدية مقيدة داخل صخور جاسئة rigid rocks ويؤدي كذلك تعاقب دورات الصقيع frost cycles إلى توسيع الشقوق لينتهي الأمر بتقطع كتل الفواصل الصخرية وتفككها كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٢٥) حيث إن تعاقب التجمد والانصهار يحدث أثره البالغ على تفتت الصخور من خلال تعاضم قوة الضغط على جوانب الفواصل والشقوق<sup>(٢)</sup>.



شكل رقم (٢٥)

(١) لاحظ كل من Cooke and Warren تجمد المياه خلال مائة يوم في العام وذلك في صحراء موهافي Mojave بالولايات المتحدة الأمريكية.

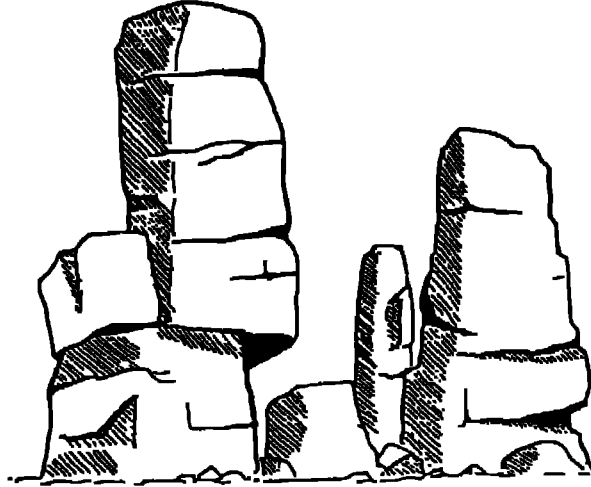
(٢) على الرغم من التأثير البالغ لهذه العملية إلا أن تأثيرها عادة ما يقتصر على الطبقة السطحية من الصخر .

ويتضح أثر الصقيع فى المناطق المعتدلة خلال فصل الشتاء مثلما الحال فى المناطق الجبلية وسط آسيا التى تتميز بتراكم الصخور الناتجة عن التفكك بفعل الصقيع - والتى عادة ما تتميز حباتها بأشكالها غير المنتظمة - فى صورة هشيم screes عند أقدام السفوح المجاورة والتى عادة ما تتضح فيها مكاشف الطبقات outcrops .

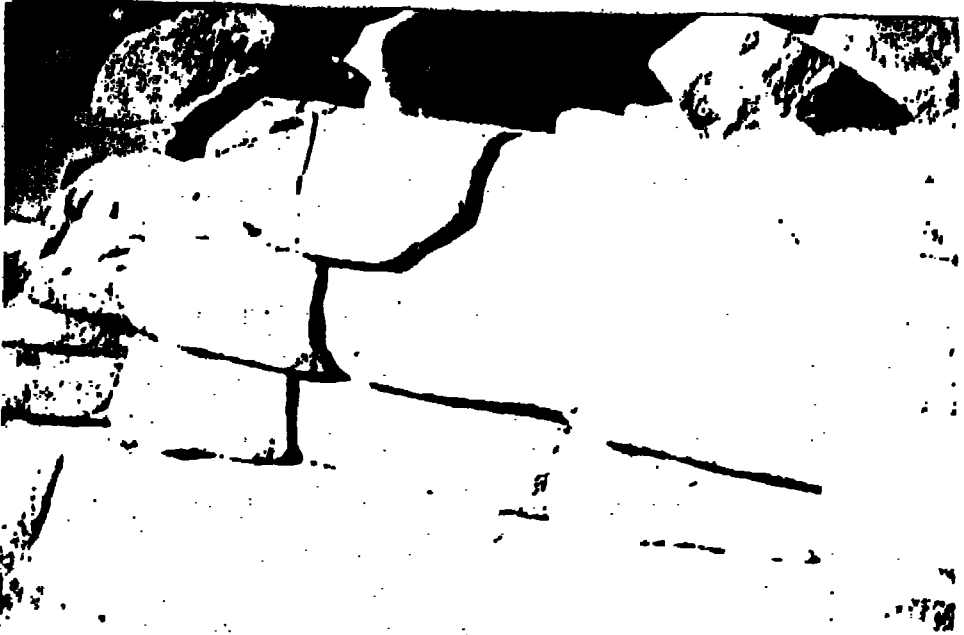
وجدير بالذكر أن التجارب قد أثبتت أن عمليات التجوية بفعل الصقيع لا ينتج عنها جزئيات دقيقة ( أقل من ستة ملليمترات ) ومن ثم فإنه فى حالة وجود مفتتات غرينية أو طينية فى البيئات الباردة فإنها تكون من نتاج تجوية كيميائية أو قد تكون من نتاج برى abrasion جليدى .

ويرى الكثيرون أن الصقيع ( الجليد ) وعملية إزالة الضغط من فوق الصخور المتداخلة بجانب عمليات تجوية أخرى يعد مسؤولاً عن تراجع الأوجه الحرة للسفوح بالعروض العليا وتكوين الهشيم الزاوى angular scree عند أقدامها .

يتضح من الشكل التالى رقم (٢٦) تكسر الصخور إلى كتل مستطيلة الشكل بفعل الصقيع والتغير الحرارى الذى ينتج عنه تتابع التمدد والانكماش فيما يعرف بالتفكك الكتلى Block Disintegration راجع أيضاً الصورة رقم (٧) .



شكل رقم (٢٦)



صورة رقم (٧)

#### التفكك الكتل للصحور بمرتفعات عمير

ويعد راب ( Rapp, 1960 ) رائداً في دراسة أثر الصقيح في تفكك الصخور حيث قام بقياسات حقلية لعمليات التساقط الصخري من الأوجه الحرة في سفوح الجبال المكونة من صحور الميكاشست والحجر الجيري في منطقتي karkevagge و lapplan بمرتفعات السويد وذلك أثناء الفترة من ١٩٥٢ إلى ١٩٦٠ وقد فرق في دراسته بين سقوط الحصى pebbles fall وسقوط الجلاميد boulders fall ، وقد استنتج من خلال قياساته الحقلية أن معدل التساقط السنوي من الصخور يصل إلى خمسين متراً مكعباً منها خمسة أمتار مكعبة من الحصى وخمسة وأربعين متراً مكعباً من الجلاميد مقدراً بذلك معدل التراجع السنوي للحوائط الصخرية بـ ٦٠ سم من المليمتر ( Clark, Mand Small, J, P.19 ) ، وقد أثبتت كذلك دراسات كل من Harris, and Honeyborne وآخرين أن بنية مسام الصخر لها دور كبير في التحكم في درجة مقاومة الصخر للعمليات المرتبطة بالتجوية الجليدية ، ومع ذلك فقد أكدوا صعوبة قياس هذا الأثر في معزل عن عدد من المتغيرات الأخرى مثل كثافة أسطح الضعف - من شقوق وفواصل - ومعامل التشعب وغير ذلك .

## (ج) التجوية الملحية Salt Weathering :-

عرفت التجوية الملحية منذ فترة زمنية طويلة ، فقد أشار كل من ( Blanck, 1923 E ank Passarge, ) إلى دور تبلور الأملاح في تفكك الصخور بالصحارى المصرية .

ورغم بعض الجوانب الكيماوية لهذه العملية إلا أن دورها في تفكك الصخر دور فيزيائى ميكانيكى فى المقام الأول .

ومن الشائع أن التجوية الملحية تتسبب عن تبلور محاليل زائدة التشبع بالأملاح supersaturated تمتلئ بها شقوق ومسامات الصخور ، وحيثما تنمو البلورات فإنها تحدث إجهادات *expanse strsses* على حدود الفواصل الصخرية وعلى حبيبات الصخر مما يؤدي إلى تفكك حبيبي (راوى) لها *granular- disinte- gration* هذا النوع من التجوية قد يحدث بانتظام على السفوح أو قد يتمركز فى مواضع ضعف محددة مثل حفر التجوية *weathering pits* أو التكهفات الصخرية وخاصة فى المناطق الصحراوية الحارة حيث التساقط المحدود والحرارة المرتفعة يساعدان على تكون بلورات الملح وخاصة عند أقدام السفح .

وفى المناطق شبه الجافة *semi- arid- areas* يعد الغبار الملحي من العوامل الأكثر أهمية فى عمليات التجوية حيث يستقر فى الشقوق الصخرية ويعمل على اتساعها إلى جانب ما يسببه من تكون انبعاجات *swells* فى السطوح الصخرية عقب سقوط المطر ويظهر ذلك بوضوح على السواحل المدارية حيث تزيد طاقة التبخر ويتبلور الملح الموجود فى رذاذ البحر داخل الشقوق الدقيقة بالصخر (Pitty, A.F, 1973, P186) .

وفى المناطق المدارية الأكثر رطوبة توجد عملية غسيل للملح نحو طبقة ما تحت التربة *subsoil* ومن ثم فإن عملية التبلور الملحي وما ينتج عنها من تجوية للصخر ذات أهمية محدودة فى مثل هذه المناطق ، وإن كانت مع ذلك تظهر حفر



مستديرة ملساء الجوانب تصل أقطار فتحات بعضها إلى عدة كيلو مترات تتميز بها عادة مناطق الظل عند أقدام سفوح الجرز الجبلية وخاصة عندما تكثُر الفواصل الأفقية بهذه السفوح مع غيرها من خطوط الضعف الناتجة عن عمليات تجوية أخرى .

ويوجد شكل آخر من أشكال التجوية الملحية أشار إليه كل من ( Cooke and - Warren ) يتمثل في تمدد الأملاح بالحرارة داخل ميهامات الصخر وخاصة مع ارتفاع درجات الحرارة خلال ساعات النهار في الصحارى المدارية مما يؤدي إلى ترسب بلُّورات الملح في التشققات crevices قرب سطح الأرض .

وقد تم قياس هذه العملية في المعمل ووجد أن البلُّورات الملحية تتأثر بالفارق الحرارى اليومي durnal range حيث يؤدي إلى تغير في أحجامها إلى درجة يمكن أن تسبب في تفتت الصخر ، وقد لاحظن كذلك حدوث إجهادات بسبب تموء البلُّورات تعمل بدورها على زيادة فعالية التجوية الملحية فى التأثير على الصخور وتفتيتها .

والنقطة الهامة هنا تتمثل فى كون معاملات التمدد بفعل التموء لمعظم الأملاح الشائعة عادة ما تكون أعلى منها فى معظم الصخور ، فعلى سبيل المثال نجد أن تترات الصويوم  $N_2 NO_3$  وكلوريد الصورديوم  $N_2 C1$  وكلوريد البوتاسيوم  $K_2 C$  تزداد أحجام بلُّوراتها بنسب تزيد ثلاث مرات عن الجرانيت<sup>(١)</sup> . ولذلك كانت قوى التموء الملحي ذات أهمية كبرى فى عملية التجوية الملحية وخاصة أن الإجهادات الناتجة عنه يمكن أن تتكرر أكثر من مرة فى الفصل الواحد وربما فى اليوم الواحد .

توضيحاً لما سبق ، عندما ترتفع درجة حرارة السطح خلال ساعات النهار فإن محاليل الملح التى صعدت نحو السطح بفعل الخاصية الشعرية capilarity

(١) نجد على سبيل المثال أن حجم كربونات الكالسيوم  $CaSO_4$  يزيد بنسبة تصل إلى ٥٠% عما ينتج بالتالى ضغوطاً وإجهادات على جوانب الشقوق .

تتعرض ما بها من مياه للتبخّر عند السطح أو بالقرب منه مرسبه ما بها من أملاح وباستمرار هذه العملية تنمو البلّورات الملحية مسببة إجهادات كبيرة على الحبات التي تلامسها مما يؤدي إلى تفكك الصخر ، وأثناء ذلك فإن بلّورات الملح غير المتموّثة أو قليلة التموء تمتص بخار الماء من الجو ، يساعد على ذلك وفرة الرطوبة النسبية relative humidity والارتفاع النسبي في درجة الحرارة .

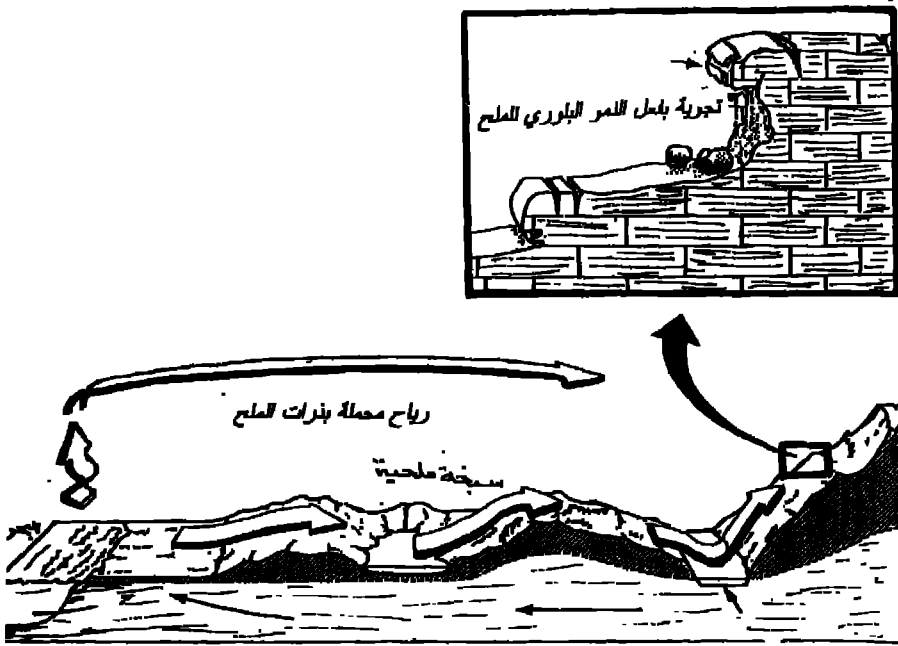
وعموماً ، فإن العمليات السابقة تعد مثلاً صادقاً للتجوية الفيزيوكيماوية physiochemical weathering يرتبط بها العديد من الأشكال المورفولوجية مثل حفر التجوية وحفر التافوني Tafoni التي تميز المناطق الرطبة المدارية ( Clark, M and Small, Q, P21 ) .

### دورة التجوية الملحية Salt Weathering Cycle :-

يعد تراكم الأملاح فوق أية منطقة منخفضة مرحلة أولية لما يمكن أن نطلق عليه دورة التملح أو دورة التجوية الملحية . حيث تقوم الرياح في مرحلة لاحقة بتذرية غبار الملح salt ash من القشرة السطحية لتعيد توزيعه على الأسطح الصخرية العارية والتي تحتوى بدورها ضمن مكوناتها على نسب محدودة من الأملاح ، وعادة ما ينتج عن إعادة توزيع الأملاح بفعل الرياح حدوث تجوية ملحية فوق مساحات واسعة مما يؤدي إلى حدوث تفكك للصخور وانزلاق أو سقوط الكتل والمفتتات الصخرية في مرحلة تالية .

وبوضح الشكل رقم (٢٧) العمليات السابقة حيث تظهر فيه سبخة ملحية جافة تراكمت فوق سطحها قشور ملحية salt crusts وتهب عليها رياح تقوم بتذرية كميات كبيرة من المسحوق أو الغبار الملحي باتجاه إحدى الحافات التي يظهر عليها مدى التأثير بالتجوية الملحية وخاصة الطبقة السطحية منها وكذلك الشقوق المواجهة للرياح .

والحقيقة أن التجوية الملحية تؤثر تأثيراً ضاراً على المناطق الجافة التي تتعرض لها وخاصة تلك المناطق المنخفضة التي يقترب فيها مستوى الماء الأرضى من السطح وكذلك السواحل المدارية الجافة مثل سواحل البحر الأحمر وسواحل الخليج العربى وخاصة السواحل الغربية منه .



شكل رقم (٢٧)

وتتمثل أهم الآثار الضارة للتجوية الملحية بالمناطق الجافة فيما يلي :-

- تعرض أساسات المباني والمنشآت المختلفة لعمليات التجوية الملحية وخاصة عندما تمتد الأساسات في الطبقة السطحية للأرض مقتربة من المياه تحت الأرضية التي تحتوى على نسبة عالية من الأملاح الذائبة حيث تستقر تلك الأملاح بعد تبخر المياه في مسامات مواد البناء وتقوم بعمليات التجوية مما يهدد المنشآت بالانهيار.

- كثيراً ما تتعرض الطرق في المناطق الجافة لأخطار التجوية الملحية من خلال تشققها أو هبوطها وخاصة عندما تمتد قرب المناطق السبخية المنخفضة كما يظهر ذلك من الصورة التالية رقم (٨) ، وتحدث مثل هذه التجوية بسبب زيادة معدلات التبخر مع ارتفاع درجة الحرارة التي تعمل على تبخر المياه الصاعدة من أسفل بفعل الخاصية الشعرية لتبقى الأملاح متراكمة داخل الشقوق والمفاصل الموجودة في طبقة البيتومين أسود اللون، ومع تمدد البلورات الملحية وتموءها تحدث ضغوط وإجهادات شديدة على شقوق مادة البيتومين فيما يشبه تماماً دورها في الحافات الصخرية مما يؤدي بالتالى إلى توسيع الشقوق وحدوث هبوط بالطريق ( للاستزادة ارجع إلى المؤلف ١٩٩٦ ) .



صورة رقم (٨)

### تشقق الطرق بفعل التجوية الملحية

#### ( د ) التجوية الحرارية ( الإشعاعية ) Insolation Weathering :-

من المعروف أن الصخور تنكسر عندما تتعرض لتغيرات يومية حادة في درجات الحرارة ، ولذلك تعد الصحارى المدارية من أكثر المناطق ملاءمة لمثل هذا النوع من التجوية الفيزيائية حيث درجات الحرارة خلال ساعات النهار تصل إلى أكثر من ٤٠ درجة، بينما قد تنخفض درجات الحرارة الليلية إلى الصفر المئوى أو ما دونه أحيانا .

والحقيقة أن السطوح الصخرية تتعرض بشكل فعلى لتذبذبات حرارية أكبر بكثير مما أشير إليه آنفًا ؛ وذلك لأنها عندما تتعرض بشكل مباشر لأشعة الشمس ترتفع حرارتها إلى أكثر من ٦٥ درجة م . وعادة ما تكون الصخور أكثر تأثرًا بالتجوية الحرارية؛ وذلك لأن انخفاض الألبيدو الحرارى لها يؤدي إلى حدوث أقصى امتصاص للحرارة بها ، كذلك نجد أن الصخور التى تتكون من مجموعة من المعادن المختلفة ( خاصة الصخور النارية والمتحولة ) أكثر تأثرًا بهذا النوع من التجوية؛ وذلك لأن لكل معدن من هذه المعادن التى تدخل فى تركيبها معامل تمدد

خاص بها وقابلية خاصة لتوصيل الحرارة وذلك من شأنه أن يؤدي إلى حدوث تغيرات في درجات حرارة الصخر وإلى وجود ضغوط وإجهادات متباينة وذات اتجاهات مختلفة في المكون الصخري وينتج عن ذلك مع الوقت ظهور تشققات غير منتظمة في اتجاهاتها مما يساعد على تكسر الصخور وتفتيتها بمعدلات أسرع بكثير من الصخور متجانسة التكوين مثل الحجر الجيري أو الحجر الرملي .

وعادة ما تحدث هذه التغيرات في الطبقات الخارجية ( السطحية ) للصخور المواجهة للتغيرات الحرارية الجوية ليمتد التأثير بعد ذلك ببطء إلى داخل الكتلة الصخرية وخاصة إذا ما تذكرنا أن الصخور بشكل عام ليست جيدة التوصيل للحرارة<sup>(١)</sup> ، ولذلك فإن الطبقة المتأثرة بالتجوية الحرارية بشكل مباشر لا يزيد سمكها على سنتيمترات قليلة ويعد وجود المفتحات الخشنة حادة الزوايا بوفرة دليلاً واضحاً على نشاط التفتت الفيزيائي والتورق وغيرها من ملامح وأشكال هذا النوع من التجوية ( صورة رقم ٩ ) .

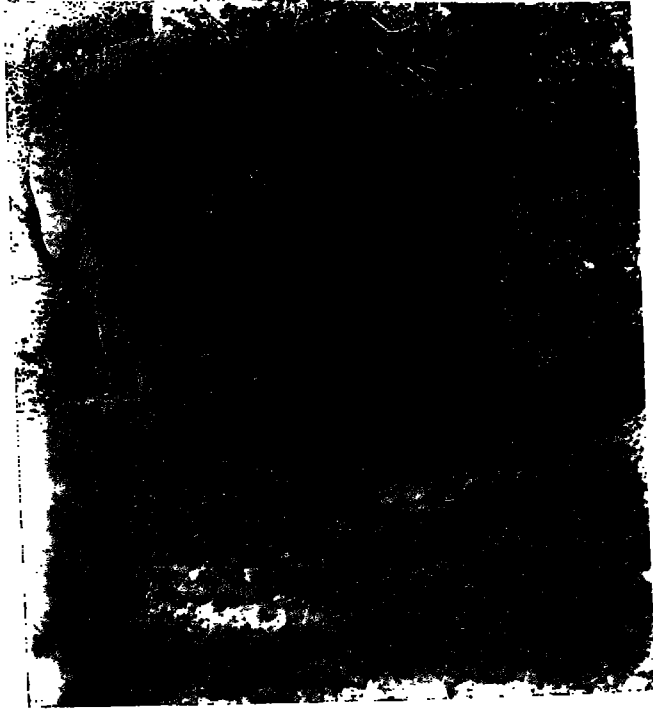
ويوضح الشكل رقم (٢٨) مثلاً لآثار التجوية الحرارية على جلمود صخري مع الأخذ في الاعتبار عند متابعته أن هناك أكثر من عملية تجوية شاركت في تطوره بالصورة التي تظهر في الشكل والتي نختصرها فيما يلي :-

أ- تمثل جلمود صخري به نقش نتج عن تتابع التمدد والانكماش بسبب التغيرات الحرارية temperature variations ، يلاحظ المفتحات المتراكمة على جانبيه مع زيادة كمياتها مع استمرار تجويته .

ب - يبين قطاع في نفس الجلمود ( أ ) يتضح منه سمك الجزء الذي تعرض للتشقق بفعل التجوية الحرارية .

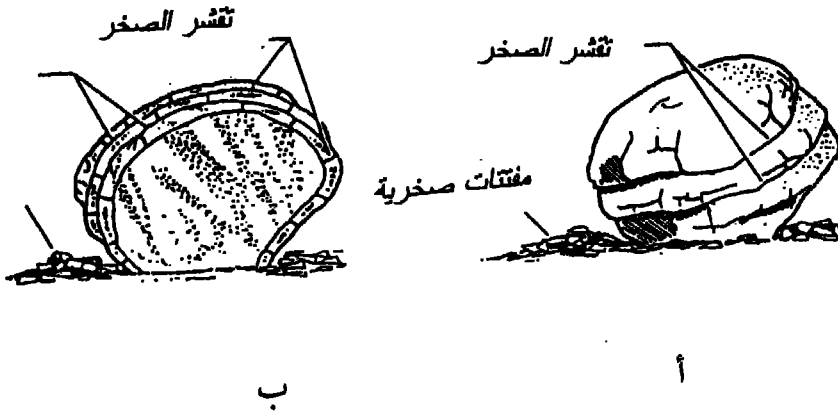
ج - يوضح مظهر القباب التي تعرضت للتقشر وهي بمثابة قلب الصخرة التي لم يصل إليه أثر التغيرات الحرارية ، مع تراكم التكوينات المفككة الناتجة عن التجوية عند سفوحها الدنيا وهي مفتحات حادة الزوايا تعرف بالبريشيا .

(١) لذلك لا يمكننا أن نتصور أن التقشر exfoliation الذي يتعرض له سمك كبير من الصخور يعد نتاجاً لمل هذا النوع من التجوية ، كذلك فإن ما يصيبها من تفصل تشارك فيه أكثر من عملية من عمليات التجوية بنوعها الفيزيائي والكيميائي .



صورة رقم (٩)

مفتتات صخرية واثر التورق على كتلة بفعل عمليات التجوية



شكل رقم (٢٨)

وجدير بالذكر أن التجارب المعملية لم تحسم بعد مدى فعالية هذا النوع من التجوية ويسود رأى فى الوقت الحاضر مفاده أن تتابع التمدد والانكماش الحرارى يسبب تفتتاً محدوداً للصخور، مع كونه فى نفس الوقت يلعب دوراً هاماً فى تقوية وزيادة فعالية عمليات التجوية الأخرى ومنها التجوية الملحية، ويتمثل هذا الدور من خلال أثرها فى زيادة درجة نفاذية الصخر permeability والتي تعمل بدورها على تسهيل دخول مياه المطر لمسافات داخل كتل الصخر والقيام بالتحلل الكيماوى الذى يعمل بدوره على توسيع الشقوق (Cooke, T and Doornkamp. J., 1974 . P291) والتي تكون قد نتجت نتيجة لإزالة الضغط من فوق هذه الصخور.

### ثانياً - التجوية الكيماوية Chemical Weathering :-

تتضمن التجوية الكيماوية تنوعاً كبيراً من التفاعلات reactions بعضها بسيط والبعض الآخر غاية فى التعقيد ، هذه التفاعلات تعمل على تغيير التكوين الكيماوى chemical composition لمعادن الصخور من خلال تغير معادن معينة أكثر استعداداً من غيرها للتغير والتفاعل مما يؤدي فى النهاية إلى تفكك الصخر disag-grigation إلى بلّورات منفصلة أو إلى مجموعات بلّورية clusters of crystals ومن ثم فإنها - أى التجوية الكيماوية - تركز على الصخور كثيرة الفواصل والطبقية والشقوق والتي تسمح جميعها بتخلل الماء والهواء داخل الصخور مما يؤدي إلى تشظى الصخر إلى كتل كبيرة الحجم ، وهكذا نرى أن التفكك الكتلى غالباً ما يرجع فى نشأته إلى عمليات التجوية الكيماوية وخاصة فى العروض المدارية الرطبة حيث إنه عادة ما تزداد فعالية التجوية الكيماوية مع ارتفاع درجة الحرارة ووفرة الرطوبة .

أما عن الدور الذى تقوم به المياه تحت الأرضية under ground water فى عملية الإذابة فإنه يتوقف على كمية الأملاح المذابة فيه ويظهر ذلك بوضوح فى الصخور دائمة التشبع بالمياه .

وهناك اعتقاد شائع بأن مستوى الماء تحت الأرضى يمثل حداً فاصلاً بين نطاقين أحدهما أعلاه تسود خلاله عمليات التجوية الكيماوية والنطاق الواقع تحته يختفى فيه دور التجوية ، والحقيقة أن هذا الاعتقاد فيه تبسيط مبالغ فيه حيث إن

بعض المعادن مثل الفلسبار تتأثر بالتجوية تحت مستوى الماء الأرضي وعادة ما تكون معدلات التجوية الكيماوية أكثر فعالية وسرعة في حالة تعاقب الببلل والجفاف وذلك في النطاق الذي يتذبذب فيه مستوى الماء الأرضي، ولذلك نرى تركيز التجوية الكيماوية عند أقدام السفوح شديدة الانحدار بسبب ما تتعرض له من بلل يأتي إليها عن صرف المياه المتدفقة على السطح إلى جانب أن هذا الجزء من السطح يتعرض لتذبذب مستوى الماء الأرضي، كذلك يظهر أثر تعاقب الببلل والجفاف في حدوث ما يعرف بالتجوية المائية water layer weathering على السواحل ، والمقصود بالتجوية المائية حدوث تجوية للصخور الشاطئية بسبب تعاقب الببلل wetting في حالة المد المرتفع والجفاف أو التجفيف drying أثناء انحسار مياه البحر، ويلاحظ تأثير الأجزاء السفلى من الجروف الشاطئية بعملية التجوية المائية مما يعرضها للتقويض والانهييار .

وعموماً، فإن الجزء الأكبر من التجوية المائية عبارة عن تجوية كيماوية وذلك لحدوث تفاعل بين معادن الصخور ومياه البحر التي تصل إلى الشاطئ بشكل «دوري» ويمتد نطاق التجوية من الحد الأعلى لرداذ الأمواج حتى المنطقة دائمة التشبع ، وينتج عن هذه التجوية تنقير للصخر pitting وتجزئات مختلفة الأحجام تمتد على سطح رصيف النحت البحري وأقدام الجروف ، وتلعب الخصائص الليثولوجية أدوارها في تباين هذه الملامح المورفولوجية كما يتضح ذلك بالتفصيل في التربة الساحلية بالفصل الثامن من هذا الكتاب .

وعادة ما تكون التجوية المائية على السواحل الرطبة غير مؤثرة وخاصة مع انخفاض طاقة التبخر وسيادة غمط المد نصف اليومي semidurnal tide بينما تصبح التجوية الكيماوية نشطة وفعالة للغاية في السواحل التي يسودها المد والجزر اليومي durnal tide والمختلط ( راجع بالتفصيل للمؤلف ، ١٩٩١ ) .

وتوضح التفاعلات التالية الصور المختلفة للتجوية الكيماوية :-

#### (١) الإذابة Solution :-

تعد الإذابة عملية تجوية ذات أهمية كبيرة تؤثر على المعادن غير القابلة للتغير أو التحول بالإضافة إلى تأثيرها في مرحلة لاحقة على نتاج التجوية من مفتتات



صخرية وثقوب التجوية والتحزرات . . . إلخ . كما أنها تؤدي إلى زيادة الفراغات بين جزيئات الصخر أو توسيعها مع إذابة المواد القابلة للإذابة تاركة المواد غير القابلة للدوبان في شكل مخلفات تجوية ، فالحجر الرملى المتلاحم بكاربونات الكالسيوم ( الرملى الجيرى ) عندما يتعرض لعملية الإذابة المائية يتحول من حجر رملى صلب متماسك إلى حجر هش مكون من حبيبات رملية غير متماسكة ، كذلك نجد أن الحجر الجيرى الذى يتعرض للإذابة قد يتخلف عنه عدد من الكتل الصوانية التى تكونت « كدرنات » صخرية concretions داخل التكوينات الجيرية فى مرحلة التكوين، كذلك قد تبقى صخور من الشيرت chert وهى أيضاً كثيراً ما تتكون فى الحجر الجيرى نتيجة زيادة نسبة السيليكيا فى فجوات داخل صخور الحجر الجيرى ، وعلى ذلك فهى تظهر دائماً مصاحبة لهذه الصخور إما فى شكل طبقات رقيقة أو على شكل عقد قد تتخلف بعد تعرضها للإذابة المائية وتعرضه لغيرها من عمليات التجوية الأخرى .

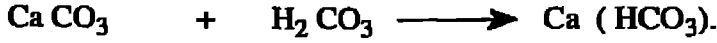
والواقع أن فعالية عملية الإذابة تتحدد من خلال حموضة acidity أو قلوية المياه تحت الأرضية ، فعندما ترتفع قلوية المياه (  $PH > 9$  ) نجد أن بعض أنواع السيليكيا والألومينا  $Al_2 O_3$  تصبح فى هذه الحالة قابلة للدوبان فى تلك المياه القلوية، وإذا ما كانت المياه متعادلة neutral تصبح الألومينا غير قابلة للدوبان ولكن عندما تصل الحموضة إلى أكثر من (  $Ph \leq 4$  ) فإنها فى هذه الحالة تذاب بسهولة فى المياه .

## (٢) التكرين Carbonation :-

تتضمن هذه العملية اتحاد حمض الكربونيك مع بعض الكربونات وخاصة أكسيد وكربونات الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم فتتكون الكربونات أو اليكربونات .

ومن عمليات التكرين الأكثر وضوحاً وتأثيراً ما يتمثل فى تحول كربونات الكالسيوم إلى بيكربونات (  $HCO_3$  )  $Ca$   $CaCO_3$  بفعل مياه الأمطار الساقطة التى تحتوى على ثانى أكسيد الكربون وتحولها بذلك إلى حمض كربونيك مخفف  $H_2CO_3$  .

ويتم ما سبق من خلال اتحاد حمض الكربونيك المخفف مع كربونات الكالسيوم الموجودة في الصخور الجيرية لتتحول بذلك إلى بيكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان في الماء وتأخذ الشكل الآتي :-



بيكربونات الكالسيوم      حمض كربونيك      كربونات كالسيوم

وحيث إن بيكربونات الكالسيوم قابلة للذوبان في الماء فمعنى ذلك أنه عندما تسقط الأمطار على صخور جيرية فإنها تؤدي إلى تحويلها إلى بيكربونات قابلة للذوبان والتحلل والارتشاح، ومن ثم نجد أن الصخور الجيرية تعد أكثر أنواع الصخور التي تنشط بها هذه العملية والتي تظهر آثارها في أشكال مورفولوجية مميزة كما سيتضح ذلك آخر هذا الفصل .

ويمكن إلى جانب ما سبق أن تتخلل المياه المحملة بشانئ أكسيد الكربون الشقوق التي عادة ما تكثر في صخور الحجر الجيري مما يؤدي إلى تكون فجوات وكهوف وغير ذلك من ملامح وأشكال أرضية تتميز بها مناطق التعرية الكارستية .

وجدير بالذكر أن عملية التكرين قد تتم في أشكال أخرى، على سبيل المثال يحدث تكرين عند تفاعل حمض الكبريتيك مع هيدروكسيد البوتاسيوم منتجاً كربونات بوتاسيوم قابلة للذوبان في الماء .

وكثيراً ما يظهر أثر عملية التكرين في بعض السواحل وخاصة السواحل الجيرية وفي ذلك نرى أن Hodgkin 1984 يقدر معدلات الإذابة بالتكرين في الصخور الجيرية الساحلية بما يتراوح بين نصف المليمتر إلى المليمتر الواحد في السنة ، ومن المعروف أن ماء البحر مشبع بدرجة كبيرة بكربونات الكالسيوم وعادة ما تزداد درجة التشبع في المياه المدارية الدافئة ، وقد وجد كل من ريفيل وإمري Emery عام ١٩٥٧ أن عملية الإذابة في المداريات ترتبط بحدوث زيادة ليلية (خلال الليل) لثنائي أكسيد الكربون بالماء نتيجة انخفاض درجة الحرارة ليلاً مع توقف النباتات البحرية عن القيام بعملية التمثيل الضوئي photosynthesis أثناء ساعات الظلام ، وقد أشار كذلك إلى أن المسطحات المرجانية المتسعة والممتدة تحت

مستوى الجزر low tide تدل على حدوث إذابة للصخور الجيرية فى منطقة المد والجزر، أما الأجزاء الأعلى من هذا المنسوب فإن ما بها من مظاهر الإذابة يرجع أساساً إلى رذاذ الأمواج ( wave spray ) ( للاستزادة راجع للمؤلف ، ١٩٩١ ) .

### (٣) التموء Hydration :-

ينتج التموء عن قدرة بعض المعادن على الاتحاد مع الماء وتكوين ما يعرف بالمعادن المائية ، وفى هذه العملية يحدث تغير فى حجم المعادن مما يؤدى إلى تولد إجهادات فيزيائية physical stresses تؤدى إلى تفكك ميكانيكى للصخور ، ومن الأمثلة الواضحة على حدوث عملية التموء ما يتمثل فى تحول معدن كبريتات الكلسيوم calcium sulphate ( الأنهيدريت anhydrite ) إلى كبريتات كلسيوم متموء ( الجبس ) كما يظهر ذلك من العلاقة التالية:



أنهيدريت                      ماء                      جبس

وتفسر العملية السابقة وفرة تكوينات الجبس فى مكاشف الصخور التى تتأثر بالغلافين الغازى والمائى ، أما تكوينات الأنهيدريت فمعظمها يوجد فى التتابعات تحت السطحية .

وفى حالة السيليكات ومعادن الأكاسيد نجد أنها تتحول نتيجة عملية التموء إلى سيليكات أو أكاسيد مائية ، وفى حالة السيليكات عادة ما نجد أن عملية التموء يصاحبها تحلل مائى .

ومن أمثلة التموء ما يتم من تحول أكاسيد الحديد إلى هيدروكسيد الحديد iron hydroxide ، وما يعنينا من كل ما سبق أن نعرف أن المعادن المتموءة عادة ما تكون أقل مقاومة لعمليات التعرية من المعادن الأصلية غير المتموءة .

#### (٤) التحلل المائي Hydrolysis :-

على عكس عملية التمرور يتم في عملية التحلل المائي تفاعل بين المعادن المكونة للصخر والماء<sup>(١)</sup>، وهي عملية هامة جداً كبدية لتحلل الفلسبار المكون الرئيسي لصخور الجرانيت إلى حمض سيليكات الألومنيوم *aluminosilic acid* وهيدروكسيد البوتاسيوم والأخير قابل للإذابة بالتكرين في المحلول المائي أما الأول فهو غير ثابت كيميائياً حيث يتحول إلى معادن صلصالية وحمض سيليكى وهو أيضاً قابل للإذابة في الماء ، والواقع أن عملية التحلل المائي للفلسبار تعد من أشهر الأمثلة على أثر التحلل المائي في تكوين المعادن النارية حيث يتم خلالها تحويل الفلسبارات البوتاسية ( مثل الأرتوكليز ) إلى كاولينيت *kaolinite* والأخير أحد المعادن الطينية ( حن وزملاؤه ، ص ٢١٢ ) وإن كان التحول هذا قد يتم بالحرارة أيضاً .

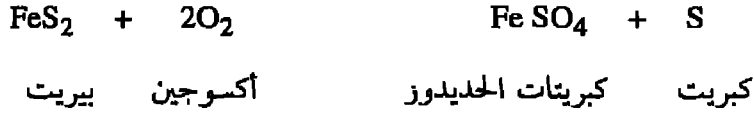
وبشكل عام فإن عملية التحلل المائي عادة ما تمهد لعمليات التجوية الكيميائية الأخرى ، كما أن التحلل المائي قد يؤدي في بعض الأحيان إلى انتفاخ الصخور المتأثرة به مثلما الحال في عملية الكولنة *kaolinitation* حيث ينتفخ الصخر ؛ وذلك لأن حجم الكاولينيت أكبر من حجم الفلسبار البوتاسى ويساعد هذا على تشقق وتقشر الصخور المتأثرة بهذه العملية .

#### (٥) التأكسد Oxidation :-

التأكسد عبارة عن عملية اتحاد للأكسجين مع العناصر أو المركبات وتتوقف عملية التأكسد على نسبة الرطوبة في الجو ، حيث تزداد فعاليتها في المناطق الحارة الرطبة ، وغالباً ما يحدث التأكسد بفعل اتحاد الأكسجين الموجود في الجو - نسبته ٢١٪ - أو المذاب في المياه ويمكننا الاستدلال على تأكسد معادن الصخور من اللون الأحمر الذى تكتسبه مثل تربة اللاتيريت *latirite* وتكوينات البوكسيت *bauxite* تتميز الأولى بارتفاع نسبة أكسيد الحديد بها والثانية ذات لون أصفر أو أبيض لانخفاض نسبة أكسيد الحديد بها وارتفاع نسبة أكاسيد الألومنيوم حيث إنها المادة الخام لمعدن الألومنيوم .

(١) يؤدي التحلل المائي إلى تفكك التركيب البلورى للمعدن ، أما التمرور فهو عبارة عن إضافة جزيء أو عدة جزيئات من الماء إلى التركيب البلورى للمعدن، ويمكن أن تؤثر هذه الإضافة على التركيب البلورى للمعدن .

ونظراً لكون الصخور النارية والمتحولة وبعض الصخور الرسوبية تحتوى على عنصر الحديد فإن عملية التحلل المائي التى تتبعها عملية التأكسد تؤدى فى معظم الأحيان إلى تكوين أكاسيد الحديد ( حسن وزملاؤه ، ص ٢١٣ ) ومن أشهر الأمثلة على التأكسد تحلل معدن البيريت وهو من المعادن الشائعة فى كثير من أنواع الصخور ، ويتم التأكسد حسب المعادلة الآتية :-



وكبريتات الحديدوز الناتجة سهلة الذوبان فى الماء وتتحول عادة بشكل سريع إلى مواد أخرى ، أما الكبريت فإنه يتأكسد بسرعة متحولاً لحمض كبريتيك والأخير يتفاعل مع معادن الألومينا والكربونات لتكون الكبريتات والأخيرة قابلة للإذابة مما يساعد على تحلل الصخور .

وهكذا فإن المعادن المؤكسدة عادة ما تكون أضعف وأقل مقاومة من المعادن الأصلية مما يجعل هذه العملية ذات أهمية كبيرة فى التجوية وتفتت الصخور .

#### (٦) التجوية الحيوية Biotic Weathering :-

تمثل الأحياء الحيوانية والنباتية عناصر أساسية فى العديد من جوانب التجوية الكيماوية وذلك لكونها تلعب أدواراً رئيسية فى تحديد كمية المواد القابلة للإذابة من خلال عملية التحلل العضوى chelation والأخيرة عملية شديدة التعقيد تتضمن تكوين أحماض عضوية من النباتات المتعفنة ، وهذه الأحماض ذات أثر كبير على إمكانية إذابة بعض العناصر المعدنية مثل الحديد الذى يمكن للنبات أن يستمده من التربة كمادة غذائية ، كما يمكن إزالته أكثر من خلال عملية غسيل التربة soil leaching حيث يتحول الحديد إلى أيونات معقدة complexed ions يمكنها الانتقال إلى أسفل مع المياه المتخللة للصخور ، كذلك قد يتدفق إلى الأنهار التى تقطع الأراضى المستنقعية المنخفضة حيث تصل نسبتها ( أيونات الحديد ) إلى ١٥ جزء فى المليون .

ويرى Allison أن كل زيادة في درجة الحرارة قدرها عشر درجات يصاحبها تقريباً مضاعفة للتفاعلات الكيماوية ، وعلى ذلك يحدث في العروض الدنيا زيادة في معدلات التجوية الحيوية .

ويعد دور الأحماض العضوية في التجوية الكيماوية ذا أهمية كبيرة فالاشنات lichens تولد مركبات عضوية ذات تأثير كبير على تجوية الأسطح الصخرية حيث تظهر في شكل حفر تجوية وتحزرات على الصخور التي تنمو فوقها هذه النباتات الصخرية lithophytes وبعض النباتات الأخرى مثل الحزازيات mosses وغيرها .

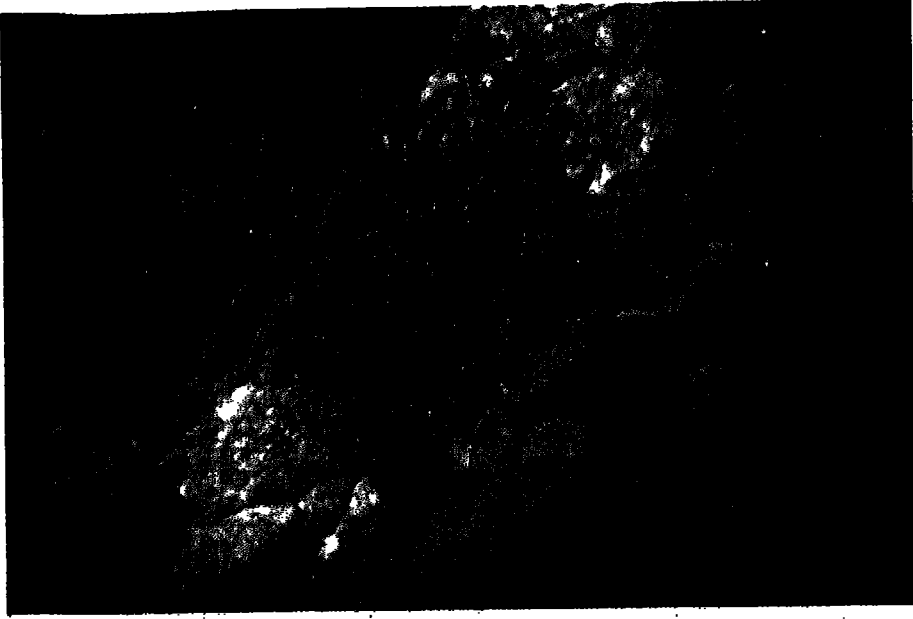
أما عن الدور الميكانيكي للأحياء النباتية والحيوانية فهو دور كبير أيضا لا يقل أهمية عن الدور الكيماوي وتفكك الصخر وتفثيته .

يتمثل دور النبات في التجوية الفيزيائية ( الميكانيكية ) من خلال امتداد جذوره داخل الكتل الصخرية عبر الشقوق والفواصل مما يؤدي إلى توسيعها، وسواء كانت هذه الجذور وتدية أم إشعاعية فلإنها تؤثر كثيراً في تفكك الصخور وتعرضها للانزلاق وخاصة فوق الحافات الجبلية المرتفعة<sup>(١)</sup>.

لاحظ صورة رقم (١٠) التي توضح أثر جذور النبات في تفكك الصخور على جانب أحد الأودية الجافة جنوب غرب السعودية .

وتلعب الديدان الدقيقة دورها في تفكك التربة وتقليبها وأكثر أنواع الديدان تأثيراً دودة الأرض earth,s worm التي تقوم بتحلل المواد العضوية والمواد غير العضوية inorganic matters، كذلك تقوم بعمل ميكانيكي آخر هام يتمثل في حفر عمقات دقيقة أثناء تحركها في التربة مما يسمح للهواء بالمرور خلالها وهذا الأمر من شأنه عمل تدفئة طبيعية للتربة في العروض العليا، ويقدر بأن عدد الديدان الأرضية في الغابات المخروطية بروسيا ٩, ٢ مليون دودة في الهكتار الواحد وتصل في تربة البراري إلى ٨٨٠ ألف دودة لكل هكتار. وقد أكد Darwin أن الديدان الأرضية التي تعيش في هكتار واحد تبتلع وتخرج من أمعائها ما يصل إلى أكثر من عشرة أطنان من التربة في العام الواحد .

(١) قد توغل الجذور الرئيسية لمسافة ثلاثة أمتار أو أكثر داخل التربة ، بينما تمتد الجذور الثانوية إلى أبعد من ذلك بكثير ، والواقع أن هذه الجذور عندما تنمو داخل الصخور تولد قوة كبيرة تكفي أحيانا لفلق الصخر .



صورة رقم (١٠)

#### الزجذور النبات في تفكك الصخور

يوجد كذلك نوع من النمل يعرف بالنمل الأبيض *Termites* يعيش في وسط قارة إفريقيا في السهوب الطينية وحول القنوات النهرية ، يقوم هذا النوع من الحشرات بتقليب التربة وتحريك مفتاتها وبناء أعمدة طينية تعرف باسم *Termitaria* وتظهر هذه الأشكال الجيومورفولوجية الملفتة في مناطق من زمبابوي وزائير وفي أجزاء أخرى من دول شرق إفريقيا .

وهناك حيوانات حفارة عديدة تعمل على تفتيت الصخور من خلال بناء جحورها أو البحث عن الغذاء، من هذه الحيوانات الأرانب البرية التي تعيش في وسط أستراليا والتي تعمل على تفتيت التربة الرملية وحفر الجحور بحيث تظهر آثارها في وجود أعداد كبيرة من الحفر والكهوف ( أبو العينين، ١٩٧٩ . ص ٣٠٤ ) ومن الحيوانات الأخرى السنجاب الأرضي وعلى السواحل المدارية نجد أنواع عديدة من الأحياء الحفارة تلعب أدوارها في تفتيت الصخور وتدميرها وخاصة تلك السواحل الغنية بالتكوينات الجيرية .

وتعد الطحالب الخضراء المائلة إلى الزرقة blue green algae من أكثر الأحياء البحرية أهمية فى حفر التجويفات الساحلية وكذلك الشقوق التى لا يمكن أن تتج عن عمليات إذابة .

ويرى ( Davies, J., 1980 ) أن الكثير من الكائنات الحيوانية تستمد غذاءها من الصخر نفسه ، كذلك يرى Debrat أن العامل البيولوجى يعد من أهم العوامل المؤثرة فى عملية الذوبان بالسواحل المدارية، ويتمثل العمل البيولوجى عنده فى التأثير المباشر للكائنات النباتية والحيوانية التى تعيش فى المنطقة الساحلية التى يتعاقب عليها الجفاف والبلل من خلال عمليتى المد والجزر (البارودى ١٩٨٧ ، ص٣٧) .

### الشكال الأرضية المرتبطة بالتجوية :-

يوجد العديد من الأشكال الأرضية التى ترجع إلى عمليات التجوية المختلفة، وتكمن صعوبة تحديدها فى التداخل مع عمليات التشكيل الأخرى وخاصة أشكال التعرية الكارستية والانهيارات الأرضية ، إلى جانب أن الكثير من تلك الأشكال المرتبطة بالتجوية من الصغر بحيث يصعب تصنيفها كأشكال أرضية وذلك رغم أهميتها فى المعالجة الجيومورفولوجية مثل التشققات الطينية والأنابيب التحتية الدقيقة التى تشكلها دودة الأرض داخل التربة والحفر الناتجة عن الأحياء القارضة وغيرها الكثير .

وتتمثل أهم الأشكال الأرضية التى ترتبط بعمليات التجوية فيما يلى :-

#### (أ) حفر التجوية Weathering Notches وقنوات الفواصل والشقوق :

تظهر كثير من هذه الملامح فى الصخور البارزة فى وضع رأسى، كما أنها قد تظهر فوق الأسطح الأفقية مثل تلك الحفر الموجودة فى وادى فيكتوريا بالقارة القطبية كما أنها قد تظهر فوق الركامات الجليدية .

كما أنه كثيراً ما تظهر نقر أو حفر التجوية فى المناطق المدارية ودون المدارية وخاصة فوق الأسطح المستوية flat surfaces على مناسيب مرتفعة مثل قمم الجزر الجبلية ومنحدراتها وخاصة المكونة من صخور نارية حمضية ، كذلك قد توجد فى



مكاشف الطبقات الصخرية مثل تلك الحفر أو الفجوات notch التى تميز مكاشف طبقات الهيماتيت فى منطقة ميناس جراس بالبرازيل والتى تصل أقطارها إلى نحو المتر بأعماق تتراوح ما بين ١٠ - ٢٠ ستيومتر ، وقد تصل أبعاد تلك الحفر فى الجزر الجبلية الضخمة جنوب أستراليا إلى أكثر من عشرة أمتار بعمق يصل إلى المتر وتظهر مثل تلك الملامح فى العروض الوسطى فوق الأسطح العليا للأبراج الصخرية المنعزلة وكذلك فوق الكتل الصخرية وعلى أرضفة النحت البحرية .

كما توجد حفر التجوية فى صخور الحجر الرملى والشست بالإضافة إلى الجرانيت وأسطح الطفوح اللافية ( الحرات ) ، وقد سجل المؤلف العديد من حفر التجوية فى الصخور النارية والمتحولة بمنطقة عسير وقام بعمل بعض القياسات لأبعادها وهى فى معظمها حفر صغيرة متجاورة غير منتظمة يصل متوسط أقطارها ٢٠ ستيومتر مع أعماق محدودة ( بضعة ستيومترات ) كما يظهر ذلك من الصورة التالية رقم (١١) التى توضح جزءاً من جانب وادى الرازان شمال بلدة هروب تظهر فوقه مجموعة من حفر التجوية المستوية الملساء مع بعض التكهفات الناتجة عن عمليات الإذابة لاحظ كذلك حدوث تقويض سفلى undercutting بسبب مياه السيول التى تتدفق فى وادى الرزان ، كما يظهر من الصورة رقم (١٢) عدد من الكهوف والفواصل الصخرية فى إحدى الحافات الجبلية بمرتفعات عسير ، أما الحفر التى تظهر فى الحجر الجيرى بمناطق التعرية الكارستية فتعد فى معظمها نتاج عملية تجوية كيميائية نشطة حيث تبدو أكثر عمقاً واتساعاً بالمقارنة بحفر التجوية ، بمناطق الصخور النارية إلى جانب تعدد أشكالها، ويتضح من الشكل التالى رقم (٢٩) بعض أشكال التجوية فوق سطح من الصخور الجيرية يخلو تماماً من أى نمو نباتى يمكن أن نستنتج منه ما يلى :

١- أثر الانحدار الهين فى تكوين قنوات إذابة solutions channels .

٢- تكون قنوات صغيرة فوق سطح أفقى جبرى مع قمة مركزية كمثال لنظام

قنوات ذات نظام تصريف مركزى centripetal channelling .

٣- تأثير نظام الفواصل فى تحديد مواضع الإذابة بحيث تبرز حافات

مرتفعة تعرف فى بريطانيا باسم clints تفصلها قنوات ضيقة وعميقة نسبياً يطلق عليها grikes .

٤- سيادة عمليات التجوية بفعل الإذابة فوق سطح منحدر تظهر به قنوات تعرف في الألمانية باسم karren .



صورة رقم (١١)

حفر تجوية قرب بلدة هروب في حيزان

ويوضح الشكل رقم (٣٠) قبو صخرى فى بيئة مدارية تعرض لعمليات تجوية شديدة أدت إلى إزالة جزء كبير من مكوناته الصخرية .

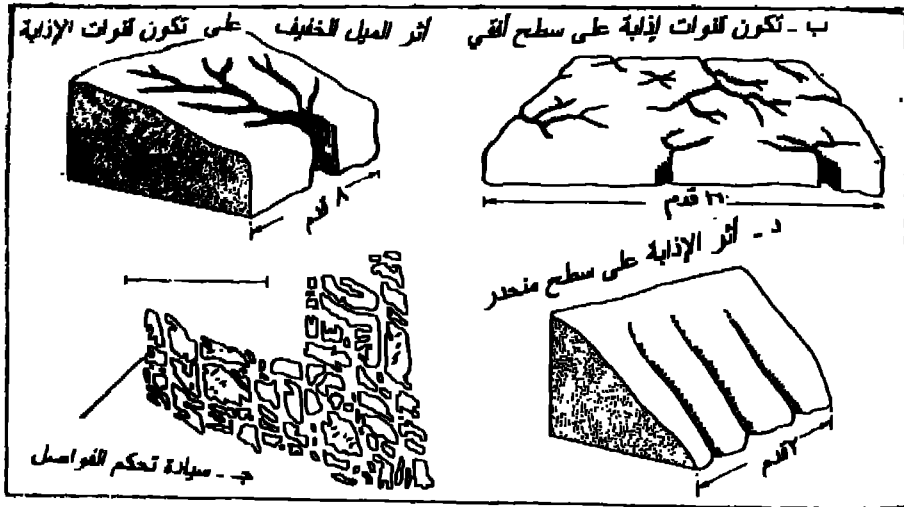
ب- التشققات الطينية Mud Cracks :-

عندما تتعرض بعض الرواسب الطينية للجفاف بسبب تشرب مياهها خلال مسام التربة مع تجفيف سطحها الخارجى بدرجة أسرع من الداخل بسبب زيادة معدلات التبخر وارتفاع درجة الحرارة تظهر بها تشققات نتيجة لتعرض صخورها للتصلب، وهذه الشقوق تأخذ أبعاداً وأشكالاً مختلفة تبعاً لنوع النسيج الصخرى ومدى تجانس حبيباتها ( راجع صفحتى ٤٤ و٤٥ من هذا الكتاب ) .



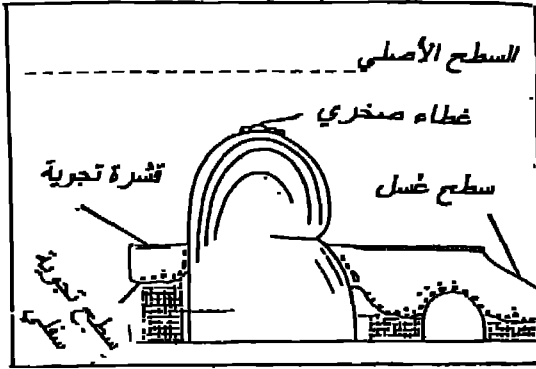
صورة رقم (١٧)

كهوف وفواصل صخرية بإحدى الحفانات النارية بنجران (وادي ذي حبابة)



شكل رقم (٢٩)

## هـ - الحطام الصخري Regolith



شكل رقم (٣٠)

يتبع عن عمليتي التجوية الميكانيكية والكيميائية كما رأينا تفكك الصخور وتهشيمها وتحويلها في النهاية إلى حطام صخري عادة ما يتراكم عند أقدم السفوح المجواه أو على طول امتداد السطح، ويصعب كثيراً إرجاع أى حطام إلى نوع معين من التجوية ويرجع ذلك إلى أن هناك عدة عوامل تؤثر على

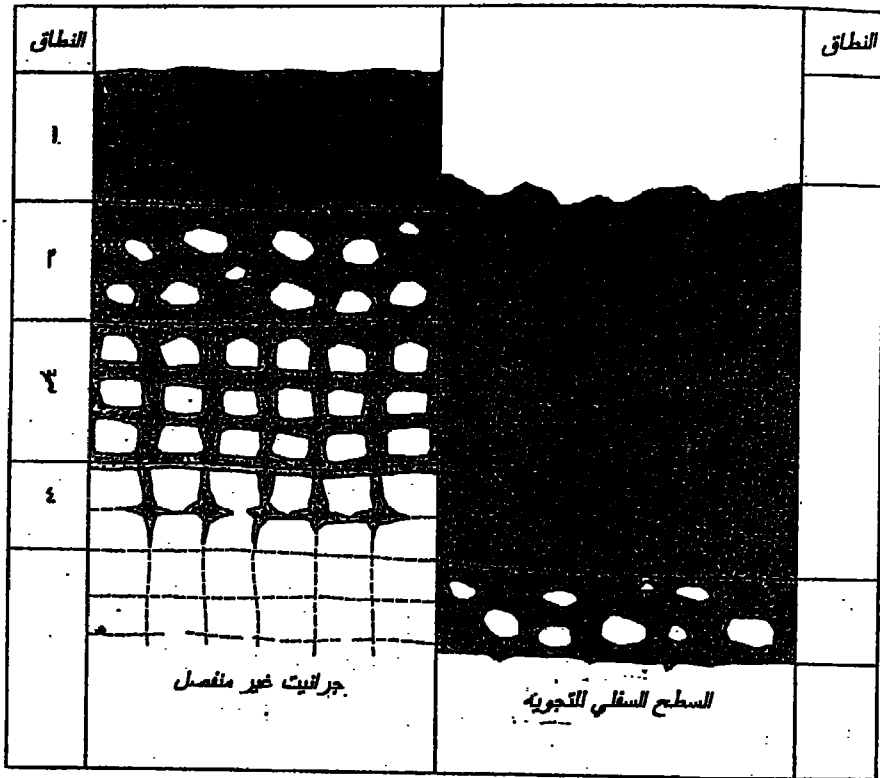
الصخور في نفس الوقت ، وإذ كانت التجوية الميكانيكية تنتج حطاماً صخرياً ثم تتوقف بسبب تراكم الفتات التي تمثل عطاء حامياً لما تحته من صخور وعدم نقلها بشكل مستمر، بينما التجوية الكيميائية يمكن أن تستمر فترة طويلة بحيث تنتج حطاماً صخرياً سميكاً deep regolith ، والواقع أن العملية الأخيرة لا تتم في أية منطقة بنفس المعدل ، فعندما تكون التضاريس واضحة والسفوح منحدره وعمليات النقل نشطة ، في هذه الحالة نجد أن معدل التحلل الكيماوى يكون معتدلاً بسبب سيادة نوع من التوازن النسبى بين ناتج التجوية ومعدل الإزالة ، وهذا الوضع يسود في معظم المنحدرات الجبلية في أوروبا في الوقت الحاضر ( Pittay , A, 1972 ) بينما نجد في المناطق المدارية ودون المدارية أن التجوية الكيميائية تعطى مفتتات تفوق معدلات نقلها ، ومن ثم نجد أن الفتات الصخرية سميكة ( يصل سمكها أحيانا إلى ستين متراً ) .

ويقدر كل من ( Buxton and Berry, 1961 ) أن متوسط سمك الفتات الصخرية في المداريات الرطبة يبلغ ٣٠ متراً وفي السافانا الرطبة ٢٥ متراً يقل إلى ستة أمتار في السافانا الأقل رطوبة ، بينما يقل إلى ثلاثة أمتار فقط في المناطق الجافة .

وعادة ما تتطور التراكمات من الفتات الصخرية بشكل واضح عند أقدم السفوح الأقل انحداراً حيث تكون عمليات إزالة الرواسب ( المواد المجواه )

بواسطة عملية الغسيل leaching غير مؤثرة ، ونظراً لبقاء هذه المفتتات الصخرية في مواضعها فترة طويلة نسبياً فقد ساعد ذلك على استمرار عملية التجوية الكيماوية وذلك لكونها - أى المفتتات - خليط من الرمل والطين عالى النفاذية مما يساعد على تخلل مياه المطر الحمضية فى مساماتها والوصول إلى صخر الأديم (الأساس) bedrock .

وفى دراسة لكل من Ruxton وبيرى Berry للمفتتات الصخرية بالسفوح الجرانيتية بجزيرة هونج كونج وجدوا أن تلك المفتتات تنقسم إلى أربعة نطاقات كما وضحاها فى الشكل التالى (٣١) وهذه النطاقات وفقاً لقياساتها هى :-



شكل رقم (٣١)

١- النطاق (١) :-

وهو النطاق العلوى الذى يتكون من مفتتات متبقية residual debris من صخور رمالية كوارتزية مختلطة بالصلصال مع احتوائها على كتل صخرية غير مجوأة unweathered ويتراوح سمك هذا النطاق ما بين ١ - ٢٥ متر .

## ٢- النطاق (ب) :-

يحتوى على مفتتات متبقية مع نويات من الكتل الحجرية المستديرة تمثل أكثر من ٥٠٪ من سمك الرواسب .

## ٣- يتكون النطاق (ج) :-

من كتل حجرية مستطيلة تفككت من صخور الأساس التي تتميز بتفصلها الواضح ويتراوح سمك هذا النطاق ما بين ٧ و ١٧ متراً .

## ٤- آخر طبقة (د) :-

إلى أسفل وتتكون من الجرانيت المجوى تجوية جزئية بسبب تخلل المياه إليها فى المراحل الأولى عبر الفتحات والفواصل ومع مرور الزمن فإن النطاقات العلوية تزداد سمكاً على حساب النطاق السفلى (د) الذى تتوقف تجويته عند الحد الذى تختفى عنده الفواصل الصخرية [شكل رقم (٣١)].

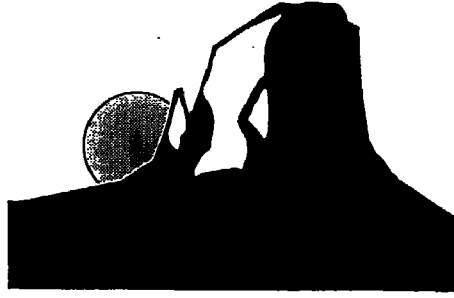
## (د) حقول الجلاميد Boulder Fields :-

عبارة عن مسطحات واسعة تنتشر فوقها جلاميد مستديرة الشكل ترجع فى نشأتها إلى تعرض الصخور الجيرية التى تحوى داخلها ( عقد « أودرنات » Concretions)<sup>(١)</sup> صخرية لعمليات إذابة كيميائية بفعل مياه المطر أو المياه تحت الأرضية مما يؤدي إلى ذوبانها بمعدل أسرع من ذوبان العقد الصخرية والتي قد لا تستجيب لعمليات الإذابة لتبقى على السطح فى شكل جلاميد مستديرة تقريباً وذات أحجام مختلفة فى مظهر مورفولوجى مميز .

ويوجد مثل هذا المظهر على مساحات واسعة فى الهضبة الجيرية فيما بين وادى النيل والوادي الجديد ( طريق إسنا الواحات الخارجة ) والجلاميد هنا من حجر الصوان ويطلق عليها الأهالى هناك « وادى البطيخ » .

(١) عادة ما تكون هذه الدرنات أو العقد الصخرية من صخور متخلقة عن الصخور الجيرية وأكثر منها مقاومة لعمليات التجوية وهى فى معظم الأحوال مكونة من « الصوان » الأكثر صلابة من الحجر الجيرى ، وفى العادة تتكون من أحجام مختلفة يطلق عليها ظاهرة البطيخ المسخوط .

## الفصل الرابع



السفوح  
العمليات المرتبطة بها - أشكالها  
وزوايا انحدارها







## مقدمة

تمثل السفوح المستوية نسبة محدودة للغاية من سطح الأرض الذى يتكون فى معظمه من سفوح ذات انحدارات متباينة ، مع الأخذ فى الاعتبار أن السفوح ككل تتميز بمجموعة من الخصائص التى تحدد إمكانية وطبيعة العمليات الجيومورفولوجية المرتبطة بها وتحدد بها كذلك طبيعة الاستخدامات البشرية المختلفة من زراعة وعمران وطرق إلخ .

والسفوح بشكل عام سواء كانت طبيعية *natural slopes* أو بشرية من صنع الإنسان *man made slope* تتميز بعدم الاستقرار ، حيث إنها دائما ما تكون عرضة للتغيير التدريجى أو التغيير السريع ، والكثير منها يتعرض لعمليات انهيار أرضى *mass wasting* بدرجات مختلفة وبشكل متكرر مما قد يؤدي إلى حدوث خسائر وأضرار بالطرق والمنشآت وكثيراً ما تنتج عنه خسائر فى الأرواح وخاصة قرب مناطق العمران، لذلك فإنه يجب التفهم الكامل للميكانيكيات التى تتسبب فى عدم استقرار تلك السفوح إلى جانب تفهم الخصائص الجيومورفوهندسية للأشكال والعمليات المرتبطة بها .

وسيبدأ هذا الفصل بدراسة حركة المواد على السفوح ثم بدراسة أشكال السفوح المختلفة وزوايا انحداراتها مع إيجار لمضمون نموذجين من نماذج أشكال السفوح وذلك بهدف تفهم التطور الذى تمر به السفوح خلال تاريخها الجيومورفولوجى .

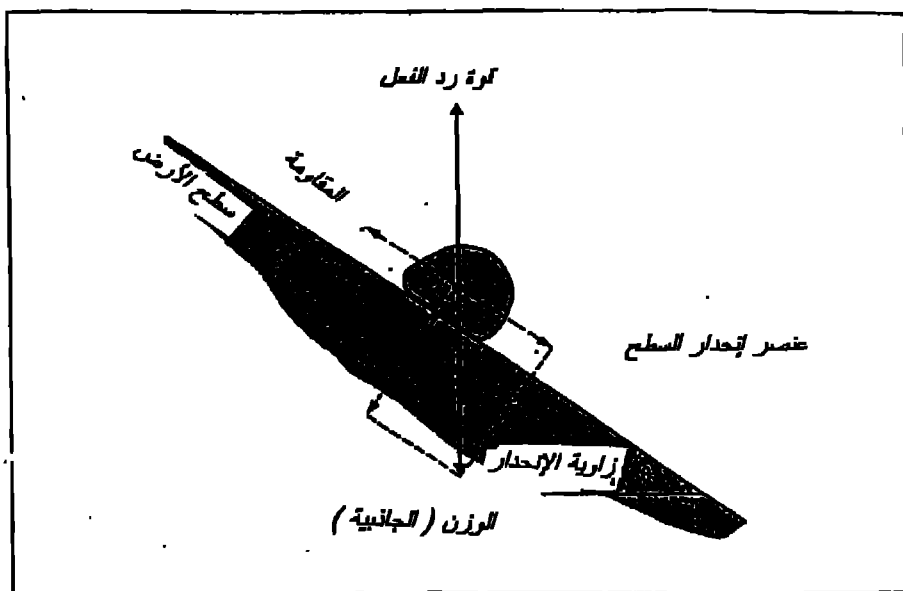
### عمليات النقل على السفح :-

القوى المؤثرة على حركة المواد فوق السفح :

كما ذكرنا فى الفصل الثالث من هذا الكتاب فإن عمليات التجوية بنوعها تؤدي إلى توفير مفتتات صخرية بأحجام مختلفة فوق السفح والتى بدورها تكون جاهزة للانتقال .

وسواء كانت هذه المفتتات متحركة بالنقل أم ثابتة ( مستقرة ) فى مواضعها فوق السفح فإنها فى كلتا الحالتين تعتمد على التوازن النسبى بين القوى المؤدية للحركة والمقاومة resistance ( قوة رد الفعل ) التى تتجه لمنع حركتها باتجاه أقدام السفح .

ويمكننا تفهم ما سبق من الشكل رقم (٣٢) الذى يوضح كيفية تأثير كتلة صخرية مرتكزة فوق سفح بقوى معينة تتمثل فى قوة الجاذبية gravetation التى تعمل فى اتجاه رأسى إلى أسفل متناسبة مع وزن الكتلة ، ومن ثم فلكى تثبت هذه الكتلة الصخرية وتستقر فى موضعها فلايد من حدوث توازن تام بين قوة الجاذبية وقوة رد الفعل باتجاه أعلى السفح upward - reaction force (المقاومة) .



شكل رقم (٣٢)

ويمكن القول بشكل أوضح بأن جزءاً من هذه القوى يعمل فى موازاة سطح السفح ، ومن ثم فإن معامل التحرك نحو أقدامه بفعل الجاذبية يساوى الوزن  $X$  ظل زاوية الانحدار وهكذا فإنه لكى تستقر الكتلة فوق السفح يجب أن تتساوى قوة الحركة ( التحرك ) إلى أسفل مع المقاومة ( قوة رد الفعل ) باتجاه أعالى

السفوح، إلى جانب ما سبق توجد قوى أخرى تؤثر على تلك الكتلة الصخرية وذلك من خلال وسائل النقل على طول السفوح مثل المياه المتدفقة وتصادم قطرات المطر والرياح والجليد المتحرك وقوة الدفع الناتجة عن اصطدام الجزيئات الصخرية بعضها ببعض وذلك عند تحركها باتجاه أقدام السفوح . كذلك قد تؤدي حركة السيارات والاهتزازات الأرضية وغيرها إلى تحركها فوق السفوح .

معنى ما سبق أنه لكي تستقر الجزيئات الصخرية فوق السفوح فلا بد أن تتساوى المقاومة ( قوة رد الفعل reaction force ) مع كل القوى المؤدية إلى تحرك الجزيئات باتجاه أقدام السفوح ، ولذلك نجد أن السفوح عادة ما تتميز بعدم الاستقرار instability نتيجة لتعدد الظروف التي تساعد على تحرك المواد فوقها والتي تتمثل في تتابع التمدد والانكماش الناجم عن التجوية بفعل الصقيع حيث ينتج عن تجمد المياه في مسامات التربة وداخل شقوقها تعرض الأخيرة للانتفاخ (الانتفاش) بمعدل سنوي يصل إلى خمسة سنتيمترات وقد يصل في بعض المناطق إلى أربعين سنتيمتر ، وهذا بدوره يؤدي إلى حركة للمفتتات تجاه أقدام السفوح .

كذلك نجد أن عملية التمدد والانكماش الحراري في العروض المدارية الحارة ذات المدى الحراري الواسع تشبه في نتائجها العملية السابقة التي تتعرض لها السفوح في العروض العليا ، كذلك يؤدي ضغط الماء water pressure الناتج عن التشبع الدوري periodical saturation للمسامات الصخرية وتتابع الليل wetting والتجفيف drying في التربة الصلصالية إلى تعرض السفوح إلى الانهيارات والانزلاقات الصخرية .

وجدير بالذكر أن هناك عاملين رئيسيين يعطيان المواد المفككة على السفوح القدرة على مقاومة الحركة يتمثلان فيما يلي :-

#### - الاحتكاك Friction :-

عندما تتحرك كتلة على سفوح ما فإن خشونة سطحيهما roughness مع بعضهما البعض تؤدي إلى حدوث مقاومة للحركة يطلق عليها الاحتكاك فإذا ما كانت الكتلة الصخرية المتزلقة مكعبة الشكل أو في صورة لوح منزلق يطلق على الاحتكاك هنا احتكاك انزلاقي أو احتكاك منزلق sliding friction وهو النوع السائد

على السفوح بسبب عدم انتظام أشكال الكتل المنزلة في معظم الأحوال، أما إذا ما كانت الكتلة المنهارة متدحرجة على سطح السفح بسبب استدارتها فيحدث نوع من الاحتكاك يمنعها من التدحرج بسهولة وذلك بسبب وجود انحناءات بين سطح السفح والكتلة المستديرة الشكل تقريباً ، هذا النوع من الاحتكاك أقل انتشاراً من الأول وأقل تأثيراً كعامل مقاومة يطلق عليه اسم احتكاك التدحرج rolling friction والذي عادة ما يتعرض له بعض الرواسب الخشنة المستديرة على قاع النهر عند انتقالها مع التيار المائي أو مع الأسطح الصلبة التي تهب فوقها رياح قوية كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

#### - التماسك Cohesion :-

يعطى التماسك قوة إضافية للمواد الصخرية ، فكلما زاد تماسكها كلما احتاج تحريكها قوة أكبر تؤدي إلى انفصال المكونات الصخرية أولاً ثم تحريكها بعد ذلك باتجاه أقدام السفح ؛ ولذلك كثيراً ما يتعرض السفوح لانزلاقات أرضية عندما تفقد المواد الصخرية تماسكها وخاصة عندما تكون السفوح شديدة الانحدار .

مثال على ذلك أنه عندما ينصهر الجليد في التربة أثناء فصل الصيف ، يعقب ذلك تدفق طيني أو انزلاقات لكتل صخرية منفردة على سطح زلق .

وإذا كان المهندسون يهتمون عادة بحركة النقل فوق السفوح باعتبارها مشكلة هندسية وذلك منذ فترات زمنية طويلة نجد أن الجيومورفولوجيين لم يدركوا أهميتها إلا منذ عهد قريب ، حيث تركز اهتمامهم على مورفولوجية السفح الناتجة عن حركة نقل الرواسب وكذلك على معدلات التغير في الشكل ليستتجوا من ذلك معلوماتهم عن الميكانيكيات التي أوجدتها<sup>(١)</sup> .

---

(١) أي أن الجيومورفولوجيين ركزوا اهتماماتهم على الظاهرة أو الشكل ودراسة أبعادها وخصائصها وتطورها بدرجة أكبر بكثير من اهتمامهم بالعمليات التي أنتجت مثل هذه الخصائص مكتفين بما يستتجونه من معلومات خاصة بها .

وفيما يلي دراسة مختصرة عن عمليات نقل المواد على السفوح :

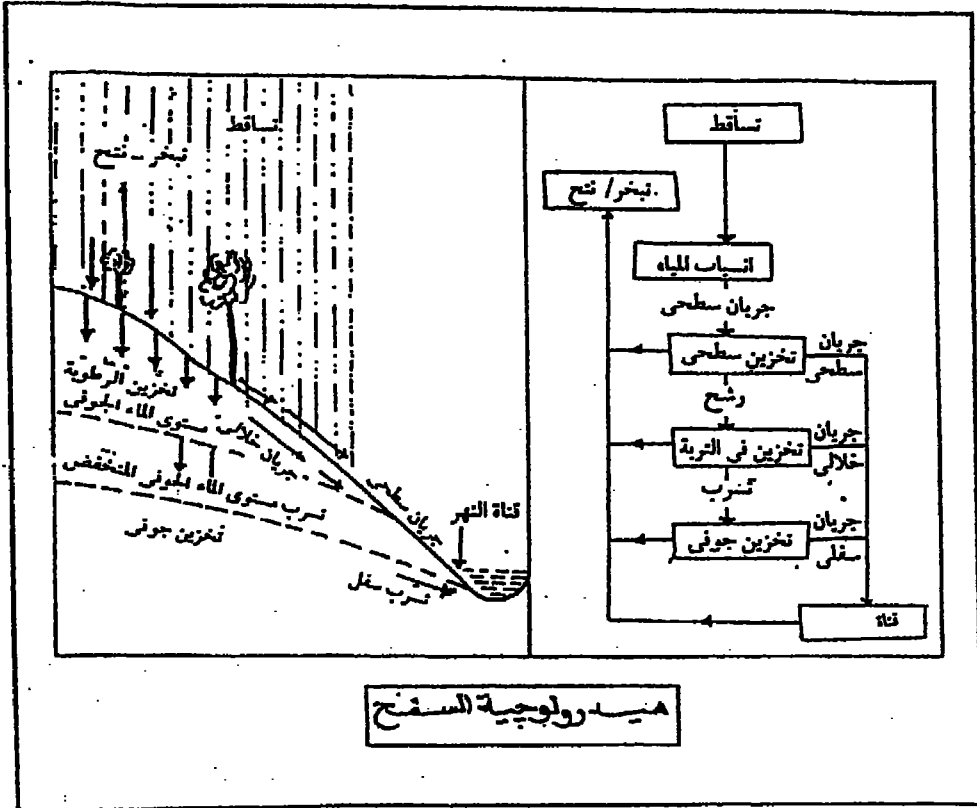
#### أ- غسل السفح Slope Washing والعمليات المرتبطة به:-

يشتمل غسل السفح على كل أنواع النقل التي تتم بفعل المياه عليه باستثناء تلك العملية المرتبطة بوجود المياه داخل الجداول gullies والتي تتم بها مرحلة تعميق جدولية كبداية لنشأة شبكة تصريف نهريية والتي سندرسها تفصيلا في الفصل الخاص بالتعرية النهريية .

وتعتمد عملية غسل السفح على درجة انحداره وعلى قابلية المواد السطحية للنحت erodibility وكذلك على كثافة الغطاء النباتي وأحجام النباتات ( شجرية أم حشائش ) ومحتوى السفح من الماء ، فعندما يسقط المطر على سفح ما فإن جزءاً من هذا الماء يعود إلى الغلاف الغازي مرة أخرى بواسطة التبخر والتتح ، وجزءاً آخر تتشربه التربة بحيث يتحول إلى جريان تحت سطحي subsurface-flow مع العلم بأن طاقة التشرب infiltration capacity تتحكم في تشرب التربة للماء وعادة ما تقاس بالملييتر في الساعة وتصل في المتوسط إلى ما بين ١٠٠-١٥٠ ملييتر في الساعة وأحيانا ما تتجاوز ذلك إلى نحو ٢٠٠٠ ملييتر ويرجع ذلك إلى زيادة حجم حبيبات التربة السطحية واتساع مساماتها ، ومع وجود غطاء نباتي يعمل على تقليل درجة انحدار السفح فإن ذلك يعطى المياه المتساقطة فرصة رمنية أطول لكي تتشرب داخل التربة ، وعادة ما تصل طاقة التشرب حدها الأقصى عندما تكون التربة جافة قبيل سقوط المطر .

أما عن أهم العوامل التي تقلل من طاقة التشرب فتتمثل في دقة الحبيبات واختفاء الغطاء النباتي وشدة انحدار السفح ، وعندما تمتلئ كل مسامات التربة والمفتتات السطحية بالمياه فإن التربة بهذا تكون قد تشبعت تماماً بالماء ووصل التشرب إلى الصفر ، ومن ثم يظهر نوع من الجريان السطحي للماء يعرف بجريان التشبع فوق السطح saturated overland flow ، حيث ينتج تشبع كامل للتربة السطحية مع ارتفاع نطاق التشبع عقب سقوط أمطار غزيرة ، وقد يحدث في هذه الحالة أيضا نوع آخر من الجريان وذلك عندما يضطر جزء من المياه التي تسربت

داخل التربة إلى التحرك أفقيا بسبب وجود طبقة غير منفذة impermeable layer تمنع تسربه سفليا فينتج عن ذلك تدفق مائي باتجاه أقدام السفح وذلك فيما بين السطح ومستوى الماء الجوفي underground water يعرف بالجريان الخلالى (الداخلى) interflow كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٢٣) .



شكل رقم (٢٣)

أما بالنسبة للجريان السطحي surface flow ، فعادة ما يحدث عندما يزيد التساقط على طاقة التشرب حيثئذ يتجه الماء الفائض للجريان فوق السطح ، فإذا ما سقط على سبيل المثال ٧٥ ملليمتر من المطر على سفح ما خلال ساعة ما وكانت طاقة التشرب ٥٠ ملليمتر في الساعة فيكون فائض الماء ٢٥ ملليمتر ، يتجه بدورة للجريان السطحي فوق السفح .

ب- أثر تصادم مياه المطر بسطح السفح على حركة المواد **Rain Fall- Impact** :-  
يتم خلال هذه العملية حركة للجزيئات الصخرية على سطح السفح باتجاه  
أقدامه ، حيث تقفز حبيبات التربة السطحية إلى أعلى - أثناء سقوط المطر -  
بارتفاعات تصل إلى نحو ٥٠ سم فوق منسوب سطح السفح وذلك نتيجة للطاقة  
الزائدة التي تكمن في المطر الساقط .

فإذا ما كان السطح أفقياً يكون النقل فوقه صفرًا ، أما إذا كان الانحدار  
خفيفاً ( أقل من عشر درجات فتكون حركة مواد التربة باتجاه انحدار السفح (نحو  
أقدامه ) قدر حركتها تجاه القمة ثلاث مرات ويرجع ذلك إلى كون الجزيئات التي  
تتحرك بعد اصطدامها بسطح السفح نحو أقدامه ، ترحل مسافة أطول في الهواء  
بالمقارنة بتلك الجزيئات التي تحمل محلها بالحركة نحو القمة ، وهذه العملية تبدو  
مؤثرة بشكل كبير في المناطق الجافة وشبه الجافة ويرجع ذلك إلى سقوط أمطار  
فجائية غزيرة ومركزة فوق سفوح عارية من النبات تقريباً والذي إن وجد فيكون  
في صورة مبعثرة فوق مساحات واسعة<sup>(١)</sup> .

#### - الانهيارات الأرضية **Masswasting** :-

تعد كلمة **masswasting** مصطلح عام يطلق على كل العمليات التي تعمل  
على نقل مواد السفح تساعدها في ذلك مجموعة القوى التي أشرنا إليها في أول  
هذا الفصل ، والانهيارات الأرضية بطبيعتها الحال تختلف عن عمليات التعرية التي  
تتميز بشكل عام بوجود عامل أو وسيط النقل .

وجدير بالذكر أن حركة المواد على السفوح تظهر تباينات واضحة من حيث  
الحجم والسرعة ونوع المكونات الصخرية والأشكال الأرضية الناتجة عن حدوثها .

وقبل التعرض لتصنيف كل من ( Finlayson and Statham 1980 ) لحركات  
المواد على السفوح يجدر بنا أن نذكر هنا أنه نظراً لآثار التجوية بأنواعها المختلفة  
على السفوح فقد قسمت السفوح ذاتها إلى نوعين تبعاً للعلاقة مع عمليات  
التجوية :

(١) حيث يعمل النبات إذا ما وجد بشكل كثيف على حماية التربة من تصادم قطرات المطر .

النوع الأول : السفوح ذات النقل المحدود Slopes (١) Transport Limited وهي السفوح التي تتميز بمعدل نقل للرواسب أقل من معدل تجوية صخوره ، فعادة ما تتميز هذه السفوح بغطائها السميك من التربة التي يزدهر فوقها النمو النباتي وتظهر مثل هذه السفوح بكثرة في العروض المعتدلة الرطبة وكذلك في العروض المدارية المطيرة .

النوع الثاني : يتمثل في السفوح ذات النقل السريع Rapid Mass Movement وفيها يفوق معدل حركة الرواسب معدل التجوية السائدة وعادة ما تتميز هذه السفوح بتكويناتها المفتتة المتباينة في أحجامها غير المصنفة unsorted debris والتي قد تتكون من حصى ورمال وطين ، وتتميز كذلك بشدة انحدارها وتقطعها بقنوات عميقة .

وفيما يلي دراسة تفصيلية للأنواع الثلاثة الرئيسية من عمليات السفوح slope processes وفقاً لتقسيم العالمين سابقى الذكر .

#### ١ - السقوط الصخري Rock Fall :-

تحدث هذه العملية من عمليات الانهيار السريعة فوق السفوح الصخرية العارية شديدة الانحدار - انحدار أكبر من ٤٠ درجة - حيث تسقط الكتل الصخرية وتصطدم بالأرض دون تعرضها للتدحرج أو الانزلاق وإن كانت تتعرض في أغلب الأحوال للتكسر نتيجة اصطدامها .

تعد السفوح الجبلية المنحدرة ( الأوجه الحرة ) والجروف الساحلية من أكثر المناطق تعرضاً للسقوط الصخري كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٣٤) .

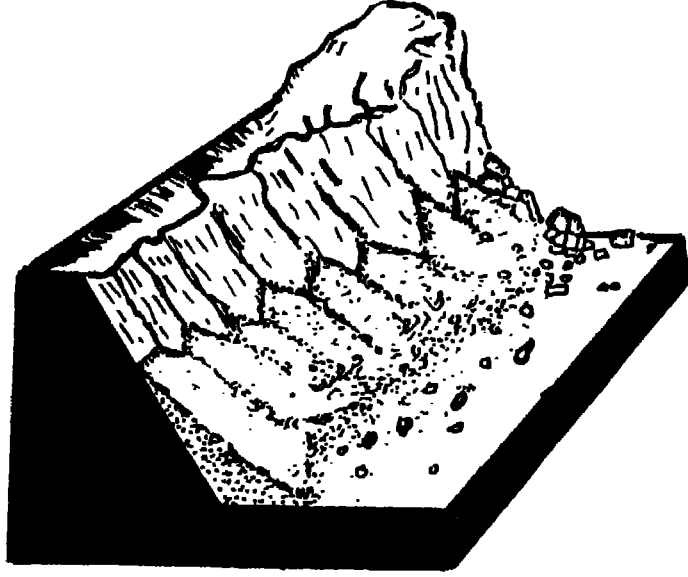
راجع مع الشكل السابق الصورة (١٣) التي توضح سفحاً شديد التقطع (٢) والانحدار على جانب وادي « حلى » عند منطقة الحيلة بمرتفعات عسير ، لاحظ

---

(١) لا تتحرك المواد على هذا النوع من السفوح بمفردها حيث إنها قد تتحرك بالزحف عند زوايا انحدار معينة وذلك عند تشبع التربة بالمياه وارتفاع منسوب الماء الأرضي مما يظهر أثر قانون الطفو Buancyancy في قلة ضغط التربة على سطح السفوح ومن ثم تقل قوة احتكاكها مما يؤدي إلى تحرك التربة.

(٢) يتكون هذا المنحدر الجرفي من صخور نارية ومنحولة مستقطعة ومتفصلة بفواصل رأسية طويلة وفواصل أفقية أدت إلى شدة تفككه وتعرض صخوره للسقوط .





شكل رقم (٣٤)



صورة رقم (١٣)

سفح شديد التقطيع بفعل التجوية والرياح  
يلاحظ كذلك أثر النحت السفلى لمياه السيول

كذلك الكتل المتساقطة والمنقلبة من حيث الحجم والشكل ووجه السفح المنحدر وكثافة الفواصل وتعرضها للتجوية وخاصة ما ينتج من تسرب للمياه خلالها وقيامها بالتجوية الكيماوية وفي أحوال كثيرة نجد سفوحاً شديدة الانحدار تقل بها عمليات السقوط الصخرى ويرجع ذلك إلى شدة صلابة صخورها وعدم وجود أسطح ضعف بها كالشقوق والفواصل التي تنفصل - نتيجة لكثافتها - كتل ومفتتات صخرية بشكل مفاجئ يصعب متابعتها في الحقل<sup>(١)</sup> كذلك كثيراً ما تسقط كتل مفردة كبيرة الحجم .

ونظراً لكون العوامل المسببة لسقوط الصخر عوامل مناخية في معظمها ، فإننا عادة ما نجد أن السقوط الصخرى في العروض العليا يصل أقصاه خلال فصلى الربيع والخريف ، كذلك قد يحدث سقوط صخرى بسبب الزلازل وذلك في حالة تعرض سفوح جافة مكونة من صخور متماسكة لأي هزات أرضية قوية ، كما أنها قد تتعرض لحدوث انهيارات للمفتتات الصخرية ( صبرى محسوب ، ١٩٩٦ ، ص ١٢٠ ) أما إذا كانت السفوح المعرضة للزلازل تتكون من رمال وتكوينات غرينية مشبعة بالمياه وضعيفة التماسك فإن أى اهتزازات تتعرض لها تؤدي إلى تسيلها وحدث تدفق طيني أو انزلاق صخرى .

وعادة ما يرتبط السقوط الصخرى بحدوث تراجع واضح للحوائط الصخرية المنحدرة ، كذلك يرتبط بتزايد كميات هشيم السفوح وذلك نتيجة لما يضاف إليها من مفتتات قادمة إليها من الأوجه الحرة free faces التي عادة ما ترتبط بها عمليات السقوط الصخرى ، وقد كان يعتقد بأن منحدرات أسطح الركامات السفحية (هشيم السفوح ) عادة ما تأخذ شكلاً مستقيماً عند زاوية الاستقرار angel of repose ولكن أكدت الدراسات الحقلية أن معظم ركام السفوح له قطاع مقعر عند قاعدة السفح يعلوه جزء محدود ذو انحدار مستقيم وقد ثبت أنه كلما زاد ارتفاع الوجه الحر كلما قل انحدار سطح ركام السفح (شكل رقم ٣٥) .

(١) يعد تعاقب التجمد والانصهار والتعاقب الحرارى ( تغير درجات الحرارة ) وحفظ المياه داخل المسامات أو خلال الفواصل الصخرية وكذلك التفصل الناتج من إذالة الرواسب من فوق الصخر pressure release jointing والتجوية الكيماوية النشطة كلها عوامل تساعد كثيراً في السقوط الصخرى .

## ٢- الانزلاق الأرضي Landslide (١)

تؤثر هذه العملية على المواد الصخرية التي تحتفظ بتماسكها مع تحركها فوق أسطح انزلاق sliding planes واضحة وجيدة التحديد .

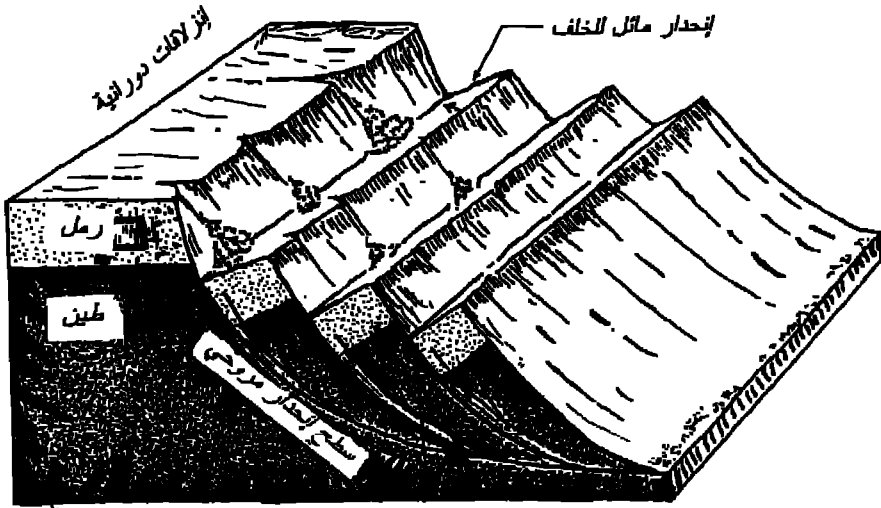
والحقيقة أن الانزلاقات الأرضية حساسة بدرجة كبيرة بالنسبة لمحتوى الصخر من الماء الذى يقلل من درجة مقاومتها من خلال زيادة ضغطه فى المسامات والفواصل والعمل على تقليل - ضعف - قوة الروابط bonds بين جزيئات الصخر، وفى نفس الوقت يزيد الماء من وزن المواد الصخرية بدرجة تؤدى إلى زيادة قوة التدفق إلى أسفل - نحو أقدام السفح - ولذلك كان الانزلاق الأرضي يصل إلى أقصى قوته بعد سقوط المطر الغزير أو فى أعقاب انصهار الجليد فى العروض العليا - وتزداد فعالية الانزلاق الأرضي إذا ما سقط المطر الغزير بعد فترة جفاف طويلة تعرضت خلالها صخور السفح لتشققات كثيفة بدرجة تزيد من طاقة التشرب ، وقد يحدث انزلاق لكتل منفصلة ، وقد يكون فى شكل حركة انزلاق لكمية ضخمة من المفتتات الصخرية rock debris تؤثر على أجزاء كبيرة من السفح، كما يحدث انزلاق ضحل بعد سقوط أمطار غزيرة على سفح طينى مغشى بمفتتات صخرية مجوأة ، أما الانزلاقات العميقة فعادة ما تحدث فوق أسطح انزلاق منحنية ( مروحية ) arcuate slide planes .

ومن أهم أنواع الانزلاقات الأرضية :-

- انزلاق دوراني Rotational Slip :-

عادة ما يرتبط بصخور منفذة مثل الحجر الرملى تتركز على طبقات غير منفذة مثل الصلصال وذلك فوق سفوح شديدة الانحدار مثل الجروف البحرية أو الحافات سريعة التراجع ، وعندما تنزلق الكتل الصخرية المتماسكة باتجاه أقدام السفح فإنها تبدو مائلة إلى الخلف tilted back على سطح منحنى فى شكل سفوح درجة يمكنها حجز المياه الساقطة أو المفتتات المتزلقة كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٣٥) .

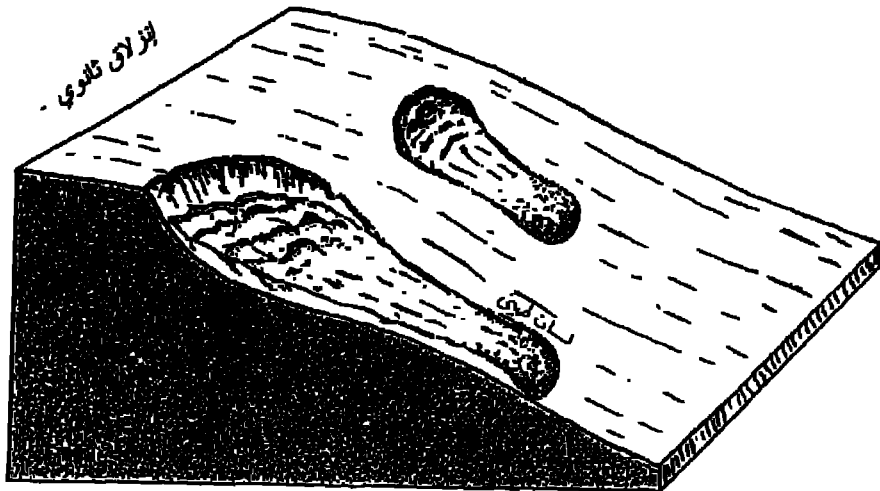
(١) من العلامات التى تدل على قرب حدوث انزلاقات أرضية ظهور شقوق سطحية فى أعلى المنحدر متعامدة على اتجاه الحركة ويصحب ذلك غالباً ظهور شقوق مائلة نتيجة لحدوث إجهادات قص ، كذلك قد يحدث اتبعاج فى أسفل السفح .



شكل رقم (٣٥)

- الانزلاق الثانوي Slump:-

يشبه الانزلاق الدوراني في بعض الجوانب، وإن تميز عنه في كون الكتل المتزلقة تتدفق متفككة وخاصة قرب أقدام السفح، حيث تكون المواد المتزلقة عبارة عن صخور مكسرة وضعيفة ذات بناء داخلي محدود وينتج عنها ظهور علامات مروحية منحنية عند أعالي منطقة حدوث الانزلاق مع امتداد لسان باتجاه أقدام السفح كما يتضح ذلك بالشكل رقم (٣٦).



شكل رقم (٣٦)

إلى جانب النوعين السابقين توجد أنواع أخرى من الانزلاقات الأقل شيوعاً مثل الانزلاق « الزاوى » ويتم فيه انزلاق مواد صخرية ذات بناء ضعيف فى مستويين يتقاطعان فى نفس زاوية سطح الانزلاق .

- تدفق المفتتات الصخرية **Debris Flow** :-

يتكرر حدوثها فى المناطق التى تكثر بها مفتتات مختلفة الأحجام وفى هذه الحالة تقل مكونات الطين فتفقد المواد أسباب تماسكها، ويتشتر هذا النوع فى السفوح بالبيئات شبه الجافة بحيث يكون محتواها المائى أقل من ٢٠٪ .

٣- الزحف الصخرى **Rock Creeping** :-

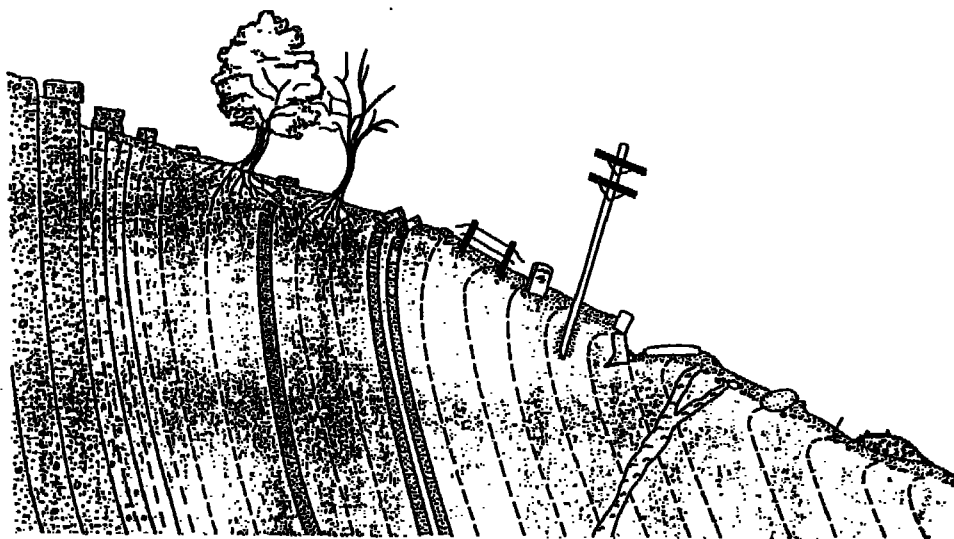
-زحف التربة : ينتج الزحف الصخرى فى معظمه نتيجة لتعاقب التمدد والانكماش ونتيجة لقوى الجاذبية التى تساعد على تحريك المواد الصخرية المفتتة نحو أقدم السفوح ، وعادة ما تتميز التربة الصلصالية بزحفها المستمر؛ وذلك لأن الطين المشبع بالمياه يتحرك تحت إجهادات الجاذبية **gravitational stresses** .

يتراوح سمك الطبقة الزاحفة من أقل من ٢٠ سنتيمتر إلى ما يزيد على ثمانية أمتار ، ويصعب متابعة حركة هذه المواد الزاحفة ولكن قد تظهر آثارها من خلال بعض العلامات والآثار يتمثل أهمها فى ميل أسوار الحقول وميل الأشجار باتجاه حركة الزحف مع انتفاخ سطح المنحدر نتيجة لتراكم المفتتات الصخرية أمام الجدران باتجاه قمة السفح ( شكل ٣٧ ) .

- زحف المواد الصخرية أسفل السفح ( هشيم السفح ) **Talus Creep** :-

تتحرك فيه المواد الصخرية نحو حضيض المنحدر مكونة مخروطا ركاميا **scree cone** من المفتتات الصخرية كبيرة الحجم نسبياً التى تأخذ الشكل الهرمى وتتجمع عادة عند حضيض السفح شديد الانحدار ، وقد تتميز حركة الرواسب فى المخروط الركامى بالسرعة وذلك فى حالة تعرض المنطقة لتتابع التجمد والانصهار. وهذه المواد الركامية من نفس تكوينات الحافة التى تتراكم عند أقدمها

وتختلف كمياتها وأحجام مفتاتها تبعاً لاختلاف القوى التي كونتها ، وتكثر هذه الظاهرة فى العروض الباردة والمعتدلة الباردة والمناطق المدارية الجافة حيث نجدها كثيراً عند حضيض الحافات الجبلية بصحارى مصر والجزيرة العربية وغيرها من المناطق .



شكل رقم (٣٧)

- زحف التربة المشبعة بالمياه ( تسييل التربة ) Solifluction :

تنتشر هذه العملية فى المناطق التى تتأثر بالتعرية الجليدية وهى عبارة عن تحرك بطيء لمواد التربة soil materials من جلاميد ومفتتات صخرية أصغر حجماً فى المناطق الباردة فوق سفوح هيئة الانحدار ( يتراوح انحدارها ما بين درجتين وثلاث درجات ) تختفى منها الغطاءات النباتية مع تجمد دائم لطبقة ما تحت التربة subsoil التى تعمل بدورها على حجز المياه بالطبقة الطينية العلوية مما يؤدي إلى حدوث تحرك للتربة نتيجة للتشبع الزائد بالمياه over saturation ( جودة ، ١٩٨٠ ، ص ٢٩٩ ) .

٤ - حركات سريعة للمواد تعتمد على تشحيم نشط Active - Lubrication  
للمواد المتحركة بفعل المياه ، وأهم هذه العمليات السريعة :-

- التدفق الأرضي Earth Flow :-

يقصد بها انسياب سريع للمواد الترايية باتجاه أقدام السطح يساعد على شدتها تشبعها بالمياه بدرجة كبيرة ، وينتج عن حدوثها تسوية سطح الأرض وذلك بردم المقعرات concavities وتشكيل الملامح المورفولوجية لأسطح المصاطب الصخرية التي تتعرض لحدوثها .

وعندما تتدفق هذه المواد فإنها لا تلتزم بمجرى معين بل تظهر في مظهر غطائي متسع وخاصة على المنحدرات الجبلية في العروض العليا .

- التدفق الطيني Mud Flow :-

تظهر على السفوح شديدة الانحدار التي تتعرض لأمطار غزيرة تؤدي إلى تشبع المواد الفتاتية بدرجة كبيرة بالمياه مما يجعلها تتحرك بسرعة كبيرة في شكل طبقة سميكة من المواد الطينية الزلقة داخل مجرى طيني منحدر الجوانب قد يكون في شكل وادي منخفض الجوانب ولكن رغم انخفاض جوانبه إلا أنها عادة ما تكون شديدة الانحدار ، وينجم عن هذه الحركة تكوين ألسنة طينية ضخمة للغاية قد تطمر المنشآت المجاورة مسببة أضراراً كبيرة، مثلما حدث مع التدفقات الطينية على منحدرات جبال النرويج والتي قدر متوسط سرعتها في البداية ستة أميال (أكثر من عشرة كيلو مترات) في الساعة تقل بعد ذلك باتجاه أقدام السطح (أبو العينين ، ص ٣٢٦) .

وجدير بالذكر أن التدفقات الطينية قد تحدث في العروض المدارية الجافة وشبه الجافة وذلك عندما تكون السفوح خالية من الغطاءات النباتية مع وجود كميات ضخمة من الفتات التي إذا ما تعرضت لأمطار فصلية عاصفة فإنها تتحرك داخل مجارى الأودية الجافة في شكل تدفقات طينية مختلطة بصخور ومفتتات كبيرة الحجم .

وكما ذكرنا من قبل فإن تعرض المناطق التي تتكون سفوحها من رمال وتكوينات طينية مشبعة بالمياه لهزات أرضية يحدث لها تسيل وبالتالي حدوث تدفق طيني أو انزلاق صخري ، وعندما تتعرض الرواسب المشبعة بالماء لأمواج القص shear waves الاهتزازية فإنها تتعرض للتصلب compaction ( اندماج جزئياتها ) فإذا لم تتمكن المياه التي تحتويها على الخروج منها أثناء التصلب الذي تعرضت له فإن ضغط هذه المياه يزداد بشكل عنيف جداً وهنا تصبح الرواسب المشبعة بالمياه كالسائل مما يؤدي إلى حدوث انتشار جانبي لهذه الرواسب lateral spreading مع حدوث انسياب وحركة على السفوح التي تزيد انحداراتها على ثلاث درجات ( صبرى محسوب ، ١٩٩٦ ، ص ١٢٠ ) .

ومن التدفقات الطينية أيضاً ما يعرف بتدفقات الطين البركاني volcanic mud flow فقد تتدفق في أحوال كثيرة من أعالي المخروط البركاني كميات ضخمة من الطين تنحدر نحو أقدامه ونحو المناطق السهلية المجاورة مكتسحة كل ما يقابلها من منشآت عمرانية ومناطق مزروعة وغيرها يساعد على تكوينها سقوط أمطار غزيرة في أعقاب تكون سحب الغبار البركاني (١) والتي تعمل على ترسيب كميات ضخمة من الغبار والرماد تمتزج بمياه المطر لتكون طبقة طينية سميكة فوق سطح الأرض ، وقد يكون التدفق الطيني سريعاً وخاصة إذا زاد حجم المواد التي تتدفق من أعالي المخروط البركاني .

### قياسات خاصة بعمليات السفوح :-

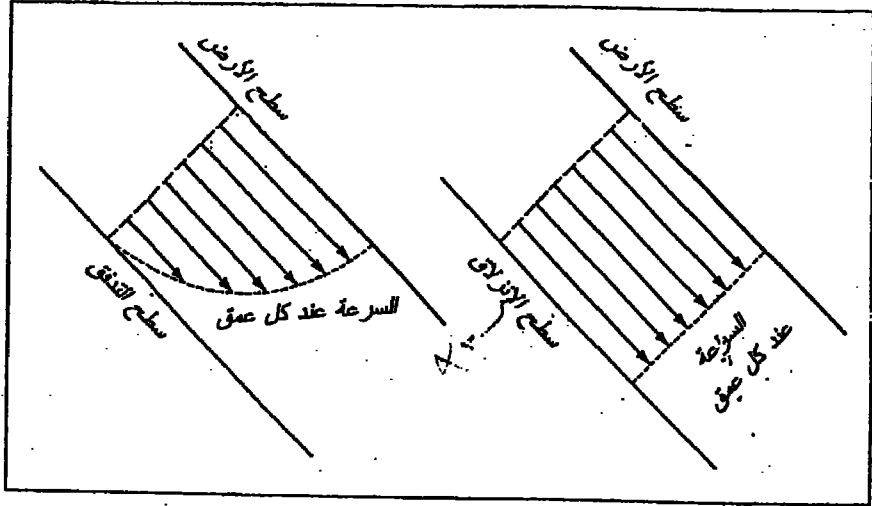
#### ١- السرعة Velocity :-

توجد العديد من العوامل المؤثرة في سرعة حركة المواد الصخرية فوق السفح تمثل أساساً في خصائص المواد الصخرية ( الفتحات ) من حيث التماسك

(١) كثيراً ما تسبب رخات الرماد البركاني في حدوث أضرار فادحة حيث تغطي سطح الأرض عادة بسحب داكنة اللون من الأتربة والدخان ، وقد يتراكم الرماد البركاني في شكل غطاءات على مساحة واسعة من الأرض قد يصل سمكها إلى عدة أمتار .



ودرجة الاحتكاك بسطح السفح ونوعه وغير ذلك من الخصائص، ويبين الشكل رقم (٣٨) اختلاف سرعة حركة المواد فوق السفح عند أعماق مختلفة، كذلك يظهر أثر درجة انحدار السفح وظروف المناخ على معدل سرعة هذه المواد إذا ما عرفنا أن زحف التربة soil creep فى المناطق المعتدلة قد يتراوح بين ١-٢ ملليمتر فى السنة، بينما يزيد معدل السرعة إلى ما بين ٣-٦ ملليمتر سنويا فى المناطق المدارية الرطبة .



شكل رقم (٣٨)

## ٢- حجم المواد الصخرية المنزلة :

يعد حجم ( كمية ) المواد الصخرية المنزلة أو المتحركة من المعايير ذات الأهمية الكبيرة فى الفهم الجيومورفولوجى وخاصة مع ارتباط كل كمية بالعملية التى أدت إلى تحريكها فوق السفح وذلك لكونها تعكس طبيعة العمليات السائدة وأسبابها ، قد قدرت كميات المواد المنزلة وكميات المواد الصخرية الناتجة عن التدفق الطينى فى منطقة وادى سانت جيان saint jean valley على النحو التالى :

- جملة المواد المتدفقة ٧ مليون متر مكعب .
- الكتل الصخرية الساقطة ٥-٥٠ متر مكعب .
- انهيارات جليدية ١٠-١٠٠ متر مكعب .
- انزلاقات أرضية محدودة ٥٠-٢٠٠ متر مكعب .

مثل هذه البيانات المتناقضة من شأنها أن تلفت الانتباه إلى الأحداث المتطرفة النادرة والتي قد تكون مضملة في نفس الوقت ( Clark, N, and Small, Y, P 43 ) والواقع أن الأهمية الجيومورفولوجية للعملية (ترتبط بكميات المواد وسرعة الحركة) تتماثل بنفس القدر مع أهمية التحديد المكاني والزمني للعلمية .

٣- المساحات التي تغطيها المواد المتحركة على السفوح وتكرار عملية الانهيار :-  
تحدد كمية المواد التي تتعرض للانهيار بالمساحة التي تتعرض لها هذه العملية ، وفترة استمرارها duration وتكرار حدوثها frequency of occurrence فنجد أن بعض أنواع الزحف غالباً ما تكون مستمرة على معظم السفوح الجبلية على العكس من ذلك نجد أن الانزلاق الصخري قد يحدث فجأة ولا يستغرق سوى بضع ثوان في مواضع محددة من السطح لا تتعدى أمتاراً محدودة ويحدث بشكل نادر وتحت ظروف معينة .

ومن القياسات التي تمت لكميات المواد المتحركة على السفوح ما قام به Ander Rapp, 1960 في وادي كاركيفاج Karkevagge في منطقة اللابلاند بالسويد يمكن إيجازها بالجدول التالي رقم (٢) .

جدول رقم (٢) قياسات راب Rapp للعملية المرتبطة بالسفوح

المعدل السنوي للحركة بالامتار	الكمية السنوية	العملية
٢٢٥	٥٠	السقوط الصخري
١٥٠	٨٨	الانهيارات
٦٠٠ - ٥	٥٨٠	الانزلاقات
٠,١	٣٠٠.٠٠٠	زحف الركام
٠,٢	٥٥٠.٠٠٠	زحف التربة المشبعة بالمياه
٧٠٠	١٥٠	مواد ذائبة بالمياه

المصدر Clark and Small

#### ٤- عمق حركة المواد على السطح :

تنقص معدلات سرعة المواد المتدفقة على السطح بمعدل كبير مع العمق وذلك باستثناء المنطقة التي تمتد خلالها جذور النباتات ، ونجد أنه في بعض الحالات الاستثنائية قد تمتد عملية الزحف حتى عمق ثمانية أمتار ، بينما نجد الزحف البطيء للتربة المشبعة بالمياه solifluction عادة ما تكون حركة ضحلة (سطحية) تتراوح أعماقها ما بين ٤٠-٦٠ ستيومتر ، بينما يتراوح عمق التدفق الأرضي earth flow والتدفق الطيني ما بين نصف المتر وعشرة أمتار ، بينما قد تمتد الانزلاقات العميقة لعشرات الأمتار من السطح .

## أشكال السفوح وزوايا انحدارها

### مقدمة :-

يقصد بالسفوح slope : السطح المنحدر بأية درجة عن المستوى الأفقى ، وعادة ما نجد أن الأسطح تامة الاستواء لا تمثل سوى نسبة محدودة للغاية من سطح الأرض والذي يتكون معظمه من سفوح ذات انحدارات متباينة .

ونظراً لأهمية السفوح ودرجات تحددها بالنسبة للاستخدامات البشرية المختلفة ، فقد تركز الاهتمام على دراستها ومحاولة تفهم كامل للميكانيكيات التي تؤثر عليها وتسبب عدم استقرارها وذلك من قبل المهندسين الذين عليهم تفهم خصائصها الجيومورفولوجية والتأكد من ثباتها واستقرارها قبل تنفيذ أى مشروع هندسى عليها .

كذلك شهدت السفوح اهتماماً كبيراً من قبل الجيومورفولوجيين خلال سنوات النصف الثانى من هذا القرن ، وتطورت أساليب قياسها من الحقل وإخضاع هذه القياسات لوسائل التحليل الكمى .

ومن الرواد الأوائل الذين اهتموا بدراسة السفوح ووضعوا نماذج مختلفة للتمكن من تفهمها Penck وليستر كنج ويونج Young وود Wood وغيرهم ، ومن المصريين المعاصرين إمبابى وصابر أمين وغيرهما .

وسوف تقتصر المعالجة هنا على دراسة أشكال السفوح الرئيسية وروايا انحدارها مع إيجاز لخصائص بعض النماذج الخاصة بها على النحو التالى :-  
توجد السفوح فى أشكال محدبة convex أو مقعرة concave أو مستقيمة strait وهذه الأشكال الثلاثة الرئيسية يمكن تقسيمها إلى أقسام ثانوية حسب درجة وضوحها على النحو التالى :-

### ١ - السفوح المحدبة Convex Slopes :

يمكن تقسيمها إلى الأنواع الثانوية التالية مع الأخذ في الاعتبار أن لكل نوع منها رمزاً يدل عليها ويمكن توقيعه على الخريطة الجيومورفولوجية .

- انحدارات واضحة التحذب بدرجة كبيرة .
- انحدارات واضحة التحذب .
- انحدارات محدبة .
- انحدارات بسيطة في تحذبها .
- انحدارات خفيفة التحذب بدرجة كبيرة .

### ٢ - السفوح المقعرة Concave Slopes :

تنقسم الانحدارات المقعرة إلى أنواع ثانوية بنفس التقسيم السابق للسفوح المحدبة .

### ٣- السفوح المستقيمة Strait Slopes :

تظهر الكثير من السفوح في شكل مستقيم مع اختلاف درجات الانحدار وعادة ما ترتبط بالصدوع والحافات الجبلية في مناطق الصخور النارية والمتحولة ، كذلك قد تظهر في البنية الجيولوجية التي تتكون من طبقات صلبة تتعاقب مع طبقات لينة مع ميل شديد للطبقات<sup>(١)</sup> صورة رقم (١٤) .

وكما ذكرنا من قبل فإن هناك نوعين من السفوح تبعاً لآثار عمليات التجوية على صخورها وحركة المواد الفتاتية والمحطمة عليها وهذان النوعان من السفوح :

---

(١) كثيراً ما تظهر الأشكال الثلاثة في منحدر من المنحدرات على جوانب الأودية أو على السواحل أو حول المنخفضات الصحراوية ، ويمكن التعرف عليها من خلال تتابع السطح والذي يتحدد من خلال العنصر المحدب والقسم المستقيم ثم العنصر المقعر إلى أسفل .



صورة رقم (١٤)

### سفوح مستقيم من صخور نارية مع حدوث انزلاق لوحى

النوع الأول : سفوح ذات نقل محدود وتميز كما عرفنا بأن معدل نقل الرواسب فوقها أقل من معدل التجوية الذى تتعرض له صخورها ، وعادة ما تغطى هذه السفوح بطبقة سميكة من التربة التى تنمو فوقها

النباتات، ويتنشر مثل هذا النوع من السفوح في العروض المعتدلة الرطبة والمناطق المدارية المطيرة .

النوع الثاني: سفوح تتحرك فوقها الرواسب بسرعة حيث يتفوق معدل حركة الرواسب على معدل التجوية السائدة .

أما عن درجات الانحدار فإن السفوح تتراوح تراوحًا كبيراً في درجات انحدارها من سفوح ذات انحدارات هينة للغاية إلى سفوح شديدة الانحدار ، وتقاس الانحدارات من خلال قياس زوايا الانحدار أو حساب معدلات الانحدار، من الخريطة الكنتورية ، وتصنف انحدارات السفوح حسب معدلات انحدارها ونسبها المئوية وزواياها على النحو التالي :

- الانحدار اللطيف ( الهين ) Gentle Slope :

يصل معدله ١-٦٠ بنسبة  $\frac{2}{3}$  ١٪ وزاويته ٣٤,٠ .

- الانحدار المعتدل :

يتراوح معدل الانحدار ما بين ١-١٠ إلى ١-٢٠ بنسبة مئوية تتراوح من ١-٥ ودرجة انحداره ( زاوية الانحدار ) ما بين  $\frac{1}{4}$  و  $\frac{1}{5}$  درجة تقريباً .

- انحدار قوى :

معدل انحداره ١-٥ ونسبته ٢٠٪ درجة انحداره  $\frac{1}{4}$  ١١ درجة تقريباً .

- سفح منحدر Steep :

يتراوح معدل انحداره ما بين ١-٣ و١ -  $\frac{1}{4}$  ونسبته المئوية ما بين ٢٢-٣٣ وتبلغ زاويته  $\frac{1}{4}$  ١٨ تقريباً .

- سفح شديد الانحدار :

يتراوح معدل الانحدار ما بين ١-٢ و١-١ ونسبته المئوية ما بين ٥٠-١٠٠ وزاوية انحداره ما بين ٢٦ - ٤٥ .

## نماذج شكل السفح وتطوره :-

للتغلب على صعوبات ملاحظة ودراسة مراحل تطور السفوح اجتهد العديد من الجيومورفولوجيين فى وضع نماذج مختلفة وخاصة بأشكال السفوح وما يعثر بها من تغير خلال مراحل تطورها ، والهدف من ذلك يتمثل فى تفهم تطور أشكال السفوح خلال تاريخها الجيومورفولوجى الذى يستحيل تتبعه بالقياس من الطبيعة .  
وفى ما يلى إيجار لمضمون نموذجين من هذه النماذج :

### أ - نموذج وود Wood's Model :

يعد نموذج وود بوحداته الأربع والخاص بتطور السفوح مثالا جيدا لوصف شكل السفح وتطوره خلال تاريخه الجيومورفولوجى (١) ، ويتميز هذا النموذج ببساطته وملاءمته لظروف بيئية مختلفة ، لذلك استخدم كثيرا فى الدراسات الجيومورفولوجية البريطانية الحديثة والخاصة بدراسة انحدارات سطح الأرض .

ولقد حدد Wood شروطا لى يتطور السفح بالصورة التى يراها فى نموذجه تتمثل أهم هذه الشروط فى وجود سفح أصلى مرتفع high initial slope يتميز بصخوره الصلبة ، مع اختفاء عمليات التقويض السفلى under cutting ، وهذه الظروف أو الشروط تتوافر فى المناطق شبه الجافة مما يجعل هذا النموذج بمثابة تمثيل جيد للسفوح الجبلية فى مثل هذه المناطق .

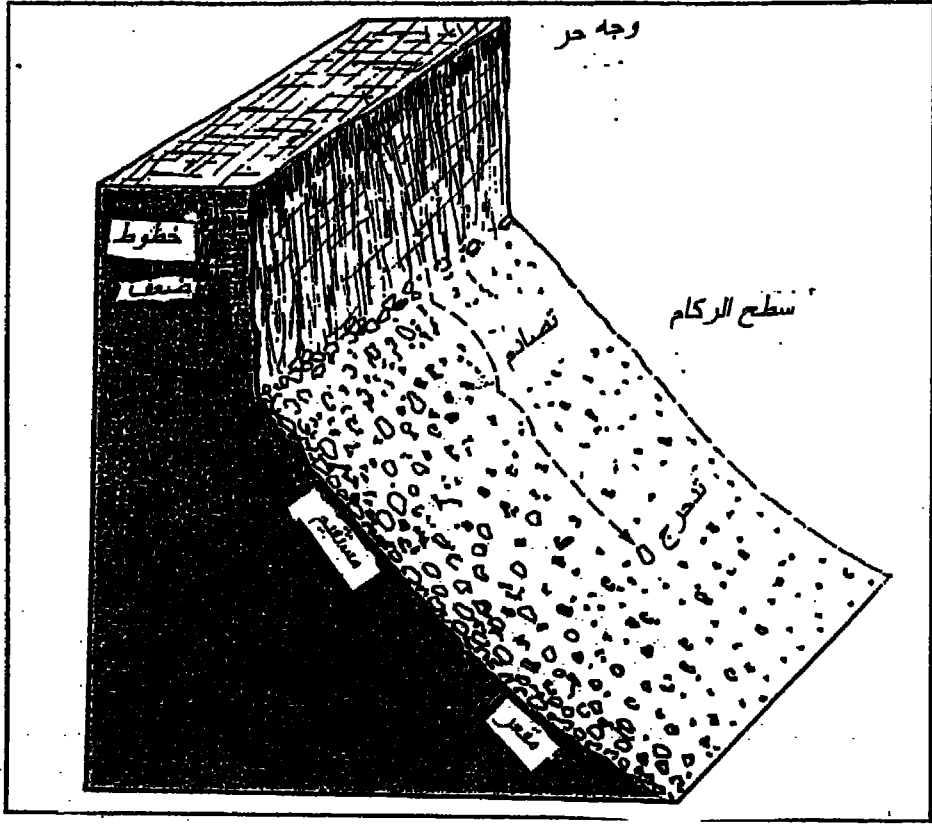
ويظهر من الشكل التالى رقم (٣٩) ما يلى :

- تراكم مفتتات صخرية فى شكل منحدر هشيمى talus slope أسفل جرف متراجع يتكون من وحدتين رئيسيتين ، وقد نتجت هذه المفتتات من عمليات تجوية لسفحه مع تساقط المفتتات وانزلاقها من أعالى الجرف إلى أقدامه .

ويرى وود Wood بأنه قد يحدث فى المناطق الرطبة أن يتطور شكل الأجزاء العليا من الجروف إلى الصورة المحدبة Convexity ، ويرى كذلك أنه مع التجوية

(١) اقترح عام ١٩٤٢ م .



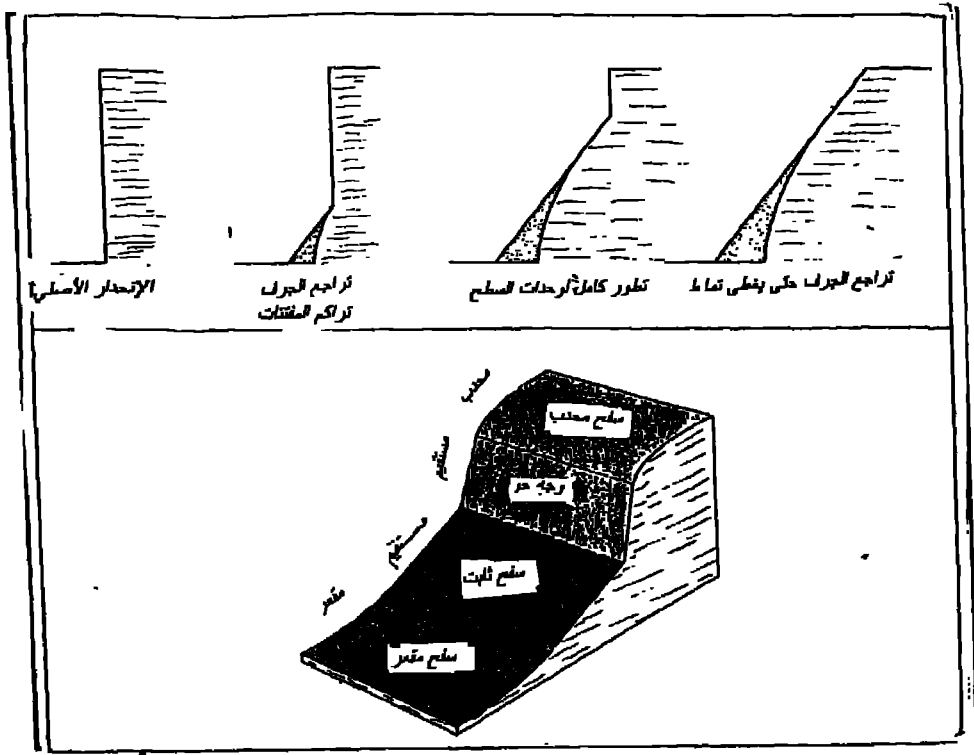


شكل رقم (٣٩)

النشطة وتتابع عمليات النقل النشطة للرواسب باتجاه أقدم السفح ( نهاية امتداد رواسب أقدم السفح ) ينتج انحدار مقعر سفلي basal concavity ومن ثم يتشكل السفح في صورة أربع وحدات كما يظهرها الشكل (٤٠) وهي :

#### ١- الوجه الحر Free :

يمتد أعلى السفح وهو مصدر المفتتات الصخرية المكونة لأسطح الوحدات السطحية الأدنى ، وكلما كثرت به الشقوق ساعد ذلك كثيراً في زيادة معدلات تراجع سرعة أكبر وساعد بالتالي على زيادة حجم المفتتات عند أقدم السفح حيث إنه في هذه الحالة يكون بمثابة سطح تنشيط فوقه عمليات التجوية بنوعيتها والتي بدورها تساعد على تراجعها ، وتتراكم المفتتات الصخرية الناتجة عن تجوية الوجه الحر في شكل ركام سفوح ( هشيم ) على سطح المنحدر الثابت .



شكل رقم (٤٠)

## ٢- السطح الثابت Constant Slope :

يلى الوجه الحر إلى أسفل ويتميز باستقامته وانحدار سطحه المنتظم الذى تغطيه الفتحات القادمة من الوجه الحر .

## ٣- السطح المقعر Concave :

يلى السطح الثابت نحو حضيض المنحدر وهو عبارة عن رواسب تعرف بهشيم السفوح ، ويتم عليه العديد من عمليات الغسيل الصخرى حيث يتشرب كميات كبيرة من المياه القادمة إليه على طول سطح المنحدر .

## ٤- السطح المحدب أعلى الوجه الحر :

يظهر نتيجة لنشاط عمليات التجوية المختلفة وقد أوضح « آلان وود » A. wood بأن تراجع المنحدرات الجبلية بهذا الشكل سابق الذكر لا يقتصر على

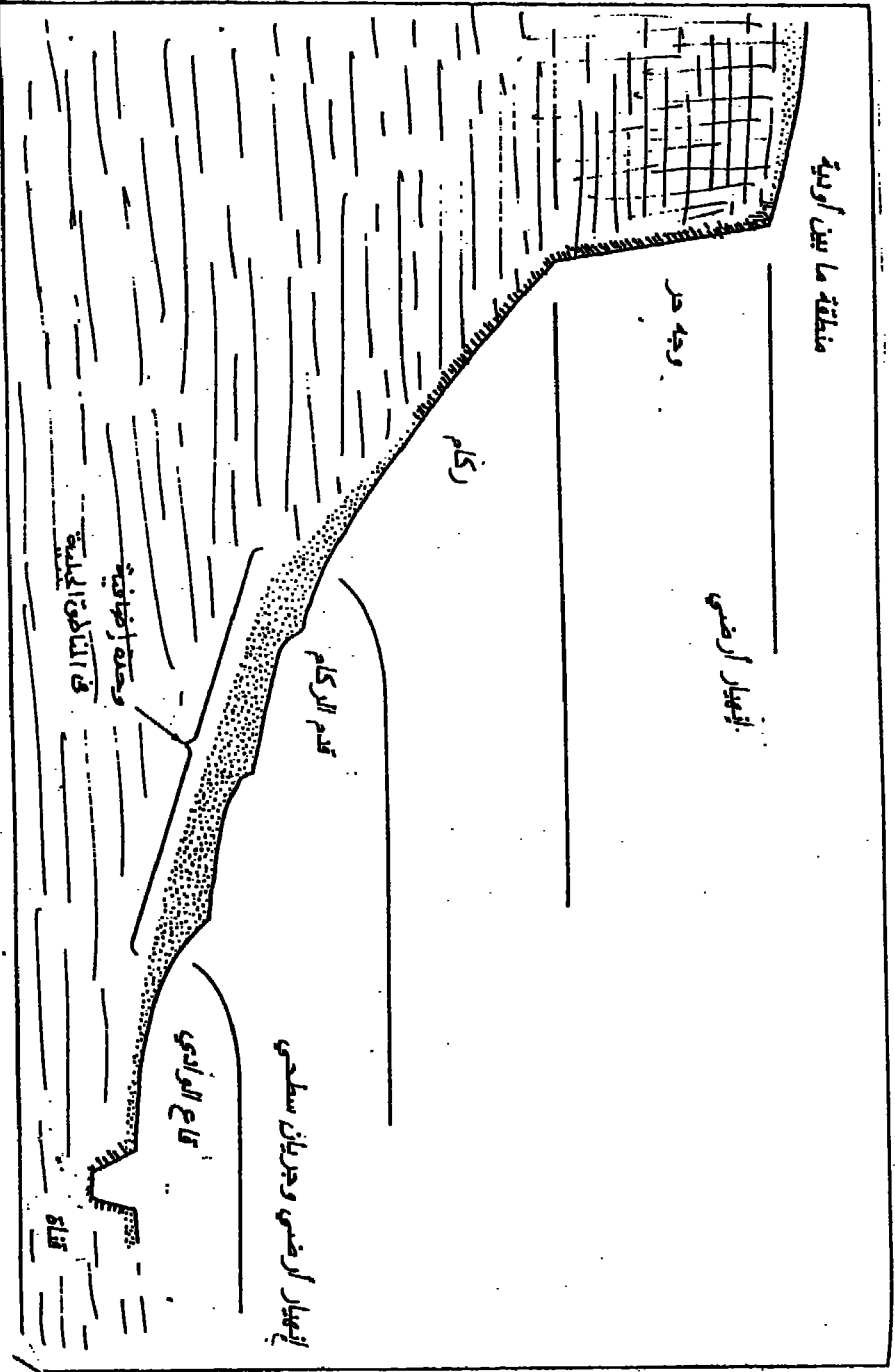
أسطح الحافات الصخرية فقط ، بل إن جوانب الأنهار شديدة العمق تتراجع تراجعاً خلفياً بدرجات متشابهة مع ما يحدث لأسطح الحافات الجبلية ( أبو العينين، ص ٣٥٢ ) .

ولا يشترط في الحقيقة وجود الأوجه الأربعة مع بعضها في أى مكان ، فعلى سبيل المثال والتوضيح نجد أن التجوية الفيزيائية إذا ما أنتجت مفتحات صخرية ( هشيم سفوح ) بمعدلات أكبر من معدلات الإزالة بفعل عمليات التعرية فوق السطح الثابت فيمكن في هذه الحالة أن يستمر في تطوره ونموه باتجاه الوجه الحر ، بحيث يغطى السطح بالكامل بالمفتحات التى تخفى تحتها صخر الأديم ( الأساس ) bed rock .

ب- نموذج كين **Caine Model** :

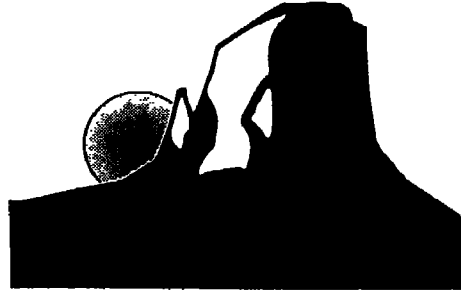
يتكون هذا النموذج الذى اقترحه كين Caine عام ١٩٧٤ من خمس وحدات كنموذج مثالى للسفح الجبلى كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (٤١) أ - ب وهو فى واقع الأمر يتكون من أربع وحدات تشبه وحدات نموذج ( وود Wood ) ولكنه أضاف إليها وحدة خامسة تمثل امتداداً إرسائياً عند أطراف هشيم السفح باتجاه قاع الوادى المقعر ( راجع الشكل السابق ) هذه الوحدة المضافة تعكس فى الواقع عمليات التعرية الجليدية النشطة عند الأطراف الخارجية لهشيم السفح حيث المواضع الرطبة التى تنشط فيها عمليات التجوية .

منطقة ما بين اودية



شكل رقم (٤١)

## الفصل الخامس



التعرية النهرية والأشكال الأرضية  
المرتبطة بها





## مقدمة

تعد الأنهار من أكثر العوامل التي تشكل سطح الأرض ، وخاصة في المناطق الرطبة ، فهي تنحت لتشكل أودية في المناطق المرتفعة ترتبط بها قمم وحافات وتلال وغيرها من الأشكال المورفولوجية البارزة ، وتقوم بنقل المواد الصخرية التي تحتها من المناطق المرتفعة لترسبها حولها في شكل سهول مستوية أو قليلة الانحدار .

هكذا نرى ببساطة أن الأنهار كغيرها من عوامل التعرية تقوم بعمليات النحت والنقل والإرساب لتحول من خلالها السطح الأصلي original surface بمرور الزمن إلى سهول مستوية تعرف بالسهول التحاتية ( السهوب ) penplains ، فعندما تسقط الأمطار فوق سفح منحدر تنساب مياهها على السطح انسياباً غطائياً حتى تتمكن المياه من نحت قناة محددة بأبعاد ( عمق واتساع ) تسمح بتحريكها - أي المياه - خلالها داخل حوض النهر باتجاه المصب .

ويوجد النهر ومجموعة روافده tributaries وفروعه distributaries داخل منطقة محددة بخطوط تقسيم مياه تعرف بحوض التصريف النهري drainage basin تمثل في حقيقة الأمر نظاماً طبيعياً مفتوحاً open natural system له حدوده الواضحة التي تمتد على طول خط القمم المحيطة به ، وله مدخلاته inputs ومخرجاته outputs .

تمثل المدخلات هنا في المياه التي قد تأتي من الأمطار أو تأتي من انصهار الجليد على القمم المرتفعة بمنابع النهر أو قد تأتي من بحيرة ينبع منها النهر من خلال روافده العليا بحيث تتدفق هذه المياه من رتبة نهريّة إلى رتبة أكبر باتجاه المجرى النهري الرئيسي الذي يتجه مع الانحدار العام للأرض نحو أخفض منسوب عند المصب والذي يعرف بمستوى القاعدة base level .

وتعرف كمية المياه في النهر باسم الجريان السطحي ( التدفق ) run off أو التصريف discharge وهذه المياه هي التي تقوم من خلال ما بها من طاقة

بعمليات التعرية الثلاث التي تشكل سطح الأرض داخل حوض النهر ، ومن المدخلات كذلك الطاقة الشمسية solar energy والرياح والمفتتات الصخرية وغيرها، أما المخرجات فتتمثل في المياه المتدفقة خارج الحوض من فتحة المصب أو المياه الصاعدة في شكل بخار ماء vapours وتمثل كذلك في المفتتات الصخرية (راجع للاستزادة المؤلف ١٩٩٦ م ، ص١٢٩).

وقبل أن نتعرض لعمليات التعرية النهرية والأشكال الأرضية الناتجة عنها يجب أن نضع في الاعتبار أن حوض التصريف النهري نظام بيئي طبيعي شديد التعقيد يتضمن داخل حدوده أنواعاً غاية في التنوع من التكوينات الصخرية السطحية والتربة ومن النباتات الطبيعية وغيرها من مكوناته كنظام طبيعي مفتوح ، وأن ما يأتي إليه من مياه تتعرض للعديد من العمليات منها البخر والتسرب في التكوينات الصخرية والاستهلاك بواسطة النبات إلى جانب ما يستخدمه الإنسان من مياه لسد حاجاته وأغراضه المتعددة .

وكما نعرف فإن تصريف النهر يقصد به كمية المياه الموجودة في لحظة معينة ويمكن قياسها بالأمتار المكعبة في الثانية الواحدة ( متر<sup>٣</sup> / ثانية )، كذلك يعد منسوب سطح ماء النهر من الأمور الهامة التي تساعد في تفهم ما يقوم به من عمليات ، وأن هناك علاقة طردية بين تصرف النهر وسرعته وبالتالي قدرته على حمل المفتتات ( من حيث الكم وحجم الحبات ) والمقدرة على النحت كما سيتضح ذلك من خلال صفحات هذا الفصل .

## النحت النهري

تعتمد طاقة النهر ومقدرته على النحت في أية نقطة من مجراه على كمية مياهه volume من جهة والسرعة velocity من جهة أخرى ، حيث تؤدي كمية المياه الزائدة - أثناء الفيضان - إلى تفوق قوة تحركها على قوى رد الفعل المتمثلة في الاحتكاك بالقاع والجوانب<sup>(١)</sup> .

---

(١) ويستهلك كل من الاحتكاك بالقاع والجانبين بالإضافة إلى الاحتكاك الداخلي internal friction نحو ٩٧٪ من الطاقة المتاحة بالنهر.



## أولاً - النحت الرأسى لمجرى النهر ويتم بالطرق التالية :-

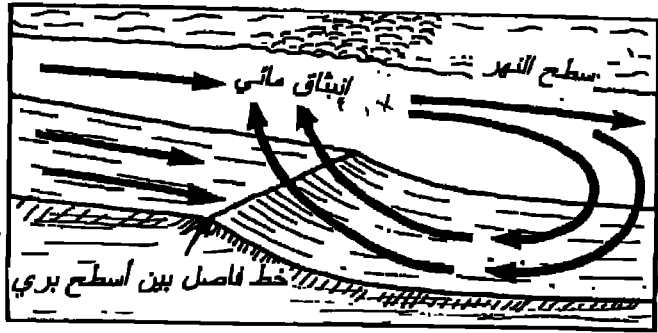
### ( أ ) الفعل الهيدروليكي Hydraulic Action :

يرتبط الفعل الهيدروليكي للمياه بسرعة النهر وكمية مياهه ويتم من خلاله تعميق المجرى وتوسيع قنواته وخاصة مع وجود صخور غير متماسكة ، بينما يقل أثره - أى الفعل الهيدروليكي - فى حالة الصخور المتماسكة ويتركز فقط فى مواضع الضعف من شقوق وتجويفات لينتهى الأمر بتوسيعها وإزالة مفتحاتها التى تضاف إلى حمولة النهر بعد ذلك .

وبالنظر الفاحصة لحركة مياه النهر السطحية نجد أنها تكون أسرع وسط القناة المائية بالمقارنة بحركتها قرب الجانبيين حيث تنقص السرعة تدريجياً من الوسط باتجاه الجانبيين ، ولكن بسبب عدم انتظام شكل القناة المائية تتكون حركة شبه دائرية للمياه تتجه من الوسط نحو الجانبيين بحيث يبدأ تحركها الفعلى باتجاه أعالي النهر ، وتعرف هذه الحركة بالحركة أو التدفق الدوامى turbulent flow كما يتضح ذلك من الشكل التالى رقم (٤٢) إلى جانب ذلك تحدث حركة دوامية رأسية ver-tical turbulence تنتج عن زيادة سرعة المياه السطحية بالمقارنة بسرعة المياه قرب وعند قاع النهر كما يظهر ذلك شكل رقم (٤٣) ويظهر أثر الدوامات الرأسية فى ظهور أشكال النيم ripples ( التموجات ) بقاع النهر وذلك نتيجة للحركة الدوامية للمياه من قاع النهر باتجاه السطح ، ويتج عن الدوامات المائية احتكاك بين جزيئات الماء المتحرك باتجاهات وسرعات مختلفة يعرف بالاحتكاك الداخلى (Sawyer, K.E., 1978, P13) ، وتمثل أهمية التيارات الدوامية فى زيادة فعالية النحت النهري ، ويقدر بأنه فى حالة وصول سرعة التدفق المائى إلى ١٢ متر فى الثانية - مثلما الحال فى السيول الجبلية أو فى مواضع الشلالات - يحدث نوع من النحت المائى يسمى بالحفر التجويفى cavitation وينتج أساساً عن تولد أمواج اهتزازية ذات تأثير شديد جداً على الصخور مما يؤدي إلى تنقيرها وتفككها فى نهاية الأمر.



شكل رقم (١٢)



شكل رقم (١٣)

هكذا فإن النحت الهيدروليكي لا يتم فقط بواسطة التيارات القوية الناتجة عن سرعة التدفق المائي ولكنه يتم كذلك بواسطة انضغاط المياه وتفجرها (ضغطها داخليا) implosion داخل الشقوق وخروجها منها بانفجار explosive. (Newson, M.D and Hanwell, H, 1982, P130) في شكل متفجر explosive.

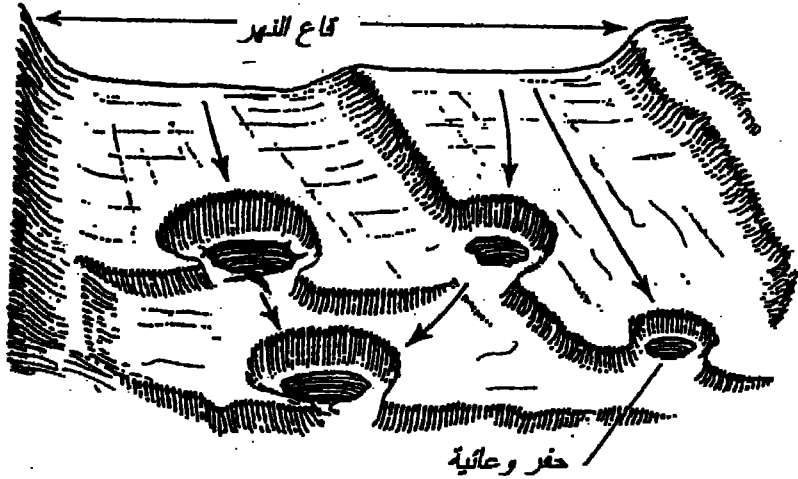
(ب) النحت الميكانيكي Corrasion :

يؤدي الفعل الهيدروليكي للمياه بجانب النحت التجويفي إلى توفر مفتحات صخرية بجميع الأحجام تضاف إلى مياه النهر التي يتسلح بها ويقوم بمساعدتها

بعملية نحت أخرى تعرف بالنحت الميكانيكي وتعنى ببساطة تحطم صخور من قناة النهر نتيجة اصطدام شظايا ومفتتات صخرية بها، وخاصة تلك الصخور القاعية الباردة أو تلك التي تبرر على الجوانب بحيث تؤدي هذه الطريقة إلى صقل القاع وتنعيمه .

### (ج) الحفر الوعائية Potholling :

تعمل الدوامات الرأسية على تحريك الجلاميد والمفتتات باتجاه قاع النهر وعندما تحتجز هذه الشظايا والمفتتات الصخرية في حفر بقاع النهر أو داخل مفصل صخري فإن الحركة الدورانية للمياه والحصى فوق القناع تؤدي إلى ظهور حفر في الصخور الصلبة تعرف بالحفر الوعائية potholes تزداد اتساعاً وعمقاً وتتصل ببعضها البعض في نهاية الأمر مما يؤدي إلى تعميق المجرى كما يظهر ذلك من شكل رقم (٤٤) ، ويرى البعض أن هذه الحركة الدورانية التي تؤدي إلى تكوين الحفر الوعائية تنتج أساساً عن تضافر كل من الفعل الهيدروليكي للمياه مع النحت التجويفي cavitation أكثر من كونها تنتج عن نحت من خلال عملية برى بالحفر الوعائية abrasion in potholes .



شكل رقم (٤٤)

## ( د ) الطحن Attrition :

عندما تصطدم المفتتات الصخرية بقاع القناة النهرية وتصطد فإنها تتفتت إلى جزيئات أصغر حجماً فيما يعرف بعملية الطحن تدريجياً في حجم جزيئات حمولة النهر) .

وتزداد فعالية كل من الفعل الهيدروليكي والنحت الميكانيكي ما تضافرت معها وساعدتها عمليات النحت الكيماوى erosion تكون صخور البقاع قابلة للإذابة .

ويبدو أثر جميع عمليات النحت الرأسى على قناة النهر ، على شكل المقطع العرضى للنهر cross section ، فلو تصورنا أن هو العملية الوحيدة السائدة فإن النتيجة الحتمية تتمثل فى ظهور ذو جوانب رأسية تمثل فى نفس الوقت جوانب النهر ذاته ، مثل يظهر فى مناطق ذات صخور شديدة المقاومة لعمليات التجوية أو تقل فيها فعالية عمليات التجوية ، وقد تظهر الخواثق فى مناطق الرأسى أسرع من عمليات التجوية ( Sawyer, K.E, P14 ) ولكن سيادة عمليات التجوية التى تصاحبها حركة مواد صخرية على النهري تؤدي إلى زيادة معدلات تراجع أعالي السفوح مقارنة بأقدا، المقطع العرضى للنهر حرف V ، ويقدر بأن النهر الذى يعمق ٥ السابقة بمعدل نصف ملليمتر فى السنة سوف ينتج بذلك وادياً ء خلال مليون سنة .

## ثانياً - أما بالنسبة للنحت النهري الجانبى Erosion ال

فيقوم به النهر لتوسيع مجراه على حساب تراجع الحافات المح العملية تتم فى جميع مراحل تطور النهر وإن كانت تزداد وضو النضج كما سيوضح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

تتم عملية النحت الجانبي داخل القناة النهرية من خلال الفعل الهيدروليكي للمياه ( ضغط المياه ) حيث تعمل عند اندفاعها على اكتساح المفتات من جوانب النهر . كما أنها تقوم بعملية التقويض ( النحر السفلى ) undercutting التي تشبه ما تقوم به من حصر تجويفي بقاع النهر وخاصة عندما تكون الصخور ضعيفة في مناطق الانحناءات بالقناة المائية .

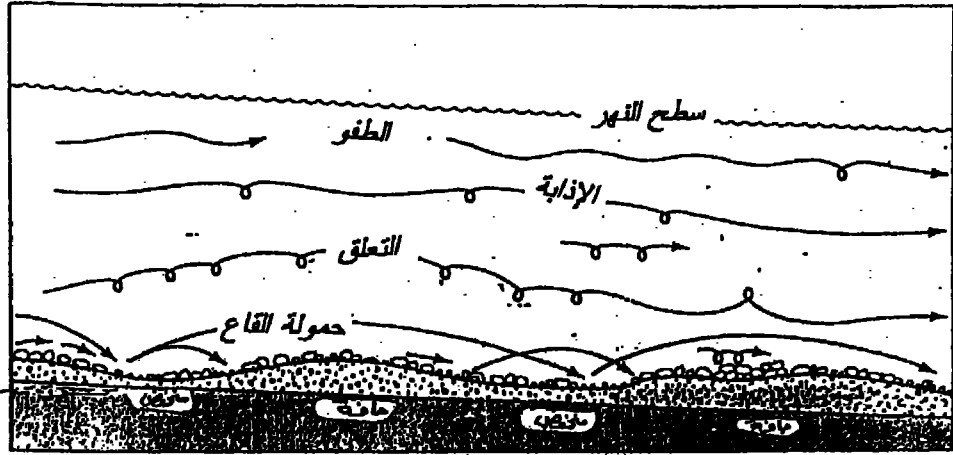
كذلك تقوم المياه بنحت جوانب قناة النهر بمساعدة المفتات التي تحملها وخاصة أثناء فترة الفيضان عندما يكون التدفق الدوامي المضطرب سائداً ، وتلعب الإذابة الكيماوية التي تقوم بها مياه النهر دورها أيضاً في توسيع مجراه إلى جانب ما تقوم به الانهيارات الأرضية أيضاً من دور هام في عمليات التوسيع وخاصة في المناطق الرطبة أو في العروض العليا التي كثيراً ما تتعرض سفوحها للانهيارات الجليدية وتدفقات التربة

### ثالثاً - يقوم النهر بعدة عمليات نهائية لإطالة مجراه :

تتمثل أساساً في عملية النحت التراجعي head ward erosion التي عادة ما تبدو أكثر وضوحاً في المنابع العليا للأنهار أو في مواضع الشلالات .

ويمكننا القول بشكل عام أن القوى التي تقوم بالنحت داخل القناة النهرية تماثل غالباً ما يتم على السفوح وإن وجدت اختلافات ترجع إلى كون الصخور داخل القناة النهرية تحاط بالمياه ، ومن ثم فإن قوة القص shear force اللارمة لتحريكها بعد نحتها تعتمد أساساً على عمق الماء ( عمق المجرى النهري ) ولزوجة المياه viscosity<sup>(1)</sup> ونوع الجريان المائي ( صفحي أم دوامي ) ، وقد عرفنا من قبل أن الجريان الدوامي يزيد بشكل كبير من قوة النهر على النحت وذلك لكون الكتلة كبيرة الحجم تتطلب سرعة كبيرة لتحريكها وسرعة أكبر لنحتها ، بمعنى أن السرعة المطلوبة للنحت تكون أكبر من تلك المطلوبة لتحريك الكتلة الصخرية .

(1) قدرة حركة جزيئات المادة السائلة على الحركة حول بعضها البعض وهذه الحركة تختلف من سائل إلى آخر فمثلاً في الحلسرين لا تناسب الجزيئات بسهولة ومن ثم فهو أكثر لزوجة من الماء



شكل رقم (١٤٥)

### نقل الرواسب (حمولة النهر River Load)

تظهر الرواسب في النهر في أربع صور تتمثل في حمولة القاع bed load ورواسب القفز saturation والمواد العالقة suspended materials والحمولة المذابة dis-solved شكل رقم (١٤٥).

وينقل النهر المواد القابلة للإذابة على طول مجراه بطريقة غير ميكانيكية في شكل حمولة مذابة في مياهه، بينما يحمل المواد الدقيقة في شكل حمولة عالقة، وينقل المواد الصخرية الأكبر حجماً بالتدحرج rolling أو القفز على طول امتداد قاع النهر، على سبيل المثال تقدر حمولة نهر المسيسيبي السنوية من الرواسب ٥٧٠ مليون طن ( Sawyer, K, P8. ) ينقل منها ٢٠٠ مليون طن بالإذابة ٣٢٠ مليون طن حمولة عالقة، بينما ينقل عن طريق الجر traction (التدحرج والتقفز) ٥٠ مليون طن ينتج عن كل ذلك حدوث تخفيض في سطح الأرض داخل حوض تصريف المسيسيبي يبلغ معدله ٣٣ سنتيمتر لكل ألف سنة وهذا بالطبع معدل كبير جداً في العمر الجيولوجي للنهر.

## أولاً - نقل النهر للمواد المذابة :

ينقل النهر جزءاً كبيراً من حمولته من الرواسب عن طريق الإذابة وخاصة إذا ما كان يجرى وسط صخور قابلة للذوبان مثل الحجر الجيري أو الطباشير ، وكما ذكرنا آنفاً فإن المواد المذابة لا تنقل بطريقة ميكانيكية على غير الحال مع نقل المواد الفتاتية الأخرى غير القابلة للذوبان ، حيث إنها تنقل مذابة في مياه النهر .

والواقع أن هناك علاقة بين تصرف النهر وتركيز المواد المذابة ، فكلما قلت كمية المياه بالقناة النهرية يعنى ذلك أن النهر يستقبل مياهها جوفية مشبعة بالعناصر الكيماوية الناتجة عن التجوية وتفتت وتحلل المواد العضوية ، وهكذا نرى أن الجريان المنخفض لأى نهر يكون أكثر تشبعاً بالعناصر المذابة مثل الكالسيوم dissolved calcium والمغنسيوم والصوديوم وغيرها من العناصر القابلة للذوبان وذلك بالمقارنة بالجريان العالى للنهر high flow (١) .

## ثانياً - النقل بالتعلق Suspension :

ترتبط عملية نقل النهر للرواسب بواسطة التعلق بالجريان الدوامى للمياه وما يتميز به من حدوث تيارات صاعدة وتيارات أفقية تحمل معها المواد الدقيقة التى تتعلق فى كتلة المياه المتحركة وهذه التيارات تعرف بتيارات العكراً -turbidity currents ، ومن ثم فهناك علاقة قوية بين كمية المواد المنقولة بالتعلق وكمية المياه وسرعتها فى النهر ، حيث تكون المياه فى هذه الحالة قادرة على التقاط جزيئات الصخور غير المتماسكة وإثارتها وفى حالة الجريان المنخفض واختفاء الدوامات تقريباً تبدأ الجزيئات فى الاستقرار بالقاع من الأكبر حجماً إلى الأنعم ومعظم هذه الحمولة من الصلصال والغرين والغرويات colloids .

وفى حالة الأنهار الكبرى مثل النيل والميسسى وغيرها لمجد أن تركيز المواد العالقة يقل باتجاه مصب النهر ويرجع ذلك أساساً إلى أن

---

(١) قدرت كمية المواد المذابة التى تستقبلها البحار كل عام حوالى ٢,٧ بليون طن تقريباً، ويبلغ نصيب نهر النيل من هذه المواد المذابة ما يقرب من ١٠ مليون طن.

الجزء الأكبر من الحمولة العالقة يأتي من السفوح الأشد انحداراً في مناطق المنابع داخل أحواض هذه الأنهار .

### كيفية قياس حمولة النهر من المواد العالقة :

يصعب في الحقيقة قياس الحمولة العالقة بالنهر وذلك بسبب اختلاف كمياتها من جزء إلى آخر داخل القناة المائية، ورغم ذلك فإن هناك طريقة تقريبية للقياس تتمثل في أخذ عينة من الماء محدودة الحجم ونحسب منها نسبة تركيز المواد العالقة بها والتي تحسب بالملجرام في اللتر ، أو تحسب بالجزء في المليون p.p. m ، ويمكننا القيام بذلك من خلال ترشيح عينة الماء بواسطة ورقة ترشيح filter paper ثم يتم بعد ذلك تجفيفها عند درجة حرارة ١٠٥ م وبعد ذلك يتم حساب وزن الرواسب المتبقية بالورقة من خلال طرح وزن ورقة ترشيح من نفس نوع ورقة الترشيح التي استخدمت فينتج بطرحهما من بعضهما وزن المادة العالقة .

وتحسب نسبة تركيز المواد العالقة من خلال المعادلة التالية :

$$\text{التركيز} = \frac{\text{وزن المواد الصلبة المتبقية بالجرامات} \times 100}{\text{كمية مياه العينة بالسنتيمتر المكعب}}$$

ويمكننا بعد ذلك حساب كمية المواد المذابة من العينة السابقة وذلك من خلال تبخير المياه المتبقية من الترشيح ثم بعد ذلك يتم وزن المواد المتبقية والذي يمكننا أن نحسب منه كذلك الكمية الكلية للمواد المذابة في النهر وذلك من خلال قسمته على وزن عينة الماء ثم ضربه  $\times 100$  لنحصل على كمية الأملاح المذابة ، بالملجرام في اللتر .

ومن تقديرات هوليمان التي يظهرها الجدول التالي يتضح لنا ضخامة الرواسب التي تنقلها الأنهار إلى المحيطات والتي تبلغ جملتها ٢, ٢٠ × ٩١ طن سنوياً تمثل آسيا أكبر القارات ٥٩١ طن لكل كيلومتر مربع ( Wilcock, D, 1983 , P47 ) .



جدول رقم (٣) معدلات نقل الرواسب العالقة بالأنهار الرئيسية فى العالم

اسم النهر	الدولة	مساحة حوض النهر بالكيلومتر المربع	المعدل السنوى للحمولة العملاقة طن x ١٠ <sup>٣</sup>
الكانج	الهند	٩٥٦٠٠٠	١٦٠٠٠٠٠
السند	باكستان	٩٦٩٠٠٠	٤٨٠٠٠
الميسيبى	الولايات المتحدة	٣٢٢٢٠٠٠	٣٤٤٠٠٠
الميكولج	فيتنام	٧٩٥٠٠٠	١٨٧٠٠٠
النيل	مصر	٢٩٧٨٠٠٠	١٢٢٠٠٠
الراين	هولندا	١٥٠٠٠٠	٥٠٤٠٠٠
الفولجا	روسيا	١٣٥٠٠٠٠	٢٠٧٧٠٠٠٠

After Wilcook 1983

ثالثاً - حمولة القاع Bed Load :

تشتمل حمولة القاع على أكبر المفتتات الصخرية حجماً حيث تنقل بواسطة التدرج rolling أو الانزلاق sliding على طول قاع النهر ، وهنا يجب أن نميز بين مقدرة النهر على نقل كمية الصخور الكلية total mass of materials وكفاءته competence التى يمكن الحكم عليها من خلال أكبر كتلة أمكن تحريكها . ( Newson and Hanwel, P 147 )

فقد وجد العلماء أن الأنهار من الناحية العملية يمكنها أن تنقل حمولة من المواد الدقيقة أكبر مما يمكن أن تحمله من المواد كبيرة الحجم ، بمعنى أن النهر مثلاً يمكن أن يحمل عشر حبيبات وزنها الكلى خمسة كيلو جرامات بسهولة أكثر من

حملها كجلمود واحد بنفس الوزن ، ومعنى ذلك أيضاً أن كفاءة النهر وقوته على نقل حمولته تتوقف على حالة تفتت حمولته .

كذلك يجب أن نميز بين الطريقة التي تتحرك بها جزيئات حمولة القاع منفردة والحركة الكلية لكل أشكال ومكونات القاع من كشبان رملية فيضية أو « ريم القاع ripples » والتي عادة ما ترتبط - أى الحركة الكلية - بسرعة جريان النهر والتي ترتبط بعلاقة طردية مع كمية المواد المحمولة ، فقد حسب بعض العلماء العلاقة بين قوة النقل وسرعة التيار النهري فوجدوا أن قوة النقل تتناسب ( الممثلة بورن حمولة النهر من الرواسب الظاهرة<sup>(١)</sup> ) فى وحدة الحجم من مياه النهر المتحركة) تناسباً طردياً مع القوة السادسة لسرعة التيار وفقاً لما يسمى بـ «قانون النقل بالأنهار» law of transportation by streams<sup>(٢)</sup> ( حسن وزملاؤه ، ص ٣٢١).

وعموماً ، تنقل حمولة القاع بالتدحرج أو الانزلاق قرب قاع النهر مع زيادة معدلات تحركها أثناء الفيضانات حيث تزداد كفاءة النهر وطاقته وتتحرك بالتالى المفتتات كبيرة الحجم بفعل دفع المياه لها أو بفعل الجاذبية ، وإن كانت الكتل كبيرة الحجم يصعب على مياه النهر دفعها إلا أثناء الفيضانات الاستثنائية .

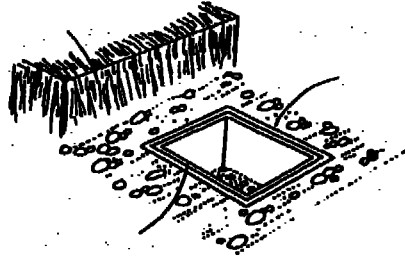
ومع صعوبة قياس حمولة القاع فقد قامت محاولات عديدة لقياسها وذلك بواسطة مصائد الرواسب كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (٤٥ب) حيث يسمح للرواسب بالتراكم فى حفر غائرة بقاع النهر أو خلف شبكة سلكية بحيث يمكن انتشارها كل فترة محددة والقيام بورنها ، وتوجد طريقة أخرى لقياس الحركة الصافية لحمولة القاع<sup>(٣)</sup> .

(١) يقصد بها كل أنواع الحمولة ما عدا اللابئة.

(٢) يقصد به أنه إذا رادت سرعة النهر إلى الضعف فإن حمولته تتضاعف ٦٤ مرة ، ويأتى من خلال المعادلة التالية .  $C = S^6$

- حيث إن C تمثل حمولة النهر ممثلة بالجرام/ لتر المكعب وS = سرعة التيار بالمتر/ثانية.

(٣) الواقع أن قياس أحجم حبات راسب قاع النهر أسهل كثيراً من تحديد الكمية الكلية ، وكذلك نجد أن أخذ عينات من مواضع مختلفة على طول قاع النهر يمكننا أن نستنتج منها ما يطرأ من تغير على أحجامها أثناء نقلها باتجاه المصب .



شكل رقم (145)

#### رابعاً - حمولة القفز: Saltation :

ليس هناك في الحقيقة فصل واضح بين الحمولة القافزة وحمولة القاع سابقة الذكر ، وعادة ما تكون المفتتات القافزة أصغر حجماً من مفتتات حمولة القاع بحيث يؤدي اندفاعها بواسطة المياه إلى رفعها إلى أعلى داخل كتلة مياه النهر بحيث تسقط على القاع ثانية لتستمد طاقة من خلال الاصطدام فيؤدي ذلك إلى تحريكها إلى الأمام في حركة تشبه حركات الرمال القافزة بفعل الرياح راجع الشكل رقم (145)

#### الإرساب النهري Fluvial Deposition

يجنح النهر إلى الإرساب في حالة قلة مياهه وتناقص سرعته ، بالنسبة لقلة المياه فإنها تحدث عندما يمر النهر بمنطقة ذات مناخ حار جاف بحيث تتعرض مياهه للتبخر الشديد أو عندما يمر بمنطقة ذات صخور مسامية porous مثل صخور الحجر الجيري أو الحجر الرملي أو ذات صخور ممره pervious تكثر بها الشقوق والفجوات مما يؤدي إلى تشرب كميات كبيرة من المياه خلال المسامات أو الشقوق الصخرية كذلك قد ترجع قلة مياه النهر إلى حلول فصل الجفاف بمنابعه العليا أو بمنطقة حوضه

أما بالنسبة لتناقص سرعة مياه النهر فيحدث ذلك عندما يمر مجراه بإحدى البحيرات الواسعة والضحلة أو بإحدى البقاع المائية مما يؤدي إلى انتشار مياهه على

مساحة واسعة مما يؤدي بالتالى إلى تشتتها وضعف سرعة التيار النهري ومن ثم يجنح النهر إلى ترسيب ما يحمله من مفتتات صخرية ، من الأمثلة على ذلك ما يتعرض له نيل فيكتوريا عندما يعبر بحيرة كيوجا الضحلة من ضعف فى سرعته وانتشار لمياهه على مسطح مائى واسع<sup>(١)</sup> ، كما تقل سرعة التيار المائى أيضاً عندما يعبر النهر منطقة سهلية متسعة ذات سطح مستو أو قليل الانحدار أو عندما يقترب من مصبه عند شقة مائية بحرية أو بحيرية ضحلة وهادئة ، عندئذ يجنح إلى الإرساب مكوناً دلتا كما سوف يتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

وعادة عندما يقوم النهر بعملية الترسيب فإنه يبدأ بترسيب حمولته الخشنة أولاً تليها الأقل خشونة ثم الناعمة وهكذا ، وهذا ما يميز دائما الرواسب النهريّة جيدة التصنيف well sorted deposits سواء كانت هذه الرواسب فى قاع النهر أو على جانبيه [ السهل الفيضى وبعض الجزر والجسور الطبيعية - natural levees التى تحدد القناة المائية مباشرة ) ، أو فى منطقة المصب حيث الدالات النهريّة بأحجامها وأشكالها المختلفة والتى تتدرج رواسبها من الأخصن عند القمة Delta Apex إلى الأنعم عند قاعدة الدلتا على طول امتداد الساحل الدلتاوى .

ومن الأشكال الرسوبية كذلك المضاحل ( رواسب خشنة ) بقاع النهر وبعض الأشكال الإرسابية القاعية كالكتبان الفيضية وسفوح الانهيار المنعزلة فى جوانب الشيات المحدبة وغيرها من تلك الأشكال التى سوف تدرس تفصيلا خلال صفحات هذا الفصل .

---

(١) قد يرجع انخفاض سرعة النهر كذلك إلى تعرض جريانه لعوائق مختلفة مثل الكتل الصخرية أو السدود أو وجود تراكيب جيولوجية بارزة وسط المجرى .

## الاشكال الارضية المرتبطة بتطور الوادى النهري

عادة ما ينقسم الوادى النهري من منبعه إلى مصبه إلى ثلاث مراحل أو ثلاثة قطاعات كل منها لها ما يميزها من عمليات وأشكال أرضية .

### - القطاع الأعلى ( القطاع السيلى ) :

يتميز النهر فى هذا القطاع بشدة الانحدار وسيادة عمليات النحت الرأسى vertical erosion على طول امتداد القناة النهرية التى تنحصر داخل وادى ضيق يأخذ مقطعه العرضى شكل حرف V مع شدة انحدار الجانبين نحو قاع النهر الضيق وهو ما يعرف عند Davis, W.M. بالنهر الشاب أو النهر فى مرحلة الشباب youth stage .

### - القطاع الأوسط :

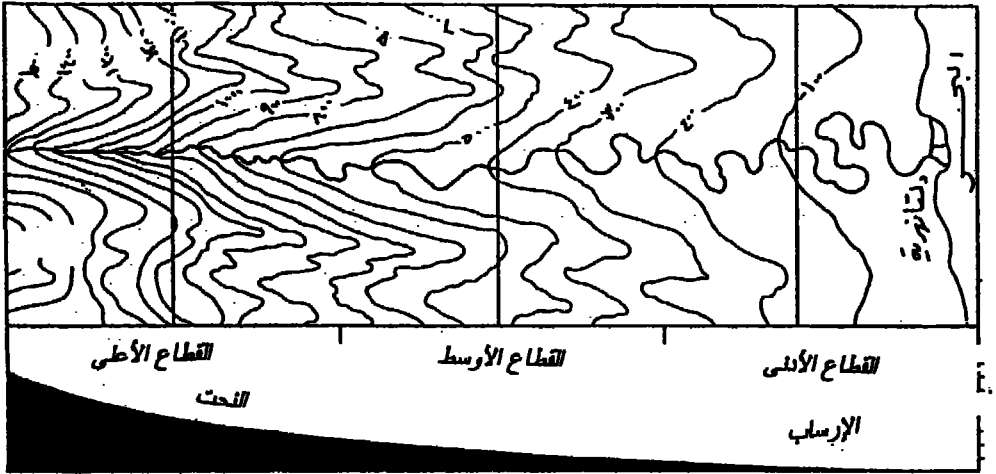
انحداره أقل من القطاع الأعلى - تزداد فعالية النحت الجانبى الذى يكون هنا أكثر وضوحاً وتأثيراً من النحت الرأسى ، يظهر هنا السهل الفيضى flood plain المتسع مع ابتعاد الحافتين وانحدارهما المعتدل نحو قناة النهر ، وهو هنا - أى النهر- يعيش مرحلة النضج تبعاً لآراء ديفز ( Davis ) .

### - القطاع الأدنى ( السهل ) :

يتميز النهر بانحداره الهين باتجاه المصب مع حدوث نوع من التوازن بين معظم عمليات النحت والإرساب ، ومع ظهور الثنيات meanders وما يرتبط بتطورها من أشكال عديدة .

ويجب أن نأخذ فى الاعتبار دائماً عند دراستنا للأودية النهرية أن المراحل السابق ذكرها ليست صارمة أو واضحة الحدود فيما بينها ولكنها عادة ما تتميز بالتداخل . شكل رقم (٤٦) .

وهناك حد أدنى للنحت والتخفيض بفعل الأنهار يعرف بمستوى القاعدة يتمثل فى مستوى سطح البحر كمستوى عام ورئيسى لمعظم الأنهار الكبرى فى



شكل رقم (٤٦)

العالم ، وقد يتدنى مستوى القاعدة base level إلى ما دون مستوى سطح البحر بكثير مثلما الحال مع البحر الميت ( ٣٩٠ متراً تحت سطح البحر ) الذي يمثل مستوى قاعدة محلي لنهر الأردن ، كما أن مستوى القاعدة المحلي local base level قد يكون أعلى منسوباً من مستوى البحر مثلما الوضع فوق الهضاب الداخلية كبحيرة فيكتوريا<sup>(١)</sup> التي تمثل مستوى قاعدة محلي لعدد كبير من الأنهار مثل الكاجيرا ، وما يعيننا مما سبق أن نعرف أن القطاع الطولي للنهر يرتبط بمستوى قاعدة معين ، وأن أي تغير نسبي في هذا المستوى سوف يعقبه تعديل في شكل هذا القطاع .

وجدير بالذكر هنا أن البحيرات الصغيرة أو مكاشف الطبقات الصلبة التي قد تظهر في مواضع مختلفة على طول مجرى النهر قد تقوم بدور مستوى القاعدة بحيث لا يمكن للنهر في هذه المواضع أن ينحت دون مستواها

(١) تبلغ مساحتها ٦٨,٨٠٠ كيلو متر مربع ويصل ارتفاعها إلى ١١٣٣ فوق مستوى سطح البحر ومتوسط عمقها ٤٠ متراً وهي بذلك ثاني بحيرة عذبة في العالم من حيث المساحة بعد بحيرة سويسريور

ورغم تركيز الدراسات الجيومورفولوجية على الدور الكبير للعمليات في تشكيل الملامح الأرضية إلا أنه نظراً لتعقيد البنية الصخرية بسبب مكوناتها الفيزيائية والكيميائية شديدة التباين وتاريخها الجيولوجى الطويل الذى أدى إلى تعقيدها البالغ - فكان لا بد أن نضع فى الحسبان دائماً أهمية عامل الزمن *time factor* عند دراستنا لأية ظاهرة أو شكل أرضى حيث إن أية عملية تتم فوق بنية صخرية سوف تنتج أشكالاً مورفولوجية متباينة فى عمرها الجيولوجى ، وقد أدرك *Davis. W.M* أواخر القرن التاسع عشر أهمية عامل الزمن فكان اقتراحه لنموذجه الذى أظهر من خلاله تطور الأشكال الأرضية فى مراحل ثلاث أطلق عليها: الشباب والنضج والشيخوخة وهى ما تكاد تطابق القطاعات النهرية فى المنبع والوسط وفى جزئه الأدنى . ويوضح الشكل رقم (٤٧) مراحل تطور الأشكال الأرضية وفقاً لدورة التعرية الديفزية *Davisian Erosion Cycle* التى رغم قدمها إلا أنها ما زالت قوية وذات تأثير كبير على الفكر الجيومورفولوجى الحديث<sup>(١)</sup> .

أولاً - مرحلة الشباب [ خصائصها وأهم الأشكال الأرضية المرتبطة بها ] :

تظهر ملامح وأشكال عديدة تميز تلك المرحلة فى المجرى الأعلى للنهر *the upper course*<sup>(٢)</sup> حيث تسود عمليات النحت والانهيارات الأرضية ، ورغم أن القنوات المائية تحتل مساحة محدودة من جملة مساحة حوض التصريف النهري - تتراوح ما بين ٢-٥٪ - إلا أن خصائص هذه القنوات وما يسودها من عمليات تعرية تنعكس بشكل كبير على ملامح التضاريس داخل الحوض النهري (صبرى والشريعى ، ص ١١٤) .

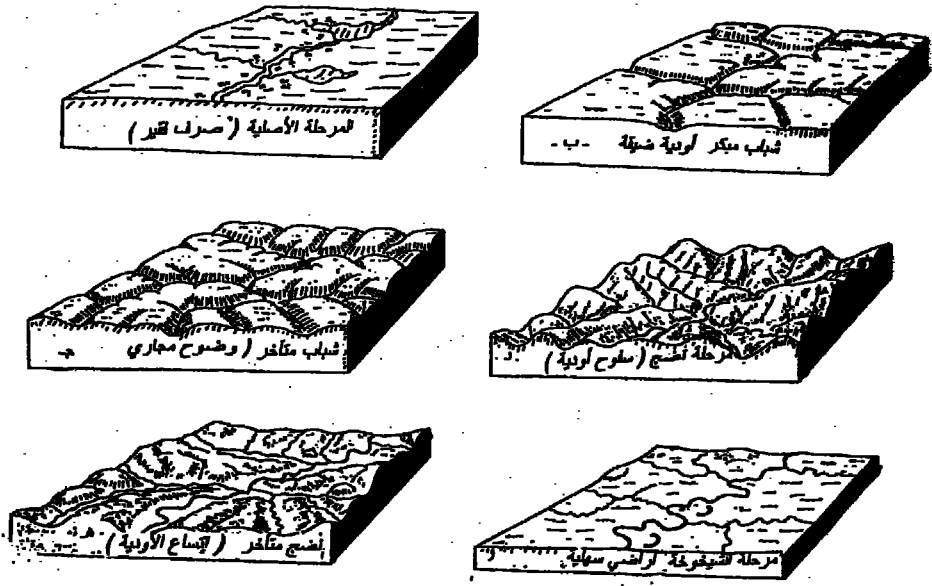
ويمكننا فيما يلى أن نوجز أهم الخصائص المميزة لهذه المرحلة من مراحل

تطور الأنهار :

---

(١) لقد هوجمت المفاهيم الديفزية للتطور الجيومورفولوجى كثيراً فى السنوات الأخيرة وخاصة فيما يختص بما ذكره عن حدوث حركات أرضية مفاجئة كونت السطح الأسمى *initial surface* الذى بدأت عليه العمليات الجيومورفولوجية وفقاً لآراء ديمر

(٢) يتميز هذا القطاع من النهر بحدوث احتكاك مباشر بين السعوح التى تحده والعمليات السالدة بالقناة المائية



شكل رقم (٤٧)

أ- يأخذ القطاع النهري (المقطع العرضي) في أغلب الأحوال شكل حرف V حيث تسود في هذه المرحلة عمليات النحت الرأسى وتتفوق بشكل كبير على عمليات النحت الجانبي lateral erosion ، ومن ثم يكاد يختفى قاع القناة المائية وإن وجد فإنه يكون ضيقاً جداً، كما تنحدر الجوانب الجانبية نحو قاع الوادى انحداراً شديداً ينعكس ذلك بوضوح على ضيق المسافات الكنتورية بين خطوط الكنتور التي تحدد المجرى وتحد من الجانبيين وكثيراً ما نجد أنها تتلاجم نتيجة لشدة الانحدار وخاصة في القطاعات الجانقية منها.



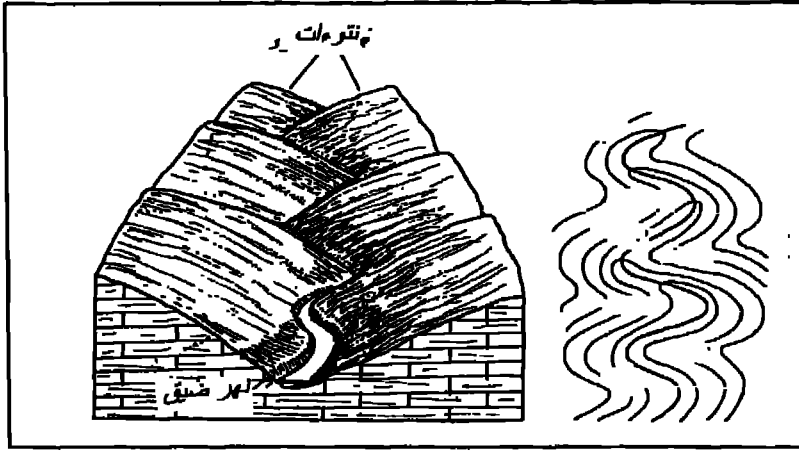
ب - يتميز القطاع الطولى للنهر بشدة انحداره، يظهر ذلك بوضوح من الخريطة الكنتورية من خلال التراجع الواضح لخطوط الكنتور نحو أعالي النهر، مع اقترابها من بعضها البعض على طول امتداد المجرى وتلاحمها فى بعض المواضع، حيث توجد نقط التجديد knick points مكونة مساقط مائية water falls (شلالات)، ويمكننا بسهولة معرفة معدل انحدار النهر هنا وذلك من خلال تحديد الطول بواسطة عجلة القياس من المنبع إلى نهاية القطاع وقسمة الفارق فى المنسوب على طول هذه المسافة، كما يمكننا إبراز شدة الانحدار من خلال عمل قطاع طولى للنهر longitudinal profile من الخريطة الكنتورية .

ج - عادة ما يخفى السهل الفيضى فى هذه المرحلة وإن وجد فإنه يكون ضيقاً للغاية أو فى شكل جيوب منعزلة isolated gaps يمكن أن تظهر فى الخريطة الكنتورية ، يرجع ذلك بطبيعة الحال إلى سيادة عمليات النحت الرأسى .

د - يظهر النهر مستقيماً فى معظم امتداده دون تعرج وإن وجدت تعرجات bendings فإنها تكون خفيفة غير واضحة وقد تكون فى شكل ثنيات متمعة in- incised meanders فى صخور الأساس (الأديم) bed rocks مما يعكس على وجود التواءات المتمعة المتداخلة والتي تطل جوانبها على النهر بانحدارات شديدة وذلك بسبب تعمق النهر فى واديه من خلال عمليات النحت الرأسى ودورانه حول الانحناء concave bank of the bend مما يؤدي فى النهاية إلى ظهور نتوءات على جانبى الوادى كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٤٨) وتبدو الجوانب المقعرة من الانحناء فى شكل جروف نهريه ، بينما يكاد النحت يخفى من الجوانب المحدبة ويسود إرساب محدود فى هذه المرحلة مكوناً للجيوب الفيضية سابقة الذكر .

هـ - تظهر كثير من العقبات فى مواضع الصخور الصلبة التى يمر بها النهر خلال جريانه وذلك فى شكل عقبات جنديلة أو فى شكل مساقط مائية يختلف الانحدار على جانبيها اختلافاً كبيراً ومن ثم تظهر - كما ذكرنا من قبل - فى شكل تلاحم كنتورين أو أكثر فى مواضع معينة من مجرى النهر .

و - تظهر أراضي ما بين الأودية interfluves areas - رغم مظاهر الشباب العادية - فى شكل أراضي منخفضة تظهر فوقها السبخات والمناقع المائية، يرجع ذلك بطبيعة الحال إلى عدم تعميق النهر لمجره بالدرجة التى تظهر ما حوله من ارتفاعات ومظاهر تضاريسية .



ز- يتميز  
النهر في  
هذه المرحلة  
بقلة عدد  
روافده  
وتباعدها  
عن بعضها  
البعض .

شكل رقم (٤٨)

وفيما يلي دراسة تفصيلية لأهم الأشكال الأرضية المرتبطة بالنحت النهري في هذه المرحلة المبكرة من مراحل تطوره .

#### - الجنادل والمسارح Cataracts and Rapids :

تظهر الجنادل حينما يشتد انحدار النهر بشكل فجائي على طول امتداد مجراه .

وتنقسم الجنادل من حيث أسبابها إلى نوعين :

**النوع الأول -** ويرجع إلى التباين في درجة صلابة الصخور rock hardness التي يقطعها المجرى النهري وتظهر هنا عندما توجد طبقة من الصخور الصلبة - التي تقاوم عمليات التعرية المائية - عبر مجرى القناة المائية بارزة فوق مستوى قاع النهر بحيث يتغير عندها الانحدار، حيث تتآكل الصخور اللينة في الجانب المواجه للمصب بمعدلات أسرع من الجانب الآخر .

**النوع الثاني -** تظهر فيه الجنادل في شكل صخور صلبة ناتئة وسط مجرى النهر وقد تظهر وسط مجرى النهر كجزيرات بارزة غالباً ما تكون من الصخور النارية . وقد تكون نشأتها الأولى عبارة عن حاجز صخري dyke أو «جدة غائرة» sill من الصخور النارية المتداخلة، مثلما الحال مع الجنادل الأول جنوب مدينة أسوان حيث تظهر في شكل جزيرات عديدة مثل الهيسا وهي البداية الجنوبية

للجندل وسلووجة وأنس الوجود وغيرها<sup>(١)</sup> من الجزر التى تتكون من صخور الجرانيت الحشن، ومن الجنادل الأخرى «ريبون» عند مخرج نيل فيكتوريا من البحيرة بأوغندا وجنادل فولا فى بحر الجبل وجنادل ساو فرانسيسكو بالبرازيل وجنادل خانق سلووجة شمال مدينة الخرطوم بـ ٦٠ كيلومتر تقريباً.

وعندما يكثُر عدد الجزر الجندلية فى موضع معين بقاع مجرى النهر فإن ذلك يؤدى إلى زيادة فى سرعة التيار المائى للنهر وتفرعه فى شكل تيارات متدفقة بين الجزيرات الصخرية ( الجنادل ) فى ظاهرة تعرف بالمسارع أو المندفعات rapids<sup>(١)</sup> كما يتضح ذلك من الصور رقم (١٥).



#### صورة رقم (١٥)

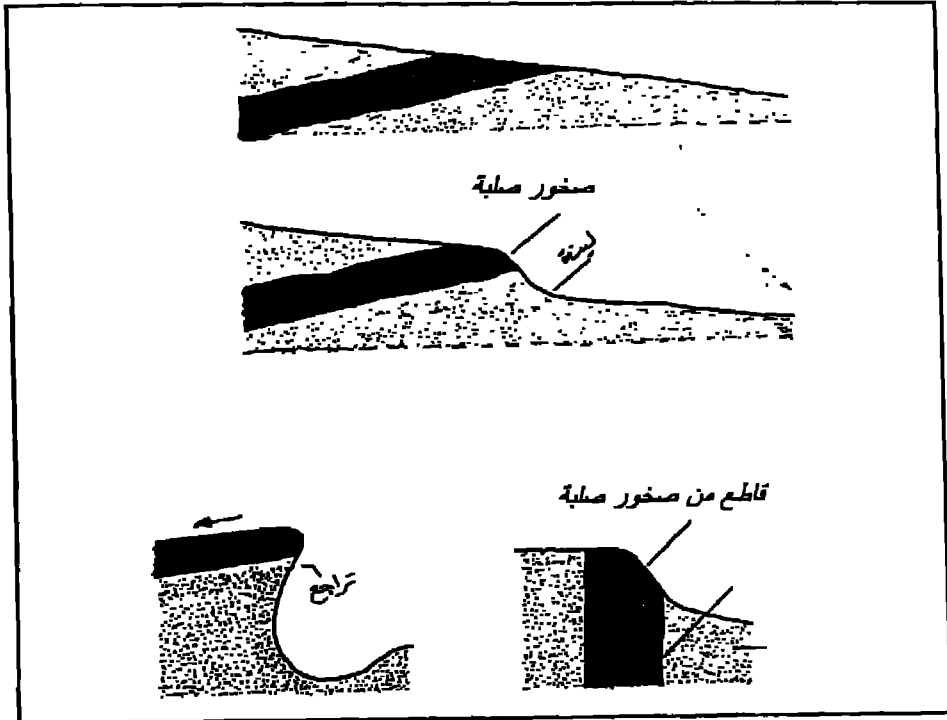
- (١) قد تم بناء خزان أسوان ( جسم السد ) فوق أربع جزر جراتينية جندلية تقسم مجرى النهر فى هذا الموضع إلى خمسة ممرات مائية .
- (٢) وقد تتكون المسارع أيضاً عندما يتحول الصخر الصلب فى مسقط المياه إلى منحدر طويل شديد الانحدار فى هذه الحالة فإن المياه تندفع فوقه وتجرى سريعة جداً وهنا يتحول المسقط المائى إلى مسرع .

## المساقط المائية ( الشلالات ) Water Falls

تمثل المساقط المائية في الواقع مواضع في مجرى النهر يشتد عندها الانحدار. وتزداد سرعة تيار الماء وتزداد بالتالي قدرته على السحت في صخور القاع وفي الصخور المكونة لإقدام الشلال حيث تسود هنا عملية النحت التراجعي (الصاعد) باتجاه أعالي النهر.

وترجع الشلالات في شأنتها إلى عدة عوامل بنائية وتكتونية أو تضاريسية يمكن إيجازها فيما يلي

١ - امتداد حواجز صخرية صلبة قد تظهر مرتكزة في وضع أفقى أو مائل قليلاً تجاه أعالي النهر فوق صخور لينة (هشة) friable ومن ثم تزداد فعالية النحت في الصخور الأخيرة بالمقارنة بنحتها للصخور الصلبة بحيث تنحدر مياه النهر فوقها في شكل مسقط مائي كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٤٩)



شكل رقم (٤٩)

وأفضل مثال على هذا النوع من المساقط المائية شلالات نياجارا على مجرى نهر سانت لورنس في قطاعه الممتد ما بين بحيرتى إيرى وأونتاريو .

٢ - إذا هبط نهر من حافة هضبة مرتفعة باتجاه أراضي سهلية منخفضة فهنا تظهر المساقط المائية مثل مجموعة المساقط المائية التى توجد على نهر زائير الذى يتحدر من هضبة مرتفعة نحو ساحل المحيط الأطلنطى ويبلغ عدد هذه المساقط المائية ٣٢ مسقطاً . كذلك شلالات أغورابى على نهر الأورنج فى هضبة جنوب إفريقيا . وفى الولايات المتحدة الأمريكية توجد أعداد كبيرة من المساقط المائية على مجارى الأودية المنحدرة بطول خط السقوط fall line الفاصل بين السفوح الشرقية للحافة الأبلاشية (بلوردج) ومنطقة البدمنت المؤدية إلى سهول الأطلنطى .

٣ - تظهر المساقط المائية فى مناطق الصدوع faults وذلك عندما يعبر النهر منطقة صدعية تتعرض مجراه فتتجه مياهه للانحدار من الرمية العلوية للصدع باتجاه الرمية السفلية ، ومن أمثلة ذلك شلالات فيكتوريا على نهر الزمبىزى ، حيث يجرى النهر فوق هضبة تقطعها مجموعة من الصدوع راجع الشكل رقم (٤٩) .

٤ - تظهر المساقط المائية أيضاً فى المناطق التى تعرضت للتعرية الجليدية - فى مرحلة سابقة ، حيث تمثل مصبات الأودية المعلقة hanging valleys (روافد الوادى الجليدى) شلالات مائية وذلك عندما ينصهر الجليد، ويرجع ذلك إلى ارتفاع مناسيب قيعان هذه الروافد بالمقارنة بقاع النهر الرئيسى (الوادى الجليدى)؛ ولذلك كثيراً ما نجد مثل هذه الأنواع من الشلالات منتشرة فى مرتفعات إسكندنافيا وجبال الألب الأوروبية وغرب كندا وشمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية .

٥ - تظهر الشلالات أحياناً فى المناطق التى تتعرض فيها الأودية النهرية لطفوح لافية تتعرض طريقها ، كما أنها قد تتسبب أيضاً عن حدوث انزلاقات أرضية .

وتوضح الصورة التالية رقم (١٦) نموذجاً لشلال دقيق على جانب وادى أبها يمكن أن تستدل منها على المجرى المائى من لون قاعه وعملية التقويض السفلية والتراجع جهة منبع هذا الراقد الصغير ( الجدول المائى ) .



صورة رقم (١٦)

شلال دقيق على جانب وادى (بها مع حدوث تراجج خلفى موضعى فى الحافة

- الحفر الوعائية Pot Holes :

تعرف أحياناً بالحفر المستديرة وهى عبارة عن حفر تتكون فى قاع القناة النهرية وعادة ما تمتلئ بالمفتتات الصخرية، وعندما يمر فوقها الماء يتشكل فى صورة

دوامات eddies تؤدي إلى تحرك المياه وما بها من حصى ومفتتات صخرية في حركات دورانية داخل الحفرة مما يؤدي إلى زيادة تعميقها واتساعها واتصال أكثر من حفرة ببعضها البعض مما يؤدي في النهاية إلى زيادة تعميق المجرى وتعد بالتالي إحدى العمليات التي يقوم بها النهر لزيادة عمقه كما ذكرنا من قبل .

وبالنسبة للنشأة الأولى للحفر الوعائية فيرى البعض بأنها تنتج عن وجود شقوق cracks وفواصل صخرية في قاع القناة النهرية يعمل اندفاع المياه داخلها وضغطها على جوانبها إلى زيادة اتساعها وتكوين دوامات دورانية للماء أكبر حجماً فيعمل بما يتسلح به من حصى ومفتتات على توسيعها بالكيفية التي ذكرناها آنفاً . وعادة ما ترتبط هذه العملية وهذا الملمح الجيومورفولوجي الغارق بزيادة طاقة النهر وقدرته على النحت الرأسى من خلال تياره الدوامى المضطرب الذى يميز مرحلة الشباب<sup>(١)</sup> (راجع شكل رقم ٤٤) .

#### - ثنيات الشباب والتواءات المتداخلة Interlocking Spurs :

عندما يزداد عمق النهر بشكل سريع نتيجة لعمليات النحت الرأسى النشط فإن النهر يتلوى ويدور حول العقبات (الصخور الصلبة) ويسود النحت على الجوانب المقعرة من الانحناءات concave side of bends ينتهى الأمر بتكون تواءات أو بروزات spurs تتعاقب على كلا جانبي المجرى فى شكل متداخل غالباً ما تظهر الجوانب المقعرة - المقوضه تقويضاً سفلياً - كجروف نهريه river cliffs ، بينما يظهر على الجانب الآخر المحذب convex الذى لا يتعرض للنحت سفوح إرسابية منخفضة تعرف بالسفوح المستقرة أو الثابتة .

#### ثانياً - الوادى النهري فى مرحلة النضج Maturity Stage :

يتميز الوادى النهري بمجموعة من الخصائص فى هذه المرحلة يمكننا تلخيصها فيما يلى :

---

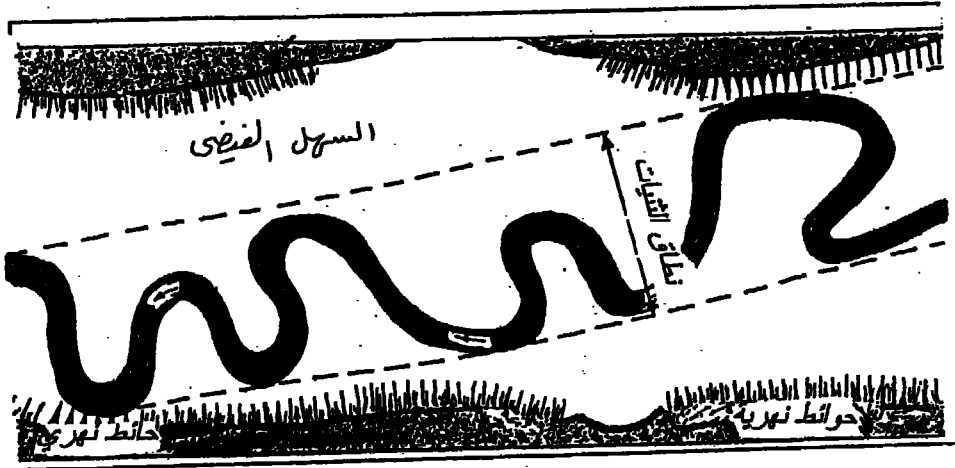
(١) أحياناً ما تظهر الحفر الوعائية فى الصخور الصلبة النارية والمتحولة مثلما الحال فى قاع نهر جيمس بولاية فرجينيا الأمريكية ، وقد سجل المؤلف كثيراً من هذه الحفر فى قاع وادى أبها بمرتفعات عسير بالسعودية . كذلك قد تظهر حفر وعائية فى مواضع الضعف ببعض الارصفة الشاطئية نتيجة للحت الموجى .

- يأخذ القطاع العرض للوادي حرف V المفتوح وذلك بسبب وضوح عمليات النحت الجانبي في هذه المرحلة من مراحل تطور النهر.

- يقل الانحدار على امتداد القطاع الطولي للنهر [الوادي والقناة المائية] كما يقل انحدار الجانبين باتجاه قاع النهر.

- تظهر الشنيات meanders بشكل واضح حيث تبدو الجوانب المقعرة في شكل حوائط نهرية ، أما الجوانب المحدبة فتكون هيئة الانحدار في شكل سفوح إرسابية متوازنة نسبياً وبعيدة عن عمليات النحر النهري.

- ينطبق نطاق الشنيات meander belt تقريباً مع حدود الوادي كما يظهر ذلك من الشكل التالي رقم (٥٠).



شكل رقم (٥٠)

- تتراجع التلوات التي تميز مرحلة الشباب وذلك بسبب نشاط النحت الجانبي المتزايد والذي يعمل على تخفيضها بحيث تبدو بقاياها في شكل خط من الحوائط على جانبي النهر تمثل البقية المتبقية من تراجع الحافات الجانبية. كما قد تجد الجسور الطبيعية جوانب القناة المائية والتي تكونت أساساً بفعل عمليات الترسيب للمواد الخشنة قرب المجرى وخاصة أثناء الفيضان (١)

(١) سوف نتاولها بالدراسة التحليلية فيما بعد



- تختفى الجنادل والمساقط المائية من مجرى النهر تماماً حيث إن النهر فى هذه المرحلة قد عمل على إزالة كل العقبات من مجراه تمهيداً للوصول إلى التوازن أو التعادل الذى تتجه إليه الأنهار بمعدلات متباينة السرعة .

- تظهر أراضي ما بين الأودية interfluves areas وترى مرتفعة فوق المنسوب العام لمنطقة الحوض النهري ويرجع ذلك إلى وضوح القنوات المائية ذاتها بفعل زيادة أثر النحت الرأسى والجانبى على طول امتداداتها بحيث تبدو أراضي ما بين الأودية فى صورة تلال أو أراضي منحدره .

- تطور شبكة كثيفة من رتب التصريف النهري داخل الحوض النهري .

- تظهر على جوانب بعض الأنهار مدرجات terraces أرضية ترتفع عن منسوب السهل الفيضى الحالى للنهر قد تكون بسبب وجود طبقات صلبة استطاعت مقاومة عمليات النحت النهري ، أو قد تكون عبارة عن سهول فيضية قديمة تركها النهر إلى منسوب أقل بسبب تغير مستوى القاعدة أو بسبب تغيرات مناخية كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد (راجع الشكل رقم ٥٠) .

### ثالثاً - النهر وواديه فى مرحلة الشيخوخة Old Stsge :

يتميز النهر فى هذه المرحلة الأخيرة من مراحل تطوره بمجموعة من الخصائص يتمثل أهمها فيما يلى :

- يتميز الوادى باتساعه بعد التراجع الواضح لحافته، كما تتسع القناة المائية وتأخذ شكل حرف U المفتوح .

- يقل انحدار القطاع الطولى للوادى مع اتساع واستواء قاع القناة المائية وتختفى منه تماماً الحفر الوعائية وعادة ما يغطى بالرواسب .

- تغطى الرواسب قاع الوادى مكونة سهلاً فيضياً واسعاً غالباً ما تكثر به المستنقعات والسبخات .

- تظهر بوضوح ظاهرة الثنيات مع كل ما يرتبط بتطورها من ملامح وأشكال أرضية مثل البحيرات المقتطعة oxbow lakes وعلامات الثنية والجزر الطينية التى تكثر بالقناة النهريه وغير ذلك الكثير .

- يرتبط بوصوح الثيات التعرج الشديد للنهر وسط سهله الفيضى المتسع وهجرته لمجره باتجاه المصب فى كثير من قطاعاته مع اختفاء العديد من واديه.

- تتميز منطقه ما بين الأودية باستوائها وانخفاضها باستثناء بقايا تحاته سد، فى شكل تلال منعزلة monadnocks كما تظهر بها السبخات والمستنقعات

- يبنى النهر فى المراحل الأخيرة من تطوره قاعه وجوانبه من خلال رواسبه حيث تظهر على جانبيه القناة المائية الجسور الطبيعية المكونة من الرواسب الخشنة بحيث يمكن تحديدها بسهولة من الخريطة الكنتورية

- غالباً ما ينتهى النهر عند مصبه بتراكمات رسوبية جيدة التصنيف فى شكل دلتا نهرية تأخذ أبعاداً وأشكالاً مختلفة مرتبطة فى ذلك بخصائص حوض التصريف النهري وطبيعة الشقة المائية التى تكونت على حسابها وخصائص العمليات البحرية السائدة وحجم الحبيبات التى تتكون منها

## أشكال تعرية تميز النهر فى مرحلتى النضج والشيخوخة

### [ معالجة تفصيلية ]

River Meanders	أ - الشيات أو المنعطفات النهرية
Flood Plain	ب - السهل الفيضى
Incised Meanders	ج - الشيات المتعمقة
River Terraces	د - المدرجات النهرية
River Deltas	هـ - الدالات النهرية

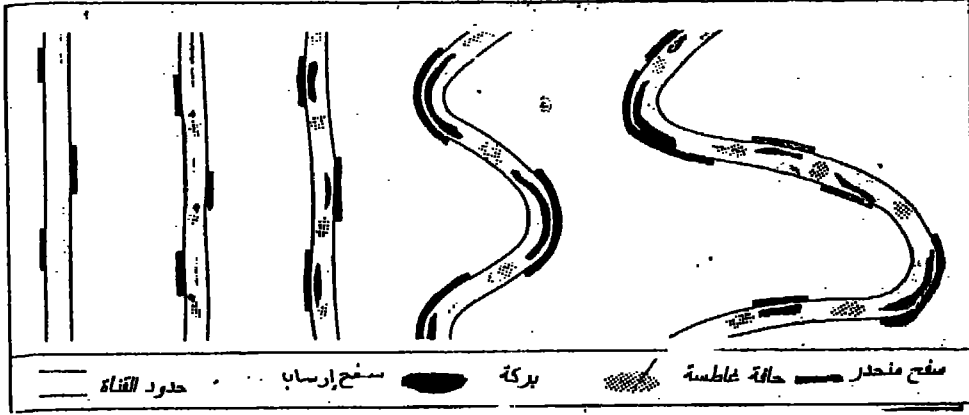
### أ - المنعطفات النهرية

تعد القناة النهرية المشنية (كثيرة الانعطاف) غمطاً من أنماط القنوات النهرية التى تميز النهر فى مرحلتى النضج والشيخوخة .

ومن المعروف أن القنوات الفيضية تتكون من مواد صخرية مفتتة بفعل عمليات التجوية والنحت وقد تتكون من مواد خشنة غير متماسكة مثل الرمل والحصى والحصى، وقد تتكون من رواسب ناعمة متماسكة مع نسبة رائدة من الصلصال والغرين، وغالباً ما تظهر القنوات النهرية المكونة من الرواسب والمواد الخشنة فى العروض العليا التى تعرضت للتعرية الجليدية *glaciation* ، بينما تظهر التكوينات الناعمة مكونة لقيعان القنوات النهرية وجوانبها فى العروض الرطبة المدارية والمعتدلة .

والواقع أن طبيعة التكوينات الصخرية من حيث الحجم ودرجة التماسك ذات أهمية كبيرة فى تحديد خصائص القناة النهرية، فعلى سبيل المثال نجد أن التكوينات الخشنة غير المتماسكة تتعرض للانهيارات بفعل التقويض السفلى للمياه بمعدل أسرع بكثير من التكوينات الناعمة المتماسكة التى تقاوم عادة عمليات الانهيارات الجانبية وتبدو فى كثير من الأحوال فى شكل حوائط رأسية قد تتعرض فقط لعمليات انزلاق وانهيار القمم (الانقلاب الصخرى) *toppling failure* فى حالة تشبعها بالمياه .

وترتبط القنوات النهرية المنعطفة meandering streams بانحدار معتدل وجوانب مكونة من رواسب ناعمة (غرين وطين) متماسكة مع تكون القاع من رواسب غير متماسكة من رمال وحصى متحركة مع تميز الجوانب بانحدارها الشديد ( Knapp. B.etal 1989,p ) وتظهر بقاع القناة النهرية حافات منخفضة riffles<sup>(١)</sup> تتكون من رواسب خشنة ترتبط عادة بقطاع القناة النهرية المستقيم والأكثر انحداراً مقارنة بالقطاعات التي تظهر بها برك ، وهذه الأخيرة تفصل بين الحافات المنخفضة سابقة الذكر وتتميز قيعانها بوجود كثبان وتموجات رملية وعادة ما تتميز هذه البرك أيضاً باقترابها من الجانب المقعر من الشية .  
ويوضح الشكل التالي رقم (٥١) الخصائص التي تميز النهر المتعرج مع مراحل تطوره من نهر مستقيم إلى نهر منعطف .



شكل رقم (٥١)

أ - المرحلة الأولى: عبارة عن قناة مستقيمة تختفي منها الحافات المنخفضة riffler والبرك pools مع وجود مضاحل غير منتظمة بالقاع.  
ب - المرحلة الثانية: تظهر بالقناة برك أولية محدودة المساحة مع حافات حصوية منخفضة تتباعد عن بعضها البعض بمسافات تتراوح ما بين ثلاث وخمس مرات قدر اتساع القناة النهرية ويتميز قاع القناة بوجود مضاحل غير منتظمة الشكل .

(١) تتباعد هذه الحافات عن بعضها البعض بمسافات تتراوح ما بين ٥ و ٧ مرات قدر اتساع القناة النهرية .

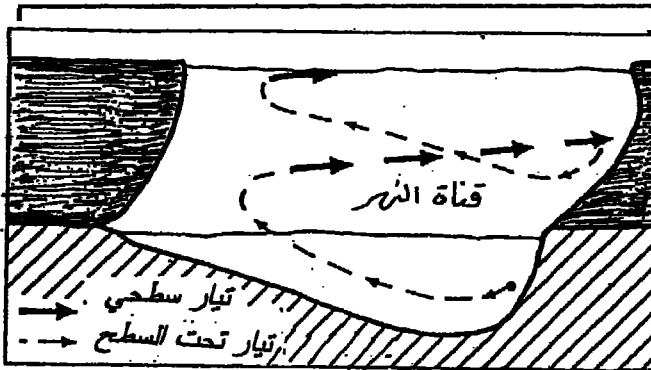
جـ - المرحلة الثالثة: تتكون فى القناة النهرية البرك والحافات الرسوبية جيدة التطور متباعدة عن بعضها البعض بمسافات تتراوح ما بين ٥ و ٧ مرات قدر اتساع القناة مع وجود مضاحل غير منتظمة.

د - المرحلة الرابعة: تطور جيد للبرك والحافات المنحدرة على مسافات تتراوح بين ٥ و ٧ مرات قدر اتساع القناة.

هـ - يظهر بقاع القناة النهرية خليط من البرك المتطورة والحافات المنحدرة مع برك وحافات أولية وتظهر هناك البرك أكثر طولاً بكثير من الحافات المنحدرة مع المضاحل غير المنتظمة.

وعودة إلى كيفية نشأة هذه الثنيات نجد أنها بشكل عام تتطور عن قناة نهرية مستقيمة، ورغم وجودها - أى الثنيات - فى كل مراحل التعرية النهرية إلا أن ما نعينه هنا هى تلك التعرجات التى يشكلها النهر من خلال عمليات النحت والإرساب التى يقوم بها داخل سهله الفيضى الذى تكون واكتمل تكونه تماماً فى مرحلتى النضج والشيخوخة.

وتتكون الثنية النهرية بداية من خلال تولد تيارات مائية دورانية تؤدى إلى النحت عندما تلتقى قرب الجانب الخارجى للثنية ، بينما تسبب الإرساب عند مواضع الافتراق بالجانب المحذب من الثنية (الجانب الداخلى) كما يظهر ذلك من الشكل (٥٢) الذى يبين الاتجاه الطبيعى للتيارات الثانوية العرضية cross currents التى تؤدى إلى تطور شكل القناة المائية وتكوين الثنيات (لاحظ التقاء التيارات عند A وتفرقها عند B).

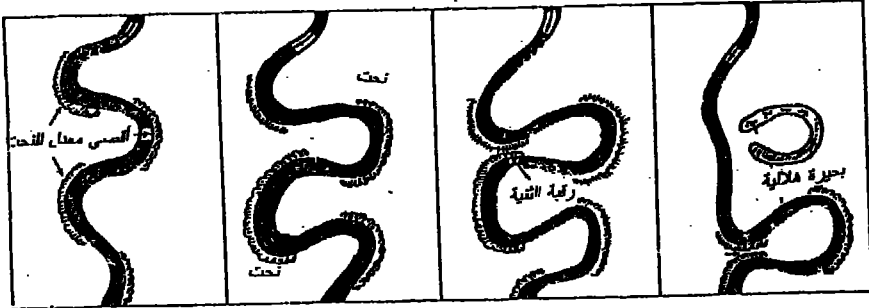


شكل رقم (٥٢)

وهكذا مع جريان المياه فى النهر تصطم تياراته بالحافة مسببة تركيزاً للطاقة ونحت الجانب الخارجى، بينما يتعرض الجانب الداخلى (المقابل) للإرساب وذلك بسبب ضعف التيارات المقترقة عنده.

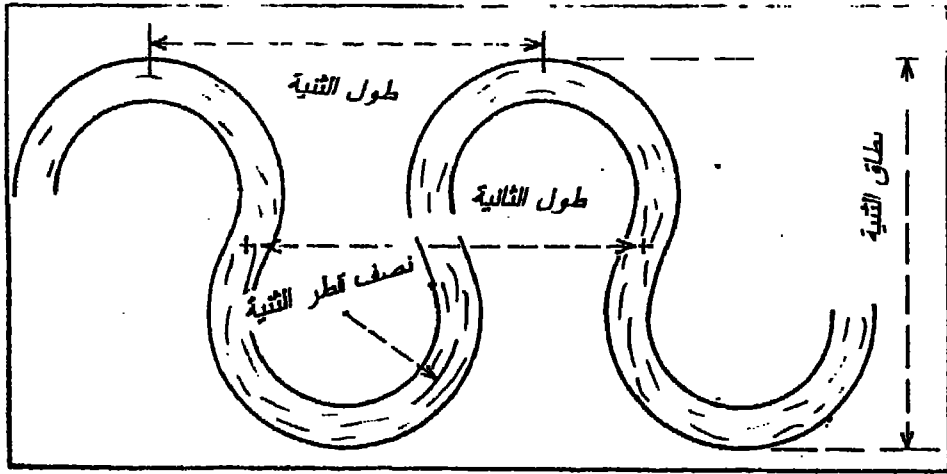
وبشكل عام فإن النهر فى تكوينه للثنيات يبدو متقدماً باتجاه المصب فى حركة حلزونية cork screw like motion (Newson. M, and Hanwell. J, P141) ومع زيادة سرعة الجريان يتم نحت الجانب الخارجى للثنية بمعدل أكبر وأسرع، بينما يتم ترسيب ما تم نحته من مفتتات على الجانب الداخلى المحذب من الثنية.

ويوضح الشكل التالى رقم (٥٣) مراحل تطور الثنيات النهرية وتكوين الأشكال المرتبطة بها وذلك من خلال النحت الجانبى الذى يؤدى إلى هجرة الثنيات باتجاه المصب ويقوم بدور كبير بالتالى فى توسيع الوادى النهري وإزالة التواءات وغيرها من العقبات بحيث يصبح النهر حرّاً فى حركته داخل سهله الفضى وإبراز العديد من الملامح الدقيقة minor features المرتبطة بتطور الثنيات مثل البحيرات الهلالية والجروف المقطوعة على الجانب الخارجى من الثنية.



شكل رقم (٥٣)

ويوضح الشكل السابق (أ) المواضع من الثنية التى تتركز فيها طاقة النهر على النحت. ويبين (ب) وضوح الثنيات مع اتساع نطاقات النحت على الجوانب الخارجية للثنيات ويوضح (ج) من الشكل السابق رقبة الثنية meander neck بعد اقتطاعها نتيجة للنحت الزائد لىتهى الأمر بـ (د) حيث تظهر البحيرة الهلالية التى تتعرض للإطماء silting up بصورة تدريجية مع ظهور رقبة ثنية أخرى إلى الجنوب منها راجع الشكل رقم (٥٤) الذى يبين بعض العناصر الهندسية للثنيات النهرية.



شكل رقم ( ٥٤ )

### ب- السهل الفيضي Flood Plain

يوضح الشكل رقم (٥٥) العلاقة بين تطور الثنيات وتكون السهل الفيضي حيث ينتج عن زيادة حجم الثنيات وهجرتها التدريجية تناقص التواءات وتحويلها في البداية إلى أشكال مسننتات cuspate forms إلى أن تختفي في نهاية الأمر مكونة السهل الفيضي الذي يجري خلاله النهر دون وجود أية عقبات تذكر (Sawyer,k.. p21)

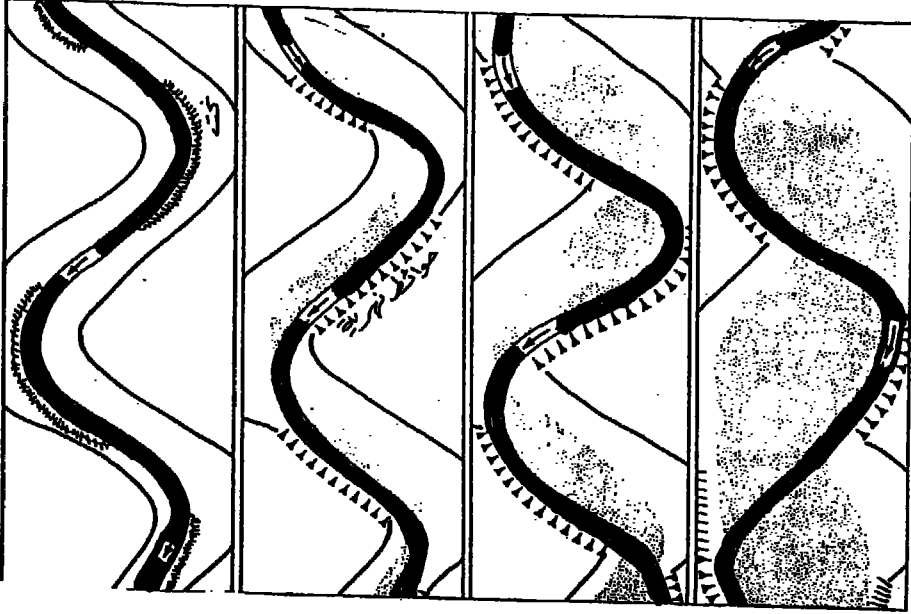
فيتضح من الشكل رقم ( ٥٥ )

أ - انحناء النهر بين تواءات متداخلة مع تركيز النحت على الجوانب الخارجية لعلامة الانحناء

ب - بداية النحت النهري في التواءات مكوناً جروفاً نهرياً مع الترسيب على الجانب الداخلي من الانحناء

ج - تبدو الانحناءات أكثر وضوحاً مع حدوث تناقص في التواءات وتحويلها إلى مسننتات وزيادة في حركة وهجرة الثنيات باتجاه المصب downstream

د - إزالة التواءات بشكل كبير، وتكون سهل فيضي مسطح مع نحت وتحميم للجروف النهري القديمة



شكل رقم (٥٥)

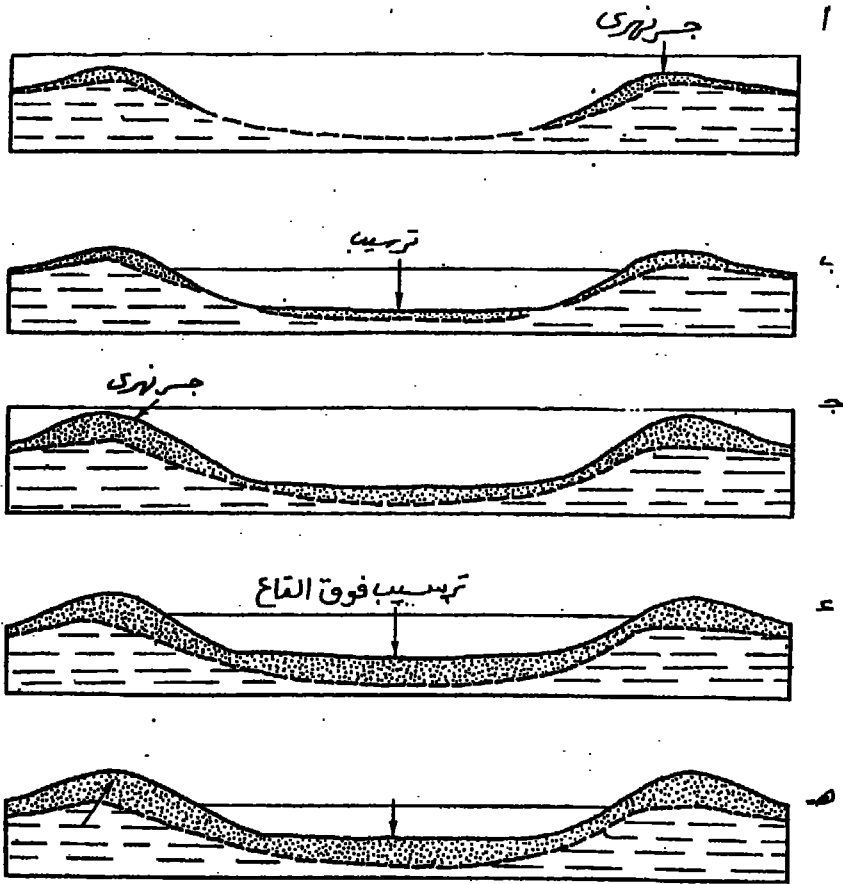
هكذا يستقبل السهل الفيضى رواسبه من خلال الهجرة المستمرة للثنيات وهذه العملية تتم فى مرحلة النضج وتستمر حتى مرحلة الشيخوخة، وعندما تطنى مياه النهر على السهل الفيضى خلال فترات حدوث الفيضان تترسب فوقه تكوينات من الغرين والطين، وتعد هذه المرحلة بمثابة المرحلة النهائية لتكوين السهل الفيضى وتستمر معها الهجرة الدائمة للمنحطقات (الثنيات) والتي عادة ما تتجه نحو المصب ومع تحركها تتكون مدرجات بالسهل الفيضى كما سوف يتضح خلال هذا الفصل.

#### الجسور الطبيعية Natural Levees :

تبدو فى شكل جوانب مرتفعة تحيط بالقناة النهرية، وقد نتجت عن عمليات ترسيب نشطة يقوم بها النهر عادة فى مرحلة الشيخوخة، ونظراً لارتفاعها قليلاً عن منسوب السهل الفيضى فإنها تقوم بعمل حماية طبيعية له وخاصة أثناء فترات الفيضانات وهى بذلك تعد ذات أهمية قصوى بالنسبة للسهول الفيضية لكثير من الأنهار الكبرى فى العالم.



ويبين الشكل التالي رقم (٥٦) كيفية تكون الجسور الطبيعية وعلاقتها برفع قاع النهر بفعل عمليات الترسيب.



شكل رقم (٥٦)

أ - يتم ترسيب نشط على طول جانبي القناة النهرية القديمة أثناء حدوث الفيضان، ومع استمرار حدوث ذلك الترسيب وخاصة المواد الخشنة قرب القناة النهرية مباشرة فإن ذلك يؤدي إلى زيادة ارتفاعها فيما يعرف بالجسور الطبيعية.

ب - في أثناء فترة الجريان العادي للنهر - فترة ما دون الفيضان - يتم الترسيب في قاع النهر ومن ثم يرتفع منسوبه - منسوب القاع -.

ج - مع فيضان النهر وارتفاع منسوبه فوق مستوى الجسور الطبيعية تنساب مياهه باتجاه السهل الفيضي على كلا الجانبين، ومع وجود روافد للنهر فإنها في

هذه الحالة يصعب عليها الالتقاء بالنهر ومن ثم تتجه للجريان فى موازاة النهر الرئيسى لبعضة كيلومترات (Bunnett, R.B, 1965, p61) تحيط به كثير من المستنقعات وتبدو منعطفة داخل السهل الفضى .

د - انتهاء الفيضان وجريان عادى للنهر يلاحظ ارتفاع قاع النهر مع زيادة عمليات الترسيب خلال الفترة الخالية من الفيضان .

### جـ. المدرجات النهرية River Terraces

المدرجات النهرية فى أغلبها بقايا لسهول فيضية سابقة لتكون السهل الفيضى الحالى للنهر، عادة ما تظهر على جانبى القناة المائية وقد تتجت أساسا بسبب حدوث تغيرات فى مستوى القاعدة - الذى لا يمكن للنهر أن ينحت إلى مستوى أقل منه - أو قد تتجت بسبب حدوث تغيرات مناخية شهدتها المنطقة التى يعجرى خلالها النهر .

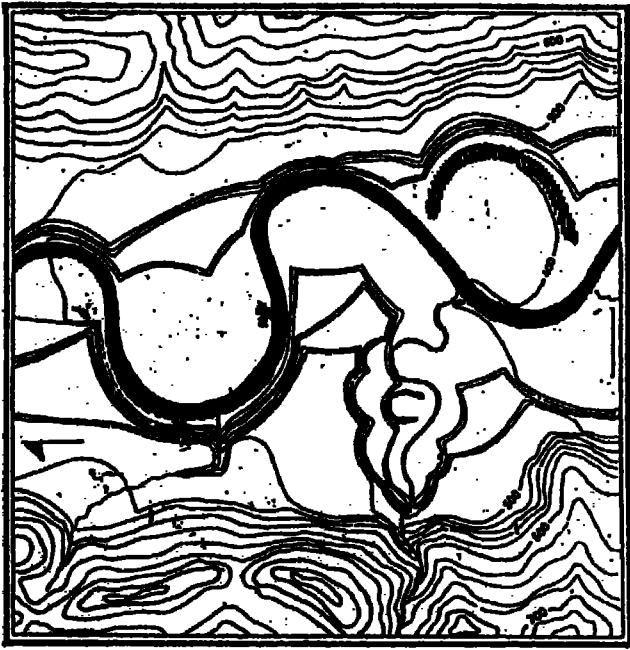
بالنسبة لما يرتبط بتغير مستوى القاعدة يتمثل فى حدوث انخفاض لمستوى القاعدة الذى يصل إليه النهر مما يؤدى إلى زيادة طاقته وقدرته على التحت وذلك بهدف الوصول إلى مستوى القاعدة الجديد تاركًا سهله الفيضى القديم فى شكل «درج» مرتفع يتناسب ارتفاعه مع معدل الانخفاض الذى تعرض له منسوب سطح ماء النهر، ومع تكرار حدوث انخفاض مستوى القاعدة - فيما يعرف بإعادة تجديد النهر rejuvenation<sup>(١)</sup> تظهر سلسلة من المدرجات النهرية الممتدة فى موازاة القناة المائية على كلا جانبيها، وعادة ما تتكون من رواسب طميية وحصوية والأخيرة تغطى سطح المدرج النهري .

ويمكننا بسهولة كبيرة تتبع خطوط الكنتور التى تحد القناة المائية للنهر داخل واديه وتحديد المدرجات النهرية ومعرفة أبعادها المختلفة ومعرفة مدى تقطعها بفعل عمليات التعرية وذلك حيث تتباعد الخطوط الكنتورية بشكل واضح فوق سطح

(١) يمكن ربط نقط التجديد knick points التى توجد فى مواضع مجرى النهر بعملية تجديد الشباب والنرى يمكن إظهارها من الخريطة الكنتورية من خلال التحام خطى كتور ببعضهما على مجرى النهر وذلك بعد مراجعة الخريطة التركيبية للمنطقة .

الدرج terrace أو المصطبة bench النهرية ، بينما تقترب من بعضها البعض عند واجهتها، وعادة ما لمجدها - خطوط الكنتور - تمتد بشكل متصل في حالة المدرجات الحديثة التي عادة ما تظهر قرب السهل الفيضي الحالى للنهر وهى بطبيعة الحال أقل منسوبًا من المدرجات الأقدم والأكثر تقطعًا بسبب طول فترة تعرضها لعمليات التعرية المختلفة .

وتبين الخريطة الكنتورية بالشكل رقم (٥٧) هجرة النهر لمجره من خلال تطور الثنيات، مع ظهور العديد من الأشكال والملامح المورفولوجية المرتبطة بذلك وأكثرها وضوحًا سلسلة المدرجات النهرية .



شكل رقم (٥٧)

هجرة النهر لمجره وتكوين المدرجات النهرية

ويمكننا من قراءة هذه الخريطة التوضيحية بالشكل السابق توضيح ما يلي:

- أن النهر يمر بمرحلة التطور الأخيرة بكل ما يميزها من خصائص وأشكال حيث يبعد خط كتور ٥٠٠ متر عن القناة المائية .

- وضوح علامات الثنية ووجود بحيرات مقتطعة بأحد

الروافد التى تلتقى بالنهر الرئيسى فى جانبه الغربى عند خط كتور ٤٠٠ متر والذي يظهر منه كذلك أن اتجاه الجريان المائى بالنهر من الشمال إلى الجنوب .

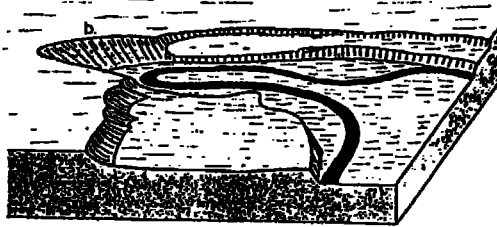
- ظهور سلسلة من المدرجات النهرية التى تدل على مراحل سابقة تكونت خلالها سهول فيضية قديمة، يلاحظ وضوح هذه المدرجات واستمرار امتدادها فى

الجانب الشرقي مقارنة  
بالجانب الغربي  
ويرجع ذلك إلى عدم  
وجود روافد تقطعها  
في هذا الجانب.



أ - إعادة شلاب مع تكوين علامة ثنية عند

وبوضوح  
الشكل رقم (٥٨)  
رسماً توضيحياً لثلاثة  
مدرجات تظهر على  
جانبي إحدى الثنيات  
النهرية وقد نتجت  
بفعل عملية إعادة  
الشباب التي تعرض  
لها الوادي النهري مع  
الانخفاضات  
المتعاقبة لمستوى  
القاعدة مما جعله  
ينحدر في سهله  
الفيضي القديم.



ب - إعادة شلاب مع تقطع للمدرج الأوسط  
وزيادة النحت بالمدرج العلوي



ج - تعرض أجزاء من المدرج المنخفض للإزالة  
وتعرض المدرجين الأوسط والأعلى للنحت

شكل رقم (٥٨)

- أولاً: إعادة شباب .  
ثانياً: إعادة شباب مع تقطع بالمدرج الأوسط مع زيادة  
النحت عند النقطة بالمدرج العلوي .  
ثالثاً: إعادة شباب تعرض فيها جزء من المدرج المنخفض  
للإزالة مع تعرض جبهات المدرج الأوسط والأعلى  
للنحت .

أما بالنسبة لدور التغيرات المناخية فى تكوين المدرجات فيظهر بوضوح فى الأنهار التى تجرى فى المناطق الجافة حيث تعد هذه المدرجات نتاج تتابع إرساب ونحت ارتبطت أساساً بتعاقب فترات الرطوبة (المطر) مع فترات الجفاف. فىرى بعض العلماء فى ذلك أن النحت يسود خلال الفترة ما بين قمة الجفاف حتى قمة المطر وتسود عمليات الإرساب خلال الفترة من قمة المطر حتى قمة الجفاف حيث ترسب الأنهار حمولتها مصنفة من الأخصن إلى الأتعم على القاع والجانبين وعندما يتغير المناخ باتجاه الرطوبة، معنى ذلك حدوث زيادة فى تصرف الأنهار مع قلة حمولتها من الرواسب<sup>(١)</sup>، ومن ثم تتجه للنحت فى القاع تعويضاً عن نقص رواسبها ومعنى ذلك تعرض مجرى النهر للتعميق فى الرواسب القديمة - التى سبق له ترسيبها مما يؤدى إلى تركه لها فى شكل مصاطب رسوية جانبية مرتفعة.

ومن أمثلة المدرجات النهرية التى تكونت بالكيفية السابقة تلك المجموعة من المدرجات التى تحد نهر النيل الأدنى فى مصر - فى أجزاء متباعدة - فى شكل بقايا مدرجات نهرية كونها نهر النيل خلال فترات متعاقبة منذ أواخر البلايوسين مرتبطة فى نشأتها بالتغيرات المناخية التى شهدتها مصر كغيرها من مناطق العروض الوسطى من بين رطوبة (مطر pluviation) وجفاف خلال البلايستوسين<sup>(٢)</sup> وربما تأثرت كذلك بتذبذب مستوى البحر المتوسط وخاصة تلك المدرجات الواقعة إلى الشمال من ثنية قنا.

وقد درس المدرجات النيلية فى مصر عدد كبير من الجيولوجيين والجغرافيين وتتراوح مناسيب هذه المدرجات بين ١١٥ متراً فى أعلاها وتسعة أمتار فى أخفضها والأول يرجع إلى أوائل البلايستوسين، بينما يرجع الأخير إلى فترة الموناستيرى المتأخر المقابل لفترة رس/ فرم ويوجد كذلك مدرج آخر أقل منسوباً يمتد على طول النيل الأدنى فى مصر فى بعض المواضع بارتفاع ثلاثة أمتار فوق مستوى السهل الفيضى الحالى، انظر الشكل رقم (٥٩) الذى يبين مدرجات نهرية سابقة لتكون السهل الفيضى الحالى للنهر .

(١) يحدث ذلك بسبب تماسك الرساب مع ازدهار النمو النباتى فى فترات الرطوبة.  
(٢) يرى حزين أن مصر شهدت فترتين مطيرتين مثيرتين أرلهما بدأت من أول البلايستوسين حتى منتصفه (ظهرت خلالها حضارة الحجرى الأسفل) والثانية بها تمتاز أن ثلاثة وحدات خلال الحجرى القديم الأرسط.



شكل رقم (٥٩)

إلى جانب المدرجات السابقة توجد أنواع من المصاطب البنائية structural benches تظهر على كلا جانبي الوادي، ويرجع تكونها إلى جريان النهر في منطقة تتعاقب فيها صخور صلبة مع صخور لينة ممتدة في وضع أفقي (صفي الدين، ص ١٨١). وقد تظهر في أحد الجوانب وتختفي في الجانب الآخر وهي تختلف عن المدرجات الفيضية سابقة الذكر والتي تكونت كما عرفنا من نحت لرواسب سبق للنهر أن رسبها بسبب ظروف مناخية أو إيوستاتية (تغير مناسيب سطح البحر لظروف مناخية وليست تكتونية).

### ٣. الشبكات المتعمقة Incised Meanders

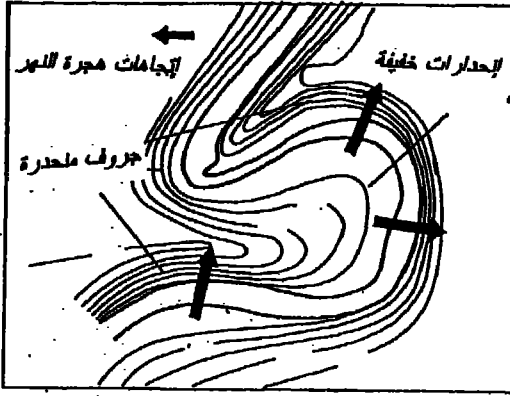
تختلف الشبكات المتعمقة من حيث نشأتها وخصائصها الجيومورفولوجية عن تلك الشبكات (المنعطفات) التي تظهر في مجرى النهر في مرحلتى النضج والشيخوخة، فهي عادة ما تظهر في قطاعات من الأودية الشابة تحيطها حافات تنحدر نحو قناة النهر بانحدارات شديدة على كلا جانبي الشبكات المتعمقة (الخارجي والداخلي) على عكس الحال مع الشبكات الفيضية، كما تعد هذه الشبكات المتعمقة ملمحاً هاماً من الملامح التي تنتج عن تعرض بعض قطاعات النهر لإعادة الشباب التي تنتج بدورها عن حركات رفع تكتونية تؤدي إلى زيادة طاقة النهر على النحت الرأسى في القناة المنحنية بحيث تتحول تلك الشبكات إلى شبكات متعمقة تماثل الانحدارات الشديدة على جانبيها لتبدو في شكل ثنية خندقية (trenched

meander ، أما إذا لم تكن الانحدارات متماثلة على كلا جانبيها فيطلق عليها في هذه الحالة ثنية غائرة ingrown meaner أو غير متماثلة .

وبين الشكل التالي (٦٠) نتوءاً أرضياً يتوغل في إحدى الثنيات المتعمقة يمكننا أن نلاحظ منه ما يلي:

- انحدار شديد على الجانب الخارجى للثنية المتعمقة حيث يكاد خط كنتور ١٠٠ متر أن يلاصق النهر من الجانب الخارجى للثنية مع انحدار التسوء انحداراً معتدلاً نحو الثنية .

- تشير الأسهم بالخريطة إلى اتجاهات هجرة النهر لمجرهه .



شكل رقم (٦٠)

### جروف منحدره تحتبطل النهر

نتتبع مراحل تكون الثنيات المتعمقة من الشكل التالي رقم (٦١) على النحو الآتى:

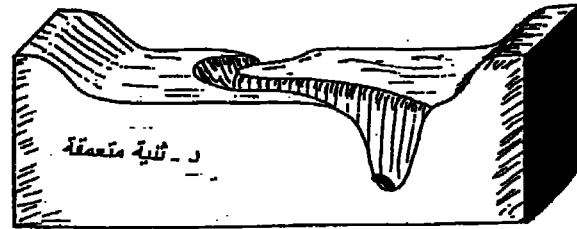
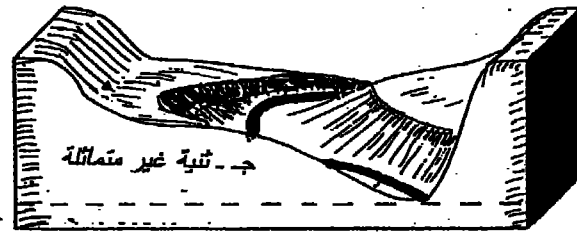
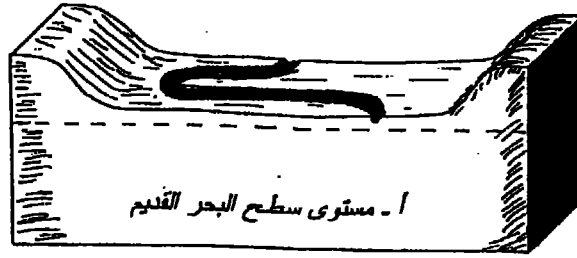
- المرحلة الأولى: النهر يتعرج داخل سهل فيضى يعلوه قليلاً .

- المرحلة الثانية: مع هبوط مستوى سطح البحر

(مستوى القاعدة) أو ارتفاع اليابس يتعرض النهر لإعادة الشباب ليبدأ فى تعميق مجراه فى وادى داخل سهلة الفيضى السابق .

- يستمر نحت النهر مع استمرار هبوط مستوى سطح البحر لتبدأ الثنية فى هذه المرحلة فى التعمق مع إزالة معظم بقايا السهل الفيضى ، يتسج عن هجرة الثنيات نحو المصب - أثناء عملية التعميق - قطاع عرضى غير متماثل<sup>(١)</sup> .

(١) وهناك عوامل كثيرة تؤدي إلى عدم انتظام القطاع العرضى للنهر تمثل إلى جانب ما ذكر فى - إذا مر النهر على طول صدع أو بالقرب منه ب- إذا شق النهر مجراه فى منطقة مكونة من صخور جيرية ج- أسباب أخرى مناخية ترتبط باتجاه جريان النهر ومدى تأثر جوانبها بأشعة الشمس وما يرتبط بها من تغير خصائص جاني النهر .



شكل رقم ( ٦١ )

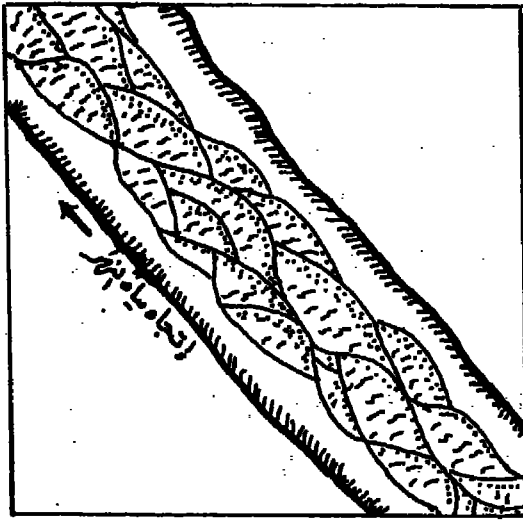


- المرحلة الثالثة: مع التعميق السريع للنهر لاتتاح الفرصة لهجرة النهر لمجره مما يؤدي إلى ظهور قطاع عرضي أكثر تماثلاً ، بينما يبقى معظم السهل الفيضي دون نحت .

### - القناة المصفرة Braided Channel :

ترتبط القنوات المصفرة بالأنهار المنحدرة التي تنقل رواسب خشنة ، غير متماسكة ، تتميز جوانبها بقلّة انحدارها باتجاه القاع وتكثر بمجاريها الجزر التي كثيراً ما تتعرض لإعادة التشكيل وأحياناً للإزالة وخاصة مع حدوث فيضانات شديدة شكل رقم (٦٢) .

وفي كثير من الأحوال تتكون فوق قاع المجرى - غير الثابت - كسبان رملية صغيرة متحركة مع حمولة القاع bed load وعادة ما تتعرض القنوات المصفرة لفيضانات متكررة تكون قادرة على تدمير وإعادة تشكيل المواد الصخرية المكونة للجزر التي تكثر بها، وينتج عن هذه العملية أيضاً توسيع للقناة بدرجة تمكنها من استيعاب مياه الفيضانات لتضييق ثانية (مع إعادة تكون الجزر بها) مع تراجع الفيضان وهي بالتالي تظل في حالة اضطراب دائم .



شكل رقم (٦٢)

ففي أثناء الفترة الخالية من الفيضان المدمر تتعرض القناة لتراكم المواد الدقيقة فوق التكوينات الخشنة المكونة للجزر مما يؤدي إلى نمو النباتات فوقها والتي بدورها تعمل على تماسك الرواسب وتعمل بالتالي على تثبيت الجزر وعدم تغير أبعادها كثيراً عند تعرضها للفيضانات (knapp, B.etal, p 202) .

وعموماً ، يختلف هذا النمط عن القنوات النهرية المستقيمة التي عادة ما ترتبط بانحدارات هينة تتكون جوانبها من رواسب دقيقة متماسكة فيما بينها تتكون قيعانها من رواسب رملية غير متماسكة كما أنها تختلف عن القنوات المتنتية والتي ذكرت بالتفصيل من قبل .

### هـ- الدالات النهرية River Deltas (\*)

تتكون الدلتا النهرية عندما تنقص سرعة النهر وتنقص بالتالي قدرته على حمل رواسبه وذلك عند دخوله بحيرة أو بحر، حيث تتجمع الرواسب النهرية في معظم الأحوال في شكل سهل رسوبي منخفض تكثر فوقه المستنقعات يطلق عليه السهل الدلتاوي deltaic plain ، ونتيجة لحدوث عمليات الترسب عند المصب يتفرع النهر إلى فروع أو قنوات تتفرع بدورها إلى قنوات ثانوية يطلق عليها جميعاً الأفرع الدلتاوية distributaries تشكل نتيجة لتكون الحواجز الرملية sand bars وتشكيلها لبحيرات طولية (لاجونات) تملئ تدريجياً بالرواسب لتتحول إلى سبخات، كما تتكون ألسنة رملية spits وبروزات أرضية وغيرها من الملامح المورفولوجية المميزة للسواحل الدلتاوية.

الظروف والعوامل المؤثرة في تكون الدالات النهرية:

تتمثل العوامل التي تؤثر في تكوين الدالات فيما يلي:

#### أ- الخصائص الطبيعية للظهير الدلتاوي Delta Hinter Land وحوض التصريف النهري :

تتمثل العوامل المرتبطة بحوض التصريف النهري في التضاريس والخصائص الليثولوجية والتركيبية للصخور وظروف المناخ والحركات التكتونية وكلها تعمل على تحديد النظام المائي للنهر وخصائص الرواسب التي تمثل مادة البناء. فكلما كانت حمولة النهر من الرواسب كبيرة فيعنى ذلك أن طاقة النهر زائدة في قطاعه الأعلى upper section مما يعنى أيضاً أن النحت يسود في هذا القطاع، بينما يحدث نوع من السرعة النسبية في عمليات الترسب بالقطاع الأدنى lower section ومن ثم

(\*) تعرف الدلتا بأنها عبارة عن تكوينات فيضية ترسبت عند مصب النهر تقطعها القنوات المائية وقد اشتق اسمها من حرف Δ (الدال) اليوناني.

تصل كميات معقولة من الرواسب إلى المصب ؛ وذلك لأن النهر سريع الجريان في قطاعه الأدنى يؤدي إلى نقل الرواسب إلى مسافات بعيدة داخل البحر مما يقلل من فرصة تكون الدلتا .

وكلما قلت البحيرات على القطاع الطولى للنهر فإن ذلك معناه ببساطة زيادة فى كمية الرواسب القادمة إلى المصب والتي كان يمكن لمثل تلك البحيرات أن تمثل مجالات موضعية لترسيبها ووصول المياه إلى المصب خالية تقريباً من الرواسب .

ومن العوامل الأخرى المؤثرة فى تكون الدلتا والمرتبطة بحوض النهر تلك الظروف المناخية السائدة فى الجزء الأدنى من حوض النهر ، فإذا ما كان المناخ رطباً (غزير المطر) أدى ذلك إلى زيادة تصرف النهر وبالتالي زيادة قدرته على حمل ونقل الرواسب بأحجامها المختلفة إلى جانب أن المناخ المطير يعطى فرصة لوجود عدد من الروافد التى تلتقى بالنهر الرئيسى قادمة إليه بما تحمله من رواسب ومياه مثلما الحال فى حوض نهر الميسيسيبى وحوض نهر الفولجا والراين وغيرها ، بينما فى حالة نهر النيل نجد أنه يشق خلال قطاعه الأدنى مسافات طويلة داخل نطاق صحراوى جاف لا يلتقى به أى رافد باستثناء الأودية الصحراوية الجافة التى نادراً ما تحمل إليه مياهها أو رواسبها ، وقد انعكس ذلك بوضوح فى قلة الرواسب القادمة إلى دلتاه والتى كان يمكن أن تكون أكبر كثيراً من مساحتها الحالية التى لا تزيد كثيراً عن ٢٢ ألف كيلومتر مربع . لو لم تكن الظروف المناخية فى مصر بمثل هذا الحفاف والحرارة المرتفعة ولم يكن انحدار النهر بمثل هذا البطء الشديد (١ : ١٠٠٠٠ داخل الأراضى المصرية)<sup>(١)</sup> .

#### ب - عوامل مرتبطة بالشقة المائية عند المصب :

تمثل العوامل التى ترتبط بخصائص البحيرات والبحار التى ينتهى إليها النهر ، فى طبيعة الساحل من حيث درجة انحداره ، فكلما كان الانحدار هيناً ساعد ذلك على نمو الدلتا وخاصة فى مراحل نشأتها الأولى ، مهما كانت الرواسب

(١) لن نتحدث هنا عن الأثر السلبي للسد العالى على تكون الدلتا وعموماً ، فله موضع آخر فى هذا الكتاب

القادمة كبيرة في حجمها فإنها لا يمكن أن تتشكل في صورة دلتا على سواحل منحدره، وخاصة مع وجود تيارات شاطئية سريعة وأمواج عنيفة مدمرة مثلما الحال مع الساحل الصدعى على المحيط الأطلنطى الذى ينتهى عنده نهر زائير والذى لم يتمكن رغم ضخامة الرواسب التى تصل إلى مصبه من تكوين دلتا واقتصر دوره فى تكوين مصب خليجى estuary يشبه فى ذلك مصب نهر الأمارون.

ويتمثل دور البحر فى تكوين الدلتا فى كون مياهه المالحة تعمل على تلبد flacculate الجزيات الدقيقة من الرواسب مما يزيد من وزنها وسرعة ترسيبها واستقرارها فى مواضع الترسيب.

ووفقاً لما ذكره Holmes فإن الكثافة النسبية specific density مياه البحر والنهر (بسبب الاختلاف فى الحرارة والملوحة salinity) ذات أثر كبير فى تحديد أنماط الدالات وأشكالها، فإذا ما كانت مياه النهر أقل كثافة من مياه البحر أو البحيرة فإنها فى هذه الحالة سوف تتدفق لمسافات بعيدة نسبياً طافية فوق مياه البحر، بينما تكون فى نفس الوقت محدودة فى انتشارها الجانبى وذلك بسبب قلة السرعة على هوامش التيار المائى مما يؤدي إلى حدوث ترسيب فى شكل تراكمات جانبية lateral accumulation ومن ثم تزداد ارتفاعاً لتحدد الجريان المائى فى شكل قنوات واضحة المعالم، ومع زيادة ارتفاع هذه القنوات بشكل دورى تتشكل قنوات جديدة مكونة دلتا من النمط الإصبعى مثل دلتا الميسيبى التى تتميز مياهها بكثافتها النسبية الأقل ورواسبها الدقيقة.

أما إذا ما كانت مياه النهر أكبر كثافة من مياه البحر أو البحيرة - ربما بسبب حملتها الزائدة من الرواسب العالقة - فإنها قد تغوص تحت المياه السطحية متحركة فى شكل تيار عكر turbidity current يؤدي بالرواسب الدقيقة إلى مسافات بعيدة، بينما ترسب المواد الخشنة فى موضع قريب من خط الشاطئ، وهذا النوع من الدالات يكون أكثر انتشاراً من النمط السابق ومنه دلتا نهر الرون ودلتا نهر النيل وفيها تكاد تتساوى الكثافة النسبية لمياه البحر ومياه النهر.

كذلك يظهر أثر البحر فيما تقوم به التيارات الشاطئية longshore drift وحركة الإزاحة على طول الشاطئ من تحريك للرواسب على طول خط الشاطئ

مكونة الحواجز الرملية والتي تعمل الرياح على تراكمها وتشكيلها في كثبان رملية مرتفعة تحمي الدلتا وتساعد في نموها تجاه البحر على حساب الشقة الضحلة. ومن العوامل الأخرى المؤثرة ما تتعرض له الأراضي الدلتاوية من هبوط نتيجة لثقل الرواسب، فإذا ما كان معدل الهبوط سريعاً يقل بالتبعية نمو الدلتا باتجاه البحر، ويمكننا حساب هبوط downwarping القشرة الأرضية ببعض الدالات التي تتعرض لها من خلال قياس سمك الرواسب الموجودة والتي تصل في بعضها إلى أكثر من ٣٠٠ متر.

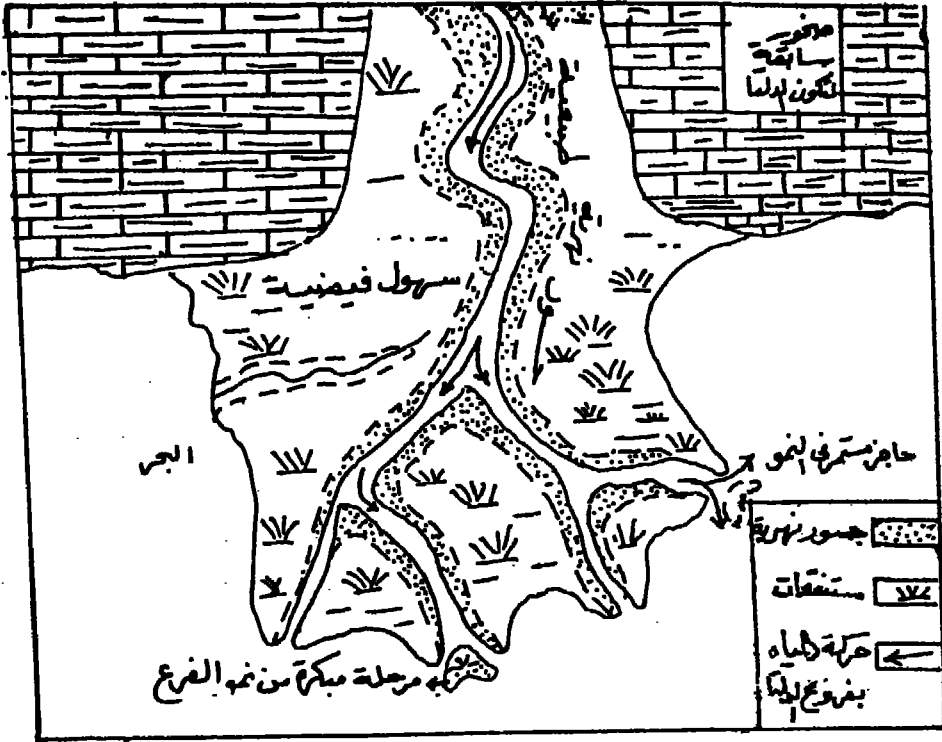
بالنسبة للدالات البحرية lacustrine deltas التي تتكون على سواحل بحيرات داخلية فإنها تتشابه في معظم الملامح العامة مع الدالات البحرية marine deltas ، وإن اختلفت عنها في اختفاء فعل الأمواج ، إلى جانب أن مياه البحيرات العذبة لا تعمل على «تلبد» الرواسب الدقيقة مما يؤدي إلى قلة سمك الرواسب الدلتاوية التي تنشأ على سواحلها. كذلك فإن مياه النهر المحملة بالطين والطين تكون ذات كثافة أكبر من مياه البحيرة العذبة الصافية في أغلب الأحوال، ومن ثم يغوص التيار النهري المسدفع نحو القاع متحركاً لمسافات بعيدة كتيار عكر حاملاً معه مفتاته الدقيقة ليرسبها على مسافات بعيدة عن الشاطئ - على قاع البحيرة - ومن ثم نجد أن الدالات البحرية غالباً ما تمتد لمسافات بعيدة عن الشاطئ مع قلة انحدار سطحها بشكل واضح (Sawyer, K.E., P28).

ومن أمثلة هذه الدالات دلتا نهر الفولجا على الساحل الشمالي لبحر قزوين الداخلي حيث تنمو بمعدل سريع تساعدها في ذلك مجموعة من الظروف والعوامل الطبيعية السائدة.

### مراحل تكون الدالات النهرية :

- تترسب معظم المواد الخشنة أولاً في شكل طبقات متتابعة فيما يسمى بطبقات الواجهة forset beds في جبهة الدلتا ، بينما تتجه التكوينات الدقيقة للتعلق في الماء فترة ثم ترسب أمام الرواسب السابقة باتجاه البحر فيما يعرف بطبقات القاع ومع مرور الزمن تغطي هذه التكوينات الأخيرة برواسب الواجهة التي تنحدر انحداراً هيناً نحو البحر وتكثر بها التكوينات العضوية البحرية وتغطي هذه

التكوينات برواسب نهريّة دقيقة تسمى طبقات القمة topset beds وهي التي يطلق عليها السهل الدلتاوى شكل رقم (٦٣).

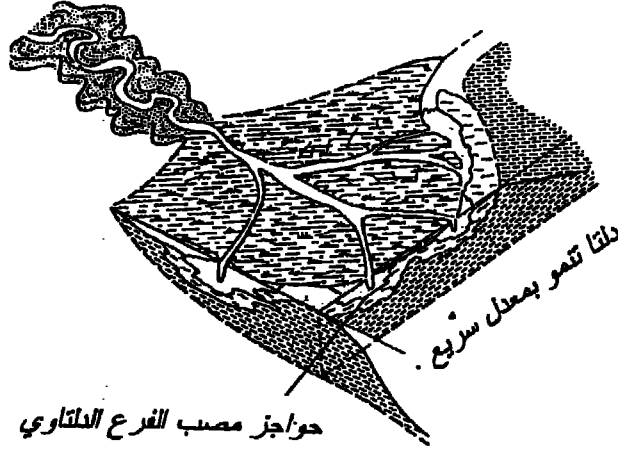


شكل رقم (٦٣)

- ينقسم النهر بعد عملية الترسيب عند المصب إلى عدد من الفروع، مع ظهور السنة وحواجز رملية تؤدي إلى تكون بحيرات طولية lagoons، وتتميز فروع النهر وقنواته المائية بتكون جسور طبيعية على جوانبها.

- تبدأ البحيرات الطولية في الامتلاء بالرواسب لتتحول إلى مستنقعات وتبدأ الدلتا في هذه المرحلة أكثر تماسكاً واستقراراً وخاصة مع ازدهار النمو النباتي في الجزء الأقدم من الدلتا (قرب رأسها) وارتفاعه التدريجي البطيء.

-تختفى المستنقعات نتيجة للظروف السابقة بشكل تدريجي مع تحولها إلى أرض يابسة كامتداد دلتاى تجاه البحر<sup>(١)</sup>. راجع الشكل رقم (٦٤).



شكل رقم (٦٤)

### معدلات نمو الدالات النهرية :

كما عرفنا فإن الدلتا فى حقيقتها عبارة عن امتداد متسع للسهل الفيضى للنهر عند مصبه، وهذا النمو للرواسب الفيضية يختلف من منطقة إلى أخرى أو بمعنى آخر أن معدل نمو الدالات يختلف من دلتا إلى أخرى ويرجع ذلك بطبيعة الحال إلى اختلاف العوامل التى تساعد على تكونها ونموها من منطقة إلى أخرى والتي ذكرناها فى الصفحات السابقة.

فعلى سبيل المثال نجد أن المعدل السنوى لنمو دلتا الميسيبى على حساب خليج المكسيك يبلغ ٧٥ متراً ومعدل نمو دلتا نهر «البو» على حساب البحرالأدرياتي

(١) يجب أن نعرف أن الرواسب الفيضية fluvial deposits قد لا تأخذ المظهر الدلتاوى قرب المصب بل تظهر فى شكل سهول رسوية متشرة مثل سهل الصين الشمالى الذى يعد سهلاً دلتاواى لنهر هوانجهو وكذلك سهول دجلة والفرات.

أكثر من ١٤ متراً في السنة ويصل المعدل السنوى أقصاه فى دلتا نهر الفولجا التى تتقدم باتجاه بحر قزوين جنوباً أكثر من ٣٠٠ متر فى السنة ويرجع ذلك إلى هدوء مياه بحر قزوين ( باعتباراه بحيرة داخلية ) وبرودة المناخ ورطوبته بحوض نهر الفولجا . وقد كانت دلتا نهر النيل تتقدم سنوياً على طول امتداد قاعدتها نحو أربعة أمتار ولكن بعد بناء السد العالى وحجز أغلب حمولة النيل من الرواسب لم يعد يصلها شىء يذكر من الرواسب وأصبحت تتعرض للتآكل وتراجع خط الشاطئ فى مواضع مختلفة سوف نذكرها تفصيلاً فى الفصل الأخير من هذا الكتاب .

### أنواع الدالات النهرية :

توجد أشكال متعددة من الدالات النهرية يمكننا هنا أن نشير إلى الأنواع الثلاثة الرئيسية منها على النحو التالى :

#### - الدالات المروحية Arcuate Deltas :

وهى أكثر الأنواع شيوعاً وانتشاراً وتتكون رواسبها من مواد خشنة من الرمال والحصى وعادة ما تأخذ شكل حرف الدال اليونانى ∇ (مثلث مقلوب) وتكثر بها الفروع ومن هذه الدالات دلتا نهر النيل فى مصر ، ودلتا نهر الكانج ، ودلتا نهر السند ، ودلتا إيراوادي فى بورما ، ودلتا الميكونج فى فيتنام ، والراين فى هولندا راجع الشكل رقم (٦٥) .

#### - الدلتا الإصبعية Digitated Delta :

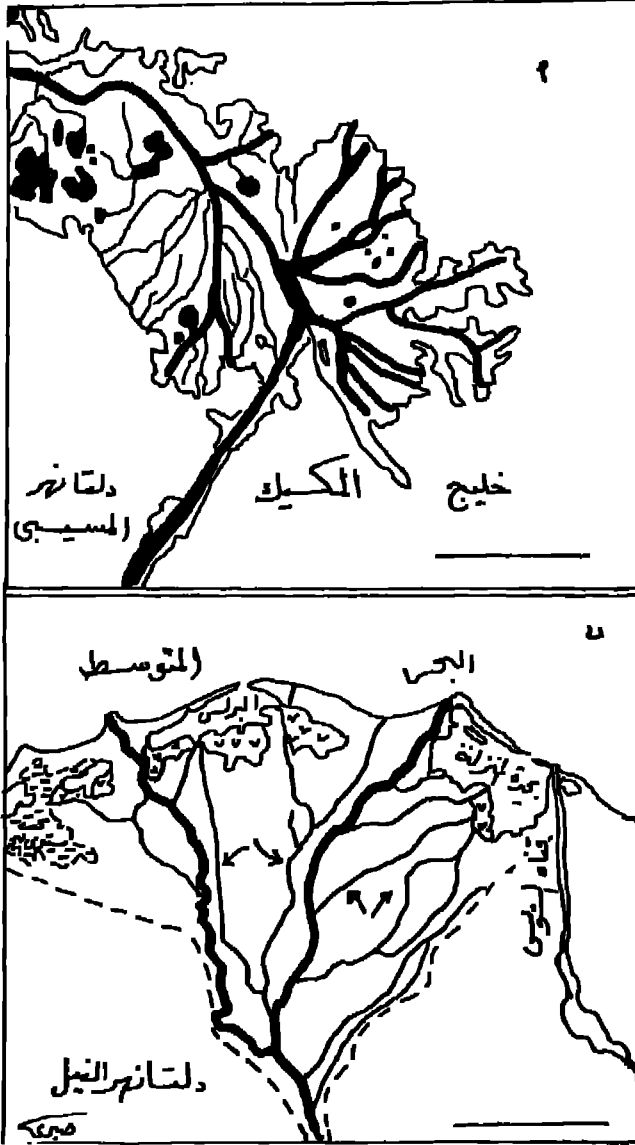
يتكون هذا النوع من الدالات من رواسب شديدة النعومة يتفرع النهر خلالها إلى أفرع قليلة محددة الجوانب تتميز بقلّة تعرجها بسبب شدة تماسك الرواسب الناعمة (عادة من غرين وطين) . وتعد دلتا نهر الميسيبى مثالا جيداً لهذا النوع من الدالات الإصبعية ، وكذلك دلتا نهر فادار التى يجرى خلالها فرعان رئيسيان تحدهما جسور طبيعية واضحة تعمل على حماية الدلتا من الفيضانات (راجع الشكل السابق رقم ٦٥) .



- دالات المصببات

الخليجية Estuarine  
: Deltas

تظهر هذه الدالات عند مصبات الأنهار المغمورة-submerged (١) في شكل خليجي مثلما الحال في أنهار الألب في ألمانيا والأوب في روسيا والفيستولا في بولندا ودلتا نهر ساسكوينا في الولايات المتحدة الأمريكية ، ومصب نهر الأمازون في البرازيل وأنهار السين واللوار والجارون في فرنسا.



شكل رقم (٦٥)

(١) عادة ما تكون التيارات المستولة عن توزيع الرواسب قادمة من كل من النهر والبحر فيمسود التيار النهري المحمل بالرواسب أثناء الجزر، وفي حالة المد تسود التيارات البحرية التي تؤثر في توزيع الرواسب وعادة ما تتميز هذه الرواسب بنعومتها، وقد تشكل أحيانا في صورة جزر.

## المراوح الفيضية Alluvial Fans

### ( كشكل رسوبي للاودية السيلية الجبلية )

تعد المراوح الفيضية من الأشكال الرسوبية واسعة الانتشار فى المناطق الجافة وشبه الجافة، وتتكون هذه الظاهرة عندما تتدفق المياه السيلية الغزيرة من المناطق الجبلية شديدة الانحدار باتجاه السهول المنخفضة الملاصقة لأقدام الجبال .

وتختلف المراوح الفيضية المنفصلة - عن بعضها البعض - كثيراً فى أبعادها ولكنها عادة ما تأخذ الشكل المخروطى مع ظهور القمم apexes قرب الجبهة الجبلية . ويتم الترسيب على المراوح الفيضية مع حدوث تغيرات فى طبيعة الجريان المائى بعد أن يترك القنوات الرئيسية المغذية من النطاق الجبلى ، حيث تتسع القنوات المائية وتقل سرعة جريان المياه بها ، وغالباً ما تفقد المياه بالتبخر أو التشرب فى رواسب المروحة مما يؤدي إلى حدوث الترسيب حيث تكون سرعة الجريان غير كافية لحمل الرواسب الخشنة ، ومن ثم ترسب فوق سطح المروحة وحول جوانبها مما يساعد على زيادة حجمها ، ومع استمرار تشرب المياه فى رواسبها يزداد معدل الترسيب فوقها .

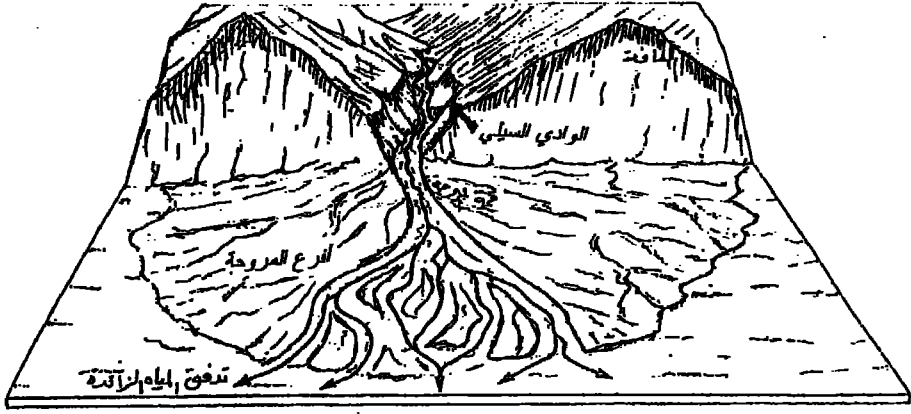
ومع تكرار تدفق المياه السيلية باتجاه المروحة يزداد انحدار سطحها وتشكل فوق سطحها قنوات مائية عادة ما تتميز بعدم استقرارها<sup>(١)</sup> وخاصة مع زيادة اتساعها وقلة عمقها بالاتجاه نحو أقدم المروحة وغالباً ما تكون هذه المجارى من نوع القنوات المصفرة braided channels .

وعادة ما تتميز المروحة الناضجة بوجود قناة عميقة قرب الجبهة الجبلية تنفرع بعد ذلك إلى الفروع والقنوات سابقة الذكر والتي تتميز بتغير مواضعها - عدم استقرارها - فوق سطح المروحة من وقت إلى آخر وخاصة عندما تنسد القناة الرئيسية بالمفتتات (شكل رقم ٦٦) .

وتتجه المياه الزائدة من المروحة الفيضية نحو السهل المنخفض لتتشرب فى الرواسب ، وفى بعض الحالات قد تنساب نحو مركز حوض جبلى منخفض مكونة بحيرة مؤقتة تعرف ببحيرة البلايا playa lake<sup>(٢)</sup> (المؤلف ١٩٩٦ ، ص ٣٤) .

(١) تتميز الرواسب التى تمتد خلالها هذه القنوات بخشونتها وعدم تماسكها وقد ساعد ذلك على سرعة إعادة تشكيل هذه القنوات بشكل مستمر أثناء تدفق السيول .

(٢) توجد أشكال مختلفة من البلايا تعتمد فى خصائصها على أصل البحيرة المكونة لها هل هى نتاج جريان سطحي أم نتيجة لارتفاع منسوب المياه الأرضية فإذا ما كانت نتاج رفع منسوب المياه الأرضية فعادة ما تكون مشبعة بالأملاح بحيث تترك قشرة ملحية سمكية بعد تبخر مياهها .



شكل رقم (٦٦)

وعندما توجد مجموعة متجاورة من المراوح الفيضية فيؤدى نموها وانتشار رواسبها انتشاراً جانبياً إلى التحامها ببعضها البعض مكونة سهولا فيضية تعرف بسهول البدمنت pediment أو بالسهول الهرمية .

وتوجد ظاهرة المراوح الفيضية والمخاريط cones فى مناطق كثيرة بصحراء مصر الشرقية وشبه جزيرة سيناء حيث تظهر عند نهايات الأودية (الروافد الثانوية) فى مواضع التقائها بالأودية الرئيسية مثل تلك المراوح والمخاريط النموذجية التى تظهر بوضوح على طول جانبي المجرى الأدنى من وادى دهب بسيناء .

كما أن الكثير من الأودية الحافة بصحراء مصر الشرقية المتجهة إلى النيل تنتهى بمراوح فيضية بعد اجتيازها الحافة باتجاه السهل الفيضى حيث يقل الانحدار بشكل سريع عند هوامشه الشرقية، ومن أمثلة هذه المراوح تلك المروحة الفيضية التى تكونت أمام مصب وادى الهيزة فى حوض الصف، كما ينتهى وادى البستان عند حوض الشيخ حسن بمروحة فيضية واضحة فى مواجهة مدينة «مطاي» .

وما دنا فى ذكر المراوح الفيضية فيجدلر بنا أن نعرض بإيجاز خصائص المجرى السيلي الذى عادة ما ينتهى بالمروحة أو المخروط الفيضى ويتميز المجرى



## أنماط التصريف النهري

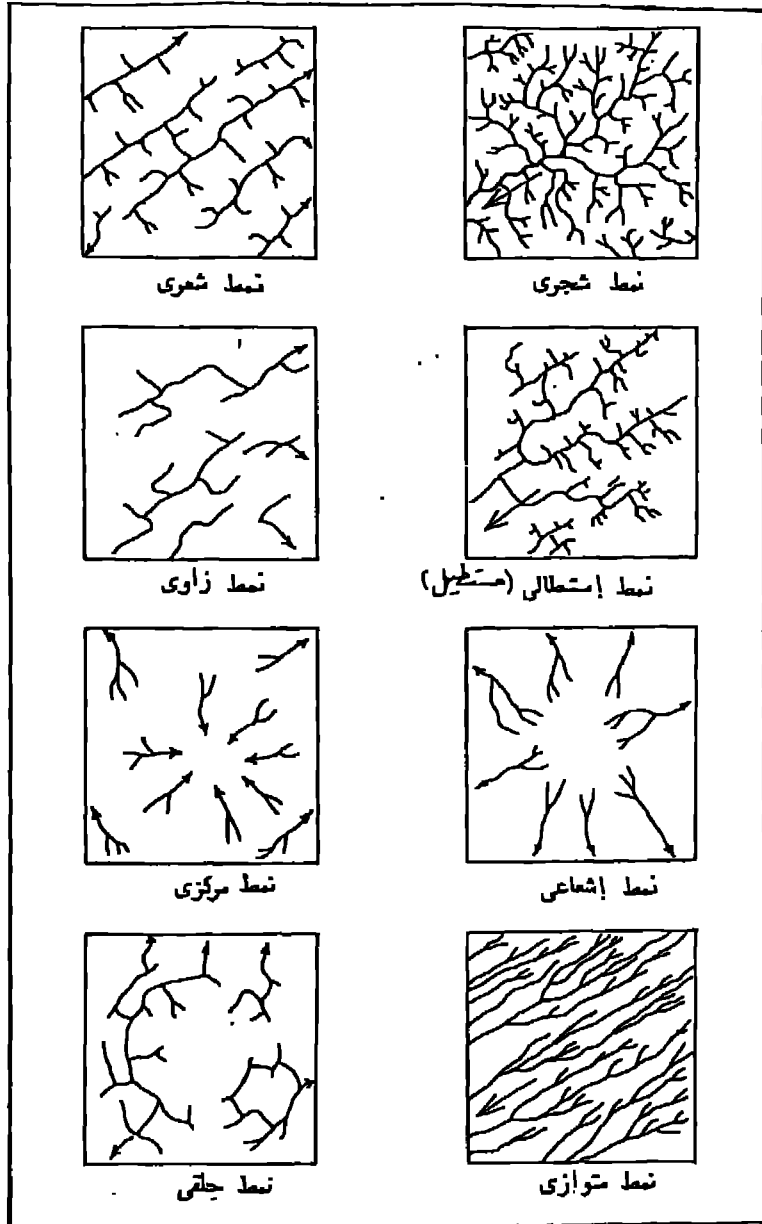
يقصد بنمط التصريف النهري : الشكل العام الذي تأخذه الروافد برتبها المختلفة عندما تلتقى ببعضها البعض داخل حوض التصريف النهري أو فوق سفح له درجة انحدار ما ، ويرجع اختلاف أنماط التصريف النهري إلى ارتباطها الوثيق بالصور التركيبية والخصائص الجيولوجية للصخور التي تجرى فوقها إلى جانب تأثيرها بانحدار سطح الأرض .

وعادة ما يحدث تفاوت في تصنيف أنماط التصريف المائي بسبب اختلاف مقاييس رسم الخرائط حيث يحدث تعميم عندما تستخرج الأنماط من خريطة بمقياس رسم صغير ومن ثم فلا يعطى صورة واقعية عن شبكة التصريف المائية؛ ولذلك فإن الصور الجوية كبيرة المقياس تعد أكثر دقة بكثير في توضيحها وتحديداتها لأنماط التصريف . وإن كانت الخريطة الكنتورية كبيرة المقياس يمكن الاعتماد عليها في ذلك وخاصة عندما تكون قد اعتمدت في رسمها على الصور الجوية، وفيما يلي إيجاز لخصائص أهم أنماط التصريف النهري :

### أ - النمط الشجري ( النمط المتفرع ) Dendritic Pattern :

يتميز هذا النمط بالتفرع غير المنتظم لرتب الأودية داخل حوض التصريف النهري ويعد أكثر الأنماط انتشاراً وعادة ما يرتبط بالصخور الرسوبية المتطابقة أفقياً، كما أنه كثيراً ما يرتبط بصخور نارية أو متحولة<sup>(١)</sup> تتميز بالتجانس وتبدو الأراضي الواقعة بين الأودية الرئيسية والروافد interfluves في شكل حافات وتنبؤات بارزة تمثل قممها مناطق لتقسيم المياه شكل رقم (٦٨) وتلتقى الروافد ببعضها البعض في هذا النمط بزوايا حادة فتبدو الصورة العامة كشجرة متعددة الفروع، وتعد الكثير من أودية الصحراء الشرقية ضمن هذا النمط ومنها وادي قنا بروافده وادي سفاجة وغيرها الكثير .

(١) خاصة عندما تكون الصخور النارية والمتحولة غير متشققة وقد تكون منطاة في مرحلة سابقة بصخور رسوبية تغط فوقها شبكة التصريف الشجرية ثم أزالها وراصلت النحت والجريان فوق الصخور النارية ، كما أنه قد يظهر هذا النمط أيضاً فوق حطام صخري متجانس .



شكل رقم (٦٨)

انماط التصريف النهري

## ب - النمط المتشابك Trellis Drainage Pattern :

يظهر هذا النمط في منطقة تتعاقب فيها الصخور الصلبة مع الصخور اللينة friable rocks مع ميلهما سوياً في اتجاه واحد بتعامد مع الاتجاه العام لانحدار النهر الرئيسي (التابع)، وعادة ما تزداد الروافد طولاً من خلال عمليات النحت التراجعي في الصخور اللينة محولة مجاريها إلى أودية متسعة لتظهر الصخور الصلبة في شكل حافات escarpments أو تلال فقارية، وتلتقى هذه الروافد (الأودية التالية) بالنهر الرئيسي في روايا قائمة ، كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٦٨) تمتد في موازاة خط المضرب strike line، بينما تمتد الروافد الثانوية في موازاة النهر الرئيسي كأودية عكسية opsequent valleys .

وتوجد أمثلة لهذا النمط من أنماط التصريف النهري في جنوب شرق إنجلترا حيث تتعاقب صخور صلصالية لينة مع طبقات من الصخور الجيرية والطباشيرية الصلبة، كما يظهر ذلك النمط أيضاً في الجزء الشرقي من حوض باريس بفرنسا في المناطق المعروفة هناك باسم (أراضى الحافات والوهاد) والتي يجري فيها نهر السين وروافده فوق صخور غير متجانسة التركيب (جودة، ص ٢٣٧).

## ج - النمط المستطيل ( المتعامد ) Rectangular Pattern :

تلتقى فيه الأودية الرئيسية وروافدها بزوايا قائمة، كذلك تنحني على طول مجاريها بزوايا قائمة أيضاً، وعادة ما تتميز الروافد التالية بتأثرها بالتراكيب الصخرية من فوالق وفواصل، ويظهر مثل هذا النمط في مناطق مختلفة متأثرة بهذه التراكيب الصخرية مثلما الحال على سواحل شبه جزيرة إسكندنافيا .

## د - النمط المقلقل Deranged Pattern :

يظهر في المناطق حديثة النشأة والتكوين وتظهر فيه المجارى المائية بشكل غير منتظم تكثر بها الانحناءات وتنتشر السبخات .

## هـ - النمط الحلقي Annular Pattern :

يظهر هذا النمط فوق القباب المنحوتة من القلب أو بمناطق الأحواض basins والتي توجد بها صخور متباينة في خصائصها ومختلفة في درجة مقاومتها لعمليات

التعرية . ويبدو المظهر العام فى شكل حلقات تمتد فى القنوات الرئيسية على طول امتداد الطبقات الضعيفة فى شكل غير مكتمل الحلقيّة وذلك بسبب اختلاف أنواعها ما بين مجارى تابعة وأخرى تالية أو عكسية .

#### و- النمط الإشعاعى **Radial Pattern** :

تنحدر فيه مجموعة من المجارى المائية من نقطة مركزية عليا باتجاهات مختلفة، وعادة ما تظهر فى المناطق التى تأثرت بالحركات التكتونية الحديثة مثل مناطق المخروطات البركانية التى تنحدر على جوانبها أودية تابعة تتمشى مع الانحدار العام لجوانب المخروط .

#### ز- النمط المركزى **Centripetal Pattern** :

يظهر هذا النمط من أنماط التصريف النهري عندما يتجه عدد من المجارى المائية من نقاط متعددة نحو أخفض منطقة داخل حوض طوبوغرافى أو منخفض تركيبى **structural depression** .

#### ح- نمط متوازى **Parallel Pattern** :

يظهر هذا النمط من أنماط التصريف فوق مساحات واسعة منحدره على جوانب الحافات الجبلية فى العروض الجافة .

إلى جانب ما سبق من أنماط التصريف النهري هناك أنماط أخرى ولكنها أقل انتشاراً مثل النمط الشائك<sup>(١)</sup> والشعبي وغيرها من أنماط .

---

(١) يرتبط هذا النمط عادة بالمتابع العليا للأنهار ويتكون حيث تسود ظاهرة الأسر النهري .



## مناطق تقسيم المياه ( ما يرتبط بها من عمليات وأشكال أرضية )

يقصد بمنطقة تقسيم المياه water divide المنطقة الجبلية المرتفعة التي تنصرف على جوانبها المياه فى اتجاهين مختلفين أو أكثر، وتظهر منطقة تقسيم المياه عادة فى شكل حافة طولية تنحدر الأنهار على كلا جانبيها، ويمثل خط تقسيم المياه الخط الوهمى الذى يصل بين الذرى المرتفعة فاصلا بين نطاقين مائيين أو أكثر.

وعادة ما يحدث للروافد العليا للأنهار أن تقوم بعملية نحت تراجعى مضطرد على جانبي منطقة تقسيم المياه لإطالة مجاريها تساعدها فى إتمام ذلك عمليات التجوية والانهارات الأرضية ، كما أن لكثرة الفواصل والصدوع بهذه المناطق دوراً كبيراً فى المساعدة على التراجع الرأسى للأنهار وإطالة مجاريها والتي تتم هنا بتراجع الحافات فى منطقة تقسيم المياه.

وعادة ما يكون من الأمور اليسيرة مد خط على الخريطة يصل ما بين البقايا المتبقية من القمم التى تعرضت خلال فترات طويلة سابقة لعمليات التعرية - خاصة ما يرتبط منها بعملية النحت الصاعد - يعرف هذا الخط بخط تقسيم المياه الأسمى initial water divide line ، وعلى ضوء ما يتم يمكننا حساب مقدار التراجع الذى تم على طول المنابع العليا لنظم التصريف النهرية، وإذا ما أردنا رسم خط تقسيم للمياه يمثل الوضع الراهن للمنطقة فإنه بطبيعة الحال سيحصر مناطق بينه وبين خط التقسيم الأسمى (المعمم) السابق، وبحصرنا لتلك المناطق وتحديدنا سوف نتمكن من تفهم العديد من التغيرات الجيومورفولوجية التى تعرضت لها المنطقة، مثل تحديد مناطق حدوث الأسر النهري river capture وما يرتبط بها من ملامح وأشكال تدل على حدوثه مثل كوع الأسر وثغرات الريح wing gaps والنهر الضامر وغيرها.

ومن مناطق تقسيم المياه التى يمكننا تتبع مثل هذه الملامح والأشكال عليها بوضوح منطقة تقسيم المياه الممتدة على طول قمم سلاسل جبال البحر الأحمر فى مصر التى تفصل بين نظم التصريف «الغورى» المتجهة إلى البحر الأحمر شرقاً ونظم الأودية المتجهة نحو وادى النيل فى الغرب. حيث يمكن عمل خط تقسيم مياه مبسط (معتم) لما كان قائماً فى الماضى، ومن الطبيعى أن ننتظر حدوث عمليات نحت وأسرة نهري أنشط لصالح الأودية المتجهة نحو البحر الأحمر لما تتميز به من خصائص الشباب المعروفة.

وفى مرتفعات عسير تظهر الذرى العالية فاصلة بين السفوح شديدة الانحدار المتجهة نحو البحر الأحمر غرباً وتلك السفوح الأقل انحداراً نحو الشرق ، ويعرف خط القمم العالية هنا بخط «الشعاف» وتعرف الفتحات (مناطق الأسر النهري) بالعقبات وهى المنافذ التى تعبرها الطرق البرية من الساحل (ساحل تهامة) والمناطق الداخلية .

نخلص مما سبق أنه كلما كانت عمليات التراجع سريعة ونشطة على جانبي مناطق تقسيم المياه أو على أحد جانبيها ينعكس ذلك بوضوح على شدة تقطع وتأثر بقايا خط التقسيم الأصيل والذى عادة ما تكون محاولة رسمه من الخريطة محاولة تقريبية إلى حد كبير، بينما نجد أنه من السهولة بمكان رسم خط تقسيم المياه فى حالة استمرارية الارتفاع المتماثل على طول قمة الحافة الطولية (منطقة تقسيم المياه) حيث يدل ذلك على ضعف عمليات النحت التراجعى لأعلى الأنهار وعدم وضوح عمليات الأسر النهري، وهذا بدوره قد يرتبط بخصائص الصخور وعدم حدوث حركات تكتونية ذات شأن مما جعلها تحافظ على خصائصها الأصلية وتقاوم عمليات التعرية وخاصة مع خلوها من الشقوق والفواصل ومع صلابتها .

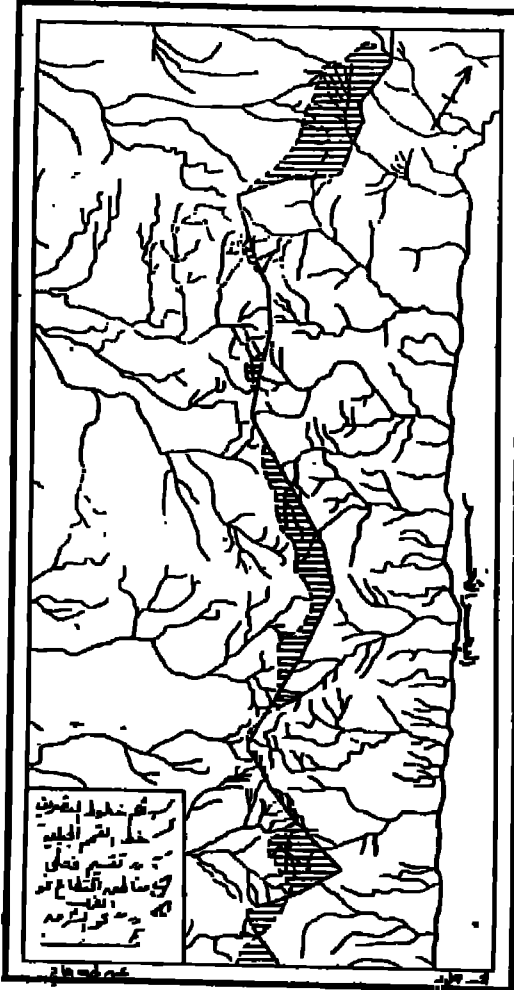
وعموماً، فإنه فى كل الحالات يجب التأكد من أن الأجزاء المرتفعة هذه تمثل البقايا الحقيقية لخط تقسيم المياه السابق وليست نتاج عمليات تكتونية لاحقة أو نتاج طفوح بارلتية حديثة (راضى، ١٩٩٤، ص ٣٩) ويمكننا ذلك من خلال تفهم الخريطة الجيولوجية والتركيبية للمنطقة أو من خلال العمل الحقلى .

وتوضح الخريطة بالشكل رقم ( ٦٩ أ ) منطقة تقسيم مياه بوسط الصحراء الشرقية يلاحظ منها الأودية المتجهة نحو البحر الأحمر شرقاً ونحو النيل فى الغرب وخط القمم الجبلية (خط التقسيم الأصيل) وخط تقسيم المياه الفعلى والمناطق المقتطعة نحو الغرب والأخرى المقتطعة نحو الشرق .

## الأسر النهري والانشكال المرتبطة بها (علامات الأسر)

تظهر عمليات الأسر النهري عادة في المنابع العليا للأنهار حيث تتجح أساساً

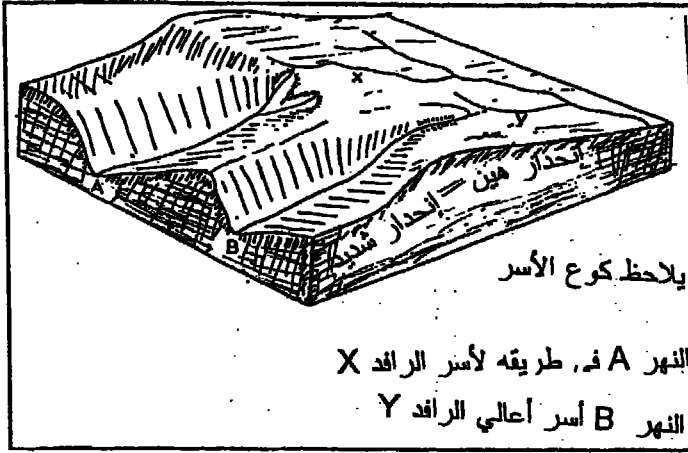
عن نشاط عمليات النحت الصاعد للأنهار باتجاه مناطق تقسيم المياه. ولفهم هذه العملية وما يتم خلالها يمكننا أن ننظر بدقة إلى الرسم التصويري شكل رقم (٦٩ب) الذي يبين حدوث عملية أسر نهري على كلا جانبي حافة هضبة تنحدر انحداراً شديداً جهة الغرب مما ساعد النهرين أ و ب على النحت التراجعي الصاعد بمعدل سريع باتجاه الشرق وذلك من خلال تراجع الحافة المنحدرة شرقاً مما أدى إلى حدوث أسر للنهر الأقل انحداراً وسرعة والمتجه نحو الجنوب الشرقي.



ويوضح الشكل رقم (٦٩ب) كيف تتم عملية الأسر النهري وأهم الملامح الأرضية المرتبطة به، فبعد أن أسر رافد النهر (أ) المنابع العليا للنهر (ب) حدث أن ضمّر الجزء المأسور captured من النهر الأخير وانكشش بشكل واضح لا يتناسب مع حجم واديه الأصلي، ووجود هذا النهر الضامر

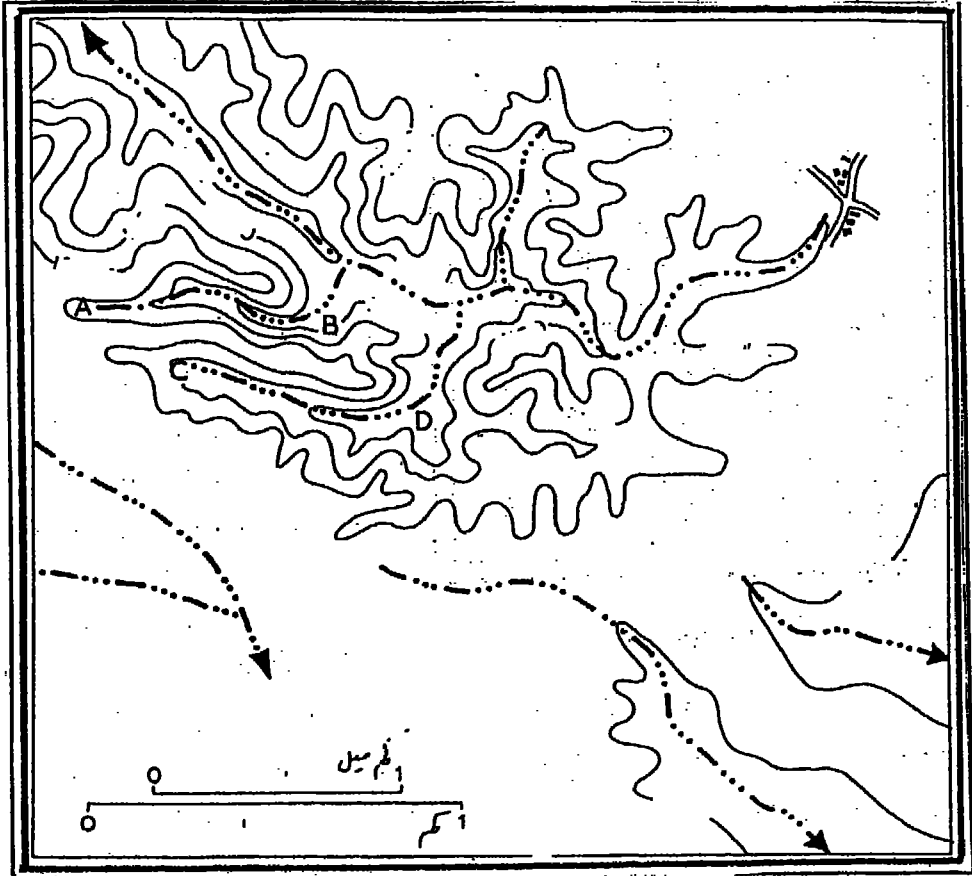
شكل رقم (٦٩)

يدل بلا شك على حدوث أسر في أعالي الأنهار أو في مناطق ما بين الأودية. ومن الملاحظ أن النهر (أ) وهو الأسر أسرع وأكثر انحداراً وأكبر عمقاً من النهر (ب) يرتبط بذلك أيضاً غزاوة الأمطار على الجانب الذي ينحدر فوقه النهر (أ) وربما أيضاً تكون صحوره أكثر ليونة أو تقطعاً بفعل الشقوق والصدوع مما ساعده في التراجع السريع نحو النهر المأسور.

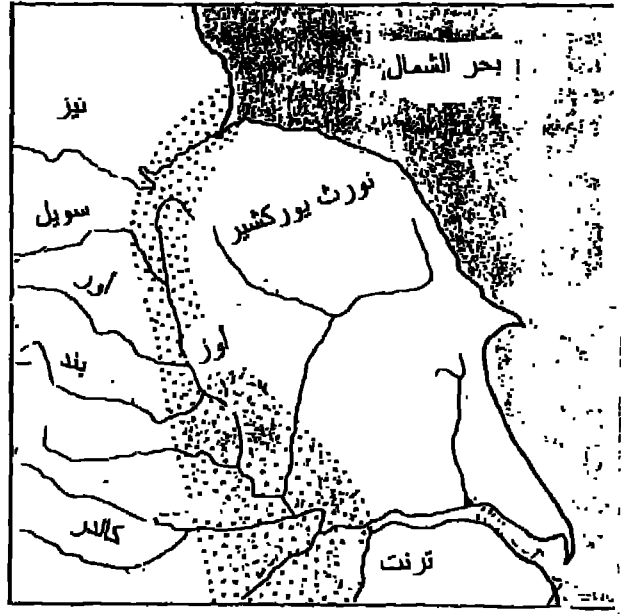


ويوضح الشكل  
(٧٠) جزءاً من  
خريطة كنتورية تبين  
أكواع الأسر النهري  
elbows of capture  
قرب هولسبرج بولاية  
تنسي الأمريكية  
يلاحظ منها أن  
الوادي (أ) والوادي  
(ب) يتجهان عكس  
اتجاه النهر الأسر.

شكل رقم (٦٩) (ب)



شكل رقم (٧٠)



شكل رقم (٧١)

كما يوضح الشكل رقم (٧١) أسر نهري في منطقة يوركشير حيث أسر نهر أوز وروافده على طول مكاشف طبقات ترياسية لينة مع امتداد أنهار أور ونيديد وورف وكالدور كأنهار تابعة *consequent rivers* في منابعها العليا، ومعنى ذلك أن اتجاه جريانها يتمشى مع ميل الطبقات شرقاً على هذا الجانب من محدب «بنين» وكان يمكنها الاتجاه مباشرة نحو البحر ولكن حدث أن نحت نهر أوز مجراه نحتاً صاعداً في صخور أقل مقاومة للتعرية وأسّر الأنهار سابقة الذكر وهو كما نرى من الخريطة نهراً تالياً *subsequent* يمتد في موازاة مضرب الطبقات.

## التحليل المورفومتري لشبكة التصريف النهري

( مع بعض القياسات الخاصة بقناة النهر )

يقصد بالتحليل المورفومتري morphometric analysis ذلك التحليل الجيومورفولوجي لسطح الأرض الذى يعتمد على الأرقام والبيانات المأخوذة من الخريطة الكنتورية والصور الجوية والفضائية بجانب ما يستمد من الدراسات والقياسات الحقلية للأشكال المراد تحليلها ودراستها مثل حوض التصريف النهري لقطاع بساحل ما أو حافة جبلية أو مجموعة من الكثبان الرملية أو ثلاجة جليدية وغير ذلك من أشكال أرضية متنوعة .

والواقع أن وسائل التحليل المورفومتري قد بدأت تأخذ مكانًا هامًا فى الدراسات والبحوث الجيومورفولوجية المختلفة وتحل بشكل سريع محل وسائل وأساليب الوصف التقليدية وخاصة فيما يختص بتحليل شبكات التصريف النهري والسفوح وأحواض الأنهار وأشكال الإرساب الرملية والأشكال الساحلية والعمليات المؤثرة فيها .

ويتعرض هذا الجزء بإيجاز لبعض وسائل التحليل المورفومترية الخاصة بشبكة التصريف النهري بهدف تسهيل عملية تصنيفها تصنيفًا نوعيًا والمساعدة فى معرفة العلاقة بين أحواض التصريف وقنواتها المائية (شبكة المجارى) ومعرفة إمكانية المقارنة بين أحواض التصريف المختلفة بالاعتماد على طرق موضوعية وأساليب كمية quantitative means أشارت إلى معظمها أغلب الدراسات والبحوث الأجنبية والعربية ويأمل المؤلف أن يكون فيما يجيء بهذا الجزء من معلومات مفيداً بالنسبة لدارسى الجغرافيا خاصة مع اهتمامه بالتطبيق على أحواض أودية بصحراء مصر الشرقية والجزيرة العربية قد تمت دراستها فى فترات سابقة من قبل المؤلف .

### تركيب النظام النهري :

من الأمور الهامة فى دراسة تركيب النظام النهري ما يتمثل فى معالجة خصائص حوض التصريف النهري ودراسة شبكات القنوات النهريّة التى تجرى داخل هذا الحوض وكذلك منطقة تقسيم المياه التى تحيط به فاصلة بينه وبين غيره من أحواض التصريف النهريّة الأخرى المجاورة .

والحقيقة أن تنظيم شبكة القنوات النهرية ذات أهمية كبرى وذلك بسبب كونها تعكس كفاءة خطوط التصريف المائية الرئيسية في نقل كل من المادة والطاقة matter and energy التي تتدفق كل منها داخل نطاق حوض التصريف النهري drainage basin system عبر حدوده كنظام طبيعي مفتوح يتبادل طاقته ومواده مع غيره من النظم مع الأخذ في الاعتبار أن هذه الشبكة النهرية تمثل مسالك للطاقة والمادة داخله ، كما أن العديد من الخصائص المورفولوجية للحوض النهري (حجمه وطول قنواته وعددها وكثافة التصريف وتضرس الحوض إلخ) يمكن أن ترتبط ارتباطاً مباشراً بالخصائص الهيدرولوجية مثل تصرف الماء من الحوض والفيضانات وما يرتبط بها من آثار إلخ .

وكما نعرف فإن منطقة الحوض النهري توجد بها مجموعة من الخصائص properties التي يمكننا قياسها بهدف المساعدة على تحديد خصائص الشبكة وخصائص الحوض وأبعاده المختلفة . ويوضح الجدول التالي رقم (٤) بعضاً من هذه الخصائص والمتغيرات المورفومترية لحوض التصريف النهري .

وعادة ما يظهر التحليل الإحصائي أن أغلب التباين في القياسات المورفومترية لأحواض التصريف النهري ترجع أساساً إلى اختلاف مساحة الحوض ومجمل أعداد القنوات المائية به ومعدل التضرس الكلى للحوض total relief وتكرار الرتب وغير ذلك .

فقد ظهر أن هناك ارتباطات قوية بين المتغيرات التالية :

أ - ارتباطات بين كل من مساحة الحوض ومجموع أطوال القنوات المائية في كل رتبة ومتوسط أطوالها في الرتبة الواحدة .

ب - وجود ارتباط بين كل من العدد الكلى للقنوات المائية وعدد القنوات في كل رتبة .

ج - ارتباط بين تكرار القنوات channels frequency وكثافة التصريف ونسبة التضرس والتضرس الكلى للحوض النهري .

د - التضرس الكلى للحوض والتضرس المحلى لجانبى الوادى .

وقد أضاف ملتون Melton 1958 زاوية السفوح الجانبية ورقم الوعورة واعتبرهما من العناصر الأساسية الهامة في نظام حوض التصريف، حيث

جدول رقم ( ٤ ) المتغيرات المورفومترية لأحواض التصريف النهرية

الرموز وشكل المعادلة	المتغير
B.G (Basin Geometry)	أولاً - هندسة الحوض:
AU	١- مساحة الحوض
LB	٢- طول الحوض
BR	٣- عرض الحوض
BP	٤- محيط الحوض
مساحة الحوض بالكم <sup>٢</sup> (AU) ÷ مساحة دائرة تتساوى مع نفس الحوض في طول المحيط .	٥- استدارة الحوض
قطر دائرة مساوية لمساحة الحوض بالكم <sup>٢</sup> ÷ طول محيطه	٦- استطالة الحوض
مساحة الحوض بالكم <sup>٢</sup> ÷ مربع طول الحوض بالكم	٧- شكل الحوض
محيط الحوض بالكم ÷ محيط دائرة تكافئ مساحتها مساحة الحوض بالكم <sup>٢</sup>	٨- معامل الاندماج
	ثانياً - قياس الارتفاعات:
أعلى نقطة في منطقة تقسيم المياه - أدنى نقطة عند المصب H= Z-Z	١- التضرس الكلي
الفارق التضاريسي ( التضرس الكلي ÷ طول الحوض بالمتر Rh=H/lb )	٢- معامل التضرس
التضرس الكلي بالمتر ÷ محيط الحوض بالمتر × ١٠	٣- التضاريس النسبية
$\frac{\text{التضرس الكلي بالمتر} \times \text{الكثافة التصريفية كم}^3/\text{كم}^2}{\text{محيط الحوض}}$	٤- قيمة الوعورة
CM = Htan Q حيث إن H يمثل ارتفاع المنطقة tan O يمثل ظل زاوية متوسطة الانحدار داخل الحوض <sup>(١)</sup>	٥- دليل التضرس
ظا ح = ف × ع ÷ ٣٣٦١ (رقم ثابت) حيث إن ظا ح = ظل زاوية الانحدار وف = الفاصل الرأسى بين خطوط الكنتور محسوباً بالأقدام وع = عدد الكنتورات التى تمر بخطوط القطاعات فى كل ميل واحد وتعرف هذه المعادلة بمعادلة Wentworth Equation	٦- معامل انحدار السطح

(١) استنتج فورنيه دليل التضرس والذى إذا بلغ أقل من ٦ فيعى ذلك أن النهر وحوضه يوجدان فى منطقة ذات مناج معتدل، أما إذا زاد عن ٦ كان يوجد فى مناطق مدارية وشبه مدارية.



تمثل جوانب الوادى النهري مصدراً أساسياً لرواسبه بجانب كونها مصدراً لجزء من مياهه .

كذلك حدد كل من (Hack, Jand Goodlett 1960) خمسة أنواع من هذه السفوح وأبرزها مدى تأثير كل نوع منها على النهر وروافده داخل الحوض، يمكننا أن نوجزها فيما يلي :

١ - البروز أو الأنف nose : تعد أجف المناطق وتبدو كتورتاتها من الخريطة محدبة فيما يشبه البروزات الجبلية spurs .

٢ - السفح الجانبي : (سفع الجانب) تأخذ كتورتاته الشكل المستقيم وتستقبل مياهها من الأنف أو البروز وعادة ما تكون أكثر رطوبة منها وعادة ما يأخذ الجريان السطحي نمطاً خطياً linear patten على طول السفح .

٣ - الثغرات gaps : تظهر بها خطوط الكنتور مقعرة مع تباعدها باتجاه القناة النهرية وهى أكثر أنواع السفوح رطوبة .

٤ - أقدام السفح وهو الجزء السفلى الأقل انحداراً على طول جانبي قناة النهر وعادة ما يتكون سطحه من مفتتات صخرية .

٥ - قاع الوادى الذى يجرى فيه النهر .

**وفيما يلي دراسة تفصيلية للخصائص المورفومترية للحوض النهري:**

قبل التعرض للخصائص المورفومترية لحوض التصريف النهري يجدر بنا أن نذكر هنا بعض المتغيرات المرتبطة به على النحو التالى :-

**مساحة الحوض النهري AU :**

تمثل أهمية مساحة الحوض النهري كمتغير مورفومتري فى تأثيرها على حجم التصريف المائى داخل الحوض، حيث توجد علاقة طردية بين كل من المساحة الحوضية وحجم التصريف المائى بشبكة التصريف النهري، ويمكن حساب مساحة الحوض من الخريطة الكنتورية بواسطة عدد من طرق القياس مثلها فى ذلك مثل غيرها من الظاهرات الجيومورفولوجية مثل البحيرات والجزر والحواجز البحرية والدالات النهرية والمراوح الفيضية واللاجونات والسبخات والمنخفضات الصحراوية وغيرها .

ومن طرق قياس المساحات طريقة القياس بالبلاينيتر الذى يعد من الأجهزة وسهلة الاستخدام ودقيقة النتائج، على أن يتم القياس به عدة مرات ثم أخذ متوسط القياسات (عاشور، ١٩٨٣، ص١١٧)، وتوجد وسيلة تقليدية للقياس تتمثل فى تقسيم الحوض النهري المراد قياس مساحته على الخريطة إلى عدد من المربعات أو المثلثات ثم القيام بحساب مساحة كل مربع أو كل مثلث على حدة وبالتالي يمكن حساب مساحة الحوض ككل.

ومن الوسائل الحديثة لقياس المساحات القلم المتبع الإلكتروني digitizer الذى يعد من أكثر وسائل قياس المساحات دقة وسرعة رغم تكلفته العالية (جودة وزملاؤه، ١٩٩١، ص٢٩١). وتوجد وسيلة أخرى تعتمد على قص المنطقة المراد قياسها من الخريطة المرسومة على ورق الكلك ثم القيام بوزنها وحساب مساحتها بعد ذلك مع الأخذ فى الاعتبار أهمية الدقة فى هذه الوسيلة والتأكد من ثبات كثافة الورق فى كل أجزاء الخريطة.

#### عرض الحوض Basin Width :

يتم قياسه عن طريق القيام بعمل خطوط متوازنة من المصب إلى المنبع وأخذ قياسات لكل منها وإيجاد متوسط عرض الحوض، ويمكن الحصول عليه كذلك من خلال قسمة مساحة الحوض على طوله ويمكننا الحصول على أقصى عرض للحوض وهو بالطبع طول خط من الخطوط المتوازية سابقة الذكر. ويفيدنا هذا المتغير فى تحديد شكل الحوض من خلال النسبة بين الطول إلى العرض الحوضى.

#### طول الحوض Basin Length :

يمثل أحد المتغيرات المورفومترية الهامة التى ترتبط بالعديد من الخصائص الأخرى الخاصة بحوض التصريف ويحدده Schuma بخط يمتد فيما بين نقطة المصب النهري وأعلى نقطة فوق منطقة تقسيم المياه بأعلى النهر.

كما يرى Maxwell 1960 بأنه يمكن تحديد طول الحوض من خلال قياس طول خط مواز للقناة الرئيسية حتى نقطة تنصف الحوض.

## محيط الحوض :

يرتبط محيط الحوض كمتغير مورفومتري بالعديد من الخصائص المورفومترية الأخرى مثل شكل الحوض واستطالته واستدارته، ويعد فى الواقع من أسر المتغيرات فى قياسه سواء بواسطة عجلة القياس أو المقسم divider أو بواسطة طريقة الخيط التقليدية.

أما عن خصائص الحوض المورفومترية فعادة ما ترتبط بشكله وتضاريسه ويمكننا إيجارها فيما يلى :

### أ - شكل الحوض :

تفيد دراسة شكل الحوض فى تفهم التطور الجيومورفولوجى له ، والعمليات التى شكلته إلى جانب تفهم تأثير الشكل على حجم التصريف النهري وبالتالي على تحديد درجات أخطار الفيضانات .

ويتم قياس شكل الحوض من خلال مقارنته بالأشكال الهندسية الشائعة مثل الدائرة والمستطيل والمربع، وكذلك من خلال دراسة الشكل العام له - للحوض - من حيث الاندماج أو الانبعاج، ومن خلال قياس النسبة بين طوله وعرضه مع الأخذ فى الاعتبار إمكانية تطبيق مثل هذه الخصائص على الظواهر الجيومورفولوجية الأخرى .

وفى ما يلى إيجاز لبعض المعاملات الجيومورفولوجية الخاصة بدراسة شكل الحوض :-

### ١ - معامل الشكل Form Factor :

يمكن الحصول عليه من خلال قسمة مساحة الحوض بالوحدة المساحية المربعة على مربع طول الحوض بنفس وحدة القياس . ويدل انخفاض قيمة ناتج القسمة على صغر مساحة الحوض بالنسبة لطولها مما يجعله - أى الحوض النهري - يقترب من شكل المثلث، حيث يشير هذا المعامل إلى كل من الطول والعرض بالنسبة لمساحة الحوض .

وتأخذ هذه العلاقة الشكل التالى  $F = A \div L_p^2$  (١)

حيث إن A تمثل مساحة الحوض basin area وتمثل L طول نفس الحوض .

---

(١)  $L_p$  يقصد بها الخط المستقيم الممتد من نقطة المصب حتى أبعد نقطة على منطقة تقسيم المياه .

## ٢ - معامل الاستدارة للحوض النهري Basin Circularity (R<sub>c</sub>) :

يتم حسابه من خلال قسمة مساحة الحوض بوحدة مساحة مربعة على مساحة دائرة لها نفس المحيط الحوضي، ويعنى ارتفاع قيمة ناتج القسمة باتجاه الواحد الصحيح اقتراب شكل الحوض من الدائرة وعكس ذلك كلما ابتعدت عنه. ويعنى ابتعاد الحوض عن الشكل الدائري أنه غير منتظم الأبعاد مع تعرج خطوط تقسيم المياه التي تحده (شكل حدوده) مما يؤثر بالتالى على طول القنوات المائية وخاصة تلك التي تقع منها فى الرتب الأولى والثانية first and second orders قرب المنبع (سلامة، ١٩٩١، ص٦).

## ٣ - استطالة الحوض Basin longation (E) :

يمكن الحصول عليه من خلال حساب النسبة بين قطر دائرة diameter of circle مساوية لمساحة الحوض بوحدة قياس معينة إلى أقصى طول للحوض L<sub>b</sub> ويتراوح الناتج بين صفر وواحد صحيح ويكون الحوض أقرب إلى الشكل المستطيل إذا ما اقترب الرقم الناتج من الصفر<sup>(١)</sup> وقد طبق المؤلف هذه المعادلات على عدد من أحواض الأودية الجافة بصحارى مصر وهضبة نجد ومرتفعات عسير كما سوف يتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد.

## ٤ - نسبة الطول ( طول الحوض ) إلى عرضه Lenth/ Width Ratio :

تعد من أبسط المعاملات المورفومترية الخاصة بقياس مدى استطالة حوض النهر ، ويدل ارتفاع قيم هذه النسبة على اقتراب شكل الحوض من المستطيل وذلك وفقاً لما ذكره Muller 1974. مع الأخذ فى الاعتبار تماثله مع معامل الاستطالة فى ذلك وإن كانت زيادة القيم هنا تشير إلى الاقتراب من الشكل المستطيل ، بينما فى معامل الاستطالة تدل القيم المنخفضة (المقتربة من الصفر) على الاقتراب من المستطيل.

---

(١) قطر الدائرة التي تساوى مع مساحة الحوض =  $\sqrt{\frac{22}{v}}$  مساحة الحوض  $\times \frac{22}{v}$

## ٥ - معامل الاندماج Compactness Coefficient :

يمكننا الحصول عليه من خلال قسمة طول محيط الحوض - perimeter length مقاسًا بوحدة قياس معينة على محيط الدائرة التي تتساوى مساحتها مع مساحة هذا الحوض، ويعنى ذلك أن الشكل يقاس بدلالة محيط الحوض كأساس للقياس (جودة وزملاؤه، ص ٣٢). والمقارنة بدلالة المساحة الحوضية، وتشير القيم المنخفضة لهذا المعامل إلى أن حوض التصريف النهري قد قطع شوطًا أطول في مراحل تطوره الجيومورفولوجي، بينما تدل قيمه المرتفعة على زيادة طول محيطه على حساب مساحته أو بمعنى أبسط وأوضح أن محيط الحوض يكون شديد التعرج وبالتالي يكون شكله أقل انتظامًا.

## ب - تضرس الحوض النهري :

تبرز أهمية تضرس الحوض النهري باعتبار ذلك يمثل انعكاسًا لزيادة فعالية ونشاط عمليات التعرية وأثرها في تشكيل سطح الأرض داخل حدود الحوض، كما يعد كذلك انعكاسًا لآثار أنواع الصخور وخصائصها البنيوية والليثولوجية.

## ١ - معامل التضرس Relief Ratio :

يتم الحصول على معامل التضرس من خلال قسمة تضاريس الحوض (الفرق بين أعلى نقطة داخل الحوض وأدنى نقطة)<sup>(١)</sup> إلى طول الحوض، وتتناسب قيمة هذا المعدل تناسبًا طرديًا مع درجة تضرس الحوض وفقًا لما ذكره Schumm .

## ٢ - التضاريس النسبية Relative Relief :

يمكن الحصول عليها من خلال قسمة تضاريس الحوض على محيطه بالكيلومتر  $\times 10$  وتوجد علاقة ارتباطية سالبة بين التضاريس النسبية ودرجة مقاومة الصخور لعمليات التعرية وذلك مع حالة ثبات الظروف المناخية (جودة وزملاؤه، ص ٣٢٤).

## ٣ - معامل انحدار السطح Average Slope :

يأخذ شكل القانون التالي :-

$$\text{ظا ح} = \text{ف} \times \text{ع} + 3361 \text{ (رقم ثابت).}$$

(١) عادة ما تكون الأرتلى عند منطقة تقسيم المياه والثانية عند نقطة المصب.

ويقصد بمعدل انحدار السفح المتوسط العام لانحدار سطح الأرض داخل الحوض النهري بالنسبة للمستوى الأفقى للسطح، ويمكن الحصول عليه برسم عدد من الخطوط القطاعية داخل الحوض أو أية منطقة أخرى وذلك فى اتجاهات مختلفة بالخريطة الكنتورية، ثم يتم بعد ذلك حصر عدد خطوط الكنتور التى تقطعها ثم يتم إيجاد متوسط انحدار السطح وفقاً لقانون wentorth سابق الذكر (أبو العينين، ١٩٧٦، ص ٧٢).

#### ٤ - معدل ارتفاع المنطقة الحوضية Elevation Relief Ratio :

يمكننا من خلال تطبيق هذا المعدل الحصول على نسبة مساحة كل جزء من أجزاء المنطقة سواء كانت جبلية أو هضبية أو سهلية إلى جملة المساحة، ويتم ذلك من خلال الخريطة الكنتورية باستخدام البلايمتر. ويمكن معرفة معدل الارتفاع كذلك عند تحديد متوسط ارتفاع المنطقة وطبيعة سطحها المحلى وذلك وفقاً للمعادلة التالية م ع =  $\frac{1-2}{ض}$  حيث إن م ع = معدل الارتفاع.

ض = التضرس الكلى (الفارق بين أعلى نقطة وأدنى نقطة).

م = متوسط ارتفاع المنطقة.

أ = أدنى نقطة بالمنطقة.

#### ثانياً - الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف المائى بالأحواض النهرية :

يعد الشكل العام لروافد النهر برواتبها المختلفة داخل الحوض نتاجاً أو انعكاساً للعلاقات بين خصائص صخور المنطقة وأشكالها التركيبية من جانب وظروف المناخ الحالى والقديم من جانب آخر، حيث تعكس خصائص الصخور من حيث درجة النفاذية والصلابة hardness والانحدار العام للسطح والصور التركيبية من صدوع وفواصل وقواطع وشقوق وغيرها، ويبرر أثر كل تلك الخصائص فى تعديل المظهر العام لشكل التصريف النهري وتحديد نشاط أوديته، بالإضافة إلى درجة التطور الجيومورفولوجى لحوض الوادى (أبو العينين، ص ص ٤٣٦-٤٥٣).

ويتم قياس خصائص التصريف النهري من خلال حساب معدلات التفرع أو التشعب bifurcation ratios التي تظهر أهميتها في ارتباطها بمعدلات التصرف حيث توجد علاقة بين حجم التصرف volume ومعدل التفرع فكلما قل التشعب زاد خطر الفيضانات عقب حدوث عواصف سيلية أو عند زيادة الوارد للنهر من منابعه العليا.

ويوضح الجدول التالي رقم (٥) عدداً من المتغيرات الهامة المرتبطة بشبكات التصريف المائي داخل حوض النهر والتي يمكن من خلالها تفهم أبعادها وخصائصها وعلاقتها ببعضها البعض وإبراز العديد من الخصائص المورفومترية والمورفولوجية للنهر وروافده داخل الحوض.

#### ١ - معدل التفرع ( التشعب ) Bifurcation Ratio :

يقصد به النسبة بين عدد القنوات المائية لرتبة ما وبين عدد القنوات المائية للرتبة التي تليها مباشرة. ويعد معدل التشعب من المقاييس المورفومترية الهامة نظراً لأنه يعتبر أحد العوامل التي تتحكم في معدل التصرف discharge إلى جانب أنه كلما زاد معدله (أي التشعب) زاد خطر الفيضان.

ويعتمد أسلوب تحليل شبكة التصريف المائي على ترتيب الروافد المائية بشكل «هرمي» حيث تتألف مجارى الرتبة الأولى من مسيلات أو روافد صغيرة تليها رتبة أعلى وأكثر طولاً واتساعاً (الرتبة الثانية) وهكذا، وتوجد أساليب مختلفة لترتيب المجارى المائية داخل أحواضها من أكثرها شيوعاً واستخداماً طريقة شتler (Strahler, 1975).

يتضح لنا من الجدول التالي رقم (٦) والشكل رقم (٧٢) أن عدد روافد وادي بيشة الأعلى ٥٩ رافداً من الرتب الأولى والثانية والثالثة يبلغ مجموع أطوالها ٤٧٤ كيلومتر يبلغ مجموع روافد الرتبة الأولى ٤٥ رافداً ومجموع أطوالها ٤٥٠ كيلومتر بمتوسط طول عشرة كيلومترات، ويبلغ عدد روافد الرتبة الثانية ١١ رافداً بمجموع أطوال ٢٠ كيلومتر ومتوسط الطول ١,٨ (صبرى محسوب، ١٩٨٧، ص٢٩).

جدول رقم ( ٥ ) عدد من المتغيرات المورفومترية لشبكة التصريف النهري

الرمز أو شكل المعادلة	المتغير
<p>U ( م ) Nu ( ع م ) س ن = ع م ÷ ع ١ + م</p> <p><b>Density of Dissection</b> = مجموع أطوال المجارى ÷ المساحة الكلية لحوض النهر، فمثلاً إذا ما بلغت الكثافة ١٥ فمعنى ذلك أن هناك ١٥ كم من المجارى لكل كم ٢ من مساحة الحوض (أو نسبة التقطع الطوبوغرافى = طول أكثر الكنتورات تعرجاً ÷ طول محيط الحوض . = عدد المجارى فى الرتبة ÷ مساحة الحوض</p> <p><b>BI Braiding Index</b> يأخذ الشكل التالى <math>BI = 2I/M</math> حيث إن (BI) يمثل دليل التضفر و I = مجموع أطوال الجزر الصخرية داخل المجرى و M = طول المجرى مقاساً من متصف المسافة بين جانبيه = الطول الفعلى بين نقطتين ÷ طول الخط المستقيم بين نفس النقطتين، ويستخدم هذا المعامل فى قياس قطاعات الأنهار أو خطوط الشاطئ وغيرها وذلك لإبراز درجة التعرج بحيث إنه كلما زادت القيمة الناتجة عن واحد صحيح دل ذلك على زيادة التعرج . = مجموع مجارى الأودية لكل الرتب ÷ محيط الحوض بالكم . وتقسم إلى ٣ درجات أ - خشنة أقل من ٤ ، ب - متوسطة ٤ - ١٠ ، ج - ناعمة أكثر من ١٠</p>	<p><b>أولاً - شبكة التصريف</b> ١- رتبة النهر ٢- عدد المجارى فى الرتبة ٣- نسبة الشعب ٤- مجموع أطوال المجارى فى الرتبة ٥- متوسط طول المجارى فى الرتبة</p> <p><b>ثانياً - كثافة التقطع</b> ١- الكثافة التصريفية ٢- نسيج الحوض ٣- تكرار القنوات أو المجارى</p> <p><b>ثالثاً - مقاييس أخرى</b> ١- دليل التضفر ٢- معامل التعرج</p> <p>٣- معدل أو نسبة التقطع</p>



جدول رقم (٦) معدل التشعب بحوض وادي بيشة الأعلى

الرتبة	طول السوادي بالكم	عدد كل رتبة	معدل التشعب	العدد لكل رتبتين	النسبة × العدد	متوسط أطوال الأودية بالكم
١	٤٥٠	٤٥	٤,٩	٥٦	٢٧٤,٤	١٠
٢	٢٠	١١	٣,٦٦	١٤	٥١,٢	١,٨
٣	٤	٣	٣	٤	١٢	١,٣
٤	٧	١				٧
المجموع	٦٠				٣٣٧,٦	

من قياسات المؤلف



شكل رقم (٧٢)

ويقل عدد الرتبة الثالثة إلى أربعة فقط بمتوسط طول ١,٣ كيلومتر ويبلغ طول الوادى الرئيسى حتى خط عرض ١٩ ش سبعة كيلومترات، ويبلغ معدل التشعب بين هذه الرتب على التوالى ٤,٩ - ٣,٦٦ و ٣ فقط .

وطبقاً لقانون Strahler فإن معدل التشعب لحوض وادى ييشة الأعلى يبلغ ٤,٥٦ وذلك نتيجة قسمة نسب التشعب فى العدد وقدره ٦,٣٣٧ ÷ مجموع العدد لكل رتبتين وقدره ٧٤ .

ويمكننا من الأرقام الواردة بالجدول السابق أن نخرج بالملاحظات التالية :

- بينما يبلغ متوسط طول مجارى الرتبة الأولى ١٠ كم نجد أن متوسط طول الرتبة الثانية ١,٨ كيلومتر فقط والرتبة الثالثة ١,٣ كيلومتر ويبلغ طول الوادى الرئيسى (الرتبة الرابعة سبعة كيلومترات) .

- يرجع السبب فى زيادة أطوال روافد الرتبة الأولى إلى شدة تعرجها حيث تلتف حول الكتل الجبلية إلى جانب أن بعضها يمتد خلال خطوط صدعية طويلة نسبياً .

## ٢ - كثافة التصريف Drainage Density :

تبدو أهميتها فى كونها تعبر عن أثر كل من نوع الصخر ونظامه والتربة والتضاريس والغطاء النباتى ، كما يظهر كذلك أثر الإنسان على شبكة التصريف النهرية .

وفيما يلى بعض المقاييس التى تستخدم فى التعبير عن درجة كثافة التصريف :

### أ- الكثافة التصريفية :

تمثل العلاقة بين أطوال القنوات النهرية والمساحة التجميعية لأحواضها، فعندما تزداد أعداد وأطوال القنوات المائية تقل درجة انحدار سطح الأرض داخل الحوض، ويمكننا من خلال هذا المعامل أن نتفهم جيداً نمو وتطور نظم التصريف بالحوض النهري (أبو العينين، ص ٤٥٥) .

وتم حساب الكثافة التصريفية وفقاً للقانون الآتى :

الكثافة التصريفية = مجموع أطوال الأودية بالحوض ÷ مساحة الحوض  
وبالتطبيق على الحوض الأعلى لوادى ييشة بلغت قيمتها ٨, وهى كثافة أقل قليلاً

من المتوسط وفقاً لـ Horton الذي يرى أن الكثافة التصريفية ترتفع إلى ١,٢٤ كم/كم<sup>٢</sup> في المناطق المتضرسة ذات الصخور الصماء والمطر الغزير ، بينما تنخفض في المناطق التي تجري فيها الأنهار في صخور عالية النفاذية. ووادى ييشة في الواقع يمتد في منطقة صخور نارية ومتحولة ومتضرسة، ورغم عدم مساميتها إلا أنها تكثرت بها الفواصل والشقوق وكما أن الأمطار أقل من ٥٠٠ ملليمتر في السنة ومن ثم فإن كثافته التصريفية البالغة ٨,٠ كم/كم<sup>٢</sup> كثافة متوسطة تعكس ظروف البنية والتضاريس ومناخ عسير.

### ب - تكرار المجارى :

يتم خلاله قياس النسبة بين أعداد القنوات المائية داخل الحوض - بصرف النظر عن طولها - والمساحة الحوضية ويعد بذلك واحداً من المقاييس التي تظهر كثافة التصريف.

### جـ - معدل بقاء المجارى :

اقترحه شم Shumm للدلالة على متوسط الوحدة المساحية اللازمة لتغذية الوحدة الطولية الواحدة من قنوات شبكة التصريف؛ بمعنى أنه كلما كبرت قيمة النتائج كلما دل ذلك على اتساع المساحة الحوضية على حساب قنوات مائية محدودة الطول.

وتأخذ المعادلة الصورة التالية :

$$\text{معدل بقاء المجرى} = \frac{\text{المساحة الحوضية}}{\text{مجموع أطوال المجارى}} = \frac{1}{\text{الكثافة التصريفية}}$$

أى أن معدل بقاء المجرى أو القناة المائية تحسب كمقلوب جبرى للكثافة التصريفية.

### ٣ - التباعد بين القنوات المائية :

تتأثر درجة تباعد القنوات المائية داخل الحوض بخصائص الصخور من حيث الصلابة وكثافة الشقوق والفواصل وخطوط الصدوع داخل حوض النهر، وتظهر

المعادلة الدالة على درجة التباعد أو المسافة بين القنوات داخل الحوض فى الصورة التالية :-

$$\text{متوسط المسافة بين القنوات} = \text{جا } ٤٥ \times \frac{\text{س}}{\text{ع}}$$

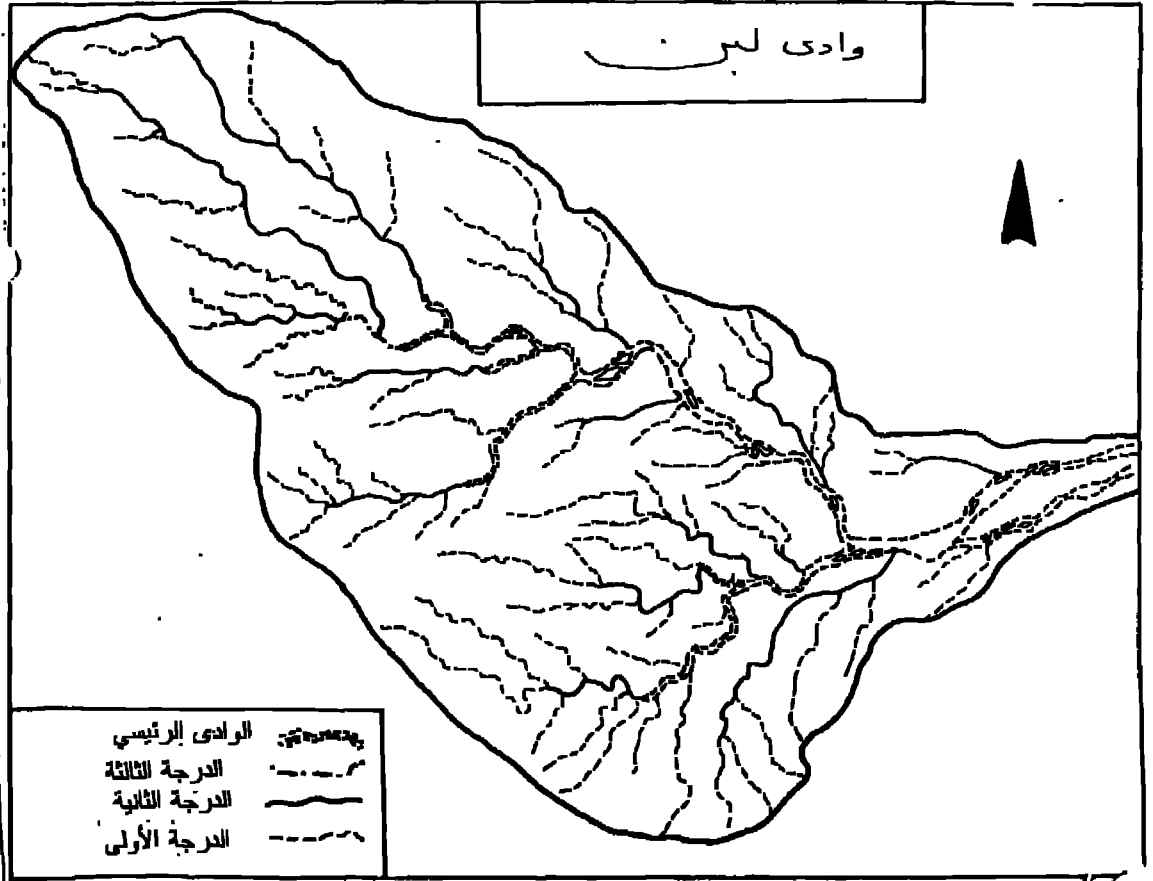
حيث إن س هو الخط المرسوم على الخريطة بحيث يقطعه أكبر عدد من القنوات المائة (الروافد) و ع هو عدد القنوات التى تقطعه وكلما زاد الناتج دل ذلك على قلة عدد القنوات وتباعدها داخل الحوض والعكس مع انخفاض ناتج المعادلة.

وهناك مقياس مورفومترية أخرى مثل مقياس زوايا التقاء الروافد ببعضها البعض ، والتي تتحكم فيها خصائص التركيب الصخرى للحوض النهري ، وأسهل طريقة لقياسها تتمثل فى قياسها من خلال مد خط مستقيم من نقطة الالتقاء حتى نهاية الرافد بغض النظر عن انثناءاته .

### امثلة تطبيقية لبعض القياسات المورفومترية على أحواض أودية جافة :

أ- حوض وادى لبن شكل رقم ( ٧٣ ) :

يمتد إلى الشمال العربى من مدينة الرياض ويعد رافداً لوادى حنيفة من الجهة الغربية منحدرًا من حافة جبل طويق بالنظر إلى الجدول التالى رقم (٧) نجد أنه مكون من أربع رتب عددها تسعون وادياً ومجموع أطوالها ١٩٠ كيلومتر، وهى من الأولى حتى الرابعة ٧٣ - ١٤ - ٢ - ١ ونسب التفرع بالترتيب ٩٣,٥ - ٧ - ٢ و يبلغ معدل التفرع به ٥,٩٨ وهو معدل مرتفع نسبياً، كما يلاحظ من متوسط أطوال الأودية أن التدرج فى الطول من المرتبة الأولى إلى الثالثة يتميز بالسرعة ثم يتباطأ من الثالثة إلى الرابعة، فمتوسط أطوال المرتبة الأولى ١,٧ كيلومتر والثانية ٣,٦ ويصل فى الثالثة إلى ٦,٥ كم ثم يقل ليصل فى الرابعة إلى خمسة كيلومترات فقط وهو فى ذلك يشبه الكثير من أودية هضبة نجد لتشابه الظروف المناخية والليثولوجية بالمنطقة ككل .



شكل رقم (٧٢)

جدول رقم ( ٧ ) نسبة التشعب بوادى لبن

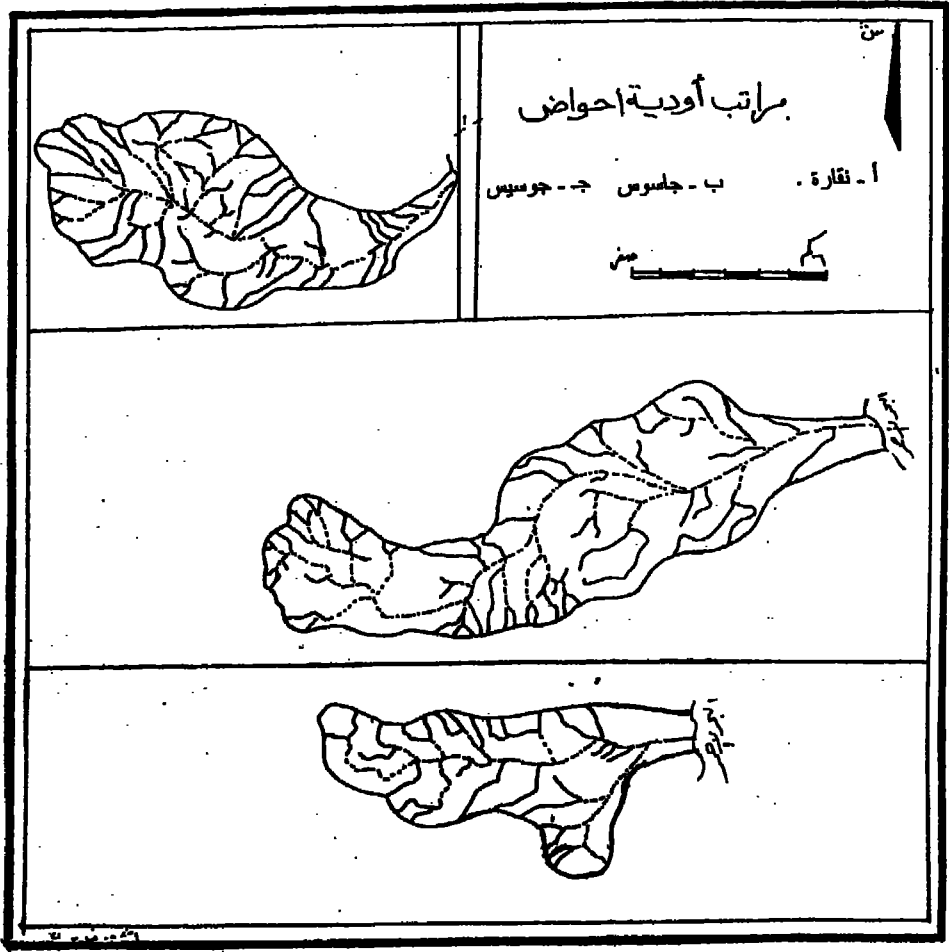
رتب الأودية	طول الأودية	العدد لكل درجة	نسبة التفرع	العدد لكل درجتين	النسبة × العدد	متوسط أطوال الأودية	مجموعة متوسطات الأودية
١	١٢٥		٥,٩٣	٨٧	٥١٥,٩	١,٧	٥,٣
٢	٥٠		١٧	١٦	١١٢	٣,٦	٨,٩
٣	١٣	٢	٢	٣	٦	٦,٥	١٥,٤
٤	٥	١		-	-	٥	٢٠,٤
	١٩٣	٩٠		١٠٦	٦٣٣,٩		

المصدر : قياسات وحسابات المؤلف ١٩٨٧

وتبلغ نسبة التقطع بالحوض ٤,١<sup>(١)</sup> وهو يماثل نظيره فى الأودية الأخرى بهضبة نجد أو قريب منها ، كما تبلغ كثافة التصريف المائى ١,٥ وهى منخفضة للغاية بسبب الظروف المناخية الجافة السائدة بهضبة نجد بصفة عامة وانخفاض سطح الحوض . وبالنسبة لمؤشر التفرع الطبوغرافى للوادى الرئيسى فإنه يصل إلى ١,٢٤ ويرجع ذلك إلى اقتراب الوادى الرئيسى من مرحلة التضج مع امتداده على أرض منخفضة قليلة الانحدار مما أعطاه فرصة للتفرع كما يتضح من الشكل (٧٣).

وبتطبيق معامل الاستدارة على وادى لبن وجدت القيمة ٩ , وهى نسبة تدل على قرب شكله من الدائرة بينما تصل استطالته إلى نحو ٦ , فقط .

(١) معدل منخفض (أقل من ٤) مما يدل على الخشونة.



شكل رقم (٧٤)

ومع تطبيق معامل التضرس لشم Schumm نجده قد بلغ في وادي لبن ١٨,٧ مما يدل على تضرسه وكثرة التلال المنعزلة داخل الحوض . أما عن التضرس النسبي في الحوض فيبلغ ٦ وهي قيمة متوسطة بسبب كثرة نقاط التقطع (نقط تغير الانحدار) قرب المنبع والتي قد يرجع وجودها إلى التكوينات الصخرية الصلبة التي تظهر في مجرى الوادي والتي لم يستطع إزالتها أو أن يعمق مجراه خلالها .

## ٢ - أودية نقارة وجاسوس وجوسيس بصحراء مصر الشرقية :

يتضح من الجدول التالي رقم (٨) والشكل رقم (٧٤) بعض الخصائص المورفومترية لأحواض وشبكات الأودية الثلاثة المذكورة.

جدول رقم (٨) بعض القياسات المورفومترية لأودية نقارة وجاسوس وجوسيس

الوادي	طول محيط الحوض	نسبة التفرع	مساحة الحوض بالكم <sup>٢</sup>	عدد الروافد بالحوض	كثافة التصريف	نسبة التقطع	طول مجارى الأودية بالحوض	متوسط أطوال الأودية الأربع
ك	٤٠	٤,١	٤٧	٧٩	١,٨	٢,٤٧	٨١	١١-١,٢٥-١,٨٥
نقارة	٤٥	٣,٦٧	٧٠	٨٥	١,٢٣	١,٩	٨٦	٢٠-٢,١,٢,٠-٢,٦٤
جاسوس	٢٦	٣,٨	٣٢	٣٨	١,٣	١,٤	٥٢	١,٥-١,٧-١,٧

المصدر : قياسات المؤلف ١٩٩٠

يمكن للطالب أو من يدرس في هذا الكتاب أن يحلل بيانات الجدول للخروج بصورة واضحة ومحددة عن الخصائص المورفومترية لأحواض الأودية الثلاثة الموجودة بجمال البحر الأحمر بالصحراء الشرقية في مصر (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٠).

٣ - بعض الخصائص المورفومترية لأحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة بساحل مصر الشمالي :

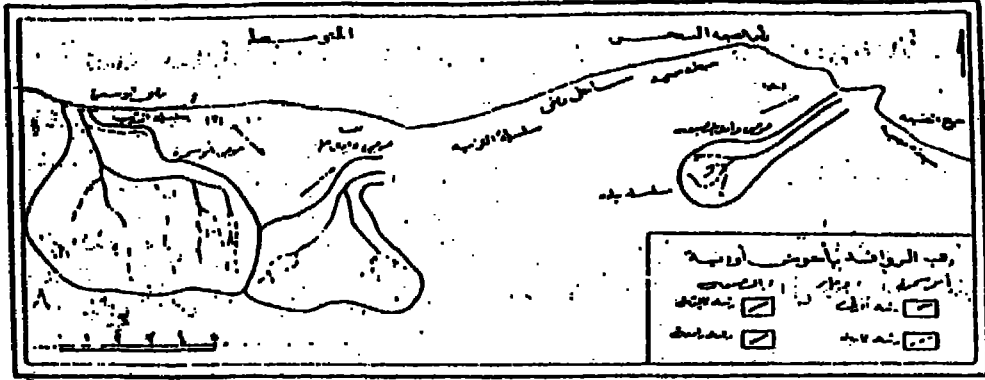
أ- الأحواض ( خصائصها المورفومترية ) :

١ - شكل الحوض : كما رأينا تتعدد المعاملات المورفومترية التي تقارن أشكال الأحواض النهرية بالأشكال الهندسية وسوف نطبق بعض هذه المعاملات على النحو التالي :

- معامل الاستطالة : يرتفع معدل الاستطالة في كل من حوضى وادى أبو سمرة ووادى جابر كما يتضح ذلك من الجدول التالي رقم (٩) والشكل رقم



(٧٥) فيصل في الأول إلى ٨٦، وفي الثاني ٩٢، مما يعني أنهما بعيدان عن الشكل المستطيل ويدل ذلك أيضاً على بساطة تضاريس حوضيهما التي بدورها ترتبط بخصائص الصخور الجيرية السائدة وعدم قدرتها على مقاومة عمليات التعرية رغم الجفاف النسبي الذي يسود المنطقة.



شكل رقم (٧٥) أحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة

شكل رقم (٧٥)

جدول رقم (٩) بعض القياسات المورفومترية بأحواض أبو سمرة وجابر والضبعة

اسم الحوض	أقصى طول للحوض كم	عرض الحوض كم	محيط الحوض بالكم	معامل الاستطالة	نسبة طول الحوض / عرضه	معامل الاندماج	معامل الشكل	مساحة الحوض كم <sup>٢</sup>
أبو سمرة	٧ ك	٤,٤	٢٢,٦	,٨٦	١,٧	,٤	,٥٩	٢٩
جابر	٧,٤	٣,٢	٢٠	,٩٢	١,٤٦	,٦٧	,٦٨	١٥
الضبعة	٦	١	١٣,٢	,٢٣	٦	,٩	,١٧	٦

من قياسات المؤلف ١٩٩٤

وفي الحوض الثالث ينخفض المعدل إلى ٢٣ ، مما يدل على اقترابه الواضح من شكل المستطيل ويرتبط ذلك باتجاه الجريان نحو الشرق متمشيًا مع اتجاه محاور التضاريس الرئيسية بالمنطقة من حافات ومنخفضات من الشرق إلى الغرب .

- نسبة الطول/ العرض : وهو كما عرفنا معامل مورفومتري بسيط يتشابه في المدلول الجيومورفولوجي لنتائجه مع معدل الاستطالة ولكن تعنى القيمة المرتفعة اقتراب الحوض من شكل المستطيل وبتطبيقه على أحواض الأودية الثلاثة وجد أنه ينخفض في حوضى أبو سمرة وجابر إلى ١,٧ و ١,٤٦ بالترتيب، وهذا يتمشى مع نتائج تطبيق معامل الاستطالة حيث يبتعدان عن الشكل المستطيل بينما نجد أنه يرتفع إلى ٦ في حوض وادى الضبعة وهو أقربها إلى الشكل المستطيل .

- معامل الاندماج: يبلغ معامل الاندماج في حوض أبو سمرة ٤ ، وفي حوض جابر ٦٧ ، بينما يرتفع قليلا في حوض الضبعة إلى ٩ ، وهذه القيم المنخفضة تدل على أن هذه الأودية رغم صغر أحواضها إلا أنها قد قطعت شوطًا كبيرًا في مراحل تطورها التحاتى وخاصة حوض وادى أبو سمرة .

- معامل الشكل: يشير هذا المعامل إلى كل من الطول والعرض بالنسبة لحوض الوادى وبتطبيقه على وادى أبو سمرة بلغ ٥٩ ، وارتفع إلى ٦٨ ، في وادى جابر مما يدل على أن الأخير أقربها إلى الشكل المربع - أو بمعنى آخر اقتراب بعدا الحوض من بعضهما - مما ينعكس على خصائصه الهيدرولوجية ويعكس في ذات الوقت مرحلة النضج التي تمر بها منطقة حوض جابر . وفي وادى الضبعة تنخفض قيمة المعامل (معامل الشكل) بشكل كبير جدًا حيث تصل إلى ١٧ ، فقط مما يعكس ازدياد واضح في الطول النسبى لأحد بعدى الحوض على حساب الآخر .

ب - تضرس الحوض :

تبرر أهمية تضرس الحوض باعتباره انعكاسًا لنشاط عمليات التعرية وأثرها في تشكيل سطح الحوض إلى جانب إبرازه لأثر أنواع الصخور وخصائصها داخل حوض التصريف النهري .

١ - معدل التضرس :

تبلغ قيمته في حوض وادى أبو سمرة ٨,٥٧ ، وفي حوض جابر ٥,٣ ترتفع إلى ١١,٦ في حوض وادى الضبعة مما يدل على زيادة درجة التضرس في الحوض

الأخير بالمقارنة بحوض وادى أبو سمرة ووادى جابر حيث تتناسب قيمة هذا المعدل طردياً مع درجة تضرس الحوض كما يتضح ذلك من الجدول التالي رقم (١٠)؛ ويأتى هذا المعدل من قسمة تضاريس الحوض (الفارق بين أعلى وأدنى نقطة بالحوض ÷ طوله).

جدول رقم (١٠) قيم معدل التضرس والوعورة والكثافة التصريفية بأودية أبو سمرة وجابر والضبعة

اسم الحوض	قيمة معدل التضرس	قيمة الوعورة	الكثافة التصريفية
١ - أبو سمرة	٨,٥٧	,٠٩٨	١,١٥ كم/كم <sup>٢</sup>
٢ - جابر	٥,٣	,٠٥	١,٢٤
٣ - الضبعة	١١,٦	,٠٥٢٣	,٨٣

المصدر : المؤلف ١٩٩٤

## ٢ - قيمة الوعورة Ruggedness Value :

تدرس العلاقة بين تضرس الأرض داخل الحوض وأطوال مجارى شبكة التصريف، وبتطبيق قيمة الوعورة على أحواض الأودية الثلاثة وجد أنها تتراوح بين ,٠٩٨ في حوض وادى أبو سمرة ونحو ,٠٥ في كل من حوضى جابر والضبعة وهى قيم منخفضة تتميز بها عادة الأودية التى تجرى فى مناطق خفيفة التضاريس بشكل عام حيث ترتفع عند زيادة التضرس الحوضى أو عند زيادة أطوال المجارى على حساب المساحة الحوضية (Schumm, S.A, 1956, P12).

## ب- الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف بالاحواض الثلاثة

### أ- شكل الشبكة :

#### ١- معدل التشعب:

يتضح من الجدول التالي رقم (١١) بعض الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف المائي بأحواض الأودية الثلاثة على النحو التالي :

- يبلغ معدل التشعب ما بين المرتبة الأولى والثانية فى حوض وادى أبو سمرة ٢,٠٩ حيث يبلغ عدد أودية المرتبة الأولى ٢٣ وادياً والثانية ١١ وادياً ، بينما يزيد هذا المعدل إلى ٢,٦ فى حوض وادى جابر ويقل إلى ٢ فقط فى وادى الضبعة .

- يبلغ معدل التفرع (التشعب) فى حوض وادى أبو سمرة ٢,٩ وفى حوض جابر ٢,٣٦ يقل إلى ٢ فقط فى وادى الضبعة وهذه المعدلات أقل قليلاً من معدلات التفرع بالأودية النهرية العادية والتي تتراوح ما بين ٣ - ٥ وإن كانت تقترب من أرقام نسب التفرع التي ظهرت من خلال القياسات التي تمت على عدد من أحواض الأودية الجافة فى سيناء والصحراء الشرقية .

- من قياس أطوال المجارى بالأودية الثلاثة اتضح أن متوسط أطوال أودية المرتبة الأولى ٣٨, فى وادى أبو سمرة و ٧٥, كم فى حوض وادى جابر و وادى الضبعة ، بينما تبلغ متوسطات أودية المرتبة الثانية فيها على الترتيب ١,٩٦ و ٦٤, و كيلومتر واحد. ويعنى ذلك أن متوسط أطوال المرتبة الأولى فى وادى أبو سمرة أقل كثيراً من متوسط طول المرتبة الثانية ، أى أن التابع بين المرتبتين تابع سريع يرجع ذلك إلى أن أودية الرتبة الأولى تنحدر على الحافات المنحدرة مما جعلها لا تأخذ فرصتها لزيادة أطوالها بالإضافة إلى أنها تعيش خصائص الشباب، بينما تمر الأودية بالرتبة الثانية فى أرض المنخفض الطولى أو السهل الساحلى المرتفع لمسافات طويلة نسبياً.

وبالمقارنة لمجد التابع بين روافد الرتبة الأولى والثانية فى كل من وادى جابر والضبعة يسير فى الأول ببطء للغاية حيث يزيد متوسط الأودية بالرتبة الأولى عن الثانية وذلك بسبب امتداد الأولى داخل أراضي سهلية منخفضة وفى حوض وادى جابر يسير التابع معتدلاً بشكل عام.

- يبلغ متوسط طول الرتبة الثالثة فى الأودية الثلاثة على الترتيب ١,٤ - ٢,٢ و ٢,٢ و ٤,٢ ، ويمثل الأخير طول النهر الرئيسى بحوض الضبعة، وترجع زيادة أطوال هذه الرتبة إلى امتداد الحافات الطولية بحيث تقطعها فى خطوط مستقيمة .

جدول رقم (١١) بعض الخصائص المورفومترية لأودية أبو سمرة وجابر والضبعة

الرتبة	وادي أبو سمرة			وادي جابر			وادي الضبعة					
	العدد	التفرغ	العدد لكل رتيب	النسبة × العدد	العدد	التفرغ	العدد لكل رتيب	النسبة × العدد	العدد	التفرغ	العدد لكل رتيب	النسبة × العدد
١	٢٣	-	-	١٣	-	-	٦	-	-	-	-	-
٢	١١	٢,٠٩	٣٤	٧١,٦	٥	٢,٦	١٨	٤٦,٨	٣	٢	٩	١٨
٣	٣	٣,٦٦	١٤	٥١,٢٤	٢	٢,٥	٧	١٧,٥	١	٣	٤	١٢
٤	١	٣	٤	١٢	١	٢	٣	٦	-	-	-	-
المجموع	٢٨	٨,٧٥		١٣,٤٤	٢١	٧,١	-	٧,٣	١٠	٥		٣٠
معدل تفرغ الحوض		٢,٩				٢,٣٦				٢		

من حسابات المؤلف ١٩٩٤

٢ - كثافة التصريف :

تم تطبيق مقياسين من مقياس كثافة التصريف المائى .

**الكثافة التصريفية :-**

تتمثل فى العلاقة النسبية بين أطوال الأودية ومساحة الحوض وتبلغ قيمتها فى وادي أبو سمرة ١,٥١ كم<sup>٢</sup> وفى وادي جابر ١,٤ وفى حوض وادي الضبعة أقل من ذلك وجميعها نسب منخفضة تدل على تباعد المجارى عن بعضها البعض إلى جانب قصرها بالنسبة لمساحة الحوض ويظهر ذلك بوضوح أكثر فى حوض الضبعة .

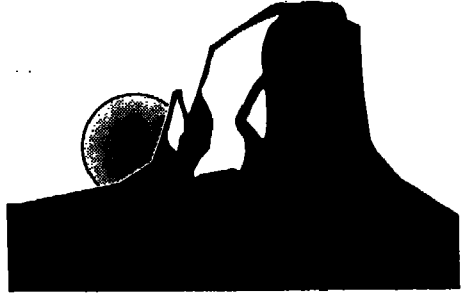
**تكرار المجارى :**

يقصد به النسبة بين أعداد المجارى - بصرف النظر عن أطوالها - إلى مساحته الحوضية ، وبالتطبيق على الأودية الثلاثة وجد أنها تصل إلى ١,٣ فى وادي أبو سمرة و ١,٤٤ فى وادي جابر وتنخفض إلى ٠,٨٢ فى وادي الضبعة .

\*\*\*



## الفصل السادس



المياه تحت الأرضية وأشكال الأرض  
الكارستية







المياه تحت الأرضية أو ما تسمى أحياناً بالمياه الجوفية هي تلك المياه المخزونة في مسام الصخور المختلفة فإذا ما كانت توجد في أعماق لا تزيد على بضعة مئات من الأمتار من السطح الخارجى للأرض عرفت باسم المياه الجوفية - meteoric water<sup>(١)</sup> وتمثل مصادرها أساساً في مياه المطر ومظاهر التساقط الأخرى من برد وندى وغيرها مما ينتهى به الأمر للتسرب داخل قشرة الأرض خلال مسام الصخور وخاصة عندما تكون هذه الصخور عالية النفاذية والمسامية highly porous and permeabl والتي تعرف بالصخور الخازنة reservoir rocks.

وهناك نوعان آخران من المياه الجوفية أقل في كميتها بكثير من النوع الأول يتمثل أولهما في الماء المتبقى بعد حدوث عمليات تبلور للمعادن من الصهير المتداخل في الصخر ويعرف باسم الماء الصهارى ونسبته إلى المياه الجوفية ضئيلة جداً .

ويتميز الماء الصهارى juvenile water أيضاً بارتفاع درجة حرارته وقد يتسرب جزء منه إلى أعلى قرب سطح الأرض بحيث يختلط بالمياه الجوفية سابقة الذكر لتظهر في شكل ينابيع حارة مثل تلك الينابيع والنافورات الحارة بمناطق النشاطات البركانية . أما النوع الثالث من المياه تحت الأرضية فيعرف بالماء المقرون connate water وهو ماء ترتفع به نسبة الملوحة كثيراً لأنه يرتبط بصخور رسوبية ترسبت في الأصل وسط مجال بحرى وهذه المياه هي مياه بحرية مالحة في أصلها احتسبت في مسام الصخور الرسوبية أثناء تراكمها وعادة ما يتمثل في مياه الآبار العميقة المرتبطة بالتنقيب عن البترول . وفي كثير من الأحوال قد تختلط المياه الصهارية والمياه السماوية قرب الأرض ، ونفس الشيء بالنسبة للمياه المقرونة .

وجدير بالذكر أن العمل الجيومورفولوجى عادة ما يرتبط بالمياه السماوية التي يظهر تأثيرها الكبير على بعض الملامح التضاريسية والأشكال الأرضية .

---

(١) أحياناً تسمى بالمياه السماوية وهي المياه التي يهتم بها الجيولوجيون عند عمليات التنقيب عن المياه لاستخدامها في أغراض مختلفة .

وإذا كانت هذه المياه (السمائية) أو الجوفية تتسرب إلى الصخور التحتية عن طريق المسام والشقوق والفواصل إلا أن بعضها قد يعود إلى السطح بفعل الخاصية الشعرية capillarity أو عن طريق امتصاص جذور النبات له، ولكن بشكل عام فإن الجزء الأعظم منها يبقى في باطن قشرة الأرض في تراكيب تعرف «بمكامن» المياه الجوفية وتبدو في شكل عدسات كبيرة الحجم تحاط بصخور مصمتة (غير مسامية) تمثل الأخيرة العامل الرئيسى في تكونها ولذلك كان اهتمام الجيولوجيين دائماً بتحديد تركيب أسطح الطبقات المصمتة في التسلسل الطبقي القريب من سطح الأرض (حسن وزملاؤه، ص ٢٩١) عند بحثهم عن المياه الجوفية.

### العوامل المتحكمة فى المياه تحت الأرضية :

تتحكم فى وجود وحركة المياه تحت الأرضية under ground عوامل عديدة تتمثل فى الميل العام للطبقات الصخرية الحاوية للمياه والصور التركيبية المختلفة من الصدوع والفواصل والقواطع الرأسية والأفقية ومسامية الصخر - كما ذكرنا - وقدرتها على الإنفاذ والإمرار.

وفما يلى دراسة تفصيلية للعوامل الثلاثة الأخيرة لما لها من قدرة كبيرة على التحكم فى حركة المياه تحت الأرضية مع إيجاز لمفهوم مكامن المياه الجوفية حتى يمكن تفهم الموضوع الذى توجد فيه المياه تحت قشرة الأرض.

#### أ - مسامية الصخر Porosity :

صفة تتميز بها بعض الصخور عن البعض الآخر يقصد بها النسبة بين حجم الفراغات إلى الحجم الكلى للكتلة الصخرية وهى عادة نسبة مئوية يمكن من خلالها المقارنة بين مسامية الصخور بعضها ببعض ، فمسامية بعض الصخور ضئيلة جداً مثل الجرانيت والذى تصل فيه إلى أقل من ١٪ وخاصة عندما يكون خالياً من الشقوق unfractured يماثله فى ذلك معظم الصخور النارية والمتحولة ، بينما تكون المسامية عالية فى أنواع كثيرة أخرى من الصخور مثلما الحال فى الحجر الرملى ضعيف التماسك والذى تصل فيه إلى ٤٠٪ كما تزيد إلى ٥٠٪ فى كل من الطين والصخور الطباشيرية وتتراوح فى الحجر الجيرى ما بين ٥٪ و ٢٠٪ وفى الحجر الجيرى الدولوميتى إلى أقل من ٥٪ .

وتعتمد مسامية المواد الرسوبية أساساً على شكل وترتيب جزئياته ودرجة تصنيفها وتلاحمها وتماسكها عند ترسيبها، وتعتمد كذلك على إذابة المواد القابلة للإذابة .

فإذا ما كانت الحبيبات متجانسة ومتقاربة في حجمها كانت أكثر مسامية من المفتتات مختلفة الأحجام حيث إنه في الحالة الأخيرة تتجمع الحبيبات الدقيقة في الفراغات التي تظهر بين الحبيبات الكبيرة، كذلك نجد أن الحبيبات ذات الزوايا الحادة angular particles<sup>(١)</sup> تقلل من المسامية بفعل تداخل الزوايا في الفراغات البينية، كما أن ترسيب المواد الكيماوية في الفراغات يقلل من مسامية الصخر، أما عن ترتيب الحبيبات في الصخر أو ما يعرف بالدموج packing فإن له تأثيره على مسامية الصخر حيث تكون الصخور المرتبة بشكل مندمج أقل في مساميتها من الصخور الأقل دمجاً في ترتيبها.

وتحسب المسامية من خلال المعادلة التالية:-

$$\text{مسامية الصخر} = \frac{\text{حجم الفراغات البينية بالكتلة الصخرية}}{\text{الحجم الكلي للكتلة}}$$

وتبسيطاً لهذه المعادلة فإننا لو تصورنا أن لترًا واحدًا من الرواسب يحتوي على ٢٥ لتر من الماء عند تشبعه فإن مساميته في هذه الحالة تساوي ٢٥٪ لأنها بالفعل تشغل ٢٥٪ من الحجم الكلي.

ب - نفاذية الصخر (الإنفاذ) Permeability:

يقصد بالنفاذية قابلية الصخر لإمرار الماء بين حبيباته، ويمكننا التعبير عن النفاذية من خلال المعادلة التالية:

$$K = \frac{m}{l \cdot v}$$

حيث إن ك = كمية المياه التي تمر خلال عينة صخرية (يراد قياس نفاذيتها في الثانية) .

(١) هناك حبيبات مستديرة rounded وأخرى زاوية angular، ومن حيث الشكل هناك حبيبات متساوية الأبعاد equant وأخرى مسطحة tabular وأخرى نصليّة وغير ذلك.

س = مساحة المقطع العمودي على اتجاه حركة الماء خلال الصخر وتقاس بالسم<sup>٢</sup>.

ط = طول العينة الأسطوانية بالسم.

ل = لزوجة السائل viscosity المار خلال العينة وتقاس بوحدة اللزوجة -cen tipoise (حسن وزملاؤه، ص ٢٩٠).

ص = فرق الضغط بين موقعي دخول السائل في العينة وخروجه منها.

م = ثابت لكل عينة وهو مقدار نفاذية الصخر الممثل في العينة.

ويمكن تقسيم الصخور من حيث نفاذيتها إلى صخور منفذة permeable وصخور غير منفذة impermeable rocks، وكما ذكرنا فإن نفاذية الصخور أو التربة عبارة عن قياس لقدرتها على إمرار المياه بين حبيباتها سواء كانت مسامية أو غير مسامية، فنجد على سبيل المثال أن الطين صخر مسامي ولكنه في الوقت نفسه غير منفذ، بينما نجد الرمل مسامياً ومنفذاً للماء ويرجع ذلك إلى أن حبيبات الطين دقيقة وبالتالي تكون شديدة التقارب من بعضها البعض والنتيجة الطبيعية لذلك وجود مسام صغيرة للغاية تمسك بالمياه بواسطة الخاصية الشعرية (أنور وفوزى، ١٩٦٥، ص ١٩٦) وعادة ما تكون الصخور المنفذة مسامية، بينما نجد أن الصخور عالية المسامية ليس شرطاً أن تكون عالية النفاذية، فصخر الخفاف pumice صخر عالي المسامية بدرجة كبيرة ولكنه منخفض للغاية في درجة نفاذيته لدرجة أنه يطفو فوق سطح الماء لعدة أيام ويرجع ذلك إلى عدم اتصال فراغاته (مسامه) pores ببعضها البعض بحيث يصعب على الماء التسرب داخلها.

ومن العوامل الهامة التي تؤثر على نفاذية الصخر حجم حبيباته grains-size الذي يؤثر بدوره على حجم مسامه، وبعد الزلزل والرمل والحجر الرملي sand-stone من الصخور التي تتميز بمساميتها وأيضاً بنفاذيتها وذلك بسبب عدم وجود مواد وتكوينات دقيقة كالصلصال والطفل غير المنفذة والتي تمثل أسطحاً للاحتكاك مما يؤدي إلى بطء حركة المياه بها ومن ثم تكون الصخور الأخيرة غير منفذة إذا لم توجد بها شقوق وفواصل تسمح بمرور المياه خلالها، وفي هذه الحالة يطلق على تحرك المياه «الإمرار» تستوى في ذلك الصخور غير المسامية مثل الكوارتزيت

والدلمويت والبارلت والجرانيت وغيرها، حيث إن وجود الشقوق فى هذه الصخور غير المسامية يؤدى إلى تحريك المياه خلالها وحيثذ يطلق عليها - رغم عدم مساميتها - صخور ممررة pervious-rocks وذلك تمييزاً لها عن الصخور المنفذة (من خلال المسام) حيث لا تتحرك المياه خلال حبيباتها ولكنها تتحرك فى ممرات وأنابيب طبيعية تتمثل فى الشقوق cracks والفواصل والصدوع. وللنفاذية أهمية كبيرة حيث تعد من أكثر العوامل التى تؤثر فى حركة المياه تحت الأرضية والتى بدورها تتأثر باختلاف معدلات النفاذية للصخور المختلفة.

ويمكن حساب كميات المياه التى تشربتها التربة وتخللت الصخور من خلال طرح مجموع معدلات التبخر evaporation rates ومعدلات الانسياب أو الجريان السطحي من التساقط precipitation<sup>(١)</sup>.

والمثال التالى يوضح ما سبق فإذا افترضنا أن معدل التساقط فى منطقة ما ولتكن (أ) فى اليوم ١٠٠ مللم لكل كيلومتر مربع ومعدل التبخر ٢٠ مللم فإنه بطرح الاثنين من بعضهما ينتج معدل المياه الجارية والتى تمثل بدورها احتياطي المياه الأنهار وروافدها وفروعها بالكيلومتر المربع تضاف إليها مياه الينابيع والعيون والآبار، فإذا ما ضرب هذا الرقم فى مساحة المنطقة بالكيلومتر المربع فينتج عن ذلك كمية المياه التى يمكن الحصول عليها فى المنطقة من المصادر المذكورة مع استثناء ما يستهلكه الإنسان فى أغراضه المختلفة.

وباختصار يمكننا تصنيف الصخور من حيث علاقتها بالمياه تحت الأرضية إلى صخور مسامية ومنفذة وهذه تعطى للمياه حرية التحرك وبالتالى تمثل خزانات للمياه تحت الأرضية مثلما الحال فى صخور الحجر الرملى النوبى بصحراء مصر الغربية والتى ترجع فى معظمها إلى العصر الكرتياسى الأسفل ، ويعد مصدر المياه بالآبار والينابيع بواحات سيوة والبحرية والخارجة وغيرها، كما تمثل صخور الحجر الجيرى أيضاً خزانات للمياه تحت الأرضية وذلك بسبب سرعة تكون الفواصل والشقوق به كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد.

(١) يطلق فى كثير من الأحيان على مجموع المياه النسابة على السطح والمياه المتسربة حتى عمق محدود فى القشرة الخارجية للأرض بالمياه الجارية حيث يعتبر المخططون أن الكمية المتسربة بمثابة احتياطي من المياه للتخطيط المستقبلى.

أما الثانية فهي صخور مسامية غير منفذة مثل الحجر الطيني mudstone وحجر الخفاف والطباشير والصلصال وغيرها، أما النوع الثالث فهو عبارة عن صخور غير مسامية ولكنها ممررة في نفس الوقت مثل الصخور التارية كثيرة الشقوق والفواصل ، والنوع الرابع صخور غير مسامية وغير ممررة non pervious مثل الحجر الجرانيتي الخالي من الشقوق والفواصل .

### منسوب المياه تحت الأرضية ونطاقاتها :

يطلق على مستوى الماء تحت سطح الأرض منسوب المياه تحت الأرضية un-derground water table وهو باختصار الحد الأعلى للمياه تحت الأرضية ، وهو عادة ما يتميز بتعرجه متمشياً مع الشكل العام للتضاريس السطحية ، ويختلف عمقه من منطقة إلى أخرى ، فهو يرتفع تحت التلال عنه تحت أو قرب الأودية وذلك في الأقاليم التالية ذات الأمطار المتوسطة ، حيث يصل عمقه ما بين بضعة أمتار وعدة أمتار تحت السطح ، أما في الأقاليم الجافة - حيث يقل المطر ويزداد التبخر - ينخفض منسوبه كثيراً ونجدّه ملاصقاً للسطح أو قريباً منه جداً وخاصة قرب الأنهار دائمة الجريان permanent streams والبحيرات والكتل المائية الأخرى ، كما نجدّه يصل إلى منسوب سطح البحر عند الشواطئ shores وفي المناطق المتباينة في تضاريسها بين مرتفعات ومنخفضات ، قد يحدث تقاطع منسوب الماء تحت الأرض مع هذه الظواهر مما قد يؤدي إلى ظهور مستنقعات swamps مثل تلك الموجودة في بعض قيعان المنخفضات الطبيعية مثل منخفض وادي النطرون والقطارة وسيوه وكلها توجد قيعانها تحت مستوى سطح البحر ، وهنا تظهر المياه في شكل برك ponds وبحيرات مثل بحيرة أم ريشة ومساحتها ٣,٢ كم<sup>٢</sup> مع سبع بحيرات أخرى أقل مساحة بمنخفض وادي النطرون ، كما تغطي السبخات نحو ٦٠٠٠ كيلومتر مربع من قاع منخفض القطارة وقد أرجعها بول Ball.J إلى تسرب المياه تحت الأرضية الموجودة بالحجر الرملي النوبي إلى السطح ، يشبهها في ذلك مستنقعات وبطائح المياه والبرك الموجودة بقاع منخفض سيوه مثل بحيرة الزيتون التي تبلغ مساحتها ١٥ كم<sup>٢</sup> وبحيرة أغورمي وكلها بحيرات ترتفع بها نسبة الملوحة بسبب صخور القاع الكلسية سريعة الذوبان في المياه إلى جانب ارتفاع طاقة التبخر (المؤلف ، ١٩٩٢ ، ص ١٣٥-١٣٧)

## تقاطع منسوب المياه تحت الأرضية مع سطح قاع المنخفض (\*)

أما في الأقاليم المناخية الرطبة فنجد أن مستوى الماء تحت الأرضى ينطبق مع مستويات المياه السطحية بالمناطق القريبة وعلى ذلك نجد أن نشع seepage المياه تحت الأرضية، بالإضافة إلى الجريان السطحي المباشر يؤدي إلى استمرار الأسطح المائية طوال السنة، وهناك أمثلة كثيرة على وجود مثل هذه الأسطح المائية من برك المياه العذبة في أمريكا وأوروبا حيث تمتد سهول رملية وحصوية من نتاج التعرية الجليدية تشتمل على تجويفات excavations وحفر نتيجة لدوبان الجليد (Strahler, A, and Strahler, A, 1982, p272) وعدم إمكانية تصريفها لانخفاض فيعانها عما حولها من مناطق، كما أن العديد من البرك قد امتلأت بالمواد العضوية - organic materials وذلك نتيجة لنمو النباتات المائية بها، وتحولت إلى أسطح منخفضة تكونت قريبة جداً من منسوب المياه تحت الأرضية.

وحيث توجد مياه أرضية في أية منطقة فإنها تظهر في ثلاثة نطاقات (١) أو ثلاث مناطق أقربها إلى السطح النطاق الجاف أو نطاق عدم التشبع unsaturation zone وهو نطاق لا يحتوى سوى على قدر محدود للغاية من المياه، وقد تحتوى مسام الصخور بجانب الماء قدرًا من الهواء وإذا ما وجدت مياه هنا فهي عبارة عن مياه عالقة suspended تختلف في سمكها من منطقة إلى أخرى تليها إلى أسفل منطقة متوسطة التشبع zone of intermittent saturation يوجد بها الماء في الشقوق الضيقة والمسام الدقيقة للغاية مثل مسام الحجر الطيني وذلك نتيجة لامتناعه بالخاصة الشعرية، ثم أخيراً منطقة التشبع الدائم zone of permanent saturation التي تمتلئ فيها كل الشقوق والمسام بالمياه وقد يصل عمقها إلى مئات الأمتار أو أكثر وذلك حسب التراكيب الجيولوجية بالمنطقة.

(\*) يقع منخفض سيوة دون مستوى سطح البحر بنحو ١٧ متراً.

(١) ينقسم هذا النطاق إلى ثلاثة نطاقات ثانوية تكون الحدود فيها غالباً غير واضحة.

أ - نطاق رطوبة التربة soil moisture يقع تحت السطح مباشرة.

ب - النطاق الأوسط intermittent zone .

ج - نطاق الخاصة الشعرية capillary fringe

وبالنسبة للحد الأعلى فهو كما ذكرنا يكون أقرب إلى السطح في المنا  
الرطبة عنه في المناطق ذات المناخ الجاف، كما أنه يختلف ما بين الشتاء والص  
فيرتفع في الشتاء وينخفض صيفاً تبعاً لنظام سقوط الأمطار، وقد يتسبب و-  
طبقة غير منفذة بين الصخور الحاملة للمياه في تغير المنسوب الأصلي للمياه  
الأرضية.

### حركة المياه تحت الأرضية وتقدير سرعتها :

يطلق على المياه عندما تتحرك ببطء خلال نطاق التشبع المائي من ق  
الأرض بالتخلخل percolation والذي يعتمد أساساً على درجة الانحد  
الهيدروليكي hydraulic gradient، بينما يتأثر اتجاه المياه بالعمق وميل الطبقة  
الرسوبية واختلاف درجة نفاذية الصخور، كما يؤدي اختلاف درجة الض  
الهيدروليكي على تحرك الماء تحت الأرض خلال الممرات وذلك من مناطق الض  
الأعلى تحت التلال إلى مناطق الضغط الأقل تحت الأودية.

وجدير بالذكر أن التغير في ارتفاع مستوى الماء تحت الأرض (تبعاً للتغير  
الفعلية في سقوط المطر) يكون أكبر تحت التلال منه تحت الأودية، كما أن الع  
الذي يتسرب إليه الماء من السطح يتباين من منطقة إلى أخرى تبعاً للمسام  
والنفاذية التي تختلف من صخر إلى آخر، ففي بعض الصخور المنفذة يصل  
السطحي في تخله إلى أعماق بعيدة تصل إلى آلاف الأمتار، بينما في الصخ  
غير المنفذة نجد القليل جداً من الماء يتجمع عند أعماق تتجاوز مئات الأمتار، و  
كانت الممرات المنفذة تتجه إلى أسفل مباشرة - وذلك بسبب ميل الطبقات الصخ  
المنفذة أو وجود شقوق تزيد من درجة النفاذية - فإن الماء قد يتجه إلى أسفل ن  
أعماق بعيدة ، وفي الصخور النارية والمتحولة نجد أن النفاذية تكون أساساً وظ  
عدد وحجم الشقوق ، فلو كانت الشقوق نادرة أو غير موجودة فإن فرصة وج  
مياه في أعماق بعيدة تكون نادرة للغاية.

أما عن سرعة المياه تحت الأرضية فإنها تتوقف عادة على عدة عوامل أهم  
حجم الحبيبات ودرجة النفاذية والضغط الهيدروليكي واختلافه من منطقة |  
أخرى واختلاف درجة حرارة الماء التي تؤثر بدورها على مقدار لزوجته . وقد و.



من خلال العديد من التجارب أن متوسط سرعة المياه خلال الرمال الناعمة (التي يتراوح حجم حبيباتها ما بين ٥ . و ٢٥ مم) ٢١ . مسر في اليوم تزداد في الرمال متوسطة الحجم ( من ٢٥ مم إلى ٥٠ مم ) إلى ٣٥ . مرة في اليوم وتصل إلى أكثر من مترين خلال الرمال الخشنة وإلى عشرة أمتار خلال تكوينات الحصى والزلط (موسى وزملاؤه، ص ٢٣٣).

### تداخل الماء تحت الأرض مع مياه البحر المالحة :

عندما يلتقي منسوب الماء تحت الأرض بشاطئ بحر أو بحيرة أو سطح مائي فإنه يأخذ شكل «قاطع ناقص» وذلك لالتقاء مياه البحر المالحة بالمياه تحت الأرضية، وتبدو المياه العذبة في شكل عدسة ضخمة ذات أوجه محدبة وسطحها العلوي محدب أيضاً حيث تتركز فوق المياه المالحة الأكثر منها كثافة (في أغلب الأحوال) وكثيراً ما يحدث اختلاط بينهما في منطقة التقائهما، وتبدو العدسة العذبة وكأنها طافية floating فوق المياه المالحة حيث تدسها الاحيرة إلى أعلى بحكم اختلاف الكثافة بينهما والتي تبلغ نسبتها بيهما ٤ - ٤١ ، ولو فرض أن منسوب الماء الجوفي عشرة أمتار فوق مستوى سطح البحر، فإن قاع العدسة المائية العذبة يكون ٤٠٠ متر تحت مستوى سطح البحر، أى قدر ارتفاع منسوب المياه تحت الأرضية ٤٠ مرة (Strahler, A.N., 1974, p 274). وتمتد المياه تحت الأرضية العذبة باتجاه البحر على بعد قليل من خط الشاطئ، وعند ضخ مياه الآبار المتاخمة للشاطئ يتزحزح الخط الفاصل بين الماء المالح والماء العذب إلى أعلى ولذلك يجب التوقف عن الضخ عند الوصول إلى منسوب المياه المالحة .

وتؤثر حركات المد والجزر tide على منسوب المياه تحت الأرضية قرب مناطق الشواطئ، حيث إنه عادة ما يتمشى مستوى مياه الآبار الساحلية مع مستوى المد أو أقل منه قليلاً ولذلك فمعظم مياه الآبار الساحلية لها تأثير ضار بسبب ما يحتويه من أملاح الصوديوم والمغنسيوم وغيرها .

وقد تمت دراسات عديدة على المياه تحت الأرضية في مناطق مختلفة من العالم ومنها شواطئ هولندا، ووجد أن هناك علاقة تربط بين كثافة الماء المالح وبين سمك الماء العذب الذى يطفو فوقه ، يبينها القانون التالى :

$$\frac{e}{m} = (1 - \theta) \quad (٩)$$

حيث إن ع = سمك طبقة الماء العذب فوق سطح البحر.

م = سمك طبقة الماء العذب تحت سطح البحر.

ث = كثافة ماء البحر فى المنطقة الساحلية.

١ = كثافة الماء العذب.

معنى ما سبق أن ثقل عمود طوله م (من الماء المالح) يساوى ثقل عمود طوله

ع + م من الماء العذب، أى أن :

$$م \times ث = (ع + م) \times ١ \text{ أو } م \times ث = (ع + م) \times ١$$

أى أن  $١ = ث + ١$  (للاستزادة راجع أنور وزميله، ص ٢١٣)

وكما عرفنا أن مستوى الماء الأرضى يتمشى مع الملامح الطبوغرافية ومعنى ذلك أنه يزداد ارتفاعاً مع ارتفاع السطح وبالتالي فإن (ع) وهى سمك الطبقة العذبة تكبر مع ارتفاع السطح قرب الشاطئ وعكس ذلك فى المناطق المنخفضة. وقد أدرك الرومان ذلك فى حفر آبارهم على الساحل الشمالى غربى الإسكندرية (ساحل مريوط) فقد تركوا بطون الأودية وحفروا آبارهم فى جوانب التلال المرتفعة بحيث يصل قاع البئر تحت مستوى الماء العذب بقليل ومدوا خنادق طولية (فوجارات) يجمع فيها ماء الآبار ليرفع بآلات الرفع التى عرفت فى تلك العصور ومازالت الآبار الرومانية منتشرة حتى الوقت الحاضر على طول ساحل مريوط وفى مناطق كثيرة من العالم.

وفى نطاق الكثبان الرملية الساحلية يتراكم ماء المطر المتسرب مكونا طبقة رقيقة من المياه العذبة جاثمة فوق ماء البحر المالح المتسرب، ولذلك تستخدم فى رفعها ظلمبات خفيفة وتحفر الآبار الضحلة حتى لا تصل إلى ماء البحر المالح، وتعرف هذه الآبار الضحلة قرب الساحل الشمالى فى مصر بالمعاطن (حمدان، ١٩٨٠، ص ٤٢٦) وبالابتعاد جنوباً تتميز هذه الآبار بزيادة أعماقها وتعرف هنا باسم «السوانى» مثل سوانى سمالوس بين العلمين وسيدى عيد الرحمن وسانية القصية شرق مرسى مطروح، كما تنتشر مثل هذه الآبار على الساحل الشمالى لسيناء وعلى طول ساحل البحر الأحمر فى مصر.

## أولاً - العمليات الجيومورفولوجية للمياه تحت الأرضية :

### مقدمة :

عندما يقترب منسوب الماء الجوفي (تحت الأرضي) من السطح - بحيث يدخل في نطاق قدرة الخصاص الشعيرية فإنه يرتفع إلى أعلى حاملاً معه الأملاح الذائبة *solved salts* والتي ترسب فوق سطح الأرض مكونة قشوراً ملحية بيضاء أو بنية اللون.

وفي بعض الحالات الخاصة ينتج عن وقوف الماء الأرضي مدة طويلة تكون طبقة صماء في المنطقة الواقعة فوقه مباشرة وذلك إثر حدوث تفاعلات بيولوجية وكيميائية في ظروف لاهوائية ينتج عنها تكون رواسب من الجبس (كالكب أد) كانت في الأصل عبارة عن أملاح كالكسيوم و صوديوم ومغنسيوم وفي بعض الحالات تظهر كربونات الصوديوم لتحول الطبقة إلى صخور غير منفذة.

وقد أظهرت التجارب التي تمت على أعمدة من الأراضي المختلفة - مشبعة بالماء ومعرضة للتبخر - انعدام أثر مستوى الماء الأرضي على رطوبة سطح التربة الرملية الخشنة عند عمق يزيد على ٣٥ سنتيمتر ويختفي هذا الأثر في التربة الرملية الناعمة والطينية الثقيلة على عمق يتراوح ما بين ٧ و ٨ سم على التوالي . وعلى هذا الأساس يمكن القول بأن مستوى الماء الأرضي يفقد أثره على ترطيب أية طبقة إذا ما زاد عمقه عنها بالمقادير سالفة الذكر.

والواقع أن التأثير الأكبر والأكثر وضوحاً للمياه تحت الأرضية يظهر في تلك المناطق من العالم التي تمتد بها مساحات مكونة من صخور قابلة للإذابة مثل الحجر الجيري والجبس والدلوميت والملح الصخري وغيرها، مما يؤدي إلى تكون طبقة أرضية مميزة تعكس بوضوح الظروف الليثولوجية *lithological conditions* .

ومن المعروف أن الحجر الجيري بشكل عام صخر كلسي يذوب في المياه تحت الأرضية وكذلك بفعل المياه الجارية التي تحتوى على حمض الكربونيك *carbonic acid*<sup>(١)</sup> وينتج عن ذلك تكون العديد من أشكال سطح الأرض التي توجد عليها

(١) من المعروف أن الحجر الجيري يتكون أساساً من كربونات الكالسيوم *calcium carbonate* غير

ظواهرات كارستية نسبة إلى إقليم كارست Karst بشبه جزيرة أستريا بساحل كرواتيا على البحر الأدرياتي والذي تتمثل فيه معظم أشكال الكارست المعروفة من بوجاز وحفر غائرة (هوات) وأودية عمياء وغيرها.

ونظراً لكون الحجر الجيري من أكثر صخور قشرة الأرض انتشاراً فإن الأشكال الكارستية توجد في مناطق كثيرة من العالم، من المناطق المدارية مثل جزيرة جاميكا وفيتنام والجزيرة العربية إلى المناطق المعتدلة مثل وسط الغرب الأمريكي إلى المناطق القطبية مثل جزيرة ساوث هامبتون في شمال كندا.

وتباين الأشكال الكارستية تبايناً كبيراً من منطقة إلى أخرى بسبب اختلاف الظروف المناخية والجيولوجية مكانياً مع الأخذ في الاعتبار أن الأشكال النموذجية من الكارست تتمثل أساساً في العروض المعتدلة المشابهة لإقليم كارست الكرواتى . وعادة ما تظهر أشكال سطح الأرض الكارستية المثالية عندما تختفى المياه السطحية في صخور الحجر الجيري المنفذ للمياه والذي يسمح لها بالتشرب والتخلل في الأرض بشكل سريع، ويؤدى وجود المياه داخل صخور ما تحته السطح وتحركها خلال شقوقها وفواصلها وفجواتها إلى حدوث نحت كيميائى corrosion<sup>(١)</sup>.

والواقع أن خاصية الجفاف التي تميز المناطق الجيرية ترجع إلى طبيعة الصخور الجيرية عالية النفاذية والتي بدورها - أى النفاذية - تعتمد على حجم الشقوق والفواصل الصخرية وتقاطعها مع بعضها، وكما أن قابلية الحجر الجيري للإذابة تعد عاملاً هاماً في تقوية وزيادة درجة الإمرار والنفاذية ، ومن ثم نجد أن المياه تحت الأرضية تكون قادرة على التشكيل في طوبوغرافية المناطق الجيرية بسبب مقدرتها على الإذابة solvent capacity بما تحتويه من ثانى أكسيد الكربون المذاب فيها. ويؤثر الماء تحت الأرضى في صخور الحجر الجيري من خلال ثلاث طبقات تتمثل في :

١ - المياه المتخللة percolated water وكما عرفنا فإن هذه المياه تكون قريبة من السطح بدرجة كبيرة حيث ترشح ببطء شديد فى كتل الحجر الجيري ولذلك

= القابل للذوبان insoluble ولكن ثانى أكسيد الكربون الذى تمتصه مياه الامطار من الجو يحولها إلى بيكربونات bicarbonate قابلة للذوبان ومن ثم كانت إزالته بفعل إذابة مياه المطر ومياه الأنهار الجارية .

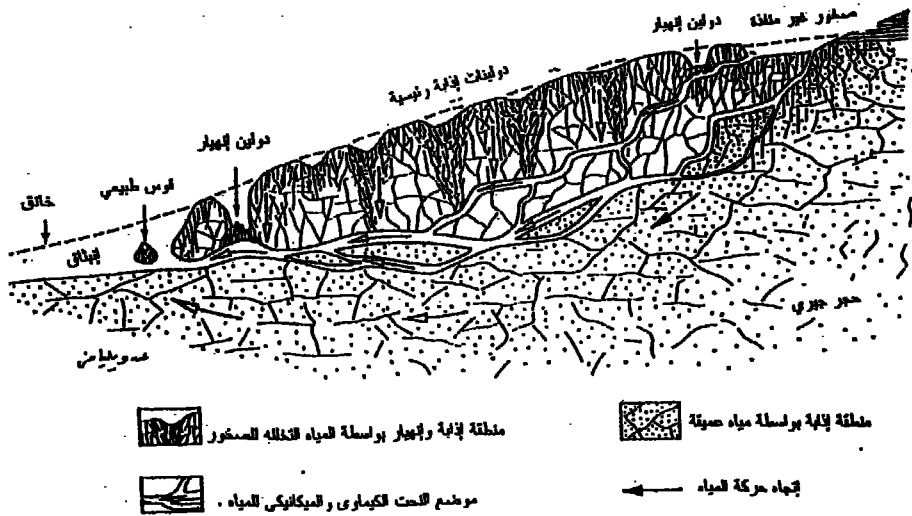
(١) قد يحدث ذلك أعلى أو أسفل مستوى سطح الماء تحت الأرضى .

فإن طاقتها النحئية *corrosive capacity* غالباً ما تبذل خلال عدة أمتار قليلة من السطح (Pitty A, 1968, p199) .

٢ - المياه تحت السطحية *subterranean* وتتحرك بسرعة تحت السطح، وعادة ما تكون قدرتها على الإذابة ممتدة لأعماق تصل إلى عدة مئات من الأمتار إلى جانب ذلك فإنها تلعب دوراً في النحت الميكانيكى .

٣ - يتمثل في المياه العميقة التي يصعب التأكد من دورها بسبب بعدها الكبير عن السطح وهى عادة ما توجد فى منطقة تشبع دائم كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٧٦) الذى يبين توزيع صور الإذابة خلال كتل الحجر الجيري لاحظ كذلك تدفق الماء التحتى الذى تشير إليه الأسهم سواء داخل شقوق متصلة ( أنهار تحتية أو فى منطقة الصخور الجيرية أسفلها ) حيث طبقة التشبع الدائم كما يظهر الشكل ، كذلك منطقة المياه العلوية القريبة جداً من السطح ومظاهر الانهيار *collapse* التى تعرضت لها الصخور الجيرية السطحية (William, p.1977, p111) .

وعموماً، فإن عمليات الإذابة التى تقوم بها المياه فى الصخور الجيرية ينتهى بها الأمر إلى تخفيض سطح الأرض بمعدلات تتراوح فى بعض المناطق ما بين ١ - ٢ - ملم فى السنة . ولكن على المدى القريب فإن التأثير الكارستى للمياه يختلف من قسم إلى آخر من الأقسام الثلاثة سابقة الذكر فالإذابة بفعل المياه المتخللة تخفض بشكل مباشر السطح؛ وذلك لأنها تعمل بقوة أكبر على السطح العلوى لسمك بضعة أمتار تؤثر عليها الشقوق والمفاصل التى تمثل مسالك للمياه المتخللة إلى أسفل ولذلك فإن هذه الشقوق وغيرها من مناطق الضعف التركيبى فى صخور تمثل مواضع تطور منخفضات الإذابة *solution depressions* والتى تختلف اختلافاً كبيراً فى أحجامها وأشكالها بالعروض المدارية عنها فى العروض المعتدلة أو العروض دون القطبية مما يدل على الأثر الواضح للمناخ فى تشكيلها (William, p.w, p110) .



شكل رقم (٧٦)

ف نجد على سبيل المثال أن المياه المتخللة للرواسب الفيضية والجليدية السميكة التي تعلو الحجر الجيري تكون عادة مسنولة عن تكون منخفضات صغيرة مغلقة تقع كلية داخل هذه الرواسب تعرف بحفر المجروفات drift dolines حيث تعمل المياه على نحت المفتتات نحتاً جزئياً بواسطة الإذابة الانتقائية selective solution لمكوناتها، وكذلك بواسطة غسل الرواسب الناعمة إلى أسفل في الفراغات الموجودة بالصخور السفلى underlying rocks في عملية تعرف بالمص أو الانتشار الكيماوى والميكانيكى chemical and mechanical suffosion .

والواقع أنه حتى الآن مازال من الصعب معرفة أو قياس الفروق بين الآثار النحتية erosive effects للمياه المتخللة والجريان المائى التحت أرضى subterranean flow، وإن كانت هناك اختلافات وظيفية واضحة بين كل منهما ، أكثرها

وضوحًا ما يتمثل في توزيع مواضع النحت ففي الحالة الأولى ( المياه المتخللة ) يظهر فوق مكشف الصخور الجيرية بينما في الحالة الثانية يقتضى أثر امتداد المجرى المائى التحتى كما سيتضح ذلك تفصيلاً فيما بعد.

### تطور طوبوغرافية الكارست :

تتطور الأشكال الأرضية بمنطقة التعرية الكارستية خلال سلسلة من المراحل الجيومورفولوجية إلى أن تصل فى نهاية الأمر إلى إزالة الصخور القابلة للإذابة بشكل تام، وكل مرحلة من هذه المراحل تميزها أشكال أرضية محددة.

ولإدراك هذه المراحل المختلفة لتطور الأشكال الكارستية ولفهم العمليات المسئولة عن هذه الأشكال لا بد لنا أن ندرك أولاً أنها تظهر فى المناطق الرطبة حيث مكاشف الطبقات الجيرية الأفقية أو قليلة الميل على السطح، وأن أهم ما يسود من هذه الأشكال هى الحفر الغائرة (الهوات) sinkholes وأودية الإذابة، وأن معظم التصريف المائى تصريف تحت أرضى، ومن ثم فقد انعكس ذلك على افتقار الإقليم الكارستى ككل إلى وجود نظام تصريف مائى متكامل حيث يقل عدد الروافد التى عادة ما تكون قصيرة جداً, (Hamblin, W.K and Howard, J1975, p98).

وعلى ضوء ما سبق يمكننا إيجاز مراحل تطور طوبوغرافية الكارست على النحو التالى:-

#### أ- المرحلة الأولية initial stage :

تنشط الإذابة مكونة كهوفًا وتكهفات تحت أرضية تنمو وتزداد حجمًا بحيث تنهار فى النهاية أسقف هذه الكهوف مكونة حفرًا غائرة تزداد بدورها عددًا وتزداد أحجامها مع اندماج البعض منها مكونة أودية إذابة solution valleys .

#### ب- المرحلة الوسطى :

عندما تتعدد أودية الإذابة وتترابط مع بعضها البعض، فى هذه الحالة يمكن اعتبار التعرية الكارستية فى مرحلتها الوسطى أو مرحلة النضج التى تتميز بإزالة

الجزء الأكبر من السطح الأصلي، مع بروز الأشكال الكارستية بشكل واضح فوق سطح المنطقة.

جـ- المرحلة النهائية :

مع استمرار نشاط عمليات الإذابة تحت المنطقة في النهاية وتخفيض حتى صخر الأديم (صخر الأساس) bed rock الجيرى. وكل ما تبقى على السطح عبارة عن عقد مخروطية conical knolls متخلقة عن عمليات التعرية الكارستية وكذلك تلال مستديرة متاثرة، وقد تستمر مرحلة الشيخوخة هذه إذا ما وجدت طبقات جيرية أخرى تحت السطح.

### ثانياً: الأشكال الأرضية الكارستية Karst Landforms

يظهر العديد من الأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بعمليات التعرية الكارستية في صخور الحجر الجيري الذي يتميز كما عرفنا بكثرة فواصله ووضوح أسطح طبقيته والتي سرعان ما تصبح أكثر اتساعاً بفعل عمليات الإذابة لتأخذ أشكالاً وملامح أرضية متنوعة تتميز بها المناطق الجيرية في كثير من أجزاء العالم بعضها يظهر فوق سطح الأرض مثل الحفر الغائرة والمنخفضات الكارستية بأشكالها وأبعادها المختلفة والبوجاز bogaz (تشرشر السطح الجيرى) وفتحات «الدخول» وغيرها، والبعض الآخر مختلفاً تحت سطح الأرض مثل الكهوف وما بها من ملامح جيومورفولوجية تفصيلية مثل النوازل والصواعد والقشور الملحية وكذلك الأودية التحتية العمياء وغير ذلك من ملامح نتجت عن عمليات جيوكيماوية.

وفيما يلي معالجة تفصيلية لأهم الأشكال الأرضية الكارستية:

#### أ- الحفر الغائرة (الهوات) sinkholes :

يطلق مصطلح sinkholes أو حفر عميقة أو هوة على المنخفضات المغلقة التي تتكون وتطور فوق أسطح صخور الحجر الجيري بفعل عمليات الإذابة المائية المكربنة (عودة، ١٩٨٤، ص ١١) وعادة ما تظهر هذه الأشكال في المناطق الجيرية الرطبة كما أنها قد تظهر أيضاً كما عرفنا في المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تنشأ عمليات الإذابة التحتية.



ومع اختلاف الهوات فى مساحاتها وأعماقها وأشكالها من منطقة إلى أخرى إلا أنها تعد من أكثر الأشكال الكارستية وضوحاً. بعض هذه الحفر التى تتطور فوق سطح جبرى متكهف cavernous تمثل بالرواسب القادمة من جوانب التلال القريبة وبعضها ذو جوانب شديدة الانحدار تتميز بالعمق، متخيرة مواضع تقاطع الفواصل الصخرية التى تتحول مع عملية الإذابة التدريجية إلى حفرة عميقة يتوقف شكلها على الخصائص التركيبية التفصيلية للصخر.

وقد ميز جننج (Jennings, 1971) بين خمسة أنواع من الحفر الكارستية (الهوات) يتمثل أهمها فى نوعين أكثر وضوحاً هما:

١ - حفر الإذابة solution sinkholes: وتنتج عن عملية إذابة تدريجية للصخور السطحية يطلق عليها أسماء محلية مثل swallowholes, sinkholes و swallow و dolinas (جودة، ص ٤٥٣).

٢ - حفر الانهيار collapse sinkholes: وتنتج عن حدوث عمليات تقويض للتكوينات التحتية بفعل الإذابة مما يؤدي إلى انهيار الصخور السطحية الجيرية وقد تتصل هذه الحفر ببعضها البعض وتكون بالوعات مركبة، كما قد ينتج عن الانهيار تكون أحواض طولية تتميز بجوانبها شديدة الانحدار يطلق عليها فى ساحل دلاشيا الكرواتى تعبير «بولج» polje (أبو العينين، ١٩٦٦، ص ٤٩٩). ويستخدم الآن مصطلح «dolin» بشكل واسع فى الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة ليعنى جميع المنخفضات الكارستية بأحجامها وأشكالها وأبعادها الجيومورفولوجية المختلفة سواء كانت ناتجة عن الإذابة أم الانهيار<sup>(١)</sup>.

### ١- العوامل الجيومورفولوجية التى تساعد على نشأة الحفر الغائرة وتطورها

تتمثل أهم العوامل المؤثرة فى نشأة وتطور أبعاد الحفر الكارستية الغائرة بأنواعها المختلفة فيما يلى:

---

(١) تتراوح أعماقها بين بضعة سنتيمترات و ٣٠٠ متر أو أكثر وتتراوح درجات انحدار جوانبها بين ٢٠ و ٩٠ درجة.

- خصائص الحجر الجيري التركيبية والجيولوجية: تتمثل هنا في كثرة الشقوق والفواصل الصخرية التي تعد بمثابة مناطق ضعف تهاجمها المياه المشبعة بحمض الكربونيك بحيث يؤدي ذلك إلى السماح بتخللها للطبقات الصخرية إلى أسفل - تحت الطبقات السطحية - كذلك تتمثل خصائصه في تكونه من كربونات الكالسيوم التي تتحول كما ذكرنا إلى بيكربونات كالسيوم قابلة للإذابة خصائصه وخاصة مع تعرضها لمياه مكرنة (حمض كربونيك)<sup>(١)</sup>.

- انحدار هين لسطح الحجر الجيري وميل محدود لطبقاته مما يساعد على بقاء المياه فترة أطول تمكنها من القيام بعملية الإذابة الكارستية فوق سمك أكبر من الطبقات.

- وفرة الأمطار الساقطة والتي تلعب الدور الرئيسي في تكوينها.

## ٢- بعض القياسات المورفومترية الخاصة بالحفر الغائرة :-

كما ذكرنا سابقاً فإن هناك أنواعاً مختلفة من الحفر الكارستية منها حفر الإذابة solution dolines وحفر الانهيار collapse dolines وهناك أيضاً حفر الركام وحفر الانهيار في صخور تعلو الحجر الجيري وغير ذلك ولكن أهمها جميعاً حفر الإذابة وحفر الانهيار شكل رقم (٧٧).

والواقع أن القياسات المورفومترية المعتمدة على الخرائط والصور الجوية يمكننا من خلالها فقط وصف الخصائص العامة لتلك الأشكال الكارستية ، ومن ثم فإن الخصائص التفضيلية يمكن أن تستقى من القياسات الحقلية.

ورغم سهولة تحديد الأشكال الكارستية إلا أن بعضها مثل معظم الحفر الغائرة - على سبيل المثال - يصعب تحديد نوعها دون عمل اختبار من خلال عمليات حفر excavating وإخضاعها لبعض القياسات المورفومترية، وتحديد بعض الخصائص الظاهرية الملموسة، وتكمن الصعوبة هنا في كون عمليات الإذابة

---

(١) تركزت هذه المياه بسبب انحدارها بشان أكسيد الكربون الموجود بالجو وكذلك الموجود بالصخور (التربة السطحية) الغنية بالمواد العضوية.



دوان إلهية

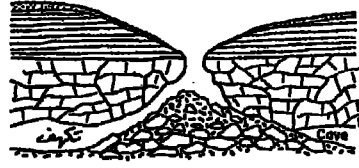


دوان لإلعة



عمق وإلهيز

دوان إلهيار



دوان إلهيار في صخور ترتكز على حجر جيري

شكل رقم (٧٧)

والانهيار تتضافر بنسب متباينة في إبراز هذه الأشكال (Williams, P.W, P116) وعلى ذلك فإن المنهج المورفومتري هنا يجب أن يركز على قياس خصائص الشكل shape والحجم والتوزيع تاركًا الخصائص الأخرى للعمل الميداني.

ويمكننا فيما يلي تتبع بعض القياسات المورفومترية للحفر الغائرة على النحو التالي:

#### - كثافة الحفر Dolines Dinsity :-

تمثل عدد الحفر الغائرة لكل وحدة مساحة معينة ويمكن تحديدها من خلال توقيع الحفر على خريطة لمنطقة ما معلومة المساحة وحساب عددها وقسمته على مساحة المنطقة ولتكن مثلاً خمس حفر لكل كيلو متر مربع.

وقد أظهرت الدراسات الخاصة بكثافة الحفر الغائرة وجود علاقة بين كثافتها ومساحاتها كما أظهرت وجود علاقة بين الخصائص التركيبية والليثولوجية للصخور وكثافة الحفر.

## - معامل طاقة التضرس Relir Enerfy Ratis :-

يمكننا الحصول عليه من خلال النسبة بين عمق الحفرة وقطرها ويرى كل من coleman وبالشن Balchin أن منحني الحفر الغائرة الذي ينشأ بمعلومية إحداثيين أحدهما يمثل العمق والثاني يمثل قطرها سيكون خطأ مستقيماً إذا ما كانت حفرة إذابة وإذا ما ابتعد الخط عن الاستقامة تكون الحفرة ناشئة بفعل الانهيار .

وقد أظهرت دراسة (عودة) لجيومورفولوجية «هوات» الجبل الأخضر بليبيا قياسات مطابقة للعلاقة السابقة، فقد أظهرت خطوط العلاقة بين العمق والقطر عدم انتظام في شكلها - عدم استقامة - كما أشهرت الدراسة أيضاً وجود علاقة بين عمر الحفرة ومعامل طاقة التضرس وذلك في حالات حفر الانهيار، حيث إنه كلما صغر هذا المعدل دل ذلك على تقادم عمر الحفرة الغائرة (عودة)، ١٩٨٤، ص(٢٧).

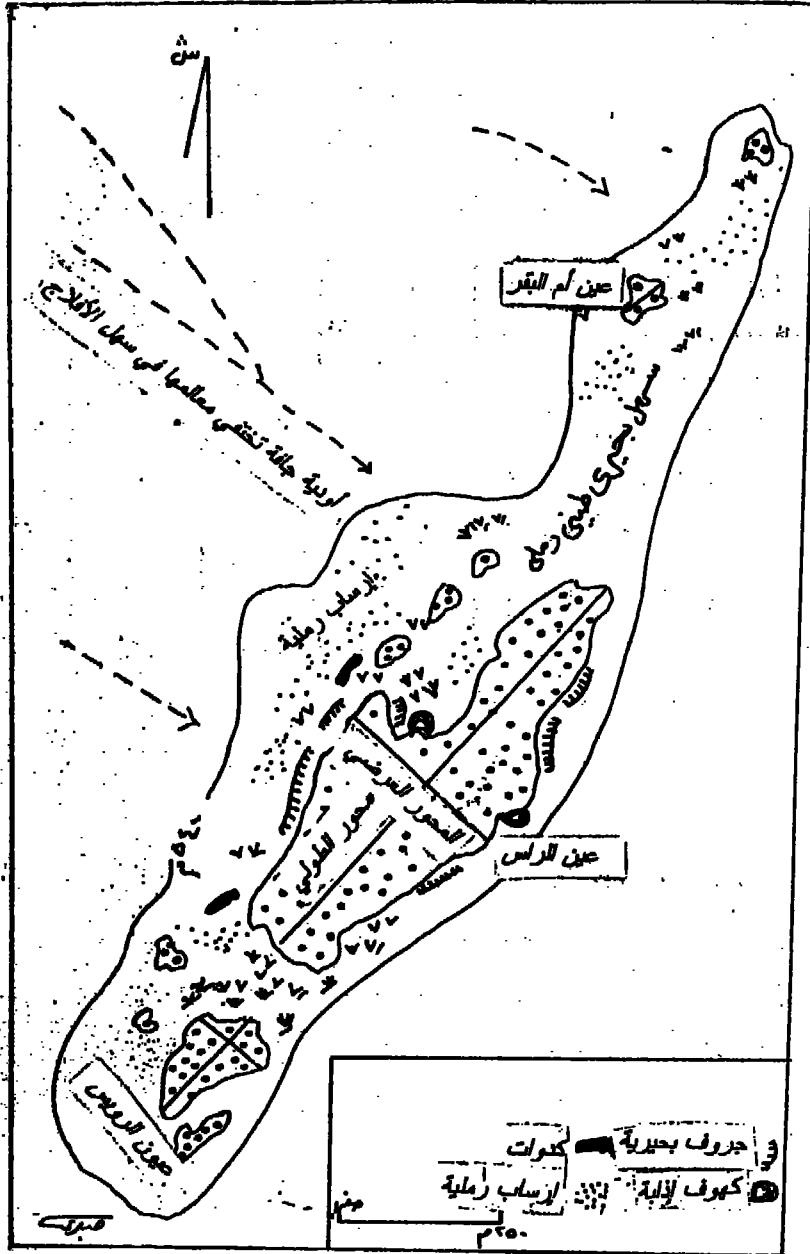
وفي دراسة سابقة للمؤلف بمنطقة التعرية الكارستية في إمارة الأفلاج بهضبة نجد قام بقياس معامل طاقة التضرس للبحيرات الرئيسية الأربع باعتبارها حفراً كارستية ووجد أنه يتراوح بين ٠.٤٩ ، في بحيرة الرأس و ٢٢ ، وفي بحيرة الرويس وهو بالطبع معامل منخفض إذا ما رفع على رسم بياني فإنه يتخذ خطأ أقرب إلى الاستقامة مما يدل على الأثر الواضح لعمليات الإذابة بجانب الانهيارات (المؤلف، ١٩٨٦، ١٢٥).

## - معامل الاستطالة :-

يقصد به النسبة بين طول الحفرة الكارستية وعرضها ويستخدم هذا المقياس للدلالة على الشكل كذلك للدلالة على تماثل الزيادة في الامتداد السطحي بين الحفر (المنخفضات) الكارستية .

ويوضح الشكل التالي رقم (٧٨) الملامح المورفولوجية لبحيرات (عيون) الأفلاج باعتبارها حفراً كارستية ممتلئة بالمياه الجوفية .

كذلك يوضح الجدول التالي رقم (١٢) أبعاد هذه البحيرات . وبحساب معامل الاستطالة لها وجد أنه يبلغ على الترتيب ٢ فى عين الرأس و ٣٣، ١ لعين



شكل رقم (٧٨)

الرويس و٤، ١ فى أم برج ويصل أقصاه فى بحيرة أم هيب الطولية التى تشبه كثيراً حفر الأوفالا ovala الكارستية من حيث الشكل والنشأة، فهى تبدو فى شكل مستطيل ضيق يبلغ طوله ١٥٠ متراً وعرضه ٥٠ متراً نشأت بفعل الإذابة التى أعقبها انهيار الأسقف الكهفية وهبوط الممرات التحتية حيث يبلغ معامل استطالتها ٣، أى ضعف معامل استطالة عين أم برج.

جدول (١٢) أبعاد عيون (بحيرات) الأفلاج بهضبة نجد

العين	أكبر عرض	أكبر طول	المساحة بالمتر المربع	متوسط العمق	أعمق جزء	طول المحيط
الرأس	٦٠٠ متر	١٢٠٠	٢٨,٠٠٠	٢٨,٤	٤٢	٢,٢٥
الرويس	١٥٠	٢٠٠	٢٧,٠٠٠	٢٣,٢	٤٥,٣	,٧
أم برج	١٦٠	٢٢٥	٢٨,٠٠٠	٢٧,٥	٣٤,٣	,٦٥
أم هيب	٥٠	١٥٠	٩,٥٠٠	٣١,٨	٢٢	,٥

المصدر / صبرى محسوب ١٩٨٦

ويلاحظ بشكل عام ارتفاع قيمة معامل الاستطالة فى العيون الأربع وإن تفاوتت من بحيرة إلى أخرى، كما يلاحظ أيضاً أنه يتمشى فى علاقة طردية مع زيادة المساحة، وإن دل ذلك على شيء فإنما يدل على تشابهها فى العمليات التى مرت بها كما يدل أيضاً على اقتراب أعمارها من بعضها البعض. ويمكن الرجوع إلى الشكل رقم (٧٨) الذى يبين العلاقة بين محاور البحيرات الثلاث الأخيرة بالجدول السابق ومدى انحرافها عن الشكل الدائرى. ويلاحظ كذلك أن جميع البحيرات - وخاصة الكبيرة منها - تتخذ اتجاهات متماثلاً فى امتداد محاورها الطولية من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى، ويتمشى هذا الاتجاه المشترك مع الانحدار البطيء للأرض وميل الطبقات باتجاه الشمال الشرقى، ومعنى ذلك أن هناك علاقة بين اتجاه المحاور الطولية من جانب وكل من الانحدار وميل الطبقات الصخرية من جانب آخر (المؤلف، ١٩٨٦، ص ١٢٤).

إلى جانب ما سبق هناك الكثير من القياسات المورفومترية التي يمكن القيام بها لتحديد الخصائص الجيومورفولوجية للحفر الكارستية والتأكد من الكثير من العلاقات التي تربطها ببعضها البعض، فيمكن عمل قطاعات طولية وعرضية للحفر كذلك تحديد اتجاهات ميل المحور وعلاقته بانحدار السطح وميل الطبقات وعلاقته كذلك بالصور التركيبية من صدوع وشقوق وغير ذلك، وكذلك تحديد أقصى اتساع للحفر عند القاع وإيجاد علاقة ما بين مساحة الفتحة العلوية ومساحة القاع وعمل قطاعات للسفوح الداخلية للحفر وغير ذلك من قياسات تفيد كثيراً في تفهم جيومورفولوجية الحفر الكارستية (للاستزادة، راجع إمبابي وعبد السلام ١٩٩١). راجع كذلك الصورة رقم (١٧) التي يظهر بها منخفض سيرة بوكرباس شمالي ليبيا ولاحظ منها ما يلي:



صورة رقم (١٧)

### هوة سيرة بوكرباس

- السطح الذي حدث عليه الانهيار ويتميز بالخشونة.
- سطح الإذابة المصقول. - حطام سقف المنخفض.

## ب - السطح الجيرى المشرشر (البوجاز) Bogaz :

تنتشر ظاهرة السطوح الجيرية المشرشرة (البوجاز) فى المناطق الجيرية التى تختفى منها الغطاءات النباتية التى تتميز بتضرسها وعدم انتظامها. ويقصد بظاهرة البوجاز انتشاراً سطوح منفصلة عن بعضها بواسطة قنوات غائرة تتسبب أساساً عن عمليات إذابة فى صخور الحجر الجيرى، حيث تتسرب مياه الأمطار فى الشقوق التى تتميز بها هذه الصخور فتؤدى إلى زيادة اتساعها بشكل مضطرد. ومن العوامل التى تساعد أيضاً فى تكوينها عدم انتظام السطح وكثرة الفواصل الصخرية ودرجة النفاذية العالية التى يتميز بها الحجر الجيرى.

وتنتشر ظاهرة البوجاز أو الأسطح الجيرية المشرشرة فى كثير من المناطق التى تتعرض للتعرية الكارستية وعادة ما تأخذ أسماء محلية تختلف من دولة إلى أخرى فهى فى إنجلترا تعرف باسم clints وفى فرنسا lapies وتعرف فى ألمانيا باسم kar ren. وتعد منطقة الحجر الجيرى الكربونى فى يوركشير ببريطانيا من مناطق انتشار هذه الظاهرة وكذلك منطقة كارست فى دلماشيا بكمالاتيا.

توضح الصورة التالية رقم (١٨) مظهراً لسطح مشرشر فى يوركشير ببريطانيا حيث تتميز تلك المنطقة بامتداد سطوح من الطبقات الجيرية الأفقية وشبه الأفقية تظهر بها بوضوح نظم الفواصل الصخرية joint systems التى تمثل هدفاً للإذابة التى أدت إلى توسيعها وتقطع السطح إلى سلسلة من الكتل الصخرية المنفصلة separated blocks بواسطة شقوق يبلغ اتساعها أكثر من قدم واحد وعمق مماثل لهذا الاتساع.. وهذه الكتل تعرف فى بريطانيا باسم clints (كما سبق ذكرها) وتعرف الشقوق الغائرة الممتدة امتداداً طويلاً بينها باسم grikes، ويعرف الملمح الجيومورفولوجى ككل برصيف الحجر الجيرى limestone pavement وإن كان البعض يرى بأن هذا الرصيف الجيرى الذى يظهر فى شمال إنجلترا ربما يكون قد نشأ فى البداية تحت غطاء نباتى ولكنه انكشف حديثاً بعد تعرض المنطقة لظروف مناخية جافة ( Sawyer, k.E, P121 ).





صورة رقم (١٨)

وجدير بالذكر أن بعض الأشكال الناتجة عن الإذابة الكارستية تظهر فوق سطح الهضبة الوسطى بصحراء مصر الغربية، أهمها حفر الإذابة التي عادة ما تتخبر مواضع الشقوق وتقاطعات الفواصل الصخرية بطبقات الحجر الجيري، وتبدو في أعاليها دائرية الشكل تحيط بها جوانب منحدره وهي بطبيعة الحال ظاهرات كارستية موروثه تكونت خلال فترات المطر السابقة pluvial periods وتوجد أيضاً مثل هذه الحفر فوق سطح هضبة «الصمان» شرق المملكة العربية السعودية وتعرف هناك باسم «الدحول».

ويوجد إلى الشرق من منخفض الخارجة سطوح جيرية غير منتظمة واسعة المساحة تنتشر فوقها درنات صخرية concretions مختلفة الأحجام من الصوان تتراوح أقطارها ما بين المتر ونصف المتر وهي عبارة عن تكوينات سليكية - أكثر صلابة من الصخور الجيرية ترسبت في شكل عقد مع الصخور الجيرية أثناء ترسب الأخيرة، وعندما تعرض الصخر الجيري للتجوية الكيماوية (الإذابة الكارستية)

نتيجة لنشاط المياه الجوفية أو مياه المطر - خلال فترات المطر السابقة - فقد تآكل تاركًا على سطح المنخفض تلك الدرنات أو العقد الصوانية التي لم تستجب لعمليات الإذابة بنفس درجة استجابة الصخور الجيرية فيبدو السطح في مظهره يشبه ما يعرف جيومورمولوجيا بـ «بحقول الجلاميد» boulder fields ويعرف محليًا باسم « وديان البطيخ » وتعرف الجلاميد نفسها بـ ( البطيخ المسخوط ) نظراً لشكلها الدائري أو شبه الدائري . كذلك يوجد مظهر الخرافيش وهو سطح جيري غير منتظم أقرب إلى شكل الرصيف الجيري الكارستى يظهر في مناطق واسعة من سطح الهضبة الجيرية الإيوسينية الوسطى بالصحراء الغربية .

### ج- الكهوف الكارستية karast Caves :

الكهوف الكارستية ببساطة عبارة عن ممرات تمتد تحت سطح الأرض مقستفة في امتداداتها المفاصل والشقوق الصخرية حيث إن الأخيرة هي التي تحدد أنماط الكهوف وأشكالها المختلفة .

وتظهر الكهوف الضخمة في المناطق الجيرية وخاصة في المناطق الرطبة ومن أمثلتها كهف ماموث Mammoth Cave بولاية كنتكي الأمريكية حيث يبلغ طوله ٣,٥ كيلومتر أو نحو ١٩٧ ميلاً وكهف «ماجور كان» Major Can في جزر البليار وكهف كارلسباد بنيو مكسيكو والذي يبلغ طوله ٤٠٠٠ قدم وعرضه ٦٠٠ قدم وارتفاعه نصف عرضه .

وتعد هذه الكهوف مناطق لإعادة ترسيب الكربونات وتكوين الأورز ooz في الشقوق المنتشرة بأسقفها وحوائطها . فتتكون بها الأعمدة الترافرتينية الصاعدة والمعروفة بالصواعد up ward groing stalagmites والأعمدة الترافرتينية الهابطة المعروفة بالنوازل down ward growing stalactites والتي تظهر في كثير من الأحوال متصلة ببعضها البعض مكونة أعمدة طبيعية من الترافرتين (الحجر الجيري الكيماوى) حيث يتشابك عمودان ليتكون عمود واحد يتميز بسمكه الكبير يعرف بالعمود الترافرتيني travertine pellar وقد يكون هذا العمود نتاج امتداد أحد

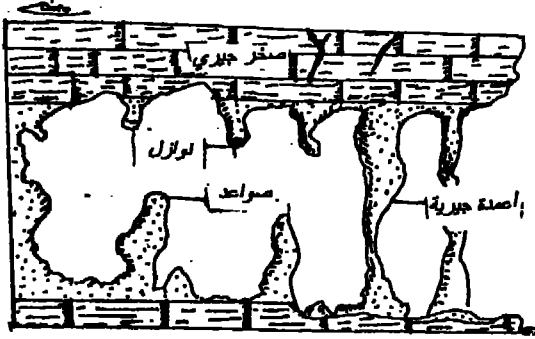
الصواعد حتى سقف الكهف أو امتداد أحد النوازل حتى قاعه، كذلك توجد أعمدة تنمو فى وضع أفقى أو تنمو فى وضع مائل على شكل خطوط مائلة يطلق عليها تعبير هاليسيتات halietite. وتتكون مثل هذه الملامح المورفولوجية الدقيقة داخل الكهوف نتيجة لتبخر جزء من المياه التى تنساب داخلها، فعندما تتخلل المياه الشقوق باتجاه قاع الكهف فإن جزءاً منه يتبخر تاركاً رواسب جيوية كيميائية ومتبخرات evaporites تنمو إلى أعلى فى وضع رأسى مكونة عموداً صاعداً أو مائلاً (هاليسيت) وعندما يتبخر الماء على سقف الكهف قرب الشقوق فإنه يترك ما به من جير مذاب ينمو إلى أسفل فى شكل عمود هابط، وكل ذلك نتيجة ما يرتبط بعمليات التبخر من مكون عقد من كربونات الكالسيوم المترسبة فى المواضع سالفة الذكر.

وعادة ما تأخذ رواسب الكهوف اللون الأبيض، ولكن عندما تزداد بها نسبة أكاسيد الحديد والمغنسيوم والنحاس يتحول اللون المبيض إلى الغمقة.

بالإضافة إلى الترافرتين العادى وتكوينات الأورر فقد تغطى النباتات التى تنمو بها بطبقة جديدة من الرواسب التى تظهر فى شكل صخر إسفنجى spongy rock تعرف بالطوفا وهى صخور ذات تكوينات عضوية ارجع إلى الشكل التالى رقم (٧٩) الذى يبين رسماً توضيحياً لأحد الكهوف وما به من ملامح جيومورفية وترسبات كيميائية. كما توضح الصورة التالية رقم (١٩) أحد الكهوف الكارستية عند حضيض حافة جبلية بهضبة نجد، لاحظ امتداد الكهف بضيق نحو الداخل وامتداد الفواصل والشقوق فى سقف الكهف الذى يتميز بخشونة أسطحه بسبب تعرضه لعمليات انهيارات صخرية.

وقد قام المؤلف بدراسة لكهف الشاب (غار الشاب) بجبل «قارة» بواحات الإحساء، وقد اعتمد فى دراسته على الخرائط الكنتورية والقياسات الحقلية، وقد أظهرت هذه الدراسة العديد من الخصائص الجيومورفولوجية التى يتميز بها هذا الكهف والتى يمكن إيجازها فى النقاط التالية:

- يمتد كهف الشباب  
بالجانب الشرقى لجبل قارة  
مع تفرعاته الداخلية لمسافة  
١٥٠٠ متر شكل رقم  
(٨٠).



شكل رقم (٧٩)

- تمتد من الكهف  
تفرعات رأسية تتصل بسقف  
الجبل إلى أعلى ويقع  
الكهف على  
منسوب ١٤٥  
متراً وقد  
ساعدت  
الفواصل  
الصخرية على  
انزلاق وانهيار  
كتل الحجر  
الجيري الرملى  
فى مدخل  
الكهف وعلى  
طول امتداده

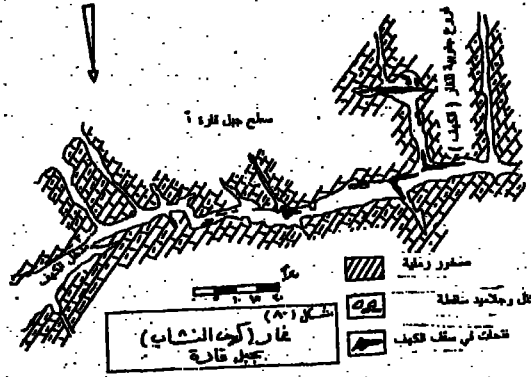


صورة رقم (١٩)

داخل كتلة جبل « قارة » كما يتضح ذلك من الشكل السابق رقم (٨٠) وخاصة  
مع ارتكازها على تكوينات طينية هشة صورة رقم (٢٠).

- لوحظ امتداد الفتحات فى سقف الكهف مع استقامة أغلب القنوات  
الكهفية وتعامدها مع امتداد الكهف الرئيسى وكثافتها بالجانب الجنوبى منه .

- تدل القنوات الخانقية التى تنتشر فى قيعانها تراكمات الحصى المستدير  
rounded gravels على حدوث نحت مائى نشط فى فتحات سابقة أكثر رطوبة من  
الظروف الحالية .



شكل رقم (٨٠)

- يظهر سطح كتلة جبل قارة مقطع بفعل قنوات تمتد في غمط شجري تصل أعماقها إلى أربعة أمتار في المتوسط مع اتساعات تصل إلى بضعة أمتار مما يؤكد نشاط التعرية المائية القديمة.

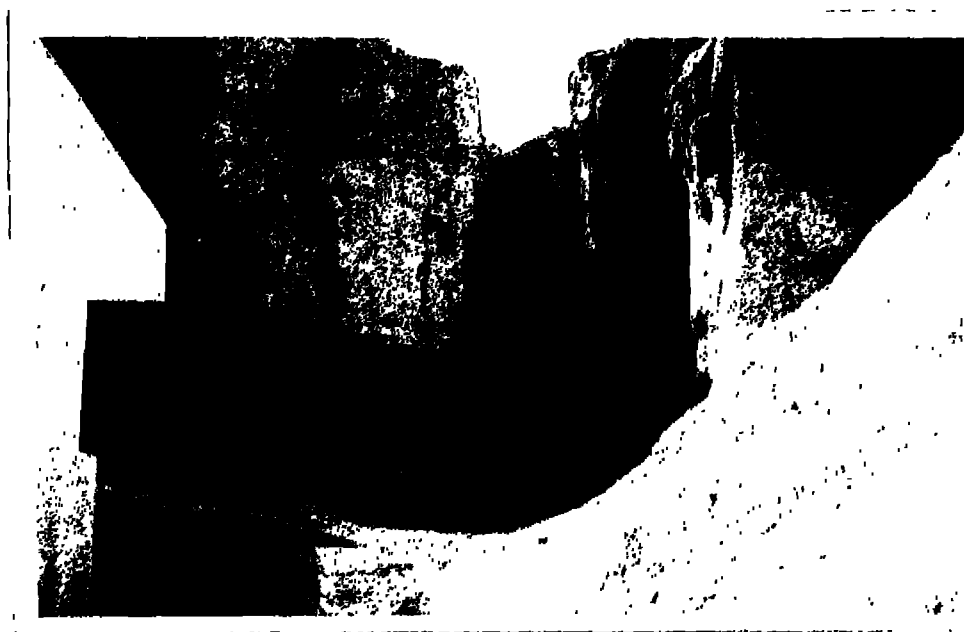
- توجد بعض الحفر الكارستية (حفر الإذابة) والتي تعرف محلياً «بالدحول» قد تبدو قمعية الشكل، وقد تظهر ممتدة في شكل طولي فيما يشبه حفر «الأوفالا» وربما تكون قد تكونت نتيجة اتصال أكثر من «دحل» أو قد تكون نتاج اتساع الشقوق الموجودة بكثرة في صخور الحجر الجيري بهذه المنطقة. (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٠ (ب)، ص ١٢٠).

د- الأنهار تحت الأرضية Subterranean Streams وما يرتبط بها من ملامح سطحية :

تتطور أشكال أرضية عديدة نتيجة تضافر العمليات التي تقوم بها المياه السطحية مع تلك العمليات المرتبطة بالمياه تحت الأرضية وذلك عند المناطق التي يمر بها النهر ويختفى تحت سطح الأرض.

وتعد الحفر الطولية الغائرة swallow holes أكثر تلك الملامح انتشاراً وهي عبارة عن حوض صغير مغلق enclosed basin ينساب النهر خلاله مستجهاً تحت السطح، وعند موضع دخوله يكون تيار الماء بالنهر الغائر تحت السطح، وعند موضع دخوله يكون تيار الماء بالنهر الغائر sinking stream عنيقاً مندفعاً بقوة

مما يؤدي به إلى التأثير بوضوح على الخصائص الجيومورفولوجية لهذا الموضع ،  
وتعمل التعرية الكارستية الكيماوية corrosion بشكل مباشر وغير مباشر على  
توسيع الشقوق fissures وإحداث انهيارات ، وعندما يكبر الحوض المغلق فإنه  
يتطور إلى حوض طولى مع نهاية منحدره تعرف بالأودية العمياء blind valleys  
تسود بها نفس العمليات الكارستية . وقد تؤدي زيادة كميات المياه وزيادة نشاط  
الإذابة الجانبية lateral solution إلى تطور شكل الوادي إلى «بولج» كارستية  
هامشية karst margin polje<sup>(١)</sup> .



صورة رقم (٢٠)

وعادة ما يتميز سقف الكهف في القطاع الأدنى من النهر الأعمى برقته (قلة  
سمكه) ولذلك فإنه نظراً لنشاط التجوية الكيماوية والتغيرات الحادة في الضغط مع

(١) عبارة عن تجويف طولى متسع يرتبط بالنحت الكيماوي السطحي أكثر من ارتباطه بالنحت الكيماوي  
للمياه تحت الأرضية .

تذبذب تصرف النهر تحدث انهيارات للسقف وخاصة إذا ما كانت تعلو الكهف  
تكوينات من صخور غير جيرية (williams p113) ومع تحرك النهر الأعمى فى  
صخور ما تحت السطح لأعماق وأبعاد أكبر تقل مع طوله أشكال الانهيارات  
السطحية التى تصعب من تتبع مجراه السفلى على العكس من الأنهار الضحلة  
- أى التى لا تتعمق فى صخور ما تحت القشرة لمسافات بعيدة - فيمكننا بسهولة  
تتبع جريانها من خلال الآثار الكارستية السطحية الموجودة على طول امتداداتها.

ويتميز موضع انبعاث النهر على السطح resurgence بشدة انحداره مع  
حدوث تراجع سريع نحو أعالي النهر التحتى من خلال عمليات التقويض  
والانهيار أو باتجاه أدنى النهر downstream فعادة ما يتدفق ماءه فى خائق  
قد تظهر به بقايا لأسقف كهوف مكونة أقواساً ضيقة natural narrow arches ،  
وتظهر هذه الخواثق بدورها عندما تنشق المياه الجوفية على السطح وخاصة عندما  
تتقابل وصلات الحجر الجيري junctions والطبقة غير المنفذة للماء، ( سطح  
الأرض الخارجى ) راجع الشكل رقم (٨١).

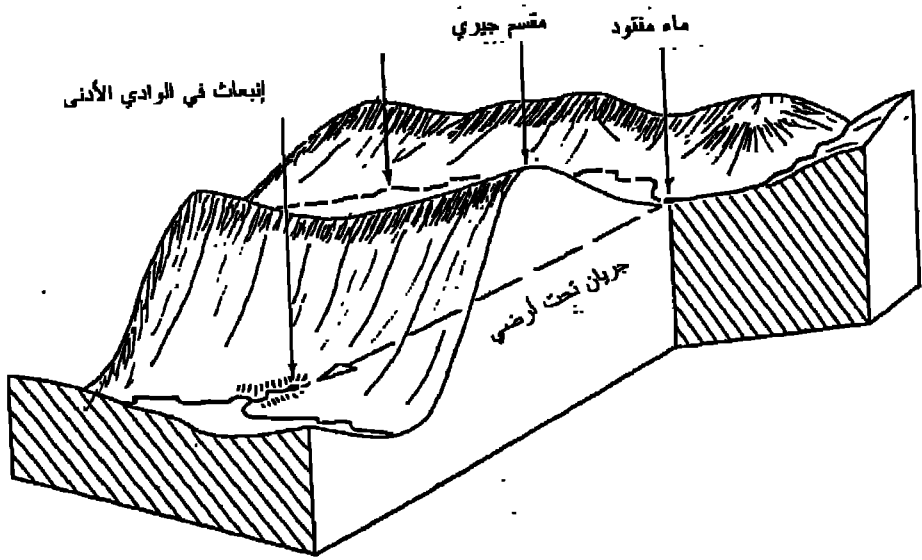
وجدير بالذكر أن الأنهار التحتية تقوم تقريباً بنفس الدور الذى تقوم به  
الأنهار السطحية من نحت وإرساب تدل على ذلك الرواسب الطينية والحصوية التى  
تظهر فى بعض المواضع بقيعان هذه الأنهار التحتية (أبو العز، ١٩٧٧، ص ٢٦٠)  
إلى جانب الحفر الوعائية (القدور) pot holes التى كثيراً ما تظهر فى قيعان الكهوف  
والمغارات وكذلك على طول قيعان الأودية التحتية فى مواضع معينة بالصخور  
الجيرية.

ويجدر القول بأن الآثار الجيومورفولوجية للمياه تحت الأرضية لا تقتصر على  
ما ذكرنا فحسب بل يمتد أثرها إلى إبراز العديد من الملامح الأخرى المميزة لمواقع  
معينة من سطح الأرض مثل تلك التى توجد بها ينباع الحارة hot springs  
والنافورات المائية geysers.

وإذا كانت الملامح الكارستية قد نتجت عن مياه جوية - water meteoric -  
سطحية أم جوفية - فإن النافورات والينابيع الحارة وما ينتج عنهما من أشكال قد  
نتجت أساساً من المياه الصهارية النشطة juvenile water والتى تكونت كمياه باطنية  
خلال قشرة الأرض لأسباب كيماوية وذلك من خلال احتكاكها بالصخور الحارة

أو الصهارة النارية (الماجما) magm، ولا تلعب هذه المياه دوراً في الدورة الهيدرولوجية hydrological cycle إلا إذا خرجت إلى السطح في شكل نافورات وينابيع.

وتظهر مثل هذه الملامح في بعض المناطق مثل شمال ولاية كاليفورنيا وجزيرة نيوزيلند الشمالية وبعض جزر الوشيان وجزر اليابان وإيسلند وصقلية وغيرها من مناطق عادة ما ترتبط بالنشاطات البركانية.



شكل رقم (٨١)

وتوجد ينابيع أولد فيشفول old faithful springs في منطقة يلوستون ناشيونال بارك الأمريكية التي تندفع منها كميات من المياه تتراوح ما بين ١٠ و ١٢ ألف جالون في الساعة تصحبها انفجارات شديدة تؤدي إلى إحداث تغييرات في ملامح سطح الأرض المتاخمة لها.

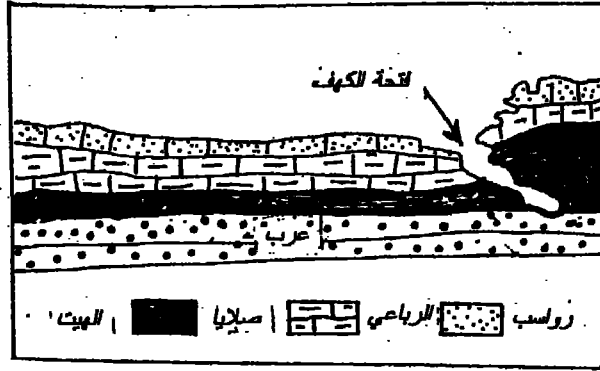
ويبدو أثر الينابيع والعيون الطبيعية في تشكيل سطح الأرض فيما يعرف بتكوين رواسب الترافرتين التي تظهر حول العديد من هذه العيون بعد تبخر المياه



قرب السطح، وهذه الرواسب الجيرية الكيماوية تمثل مظهراً مورفولوجياً مميزاً يعرف بظاهرة أقماع المنخفضات depression cones التى كثيراً ما تظهر بالواحات الصحراوية مثل تلك الموجودة بوادى سرحان وصحراء الأردن وواحات مصر الغربية.

ومن الملامح المورفولوجية الدقيقة - واسعة الانتشار - تلك الأحواض أو الحفر التى تتراوح أشكالها ما بين اليبضاوى والدائرى ومساحات تتراوح ما بين بضع مئات من الأمتار و ١٥ كيلومتر. وتبدو هذه الحفر التى تتكون وسط سهول نحاتية فوق الهضبة الجنوبية بالصحراء الغربية بقلة أعماقها - التى لا تزيد فى معظم الأحوال عن ٤٠ متراً مع ظهور بعض الكتل الصخرية والجلاميد التى نتجت عن انهيار جوانبها، كما أنه كثيراً ما تظهر قيعانها متأثرة ببرى الرياح التى تعرضت لها فى مرحلة لاحقة من عمليات الإذابة الكارستية التى أنشأتها فى البداية حيث كثيراً ما تظهر فى قيعان بعضها رواسب بحرية lacustrine deposits أو تكوينات الحجر الجيرى الكيماوى (الترافرتين) التى نتجت عن حدوث ترسيب بفعل المياه تحت الأرضية (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٢، ص ١٦٠).

ويلعب النشع الينبوعى spring sapping دوراً جيومورفولوجياً بارزاً فى تقويض وهدم جوانب الينابيع ومن ثم فى تطور الأودية التى تنبع منها (من خلال عمليات النحت التراجعى جهة المنبع) كما يعد عاملاً هاماً فى تطور وئمو حافات الوادى، وتظهر عمليات التقويض الينبوعى وما يرتبط بها من أشكال فى مناطق كثيرة بواحات مصر الغربية وكذلك فى مواضع مختلفة بهضبة نجد، وفى الأولى سجل المؤلف العديد من ملامح التقويض الينبوعى وبواحة سيوه قرب مدينة سيوه. وفى هضبة نجد تعد «عين الهيت» مثالا واضحاً على حدوث عمليات التقويض الينبوعى وهى عين جوفية قرب مدينة الرياض حيث يقع منسوب الماء الجوفى على عمق أبعد من ١٣٠ متراً من السطح، ويبدو من المظهر العام للمنطقة حدوث هبوط فى الطبقات التحتية بسبب تشبعها بالمياه (وذلك لارتفاع مساميتها) مما أدى إلى حدوث تصدع فى الطبقات العليا للحافة التى تعلو موضع العين والتى يتكون بعض أجزائها من صخور كارستية جيرية وطباشيرية كما يتضح ذلك من الشكل التالى رقم (٨٢).



شكل رقم (٨٢)

ومن الملامح الأخرى التي يجب ذكرها هنا قبل الانتهاء من التعرية الكارستية:

- الملامح الناتجة عن عملية الإحلال replacement ويقصد بها ترسيب بعض المواد المعدنية التي تحملها المياه تحت الأرضية محل المادة العضوية organic matter ومن أمثلة ذلك ما تتعرض له جذور الأشجار القديمة في مناطق معينة من الحجر lithification بسبب ما تخلل في أنسجتها من مياه جوفية سيليكية استقرت بها فترة زمنية طويلة مما أدى إلى إزالة بطيئة جداً للمادة العضوية (الخشبية) وإحلال السيليكا محلها لتتحول في النهاية إلى الصورة التي نراها عليها الآن كأخشاب متحجرة petrified تحتفظ بشكلها الأصلي ولكن في مادة سيليكية، ومن الأمثلة على ذلك ما يوجد في مواضع على طول طريق القاهرة السويس وكذلك شرق مدينة القاهرة من أخشاب متحجرة ترجع إلى عصر الأوليجوسين.

- تكون عروق veins من المواد المذابة وأغلبها من الكالسيت حيث تعد الشقوق والفواصل من المناطق أو المواضع التي تتعرض لترسيب تلك المكونات عندما تتخلها المياه الجوفية ثم تتبخر بعد ذلك تاركة مثل هذه الملامح فيما يعرف بالعروق والتي أحياناً ما تتكون من صخور اقتصادية يمكن استغلالها.

كما يعد مسام الصخر من أكثر المواضيع التي يحدث بها ترسيب بواسطة المياه الجوفية حيث تترسب في فراغاتها البينية voids المواد اللاصمة لها من جبر أو مواد حديدية أو سيليكية (للاستزادة راجع حسن وزملاؤه ١٩٩٠ ، ص ٣١٢ - ٣١٤).

من الملامح كذلك ما يعرف بخطوط الذوبان styoliteo وهي خطوط متعرجة تظهر داخل صخور الكربونات وخاصة في المناطق غزيرة المطر وينتج هذا الملح بسبب ما يعرف بالإذابة الانتقائية أو التفاوتية differential solution على أسطح الطبقة بالصخور الجيرية (والكربونية) التي تسرب إليها المياه تحت الأرضية ، وتنتج هذه العملية الأخيرة بسبب عدم نقاء هذه الصخور واختلاطها بتكوينات ومعادن كثيراً ما تكون غير قابلة للذوبان ؛ مما يؤدي إلى إذابة الصخور الجيرية بمعدل أسرع منها ينتج بالتالي تعرج في سطح الصخر الذي تعرض للإذابة.



## الفصل السابع



العمليات الهوائية والاشكال  
الارضية المرتبطة بها





تلعب الرياح دوراً جيومورفولوجياً هاماً في تشكيل سطح الأرض وخاصة في المناطق الجافة والكثير من السواحل المنخفضة في العالم .

والواقع أن الأشكال الأرضية الرئيسية التي تتركها الرياح - كبصمات لها في تلك المناطق تعكس بشكل كبير خصائصها من حيث السرعة velocity والاتجاه di-rection وفترة الهبوب duration، وعلى ذلك فإن من الأهمية بمكان عند دراسة تلك الأشكال والملامح - سواء ما كان منها نتاج نحت ريحي أو نتاج إرساب - أن يركز من يدرسها على تحليل قياسات سرعة الرياح واتجاهها وربطها مع محاور اتجاهات تلك الأشكال وأحجامها وخصائص رواسبها (حبيباتها الحجمية) وتوزيعها . وهذه القياسات والبيانات متوافرة في محطات الأرصاد المختلفة، كما أنه من المفيد أيضاً في هذا الاتجاه الحصول على معلومات خاصة بنظام الرياح وذلك من خلال عمل محصلات لها وخاصة مع ما أكدته كثير من الدراسات ومنها تلك الدراسة التي قام بها لاندسبرج Landsberg 1956 من أن هناك علاقة قوية بين محصلة الرياح واتجاه تحرك الكثبان الرملية في نمط محدد ثابت (warren, A., 1979, p85).

وكما سترى فيما بعد فإن هناك خمسة عوامل رئيسية بالإضافة إلى بعض العوامل الأقل أهمية تشترك في تحديد الخصائص التي تميز الأشكال الناتجة عن العمليات الهوائية areal processes، تتمثل في سرعة الرياح wind speed ودرجة اضطرابها وخشونة السطح surface roughness وتلاحم التكوينات السطحية cohe-sion وأحجام الحبيبات grain size وخصائص الغطاء النباتي vegetation cover والأخيرة ترتبط مع الرياح بعلاقة عكسية، فكلما قلت كثافة النباتات أدى ذلك إلى زيادة سرعة الرياح وزاد بالتالي من قدرتها على التأثير الجيومورفولوجي في عمليتي النحت والنقل، وكذلك الحال مع درجة تلاحم التكوينات وخشونة السطح.

### أولاً - النحت بفعل الرياح :

#### أ - العمليات الخاصة بالنحت وضوابطها :

أظهرت العديد من التجارب العملية أن هناك ارتداداً للرياح يحدث عكس الاتجاه العام لهبوبها وذلك بسبب احتكاكها بسطح الأرض، وعندما تكون هادئة

وتهب فوق سطح أقل خشونة فإن تيار الهواء يبدو متراصفاً laminar بمعنى أنه يكون أكثر انتشاراً على مسطح أرضى متسع نسبياً، مما يجعل العمل الجيومورفولوجى الذى يقوم به محدوداً، حيث إن الرياح المؤثرة فى تشكيل سطح الأرض هى تلك الرياح السريعة المضطربة التى تبذل طاقتها الزائدة فى رفع الذرات وتشكيل الأسطح التى تحتك بها.

وجدير بالذكر أن رفع الذرات (الجزئيات الصخرية) particles من سطح الأرض بفعل الرياح يتم عندما تتغلب كل من قوة القص shearing force وقوة التصادم الناتجة عن القذف ballistic impact على كل من قوة الجاذبية gravity force ودرجة تلاحم الحبيبات الصخرية وتتغلب كذلك على الاحتكاك friction بسطح الأرض.

وفى النقاط التالية إيجاز لتلك العوامل المذكورة ودور كل منها فى عمليات تحريك المفتتات بفعل الرياح :-

#### ١ - رفع الحبات بفعل الرياح:

عندما ينخفض الضغط الإستاتيكي فوق قمة حبة الرمل عنه على كلا جانبيها (المواجه للرياح والمظاهر لها) ترتفع الحبة فى الهواء فى وضع رأسى يشبه فى ميكانيكياته ما يحدث للطائرة عند بداية تحركها، حيث ينخفض ضغط الهواء بسبب السرعة الشديدة وهذا ما يعرف بقانون أو أثر برنولى Bernouly، وفى حالة الحبات الرملية يحدث تباين شديد بين حركة الهواء البطيئة للغاية خلال الفراغات البينية للحبات وحركة الهواء فوقها مما يساعد على انخفاض الضغط أعلاها، ومن ثم ترفع الحبة فى بداية الأمر فى وضع رأسى إلى أن تدخل مجال الرياح السريعة فيتسطح مسارها، وعندما ينتهى أثر القوى التى أدت إلى تحركها (رفعها) تبدأ الحبات فى التساقط بسبب وضوح أثر الجاذبية، وعند اصطدامها بسطح الأرض قد ترتفع مرة أخرى فى الهواء عن طريق القفز saltation وقد تصطدم بحبات رملية أخرى فترتفع الأخيرة بالاندفاع (الدفع) والقفز (Cook, R and Doornkamp, J, p33 - 35).



## ٢ - القص shearing :

يعد قوة الدفع الرئيسية فى نقل الحبات بواسطة الرياح حيث يحدث القص على السطح بمفهوم بسيط نتيجة لحدوث اختلاف فى الضغط على كلا جانبي الحبة فتتحرك إلى الأمام، وتستثنى من القص الحبيبات الدقيقة التى تحتوى بين الحبات الأكبر حجماً مثل الرمال الخشنة والحصباء والحصى. وقد تؤدي قوة القص إلى رفع وتحريك أمامى حبة رملية تتدحرج فوق حبة أكبر منها وقد لاحظ Bagnold هذه الحركة الأمامية للحبات الرملية قبل رفعها وذلك من خلال تجاربه العملية العديدة.

وجدير بالذكر أن الأسطح الناعمة تساعد كثيراً عمليات القص فى القيام بدورها، فالحبيبات الدقيقة يكون من الصعب عليها مقاومة قوة القص إذا ما كانت ترتكز فوق سطح شديد النعومة يخلو من الحصى الذى يمكنها من الاختباء داخل فراغاته البينية voids. ويتأثر القص مثلما الحال مع الرفع بالدوامات الهوائية التى كثيراً ما تحدث فى الرياح التى تهب فوق سطوح حصوية خشنة وتتولد أحياناً ذبذبات فى السرعة والضغط على السطح تنعكس على الحبات المتراكمة فوقه والتى تستجيب بسرعة واضحة لتلك الذبذبات، وتتحرك بشكل فجائى فى جيوب من الضغط المنخفض، وحيث يتفوق القص على الاحتكاك تبدأ حركة عامة للحبيبات يطلق عليها عملية الجر أو السحب بفعل الرياح wind entrainment.

## ٣ - التصادم بالقذف :

حيث يتم فى بداية الأمر تحريك كميات محدودة من الحبات، يعقب ذلك مباشرة تحرك أغلب الحبات المنقولة عن طريق التصادم الناتج عن القذف، والمقصود بهذا أنه عندما تتساقط الحبات التى تم رفعها عند تلاشى أثر القوة التى رفعتها ووضوح أثر الجاذبية فإنها تصطدم بالسطح أو بالحبات التى توجد فى وضع مستقر فوقه أو تكون راحفة ببطء، مما يؤدي إلى التحرك بطريقة القفز saltation أو الاندفاع، وقد يصل ارتفاع المسار المنحنى للحبات القافزة trajectory إلى مترين معتمداً فى معدل ارتفاعه على حجم الحبات وخشونة السطح وذلك لوجود علاقة عكسية بين ارتفاع الحبات القافزة وأحجامها. ويبلغ طول المسار المنحنى للحبة فى الظروف العادية عشرة أمثال الارتفاع عن سطح الأرض، وحيث ترفع حبة

أو حبتان في الهواء يعقب ذلك تكون منطقة نشاط وإثارة لباقي الحبات فيما يعرف بعملية *avalanching* .

وعموماً، فإن معدل الحركة والبرى *abrasion* يزداد كلما زادت كمية المواد السائبة فوق سطح الأرض .

والحقيقة أن العمليات الثلاث السابقة تعد عمليات رئيسية في تحريك المفتتات وإثارتها، ولكي يكون تأثيرها واضحاً فلا بد لها إذن أن تتغلب على العناصر الثلاثة التالية والتي بدورها تعمل على استنفاد جزءاً كبيراً من طاقة الرياح *wind energy* ومقدرتها على العمل الجيومورفولوجي فيما يتعلق بإمكانية تحريكها للحبات وبريها للصخور التي تقابلها .

وتتمثل تلك العناصر فيما يلي :

#### ١ - الجاذبية *Gravitation* :

كما عرفنا يعد المسار المنحني للذرات أو الحبات القافزة في الهواء انعكاساً واضحاً للعلاقة بين سرعة الرياح وحجم الحبة والجاذبية الأرضية ويعنى سقوط الحبيبات على الأرض تفوق الجاذبية على قوى القصر والرفع .

فإذا افترضنا وجود حبات صخرية بنفس الكثافة النوعية *specific gravity* في هواء متجانس في كثافته النوعية أيضاً فإن حجم الحبات في هذه الحالة سيكون العامل الرئيسي الذي يلعب دوره مع الجاذبية الأرضية، أو بمعنى آخر أن قوة الجاذبية في هذه الحالة تقاوم الحركة تبعاً لاختلاف حجم الحبات .

وجدير بالذكر أن أغلب الرمال تتكون من الكوارتز (كثافته النوعية ٢,٦٥ جرام/سم<sup>٣</sup>) وإن كانت الرمال كثيراً ما تختلط بمعادن أثقل وزناً مثل الماجنيثيت أو قد تختلط بمعادن أخف وزناً مثل الجبس، كما يتميز الصلصال بأن كثافته النوعية أقل من الرمال وكذلك الحال مع المواد العضوية .

بالنسبة للحبات التي تتميز بتجانس كثافتها النوعية نجد أن هناك علاقة مباشرة بين حجم الذرات وسرعة الرياح المطلوبة لبدء تحريكها، فالحبات ذات الأقطار الأكبر من واحد ملليمتر تتطلب رياحاً شديدة السرعة لكي تحركها، وعادة

ما تتحرك مع رياح تهب في تيار سريع متحرك بين عقبتين. ويرى شيل Chepil في ذلك أن نحت المواد الصخرية يزداد في معدله إذا ما قلت نسبة الحبات التي تزيد أقطارها على ٨٤ ، ملليمتر (Cook, R, and Doornkamp, pp55 - 56).

## ٢ - التلاحم Cohesion :

يعد التلاحم بين الحبات الصخرية القوة الرئيسية بعد الجاذبية التي تقاوم عمليات النحت والجر بفعل الرياح، وعادة ما يكون التلاحم أو التماسك بين الحبيبات الأقل من ١ ، ملمم كبيراً، حيث تتميز تلك الحبيبات بعدم انتظام شكلها كما أنها تبدو مفلطحة platy مما يساعد على تماسكها ببعضها البعض.

وتلعب الرطوبة (الترطيب) wetting دورها الكبير في تماسك الحبيبات الدقيقة مثل الصلصال والسلت (الغرين) حيث تتشرب فيها المياه ببطء وبالتالي فإنها تحتفظ بها فترة طويلة عكس الحبيبات الكبيرة الحجم مثل الرمال التي تتميز باتساع نسبي لمسامها مما يجعل المياه تتشرب خلالها بمعدل سريع وبالتالي فإنها تجف بمعدل أسرع من الحبيبات الدقيقة.

وعادة ما تكون درجة مقاومة الصلصال والغرين كبيرة أمام عمليات النحت لهوائي وذلك في حالة تشبعها بالمياه، بينما لمجدها عندما تجف تكون ضعيفة تصبح بمثابة صيد يسير للرياح. وتعد تكوينات تربة اللويس (الطيس) واسعة لانتشار دليلاً واضحاً على ذلك.

وجدير بالذكر أن قدرة التكوينات الغرينية والصلصالية على مقاومة النحت تمتد في جزء كبير منها على نسبتها إلى بعضهما ونسبتهما إلى حبات الرمل، ذكر في ذلك كل من شيل Cheipl وودروف Woodruff أن اختلاط الصلصال لرمال يعد أكثر صلابة ومقاومة للنحت الهوائي بالمقارنة بخليط من الغرين الرمل، ويذكر أن أكثر التكوينات المتلاحمة مقاومة للنحت وأكثرها ثباتاً هي ك التي تتكون من ما بين ٢٠ - ٣٠٪ من الصلصال و ٤٠ - ٥٠٪ و ٢٠ - ٤٪ رمال ويختلف التلاحم هنا عنه في الصخور الرسوبية أو النارية القديمة لتي لا تتعرض للنحت الهوائي منها سوى الأجزاء الخارجية فقط أو المكشوفة.

### ٣ - الاحتكاك Friction :

يعد احتكاك الرياح والحبيبات بسطح الأرض مجهوداً إضافياً يبذل منهما في اتجاه معاكس لاتجاه حركة الجر السائدة، وبذلك يعطى مقاومة إضافية بجانب الجاذبية والتلاحم بين الحبيبات.

ويؤدى الاحتكاك بالسطح إلى تبديد جزءاً كبيراً من طاقة الرياح وتحويلها إلى حرارة قرب سطح الأرض وهذا ما يشبه كثيراً ما يحدث لمياه الأنهار عند احتكاكها بالقاع والجانبين. وكذلك ما يحدث مع الأمواج عندما تقترب من المياه الشاطئية الضحلة مما يؤدى بها إلى الاحتكاك بالقاع والتكسر أو الانحراف refraction نتيجة لتغير سرعتها.

ويرتبط نظام النحت بفعل الرياح ارتباطاً أساسياً بثلاثة متغيرات - variables - رئيسية تتمثل فى رطوبة التربة أو السطح الصخرى ، وقد أشير إلى ذلك آنفاً حيث إن احتواء التكوينات الصخرية على المياه يحد كثيراً من قدرة الرياح على النحت وهى كمتغير رئيسى تتحدد بظروف المناخ السائدة. والمتغير الثانى فهو خشونة السطح واتساعه وامتداده فكلما رادت خشونة السطح زاد تأثيره فى الحد من سرعة الرياح عكس الحال مع الأسطح الناعمة أو الملساء وخاصة إذا ما كانت تتكون من مواد أقل فى استجابتها لعمليات النحت، وكلما زاد طول المسطح الذى تهب فوقه الرياح fetch كلما زادت قدرتها على النحت. أما المتغير الثالث فيتمثل فى النبات والذى يؤثر بدوره على طبيعة نحت الرياح للصحور ، فالنبات الطبيعى الذى يغطى ١٠٠٪ من سطح الأرض (بالخ الكثافة) سوف يعيق تماماً حركة نقل الرواسب بفعل الرياح، بينما يعمل الغطاء المفتوح على تقليل عمليات النقل وذلك من خلال تغيير سرعة الرياح قرب سطح الأرض، كما أن النبات يقوم بتحديد ارتفاع السطح الأيروديناميكى aerodynamic الذى يتحرك عنده تيار الهواء دون عائق. وهكذا فإن نسبة الغطاء النباتى إلى المساحة الكلية لمنطقة معينة تتحكم فى المسطح من الأرض المعرض للنحت، فكلما رادت هذه النسبة قلت المساحة المكشوفة والتي يمكن للرياح أن تؤثر فيها بوضوح، كما أن النبات فى حد ذاته يزيد من درجة خشونة السطح وبالتالي يقلل من فعالية الرياح فى النحت.

وبصفة عامة فإنه مع زيادة ارتفاع النبات وزيادة المساحة التي يغطيها من السطح تقل سرعة الرياح، كما تعمل النباتات أيضاً على حماية السطح وإضافة مواد عضوية تساعد على تماسك الحبيبات مع بعضها.

والواقع أن انتشار تربة اللويس - كما ذكرنا - على مساحات واسعة شمال الصين يرجع في جزء كبير منه إلى اقتطاع الأشجار من مساحات غابية واسعة كانت تنمو فوق هذه التربة مما عرضها لعمليات النحت الهوائية بجانب النحت المائى بحيث يصبح مظهرها فى شكل أراض وعرة تعرف بالحيزون badland.

وجدير بالذكر أن المتغيرات المرتبطة بنظام النحت الهوائى تختلف من حيث كونها دائمة أو متغيرة، فخصائص الرياح مثلاً من سرعة واتجاه ودوام هبوب وغيرها وتماسك حبيبات التربة أو تفككها ووجود البقايا العضوية فى التربة، كل هذه المتغيرات يمكن أن تتغير من فترة زمنية إلى أخرى، وعلى العكس من ذلك فإن الخصائص النسيجية للمواد السطحية تتميز بالثبات النسبى وذلك إذا لم تتعدل بفعل التجوية والنحت أو بفعل تدخل الإنسان من خلال أنشطته المختلفة وخاصة فيما يرتبط بالعمليات الزراعية.

#### ب - الأشكال الأرضية الناتجة عن النحت بفعل الرياح :

عندما تحرك الرياح حمولتها من رمال وحصى فإنها تقوم بعملها الجيومورفولوجى فى نحت السطوح الصخرية التى تمر عليها أو تقابلها وتؤدى بالتالى إلى صقلها أو تشكيل الكثير من الملامح المورفولوجية المتميزة والتي تتمثل أهمها فيما يلى :-

#### ١ - الأرصفة الصحراوية Desert Bavelements :

تبدو الأرصفة الصحراوية كمنطقات متسعة ومستوية تقريباً يغطى سطحها بطبقة رقيقة من الرمال الخشنة المختلطة برمال ناعمة (قطر الحبة نحو ٠.٦ ، من المليمتر).

وتعد الأرصفة الصحراوية من الأدلة الواضحة على دور الرياح الهام كعامل نحت فى المناطق الجافة.

وقد لوحظ من خلال إحدى التجارب العملية التي قام بها Bagnold تركيز المواد الخشنة على سطح رملي تعرض لهبوب تيار هوائي، حيث اندفعت الرمال متوسطة الحجم (٣، مللم) أمام حبات الرمال الخشنة، بينما استقرت حبيبات الرمال الناعمة (٦، مللم) محتمية بين الحبات الرملية الخشنة (أكبر من ٥، مللم) التي يصعب تحريكها إلا من خلال هبوب رياح قوية ومن هنا تظهر الأسطح التي تتكون من رمال خشنة مختلطة برمال ناعمة مع ندرة أو اختفاء الرمال متوسطة الحجم، وكثيراً ما تظهر فوقها جلاميد boulders وتكوينات من الحصى والحصباء. وتظهر الأرصفت الصحراوية في العديد من المناطق الجافة بالعالم، وتعرف في كل من مصر وليبيا بصحراء السرير وتعرف بالرق في الجزائر وبسهول الجيبير Gibber plains في أستراليا.

## ٢ - ثقب الرياح والحصى الهندسي (الوجهريحيات) Ventifacts :

كثيراً ما تظهر سطوح صخرية مكونة من مواد متلاحمة يبدو عليها آثار التحزز grooving الناتج عن الرياح والتي تقوم بما تحمل من مفتتات يرى هذه السطوح الصخرية المتماسكة، وإن كانت تظهر سطوح ملساء يتدنى فوقها البرى بالرياح إلى أدنى درجة.

وقد يزداد البرى abrasion بفعل الرمال الماثرة في فصل الشتاء بسبب هبوب رياح شديدة البرودة والسرعة - وذلك في بعض المناطق بالعروض العليا - تحمل معها حبات من البرد hail تكون في صلابتها الصخور مما يجعلها تؤثر في الصخور التي تصطدم بها. ففي الوادي الجاف بإقليم فيكتوريا الجنوبي بقارة «أنتاركتيكا» وجد أن الحجر الرملي sandstone يتميز بأسطح ملساء كثيرة التحزز بسبب تعرضها للبرى بواسطة الرياح شديدة البرودة التي تهب فترات طويلة من السنة.

وحيث تزيل الرياح الرمال الدقيقة من فوق الأسطح الصخرية فإنها تترك تكوينات حصوية خشنة بعضها هرمي الشكل (three faceted) يطلق عليها التعبير الألماني driekanter حيث تسمى بأوجهها الثلاثة وحدودها الثلاثة. أما إذا كانت ذات وجهين وحد واحد فتسمى بالألمانية zweikanter، أي ثنائية الحافة.

وعموماً ، تتميز هذه الصخور بأشكالها الغريبة وسطوحها المصقولة بفعل الرياح وانتشارها فوق مناطق صحراوية واسعة . ويرى كل من Flint and Skinner (1977, p210) أن الرياح إذا هبت من اتجاه واحد طول العام فإنها تعمل على شطف الحصى الذى يقابلها من جانب واحد بحيث يتشكل الحصى من وجه عريض منحدر فى مواجهة الرياح الهابة . أما فى حالة تغير اتجاهات الرياح فيحدث شطف ( تشظى ) للجوانب الأخرى بحيث تتقابل الأوجه المشطوفة فى حد أو أكثر تبعاً لعدد الأوجه أو الجوانب التى تتعرض للرياح . راجع الشكل التالى (٨٣) الذى يوضح كيفية تشكيل الحصى الهندسى (الوجهريحيات) بفعل الرياح وبعض أشكاله .

وعلى غير ما يذكر كل من فلنت وسكينر Flint and Skinner يرى سوجدن Sugden 1974 عند دراسته لمثل هذه الأشكال الحصى فى الرواسب الحديثة جنوب العراق أن أوجه هذا الحصى نتجت عن عمليات تكسر fracturing (ربما بسبب عمليات تجوية ميكانيكية) . كما أظهرت دراسات جليلنى Glennie, 1970 لمثل هذه التكوينات بصحراء عمان عدم وجود اتجاه محدد لأوجه الحصى الهندسى حاد الزوايا ، أو بمعنى آخر عدم اتخاذها شكلاً محددًا (Derbyshire, E and etal, 1979, p165) .

نخرج مما سبق بأنه حتى الآن لم يستقر رأى نهائى محددًا كيفية تكوّن هذه الأشكال الحصى ، هل هى الرياح؟ أم عمليات التفكك الميكانيكى الذى له تأثير كبير فى مثل هذه المناطق الجافة ذات المناخ المتطرف . ويرى المؤلف فى ذلك ومن خلال مشاهداته العديدة فى مثل تلك المناطق أن تعدد أشكال الحصى الهندسى ووجوده فى مناطق متباينة من حيث نظم الرياح السائدة ومن حيث حدة عمليات التفكك وغيرها يدعم فكرة تعدد أسباب تكونها وتشكيلها فهى بلا شك تكونت فى البداية نتيجة للتفكك الميكانيكى لأسطح صخرية متماسكة ثم جاء دور الرياح فى إزالة الرواسب الأصغر حجمًا من رمال وغيرها لتكشف على السطح وتعرض بالتالى لعمليات التفكك الميكانيكى السائدة وكذلك لهبوب الرياح وما يرتبط بها من تصادم الحبات ببعضها البعض وتصادمها بالأسطح المتماسكة .



→ اتجاه الرياح



وجوان

ثلاثي الأوجه

رباعي الأوجه

شكل رقم ( ٨٣ )

وبالفعل هناك العديد من الدراسات الحقلية والتجارب العملية التي تهدف إلى البحث عن كيفية تشكيل مثل هذه الملامح الدقيقة مثل تجارب Sharp 1964 وكذلك تجارب كل من كوك Cook وورن Warren عام ١٩٨٣ وكلها أكدت الحاجة إلى المزيد من الاهتمام بدراسة العمليات الأيروديناميكية aerodynamic processes المرتبطة بالرياح وخاصة فيما يختص بالتيارات الهوائية والدوامات المضطربة وكذلك التركيز على التركيب المعدني للصخر ودراسة زوايا الاصطدام بالنسبة للجسيمات الصخرية وكثافتها النوعية وخشونة السطح وغير ذلك من الجوانب التي تساعد في تفهم هذه الأشكال الحصوية.

### ٣- الصخور الارتكازية Rock Pedestals :

عندما تتعرض الكتل الصخرية rock masses لبرى الرياح فإنها تنحت في أشكال متميزة يطلق على بعضها بسبب شكله المميز «الصخور الارتكازية أو الموائد الصحراوية» حيث تبدو في جزئها العلوي في شكل كتلة كبيرة الحجم ترتكز على عمود صخري يتعرض بشكل مستمر لنحت الرياح، وتتميز هذه الظاهرة في معظم



الأحوال بتعاقب صخور صلبة مع صخور لينة تتعرض فيها الأخيرة للبرى بمعدل أسرع بكثير من الأولى كما يتضح ذلك من الشكل التالى رقم (٨٤) الذى يوضح مثالا لمائدة صحراوية تتركز فيها صخور صلبة فوق صخور لينة. وتوضح الصورة التالية رقم (٢١) مائدة صحراوية نموذجية فى منطقة منخفض وادى الريان بصحراء مصر الغربية قرب منخفض الفيوم.



شكل رقم (٨٤)

وقد لاحظ المؤلف من خلال دراساته الحقلية فى صحارى مصر والجزيرة العربية أن مثل هذه الظاهرة تتميز بأن أقدامها - على ارتفاع عدة سنتيمترات من الأرض - تكون أقل تعرضاً للبرى من الجزء الذى يعلوها مباشرة وقد أرجعتها إلى ضعف الرياح قرب السطح مباشرة بسبب الاحتكاك المباشر بالأرض إلى جانب وصول المفتتات - أدوات الحت - إليها ببطء عن طريق الزحف<sup>(١)</sup> فيكون تأثيرها

(١) وذلك رغم أحجامها الكبيرة كحصى أو رمال خشنة .



صورة رقم (٢١)

الحتى محدوداً بالمقارنة بوصولها عن طريق القفز الذى يرفعها إلى مناسب أعلى نسبياً، هذا وقد يكون هذا بسبب صلابة تلك الصخور (عند القاعدة) بالمقارنة بما يعلوها من صخور وهذا أمر يمكن تأكيده من الدراسة الحقلية.

وتوضح الصورة التالية (٢٢) بعض الأشكال الملفتة التى قامت الرياح بتشكيلها فى صخور الحجر الجيري بواحات الإحساء يلاحظ منها وجود صخور ارتكازية بعضها على وشك الانهيار والسقوط، وتغطيها جميعاً طبقة رقيقة من التكوينات المتكلسة بسبب عمليات التجوية الكيماوية الإذابة وما يعقبها من تبخر المياه وترك تلك الطبقة الرقيقة كغطاء حامى لتلك الصخور.

#### ٤ - ظاهرة الزيوجين Zeugens :

تنتج هذه الظاهرة عن برى الرياح للصخور فى المناطق المدارية الجافة والتى تظهر فيها طبقات صخرية صلبة تتركز فوق صخور لينة بحيث تبدو فى شكل



صورة رقم (٢٢)

حافات صلبة منفصلة عن بعضها البعض بواسطة قنوات غائرة furrows تتميز بتسطح قممها.

وتنتج الزيوجين أو ما يعرف بالشواهد الصحراوية حيث تنوغل الرياح في الفواصل والشقوق الصخرية وتنحت الصخور اللينة وقد يصل ارتفاع الزيوجين إلى أكثر من ٣٠ متراً.

ويوضح الشكل التالي رقم (١٨٥) أثر التجوية الميكانيكية في فتح ثغرات خلال الفواصل الصخرية Joints كبداية لتكون الزيوجين، ويوضح الشكل رقم (٨٥ب) تضافر عملية البرى بفعل الرياح مع التجوية في توسيع القنوات الغائرة في الصخور اللينة وتكوين الحافات أو الشواهد الصحراوية. راجع الصورة رقم (٢٢) التي تبين شكلاً قريباً من الشواهد الصحراوية حيث تتركز صخور جيرية صلبة



فوق صخور  
أقل صلابة  
ويمكن ملاحظة  
ذلك من  
اختلاف اللون  
إلى جانب  
وضوح أسطح  
الطبقة التي  
تمثل مناطق

شكل رقم (٨٥)

ضعف تتخيراها الرياح والتي تتميز عملياتها التحاتية (البرى) بأنها عمليات تفاوتية differential-Processes تختلف حسب اختلاف درجة صلابة الصخر (١).

#### ٥ - الياردينج Yarding :

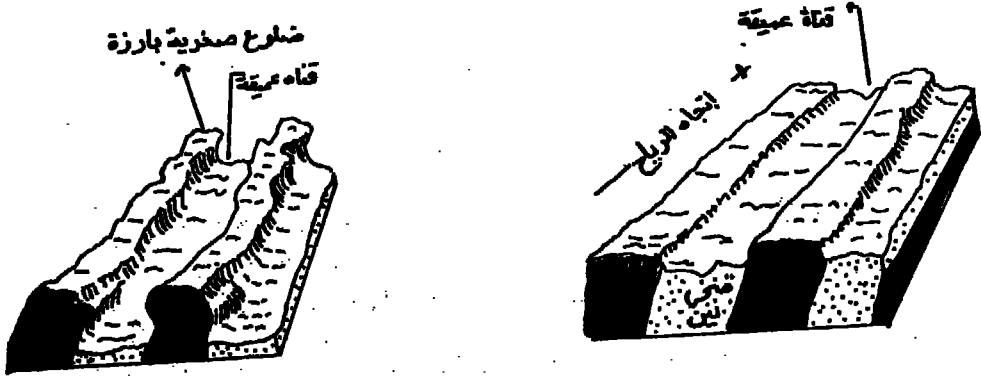
تظهر في المناطق الجافة حيث توجد صخور صلبة ممتدة في موازاة الصخور لينة في وضع رأسي، وعندما تتعرض لرياح سائدة من اتجاه ثابت نجد أن الصخور الصلبة تبدو شامخة كأشرطة صخرية - إذا صح التعبير - ترتفع إلى نحو ٢٠ متراً يطلق عليها الياردينج وهذه الظاهرة واسعة الانتشار في صحارى وسط آسيا وفي صحراء أتكاما بأمريكا الجنوبية.

ويوضح الشكل التالى رقم (١٨٦) أثر الرياح في تكوين ظاهرة الياردينج كما يبين الشكل رقم (٨٦ب) المراحل النهائية لتكوين مثل هذه الظاهرة التي عادة ما تتميز بها الصحارى المعروفة بالحماة.

#### ٦ - الجزر الجبلية Inselbergs :

عندما تتصل المنخفضات الصحراوية ببعضها البعض بعد تأثرها الشديد بعمليات النحت المختلفة التي أدت إلى تراجع الحافات المحيطة بها

(١) فالصخر الجبرى التماسك يصقل عند تعرضه للرياح وإذا ما كان يحمل داخله بعض الدرنات فإنها تبرز إلى أن تنتهى بالسقوط مع شدة البرى الريحي والجرائيت عندما يتعرض لبرى الرياح فإن سطحه عادة ما يصقل أو يلمع، وبالنسبة للنابس والشست المشورق فإن مبطوجه تتعرض للتجزرات عند برى الرياح له.



شكل رقم (٨٦)

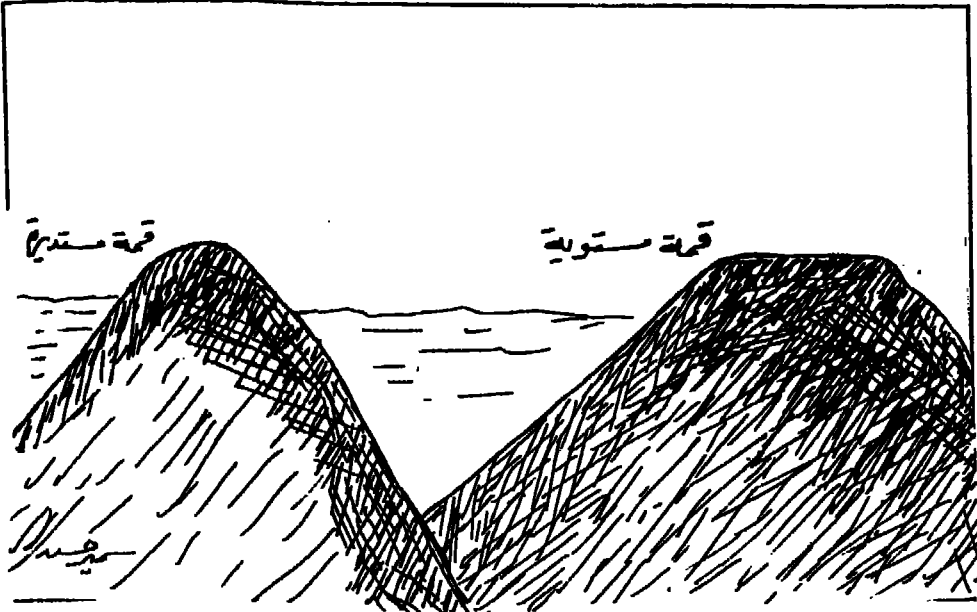
surrounded escarpments ، تظهر بقايا من كتل صخرية تلية تتميز بقممها المستديرة rounded أو المستوية وتتميز جوانبها عادة بشدة انحدارها وهذه التلال المتناثرة يطلق عليها تعبير inselbergs وهو مصطلح ألماني يقصد به الجزر الجبلية البارزة وسط نطاق صحراوي منخفض ومتسع، وهذه الظاهرة قد تكون نتاج نحت هوائي أو بفعل تضافر النحت الهوائي (بري الرياح مع النحت المائي). ويوضح الشكل (٨٧) تلين وسط أرض منخفضة أحدهما قمته مستوية flat topped inselberg والآخر يتميز بقمته المستديرة rounded topped inselberg لاحظ كذلك القطاع المقعر من سفوحها.

وتوضح الصورة التالية رقم (٢٣) أربع جزر جبلية بارزة وسط سهل صحراوي متسع تماثل في ارتفاعها تقريباً، ويمكننا أن نلاحظ منها ما يلي:

- تتميز أعاليها - باستثناء الأوسط - بشكلها المحذب القريب من الشكل المخروطي.

- اختلاف الانحدارات على طول سفوحها حيث يتغير بشكل فجائي عند القطاع الأدنى من السفح، من انحدار معتدل إلى انحدار رأسي (جرفي).

- يلاحظ أثر النحت بفعل الرياح مع وجود الشقوق وظهور أسطح الطباقية bedding planes.



شكل رقم (٨٧)



صورة رقم (٢٣)

وتنتشر الجزر الجبلية في صحراء كلهاري وأجزاء من صحراء الجزائر وفي شمال غرب نيجيريا وكذلك في مناطق مختلفة من صحراء مصر الغربية. ويمكننا اعتبار التلال المنعزلة isolated hills التي تبرز وسط فاع منخفض الواحات البحرية جزراً جبلية وهي كما أكدت الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجية للمنخفض عبارة عن بقايا متخلفة عن قبو البحرية السابق لنشأة المنخفض ومن هذه التلال منابشة والهفوف وغيرها (للاستزادة راجع للمؤلف، ١٩٩٢).

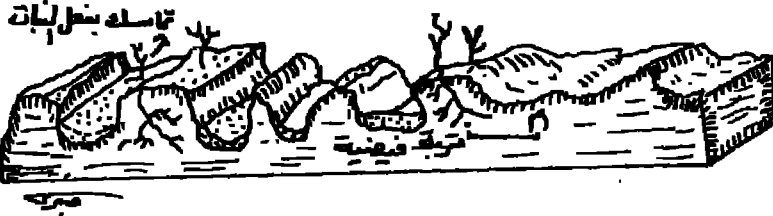
#### ـ الكدوات hummocks :

عبارة عن رواسب صلصالية ناعمة ترسبت في البداية في مناطق واسعة بقيعان الأودية الصحراوية الكبيرة (قطاعاتها الدنيا غالباً) أو في أراضي متسعة مثلما الحال، في قيعان بعض المنخفضات الصحراوية، تتميز هذه التكوينات بسمكها الكبير، وقد تم ترسيبها في فترات رطوبة سابقة ثم تعرضت بعد ذلك لعمليات النحت الريحي خلال فترات الجفاف التالية والتي سادت تلك المناطق ومازالت مستمرة حتى الوقت الحاضر بميزة لمناخ تلك المناطق الصحراوية المدارية من العالم. وقد أدت الرياح إلى تقطعها على طول خطوط الضعف والتشقق بها بحيث تبدو الآن في شكل ظهور طولية (كدوات) تتماسك بواسطة أشجار قصيرة (شجيرات) أو مجموعات نباتية كانت في مرحلة الترسيب الأولى بمثابة النويات cores التي ترسبت حولها وفوقها الرواسب الفيضية الصلصالية القديمة التي أتت بها تلك الأودية، وقد ساعد على اتخاذها هذا المظهر المورفولوجي المميز هبوب رياح سائدة من اتجاه واحد داخل مجرى الوادي المتسع وفي موازاة امتداده شكل رقم (٨٨).

وبشكل عام تبدو الكدوات في الطبيعة في صورة تلال مستطيلة منخفضة ذات قمم شبه مستوية وجوانب شديدة الانحدار، وتمتد هذه التلال المنخفضة التي لا تزيد في ارتفاعها على بضعة أمتار موازية لبعضها البعض وموازية للرياح التي شكلتها، ومن مناطق انتشار الكدوات في مصر شمال سهل باريس وجنوب المحاريق بمنخفض الواحات الخارجة ومناطق أخرى من الواحات المصرية وفي بعض بطون الأودية بصحراء مصر الشرقية.

## كدوات سهل باريس:

تظهر الكدوات داخل منخفض الواحات الخارجية في عدة مناطق غير منطقة سهل باريس تتمثل في منطقة أم الدباب والمحاريق بالشمال والشمال الغربي من المنخفض وجنوب المحاريق على طول امتداد محور منخفض الواحات الخارجية.



شكل رقم (٨٨)

بالنسبة  
لسهل باريس  
تظهر فيه  
الكدوات في  
مواضع كثيرة  
على طول امتداد

الطريق الأسفلتي حيث تظهر تربة صلصالية محزرة محزرات واضحة بحيث تظهر الكدوات في صفوف ممتدة لمسافات طويلة تظهر في جوانبها وأعلىها في أحيان كثيرة فروع أو جذوع الشجيرات والنباتات التي عملت على تماسكها.

وقد درسها كل من Ball, J. و كيتون تومسون وغيرهما، ويرى الأول أنها عبارة عن رواسب بحيرية ترسبت في قاع بحيرة قديمة كانت تشغل قاع المنخفض خلال الفترة المطير pluvial-period، وبعد جفاف البحيرة وتلاشيها تركت هذه الرواسب البحرية lacustrine deposits على السطح منكشفة للرياح وعمليات التجوية مما أدى إلى تشكيلها بالصورة التي نراها عليها الآن. أما بالنسبة لرأى كيتون تومسون في نشأة كدوات سهل باريس فإنه يختلف عن رأى Ball تماماً حيث يرى أن هذه الرواسب كانت في الأصل عبارة عن كتبان رملية قديمة تثبتت بفعل النباتات ثم تقطعت وتشققت على طول خطوط الضعف بها، أي أنه بهذا الرأي يرى أن الكدوات ترسب هوائي في مرحلتها الأولى ثم نتاج نحت هوائي في مظهرها الأخير (Thompson, C., 1950, p7).

ويرى المؤلف من خلال زيارته المتكررة للواحات الخارجية وتسجيله لبعض القياسات والخصائص التي تميز هذه الكدوات أنه ليس هناك أي مبرر لإرجاعها إلى الترسيب الهوائي ككتبان وفقاً لما زعمه تومسون، فمظهرها كتلال متماسكة ذات



قمم مستوية ممتدة فى موازاة بعضها البعض بحيث تبدو وكأنها غطاء كان متصلًا فى فترة سابقة أتت عليه الرياح وقطعته بالكيفية سابقة الذكر. ومن ثم نرى أن رأى بول قريب جدًا من الحقيقة حيث تتشابه فى مظهرها وتكويناتها الصلصالية الناعمة واستمراريتها لمسافات بعيدة نسيبًا مع غيرها من الكدوات التى تظهر كرواسب فيضية متقطعة فى الأجزاء الدنيا من الأودية الجافة وخاصة أن هناك العديد من الأشكال الكثبية التى تجاورها ولم يظهر ما يدل على تعرضها للتماسك والتحول إلى كدوات خاصة مع تماثل ارتفاعاتها تقريبًا.

وجدير بالذكر أن سبخات البلايا التى تطورت عن بحيرات البلايا داخل الأحواض الجبلية - فى أخفض بقاع الحوض - يمكن أن تتحول مع تعرضها للجفاف والتشقق إلى مظهر كدوات تشبه تقريبًا فى مظهرها الكدوات بمفهومها السابق وخاصة مع هبوب رياح سائدة من النجاء واحد ووجود نمو نباتى ملحي فوق سطح السبخة يعمل على تماسك الكتل الطينية الملحية حوله بحيث تتماسك دون بقية الرواسب لتظهر ككدوات مرتفعة نسيبًا.

### المنخفضات الصحراوية : Desert Depressions

قد تلعب الرياح دورها فى حفر المنخفضات الصحراوية دون أية مساعدة من عمليات التعرية الأخرى أو دون تدخل الحركات التكتونية وقد تلعب دورًا مساعدًا لبعض العمليات الأخرى فى إبراز مثل هذه المظاهر التى كثيرًا ما تظهر فى مناطق السطوح الصحراوية المتماسكة أو فى بعض المناطق ذات الرواسب السائبة.

فى الحالة الأولى تمثل الرياح العامل الرئيسى فى تشكيل منخفضات مستديرة أو مستطيلة غالبًا ما تتكون فوق رواسب غير متماسكة *unconsolidated deposits* تعرف عادة بحفر التذرية *deflation hollows* مثل تلك الحفر التى تنتشر فى السهول الوسطى بالولايات المتحدة الأمريكية وبعض مناطق غرب أوروبا والتى تم نحتها وتذرية مكوناتها الصخرية خلال فترات سيادة الجفاف أواخر البلايستوسين وهى تشبه تلك الحفر التى توجد الآن فى المناطق السهلية ذات المناخ الجاف والحالية من النباتات مثلما الحال فى صحارى منغوليا والمعروفة هناك باسم حفر البانج كيانج *bang kiang* وهى عبارة عن أحواض منخفضة وسط تكوينات رملية تزيد أقطارها

على سبعة كيلومترات وتتراوح أعماقها ما بين ٦٠ و ١٠٠ متر، وقد درسها كل من موريس وبركى وأرجعها إلى فعل الرياح دون مشاركة أى عامل جيومورفولوجى آخر (صفى الدين، ص ٢٨٢).

وأغلب حفر التلدية حفر صغيرة تتراوح أقطارها ما بين عدة أمتار ونحو الكيلومتر ولا تزيد أعماقها على بضعة أمتار، وقد تؤدي الأمطار إلى تكون بركة أو بحيرة داخل الحفرة، وحيثما يتبخر الماء يجف القاع الطينى ويتشقق وتتكون كريات pellets طينية جافة يصعب على الرياح تحريكها بسبب كبر أحجامها نسبياً والتحامها أحياناً مع صخور القاع التى تعد فى ذاتها جزءاً منه (Strahler, A and Strahler, A.H, p327).

أما بالنسبة للمنخفضات الصحراوية الضخمة مثل منخفضات الصحراء الغربية فى مصر فإنه من الصعوبة أن نتصور أنها من نتاج نحت الرياح، وخاصة أنها قد تكونت فى صخور صلبة متماسكة بل يصعب علينا أيضاً تصور نشأتها من خلال عمل جيومورفولوجى بعينه أو أن نشأتها جميعاً واحدة. ومن ثم فإن دور الرياح فى نشأتها دور مساعد فى أغلب الأحوال قد يزداد فعالية فى فترة الجفاف ويتوقف فى فترة الرطوبة، كما أنه - أى دور الرياح - لا يتمثل فى تكوين المنخفضات بدرجة واحدة فهى عادة ما تكون أكثر تأثيراً عندما تكون سريعة ومتظمة وتكون الصخور أقل صلابة أو متعاقبة بين صلبة ولينة.

وجدير بالذكر أنه سواء أكانت الرياح العامل الرئيسى فى نحت بعض المنخفضات أو العامل المساعد فى حفر منخفضات أخرى فإن هناك حداً أدنى للتخفيض تتوقف عنده عمليات النحت المختلفة يتمثل فى مستوى الماء تحت الأرض (under ground water table) ؛ ولذلك كثيراً ما نجد أن المساحة المحفورة تتناقص مع العمق، وهذا الأمر يظهر بوضوح فى منخفض القطارة (Ball, J, 1933, pp. 289 - 299).

## ٦ - تأثيرات نحتية أخرى للرياح :

عندما يكون السطح الصحراوى صخرياً صلباً ويتعرض لهبوب رياح محملة بأدوات الهدم أو البرى abrasive tools من حصى ورمال خشنة فإنه - أى السطح -

إما أن يصقل أو يتحزر وذلك تبعاً لتكوينه الجيولوجى، فالسطح المكون من الحجر الجيري عادة ما يصقل والمكون من الجرانيت يصقل أو يتحزر<sup>(١)</sup> أما الشست فإنه يتحزر تمزرات غائرة أو تزداد درجة تورقه (تقشرة) فى حالة ما إذا كان هذا التقشر (خطوطه) متمشية مع اتجاه الرياح السائدة (Holmes, A., 1978, p477).

كذلك تعمل الرياح على استدارة الحبيبات التى تحتها وتقوم بنقلها، وهى فى ذلك تكون أكثر فعالية من العمليات النهريّة ويرجع هذا إلى عدة عوامل تتمثل فى السرعة الشديدة للرياح بالمقارنة بسرعة التيار النهري وتتمثل كذلك فى طول المسافات التى تقطعها الحبيبات المنقولة بفعل الرياح التى تفوق مثيلاتها فى الأنهار وهذا بدوره يعطى فرصة أكبر للحبيبات المنقولة بفعل الرياح للاحتكاك ببعضها البعض وللاصطدام بسطح الأرض بشكل أكثر قوة وفعالية مما يحدث فى حالة النقل بالأنهار، وخاصة إذا ما أخذنا فى الاعتبار كون مياه الأنهار تمثل غطاءً هامياً للجبّات الصخرية التى تتحرك خلالها أو تنقل بواسطتها على طول قاع المجرى.

### ثانياً - عمليات النقل بفعل الرياح :

تتحرك الذرات الصخرية الدقيقة أو تنقل بفعل الرياح عن طريق التعلق suspension وذلك لمسافات بعيدة عن مصادرها، بينما تتحرك الجبّات الخشنة بالزحف creeping أو التدرج rolling أو القفز على سطح الأرض.

### أ - نقل الجزيئات الدقيقة fine particles :

عادة ما نجد فى عمليات نقل الرياح للمفتتات الدقيقة أن الرياح السريعة من السهل عليها أن ترفع جزيئات الغرين والصلصال إلى أعلى، وحيث ترتفع فى الهواء فإنها تسقط ببطء شديد باتجاه سطح الأرض، وطالما يسود الجفاف فإن بإمكانها التحرك لمسافات بعيدة، ويعمل الشكل المفلطح platy shape لبعض الجزيئات الناعمة على مساعدتها فى الحركة والتعلق، ورغم أن تلك الجزيئات

---

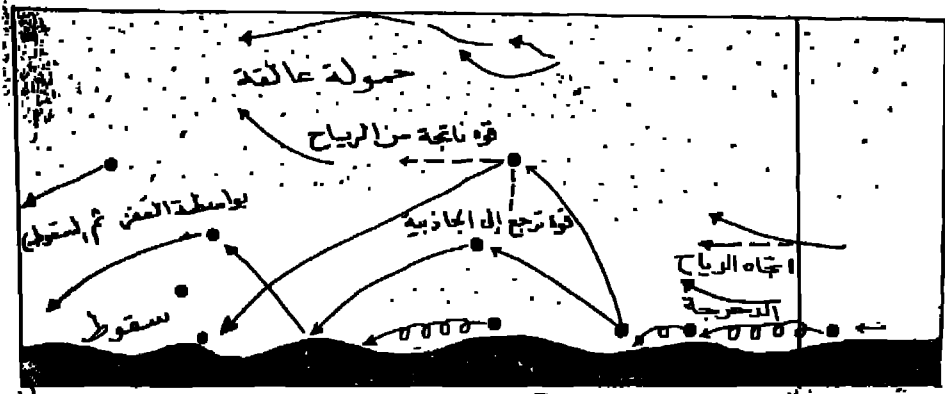
(١) يظهر أثر التحزر الناتج عن البرى بفعل الرياح بشكل واضح فى السهول العظمى الأمريكية بولاية داكوتا ومونتانا حيث تتجة أنهار صغيرة موازية لبعضها البعض فوق مساحة واسعة وسط هذه التحزرات، كذلك تظهر الجروف المحزرة فى هضبة إيران وكذلك فى بعض المناطق بالصحارى المصرية.

تصطدم ببعضها البعض إلا أنها لا تستطيع القيام بعملية الطحن وذلك بسبب صغرهما على عكس الحال مع الرمال التي تزداد درجة استدارة حباتها مع احتكاكها ببعضها البعض أثناء تحركها بفعل الرياح .

والواقع أن السرعة العادية للرياح تمكنها من نقل هذه المواد الدقيقة في حالة تعلق ، ومن المعروف أن الحمولة العالقة تمثل في أغلب الأحوال جزءاً من جملة الحمولة الكلية للرياح، وإن كانت هناك بعض الاستثناءات مثلما الحال عندما ترسب كميات ضخمة من المواد الناعمة عند نهايات الأنهار الجليدية glaciers فإنها تصبح سريعة التأثير بالرياح التي تحملها في صورة عالقة suspended load يساعد على ذلك تآثر النباتات وسيادة الجفاف، وقد تم نقل كميات ضخمة من هذه الأتربة العالقة بالهواء أثناء فترات الجفاف التي شهدتها تلك المناطق أواخر البلايستوسين وتراكمت فيما يعرف الآن برواسب اللويس loess أو الطيس فوق مساحات واسعة شرق أوروبا وشمال الصين (Statham, I., 1979, p.145) وقد أظهرت الدراسات التجريبية بأن الذرات الأقل حجماً من ١ , مللم يمكنها أن تتحرك بالتعلق وأن الذرات التي تتراوح أحجامها ما بين ٥ , من الملليمتر تتحرك بالقفز، أما الأكبر حجماً من ٥ , مللم فإنها تتحرك بالجر ( الزحف ) Cooke, U and Doornkamp, p55) كذلك يرى Bagnold بأن السرعة المطلوبة لتحريك المواد الدقيقة (٢٥ , مللم) تبلغ ٢٠ ستيومتر في الثانية .

#### ب - نقل الرياح للرمال:

تتحرك الرمال بشكل عام قريبة من سطح الأرض، وعندما يكون حجمها كبيراً فإنها تنقل ببطء عن طريق الزحف وذلك لصعوبة نقلها بطريقة القفز (Statham, I., p146) . ويتم القفز غالباً بتحريك الجزء إلى أعلى في وضع رأسى بمساعدة الرياح التي تجرّها في حركة دائرية لتمتد بين لحظة وأخرى في موازاة التيار الهوائى وذلك عندما تتعادل السرعة (سرعة الرياح) مع قوة الجاذبية . والقليل من الحبيبات القافزة يمكنه تجاوز الحد الأقصى لارتفاع سحابة رملية وهو عادة لا يزيد على المتر الواحد وهذه الحبات عادة ما تتميز بكبر أحجامها .



شكل رقم (٨٩)

على سبيل المثال إذا ما مر تيار هوائي فوق سطح حصوى يواجه بقعة رملية فإن حركة التيار تهبط (تقل) في منصرف الرياح، وقد يلقي بجزء من حمولته الرملية التي يجرها والتي تكون فرصة قفزها - حبات الرمال التي يسوقها - محدودة فوق البقعة الرملية التي يمر فوقها بعد اجتيازه السطح الحصوي، وإذا كانت الرياح

الخفيفة يمكنها تحريك الرمال من فوق سطح رملي فإنها لا تستطيع تحريكها من فوق سطح حصوي ويرجع ذلك كما ذكرنا في مواضع سابقة من هذا الفصل إلى الحماية التي يوفرها الحصى لتلك الرمال الناعمة.

وقد أوضحت التجارب العملية أن معدل نقل الرمال يتناسب تناسباً طردياً مع معدل سرعة الرياح، بالإضافة إلى تأثيره بعوامل أخرى مثل حجم الحبيبات وكثافتها النوعية وكثافة الهواء - والتي تتباين مع الارتفاع والاختلاف في درجة الحرارة - وخصائص السطح.

وتوضح المعادلة التالية التي وضعها Hsu, 1973 بشكل بسيط العلاقة بين الكميات المنقولة من الرمال والعوامل التي تؤثر فيها :

$$K = (47 - 97, 97) (Q, 4) \left( \frac{275 - S}{3} \right) \frac{1}{3} \text{ أ (ح ق)}$$

حيث إن :

ك = وزن كمية الرمال المتحركة سنوياً بـ (الطن) لكل مترمربع.

أ = ارتفاع المنطقة التي تم فيها قياس سرعة الرياح بالمتر/ثانية.

ق = متوسط قطر الحبة بالملليمترات.

س = تكرار سرعة الرياح من اتجاه معين خلال السنة.

ج = ثابت الجاذبية gravitational constant (33 قدم/ثانية)<sup>(١)</sup>.

وعموماً، فإن كمية الرمال المتحركة تكون ذات علاقة طردية مع سرعة الرياح مع ملاحظة أن الرياح المعتدلة التي تسود فترة طويلة من السنة يمكنها أن تساهم في نقل كميات كبيرة من الرمل (Warren, A., p332).

وقد أظهرت الدراسات العديدة التي قام بها كل من شيبيل Chepil وريتز وبالمر ١٩٧٤ في القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) أثر سرعة الرياح والبرودة

(١) مصطلح في الميكانيكا يقصد به المسافة التي يتحرك خلالها الجسم عند سقوطه على الأرض إلى الزمن الذي تستغرقه.

الشديدة على عملية قفز الحبيبات، ففي الأودية الشرقية لهذه القارة تهب رياح شديدة السرعة يؤدي هبوبها إلى زيادة حركة اصطدام الحبيبات بالأسطح الصخرية:

أظهرت الدراسة السابقة أن الحبيبات التي يزيد قطرها على مليمترين يمكنها أن ترتفع إلى نحو المترين عندما تصل سرعة الرياح إلى ٣٦,٠٥ متر في الثانية مع درجة حرارة ٧٠ درجة مئوية تحت الصفر (السرعة المطلوبة للتحرريك عند درجة حرارة الصفر المئوي تبلغ ٤٢,٤٥ متر في الثانية). وعلى ذلك فإن سرعة الرياح الحرجة، أي المطلوبة لبدء تحريك الرمال الخشنة في شتاء أنتاركتيكا القارس تبلغ نحو ٢٠ متر في الثانية وهي بذلك تكون أقل من مثيلاتها في الصحارى المدارية ودون المدارية.

وقد وضع Chepil قانوناً لتحديد سرعة الرياح المطلوبة لبدء تحريك الحبيبات الأكبر من ١ ملم على النحو التالي:

$$\text{سرعة الجبر المطلوبة} = 1 \sqrt{\frac{\text{الكثافة النوعية للهواء} - \text{الكثافة النوعية للحبة}}{\text{الكثافة النوعية للحبة}}}$$

حيث إن ج = ثابت الجاذبية .

ق = قطر الحبة بالسنتيمتر .

أما كثافة الهواء فهي في الظروف العادية = (١٢٢ - ١٠ - ٣ جرام/سم) بالنسبة للحبيبات الأصغر من ١ ملم نجد أن السرعات الحرجة المطلوبة لتحريكها لا تلتزم بنتائج هذا القانون (Cooke, u and Doornkamp, p55) ؛ وذلك لأن السرعات المطلوبة تزداد مع تناقص حجم الحبة grain size ربما يكون ذلك بسبب التلاحم بين الحبيبات الدقيقة أو ربما يكون بسبب حقيقة أن الجزيئات قد تكون أصغر من أن تدخل في تيار الهواء المضطرب turbulent flow of air .

ويحدث أثناء نقل الرمال بواسطة الرياح نوع من التصنيف (الفرز) sorting للحجم والشكل، فالحبات غير المنتظمة في شكلها ترفع بمعدل أسرع من تلك الحبات المستديرة، كما يبدو أن الحصى يتحرك بمعدل بطيء بسبب مقاومته لحركة الرياح، كذلك يؤثر شكل الحبة في وضع مسارها المنحني في الهواء وفي قوة اصطدامها بالسطح الصخري.

وحيثما تتحرك الرمال على الجوانب شديدة الانحدار للكثيب الرملى بالزحف أو القفز أو الانزلاق فإن بعضها يترسب ترسبًا مؤقتًا خلال نقله على السطح فى صورة تموجات ripples أو كئبان صغيرة فى حركة يطلق عليها مصطلح bulk transport وفيها تشبه حركة حبات الرمال حركة السيارات فى زحام مرورى فالعربة تمثل الحبة وزحام المروز يمثل جسم الكثيب، فتتحرك العربة بسرعة معتدلة مع تحرك الزحام المرورى (الكثيب) إلى الإمام بالدفع الذاتى مع ثبات مكوناته داخله وهى العربات فى زحام المرور وحبات الرمال فى الكثيب.

وكنوع من التعميم فى القول فإن الرواسب المنقولة بالقفز تمثل ٧٥٪ من جملة الرواسب المنقولة بجميع الطرق الأخرى كالزحف والتعلق والانزلاق وذلك عكس الوضع مع النقل بواسطة مياه الأنهار والتي تنقل نسبة محدودة من حمولتها عن طريق القفز، ويرجع ذلك إلى الكثافة المرتفعة للمياه ودرجة لزوجتها العالية high viscosity حيث نجد الحبات القافزة خلالها مقاومة شديدة مما ينعكس بدوره على مداها فى القفز الذى يتميز بقصره على قاع النهر (Statham, I., p176).

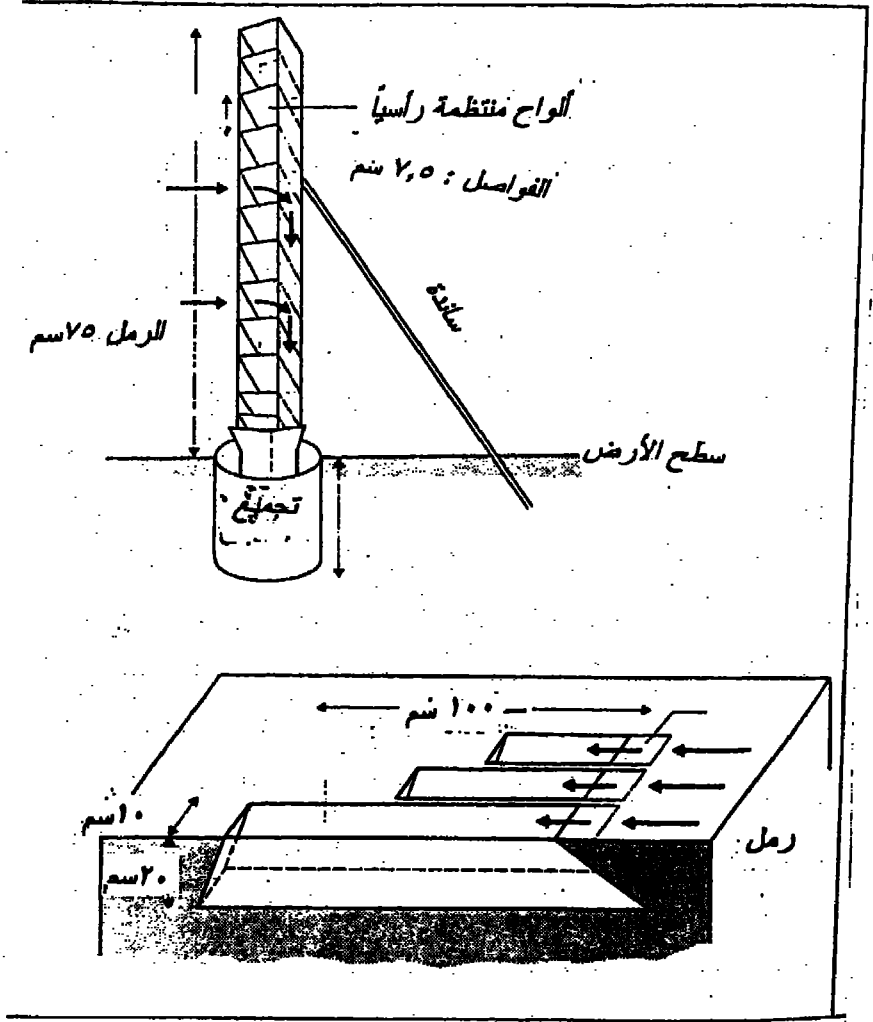
### قياس حركة الرمال فى الحقل والعمل :

تمثل المشكلة الرئيسية المرتبطة بقياس حركة الرمال فى الحقل فى مدى تطور مصائد الرمال sand traps، حيث إنه يجب أن تكون الأجهزة الخاصة بذلك قادرة على حجز الرمال، وإن أمكن أن تفرق بين الرمال المتحركة بالزحف وتلك المتحركة عن طريق القفز، وكما هو معروف فإن أكبر تحرك يتم عن طريق القفز متقدمًا للإمام فى اتجاه متصرف الرياح فى سلسلة من الكومات، ولذلك يجب أن تكون مصيدة الرمال مرتفعة بالقدر الكافى لإمساك حبات الرمال القافزة.

وقد اختبر كل من Horikawa and Shen, 1960 نوعين من المصائد الأفقية وخمسة أنواع من المصائد الرأسية بهدف تقدير مدى كفاءتها شكل رقم (٩٠).

وتكمن الصعوبة هنا فى الاختلاف بين كل من الزحف السطحى والقفز، وقد تم تصميم مصيدة أفقية مقسمة إلى عدة أقسام متعامدة على اتجاه الرياح بحيث يمكنها حجز الرمال الزاحفة وترك الحبات الرملية القافزة لمصيدة أخرى توجد أمامها، وقد قدرت الكميات المنقولة عن طريق الزحف باستخدام هذه





شكل رقم (٩٠)

المصائد نحو ٢٥٪ من جموع الرمال المتحركة وأن هذه النسبة لا تتغير مع تغير سرعة الرياح (King, C.A., 1978, p131).

ومن مميزات المصائد الأفقية أنها لا تعمل على اضطراب الرياح وإن كان من الصعب اختيار الطول المناسب لها، كما أنها لا تستطيع إعطاء معلومات ترتبط بأثر الارتفاع على سرعة الحركة. أما عن المصائد الرأسية vertical sand traps فمن أهم

مثالبها أنها تؤدي إلى اضطراب هبوب الرياح مما يتطلب أخذ الحيطة والحذر في تصميمها وذلك بهدف الحد من ذلك والوصول بتأثيرها إلى حده الأدنى. من هذه التصميمات جعل عرض المصيدة في الجانب الذى تهب منه الرياح صغيراً جداً مثلما فعل Bagnold عند تصميمه لمصيدة الرمال التى استخدمها فى تجاربه.

وهناك مشكلة أخرى ترتبط بالمصائد الرأسية تتمثل فى برى الأجزاء السفلى منها<sup>(١)</sup>. ومع كل ما سبق فإن استخدام مصائد الرمال فى الدراسة الحقلية مازال محدوداً بدرجة كبيرة، ويعد «باجنولد» من أكثر من قام باستخدامها فى دراساته وأبحاثه العديدة عن الكشبان الرملية وخاصة فيما يتعلق بسرعة الرياح على ارتفاعات مختلفة وعلاقتها بحركة الرمال، فقد قام باستخدام مصيدتين فى قياس حركة الرمال إحداهما أفقية صغيرة الحجم تختص بحركة الرمال الزاحفة والأخرى رأسية ضيقة تختص بحجز الرمال القافزة (عرضها نصف بوصة وارتفاعها ٣٠ بوصة). وقد دفنت المصيدة الأفقية فى الرمال تاركة فتحة صغيرة لمرور الرمال الزاحفة راجع الشكل السابق (٩٠) كما أن المصيدة الرأسية مثقوبة من أسفل وذلك للحد من اضطراب الرياح عند مرورها بها.

وجدير بالذكر أن الدراسات الحقلية المجدية هى تلك التى تتم أثناء هبوب الرياح القوية أو العواصف storms ولذلك فمن المهم جداً فى هذا الشأن التركيز على تثبيت الأجهزة الخاصة بالقياس تثبيتاً جيداً حتى لا تتأثر بالرياح أو تدمر بفعل العواصف التى يصعب أصلاً التنبؤ بحدوثها فى تلك المناخات الصحراوية المتطرفة.

ولقد خرج باجنولد Bagnold بالعديد من النتائج التى لاحظها فى الحقل والتى ترتبط بكيفية تحرك الرواسب، فقد وجد على سبيل المثال أن سرعة الرياح تزداد زيادة لوغاريتمية مع الارتفاع فوق السطح عندما تتحرك.

---

(١) مازالت المصائد الخاصة بالرمال فى حاجة للتطور، فعلى سبيل المثال يمكن للمصائد الرأسية أن تقسم إلى أقسام ثانوية لإمساك الرمال المتحركة فى ارتفاعات مختلفة حتى تعطى بذلك معلومات وبيانات هامة عن العلاقة بين الارتفاع وحجم الحبات القافزة.

وجاء بعده عدد من الجيومورفولوجيين المهتمين بهذا مثل بيللى Belly, 1964 الذى أجرى العديد من التجارب الخاصة بالعلاقة بين الرياح والرمال المتحركة ؛ ومدى تأثير الرطوبة على سرعة الرياح المطلوبة لتحريك الجزيئات، وهو صاحب النموذج التجريبي المكون من نفق الرياح wind tunnel الذى يبلغ طوله ١٠٠ قدم وعرضه أربعة أقدام وارتفاعه ٢,٥ قدم، تمر خلاله رياح تتراوح سرعتها ما بين ٢٤ و ٤٠ قدمًا فى الثانية، وهى رياح مولدة اصطناعياً بواسطة مروحة وضعت عند نهاية النفق، وقد استخدم لقياس سرعة الرياح جهاز عبارة عن أنبوبة منثنية بزاوية قائمة ومدرجة تسمى pitote tube، كما استخدم مصيدة رمال رأسية لقياس حركة الرمال واستخدم أخرى أفقية مقسمة إلى ١٨ قسمًا، وقد استخدم هذا النموذج فى إجراء تجارب لتحديد أثر جوانب النفق على سرعة الرياح وقام أيضًا بقياسات للقطاعات الرأسية للرياح vertical wind profiles وقياسات لمعدلات نقل الرمال تبعًا للسرعات المختلفة، كذلك سجل من خلال تجاربه فى هذا النموذج ملاحظات تتعلق بالتموجات الرملية (النيم) حيث وجد أنها تبدأ فى الظهور مع أقل سرعة للهواء فى حين أنها تختفى مع زيادة سرعة الرياح عن ٣٦ قدم فى الثانية، وإن كان لم يلحظ وجود علاقة بين طول التموج (النيم) وقوة الرياح والتي أوجدها باجنولد وقام بتحديددها كما سيتضح ذلك فيما بعد.

وقد قام بيللى كذلك بقياس متوسط المسافة التى تقطعها الحبيبات الرملية ووجد أنه يتراوح ما بين ١,٣ و ١,٦ قدم مع زيادة سرعة الرياح من ٢٨ إلى ٣٥ قدمًا فى الثانية (King, C.A., 1978, p,192). ورغم أن تجارب Bagnold قد أظهرت العلاقة بين طول المسافة التى تقطعها الحبيبات الرملية وطول التموج فإن هذه العلاقة كما ذكرنا لم تظهر فى قياسات ودراسات بيللى، وإن وجد الأخير أن حجم حبة الرمل يؤثر فى طول المسافة التى تقطعها بطريقة القفز حيث إنه كلما قل الحجم زاد طول المسافة fetch<sup>(١١)</sup>.

وقد اختبر بيللى Belly قدرة المصيدة الرأسية ومقارنتها بالمصيدة الأفقية وأظهرت النتائج أن كفاءتها - الرأسية - تزداد حينما تكون سرعة الرياح ٣١,٥ قدم فى الثانية والعكس مع انخفاض سرعة الرياح.

(١١) كلما قل حجم الحبة عن ٥، مللم تظهر زيادة ملحوظة فى طول المسافة التى تقطعها فى تحركها.

ومن النتائج الهامة أيضاً لتجارب «نموذج بيللى» ما يرتبط بتأثير الرطوبة على سرعة الرياح، فقد اتضح أنه إذا ما احتوت الرمال الناعمة على ما بين ٢,٣٪ من الرطوبة فتكون فى هذه الحالة فى حاجة إلى رياح قوية لكى تحركها، ومن المعروف أن احتواء الرواسب على المياه يؤدي إلى زيادة تماسكها وزيادة قدرتها على مقاومة الرياح لها.

### ثالثاً - الإرساب الهوائى [ العملية والأشكال المرتبطة بها ] :

الواقع أن حركة الرمال وترسيبها فوق الأسطح الصخرية بالمناطق الجافة لا تتم بشكل عشوائى، وإنما توجد فى أنماط محددة ترتبط بنظم الرياح السائدة أكثر من ارتباطها بالطوبوغرافيا، ويرى ويلسون Wilson فى ذلك أنه من الممكن توقع كيفية حدوث عمليات ترسيب ومواقع حدوثها من خلال وضع نظام خاص بحركة الرياح وعمل عدد كبير من محصلات انسياق الرمال فى منطقة ما (Derbyshire, and E others, 175).

وكان ولسون درس فى عام ١٩٧١ الخرائط الخاصة بحركة الرمال فى الصحراء الكبرى والتي اعتمدت على بيانات الأرصاد الجوية المتاحة والمعلومات المرتبطة بأشكال سطح الأرض، ومن نتائج دراسته أن محصلات انسياق وتحرك الرمال يمكن استنتاجها بمعرفة سرعة الرياح وتحديد فترات حدوث العواصف (تكرارها) storms frequency واتجاه الرياح. كذلك وجد أن الدراسة التحليلية للأشكال الناتجة عن الرياح بأحجامها واتجاهاتها المختلفة تساعد فى تفهم ومعرفة الاتجاهات الرئيسية للرمال المتحركة.

وجدير بالذكر أنه لا بد من دراسة عدة عناصر لكى يتسنى لنا تفهم الأشكال الناتجة عن الإرساب الهوائى وخاصة الكثبان الرملية sand dunes مثل دراسة السطح الذى تنتشر فوقه مثل هذه الكثبان وكذلك دراسة المناطق الواقعة بينها والتي عادة ما تغطى برواسب رملية تختفى فى أغلب الأحوال تحت التكوينات الحصوية الخشنة.

وتعد دراسة العلاقة بين اتجاه الرياح وقوتها من جهة وكميات الرواسب من جهة أخرى ذات أهمية كبيرة فى تفسير خصائص الكثبان الرملية من حيث الشكل

وكيفية التكون والتشكيل، وهكذا فإنه من الضروري الاهتمام بتفهم نظم الرياح السائدة ومصادر الرمال المحلية، ومن المهم أيضاً توضيح مدى الاختلاف بين أثر كل من الرياح القوية والرياح الضعيفة، وهنا يمكننا الإشارة إلى أن Bagnold قد حدد السرعة القوية بالنسبة للرياح بأنها تلك التي تزيد على ٢٥ ملم/ثانية وذلك عند ارتفاع ٣، ستيومتر من السطح، وإن كان هذا كما يرى باجنولد ذاته يعتمد اعتماداً جزئياً على خشونة السطح ونوع الصخور والغطاء النباتي بحيث إذا زادت خشونة السطح فإن الرياح تهدأ قبل بناء الكثيب، ولذلك فإن بناء الكثبان وتكوينها في المناطق التي تتميز بخشونة سطوحها يكون أقل احتمالاً بالمقارنة بإمكانية تكونها فوق السطوح الأقل خشونة والتي تتميز بالاستواء، وعادة ما تتجه الرياح القوية إلى العمل على زيادة حجم الكثيب، ومن ثم يطلق عليها الرياح البانية للكثبان *dunes building wind*، بينما تؤدي الرياح الضعيفة إلى زيادة طول الكثيب على امتداد كتلته (King, C.A.H., p134) بالإضافة إلى أهمية فهم اتجاه الرياح وسرعتها في المساعدة في تفهم الأشكال الرملية الناتجة عن الإرساب الهوائي، فإنه من الضروري أيضاً الإلمام بتفاصيل أكثر عن نسب فترات سكون الرياح وفترات قوتها وعمل مقارنة بينهما.

وعندما ترسب الرمال أثناء عملية نقلها فإنها تأخذ شكل تموجات أو ما يعرف بالنيم الرمل *ripples* أو تأخذ شكل كثبان عرضية *transverse dunes*، وهذا الترسيب المؤقت ينتج أساساً عن حركتين يمكن إيجارهما فيما يلي:

#### ١ - حركة القذف :

وتبدو أشكال الترسيب الناتجة عنها في صورة تموجات صغيرة تتراوح أطوالها ما بين نصف ستيومتر ومترين، ويتراوح ارتفاعها ما بين ١، سم وخمسة سنتمترات، وقد كان باجنولد يعتقد بأن أغلب التموجات تنتج عن القذف الناتج عن اصطدام حبيبات الرمل القافزة فوق سطح غير منتظم نسبياً، وأن كمية الرمال المتراكمة في الجانب المواجه للرياح سيكون أكبر منه في الجانب المظاهر لها، حيث يتميز هذا الجانب الأخير بحمايته من عمليات القذف العنيفة - *violent bombardment*. وعندما تكون الرمال متجانسة في أحجام حبيباتها فإنها سوف تتحرك

مع الرمل الرياح بمعدل واحد، وعندما تترسب تكون كومة mound تظل ترتفع إلى أن تتشكل كومة أخرى في الجانب المظاهر للرياح بحيث تديرها الرياح باتجاه منصرفها بحيث تشكل حافة عرضية transverse ridge، وحيث توجد بها حبات خشنة فإنها تنقل بالزحف على المنحدرات المواجهة للرياح فقط وتتراكم كرواسب خشنة على قمة التموج مما يؤدي إلى زيادة ارتفاعه وتصبح بمثابة سطح جيد للتصادم bounding surface تساعد على قفز الحبيبات التي تصطدم بها إلى مسافات أطول، وفي المقابل تعمل على اتساع المسافات بين التموجات الرملية، والنتيجة النهائية لهذه العملية تكون تموج ضخمة mega ripple وخاصة في المناطق التي تتوافر بها نسبة كبيرة من الرمال الخشنة وتهب فوقها رياح قوية تكون كافية لتحركها، وقد يصل طول موجة النيم هنا إلى ستة أمتار مع ارتفاع يزيد على نصف المتر.

## ٢- الحركات الإيروديناميكية :

ينتج عن الحركات الإيروديناميكية ثلاثة من أشكال الإرساب الرملية تتباين فيما بينها من حيث الحجم، فقد تظهر تموجات صغيرة عادة ما تختفي عند حدوث عمليات قذف ميكانيكي قوى، وقد أجرى Bagnold تجارب معملية على التموجات الناتجة عن حركة الرياح المنتظمة في رمال ناعمة وأثبت من خلالها أنه يمكن الاستدلال على الحركات الإيروديناميكية من خلال وجود تموجات رملية تظهر عندما تثار الرمال بفعل الرياح.

والواقع أن الأشكال الرملية الناتجة عن الإرساب بفعل الحركات الإيروديناميكية والتي تظهر بوضوح في الكثبان الرملية العادية والكثبان الضخمة mega dunes تتكون نتيجة للتفاعل بين حركات ثانوية للرياح وبين سطح الأرض، فكما يحدث على سطح البحر من أثر للحركات الثانوية للرياح في توليد أمواج متحركة وخطوط إراحة مستمرة فإن نفس الشيء يحدث تقريباً على سطح سهل صحراوي مستوى، وعندما تحمل الرياح كميات كبيرة من الرمال السائبة فإن حركتها تتوقف مع تراكم الرمال وتبدأ الرياح في التفاعل مع السطح لتتولد تيارات ثانوية تعمل على تشكيل الرمال المتراكمة، وقد تتعقد العمليات مع تغير السرعة والاتجاه خلال فصول السنة.

ولتوضيح ما سبق: نفترض وجود سهل مستوى تغطيه طبقة رملية سمكية ثم هبت عليه رياح من اتجاه ثابت تفوق سرعتها سرعة تحرك الرمال فتكون نتيجة لذلك حركة تشبه حركة أمواج البحر تتعاقد تقريباً مع اتجاه الرياح، وقد ينتج ذلك أيضاً بسبب حدوث تغير مفاجئ في درجة الحرارة أو بسبب كون هذا السهل المستوى يقع في منصرف الرياح lee wind بالنسبة لإحدى الحافات المواجهة لهبوب الرياح، وتتقل الرمال المنسافة من الأجزاء التي تزيد فيها السرعة إلى المناطق الأقل في سرعتها بحيث تتراكم عليها في شكل كومة mound حتى تصل السرعة فوق تلك الكومة الجديدة إلى معدل يكفي لإعادة تحريكها، وهذا يشبه ما يحدث عند تولد الأمواج في مياه البحر المفتوحة.

وعموماً، فإن عملية الانتقال الضخمة للكومات الرملية والكثبان تختص وترتبط بمثل هذه الأشكال بصورة منتظمة، فالجانب من الكثيب المواجهة للرياح wind ward side يتعرض للنحت بمعدل أكبر من الجانب الآخر منه المظاهر لها، حيث تنتقل حبات الرمال المنحوتة وترسب خلف قمة الكثيب مباشرة عند هبوط التيار الهوائي الذي يحملها<sup>(١)</sup>، وعندما يتجاوز الانحدار في جانب منصرف الرياح (جانب الصباب) ٣٣ حينئذ تنزلق الحبيبات إلى أسفل مكونة ما يعرف بوجه الانزلاق.

ويرى Bagnold أن الكثبان الرملية صغيرة الحجم تتحرك بسرعة تفوق سرعة الكثبان كبيرة الحجم، ولذلك فهي تتحرك حتى تلتقى بالأخيرة وتندمج معها، ونتيجة لذلك نجد أن الكثبان الصغيرة عادة ما تختفى بشكل سريع، كذلك أشار إلى أنه قد وجد في دولة «بيرو» كثباناً من نوع البرخان (الكثبان هلالية الشكل) تتحرك بمعدل سنوي يتراوح ما بين ١٧ و ٤٧ متراً. كما لاحظ Beadnell أن هناك علاقة وثيقة بين توزيع البرخانات وأحجامها مؤيداً في ذلك رأى باجنولد Bag-nold. حيث تابع بالقياس معدلات تحرك خمسة برخانات في منخفض الواحات

(١) وجد كل من Sarnthein and Walger من خلال دراستهما في حقول الكثبان بصحراء موريتانيا أن كمية الرمال التي تتحرك بهذه الكيفية تبلغ ٩٣ ألف متر مكعب، بينما تتراوح الكميات المنقولة بالقفز ما بين ٧ و ٣ مليون متر مكعب.

الخارجة لمدة عام وأظهرت نتائج متابعته لها أن الكثبان الأكثر ارتفاعاً من ٢٠ متراً قد تحركت بمعدل سنوى ١ متر وأصغرها ارتفاعاً (أربعة أمتار) تحركت بمعدل ١٨,٤ متر.

واستنتج من ذلك أن نطاقات الكثبان الرملية فى واحات مصر وشمال السودان قد تقدمت نحو ١٢٠ كيلومتر خلال سبعة آلاف سنة. ويرى Beadnell كذلك أن الرياح التى حملت الرمال التى نتجت عن حفر المنخفضات بالصحراء الغربية وخاصة منخفض القطارة وأرستها فوق الأسطح الصخرية الواقعة إلى الجنوب منه فى أشكال متباينة أبرزها الغرود الطويلة قد نشطت بسبب سيادة الجفاف المناخى فى الفترات الحديثة التالية لفترات المطر البلايستوسينية، كذلك يرى مورى Murry أن الغرود الرملية بصحراء مصر الغربية قد تكونت فى نهاية العصر الحجرى القديم الأوسط، أى منذ ٢٥ ألف سنة، حيث تم العثور على أدوات حجرية تنتمى إلى ذلك العصر وذلك فى الممرات corridors التى تفصل الغرود الرملية بعضها عن البعض الآخر (Murry, W.G., pp427 - 428).

### الاشكال الرملية الناتجة عن الترسيب الهوائى

تعدد الأشكال الرملية التى تنتجها عمليات الترسيب بفعل الرياح متراوحة فى أحجامها ما بين تموجات خفيفة تعرف بـ « نيم الرمال » تصل ارتفاعاتها إلى أقل من بضعة سنتيمترات وكثباناً ضخمة mega dunes تزيد ارتفاعاتها على ١٥٠ متراً، وحافات ضخمة وغطاءات سميكة من الرمال السائبة.

وفيما يلى معالجة تحليلية لأهم هذه الأشكال الرملية :

١ - التموجات والحافات الرملية صغيرة الحجم ripples and minor Ridges تعد من الأشكال الرملية صغيرة الحجم التى نشأت عن عملية ترسيب سريعة فوق سطح مستوى نسبياً، يعتمد طول موجتها wave length على قوة الرياح، كما تعتمد النسبة بين الارتفاع وطول الموجة height./wave length ratio على عرض مسطح التموج fetch، وعادة ما نجد أن هذه النسبة محدودة للغاية فى حالة الرمال المتجانسة فى حجم حبيباتها، وتزيد مع وجود تباين كبير فى حجم الحبات، ورغم



تمو هذه التموجات والتي تمتد محاورها متعارضة مع اتجاه الرياح، فإنها لا تعد كثنائياً رملية حقيقية .

وبالنسبة للحافات الرملية الصغيرة فإن حجمها وطول موجتها يزدادان بوضوح مع مرور الزمن، ويعتمد معدل نموها على كمية المواد الخشنة المتوافرة وعلى عملية القفز .

وهناك خمسة عوامل تؤثر في ارتفاع وطول التموجات والحافات الرملية الدقيقة تمثل في الرياح التي تعد القوة المحركة لعملية قفز الحبيبات وتضاريس المنطقة وحالة حركة الرمال وطبيعة عملية القفز وحجم وخصائص الحبيبات الرملية السطحية surface grains .

فمع التباين في سرعة الرياح والتماثل في حجم الحبيبات الرملية وجد أن طول الموجة يزداد مع تدرج الرياح في السرعة، بينما يستوى سطح التموج ويختفي عندما تتجاوز الرياح في سرعتها حد معين (Bagnold, 1941, pp205-225) راجع الجدول التالي:

جدول رقم (١٣) العلاقة بين سرعة الرياح سم/ ثانية وطول موجة النيم

٨٨	٦٢,٥	٥٠,٥	٤٠,٤	٢٥	١٩,٢	سرعة الرياح سم/ ثانية
-	١١,٣	٩,١٥	٥,٣	٣	٢,٤	طول الموجة بالسم

ويرى باجنولد أن التموجات العرضية في الرمال ترتفع بسبب عدم توقف الانسياب الرملية، وحيث تتماثل طول موجتها مع متوسط طول المسافة التي تقطعها الحبيبات القافزة نتيجة اصطدامها بسطح الأرض ؛ ولذلك يطلق عليها تموجات الاصطدام impact ripples .

ويتراوح معامل التموج ripple index (وهو عبارة عن النسبة بين طول التموج وارتفاعه) ما بين ١٥ و ٢٠ يزداد إلى ما بين ٥٠ و ١٠٠ عندما يتسطح التموج أثناء هبوب رياح شديدة السرعة، وقد سجل شارب (Sharp 1963)

معاملات نموج تتراوح بين ١٢ و ٢٠ بمتوسط ١٥ ، وذلك فى التموجات الحصوية الموجودة فى كئشان كيلشو Kelso بصحراء موهافى الأمريكية، وقد وجد أن هذا المعامل (معامل التموج) يتجه انجهاً عكسياً مع حجم حبة الرمل ويرتبط ارتباطاً مباشراً بسرعة الرياح.

ويؤكد باجنولد Bagnold حدوث ضغط على السطح الرملى -أثناء تكوين التموجات مما يؤدى إلى نحت بعض الحبيبات التى يعاد ترسيبها بسبب عدم قدرتها على التعلق، ومثلما الحال مع الحافات الرملية فإن الحبيبات الخشنة تتجمع عند قمة التموج التى يزداد ارتفاعها ليصل إلى مجال الرياح القوية التى قد تعمل على نقلها - تحريك القمة - ولذلك فإن ارتفاع التموج يعتمد إلى حد كبير على قدرة الحبيبات الأخشن على البقاء فى مواضعها على القمة والصمود أمام هبوب الرياح الشديدة وتعتمد كذلك على حجم الحبيبات الرملية المكونة للتموج.

وعادة ما تتميز التموجات الكبيرة بعدم انتظامها وتباين أحجام حبيباتها، ويرى شارب sharp أن عدم انتظام الشكل هنا يرتبط بشكل مباشر بتباين حجم حبيباتها، وأن التموجات الصغيرة عادة ما تتكون من حبيبات متجانسة الحجم، ويرى أيضاً أن التموجات التى تتكون من حبيبات متجانسة الحجم (متوسط أقطارها ٠٢٥ ملم) تختفى عندما تزيد سرعة الرياح على ٦٥ سنتيمتر فى الثانية أو أن تكون قدر سرعة تحرك الحبيبات.

وجدير بالذكر أن المؤلف قد لاحظ أثناء إحدى الدراسات الحقلية التى قام بها للكئشان الساحلية والنباك على حاجز بحيرة المنزلة نمواً واضحاً لتموجات رملية فوق جسم برخان كبير الحجم قرب منطقة الديبة ، والتى تعد من المواضع المحدودة على طول امتداد الحاجز التى تظهر بها أشكال رملية من أنواع الكئشان الرملية الأولية primary dunes التى اشتقت رمالها أساساً من الشاطئ.

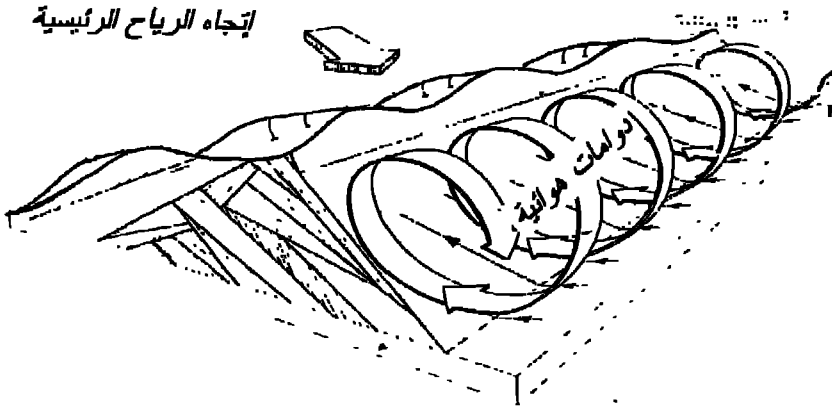
وقد رأى من خلال ملاحظاته وقياساته لنيم الرمال امتدادها متعامدة على اتجاه الرياح السائدة وأن طول موجاتها فوق الحافات الرملية المنخفضة أقل من ٦ سنتيمترات فى المتوسط وكما عرفنا فإن طول موجة النيم يتوقف على سرعة الرياح.

## ٢ - الكثبان الطولية Longitudinal Dunes :

يعرف هذا النوع من الكثبان الرملية بالسيوف أو الغرود وينتشر كثيراً في الصحارى المدارية صحراء مصر الغربية و صحارى شمال إفريقيا وفى صحراء ناميبيا وصحراء إريزونا والجزيرة العربية وغيرها . وعادة ما تظهر فوق السهول المستوية نسبياً والتي تغطى برواسب رملية مفككة ومنتشرة على مساحة واسعة، ويرى باجنولد Bagnold أن هذه الغرود الطولية قد تكون ناتجة عن حدوث تيارات هوائية لولبية helicoidal تقترب بالرياح القوية التي تهب بشكل دائم من اتجاه محدد مع امتداد محاورها بشكل عام فى موازاة هذه السرياح . وقد أكد Bagnold كذلك أن الرياح الجانبية تحول الشكل البرخانى إلى كثيب طولى وذلك من خلال العمل على إطالة أحد قرنيه وبذلك يصبح الشكل النهائى للكثيب محصلة لرياح ثنائية الاتجاه bidirectional wind وذلك فيما يعرف عند باجنولد بنظرية محصلة ثنائية الرياح two wind resultant theory وقد أكد كل من tibbitt and Mckee هذه النظرية فى دراستهما للكثبان الرملية بصحراء ليبيا عام ١٩٦٤ ، فقد وجدوا أن الكثبان الطولية قرب واحة «سبها» جنوب غرب ليبيا تتحكم فيها بدرجة كبيرة رياح قادمة من اتجاهين هما الجنوب الشرقى صباحاً والشمال الشرقى فى المساء .

كذلك نجد Holmes يقترب فى تفسيره لكيفية تكون الكثبان الطولية من تفسير باجنولد حيث يرى بأنه حيث تهب رياح دائمة من اتجاه ثابت وتأتى رياح جانبية قوية متعامدة عليها فينتج عن ذلك تكون سلسلة من الكثبان الطولية فى شكل حافات مسننة تمتد فى موازاة الرياح السائدة وقد شبه ذلك بطريق تسير فيه عربات باتجاه واحد يفاجأ بقدوم سيارات إليه من أحد الطرق الجانبية مما يؤدي إلى فساد انتظام السيارات فى طريقها الرئيسى وانحرافها، ويؤكد كلامه من خلال الإشارة إلى امتداد سلسلة غرود أبو محاريق جنوبى منخفض القطارة حتى منخفض الخارجة والتي تفصلها عن بعضها سطوح صخرية عارية، وعندما تصل هذه الغرود إلى نطاق الرياح التجارية الجنوبية الشرقية تتجه نحو الجنوب الغربى مكونة كثباناً هلالية (برخانات) كما سوف يتضح بالتفصيل فيما بعد.

ورغم وجهة نظرية Bagnold فى تفسيرها لنشأة الغرود الطولية وغير ذلك من الآراء المؤيدة لها والمتشابهة معها فإننا نجد Glennie غير مقتنع بها حيث يرى أن المعلومات المتاحة عن قوة واتجاه الرياح السطحية محدودة للغاية فى تلك المناطق الصحراوية النائية التى تنتشر بها مثل هذه الأشكال كما لا توجد تسجيلات مناخية على مدى الأربع والعشرين ساعة يومياً ولا تعرف هنا سوى النظم العامة للرياح .  
ويوضح الشكل التالى رقم (٩١) تكوين غرد طولى من خلال هبوب رياح من اتجاهين مختلفين يلاحظ ميل الطبقات الرقيقة فى الاتجاهين .



شكل رقم (٩١)

وتوجد فى مناطق عديدة أمثلة لغرود طولية قد نشأت فى ظروف هبوب رياح من اتجاهين مختلفين وفقاً لنظرية Bagnold منها الغرود الطولية بولاية نبراسكا الأمريكية والتى يرجع تكوينها إلى أواخر البلايستوسين حيث تشير الأدلة على أنه كانت تهب عليها رياح من اتجاهين رئيسيين خلال فترة تكونها (فترة وسكنسن الجافة dry late wisconsin) وأهم هذه الأدلة ما يتمثل فى أوجه الانهيار حيث كونت رياح الشتاء الشمالية الغربية برخانات ضخمة تتجه قرونها نحو الجنوب الشرقى لتأتى رياح الصيف الجنوبية التجارية الشرقية وتصطدم بالسفوح الشمالية للقرون وتحولها إلى أوجه انهيار شديدة الانحدار مما يساعد

بالتالى على تكوين دوامات تتحرك نحو الشرق مكونة حافات طولية من الرمال تشبه السيوف، ويرى Warren فى ذلك أن هذه العملية تختلف عن مفهوم باجنولد الخاص بتكوين الكثبان الطولية حيث إنها عبارة عن عملية «إعادة بناء للغرود» (Warren, A, p339).

وبالنسبة للتباعد المتماثل لحافات الغرود الطولية فإنه حتى الآن لا يوجد تفسير كاف له وإن كانت هناك بعض الآراء التى تحاول تفسيره مثل رأى كللور Clos القائل بأن التباعد المتماثل بين الغرود الطولية يرجع إلى ثبات التيارات الهوائية المعروفة باسم تيارات سيشى الاهتزازية seiche type يؤيده فى ذلك Folk من حيث المبدأ، وإن كان يرى أنه بعد أن تتكون الغرود يتولد تيار هوائى صاعد فوقه وبالتالي تزداد سرعته تلقائياً ويزداد بالتالى حجم الغرد وطبقاً لرأى كللور Clos فإن هناك أدلة على ثبات الدوامات الحلزونية وجدت فى الكثبان الرملية بصحراء سمبسون بأستراليا حيث أظهرت الدراسات الحلقية أن هذه الكثبان قد تكونت حول نويات cores من رواسب فيضية قديمة لم تتحرك من مواضعها منذ بدأ تكون الكثيب (Derbyshire, etal, p178).

ولا شك أن هذا الرأى يتعارض بطبيعة الحال مع الرأى القائل بأن العديد من نظم الكثبان قد تكون فى فترة البلايستوسين عندما كانت تسود رياح قوية وخاصة أثناء الفترة الجليدية، ومنها رأى Fairbridge الذى يربط بين حدوث نشاط بناء الكثبان بالمناطق الصحراوية وبين حدوث الجليد البلايستوسينى فى العروض العليا، كما يشير إلى وجود كثبان رملية مختفية تحت مياه بحر «آرافورا» شمالى أستراليا وفى الجزيرة العربية وغرب أستراليا وغرب إفريقيا، ويلفت النظر إلى وجود بقايا لكثبان طولية فى حوض راتير وجنوب السودان يحتمل أنها ترجع إلى البلايستوسين، وبرر وجودها فى هذه العروض الدنيا فيما بين خط عرض ١٠ درجة شمالاً وجنوباً من خط الإستواء إلى أن المسافات القصيرة بين مناطق الضغط المرتفع والضغط المنخفض قد أدى إلى زيادة سرعة الرياح المتحركة فيما بينها.

وأما عن ارتفاعات الكثبان الطولية فنجد أنها قد تصل إلى ١٢٠ متراً كما هو الحال فى إيران ويصل ارتفاعها فى مصر إلى مائة متر ، وطبقاً لباجنولد فإن

عرضها يبلغ تقريباً قدر ارتفاعها ست مرات (Thornbury, W.D., 1969, p296) وقد تمتد إلى مئات الكيلومترات فى مجموعات متوازية بالنسبة لسلسلة غرود أبو المحارق فى صحراء مصر الغربية.

يظهر هذا النمط من الأشكال الرملية إلى الجنوب الشرقى من منخفض القطارة باتجاه الشرق نحو الأجزاء الجنوبية من منخفض وادى النطرون، وتتميز الغرود هنا بضيقها وقصرها مع امتدادها نحو الجنوب الشرقى وهو اتجاه حركة الرمال الرئيسى بالصحراء الغربية. وتعد مجموعة غرود أر سيوف أبو المحارق من أعظم أنماط الغرود الطولية ويبلغ طولها الحقيقى ٣٥٠ كيلومتراً ممتدة من شرق منخفض الواحات البحرية باتجاه الجنوب الشرقى حتى دخوله منخفض الخارجة من الشمال وكأنه موجه إليه دون أن يجيد عن وجهته ويستمر داخل المنخفض ولكن مع تعديل فى اتجاه مساره، حيث لعبت الحافة الشرقية للمنخفض وطبيعة السطح الذى ينخفض على طول محوره الأوسط إلى أدنى منسوب له - بجانب طبيعة الرياح السائدة أدوارها فى تغيير اتجاه امتداده ليصبح شمالى جنوبى وذلك لمسافة ١٥٠ كيلومتر ليصبح مجموع طوله ٥٠٠ كيلومتر وإن وجدت اختلافات كبيرة بين خصائصه على سطح الهضبة وخصائصه داخل حدود المنخفض فهو خارجه أكثر اتساعاً وأكثر وضوحاً فى أبعاده حيث يصل إلى أقصى عرض له قبل دخوله منخفض الخارجة من الشمال شكل رقم (٩٢).

### ٣ - الكثبان الهلالية (البرخانات) Barchans :

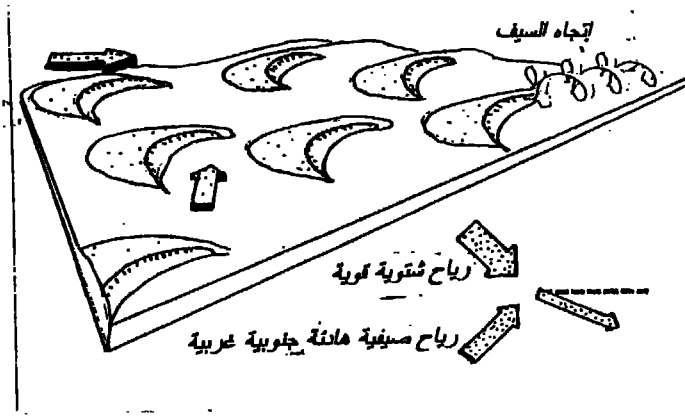
تظهر الكثبان الهلالية عادة نتيجة لهبوب رياح من اتجاه واحد - Unidirection- al Wind فوق رصيف صحراوى صلب متماسك مع توفر كميات كبيرة من الرمال السائبة، وعند وصول الكثيب الهلالى إلى مرحلة النضج يظهر جانبه المواجه للرياح wind ward side هين الانحدار متخذاً الشكل المحدب convex shape، بينما يشتد الانحدار فى الجانب المقعر concave (باتجاه منصرف الرياح) الذى ينحصر بين قرنين يشيران إلى الاتجاه الذى تهب نحوه الرياح ويلتقيان فى نمط مقوس عند منتصف حضيضه وعندما تصل درجة انحداره ما بين ٣٠ و ٣٤ تنهال رماله، حيث تعد زاوية الانحدار ٣٤ الزاوية الحرجة بالنسبة لاستقرار السطح وثبات رماله السائبة.



شكل رقم (٩٢)

ويرى كل من (امباني وعاشور، ١٩٨٣) أن عوامل تكون البرخان تتمثل في هبوب رياح قوية أكثر من ٢ كيلومتر في الساعة بحيث تسود من اتجاه معين مع انحدار خفيف لسطح الأرض وانخفاض التضاريس وتوفر الرواسب الدقيقة. ويبدأ ظهور البرخان بتكون كومة رملية تزداد ارتفاعاً حتى يستقر الوجه المظاهر للرياح راجع شكل رقم (٩٣) الذي يبين مجموعة من البرخانات المثالية مع توضيح كيفية تكونها راجع كذلك صورة رقم (٢٤).

ويتميز القرنان في البرخان (الكثيب الهلالي) باستطالتهما بشكل مستمر، وقد يزداد أحدهما طولاً عن القرن الآخر مما يشير إلى هبوب رياح غير منتظمة، أو قد يكون بسبب عدم انتظام كميات الرمال التي تضاف إلى الكثيب، أو قد يكون ذلك راجعاً إلى انحدار الرصيف الصحراوي الذي تكون فوقه الكثيب الهلالي.



شكل رقم (٩٣)



صورة رقم (٢٤)



ويلتقى الجانبان في كثير من الكثبان على طول حافة حادة يتغير عندها الانحدار من انحدار خفيف نسبياً أعلاها إلى انحدار شديد على طول السفح المقعر، ولكن قد يلتقى الجانبان في بعض الكثبان عند القمة (قمة الكثيب) ويتراوح عرض الكثيب الهلالي ما بين ٥ و ٤٠٠ متر، وتتراوح المسافة ما بين قرنيه من ٢,٥ إلى ٢٥٠ متراً كما يتراوح ارتفاعه ما بين ٥ و ١٥٢ متراً (إمبابي وعاشور، ١٩٨٣، ص ٧٢).

وعادة ما يتقدم البرخان مع إضافة كميات من الرمال إلى قمته أو يتقدم من خلال إزالة الرمال من أقدام الجانب المقعر (سفح الانهيار) إلى أن يصل انحداره إلى ٣٤°، وأما الجانب الآخر المواجه للرياح والذي يتميز بقلة انحداره وتحديه فإنه يتعرض للنحت بمعدل أكبر من سفح الانهيار، حيث تتحرك الرمال المنحوتة وتستقر خلف القمة مباشرة ويهبط التيار الهوائي ويتجاوز الانحدار في جانب منصرف الرياح درجة الاستقرار وهنا تنزلق الرمال إلى أسفل مكونة سفح أو وجه الانهيار (slipface) (King, CAM, p1370) وعادة ما تختلف سرعة تحرك البرخانات البسيطة تبعاً لأحجامها وأشكالها ومواقعها، ويعتبر ارتفاع وجه الانهيار بشكل عام أكثر المتغيرات أهمية في التأثير على حركة البرخان وإن كان لا يمكننا أن نتجاهل أثر كل من نظم الرياح وكمية الرمال المتوفرة وخصائص السطح والنبات الطبيعي.

وقد قامت دراسات هامة عن حركة الكثبان الهلالية في منطقة وادي إمبيرال بولاية كاليفورنيا الأمريكية حيث تابع كل من Long and Sharp التغيرات التي طرأت على الكثبان في تلك المنطقة خلال الفترة من ١٩٤١ حتى ١٩٦٣ (لمدة عشرين سنة) وأغلب البرخانات هنا من النوع الصغير المنعزل أصغر حجمًا يبلغ عرضه (المسافة بين طرفي القرنين) تسعة أمتار ويتراوح ارتفاع أكبرها ما بين ٨ و ١٢ متراً وعرض بضعة أمتار، أي أن أغلبها يتميز برقته (انخفاضه) حيث إن العلاقة بين الارتفاع (المسافة الرأسية بين القمة والقاعدة) والعرض (المسافة بين القرنين) منخفضة. وقد أشار العالمان السابقان إلى أنه من الأهمية بمكان عند دراسة أثر شكل البرخان على تحركه أن نعرف ما إذا كان في حالة نمو أم في حالة ثبات

وقد أشارا أيضًا إلى أن البرخان الذي له قمة وحافة brink يسلك سلوكًا مغايرًا للبرخان الذي تنطبق قمته على حافته ولذلك من المهم أن نأخذ في الاعتبار عند دراسة تحرك الكثبان في السهول الصحراوية مدى الاختلاف بين قمة الكثيب وبين حافته (Derbyshire, E, etal, pp181 - 182).

ومن الدراسات الخاصة بالكثبان الهلالية ما قام به Hastenrath, 1967 من دراسة لآثار الحركات الإيرووديناميكية على البرخانات الهلالية في منطقة بمبادى لاجويا جنوبي ييرو حيث يمتد حقل الكثبان على مساحة مائة كيلو متر مربع وعلى منسوب ١٢٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر في منطقة رصيف صحراوي مغطى بحصباء، وقد قام بقياسات حقلية عديدة لطول أوجه الانهيار وعرض الكثبان وارتفاعاتها مع قياس زوايا الانحدار للجوانب المواجهة للرياح ومعدلات التحرك الكلي للكثيب خلال عدد من السنوات ومعدلات التحرك بالمتري في السنة، كما ربط بين شكل الكثيب وحجمه ودرس أيضًا الكثافة النوعية الكلية للكثيب (جرام/سم<sup>٣</sup>) وأظهرت له الدراسة الأخيرة انخفاض الكثافة بالاتجاه نحو منصرف الرياح.

ويمكننا هنا أن نلخص دراسة هاستنرات Hastenrath فيما يلي من نقاط:

- عندما تسود ظروف رياح منتظمة مع توفر الرمال ووجود سطح مستوى فإن البرخانات تتحرك في حالة من التوازن بمعنى آخر تتحرك دون حدوث اضطراب في حجمها أو شكلها.

- إن وجود المواد الحصوية على الجانب المحدث من الكثيب تؤدي إلى حدوث اضطراب في تيار الهواء فوقه بدرجة قد تؤدي إلى تقلصه وتلاشيها تمامًا.

- تزداد حركة الكثيب الهلالي بزيادة سرعة الرياح وإن كانت الرياح غير المنتظمة القوية يسكنها أن تؤدي إلى تدهيره.

وجدير بالذكر أن البرخان عند تحركه عادة ما تبدى أطرافه - قرونه - حدًا أدنى من المقاومة عكس كتلته، ولذلك فهي تتقدم بمعدل أسرع، وتتراوح معدلات التحرك السنوية بين ستة أمتار للبرخان المرتفع كبير الحجم وأكثر من ١٥ مترًا بالنسبة للبرخان الأصغر.

وفى دراسة لـ «بحيرى» عن صحراء سوهاج (Behiry, s.,1967, pp54 - 59) عالج خلالها الأشكال الرملية الموجودة بها وخاصة فى الجزء الشمالى من خليج جرجا حيث توجد نحو عشرة برخانات واضحة المعالم على بعد ثلاثة كيلومترات غرب الحد الزراعى. وقد أظهرت دراسته أن هذه البرخانات تستمد رمالها من وادى جاف قريب منها يمثل مصدراً ثابتاً للرمال الناعمة التى تنقلها الرياح عبر سطح صحراء سوهاج إلى مناطق المجروفات الرملية قرب أولاد غريب وعند دراسته لأربعة برخانات ضخمة بالمنطقة (يصل طول الواحد منها ٢٣٠ متراً وعرضه ٢٠٠ متر وارتفاعه ٤٠ متراً) وجد أن أبعادها غير منتظمة وتعرض بشكل مستمر للاضطراب.

### حركة الهواء وتحرك الرمال فى الجانب المظاهر للرياح بالكثيب الهلالي:

تزداد قوة الدوامات الهوائية وتزداد حجماً على الجوانب من البرخانات المواجهة للرياح وخاصة عند هبوب رياح عاصفة تتراوح سرعتها ما بين ٦٠ - ٨٠ كيلومتر فى الساعة وكما ذكرنا فإن الإرساب يحدث فى هذا الجانب عند انزلاق حبيبات الرمل وتراكمها أسفلها عند تجاور انحداره زاوية الاستقرار.

ورغم أن الكثيرين أمثال Cooper, Sharp لم يتأكدوا من أثر الدوامات فى تكوين الكثبان عند دراساتهم الحقلية لذا نجد من جانب آخر أن ملاحظات Hoyt الحقلية عام ١٩٦٦ على أثر حركة الكثبان الرملية بصحراء ناميبيا قد أثبتت جزئياً أهمية الدوامات فى جوانبها المظاهرة للرياح (فى كل من الكثبان العرضية والهلالية).

فقد وجد أن تيار الهواء المتحرك فوق الجانب المحدب (المواجه للرياح) يصعد أعلاه متخطياً قمته ومستمرّاً فى تحركه باتجاهات مختلفة فوق جانبه المقعر، وعندما تشد الرياح فإن تيار الهواء المتحرك فوق الجانب المقعر يهبط أسفلها ويعود فيصعد فوقه فى شكل دوامة كبيرة. وطبقاً لهوايت Hoyt فإن هذا التيار قد يؤدي إلى تحريك وإزالة الرمال الموجودة على السطح فى مواجهة الكثيب ليصبح خالياً من الرمال حيث يتقدم فوقه الكثيب بعد ذلك. وتتمثل أهم هذه العوامل المؤثرة فى دوامة منصرف الريح lee eddy فى سرعة الرياح وكمية الرمال وحجم الحبيبات

والرطوبة وارتفاع الكثيب وكل هذه العوامل يمكنها أن تساعد في زيادة فعالية الدوامة الهوائية وتقويتها للتحرك وحمل الرمال في اتجاه تحركها (Warren, A., p338) وذكر ورين Warren في ذلك أن برخانات الرمال في عين صلاح بالجزائر يبدو أنها تولد دوامات قوية ومؤثرة عند أقدامها تؤدي إلى اكتساح الرمال والتي تظهر في شكل أشرطة رملية تمتد في اتجاه تقدم الكثيب.

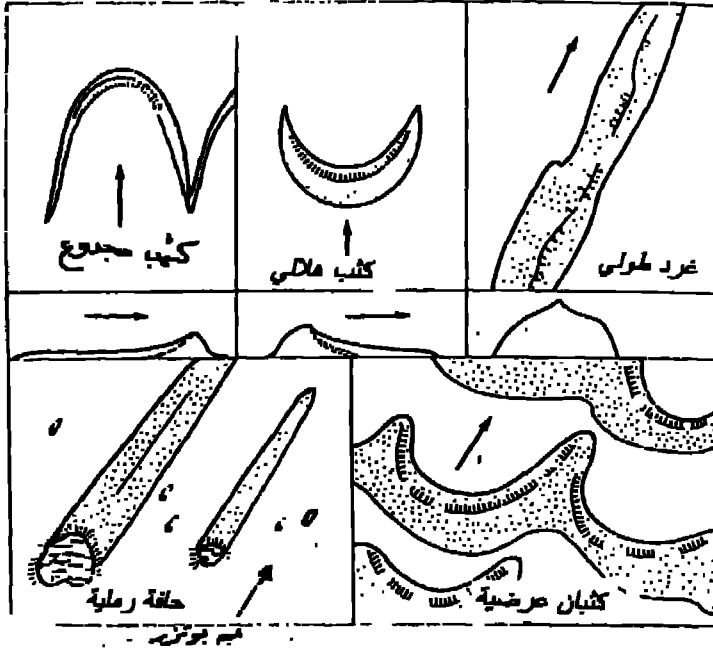
إلى جانب أنواع الكثبان الرئيسية السابقة هناك أنواع أخرى عديدة مثل الكثبان العرضية *transverse dunes* وهي كثبان تمتد بشكل طولي تتميز بقممها شبه المستديرة وتبدو ممتدة في خطوط مستقيمة متوازية تتقاطع مع السرياح السائدة ويتراوح طولها ٨ و ٥٠ كيلومتر وارتفاعها ما بين ١٦٥ و ٢٧٠ متراً وتشبه قممها قمم البرخان<sup>(١)</sup> وتظهر بها بعض الحفر الناتجة عن الدوامات الهوائية وكثيراً ما تتعرض جوانبها للانزلاقات، يبلغ انحدار الجانب المواجه للرياح ٢٥ درجة وعادة ما يرتبط هذا النوع من الكثبان بالصحارى القاحلة الخالية تماماً من النباتات (Thornbury, W. D., p298). كما ترتبط في نشأتها بسيادة رياح واحدة مؤثرة راجع الشكل التالي رقم (٩٤)، وهي عموماً تمتد في شكل حافات متصلة في المناطق التي تغطي تغطية كاملة بالرمال (Collinson, J.D, 1978, p84).

ومن الكثبان أيضاً الكثبان النجمية وهي تشبه النجوم وتمتد على مسافة تتراوح ما بين ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ متر وتبدو في الطبيعة ذات قمم مندية أو ذراع ممتدة شديدة الانحدار تتميز الكثبان الصغيرة منها بأنها ذات قمة واحدة. ومن المحتمل أن هذا النوع من الكثبان قد تكون بسبب حدوث تغير في اتجاه الرياح، أو أنها قد نتجت عن التحام كثبان صغيرة بكثبان أكبر حجماً.

وقد تظهر كثبان هلالية صغيرة فوق جسم كثيب هلالى ضخم، كذلك كثيراً ما تتشكل التموجات الرملية (نيم الرمال) فوق الجوانب المحدبة للكثبان الهلالية، وعادة ما تلتحم الكثبان عند أحد قرنيها حيث تنقل الرمال من كثيب إلى آخر من القرنين وكلما اقتربا من بعضها أدى ذلك إلى سرعة الالتحام. وتوجد كثبان قباية الشكل *domal* يتساوى فيها طولها مع عرضها مع تماثل الانحدارات على الجوانب

(١) يرجع عدم استقامة قممها وظهور أنماط منحنية إلى تعاقب قطاعات محدبة ومقعرة باتجاه منصرف الرياح.

مع وجود قمة الكثيب في منتصفه (إمبابي وعاشور، ص ٨١) كما توجد كثبان  
 يضاوية الشكل oval dunes يمتد طوله في توافق مع محور امتداده ويتميز جانبيه  
 المواجه لمنصرف الرياح بيمله نحو الاستقامة ويعد النوعان الأخيران مرحلة أولية  
 لتكون الكثبان الهلالية.



شكل رقم (٩٤)

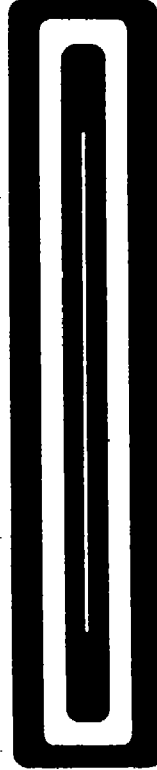
أما بالنسبة للكثبان الساحلية بأنواعها المختلفة فقد درست تفصيلاً في الفصل  
 الخاص بجيومورفولوجية السواحل من هذا الكتاب.



## الفصل الثامن



التعرية الساحلية وأشكالها  
الأرضية







## مقدمة :

تنقسم السواحل بشكل عام إلى نوعين رئيسيين: النوع الأول - ويتمثل في السواحل الجرفية أو سواحل الجروف cliff coasts، والنوع الثاني - ويتمثل في سواحل الإرساب المنخفضة، وتظهر الأشكال الناتجة عن النحت بفعل العمليات البحرية بشكل واضح على سواحل النوع الأول، بينما تظهر أشكال عديدة إرسابية على السواحل المنخفضة. وعادة ما تكون الأخيرة نتاج غمر بحرى submergence أو قد تكون نتاج انحسار مياه البحر عن الهوامش الساحلية وهاتان العمليتان الأخيرتان ترتبطان أساساً بتغيير مستوى سطح البحر، حيث إن حدوث أى ارتفاع أو انخفاض فى منسوب مياه البحر بالنسبة للساحل المنخفض يمكن أن يتسبب عنه حدوث تغيرات عديدة فى شكل الساحل.

وعند تعرض مستوى مياه البحار .. على مقياس عالمى - للتغير فإن الآثار المترتبة على ذلك تظهر فى معظم سواحل القارات (وخاصة المنخفضة) وذلك فى شكل ملامح وأشكال ساحلية تدل على حدوث هبوط أو ارتفاع فى مناسيب المياه بالبحار.

وتعرف التغيرات فى مناسيب مياه البحار بالذبلبات الإيوستاتية eustatic fluctuations التى ترتبط أساساً بالتغيرات المناخية التى تعرضت لها الأرض خلال البلايستوسين والهولوسين. فقد ارتبط بفترات القمم الجليدية البلايستوسينية انخفاض فى منسوب مياه البحار فى العالم تراوح فى مختلف الفترات الجليدية ما بين ١٠٠ و ١٥٠ متراً، وبعد انتهاء العصر الجليدى وانصراف المياه بعد انصهار الجليد باتجاه البحر حدث ارتفاع فى مناسيب مياهها، ويقدر بأن معدل الارتفاع الإيوستاتى فى مختلف أنحاء العالم يتراوح فى الوقت الحاضر بين ١٢، ١ و ١٨، ١ ملم فى السنة (صبرى والشريعى، ١٩٩٥، ص ١٧٣).

وما يعيننا فى هذا الفصل فى الواقع يتمثل فى دراسة الأشكال الأرضية الساحلية المرتبطة بعمليات النحت البحرية فى سواحل الجروف الصخرية والأشكال الساحلية المرتبطة بالتغيرات فى مستوى سطح البحر وتلك الأشكال الإرسابية المتعددة بما فيها سواحل الإرساب العضوى (السواحل المرجانية).

## أولاً - الأشكال الأرضية النازجة عن النحت البحري في سواحل الجروف :

تظهر الجروف في قطاعات عديدة من سواحل العالم المختلفة بصرف النظر عن صخورها أو خصائص العمليات البحرية بها، فقد تظهر الجروف في صخور ساحلية نارية شديدة الصلابة، كما أنها قد تظهر في صخور رسوبية أقل صلابة كما سيتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد. وخاصة أن الكثير من الجروف الساحلية عادة ما تكون بمثابة أشكال أرضية موروثية *inherited landforms* من فترات ماضية تم تعديلها - أي الجروف - بواسطة ما تعرضت له من غمر بحري أثناء الهولوسين، دليلنا في ذلك أننا كثيراً ما نجدها تظهر على سواحل تتميز بهدوء الأمواج أمامها - أمواج باينة لا يمكنها بأى حال أن تشكل جروفاً - تمتد عند أقدامها أرصفة شاطئية واسعة، بينما نجد جروفاً تتميز بضيق أرصفتها الشاطئية وعدم وضوحها بسبب تغطيتها بركامات السفوح التي نتجت عن تراجعها - أي تراجع الجروف - باتجاه اليابس، وقد تظهر جروف ساحلية تختفى من أمامها الأرصفة تماماً بحيث تنحدر انحداراً مباشراً نحو المياه العميقة وهذه الجروف نشطة ولا بد لنا أن نتذكر هنا أن عمليات التجوية القارية وانهيارات السفوح لها دورها الكبير في تطور أشكال الجروف بتلك المناطق الساحلية، حيث إن البحر في حد ذاته لا يستطيع أن يحدث تراجعاً سريعاً لها كما سوف يتضح ذلك بالتفصيل في الدراسة التحليلية لنشأة وتشكيل الجروف.

وتختلف معدلات تراجع الجروف *cliff recession* تبعاً لاختلاف خصائص الصخور الساحلية واختلاف الظروف المناخية السائدة ومن ثم تظهر تباينات عديدة وتعقيدات بالغة في أشكال الأرض الساحلية بشكل عام حيث إن السواحل تمثل جبهة الالتقاء بين اليابس والماء ولكل منها دوره في تشكيلها وإعطائها سماتها وملامحها الجيومورفولوجية المتعددة كما سيتضح لنا ذلك بالتفصيل فيما بعد.

وقبل أن نتعرض بالتفصيل لدراسة الجروف وما يرتبط بها من أشكال وملامح أرضية يجدر بنا ذكر العمليات البحرية السائدة بتلك السواحل ودورها في إبراز هذه الأشكال المتميزة.

## ١ - العمليات البحرية :

### ١ - الاحتجار بفعل الأمواج Wave Quarrying :

تقوم الأمواج من خلال هذه العملية بحركة جذب وسحب للمواد والمفتتات الصخرية من أوجه الجروف التي تواجهها بحيث تلقى هذه المواد والمفتتات بعيداً عنها باتجاه الشاطئ القريب near shore، وتنتج هذه العملية عن حدوث ضغط بسبب تكسر الأمواج المدمرة على أوجه شواطئ صخرية rocky shores يساعدها في ذلك تقطع الصخور في مرحلة سابقة بفعل عمليات التجوية وتسبب تفصلها أيضاً، ومن ثم فإن عملية الاحتجار الموجي تتباين من ساحل إلى آخر تبعاً لاختلاف نوع الصخور المكونة للجروف ودرجة تجويتها ومعدلات نشاط عمليات الانهيارات الأرضية بها، وينتج عن الاحتجار عادة رصيف ينحدر بشكل عام نحو البحر ويتميز باستواء سطحه في حالة ما إذا كانت طبقاته تميل متطابقة مع سطح الاحتجار plane of quarrying، وإذا لم يوجد هذا التطابق في هذه الحالة تتكون أشكال مورفولوجية مختلفة مثل الكويستات صغيرة الحجم minor cuestas أو الربوات المنخفضة.

وجدير بالذكر أن الصخور المائلة والمنحدرة تكون أكثر قابلية للاحتجار بسبب انكشاف سطوح الضعف الصخرى أمام هجوم الأمواج على معظم أجزاء الرصيف.

### ٢ - النحت الموجي Wave Abrasion :

يقصد بالنحت أو الحت الموجي تفتت المواد الصخرية وتكسرها بفعل الأمواج التي تعمل معها أدوات النحت من رمال خشنة وحصى، وفي أحيان كثيرة من الجلاميد.

والفرق بين هذه العملية وعمليات الاحتجار أن الأخيرة عبارة - كما ذكرنا في موضع شرحها - عن جذب للصخور المجاورة والتقاطها ثم إلقتها بعيداً عن مصدرها بينما يعنى الحت الموجي عملية تكسير فيزيائى للصخور وطحن للمفتتات debris attrition من خلال تكرار تقدم وتراجع الأمواج على طول الشاطئ. وعادة

ما يؤدي النحت أو البرى الموجى عند أقدام الجروف إلى تثليهما وتكوين تجويفات notches بها إلى جانب ما يعول به من صقل لرصيف الشاطئ (رصيف نحت الأمواج) من خلال ما يحمله من أدوات الحت.

وتختلف قوة عملية الحت الموجى باختلاف طاقة الأمواج وكمية أدوات البرى التى تسليح بها الموجة، فهى تزداد قوة مع توفر الحصى pebbles والجلاميد الصغيرة والتي عادة ما نجدها متوفرة على سواحل الأمواج العاصفة بالعروض المعتدلة.

وتوجد علاقة قوية بين عمليتي الاحتجار من جانب والحت الموجى من جانب آخر، فإذا ما قويت عملية الاحتجار، فمعنى ذلك توافر كميات أكبر من المفتتات اللازمة لعملية الحت، ومعنى كل ما سبق أن الظروف الملائمة للعمليتين ظروف واحدة مما جعلهما يتلازمان فى وجودهما (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩١، ص ١٠٦ - ١٠٧).

إلى جانب الحت الموجى هناك الفعل الهيدروليكي الذى تقوم به الأمواج وخاصة على سواحل الجروف التى تكثر بها الشقوق والفواصل الصخرية وخطوط الصدوع، حيث يؤدي تكسر الأمواج wave - breaking عند واجهة الجرف الساحلى إلى اندفاع الهواء داخل هذه الشقوق الصخرية وانضغاطه بداخلها بشكل فجائى مولدًا قوة ضغط على وجه الجرف، وعندما تتراجع الأمواج باتجاه البحر يتمدد الهواء المضغوط ويحدث بالتالى عند خروجه فرقعات explosion ينتج عنها تفكك الصخور وتقطعها وتوسيع للشقوق وزيادة تعمقها وتوغلها داخل صخور الجرف.

### ٣- التجوية المائية Water Layer Weathering :

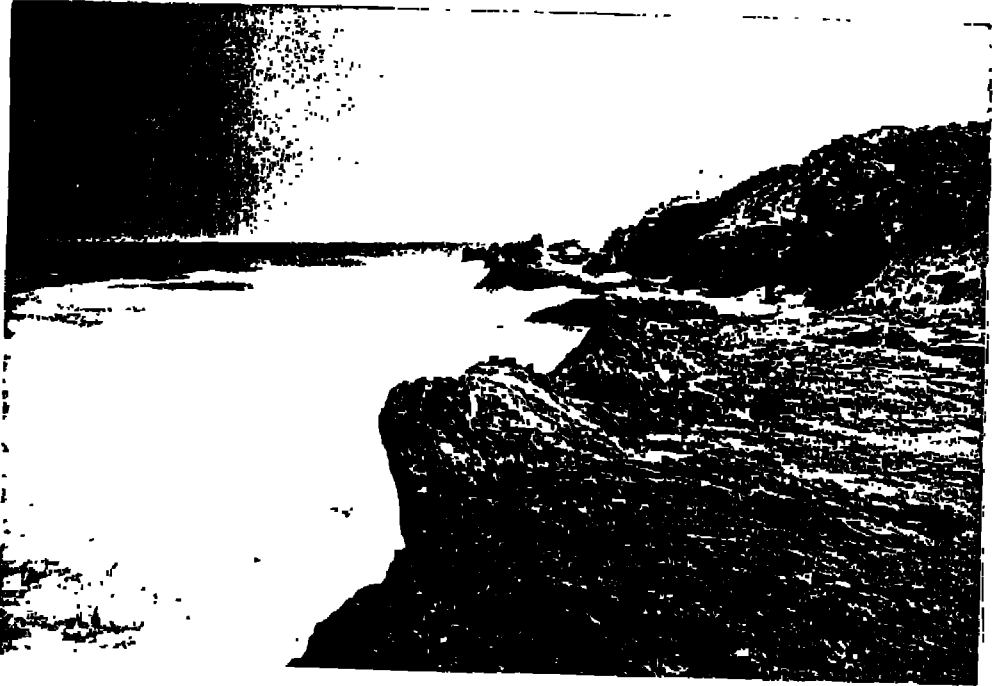
يعد هيلز (Hills, 1949) أول من أطلق هذا التعبير على تجوية صخور الساحل كنتيجة لتعاقب البلل wetting مع التجفيف drying ويتأثر وجه الجرف وخاصة عند إقدامه بهذه العملية، حيث تتعرض صخوره أثناء الجفاف للتجوية

---

(\*) تحدث ظاهرة التكيف cavitation عندما تندفع مياه شديدة السرعة داخل الشقوق.

الفيزيائية من خلال عملية النمو البلّورى للأملاح داخل الشقوق وبين المسامات الصخرية إلى جانب سيادة عمليات التجوية الكيماوية الناتجة عن التفاعل الذى يتم بين المعادن المكونة للصخر ومياه البحر - التحلل المائى hydrolysis والتي تصل إلى الساحل بشكل دورى إلى جانب تأثيرها كذلك - أى الصخور - بعمليات التمعؤ hydration .

ويمتد نطاق التجوية من الحد الأعلى لرهاذ الأمواج sprays حتى نطاق التشبع الدائم permanent saturation zone، ويتج عن التجوية ملامح مورفولوجية دقيقة مثل تنقير الصخور وتحزرها فوق سطح الرصيف وعند أقدام الجرف صورة رقم (٢٥) .



صورة رقم (٢٥)

وتلعب الخصائص الليشولوجية دورها فى تباين هذه الملامح الدقيقة، حيث تختلف درجة وأهمية التجوية المائية تبعاً لنوع الصخور المكونة لرصيف النحت وصورها التركيبية، فهى تتأثر كثيراً بدرجة نفاذية الصخر وميل الطبقات

dip of strata . كما تتأثر عمليات التجوية تأثراً كبيراً بالعوامل المناخية السائدة على الساحل سواء بشكل مباشر من خلال التأثير بدرجة اتساع الفارق الحرارى واختلاف معدلات التبخر التى بدورها تؤثر فى فعالية تعاقب الليل والجفاف أو تتأثر بشكل غير مباشر من خلال تأثرها بنظم الأمواج السائدة، حيث إنها تنشط كثيراً مع الأمواج الضعيفة المنخفضة ، بينما تضعف مع الأمواج القوية والتي بدورها تقوى عملى الاحتجار والحت الموجى بدرجة يمكن أن تختفى معها التجوية الكيماوية .

وعموماً ، يظهر تأثير التجوية المائية بوضوح فى السواحل ذات المناخ الرطب المرتبط بمعدلات تبخر منخفضة ومد وجزر نصف يومى semi duranal وتزداد فعالية وقوة على السواحل التى ترتفع بها معدلات التبخر ويسودها غمط المد والجزر اليومى والمختلط durnal and mixed مثلما الحال على معظم سواحل البحر الأحمر فى مصر .

#### ٤ - الإذابة Solution :

ترتبط عملية الإذابة ارتباطاً قوياً بالخصائص الليولوجية لصخور الساحل ، وتعد الصخور الغنية بالكربونات أو المتلاحمة بواسطتها من أكثر أنواع الصخور تأثراً بالإذابة وخاصة مع إماجة مياه البحر فى منطقة تكسر الأمواج .

وتزداد معدلات الإذابة على السواحل المدارية بسبب امتداد الصخور الجيرية على طول قطاعات طويلة منها وضعف الاحتجار والحت الموجى ، ويؤدى انخفاض معدلات الإذابة القارية فى هذه العروض إلى وضوح الآثار الناتجة عن الإذابة البحرية مع الأخذ فى الاعتبار صعوبة الفصل هنا بين الإذابة البيولوجية وتلك الناتجة عن مياه البحر ، ويرى Cloud فى ذلك أنه يجب التفرقة بين ملامح التحزر فى صخور الحجر الجيرى والتي تنتج عن الأحياء الحفارة فى نطاق المد والجزر وبين تلك التحزرات الناتجة عن عمليات الإذابة وهذا الأمر يستلزم الإلمام الكامل بالأدلة المرتبطة بإذابة الصخور .

ويرى كل من Reveile and Emery أن عملية الإذابة فى السواحل المدارية ترتبط بحدوث زيادة ليلية فى نسبة ثانى أكسيد الكربون بالماء وذلك بسبب انخفاض درجة الحرارة وكذلك بسبب توقف النباتات البحرية عن القيام بعملية التمثيل

الضوئية photosynthesis، وقد أشارا كذلك إلى أن المسطحات المرجانية المتسعة والممتدة تحت مستوى علامة الجزر للدليل على حدوث إذابة للصخور الجيرية في نطاق المد والجزر، أم الأجزاء الأعلى من هذا المستوى فإن ما بها من أشكال إذابة يرجع في أساسه إلى رذاذ الأمواج (راجع المؤلف، ١٩٩١).

#### ٥ - النحت البيولوجي :

تقوم الأحياء البحرية بدور كبير في تفتيت صخور السواحل المدائرية وتجوئتها. وخاصة تلك السواحل الغنية بالصخور الجيرية، ويرى Emery أن النحت البيولوجي يعد من أسرع الطرق التي تؤثر في صخور نطاق المد والجزر، وقد أظهرت الدراسات العديدة العلاقة القوية بين حدود بيئة تلك الأحياء والمناسب التي يصل إليها تأثير الأمواج.

وترجع التعقيدات في الأشكال الناتجة عن الأحياء النباتية والحيوانية بتلك السواحل إلى اختلاف قدرة هذه الأحياء على التشكيل، وترجع كذلك إلى اتساع الرصيف البحري، وعادة ما تزدهر الأحياء البحرية في سواحل الأمواج ذات الطاقة المنخفضة وخاصة عندما تتكون صخورها من الجير أو تتلاحم بواسطه. وتظهر العديد من الملامح والأشكال الناتجة عن النحت البيولوجي من التجويقات والشقوق<sup>(١)</sup>.

وجدير بالذكر أن العديد من الكائنات البحرية تستمد غذاءها من الصخر نفسه مما يؤدي بالتالي إلى تفتيت صخور الساحل وظهور ملامح مورفولوجية يارزة من الشقوق والحفر والتي كثيراً ما تكون مأوى للعديد من أنواع الأحياء البحرية الحفارة.

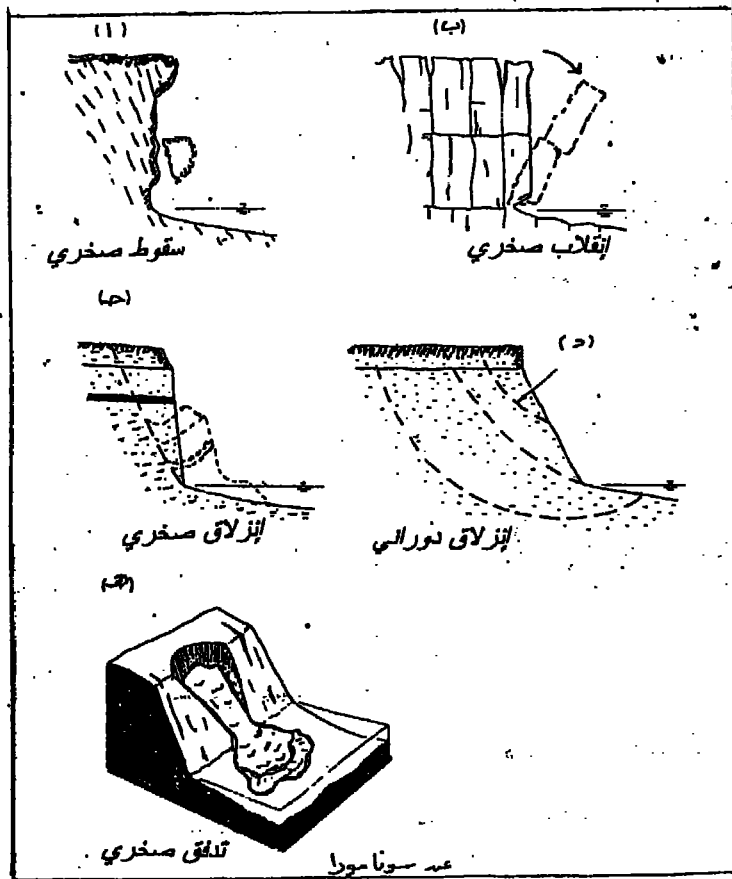
#### ب - الانهيارات الأرضية والجروف :

تعرض الجروف للانهيارات الأرضية mass wasting بأنواعها المختلفة والتي تؤثر كثيراً على تطور الجروف وما يرتبط بها من أشكال أرضية.

(١) تعد الطحالب الخضراء الضاربة للزرقة blue green algae من أكثر الأحياء النباتية أهمية في تشكيل مثل هذه التجويقات الساحلية.

تنقسم الانهيارات الأرضية التي تتعرض لها السواحل الصخرية إلى أربعة أنواع تتمثل فيما يلي:

١ - السقوط الصخري rock fall : يتمثل في سقوط كتل صخرية تبدو عند سقوطها غير مرتكزة على سطح الجرف، وتنقسم إلى قسمين ثانويين : أولهما سقوط الصخر (الكتل الصخرية)، وثانيهما سقوط المقتات الصخرية ويرتبط ذلك أساساً بنوع الصخور المكونة للجرف قبل التعرض لعمليات السقوط وعادة ما تتعرض لها الجروف شديدة التفصل المكونة من صخور جيرية أو طينية، ويقدر كل من (Williams and Davies, 1987) تراجع مثل هذه السواحل بمعدل سنوي يصل إلى ٨، ٦ سم. شكل رقم (٩٥).



شكل رقم (٩٥)

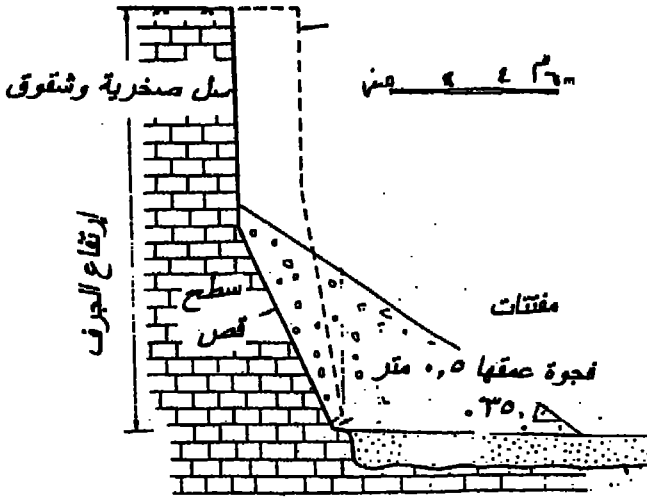


٢ - سقوط كتل صخرية مع حدوث ارتكاز لها أعلى السفح أثناء حركتها إلى أسفل فيما يعرف بعملية الانقلاب الصخرى toppling وتظهر هذه النوع من الانهيارات الأرضية فوق الجروف المكونة من صخور صلبة متفصلة تفصلاً رأسياً vertical jointing مثلما الحال على الجروف الطينية على ساحل واردن Warden بجزيرة Sheppey بإنجلترا وخاصة عندما تتعرض لتكون فجوة الأمواج (Sunamura, T., 1922, p107).

٣ - انزلاق صخري: ينتج عادة عن حدوث إزاحة قص shearing displacement على سطح انزلاق محدد distinct slip face ينقسم بدوره إلى نوعين هما الانزلاق اللوحى planar sliding. والانزلاق الدوراني rotational sliding. غالباً ما يحدث النوع الأول على سطح انزلاق خطى linear (مستقيم)، بينما يحدث الثانى فوق سطح دائرى circular plane وقد يكون الأخير انزلاق ضحل أو عميق تبعاً لعمق سطح الانزلاق (راجع الشكل السابق (٩٥) وغالباً ما يتعرض له معظم الجروف.

٤- التدفقات flows: تتحرك فيها المواد الصخرية إلى أسفل فوق جروف مكونة من صخور صلصالية وتبدو فى شكل تدفقات طينية mudflows عادة ما تبدأ بحركة انزلاق طينى mudslide وقد تتفكك الكتلة الطينية أثناء تحركها مما يؤدي إلى حدوث تدفقات طينية فى مرحلتها الأخيرة مع الأخذ فى الاعتبار صعوبة التفرقة بين الانزلاق والتدفق الطينى أثناء الدراسة الحقلية ودائماً ماتعمل الانهيارات الأرضية على عدم استقرار قطاع وجه السفح حيث يبدو نتيجة لذلك أقل انحداراً more gently sloping profile مع تراكم الفتحات بشكل مستمر عند قاعدته مع ما تقوم به الأمواج من إزالة لهذه الفتحات تنتقل إلى مرحلة أخرى تالية تتمثل فى عمليات حث وتقويض سفلى undercutting عند أقدام الجرف بدرجة تجعل أعالي الجرف أكثر انحداراً وأقل ثباتاً.

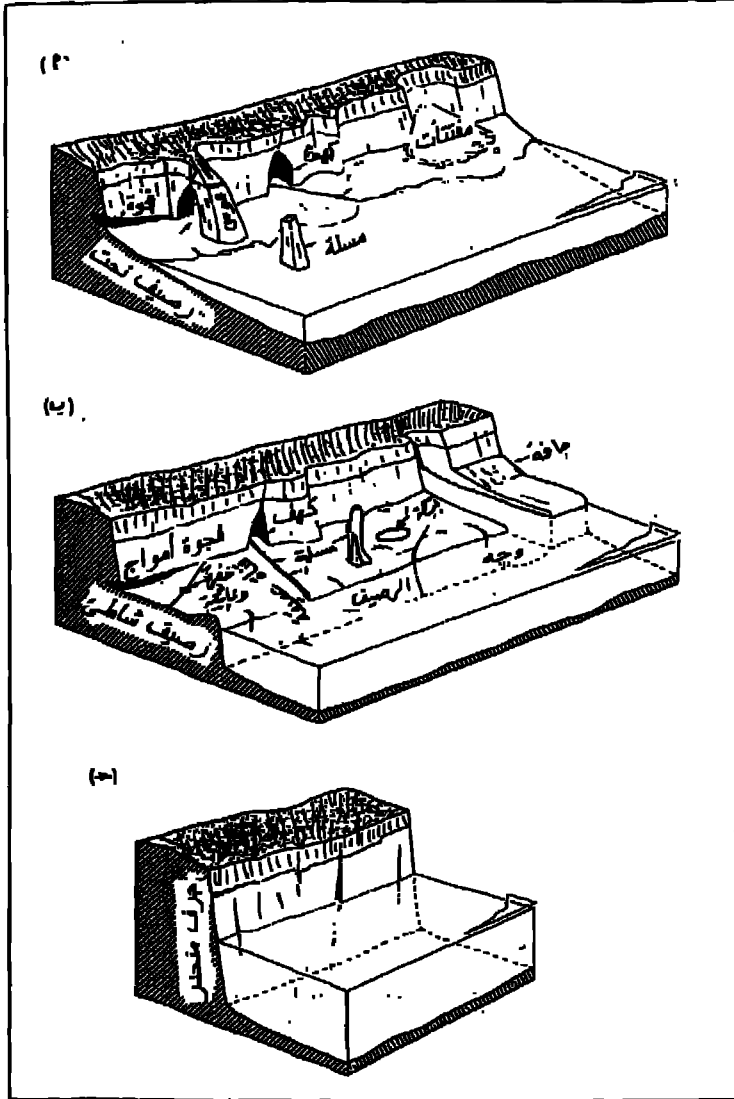
ويوضح الشكل التالى رقم (٩٦) قطاعاً فى جرف طباشيرى بجزيرة ثانت thant بإنجلترا قام بدراسته وقياسه (Hutchinson, 1984) يبلغ ارتفاعه ١٥ متراً ويتكون من طبقات أفقية من صخور الطباشير التى تكثر بها الفواصل الرأسية وقد تعرض لانهيار قص shear failure نتيجة امتداد شق ناتج عن الشد tensionsl crack طوله سبعة أمتار وتكون فجوة موجية a wave - cut - notche بعمق نصف متر عند قدمه مما ساعد كثيراً على حدوث عمليات الانهيار.



شكل رقم (٩٦)

### الجروف الساحلية والأشكال المرتبطة بها :

يتضح لنا من فحص قطاعات بالجروف الساحلية العديد من الملامح المورفولوجية التي ترتبط بتباينات ليثولوجية وتركيبها وشكلتها كما ذكرنا عمليات التجوية والنحت البحرية والانهيارات الأرضية، فنجد أن الأجزاء من التكوينات الصخرية الساحلية الأكثر مقاومة لعمليات التعرية تبرز في شكل رءوس أرضية متعمقة في مياه البحر ومسلات stacks تظهر بوضوح فوق مستوى سطح الماء بمنطقة الرصيف البحري (رصيف نحت الأمواج) كما أنها قد تظهر في شكل جزر ساحلية قريبة من خط الشاطئ مثل جزيرة «مكور» التي اقتطعت من رأس بناس بالبحر الأحمر. أما الأجزاء الضعيفة فينتج عن نحتها تكون خلجان بحرية وشروم وكهوف وغيرها كما يتضح ذلك من الشكل رقم (٩٧). وجدير بالذكر أن الكثير من الجروف شديدة الانحدار وخاصة المكونة من صخور نارية صلبة تتميز بعدم مساميتها وكثرة مفاصلها عبارة عن أشكال ساحلية مورثة قد تم تعديلها نسبياً بواسطة الغمر البحري الهولوسيني وخاصة مع وجودها الآن في بيئة ساحلية تتميز بأمواجها الضعيفة مثل السواحل الجرفية النارية على الساحل الشرقي والشمالي الشرقي لجزيرة شدوان بالبحر الأحمر.



شكل رقم (٩٧)

وهذه الجروف المنحدرة أو الساقطة plunging cliffs تنحدر عادة نحو مياه عميقة دون أى ظهور لرصيف الشاطئ (راجع شكل رقم ٩٧) وقد درس Cotton (1968) الجروف الساقطة على طول ساحل جزيرة بانكس Banks بنيوريلندا وهى

جروف بازلتية صلبة تنحدر نحو أعماق تتراوح بين ٣٦ و ٥٤ متراً ويرى Cotton أنها قد نشأت نتيجة لغرق جروف منحدره أصلية كانت قد نشأت بفعل الأمواج قبل الغمر الهولوسيني، كذلك توجد جروف ساقطة أخرى ترتبط بالصدوع مثلما الحال على سواحل ولنجتون بنيوزيلندا. والملاحظ لهذه الجروف يجد عدم وضوح أثر النحت الموجي لها بمعنى أنها موروثه بالفعل من فترات زمنية سابقة وقد ذكر cotton أن ذلك يرجع إلى عدة عوامل يتمثل أهمها في تولد أمواج مرتدة مع نقص المفتتات الصخرية التي قد تستخدم كأدوات حيث تمتد أمامها أعماق كبيرة لا تتيح مثل هذه المفتتات للأمواج القادمة. وعامل آخر هام يتمثل في شدة صلابة الصخور ومقاومتها لعمليات الحت الموجي. ويرى Bird أن قصر المسافة الزمنية منذ حدوث الغمر الهولوسيني لم تعط فرصة لعمليات النحت البحرية لتقوم بدورها في تراجع مثل هذه الجروف (Sunamura, T., p144).

ويرى البعض أيضاً في تفسير عدم تأثيرها بشكل واضح بعمليات التعرية البحرية إلى أن وضعها الرأسي فرض توزيعاً رأسياً للفعل الهيدروليكي للأمواج بحيث يتركز أثره عند قاعدة الجرف قرب مستوى سطح البحر ونفس الوضع قد فرض على عمليات الحت الميكانيكي حيث تقوم الأمواج عند جبهة الجرف بالتقاط رواسب القاع وإلقائها عند أقدام الجرف - قرب سطح البحر - ومن ثم يقتصر دورها الحثي على نطاق محدود فقط من وجه الجرف.

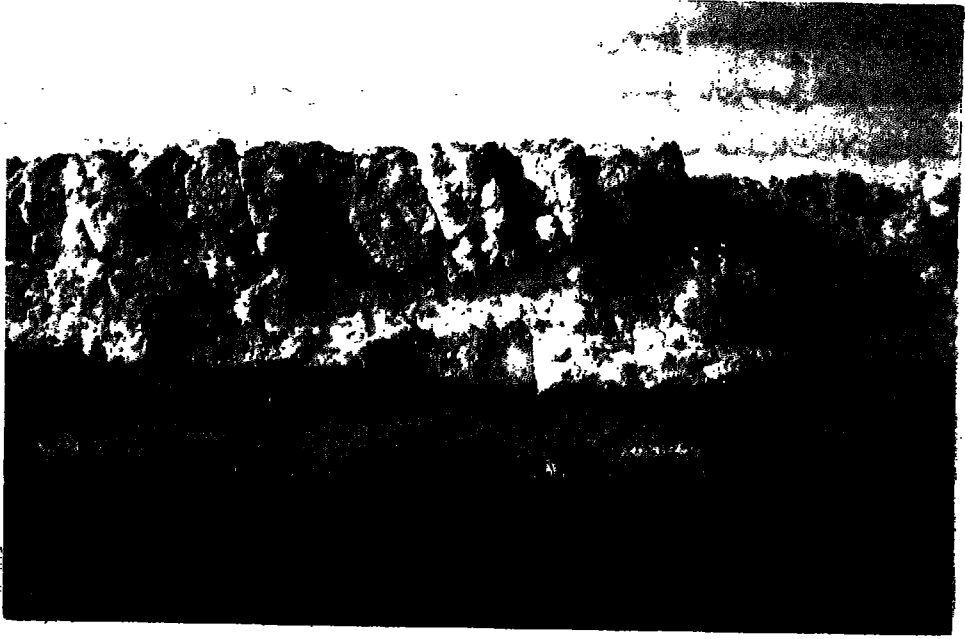
وعموماً ، فإن الأوجه الحرة للجروف الساحلية عادة ما ترتبط بهجوم الأمواج القوية التي تتكرر عند أقدامها وتعمل بقوة ضغطها التي قد تصل إلى ٦٠٠٠ رجل على القدم المربع على توليد قوة ديناميكية مركزة وشديدة كذلك ترتبط أوجه الجروف بوجود مفتتات صخرية محتجرة quarried rocks تتراكم على الرصيف البحري أو تترك على طول الشاطئ ، ومع انخفاض معدلات التجوية وانخفاض معدلات الانهيارات الأرضية تتطور منحدرات الجروف ببطء شديد وخاصة عندما تميل الطبقات - إذا كانت طبقية - المكونة لها تجاه اليابس أو تكون في وضع أفقي. أما إذا كانت الطبقات المكونة للجرف تميل جهة البحر فإنها غالباً ما تظهر في شكل جروف رأسية.

والواقع أن تطور الجروف يختلف تبعاً لاختلاف الظروف المناخية ولقد أشار تريكارث Tricart وكايو Caillix عام ١٩٦٥ إلى وجود اختلافات هامة بين السواحل الرطبة والسواحل الجافة حيث أظهر أن السواحل بالعروض الحارة الرطبة تتراجع ببطء مع قلة انحدارها وأرجع ذلك إلى ضعف عمليات الانهيارات الأرضية بسبب غطاءاتها النباتية الكثيفة وذلك باستثناء أقدامها التي قد تبدو عارية مثل بعض قطاعات السواحل في ليبيريا وكولمبيا.

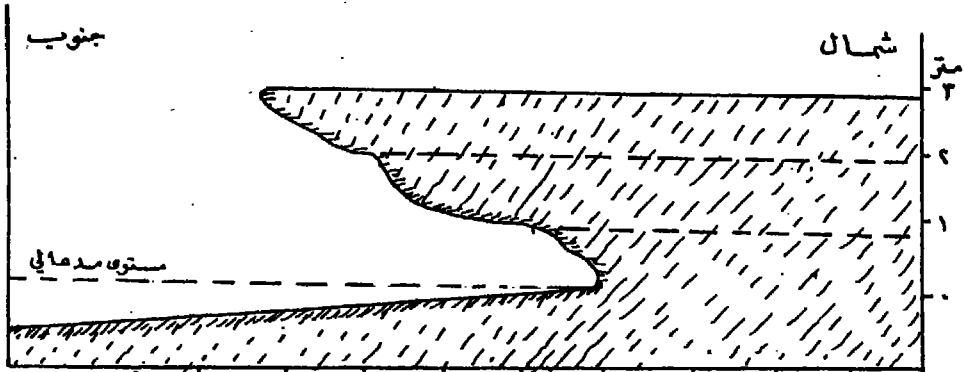
وبالنسبة للجروف بالسواحل الحارة الجافة فإن قلة الغطاء النباتي والحصى بها يؤدي إلى زيادة نشاط عمليات الانهيارات الأرضية وبالتالي زيادة انحدارها ، بينما يضعف دور النحت البحري في تطورها ويقتصر دور البحر فقط على عمليتي التجوية والإذابة (Davies, J.L, 1978 p92).

وفي دراسة للمؤلف بجزر فرسان السعودية عام ١٩٩٥ قام بعمل بعض القياسات الخاصة بالجروف المكونة من صخور الحجر الجيري المرجاني أظهرت بجانب الملاحظات أن الرأي السابق لديفيز Davies ليس حكماً عاماً على خصائص السواحل المدارية فهذه الجروف تبدو مقبوضة تقويضاً سفلياً واضحاً على طول إمتداد قواعدها بحث تكونت فجوات الأمواج التي يبدو أنها قد اتسعت جانبياً فالتحمت ببعضها البعض لتكون توغلاً بحرياً واضحاً عند أقدام هذه الجروف المنخفضة بالجزيرة والتي لا تزيد في ارتفاعها عن بضعة أمتار فتبدو في شكل شرفات visors كما يتضح ذلك من الصورة التالية رقم (٢٦) يمتد أمامها رصيف شاطئ هين الانحدار تجاه البحر ومن هذه الجروف جروف خليج جنابة المرجانية، كذلك تظهر جروف محيط برأس «شدا» بنفس الجريرة من الجنوب تتميز بشدة انحدارها نحو رصيف شاطئ تطل جهته على مياه تصل أعماقها إلى نحو مائتي متر يعتقد المؤلف أن هذا الرصيف ينتج أساساً من تراجع الجروف سابقة الذكر وهو في تطوره واتساعه يرتبط ارتباطاً واضحاً بتراجع هذه الجروف. شكل (٩٨).

وتظهر الصورة رقم (٢٧) انهيار جرف بحري بساحل خليج جنابة نتيجة لعمليات الإذابة والتقويض السفلى الذي يتعرض لها بشكل مستمر.



صورة رقم (٢٦)



(شكل ٩٨) قطاع لبرف بحري في خليج جنابة جنوب قرية فرسان

شكل رقم (٩٨)



صورة رقم (٢٧)

وقد أشار (Bird, 1978) إلى وجود جروف ثنائية الدورة بالعروض العليا يبدو فيها الجرف الساحلي كمنحدر أو سفح علوى يرتفع فوق جروف حائطية slope over wall يعتقد بأنها نتاج حدوث نحت شديد لجروف أقدم بسبب نشاط عمليات الانهيارات الأرضية فى البلايستوسين أعقبها حدوث تقويض سفلى بفعل الأمواج خلال فترة دفيئة تالية لفترة الجليد الأخيرة.

والواقع أن هذا النمط من الجروف الثنائية التى أشار إليها Bird لا يقتصر وجوده فى العروض الباردة بل قد يظهر فى بعض قطاعات من السواحل بالعروض المختلفة، وقد نتج بعضها كذلك بسبب حدوث نوع من التوازن بين العمليات الأرضية من أعلى والعمليات البحرية من أسفل (للاستزادة، راجع للمؤلف، ١٩٩١، ص ١٢٠).

وفى دراسة للمؤلف بمنطقة بحيرات ساحل مرسى مطروح لاحظ وجود نوع من الجروف الثنائية فى شكل درجين يمتدان بموازاة خط الشاطئ الجنوبى لبحيرة مطروح الشرقية يمتد لمسافة ٨٠٠ متر ترتفع الدرجة الأمامية عن مستوى سطح البحيرة بما يتراوح بين المتر والمترين تعلوها الدرجة الخلفية كجرف يتراوح ارتفاعه ما بين ٣ و ٤ أمتار، تتميز الدرجة السفلى الأمامية بتقطع واجهتها شبه الرأسية بسبب عمليات التجوية والتعرية المائية وخاصة أقدامها التى تتعرض بشكل دائم للبلل، وقد لاحظ المؤلف كذلك امتداد رصيف بحيرى أمام الجرف السفلى يمتد داخل البحيرة باتجاه الشمال لمسافة تتراوح بين ٣٠ إلى أكثر من مائتى متر يتميز بأفقية سطحه ويرى المؤلف أن هذا الرصيف قد تراجع مع تراجع الدرج السفلى جنوباً وهو يمتد من علامة المد العالى باتجاه أقدام الدرج السفلى إلى مستوى أقل قليلاً من مستوى الماء عند الجزر، وقد لعبت عمليات الإذابة والحت والاحتجار الموجى دورها فى تطور هذا الرصيف الذى يتميز بتجانس صخوره وبساطة بنيته.

لاحظ

الشكل رقم

(٩٩)

والصورة

رقم (٢٨).

ومن

الجسوف

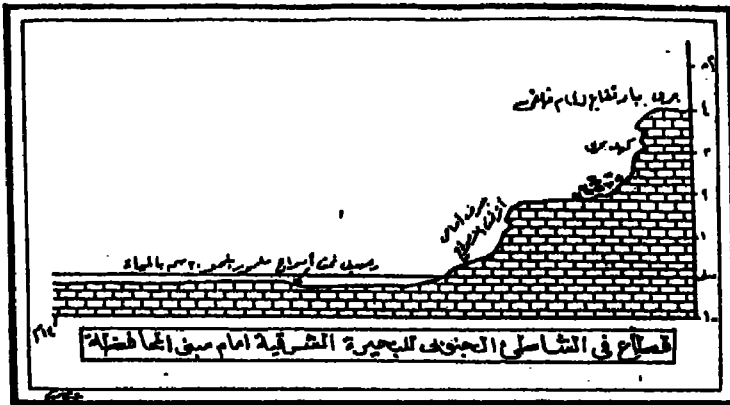
التي درسها

المؤلف

جروف

منطقة

الضبعة على



شكل رقم (٩٩)

ساحل البحر المتوسط فى مصر وتظهر هنا فى قطاعين من الساحل.

القطاع الأول ويمتد من منطقة السيرة لمسافة أربعة كيلومترات بارتفاع ٢٢ متراً، والقطاع الثانى ويمتد من مرسى أبو سمرة باتجاه عام من الجنوب الشرقى





صورة رقم (٢٨)

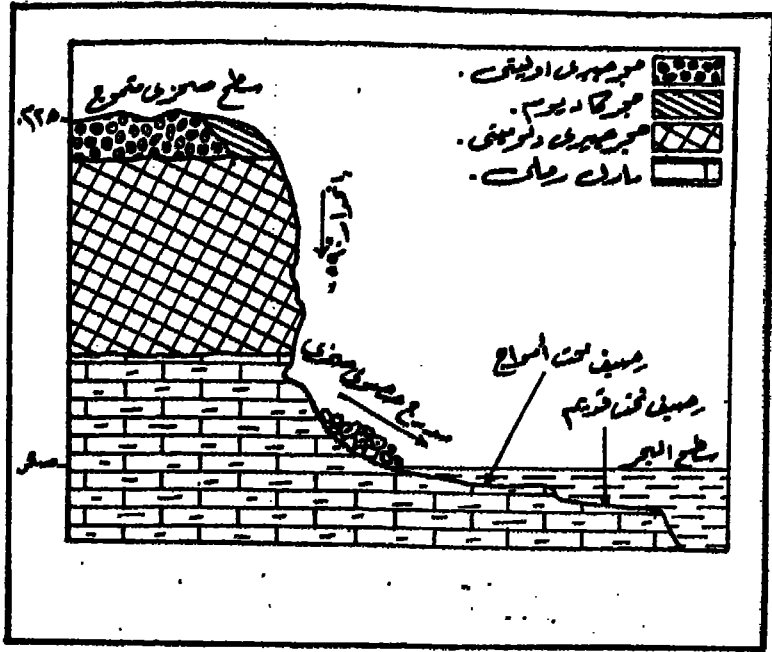
نحو الشمال الغربي، ترتفع الجروف هنا عن مستوى سطح البحر بنحو ٢٥ متراً وتعد جروف هذا الساحل نتاج ظروف ليثولوجية متمثلة في تكوينات من صخور الحجر الجيري المتماسك والذي يتميز بتجانسه وميل طبقاته نحو الشمال مع الانحدار العام للأرض. وهي أيضاً نتاج ظروف تركيبية حيث تمثل النهاية الشمالية لمحدب وحيد الميل تعرض لتصدعات تمتد خطوطها في موازاة مضرب الطبقات على طول خط الشاطئ من الشرق إلى الغرب.

ويبين الشكل التالي رقم (١٠٠) قطاعاً توضيحياً لجروف أبو سمرة تظهر من خلاله بعض الخصائص المورفولوجية يمكن إيجازها فيما يلي:

- جرف ساحلي ينجدر انحداراً رأسياً نحو البحر مع تراكم الرواسب الحطامية من جلاميد وحصى عند قدمه الأقل انحداراً والمكون من المارل الرملي.

- تتكون صخور الجرف من طبقة علوية من الحجر الجيري الحبيبي - سمكها ثلاثة أمتار فقط ترتكز على طبقة من الحجر الجيري الدولوميتي بسمك ١٥ متراً تليها

إلى أسفل طبقة من المارل الرملى مكونة الجزء الأسفل من الجرف ومعه رصيف نحت أمواج يمتد أمامه نحت منسوب سطح ماء البحر.



شكل رقم (١٠٠)

رسم توضيحي لآثار الجروف الساحلية بمنطقة أبو سمرة

- يظهر رصيف النحت البحرى فى مستويين مختلفين العلوى ويمثل الجزء الأحدث والسفلى ويمتد أمامه نحو البحر ممثلة لمرحلة جيومورفولوجية سابقة فى تطور الساحل وينحدر سطحه انحداراً هيناً ما بين درجتين وثلاث درجات نحو البحر منتهياً إليها بجهة منحدره عن الجرف بنحو كيلو مترين ونصف مما يساعد على قدوم الأمواج الشمالية والشمالية الغربية نحو الساحل بكامل طاقتها تنكسر عند أقدامه وتؤدى إلى نحتها.

- يلاحظ وجود مدرج حصوى عند أقدام الجرف نتج عنه تعرض وجه الجرف لعمليات التجوية والانهيارات الأرضية، ويتميز هذا المدرج الرسوبى بعدم استمراريته (تقطعه) وانحداره المعتدل نحو البحر (ما بين ٢٠ - ٣٠ درجة) وهو

يختلف تمامًا من حيث الموضع والشكل عما يعرف بمدرج الإرساب البحري والذي يلي مدرج النحت البحري باتجاه البحر والذي يختفى هنا بدوره بسبب زيادة الأعماق نسبيًا أمام رصيف نحت الأمواج الذي يطل على أعماق كبيرة بواجهة منحدره (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٤، ص ١٩٦ - ١٩٧).

وهناك جروف ساحلية أخرى في مصر مثل جروف السلسلة الساحلية بمنطقة مرسى مطروح والتي تطل على البحر مباشرة وخاصة عند منطقة الطابية القديمة حيث تتميز هذه الجروف بشدة تقطعها والضيق الواضح لرصيف الشاطئ أمامها. كذلك الجروف النارية والمتحولة على الساحل الشرقى والشمال الشرقى لجزيرة شدوان وجروف ساحل خليج العقبة وغيرها الكثير.

### الأرصفة الشاطئية Shore Platforms :

تمتد عادة أمام الجروف الساحلية منحدرية بشكل عام وبيطاء واضح تجاه البحر، وقد تطورت هذه الأرصفة واتسعت مع تراجع الجروف، كما أنها قد تشكلت بفعل الأمواج والعمليات البحرية الأخرى وتمتد من علامة المد العالى عند قاعدة الجرف حتى مستوى أقل قليلاً من منسوب الجزر. وعندما تكون صخور الساحل متجانسة ليثولوجيا وبنويًا فإن ذلك يعمل كثيرًا على سرعة تطورها واتساعها.

وغالبًا ما يظهر الشكل النموذجي لرصيف الشاطئ في صخور الحجر الرملى والطفلى الخالية من أى صدوع أو أشكال تركيبية وهو بطبيعة الحال من نتاج الحت الموجى ويتطلب تطوره نوعًا من التوازن بين مقاومة الصخر وقوة الأمواج<sup>(١)</sup> المهاجمة، وفي حالة ضعف هذه الصخور فإنها قد لا تظهر فى شكل جروف بسبب تعرضها للتراجع recession، فقد تشكل جروف وأرصفة شاطئية فى صخور ضعيفة وذلك فى حالة البيئات الساحلية ذات الطاقة الموجية المنخفضة مثلما الحال فى سواحل مطروح وسواحل جزر فرسان التى تتكون من صخور مرجانية ضعيفة ولكنها تتشكل فى صورة جروف شديدة الانحدار كما رأينا.

(١) مع الأخذ فى الاعتبار أن مستوى ماء البحر هو الذى يحد فعل الأمواج ونوعها.

وفي البيئات الساحلية ذات الأمواج القوية تظهر عادة جروف منحدره وأرصفة شاطئية، معنى ما سبق أنه إذا ما حدث نوع من التوازن الديناميكي على الساحل فإن النتيجة ستكون حدوث تراجع متواز للجروف وأرصفة الشاطئ.

وتظهر الأرصفة الشاطئية عادة بشكل غير منتظم في السواحل التي تتكون من صخور متباينة في خصائصها الليثولوجية والتركييبية وهنا قد يظهر الرصيف البحري تبرز فوق سطحه حافات - في الأجزاء الصلبة - وخوانق في مواضع المكاشف الصخرية الضعيفة قامت بتشكيلها الأمواج بما تحمل من مفتتات أتت بها من وجه الجرف أو من صخور الرصيف ذاته أو مما تحمله التيارات الشاطئية<sup>(١)</sup> في أعقاب حدوث عاصفة بحرية. وكثيراً ما نجدها وقد تشكلت في حفر وعائية فوق الرصيف بسبب حدوث حركات دوامية، نتيجة لعدم انتظام سطحه.

وتوضيحاً لما سبق سوف نعرض بإيجاز تقسيم Bird الشاطئية والذي يعد من أفضل التقسيمات وأحدثها حيث يربط هذا التقسيم بين الظاهرة والعمليات التي أوجدتها<sup>(٢)</sup>.

وقد قسم بيرد Bird الأرصفة الشاطئية إلى ثلاثة أنواع هي :

#### ١ - أرصفة التحجير والحت الموجي :

يقصد بها الأرصفة المدية tidal platforms التي تنحدر من مستوى علامة المد العالي باتجاه البحر حتى منسوب يقع قليلاً تحت مستوى الماء عند الجزر، وهذا النوع من الأرصفة هو الذي كان يعرف قديماً باسم رصيف نحت الأمواج wave cutplatform، ويرتبط هذا النوع من الأرصفة بالعوامل التي تؤثر بدورها على عمليتي الاحتجار والحت الموجي مثل الطاقة المرتفعة للأمواج التي تسهل من عملية الاحتجار وتوفر كميات من المفتتات اللازمة لعملية الحت الموجي وهو يعكس بذلك العلاقة بين قوة الأمواج Fw ودرجة مقاومة صخور الشاطئ Fr حيث تتأثر

(٢١) سوف تدرس هذه الملامح التفصيلية فيما بعد.

(٢) لا يعنى ذلك أنه لا توجد أرسفة أخرى، حيث إنه إذا ما تداخلت العمليات التي تتكون منها أرسفة الشاطئ ينتج عن ذلك أشكالاً ساحلية معقدة يصعب تصنيفها وخاصة مع تعقد ظروف البيئة وتباين خصائص الصخور.

الأخيرة بالتجوية وأثار الضعف الصخري ويناظر بذلك رصيف الشاطئ A عند (Sunamura, 1992). وتمتد هذه الأرصفة على طول السواحل بالمعرض المعتدلة ذات الأمواج القوية وقد تظهر بالسواحل المدارية رغم ضعف الأمواج وذلك فى حالة تكونها من صخور ضعيفة تكثر بها الفواصل والشقوق وهى تزداد اتساعاً مع زيادة معدلات تراجع الجرف<sup>(١)</sup>.

إلى جانب الأمواج القوية يلعب الفارق المدى المتسع tidal range دورة فى تشكيل هذه الأرصفة حيث وجدت علاقة بين الأمواج القوية ومعدل ارتفاع الحافة الداخلية inner edge لرصيف الشاطئ والتي أطلق عليها wentorth تعبير «ramp». كما أكد Threnhiale, 1978 وجود علاقة طردية بين انحدار الرصيف والفارق المدى.

وجدير بالذكر أنه قد تظهر بعض الملامح الأرضية الدقيقة وذلك بسبب اختلاف أنواع الصخور المكونة له بجانب وجود اختلافات محلية فى فعالية العمليات المؤثرة عليه.

ومن هذه الملامح قنوات مائية تقتفى أثر خطوط الضعف التركيبية والتي تكونت مجالاً يسيراً لعمليات الاحتجار الموجى والارتداد الموجى المسلح بالمفتتات والشظايا الصخرية التى تساعد على إظهار مثل هذه الملامح. وإذا ما كان الرصيف مكون من صخور ضعيفة فقد تتشكل فوقه مسارب شبه متوازنة semi paral-lelrills تتميز بضحولتها وتحرك المياه خلالها.

## ٢ - الأرصفة الشاطئية الناتجة عن التجوية المائية :

يظهر هذا النوع من الأرصفة نتيجة للتجوية المائية على صخور الشاطئ ولذلك فهى دائماً ما تقع عند منسوب أعلى من مستوى التشبع الدائم (عند علامه المد المرتفع) حيث يتعاقب عليها البلل والجفاف، كذلك تلعب الأمواج دورها فى تحديد المستوى المؤثر على هذا النمط من الأرصفة. ويؤثر على تكوينها عوامل أخرى متمثلة فى مسامية الصخور ونفاذيتها ودرجة ميل طبقاتها حيث إن الصخور

(١) وعرض الرصيف يمثل فى الواقع المسافة الأفقية بين قاعدة الجرف القارئ رقمة الجرف البحرى (واجهة الرصيف جهة البحر).

المنفذة الطباقية المائلة ميلاً خفيفاً تجاه البحر وكذلك ارتفاع طاقة التبخر وسيادة نمط المد والجزر اليومي والمختلط كلها تساعد على تعرض المنطقة للجفاف لفترة طويلة نسبياً خلال اليوم، إلى جانب أن الحرارة المرتفعة تعمل على زيادة أثر التجوية الكيماوية. فقد أظهرت دراسة (Tricart, 1959) للسواحل المدارية أثر التجوية بفعل الرذاذ الملحي salt spray على تشكيل هذه الأرصفة.

ومن السواحل التي تمتد أمامها مثل هذه الأرصفة سواحل جزر هاواي وسواحل السنغال وصقلية وبعض سواحل كاليفورنيا السفلى وبعض قطاعات ساحل مصر الشمالى وساحل البحر الأحمر وخليج السويس. ويمكننا تقسيم هذا النوع من الأرصفة إلى قسمين ثانويين:

الأول منها - يتمثل فى الأرصفة التى نتجت بشكل مباشر عن تراجع جرف ساحلى بسبب تعرضه للتقويض السفلى (بفعل التجوية) ويتميز بانحداره الهين ويشبه فى كثير من الجوانب رصيف الاحتجار الموجى، تحيط به جروف منخفضة كما يتضح ذلك من الصورة السابقة رقم (٢٨) والتى تظهر رصيفاً نتج عن التجوية والإذابة يطوق جروفاً منخفضة بجزر فرسان (الساحل الجنوبى).

وثانيهما - يتمثل فى أرصفة نتجت عن تعاقب الليل والجفاف وهى فى حقيقة الأمر التاج الحقيقى للتجوية المائية وتتميز بأفقيتها الواضحة. ونظراً لحدوث عملية التجوية عند مستويات مختلفة فقد يظهر سطحه غير مستو بسبب تتابع سلسلة من الحافات المنخفضة شبه المتوازنة.

### ٣- الأرصفة الشاطئية الناتجة عن الإذابة والنحت البيولوجى :

يطلق عليها Bird أرصفة الجزر، وعادة ما تتطور فى سواحل مكونة ، من صخور جيرية كثيية بلايستوسينية مثل سواحل مطروح فى مصر ويبدو من خصائصها الجيومورفولوجية أنها قد ارتبطت فى تطورها بشكل عام بعمليات الإذابة والنحت البيولوجى للصخور الجيرية فى بيئة ساحلية تتميز بأمواجها المنخفضة وبالفارق المدى الضيق وغالباً ما يعلو سطحها منسوب الماء عند الجزر low tide باستيمترات قليلة. وبشكل عام مجد أن الفارق المدى tidal range على هذه

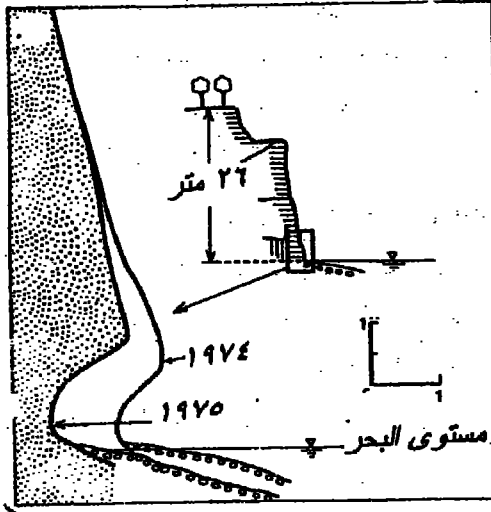
الأرصفة له دور كبير فى التأثير على النشاطات المرتبطة بالتجوية والنحت البيولوجى رغم أن المد فى حد ذاته ليس له أى قوة نحت تذكر لا على سطح الرصيف أو على وجه الجرف (Sunamura, T, p113).

والواقع أن المسطحات المرجانية ( الأطر المرجانية ) fringing reefs الناتجة عن الترسيب المرجانى والتي تكثر بها آثار التجوية والنحت البيولوجى تعد ضمن هذه الأرصفة الشاطئية مماثلها تلك الأرصفة الشاطئية التي ساعدت فى تكوينها الطحالب algae من خلال ترسيب القشور الجيرية الدقيقة فوق سطحها ( راجع المؤلف بالتفصيل، ١٩٩١، ص ١٣١ - ١٣٢ ).

### بعض الملامح الجيومورفولوجية المرتبطة بالساحل الجرفى :

#### ١ - فجوات الأمواج Wave Natches :

تعد فجوات الأمواج دليلاً واضحاً على نحت الجرف وهى عبارة عن فتحة ممتدة امتداداً عرضياً latterally extendeng holliw عند قاعدة الجرف كما يتضح



شكل رقم (١٠١)

ذلك من الشكل رقم (١٠١) عادة ما يكون عرضها أكبر كثير من عمقها ويطلق على الفتحة الضحلة منها a nip (هيجنز هيجنز Higgins. 1980) أما الفجوة شبه الأفقية فيطلق عليها ونتورث wentorth، شرفة visor والأخيرة سائدة على طول سواحل جزر فرسان بالبحر الأحمر راجع صورة رقم (٢٧) وغيرها من السواحل الجيرية بالمناطق المدارية. ويوضح الشكل رقم (١٠١) فجوة أمواج notch ممتدة

بين قاعدة الجرف وسطح الرصيف الممتد

أمامه وهى أعلى قليلاً من منطقة الالتقاء بين الجرف والرصيف الممتد platform junctions.

وقد تأكد للكثيرين أن مواد الشاطئ تلعب دوراً هاماً في تشكيلها وتطورها والذي يقدر معدل نموها الأفقى سنوياً بـ ٧,٥ سم وفقاً لقياسات Sunamura والتي اعتمد فيها على قوة صخور الجرف ومستوى طاقة الأمواج التي تصل حتى قاعدة الجرف وكمية المواد التي تستخدمها الأمواج في عمليات النحت والتي تتحرك تقدماً وتراجعاً بشكل مستمر في منطقة الاتصال بين الجرف والرصيف، ولا شك أن عمليات التجوية والنحت الموجي والنحت البيولوجي تؤدي إلى تشكيل مثل هذه الظاهرة وتطورها كما اتضح ذلك من خلال دراسة المؤلف لها على ساحل جزر فرسان وبعض مناطق جروف عجبية بمرسى مطروح.

## ٢ - الكهوف البحرية Sea Caves :

تعد من الملامح التحتائية التي تتميز بمحليتها الشديدة وهي عبارة عن حفرة تم نحتها في الجرف مع تغلغل penetration داخل صخور الجرف أطول بكثير من أقطار فتحاتها عند المداخل.

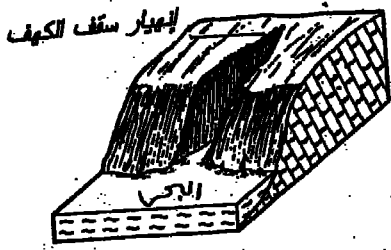
وقد لعب الضعف الجيولوجي دوره في تكوينها مثل الطبقة stratification والفواصل والصدوع إلى جانب عمليات التعرية البحرية. كما أن شكل الكهف يعتمد في جزء كبير على ميل سطوح الطبقيّة واتجاه الفاصل الصخري وسطح الصدع (Guilcher, 1958).

وقد دس هتشنسون Hutchinson, 1981 تكوين وانهيار الكهوف بساحل هولدرنس Holderness بالمجترا وقد ظهر من دراسته لأحد الكهوف بهذا الساحل أثر نحت الأمواج للمواد الجرفية المجواة على طول الفواصل والصدوع في تشكيل فتحات صغيرة على طول مناطق الضعف مع نمو الأخيرة بفعل عمليات الضغط الهيدروليكي للأمواج والنحت الموجي مما يؤدي إلى زيادة تركيزها وتوسيع تعميق هذه الفتحات والتي ترتبط بالتالي بعلاقة طردية مع قوة العمل الهيدروليكي بمعنى كلما زادت تعمقاً في الصخر زاد أثر الفعل الهيدروليكي في التأثير أكثر عليها وهي هنا تكون بمثابة عملية تغذية استرجاعية موجبة positive feedback process يزداد خلالها الكهف تطوراً ونموً أكثر سرعة من معدلات تطوره في نشأته الأولى ومن ثم فإنه يتوقف عن النمو مع حدوث توازن بين قوة الأمواج ومقاومة صخور الجرف لها (Sunamura, T, p185).



وعموماً ، فإن الشكل المثالى للكهف البحرى يتمثل فى نفق أسطوانى cylindrical tunnel ، يمتد داخل صخور الجرف على طول خط ضعف ، وتعذ الفتحة المواجهة للبحر أوسع ما فى الكهف حيث تضيق بالاتجاه نحو الداخل كما يتميز قاع الكهف بشكل عام بانحداره الهين تجاه البحر مع ظهور أثر عمليات الصقل الحتى للأمواج scouring على جوانب الكهف الداخلية مع تراكم مفتتات عند حضيضها . كما يأخذ القطاع العرضى الداخلى للكهف الشكل البيضاوى oval cross section . كما يظهر منفس blowhole فى الجزء الأضعف من سقف الكهف نتج أساساً بفعل الضغط الهيدروليكى الذى تقوم به الأمواج عند دخولها الكهف مع الأخذ فى اعتبار أن المد البحرى والجشنت البحرية storm surges تتحكم فى درجة تأثير الأمواج على إبراز مثل هذه الملامح داخل الكهف . وقد يؤدى اتساع الفتحة العلوية (المنفس) وزيادة حجمها إلى انهيار سقف الكهف حيث يتحول فى هذه الحالة إلى شرم بحرى ضيق يحده عادة جوانب مرتفعة شكل رقم (١٠٢) شديدة الانحدار نحو قاعه وقد تطورت فى الواقع الكثير من الشروم الضيقة على ساحل البحر الأحمر وسواحل خليجيه بهذه الكيفية<sup>(١)</sup> .

### ٣ - الأقواس والمسلات البحرية Sea Archs and stacks :



شكل رقم (١٠٢) المنهار سقف الكهف

تنتج عن تطور كهفين على جانبي رأس أرضية headland متممة فى مياه البحر الشاطئية بحيث يؤدى اتصالها فى نهاية الأمر إلى تكون ما يعرف بالقوس البحرى والذى عندما ينهار سقفه تبدو نهايته (طرف الرأس فى هذه الحالة فى شكل جزيرة صخرية صغيرة جداً بارزة فوق سطح رصيف الشاطئ تعرف بالمسلة البحرية والتي قد تنتهى وجودها مع استمرار تلاطم الأمواج .

(١) مع الأخذ فى الاعتبار أن الشروم البحرية تختلف لى نشأتها وأشكالها وأبعادها الجيومورفولوجية ، فمنها الشرم ذو الأصل الصدعى حيث تكون فى موضع على ساحل يقطعه خط صدع متعامد عليه ومنها ما هو نتاج نحت نهري عند وصول الأودية إلى البحر فى مصبات تشبه الريا وهكذا .

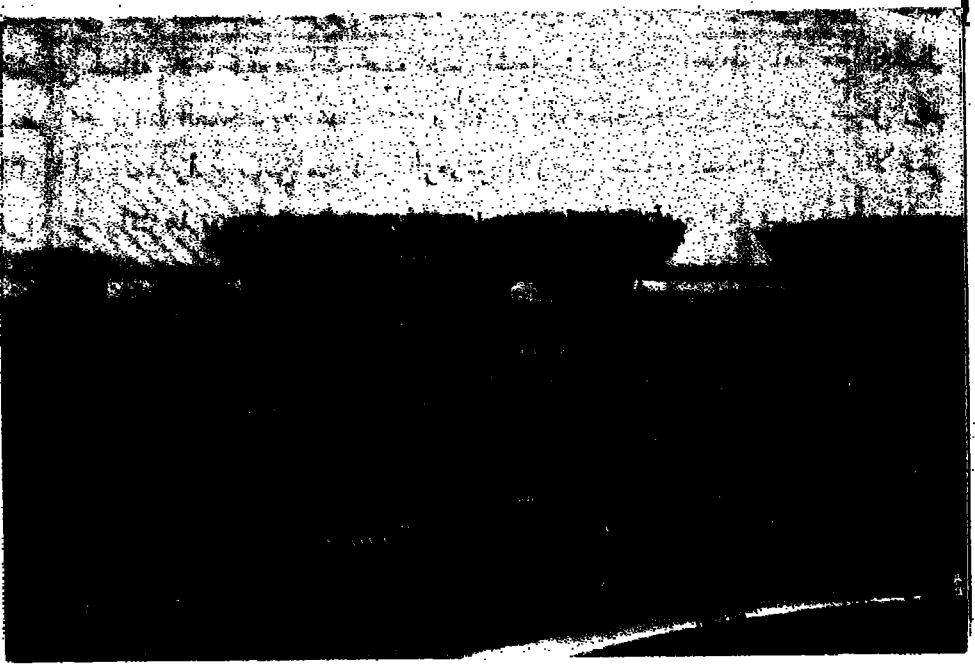
وعادة ما تتميز مواضع الأقواس بتخير نقط الضعف الجيولوجى بالصخر التى  
تركز عليها الأمواج نشاطها الحتى والهيدروليكى راجع الشكل رقم (٩٨).

وفى بعض الشواطئ المكونة من صخور كثيرة التشقق والتفصل وخاصة  
الفواصل الرأسية تؤدى عمليات النحت الموجى إلى تأكلها بسهولة مما يؤدى بالتالى  
إلى تراجعها تاركة أمامها أعمدة صخرية رأسية تشبه المداخن تعرف بالمداخن  
الصخرية chimney rocks or sea stack أو قوائم البحر وهى تختلف فى  
خصائصها وأبعادها عن المسلات أو الجزيرات الصخرية التى انفصلت بالكيفية  
سابقة الذكر.

وتوضح الصورة التالية رقم (٢٩) امتداد حاجز مرجانى coral reef barrier  
مرتفع فوق رصيف الإذابة أمام ساحل فرسان وقد تكونت به أقواس بحرية انهار  
سقف أحدها وانفصل عن الحاجز (يمين الصورة) ويسر منها بشكل واضح أحد  
الأقواس البحرية مع انفصال كتلة صخرية على يسار الصورة هى التى تعرف بالمسلة  
البحرية، يلاحظ كذلك كتلة أخرى بينها وبين الحاجز تمثل بقايا السقف المنهار .

وفى منطقة ساحل مرسى مطروح ظهر العديد من هذه الأشكال المرتبطة  
بالجروف مثل الكهف البحرى الذى يظهر على ساحل كليوباترا الجرفى . كما يظهر  
بعض الأقواس البحرية على الساحل الصخرى الجنوبى لبحيرة مرسى مطروح  
الشرقية والذى يتأثر بوضوح بالنحت الموجى . وقد قام المؤلف بدراسة وقياس  
لقوس بحرئى بهذا الشاطئ يبلغ ارتفاع تسعة أمتار فوق مستوى سطح الماء عند  
الجزر وتبدو صخور القوس شديدة التقطع ، كما لاحظ المؤلف أثناء دراسته للمنطقة  
عدم امتداد رصيف أمام الجرف الذى يظهر به هذا القوس والذى ينحدر بشدة نحو  
أعماق بعيدة نسبياً وهذا بالتالى قد ساعد كثيراً على وصول الأمواج بكامل طاقتها  
إلى وجه الجرف .

فتظهر الكثير من المسلات البحرية المثالية على شاطئ الغرام الحتى بمرسى  
مطروح ومنها المسلة الشهيرة بمسلة الغرام التى ترتفع بأكثر من ستة أمتار فوق سطح  
الرصيف البحرئى وقد وضع على جوانبها أثر التيار المائى والأمواج فى ما يميزها  
من ملامح التطبق الكاذب false bedding وبعض الحفر، إلى جانب أنها تنحدر



صورة رقم (٢٩)

مباشرة نحو المياه البحرية العميقة مما راد من أثر نحت الأمواج لها وخاصة عند قاعدتها (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٤، ص ١١٢).

#### ٤ - الرءوس الأرضية والجزر الشاطئية **headlands and off shore Islands** :

تظهر الأجزاء من التكوينات الصخرية الساحلية الأكثر مقاومة لعمليات التعرية في شكل نتوءات أو رءوس يابسة ممتدة في مياه البحر، وقد تكون هذه الرءوس ذات سواحل جرفية مرتفعة تشكل على جوانبها الكثير من الملامح التفصيلية مثل الكهوف والأقواس وغيرها، أو قد تكون عبارة عن امتداد أرضي منخفض مثل رأس جمسة وهي عبارة عن شبه جزيرة مزدوجة مكونة من جمسة الصغرى وجمسة الكبرى يفصل بينهما خائق مائي وتنتهي رأس جمسة بتل ارتفاعه ٧٨ متراً.

ومن الرءوس الأرضية بساحل البحر الأحمر في مصر رأس أبو سومة وهي عبارة عن نتوء ممتد في البحر يرتفع منسوبها عنه بنحو ٢٥ متراً يمتد جزؤها

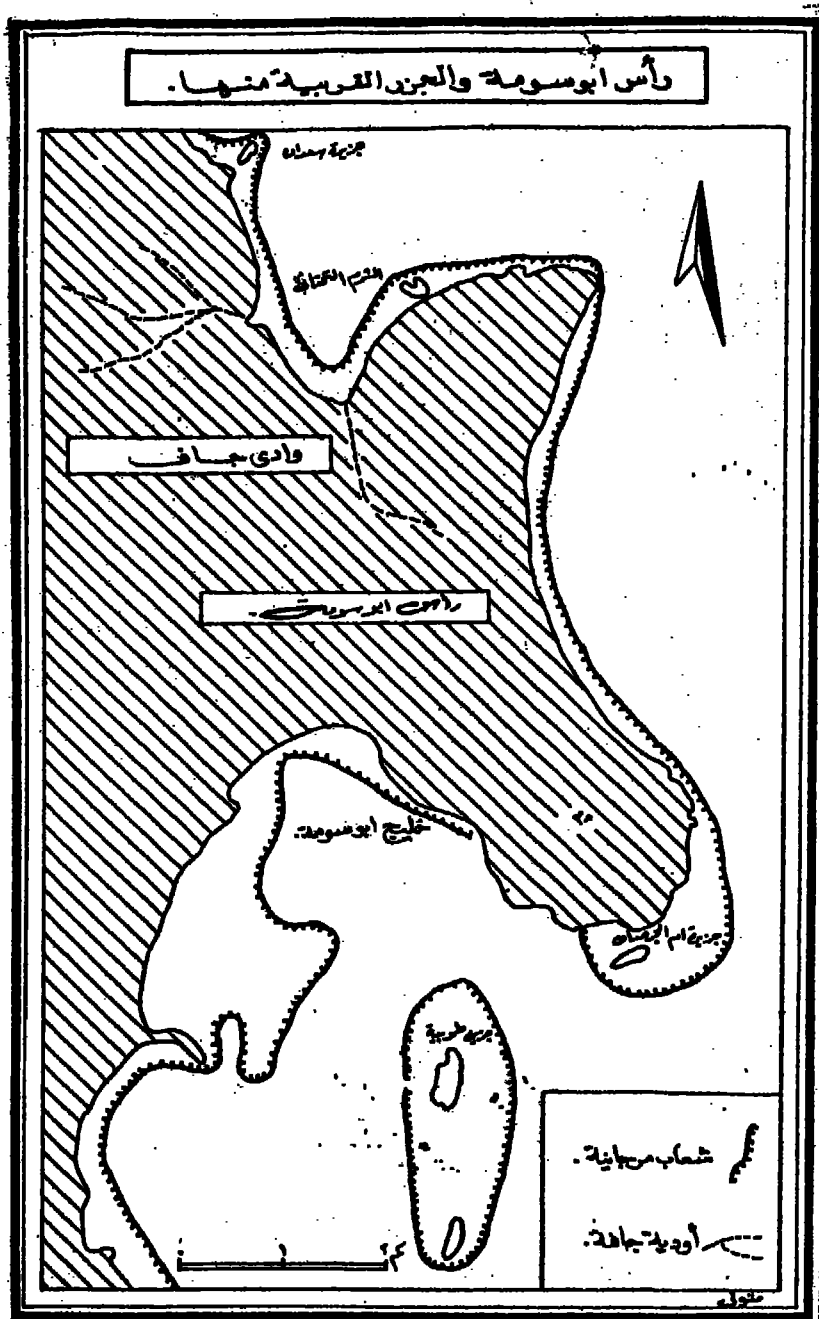
الشمالي نحو الشمال الشرقي لمسافة كيلو مترين وجزؤها الجنوبي إلى الجنوب الشرقي لمسافة ثلاثة كيلومترات تحيط بها الشعاب المرجانية إحاطة تامة مع انفصال بعض الجزيرات الصخرية منها مثلاً جزيرة أم الجرصان وجزيرة رمائي شكل رقم (١٠٣)، وتعد رأس بناس من أكبر الرؤوس الأرضية مساحة بساحل البحر الأحمر في مصر وأكثرها توغلاً في البحر وتمثل رأس بناس النهاية أو الطرف الشرقي لشبه الجزيرة والتي تمتد في البحر لمسافة ٣٥ كيلومتر باتجاه الجنوب الشرقي وتظهر على طول سواحلها العديد من الأشكال الساحلية، وقد اقتطعت منها جزيرة مكور التي تقع الآن على مسافة ستة كيلومترات منها (للاستزادة راجع للمؤلف، ١٩٩٠، ص ٩٩ - ١٠٠).

وجدير بالذكر أن الكثير من الجزر الشاطئية بالبحر الأحمر قد كانت جزءاً من الساحل انصلبت عنه بفعل عمليات النحت البحرية أو ربما بفعل حركات تصدع ومن ينظر بدقة إلى ساحل البحر الأحمر في مصر سيجد أنه ما من رأس أرضية إلا وتقع أمامها إحدى الجزيرات الشاطئية.

#### ٥ - التومبولو Tompolo :

ظاهرة ساحلية مرتبطة بالنحت والإرساب فهي عبارة عن إحدى الجزر المقطعة من الساحل والتي ارتبطت به في مرحلة لاحقة بواسطة السنة رسوبية وهي كلمة إيطالية تعنى ما سبق شرحه حيث تتطور كثيراً على السواحل الإيطالية وقد وصف جونسون أشكالاً مماثلة على ساحل نيو إنجلندا شمالي شرقي الولايات المتحدة. ويظهر من الشكل التالي رقم (١٠٤) برزخ رملي sandy isthmus يربط بين جزيرة بارنجوى Barren Joey باليابس الرئيسي على ساحل نيو ساوث ويلز.

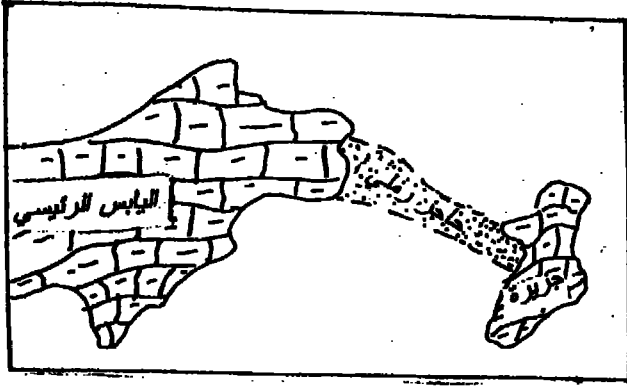
وتتمثل الظروف الجيومورفولوجية المثالية لتكون «التومبولو» في وجود منطقة كتبان جليدية drumlines غارقة تكثر بها الجزر مع توفر كميات من الرواسب التي تنقلها الأمواج وترسبها في صورة حافات تربط الكتبان بعضها ببعض ومن أمثلة هذه الأنواع من التومبولو ما يوجد على ساحل نونفا سكوتشيا شرقي كندا قرب هاليفاكس. وتوجد على ساحل شبه جزيرة إيطاليا الغربي جزيرة ارتبطت بالساحل الأصلي عن طريق حاجزين من التومبولو يحصران بينهما بحيرة طولية lagoon تعرف بجزيرة مونت أرجتالو التي يتوسطها جبل صخري ارتفاعه ٥٣٠ متراً.



شكل رقم (١٠٣)

٦ - الحافات الصخرية المنخفضة Ramparts (\*) :

غالبًا ما تظهر حافات ridges ترتفع على سطح الرصيف بنحو متر أو أكثر في مواضع قرب هوامشه البحرية. وقد أطلق عليها هذا الاسم في (wentorth, 1958) في دراسته للرصيف بجزر هاواي، كذلك لاحظ



شكل رقم (١٠٤)

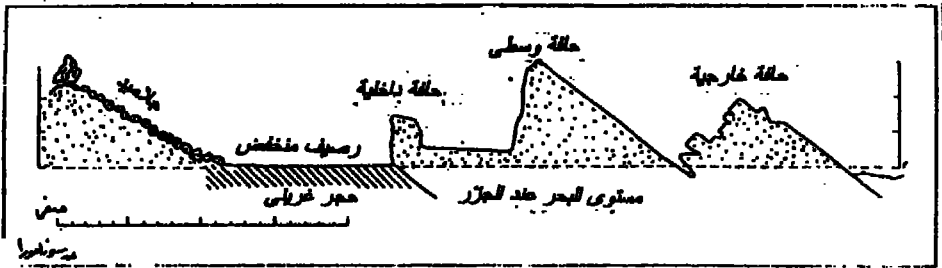
Bartrum, 1935 أشكالاً مشابهة في سواحل نيوزيلندا ويرجع سبب وجودها وفقاً لأرائهما إلى ابتلالها بشكل دائم بمياه البحر من خلال رذاذ البحر ومن ثم فهي في حماية من عمليات التجوية المائية (الناجمة عن تعاقب الليل والجفاف) وإن كان هذا الرأي غير مقنع في كثير من الحالات حيث إنها كثيراً ما تظهر متقطعة غير مستمرة وأنها لا توجد في كل الأرصفت الشاطئية (Sunamura, T., p193) كما أنها لا توجد في كل الأحوال عند الحافة البحرية للرصيف sea edge ويرجع أنها - وفقاً لرأي إدواردز Edowards الذي خرج به من دراسته لهذه الظاهرة بسواحل جنوب فكتوريا بأستراليا - إلى أنها نتاج مجموعة من الظروف تتمثل في وجود صخور صلبة وميل طبقات الصخور تجاه اليباس وخصائص مورفولوجية للرصيف جعلت عمليات الحت تركز في الأجزاء الداخلية من الرصيف، وقد لاحظ (Gill, 1974) في دراسته لساحل أوتواي otuay بفكتوريا نوعين من هذه الحافات أولهما تلك الحافات التي ترتبط بصخور صلبة كتلية وبفواصل وصدوع وأسطح طبقية، وثانيهما تلك التي ترجع إلى تكوينات حديدية شديدة الصلابة تكونت في أعقاب الغمر الهولوسيني ferruginous induration.

(\*) تعنى لغوياً متاريس.

وتتطور تلك الملامح ramparts عند الحواف البحرية لبعض أرضفة الشاطئ الجيرية وإن كانت أقل وضوحاً عنها في الصخور الأخرى، وربما يرجع تكونها هنا إلى ترسيب طحلي لقشور جيرية في منطقة الببلل الدائم على الرصيف ويرى Suzuki وملاؤه أن تعاقب صخور صلبة مع صخور لينة قد يؤدي إلى تكون قنوات عميقة نسيياً furrows تفصل بين حافات بارزة وخاصة مع ميل الطبقات ميلاً شديداً. مثل تعاقب صخور الحجر الطيني mudstone فوق تكوينات الطوف tuff، ومن المعروف سرعة تآثر الحجر الطيني بتجوية تعاقب الببلل والجفاف، كما أنه أقل مقاومة لعمليات الأمواج من الطوف.

وطريقة أخرى تفسر نشأة الحافات هنا تتمثل في زيادة مؤقتة في قدرة الصخور على مقاومة النحت عند حافة الرصيف البحرية مع زيادة اتساعه من خلال تراجع الجرف. وعموماً فإن هذا الملح يرتبط بالخصائص الليثولوجية بقدر ارتباطه بفعل الأمواج. وحيثما يكون الرصيف ضيقاً فإن الجريان المائي فوقه يكون ثنائي الحركة bidirectional، يعني حدوث تقدم وتراجع للأمواج فوقه، وعندما يصبح متسعاً فإن نمط الجريان يميل ليصبح وحيد الاتجاه unidirectional حيث لا يظهر ارتداد موجي واضح.

راجع الشكل رقم (١٠٥) الذي يوضح هذه الظاهرة على ساحل أوتواي بفكتوريا مع فارق مدى قدره ١,٤٥ متر.



شكل رقم (١٠٥)

## منحدرات رصيف الشاطئ Ramps :

عادة ما تمتد عند قدم الجرف البحرى سفوح منحدره جهة البحر seaward dipping slopes تكون أكثر انحداراً من بقية رصيف الشاطئ. وهذه السفوح التي نثل عنصراً مورفولوجياً مميزاً أطلق عليها كل من Trenhaile 1978, Robinson. مصطلح ramps بمعنى «منحدر» ويلاحظ وجود انقطاع فى الانحدار ما بين دم الجرف وتلك المنحدرات فى معظم الأحوال، تتميز أسطحها بالنعومة ويبدو أثر لحت الموجى فوقها، وقد تكون نشأتها ذات أصل تركيبى حيث ترتبط بمكشوف لبقى صلب ينحدر جهة البحر. وقد لاحظ Robinson فى دراسته للساحل لشمالى الشرقى ليوركشير أن المفتتات الصخرية المتبقية والمتحركة فوق سطح لمنحدرات ramps تتحكم فى معدلات نموها وامتدادها وأنها تنقسم إلى ثلاثة أنواع ولها الحافات المقعرة concave ramps وتظهر مع توفر المفتتات الصخرية المتحركة وتختفى مع نقص المواد المفتتة من فوقها.

## الحفر الوعائية Pot holes :

تبدو فى شكل حفر شبه أسطوانية فوق سطح رصيف الشاطئ قد نتجت فى لأصل عن عملية طحن بواسطة الرمال grinding action والحصى والجلاميد التي تتحرك فى حركة دورانية بسبب فعل الأمواج. وبعض هذه الحفر يأخذ شكلاً غير منتظم بسبب التحام بعضها ببعض، إلى جانب أثر التباين فى صلابة الصخور التي تكون فوقها هذه الحفر (Trenhaile, 1987, p26).

أما إذا كانت المفتتات تظهر الحفر الوعائية فى كل أنواع الصخور الصخرية لتي كونتها تشبهها ليولوجياً فإنها - أى المفتتات - تتناقص أحجام حبيباتها مع زيادة عمليات الطحن ونمو حجم الحفر الوعائية (Sunamura, T., p199). وقد يبدأ كونها فى الأصل مع وجود حفر إذابة سابقة لها والتي قد تكون بمثابة مواضع خزن داخلها مواد تحتية abrasive materials.

وفى دراسة للمؤلف بمنطقة مرسى مطروح سجل عدداً من الحفر الوعائية صغيرة الحجم فوق أرضفة الشاطئ التيجائية، وقد ظهرت داخلها مفتتات صخرية صل بعضها إلى حجم الجلاميد. ويرى المؤلف أن بعض هذه الحفر نتجت عن



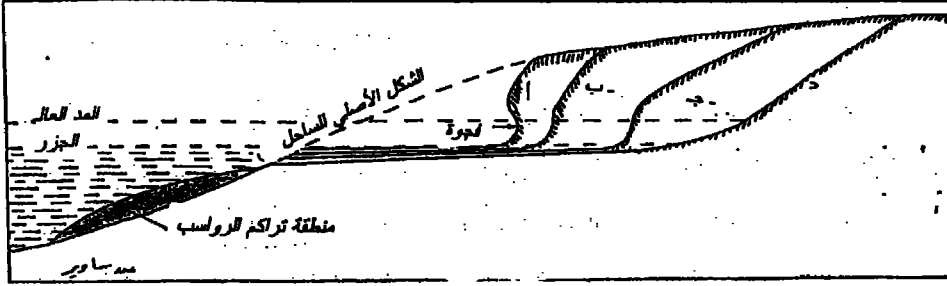
تشقق كامل للصخر بحيث تظهر كتلة صخرية واحدة تمتلئ بها الحفرة تماماً، ومع استمرار عملية الحفر الرعائي تبدأ الحفرة فى الاتساع وتبدأ الكتلة الصخرية داخلها فى التفكك.

#### - برك الإذابة Solution Pools :

تتميز بالضخولة واستواء قيعانها وكثيراً ما تظهر فوق سطح أرضية الشاطئ بالصخور الكلسية وتسمى أيضاً قدور صخرية pans أو أحواض إذابة، وقد تطورت هذه الحفر عن «نقر» وفتحات صغيرة لا تزيد أقطارها على عدة ملليمترات أو بضع سنتيمترات. ويرجعها (Emery 1946) إلى عمليات بيوكيميائية biocchemical process تتميز بإذابة المواد الكلسية اللاحمة لصخور الأساس (الأديم) bedrock بواسطة مياه البحر ثم إزالة المفتحات ميكانيكياً بفعل الأمواج والحيوانات البحرية الحفارة. وقد تتسع البرك اتساعاً جانبياً فى كل الاتجاهات متخذة شكلاً قريباً من الاستدارة يتميز بجوانبها المنحدرة بشدة نحو قاعها الصخرى، وبعض هذه الحفر ذات جوانب مرتفعة. وقد درس المؤلف مثل هذا الملمح فى بعض المناطق بالسواحل المصرية منها تلك البرك الملحية التى درس أبعادها وخصائصها بساحل الطور فى سيناء وتبدو هنا فى شكل بقع محدودة المساحة تتراوح أعماقها ما بين خمسة إلى عشرين سنتيمتر وعادة ما تكون ممتلئة بالمياه بشكل دائم، وتظهر فى قيعانها الصخرية المتماسكة تكوينات عضوية متحللة تختلط بتكوينات طينية شديدة التماسك وتعيش بها بعض الأحياء البحرية ومن خلال قياس أبعادها وجد أنها لا تأخذ شكلاً معيناً وإن كانت أقرب إلى الشكل البيضاوى مع إحاطتها بجوانب أعلى قليلاً من مناسب قيعانها. تظهر كذلك فى السواحل الجيرية حفر وتكهفات صغيرة قد تظهر فى منطقة رذاذ البحر فى العروض الباردة.

#### التطور الجيومورفولوجى للسواحل الجرفية :

- يمكننا من الشكل التالى رقم (١٠٦) أن نبين كيفية تكون الجرف تبعاً لكل ما ذكر سابقاً وما تعرض له من تطور خلال مراحل محددة يمكننا أن نفهمها مما يلى:



شكل رقم (١٠٦)

١ - ظهور الانحدار الأصلي (الأولى) initial slope للساحل في شكل معتدل كما يظهر ذلك من الخط المتقطع بالشكل السابق.

٢ - تكون فجوة الأمواج notch مع بداية ظهور الجرف بشكل واضح وزيادة عمليات التقويض والنحر السفلى التي تقوم بها الأمواج والعمليات البحرية سابقة الذكر، ويظهر في هذه المرحلة رصيف الشاطئ الناتج عن تراجع الجرف أ.

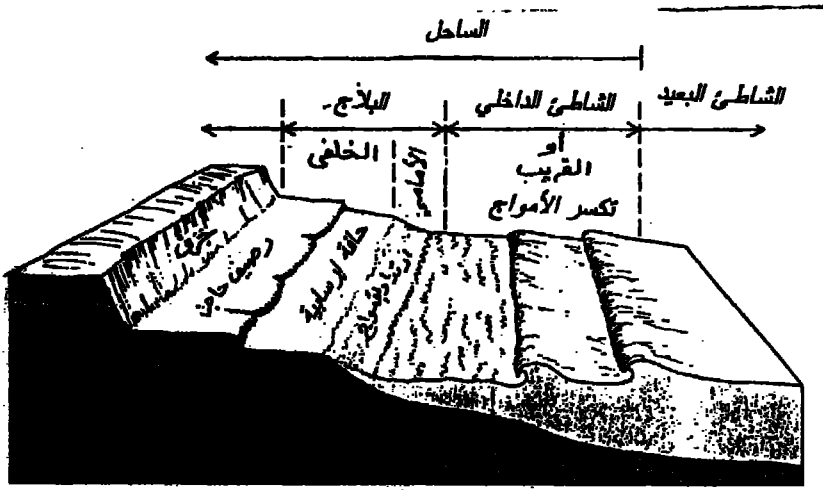
٣ - يظهر الجرف أقل انحداراً بسبب قلة الأمواج الواصلة إلى أقدامه حيث يتسع في هذه المرحلة رصيف نحت الأمواج مما يؤدي بالأمواج للتكسر بعيداً عن أقدام السفح الجرفي وخاصة مع امتصاص جزء كبير من طاقتها في منطقة تراكم الرواسب الناتجة عن نحت الجرف (رصيف الإرساب).

٤ - تؤدي عملية التجوية والتعرية القارية إلى تخفيض منسوب الجرف البحري كما يضعف أثر الأمواج البحرية كعامل نحت وتقويض وذلك بسبب ضحولة المياه أمام الساحل في منطقة الشاطئ القريب near shore نتيجة لعملية الترسيب deposition النشطة بحيث يصبح المظهر العام في شكل بلاج زملى بظاهرة جهة اليابس جرف خفيف الانحدار، وهكذا ينتهي الأمر بالسواحل الصخرية إلى التخفيض والتحويل إلى سواحل رسوبية منخفضة وهي الجزء الثاني من هذا الفصل.

## السواحل المنخفضة والأشكال الأرضية المرتبطة بها

### مقدمة :

قبل أن ندرس الأشكال الأرضية المرتبطة بالسواحل المنخفضة والتي في أغلبها ظاهرات تنتج عن عمليات الترسيب يجب علينا أن نتفهم ما تعنيه بعض المصطلحات التي ترتبط بقطاع الشاطئ والتي يبرزها الشكل التالي رقم (١٠٧).



شكل رقم (١٠٧)

فنبداً بكلمة ساحل coast وتعني بشكل عام المنطقة من اليابس المطلة على بحر أو محيط وهي بطبيعة الحال تتباين في اتساعها وملامحها تبعاً لظروف نشأتها وخصائصها الجيومورفولوجية ولها تقسيمات عديدة سوف نذكرها تفصيلاً في آخر هذا الفصل. أما كلمة شاطئ shore فتعني المنطقة السهلية المحصورة بين حضيض أقرب جرف للساحل وسيف البحر، وينقسم الشاطئ بدوره إلى وحدات لكن وحدة منها موضعها وحدودها الواضحة منها ما هو مكشوف ويسعد تماماً عن مياه البحر ومنها ما هو معرض للغمر البحري بشكل دوري ومنه ما هو مغمور بشكل دائم.

ونبدأ بالشاطئ الخلفي back shore ويقصد به النطاق من الساحل المحصور بين خط الساحل coast line (الخط الممتد عند حضيض أقرب جرف للبحر) وخط

يتمدد عند أقصى حد تصل إليه الأمواج (أو حد علامة المد الاستثنائي) وتظهر هنا أشكال مورفولوجية أهمها ما يرتبط بعمليات ترسيب الرمال من كسبان ونباك وحافات رملية وغيرها. أما الشاطئ الأمامي fore shore فهو النطاق من الشاطئ الذى يلي الشاطئ الخلفى باتجاه البحر وينحصر بين علامتى المرتفع والجزر وكلتا العلامتين تحددان خط الشاطئ shore line فى تحركه اليومى أو النصف يومى على طول الشاطئ ما بين مد وجزر، ويتميز هذا النطاق من الشاطئ بظهور العديد من الأشكال الأرضية التى سوف نشرحها بالتفصيل فيما بعد.

بالنسبة لمفهوم الشاطئ القريب near shore فيقصد به النطاق من الشاطئ المنعمور بشكل دائم بمياه البحر فيما بعد خط الشاطئ يتميز بضحولية وفوق كل ذلك يمثل موضعاً لكل الديناميكيات والعمليات المائية التى تقوم بها الأمواج والتيارات الشاطئية بأنواعها المختلفة، ومن ثم فهو نطاق مساحى غير ثابت يرتبط فى امتداده بالعمليات أكثر من ارتباطه بظواهرات جيومورفولوجية، فتارة يتسع وتارة أخرى يضيق حسب فعالية العمليات البحرية التى تتم أمام خط الشاطئ، وهذا بطبيعة الحال يقودنا إلى النطاق المظاهر له تجاه البحر وهو ما يعرف بالشاطئ البعيد أو الشاطئ الخارجى off shore والذى عادة ما يفصله عن الشاطئ من جهة البحر.

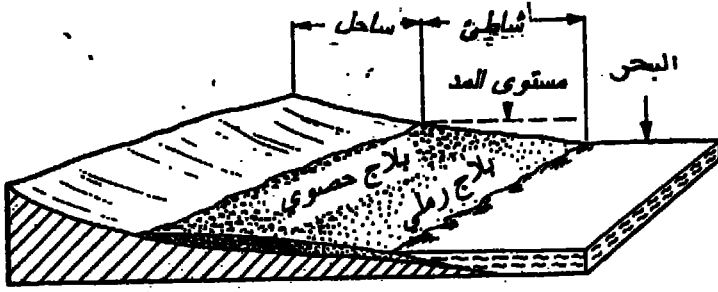
والحقيقة أنه كان لابد من التوضيح السابق لبعض ما تعنيه النطاقات الشاطئية حتى يتسنى للدارس أو القارئ أن يلم بخصائص الشاطئ ككل من خلال ما يميز كل وحدة من وحداته من أشكال وملامح تشكلت بفعل عمليات محددة فى كل منها.

وفىما يلى دراسة تفصيلية لأهم الملامح والأشكال الأرضية بالشواطئ البحرية وما يرتبط بها من عمليات وخصائص.

#### أ - البلاج Beach :

يقصد بالبلاج المنطقة المنخفضة خفيفة الانحدار والتى تتكون من رواسب رملية وحصوية فيما بين خط المد الربيعى وأقصى نقطة تصل إليها أمواج العواصف البحرية storm waves .

ويتمثل الشكل النموذجي للبلاج في نطاق شاطئٍ مقعرٍ تقعرًا خفيفًا gently concave، حيث يبدو خط الشاطئ منحنياً انحناءات خفيفة في مواجهة البحر كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٠٨) والصورة رقم (٣٠) تحده الكشبان الرملية الساحلية جهة اليابس وتندرج رواسبه مصنفة من الأخصن إلى الأنعم باتجاه البحر فيما يشبه تصنيف الرواسب في الدالات النهرية، فيبدأ قرب الشاطئ الخلفى بنطاق من الرواسب الحصوية يليه باتجاه البحر رواسب رملية تختلط بها مفتتات أصداف وبعض الحصى مع ظهور نباتات بحرية قرب منطقة الجزر (Monkhouse, F.J, 1970).



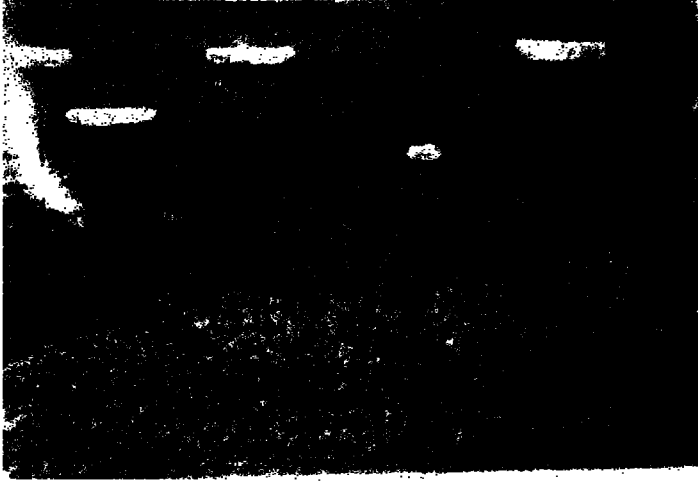
شكل رقم (١٠٨)

وقد كان يعتقد فيما مضى بأن البلاجيات قد تشكلت بفعل تيارات بحرية تقوم باكتساح الرواسب في حركة موازية

لخط الشاطئ، ولكن أثبتت الدراسات الحديثة أن الأمواج تعد العامل الرئيسي الذي يقوم بتشكيلها وذلك بفعل ما يتولد عن قدومها باتجاه خط الشاطئ من تيارات تعمل بدورها على تحريك الرواسب تقدماً وتقهرراً أمام الشاطئ مع الأخذ في الاعتبار أن تلك الأمواج ليس لها دور يذكر في تشكيل الملامح والأشكال الأرضية الإرسائية التي تظهر عند منسوب يعلو مستوى المد المرتفع.

وقد أظهرت التجارب التي قام بها Jennings في صهاريج الأمواج أن انحناءات البلاجيات الرملية تنتج عن فعل الأمواج دون مساعدة أى عامل آخر. وفى ذلك يتجاهل فى الحقيقة دور العمليات الأخرى، فالمد والجزر يلعب دوره فى بناء البلاجيات حيث إنه أثناء المد عندما يكون البلاج جافاً فإن الماء يتجه للتشرب فى رواسب البلاج من الأمواج المتكسرة مما يؤدي إلى نقص كمية المياه المرتدة backwash وتسود عمليات ترسيب، أما فى حالة الجزر فيكون محتوى رمال البلاج من الماء كبيراً وتقل نسبة المياه المتشربة - أثناء الجزر - فى رمال البلاج والناجمة

عن تكسر الأمواج ومن ثم يكون الارتداء الموجى فى هذه الحالة أقوى حيث تتحرك معه الرمال باتجاه البحر .



صورة رقم (٣٠)

بالنسبة لكيفية قيام الأمواج بتكوين وتشكيل البلاجات يرى البعض أن اقتراب الأمواج من البلاج على شاطئ غير منتظم irregular shore يؤدي إلى انحراف قممها refraction of the wave-crests بدرجة تجعل جبهاتها تلتف موازية لخط الشاطئ ومثل هذا الانحراف للقمم الموجبة يسبب حدوث تشتت للطاقة مع تولد تيار متحرك باتجاه مركز الخليج (خط الشاطئ المنحني) تسبب عنه نقص الطاقة وحدث ترسيب على البلاج (Morisaw, M. 1976, p193).

وتتأثر البلاجات المكشوفة للأمواج، باتجاه وقوة وتكرار الرياح الشاطئية المحلية من جانب وباختلاف المسافة التي تتحرك فوقها الأمواج من جانب آخر إلى جانب تأثيرها بدرجة انحراف الأمواج المقترية كما أوضحنا آنفاً.

وبالنسبة للشواطئ التي تتعرض للأمواج المحيطية الضخمة فإن خط الشاطئ يتأثر بقوة بأنماط انحراف قمع الأمواج المقترية منه - مع الأخذ في الاعتبار ضعف أثر الرياح المحلية الشاطئية على هذه الشواطئ - وفي فترات هدوء البحر تتكسر الأمواج البانية في أنماط تمشى مع الخطوط المنحنية للشاطئ، وبشكل عام يتمثل أثر الأمواج المحيطية في تعديل هيئة الشاطئ وتنظيم خطوطه الناتجة عن الغمر البحري وذلك في شكل سلسلة من البلاجات الرملية المنحنية بين الرؤوس الأرضية حيث يرتبط شكل البلاج ارتباطاً قوياً بنوع الأمواج القادمة إليه<sup>(١)</sup>.

وكثيراً ما يتعدل قطاع الشاطئ الرملي بسبب التذبذبات التي يتعرض لها منسوب مياه البحر حيث يؤدي الغمر البحري إلى تراجع الشاطئ ، بينما يؤدي انحساره إلى بروز عوامل أخرى تؤثر في هيئة الشاطئ مثل خصائص رواسب الشاطئ وعمليات النحت والإرساب البحرية وغيرها .

وجدير بالذكر أن رواسب البلاج التي قد تزيلها الأمواج المدمرة قد يعاد ترسيبها في شكل حافات bars رسوية في منطقة الشاطئ القريب أثناء الجزر حيث تتراكم الرمال في منطقة تكسر الأمواج surfzone نتيجة لتقابل الرمال المنقولة باتجاه الشاطئ بتلك الرمال التي نحتت من البلاج والتي تنقلها التيارات الرجعية باتجاه البحر وذلك أثناء عملية الارتداد الموجي back wash (للاستزادة راجع للمؤلف ، ١٩٩١).

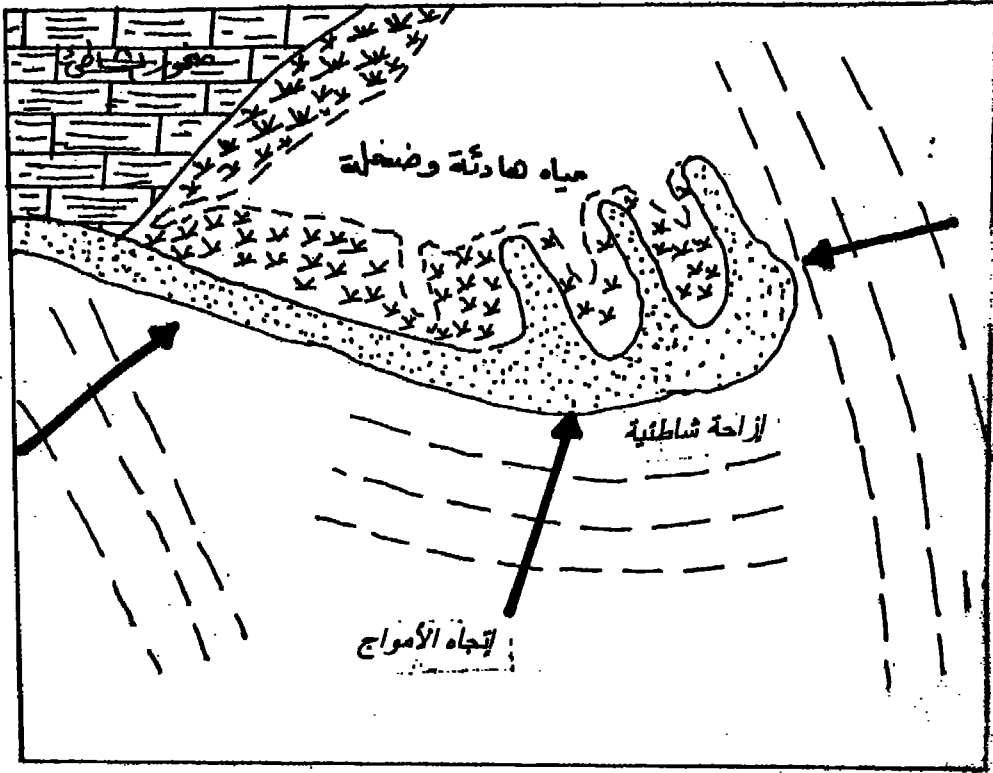
#### ب - الألسنة البحرية Spits :

يمثل أحد الأشكال الساحلية الناتجة عن الإرساب ويبدو في شكل إرساب رملي وحصوي متصل باليابس من أحد طرفيه، بينما يمتد الطرف الآخر باتجاه البحر عادة ما تكون نهايته منحنية في شكل خطاف hook أو أكثر يتجه نحو اليابس . وقد كان يعتقد في الماضي بأنها من نتاج التيارات الشاطئية - littoral cur rents ولكن أثبتت الدراسات الحديثة أنها تنمو في اتجاه رئيسي يتمشى مع اتجاه

---

(١) فلو كانت من الأنواع المحيطية ذات فترات التردد الكبيرة يؤدي قدومها إلى المساعدة في تقدم مياه الأمواج جهة البلاج swash وبنائه على العكس من الأمواج المدمرة.

حركة الرواسب على طول الشاطئ littoral drift والتي بدورها تنشأ بفعل الأمواج المقتربة من خط الشاطئ. كما أن الألسنة تتأثر بشكل مباشر وقوى بفعل هذه الأمواج وتعرض أطرافها للانحناء، إما بواسطة أنواع من الأمواج التي تأتي من اتجاهات مختلفة كما يظهر ذلك من الشكل التالي رقم (١٠٩) أو بسبب انحراف للأمواج المقتربة من أطرافها، وطبقاً لآراء العديد من العلماء فإن الألسنة المعكوفة (المنحنية) ترتبط أساساً بحالتين هما:



شكل رقم (١٠٩)

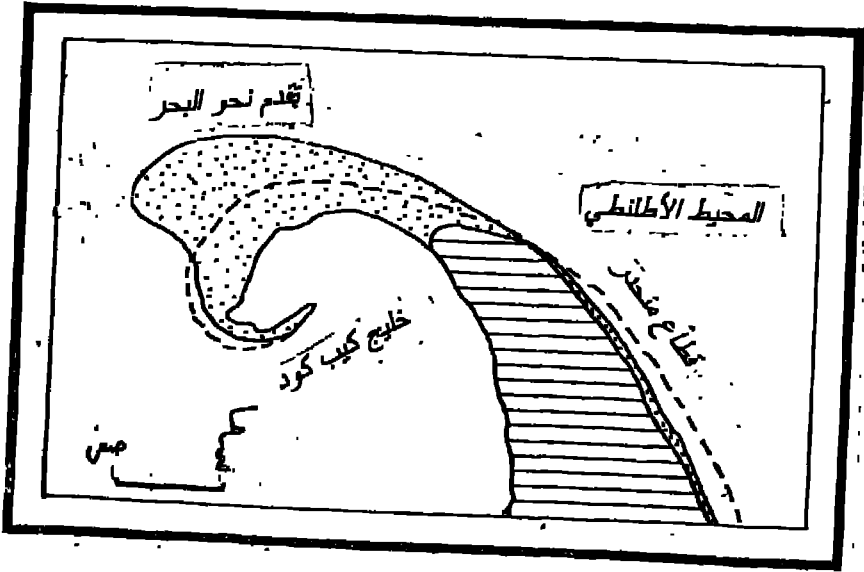
١ - وجود أمواج ثانوية تأتي من اتجاهات تختلف عن الأمواج الرئيسية المسببة في حركة إزاحة الرواسب على طول الشاطئ (١).

(١) أفضل الأمثلة للألسنة البحرية تلك التي تنمو على شواطئ البحار الداخلية والبحيرات واللاجونات الساحلية.



٢ - وجود مياه عميقة «وفارق مدى» كبير عند نهاية اللسان، بينما فى حالة المياه الضحلة يتجه انحراف الأمواج فى موازاة اللسان نفسه، ومن ثم يصعب عليه أن ينحني وعادة ما تتعرض المنطقة المائية المحصورة بين اللسان وخط الشاطئ وخاصة مع عدم تعامده على خط الشاطئ - للامتلاء بالرواسب بسبب هدوء مياهها وبعدها عن الأمواج والعمليات البحرية الأخرى، ومن ثم تتطور إلى سبخات كما يظهر ذلك بوضوح من الشكل السابق.

ومن الألسنة الشهيرة لسان هرست كامل الذى يعد مثلاً جيداً لأحد الألسنة البحرية الكبيرة التى تأثرت بإزاحة الرواسب الشاطئية التى تأتيه من الشمال الغربى واللسان ذاته يتجه من الشمال الغربى إلى الجنوب الشرقى تظهر عند نهايته ألسنة حصوية shingle spits انحرفت عن الاتجاه الرئيسى للسان بزاوية ٩٠°. ومن الألسنة لسان «ساندى هوك» بولاية نيوجيرسى الأمريكية شكل رقم (١١٠).



شكل رقم (١١٠)

ويظهر على بعض قطاعات من السواحل المصرية بعض الألسنة الرملية المنحنية recurved أكبرها لسان دمياط الذى يتجه نحو الجنوب الشرقى من نتوء

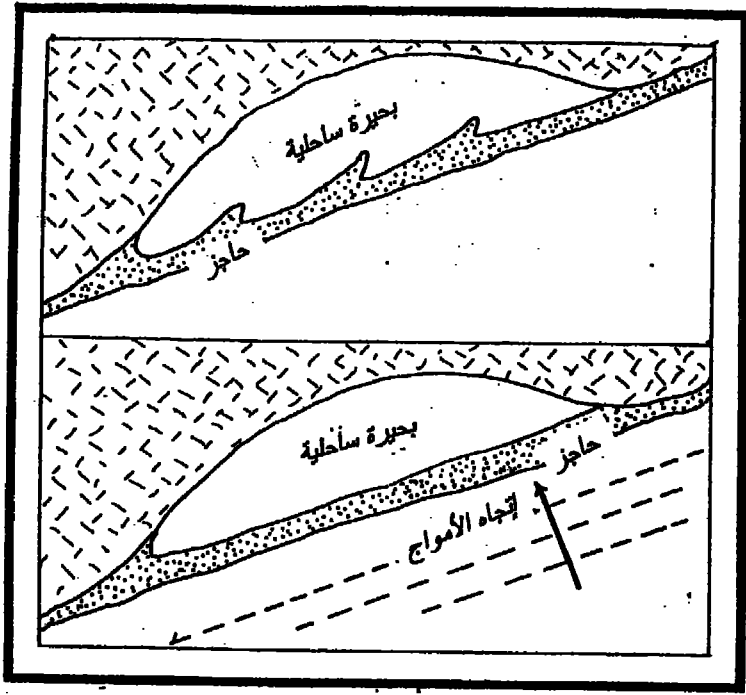
دمياط مواز تقريباً لخط الشاطئ تاركاً منطقة ضحلة تمر بها بعض النباتات المائية فيما بينه وبين حاجز بحيرة المنزلة ويكاد يلتحم اللسان مع اليابس بسبب امتلاء هذه المنطقة بالرواسب وتحولها إلى سبخة ساحلية، ويرجع تكون هذا اللسان إلى الرواسب التي يأتي بها التيار الشاطئي من مصب دمياط مع قدوم أمواج رئيسية من الغرب والشمال الغربي ساعد انحرافها عن اقترابها من الشاطئ على تكوينه (راجع المؤلف، ١٩٩٤، ص ١٦ - ٢٠).

وعموماً، عندما يتكون لسان رملي عند أحد أطراف خليج بحري فيؤدي انحراف الأمواج والإزاحة الشاطئية إلى انحراف طرفه ونموه في موازاة الشاطئ ليتحول إلى حافة رملية تغلق الخليج وتحوله إلى لاجون شاطئي. وجدير بالذكر أنه يمكن تتبع تطور الألسنة الرملية من خلال سلسلة خرائط قديمة تبرز مراحل نموه المبكرة وكذلك من خلال تتبع الصور الجوية الحديثة.

### ٣- الحواجز الشاطئية Barriers :

عبارة عن أشرطة من الرواسب الشاطئية الضيقة التي لا يزيد عرضها على بضعة كيلومترات وأحياناً ما تضيق إلى عدة عشرات من الأمتار مع وجود قمم كثيية قد يصل ارتفاعها إلى أكثر من مائة متر فوق مستوى سطح البحر (Bird, 1978, p188) وتتكون على طول امتداد بعض السواحل في منطقة الشاطئ البعيد وفي الشروم والخلجان على شكل حواجز ممتدة تظهر فوق مستوى مياه المد الربيعي وهي بذلك تختلف عن الحافات المنخفضة berms التي عادة ما تغمر بمياه المد. ويوجد نوع من الحواجز يعرف بالحاجز الخليجي bay barrier ويقصد به الحافة الرسوبية الممتدة عبر خليج بحري بحيث يفصله عن البحر ليحوله إلى لاجون ساحلي، ويتميز هذا النوع بوجود انحناءات واضحة عند أطرافه ترتبط أساساً بنشأته الأولى راجع الشكل التالي رقم (١١١) الذي يبين تطور الحواجز الشاطئية.

وقد اتضح من الدراسات الحديثة أن الحواجز الرسوبية الشاطئية متعددة النشأة وإن كان يمكن تحديد نوعين رئيسيين منها.



شكل رقم (١١١)

النوع الأول - وهو عبارة عن لسان بحري تكوّن بواسطة تيار الدفع الشاطئى long shorecurrent وانحراف الأمواج المقتربة من الشاطئ.

النوع الثانى - نوع من الحواجز يمثل نتاجاً لعمليات تطور تعرضت لها سواحل الحسر.

وعموماً ، تتميز الحواجز الشاطئية بتعقيدها الشديد من حيث النشأة والتطور ومن حيث العمليات التى تؤثر فى تكوينها وتشكيلها. فيرى البعض بأن حواجز الشاطئ قد تكونت فى بداية الغمر الهولوسينى عندما أدى ارتفاع منسوب مياه البحر إلى تجمع الحصى والرمال باتجاه الشاطئ ويدللون على صدق رأيهم بما نراه الآن من تحرك للحواجز - بشكل متقطع - تجاه الشاطئ وخاصة أثناء هبوب العواصف البحرية العنيفة والتى ينتج عنها تحرك واكتساح للحصى والرمال تجاه البحيرة التى تفصلها عن البحر (Steers, J.A., 1953).

وتستقبل الحواجز الساحلية رواسب رملية من المناطق القريبة منها سواء من منطقة الشاطئ الخارجى أو من الحافات المتاخمة للشاطئ الخلقى أو مما تلقىه الأنهار من رواسب، ويزداد معدل نمو الحاجز عادة فى حالة ضيق الفارق المدى وزيادة معدلات تدفق الرواسب نحو شاطئه.

وكثيراً ما تقطع الحواجز التى تفصل البحيرات الطولية عن البحر بسبب عمليات التعرية البحرية وخاصة تيارات المد والجزر التى تتحرك تقدماً وتراجعاً خلال تلك الفتحات، أو قد تنقطع بفعل تركيز طاقة الأمواج على مواضع معينة بالحاجز مكونة الفتحات المدية inlets. وفى بعض الحواجز قد تمثل تلك الفتحات مصبات لأفرع دلتاوية مثل تلك الفتحات التى تقطع حاجزى المنزلة والبرلس بمصر.

ويمكننا تفهم تاريخ تطور الحواجز الرملية من خلال دراسة أنماط الحافات والكثبان الساحلية وخاصة عندما توجد بقايا السنة وشطوط قديمة تدل على حدوث تتابع لمراحل النمو التى مر بها خط الشاطئ.

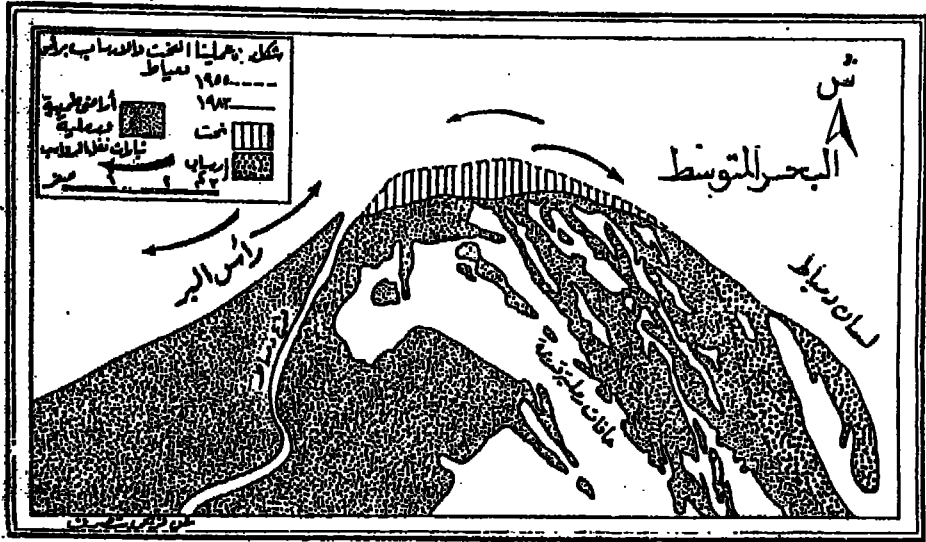
### **وفيما يلي دراسة مختصرة عن حاجز بحيرة المنزلة كمثال للحواجز الساحلية :**

يمتد هذا الحاجز من مصب فرع دمياط غرباً حتى مدينة بورسعيد باتجاه الجنوب الشرقى لمسافة ٥٠ كيلومتر وجملة مساحته قدرها ٤٠ كيلومتر مربع تقريباً، وهو من أنواع الحواجز الشاطئية المركبة، حيث يتكون من مجموعة من الشطوط الرملية الشريطية الممتدة فى موازاة بعضها البعض وقد التحمت مع بعضها البعض مكونة حاجزاً واحداً وذلك بعد إطماء المستنقعات الضحلة الموجودة فيما بينها ويظهر ذلك بوضوح فى الجزء الشمالى الغربى من الحاجز شكل رقم (١١٢).

وقد لعبت العمليات البحرية دورها فى نشأته حيث قام تيار الشاطئ وكذلك الأمواج بنقل الرواسب وإعادة توزيعها، كما ساهمت الرياح فى تكوينه من خلال ما أتت به من رمال وتربة خاصة على شواطئها الجنوبية وفوق سطحه.

ويتراوح اتساع الحاجز ما بين ٢٠٠٠ و ١٥٠ متراً حيث يضيق بشكل واضح إلى الغرب من بوغاز أشتوم الجميل، يتميز سطحه بالانخفاض (لا تزيد

أعلى أجزائه عن مترين فقط مع الإنحدار خفيف للغاية باتجاه البحر ويندر وجود الكثبان الرملية فوق سطحه، وإن ظهرت فتظهر في شكل نباك منخفضة ومثبتة بالنباتات التي تنمو فوقها، وترجع قلة الرواسب الرملية فوق سطحه إلى هبوب الرياح الشمالية الغربية في موازاته مع انتشار السبخات والسياحات المائية فوق السطح حيث تنمو بها النباتات الملحية.



شكل رقم (١١٢)

ومن الفتحات التي تصل بين بحيرة المنزلة والبحر بوغاز أشتوم الجميل إلى الغرب من بورسعيد بنحو ١٠ كم يبلغ اتساعه ٢٢٠ متراً يضيق إلى ١٥٠ متراً في مدخله البحرى ويبلغ طوله نحو ٥٠٠ متر، ويوجد بوغاز إلى الغرب منه يعرف

بيوغاز الطينة وهو أقل منه اتساعاً<sup>(١)</sup>. وعادة ما تظهر بعض الجزيرات الرملية عند مدخل البوغاز من الجهة البحرية يرجع تكونها إلى التقاء التيار البحري مع تيار الدفع الشاطئي مما يؤدي إلى انخفاض السرعة وحدوث تراكم للرواسب. ونظراً لتكون الحاجز من الرواسب النيلية أساساً فقد تعرض الآن لعمليات نحر وحت موجي في مواضع كثيرة من شاطئه بسبب قلة ما يأتي إليه الآن من هذه الرواسب (للاستزادة، راجع المؤلف، ١٩٩٤).

أما بالنسبة لحواجز سواحل الحسر فتتمثل غالباً في حافات رسوبية متماسكة مثل تلك الحافة الرملية الجيرية التي تفصل بين بحيرتي مطروح من جانب والبحر المتوسط من جانب آخر والتي تعرف بالسلسلة الشمالية حيث تكونت في الهولوسين، بينما تحتل البحيرتان قاع منخفض إلى الجنوب منها وقد ظهرت هذه الحافة مع انحسار البحر وانكشاف الساحل.

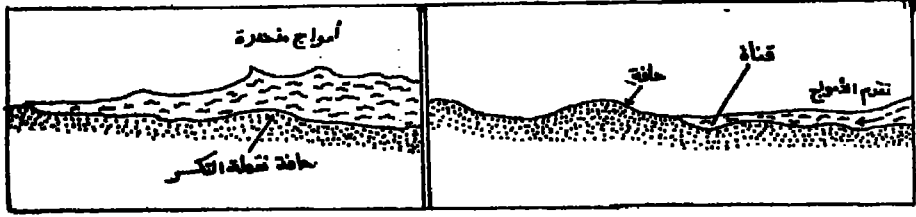
ومن الحواجز أيضاً ما يعرف بالحاجز المرجاني الذي يمتد بعيداً عن خط الشاطئ يفصله عنه قناة مائية عميقة نسبياً ويرتفع منسوبه فوق مستوى الماء عند الجزر ويتكون سطحه من مرجانيات ميتة وتكثر به الشقوق كما يتضح تفصيلاً فيما بعد.

#### ٤ - الحافات الرملية Break Point Bars :

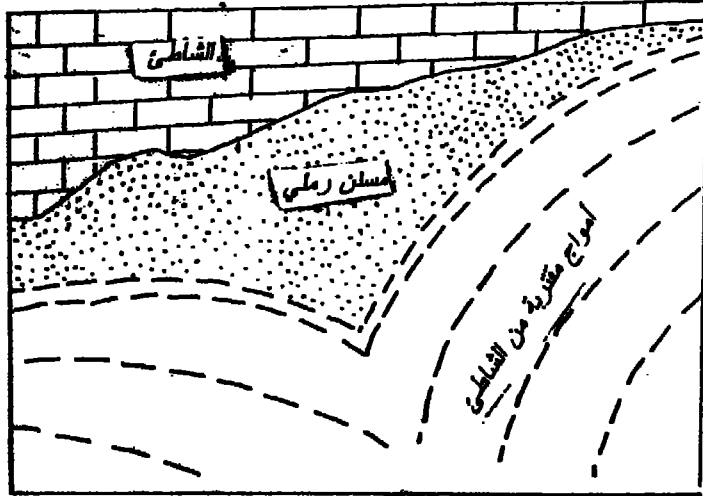
تظهر على طول قطاعات السواحل المنخفضة الإرسابية والتي تتميز ببطء انحدارها نحو البحر حافات رملية منخفضة عند نقطة تكسر الأمواج break point، حيث إنه عادة ما يعاد ترسيب الرمال التي أزيلت أثناء العواصف في شكل حافات منخفضة في منطقة الشاطئ القريب أثناء الجزر حيث يتم تراكمها في منطقة تكسر الأمواج نتيجة لتقابل الرمال المنقولة تجاه الشاطئ بتلك الرمال المسحوبة منه متجهة مع التيارات المرتدة نحو البحر وذلك أثناء عملية الارتداد back wash، وقد تم التأكد من حدوث هذه العملية من خلال العديد من التجارب التي تمت في صهاريج الأمواج والتي أظهرت إرتباط كل من حجم هذه الحافات وبعدها عن الشاطئ بأبعاد الأمواج في المنطقة الشاطئية، فالأمواج كبيرة الحجم تؤدي إلى بناء

(١) يقع على بعد كيلومتر واحد منه .

حافات أكبر حجماً وأكثر امتداداً نحو منطقة الشاطئ الخارجى وعندما تسود الأمواج البانية تتحرك الحافات الرملية المنخفضة باتجاه الشاطئ الأمامى وتصبح أكثر تسطحاً مع تقدم مياه البحر فى شكل أمواج غالباً ما تكون متشعبة تقوم بعملية الترسيب على سطح البلاج شكل رقم (١١٣).



شكل رقم (١١٣)



شكل رقم (١١٣) ب

والواقع أن تتابع عمليتي النحت والإرساب البحرى على شاطئ يستقبل كميات وفيرة من المفتتات الصخرية ينتج سلسلة من الحافات المتوازية، وحيثما تتكون حافة رملية نتيجة لحدوث عاصفة بحرية تتبعها حافة أخرى فى الجانب المواجه للبحر، وذلك مع قدوم رمال إلى الشاطئ أثناء فترة هدوء البحر اللاحقة

لحدوث العاصفة، وقد تتكون هذه الحافات المتوازية على شاطئٍ تحيط به من اليابس مجموعات من الكثبان الشاطئية، كما أنها قد تتكون مع نمو السنة بحرية في موازاة خط الشاطئ.

ويرى Thom, 1964 أن تكوينات الحصى، كذلك الرمال الخشنة قد تتشكل في حواجز بفعل الأمواج العاصفة على حساب تكوينات من الرواسب الناعمة، ويتأثر ارتفاع وتباعد الحافات الرملية أو الحصوية المتزايدة بعدة عوامل يتمثل أهمها في وفرة الرواسب وفعالية النحت والتغير في منسوب مياه البحر، فإذا ما وجدت سلسلة من الحافات المتوازية التي تتناقص مناسبتها بالتتابع تجاه البحر فتكون بذلك دليل على حدوث انحسار لمياه البحر.

وقد درس جريسويل Gresswell, 1953 ظاهرة الحافات المنخفضة على المسطحات المدية أمام ساحل لانكشير ووجدها عبارة عن حافات منخفضة (ارتفاعها نحو المتر) وعرضها أكثر من مائة متر وتبدو المنخفضات المحصورة بينها كلاجونات أثناء غمرها بالمياه خلال فترة حدوث المد، كما أظهر كذلك أن نمط ارتصافها أمام خط الشاطئ يرتبط بشكل الأمواج المقتربة منه، فإذا ما جاءت منحرفة امتدت الحافات بانحراف محدد على خط الشاطئ.

#### ٥ - مسننات الشاطئ Beach Cusps :

قد تظهر المسننات على الشواطئ الرملية والحصوية في المنطقة التي تتقدم فيها المياه باتجاه خط الشاطئ، وتتكون هذه الأشكال الساحلية من تتابع منتظم لمنخفضات نصف دائرية يزيد عمقها على المترين تفصل بينها مسننات منشورية الشكل تقريباً تتجه رهوسها نحو البحر، وغالباً ما تتكون من رواسب خشنة من رمال وحصى وقد يرتفع منسوب قاعدتها باتجاه اليابس إلى ٣ متر.

ويرى جونسون (Johnson, D.W. 1965) أن المسننات تتكون نتيجة لنحت متمائل للأمواج، مما يؤدي إلى تكون خلجان ضحلة غير منتظمة الشكل في البداية يعقب ذلك تعديل في أبعادها بحيث تتناسب أبعادها والمسافات بينها مع أبعاد الأمواج المؤثرة عليها.



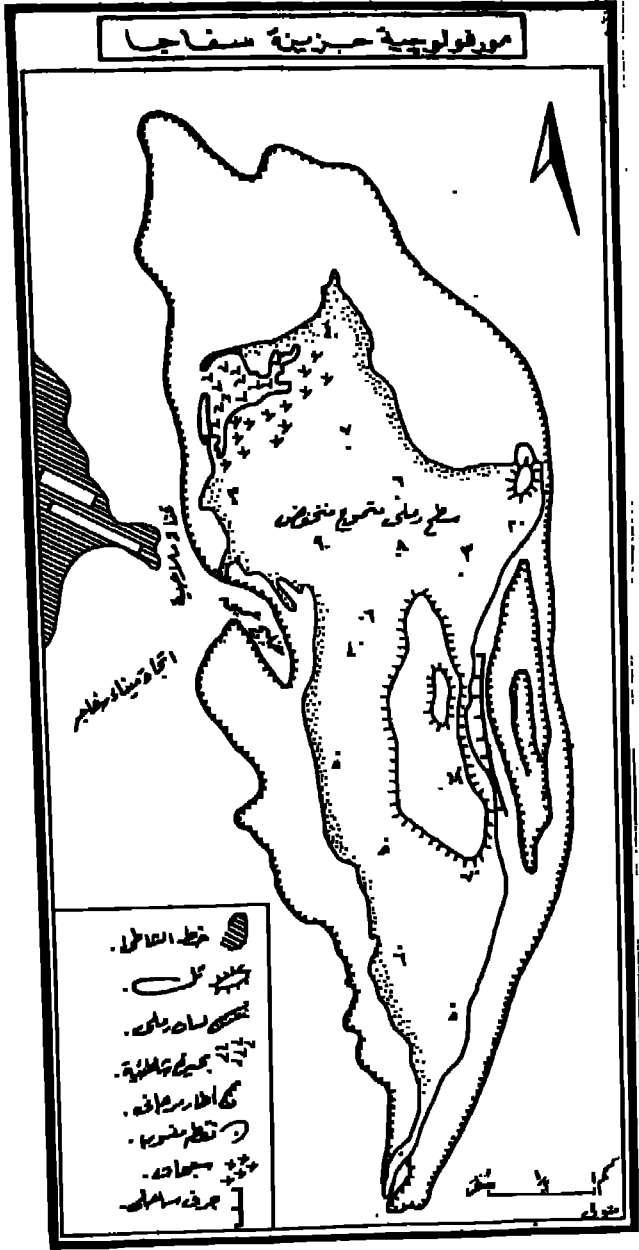
وتعد المسننات من الملامح الساحلية سريعة التكوين ولكنها حينما تتكون فإنها تؤثر على أنماط تقدم المياه swash عندما تنكسر الأمواج أمامها، وقد أظهرت الدراسات التي تناولتها أن أحجامها وامتداداتها في البحر ترتبط بحجم الأمواج المقترية موازية للشاطئ، بينما يقل معدل تقدمها وامتداداتها في البحر عند اقتراب الأمواج بشكل منحرف على خط الشاطئ، كما أنها تتطور بشكل جيد على الشواطئ التي تتركز فيها الرواسب على صخور قليلة التفاضلية.

ومن المناطق التي تظهر بها المسننات، ساحل خليج سدني بأستراليا حيث الرواسب الشاطئية من الرمال الحشنة المنحدرة نحو البحر بانحدار شديد نسبياً راجع شكل (١٣ب) الذي يبين أحد مسننات الشاطئ وقد تطور على ساحل تقترب منه أمواج موازية لخط الشاطئ.

وفي دراسة للمؤلف بمنطقة بحيرات مطروح شاهد ثلاث مسننات منخفضة على طول الساحل الشمالي الغربي للاجرون الأزرق شرقي مرسى مطروح وقام بقياسها ودراسة أبعادها والعمليات التي كونتها وهي باختصار مسننات منخفضة - ترتفع عن مستوى البحيرة بأقل من نصف متر - تمتد أمامها مياه ضحلة - أقل من ٣٠ سم فقط - تتميز أسطحها بظهور بعض النباتات الجفافية القصيرة التي تزداد وضوحاً شمالاً باتجاه قواعد المسننات حيث الارتفاع التدريجي للأرض وقد وجد المؤلف أن هذه النباتات تعمل على تصيد الرمال القادمة من سلسلة مطروح الجيرية وتعمل في نفس الوقت على تماسك رمال المسننات والمحافظة على أبعادها متضافرة مع المياه المتسربة من البحيرة وما بها من أملاح تعمل على زيادة تماسك حبيبات الرمال الكلسية المكونة للمسننات.

وتظهر مسننات أيضاً في بعض المواضع على ساحل الدلتا الشمالي وفي مواضع بساحل خليج السويس قرب مصبات الأودية، وقد تظهر المسننات كذلك في ظل المضاحل shoals والجزر الساحلية المنخفضة تشكلها الأمواج المنتشرة حول الجزيرة، وقد تمتد في شكل السنة مسننات cuspsate spits مثلما الحال على طول خط الشاطئ الغربي لجزيرة سفاجة حيث تظهر السنة رملية ضيقة أوضحها ذلك اللسان الضيق المتجه نحو الجنوب الشرقي مع حركة التيار المائي الشاطئي، يبلغ طوله ٤٥٠ متراً وعرضه نحو ٥٠ متراً وسوف ينتهي به الأمر بالاتصال من طرفه باليابس وتكوين لاجون محدود المساحة شكل رقم (١١٤).

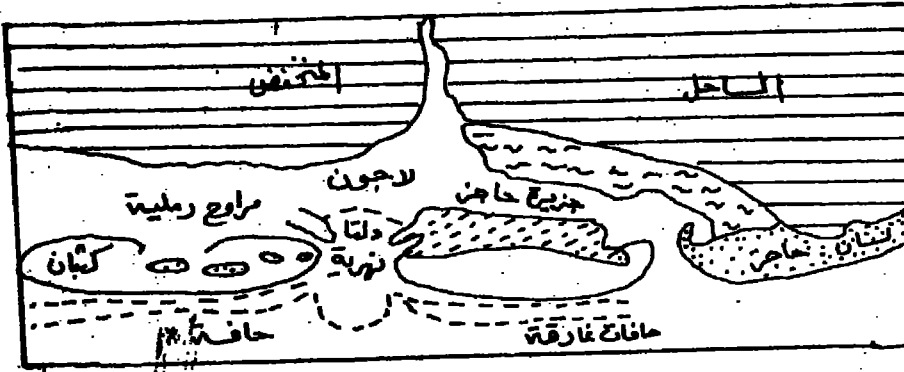
مورفولوجية حبيزة مساجيا



شكل رقم (١١٤)

## ٦ - الخلجان والشروم الساحلية :

من الأشكال الساحلية التي نتجت عن حدوث غمر بحرى حديث لبعض السواحل، وتبدو فى شكل شروم واخلجان على السواحل المنخفضة كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١١٥) ويطلق على الساحل الذى تتجاور فيه مثل هذه الخلجان والشروم - حيث مصبات الأودية الغارقة - بسواحل الريا ria-coast وهو مصطلح أسباني يقصد به سواحل مصبات الأودية التي تعرضت للغرق والتي يزداد اتساعها باتجاه البحر، وإن كان ذلك التعريف يتداخل مع مفهوم المصب الخليجي . estuary

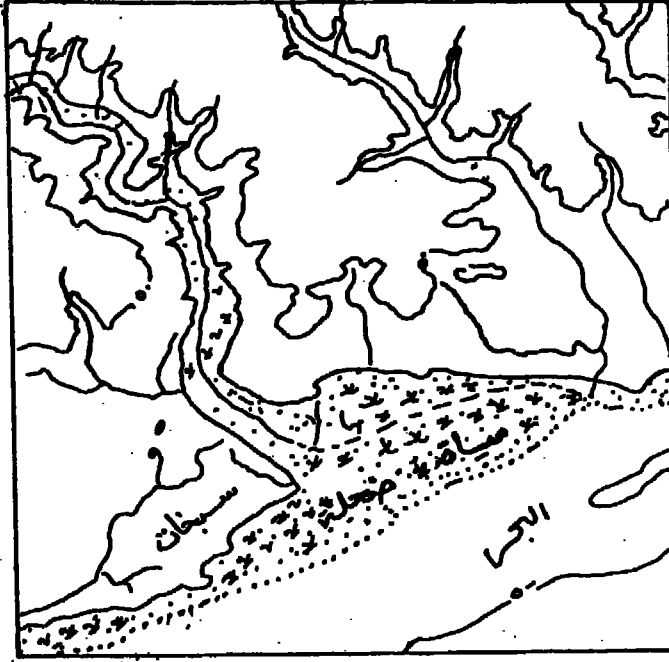


شكل رقم (١١٥)

كما تعرف الفتحات المؤدية للأودية الجليدية على السواحل المنحدرة بالفيوردات ، والواقع أن الخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية التي تميز الفيوردات نتجت عن عمليات نحت جليدى فى مراحل سابقة وتبدو فى شكل أحواض طولية troughs منحوتة بفعل الجليد ومياه البحر فى أعقاب انصهار الجليد البليستوسينى كما سوف يتضح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

أما عن المصب الخليجي فهو ببساطة عبارة عن مصب نهري يزداد اتساعاً باتجاه البحر بحيث يبدو قمعى الشكل funnel Shaped وقد أخذ هذا الشكل نتيجة لغمر بحرى لشاطئ منخفض، وما يميزه أنه يرتبط فى أبعاده وتطوره بظروف المد والجزر والتيارات المدية وظروف الملوحة بسبب وجوده فى منطقة التقاء بين النهر بمياه العذبة ومياه البحر المالحة شكل رقم (١١٦).

ومن الأمثلة



شكل رقم (١١٦)

الواضحة مصب  
نهر السين واللوار  
والجيروند بفرنسا،  
وتتميز بالفارق  
المدى الضيق  
وتظهر بها عدة  
قنوات مائية  
(القنوات المدية)  
تصل بين النهر  
والبحر تحدها  
جوانب من  
تكوينات رملية  
وطينية، وتؤدي  
التيارات المدية إلى

حدوث تغير دائم في مواضع وأبعاد هذه القنوات، ويعرف النطاق الذي تمتد فوقه هذه القنوات بنطاق المسطحات المدية المرتفعة high tidal flats وإن كانت تمتد باتجاه البحر لتظهر فوق مسطحات مدية داخلية بشكل أقل وضوحًا.

وتعد المصببات الخليجية بيئة نموذجية للإرساب حيث تتعرض المنطقة المغمورة بالمياه حديثًا للامتلاء بشكل مستمر إلى أن ينتهي الأمر بالتقاء النهر بالبحر خلال سهل رسوبي مكونا من رواسب قدمت إليه من مصادر مختلفة (ما تأتي به الأنهار والأمواج) وتظهر عملية الامتلاء بوضوح في السواحل المدارية الرطبة حيث تتعرض التربة لتجوية حادة تؤدي إلى تفتتها إلى تكوينات طينية تنقل كميات ضخمة منها باتجاه السواحل مكونة مسطحات طينية تنمو فوقها أشجار المانجروف مثلما الحال على ساحل جاكرتا بجزيرة «جاوة» الإندونيسية.

## ٧ - البحيرات الشاطئية Coastal lagoons :

تنتشر على قطاعات عديدة من السواحل المنخفضة بحيرات مغلقة - بشكل جزئى أو كلى - بواسطة الحواجز الرملية التى ذكرت تفصيلاً من قبل مثل سواحل مصر الشمالية والساحل الشرقى للولايات المتحدة وسواحل خليج المكسيك وسواحل غرب إفريقيا والساحل الغربى للخليج العربى وساحل اللاند فى فرنسا وغيرها الكثير.

وتختلف أشكال تلك البحيرات تبعاً لاختلاف شكل الخليج أو الشرم الذى تحولت عنه، فبعضها كان فى الأصل عبارة عن خلجان واسعة والبعض الآخر عبارة عن مصبات واسعة لبعض الأودية أو شروم ساحلية راجع شكل رقم (١١١) و (١١٥).

وقد تظهر بعض الجزر داخل هذه البحيرات مثلما الحال فى بحيرة المتزلة بمصر وغيرها من البحيرات الشمالية، وتتميز شواطئ هذه البحيرات ببساطتها وانخفاضها مع تعرجها وانحدارها الخفيف نحو قاع البحيرة.

وكثيراً ما يتطور الحاجز الرملى وينمو باتجاه البحيرة فيؤدى إلى تقطعها إلى مجموعة من البحيرات الأصغر لىتهى بها الأمر إلى الامتلاء والتحول إلى مستنقعات أو سبخات والتلاشى فى النهاية مثلما الحال فى البحيرات التى جفت تقريباً شرقى بحيرة مطروح الشرقية.

وإذا ما كانت هناك أنهار تصب فى هذه البحيرات فيمكننا فى هذه الحالة تقسيمها - تقسيم سطحها المائى - إلى ثلاثة نطاقات الأول ويمثل المنطقة العذبة ويتأخم مصبات الأنهر، والثانى يتمثل فى منطقة المياه المالحة الناتجة من المد البحرى وتتأخم الفتحات المدية والمنطقة الثالثة منطقة انتقالية وسطى تتميز بمياهها الآسنة brackish وقليلاً ما تتأثر بحركة المد والجزر، وتختلف مساحة كل منطقة منها من بحيرة إلى أخرى حسب ظروف المناخ ومدى توفر الجارى المائية التى تصب فيها (يراجع بالتفصيل للمؤلف، ١٩٩١).

وكما ذكرنا فى دراسة الحواجز توجد فتحات عبر هذه الحواجز تصل بين البحيرة والبحر وتعد فى نشأتها نتاج صراع مستمر بين التيارات المدية القادمة من البحر وبين عمليات الإرساب التى تتم بسبب الإزاحة الشاطئية.

وتتولد التيارات التي تتحرك خلال هذه الفتحات بطرق مختلفة، فهناك تيارات مدية قادمة إلى البحيرة أو خارجة منها باتجاه البحر في حالة الجزر وعادة ما تزداد قوة في حالة الفارق المدى الواسع، وتوجد كذلك تيارات ترجع إلى تدفق مياه النهار إلى اللاجون وخاصة أثناء فيضانها، وهناك أيضاً تيارات تتولد بفعل الرياح الشاطئية on shore wind تنج من البحر إلى البحيرة، بينما تعمل الرياح القادمة من اليابس إلى تحريك رمال البحيرة إلى البحر. وتعمل التيارات القوية على توسيع الفتحات وزيادة أعماقها، بينما تتعرض للإطماء والانسداد في حالة ضعف هذه التيارات.

وجدير بالذكر أن مواضع وأبعاد الفتحات المدية تتغير بشكل مستمر، مرتبطة في ذلك بالعمليات الساحلية من نحت وإرساب، كما أنها تتأثر بالتدخلات البشرية المتنوعة كما سيتضح ذلك بالتفصيل في الفصل الأخير من هذا الكتاب.

#### ٨ - السبخات الساحلية :

كثيراً ما تظهر السبخات على طول السواحل المنخفضة مثل سواحل الخليج العربي الغربية وسواحل مصر على البحرين المتوسط والأحمر، وتعنى كلمة سبخة وفقاً لتعريف Glennie المسطحات الملحية salt flats التي تعلو تكوينات الصلصال والجرين والرمل وغالباً ما تغطي بقشور ملحية يتحكم في منسوبها مستوى الماء الجوفى .

وتختلف السبخات الساحلية عن تلك السبخات الداخلية في كون الأولى قد نتجت عن عمليات ترسيب بحرية إلى جانب عمليات الترسيب الهوائية، أما الثانية فتتمثل في مناطق تتوازن عندها عمليات الترسيب الهوائى والتذرية ويتحكم فيها مستوى الماء الجوفى عندما يقترب من مجال الخاصة الشعرية.

ونتيجة للتبخر الزائد وارتفاع درجة الحرارة وسيادة الجفاف تتراكم المتبخرات evaporites فوق سطح السبخة، وكثيراً ما تظهر فوق أسطح السبخات أشكال رملية، وخاصة فوق تلك الأجزاء اللزجة منها والتي تعمل على تثبيت الكشبان الرملية وتطورها في مواضع ترسيبها.

وتتميز السبخات الساحلية بوجودها عند مناسب قريبة جداً من سطح البحر مع امتداد القنوات المدية فوق الأجزاء الصلبة منها، كما تكثر الأهداف البحرية بأنواعها المختلفة فوقها مما يدل على تعرضها لطغيانات بحرية فى فترات سابقة .

### **الخصائص والملاص مع المورفولوجية المرتبطة بالسبخات الساحلية :**

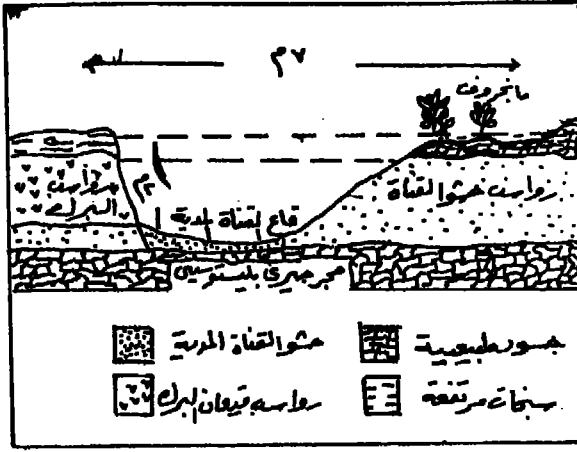
ينتج عن اضطراد نمو السبخات الملحية الساحلية تكون شطوط طينية mud banks مع ظهور مناطق منخفضة عن المستوى العام لسطح السبخة مما يعطيها مظهراً غير منتظم، ومع تزايد ارتفاع وامتداد هذه الشطوط الطينية تتوقف الحركة الغطائية لمياه البحر وتظهر مياه المد والجزر داخل قنوات تبدو فى مراحل نشأتها الأولى غير واضحة المعالم - ضحلة - ومع استمرار نمو السبخة يتعاظم النمو النباتى مع وضوح أبعاد القنوات المدية التى تزداد جوانبها ارتفاعاً وثباتاً بفعل ما يأتيها من رواسب وما تقوم به النباتات من تثبيت لها، كذلك تعمل الرياح الشاطئية على جلب الرمال إليها من منطقة الشاطئ الخلفى مما يساعد على ارتفاع سطح السبخة .

وفيما يلى أهم الملامح المورفولوجية بسطح السبخات الساحلية :

### **- القنوات المدية Tidal Creeks :**

تعد من أكثر الملامح المورفولوجية وضوحاً فى نطاق المسطحات المدية المرتفعة مع امتدادها باتجاه البحر لتظهر بشكل أقل وضوحاً فوق المسطحات المدية المنخفضة (الداخلية).

وتظهر القنوات فى شكل شبكة تتحرك خلالها المياه المدية، تحدد كل قناة منها جوانب تشبه الجسور الطبيعية natural levees تتكون من رواسب خشنة بالمقارنة برواسب قيعانها. ويعد الطين من أكثر التكوينات تأثيراً فى تطورها حيث تظهر القنوات المدية فى الرواسب الطينية واضحة الجوانب فى نمط شجرى، وتزداد منعطفاتها وضوحاً وتنحدر جوانبها بشدة نحو قيعانها، أما فى حالة السبخات الرملية فتكون القنوات المدية بها أكثر اتساعاً وأقل عمقاً بحيث تكاد تختفى جوانبها، كما أن قطاعاتها كثيراً ما تتعرض للتلاشى فى أعقاب تعرضها لأى غمر بحرى طارئ راجع الشكل رقم (١١٧).



شكل رقم (١١٧)

قطاع في قناة مدية

وتساعده

النباتات على تثبيت جوانب القنوات المدية وكلما كانت ذات نظام جذرى متشعب ساعد ذلك على شدة انحدار هذه الجوانب (Davies, J.L., p65) وإن كانت النباتات فى حالات كثيرة تعمل على إعاقة حركة المياه خلال هذه القنوات وخاصة عند

موت الأنواع الطافية والمغمورة منها وتراكمها فى القاع بحيث تؤدي إلى انسداد القناة المائية.

ومن العوامل الأخرى التى تؤثر فى القنوات المدية مياه المد البحرية والتى تلعب دوراً كبيراً فى تعميقها من خلال عمليات النحت والإرساب.

#### - البرك الملحية Salt Pans :

عادة ما تتكون فى المواضع الخالية من النباتات وتظل ممتلئة بالمياه حتى فى حالة انخسار مياه البحر (أثناء الجزر) وعادة ما تكثر هذه البرك فى السواحل الجيرية بالعروض المدارية.

تتمثل أهم الأسباب التى أدت إلى وجود البرك الملحية داخل السبخات الساحلية فى تلاشى جوانب القنوات المدية أو فى انسداد مجرى القناة المدية بسبب تراكم النباتات بمجرها وارتفاع مناسب قيعانها مما يؤدي بدوره إلى ارتفاع منسوب مياهها وغمرها لجسورها لتتحول فى النهاية إلى بركة متسعة أو منقع مائى منخفض تركد المياه داخله. وتتميز قيعان هذه البرك بتماسك صخورها وتتميز جوانبها بشدة انحدارها وكثيراً ما تظهر التكوينات العضوية النباتية والمفتتات الدقيقة بها.



وفى كثير من الأحوال تظهر بعض حفر الإذابة على أسطح السبخات بالعروض المدارية الجافة حيث ترجع فى نشأتها كما ذكرنا فى موضع سابق إلى عمليات إذابة أو حفر بيولوجى .

#### - الخواص الدقيقة Minor Gorges :

تظهر فى بعض السبخات الساحلية فى شكل قنوات عميقة نسيياً وضيقة مع نمو نباتات ملحية على جوانبها مع اتصالها بالبرك الملحية سابقة الذكر . وتعد مسالك طبيعية تنصرف عبرها المياه من البرك عندما يرتفع منسوبها مع تحرك المياه خلالها أثناء الجزر فى حركة عكسية باتجاه البرك . وهى تختلف فى خصائصها وأبعادها عن القنوات المدية وترجع فى نشأتها إلى التسايع المستمر لحركة المياه خلالها من وإلى البرك المتصلة بها، كما أنها كثيراً ما ترتبط بالشقوق fissures التى كثيراً ما تظهر فوق سطح الأساس (الأديم) الذى تكونت فوقه السبخة .

ومن الظاهرات الأخرى المرتبطة بالسبخات الساحلية ما تعرف بحافات البلاج beach ridges التى عادة ما تظهر بين المستويات المختلفة للمسطحات المدية .

وقد درس المؤلف كل هذه الملامح فى السبخات الموجودة بساحل مرسى مطروح وساحل البحر الأحمر (يمكن للقارئ الرجوع إلى المؤلف، ١٩٩٤ للاستزادة) .

#### ٩ - مستنقعات المانجروف الساحلية Mangrov Swamps :

تمثل أشجار المانجروف فى ارتباطها بعمليات الترسيب على السواحل المدارية المنخفضة حيث تعمل الأشجار العالية بجذورها الهوائية المتشعبة على الحد من سرعة المياه المحملة بالغرين مما يجعلها تجمّع إلى الإرساب، هذا إلى جانب ما يضاف إلى السطح من أوراق وأغصان وجذور تتحلل لتضاف كمادة عضوية فى التربة .

وقد أظهرت الدراسات الحديثة دور المنجروف كعامل هام ومؤثر فى تطور خط الشاطئ إلى جانب حمايتها للسواحل التى تنمو بها .

وتظهر في مستنقعات المنحرف بالسواحل المدارية بعض الملامح والأشكال الجيومورفولوجية أهمها الشطوط الطينية mud banks التي تنكشف أثناء الجزر وكذلك القنوات المدية التي تقطع الأسطح المدية في شكل شبكة متشابكة الفروع reticulated creeks على سواحل المصببات الخليجية المدية tidal estuaries مثلما الحال على سواحل غرب أستراليا وسواحل غرب إفريقيا شكل رقم (١١٨) الذي يبين قنوات مدية بدلتا نهر النيجر.



شكل رقم (١١٨)

وتظهر أنماط قصيرة من المنحرف على بعض المواضع بسواحل مصر على البحر الأحمر وعلى الساحل السعودي المقابل وعلى سواحل الخليج العربي كما سيتضح فيما بعد.

وتمتد القنوات

المدية تاركة مساحات

واسعة تنمو فوقها النباتات التي تعمل بدورها على تماسك جوانبها وتعليقها بما تضيفه إليها من رواسب عضوية إلى جانب بقايا الأحياء الحيوانية والنباتية التي تختلط بالتكوينات الطينية التي تأتي بها مياه المد والرياح.

وعادة ما تتحرك المياه داخل قنوات المد في شكل تيارات مدية مركزة تعمل على زيادة تعمقها وتوضيح مجاريها فوق أسطح المستنقعات، وفي كثير من الأحوال تحاط المداخل المدية inlets للبحيرات الساحلية بسبخات ملحية ومستنقعات المنحرف التي تتعرض للغمر المدي بشكل منتظم.

وجدير بالذكر أن هناك وفرة في الحياة الحيوانية بمستنقعات المنحرف والتي تلعب دورها في تشكيل أسطحها بما تقوم به من حفر في الأسطح الطينية وفي صخور الشاطئ، وتزداد أعدادها وأنواعها في السواحل المدارية الجافة وشبه الجافة

حيث تنمو شجيرات المانجروف على طول السواحل المرجانية التى تزرع بالأحياء البحرية الحفارة المدمرة للصخور الشاطئية .

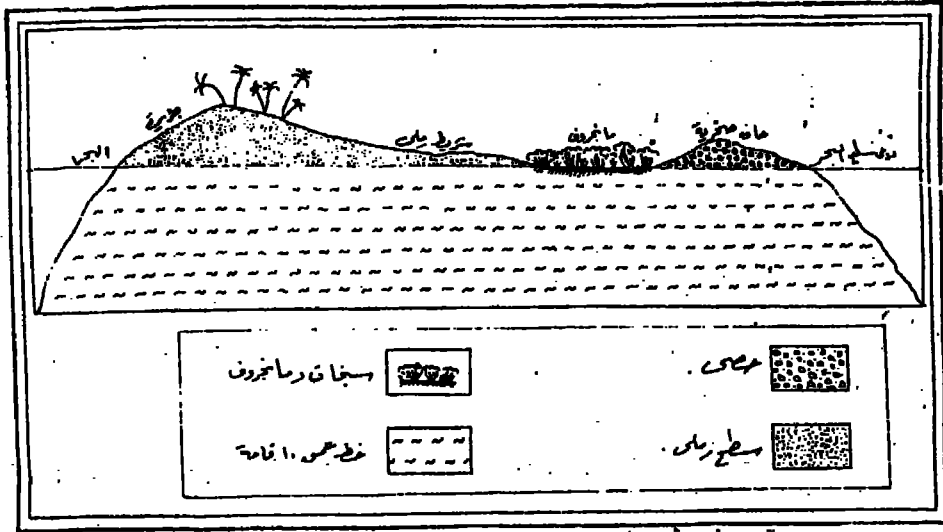
ومن الملامح المورفولوجية هنا أيضاً البرك التى تبدو أكثر وضوحاً وأكبر مساحة من مثيلاتها بالسبخات الملحية، وتنشأ هنا عن عملية إذابة وتجوية فى مواضع الضعف الصخرى من شقوق وفجوات تتميز بها السواحل المدارية وخاصة تلك التى تقل بها الأمطار أو تكون فصلية فى سقوطها .

كذلك تظهر هنا منحدرات محدبة convex slopes فيما بين نهاية مسطح المد المرتفع وسطح المد الداخلى المنخفض حيث تصطدم بها الأمواج وتشكل فى جبهاتها جروفاً منخفضة لا يتعدى ارتفاعها بضعة أمتار، كما تعمل أشجار المانجروف كثيراً على حجز التكوينات الرملية فوق أسطح الجزر المرجانية ولحد من تحركها نحو الداخل كما يتضح ذلك من الشكل التالى (١١٩) الذى يبين مستنقع مانجروف وسط رصيف مرجانى بإحدى الجزر .

#### مستنقعات المانجروف على سواحل البحر الأحمر فى مصر :

يتمثل نبات المانجروف على سواحل مصر بالبحر الأحمر فى نبات ابن سينا البحرى (الشورة) الذى ينمو فى مناطق معينة بداية من خط عرض ٤٠ - ٢٧ شمال مدينة الغردقة وفى منطقة رأس محمد بسيناء، ويزدهر هذا النبات هنا فى المسطحات المدية الداخلية وسط مستنقعات من المياه الراكدة الخالية تقريباً من أى أثر للأمواج مع انحدار خفيف جداً للسطح تجاه البحر، وتعد جزيرة الشورة أمام ساحل الغردقة من المواضع المثالية لنمو المانجروف وهى جزيرة منخفضة (نحو متر ونصف فوق مستوى سطح البحر) يغطى سطحها بتكوينات جييرية ورملية ورواسب طينية عضوية يزدهر نمو المانجروف فى أجزائها الوسطى الأقل منسوباً والمغطاة بشكل دائم بالمياه، وتتكون التربة هنا من الطين المتماسك الغنى بالمواد العضوية النباتية والحيوانية، وتبدو الشجيرات متشابكة وجذورها تنفسية بارزة فوق السطح تعمل على تصيد الرواسب والأوراق الساقطة .

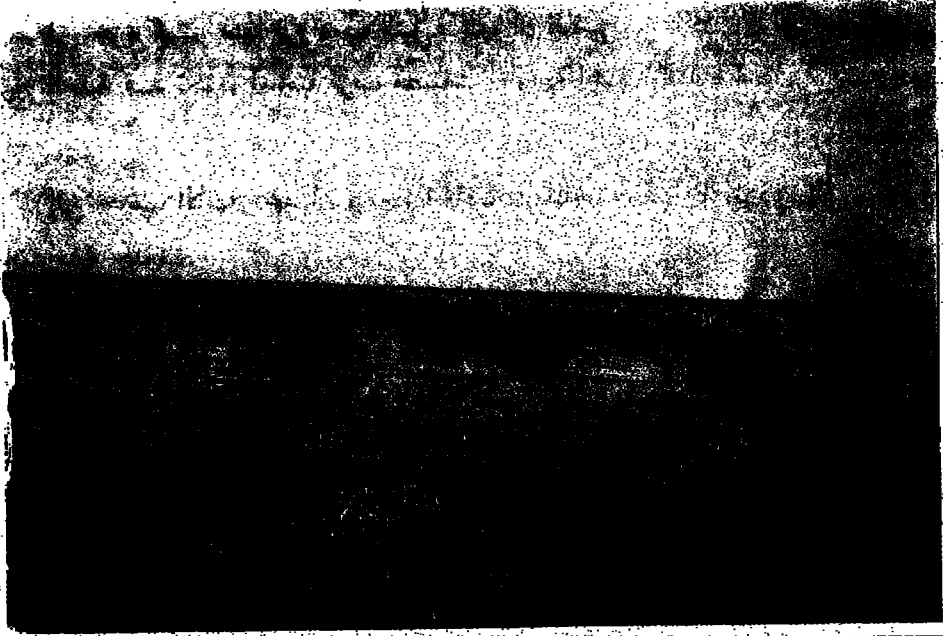
ومن الملامح المورفولوجية المرتبطة بها القنوات المدية والبرك والمسطحات الطينية إلى جانب ظهور حافات حصوية مرجانية ridges of coral shingle تماسكت



شكل رقم (١١٩)

وبرزت كملح مورفولوجي مميز ، كذلك تظهر الكثير من الشقوق والحفر وغيرها من الملامح الدقيقة ، ومن سواحل المالحجروف في مصر أيضاً دلتا وادي «غدير» حيث تغطيها الشجيرات لمسافة ستة كيلومترات باتجاه الجنوب نحو مصب وادي الجمال. وفي سيناء تظهر مستنقعات المالحجروف في منطقة رأس محمد على شواطئ لاجون ضيق وضحل وتعد من المناطق الفريدة في سيناء من حيث نمو المالحجروف.

وفي دراسة للمؤلف بجزر فرسان السعودية سجل العديد من مواضع النمو النباتي الشجيرات المالحجروف على سواحل أهمها وأكثرها وضوحاً منطقتي مصب وادي مطر (الجانب الأيسر منه) وخور الميناء (مصب وادي القصار) وتوضح الصور التالية (٣١) إحدى مستنقعات المالحجروف لاحظ قصر الشجيرات وضحولة المستنقعات.



صورة رقم (٣١)

#### ١٠ - الكثبان الرملية الساحلية Coastal Sand Dunes :

تتباين الكثبان الرملية الساحلية كثيراً فى أحجامها وأشكالها وكذلك فى درجة كثافتها وفى مواضع ترسيبها. فهى على سبيل المثال تختفى تماماً من بعض السواحل المدارية، إلى جانب أن شكلها يعتمد على بعض العوامل مثل طبيعة منطقة الشاطئ الخلقى والنباتات الساحلية وظروف المناخ ونموها.

ويمكننا أن نحدد بإيجاز العوامل المؤثرة فى تكوينها وتشكيلها على النحو

التالى:

#### - توفر الرمال :

تعد الرمال ذات أهمية بالغة فى تكوين نظم الكثبان الرملية الساحلية كبيرة الحجم، وتلعب الأنهار دوراً كبيراً كمصدر للرواسب اللازمة لبنائها على سبيل المثال نرى كوبر Cooper يربط بين تكون الكثبان الساحلية بولاية أوريجون بالرواسب التى تأتى بها الأنهار من الداخل، كذلك نرى الكثبان الشاطئية بسيناء

ترتبط فى جزء كبير منها برواسب النيل ، كما أن الكثير من الكثبان الساحلية على خليج العقبة قد تكون أساساً قرب مصبات الأودية الجافة مثلما الحال قرب وادى دهب .

إلى جانب الأنهار لمجد أن تراجع الحافات المتاخمة للساحل تؤدي إلى تكوين كثبان رملية جديدة .

#### - سرعة الرياح :

تعد الرياح القوية على الشاطئ ذات أهمية كبرى لدورها فى تحريك الرمال الموجودة على السواحل المعتدلة ، بينما تختفى فى مناطق السواحل الإستوائية والمدارية<sup>(١)</sup> .

#### - الرطوبة Humidity :

لقد أثبتت تجارب Belly, 1949 أن الرطوبة ذات تأثير واضح على سرعة الرياح ، فقد أظهرت هذه التجارب أنه إذا ما احتوت الرمال الناعمة على نسبة رطوبة تتراوح ما بين ٢ - ٣٪ فإنها تحتاج إلى رياح قوية لتحريكها وذلك بسبب قوة تماسكها ، والحقيقة أنه فى حالة ترطيب حبات الرمل dampness يحتاج تحريكها إلى قوة قص shear strength أكبر منها فى الرمال الجافة ، على العكس من ذلك تعمل الرياح الشاطئية القوية فى السواحل المعتدلة على تجفيف سطح البلاج مما يسهل على الرياح القيام بمهمتها فى تذرية الرمال نحو الشواطئ الخلفية مما يساعد على ازدهار ونمو الكثبان .

#### - خصائص حبات الرمال :

عادة ما تتكون الرمال من الكوارتز (كثافته ٢,٦٥ جرام/سم<sup>٣</sup>) وإن كانت كثيراً ما تختلط بمعادن أخرى أقل كثافة كما رأينا مثل الجبس أو أكثر مثل الماجنيت ،

(١) رغم هبوب عواصف قوية على سواحل تلك العروص إلا أنها عادة ما تكون مصحوبة بمطار غزيرة تؤدي إلى تشبع السطح الرمالى بالمياه مما يؤدي إلى تماسكها وصعوبة تحريكها بفعل الرياح القوية المؤقتة (Davies, J.L., p152).

وهناك علاقة مباشرة بين حجم الجزئيات وسرعة الرياح المطلوبة لتحريكها. فمثلاً لكي تتحرك الحبات الأكبر من مليمتر واحد فإنها تتطلب رياحاً شديدة تهب بين عقبتين، كما أن الحبات الأكثر استدارة تتحرك بمعدل أكبر وترتبط في علاقة طردية واضحة مع سرعة الرياح<sup>(١)</sup>.

### تصنيف الكثبان الرملية الساحلية :

تعدد الأشكال والأحجام المختلفة للكثبان الساحلية مما يتطلب تصنيفها لتسهيل دراستها وبعد تصنيف Smith, 1954 أكثر التصنيفات شمولية ووضوحاً ويمكننا تلخيصه فيما يلي :

#### أ- الكثبان الأولية :

اشتقت رمالها من البلاج القريب، وليس للنبات دور كبير في تكوينها أو في تطور أشكالها وتنقسم إلى نمطين رئيسيين هما :

- النمط الأول ويتمثل في الكثبان حرة الحركة وتظهر على السواحل الصحراوية حيث الجفاف الذي لا يسمح بالنمو النباتي حيث تخفى النباتات من فوقها تقريباً أو تقل كثافته، وأهم أنواعها الحافات العرضية وحافات الترسيب، وعادة ما يكون للرياح دور كبير في توجيهها حيث إن معظمها يمتد متعامداً على اتجاهها.

ومن المناطق الساحلية التي تنتشر بها سواحل البحر الأحمر وسواحل جنوب غرب أستراليا وساحل بحر العرب وسواحل المغرب وساحل بيرو وغرب الولايات المتحدة وغيرها.

ومن أنواع هذه الكثبان برخانات صغيرة تتراوح ارتفاعاتها ما بين مترين وستة أمتار وعرضها ما بين ١٠ و ١٥ متراً تتميز في العادة بهجرتها نحو الداخل وظهورها في شكل حافات عرضية وتنتشر مثل هذه الكثبان على طول الساحل الشمالي لسيناء جنوب خط الشاطئ متأثرة بالرياح السائدة.

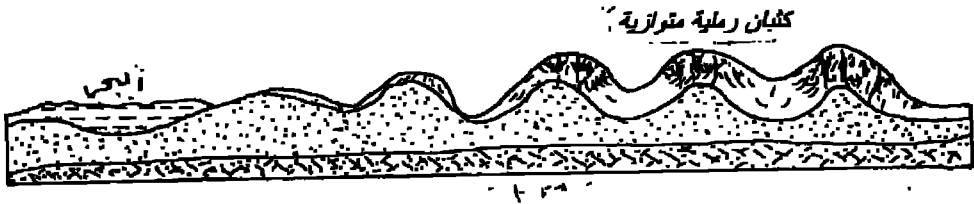
---

(١) عادة ما تكون حبيبات الرمل المكونة للكثبان أكثر استدارة من حبيبات رمال الشاطئ.

كذلك تظهر كثبان عرضية تمتد متعامدة مع اتجاه الرياح القوية كما قد تظهر كثبان مائلة تبدو كبيرة الحجم بالنسبة للأنواع الأخرى، وتظهر أيضاً حافات إرساب تمثل شكلاً انتقالياً بين الكثبان الأولية الحرة والمقيدة الحركة.

أما النمط الثانى فيتمثل فى الكثبان الأولية مقيدة الحركة primery impeded والتي يلعب النبات دوراً كبيراً فى تكوينها مع الرياح وتعد كثباناً ساحلية تقليدية فى المناطق الرطبة والمناطق شبه الجافة وخاصة مع توفر الرمال الشاطئية والنباتات التى تعمل على تماسك حبات الرمل بجانب الرياح القوية السائدة التى تقوم بنقل الرمال وتراكمها، وتعمل الرطوبة على ازدهار النمو النباتى فوقها.

وأكثر أنواع هذا النمط من الكثبان تلك المعروفة باسم الكثبان الأمامية أو كثبان الجبهة frontal dunes تمتد عادة فى موازاة خط الشاطئ تقريباً فى منطقة الشاطئ الخلفى شكل رقم (١٢٠) وقد تمتد فوق حافات شاطئية مكونة من الرمل والحصى حيث تتجمع الحشائش الكبيرة وتزداد ارتفاعاً واتساعاً مع تراكم الرمال، وعموماً، فإن الكثبان الأمامية إذا ما تحركت فإنها تتحرك فى موازاة الرياح، وقد تظهر فى شكل حافة واضحة أو فى مجموعة من الحافات ذات القمم المستوية كما قد يظهر بعضها فى شكل تلال صغيرة تغطيها النباتات فى أقرب صورة للنبات.



شكل رقم (١٢٠)

والواقع أن النباتات المتصيدة للرمال والمسببة فى تكوين الكثبان الأمامية تختلف من ساحل إلى آخر من حيث أنواعها، فمثلاً نجد أن نبات قصب الرمال *amophila arenaria* يعد من النباتات الرئيسية المسببة فى تجميع وتراكم الرمال على سواحل غرب أوروبا، بينما نجد الغردق والرطريط الأبيض من أكثر الأنواع ارتباطاً بنمو الكثبان الرملية والنبات على السواحل المدارية وخاصة الجافة منها مثل سواحل البحر الأحمر والخليج العربى.



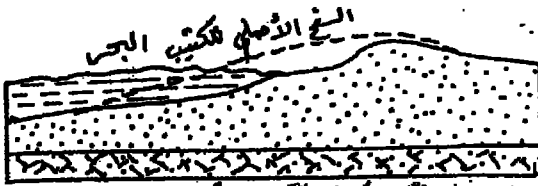
وعندما تتعرض هوامش الكثيب الأمامى (المواجه للبحر) للنحت الأمواج أثناء حدوث العواصف البحرية يتشكل جرف رملى منحوت كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٢١) ثم تتشكل فى فترة هدوء البحر بعد ذلك حافة شاطئية جديدة موازية لهوامش الكثيب الأمامى يفصلها عنها حوض طولى منخفض، وفى مرحلة تالية تتجمع النباتات ويزداد تراكم الرمال على طول خط حافة الشاطئ وبذلك ينمو كثيب أمامى جديد وكذا يستمر نمو سلسلة من الكثبان الأمامية المتتابعة تستمد رمالها أساساً من الكثبان الرملية التى تكونت فى مرحلة سابقة.

#### ب - الكثبان الثانوية Secondary Dunes :

اشتقت رمالها من رمال الكثبان الأولية المقيدة وتظهر فى مناطق ساحلية عديدة فى عروض مختلفة، ولكى ينمو جيداً فإنها تتطلب رياحاً قوية وكميات من الرمال الشاطئية. ومن أهم أنواعها.

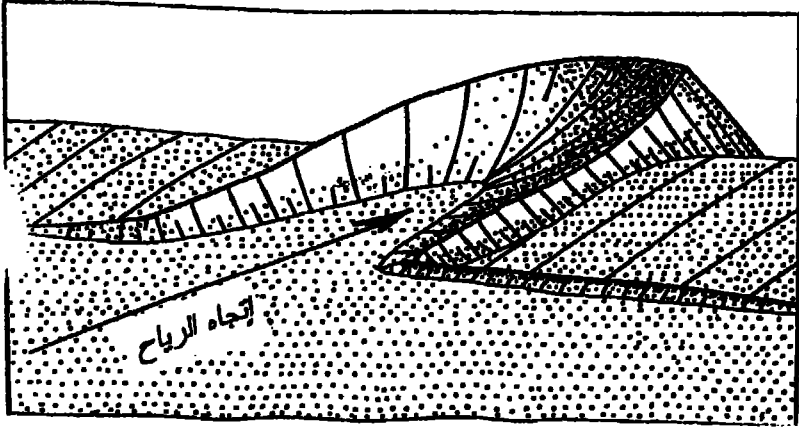
#### - الكثبان المجدوعة Parabolic Dunes :

عادة ما تظهر عندما لا يستقبل الكثيب الساحلى رمالاً جديدة، ويبدأ فى تحركه نحو الداخل، حيث تتلاشى مقدمته بشكل تدريجى ويزداد قرناه طولاً وامتداداً مفترقان عن بعضهما البعض ومواجهاً للرياح كما يتضح ذلك من الشكل (١٢٢).



شكل رقم (١٢١)

وتعمل عملية التحطيط على إزالة النباتات يساعدها فى ذلك عمليات الرعى الجائر overgrazing والحرائق وغيرها من وسائل التدمير، كل هذه العوامل تؤدى إلى تحويل الكثبان إلى تراكمات رملية سائبة مع تكوين حفر تدرية تلعب الأحياء القارضة دوراً كبيراً فى حفرها وتوسيعها - وخاصة أثناء فترة الجفاف - كذلك قد يكون للبحر دور فى تشكيل هذا النمط وخاصة مع زيادة فعالية نحت الأمواج لمقدمته مما يؤدى إلى نمو الحفر وامتدادها نحو الداخل مع ظهور جانب منحدر (٣٠-٣٣) وقرنان ثابتان ثباتاً جزئياً بسبب وجود بعض النمو النباتى فوقهما.



شكل رقم (١٢٢)

### - النباك :

تبدو النبكة ككثيب هرمي الشكل pyramidal shaped تمتد قمته نحو منصرف الرياح مع ميل طبقاته بعيداً عن قمته في اتجاهين مائلين عليها، ومع ذلك فقد أخذ أشكالاً أخرى مختلفة مثل الشكل القبابي أو المدبب أو البيضاوي، كما أنها كثيراً ما تتخذ أشكالاً غير منتظمة في أبعادها.

والنباك عبارة عن كثبان رملية تعيش مرحلة النشأة الأولى، ونادراً ما يتجاوز ارتفاعها الثلاثة أمتار وكثيراً ما يقل عن نصف المتر. ورغم تعدد أشكال النباك إلا أنها جميعاً تتميز بامتداد محاورها في موازاة الرياح السائدة، مع تغطية الجزء الأكبر منها بالنباتات.

ويتمثل دور النبات في إعاقته لحركة الرياح المحملة بالأتربة والرمال، فتتخفف سرعتها وتفقد جزءاً كبيراً من طاقتها وبالتالي تنقص قدرتها على حمل الرواسب أو دفعها مما يؤدي إلى تصيد الرمال sand trapping وترسبها خلف العائق النباتي الذي يمثل عنصر الحشونة على السطح والذي عمل كذلك على تقليل سرعة التيارات الهوائية على جانبي الأوراق والفروع مع توليد دوامات هوائية خلف النبات مما يزيد من حجم النبكة (كليو والشيخ، ١٩٨٦) ومن ثم تشكل

أكمة أو كثيب صغير هرمى الشكل له ذيل واضح ممتد باتجاه منصرف الرياح . lee wind

وقد أظهرت دراسة (كيلو والشيخ، ١٩٨٦) للنباك فى الكويت وجود علاقة قوية بين ارتفاع النبكة من جانب ونوع وارتفاع النبات من جانب آخر، فكلما زاد ارتفاع النبات وزادت أحجام مجموعة الخضرى وزادت حيويته بشكل عام زادت قدرته على تصيد الرمال وتكوين نبكة كبيرة الحجم ومن هذه النباتات العوسج والرطريط. وعندما تقترب النبكات من بعضها البعض تلتحم مكونة مظهراً تراكمياً يطلق عليه محلياً اسم القصم فيما يشبه الحافات الرملية الساحلية سابقة الذكر.

وتنتشر النباك فى مناطق كثيرة من السواحل المصرية عادة ما تظهر أكثر ما تظهر عند مصبات الأودية الجافة فى نطاق السبخات المرتفعة تغطيها النباتات الملحية والجفافية وتعمل على تثبيتها، وهى عادة ما تكون صغيرة الحجم يأخذ أغلبها الشكل البيضاوى مع امتداد محاورها فى موازاة الرياح السائدة. وتوجد أشكال دائرية وأخرى غير منتظمة الأبعاد ولا تزيد ارتفاعات معظمها على ٥٠ سنتيمتر مع تباعدها عن بعضها البعض بمسافات تصل إلى نحو ٢٠ متراً، وقد سجل المؤلف مثل هذه الأنماط الرسوبية قرب مصب وادى دهب بخليج العقبة ولاحظ تغطية المساحات التى تخلو منها بقشور ملحية أو سبخات رطبة كما لاحظ امتداد ذيولها بشكل عام نحو الجنوب والجنوب الشرقى.

#### ٢- الكثبان المتحجرة Lithified Dunes :

تبدو أهمية الكثبان المتحجرة (كصخور جيرية أو جيرية رملية) فى كونها تلعب دوراً كبيراً فى تطور شكل الساحل حيث يعمل البحر على تحويلها إلى جروف وملاح شاطئية أخرى، كما أنها تعمل كثيراً على حفظ هيئة الكثيب الأولى أمام عمليات التعرية الهوائية والمياه الأرضية، ومن هذه الكثبان المتحجرة سلاسل الحجر الجيري البطروخى الممتدة بلونها الأبيض الناصع على طول الساحل الشمالى من غربى الإسكندرية حتى مرسى مطروح وهى تتكون من حبيبات رملية جيرية متماسكة.

وكثيراً ما تظهر فى شكل حواجز متحجرة تمثل كئباناً قديمة مثل السلسلة الشمالية بمنطقة بحيرات مرسى مطروح والتي شكلت الأمواج وعمليات التعرية البحرية أوجهها فى ملامح مورفولوجية تشبه ملامح أوجه الجروف الساحلية .

ويحتاج تحجر الكئبان إلى مناخ رطب بدرجة كافية وذلك لتحليل الكربونات الموجودة بالرمال . ولكن مع تغير ظروف المناخ وسيادة الجفاف وارتفاع درجة الحرارة وارتفاع معدلات التبخر تتماسك تكويناتها مع احتفاظها بأشكالها الأصلية . وتظهر مثل هذه الأشكال فى كثير من سواحل العالم مثلما الحال فى جنوب شبه الجزيرة العربية والساحل الغربى للهند وجزر موريشيوس وغيرها .

ويقدر بأن احتواء الرمال على نسبة ٨٪ من جملة مكوناتها من الكربونات تكفيها للتلاحم مع تعاقب الرطوبة والجفاف . حيث يتم تحجر الرواسب بفعل المواد اللاحمة عن طريق التخفيف أو لانضغاط اللذان يعملان على تحرر الرواسب من الماء وتناقص حجم الفراغات البينية باقتراب حبيبات الصخر من بعضها البعض ، وقد لا تتحجر الرواسب إلا بعد تناقص حجم فراغاتها البينية viods بنسبة ٧٥٪ كما يعتمد تركيز المواد اللاحمة فى الماء المتسرب على درجة حرارته ومعدل حموضته PH وتكوينه الكيماوى (سلامة ، ١٩٨٣ ، ص ٩) .

## السواحل المرجانية Coral Reef Coasts

### مقدمة :

التكوينات المرجانية عبارة عن صخور كلسية عضوية نتجت عن ترسيب لكائنات بحرية دقيقة أهمها حيوان المرجان، وتحصل هذه الكائنات على كربونات الكالسيوم من ماء البحر، والتي ترسب بعد موتها في تراكيب هيكلية skeletal structures غير منتظمة تنمو حولها وخلالها نباتات وطحالب دقيقة، وكل الكائنات الحيوانية والنباتية هذه تعيش في تكافل كامل من أجل الاستمرار في النظام الأيكولوجي الساحلي.

ومن الأحياء البحرية هنا الفورما نيفيرا (المشقيات) والرخويات malusscus والأحياء الصدفية shelly organisms وكلها بعد موتها تملأ التراكيب الهيكلية لتكون كتلاً كلسية وتصبح في نهاية الأمر - مع التحلل الجزئي وإعادة ترسيب الكربونات - شعاباً من الحجر الجيري الشعابي الكتلي massive reef بأشكاله الغريبة شديدة التباين والتنوع مع تراكم مفتتات على جوانبها لعبت الأمواج وعمليات الإذابة والنحت البيولوجي أدوارها في تكوينها.

وتكمن أهمية المرجان من وجهة النظر الجيومورفولوجية في طريقة تكوينه للتراكيب التي تأخذ أشكالاً ساحلية متعددة ومختلفة في خصائصها وأبعادها مثل الأطر المرجانية واللاجونات والحواجز المرجانية والبقع والحلقات وغيرها.

ويجدر بنا أن نضع في الاعتبار دائماً أن كل هذه الأشكال المرجانية تمثل نتاجاً لعمليات ترسيب عضوي organic deposition إلا أن عمليات النحت البحرية قد لعبت أدواراً كبيرة في تشكيلها وتحديد خصائصها الجيومورفولوجية إلى جانب ما تعرضت له من حركات تكتونية أو إيوستاتية لاحقة لتكونها أدت إلى تغيير الكثير من أوضاعها الأصلية.

### ١ - العوامل المؤثرة في النمو المرجاني :

تظهر التكوينات المرجانية على السواحل الغربية من المحيطات الأطلنطي والهادي والهندي فيما بين خطي عرض ٣٠ شمالاً وجنوباً ويزدهر في كل من

البحر الكاريبي والخليج العربي والبحر الأحمر وعلى طول الساحل الأسترالى الذى يعد أكبر نطاق مرجانى فى العالم.

وكل هذه المناطق تتميز بخصائص طبيعية ثلاث بدرجات مختلفة النمو المرجانى ويمكننا إيجازها على النحو التالى:

#### - درجة الحرارة :

تعد أهم العوامل المؤثرة فى التوزيع الأفقى للتكوينات المرجانية، ورغم أن النمو الأمثل للمرجان يظهر فى مناطق تتراوح درجة حرارتها ما بين ٢٥ و ٢٩ مئوية إلا أنه يمكن النمو فى مناطق تتراوح ما بين ١٦ و ٣٦ مئوية، وعلى ذلك نجد أن النمو المرجانى يرتبط بالبحار الدافئة.

#### - الضوء :

يعد من العوامل الهامة جداً المتحكمة فى التوزيع الرأسى للمرجان وذلك لأهميته فى عملية التمثيل الضوئى ولذلك فإنه ينمو فى المياه الصافية (الشفافة) التى تصل فيها الأشعة الشمسية حتى عمق ٩٠ متراً، ويعتقد بأنه يزدهر فى المنطقة التى تتراوح أعماقها ما بين صفر و ٢٠ متراً.

ولذلك فإن التغيرات التى تحدث فى مناسيب مياه البحار وكذلك الحركات الأرضية المختلفة قد أدت إلى الاختلاف فى التوزيع الرأسى للتكوينات المرجانية.

#### - الملوحة Salinity :

تتراوح نسبة الملوحة التى يمكن للمرجان أن يتحملها ما بين ٢٧ و ٤٠ فى الألف وأفضل نسبة ملوحة ملائمة تتراوح ما بين ٣٤ و ٣٦ فى الألف، ولذلك فإن تخفيف ملوحة المياه dilution بواسطة مياه السيول والأنهار عند مصباتها تقاوم النمو المرجانى وتعمل بالتالى على وجود مواضع خالية منه تمثل فى الأغلب نهايات الأودية التى تصب فى البحر وتعمل بدورها على عدم استمرارية (تقطع) الإطار المرجانى، وتعرف هذه المواضع فى مصر بالمراسى لملاءمتها لرسو المراكب والسفن.

ويرى (Bird, E.C., p192) أنه إذا ما زادت نسبة الملوحة على حد معين فإنها قد تكون سبباً من أسباب اختفاء المرجان .

### - خصائص الأساس الصخري Substratum :

عادة ما يبدأ نمو المرجان فوق أساس صخري صلب أملس، وإن كان يمكنه النمو فوق رصيف حصوى أو فوق رواسب ناعمة، ولكن يصعب تـكونه ونموه فوق رواسب متحركة، لذلك نجد يختفى من أمام السواحل الغربية لإفريقيا وبعض سواحل أمريكا بسبب تكون الحواجز الرملية والطينية أمامها وكذلك بسبب عمليات التقلب الرأسى للمياه up welling التى تظهر أمام العديد منها .

### - الإرساب Sedimentation :

يرتبط بالعامل السابق، فالمرجان قد يتحمل كمية من الرواسب العالقة التى يمكنها السماح بوصول الحد الأدنى من الضوء اللازم للنمو المرجانى ولكن زيادة نسبتها وتراكمها بكميات كبيرة يؤدى إلى هلاك يرقات المرجان وخاصة فى مراحل حياتها الأولى، ولذلك تختفى التكوينات المرجانية من أمام مصبات الأنهار الكبرى فى العالم بالعروض المدارية، مثل مصب نهر الأمازون ومصب الميسى .

### - حركة الماء :

لا بد للنمو المرجانى من حدوث حركة فى المياه وذلك لتوزيع درجات الحرارة ومنع الإطماء وتوفير البلاكتون الغذاء الرئيسى لحيوان المرجان، وتوفير الأكسجين اللازم للتنفس، ولكن إذا ما زادت حركة المياه فى شكل أمواج عنيفة وتيارات قوية فإن ذلك يكون سبباً رئيسياً فى تدمير الشعاب المرجانية وموت اليرقات .

## ٢ - الأشكال المرجانية الساحلية :

تعدد الأشكال المرجانية بدرجة كبيرة جداً يصعب معها تقسيمها تقسيماً جامعاً شاملاً، ويعد تقسيم دارون لها فى ثلاثة أقسام (الأطر والحواجز والحلقات) تقسيماً مبسطاً للغاية لنظام طبيعى شديد التعقيد

وفيما يلي تقسيم الأشكال المرجانية مع الأخذ في الاعتبار أن هذا التقسيم يعتمد على الشكل أكثر من اعتماده على النشأة (Davies, J.L., p68)

### جدول رقم (١٤) الأشكال المرجانية الرئيسية

الشكل المرجاني	الخصائص
أطر مرجانية	ملاصقة للشاطئ أو منفصلة عنه بقناة ضحلة
أرصفة مرجانية	بعيدة عن الشاطئ يفصلها عنه قناة عميقة
بقع مرجانية	صغيرة المساحة وغير منتظمة الشكل
حلقات مرجانية محيطية	توسطها بحيرة عميقة
حلقات رفرقية	كبيرة } بحيرة ضحلة في الوسط صغيرة }

عن Davies, 1978

ورغم بساطة هذا التقسيم إلا أنه أكثر تفصيلاً من تقسيم دارون وأكثر توضيحاً. ورغم ذلك فإن من أهم عيوبه أن بعض الأشكال الكبرى تتضمن داخلها أشكالاً أصغر منها مما يؤدي إلى تعقيدها وحاجتها إلى إعادة تصنيف، فالأطر المرجانية يمكن أن تنقسم إلى العديد من الأقسام الثانوية على أساس وجود أو عدم وجود قناة بينها وبين الشاطئ أو على أساس انكشافها أو عدم انكشافها أمام الأمواج البحرية: كما أن الحواجز المرجانية قد تنقسم أيضاً حسب درجة استمراريتها استمراراً أفقياً أو تبعاً لدرجة تعقيدها، فبعضها مثلاً يمتد في شكل خطوط شعاعية شريطية والبعض الآخر يمتد كبقع، وبالنسبة للحلقات المرجانية فإنها تعد أكثر تعقيداً من القسمين السابقين وخاصة من حيث النشأة وتطور أشكالها وخصائصها المورفولوجية.

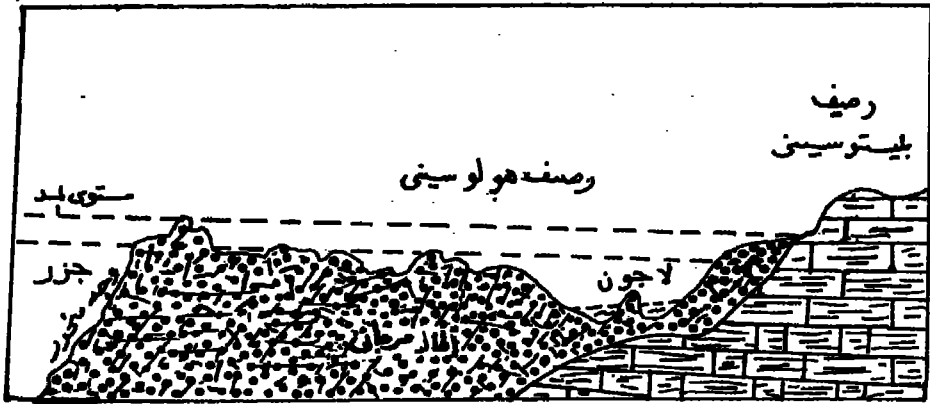
وفيما يلي معالجة تحليلية مختصرة للوحدات المرجانية الكبرى وفقاً لتقسيم Darwin مع دراسة لبعض الوحدات الثانوية التي أشير إليها في التقسيم سابق الذكر:



## أ- الأطر المرجانية Fringing Reefs :

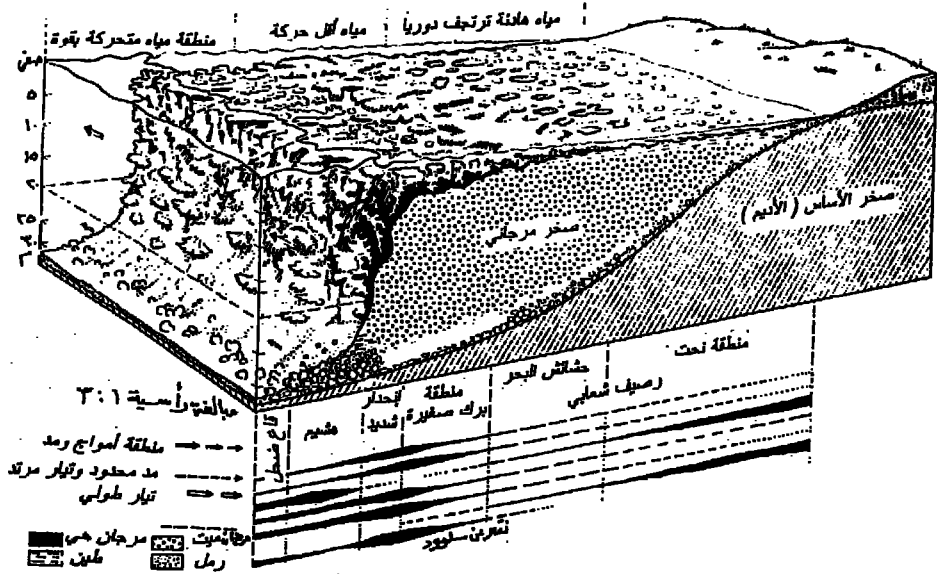
تعد أبسط الأشكال المرتبطة بالشعاب المرجانية وأكثرها انتشاراً، حيث توجد في كل مناطق النمو المرجاني في العالم. تمتد تلك الأطر عادة ملاصقة لخط الشاطئ، أو قد تكون ممثلة لخط الشاطئ نفسه مع نموها نمواً رأسياً وأفقيًا (Thornbury, W.D., 1969, p560) وتظهر كرصيف مرجاني يظهر (ينكشف) أثناء فترات الجزر وغالباً ما تبدو متقطعة أمام مصبات الأودية أو على السواحل الصاعدة الجرفية.

يتراوح اتساع الإطار المرجاني ما بين بضعة أمتار وأكثر من ١٠٠٠ متر تتمثل أهم خصائصه الجيومورفولوجية في شدة انحدار جبهته التي تطل بها على مياه البحر والتي تتميز بتكويناتها من المرجان الحى والرمال ذات الأصل المرجاني التي تظهر في شكل زكاسى، وتنحدر جبهته بدرجات انحدار تتراوح بين ٢٥ و ٤٠ درجة عادة ما تظهر حافة مرتفعة من تكوينات مرجانية حية ورمال تعمل على حمايته من الأمواج شكل رقم (١٢٣)، أما بقية سطح الإطار فتكثر به الشقوق والتجويفات وتنتشر عليه الرواسب الرملية والحصى التي تعطيه مظهراً غير منتظم.



شكل رقم (١٢٣)

ويتضح من الشكل التالي رقم (١٢٤) رسم توضيحي لإطار مرجاني على الساحل الشمالي لخليج العقبة يبلغ سمكه ٣٠ متراً يمكننا أن نعرف منه ما يلي:-



شكل رقم (١٢٤)

- سطح الحاجز الذي ينقسم إلى نطاقات حسب درجة التأثر بالمياه مع ظهور ملامح سطحية تعطيه مظهر غير منتظم.
- حافته (جبهته) التي يطل بها على المياه العميقة وحركة تيار الشاطئ أمامها.
- الحد الأدنى للضوء الأمثل.
- ركامات رملية عند حضيض الحافة والتي تتميز بانحدارها الشديد.
- صخر الأساس والمرجان الميت والمرجان الحي والتكوينات الطينية.
- يلاحظ أيضاً تتابع النطاقات التالية من اليمين إلى اليسار.

وتبادل نقل الرواسب ونطاق البرى abrasion ونطاق حشائش البحر ونطاق البرك والمناقع (محدودة المساحة) الانحدار الشديد وتراكم الرمال والحصى - وقاع الشاطئ (للاستزادة راجع Sellwood, B.W, 1978).

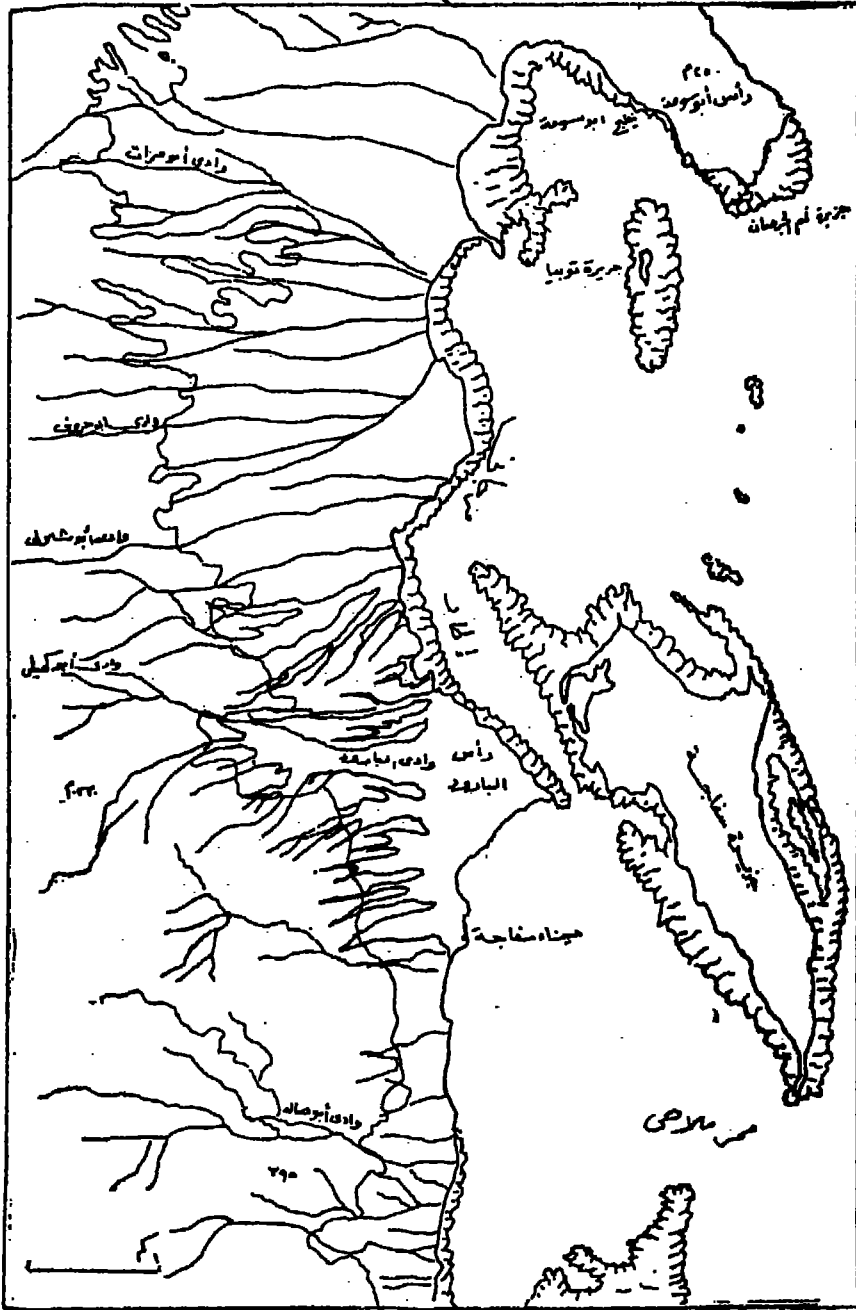
وتظهر الأطر المرجانية ملاصقة لمعظم سواحل البحر الأحمر في مصر وكما ذكرنا فلإنها تتقطع أمام مصبات الأودية الجافة القادمة من المرتفعات، ويختلف اتساعه هنا تبعاً لطبيعة الساحل والظروف المحيطة به، فعلى سبيل المثال نجد يتسع لأكثر من خمسة كيلومترات إلى الجنوب من ميناء سفاجة كما يظهر ذلك من الشكل التالي رقم (١٢٥) الذي يوضح امتداد الإطار المرجاني ملاصقاً لخط الشاطئ من رأس أبو سومة حتى رأس البارود. بينما نجد يختفي جنوب الرأس السابقة حتى مصب وادي أبو أصالة في منطقة الميناء ليظهر على طول الساحل إلى الجنوب منه بارزاً في اتجاه جزيرة سفاجة في شكل يورجى مرجاني طوله خمسة كيلومترات مع إحاطة الجزيرة إحاطة تامة بالإطار المرجاني كما يتضح ذلك من الشكل (١٢٦).

#### ب - الحاجز المرجاني Coral Reef Barrier :

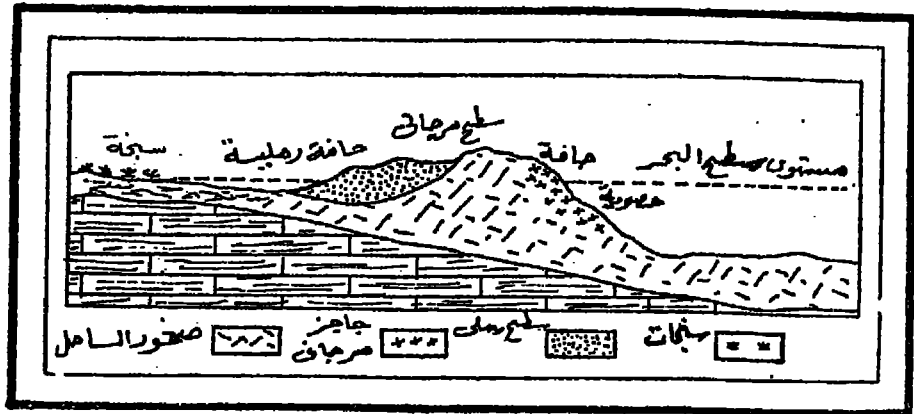
يمتد بعيداً عن خط الشاطئ بمسافة تزيد عادة على ٣٠٠ متر منفصلاً عنها بواسطة قناة عميقة وخالية من المرجان تمتد امتداداً طويلاً باتساع يتراوح بين ٣٠٠ متر وعدة كيلومترات.

أما عن سطح الحاجز المرجاني فيتميز بتغطيته بتكوينات مرجانية ميتة ومع كثرة الشقوق والتجويقات وخاصة قرب هوامشه والتي كثيراً ما تمتلئ بالرمال والمفتتات المرجانية والأصداف.

ولا يزيد اتساع الحاجز المرجاني المثالي على بضعة مئات من الأمتار ولا يظهر منه سوى أجزاء محدودة أثناء الجزر. وهو في نشأته الأولى عبارة عن ترسيب عضوي فوق أساس صخري (حافة غاطسة) عند أعماق قد تصل إلى أكثر من تسعين متراً (Butzer, K.W., 1976, p237) وهو بذلك يشبه الإطار المرجاني في نشأته، ومع ذلك قد يتطور الحاجز المرجاني عن طريق النمو الأفقى أو الجانبى lateral growth للإطار المرجاني وذلك بعد أن يلتحم بخط الشاطئ يساعده في ذلك أن تكون القناة الفاصلة ضحلة وضيقة نسبياً مما يساعد على وجود نمو مرجاني بقاعها ينمو بدوره ثموكاً رأسياً وأفقياً.



شکل رقم (۱۲۵)



شكل رقم (١٢٦)

ويقسم علماء الأوقيانوغرافيا سطح الحاجز المرجاني إلى ثلاثة نطاقات كما يظهر ذلك من الشكل السابق (١٢٦) يمكن أن نوجزها تبعاً ذكراً (sharma, R.C., 1970, p25) فيما يلي:

### النطاق الرملى :

يظهر مطوقاً للبحيرة الطولية (القناة) تشتق رماله من مواد كلسية وشظايا مرجانية تأتي من قاع القناة بواسطة الأمواج أو قد تشتق من صخور السطح المرجاني موضعياً، وإذا ما كانت الأمواج عنيفة فلإنها قد تزيل هذا النطاق وتنقل رماله إلى النطاق الحصوى والجلمودى خاصة إذا ما كان سطح الحاجز متسعاً، أما إذا كان ضيقاً فتتقل هذه الرمال بفعل الأمواج إلى البحر أو إلى القناة أو تملأ بها الشقوق والفجوات.

### نطاق الجلاميد Boulder belt :

يظهر أمام النطاق الرملى ويتكون من مفتتات صخرية أكبر حجماً وأقل فى درجة تلاحمها وهى من نفس مكونات الرمال، وقد لعبت الأمواج الدور الرئيسى فى تكوينها وتشكيلها ويتراوح ارتفاعه ما بين المتر والثلاثة أمتار فوق سطح البحر كما أنه قد يمتد حتى القناة فى حالة ضيق الحاجز وذلك على حساب اختفاء النطاق الرملى.

## مسطح الشعاب Reef Flat :

يظهر واضحاً على سطح الحاجز تكثر به الشقوق والفجوات ونادراً ما يظهر مستوياً وغالباً ما ينكشف أثناء الجزر.

وعندما تختفى الحواجز المرجانية أثناء حدوث المد فإنها تمثل بذلك خطراً داهماً أمام الملاحة البحرية بهذه المناطق وذلك فى حالة عدم توفر سبيل الأمان المرتبطة بالخبرة والدربة والمعرفة التامة بكل خصائص وأبعاد الساحل المرجانى وتوافر العلامات الإرشادية الملاحية فوق الجزر مثلما الحال على جزر مضيق جوبال.

ويمكن الاستدلال على الحاجز المغطى بمياه المد من خلال تكسر الأمواج بعيداً عن الشاطئ إلى جانب اللون الظاهرى الفاتح للمياه فوقه مما يدل على ضحولتها وخاصة مع الشفافية العالية للمياه المرجانية.

## ب - الحلقات المرجانية Atolls :

تبدو يضاوية الشكل على هيئة حدوة الحصان horse show shape أو قريية من الشكل الدائرى تحصر داخلها بحيرة لا يزيد عمقها فى الأغلب على عشرة أمتار. تنتشر هذه الأشكال المرجانية المميزة فى كل من المحيطين الهندى والهادى بعضها كبير الحجم مثل جزيرة سوفاديفا وهى ضمن جزر المالديف يبلغ طول حاجزها المرجانى ١٩٠ كيلومتر وطول البحيرة الوسطى ٦٠ كيلومتر (Davies, J.L., P 710).

ويبلغ عدد الحلقات المرجانية وفقاً لما أحصاه (Cloud, 1958) نحو ٣٢٠ حلقة تقع كلها ضمن النطاق الهندى - الهادى عدا خمس فقط تقع خارج هذا النطاق. وقد حدد (Fairbridge, 1950) ثلاثة أنماط من الحلقات المرجانية هى :

## - الحلقات المرجانية المحيطية Oceanic Atolls :

وترتبط بشكل عام بالأشكال البركانية، توجد قواعدها عند أعماق تزيد على ٥٥٠ متراً وهى أكثر الحلقات شيوعاً وخاصة غربى المحيط الهادى وفى بحر المرجان وبحر تسمانيا الشمالى أهمها حلقات ميدلتون وإليزابيث وجلبرت<sup>(١)</sup>.

(١) تعد جزيرة ديدالوس المصرية بالمياه العميقة بالبحر الأحمر أقرب شها من هذه الحلقات وإن اختلفت عنها من حيث النشأ والشكل.

### - الحلقات المرجانية الرفرفية shelf Atolls :

تظهر فى مناطق الرفارف القارية، ومن مناطقها الساحل الشمالى لأستراليا ومنها حلقة scott التى تعد فى واقع الأمر نتاج التحام لحلقتين إحداهما حلقة مكتملة النمو تأخذ شكل شبه دائرى لمحصر داخلها بحيرة والثانية فى شكل حدودة الحصان (غير مكتملة) توجد داخلها بحيرة متصلة بالمياه العميقة ويبلغ عمقها ٤٥ متراً.

ويمكن اعتبار البقع المرجانية reef patches الموجودة فى مضيق جوبال وأمام ساحل البحر الأحمر أنواع من هذا النمط وإن كانت غير منتظمة فى أبعادها وتختلف عن الأولى فى نشأتها.

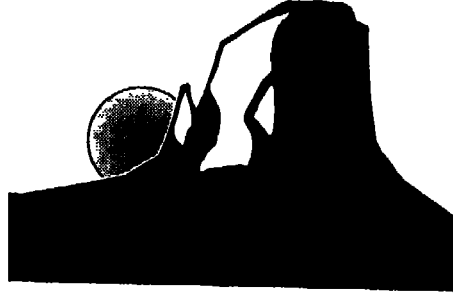
### - الحلقات المركبة Compound Atolls :

تمثل بوضوح فى مجموعة هوثمان أبوليهوس وتتكون من أرصفة مرجانية معقدة مع بقايا من الأشكال المرجانية البارزة فى شكل أعمدة أو كتل صخرية ترجع إلى البليستوسين ويتتشر مثل هذا النمط أمام ساحل البحر الأحمر وخاصة فيما بين رأس حمسة وسفاجة (للاستزادة ومعرفة نظريات نشأة الشعاب المرجانية والحلقات يمكن الرجوع للمؤلف، ١٩٩١).





## الفصل التاسع



التعرية الجليدية  
[ العمليات والأشكال الأرضية  
المرتبطة بها ]





## مقدمة :

عندما تنخفض درجة الحرارة عن الصفر المئوي يتكثف بخار الماء ويتجمد في شكل بلورات ثلجية crystals of snow تتساقط فوق سطح الأرض، وعادة ما يحدث ذلك في مناطق عديدة بالعروض العليا وذلك في فصل الشتاء، وإن كان جليد الشتاء عادة ما ينصهر في فصل الصيف الذي يعقبه، وعندما يتبقى جزء من الجليد دون أن ينصهر - جليد الشتاء - يتحول إلى غطاءات جليدية مستديمة<sup>(١)</sup> مثلما هو موجود في جزيرة جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية - أنتاركتيكا - وفوق قمم الجبال العالية مثل جبال الهيمالايا وكولن وقراقورم والإنديز والروكي وغيرها .

ويطلق على المستوى الذي توجد عنده الغطاءات الجليدية glacial covers بخط الثلج الدائم snow line منسوبه بين ٦٠٠٠ متر في العروض الاستوائية ومستوى سطح البحر بالعروض القطبية .

وعادة ما يتم تراكم الثلوج على سفوح قليلة أو متوسطة الانحدار moderate slopes ، أما السفوح شديدة الانحدار steeper slopes فإنها لا تستطيع أن تحتفظ بالثلوج المتراكمة فوقها مع اضطراد زيادة معدلات التراكم السنوي بالكيفية سابقة الذكر، ومن ثم فإنها كثيراً ما تكون مصدراً للانزلاقات الجليدية avalanches التي تعمل بدورها على تراكم الثلوج في مناطق منخفضة عند أقدام السفوح شديدة الانحدار، ومع زيادة التراكم الجليدي في هذه المناطق المنخفضة يزداد الضغط على الطبقات الثلجية السفلية مما يؤدي إلى اندماج جزئياتها وتصلبها وطردها من مسامها وتحولها إلى جليد .

ويطلق على المنطقة البينية التي يتراكم بها الجليد تعبير حوض جليدي firm (neve) ومع تحرك الجليد وما يحمله من مفتحات صخرية يزداد هذا الحوض عمقاً

---

(١) يظهر الجليد في ثلاث صور رئيسية هي الغطاءات الجليدية والشلاجات ( الأودية الجليدية ) أو أنهار جليدية تمتد عند أقدام المرتفعات .

ويزداد طولها بشكل مضطرد (تدرجى) إلى أن ينتهى به الأمر فى شكل فجوة عميقة تفصلها عن فجوات عميقة أخرى مجاورة حافات حادة (مسننة) *seirrated ridges* نتجت كما سيتضح لنا ذلك بالتفصيل فيما بعد عن عمليات الحت الجليدى (البرى *abrasin*) وكذلك عن إطالة هذه الفجوات التى تعرف بالحلبات الجليدية *cirques*.

وعادة ما نجد سفحاً شديداً الانحدار أسفل الحوض الجليدى مباشرة مما يساعد على تحرك الجليد فى شكل نهر جليدى *glacier* (ثلاجة) تتميز جوانبها بشدة انحدارها ويتميز قاعه بالاستواء، وقد يصل سمك الجليد القابع أو المتحرك داخل الوادى الجليدى إلى أكثر من ١٠٠٠ متر مع اتساع للوادى نفسه يزيد أحياناً على خمسة كيلومترات تلتقى به أودية (أنهار) جليدية أعلى منسوباً تعرف بالأودية المعلقة.

وبطبيعة الحال تقل سرعة تحرك الجليد بشكل كبير فهو فى تحركه بطيء للغاية قد لا يزيد معدل سرعته على عشرين متراً فقط فى ٢٤ ساعة (اليوم) مع ملاحظة أن سرعة الجليد وسط واديه أكبر منها على الجانبين وذلك بسبب احتكاكه بالجانبين.

وجدير بالذكر أن العديد من الأشكال الأرضية الجليدية سواء أشكال نحتية مثل الأودية الجليدية والحافات المسننة والأودية المعلقة أو أشكال ناتجة عن الإرساب الجليدى مثل الدرولمين والكام والاسكرز والكتل الضالة وغيرها تمثل فى الحقيقة ظاهرات مورثة من العصر الجليدى الذى شهد فترات جليدية تقدر بأربع فترات هى الجنز والمندل والرس والفرم تخللتها فترات ما بين الجليد *inter glacial peri-*ods وقد تركت عمليات التعرية الجليدية التى نشطت كثيراً فى البلايستوسين آثارها سابقة الذكر فى الكثير من المناطق التى لا تتعرض الآن لظروف التجمد. حيث كان الجليد يغطى فى البلايستوسن ما يزيد على ٤٢ مليون كيلومتر مربع<sup>(١)</sup> فى أوروبا حيث الغطاء الجليدى الفنوسكاندنافى الرئيسى فى القارة ومراكز الغطاءات

---

(١) حيث انخفض معدل الحرارة بالأرض إلى نحو ٦ درجات مئوية عه الآن وكان ذلك كفيلاً بحدوث الجليد.

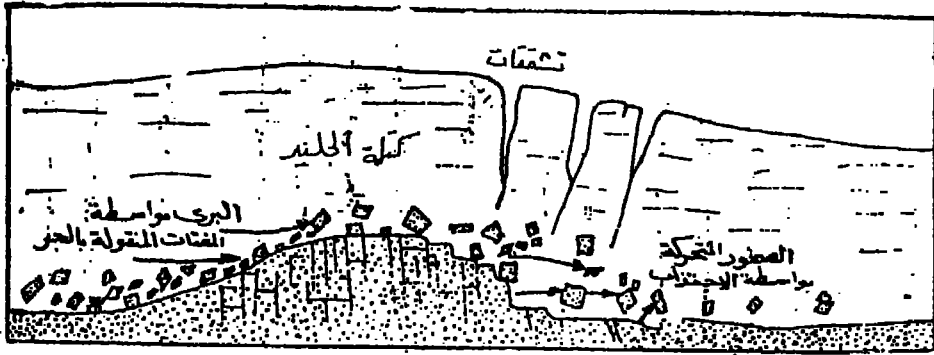
الجليدية الأخرى فوق جبال الألب وشرق أوروبا حتى الأورال وهضبة قرنسا الوسطى وغيرها وفي أمريكا الشمالية حيث كانت كندا كلها مغطاة بالجليد مع استثناءات محدودة من أراضيها وكذلك غطى الجليد مساحات واسعة من الولايات المتحدة وخاصة في الغرب والشمال الشرقي وقد امتد الجليد حتى خط عرض ٤٠° تقريباً<sup>(١)</sup> من مراكز تجمعته الرئيسية في كندا. وفي آسيا غطى الجليد السهول السيبرية حتى خط عرض ٦٠° شمالاً (خط الصفر الحالي) وغطى أجزاء واسعة من مرتفعات وسط القارة ومناطق متفرقة من جنوبها الشرقي. وفي أفريقيا اكتشف Gregory آثار التعرية الجليدية في مرتفعات شرق القارة وخاصة على منحدرات الجبال العالية مثل كلمنجاور وكينيا ورونزورى. وفي نصف الكرة الجنوبي غطى الجليد كل قارة أنتاركتيكا التي مازالت مغطاة حتى الآن وغطى كذلك أجزاء واسعة من شرق أستراليا وجزر تسمانيا ونيوزيلند.

---

(١) كان للجليد مراكز رئيسية في كندا منها جليد كيوانن والباتريشى ولبرادور.

## اولاً- الاشكال الناتجة عن النحت الجليدى

تبدأ مرحلة النحت الجليدى glaciation بعملية جذب والتقاط للمواد الصخرية المفتتة plucking ثم احتواء الجليد لهذه المفتتات والتي عادة ما تكون نتاج عمليات تجوية ميكانيكية سابقة تعرضت لها صخور قاع الوادى الجليدى وجوانبه، ومع ثقل الجليد وضغطه عليها أثناء تحركه<sup>(١)</sup> يزداد تفتت هذه الصخور وخاصة مع احتكاكها ببعضها البعض فى عملية تعرف بعملية طحن المواد الصخرية attrition . ويتم نقل المفتتات الصخرية بواسطة الجليد عن طريق الجر traction أو بالسحب والتعلق suspension كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٢٧).



شكل رقم (١٢٧)

وتتمثل أهم الأشكال الأرضية الناتجة عن عمليات النحت الجليدى فى الوادى الجليدى glaciers الذى عادة ما يأخذ شكل حرف U وما به من ملامح جيومورفولوجية عديدة، والوادى المعلق hanging valley والحلبات الجليدية

(١) يطلق على طريقة النحت الناتجة عن قوة ضغط الجليد وثقله على الصخور التى يتحرك فوقها تعبير

scouring ويعنى الحت الجليدى.

cirques والقمم الهرمية والحافات المسننة arete or seirrated ridges والصخور المحزرة والتي تعرف بالصخور الغنمية roches moutonnes والفيوردات fiords وغيرها مما سيتضح بالتفصيل فيما بعد.

وفيما يلي دراسة للظواهر الجليدية الرئيسية قبل معالجة الأشكال التحتانية الجليدية وتمثل أساساً في الوادى الجليدى وثلاجات حضيض السفوح والأودية المعلقة.

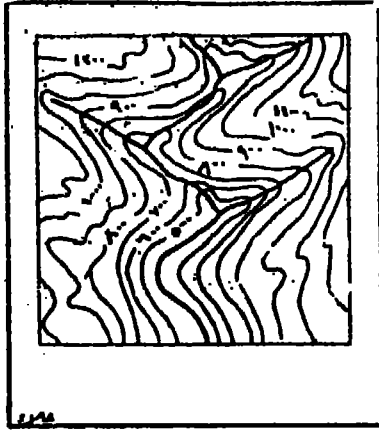
### أ - الوادى الجليدى Glacier :

عبارة عن نهر جليدى يمتد في شكل لسان بانحجاء أقدام السفوح، وعادة ما تتخير الأودية الجليدية في امتداداتها الأخرى والأنهار لتنتهى بمصباتها في البحار مثلما الحال في العروض العليا أو نحو سهول منخفضة.

ويتحرك النهر الجليدى كما هو الحال مع النهر المائى في مجرى محدد الأبعاد ولكن حركته تكون عادة شديدة البطء، حيث تتراوح سرعته ما بين سنتيمترين ونصف إلى متر ونصف تقريباً كل ٢٤ ساعة. وقد أثبتت الدراسات العديدة التى قام بها المتخصصون فى علم الجلاسيولوجى glaciology والجيومورفولوجيا أن السرعة وسط المجرى الجليدى عادة ما تكون أكبر من السرعة عند الجانين ؛ وذلك لأن الجليد يفقد جزءاً من طاقته نتيجة للاحتكاك الذى يتم بين سطحه والأسطح الصخرية بالجانين، وهو فى ذلك يماثل الأنهار المائية، ويستمد النهر الجليدى مكوناته من الجليد، من أحواض التجمع الجليدى neve التى تقع عند منسوب خط الثلج الدائم، وتتوقف أحجام الأودية الجليدية وأطوالها على مساحة أحواض تجمع الجليد، كما تعتمد كذلك على كمية الثلوج الساقطة على طول مجرى الوادى وما تأتى به الأودية المعلقة (روافده) عند التقائها به وتعتمد كذلك على ظروف الظروف بالمناطق التى تمتد خلالها.

وتبدو نهايات الأودية الجليدية (أعاليها) snouts فى شكل أودية مقعرة con-cave، يأخذ قطاعه العرضى شكل حرف U حيث يشتد انحدار جانبيه نحو قاعه الذى يتميز باستوائه النسبى. والوادى الجليدى يتميز بشكل عام بقصر قطاعه الطولى حيث إن وادى التش Aletsch الذى يعد أطول الأودية الجليدية وأشهرها

بجبال الألب الأوروبية لا يتعدى طوله ستة عشر كيلومتر وتتمثل بداية هذا الوادى فى مجموعة من الأحواض الجليدية تحيط كل حوض منها حواجز من القمم المرتفعة وأهم هذه الأحواض حوضاً يولجفراو Jungfrau ومونش Monch ويتجمع جليد كل هذه الأحواض فى حقل ثلجى واسع هو حقل كونكورديا بلاتز Kon-kordia platz الذى يوجد على منسوب نحو ٣ آلاف متر فوق مستوى سطح البحر وينحدر منه لسان جليدى باتجاه الجنوب متمثلاً فى نهر إلتش الجليدى الذى يحده حائطان شديدا الانحدار نحو قاعه (صفى الدين، ١٩٧٦، ص ٣٠٦). وتتميز الأودية الجليدية كذلك باستقامتها وعدم تعرجها حتى ولو كانت تمتد فى وادى نهري سابق متعرج، حيث تعمل من خلال قوة ضغطها على إزالة أى ملامح مرتبطة بعملية التعرج والانعطاف النهري السابق محولة المجرى إلى نمط مورفولوجى آخر مختلف تماماً.



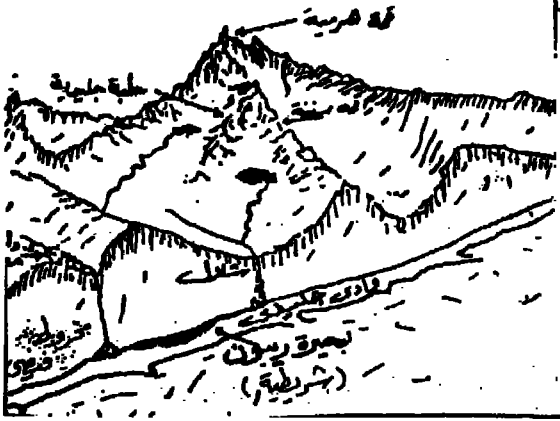
شكل رقم (١٢٨)

ويوضح الشكل التالى (١٢٨) أحد الأودية الجليدية بالعروض العليا يلاحظ منه اتساع الوادى بين خطى كنتور ٢٠٠٠ متر مع استقامة واضحة لمجرىه وانحدار شديد للجانبين نحو القاع، يلاحظ منه كذلك التقاء أحد الأودية المعلقة بالوادى الرئيسى من الجانب الأيمن. كما يظهر من الشكل رقم (١٢٩) أحد الأودية الجليدية تحده حافات مسننة وتظهر بأعليه قمم هرمية pyramidal peaks مع وجود حلبات جليدية تشغل قيعانها بحيرات ويلاحظ من الشكل السابق أيضاً أودية معلقة تلتقى بالوادى الرئيسى

وترتفع مناسب قيعانها عن منسوب قاعه الذى تظهر به رواسب ركامية عملت على عدم استواء القاع.

وعادة ما تظهر تشققات أو تصدعات فى سطح الجليد قد تكون طولية وعرضية تعرف بالصدوع الجليدية crevaces تتكون مع تغير انحدار النهر الجليدى





شكل رقم (١٧٩)

من الخفيف إلى الشديد أو قد تحدث في حالة تغير سرعة أجزاء الكتلة الجليدية حيث تتعرض بسبب ذلك إلى نوع من الشد والتمزق السطحي فتتكون الشقوق العرضية مع زيادة انحدار أرض الوادي الجليدي بينما تتكون الصدوع الطولية الممتدة في موازاة اتجاه حركة الجليد في حالة تغير سرعة

الحركة ، وكثيراً ما تتقاطع هذه الشقوق إذا ما اشتد انحدار النهر الجليدي بشكل مفاجئ (صفي الدين، ص ٣٠١). ويتكون حينئذ ما يعرف بالمسقط الجليدي ice fall الذي تظهر عنده الشقوق العميقة.

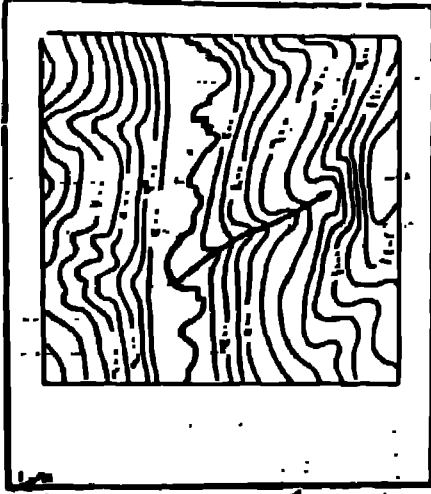
### ب- الأنهار الجليدية (ثلاجات حضبيص السفوح piedmont glaciers):

عندما تنحدر الأنهار على سفوح الجبال حتى أقدامها تخرج منها من نقطة تغير الانحدار امتدادات (السنة) جليدية قد تتصل ببعضها البعض اتصالاً جانبياً لتندمج في الأرض المنخفضة عند أقدام السفوح مكونة كتلاً جليدية واسعة داخل واد واحد تعرف باسم الكتل المندمجة coalescing glaciers، تظهر مثل هذه الكتل الآن في القارة القطبية الجنوبية وفي شبه جزيرة الاسكا حيث ثلاجة Malaspina عند أقدام جبال سانت إلياس المنحدرة نحو المحيط الهادي والتي يبلغ سمك الجليد بها أكثر من ٣٠٠ متر.

### ج- الأودية المعلقة Hanging Valleys:

الوادي المعلق عبارة عن رافد جانبي للوادي الجليدي الرئيسي وقد حفر مجراه على منسوب أعلى بحيث يلتقي بوادته الرئيسي (الوادي الجليدي) عبر مسقط جليدي ice fall، ومن المحتمل أن مثل هذه الأودية قد نتجت بهذا الشكل

بسبب التزايد المستمر في تعميق الوادى الرئيسى، وفى نفس الوقت فإن الوادى المعلق يحتوى على كمية أقل من الجليد والسى أحياناً ما يختفى منه، ومن هنا فإن تعميقه يكون بمعدل أقل بكثير من معدل نحت الوادى الرئيسى لمجره بحيث يبدو مصبه شديد الانحدار نحو قاع الوادى فى منطقة الالتقاء. كما يظهر ذلك من الشكل السابق رقم (١٣٠).



شكل رقم (١٣٠)

أما عن أهم الملامح والأشكال الناتجة عن النحت الجليدى فتمثل فى كل من:

١ - الحلبات الجليدية Cirques والحافات المستة والقمم الهرمية .

الحلبات أو الدارات الجليدية عبارة عن أحواض أصلية<sup>(١)</sup> تظهر عند رموس أعالي الأودية الجليدية، وقد عمل الجليد المتحرك على وضوحها وزيادة أعماقها وحولها فيما يعرف بالحلبات<sup>(٢)</sup> التى تعد فى الواقع من أهم

اللامح الناتجة عن النحت الجليدى حيث لا تكاد تختفى من أية منطقة تسودها التعرية الجليدية ويوضح الشكل التالى (١٣١) منطقة جبلية تظهر بها حفر ضحلة قبل تعرضها للنحت الجليدى ثم تطورها وتحولها إلى حلبات .

وتنقسم الحلبات الجليدية الحالية من الجليد - بعد انصهاره - إلى ثلاثة أقسام أو أجزاء، المنطقة الحوضية (قاع الحلبة) ثم الحافات المحيطة بها ثم العتبة المؤدية إلى الوادى الجليدى .

(١) يرى البعض أنها كان عبارة عن حفر أولية ثم تعرضت بعد ذلك للنحت الجليدى الجانبي والرأسى مما أدى إلى اتصالها ببعضها البعض وتكوين الحلبة .

(٢) تشبه الملاعب الرياضية ومدرجاتها حيث تحاط من معظم جوانبها بحافات رأسية شديدة الانحدار وتعرف بالألمانية kar وفى اسكتلندا باسم corrie وفى إسكتلندا kiedel .



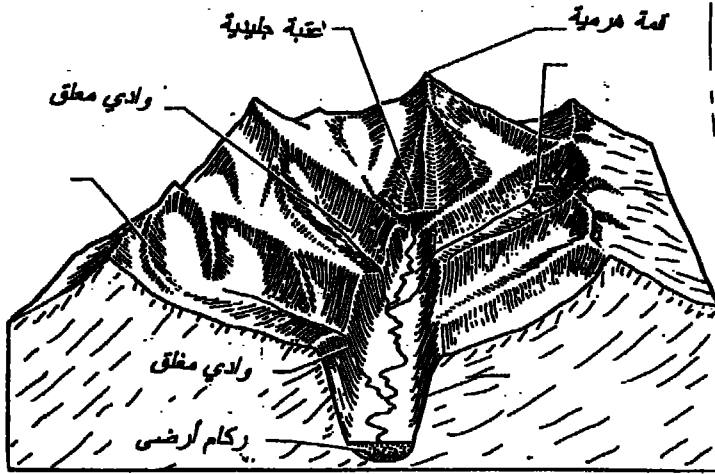
شكل رقم (١٣١)

٢ - أما  
بالنسبة  
للحافات  
المسننة - seir-  
rated  
ridges  
فهى عبارة  
عن حافات  
حائطية

حادة تفصل  
بين الحلبات

الجليدية المتعمقة تتميز جوانبها بشدة انحدارها نحو الجانبين باتجاه قاع الحلبتين الجليديتين التى تفصل بينهما.

ويظهر الشكل رقم (١٣٢) المنطقة السابق توضيحها بالشكل رقم (١٣١)



شكل رقم (١٣٢)

وقد تحديت  
قمتها وتحولت  
إلى قمة  
هرمية - pyra-  
midal pear  
بدلاً من  
الشكل  
المستدير الذى  
كانت عليه  
قبل سيادة  
عمليات  
النحت الجليدى

لها، كذلك تظهر منه حافة مسننة تفصل بين حلبتين جليديتين عميقتين تتميز كل منها بشدة انحدار جوانبها.

وبشكل عام عندما تتجاوز أكثر من حلبة جليدية تنشأ قمم منشورية أو هرمية الشكل، وكثيراً ما تتعرض الحافات المستنة للتمزق والتلاشي مع زيادة عمليات النحت الجليدى الرأسى والجانبى داخل الحلبات الجليدية.

٣ - أما بالنسبة للعتبة الجليدية **Threshold** : فتوجد فى المنطقة الواقعة ما بين الحلبة الجليدية والوادى الجليدى، تتميز بارتفاع منسوبها (منسوب القاع) حيث ينحدر الجليد متحركاً فوقها باتجاه الوادى الجليدى غالباً ما يكون فى شكل سقوط جليدى ice fall ويرى الجيومورفولوجى الأمريكى Lewis, W.V أن العتبة الجليدية قد تكونت بسبب ضعف عمليات النحت الجليدى فوقها حيث إن ثقل الجليد وضغطه عليها يكون أقل بكثير من ضغطه على قاع الحلبسة الجليدية والذى يؤدي كما رأينا إلى زيادة تعمقها بحيث يتخلف عن انصهاره تكون بحيرات بهذه القيعان وتعمل العتبات على منع تدفق مياهها باتجاه انحدار مجرى الوادى الجليدى.

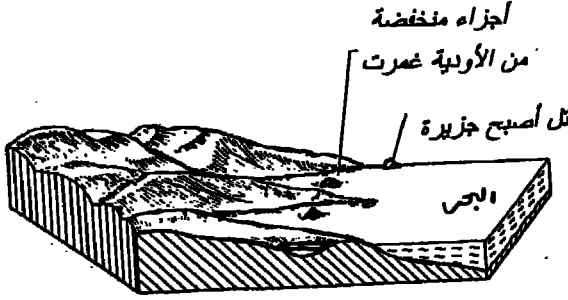
٤ - **الحوض الصخري Rock Basin** : عبارة عن حفرة فى القطاع الطولى للوادى الجليدى تتكون نتيجة لقدرة الجليد على الحركة إلى أعلى بسبب الضغط، وعادة ما تظهر فى أعلى الأجزاء العليا من الوادى وتختلف عن حقول الجليدى neve سابقة الذكر. ينتج عند انصهار الجليد تكون بحيرات طولية تحتل قيعان هذه الأحواض تعرف بالبحيرات الشريطية ribbon lakes مثل تلك البحيرة الواقعة فى أعلى نهر جلين أفون Glin Avon والتي تتجه نحو الشمال الغربى بطول مفرط مع انحصارها بين خطوط كتورية شديدة التقارب من بعضها البعض (صبرى محسوب والشريعى، ص ٢٠١). راجع الشكل التالى رقم (١٣٣).

٥ - **الصخور المحزرة (الصخور الغنمية) Roche Moutonnes** : تظهر هذه الصخور بشكلها المحرز فوق قيعان الأودية الجليدية بارزة فى أشكال محدبة نتجت بهذا الشكل بسبب عدم قدرة الجليد على إزالتها أثناء نحته الرأسى لقاع الوادى، ويبدو أثر اندفاعه فوقها واحتكاكه بها فى ظهور جانبها المواجه لأعلى الوادى الجليدى فى شكل أملس مصقول ومستدير، بينما تظهر التحزرات والحدوش على الجانب منها المواجه للمصب والذى يظهر فى شكل مجعد شديد التحرز striated وشديد الانحدار كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (١٣٤) ويرجع ذلك التحرز إلى أثر عملية الاحتكاك الجليدى وضغطه عليها والتقاطه للمفتتات الصخرية منها.





شكل رقم (١٣٥)



شكل رقم (١٣٦)

## ٦ - الفيوردات - Fi-ords

تمثل في أغلب الأحوال مصبات الأودية الجليدية بالبحار والمسطحات المائية التي قد تصل إليها، ويمكننا أن نتبع تطور مثل هذه الملامح الجيومورفولوجية (الفيوردات) من الشكلين التاليين رقم (١٣٥) ورقم (١٣٦)، فالشكل (١٣٥) يوضح المنطقة الساحلية المرتفعة أثناء سيادة عمليات

التعرية الجليدية، حيث تصبح الأودية أكثر اتساعاً وأكثر عمقاً. وبعد اختفاء الثلجات وارتفاع منسوب البحر - نتيجة لانصهار الجليد - تغمر الأجزاء الدنيا من المصب التي تتميز بجوانبها شديدة الانحدار، ويلاحظ من الشكل رقم (١٣٦) أن الماء داخل الفيورد أعمق منه عند مدخله باتجاه البحر، وتتميز سواحل الفيوردات بشدة انحدار جوانبها وزيادة أعماقها وهي بذلك تختلف عن سواحل الريا أو المصببات الخليجية.

وعادة ما تقع سواحل الفيوردات في نطاق سيادة الرياح العكسية الغربية westerlies وفي الجوانب الغربية من القارات حيث شهدت هذه المناطق كما رأينا تغطية جليدية سميكة أثناء البلايستوسين منها الجليد الفنوسكاندى وجليد جرينلاند وغيرها.

(\* يرى البعض أن الفيوردات قد تكونت بسبب تعرض تلك السواحل لحركات تكتونية وأصبح هذا الرأي قديماً أثبتت الدراسات الحديثة أن الجليد هو العامل الرئيسى فى تكوينها وإن كان هذا لا يمنع تأثر بعضها باتجاه الخطوط الصدعية.

ومن أشهر سواحل الفيوردات سواحل شيلي وخاصة فى المنطقة الساحلية المقابلة لخليج أرشيلاجو وسواحل جرينلند وسواحل النرويج وكولومبيا البريطانية.

## ثانياً - الأشكال الأرضية الناتجة عن الإرساب الجليدى

يتم ترسيب المواد الصخرية المنحوتة من الجبال بواسطة الأودية الجليدية فى مواضع مختلفة من مجرى الوادى فقد ترسب داخل مجرى الوادى ذاته أو ترسب عند مصبه، وعندما تتراكم هذه الفتحات عند المصب تظهر فى أشكال إرسابية مميزة مثل الحافة الطولية التراكمية المعروفة باسم الركام النهائى *terminal morain* والذى يؤدى تراكمه إلى حجز المياه أمامه باتجاه منبع الوادى الجليدى لتتكون بذلك بحيرة حوضية طولية الشكل، ومع استمرار عمليات الترسيب بقاع هذه البحيرة تتلاشى فى نهاية الأمر تاركة سهلاً بحيرياً بقاع الوادى الجليدى.

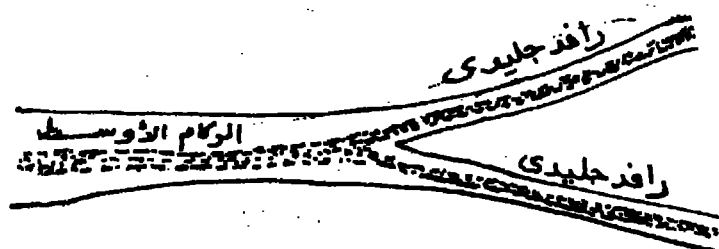
ومن مظاهر الإرساب الجليدى فى الأراضى السهلية المنخفضة ما يعرف بالركام الأرضى *ground morain* أو بسهل التل *till plain* يتميز مظهره العام بالتموج مع ظهور انبعاجات وتقعرات خفيفة فوق السطح.

وتوجد كذلك ظاهرة الكشبان الجليدية (الدرومليتز) *drumlins* وذلك فى شكل تجمعات تعلو سطح الركام النهائى يبدو مظهرها العام فى تجمعات فتاتية تأخذ شكل تلال منخفضة مستديرة *circular* أو قبابية *domal* متباينة فى أحجامها وأبعادها قد يصل طول بعضها إلى نحو الكيلومترين بارتفاع مائة متر، عادة ما تمتد محاورها فى اتجاه حركة الكتل الجليدية داخل الوادى.

ومن أشكال الإرساب الجليدى أيضاً الصخور الضالة *erratic rocks* وهى عبارة عن كتل صخرية كبيرة الحجم توجد فى مناطق مختلفة تماماً عن نوع صخورها حيث تم جلبها بفعل الثلجات (الأودية الجليدية) من أعاليها بالمنحدرات الجبلية العليا وكثيراً ما تظهر بها الخدوش والتحزرات التى تدل على أثر احتكاكها بالجليد الذى نقلها بعيداً عن مصادرها.

كذلك تمتد أشكال إرسابية على طول مجرى الوادى الجليدى تعرف بالركام الجانبي *lateral morain* تظهر قرب جوانبه وفى محاراتها. وعندما تلتحم (تندمج)

الركامات الجانبية لنهرين جليديين عند التقائهما يتكون ما يعرف بالركام الأوسط medial morain كما يتضح ذلك من الشكل رقم (١٣٧). وتعد ظاهرة الكام



شكل رقم (١٣٧)

Kames من

ظاهرات

الإرساب

الجليدي المتميزة

التي تبدو في

شكل تلال أو

ربوات متموجة

تتكون من

مفتتات رملية وحصوية تأخذ أشكالاً مخروطية أو دالات مروحية غير منتظمة تنتشر كثيراً في السهول الوسطى بالولايات المتحدة الأمريكية.

وتعد الحافات الطولية المعروفة بالإسكز eskers من ظاهرات الترسيب الجليدي النهري glacio fluvial تبدو في الطبيعة طولية الشكل وعادة ما تتكون من رمال خشنة وحصى جيد التصنيف.

وفيما يلي دراسة تفصيلية لأهم الأشكال والملامح الأرضية الناتجة عن الإرساب الجليدي:

#### أ- الركام الجليدية Glacial Morains :

تنقسم الركامات الجليدية إلى الأنواع التالية :

#### ١- الركامات الجانبية Lateral Morains :

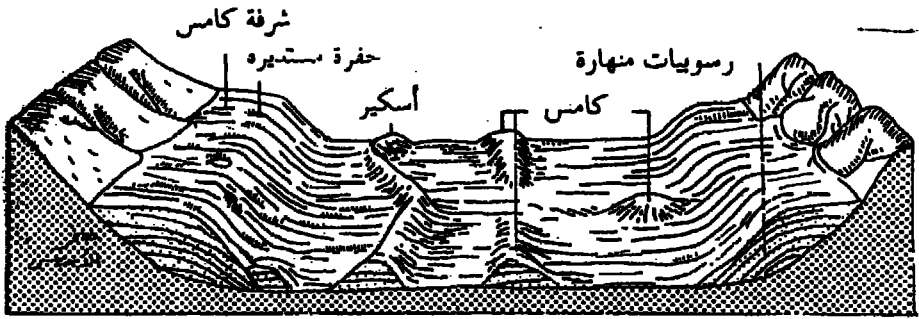
تتمثل في الرواسب والمفتتات الصخرية التي تتساقط من جوانب الوادي الجليدي بفعل عمليات التجوية الفيزيائية والانهيارات الجليدية avalanches وتتراكم هذه الرواسب في شكل خطوط طولية متقطعة على جوانب الوادي الجليدي، وقد تظهر في أحد الجوانب دون الجانب الآخر تعتمد في ذلك على طبيعة الصخور المكونة لجوانب الوادي الجليدي وعلى مدى توافر المواد الصخرية المفككة، كما أن



الأنهار التي تشغل الوادى الجليدى فى مرحلة لاحقة بعد انصهار الجليد تعمل فى كثير من الأحوال على تقطيع هذه الركامات أو تعمل على إزالتها بفعل ما تقوم به من عمليات نحت جانبي. وأحياناً ما تترك هذه الركامات بينها وبين حافة الوادى مناطق منخفضة تشغلها بحيرات طولية صغيرة تتكون بعد انصهار الجليد.

## ٢- الركام الأوسط Medial Morain :

يظهر هذ الشكل من أشكال الإرساب الجليدى عندما يلتقى واديان جليديان أو أكثر فى مجرى واحد، كما أنها قد تظهر فى مجرى الوادى الجليدى فى حالة التحام ركامان جانبيين وهى كطبيعة الرواسب الجليدية تتكون من مفتتات صخرية



شكل رقم (١٣٨)

مختلفة فى حجم جباتها وغير مصنفة بشكل جيد شكل رقم (١٣٨). وفى أغلب الأحوال تعمل الأنهار المائية التى تتشكل بعد انصهار الجليد على إزالتها.

## ٣- الركام النهائى Terminal Morain :

الركامات النهائية عبارة عن مفتتات صخرية تترسب عند نهاية الوادى الجليدى بعد أن ينصهر الجليد مما يدل على حدوث عملية الترسيب عند نهاية النهر الجليدى وكانت تعرف فيما مضى بالركامات التراجعية recessional morains،

ويتوقف تكون الركامات النهائية على عدة عوامل تتمثل أهمها فى الفترة التى تستقر فيها الجبهة الجليدية المتحركة دون أن تتحرك وكمية المفتتات الصخرية التى تنقلها الثلجة (الوادى الجليدى) وقدرة النهر الجليدى على نحت المواد الصخرية بنفس السرعة التى تراكم بها هذه المواد (صفى الدين، ص ٣١٤) وعلى ذلك نجد أنه ليس شرطاً أن تكون هذه الركامات النهائية عند نهايات (مصبات) كل الأودية الجليدية.

ويوضح الشكل التالى رقم (١٣٩) امتداد نطاق من الركامات النهائية من الشمال الشرقى إلى الجنوب الغربى.

### ثالثاً. الإرساب الجليدى النهري Glaciofluvial Deposition :

يوجد العديد من الأشكال الأرضية التى تنتج عن انصهار الجليد وتدفق الماء الناتج عن هذا الانصهار فى شكل أنهار مائية تحت مجارى الأودية الجليدية وتعمل هذه المياه على إعادة تصنيف الرواسب الجليدية - التى تم ترسيبها بفعل الجليد فى مرحلة سابقة - بدرجة تتناسب مع طول المسافة التى قطعها النهر قبل القيام بعملية الترسيب.

وتعرف الأشكال الناتجة عن الإرساب بالطريقة السابقة بأنها أشكال رسوبية جليدية نهريّة، وأهمها الكام والإسكرر والكتل الضالة والكثبان الجليدية وغيرها.

وفيما يلى إيجاز خصائص هذه الأشكال الجليدية النهريّة :

#### ١ - الكام Kams :

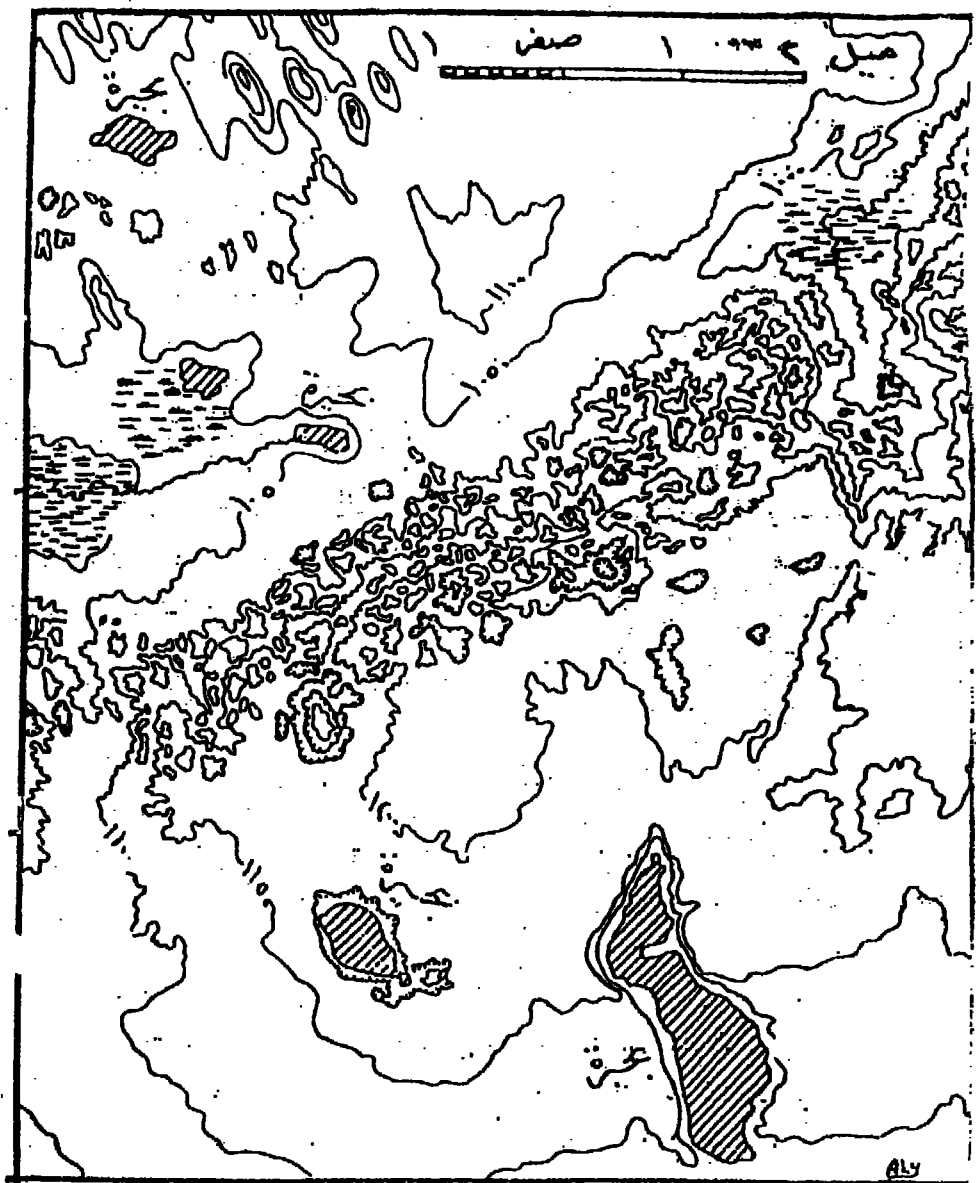
تبدو فى شكل تلال صغيرة تتكون من مفتتات جليدية نهريّة جيدة التصنيف يعتقد بأنها قد أرسبت فى أول الأمر فوق أسطح جليدية أو على جوانب مجارى جليدية فى المناطق المنخفضة منها<sup>(١)</sup>.

وتعرف تلال الكام أحياناً بدالات الكام Kames deltas ومعظم تكويناتها من الرمال والحصى وعندما تظهر فوق سطح الأرض فإنها تتسبب فى عدم انتظامه

---

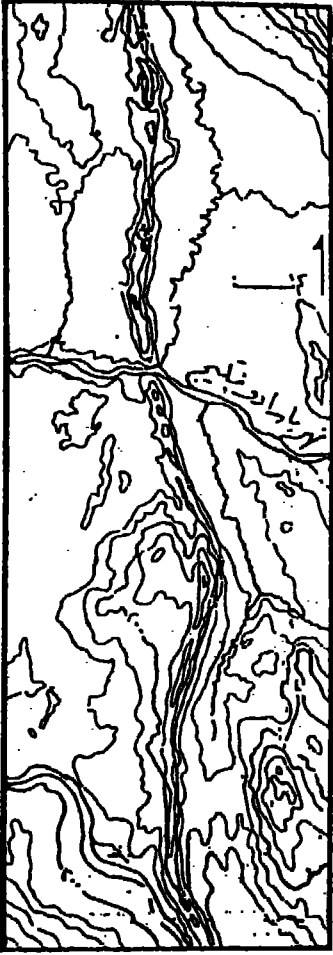
(١) يعتقد بأنها ترست فى بداية الأمر فوق سطح الجليد فى بعض التجويفات المستديرة التى تظهر فوق سطح الجليد أو فى الشقوق.

وتنتشر كثيراً مثل هذه الظاهرات والأشكال في سهول أمريكا الشمالية وشمالي  
 غربي أوروبا مع تميزها بوجود تجويفات ومنخفضات ضحلة على طول امتداد  
 قممها (جودة، ص ٤٥٢) راجع الشكل رقم (١٣٧).



شكل رقم (١٣٩)

## ٢ - الإسكروز Eskers :



شكل رقم (١٤٠)

تبدو كما يظهرها الشكل التالي رقم (١٤٠) في شكل حافات طولية ضيقة narrow ridge تتكون من الرمال والحصى ممتدة على طول قاع مجرى مائي، وقد تم ترسيبها بعد انصهار الجليد حيث قامت المياه الجارية بإعادة تشكيلها وتصنيف رواسبها بحيث أصبحت تلك الرواسب جيدة التصنيف تتخذ شكل الطبقات وتبدو حبيباتها الرملية والحصىوية بوضوح الشكل مما يدل على حدوث عملية دحرجة rolling واستدارة لها من خلال تحركها كحمولة قاع bed load للنهر.

وعادة ما يكثر وجود الإسكروز قرب جوانب الأنهار المتعرجة في امتدادها كأنعكاس لانعطاف القناة النهرية التي شكلتها<sup>(١)</sup>.

## ٣ - الكتل الضالة Erratic Blocks :

عبارة عن جلاميد وكتل صخرية تم نقلها بواسطة الأنهار الثلجية من مناطق بعيدة (المنابع العليا لتلك الأنهار) وتضعها في أماكن بعيدة عن مصادرها الأصلية حيث كثيراً ما تظهر على سبيل المثال كتل جرانيتية يصل وزنها إلى آلاف الأطنان في مناطق مكونة جيولوجياً من صخور رسوبية من الحجر الجيري أو الرملية. معنى ذلك أن هذه الكتل تختلف في نوع صخورها عن المحيط الذي توجد به ومن ثم سميت بالكتل الضالة أو الشاذة، وكثيراً ما تظهر منتشرة في مساحات واسعة

(١) قد تتشابه في وجودها قرب جوانب الأنهار مع الركامات الجانبية ولكنها تختلف عنها فيما يميزها من طبقة واضحة وتصنيف جيد لرواسبها.

من سهول أوروبا وفي ولاية داكوتا الشمالية بالولايات المتحدة الأمريكية وولاية منسوتا وكثيراً ما تقف كعقبات أمام النشاط الزراعى بتلك المناطق .

ويعد أجاسيز Agaceiz, L أول من أطلق عليها هذا الاسم ووجودها فى الحقيقة يعد دليلاً مفيداً بالنسبة للمتخصصين حيث يساعدهم كثيراً فى تتبع اتجاهات حركات الجليد ومعرفة امتداداته .

#### ٤ - الكثبان الجليدية Drumlins :

عبارة عن كدوات طولية تتكون من جلاميد ومفتتات دقيقة من الصلصال تمتد محاورها الطولية باتجاه تحرك الغطاء الجليدى المسئول عن تكونها، وتراوح أحجامها تراوحاً كبيراً، فقد تظهر فى شكل ربوات صغيرة فى بعض المواضع ، بينما يصل طولها إلى نحو الكيلومترين فى مواضع أخرى مع ارتفاع يزيد على تسعين متراً، وعندما تظهر فى أعداد كبيرة فإن مظهرها العام فى هذه الحالة يعرف بتضاريس سلال البيض basket of eggs relief حيث إنها تبدو كبيض مطمور فى الرواسب لا يظهر إلا النصف الأعلى منه ومن ثم فإن السطح الذى تظهر به يتميز بالتموج وعدم الانتظام .

وبالنسبة لمصدر الرواسب التى تكونت منها الكثبان الجليدية فإنها غير معروفة وإن كان من المحتمل أنها تمثل مفتتات من الركامات الأرضية ground morains .

وتوجد فى أيرلندا الشمالية وشمال إنجلترا (فى وادى إيدن Eden Valley ) أشهر الكثبان الجليدية فى العالم وتظهر الكثبان الجليدية كذلك فى ولاية وسكونسن قرب ساديسون وفى جنوب بحيرة أونتاريو وسط ولاية نيويورك وفى ولايتى منسوتا وداكوتا الجنوبية .

ويظهر من الشكل التالى رقم (١٤١) مجموعة من الكثبان الجليدية غرب ولاية نيويورك لاحظ أحجامها وامتداد محاورها .

---

(\*) يتمثل الفرق بينهما فى كون الأولى ترسبت تحت جليد متحرك ، أما الثانية فقد تكونت وترسبت بعد انصهار الجليد .

## ٥ - رواسب الجلاميد والحصى (سهول الحريث أو العزقة) Till Deposits :

عبارة عن رواسب مكونة من الصلصال الناعم المختلط بالجلاميد الصخرية وعادة ما توجد بصفة خاصة عند نهايات الغطاءات الجليدية حيث يتعرض الجليد عندها للانصهار أسرع من أى جزء آخر منه مما يؤدي إلى إرساب المواد التي يحملها فى شكل سلسلة من التلال والتي إذا ما ترسبت فوق سطح غير منتظم فإنها تؤدي إلى انتظامه والعكس إذا ما ترسبت فوق سطح مستوى فإنها تؤدي إلى عدم انتظامه وتموجه .



ويعرف الصخر المكون لسهول التل (الحريث) بالتليت أو صخر الحريث tillite .

وقد استطاع علماء الجلاسيولوجى من خلال دراسة توزيع رسوبيات الحريث (العزق) للتلاجات القديمة أن يميزوا بين عدة فترات جليدية أثناء الزمن الرابع (البليستوسين) .

شكل رقم (١٤١)

## اشكال رسوبية جليدية خارج نطاق الجليد الدائم

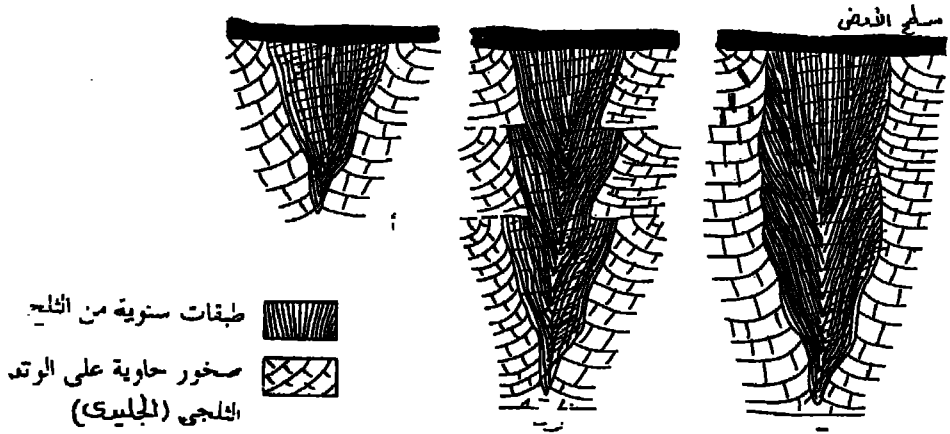
تشكل بعض الملامح التضاريسية الإرسابية فى العروض ذات المناخ البارد بسبب تتابع عمليات التجمد والذوبان التي تتعرض لها التربة فى هذه العروض ويظهر فى كثير من هذه المناطق نطاقان من التربة أحدهما وهو الأول يتأثر بانصهار الجليد فى فصل الربيع ويعرف بنطاق التجمد الموسمي perennally frozen zone

والنطاق الثانى ويعرف بنطاق التجمد الدائم perma frost وأحياناً ما يعرف بنطاق الصخور الباردة المتجمدة cryolithic zone (١).

وأهم ما يرتبط بذلك من ملامح ما ينتج عن سيلان التربة solifluxion من أشكال مثل مدرجات انزلاق التربة terraces of altiplanation وتظهر فى المنحدرات الجليدية الخالية من الغطاء النباتى وتدفقات صخرية فيما تعرف أحياناً بمصطلح block train بمعنى قطار من الكتل الصخرية.

وتوجد كذلك تضاريس تنتج عن تشقق التربة المتجمدة وامتلاء هذه الشقوق برواسب خشنة أو قد تتعرض للتعرية المائية التى تؤدى إلى توسيعها فيتكون ما يعرف بالأشرطة الحجرية stone ribbons وتضاريس نتوئية خشنة تشبه تضاريس الكدوات. ومن الأشكال أيضاً المرتبطة بتشقق التربة شقوق الصقيع المضلعة fissure frost polygons والتربة ذات البناء المضلع poly gonal sifactueres.

وهناك ما يعرف بالوتد الجليدى ice wedge ويتكون فى شقوق التربة التى تمتلئ بالمياه التى تتعرض للتجمد فى فصل الشتاء، ومع تكرار التجمد والذوبان يتكون الوتد الجليدى كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (١٤٢).



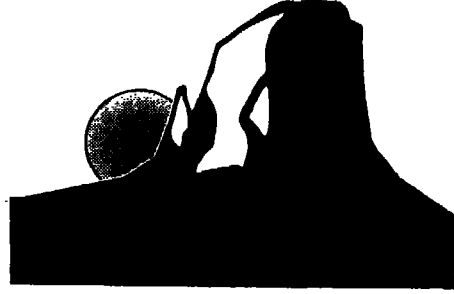
شكل رقم (١٤٢)

(١) تعنى كلمة Cryos اليونانية «برد».

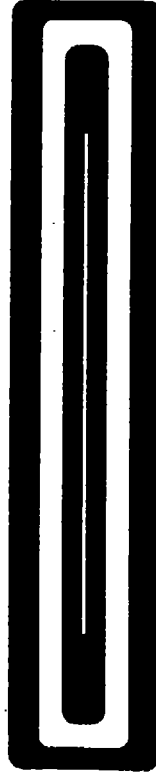




## الفصل العاشر



الإنسان ودوره في تشكيل سطح الأرض  
[ اثره في العمليات والأشكال الجيومورفولوجية ]





## مقدمة :

الواقع أن التفاعل بين الإنسان والمكان الطبيعي عملية بالغة التعقيد لدرجة يصعب تمامًا بل يستحيل كثيرًا متابعتها وقياس نتائجها.

والإنسان في تفاعله - كأحد مدخلات البيئة الطبيعية - مع سطح الأرض يعمل في الحقيقة على إعادة توزيع المادة والطاقة المخترزة بحيث يتم حدوث تغيير في حجمها وأبعادها وتغير أيضًا في عمليات تشكيلها المرتبطة بالطاقة وصور تحولها.

وتدخل الإنسان بدرجات مختلفة يعنى حدوث تغييرات وتعديلات متباعدة قد تصل إلى ظهور أشكال أرضية ترجع بكاملها إليه بحيث يمكننا القول أنها من صنعه دون غيره من عمليات طبيعية مثل حفر المناجم أو فوهات القنابل وعمل العديد من السفوح الاصطناعية *artificial slopes* والأنفاق التحتية والقنوات المائية وهبوط مواضع من سطح الأرض كنتيجة لعمليات استخراج السوائل من مياه وتروول وغيرها الكثير من الأشكال التي تعد من صنع الإنسان *man made land forms*.

وكل هذه الأشكال ترتبط أساسًا بنشاطات الإنسان المختلفة وطموحاته في تكييف البيئة تبعًا لما يريد، غير قانع بمعطياتها، فزراعة الإنسان للأرض تؤدي إلى تعرض التربة للانكماش مما ينعكس على عدم قدرتها على تشرب المياه كذلك كثيرًا ما يحدث مع تكرار السير فوق التربة خلق ممرات أقدام *foot paths* تنتهي بتكوين جريان سطحي محلي وبالتالي حدوث تعديل بشكل كبير في النظام الهيدرولوجي لسطح الأرض مما ينعكس بدوره في شكل سلسلة من التغييرات في أشكال سطح الأرض.

وتؤدي عمليات قطع الغابات *deforestation* إلى تعرية التربة وتعرضها بشكل حاد لعمليات الانجراف كما سيتضح ذلك بالتفصيل خلال صفحات هذا الفصل.

كذلك نجد أن التوسعات العمرانية وامتدادات المدن تؤدي إلى زيادة المسطحات الأرضية المرصوفة (الكثيمة) وبالتالي حدوث تغيرات فى ميزان المياه بمنطقة الحوض النهري يتمثل عادة فى زيادة معدلات الجريان السطحي وغير ذلك من تغيرات أبرزها إزالة كميات ضخمة من المفتحات الصخرية المكونة لسطح الأرض.

وقد حاول المؤلف أن يحدد إطاراً عملياً يعالج داخله دور الإنسان فى كل عملية جيومورفولوجية على حدة وما يرتبط بها من أشكال موضحةً صور هذا التدخل واختلافه زمانياً وأثر ذلك على حدوث تعديلات وتغيرات فى أشكال سطح الأرض وإظهار العديد منها والذي ارتبط فى نشأته بالإنسان دون غيره من عمليات طبيعية أخرى.

وقد أخذ المؤلف فى اعتباره تعقد التغيرات التى أوجدها الإنسان وسرعة معدلاتها بشكل يفوق مئات المرات المعدلات الطبيعية فى عمليات التشكيل وخاصة مع الوسائل المتقدمة التى يستخدمها الإنسان فى تدخلاته المختلفة والتى تزداد تأثيراً مع تقدم الإنسان وزيادة متطلباته من بيئته.

وفى هذه الدراسة أيضاً يجب علينا ألا نعتبر الإنسان عاملاً جيومورفولوجياً كما يحلو للكثيرين هذه التسمية فالإنسان أكبر بكثير من ذلك فلا يمكن لنا أن نقارنه مثلاً بنهر أو بتيار يجرى، فلكل عامل عملياته المحددة وأشكاله المميزة، والإنسان ككائن حى مؤثر بشكل لا نظير له لا يرتبط فى تأثيره الجيومورفولوجى بدورة تعرية أو بشكل معين أو أكثر من شكل أرضى ولا يلتزم بعملية جيومورفولوجية بعينها أو أشكال بذاتها حيث يؤثر فى كل أشكال سطح الأرض وعمليات تشكيلها بدرجات مختلفة.

وعلى ذلك فقد عالج المؤلف أثر الإنسان على أشكال سطح الأرض من خلال نشاطاته وممارساته المختلفة وكيف أخل بكثير من العمليات الطبيعية وإدراكه لذلك ليقوم بمحاولات لاحقة لإعادة التوازن لعمليات التشكيل الجيومورفولوجية داخل نظمها الطبيعية، مثلما حدث مع الأنهار والسواحل وهبوط سطح الأرض وغيرها كما سيتضح تفصيلاً فى هذا الفصل.

## أولاً - الإنسان ودوره فى عمليات التجوية وأشكالها الأرضية:

يلعب الإنسان من خلال ممارسته للعديد من الأنشطة المختلفة أدواراً رئيسية فى زيادة فعاليات عمليات التجوية وتنوع الأشكال الأرضية الناتجة عنها سواء كان ذلك بشكل مباشر أو غير مباشر.

تمثل أهم الأدوار البشرية المباشرة فى إحداث تجوية للصحور وتفتيت لها من خلال ما يمارسه الإنسان من نشاطات زراعية وتعدينية ونشاطات مرتبطة بعمليات التحجير quarrying والحفر dredging والإنشاءات المختلفة إلى جانب ما تخلفه الحروب من آثار تدميرية موضعية مثل الحفر الناتجة عن إلقاء القنابل والتفكك الذى تتعرض له الطبقات الصخرية السطحية من خلال حركة المجزرات والمركبات وغير ذلك من العمليات الحربية.

فمن خلال ممارسته للنشاطات الزراعية يقوم بحرث التربة وتقليبها، ومن ثم يعرضها للتفتت وخاصة مع تطور وسائل التقنية المستخدمة من آلات ميكانيكية ثقيلة، وينتج عن ذلك بالتالى سهولة انجراف التربة وتعريضها بفعل الرياح أو بفعل مياه المطر ومياه الري.

وجدير بالذكر أن تربية الحيوانات تعمل على تفكك التربة من خلال اقتلاعها للنباتات من جذورها وعمل حفر فى الأرض إلى جانب أن وجودها بأعداد رائلة يؤدى إلى حدوث ضغط على التربة واندماج لجزئياتها (تصلبها) مما يؤدى بدوره إلى تناقص فى معدلات التشرب infiltration capacity.

وتوجد الكثير من الحيوانات التى تعمل على إحداث خندقة أرضية (تخذد التربة) بجانب ما تقوم به من رعى جائر overgrazing تقضى من خلاله على النباتات التى تعمل على تماسك الرواسب والأشكال الرملية. مما يؤدى إلى تفكك هذه الأشكال تفككاً موضعياً بحيث تصبح صيداً يسيراً - فى مرحلة لاحقة - لعمليات التعرية الهوائية أو المائية.

(\*) يقدر بأنه كل عام تجرف مياه المطر والري ما يعادل ٧٥ بليون طن من التربة المنتجة واتى تجرد طريقها نحو البحار والواقع أنه من الصعب تعويض التربة المنجرفة وخاصة إذا عرفنا أن طبقة من التربة سمكها ٢,٥ سم تحتاج لتكوينها ما بين ١٠٠-٢٥٠ سنة تبعاً لنوع التربة بينما انجرافها لا يستغرق أكثر من ١٠ سنوات. (الساعاتى، ص ٤٥).

والحقيقة أن هناك العديد من التقنيات الزراعية التي ترتبط بعمليات تجوية حادة للصخور سوف تدرس تفصيلاً في مواضع لاحقة من هذا الفصل مثل ما يقوم به الإنسان من تدرج لسفوح التلال hill slope terracing من أجل رراعتها وما يترتب على ذلك من تغير في خصائص السطح وإزالة كميات ضخمة من صخوره. ولنا أن نتصور مدى ضخامة هذه العملية إذا ما عرفنا أن تحول سطح انحداره نحو ١٥ درجة إلى مدرجات عرضها نحو المترين تعنى إزالة آلاف الأطنان من صخور السطح الأصلي مع الأخذ في الاعتبار وجود علاقة طردية بين كميات المواد الصخرية المنقولة (المزالة) ودرجة انحدار السطح المطلوب رراعه بهذه الطريقة، بمعنى أبسط كلما زادت درجة انحدار السطح احتاج تدرجه إزالة كميات أكبر من المواد الصخرية.

وإذا كنا نعرف أن الغطاء النباتي الطبيعي يعد من أفضل سبل حماية التربة من الانجراف، فإن إزالة أشجار الغابات وإحلال رراعة المحاصيل محلها يعنى بدوره كشف التربة وتعريتها، على سبيل المثال نجد أن (Morgan, 1974) قد لاحظ حدوث نحت للتربة في مناطق رراعة المحاصيل في منطقة كمبردج شاير بلغ معدل تخفيض السطح نتيجة لذلك وفقاً للقياسات التي قام بها ٢٥, مليمتر خلال أيام قليلة في مساحة تجريبية قدرها ٣,٣ هكتار.

كذلك قام (Doglas, 1967) بحساب كميات الرواسب الناتجة عن النحت بسبب إزالة الغابات في جزيرة جاوة فوجدها قد ارتفعت معدلاتها من ٩٠٠ متر مكعب لكل كيلومتر مربع في السنة في عام ١٩١١ إلى ١٩٠٠ متر مكعب لكل كيلومتر مربع في السنة عام ١٩٣٤ وذلك بعد إحلال رراعة المحاصيل الحقلية محل الغابات المدارية هناك (White, L.D, etal, 198, p450).

ولا ننسى هنا ما يقوم به المزارعون وسكان المناطق الريفية من تجريف للطبقة السطحية الخصبة من التربة بسمك قد يزيد على المتر في مساحات واسعة مما يؤدي إلى حدوث تدمير للتربة وإزالة لا يمكن أن يعادلها في السرعة أية عمليات طبيعية مهما كانت طاقتها. وهذا ما كان يتم في مناطق كثيرة من الودادى والدلتا في مخالفة صريحة للقوانين وذلك بهدف صناعة الطوب وغير ذلك من استخدامات.

## - عمليات التحجير والتعدين **Quarrying and Mining Processes** :

عرف الإنسان عمليات التحجير منذ فترات رمنية قديمة، ففي عصور ما قبل التاريخ prehistory ارتبطت كثير من الكهوف man made caves والحفر بعمليات التحجير التي مارسها الإنسان في تلك الفترات القديمة، واستمر الإنسان حتى الوقت الحاضر في ممارسة هذا النشاط لسد حاجاته من تلك الصخور لاستخدامها في البناء أو رصف الطرق وغير ذلك.

وهو في ممارسته لذلك النشاط وغيره من أشكال الصناعات الاستخراجية الأخرى يقوم بتعديل سطح الأرض وتكوين أشكال أرضية من صنعه سواء منها ما هو هدمي (نحتي) من الحفر pits والكهوف سابقة الذكر أو إرسابي مثل تراكمات الصخور بعد نقلها كما سيتضح لنا بالتفصيل فيما بعد.

ولتوضيح أثر ما سبق على سطح الأرض نجد على سبيل المثال أن استخراج الطباشير في منطقة إيست إنجلترا ببريطانيا في العصور الوسطى قد خلف وراءه ٣٠ ألف حفرة وبركة، ويقدر بأنه في بريطانيا يتم سنويًا حفر ثمانية كيلومترات مربعة من الأرض لاستخراج الرمل والحصى وأربعة كيلومترات مربعة لاستخراج الطباشير والحجر الجيري ونحو ١,٨ كيلومتر من أجل الحصول على الطغلة، وكل تلك العمليات تدخل إذا صح التعبير ضمن عمليات التفكك الميكانيكي البشري للصخور من أجل سد حاجة صناعة الطوب في المقام الأول. ولا يتوقف الأمر هنا على تشكيل حفر وأشكال فتحات أخرى ولكنه يتمثل فيما يستخرج منها - من الحفر - من رواسب ومخلفات تبدو في أشكال مورفولوجية واضحة نتيجة لكبر أحجامها.

كذلك يؤدي استخراج الملح الصخري rock salt من باطن قشرة الأرض إلى حدوث هبوط أرضي نتيجة لتفريغ القشرة من جزء من مكوناتها، ويؤدي ذلك أيضًا إلى تكوين برك مائية ملحة وإلى غير ذلك من آثار.

وقد قدر بأن تحجير الحجر الجيري في تلال منديب Mendip Hills في منطقة سومرست Somerset - حيث يتم إزالة آلاف الأطنان - يؤدي إلى حدوث نقص في المواد الصخرية يقدر بـ ٨٠٠ متر لكل كيلومتر مربع من مكاشف طبقات الحجر

الجيرى بالمنطقة وأن ذلك القدر يزيد على معدلات التجوية والنحت الطبيعية بما يتراوح بين ٨ و ١٦ مرة.

ولنا أن تصور أيضاً مدى ما أحدثته القراعة من تعديلات لسطح الأرض من خلال عمليات التحجير الضخمة التي قاموا بها لبناء معابدهم ومقابرهم حيث جلبوا لها آلاف الأطنان من العديد من المحاجر المنتشرة في المناطق المختلفة وكيف أثر ذلك في تعديل السفوح من خلال إزالة صخورها ونقلها بعيداً عنها.

وهناك بالقرب من مارلبورو وعلى بعد عشرة كيلومتر منها يربض بناء ضخيم Silsbury Hill بارتفاع ٤٠ مترًا فوق مساحة قدرها ١,٢ هكتار قدر البعض أن تشييده قد تطلب استخراج نحو ٣٥٠ ألف متر مكعب من الصخور ويمكننا أن نقيس على ذلك آلاف الحصون والقلاع التي استخدمت في بنائها ملايين الأطنان من الصخور التي احتجرت من التلال والجبال وغيرت كثيراً من أبعادها وملامحها الطبيعية بمعدلات تفوق كثيراً جداً عمليات النحت الطبيعية بأنواعها ودرجاتها المختلفة.

وتشبه عمليات التعدين سواء المكشوف منها أو الباطنى عمليات التحجير سابقة الذكر وذلك فى الآثار المورفولوجية التى تتركها كل منها، وخاصة التعدين الباطنى underground mining الذى يتطلب عمليات حفر عميقة وإنشاء أنفاق تحتية وما يرتبط بذلك من إحداث تغييرات واضحة فى خصائص الصخور - التوازن الإستاتيكي للصخور - حيث تعد حركة الصخور حول المنشآت تحت الأرضية من أهم المشكلات التى ترتبط بصناعة التعدين وخاصة أن معظم حوادث المناجم (وخاصة مناجم الفحم) كانت بسبب انهيار الصخور المحيطة بفتحات المنجم، إلى جانب ذلك تعد فتحات المناجم وما يتخلف عنها من مفتحات صخرية مرتبطة بالمعدن، وتراكمها قرب المنجم من الأشكال الأرضية المرتبطة بعمليات التعدين كنشاط بشرى. مثال على ذلك تلك الحفرة الضخمة المعروفة باسم بنجهام كانيون Bingham Canyon بولاية يوتاه الأمريكية التى نتجت عن عمليات تعدين النحاس، حيث استخراج منها ٣,٣٥٥,٠٠٠ طنًا من الخامات الحاملة للنحاس من مساحة قدرها ٧,٢١ كيلومتر مربع بعمق ٧٧٤ متر وهى كمية تعادل سبع مرات كمية الرواسب التى نتجت من حفر قناة بنما. وهناك أمثلة عديدة من مناجم



التعدين فى مصر سواء القديم منها منذ عصور الفراعنة حيث تظهر فتحات مناجم الذهب بالصحراء الشرقية التى تتج فيها الفراعنة عروق الديوريت الحاملة للذهب فى الصخور النارية قرب مدينة القصير وغير ذلك الكثير كما يتضح أثر عمليات تعدين فوسفات منطقة أبو طرطور على تغيير العديد من ملامح سطح الأرض بالمنطقة ليس فقط من خلال فتحات المنجم واستخراج الفوسفات ولكن ما ارتبط بعمليات التعدين من تسوية للأرض وعمل حفر اختبار وتمهيد مساحات واسعة لإنشاء مساكن العاملين وغير ذلك الكثير من التعديلات التى قد لا نشعر بها كثيراً لبعدها عن مناطق المعمور الرئيسية بالوادي والدلتا. كما أن استخدام المفرعات فى عمليات التعدين تؤدى كثيراً إلى إحداث تدمير للصخور بشكل كبير ومؤثر فى تعديل سطح الأرض.

وفى الوقت الحاضر نجد أن هناك الكثير من الممارسات التى يقوم بها الإنسان من أجل إنشاء المدن والتوسعات العمرانية وما يتطلب ذلك من تسوية للأرض levelling ارتبطت بعمليات هدم للمناطق التضاريسية الموجبة positive relief مع استخدام موادها الصخرية فى ملء المناطق المنخفضة low lying areas، أى أن الإنسان قد قام بعملية تسوية للأرض فى محاكاة لعمليات التشكيل الخارجية بهدف تحقيق أغراضه وسد حاجاته ومتطلباته.

كذلك ظهرت تعديلات عديدة لسطح الأرض من خلال حفر القنوات الاصطناعية مثل قناة السويس وقناة بنما وقناة كييل وغيرها الكثير مما أدى إلى حدوث تغييرات فى طبيعة سطح الأرض من خلال شق الصخور واستخراج نتاج الحفر من الصخور وتراكمها فى شكل أقرب إلى التلال الصخرية السائبة فى المناطق المتاخمة لهذه القنوات مثلما الحال فى قناة السويس.

#### - الحروب والعمليات العسكرية وأثرها فى التجوية وتشكيل سطح الأرض:

تلعب الحروب وما يرتبط بها من عمليات عسكرية دوراً كبيراً فى ترك آثارها التدميرية على شكل سطح الأرض بشكل مباشر يتمثل أساساً فيما يتج عن حركة المجنزرات والمركبات الثقيلة من تدمير للأشكال الأرضية التى تتحرك فوقها سواء كانت إرسائية كالكشبان الرملية والنباك والسيخات وغيرها أو كانت أشكالاً تجمائية مثل التلال والسفوح والربوات والأسطح الصخرية وغيرها.

كذلك تظهر آثار العمليات العسكرية من خلال عمليات حفر الخنادق الطولية والحفر البرميلية وغيرها من العمليات التي تمثل في حد ذاتها ملامح من صنع الإنسان إلى جانب تأثيرها على الأشكال الجيومورفولوجية الطبيعية.

وتعد القنابل والمتفجرات المستخدمة في الحروب من أكثر الوسائل العسكرية تدميراً للصخور وتشكيلاً لسطح الأرض بالمناطق التي تتعرض لها.

ففي دراسة لكل من (Westing and Pfeiffer, 1972) قدرا عدد الفوهات التي نتجت عن إلقاء القنابل على أراضي الهند الصينية فيما بين عامي ١٩٦٥ و ١٩٧١ بنحو ٢٦ مليون فوهة تغطي مساحة ١٧١,٠٠٠ هكتار أراحت نحو ٢,٦ بليون متر مكعب من الصخور.

كذلك شهدت شبه جزيرة سيناء خلال الحروب والمعارك العسكرية التي دارت على أرضها الكثير من الآثار التدميرية وتغير الأشكال الأرضية مثل حفر القنابل والخنادق وتمهيد الأراضي لإنشاء المطارات وبناء الساتر الترابي الضخم المعروف بخط بارليف وغيرها الكثير، كما أن إسرائيل قد قامت خلال احتلالها في الفترة من ١٩٦٧ حتى ١٩٨١ بالكثير من أعمال التدمير واستنزاف آبار البترول الموجودة ولعل إغلاقها لفتحة منجم الفحم بجبل «مغارة» بكتل أسمنتية خرسانية ضخمة دليل موجود حتى الآن على تلك الأعمال التدميرية.

كما تركت العمليات العسكرية التي دارت على أرض الكويت خلال عام ١٩٩١ العديد من التغييرات البيئية الشاملة سواء كانت في شكل تغييرات على سطح الأرض تمثلت في حفر القنابل والخنادق وبحيرات البترول التي تمثل غمطاً فريداً من أنماط التغييرات - وإن كانت مؤقتة - التي تعرض لها سطح الأرض حيث تسرب البترول وتدفق إلى المنخفضات الطبيعية وبعض مجارى الأودية الجافة مشكلاً بحيرات غريبة ممتلئة بالبترول متخذة أشكالاً مورفولوجية تعكس أبعاد تلك المنخفضات والأودية الجافة. كذلك تعرضت العمليات الشاطئية من نحت وإرساب لتغييرات شاملة من خلال تلوث المياه بالبترول واختفاء العديد من أنماط الحياة البحرية التي كانت تشكل السواحل المرجانية والتي بدورها تعرضت للتدمير في مناطق كثيرة منها.

ومن الآثار غير المباشرة للإنسان على عمليات التجوية ما ينتج عن استخداماته المتزايدة بشكل مطرد من الوقود الحفري fossil fuel من زيادة واضحة في غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو مع غيره من الغازات الأخرى.

فقد أطلق العالم إلى الغلاف الغازى ٤٠٠ مليون طن من ثاني أكسيد الكربون منذ بداية القرن الحالى مما أدى إلى زيادة محتوى الغلاف الغازى من ٢٩٠ جزء فى المليون إلى ٣٥٠ جزء فى عام ١٩٨٠ ، ويقدر بأنه سيصل فى عام ٢٠٥٠ إلى ٦٠٠ جزء مما سوف يؤدي إلى تغييرات بيئية شاملة يعنىنا منها هنا ما يرتبط بزيادة عمليات التجوية الكيماوية فعالية وتأثيراً على الصخور.

حيث يؤدي ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون إلى كربنة مياه الأمطار الساقطة (تحويلها إلى حمض كربونيك) مما يعنى زيادة حادة فى حموضتها وزيادة فى القدرة على إذابة الصخور الجيرية من خلال عمليات التحلل الكربونى للصخور.

وقد ظهرت الأمطار الحمضية الداكنة فى أعقاب حرب الكويت وظهرت آثارها على التربة والمنشآت فى الكويت والمناطق المجاورة.

كذلك يظهر أثر الإنسان غير المباشر فى زيادة فعالية التجوية الملحية من خلال نشاطاته المتمثلة فى تعدين الملح الصخري أو تجفيف السبخات والمستنقعات الساحلية<sup>(١)</sup>.

## ثانياً - الإنسان واثره على السفوح :

تميز السفوح بشكل عام سواء كانت طبيعية أو من صنع الإنسان man made slopes بعدم الاستقرار، حيث إنها دائماً ما تكون عرضة للتغيير التدريجى أو التغيير السريع من خلال عمليات الزحف أو الانهيار لأسباب طبيعية أو بشرية.

وعادة ما تحدث الانزلاقات الأرضية بسبب النشاطات البشرية المختلفة من عمليات الحفر العميق فى أعالي التلال أو عند رءوس الأودية أو فى قيعانها - عند

(١) سوف تدرس تفصيلاً فى الجزء الخاص بالصحارى من هذا الفصل.

أقدام السفح - وكثيراً ما يتم إزالة الدعائم الساندة عند قاع السفح<sup>(١)</sup> لإقامة بعض المنشآت مثل الخزانات وقنوات التصريف (المصارف) drains أو تعميق الخزانات الموجودة، كل ذلك يؤدي إلى تقليل الضغط العمودي (الإجهاد الرأسى) vertical stress على سطح الانزلاق وزيادة إجهادات الشد والقص فى الجزء غير المدعم من السفح (موسى وزملاؤه، ص ٢٧٨).

وقد يؤدي قطع الأشجار والنباتات إلى تعرية سطح السفح مما يعرضه بشكل مباشر للعمليات الطبيعية المختلفة.

وفيما يلى إيجار لأوجه النشاطات البشرية وتدخلاته المتعددة فى المناطق الجبلية وأثر ذلك على العمليات الجيومورفولوجية والأشكال الأرضية بها سواء كانت هذه الأشكال طبيعية تم تعديلها أو أشكال من صنع الإنسان ذاته.

#### أ - الاستخدام الزراعى للسفوح المنحدرة :

يمارس الإنسان نشاطه الزراعى بالسفوح المنحدرة من خلال تطبيق تقنيات وأساليب مختلفة يتمثل أهمها فيما يلى :-

#### ١ - الزراعة الكنتورية contour farming :

وفىها يتم حرث الأرض فى خطوط متوازية مع بعضها البعض وموازية لخطوط الكنتور، والهدف من ذلك يتمثل فى الاحتفاظ بأكبر قدر من المياه من خلال تقليل سرعة جريان المياه السطحية، يتمثل كذلك فى تقليل معدلات نحت التربة والمجرفانها، حيث تتكون نتيجة لاستخدام هذه الطريقة أخاديد صغيرة ذات حافات مرتفعة نسبياً عن جوانبها تشكلها آلات الحرث، مما يؤدي إلى تغلغل المياه فى التربة بمعدلات أسرع من خلال تجمعها فى البداية داخل هذه الأخاديد الاصطناعية التى عادة ما تمتد متعامدة على اتجاه انحدار السفح.

وهكذا نرى أن أهم أثر جيومورفولوجى لهذه العملية يتمثل فى تقليل معدلات تعرية التربة soil erosion بنسبة ٥٠٪ عما لو تم الحرث ploughing فى اتجاه الانحدار (الشلس، ١٩٨٥، ص ١٥٨) ويتمثل كذلك فى تشكيل أعداد كبيرة

(١) يؤدي ذلك إلى زيادة الاحمال المؤثرة على السفح مما قد يتج عنه انهياره .

من الأخاذيد الصغيرة مرتفعة الجوانب والتي تمثل فى ذاتها ملامح جيومورفية دقيقة minor features من صنع الإنسان عملت بدورها كما عرفنا على تجميع المياه - كمواضع تصيد للمياه على السفح - وحجزها داخلها بما أتاح لها الفرصة للتشرب فى التربة. إلى جانب أن هذه الأخاذيد العرضية الدقيقة تمنع تكون تخددات طولية (جدولة) باتجاه انحدار السفح راجع الشكل رقم (١٤٣).



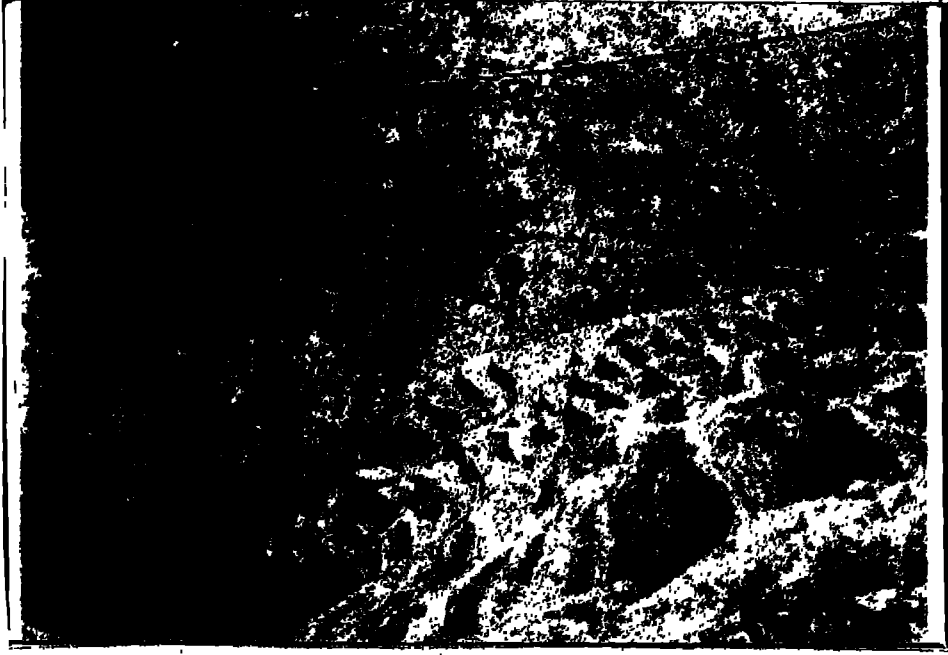
شكل رقم (١٤٣)

## ٢ - زراعة المدرجات :

يقوم الإنسان من أجل زراعة السفوح المنحدرة بتدرج تلك السفوح وخاصة المعتدلة والخفيفة الانحدار منها، ويتم ذلك من خلال تجديدها وبناء حواجز صخرية عليها بحيث يبدو مظهرها العام فى شكل سلسلة من السفوح المستوية (أو قليلة الانحدار) ينتهى كل سطح منها بجهة حائطية نحو المدرج الذى يليه إلى أسفل، وهكذا تتحرك المياه على سطح السفح من أعلى درج (مصطبة) إلى أدنى درج دون حدوث نحت أو انجراف للتربة أو دون حدوث تخدد للأرض.

والواقع أن الإنسان هنا قد بدأ نشاطه بتغيير نمط السفح وذلك من خلال إزاحة آلاف الأطنان من الصخور مقسماً إياه إلى سلسلة من السفوح المتتابعة بحيث

تغيرت الصورة الأولى (الأصلية) للسفح كما يتضح ذلك من الصورة الفوتوغرافية رقم (٣٢) التي تبين سفحين متجاورين في منطقة عسير أحدهما قد تم تجديده وزراعته والآخر باق على صورته الأصلية دون تدخل يذكر من الإنسان.



صورة رقم (٣٢)

ومن الآثار الجيومورفولوجية لهذه الطريقة من طرق الزراعة الجبلية ما ترتب على تقسيم السفح (الانحدار الأولى) إلى انحدارات أقصر مما أدى إلى تقليل سرعة المياه الجارية والحد من دورها في القيام بعملية النحت الجدرولى أو التخوير الذى غالبًا ما يسود فوق السفوح الجبلية الطويلة.

وفي دراسة (السرسى، ١٩٩٦، ص٩) للزراعة الجبلية بمنطقة عسير السعودية وجد علاقة عكسية بين زيادة الانحدار واتساع المدرجات كما وجد أن الأجزاء المستقيمة من المنحدرات تتميز بانتظام اتساع مدرجاتها وأن اتساع المدرجات على الأجزاء المنحنية تختلف تبعًا لشكل الانحناء وأنها، أى المدرجات تتسع فى أعالي السفوح المحدبة. كما أظهرت دراسته إمكانية قيام الزراعة على مدرجات بالسفوح

المنحدرة (٣٥) وأرجع ذلك إلى غزارة الأمطار التي تشجع على قيام زراعة شبيهة دائمة بتلك المناطق الجبلية.

### ٣- إزالة الغطاء النباتي :

الواقع أن قطع أشجار الغابات deforestation التي تنمو فوق السفوح الجبلية يؤدي إلى زيادة احتمال حدوث انزلاقات أرضية، وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة وذلك في أعقاب حدوث عواصف رعدية ممطرة بحيث ينتج عنها تدفق طيني mud flow يعمل على اكتساح وإزالة كميات ضخمة من التربة المفككة مثل التدفق الطيني الذي تعرضت له السفوح الجنوبية لمرتفعات «كاروكاديوال» في تشيلي عام ١٩٤٩ عندما سقطت أمطار تعادل كمياتها ١٧٨ ملليمتر خلال فترة قصيرة حوالى ١٢ ساعة مما أدى إلى حدوث تدفقات طينية بكميات ضخمة مختلطة بمفتتات من أحجام مختلفة (سلامة، ص ٣٠).

وقد لاحظ المؤلف خلال إقامته بمنطقة عسير أن الرعى الجائر للماعز والحيوانات الأخرى على المنحدرات الجافة من الأراضي الرعوية ذات التربة الخشنة عادة ما يؤدي إلى القضاء على النباتات من خلال اقتلاعها من جذورها مما يؤدي إلى تعرية التربة وإزالتها مع تعرضها للانجراف والتذرية الهوائية.

وفي السفوح الجبلية بالعروض الباردة نجد أن إزالة الغابات وتشريد المباني ومد الطرق وغيرها من التدخلات البشرية تزيد كثيراً من فرص حدوث انزلاقات وانهيارات جليدية avalanches كثيراً ما نسمع عنها.

كما أن كثرة مراكز التزحلق على الجليد المنتشرة في أوروبا تتسبب كثيراً في حدوث انهيارات جليدية مخربة مثلما حدث في سان أنطونيو مما أدى إلى مقتل عدد من السكان.

---

(\*) تعمل الأشجار على استقرار وثبات التربة واستمرار العمليات المكونة لقطاعها، إلى جانب أن الأشجار ذاتها تعمل على خشونة السطح وتقلل بالتالي من قوة اصطدام قطرات المطر بالسفح.

#### ٤ - مد الطرق وتدريع السفوح وشق الأنفاق :

عادة ما كانت الدروب القديمة تسلك بطون الأودية أو تمتد على طول أقدام السفوح، وكثيراً ما كانت تتعرض للأخطار الطبيعية من انزلاقات أرضية أو سيول مدمرة، وكثيراً أيضاً ما كانت القرى الجبلية تعيش في عزلة وتبعثر بسبب التضرس الشديد والانحدارات الحادة للسفوح. ومع التقدم الذي يشهده العالم في الوقت الحاضر بدأت الطرق المسفلتة تشق تلك البيئات في مناطق كثيرة وأصبحت بمثابة مسالك اصطناعية تميز تلك المناطق. وقد ارتبط بها القيام باحتياطات تأمين للطريق من الأخطار الطبيعية، من هذه الوسائل تدريع (تثبيت) مواضع الخطر في السفوح المطلة على الطرق الجبلية.

وتتمثل وسائل التدريع في عمل حفر وتمهيد لانحدارات السفوح حتى تصل إلى زاوية الاستقرار<sup>(١)</sup> أو وضع دعائم خرسانية عند أقدامها حتى لا تتأثر بالاهتزازات الناجمة عن مرور وسائل النقل الثقيل بشكل مستمر، كذلك استخدام قضبان الشد لتثبيت الصخور، حيث تعمل هذه القضبان المشدودة على زيادة الإجهادات العمودية على سطوح الانهيار المحتمل مما يزيد من قدرتها على تحمل إجهادات القص وثبات الانحدار.

ومن المناطق التي استخدمت فيها الطريقة الأخيرة منطقة الباحة بعسير حيث تم عام ١٩٩٤ عمل قضبان شد بطول من ١٠ إلى ١٢ متراً كما يظهر ذلك من الصورة التالية رقم (٣٣) وقد أثبتت هذه الطريقة نجاحها في درء أخطار الانزلاقات الأرضية بالمنطقة حتى الآن.

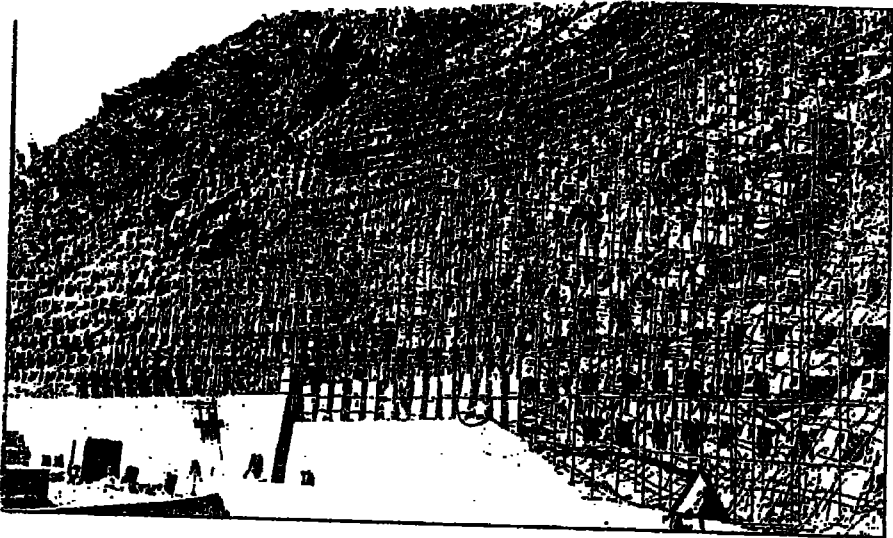
وفي منطقة عسير الجبلية كثيراً ما تظهر حالات انزلاقات صخرية وسقوط كتل ومفتتات بشكل مفاجئ مهددة الطرق ومراكز العمران، والحقيقة أنه رغم وجود عوامل طبيعية وراء حدوثها إلا أن الإنسان له دخل كبير في تفاقمها.

فعلى سبيل المثال أكدت إحدى الدراسات التي تناولت أحد مواضع الانزلاقات الأرضية بوادي ضلع أثر الإنسان على حدوثها من خلال عمليات

(١) يقصد بها تغيير شكل أو أبعاد السطح من خلال تقليل درجة الانحدار أو من خلال إزالة أجزاء من الصخور المفككة والأحمال الرائدة وكذلك من خلال عمل مدرجات مائلة لا يزيد ارتفاع كل منها على خمسة أمتار مع عمل قنوات سطحية لتجميع وتصريف المياه.



رصف الطريق بالوادى والتي أدت إلى تغيير زاوية انحدار السطح الأدنى (قسم الدرجة الأولى) الذى حدث عنده الانزلاق بجانب أثر عمليات الرى التى تتم بإحدى المزارع الموجودة قرب أعالي السطح وتسرب كميات كبيرة من المياه خلال الفتحات والشقوق التى تكثر بصخور هذا السطح مما أدى إلى تزايد نشاط عمليات التجوية الكيماوية وسرعة الانزلاق (معتوق، ١٩٩٦). كما أن حركة النقل الثقيل على الطريق وكثافة المرور بشكل عام لعب دوراً كبيراً فى حدوث هذا الانزلاق.



صورة رقم (٣٣)

أما بالنسبة للأنفاق الجبلية فتعد من الملامح المورفولوجية البشرية واسعة الانتشار فى المناطق الجبلية وخاصة فى المناطق المعمورة منها وتحت الممرات المائية الطبيعية والبشرية وتحت المضائق البحرية مثل نفق بحر المانش والنفق ما بين جزيرتى هونشو وهوكايدو باليابان والنفق الممتد تحت قناة السويس.

وما يعنينا هنا هو أن الأنفاق - تعد شكلاً من أشكال تدخل الإنسان لتعديل الأشكال الأرضية بهدف تحقيق مصالحة أساساً. وأنها كعمل بشرى ترتبط بتغييرات

عديدة تتمثل فى أنه عندما يتم إنشاء نفق على أعماق بعيدة فإن ذلك يؤدى إلى زيادة فى مقدرة الطاقة المخزنة فى الصخور نتيجة لإجهادها بدرجة قد تصبح معها غير قادرة على اختزان أى قدر من الطاقة فتعانى من الانفجار وتطاير الشظايا والكتل الصخرية المحيطة بالنفق (موسى وملاؤه، ص ٢٨٥)، وأحياناً ما تحدث انهيارات شاملة بالنفق أو نشع مائى water seepage وبعد ذلك من مظاهر الإخلال بالصور الطبيعية. كذلك قد تتعرض المنطقة المحيطة بالنفق إلى انفصال شظايا صخرية رقيقة من المكونات الصخرية المحيطة بالنفق أو واجهات المحاجر والمناجم فيما يعرف بعملية التفلق popping.

وعموماً فإن إنشاء الأنفاق وغيرها من المنشآت تحت الأرضية تتسبب غالباً فى حدوث عملية اضطراب لحالة التوازن الإستاتيكي للطبقات الأرضية ينتج عنها حركة ما للصخور باتجاه النفق فيما يعرف بالترريح أو الهبوط subsidence الذى يعتمد فى درجته على مقدار الانفعالات strains فى الصخر.

وجدير بالذكر أن الأنفاق كظاهرة بشرية لم تظهر حديثاً فقط بل عرفها الرومان منذ فترات قديمة عندما أنشأوا الفوجارات وهى عبارة عن قنوات تحتية تنحدر انحداراً عاماً هيناً باتجاه الأراضى الزراعية وعلى مسافات محددة توجد فتحات تشبه الآبار على طول امتداد الفوجارات تستخدم فى عمليات التنظيف وإزالة الرواسب والمفتتات الصخرية. وتظهر مثل هذه الملامح فى مناطق كثيرة مثل الواحات البحرية بصحراء مصر الغربية وفى إيران وعمان وغيرها.

وإذا كانت الأنفاق tunnels شكل جيومورفولوجى هدمى من صنع الإنسان فإن ما استخرج منها من صخور ومفتتات بأحجام مختلفة عادة ما تتراكم قرب فتحاتها فى شكل كومات وتلال تضاف كملامح إرسائية بشرية تشبه كثيراً ما ينتج عن عمليات التعدين.

##### ٥ - العمران فى المناطق الجبلية :

تنشأ الكثير من المراكز العمرانية من مدن وقرى ومدن تعدين ومنتجعات وغيرها فى المناطق الجبلية وعادة ما ترتبط فى نشأتها وتطورها بظروف الموضع،

ودائماً ما يأخذ المخططون فى اعتبارهم صعوبة هذه البيئة التى تكمن فى الوعورة  
وشدة انحدار السفوح والارتفاع وصلابة الصخور .

ولا شك أن وجود مراكز عمرانية فى تلك المناطق لابد أن يرتبط بأحداث  
تغيرات وتعديلات كثيرة فى خصائص سطح الأرض تتمثل أهمها فيما يلى :

- تعديل انحدار السفوح : عندما تزدحم المدن الجبلية بالسكان نتيجة اتجاه  
ال عمران بشكل تلقائى نحو الامتداد والزحف باتجاه السفوح الجبلية الوعرة يتطلب  
ذلك بالتالى عمليات تمهيد للسفوح أو تجرد terracing على نحو ما ذكرنا من قبل  
كما أنه فى أحوال كثيرة يتم البناء فوق منحدرات متوسطة باستخدام وسائل  
تكنولوجية متقدمة (للاستزادة راجع للمؤلف، ١٩٩٦).

- تتعرض العديد من قطاعات السفوح لعدم الاستقرار instability وذلك  
نتيجة لزيادة الأحمال فوقها حيث المنشآت المختلفة وخاصة عندما يتم البناء فوق  
أعلى السطح لتمثل تلك المباني أحمالاً إضافية كما يظهر ذلك من الصورة التالية  
رقم (٣٤).

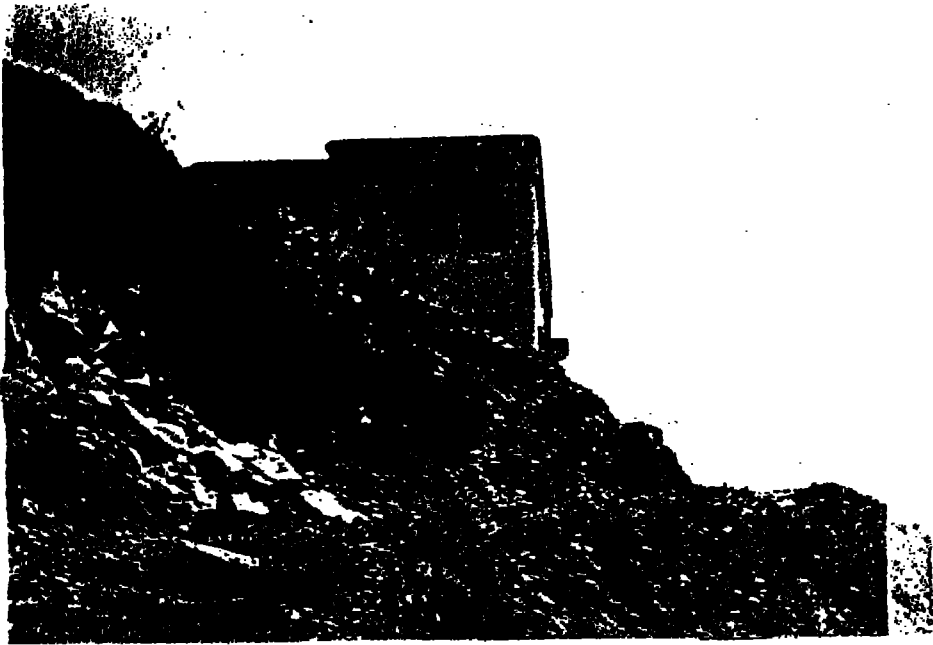
- يرتبط بالمراكز العمرانية بأنواعها المختلفة مد وسائل البنية الأساسية  
infrastructure من شبكات طرق وأنايب للغاز وأسلاك الكهرباء وأنايب الصرف  
الصحى وشق قنوات صرف وغيرها الكثير .

كل ذلك بلا شك عبارة عن تعديلات سطحية وتحت سطحية لشكيل الأرض  
فى مواضع تلك المراكز من مدن وقرى وغيرها ، كما أن النمو العمرانى (الامتداد)  
عادة ما يرتبط بإعادة تشكيل مباشر للأرض direct reshaping من خلال عمليات  
التسوية للسطح المنحدر أو غير المنتظم .

### ثالثاً - الإنسان والتعرية النهرية :

تتميز الأنهار وأحواض تصريفها كما عرفنا تفصيلاً من صفحات الفصل  
الخامس من هذا الكتاب بمجموعة من الخصائص والعناصر، من أشكال ومواد  
صخرية وعمليات جيومورفولوجية تتم بينها - بين هذه العناصر - وأن أى تدخل

بشرى فى أى واحد منها سواء كان تدخلاً عرضياً accidental أو تدخلاً مدروساً يؤدى عادة إلى سلسلة من الأحداث المتتابعة التى تؤثر تماماً على النظام النهري ككل ويذكر لنا فى ذلك Rhue, 1971 حالة تعرضت فيها قنوات نهر «ويللو» Willow بولاية ويومنج الأمريكية لتدخلات بشرية تمثلت فى إجراء عمليات استقامة straightening لمجاريها مما أدى إلى تعميقها وتوسيعها مع ظهور جداول متعمقة incised gullies فى الأرض تمتد قطاعاتها الطولية لعدة كيلومترات فى المنابع العليا لهذه الروافد النهريّة. وفوق سفوح التلال hill side slopes إلى جانب ما تعرضت له الطرق والأراضى الزراعيّة للاضطراب (Cooke, R and Doornkamp, 1978, p14).



صورة رقم (٣٤)

وعندما ينشأ العمران ويتوسع ممتداً داخل حوض التصريف النهري، فإنه عادة ما يرتبط بحدوث تغييرات فى خصائص النهر الهيدرولوجية وفى إنتاج الرواسب sediment yield، فاقتطاع أراض جديدة من أجل التوسع العمرانى يعنى

بالضرورة إزالة الغطاء النباتي منها وحدث اضطراب للأرض وخاصة أثناء عمليات التشييد والبناء، مع حدوث زيادة في الجريان العاصفي storm flow<sup>(١)</sup> يرتبط بها زيادة في معدلات نحت التربة وانجرافها نحو القنوات المائية التي تزيد حمولتها من الفتات بشكل متزايد نتيجة لتلك التغيرات والمعدلات التي شهدها حوض النهر.

وقد سجل Schick, 1967 حدوث نحت بلغ معدله ٥٠ ألف طن لكل كيلومتر مربع سنوياً في أحد المواضع والتي كان يبلغ معدل النحت بها قبل اقتطاع الأشجار والتشييد (في ظروفه العادية) ما بين ٨ و ٢٠٠ طن في الكيلومتر المربع سنوياً (كيلو، ١٩٨٦).

وعند إنشاء المساكن ومد الطرق يحدث نقص في طاقة التشرب الطبيعية و natural infiltration capacity مما قد يؤدي إلى هبوط مستوى سطح الماء الباطني وظهور خطوط صرف اصطناعية. ومن ثم نجد أن التدخلات البشرية في حالة الأنهار الصغيرة كثيراً ما تؤدي إلى حدوث فيضانات لياهاها وتقويض لجوانبها وتغيرات واضحة في عمليات النحت والإرساب.

ويوضح الجدول التالي رقم (١٥) تغير معدل ناتج الرواسب من سطح الأرض بحوض النهر والقناة مع زيادة أشكال الاستخدامات البشرية للأرض.

استقرار القناة المائية	ناتج الرواسب	استخدام الأرض
استقرار نسبي مع نحت الجوانب	منخفض	١ - غابة طبيعية أو أرض حشائش
أقل استقرار بعض الشيء عن رقم ١	منخفض معتدل	٢ - أراضي رعي كثيف
بعض الترسب مع زيادة نحت الجوانب	معتدل - مرتفع	٣ - إنتاج محاصيل
استقرار متزايد	منخفض معتدل	٤ - إخلاء الأرض من المحاصيل
إرساب سريع مع بعض النحت للجوانب	مرتفع جداً	٥ - منشآت مدنية
نحت وتعرية شديدة	معتدل	٦ - استقرار
مستقر نسبياً	منخفض معتدل	٧ - مدن مستقرة

(١) يقسمه الجريان السطحي run off الناتج عن سقوط أمطار غزيرة داخل الحوض.

وسوف نحدد فى النقاط التالية بشكل مختصر أثر الاستخدامات البشرية داخل الحوض النهري على الخصائص الجيومورفولوجية مستعنيين فى مواضع مختلفة بما جاء بالجدول السابق رقم (١٥) من معلومات .

#### ١ - قطع أشجار الغابات :

ينتج عن قطع أشجار الغابات تأثيرات كبيرة على رواسب الأنهار والجريان السطحي للمياه، ولقد أكدت دراسات عديدة هذه التأثيرات مثل الدراسة التى قام بها Fredrikson على ثلاثة أحواض نهريّة بولاية أوريغون الأمريكية .

**الحوض الأول:** أزيل منه الغطاء النباتى إزالة تامة ولم يتم شق أى طريق داخل حدوده .

**الحوض الثانى:** ترك الغطاء النباتى على حالته الطبيعية دون تدخل بشرى .

**الحوض الثالث:** أزيلت منه النباتات من مساحات متفرقة من أرضه مع شق بعض الطرق .

وقد أظهرت الدراسة السابقة وجود اختلافات كبيرة فى كميات الرواسب المنتجة بالأحواض الثلاثة فقد جاء الحوض الأول كأكبر الأحواض النهريّة الثلاثة فى كمية الرواسب المنتجة ، بينما أنتج الحوض الثانى ٤,٤٪ فقط من الكمية بالحوض الثالث وهكذا فقد استنتج Fredrikson من دراسته لأثر شق الطرق و قطع الأشجار على زيادة عمليات الانهيارات الصخرية (الفتتات) debris avalanches وزيادة التدفقات الطينية نحو قناة النهر مما أدى إلى زيادة حمولته من الرواسب وخاصة حمولة القاع من الرواسب الخشنة coarse - bed - load (كليو، ١٩٨٦) .

ومن الاستنتاجات الهامة للدراسة السابقة أن نسبة تركيز الرواسب فى مجارى الحوض الثالث كانت قبل ست سنوات من إزالة الأشجار تبلغ نحو ٢٠٠ جزء فى المليون زادت إلى ٧٠٠ جزء بعد وقت قصير من شق الطرق خلال أراضيها . بينما كانت نسبة تركيز الرواسب فى الحوض الثانى (الذى لم يتدخل فيه الإنسان بأى شكل) ٢٢ جزء فقط .

وبالنسبة للحرائق التي تتعرض لها الغابات فإنها سواء بقصد أو بغير قصد تؤدي إلى زيادة واضحة في حمولة الأنهار من المفتتات، وزيادة في احتمال حدوث الفيضانات؛ وذلك لأن حدوث حرق للأشجار معناه ببساطة كشف التربة وتعريضها وتعرضها للإزالة، فعلى سبيل المثال أدت الحرائق التي تعرضت لها غابات حوض «ولاس كريك» بأستراليا إلى زيادة تركيز الرواسب في مياه النهر من ٥٢-٧ جزء في المليون إلى ١٤٣,٠٠٠ جزء في المليون مع ارتفاع نسبة تركيز الحمولة العالقة suspended load.

## ٢ - النشاط الزراعي والتعرية النهرية :

يتج عن ممارسة الإنسان للنشاط الزراعي كثير من أشكال التغييرات والتعديلات الجيومورفولوجية سواء بالنسبة للعمليات أو بالنسبة للأشكال الأرضية وذلك من خلال إحداث تأثيرات في خصائص التربة وما ينمو فوقها من نباتات مما ينعكس على كمية الرواسب ومعدلات الجريان السطحي للمياه، حيث نجد أن الكثير من الأنهار تحمل مفتتات صخرية أتت إليها أساساً بسبب كثافة الاستخدام الزراعي في أرض الحوض النهري.

وقد أشار كليو ١٩٨٥ إلى أن هناك اختلافاً كبيراً في كميات الحمولة من الرواسب التي تنقلها الأنهار تبعاً لاختلاف نوع الاستخدام الزراعي للأرض فالأرض التي تزرع زراعة كثيفة تعد مصدراً محدوداً للرواسب النهرية ، بينما نجد الأرض التي تمحرث وتترك فترة طويلة بدون زراعة تعد مصدراً لكميات وفيرة من المفتتات الصخرية التي تتجه نحو الأنهار التي تقطعها.

وجدير بالذكر أن استخدام الأسمدة الكيماوية بإفراط قد يؤدي إلى زيادة حمولة النهر من المواد المذابة dissolved solids التي تأتي إليه عبر المصارف الزراعية drains، كما أن جزءاً كبيراً من مياه النهر تستخدم لأغراض الري الزراعي مما يؤدي إلى اضطراب الدورة الهيدرولوجية والاختلال بتوازنها، وقد قدر Livovitch, 1985 إلى اضطراب المياه التي تسحب من أنهار العالم بنحو ٢٪ من جملة تصرفاتها وهذه الكمية الأخيرة (٢٪) يستهلك معظمها أو نحو ٨٠٪ منها في ري الأراضي الزراعية وتصل النسبة الأخيرة في مصر إلى ٥٠٪ (للاستزادة، راجع كليو ١٩٨٥).

### ٣ - النشاط الرعوى وأثره على التعرية النهرية :

تعمل حيوانات الرعى على تفكك التربة وطحن حبيباتها<sup>(١)</sup> مما ينتج عنه من تدمير لنسيجه ونقص حاد فى مساميتها - نتيجة لتصلبها بفعل الحركة المستمرة فوقها وينتج عن ذلك بطبيعة الحال انخفاض فى مقدرتها على التشرب، ومن ثم زيادة معدلات الجريان السطحى، ومن الآثار الجيومورفولوجية غير المباشرة لحيوانات المرعى أن الرعى الجائر overgrazing كثيراً ما يؤدي إلى ظهور نباتات محدودة ومبعثرة تلائم أنواع أخرى من الحيوانات الحفارة مثل الأرانب البرية والفئران وغيرها ، وهذه الأخيرة تستقطب باتجاه تلك المناطق وتقوم بدورها فى عمليات التفكك الحيوى للصخور من خلال حفر الممرات التحتية والجحور وغيرها.

### ٤ - التعدين وأثره على التعرية النهرية :

يفوق التعدين السطحى المتخشف open mining التعدين الباطنى فى تأثيره على العمليات والأشكال الجيومورفولوجية داخل أحواض التصريف النهري، حيث يتطلب النوع الأول إزالة النباتات الطبيعية وما يترتب على ذلك من زيادة واضحة فى حمولة النهر بما يضاف إليه من رواسب مستتقة من التراكمات القتاتية والأتربة الناتجة عن عمليات الحفر والتعدين.

وقد أظهرت دراسة Davis, 1969 أن أحواض الأنهار التى توجد بها عمليات تعدين سطحى فى ولاية أريزونا الأمريكية قد سجلت زيادة واضحة فى حمولة النهر من الرواسب يقدر بنحو ١٦٥ طنًا تأتى إليه من الهكتار الواحد سنويًا ، بينما تبلغ فى الأنهار الخالية من عمليات التعدين ٤ طنًا للهكتار فى السنة (كليو، ١٩٨٥).

وقد تعمل هذه المفتتات الصخرية - إذا ما كانت تحتوى على نسبة عالية من الأكاسيد والأحماض - على زيادة فعالية وتأثير عمليات النحت الكيماوى للأنهار .  
CORROSION

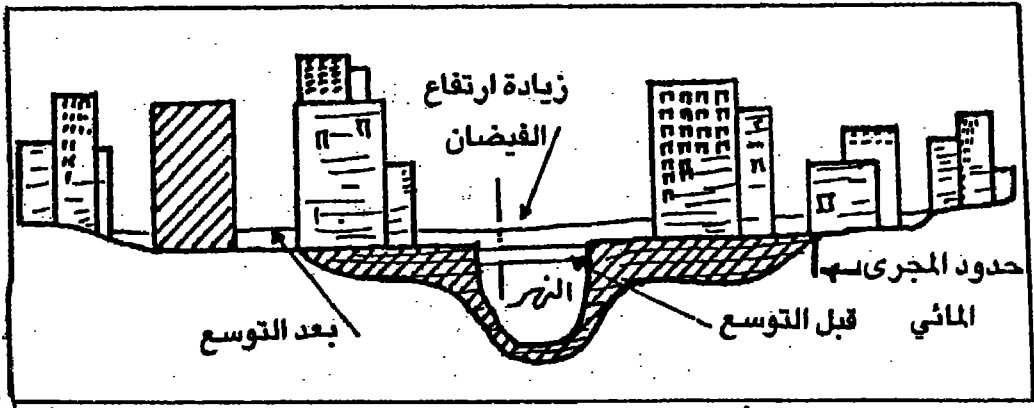
(١) من المعروف أن كثافة حيوانات المرعى (المئانة) عادة ما تكون مرتفعة بالمقارنة بحيوانات الرعى الطبيعى مما قد يؤدي إلى تدهور المرعى من خلال القضاء على النباتات الأصلية وإحلال أنواع جديدة.



## ٥ - العمران المدني وأثره على التعرية النهرية :

تؤدي إقامة المباني والمنشآت على سطح الأرض داخل الحوض - وخاصة في منطقة السهل الفيضي - إلى زيادة الضغط على التربة أو الصخور التي تقام عليها مما يؤدي إلى انخفاض درجة مساميتها بل انعدامها باعتبار المباني أسطح غير منفذة غطت تمامًا أسطح التربة في مواضع إنشائها. كذلك فإن تبطين سطح الأرض بغطاءات خرسانية أو أسفلتية تعمل على تقليل وفي أغلب الأحوال على منع التشرب في مساحات واسعة من سطح الأرض مما ينعكس على زيادة كمية الجريان السطحي نحو النهر مما يزيد بالتالي من قدرته على النحت وكذلك تعرضه للفيضانات.

ويمكننا فيما يلي أن نوجز الآثار المترتبة على التدخلات البشرية المرتبطة بالعمران وخاصة في مناطق السهول الفيضية حيث التربة الزراعية المرتبطة بالنهر والمتاخمة لقناته شكل (١٤٤).



● شكل (١٤٤) العلاقة بين التوسع العمراني وحدود المجرى المائي.

### شكل رقم (١٤٤)

- تتمثل في البداية في عمليات إزالة للغطاءات النباتية وكذلك الطبقة السطحية من التربة وتراكمها في شكل كومات كبيرة مبعثرة مما يؤدي إلى كشف طبقة ما تحت التربة الأقل نفاذية *less permeable*، إلى جانب ما سبق تعمل الآليات والمركبات المستخدمة في عمليات الإزالة والتشييد على تصلب التربة

واندماج جزئياتها وجعلها بالتالى أقل نفاذية وهذا يعنى بالضرورة حدوث زيادة فى معدلات الجريان السطحي وما يرتبط به من زيادة فى معدلات نقل الرواسب . حيث تتفاقم مشكلة الترسب أثناء هذه المرحلة (مرحلة التشيد) كما يظهر ذلك من الجدول السابق رقم (١٥) . كذلك تتعرض الأرض داخل الحوض أثناء هذه الفترة للتخوير والنحت الغطائي sheet erosion .

- فى المرحلة التالية يغطى السطح السهل الفيضى بشبكة من نظم التصريف الاصطناعى بعضها يمتد طويلاً ويمكنه استيعاب جزءاً من مياه الفيضان حيث تجرى موازية للقناة الطبيعية والبعض الآخر يمتد عرضياً ويساعد على تفاقم الفيضان من خلال ما يضيقة إلى النهر من مياه . كذلك تغطى مساحات واسعة من السهل الفيضى داخل المدن بطبقة أسفلتية مع امتداد الطرق والدروب وكل ذلك يؤدى إلى زيادة ملحوظة فى مساحة المسطحات الصماء (الكتيمة) ويساعد بالتالى على زيادة معدلات الجريان السطحي وتدفقه نحو القناة المائية للنهر وبالتالي قد يتعرض لحدوث فيضانات .

- مع الانتهاء من تشيد المباني والمنشآت الهندسية الأخرى تزداد نسبة مساحة الأسطح غير المنفذة داخل حوض التصريف مما يزيد من تفاقم العمليات سابقة الذكر وتعرض القناة النهرية للنحت والتعرية الشديدة .

وجدير بالذكر أن عمليات اقتطاع الثبات النهرية بطرق اصطناعية لجعل المجرى مستقيماً straightening<sup>(١)</sup> وكذلك عمليات التكبسية الخرسانية والحجرية للكثير من جوانب الأنهار تعمل كلها على زيادة تدفق المياه فى القنوات المستقيمة وتعرضها بالتالى لعمليات نحت أكبر مع زيادة فى خشونة حمولة القاع وغير ذلك من تغييرات فى عمليات التعرية .

والى جانب ما سبق فإن هناك نشاطات بشرية داخل المدينة بالسهل الفيضى تعمل على تقليل كميات المياه بالنهر وقنواته<sup>(٢)</sup> يتمثل أهمها فيما يلى :

(١) كثيراً ما تتم هذه العمليات فى قطاعات من مجارى الأنهار التى تقطع المدن فههدف تحقيق أغراض ' تخطيطية معينة مثلما يحدث مع نهر الميسى .

(٢) عكس الحال مع التدخلات التى قد تبب الفيضانات وتزيد من آثارها التدميرية .

\* البناء فوق السهل الفيضى للنهر يقلل فى الواقع من كفاءة التخزين المائى به، ومن المعروف أن السهل الفيضى للنهر يعمل كخزان مائى مؤقت يمد النهر بالمياه أثناء انخفاض منسوبه، وعادة ما يتم ذلك فى المناطق الرطبة.

\* البناء على النهر ذاته (الكبرى) واقتطاع مساحات من القناة والبناء فوقها وغير ذلك من تدخلات بشرية فى مجال أو حرم النهر.

وفى المناطق الريفية توجد كثير من الاستخدامات الريفية rural landuse التى لها تأثير كبير على النهر وسهله الفيضى، ومن هذه الاستخدامات شق الترع والمصارف خلال الأراضى الزراعية مما يؤدى إلى سرعة وصول المياه إلى النهر. وغير ذلك الكثير من التعديلات البشرية.

#### ٦ - السدود والخزانات وأثرها على التعرية النهرية :

تؤدى السدود والخزانات التى تقام على الأنهار إلى حدوث تغييرات أساسية فى النظام الهيدرولوجافى للنهر الذى أقيمت عليه، ويختلف مدى ونوعية التأثير من منطقة إلى أخرى تبعاً للظروف الطبيعية السائدة من مناخ وبنية وخصائص صخرية وتضاريس، فإلى جانب ما يخترن من مياه تتراكم أمام السد فى قيعان الخزانات كميات ضخمة من الرواسب قد تعمل على التقليل من الطاقة التخزينية لهذه الخزانات كما يؤدى تراكم الرواسب بها إلى تناقص انحداراتها وتناقص سرعة جريان النهر بها ومن الخزانات التى قلت كفاءتها التخزينية بشكل واضح بحيرة «ميد» الأمريكية (سلامة، ١٩٨٠، ص٣٧).

وفى كثير من السدود خاصة تلك التى تقام على أودية سيلية بالمناطق الجافة تجف خزاناتها وتنكشف قيعانها لتظهر بها طبقات طينية سميكة أدى جفاف طبقاتها السطحية إلى تشققها فى تشققات كبيرة وعميقة قد يصل عمقها إلى أكثر من مترين تمتلئ قيعانها بالمياه من تلك التى تنشع من التكوينات الطينية المبتلة أسفل الطبقات السطحية الجافة والمتشقة يمكن الرجوع إلى الصورة رقم (٥) التى تبين تلك الملامح التى صنعها الإنسان فى قاع خزان (بحيرة) سدوآدى أبها أثناء جفافها وقبيل سقوط الأمطار السيلية بالوادى فى شهر مارس عام ١٩٩٦.

من ناحية أخرى تتعرض القطاعات من النهر الممتدة خلف جسم السد إلى زيادة ملحوظة في عمليات النحت بسبب تناقص حملتها من الرواسب مما يعرض المجرى للتعميق وزيادة درجة الانحدار .

وفيما يلي أهم الآثار الجيومورفولوجية التي تتسبب عن إنشاء السدود والخزانات المائية على الأنهار .

- سيادة عمليات الترسيب أو الردم aggradation أمام جسم السد upstream .

- سيادة عمليات النحر النهري بالقطع والجانبين خلف السد (باتجاه مهبط النهر) downstream .

- ظهور تغيرات وتعديلات كثيرة في قطاعات النهر الطولية والعرضية حيث تعد السدود في الواقع نقط تجديد من صنع الإنسان man made knick points يؤدي وجودها إلى تغير الانحدارات على طول القطاع الطولى للنهر وتؤثر بشكل كبير على العمليات المؤدية إلى تغير شكل القطاع العرضى للنهر سواء فى مجراه أمام السد أو خلفه .

- ظهور بعض الملامح والأشكال الجيومورفولوجية التي لم تكن موجودة قبل بناء السدود .

- قد تتعرض منطقة بناء السد إلى هزات أرضية موضعية .

- كما تتعرض المناطق الساحلية التي يصل إليها النهر فى مصبه الدلتاوى أو الخليجى إلى اضطرابات فى العمليات الجيومورفولوجية مع سيادة عمليات النحت البحرية وتأثيرها الواضح على تراجع الساحل فى مواضع معينة مثلما الحال على ساحل دلتا النيل فى مصر .

بالنسبة لسيادة عمليات الترسيب والردم أمام السد، فيحدث ذلك بسبب ما يمثله جسم السد نفسه من كونه عقبة ضخمة تعيق حركة المياه بالمجرى وأحيانا ما توقفها تاماً مثلما الحال مع السدود الركامية كالسد العالى فى مصر . حيث يؤدي وجود السدود إلى تعرض سرعة التيار المائى بالنهر للتناقص لمسافات قد تصل إلى نحو عشرات الكيلومترات من جسم السد باتجاه المنبع يرتبط بذلك حدوث نقص واضح فى طاقة النهر على حمل رواسبه وخاصة مع تعرض قطاعه العرضى

للاتساع فى هذا الجانب واتخاذ النهر شكل بحيرة طولية مثل بحيرة السد العالى وبطبيعة الحال يتم الترسيب فى نوع من الفرز أو التصنيف بحيث يتم ترسيب المواد الخشنة أولاً تليها الأقل خشونة وهكذا.

وعندما يكون السد ركامياً وكبير الحجم فإنه يحجز معظم حمولة النهر من الرواسب (أكثر من ٩٠٪ فى حالة السدود الضخمة مثل السد العالى)، بينما تقل الرواسب المحجوزة أمام السدود ذات الفتحات sluice gates إلى أقل من النسبة السابقة بكثير جداً. وتعرض البحيرات الاصطناعية التى أنشئت أمام السدود لعمليات إطماء بشكل مضطرب مما قد يؤدي إلى تلاشيتها وتحولها إلى سهل دلتاوى داخلى inner deltaic، وعادة ما تكون مواضع مصبات الأودية بهذه البحيرات مواضع نشطة للترسيب وتكون رواسب دلتاوية تنمو باتجاه المواضع الأخرى بالخزان<sup>(١)</sup>.

ويظهر أثر التغييرات المورفولوجية التى تحدث بالأنهار من خلال بناء السدود وخزاناتها إذا ما اعتبرنا السد العالى مثلاً قريباً منا فقد تم حجز نحو ١٣٠ مليون طن من الرواسب التى كان يحملها النيل سنوياً إلى مصر وتم الترسيب فى بحيرة السد التى تعتبر مظهراً مورفولوجياً من صنع الإنسان حل فى موضع كان يتميز قبل بناء السد العالى بخصائص جيومورفولوجية وعمليات تختلف تماماً عن وضعه الحال، فقد كان نهراً متدفقاً تكثر به الجنادل والمندفعات، يتميز بالضيق الواضح لقناته المائية وكان بالتالى يجنح على طول قطاعه فى هذا الموضع إلى النحت وفى الوقت الحاضر اتسع المجرى إلى عشرة كيلومترات فى المتوسط فى قطاع طوله نحو ٥٠٠ كيلومتر (بحيرة السد) تتشرشر جواته بشكل ملفت فيما يشبه سواحل الريا حيث مواضع التقاء الأودية الجافة، وتحولت طبيعة العمليات من نحت إلى إرساب بمعدلات سريعة ومضطربة.

وبالنسبة للوضع فيما وراء السدود فإن القطاع الطولى يعانى من النحت القاعى والنحت الجانبي، حيث تصل إليه المياه خالية تقريباً من الرواسب فتتجه

(١) عادة ما لا يتم الإطماء فى بحيرة السد بهذه الكيفية لعدم التقاء أى رافد بهرى بها باستثناء الأودية الجافة

خاصة من الجوانب الشرقية

مياهه - فى محاولة من النهر للوصول إلى مرحلة الاتزن - للنحت مبتدئة باكتساح رواسب القاع السائبة ثم نحت مكونات القاع والجوانب معتمدة فى ذلك على كميتها (أى كمية المياه) ونوع الرواسب المكونة للقاع والجانبين فإذا ما كانت رواسب القاع أكثر مقاومة للنحت من رواسب الجانبين ينشط النحت الجانبى مكونا منعطفات جديدة أو يعمل على زيادة أبعاد المنعطفات الموجودة من قبل (كليو، ص ٣٨).

وعادة ما تكون المناطق القريبة من جسم السد أكثر الأجزاء تعرضاً لنحت وفى حالة السد العالى بلغ النحر أقصى معدل له خلف القناطر المقامة على النيل وخاصة القريبة من السد نفسه، مثل قناطر إسنا و نجع حمادى خاصة مع عدم تجهيز هذه القناطر بالسدود الغاطسة drowned dams التى تمثل حماية لها من عمليات التقويض السفلى والنحر. كذلك تعرضت كثير من التكسيات الحجرية وبعض الرءوس التى أقيمت عند المدن لمقاومة عمليات النحت أثناء الفيضان للتقويض والنحت، كذلك حدثت تعديلات كثيرة فى أشكال وأبعاد الجزر الموجودة إلى الشمال من السد على طول مجرى النهر وفرعيه.

### **رابعاً - التدخلات البشرية وآثارها الجيومورفولوجية بالمناطق الجافة:**

يمكننا تحديد أهم تلك الآثار الجيومورفولوجية الناجمة عن النشاطات البشرية المختلفة وتدخل الإنسان المباشر وغير المباشر فى العمليات والأشكال الأرضية بالمناطق الجافة على النحو التالى:-

#### **أ- زيادة فعالية التجوية السائبة بالمناطق الجافة :**

##### **التجوية الملحية :**

كما عرفنا من الفصل الخاص بالتجوية، فإن التجوية الملحية تتضمن عمليات كيميائية إلى جانب دورها فى التفكك الفيزيائى، وخاصة عندما تتكشف الصخور وترسب فى مسامها جزئيات الملح التى تنمو مع تشبعها بالرطوبة، مولدة ضغوطاً على جوانب الصخر.

ويلعب الإنسان دوره فى تفاعم عمليات التجوية الملحية وزيادة فعاليتها فى المناطق الصحراوية الحارة وذلك من خلال ممارسته لعدد من الأنشطة يتمثل أهمها وأكثرها وضوحاً فيما يلى :

- التشييد ومد الطرق فوق سطوح تقترب منها مناسيب المياه تحت الأرضية مما يعرضها للتشقق والهبوط خاصة عندما تكون قريبة من السبخات المنخفضة، ويحدث ذلك نتيجة لزيادة معدلات التبخر وخاصة فى فصل الصيف مما يؤدى إلى ارتفاع المياه تحت الأرضية subterranean بفعل الخاصية الشعرية، حيث تتراكم المواد المذابة فيها والعالقة بها بعد تبخرها داخل الشقوق والفجوات مهما كانت أحجامها، لينتهى الأمر بتقسيم الطرق إلى قباب صغيرة تتجوف وتتشقق بشكل مضطرد كما تضح ذلك من الصورة رقم (٨).

وتتعرض المباني والنشآت الأخرى للتجوية الملحية بنفس الكيفية يساعد على ذلك امتداد أساساتها فى الطبقة السطحية للأرض مقترية من المياه الجوفية التى تحتوى على نسبة مرتفعة من الأملاح التى تستقر بدورها فى مسامات مواد البناء لتعرض للتقويض أو الهبوط. وتزداد حدة هذه الآثار على المنازل إذا ما كانت مبنية من مواد ملحية ترتفع بها نسبة الأملاح.

- يؤدى تخفيف السبخات الملحية - خاصة القريبة من البحر - وكذلك عمليات استخراج الملح إلى توفر مواد صخرية مشبعة بغير الملح الذى يجد طريقه مع الرياح إلى أقرب الحافات ويقوم بدوره فى التجوية.

- تتعرض التربة الزراعية بالمناطق الصحراوية الحارة للتملح وتكون قشور ملحية أعلاها بسبب نظم الري الخاطئة السائدة فى تلك المناطق (عن طريق الغمر وانتقال المياه من حقل إلى آخر مع الانحدار الوئيد للسطح لتتجمع المياه فى النهاية فى شكل برك أسنة ترتفع فيها نسبة الأملاح مثلما الحال فى بركة «الأصفر» إلى الشمال الشرقى من النطاق الزراعى بواحات الإحساء<sup>(١)</sup>.

---

(١) كل تلك المشاكل التى تتيج عن الممارسات الخاطئة فى تلك المناطق يضطر الإنسان معها للبحث عن علاج

للحد من تفاقمها (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٦).

## ٢ - التجوية الفيزيائية Physical Weathering :

يلعب الإنسان دوره فى زيادة أثر عمليات التجوية الفيزيائية بالمناطق الجافة، إلى جانب أنه فى كثير من الحالات يمثل عاملاً رئيسياً من عوامل التجوية وذلك من خلال أنشطته التالية .

- **التعدين:** كما أشرنا يقوم الإنسان من خلال ممارسته لهذه الحرفة بعمليات حفر وتنقيب فى مناطق مستفرقة ويقوم بحفر أنفاق المناجم لتتراكم المواد الصخرية الناتجة عن الحفر فى شكل كومات أو تلال تتعرض فى مرحلة تالية لعمليات التعرية السائدة .

- **عمليات التحجير:** تؤدى هذه العملية إلى إزالة كميات ضخمة من الصخور والمفتتات وتؤدى بالتالى إلى إحداث نوع من عدم التوازن الإستاتيكي للسفوح التى جلبت منها على نحو ما ذكرنا فى موضع سابق من هذا الفصل .

- **إزالة النباتات:** وهذه ظاهرة مرتبطة فى تلك المناطق المعرضة التحطيم والرعى الجائر مما يؤدى إلى كشف أكبر مساحة من التربة وتعرضها للتعرية الهوائية والسيلىة . كذلك ينتج عن حركة السيارات بالمناطق الصحراوية تدهور الأشكال الأرضية خاصة الهوائية منها مثل التباك والكتبان الرملية .

### ب - الإنسان والتعرية الهوائية :

يتمثل دور الإنسان هنا فى زيادة أثر العمليات الهوائية وكذلك فى تثبيت الكتبان والأشكال الرملية الأخرى تعدد من الوسائل .

- **بالنسبة لآثرة فى زيادة فعالية العمليات الهوائية** نجدتة يتسبب فى حدوث عمليات تدرية الرمال بالسطوح الصخرية فى المناطق الصحراوية أو أنه يتسبب فى زيادة فعاليتها، وذلك عندما يقوم بتعديل الأسطح الثابتة المعروفة بأسطح الرق reg surfaces المتماسكة من خلال عمليات الحرث والرعى وتشيد المباني فوقها . كذلك نجدتة يساعد الرياح فى القيام بعملياتها من خلال إزالته للنباتات التى تتميز هنا بتعثرها، فنجد على سبيل المثال عندما يتعرض كتيب رملى مغطى بالنباتات لعمليات رعى كثيف فإنه بذلك يفقد مقومات ثباته وقماسكه، ومن ثم يتحول إلى مصدر للرمال التى تتحرك بسهولة بالغة مع أية رياح تهب عليها .



وقد أظهرت دراسة للنباتك الرملية بالساحل الشمالى لدولة الكويت، تعرض تلك النباتك للتدهور بسبب إزالة الغطاءات النباتية التى تنمو فوقها من خلال الممارسات سابقة الذكر لدرجة أن بعض النباتك التى كانت ممثلة على الخرائط والصور الجوية لعام ١٩٧٦ اختفت تمامًا باستثناء بعض الآثار المتمثلة فى بقايا جذور نباتات متفحمة انكشفت بعد إزالة النباتك من حولها (راجع بالتفصيل كليو والشيخ، ١٩٨٦).

- **تثبيت الكثبان والأشكال الرملية:** حاول الإنسان منذ فترات قديمة مواجهة حركة الكثبان وانسياب الرمال فى المناطق الجافة وذلك من خلال ابتكاره لعدد من الوسائل المطوبة لإيقاف حركتها والحد من أخطارها على الأراضى المزروعة والمناطق السكنية، وهو فى كل جهوده يعمل فى الحقيقة على تعديل العمليات الهوائية ويعمل أيضاً على التحكم فى أشكال الترسيب الهوائى.

ومن تلك الوسائل رش أسطح الكثبان بزيوت البترول أو بمواد كيميائية بهدف تكوين طبقة سطحية تحمى ما تحتها من رمال من عمليات التذرية والحت الريحى.

وهناك وسائل ميكانيكية تتمثل فى عمليات الإزالة الميكانيكية للرمال ونقلها بالعربات أو فى حفر خنادق فى خطوط متوازية بأعماق مختلفة بحيث تمتد متعامدة على اتجاه تحرك الرمال، كما تتمثل أيضاً فى إنشاء أسوار وحواظ تعرف بكاسرات الرياح wind breakers تعمل على إعاقة حركة الرمال وحماية المنشآت حيث تصمم بارتفاعات مناسبة حتى لا تتعرض للردم.

إلى جانب ما سبق هناك وسائل ميكانيكية أخرى مثل تغطية الأسطح الرملية بمواد حصوية لتمثل سطحاً متماسكاً صلباً يساعد على قفز الحبيبات بعيداً عن جسم الكثيب وهذه الطريقة تعمل فى الواقع على عدم نمو الكثيب ولكنها لا تمنع الانسياب الرملى كما أن هناك وسائل نباتية طبقت فى مناطق كثيرة من العالم.

والحقيقة أن ما يعطينا هنا هو أن نعرف دور الإنسان فى التآكل الجيومورفولوجى بتلك المناطق الجافة التى تتعرض للتعرية الهوائية سواء كان هذا الدور مقصوداً أم يتم بغير قصد.

## ج- الإنسان والتعرية المائية فى المناطق الجافة :

تعد التعرية السيلية torrential erosion واحدة من أكثر أنواع التعرية تأثيراً بالمناطق الجافة، وخاصة تلك المناطق التى تقطعها شبكات من الأودية الجافة فوق سفوح منحدره باتجاه أراض سهلية مثلما الحال فى صحراء مصر الشرقية التى كثيراً ما تشهد أوديتها سواء فيها المتجهة غرباً نحو وادى النيل أو تلك المتجهة نحو ساحل البحر الأحمر فى الشرق تدفقات سيلية فجائية حادة تؤدى إلى التدمير للعديد من الأشكال الأرضية والمنشآت البشرية المختلفة.

ويمكننا أن نختصر دور الإنسان فى تلك العمليات الجيومورفولوجية على النحو التالى:

### - دور الإنسان فى ضبط السيول والاستفادة من مياهها :

يتمثل هذا الدور أساساً فى إنشاء العديد من السدود والمنشآت الهندسية الخاصة بأعمال الحماية مثل الأنفاق التحتية under ground tunnels والسحارات أسفل الطرق الممتدة فى تلك الأودية.

بالنسبة للسدود فإنها تتنوع فى أشكالها وأحجامها فمنها السدود الترابية بارتفاعات لا تزيد عادة على المترين ويهدف إنشاؤها إلى حجز مياه الفيضانات وتحويلها إلى الأراضى الزراعية بدلاً من تدفقها فى البحر ومنها تلك السدود المنتشرة على طول الساحل الشمالى فى مصر. وهناك السدود الخرسانية وهى السدود الرئيسية بالمناطق الصحراوية التى لها تأثيرها الواضح فى إحداث تغيرات جيومورفولوجية عديدة بمواقعها وبالمناطق القريبة منها.

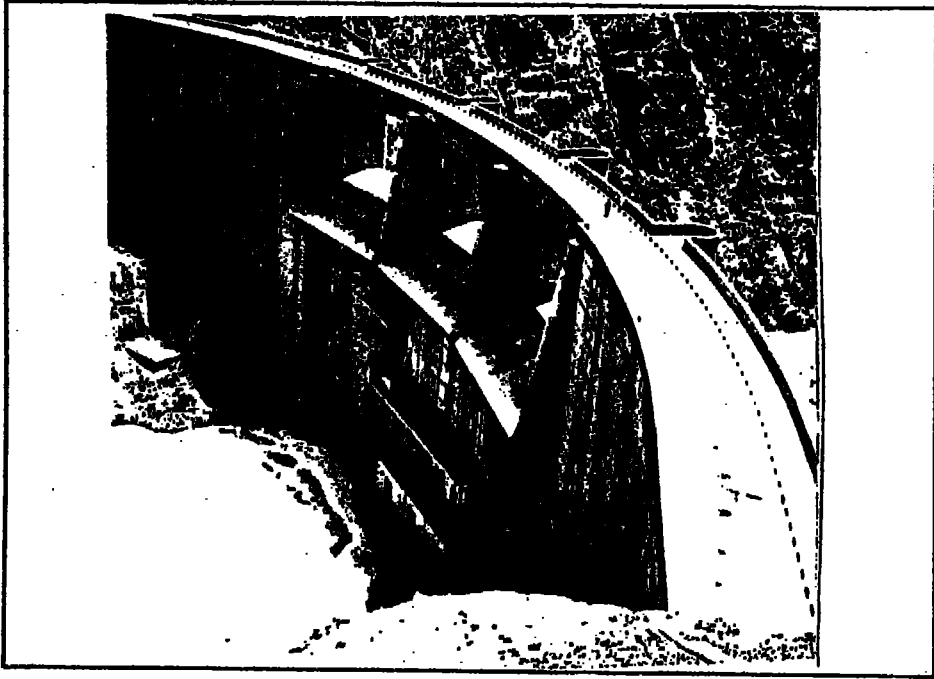
وعادة ما يتم اختيار مواقع بنائها بعد دراسة دقيقة لحوض الوادى ككل وللوضع نفسه.

وتتمثل أهم التغيرات والآثار الجيومورفولوجية المترتبة على هذه السدود فى كونها تعمل على حجز مياه السيول الفجائية فى خزانات توجد أمامها مما يؤدى إلى منع حدوث فيضانات سيلية فيما وراء السد خاصة إذا ما كان الوادى مستمرا داخل أراض سكنية أو مزروعة. ومعنى كل ذلك توقف عمليات النحت المائى والانجراف

التي كانت تتعرض لها تلك القطاعات. من الأودية قبل إنشائه. كذلك ينهر أثرها في حدوث ترسيب على قيعان الخزانات التي تبدو أحياناً كبحيرات من صنع الإنسان إلى جانب ما يحدث من تسرب جزء من هذه المياه داخل شقوق ومسام الصخر مما يؤدي إلى زيادة المخزون الجوفي من المياه.

ويعد سد وادي نجران أكبر السدود بالملكة العربية السعودية ويقع في منطقة ضيقة بالوادي وتبلغ سعته التخزينية ٨٦ مليون متر مكعب من المياه في بحيرته الموجودة أمامه.

ويبدو جسم السد كما يتضح ذلك من الصورة (٣٥) مقوس بنصف قطر يبلغ ١٤٠ متراً وعرض تسعة أمتار ونصف مع أقصى ارتفاع ٧٣ متراً.



صورة رقم (٣٥)

ويتم تصريف مياهه من مفيض يوجد بقمة السد (عرضه ٦٩ متراً وارتفاعه ١٥ متراً) بطاقة قدرها ٨٢٠٠ م<sup>٣</sup>/ثانية. كما توجد ثلاثة مخارج أخرى قريبة من

قاعده خاصة بالتصريف العادى قطر كل مها ٢,٢٥ متراً. وقد عمل هذا السد على دفع منسوب المياه الجوفية بالمنطقة بجانب مهمته الأساسية فى حجز مياه السيول بدلاً من ضياعها فى الربع الخالى.

## خامساً - الإنسان والسواحل :

### مقدمة

يلعب الإنسان دوراً كبيراً فى تغيير خصائص الساحل من خلال تدخله فى عمليات النظام الساحلى الطبيعى بما يقوم به من ممارسات ونشاطات متعددة مرتبطة بالبيئة الساحلية.

وسواء كان هذا التدخل تدخلاً إيجابياً أو أسلياً مباشراً أو غير مباشر فهو فى كل الحالات يعمل على تعديل العمليات التى تقوم بها الأمواج والتيارات الشاطئية والتيارات المدية تؤازرها عمليات الانهيارات الأرضية التى تشهدها بشكل خاص السواحل الجرفية.

وتؤدى هذه التعديلات فى العمليات بدورها إلى ظهور العديد من الأشكال الجيومورفولوجية التى تم تعديلها بفعل الإنسان إلى جانب ظهور أشكال من صنع الإنسان ذاته لم يكن لها وجود من قبل تدخلاته فى المناطق الساحلية.

ويهدف هذا الجزء إلى إبراز صور التدخلات البشرية فى العمليات الساحلية من خلال المنشآت الهندسية (وسائل الدفاع الساحلية) أو تغذية الشواطئ وغيرها ثم إيجار لأثر الإنسان غير المباشر فى إمكانية تعرض السواحل للغمر البحرى نتيجة لارتفاع منسوب مياه البحار.

عندما يتدخل الإنسان فى العمليات الساحلية فإن تدخله قد يكون بقصد (عن عمد) يهدف من خلاله إلى إنجبار جوانب إيجابية خاصة به ولكنها فى معظمها تكون مع ذلك مؤثرة على فعالية عمليات تشكيل هذه السواحل سواء كانت عمليات مرتبطة بالمياه (كتلك التى ترتبط بالأمواج أو التيارات الشاطئية) أو مرتبطة بالظروف القارية أساساً مثل عمليات الانهيارات الأرضية أو الترسيب النهري (فى السواحل الدلتاوية) أو بالرياح من خلال دورها فى عمليات الترسيب.

وقد يكون تدخل الإنسان تدخلاً سلبياً، فتكون النتائج المترتبة على ذلك أكثر تأثيراً على الإخلال بالتوازن الذى قد تتميز به النظم الساحلية بأنواعها المختلفة. مثال ذلك المنشآت الساحلية التى تنتشر على طول السواحل من مراكز سياحية ساحلية أو تدمير للكثبان الرملية الشاطئية أو ردم الأهوار وتفجير الشعاب المرجانية بغرض توسيع الموانئ. وغير ذلك من التدخلات السلبية.

وتوضيحاً لما سبق سوف نعرض بإيجاز لبعض هذه التدخلات البشرية الإيجابية منها والسلبية المباشر منها وغير المباشر وذلك بهدف إبراز أثر الإنسان على سير العمليات الساحلية وما ينتج عن ذلك من أشكال وملامح ترتبط بالإنسان بقدر ارتباطها بالعمليات الساحلية الجيومورفولوجية أو بدرجة أكبر.

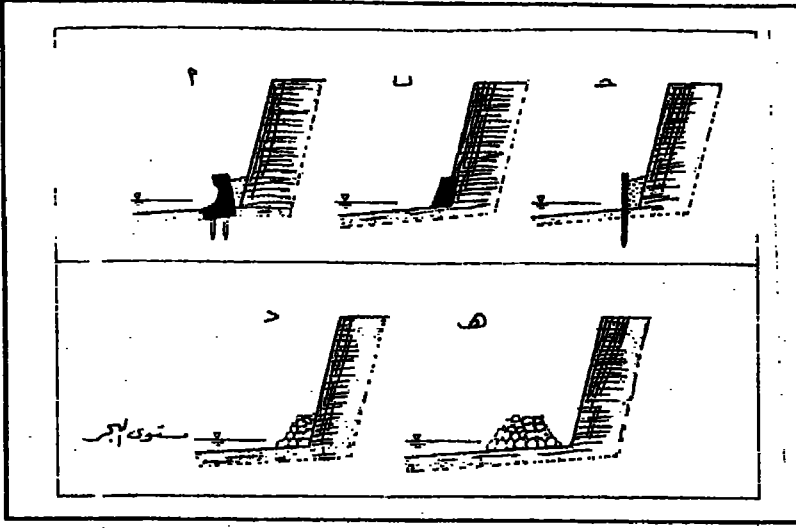
## أ - تدخل الإنسان لحماية الشواطئ من التراجع ومن الغمر البحرى والآثار الجيومورفولوجية لهذا التدخل :

لقد تدخل الإنسان فى النظام الساحلى الديناميكي الطبيعى بصور مختلفة وذلك بهدف الحد من تراجع خط الشاطئ كنتيجة لعمليات النحت البحرية أو عمليات الغمر البحرى للشواطئ inundation أثناء حدوث الجشبات البحرية storm waves المدمرة أو قدوم أمواج التسونامى.

وتتمثل صور تدخله فيما يلى :

١ - إنشائه لدفاعات قوية ضد العمليات البحرية وانهيارات الجروف البحرية يتمثل أهمها فى بناء حوائط بحرية وحواجز وكاسرات أمواج سواء كان ذلك بالسواحل المنخفضة أو سواحل الجروف التى تتعرض بشكل مستمر للغمر البحرى أو التراجع بفعل عمليات النحت والانهارات الأرضية.

وتنقسم الحوائط البحرية sea walls إلى نوعين: النوع الأول وهو النوع الجاسى rigid، والثانى التراكمى المنفذ كما يظهر ذلك من الشكل التالى رقم (١٤٥) والحوائط الصخرية من النوع الأول rigid-type sea walls تصنع من الخرسانة أو من ألواح غطائية من الصلب وعادة ما يتم إنشاء الحوائط الخرسانية على مسافة معينة (قصيرة) من الجرف، وقد تظهر رأسية أو منحدرية أو منحنية.



الشكل رقم (١٤٥)

وقد تكون هذه الحوائط الخرسانية ملاصقة للجرف كما يظهر من الشكل السابق (١٤٥ب) ويهدف إلى حمايته من التراجع recession خاصة عندما تتعاقب على هذه الجروف صخور صلبة كالحجر الجيري مع طبقات لينة مثل الصلصال. أما الحوائط الرأسية أو المنحدرة المصنوعة من ألواح الصلب أو الخشب (١٤٥ج) فتقام على مسافة من وجه الجرف البحرى.

وطبقاً لكلايتون Clayton, 1989 فإن ٧٠٪ من خط الساحل الجرفى شمال شرق نورفولك بإنجلترا والبالغ طوله ٣٣ كيلومتر قد تم حمايتها بواسطة الحوائط الصماء الجاسئة سابقة الذكر مع بعض حواجز الأمواج والتكسية ومعظمها قد تم بناؤها بعد تعرض الساحل لغمر بحرى عاصفى storm surge عام ١٩٥٣.

وباستخدام مادة عملية من القياسات الميدانية المباشرة وجد Clayton أن القطاعات غير المحمية (٣٠٪ من طول الساحل السابق) قد تراجعت خلال عشر سنوات بمعدل ٧ متر فى السنة، بينما تراجعت القطاعات المحمية بأقل من ١ متر فى السنة وتلك القطاعات المحمية بطريقة التكسية<sup>(١)</sup> تراجعت بمعدل سنوى ٣ متر فقط. أما بالنسبة للحوائط الركامية المنفذة mound type sea walls فهى عبارة عن كومات من الحجارة أو الكتل الخرسانية concrete blocks ومن ثم فهى منفذة.

(١) أقل صلابة وثماسكاً من الحوائط الكتبية الجاسئة.

تنقسم تلك الأنواع المنفذة من الحوائط البحرية إلى فئتين أحدهما تركز على الجرف كما يظهر ذلك من الشكل السابق رقم (١٤٥) د والأخرى عبارة عن كتلة متراكمة على مسافة قصيرة من الجرف شكل (١٤٥) هـ ، وقد استخدم النوع (١٤٥) د فى حماية الجروف من التراجع على الساحل الأوسط بكاليفورنيا (Sunamura, T., p213).

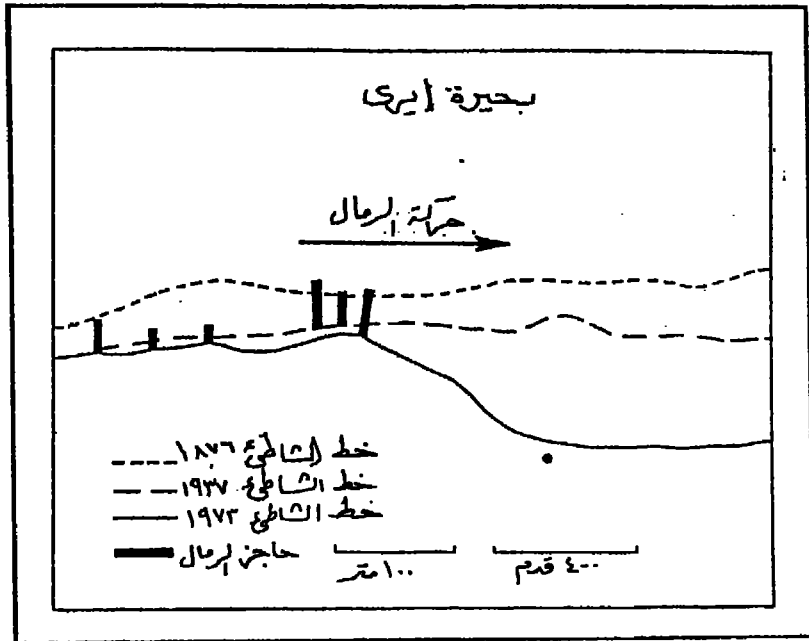
ومع أهمية الحوائط بأنواعها المختلفة فى حماية السواحل من التآكل والتراجع لكنها فى حد ذاتها تمثل أشكالاً معدلة تماماً للمظهر الجيومورفولوجى العام لخط الشاطئ إلى جانب أنها كثيراً ما تؤدي مع عدم الفهم الكامل لطبيعة السواحل إلى الإخلال بنظم النحت والإرساب بالسواحل التى أقيمت عليها. فعلى سبيل المثال نجد أن الحوائط البحرية (خاصة الخرسانية) الذى يؤدي بناؤه إلى الحد من عمليات النحت البحرية وحماية خط الشاطئ يرتبط بالعديد من المثالب يتمثل أهمها فى كونه كبناء خرسانى كثيم يغطى الواجهة البحرية للساحل يعمل على صعوبة الوصول إلى البلاج بجانب أنه كثيراً ما يتسبب فى إعادة توزيع معظم رواسب البلاج بحيث تنكشف أساساته وتعرى (تقوض تقويضاً سفلياً) وينتهى الأمر به للانهدام مثله فى ذلك مثل الحوائط الجرفية الطبيعية خاصة مع تلاطم الأمواج عليه بعنف وارتدادها تجاه البحر بقوة حاملة معها رواسب الشاطئ.

ورغم وجود أشكال متعددة من الحوائط والتكسيات كما رأينا إلا أنها كتل تمثل تراكيب غريبة على الوضع الطبيعى للسواحل (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩٦).

ومن الدفاعات الساحلية كذلك غير الحوائط كاسرات الأمواج break waters وهى عبارة عن بناء مشيد فى موازاة خط الشاطئ وعلى مسافة منه تعمل على تسطح الأمواج وتناقص طاقتها ومن ثم حماية الشاطئ وهى عادة ما تستخدم لحماية البلاجات الرملية بشكل أكبر بكثير من السواحل الجرفية. ومن تأثيراتها على السواحل تراكم الرمال فى المنطقة المحمية وذلك بسبب حدوث المجراف وتشبع للأمواج القادمة إلى الشاطئ. وهناك نوع من كاسرات الأمواج تمتد متعامدة على خط الشاطئ وتقوم فى هذه الحالة بدور مصائد الرمال والهدف من إنشائها منع

الإطماء في الثغور والمصببات الخليجية إلى جانب أنها توفر الحماية لرسو السفن على السواحل المكشوفة. ومن آثارها السلبية على السواحل حدوث إطماء وترسيب على الجانب الأمامي لها مع حدوث نحت على الجانب الخلفي الذي قد يتعرض أيضاً لطغيان البحر. وتستخدم حواجز الأمواج groynes بشكل عام بهدف عرقلة حركة الرواسب على طول الشاطئ والحفاظ على البلاج ولكن قد ينتج عن وجودها تغير في الخصائص الجيومورفولوجية للشاطئ الأمامي fore shore حيث تؤدي إلى ارتفاع منسوبه وحمايته من الأمواج، بينما تؤدي في كثير من الأحوال إلى حدوث نقص في كميات الرواسب خلفها مع حدوث نحت على نحو ما يتم مع كاسرات الأمواج الممتدة امتداداً عمودياً على خط الشاطئ.

وقد قام كارتر Carter بسلسلة من الدراسات الخاصة بأثر منشآت حماية السواحل على التغيرات الجيومورفولوجية على طول ٣٠٠ كيلومتر من شاطئ بحيرة إيري lake Erie التي تتميز بالجروف المقطوعة في الرواسب الجليدية حيث أظهرت قياساته حدوث تغيرات في خطوط الجروف المرتبطة بإنشاء حواجز الأمواج على بعد ٤٠ كم شرق كليفلاند كما يتضح ذلك من الشكل التالي رقم (١٤٦) حيث حدث تراجع متوازن للجروف بلغ معدله خلال الفترة من ١٨٧٦ إلى ١٩٣٧



شكل  
رقم (١٤٦)



٦ متر في السنة. وأثناء الفترة من ١٩٣٧ حتى ١٩٧٣ هبط معدل التراجع إلى ٣ متر في السنة على طول النطاق المواجه لحركة المواد على الشاطئ<sup>١١</sup> updrift area وامتدت الرمال في هذا القطاع لتزيد البلاج اتساعاً. أما في الجانب الخلفي down drift side من الحواجز فقد زادت معدلات النحت والتراجع لتصل إلى ثلاثة أمتار في العام.

كذلك تم على ساحل جنوب إنجلترا عند Barton عمل مشروع حماية تمثل في إنشاء رءوس أرضية اصطناعية artificial headlands (حواجز رمال كبيرة الحجم) وذلك بهدف وقف عملية تراجع الجروف الصلصالية، وقد اعتمد المشروع على فكرة أن الشاطئ الخليجي المستقر (الثابت) يرتبط عادة برأسين أرضيتين تحصرانه فيما بينهما وقد سجل المشروع نجاحاً حتى الآن.

#### أمثلة للدفاعات الساحلية بمصر :

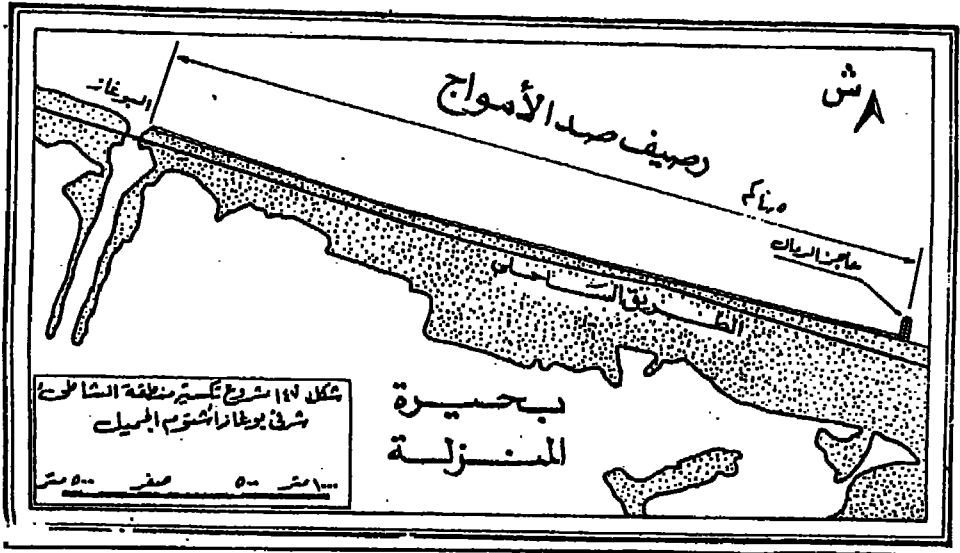
توجد أمثلة للدفاعات الساحلية بمصر منها مشروع تثبيت خط الشاطئ وحمايته بساحل أشتوم الجميل بحاجز بحيرة المنزلة حيث تم إنشاء حائط بحرى خرساني شرق البوغاز (بوغاز أشتوم الجميل) بامتداد أربعة كيلومترات ونصف باتجاه الغرب نحو مدينة بورسعيد إلى جانب إنشاء حاجز للرمال يمتد متعامداً على خط الشاطئ متوغلاً في البحر لمسافة ١٥٠ متراً، ويهدف الأخير إلى حجز الرمال وتوسيع بلاج المدينة والحفاظ عليه خاصة الجانب الغربي منه شكل رقم (١٤٧) وقد ظهرت آثار سلبية على الساحل من جراء هذا الحائط تمثلت في حدوث اضطراب للعمليات الجيومورفولوجية على الساحل حيث حدثت زيادة واضحة في طاقة الأمواج وقدرتها على النحت خاصة مع عدم مسامية أو نفاذية الحائط الخرساني مما ساعد على ارتدادها بعنف إلى البحر بعد اصطدامها بالحائط مما عرضه لعمليات نحر وتقويض استدعت من المسؤولين المتابعة المستمرة وعمل الترميمات اللازمة.

كذلك تستخدم الكتل الخرسانية لحماية شواطئ الدلتا في منطقة البرلس حيث تلقى على مقربة من خط الشاطئ كميات كبيرة يصعب تحريكها من منطقة الشاطئ الأمامي<sup>(١١)</sup>.

(١١) نستخدم في بعض الأحوال محركات السيارات القديمة بدلاً من الكتل الخرسانية وهذه الوسيلة لها كما لساققتها العديد من المثالب تتمثل في كونها تراكيب ومكونات إضافية من صنع الإنسان تعمل على تشوية الشاطئ واضطراب العمليات الساحلية مع عدم تجاهل دورها في الحماية وتشيت الأمواج.

## ب- النشاطات البشرية وانهيارات الجروف الساحلية :

هناك كما عرفنا أنواع مختلفة من الانهيارات الأرضية mass wasting التي تتعرض لها أوجه الجروف الساحلية مثل الانزلاقات الدورانية والانزلاقات الأرضية وغيرها مثل تلك الانهيارات التي تعرضت لها منطقة Fol rstone Warren بساحل كنت بالمجلترا والتي بلغت عشرة انزلاقات دورانية rotational landslidings منذ عام ١٧١٠ حتى ١٩١٠ وهي سواحل مكونة من صخور طباشيرية متعاقبة مع صخور صلصالية .

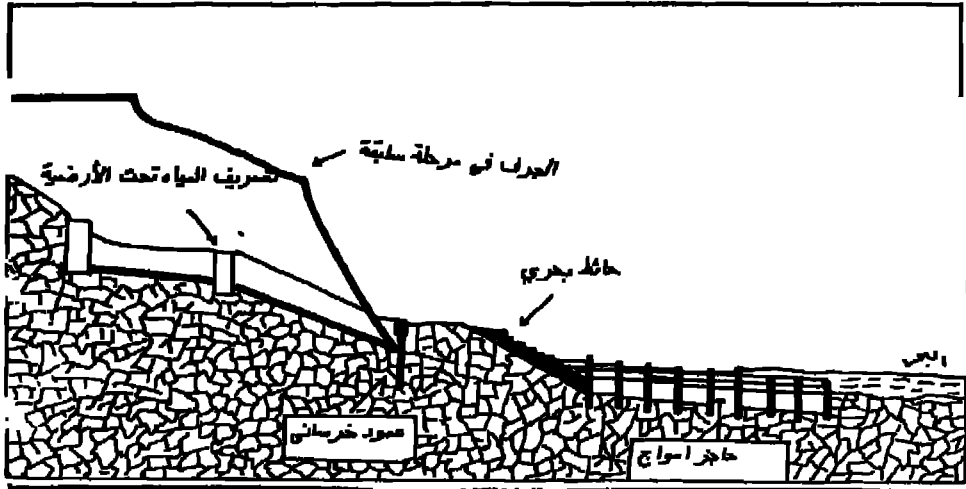


شكل رقم (١٤٧)

وقد تم هنا عمل دفاعات ساحلية وتصريف للمياه لتقليل ضغط المياه الجوفية كما تم عمل قطوع اصطناعية artificial cutting لسطح الجرف لجعله أقل انحداراً في مواضع معينة مثلما حدث على الجروف الصلصالية بساحل كلاكتون بالمجلترا . ومن الوسائل الأخرى لحماية هذه الجروف من الانهيارات والانزلاقات الصخرية القيام بعمليات حفر اصطناعية لشمهد السفوح ، وتعد الأخيرة من أكبر ، الوسائل انتشاراً وفعالية في عمليات استقرار أوجه الجروف الشاطئية .

كذلك يؤدي مد الطرق على حافات تلك الجروف على زيادة الضغط عليها مما يسبب عدم استقرار لها مثلما الحال في منطقة سانتا كروز بولاية كاليفورنيا كذلك يؤدي وجود المنشآت والمباني نفس الدور الذي تقوم به الحركة الكثيفة على الطرق الممتدة فوق حافة الجروف edge of cliffs.

ويوضح الشكل التالي رقم (١٤٨) بعض وسائل حماية جروف منطقة والطن Walton بساحل إيست إنجليا بإنجلترا وهي من السواحل التي تتعرض للتراجع بشكل سريع. وهناك موجات مستمرة بين الإنسان والبحر أحياناً تشهد درجات مختلفة من النجاح. لاحظ تعدد وسائل الدفاعات من حواجز وحائط بحري ومد أنابيب لتصريف المياه وكلها بطبيعة الحال وسائل تهدف أساساً إلى حماية الساحل من التراجع المتزايد للجروف الصلصالية بالمنطقة بمعدلات قد تصل إلى نحو المتر في العام وكانت تبلغ في الفترة من ١٩٢٢ حتى ١٩٥١ .٨٦, من المتر/ في العام وترجع الزيادة إلى التدخلات البشرية وإنشاء الطرق والمساكن باعتبارها من مناطق الترمية الساحلية<sup>(١)</sup> (Knapp, B, P120).



شكل رقم (١٤٨)

(١) تتعرض لعدة الجروف للانهياريات والانزلاقات بسبب ضعف صخورها وتشبعها بالمياه الجوفية مما يتطلب عمل هذه الدفاعات ومنها مد أنابيب صرف للمياه داخلها

## جـ- تغذية البلاجات بالرمال وأثارها الجيومورفولوجية :

تعد إضافة الرمال إلى البلاجات من الوسائل الهامة المستخدمة لتحسينها وحمايتها من الإزالة بفعل الأمواج، ويتم ذلك من خلال ضخ رمال في منطقة الشاطئ البعيد off shore لتتحرك مع الأمواج باتجاه خط الشاطئ حيث البلاج المطلوب تغذيته .

ومن أفضل الأمثلة الخاصة بتغذية البلاجات بالرمال ما تم على شاطئ آيس إنجليا بإمجلترا على مسافة عشرين كيلومتر من كلاكتون، وذلك في قطاع يتعرض فيه الشاطئ لعمليات نحر بحرية بجانب استنزاف الرمال بفعل عمليات الحصر dredging التي تتم في ميناء فليكستو والتي يباع منها سنوياً ٢٥٠ ألف متر مكعب تستخدم في أغراض البناء . وقد انعكس كل ذلك على حدوث نقص شديد في الرواسب بالساحل، ومن ثم تعرض عمليات النحت والإرساب الساحلية لخلل شديد في توازنها الديناميكي .

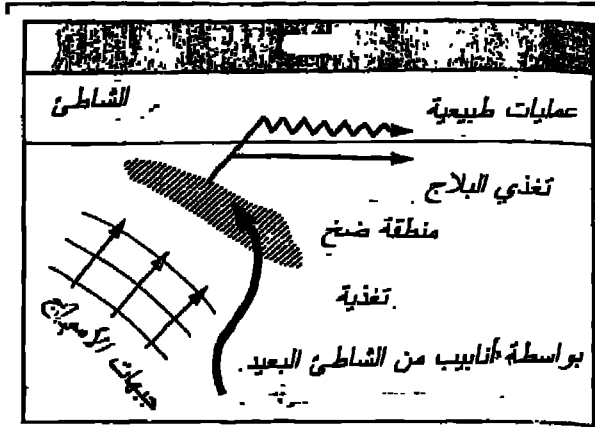
وفي شاطئ لونج بيتش بولاية نيوجيرسى الأمريكية تم إلقاء كميات ضخمة من الرواسب قدرها ٦٠١,٩٩١ ياردة مكعبة على بعد نحو نصف ميل من خط الشاطئ وذلك بهدف بناء البلاج الذي يعاني من نقص في رماله بسبب عمليات النحت المستمرة . وقد أقيمت كمية الرمال السابقة على عمق ١٣ متر تقريباً، وقد تشكلت بعد ذلك في صورة حافة رملية غارقة بارتفاع أكثر من مترين وعرض ٢٥٠ متراً وطول ١٢٥٠ متر تقريباً .

ويوضح الشكل التالي رقم (١٤٩) نظام تغذية beach nourishment system حيث تنقل الرواسب الرملية في منطقة الضخ بواسطة خط أنابيب pipeline من الشاطئ البعيد يلاحظ اتجاه الأمواج واندماج هذ الرواسب مع العمليات الطبيعية الساحلية الخاصة بعملية التغذية .

## د - عمليات الحفر dredging على السواحل وما يرتبط بها من تغيرات على الشواطئ :

تمثل الآثار الجيومورفولوجية لعمليات الحفر بالمناطق الساحلية فيما يلي :

- حدوث تغير فى التوازن بين عمليات النحت والنقل والترسيب فى المنطقة الشاطئية الضحلة littoral حيث تتغير أنماط الأمواج المقتربة من الشاطئ.
- حدوث تداخل مع الاستخدامات المختلفة بالمنطقة الساحلية مع ظهور ملامح مورفولوجية لم تكن موجودة من قبل.



شكل رقم (١١٩)

عادة ما تكون الشطوط الرملية sand banks الموجودة أمام خط الشاطئ مصدرًا للرمال التى تتجه (تنقل) نحو البلاج وتعمل على تغذيته بشكل طبيعى من خلال العمليات البحرية ويعنى إزالتها بالحفر حدوث تغير فى أنماط الأمواج المقتربة من الشاطئ إلى جانب حرمان البلاج من مصدر من مصادر تغذيته.

ويرتبط بعمليات الحفر ما يتم أحياناً فى مواضع المرافئ بالسواحل المرجانية حيث يتم توسعة مراسى السفن من خلال عمليات تدمير للشعاب المرجانية كما يحدث على سواحل البحر الأحمر فى بعض المواضع .

## هـ - تثبيت الكثبان الرملية الساحلية وأثارها الجيومورفولوجية :

تعد العمليات التى يقوم بها الإنسان لتثبيت الكثبان الرملية الساحلية من الوسائل المفيدة فى بعض السواحل التى تؤدى إلى تحسن منطقة الشاطئ الخلفى وإن كان من أثارها السلبية وتقلص مساحة الشاطئ الأمامى وذلك وفقاً لدراسة Dolan وقياساته لما تعرضت له الجوانب الخارجية للسواحل قرب رأس هاتيراس بولاية كارولينا الأمريكية .

والواقع أنه عندما يتدخل الإنسان ويعمل على تثبيت الكثبان الساحلية فهو في ذات الوقت يقوم بتعديل العمليات السائدة على الساحل حيث يساعد على تثبيتها على حماية الساحل من الأمواج من خلال قيامها (الكثبان) كمصدات طبيعية بتشتيت طاقة الأمواج فوق مساحة أكبر مما يتيح فرصة لزيادة اتساع البلاجات عكس ما ذكره Dolan، حيث تكتسب هذه البلاجات مواد فتاتية ناتجة عن نحت الأمواج لمقدمات (جبهات) هذه الكثبان.

### و - تجفيف الأهوار والسبخات الساحلية :

عندما يقوم الإنسان بتجفيف الأهوار والسبخات التي عادة ما تكثر على الشواطئ الرملية المنخفضة فإنه بذلك يقوم بدوره المؤثر في حسم الموقف لصالح الأمواج البحرية والعواصف، ومن ثم يصبح الشاطئ أكثر حساسية لأي ارتفاع في منسوب البحر، حيث إنه من المعروف أن السبخات تعد أفضل الدفاعات الطبيعية الساحلية ضد العمليات البحرية خاصة مع نمو النباتات الملحية التي تعمل على تماسك التكوينات وتصيد الرمال وتشتت طاقة الأمواج التي عادة ما تتعرض لها خلال فترات المد.

كذلك قد يؤدي تدخل الإنسان في طبيعة الحواجز التي تفصل الأهوار والبحيرات الشاطئية إلى تعرض الساحل لعمليات النحت البحرية بشكل مؤثر وتتمثل هذه التدخلات في مد الطرق فوقها أو من خلال إزالة الأشكال الرملية من كثبان ونباك وغيرها مثلما يتضح من التدخلات البشرية السلبية للإنسان في حاجز بحيرة المنزلة بساحل مصر الشمالي وكذلك حاجز بحيرة البرلس.

وجدير بالذكر أن إهمال البواغير وانغلاقها بتلك الحواجز قد يؤدي إلى جفاف البحيرات الساحلية بسبب عدم وصول مياه البحر إليها وتعرض ما بها من مياه للتبخر خاصة في العروض المدارية الجافة التي ترتفع بها درجات الحرارة ينتهي بها الأمر إلى التحول لأسطح سبخية جافة تتعرض بشكل مستمر لعمليات التجوية خاصة الملحية منها مع تعرضها للتدرية بفعل الرياح.

- كذلك يقوم الإنسان بدور غير مباشر في الإخلال بعمليات التوازن الساحلى من خلال المشاريع الهندسية التي تقام على الأنهار الكبرى التي تنتهي

بسواحل دلتاوية، حيث يؤدي بناء السدود وخاصة الركامية منها إلى حجر الرواسب التي كانت تصل إلى منطقة المصب وتعمل على بناء وتقدم الساحل الدلتاوى على حساب البحر، ومن ثم تتعرض مواضع كثيرة منها للنحت البحرى والتراجع نتيجة لندره ما يصل إليها من رواسب ولنا مثل قريب فى سواحل دلتا نهر النيل التي تتعرض مواضع مختلفة منها للنحت والتراجع (للاستزادة راجع المؤلف، ١٩٩١) وذلك بعد بناء السد العالى وحجزه لأكثر من ١٢٠ مليون طن سنوياً من الرواسب النيلية داخل بحيرة السد.

ومن الآثار غير المباشرة للإنسان ما يمكن أن يتعرض له البحر من ارتفاع فى منسوبه مستقبلاً وما يترتب على ذلك من غمر لمساحات ساحلية واسعة وتراجع شديد للجروف باتجاه اليابس.

ويتوقع الكثيرون ارتفاع فى منسوب سطح البحار خلال القرن القادم وذلك بسبب ارتفاع درجة الحرارة نتيجة للنشاطات البشرية المتزايدة.

وتعد التقديرات التي قدمتها وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة الأمريكية المعروفة باسم (EPA)<sup>(١)</sup> منذ أوائل الثمانينات من هذا القرن من أوائل المحاولات التقديرية لارتفاعات مستوى البحر فى المستقبل والتي قد تتراوح ما بين ٥٠ سم و ٣٥٠ سم فى عام ٢١٠٠ واختلفت التقديرات بعد ذلك، فنجدها عند (Thomas 1986) تتراوح ما بين ٩٠ - ١٧٠ سم للعام ٢١٠٠.

ولنا أن نتصور ماذا يمكن أن يحدث للسواحل المنخفضة بالذات إذا ما صدقت هذه التوقعات التي بنيت على أسس عملية سليمة، فالشواطئ المنخفضة ستغرق لمسافات بعيدة وتختفى تماماً الأرصفة الشاطئية الحالية وستغرق الكثير من المدن الساحلية (للاستزادة والتفاصيل راجع Sunamura, t, pp. 225 - 228).

### سادساً - الإنسان وظاهرة الهبوط السطحي للأرض :

تتعرض بعض المناطق لهبوط السطح أو ما يعرف فى الجيولوجيا الهندسية بالترسيب subsidence ويقصد به ببساطة حدوث حركة رأسية وأفقية لسطح الأرض تنشأ عادة نتيجة للإخلال بحالة التوازن الإستاتيكي للطبقات الأرضية.

(١) U.S Environmental Protection

وقد تحدث هذه الحركة بشكل تدريجي بطيء، أو بصورة فجائية، يرتبط الهبوط التدريجي عادة بالسحب الزائد للسوائل الجوفية من مياه وبتترول، بينما يرتبط الهبوط الفجائي بعمليات تعدين المواد الصلبة مثل الفحم والتحاس والحديد وغيرها حيث يحدث هبوط موضعي في مداخل المناجم وفي المناطق المتاخمة لها. ولن ندخل في تفاصيل هذه العملية وأسبابها الطبيعية وستقتصر المعالجة على الأسباب البشرية وراء حدوث هذه الظاهرة<sup>(١)</sup>.

### أ- الهبوط الأرضي ( الترييح ) نتيجة لاستخراج السوائل تحت الأرضية :

عندما تستخرج السوائل من باطن الأرض بكميات ضخمة يحدث نقص في كمية السائل بالخزان الجوفي *under ground reservoir* مما يؤدي إلى زيادة في قوة التحميل (الإجهاد) *stress strength* على الطبقات التحتية سواء عن طريق ما يعرف بضغط الجاذبية *gravitational stress* الذي ينتج عن الحمولة الزائدة فوق الرواسب أو عن طريق الضغط الديناميكي الناجم عن نشع السوائل *dynamic seepage stress* خلال مسام الصخر وكلاهما يزداد تأثيره وضوحاً مع حدوث نقص في ضغط السوائل *fluid pressure* مما يؤدي بالتالي إلى نقص في نسبة المسامية يرتبط بها حدوث تغيرات في الخصائص الميكانيكية للرواسب (موسى وزملاؤه، ١٩٦٨) حيث يشتد تماسكها وتحرك إلى أسفل.

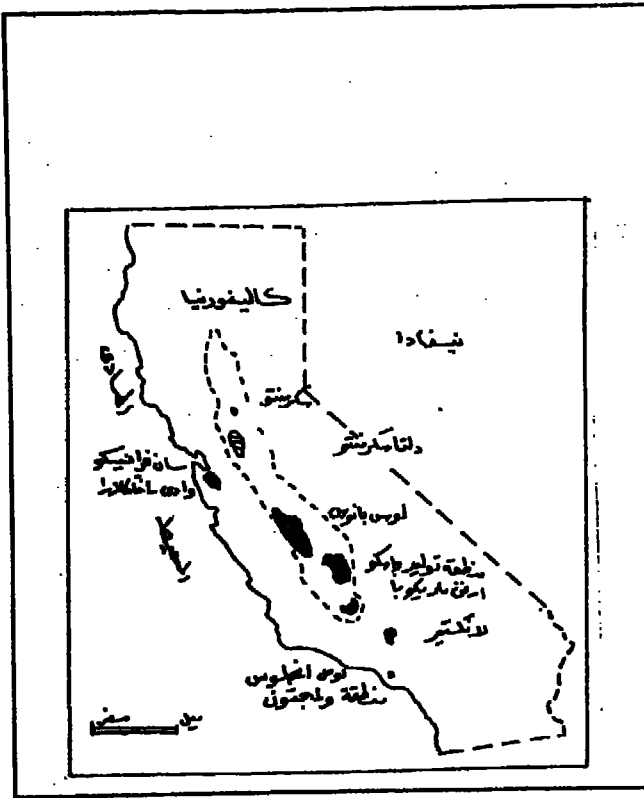
وقد حدث في العديد من المناطق الغربية من الولايات المتحدة أن أدى الحبس المتزايد للمياه الجوفية من خزاناتها الجوفية الحبيسة ذات الرواسب المفككة إلى هبوط مساحات واسعة منها مثل الهبوط الذي حدث في وادي أنتيلوب *Antelope valley* في منطقة لانكستر شمالي جبال سان جبريل والذي بلغ ٣ أقدام في مساحة قدرها ١٦٠ ميلاً مربعاً.

---

(١) للاستزادة ومعرفة التفاصيل يمكن الرجوع للمؤلف ١٩٩٠ (١).



ويوضح الشكل التالي رقم (١٥٠) مناطق الهبوط السطحي بولاية كاليفورنيا حيث هبطت مساحة تقدر بنحو ثلث حوض وادي سان جواكين (٣٥٠٠ ميل مربع) لأكثر من قدم، وهذه المساحة تعلو خزانات تحتية حيصة تقع على عمق ٢٠٠ متر من السطح. كذلك هبط سطح الأرض في مدينة سان خوزية بنحو ثلاث أمتار (ثلاثة عشر قدمًا) خلال الفترة من ١٩٦٠ إلى ١٩٦٧. وفي اليابان تعرضت مساحات واسعة من إقليم طوكيو وإقليم أوزاكا للهبوط إلى ما دون مستوى المد العالي بحيث تتعرض حاليًا لعمليات غمر بحرية ويرجع هبوط الأراضي هنا إلى الاعتماد المتزايد على المياه الجوفية لسد حاجة التجمعات السكانية الضخمة.



شكل رقم (١٥٠)

#### مناطق الهبوط بولاية كاليفورنيا الأمريكية

الرئيسي على المياه الجوفية، فقد هبطت أجزاء كبيرة من المدينة إلى نحو أربعة أمتار تقريبًا خلال المدة من ١٩٤٨ حتى ١٩٨٠.

والواقع أن مشكلة الهبوط الأرضي تعد الآن من المشكلات الخطيرة في مدن اليابان حيث يوجد هناك أكثر من عشر مناطق تتعرض للهبوط بسبب السحب الزائد للمياه الجوفية.

كذلك حدث في لندن هبوط أرضي عام ١٩٣١ بسبب سحب المياه الارتوازية من حوض لندن الجوفي الارتوازي. وتعد مدينة نيو مكسيكو عاصمة المكسيك من أكثر مدن العالم التي تتعرض لهذه الظاهرة بسبب اعتمادها

وقد سجل المؤلف هبوطاً أرضياً واضحاً في منطقة التحتية بالواحات البحرية قرب مدينة الباويطى التى تزرع زراعة كثيفة معتمدة على سحب المياه الجوفية من عدد كبير من الآبار وقد كان من نتائج هبوط سطح الأرض تراكم المياه بالمنطقة فى شكل مناقع مائية وسبخات فى المناطق الوطنية منها.

وفى واحة سيوه وجد المؤلف أثناء إحدى زيارته العديد من مظاهر الهبوط السطحي يتمثل فى هبوط أراضي حول بعض العيون المائية نتيجة لسوء استخدام المياه وتركها متدفقة بشكل مستمر مما أدى إلى حدوث تقويض ينبوعى ارتبط به هبوط مساحات متاخمة للعيون المائية.

أما عن الهبوط الأرضي الناتج عن استخراج البترول والغاز الطبيعي فإنه عادة ما يتميز بمحليته وتركزه فى مناطق محدودة ووضوحه بشكل أكبر عما يترتب على سحب المياه الجوفية. ومن مناطق الهبوط الرئيسية الناتجة عن سحب البترول منطقة حقل ولنجتون بالولايات المتحدة حيث يأخذ الهبوط الشكل البيضاى -elliptical shape يمتد محوره من الشمال الغربى إلى الجنوب الشرقى وقد بلغ الفارق الراسى للهبوط الأرضى الذى تعرضت له المنطقة خلال الفترة من ١٩٢٨ حتى ١٩٧١ تسعة أمتار ونصف تقريباً. وعادة ما يرتبط الهبوط فى مناطق استخراج البترول بحركات أفقية تؤدى إلى تشوية الطبقة السطحية وظهور بعض التموجات.

### ب - هبوط سطح الأرض بسبب عمليات التعدين الباطنى :

تعد عمليات التعدين الباطنى مسئولة فى جانب كبير منها عن حدوث الهبوط الموضعى فى كثير من المناجم حيث يعد التعدين بمثابة إزالة جزء من مكونات القشرة الأرضية وتكوين تجويفات تحتية تتعرض لانهايار أسقفها خاصة مع زيادة كمية المواد التى يتم تعديلها وشق ممرات رئيسية أفقية ورأسية داخل المنجم تؤدى إلى تقويض سفلى يتسبب عنه فى كثير من الأحوال تدمير وتشويه لسطح الأرض فى مناطق التعدين.

وكثيراً ما يؤدى استخراج الفحم فى أوربا إلى حدوث هبوط أرضى فى مساحات واسعة حول مناطق الاستخراج تتعرض للغمر مثلما حدث من هبوط

للأرض بالسهل الفيضى لنهر ستور Stour قرب كنتربرى فى بريطانيا بسبب تعدد طبقة من الفحم يتراوح سمكها ما بين ١,٢ إلى ١,٥ متر. وقد بلغ الهبوط الذى بدأ فى الظهور منذ عام ١٩٣٣ إلى ٦٠ سنتيمترا.

كذلك قد يحدث هبوط أرضى فى بعض المناطق الزراعية نتيجة لعمليات الري مثل رواسب المراح الفيضية الهامشية بوادى سان جواكين بكاليفورنيا حيث شهدت هبوطاً تراوح بين ٥ - ١٥ قدماً. وعادة ما يحدث الهبوط بسبب تعاقب البلل مع الجفاف على أنواع التربة الصلصالية حيث يؤدي جفافها بعد ابتلالها إلى تصلبها وانكماشها.

والواقع رقم أن ظاهرة الهبوط السطحي للأرض غير ملحوظة فى كثير من المناطق خاصة فى الدول غير المتقدمة التى لا تتوفر بها عمليات مسح وقياسات دقيقة إلا أن نتائجها ذات أثر كبير على العديد من جوانب الاستخدامات البشرية المختلفة، فالهبوط يرتبط مثلاً بحدوث اضطراب فى نظم الري والصرف وانهيار السدود والخزانات السطحية وترييح المباني.

إلى جانب أنها ترتبط بحدوث فيضانات وغمر للمساحات الهابطة على جوانب الأنهار<sup>(١)</sup> كذلك قد تسبب فى تدمير أنابيب نقل المياه أو البترول والغاز الطبيعى، ومن آثاره أيضاً تعرض الطرق البرية والخطوط الحديدية للاضطراب.

ونظر للآثار العديدة التى تنتج عن الهبوط قد واجه الإنسان هذه الظاهرة أو المشكلة من خلال عدة طرق تتمثل فى إعادة حقن حقول البترول بالمياه مثلما حدث فى حقل ولمنجتون سابق الذكر حيث تم حقنه فى عام ١٩٦٨ وتم إعادة ضغط السائل بخزاناته الجوفية إلى طبيعتها الأولى ونتج عن ذلك توقف الهبوط الأرضى.

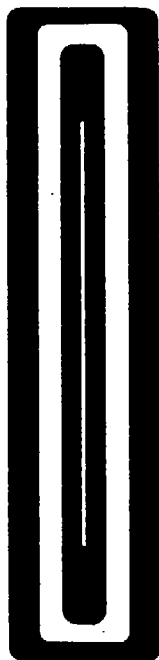
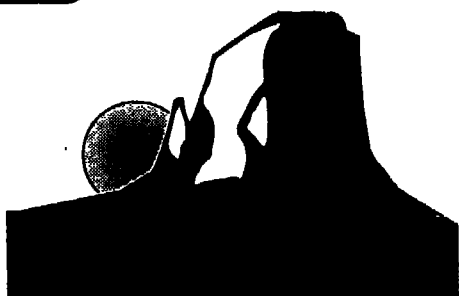
كذلك بدأ الإنسان فى تلك المناطق التى تعتمد على المياه الجوفية بشكل متزايد فى جلب مياه من مناطق بعيدة للحد من استنزاف المياه الجوفية المحلية وتعرض المنطقة للهبوط.

---

(١) كذلك تتعرض قطاعات الأنهار التى تجرى خلال المناطق الهابطة للاضطراب.



المراجع





## أولاً. المراجع العربية

- ١ - أحمد معتوق (١٩٩٦) الملامح الجيومورفولوجية للانزلاقات الأرضية بوادى ضلع - دراسة حالة - الكتاب العلمى السنوى - كلية اللغة العربية والعلوم الاجتماعية - أبها.
- ٢ - جمال حمدان (١٩٨٠) شخصية مصر - دراسة فى عبقرية المكان - الجزء الأول - القاهرة.
- ٣ - جودة حسنين جودة (١٩٨٠) معالم سطح الأرض، الإسكندرية.
- ٤ - جودة حسنين ومحمود عاشور (١٩٩١) وسائل التحليل الجيومورفولوجى - القاهرة.
- ٥ - حسن رمضان سلامة (١٩٨٠) دور الإنسان كعامل جيومورفولوجى - الجمعية الجغرافية السورية - المجلد الخامس.
- ٦ - حسن رمضان سلامة (١٩٨٣) مظاهر الضعف الصخرى وآثارها الجيومورفولوجية - شهر مايو - دمشق.
- ٧ - حسن سيد أبو العينين (١٩٧٦) أصول الجيومورفولوجيا - الإسكندرية.
- ٨ - حسين محمد القلاوى (١٩٩١) حرة هرمة شمال شرق المدينة المنورة - تطبيق فى الجيومورفولوجيا لظاهرة الحرات - نشرة البحوث الجغرافية - كلية البنات - جامعة عين شمس العدد الثالث عشر.
- ٩ - خالد محمد العنقرى (١٩٨٦) الاستشعار عن بعد وتطبيقاته فى الدراسات المكائنية - الرياض.
- ١٠ - سميح عودة (١٩٨٤) جيومورفولوجية الهوات فى الجبل الأخضر بليبيا - الجمعية الجغرافية الكويتية - الكويت - العدد ٦٣.

- ١١ - طه محمد جاد (١٩٧٨) الخريطة الكنتورية باهتمام جمر فولوجى - القاهرة.
- ١٢ - طه محمد جاد (١٩٨٠) بعض خصائص التصريف المائى بمرتفعات مصر الشرقية - مجلة البحوث والدراسات العربية - العدد العاشر - القاهرة.
- ١٣ - عبد الحميد أحمد كليو (١٩٨٥) الإنسان كعامل جيومورفولوجى ودوره فى العمليات الجيومورفولوجية النهريّة - الجمعية الجغرافية الكويتية - لعدد ٨٠ - الكويت.
- ١٤ - عبد الحميد أحمد كليو وإسماعيل الشيخ (١٩٨٦) نيباك الساحل الشمالى فى دولة الكويت - دراسة جيومورفولوجية - وحدة البحوث والترجمة - قسم الجغرافيا - جامعة الكويت - الكويت.
- ١٥ - على حسن الشلش (١٩٨٥) جغرافية التربة - الطبعة الثانية - البصرة.
- ١٦ - فخرى موسى وزملائه (١٩٦٨) الجيولوجيا الهندسية - القاهرة.
- ١٧ - مجدى السرسى (١٩٩٦) الزراعة الجبلية فى عسير - الجمعية الجغرافية الكويتية (تحت الطبع).
- ١٨ - محمد صبرى محسوب (١٩٨٣) الظاهرت الجيومورفولوجية الرئيسية - دراسة تحليلية بالأشكال والرسوم التوضيحية - القاهرة.
- ١٩ - محمد صبرى محسوب (١٩٨٤) العمليات الهوائية ودور التجارب العملية والدراسات الحقلية فى تفهمها - المجلة الجغرافية العربية - العدد ١٦ - القاهرة.
- ٢٠ - محمد صبرى محسوب (١٩٨٦) جوانب من مورفولوجية عيون الأفلاج بهضبة نجد - المجلة الجغرافية العربية - الجمعية الجغرافية المصرية - العدد ١٨ .



- ٢١ - محمد صبرى محسوب - (١٩٨٧) مورفولوجية الاراضى بمنطقة أبها الحضرية - من خلال الملاحظات الميدانية والقياسات المورفومترية - الندوة الثالثة لأقسام الجغرافيا بالسعودية - جامعة الإمام بالرياض .
- ٢٢ - محمد صبرى محسوب (١٩٨٩) جغرافية الصحارى المصرية (الجوانب الطبيعية) - الجزء الأول - شبه جزيرة سيناء - دار النهضة العربية - القاهرة .
- ٢٣ - محمد صبرى محسوب (١٩٩٠) جغرافية الصحارى المصرية (الجوانب الطبيعية) - الجزء الثانى - الصحراء الشرقية - دار النهضة العربية - القاهرة .
- ٢٤ - محمد صبرى محسوب (١٩٩٠) أشكال سطح الارض الرئيسية بالإحساء - دراسة جيومورفولوجية - نشرة البحوث الجغرافية - كلية البنات - جامعة عين شمس - العدد .
- ٢٥ - محمد صبرى محسوب (١٩٩٠) ظاهرة الهبوط السطحي للأرضى - أسبابها البشرية آثارها الجغرافية - المجلة الجغرافية العربية - العدد ٢٢ - القاهرة .
- ٢٦ - محمد صبرى محسوب (١٩٩١) جيومورفولوجية السواحل - دار الثقافة للنشر والتوزيع - القاهرة .
- ٢٧ - محمد صبرى محسوب (١٩٩٢) صحراء مصر الغربية دراسة فى الجغرافيا الطبيعية - القاهرة .
- ٢٨ - محمد صبرى محسوب (١٩٩٣) الجغرافيا الطبيعية - أسس ومفاهيم حديثة - القاهرة .
- ٢٩ - محمد صبرى محسوب (١٩٩٤) سواحل مصر ( بحوث فى الجيومورفولوجيا ) - القاهرة .

- ٣٠ - محمد صبرى محسوب (١٩٩٦) البيئية الطبيعية - خصائصها وتفاعل الإنسان معها - دار الفكر العربى - القاهرة.
- ٣١ - محمد صبرى محسوب وأحمد الشريعى (١٩٩٦) الخريطة الكنتورية - قراءة وتحليل - دار الفكر العربى - القاهرة.
- ٣٢ محمد صفى الدين (١٩٧٦) جيومورفولوجية قشرة الأرض - القاهرة.
- ٣٣ - محمد يوسف حسن وزملاؤه (١٩٩٠) أساسيات علم الجيولوجيا - عمان.
- ٣٤ - محمود دياب راضى (١٩٩٣) الخرائط الطبيعية - القاهرة (تحت الطبع).
- ٣٥ - محمود عاشور (١٩٨٦) طرق التحليل المورفومتري لشبكات التصريف المائى - حولىة كلية الإنسانيات والعلوم الاجتماعية - العدد ٩ - جامعة قطر - الدوحة.
- ٣٦ - نبيل سيد إمبابى وأحمد عبد السلام (١٩٩٠) المنخفضات فى شبه جزيرة قطر - دراسة جيومورفولوجية - الدوحة.
- ٣٧ - نبيل إمبابى ومحمود عاشور (١٩٨٣) الكثبان الرملية فى شبه جزيرة قطر - الجزء الأول - مركز الوثائق والدراسات الإنسانية - جامعة قطر - الدوحة.
- ٣٨ - نبيل إمبابى ومحمود عاشور (١٩٨٥) الكثبان الرملية فى شبه جزيرة قطر - الجزء الثانى - جامعة قطر - الدوحة.
- ٣٩ - يحيى أنور ومحمد العربى (١٩٦٥) الجيولوجيا الطبيعية والتاريخية - الإسكندرية.

## ثانياً - المراجع الأجنبية

- 1 - Allison, I.S - and Palmer, D.F (1962) Geology, Ied, New York.
- 2 - Bagnold, R.A, (1941) The Physics of Blown Sand Dunes, London.
- 3 - Ball, J. (1933), Quttara Depression, Cairo.
- 4 - Bcheiry, S (1967) Geomorphology of The Western desert Margin Between Sohag and Nag Hamady, bull. soc. geog d'Egypte.
- 5 - Bunnet, R.B (1965) Physical Geography in Diagrams, London.
- 6 - Chorley, R.J (1969) Basin as The Fundamental Geomorphic Unit in Fluvial Processes, edited by Ehorley, R, J. London.
- 7 - Clark, H and Small,J, (1982) Slopes and Weathering, London.
- 8 - Collinson, J.D, (1978) Deserts, edited by Reading, H.G, Oxford. London.
- 9 - Cremona, J. (1988) A Field Atlas of Sea Shore, New York.
- 10 - Cooke, R.U and Doornkamp, J. C. (1978) Geomorpholgy in Environmental Managment - An Introduction, London.
- 11 - Davies, J.L. (1980) Geographical Variations in Coastal Development, London.
- 12 - Derbyshire, L. etal, (1979) Geomorphological Processes, London.
- 13 - Dury, G.H, (1969) Relations of Morphometry to Runoff Frequency, in Fluvial Processes edited by Chorley, R.J (1969).
- 14 - Mery, K.P, (1946) Marine Solution Basins, Jom of geol, vol, 54

- 15 - Frank, F (1978) Land Subsidence in Geology in Urban Environment, edited by Udgard, F.D. etal, Mineapolis.
- 16 - Gardner, J.S. (1977) Physical Geogrophy New York.
- 17 - Gill, E.D., (1972) The relationship of Present Platforms to past sea levels, Boreas, 1,1-25.
- 18 - Gill, E.D. (1972) Ramparts on shore Platforms, Pacific Geology, 4, 121-133.
- 19 - Goodson, J. B and Morris, JA. (1971) The New Contour Dictionary, London.
- 20 - Guilcher, A. (1958) Coastal and Submarine Morphology, London.
- 21 - Hastnrath, S.L. (1967) The barchan of the Arequipa Sothem Peru. Zeit. F. Geomorph, Val. 11.
- 22 - Hack, J.T., Goodlett (196) Geomorphology and forest ecology of mountain region in cncentral Applacian, U.S. Geol. Surv, Prof. Paper, 347.
- 23 - Higgins, C.G. (1980) Nips, notches and the solutions of coastal limestone, Estuarine Marine Science, 10. 15-30.
- 24 - Hills, E.S. (1949) Shore platforms, Geological Mag. 86, 137-52.
- 25 - Hills, E.S. (1972) Shore Platforms and wave ramps, Geological Mag.. 109, 81-80.
- 26 - Holmes, A., (1978), Principles of Physical Geology. London.
- 27 - King, C.A.M, (1959) Beaches and Coasts. London.
- 28 - King, C.A.M, (1974)Introduction to marine Geology and Geomorphology, London.
- 29 - King, C.A.M, (1979) Teqniques in Geomorphology, London.
- 30 - Knapp, B, etal (1989) Challenge of the Natural Environment. London.

- 31 - Kirkby, M.J. (1969) Infiltration, Through flow, and Overland flow in "Fluvial Processes" edited by Chorley, R. London.
- 32 - Leopold, et al. (1964) Fluvial Processes in Geomorphology, San Francisco.
- 33 - Monkhouse, F.J (1978) Dictionary of Geography, 2 ed, London.
- 34 - Morisaw, M., (1968) Streams: Their dynamics and Morphology. M, Grow - Hill.
- 35 - Morisaw, M., (1975) Geomorphology, Laboratory Manual with Report forms, New York.
- 36 - Murry, W.G., (1947) Desiccation in Egypt, Bull. Soc. Geog D'Egypte. Tome B.
- 37 - Newson, M.D and Hanwell, J.D (1982) Systematic Physical Geography, London.
- 38 - Pitty, A.F, (1973) Introduction to Geomorphology, London.
- 39 - Sawyer, K.E (1978) Landscape Studies - an introduction to Geomorphology, London.
- 40 - Sellwood, B.W. (1978) Shallow- Water Carbonate Environments in "sedimentary Environments and Facies, edited by Reading, H.C., London.
- 41 - Schumm, S.A. (1956) Evolution of Drainage Systems and slopes in Badland and Perth Embay, New Jersey Geol, Soc. Am. Bull., Vol 67, pp597-646
- 42 - Sharma R,C, (1970) Oceanography for Geographers, 2 ed, Allah Abad.
- 43 - Sparks, BoW, (1961) Geomorphology, London.

- 44 - Steers, J.A (1953) *The Sea Coast*, London.
- 45 - Steers, J.A (1969) *Coasts and Beaches*, London.
- 46 - Statham, I., (1979) *Earth Surface Sediment Transport*, Oxford.
- 47 - Strahler, A.B and Strahler, A.H (1976) *Modern Physical Geography*, New York.
- 48 - Strahler, A.B and Strahler, A.H (1979) *Elements of Physical Geography* 2<sup>nd</sup> ed, New York.
- 49 - Sunamura, T. (1992) *Geomorphology of Rocky Coasts*. Chichester.
- 50 - Thornbury, W.D. (1958) *Principles of Geomorphology*. New York.
- 51 - Thompsn, C., (1950).
- 52 - Thomas, W.L (1956) *Man's Role in Changing the face of the Earth*, Univ of Chicago Press.
- 53 - Warren, A (1976) Aeolian Processes in "Process in Geomorphology" edited by Emberton, C and Thornes, J, London.
- 54 - White, L.D. etal (1984) *Environmental Systems. An Introductory Text*, London.
- 55 - Wilcock, D., (1988) *Physical Geography*. London.
- 56 - Wood, A. (1942) The Development of hillside slopes, *pro. Geol. Ass* 53, 128-40.
- 57 - Young, A and Young. D.M (1974) *Slope development*, London.

١٩٩٦/٨١٨٠	رقم الإيداع
977-10-0894-3	الترقيم الدولي I-S-B-N