علم الجيومورفولوجيا Geomorphology

يتألف المصطلح الإنجليزي Geomorphology من ثلاثة مقاطع يونانية هي: Geo ويعنى الأرض Morphos ويعنى الشكل، Logos ويعني العلم. وعلى هذا الأساس فإن علم الجيومورفولوجيا هو العلم الذي يهتم بدراسة الأشكال الأرضية Land Forms دراسة تحليلية مع الإشارة إلى عوامل النشأة والتطور.

تعريف الجيومورفولوجيا

هناك العديد من التعريفات التى تناولت مفهوم الجيومورفولوجيا ومنها :

١- الجيومورفولوجيا هو العلم الذى يبحث فى طبيعة ظواهر سطح الارض واشكالها المختلفه والعوامل التى ادت الى تشكلها.

٢- تعريف ماخاتشيك Machatschek: العلم الذى يدرس العوامل المشكلة لسطح الأرض وما ينشأ عنها من أشكال تضاريسية أرضية .

٣- تعريف ديفز Davis: يعرفه بأنة علم يهتم بوصف مظاهر وأشكال تضاريس سطح الأرض ودراسة العمليات التي غيرت ملامح سطح الأرض بواسطة آليات متعددة منها الحركات الباطنية والديناميكيات السطحية.

اهمية علم الجيومورفولوجيا

١ـ الكشف عن الثروات الطبيعية وتطويرالمساحات الزراعية والمعادن والغاز والصخورالمفيدة.
2–دراسة أحواض الأنهاروبناء الخزانات والسدود المائية وتوليد الطاقة وكشف الموارد المائية السطحية والجوفية وصيانتها.
٣ـ دراسة انجراف وتعرية التربة بالمياه والرياح ومعالجة هذه المشاكل.
٤ـ تتبع تغيرمجاري الأنهاروالقنوات وأثار هذا التغير.
٥ـدراسة الانهيارات والانزلاقات الأرضية والصخرية ومواجهتها.
٦ـ استخدامه في النواحي العسكريةوالحروب.
٧ـ دراسة التربة وأعماقها وصلاحيتها للإنتاج الزراعي.
٨ـدراسة السواحل البحرية والموانئ وأثرها في الملاحة،وعلاقة التيارات البحريةبذلك.
٩ـ استخدامه في عمل الخرائط الجيوموفورلوجية لتطبيقها في شتى المجالات.
١٠ـاستخدامه في دراسات البناء والطرق والسكك الحديدية.
١١ـاستغلال الصحاري والأراضي الجافة وشبه الجافة وتتبع العواصف الرملية فيها وأثرهاعلى نشاط الإنسان.

مجال علم الجيومورفولوجيا

يشمل مجال هذا العلم دراسة الظواهر الجيومورفولوجية من الجوانب الاتية:

١ـ دراسة شكل الظاهرة

وتعرف باسم الدراسة المورفوجرافية وتهتم بدراسة الشكل الظاهرى للاشكال التضاريسة ففى دراسة الكثبان الرملية مثلا يجب التعرف على الاشكال الرملية الهلالية والطولية والعرضية والكثبان البيضاوية والقبابية والنجمية.

٢ـ دراسة ابعاد الظاهرة

وتسمى بالدراسة المورفومترية وتعتمد على قياس ابعاد الشكل التضاريسى مثل الطول والعرض والارتفاع وكل ما يمكن قياسة لوصف الظاهرة وصفا دقيقا يعتمد على الارقام.

٣- دراسة اصل الظاهرة

وتسمى بالدراسة المورفوجينية وتهدف الى التعرف على الاسباب او العوامل التى شاركت فى تكوين الظاهرة وتطورها هل هى الرياح او الانهار او الجليد ام تكونت على طول السواحل بفعل المد والجزر والامواج الشديدة.

اهداف علم الجيومورفولوجيا

هناك ثلاث اهداف رئيسية تسعى الجيومورفولوجيا الى تحقيقها وهى:-

١- الوصف :

من خلال عملية الوصف يتم تحديد الخصائص الوصفية والقياسية لأشكال الأرض المختلفة بحيث يتم الوصول إلى هذه الخصائص من خلال المشاهدة الميدانية أو ألمختبريه والمكتبية مع العلم بأن أشكال الأرض تتباين في خصائصها ليس من مكان لآخر بل في الإقليم الواحد وهذه الخصائص التي تمتاز بها أشكال الأرض لم تنشأ وتتطور بصورة عشوائية ولكنها خضعت لقوانين طبيعية .يمكن للباحث بأن يصف أشكال الأرض من خلال الخصائص المتباينة (مساحة ،شكل ،وأنواع الصخور ،خصائص المنحدرات والاحواض والشبكات المائية).

٢- التصنيف:

تصنيف أشكال الأرض وهي تلك المرحلة التي تتبع مرحلة الوصف و من خلالها تختصر البيانات إلى مجموعات محددة بحيث أن عناصر المجموعة الواحدة تشترك فيما بينها بصفات تميزها عن المجموعة الأخرى(نوع الشكل الأرضي، الخصائص المدروسة، السمات العامة والخاصة للشكل الارضى) بصفات يسهل التعامل معها في الربط والمقارنة وصولاً إلى عملية التفسير.

٣- التفسير:

عملية تفسير الأشكال الأرضية قد تأخذ شكل إجابات لتساؤلات والتي منها – كيفية نشأة أشكال الأرض؟ كيف تطورت أشكال الأرض؟ ما هي العوامل والعمليات المسؤولة عن تشكيل أشكال السطح؟

علاقة علم الجيومورفولوجيا بالعلوم الأخرى

توجد صلة وثيقة بين الجيومورفولوجيا والعديد من العلوم الأخرى، تأخذ منها وتخدمها فى جوانبها التطبيقية، ومن هذه العلوم على سبيل المثال لا الحصر ما يلي:

١- صلة الجيومورفولوجيا بالجيولوجيا:

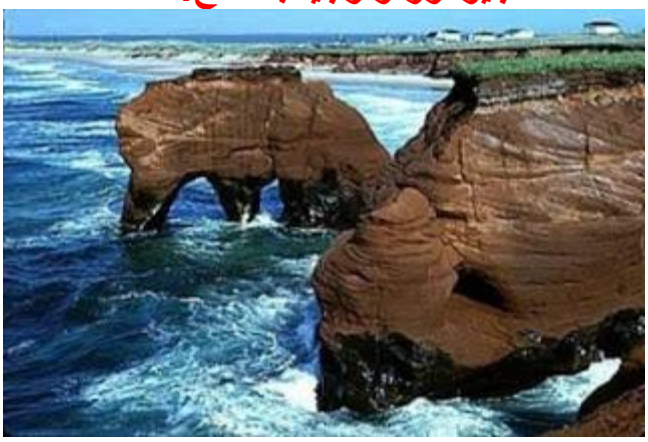
هناك صلة كبيرة بين الجيومورفولوجيا والجيولوجيا، وتأتي هذه الصلة ليس فقط من كون أن الجيومورفولوجيا تدرس فى بعض الجامعات بأقسام الجيولوجيا كمادة مستقلة، ولكن أيضًا من كون أن هناك بعض المواد التي تدرس فى أقسام الجيولوجيا وتغطى جانبًا من الجيومورفولوجيا مثل الجيولوجيا الطبيعية physical Geology ، والجيولوجيا التركيبية Structural Geology ، والخرائط الجيولوجية، وعلم طبقات الأرض، وجيولوجية الصور الجوية Air Photo Geology.

٢- صلة الجيومورفولوجيا بالخرائط:

نقصد بالخرائط هنا الخرائط الكنتورية والخرائط الجيولوجية، والصور الجوية، وتعد كل منها من وسائل البحث الأساسية فى الدراسات الجيومورفولوجية، وإذا أضفنا إليها الدراسة الميدانية، يمكن القول بأن هذه الجوانب الأربعة تشكل الركائز الأساسية لكثير من البحوث الجيومورفولوجية.

فمن خلال فحص وتحليل الخرائط والصور الجوية لمنطقة ما يمكن التعرف على بعض الحقائق الأساسية، وبعض الاحتمالات الخاصة بأشكال السطح فى هذه المنطقة.

٣- صلة الجيومورفولوجيا بالمناخ:



أشار ثور نبرى Thornbury إلى أهمية المناخ فى دراسة أشكال سطح الأرض، كما أن هناك فرعًا فى الجيومورفولوجيا يعرف باسم الجيومورفولوجية المناخية Climatic Geomorphology وهو يبحث فى تأثير العناصر المناخية باعتبارها عوامل جيومورفولوجية خارجية، فالرياح والأمطار والحرارة تدرس ضمن العوامل والعمليات الجيومورفولوجية الخارجية التي تؤثر فى تشكيل سطح الأرض.

٤- صلة الجيومورفولوجيا بعلم الجيوفيزياء

وهو علم الطبيعة الارضية الذى يكشف للجيومورفولوجى خبايا القوى التى تسكن باطن الارض والتى تؤثر فى تشكيل سطح الارض كالزلازل والبراكين كما انها تساعد الجيومورفولوجى على فهم مجمل العمليات التكتونية.

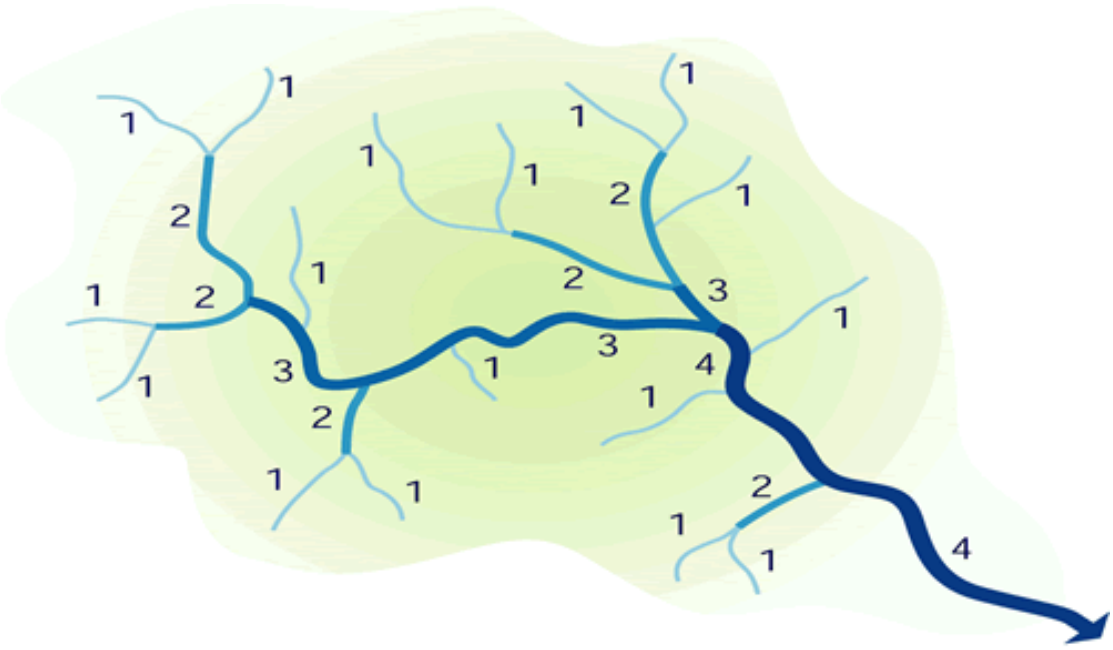
٥-صلة الجيومورفولوجيا بعلم البتروجرافيا

وهو علم الصخور الذى يقوم بدراسة قشرة الارض السطحية ومن خلال الدراسات البتروجرافية يتعرف الجيومورفولوجى على خصائص مواد البناء التى توازى فى اهميتها نظام البنية لاشكال سطح الارض.

التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف المائية

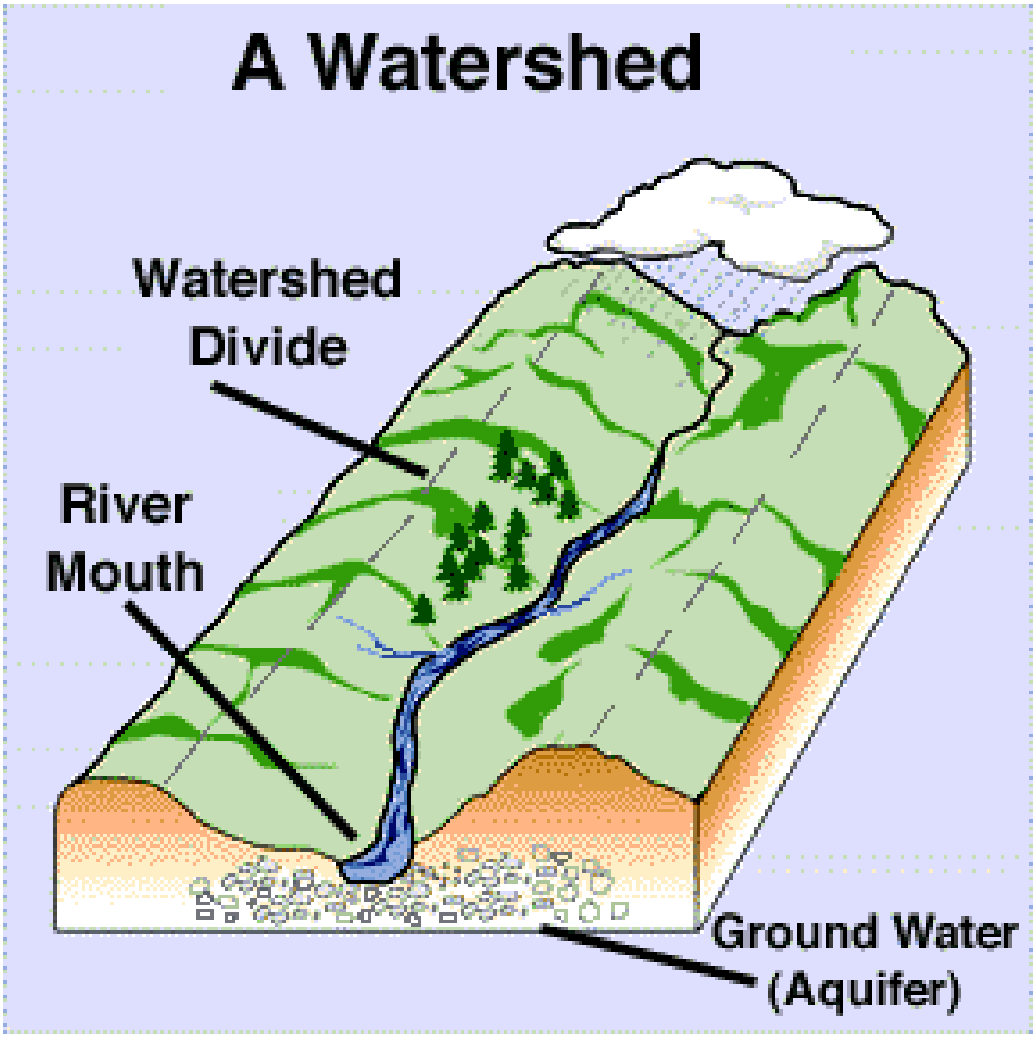
حوض التصريف Drainage basin:

ويعني جميع الأراضي المحيطة بمجرى الوادي في المناطق الجافة التي تزوده بالمياه عن طريق الجريان السطحي أو الجوفي، ويفصلها عن الأراضي الأخرى أراضٍ مرتفعة تمثل أعلى نقطة فيها منطقة تقسيم المياه بين حوض وآخر.



خط تقسيم المياه

وهو خط يحيط بالحوض ماراً بأعلى نقاط مرتفعة ليمثل الحد الفاصل بين حوض وآخر، ويكون واضحاً في الخرائط الطبوغرافية الخاصة بتلك الأحواض التي تظهر فيها على أشكال مختلفة منها الدائري والبيضاوي والمستطيل والكمثري.



الخصائص المورفومترية للأحواض المائية

الخصائص المساحية

الخصائص الشكلية

الخصائص التضاريسية

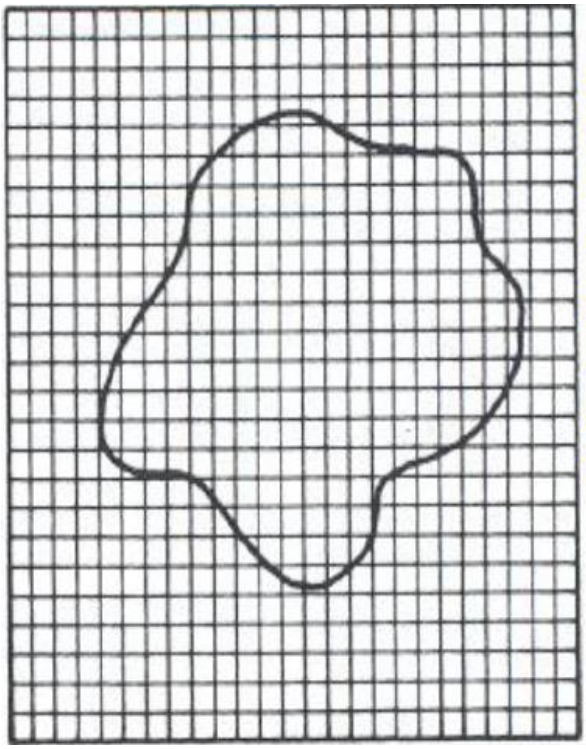
خصائص شبكة التصريف

الخصائص المساحية

مساحة الحوض Drainage area:

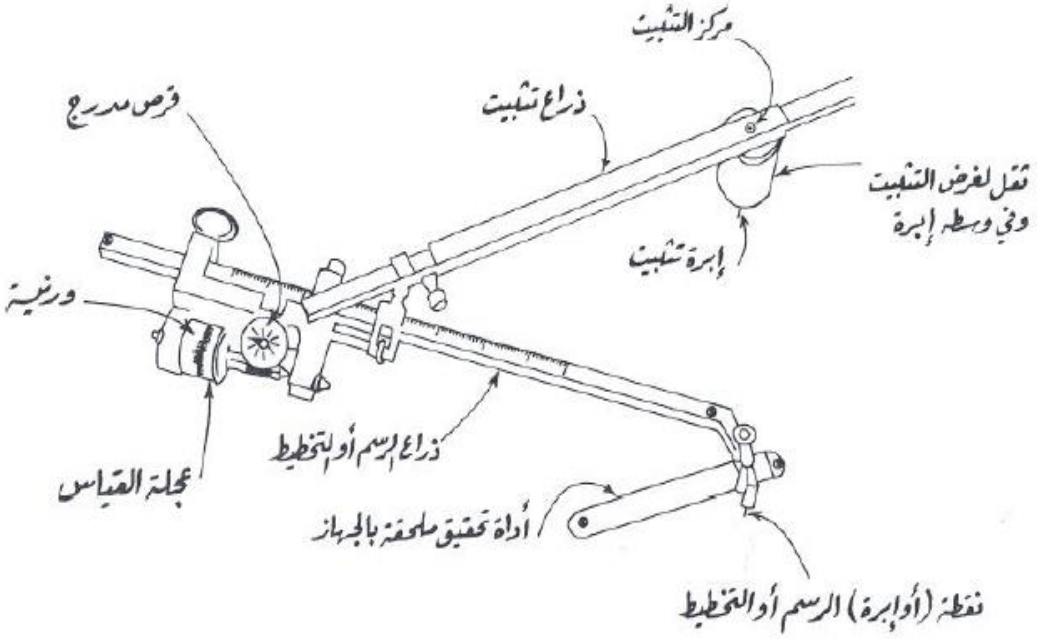
تعتبر مساحة الحوض من أهم الخواص المستخدمة كثيراً في النماذج الهيدرولوجية، وتستخدم في حساب الكثير من المقاييس المهمة مثل كثافة التصريف. وهي كامل المساحة التي يحدها خط تقسيم المياه، وتقاس بعدة طرق منها استخدام جهاز البلانيميتر على الخريطة الكنتورية، أو عن طريق الصور الجوية أو المرئيات الفضائية، أو بطريقة المربعات أو أي أجهزة مساحية أخرى، أو برامج حاسوبية.

طريقة المربعات



و نستخدم هنا ورقة رسم بياني شفاف توضع على الخريطة مغطية الجزء الذي تقع فيه المنطقة المراد إيجاد مساحتها. و نقوم بتعداد المربعات الصغيرة داخل حدود المنطقة. ونحتاج للقيام بتقدير لكسر المربعات غير الكاملة . و إذا علمنا عدد المربعات الكلية بكسورها يمكن إيجاد المساحة الكلية.

جهاز البلانيميتر



مرئية فضائية

basin length: طول الحوض

يقصد بطول الحوض طول مسافة الخط المستقيم الذي يرسم بين أبعد نقطة على محيط الحوض والمصب. توجد عدة طرق لقياس طول الحوض المائي وتتوقف هذه الطرق على طبيعة قناة مجرى النهر إن كانت متعرجة، غير منتظمة، مستقيمة، وعادة ما تستخدم طريقة قياس الطول الموازي لخط التصريف الرئيسي من نقطة المصب إلى أعلى نقطة في الحوض.

basin perimeter: محيط الحوض

طول محيط الحوض هو طول حدود الحوض المائي التي تفصله عن الأحواض المائية المجاورة.

وبتحديد محيط الحوض يتحدد شكله ومساحته إضافة إلى أن محيط الحوض هو متغير مستقل وأساسي في استخلاص الكثير من الخصائص المورفومترية الأخرى.

Drainage Basin Width: عرض حوض التصريف

عرض الحوض هو معدل طول مجموعة من الخطوط المتعامدة على الخط المستقيم الذي يمثل طول الحوض، وليس هناك عدد محدد لهذه الخطوط، وقد تستخدم عوضاً عن ذلك المعادلة التالية:

عرض الحوض= مساحة الحوض / طول الحوض

ويؤثر هذا المقياس على كمية التلقي من التساقط والجريان والتسرب وكذلك التبخر والنتح وكلما زاد عرض الحوض زاد ما يتلقاه من التساقط وبتالي زاد الجريان السطحي.

الخصائص الشكلية

shape index: معامل الشكل

يصف هذا المعامل مدى انتظام عرض الحوض المائي على طول امتداده من منطقة المنابع وحتى بيئة المصب، يتأثر شكل حوض التصريف المائي ونمطه وشبكة التصريف التي تمتد داخله بالخصائص الأخرى لحوض التصريف مثل نوع الصخر ودرجة الانحدار بالإضافة إلى أن الشكل يؤثر على العمليات الجيومورفولوجية خاصة فيما يتعلق بكفاءة الحوض المحتملة وشبكة التصريف المائي به، وقد استخدم هورتون سنة ١٩٣٢ م عامل الشكل لتحديد أشكال الأحواض النهرية. يمكن الحصول عليه من المعادلة :

معامل الشكل = مساحة الحوض / (طول الحوض)^2

وتدل القيمة المنخفضة على صغر مساحة الحوض بالنسبة لطوله مما يجعل الحوض يقترب من شكل المثلث.

Circularity ratio: نسبة الاستدارة

توضح النسبة مدى اقتراب أو ابتعاد شكل الحوض من الشكل الدائري المنتظم، وتكون النسبة بين ٠- ١ إذ يكون الشكل قريباً من الاستدارة إذا كان اقرب إلى الواحد من الصفر. وإذا كان العكس دل ذلك على وجود الشكل المتعرج وقد يؤدي تعرج الحوض إلى زيادة طول القنوات المائية.

Elongation ratio: نسبة الاستطالة

تعبر هذه النسبة عن مدى اقتراب شكل الحوض على طول امتدادة مقارنة مع شكل المستطيل إذ ترتفع نسبة الاستطالة في الأحواض المستطيلة بينما تنخفض في الأحواض ذات الأشكال الأخرى، وتكون النسبة بين (١- ٠) يكون الشكل قريباً من الاستطالة إذا كان اقرب إلى الواحد من الصفر.

تحسب من المعادلة :

$$\text{Elongation ratio} = \frac{\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{l}$$

حيث A مساحة الحوض

π النسبة الثابتة

L طول الحوض

الخصائص التضاريسية

slope: الانحدار

الانحدار أو المنحدر هو ميل سطح الأرض عن خط الأفق أو الميلان الذي يربط بين نقطتين مختلفتي المنسوب وتعد الانحدارات ذات أهمية كبيرة في الدراسات الجيومورفولوجية بصورة خاصة، حيث تمثل احد عناصر مظاهر السطح التي يتم تحليلها باستخدام أساليب قياسية وتحليلية لأنها ذات علاقة وطيدة بالنشاط البشري بأشكاله المختلفة كالعمران والطرق والجسور ومشاريع الري.

(وقد صنف يونج (Young, 1972) المنحدرات إلى سبع فئات هي كتالي:

أ- انحدار شبه مستوي إلى خفيف جداً: ويتراوح فيه الانحدار من (٠ — ٢ °).

ب- انحدار خفيف: ويتراوح فيه الانحدار من (٢ ° — ٥ °).

ج- انحدار متوسط: ويتراوح فيه الانحدار من (٥ ° — ١٠ °).

د- انحدار فوق المتوسط: ويتراوح فيه الانحدار من (١٠ ° — ١٨ °).

هـ- انحدار شديد: ويتراوح فيه الانحدار من (١٨ ° — ٣٠ °).

و- انحدار شديد جداً: ويتراوح فيه الانحدار من (٣٠ ° — ٤٥ °).

ز- منحدرات جرفيه: وهي التي يزيد فيها الانحدار عن (٤٥ °).

relief ratio: نسبة التضرس

يرتبط تضرس الحوض بمناخ و جيولوجية المنطقة وبنوعية الصخور في حوض التصريف وباستجابات هذه الصخور لعمليات التعرية النشطة في حوض الوادي. تحسب من المعادلة :

Relief ratio = L / RH

L: طول الحوض

RH: الفرق بين اعلى وأدني ارتفاع

تفيد دراسة نسبية التضرس في معرفة مدى تضرس الأحواض لما له من علاقة بالعمليات الجيومورفولوجية السائدة في هذه الأحواض، وتنخفض نسبة التضرس في الأحواض ذات المساحة الكبيرة والعكس صحيح، وتدل القيمة المرتفعة لنسبة التضرس على شدة النحت والجريان في الحوض.

Total relief: التضرس الكلي للحوض

يقاس بالمتر ، ويحسب من المعادلة التالية :

التضرس الكلي = أعلى منسوب في الحوض – أدني منسوب في الحوض

Ruggedness value: قيمة الوعورة

توضح درجة تقطع سطح حوض الوادي الناتج عن نحت المجاري المائية ، وتفيد الدراسة المورفومترية للوعورة بما يتصل بدرجة قمة تصريف الفيضان. تحسب من المعادلة :

قيمة الوعورة = كثافة التصريف X (الفرق بين اعلى وأقل منسوب) / طول الحوض

وترتفع قيمة الوعورة عند زيادة التضرس الحوضي إلى جانب زيادة أطوال المجاري على حساب المساحة.

Texture topography: معدل النسيج الطبوغرافي

يعتبر مؤشر نسيجيا يصف طبيعة طبوغرافية الروافد في الحوض الواحد ويحسب من المعادلة التالية:

معدل النسيج الطوبوغرافي= عدد الروافد في الرتبة / محيط الحوض في الرتبة

يدل على مدى تقطع الأحواض في الودي، وتقسم نسبة التقطع إلى ثلاث درجات:

أ- خشنه وهي اقل من ٤

ب- متوسطة وتتراوح بين ٤-١٠

ج- ناعمة أكثر من ١٠

الخصائص الخطية لشبكة التصريف

Stream order: رتب المجاري النهرية

تتوزع المجاري المائية في الحوض بشكل رتب تقل عدداً وتزداد سعة من رتبة لأخرى، حيث تبدأ بمجاري صغيرة وكثيرة تمثل الرتبة الأولى وهي تلتقي مع بعضها البعض لتكون الثانية التي تكون اقل عدداً و أكثر سعة من الأولى وتلتقي مع بعضها لتكون الرتبة الثالثة كما تلتقي روافدها لتكون الرتبة الرابعة إلى أن تكون آخر رتبة والتي تكون المجرى الرئيسي. وهناك العديد من الطرق المستعملة في دراسة هذا الترتيب أهمها :

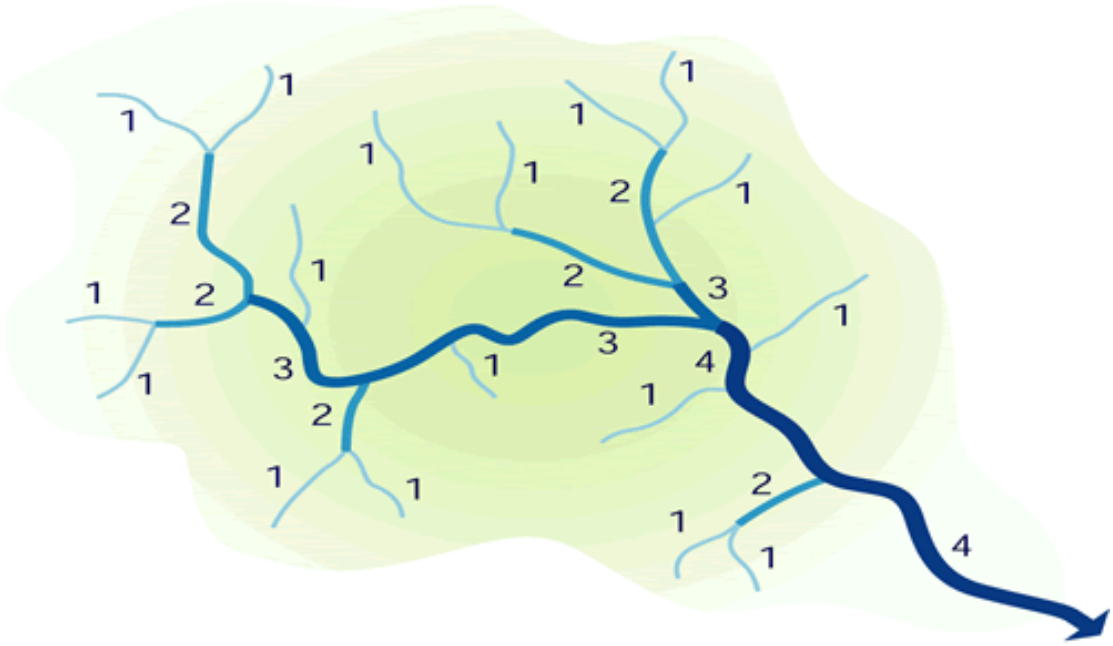
١- طريقة هورتون Horton

٢- طريقة سترايلر Strahler

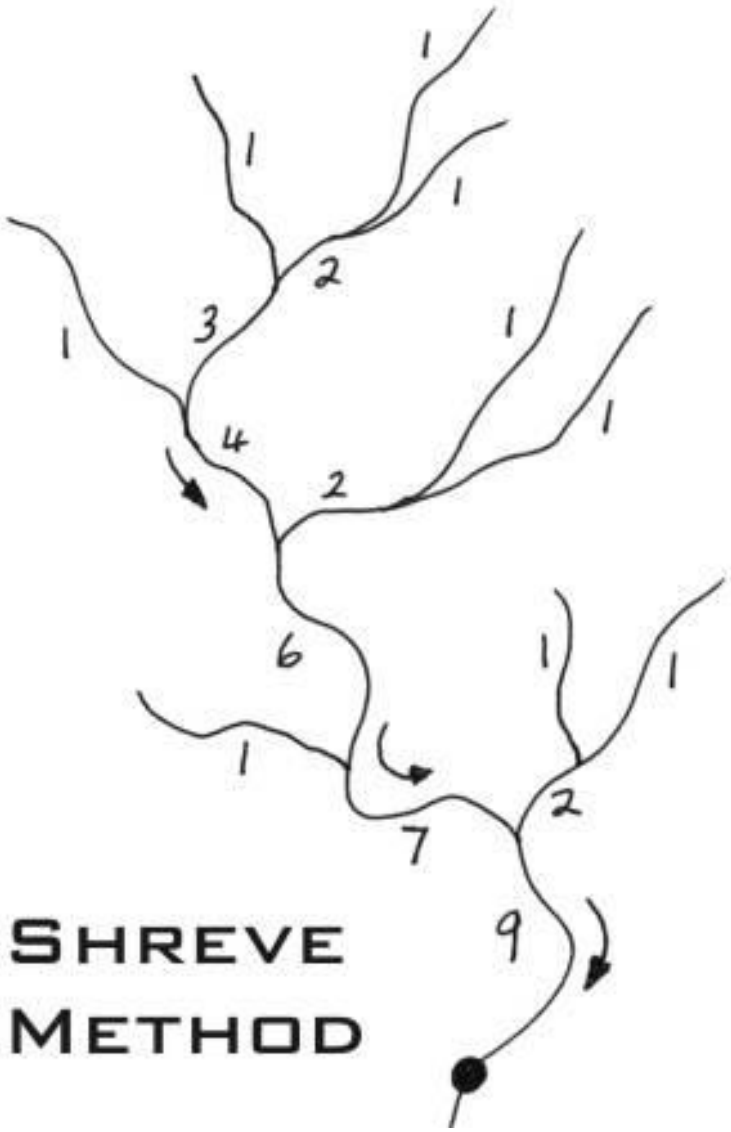
٣- طريقة شريف Shreve

٤- طريقة شايديفر.

وتعتبر طريقة سترايلر أكثر الطرق المورفومترية استعمالاً نظراً لبساطة تطبيقها وسهولة إجراء مقارنات بواسطتها للأحواض المائية، وتعطي هذه الطريقة القنوات الابتدائية التي لا رافد لها المرتبة الأولى وهذه هي القاعدة الأولى، وعندما تلتقي قناتان من نفس الرتبة تنتج قناة من الرتبة التالية وهذه القاعدة الثانية، القاعدة الثالثة عندما تلتقي قناتان من رتبتين مختلفتين فالقناة الناتجة بعد نقطة التقائهما أسفل المنحدر ستكون استمراراً للقناة ذات الرتبة الأعلى، وتكون رتبة الحوض برمته مساوية لرتبة المصب.



Strahler 1957



Stream lengths : أطوال المجاري النهرية

إن مجاري انهار الرتبة الأولى لها في المتوسط اصغر طول، في حين أن طول النهر يزداد مع زيادة رتبة المجرى النهري. وقانون أطوال المجاري النهرية هو أن " مجموع متوسطات أطوال المجاري النهرية من الرتب المتتالية تميل إلى تكوين متتالية هندسية تبدأ بمتوسط طول مجاري انهار الرتبة الأولى وتتصاعد تبعاً لنسبة طول ثابتة "

ويمكن معرفة معدل أطوال المجاري في كل رتبة رغم أنها متباينة الأطوال من مكان لآخر من خلال العلاقة بين عدد المجاري وأطوالها حسب المعادلة التالية:

معدل اطوال المجاري في كل رتبة = مجموع أطوال المجاري في الرتبة / عدد المجاري في نفس الرتبة

Stream frequency: تكرارية المجاري

تعبر تكرارية المجاري عن العلاقة النسبية بين عدد المجاري ومساحة الحوض، وهي تدل بذلك على درجة تخدد الحوض بواسطة التعرية المائية. وعلية فان زيادة عدد المجاري بواسطة عملية التخدد عن طريق التعرية المائية يؤدي بالضرورة إلى زيادة أطوالها ومن ثم إلى ارتفاع كثافة التصريف. ويمكن الحصول على تكرارية المجاري من المعادلة التالية:

تكرارية المجاري = مجموع أعداد المجاري في الحوض / مساحة الحوض

Sinuosity factor: معامل التعرج الطبوغرافي

تعتبر هذه النسبة مؤشراً لمعرفة المرحلة الحتية التي يمر بها الوادي بالإضافة إلى قدرته على الإزاحة والحركة الجانبية مما يؤثر على استعمالات الأرض، وتكمن أهمية إيجاد هذا المعامل في معرفة مدى انعطاف المجرى وما لذلك من تأثير على كمية المياه في المجرى، حيث انه كلما ازدادت درجة انعطاف الوادي ازدادت احتمالات التبخر والترشيح، بينما تقل هذه الاحتمالات عندما تنقص درجة الانعطاف، وذلك نتيجة لسرعة الجريان.

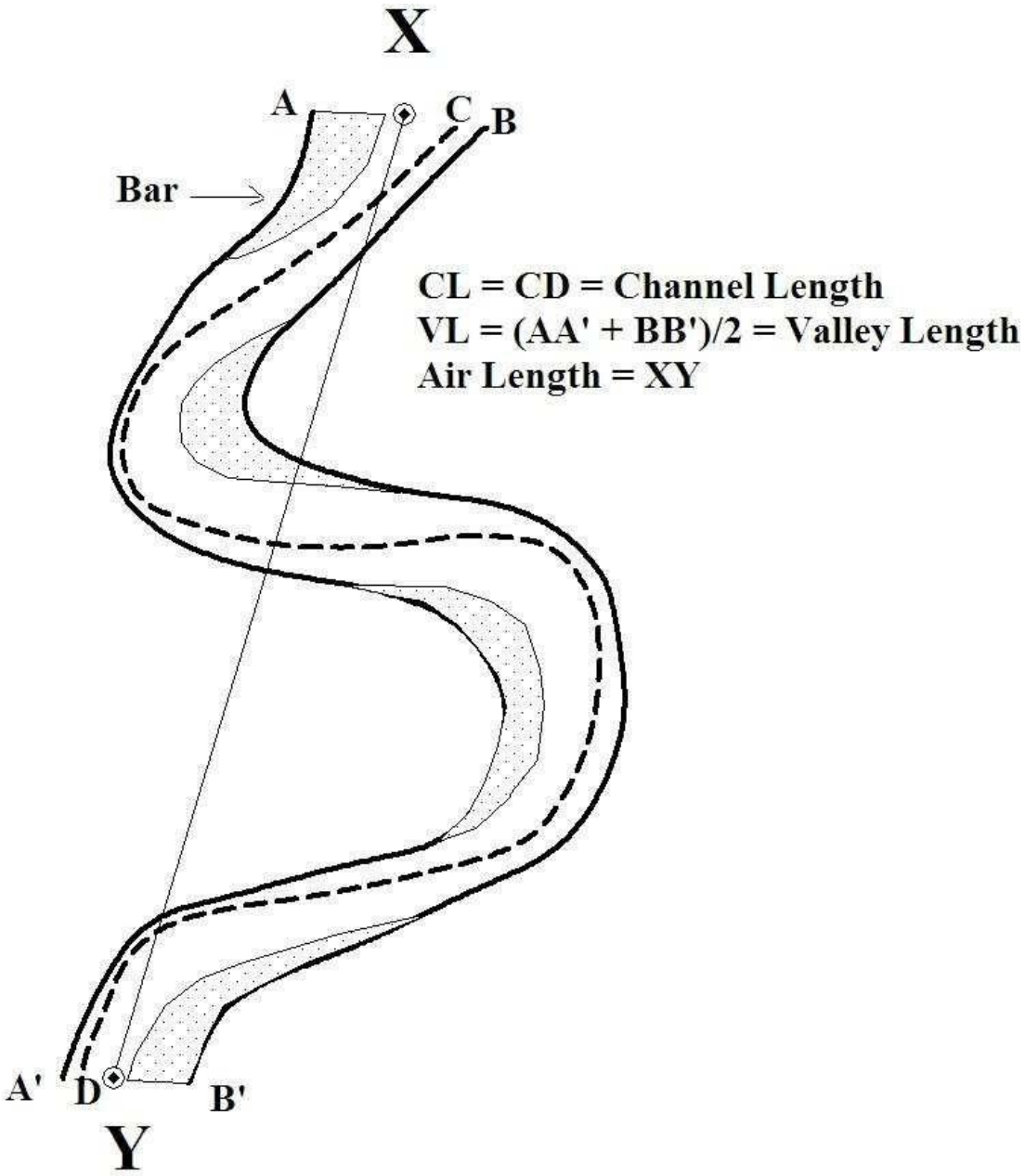
VI = VL / Air

حيث VI = معامل التعرج الطوبوغرافي

VL = طول المجرى

Air = اقصر امتداد ما بين المنبع والمصب

وكلما زادت النتيجة عن واحد صحيح زادت نسبة تعرج الوادي.



Drainage density: كثافة التصريف

تعد كثافة التصريف مقياساً أساسياً للخصائص المساحية لحوض التصريف وللتحليل الهيدرولوجي وهي تعكس مدى كفاءة التصريف أو هي مقياس لمدى تقطع أرضية الحوض وهذا العامل يتوقف على خصائص كثيرة من ضمنها : **نوعية الصخور، سعة التربة، كثافة الغطاء النباتي، إضافة إلى تدخلات الإنسان.**

كثافة التصريف = Σ (ط) / س

حيث Σ (ط) = الطول الكلي للمجاري النهرية في كل الرتب المختلفة

س = المساحة الكلية للحوض النهري.

Bifurcation ratio: نسبة التشعب

تعبر عن العلاقة بين عدد المجاري في كل رتبتين متتاليتين وتحسب كالاتي:

نسبة التشعب = عدد المجاري في رتبة ما / عدد المجاري في الرتبة التي تليها

نسبة التشعب بهذا التحديد مؤشر على العدد اللازم من القنوات من رتبة معينة في المتوسط لدعم وجود قناة من الرتبة التالية، ولأغراض المقارنة بين أحواض التصريف يمكن حساب نسبة التشعب لشبكة تصريفية كاملة بجميع رتبها وذلك عن طريق حساب متوسط نسب التشعب لرتب القنوات الموجودة في الشبكة فتكون هي نسبة التشعب للحوض بأكمله، وتكمن أهمية قياس نسبة التشعب لحوض التصريف في إظهار حجم العلاقة بين حجم التصريف ومعدل التفرع للمجاري المائية فكلما زاد خطر الفيضانات والسيول عقب سقوط الأمطار زادت كثافة التصريف في مناطق التجمع العليا.

الاشكال الارضية المرتبطة بالانهار

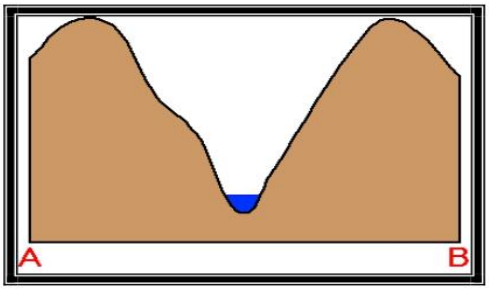
تتباين الأشكال الأرضية الناتجة عن عمليات المياه الجارية بتباين المرحلة التي يمر بها النهر ، اذ وضح العالم (وليم موريس ديفز) بان النهر يمر بثلاث مراحل ، هي الشباب ، والنضج ، والشيخوخة ، وسوف نتطرق الى الظاهرات التي تتميز بها كل مرحلة من هذه المراحل وكالاتي:

المرحلة الأولى - مرحلة الشباب

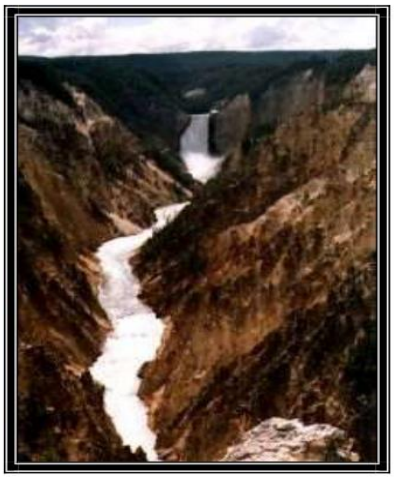
ان النهر في هذه المرحلة يكون قويا شديد البأس وان النحت الرأسي , يكون عظيما ونتيجة لذلك تنشأ ظاهرات تميز الوادي في هذه المرحلة وهي الظاهرات التي نجدها في المجرى الأعلى للنهر وهي كما يلي:

١ - الخوانق والأخاديد Gorges & Canyons

و يتم تعريف الخانق بأنه عبارة عن مجرى نهر يتميز بأنه ضيق جدا وذو جوانب شديدة الانحدار أو راسية تقريبا وعميقة بالنسبة لاتساعه ، أما الأخدود فهو متسع وعميق جدا بالنسبة لاتساعه ، ويتكون الخانق النهري عندما يتغلب النحت الراسي على النحت الجانبي ، وتنشأ الخوانق عادة في الصخور الصلبة ، ولذا تتميز بان جوانبها قائمة شديدة الانحدار دون أن تنهار ، ومثال على ذلك خانق أري AARE الشهير قرب بلدة مايرنيجين في سويسرا ، كما تنشأ الخوانق أيضاً حين يتعرض جزء من منطقة مجرى النهر لحركة أرضية رافعة , ويكون النهر من القوة بحيث يستطيع أن ينحت بصورة رأسية بنفس معدل الرفع الذي تعانيه المنطقة وهذا ما نجده ممثلا في خوانق نهر السند في اقليم كشمير ، وهناك أسباب أخرى لتكوين الخوانق منها عمليات النحت الجليدية المائية وتدهور أسقف الكهوف والمغارات المستطيلة في المناطق الجيرية وتتكون الخوانق والأخاديد عندما تتدفق مياه الأنهار الشابة ذات السرعة الكبيرة على انحدارات شديدة في مناطق توجد فيها ظروف تساعد التعرية بالعوامل المختلفة التي تؤدي إلى توسيع وديان ومجاري الأنهار , فيكون عامل التعرية السائد في المنطقة هو نشاط المياه الجارية للنهر فقط . ويتوقف نشأة الخوانق على طبيعة الصخور هل هي قابلة للذوبان أم أنها لا تذوب فعلى سبيل المثال المجرى الذي ينحت صخور صلبة كالصخور الجرانيتية تتم عملية النحت ببطء وعلى عكس ما يحدث اذا كان يجري فوق صخور رملية أو طباشيرية أو صلصالية أو أي نوع آخر من الصخور اللينة اذ يحفر مجراه ويعمقه بسرعة. وعادة ما يكون شكل الوادي في هذه المرحلة على شكل حرف "V" . انظر الشكل (٢٧) والصورة (٤١) .



الشكل (27) شكل القناة في مرحلة الشباب



الصورة (41) شكل النهر في مرحلة الشباب .

٢ - الحفر الوعائية Pot Holes

وهي عبارة عن منخفضات مستديرة الشكل توجد في قاع النهر وتنشا من تحرك الكتل الصخرية على القاع حركة دائرية متأثرة بقوة الدوامات المائية التي يكونها تيار النهر . وبمرور الزمن تتسع تلك الحفر وتلتحم مع بعضها ، ومن ثم يزداد تعميق مجرى النهر في الصخور ، وعادة ما تملأ هذه الحفر بواسطة الحصى الذي يساعد بدوره على تعميق الحفر نفسها ، وعند حدوث تيارات مائية نتيجة لسرعة المياه فقد ينقل الحصى ثانية خارج الحفرة , وينجم عن هذه العملية شدة النحت الرأسي وتكوين مجاري نهرية عظيمة العمق تعرف باللغة الفرنسية saw وهذه الحفر تختلف في السعة وتنشأ من السرعة المتفاوتة لمياه النهر وتأثيرها في صخور القاع حينما تكون هذه الصخور صلبة ويكون سطحها غير منتظم , وبذلك تنشأ تيارات ودوامات صغيرة تكون لها حركة دائرية لولبية ، فتدور معها قطع الصخر التي يحركها تيار النهر في حركة طاحنة تحفر في صخر القاع حفرة تكاد تكون مستديرة الشكل ، وفي كثير من الأحيان يتلاحق عدد كبير من هذه الحفر ويتصل بعضها ببعض وتكون بعض هذه الحفر كبيرة وعميقة وفي هذه الحالة تسمى قدور العمالقة.

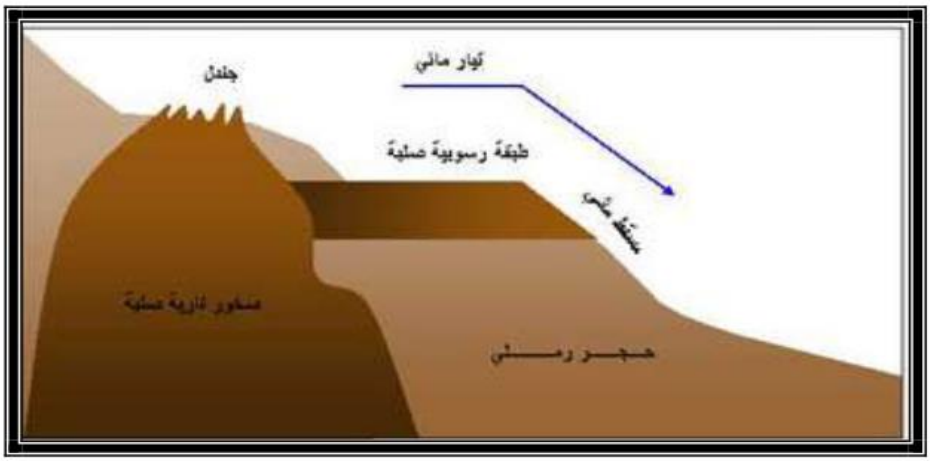
٣- منعطفات الشباب Young turns

تتكون هذه الظاهرة في مرحلة الشباب حينما يكون النحت الرأسي على أشده ودائب في تعميق الوادي ، اذ يتفادى النهر في جريانه العقبات الصخرية الصلبة التي تصادفه فيتمشى ويتلوى من حولها مما يترتب على ذلك تكون تلك المنعطفات. ويشتد النحت في الضفاف المقعرة لتلك المنعطفات مكونا جروف شديدة الانحدار ، بينما يقل النحت أو ينعدم على الضفاف المحدبة المقابلة فيترك سفوحة قليلة الانحدار. وتعد مشكلة تكوين المنعطفات أو الثنيات النهرية من بين المشاكل الجيومورفولوجية التي أثير من حولها جدل كبير . والواقع أن المنعطفات ليست عشوائية في تكوينها ولا في حجمها ، ولا يمكن تفسير تناسقها وانتظامها الكامل على أساس الصدفة , فهي نمو وتطور طبيعي يرتبط بميكانيكية الجريان والنقل النهري . وتتسبب الزيادة في التصريف النهري زيادة أيضا في طول موجه المنعطف , ولعل عامل التصريف النهري يعلل حقيقة أن

المنعطفات ظاهرة تختص بالجزء الأدنى من الوادي . الحقيقة أن الأودية كالأنهار ، تتميز غالبا بطابع التمشي والانعطاف ، وتتغطى هذه الأودية عادة بفرشة سميكة من الرواسب الفيضية ، ويجري فيها النهر نفسه صانع الانحناءات والمنعطفات ، ولكن منعطفات النهر المحفورة في رواسب السهل الفيضي أصغر بكثير من منعطفات الوادي ، التي سبق نحتها في الصخور الصلبة.

٤ . الجنادل Gondolas

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



الشكل (28) تطور ظاهرة الجنادل

وكذلك اذا وجدت في مجرى النهر طبقة صخورها أكثر صلابة من صخور بقية المجري فان النهر لن يتمكن من نحتها بنفس السرعة التي ينحت بها بقية المجري , ولذلك فان هذه الطبقة تبقى عقبة في طريقه زمنا وتتكون منها سلسلة من الجنادل والمندفعات ، وينقسم مجرى النهر بسببها الى قسمين أحدهما في أعلاها والثاني في أدناها ، وقد يصل كل قسم من القسمين الى مرحلة التعادل بينما تبقى هي بارزة بينهما ، ومع ذلك فان سطحها ينخفض بالتدريج بسبب النحت المائي فيتناقص منسوب قاعدة القسم الأعلى من النهر وتزداد مقدرته على الحفر تبعا لذلك ، وهكذا حتى تزول العقبة فيواصل النهر نشاطه للوصول الى مرحلة التعادل.

٥- الشلالات أو المسا قط المائية Waterfalls

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

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

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

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

٤. زيادة سرعة تعميق أحد الأنهار الرئيسية أكثر من سرعة تعميق روافده لمجاريها , وهي ظاهرة موجودة بكثرة في المناطق التي ساهم الجليد في حفر وديانها.

الشكل (29) تطور ظاهرة الشلالات .

٦ - المسارع Rapids

تتكون ظاهرة المسارع المائية التي تتميز بها الأنهار التي تمر في مرحلة الشباب عندما يتحول الصخر الصلب في مسقط المياه الى منحدر شديد الميل يترتب عليه اندفاع الماء اندفاعة شديدة ،

ويجري بسرعة شديدة جدا . ومن المسارع الشهيرة في العالم مناطق المسارع في نهر النيل ، ويعد المسرع الثاني لنهر النيل الواقع قرب مدينة أسوان خير مثال على ذلك.

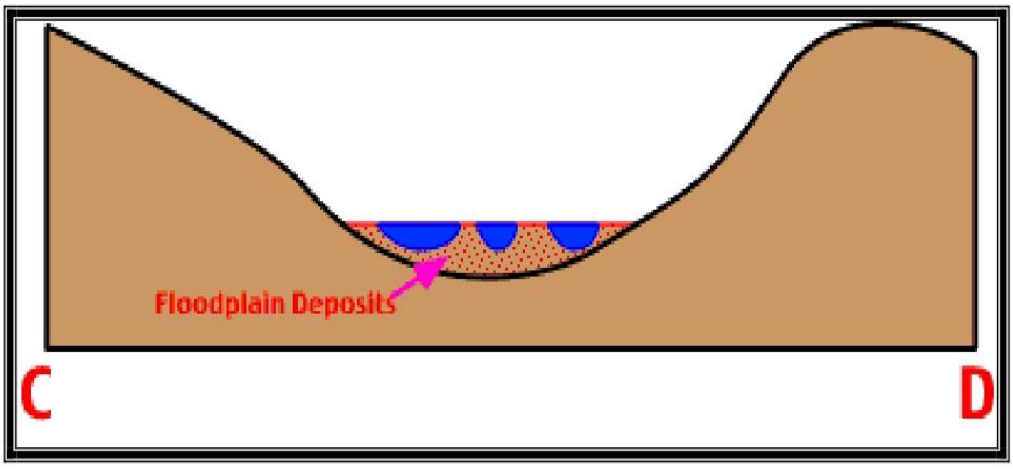
المرحلة الثانية : مرحلة النضج Maturity stage

يتميز النهر في هذه المرحلة في توسيع مجراه ، بينما تتناقص قدرته على تعميقه ، ويزداد وضوح تعرجاته بسبب تزايد نشاط النحت في جوانبها المقعرة وتزايد الأرساب على جوانبها المحدبة التي يهدأ أمامها التيار وتتحول هذه التعرجات بالتدريج الى منحنيات تفصل بينها ألسنة رسوبية منحدره يطلق عليها تعبير منحدرات الانزلاق ، وفي مقابل كل لسان منها تتكون حافة قائمة نتيجة للتأكل المستمر في أجزائها السفلى بواسطة المياه ، ويطلق على هذه الحافة أسم الحافة النهرية ، ونتيجة لاستمرار نشاط النحت الجانبي يزداد اتساع المنحنيات التي تتزحزح بالتدريج نحو المصب نتيجة لتأكل أجزائها المواجهة للتيار ، كما تتناقص أحجامها لنفس السبب حتى تتلاشى ولا تبقى منها الا تلالا" منعزلة ، ويترتب على زحف المنحنيات نحو المنصب ، مع تأكل منحدرات الانزلاق ، وتراجع الحافات النهرية بعيدة عن المجرى يتسع السهل الفيضي ويستوي سطحه تقريبا.وأهم ما يميز النهر في هذه المرحلة ما يلي :

١- يصبح وادي النهر أكثر اتساعا ، نظرا لأن النحت الجانبي تزداد قوته.

٢- يقل الانحدار فتتناقص سرعة التيار عنها في مرحلة الشباب.

٣- يزداد وضوح منعطفات الشباب فتبرز الضفاف المقعرة قائمة مكونة جروف نهرية ، بينما تنحدر الضفاف المحدبة انحدارا بسيطا مكونة لسفوح رسوبية وفي أواخر هذه المرحلة يتسع السهل الفيضي ويستوي سطحه تقريبا وتكون حدود هذا السهل هي الحافات النهرية التي تكون قد ابتعدت كثيرا عن النهر، انظر الشكل (٣٠).



والشكل (30) شكل القناة في مرحلة النضج .

وعند بدء مرحلة النضج يكون كل السطح الأصلي قد زال تقريبا ، وتكون قمم الأراضي المرتفعة التي تفصل بين الأنهار والأحواض المتجاورة مائلة للاستدارة ويؤدي تأكلها الى انخفاض سطحها وفي هذه المرحلة الأولى تكيف الأنهار نفسها مع التركيب الجيولوجي للمنطقة حيث أن مجاريها تكون محفورة في طبقات هذا التركيب ، وفي هذه المرحلة تصل كل المجاري النهرية حتى الصغيرة منها إلى مرحلة التعادل كما يتميز مجرى النهر في هذه المرحلة باعتدال تياره ، وانحداره ، وهدوء سرعة جريانه ، كما تقل تبعا لذلك درجة النحت الرأسي وذلك لأن منسوب النهر لا يكون على ارتفاع كبير بالنسبة لمستوى سطح البحر الذي يمثل مستوى القاعدة العام . ويلاحظ أن جميع أنهار العالم لا تعمق مجاريها وفقا لمنسوب واحد معين بل يعمل معظمها وخاصة الأنهار الرئيسية التي تصب في البحار الواسعة حسب مستوى القاعدة العام ، في حين ينحت بعضها الآخر مجاريها بصورة رأسية تبعا لمستوى القاعدة المحلية والذي يكون أكثر ارتفاعا أو انخفاضا عن مستوى القاعدة العام . وتبعا لفعل كل من التعرية الرأسية والتعرية الجانبية النهرية في هذا القسم من حوض النهر ، تتكون عدة ظواهر خاصة مميزة يمكن إيجازها فيما يلي :

أ. تكوين المجاري النهرية الرئيسية : Master Streams

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

ب . ذبذبة خط تقسيم المياه Shifting of divides

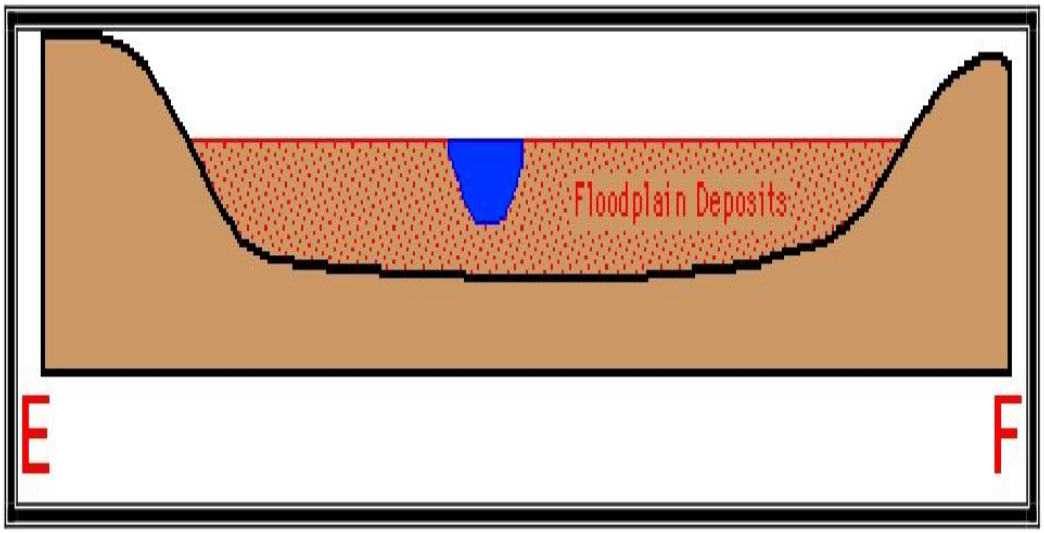
يقصد بمناطق تقسيم المياه تلك الأراضي العالية المنسوب والتي تفصل بين أعالي حوضين مختلفين من احواض الصرف ينحدران في اتجاهين متضادين . ويلاحظ أن خطوط تقسيم المياه بين هذه الأحواض لا تبقى في مكانها ثابتة دون تغيير ، بل كثيرا ما تتذبذب مواقعها حسب سرعة التعرية النهرية ، ومدى تأكل جانبي خط تقسيم المياه ، فاذا كان هناك نهر على جانب خط تقسيم المياه أعظم قوة ونحتاً من النهر في الجانب الأخر اي في الحوض المجاور ، وكليهما ينحت مجراه بشدة فان خط تقسيم المياه يتميز في هذه الحالة بتغيره الدائم ويتجه أو يتغير بشدة صوب النهر الأقل عمقا تبعا لشدة التعرية الجانبية للنهر النشيط على الجانب الأخر من خط تقسيم المياه.

ج. الأسر النهر River Capture

تظهر عمليات الأسر النهري في القسمين الأعلى والأوسط من حوض النهر في حالة كون مجرى النهر في مرحلة الشباب ، ويطلق على النهر الآسر أسم Capturing والمأسور أسم Dinvertedst ويعمل النهر الآسر تبعا لمستوى قاعدة أعظم عمقا من الأنهار الأخرى المجاورة . كما يقصد بالأسر النهري سيطرة الأنهار الكبيرة على روافد جيرانها الأصغر وتحويل مياهها اليه.

المرحلة الثالثة مرحلة الشيخوخة

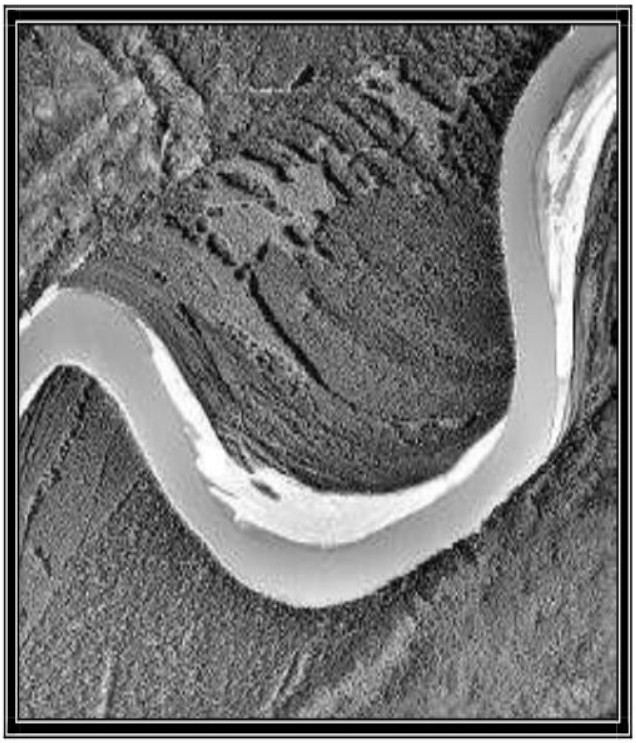
يجرى النهر في هذه المرحلة بصورة بطيئة مترنحة في سلسلة متتابعة من المنعطفات فوق وادي عريض مستو , تحف به حافات صخرية منخفضة، ويصبح للارساب أهمية كبرى بينما يتوقف النحت الرأسي باستثناء عملية شق المجرى خلال السهل. وتتكون الظواهر الناجمة عن فعل الأرساب الجيومورفولوجي العام لوادي النهر خلال مرحلة الشيخوخة ، ويتميز القطاع العرضي للنهر بأتساعه الملحوظ حيث تتكون فوقه السهول الفيضية ، والمدرجات النهرية ، انظر الشكل (٣١) وفيما يلي توضيح الظاهرات الجيومورفولوجية الرئيسية التي تشكل المظهر العام لمجرى النهر ووديه خلال مرحلة الشيخوخة وهي كالآتي:



الشكل (31) شكل القناة في مرحلة الشيخوخة .

١- المنعطفات النهرية River Meanders

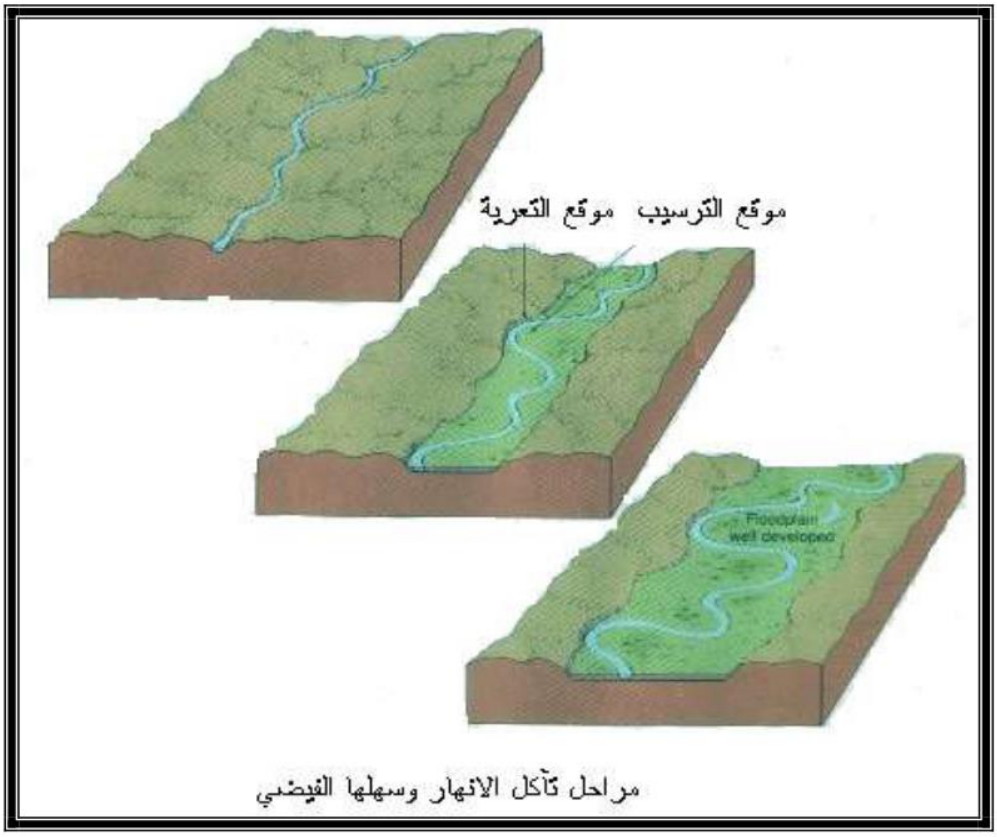
تضعف قوة النحت الرأسي للنهر خلال مرحلة النضج وتبطأ سرعة جريانه ، ومن ثم يترنح مجرى النهر تدريجيا من جانب إلى أخر ، ويعمل على اتساع قاع الوادي على حساب تآكل جانبيه بواسطة كل من فعل النحت الجانبي ، وكذلك سقوط الصخور وانزلاق الأراضي على طول الجوانب الشديدة الانحدار ، وبالتالي قد يصل النهر مرحلة هادئة وهي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



الصورة (42) ظاهرة المنعطفات النهرية في مرحلة الشيخوخة .

٢- السهل الفيضي Flood Plains

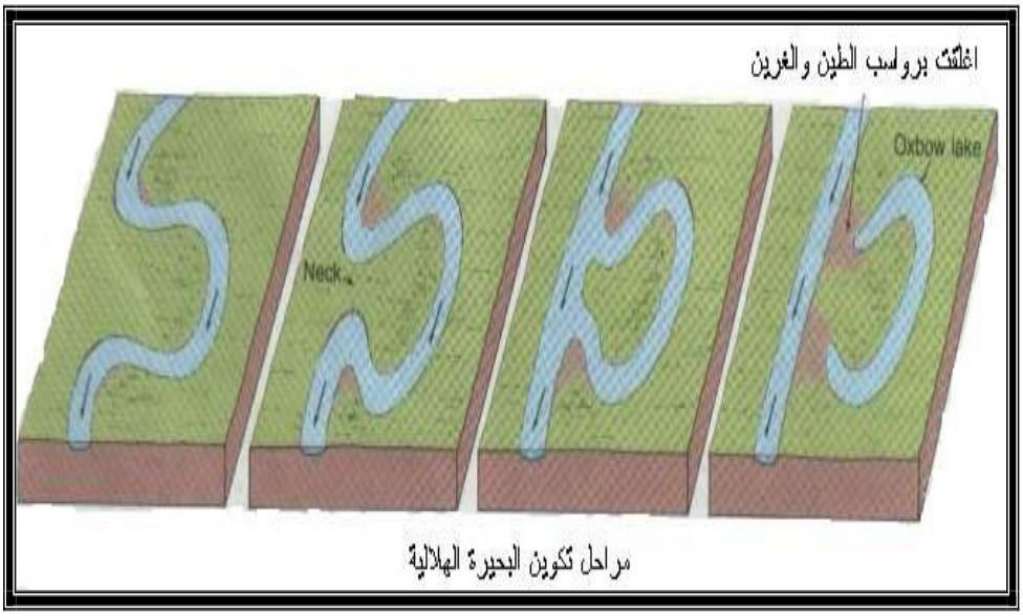
يتم تكوين السهل الفيضي على عدة مراحل تتمثل المرحلة الأولى في عملية توسيع الوادي عن طريق النحت الجانبي ، ويتم ذلك في مرحلة النضج في حين تتمثل الرحلة الثانية في عملية الأرساب التي تحدث على الجوانب المحدبة للمنعطفات فينشأ من ذلك ظهور ضفاف أو شطوط إرسابية . بينما تتمثل المرحلة الثالثة بميزه إرساب الغرين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



شكل (32) مراحل تآكل الأنهار وسهلها الفيضي .

٣- البحيرات الهلالية Oxbow Lakes

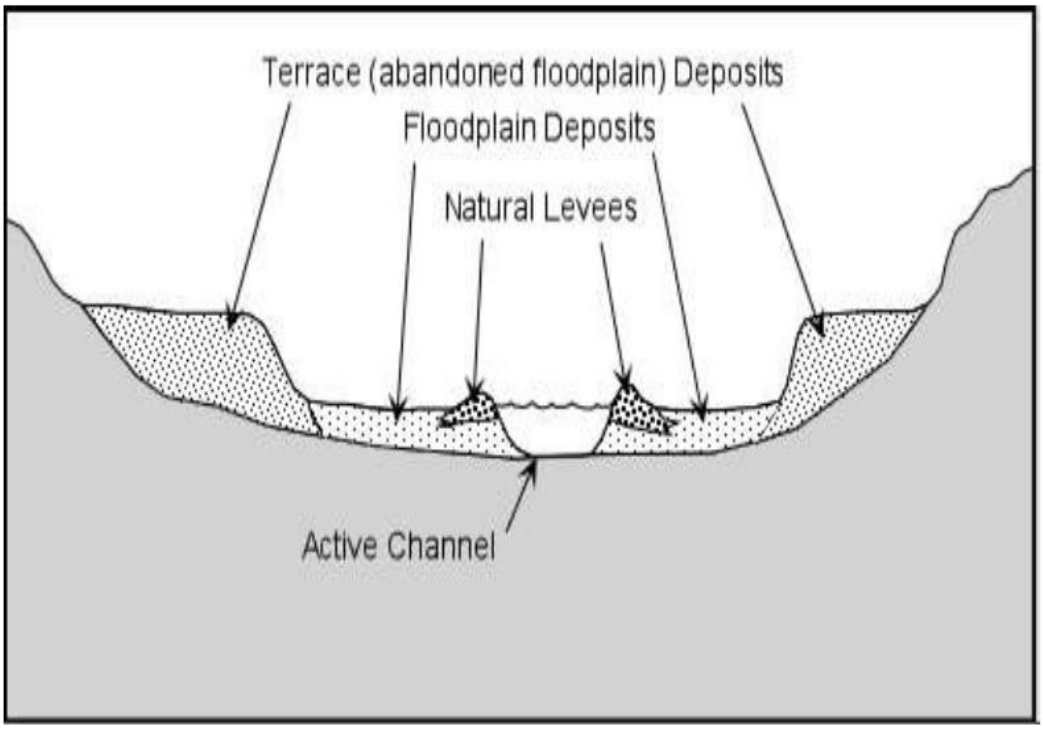
عرفنا أن النهر في مجراه الأدني يسير بصورة مترنحة فوق سهله الفيضي الفسيح المنبسط وتلك ظروف ملائمة لوجود المنعطفات ، فتيار النهر يكون بطيئ ، فلا تستطيع المياه التغلب على ما يصادفها من تكوينات صخرية صلبة ، فتضطر الى تفاديها باللف حولها ، فتنشأ لذلك منعطفات الشيخوخة ، وتتكون البحيرات المتقطعة عندما نجد منعطفا نهريا وقد اقتربت ضفتاه المتعرجتان من بعضهما نتيجة لنحت المياه فيها حيث لا يفصلها الا عنق ضيق من اليابس ، يطلق عليه تسمية **عنق المنعطف** انظر الشكل (٣٣) . وعندما تنجح المياه بالنحت في اختراق عنق المنعطف مكونه لنفسها مجرى جديدة قصيرة بدلا من مجرى المنعطف الذي كانت المياه تجري فيه . وبعد مرور فترة من الزمن نجد أن النهر كون سدا رسوبيا يفصل المجرى الجديد عن طرفي المنعطف المقطوع ، فيبدو الأخير على شكل بحيرة هلالية الشكل تسمى البحيرة المتقطعة ، لأنها اقتطعت من مجرى نهر.



شكل (33) مراحل تكوين البحيرات الهلالية .

٤- الجسور الطبيعية Natural Levees

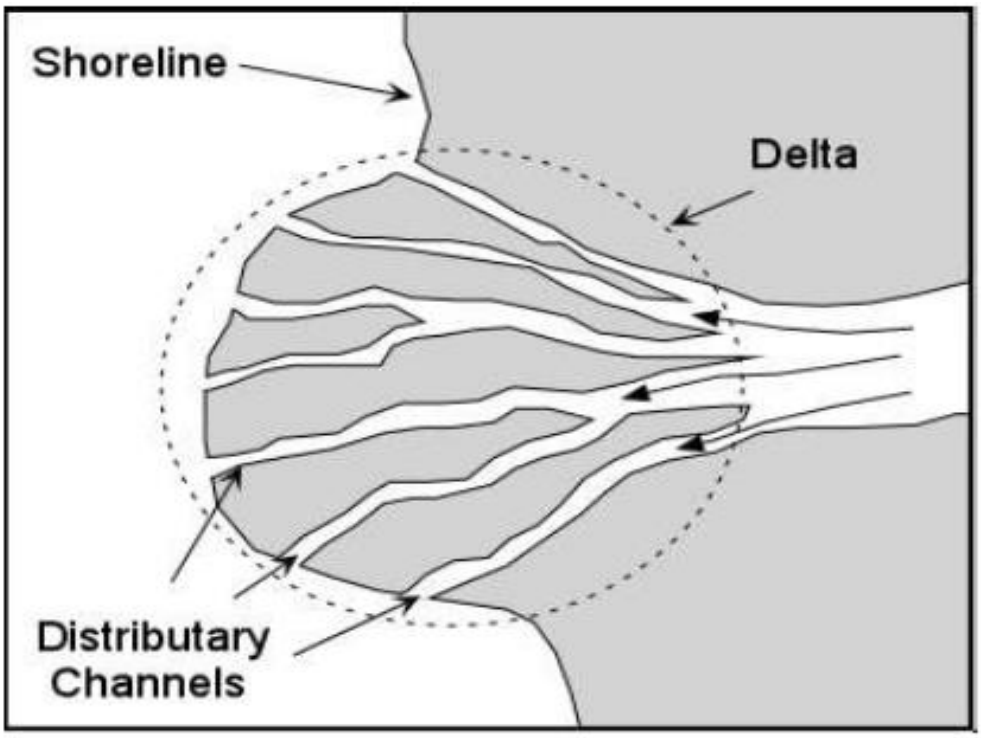
يتم تكوين الجسور الطبيعية عندما يحدث الأرساب على ضفتي نهر أثناء موسم الفيضان وذلك لبطأ سرعة التيار عند جانبي المجرى ، ومع كل فيضان يزداد سمك الرواسب فيرتفع منسوب الضفاف ، وبذلك تتكون الجسور الطبيعية . وبمرور الزمن وبتكرار الأرساب فوق قاع المجرى ، وضفافه يصبح النهر وقد ارتفع منسوبه فوق مستوى سهله الفيضي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



شكل (34) ترسبات المصاطب والسهل الفيضي والجسور الطبيعية .

٥- الدلتا Delta

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

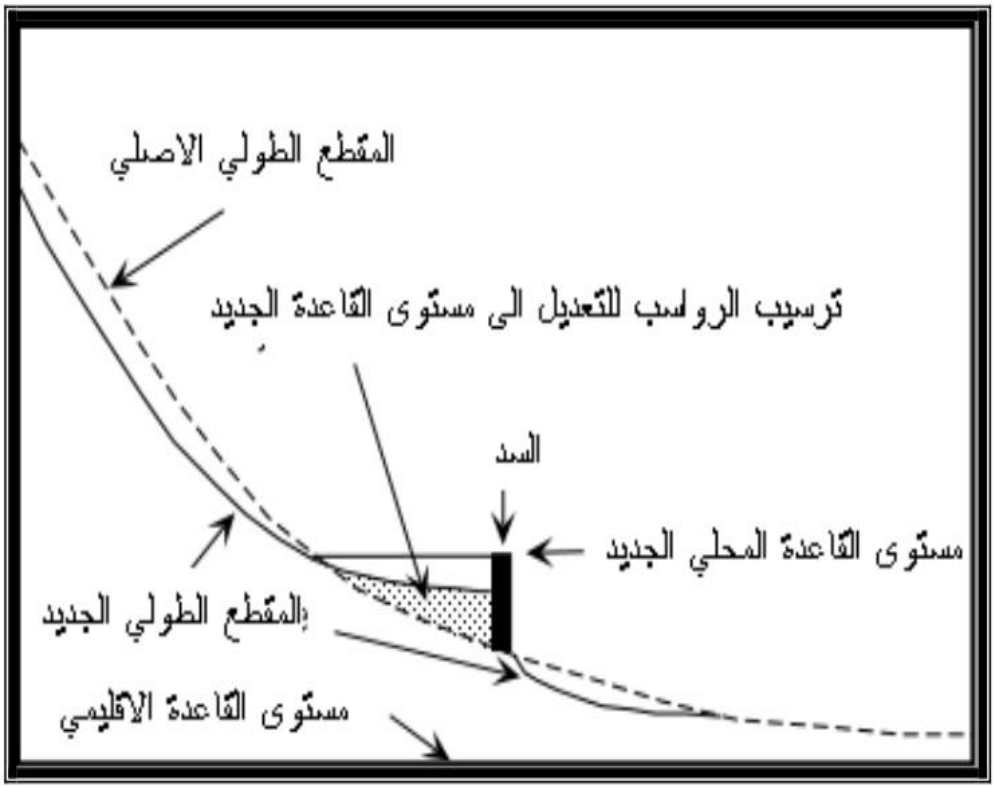


شكل (35) توزيع القنوات على سطح الدلتا .

مستوى القاعدة Base Level

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

عندما يعرقل سد طبيعي أو اصطناعي تدفق جدول ما ، فان الجدول يقوم بتعديل قاعدته الى مستوى القاعدة الجديد من خلال تعديل مقطعه الطولي . انظر المخطط (٢١) في هذا المثال تم تعديل المقطع الطولي قبل وبعد السد . يحدث التآكل مع التيار من السد (خصوصا اذا السد الطبيعي والماء يمكن أن يتدفقا على القمة) ، سرعة الجدول تنخفض فقط ضد التيار من السد ، مما يترتب علية ترسيب الرواسب وينخفض مستوى الميل .



مخطط (21) مستويات القاعدة المحلية والإقليمية .

تصابي الأنهار Rejuvenation

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

١- انخفاض مستوى سطح البحر:

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

٢ – نتيجة عملية رفع تكتوني

ربما تتعرض بعض مقاطع الأنهار في القرب من منطقة المنبع الى عملية رفع تكتوني ، أو ترتفع بعض مقاطع الأنهار نتيجة لزوال الثقل الذي كان مسلطا عليها وهذا ما حصل لبعض الأنهار في الدول الاسكندنافية عندما تراجع الجليد في نهاية الفترات الجليدية في العصر الرباعي وترتب عليه تغير في التوازن الاستاتيكي isoststic equilibrium مما أدى إلى تعرض تلك المناطق الى الارتفاع التدريجي بمقادير تصل إلى بضعة سنتمترات خلال القرن ، وعلى كل حال سواء

كان هذا التغير هو نتيجة رفع تكتوني أو نتيجة تغير في التوازن الاستاتيكي فانه يترتب علية استعادة الأنهار لنشاطها وقوتها وبالتالي نشاط عملها التحاتي مما يترتب عليه تكون المظاهر التضاريسية التالية:

أ- المنعطفات المعمقة .incised meanders

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

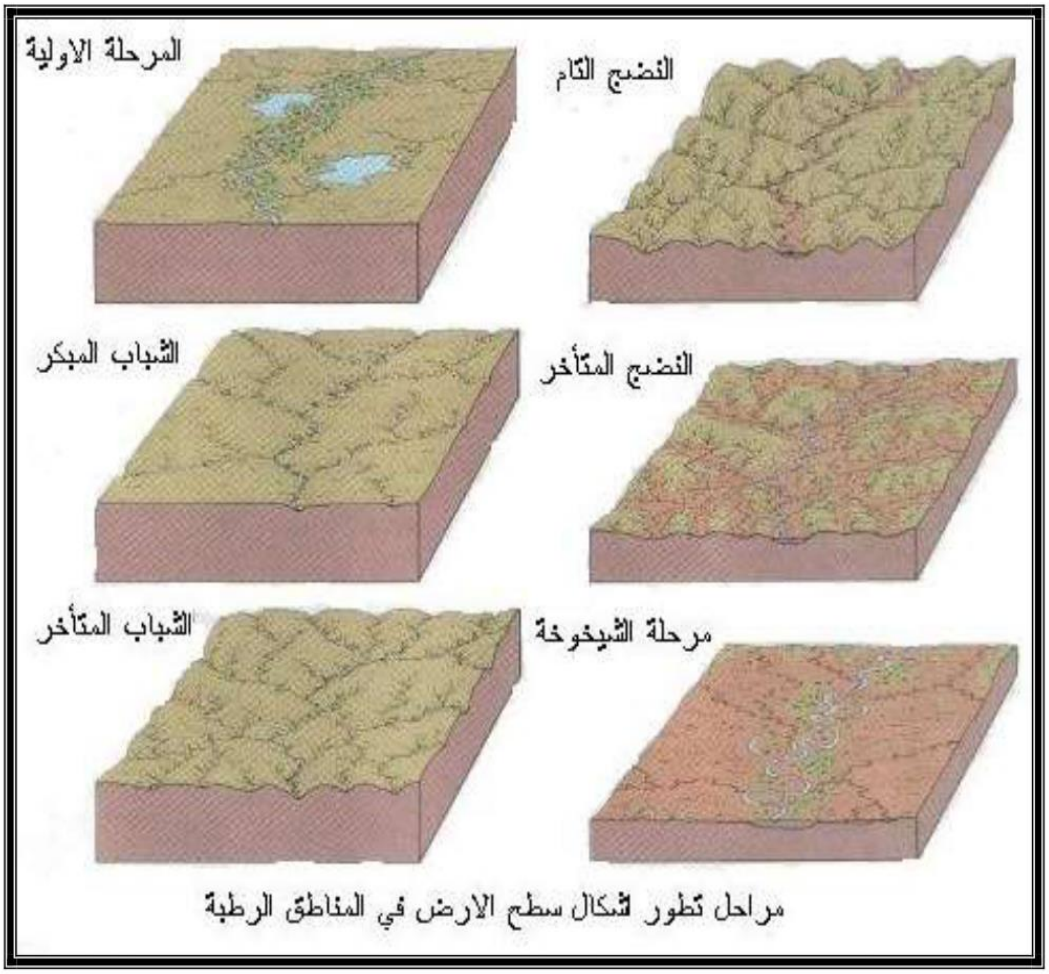
ب - المدرجات النهرية River Terraces

المدرجات النهرية هي عبارة عن امتدادات طولية من الأرض تمتد على جانبي النهر وتكون في هيئة مصاطب واحدة فوق الأخرى ، ويتكون منها في الغالب عدة أزواج ، ويكون مجرى النهر محصور بين الزوج الأسفل منها ، ويمثل كل زوج من هذه المدرجات فترة من حركات الرفع التي جددت نشاط النهر . فزوج المدرجات الأعلى يمثل مستوى قاع الوادي أثناء احدى مراحل كهولته أو شيخوخته الأولى وقد أدت بعد ذلك فترة من التصابي النهري الى حفر واد جديد في الرسوبيات المكونة لهذه المدرجات العالية ، وحينما عاد النهر الى مرحلة الكهولة بدأ يرسب في الوادي الجديد الذي حفرة في المدرجات الأولى العالية رسوبيات جديدة مكونة مستوى جديد من المدرجات اقل ارتفاعا من المستوى السابق ، وبتكرار هذه العملية يمكن أن تتكون عدة مستويات من المدرجات النهرية . وبذلك يمكن أن نعتبر كل زوج من المدرجات خاصة بمستوى معين يمثل فترة من الحركات التي أدت إلى تجديد النشاط التحاتي للنهر ، فزوج المدرجات الأعلى يمثل مستوى قاع الوادي أثناء مرحلة الكهولة الأولى التالية لحركة رفع ، والزوج الذي يليه إلى أسفل يمثل أول فترة للتصابي (أي الفترة الثانية من النشاط التكتوني بعد ظهور النهر) تليها فترة أخرى للكهولة ، والزوج الذي يليه فترة أخرى وهكذا . ومعنى ذلك أن أقدم المدرجات هي أعلاها وأحدثها هي أسفلها . وهناك عدة أنواع من المدرجات النهرية ، فبعضها يتكون من أسطح تحاتية بدون أن يكون على ضفاف النهر رسوبيات نهرية ، وذلك يحدث عندما تعقب فترات التصابي مراحل النضج في النهر وليس مراحل الكهولة اذ لا تتوفر للنهر المتصابي فرصة للوصول إلى مرحلة الكهولة وترسيب رسوبيات على ضفافه ، أما البعض الآخر من المدرجات النهرية فيكون منحوتا في الرسوبيات النهرية نفسها ، وهناك أيضا مدرجات نهرية تتكون من أسطح تحاتية ناتجة من تآكل الصخور الأصلية المكونة لضفاف الأنهار ، بالاضافة الى بعض الرسوبيات النهرية التي تعلو هذه الأسطح ، وهذا يحدث حينما تطول مرحلة الشباب بعد كل فترة من فترات التصابي حتى يصل العمل التحاتي للنهر الى التأثير على الصخور المكونة للقشرة السطحية تحت مجراه . وبعد ذلك يصل النهر الى مرحلة الكهولة ويرسب على هذا السطح من الصخور رسوبيات نهرية.

ج- السهل التحاتي Peneplain

بينما الجداول تقطع وديانها فانها بنفس الوقت تقوم بنحت الأرض بشكل آني ، ولان هذه العمليات هي عمليات مستمرة ولا تنتهي لذلك نحن بحاجة إلى نقطة بداية لتوضيح ذلك ، وعليه نفترض وجود منطقة مرتفعة مستوية نسبيا في اقليم رطب لكي يتكون نظام صرف بشكل جيد ، حيث تتكون البحيرات والبرك في أية منخفضات موجودة كما موضح في الشكل (٣٦) . وبينما تتكون الجداول وتبدأ بالحت السفلي واستطالة مجاريها باتجاه منطقة المنبع فأنها تقوم بتصريف مياه

البحيرات ، وخلال مرحلة الشباب يحتفظ المظهر الطبيعي بسطحه دون تغيير نسبيا ، ويتميز فقط بوديان الجداول الضيقة ، بينما القطع السفلي يستمر وتبدوا التضاريس مرتفعة ويتحول المظهر الطبيعي في مرحلة الشباب ليشمل التلال والوديان التي تميز مرحلة النضج . في النهاية بعض الجداول تقترب من مستوى القاعدة ، اذ تتوقف عملية الحت الراسي لتفسح المجال لعمليات التآكل الجانبي . بينما تقترب الدورة من مرحلة الشيخوخة ، تأثيرات التدفق والجذب الأرضي يرتبطان بالتآكل الجانبي للجداول مما يترتب عليه تحول الأرض الى سهل شبه متموج يقترب من مستوى القاعدة يطلق عليه السهل التحاتي Peneplain . بالرغم من أن وجود السهل التحاتي غير معروف في الوقت الحاضر الا ان هناك أدلة تشير الى تكونه في الماضي عندما كانت الأرض مرتفعة .



شكل (36) مراحل تطور أشكال سطح الأرض في المناطق الرطبة .