الفصل الرابع

النقل و الترسيب

Transportation and Deposition

1- مقدمة: Introduction

تكمن عملية فهم نقل الرسوبات و عمليات ترسيبها في استيعاب صفات السوائل ، و وسائط النقل الأخرى، و حركتها الطبيعية ، و إدراك التحولات الداخلية التي تتم ضمن هذه السوائل سواء أكانت ساكنة أم متحركة .و بالتالي لا بد من دراسة صفات السوائل و حركتها و تفاعل الجزيئات ضمنها .

و يعتبر كل من الهواء ، و الماء العذب و المالح ، و الجليديات و سائط نقل طبيعية لنقل الرسوبات من مكان المصدر /الصخر الأم / إلى أحواض الترسيب .و هي مهمة بسبب الضغط الذي يمارسه حجم المواد ،مما يجعل هذه السوائل تنشأ بشكل طبيعي عندما تختلط جزيئات الرواسب مع الماء ، أو الهواء .

و نذكر من الأمثلة المشهورة عن هذه السوائل المتعددة الأطوار ، السوائل الطينية، و الخلائط الكثيفة للحبات الرملية ، و الحمولات الهوائية ، التي توضعها الانهيارات في أسفل منحدرات الكثبان الرملية الصحراوية .

إن تحولات الجزيئات السائلة في الأنظمة الرسوبية الطبيعية تحدث في سلسلة عريضة المقياس ، و كذلك تحدث هذه التحولات في المقياس الكبير للنقل العام للرسوبات و تشكل البنيات الرسوبية المعروفة مثل الشكل السريري للرمال النهرية ، و توضعات المد و الجزر ، و الرمال الصحراوية .

و ترتبط هذه التحولات بشكل فردي مع الجزيئات الرسوبية ، و مع عدد هذه لجزيئات في سلسلة صغيرة عموما من الأشكال السريرية ، أو من طبقة من الرسوبات في حالة النقل . إن الحوادث الأكثر أهمية هي التمهيد لحركة الجزيئات بالتيارات .

أولا:النقل و الترسيب بواسطة السوائل :

2- الصفات الفيزيائية للسوائل :Physical properties of fluids

2-1-تعريف السائل: Definition of a fluid

ليس من السهل إعطاء تعريف جازم للحالة السائلة ضمن مجال علم الترسيب ، و يمكننا القول أن الحالة السائلة هي إحدى حالات المادة ، و التي تتميز بانتظام قريب لمكوناتها و عدم انتظام بعيد ، و بكون قوى التجاذب بين مكوناتها تكون أقوى منها في الحالة الغازية ،لدرجة أنها تبقى مترابطة مع بعضها البعض و تأخذ شكل الوعاء الموجودة فيه.

و عموما تكون السوائل أقل وزنا من الأجسام الصلبة ، و تتشوه بسرعة تحت تأثير قوى ضغط منخفضة نسبيا ، بينما الأجسام الصلبة تميل للحفاظ على أشكالها الأصلية ، في حين تتميز السوائل بقدرتها على أخذ أي شكل يفرض عليها .و عادة ما تقسم السوائل إلى قسمين :

1-سوائل موجودة في وعاء أفقي الشكل سطحه حر بالنسبة لحقل الجاذبية .

2-سوائل /مثل الماء/ تبدو أخف من الموائع ، و لها خاصة أخرى تشترك بها مع الأجسام الصلبة ، و هي أنها تملك في بعض الحالات شبكات ذات بنيات بلورية مرتبة بشكل متقطع /كسارات بلورية / ، يمكن رؤيتها باستخدام طريقة التحليل الضوئي بالأشعة السينية .

و بالمقارنة مع الغازات /الهواء الجوي / التي تكون أقل وزنا من الجسم الصلب و بخلاف السوائل فهي لا تشكل سطحا حرا بل تنتشر و تملأ كامل الفراغ المعطى لها . إن الغازات قابلة للانضغاط بسرعة كبيرة على عكس السوائل و الأجسام الصلبة غير القابلة للانضغاط من أجل أهداف معينة .

فمن المعلوم أن الرمل الجاف يسيل تحت تأثير قوة الثقالة و يأخذ شكل المكان الموجود فيه مما يجعله سائلا و لكنه يشبه الجسم الصلب ،مما يدعم الوزن و القدرة على

الاحـــتمال عـــند المنحدر . كما يمكن للطين السائل أن يسلك سلوكا مشابها، و خاصة إذا كان محـــتوى المـــواد الصـــلب الموجودة فيه كبيرا .لقد عولجت هذه المواد و مواد مشابهة بشكل مناســـب فـــي صف خاص من الموائع و تسمى الموائع غير النيوتينية / non-Newtonian fluide/، التي تملك خصائص إضافية بالمقارنة مع الموائع النيوتينية .

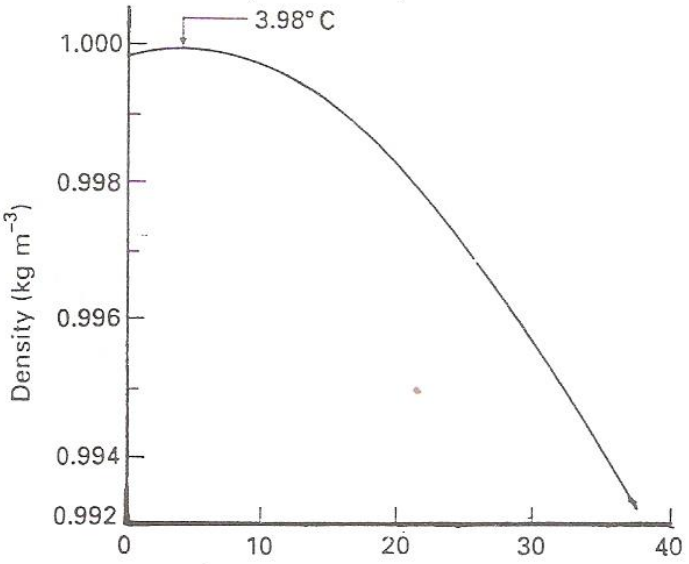
2-2-كثافة السائل و نوعية الجاذبية :

Fluid density and specific gravity

يشـــير الـــوزن ، أو كثافة السائل ،أو الجسم الصلب إلى كمية المادة الموجودة في واحـــدة الحجـــم الذي يشغله في الفراغ ، و تقاس بالكيلوغرام/المتر المكعب ، و يأخذ الأبعاد (ML^{-3}) ، حيث (M) هي كتلة الجسم ، (L) طول الجسم .

كمـــا يســـتعمل الحـــرف اليوناني الصغير (ρ) من أجل التعبير عن كثافة الأجسام الســـائلة فـــي العلاقـــات و المعادلات ، بينما يستعمل الحرف (σ) من أجل التعبير عن كثافة الأجســـام الصـــلبة .أما الجاذبية المعينة للأجسام الصلبة ، أو السوائل فهي كثافة هذه الأجسام المتعلقة بالماء ، وبالأبعاد ML^{-3}/ML^{-3} و يكون الناتج عدداً بسيطاً بدون واحدة قياس .

عـــادة مـــا تفـــرض كـــثافة الماء من أجل عدة أغراض محددة و ثابتة و تساوي $1000/Kg^{-3}$ و جعلها أقل كثافة من جزيئات المواد الرسوبية .و على كل حال فإن كثافة الماء تحت درجات حرارة مختلفة تتغير بشكل معقد ، و مهم لفهم التطبق و التيارات لكثير من التجمعات المائية كالمحيطات ، و البحيرات (الشكل:4-1) .



(الشكل:4-1)-تغير كثافة الماء النقي مع تغير درجات الحرارة تحت ضغط جوي يعادل أتموسفيراً واحداً .
عن (Pettijohn,1975) .

لاحظ أن كثافة الماء تصبح أعظمية عند درجة الحرارة 4C (Weast & Astle, 1980) .و يعتـــبر الماء مادة مذيبة ممتازة ، حيث تزداد كثافته بازدياد كمية المواد المذابة فيه مثل كلور الصوديوم ، و غيره من الأملاح المذابة في مياه البحر ، و التي تعطيها كثافة تقدر بحوالي 1028 كغ/م$^{-3}$.

و عموماً يمكن للكثافة أن تزداد أيضا نتيجة لوجود الفلزات المعلقة ، وخاصة إذا كانت هذه الفلزات ناعمة جدا ، و تبقى معلقة لفترات طويلة من الزمن ، و يمكن أن تكون نصف معلقة .و عادة ما تعطى كثافة الأجسام المائية –الصلبة المحلولة ، أو الخليطة بالعلاقة التالية :

$$\rho_m = \sigma C + \rho(1-C)$$

حيث (ρ_m) هي كثافة المزيج ،و (σ) كثافة المواد ، و (C) الحجم الكسري للمواد المخلوطة ، أو غير المنحلة .

مـــن المعلوم أن كثافة الهواء تحت الشروط العادية تكون أصغر بثلاث مرات من كثافة الماء .و إذا كانت الحرارة ، و الضغط معينان عند مستوى البحر و عند درجات عادية من الحرارة و تحت ضغط جوي نظامي تكون كثافة الهواء مساوية ل 1.3 كغ /م$^{-3}$. و بسبب كـــون كـــثافة الفلزات الصلبة بالنسبة للماء ، و بالنسبة للهواء مختلفة نستطيع أن نضع المواد لمقارنة سلوك الجزيئات المنقولة بطريقتين .

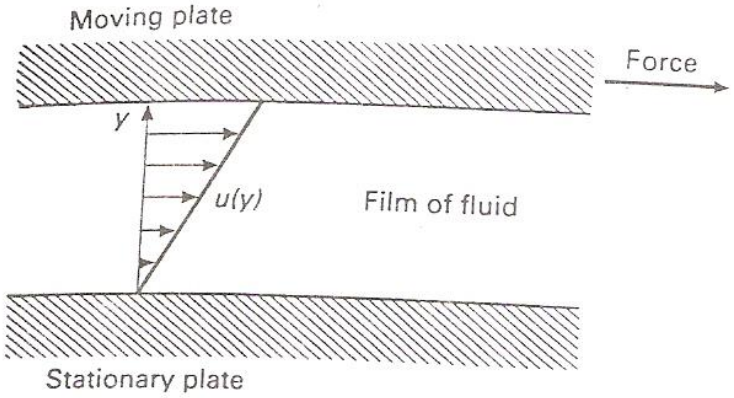
2-3-اللزوجة الجزيئية /الديناميكية :

Molecular (dynamic)viscosity

و علـــى الرغم من أن السوائل بشكل عام تتشوه بسرعة إلا أنه غير صحيح أن نقول أنهـــا لا تقـــاوم التشوه ، فالهواء يمكن أن يقاوم عبور الدراجة ، و إجهادا معقولا هذا الإجهاد الذي يحرك السوائل مثل العسل و العصير ،و زيت تشحيم المحركات ، و حتى الماء .

و ربما لهذا السبب توصف السوائل بتنوعها ،فإما أن تكون ناعمة ، أو سميكة ، و ذلك اعتمادا على القوة المطبقة عليهاوتنشأ هذه الخاصة الأساسية للسوائل من القوة التي تشغل المكان بين جزيئاتها و تسمى اللزوجة الجزيئية ، حيث تتغير قيمتها من سائل لآخر .

و عـــادة ما يستخدم مصطلح اللزوجة الديناميكية كبديل حيث يشير إلى أن خاصية مقاومـــة التشويه تصبح واضحة فقط عندما توجد حركة بين الأجزاء المختلفة للسائل .و تحدد اللـــزوجة الجزيئية للسائل على الأغلب في مصطلحات التجارب البسيطة ،حيث توضع طبقة رقيقة و شاملة من السائل بين قرصين متوازين ملساوين إحداهما ثابتة ، بينما تتحرك الأخرى تدريجيا و بحرية تحت فعل قوة التماس الثابتة المطبقة (الشكل:4-2) .



(الشكل:4-2)-يمثل تجربة بسيطة لقياس اللزوجة الجزيئية للسوائل .
عن (Pettijohn,1975) .

تتماســك جزيــئات السائل دون أن تنزلق إلى أي قرص منهما، و نتيجة لذلك.فإن الســـرعة الخطـــية تظهـــر داخل الطبقة المقطوعة ، و تنتقل قوة القص المطبقة على القرص المتحرك خلال السائل إلى القرص الثابت . و تنتج لدينا العلاقة التالية:

$$\tau = \eta \, du/dy$$

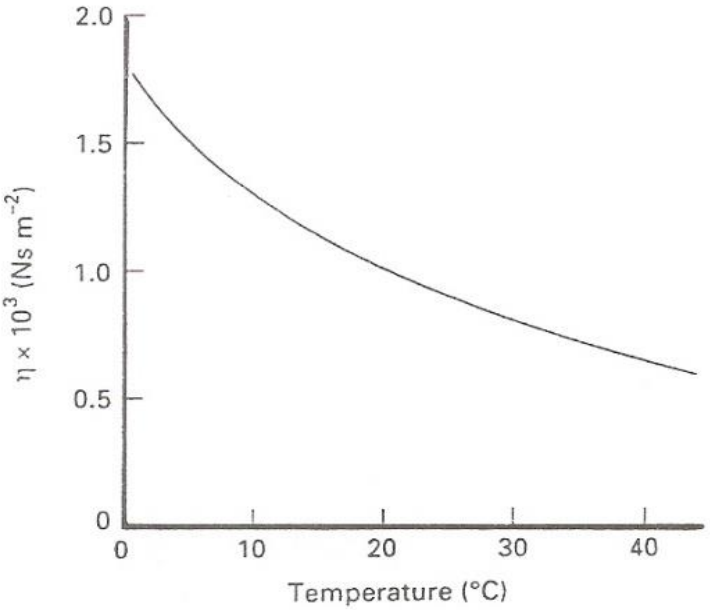
حيـــث (τ) إجهـــاد القص ، (u) سرعة السائل ، (y) المسافة العادية بين القرص المـــتحرك و القرص الثابت ، (η) اللزوجة الجزيئية .و تقاس السرعة بالمتر /الثانية ، و لها الأبعاد $/LT^{-1}/$ ، حيث T تشير إلى الزمن .

يعـــرف إجهـــاد القص بأنه القوة المطبقة على واحدة المنطقة ، أو المساحة و تقدر بالنيوتين /على المتر المربع (Nm^{-2}) ، و له الأبعاد $(ML/T^2) / L^2 = ML^{-1}.T^{-2}$. و تسمى النســـبة du/dy درجة ميل السرعة ، أو نسبة القص ،كما أن السرعة تأخذ الأبعاد (LT^{-1}) المشتقة من المسافة (L) ، و تقاس بالثانية .

و تكون اللزوجة الجزيئية عبارة عن جداء القوة × واحدة المساحة × واحدة سرعة درجة الميل و لها الأبعاد $ML^{-1}.T^{-1}$ ، و تقاس نيوتن-ثانية× متر مربع ($Ns.m^{-2}$). و تقدر

اللـــزوجة الجزيئية للماء بحوالي $1x10^{-3}Ns\ m^{-2}$ و تكون حساسة جدا للتغيرات الحرارية و تتناقص إلى حوالي النصف في المحيطات الاستوائية و القطبية (الشكل:4-3) .

و يكـــون لدرجة الحرارة تأثيرات كبيرة على سلوك الجزيئات المتركزة في الماء. كمـــا يوجد تغيرات قليلة بالحرارة في حالة الهواء الجوي مع اللزوجة الجزيئية حوالي $1.8x\ 10^{-5}\ Ns\ m^{-2}$ عند مستوى سطح البحر ، و تحت درجة حرارة 20 درجة مئوية ، لذلك فإن الهواء أرق كثيرا من الماء و كلاهما أرق من زيت تشحيم المحركات .



(الشكل:4-3)-تغير اللزوجة الجزيئية للماء النقي مع تغير درجة الحرارة .
حسب (Folk,1962 and Dunham,1962).

2-4-اللزوجة الحركية : Kinematic viscosity

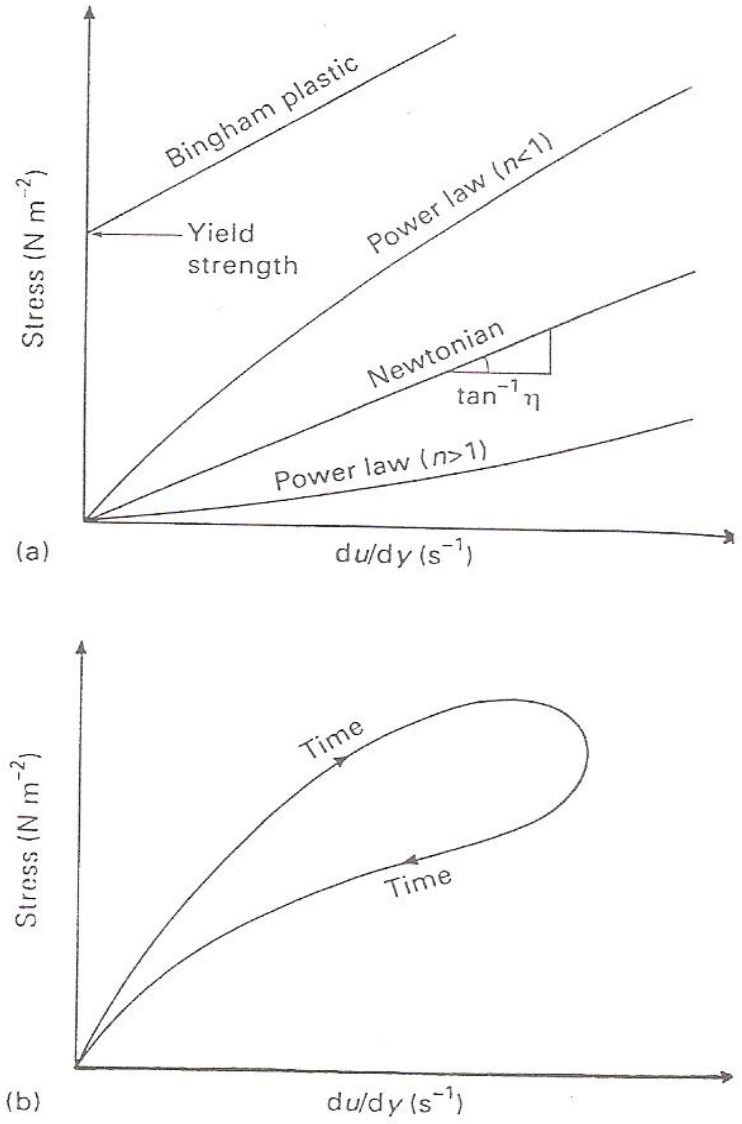
عادة ما يستخدم الباحثون في علم حركة السوائل تعريفا آخر للزوجة و هو اللزوجة الحركية و هي عبارة عن اللزوجة الجزئية للسائل إلى كثافته (η/ρ) و تمثل بالحرف اليوناني الصغير (ν) (nu) .و تأخذ الأبعاد L^2T^{-1} و تقاس ب (m^2s^{-1}) . و تختلف اللزوجة الحركية للماء و الهواء مع تغير درجة الحرارة ، كما هي الحال في اللزوجة الجزيئية للماء و الهواء و التي تتغير مع تغير درجات الحرارة .

2-5-السوائل النيوتونية و غير النيوتونية:

Newtonian and non-Newtonian fluids

يعتبر كل من الماء و الهواء من السوائل النيوتونية ، حيث تكون العلاقة بين إجهاد القـــص و معـــدل القـــص خطية في هذا النوع من السوائل (الشكل:4-4) ، و تكون اللزوجة

الجزيئـــية هـــي الخط المباشر المنحدر الرابط بين الاثنين ، و ثابتة تحت درجات الحرارة و الضغط ، و مستقل عن معدل القص .



(الشكل:4-4)-تغير نسبة إجهاد القص للسوائل . a)-للسوائل النيوتونية و غير النيوتونية .
b)-مطابقة سلوك السوائل الثيكسوتروبية غير النيوتونية لتغير دورة الاجهاد .
عن (Blatt et al.,1980)

يوجد أنواع أخرى من السوائل ذات أهمية عملية، حيث لا تتغير قيم إجهاد القص و معدل القص، و ترتبط بعلاقة خطية بسيطة، و قد جمعت هذه السوائل تحت اسم السوائل غير النيوتونية، و ذلك من قبل (Wilkinson,1960) .

و هنالك تحت صف يسمى بنقهام بلاستك (Bingham plastic) ، و هو واحد من أهم المجموعات الثانوية ، و الذي يسلك سلوكا صلبا مطاطيا مرنا استنادا على خاصية مجموع

القـــوة ، و لكـــن تحت ضغوطٍ عاليةٍ تتصرف كسلوك السوائل النيوتونية،و تترافق مع ثبات اللزوجة الظاهرية .

و يلاحـــظ أن الكثـــير مـــن خلائط الماء الرسوبي تكون قريبة الصفات من بنقهام بلاســـتك (Bingham plastic) .و يأتـــي شكل قانون قوة السوائل بالدرجة الثانية من حيث الأهمـــية ، و تملـــك علاقة معدل إجهاد القص قوة بسيطة و غير خطية ، و لها شكل منحني يعتمد على قيمة (n) .

و تتغير قيمة اللزوجة الظاهرية في تحت الصف هذا مع تغير معدل القص من أجل قـــانون قـــوة السوائل المبسطة (n>1)، و تزداد اللزوجة الظاهرية مع تزايد معدل القص ، و لكنها تتناقص مع ازدياد معدل القص من أجل البلاستك الكاذب /شبه البلاستك/ (n<1).

يســـبب التأثير المستمر للقص في العديد من خلائط السوائل الرسوبية ، و خاصة تلـــك الســـوائل المحتوية على جزيئات من الفلزات الغضارية ، تدرجا في اللزوجة الظاهرية لتخفـــيض الـــروابط البنـــيوية بيـــن الجزيئات حيث تتآكل هذه الجزيئات و تتكسر، و تتبعثر باستمرار ، كما هي الحال في المواد الثيكسوتروبية (thixotropic) خفيفة القص .

و تعرض منحنيات معدل إجهاد القص لبعض الأنواع المعروفة في (الشكل:4-4-b) ، و ذلـــك عندما تتشوه مبدئيا ،و يبدأ التشوه من نقطة موحدة ، ومن ثم ياخذ شكل دائرة تـــرتفع تدريجـــيا في الزيادة الأولى، ثم ينقص معدل القص .و تقوم غالبية الرسوبات الطينية بالتبعثر، و ذلك من أجل تخفيف قيمة إجهاد القص المطبق عليها .

و أخـــيرا يجـــب الإشارة إلى أن السوائل المرنة ، أو اللزجة ، و على الرغم من كونهـــا لـــزجة فإن لديها نوع مرونة محدد ،و هو النوع الذي يحميها من تغير شروط القص المطبق عليها . كما أن سلوك المستحلبات و الذرات الصلبة المعلقة ضمن الخلائط ، و بعض الرسوبات و الصخور يمكن أن يندرج تحت سلوك السوائل المرنة –اللزجة.

2-6-مزيج الجزيئات الصلبة و السوائل :

Mixtures of solid particles and fluids

كمـــا رأيـــنا أعلاه فإن الجزيئات الصلبة المنتشرة في الماء و الهواء تقوم بتشكيل مـــزيج يشـــبه السوائل غير النيوتونية .و تتحرك طبقة هذه الجزيئات و كأنها طبقة عائمة في

النهر . كما يوجد بعض الجزيئات الناتجة عن السوائل الطينية والسيول الرسوبية ، أو الناتجة عن ترسيب المواد المعلقة و المحملة ضمن الماء بفعل الحركات الاهتزازية الزلزالية .

إنه من الصعب التنبؤ ، أو قياس الخواص المناسبة لهذه المواد المعقدة ، و لكن من السهل التأكد من أن لزوجة هذه المواد سوف تزيد من التركيز على الكتلة الجزيئية للمواد الصلبة ، و تزيد من تركيز الحبات، و تزيد من تصادم الجزيئات خلال الحركة، و ذلك كلما كان جريان السوائل بين الحبية مقيدا .

إن المزيج الخفيف للرمل ، أو الفلزات الغضارية ضمن الماء يكون أكثر قابلية و سهولة للتحرك من خلال النسب الكتلية المتساوية . و هنا تأتي الأهمية في التركيز على الجزيئات الكبيرة عندما يصبح المزيج متماسكا بشكل فعال. إن اللزوجة الظاهرية للمزيج السائل يجب أن تنتقل من اللزوجة المولية للسائل الصافي إلى قيمة كبيرة بشكل غير محدد عند الدرجة العليا للتركيز الجزيئي .

3- السوائل خلال الحركة: Fluids in motion

3-1-جريان السوائل و خصائصها :

Fluid flow and its characterization

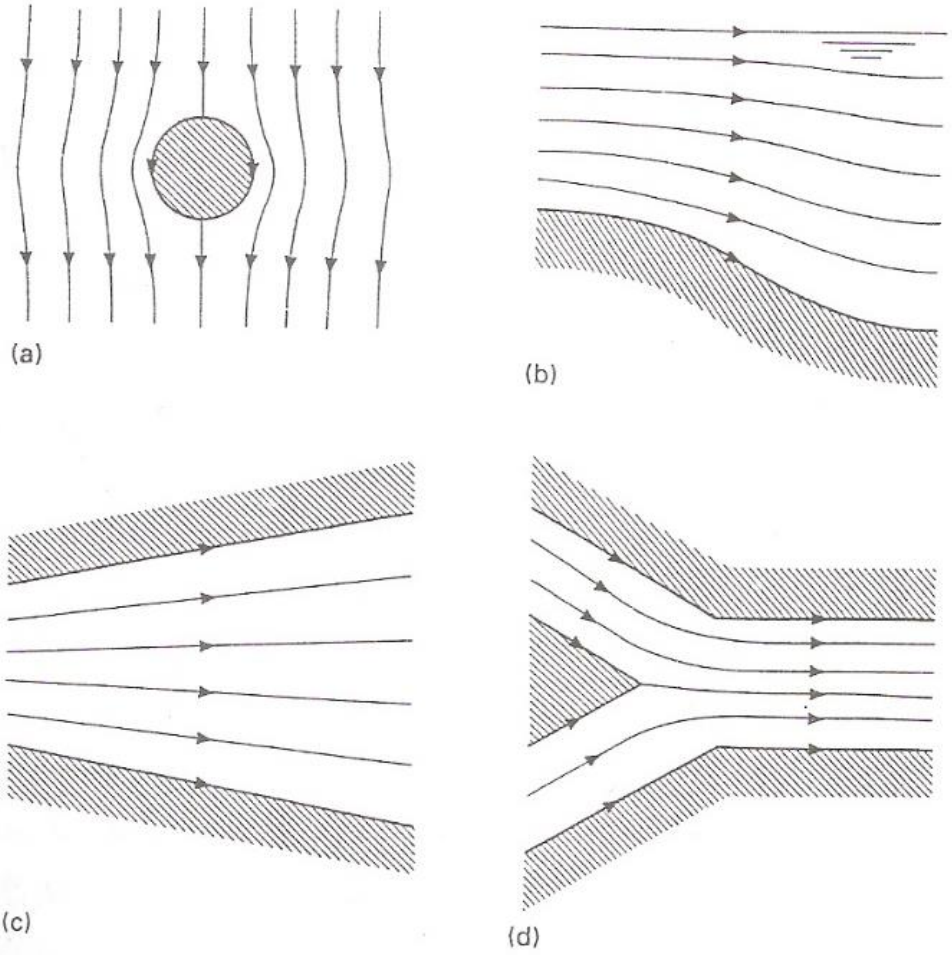
إن جريان السائل يعبر عنه بمقدار السائل خلال الحركة ، و يمكننا أن نصف و نصنف الجريان من خلال محتوياته ، أو الشروط الحدية ، أساليب الحد، النسبة و قابلية التغير .يهتم علماء الترسيب بجريان معظم السوائل ، و تطوير بعض حدود الصلب، و يتم ذلك نموذجيا من خلال إجهاد الرسوبات المعدلة/ أو تطبيق ضغط عليها/ . و نذكر على سبيل المثال الأراضي الرملية في الصحراء ، ضفاف و أسرة الأنهار ، أو أرضية المحيطات العميقة .

و عندما يعيق الحد الصلب الحركة جزئيا ، أو كليا /كما هو موجود في أقنية المد و الجزر، أو في أجزاء من النظام الكهفي / ، فإن الجريان يمكن أن يوصف بأنه جريان داخلي ، أو معيق .

تستخدم تسمية السطح الحر و القناة المفتوحة للإشارة إلى الجريان الداخلي الذي حدد بشكل جزئي فقط من قبل أرضية صلبة ، كما أن بقاء الحد مع سائل آخر ، فإن ذلك

يـــؤدي إلـــى تشكيل سطح بيني مشوه ، و من جهة ثانية فإن الجريان غير المقيد، أو الجريان الخارجي هو الجريان الذي يعادل كامل الحد الصلب .

و تعزز كمية جريان السائل بشكل كبير إذا كانت الحركة منظمة ،أو باسلوب آخر كانت مرئية الذوبان،و قد جرى حساب الخطوط الإنسيابية من قبل فرانسيس (Francis,1975) و فان ديك (Van Dyke,1982)، حيث طبقوا تصوراتهم على الندف و الدخان و الجداول المائية (الشكل:4-5) .



(الشكل:4-5)-نماذج خطوط الجدول لأنواع مختلفة من جريانات السوائل.
a)- جريان غير مطرد حول كرة ،أو اسطوانة /جريان خارجي/. b)- خطوط الجدول ضمن جريان الأقنية المطرد.c-خطوط الجدول في الجريان الداخلي المطرد ضمن الأقنية ،أو الأنابيب .
d)-خطوط الجداول في الجريان الداخلي المطرد ضمن قناتين ، أو ممرين .
عن (Pettijohn,1975) .

و تعتـــبر هـــذه الأمثلة المدروسة من قبلهم مماسات لاتجاهات الحركة النسبية لكل الجزيئات المتدفقة الموجودة هناك . و يشير نموذج خطوط الجداول إلى كيفية تغير اتجاه النهر

مـــن طرف محدد لحقل الجريان إلى طرفه الآخر .كما أنها تظهر التغيرات في قوة الجريان ، فكلما اقتربت خطوط الجدول من بعضها البعض كلما ازدادت سرعة التيار.

إن نمـــوذج التـــيار يمكن أن يرسم من خلال الرسم البياني (pathlines) خطوط الممـــر ، حيـــث أن خطـــوط الممر عبارة عن حاجز الممر الفعلي من قبل جزيئات الجريان المعطاة .و عندما تتلاقى فقاعات الهيدروجين ، أو الندى عند نقطة محددة في جدول مائي ، أو فـــي دخـــان نـــتج عن النار تحت تأثير الرياح فإن نتائج خطوط الشعاع تؤكد نموذج الحركة المرئية .

تعرف خطوط الشعاع بأنها المنحنى الذي تتلاقى فيه كل جزيئات السائل التي تمر من خلال نقطة معطاة خلال الجريان .و من الملاحظ أن خطوط الجدول و خطوط الممر ، و خطوط الشعاع تصادف فقط تحت ظروف جريان محددة و مقيدة.

و بشـــكل عـــام تساوي نسبة جريان السوائل نسبة الحجم مع نسبة القوة في الوقت نفســـه . و الآن بعـــد أن تم تحديد خطوط الشعاع فمن الملاحظ أن نسبة السرعة ،و التي هي قـــياس القـــوة و هي مقدار موجه لديها الحجم/السرعة/ و الاتجاه .و تقاس كمية الجريان من خلال التصريف .

كما أن قيمة نسبة السرعة تمثل بشكل أساسي نتاج السرعة و مساحة مقطع الوادي المســـتخدم فعلـــيا .و يقاس التصريف بالمتر المكعب /ثانية ، و أحيانا تختصر في الدراسات النهرية إلى الأبعاد / L^3T^{-1} / .و تساوي السرعة عددياً كل وحدة تصريف بالمساحة العادية .

و يســـمى الجريان بالثابت إذا ما قيست السرعة عند نقطة محددة و التي تبقى ثابتة باتجاههـــا و حجمها و تكون فقط في هذه الجريانات /خطوط الجدول ، خطوط الممر، خطوط الشعاع / و لا تتغير مع مرور الوقت . و عندما تقاس السرعة (u) في نقطة تتغير مع الزمن (t) فيوصـــف الجـــريان بأنه جريان غير ثابت أو متغير ، كما تخضع الجزيئات في الجريان لتسارع مؤقت يكتب على النحو التالي : du/dt و يقاس بالمتر/ثانية .

و بالتالـــي يتغير نموذج خطوط الشعاع من لحظة زمنية إلى أخرى ، و أي نموذج آخر معطى يملك أهمية لحظية فقط . و على سبيل المثال يعتبر جريان النهر جريانا غير ثابت

و ذلك بسبب وجود المواسم و تغيرات التصريف خلال أشهر السنة ، كما ان جريان النهر ختلف فراغيا مثل التيار الذي يعبر من المقاطع العرضية نموذجية الانحناءات إلى مقاطع ذات تحدارات شديدة ، حيث يسمى هذا النوع بالجريان غير المطرد /غير منتظم/ (الشكل:4-5).

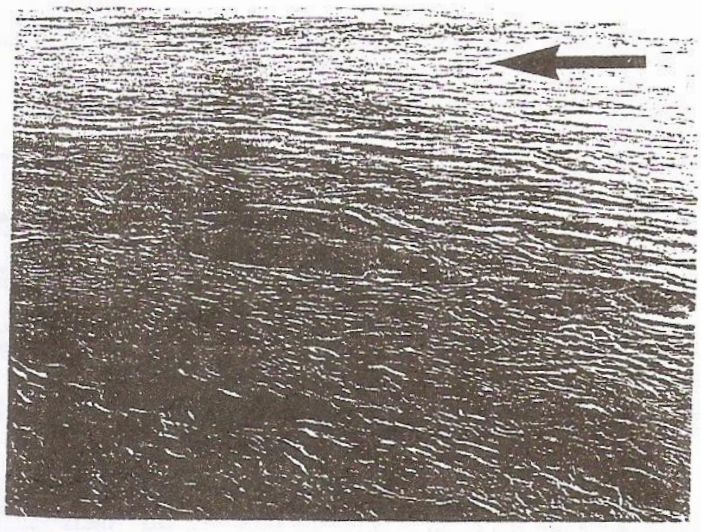
3-2-الجريان الصفائحي و الجريان المضطرب :

Lamiar and turbulent flow

و هـنالك أنواعا أخرى لحالات الجريان غير الأنواع سابقة الذكر /الجريان تحت الحـرج ، و الجـريان فـوق الحـرج /. حيث يمكن ملاحظة حركات صفائحية و حركات مضـطربة فـي كل من الانسيابات الداخلية و الخارجية ، و في المواضع المحصورة و غير المحصورة على حد سواء.

و تكـون خطـوط الجـدول التـي تمثل الجريان الصفائحي إما منحنية قليلا ، أو مسـتقيمة ، و تعتمد على كون خطوط الجريان مطردة /موحدة الشكل/، أو غير مطردة /غير موحـدة الشـكل/، أو مـتوازية ، أو شبه متوازية .و معلوم أن خطوط الجريان لا يمكن أن تتشابك بل تكون مرتبة جدا من حيث المظهر و في كل الأوقات .

أمـا فـي حالـة الجريان المضطرب تكون خطوط الجريان مضطربة و متشابكة بطريقة معقدة جدا في كل لحظة زمنية من زمن الجريان، كما يتغير نموذج شكل هذه الخطوط مـن مكـان لآخـر . و فقط نموذج معدل خطوط الجدول بعد مرور زمن طويل تأخذ الشكل المرتب لخطوط مجرى الحركة الصفيحية.



(الشكل:4-6)-يمثل تيارات المد و الجزر المضطربة .
حسب (Leighton, and Pendextr,1962) .

إن وجـــود الدوامات المضطربة و التغير في الحجم ،و الشكل ،و بنية السرعة من لحظة إلى أخرى هو الذي يخلق التراتيب المعقدة لخط المجرى المميزة للجريان المضطرب . و بشـــكل عـــام يكون معظم التيارات الطبيعية مضطربة .مثل العواصف الريحية القوية ، و تيارات المد و الجزر ، و التيارات النهرية (الشكل:4-6).

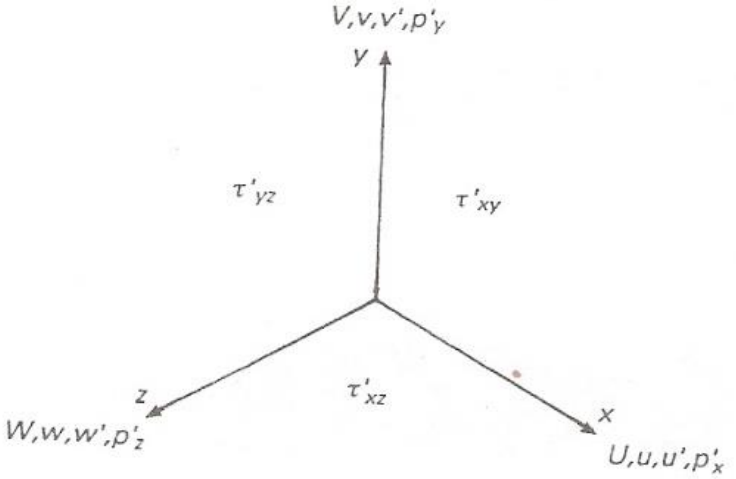
4-خصائص الجريان المضطرب : Characteristics of turbulent flow

4-1-الوصف و المعالجة الاحصائية للاضطراب :

Description and statistical treatment of turbulence

لقد تم تخصيص جهود كبيرة على مدى عشرات السنين الماضية لدراسة مسألة و صف و تحليل الجريانات المضطربة ، و التي هي عبارة عن حركات السوائل التي تصادف في الطبيعة ، حيث كان يعتقد أن الجريان المضطرب عبارة عن تشوش و هيجان و بالنتيجة كان يعتقد أنه يمكن وصفه فقط و تحليله إحصائياً .

أما الآراء الحديثة فتصور الجريان المضطرب على أنه محدد جزئيا لأنه يشتمل على بنـــيات جـــريان متماسكة ، و شكل و حجم، و تعتمد مدة استمرار، و وجود هذه البنيات على صفات الجريان الكلية (Cantwell,1981) . لقد بدأت المحاولة الاحصائية التقليدية مع قياس الصفات المناسبة مع مرور الوقت للسائل المتحرك ، و عند نقطة ثابتة مختارة من الجريان . فمـــثلا يمكن قياس سرعة الجريان عند كل نقطة حسب ثلاثة اتجاهات متعامدة باستخدام جهاز قـــياس السرعة ذي السلك الساخن ، أو الشريط الساخن الموصول مع معالج إشارة ، كما في (الشكل :4-7).



(الشكل:4-7)-المتغيرات القابلة للقياس في الجريان المضطرب في النظام ثلاثي المحاور المتعامدة ، حيث المحور (x) يوازي الجريان الأساسي . عن (Blatt et al.,1980)

ففـــي حالـــة الجريان الرئيسي يخصص المحور(x) كاتجاه الجريان الثابت الموحد لموجـــب ، و الاتجاه الصاعد المتعامد مع القاعدة المحور الموجب (y)، و الاتجاه الموازي لقاعدة إلى يمين المحور (x) على أنه اتجاه المحور (z) الموجب .

4-2-الدومات المضطربة و تشكل الاضطراب:

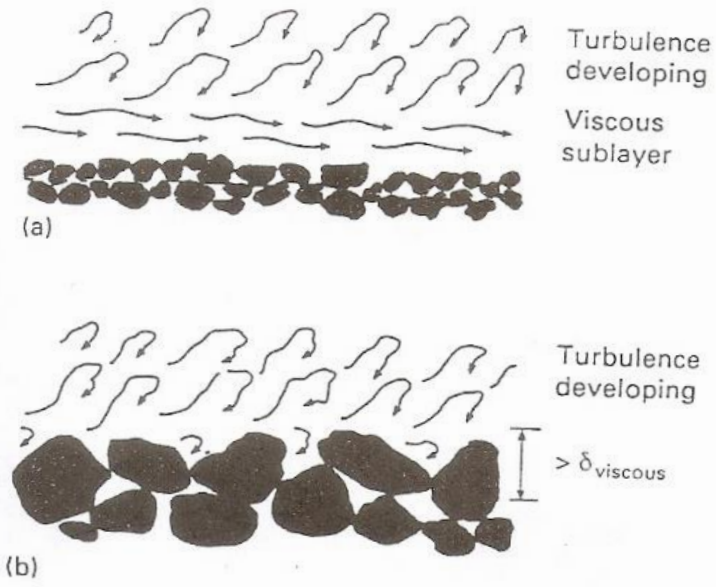
Turbulent eddies and the production of turbulence

لقـــد أثبتت الدراسات التي أجريت على مر السنوات العشرين الماضية أن الطبقات الحديـــة المضطربة تكون أقل تشوشا مما تبدو عليه (Cantwell) ، لا سيما بسبب التطورات التي حدثت على تقنيات تصوير الجريان ، و بسبب تطبيق طاقة المعالجة الإشارية للحواسيب الحديـــثة على مجموعة الأرقام التي تظهر على مقياس سرعة الريح ذي السلك الساخن و ذي الطبقة الساخنة .حيث اقترحت الصور التركيبية لهذه الدراسات الآتي:

1- هـــي دوامـــات لولبـــية باتجاه التيار مستمرة بشكل نسبي في منطقة رقيقة ملاصقة لحد الجريان (الشكل:4-8).

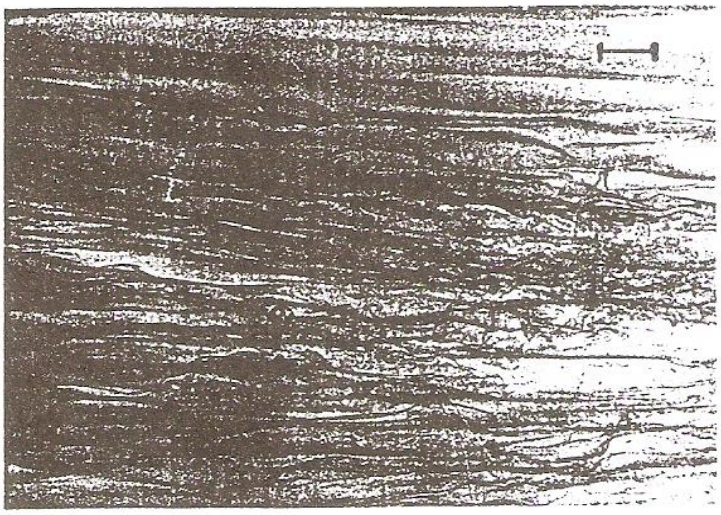
2- ممـــزقة دوريـــا و مرتفعة /منفجرة/ إلى الجزء العلوي من الجريان عندما تنحدر بشكل حاد .و الدوامات بشكل نعل الفرس ، أو منحنية.

3- تـــندمج الدوامات مع بعضها لتشكل دوامات كبيرة تنمو خلال فترة قصيرة لدرجة تصبح معها قابلة للمقارنة مع ثخانة الطبقة الحدية ذاتها .



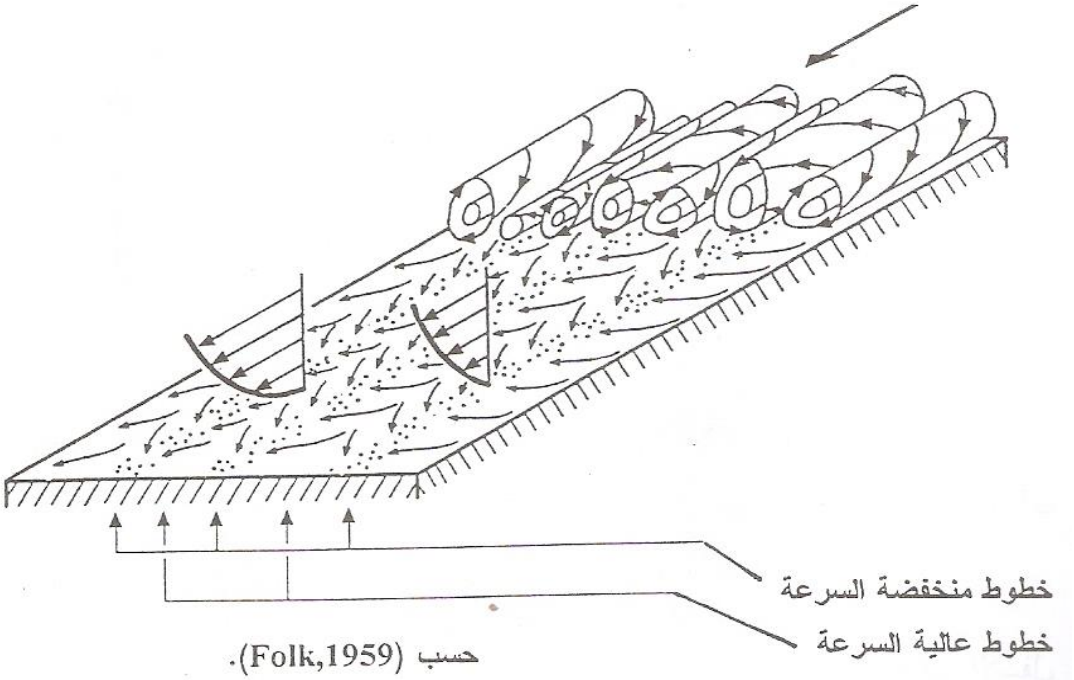
(الشكل:4-8)-التصنيف الهيدروليكي للسيول الحبيبية .
حسب (Leighton, and Pendextr,1962) .

و بشكل عام إن تقدير بنى الاضطراب المنسجمة و المنتظمة يصبح أكثر أهمية من أجل فهم عملية نقل الرسوبات و لفهم منشأ البنيات الرسوبية . تكون الدوامات اللولبية موجودة مـــع اتجاه الجريان في منطقة الفاصل الرقيق ، كما أن عدة طبقات سفلية لزجة تطرح نفسها على أنها بنيات مخططة (الشكل:4-9) و (الشكل:4-10) .



(الشكل:4-9)-بنية مخططة في الطبقة المضطربة الحدية .

حسب (Leighton, and Pendextr,1962) .



حسب (Folk,1959).

(الشكل:4-10)-نموذج جريان مترافق مع بنية مخططة .

و تستعمل في الدراسات البصرية أصبغة قابلة للانحلال ، او فقاعات هيدروجيبيه ، أو حبيبات رملية كعلامات (Kiline et al.,1967; Grass,1971; Nakagawa & Nezu,1981; Jang et al.,1986) . و تدور الدوامات بشكل متعاكس مع بعضها كل اثنتين معا مع قشرة عرضية نموذجية على الحدود الناعمة هيدروليكيا لسماكة طبقة ثخينة لزوجتها 8.6 .

و هذه البنيات الجريانية لا تكون افرادية و هي دائمة و تنمو بشكل بطيء ، و من ثم تتلاشى عند تتصعد /تحمل حراريا / بعكس اتجاه الجريان . و نلاحظ من خلال (الشكل:4 -9) أن هذه الدوامات تميل لأن تنعرج ، أو تضطرب عندما تنجرف للأمام .و يكون طولها باتجاه الجريان عند اكتمالها كبيرا جدا بالمقارنة مع القياسات العرضية و العمودية .

و هكذا تصبح علامات الجريان الصناعية /مثل الأصبغة ، و حبيبات الرمل / متمركزة في مناطق قريبة من قاع المجرى ، و المسماة الخطوط منخفضة السرعة (الشكل:4 -10). و في مناطق الحركة الصاعدة تكون القوة المحركة للسائل منخفضة نسبيا ، و يكون تدرج السرعة ضعيفا .

أما المناطق الفارغة من علامات الجريان الصناعية فيشار إليها بالخطوط عالية السرعة فتتصف بالقوة المحركة العالية للسائل و بتدرج حاد للسرعة .لقد وجد أن الدوامات اللولبية التي تجرف أي مكان مختار على قاعدة المجرى تخضع بشكل دوري لتفكك ، أو تمزق مفاجئ يتم خلاله سحب كتل السائل ، ذو القوة المحركة المنخفضة بعيدا عن القاعدة إلى الجزء الأسرع للطبقة الحدية على شكل دوامة بشكل شعري حاد مع أرجل (Head & Bandyopadhyay, 1981; Perry & Chong, 1982) .

و يظهر (الشكل:4-11) سلسلة من الدوامات ذات الشكل الشعري الحاد ، و التي يمكن تشبيهها بغابة ، حيث تم تصويرها حسب المستوي العمودي على اتجاه الجريان. و في (الشكل:4-12) جرت محاولة تمثيل هذه الدوامات بشكل تخطيطي .

و يكون عرض الدوامة قابلا للمقارنة مع عرض زوج الدوامات اللولبية في الأسفل حيث تميل أرجلها عكس اتجاه الجريان بزاوية 40-45 درجة عن القاعدة . و تظهر الدوامات على الحدود الخشنة هيدروليكيا على المقياس كحجم عناصر السماكة (Grass et al.,1991).

عـــادة ما تكون الحركة داخل الدوامات النموذجية شعرية الشكل معقدة ، و لكن في حـــركة ذات إطـــار مرجعي عند السرعة المتوسطة للدوامة تشبه الحركات الموصوفة سابقا كسلسلة بقع الأصبغة المتباعدة على طول كل من سلسلة الخطوط المرنة الموازية للقاعدة ، و عند زوايا قائمة متعامدة مع التيار /أي خطوط الدوامة / عندما تجتمع هذه السلسلة في مكان و تتمدد و تلتف مثل كرة في أقصى الدوران .

إن المعلومـــات الـــناتجة عن دراسة السلك الساخن هي صعبة بشكل مشابه لتفسر باصطلاحات تفاصيل الحركة ضمن الدوامات . و على أية حال فإن أجزاء مختلفة من الدوامة تعطـــي إشـــارات خاصـــة على مقياس سرعة الريح لا سيما عندما تكون الأداة تقيس مجال السرعة في مستوي تناظر الدوامة ، أي في مستوي (xy) المقسم .

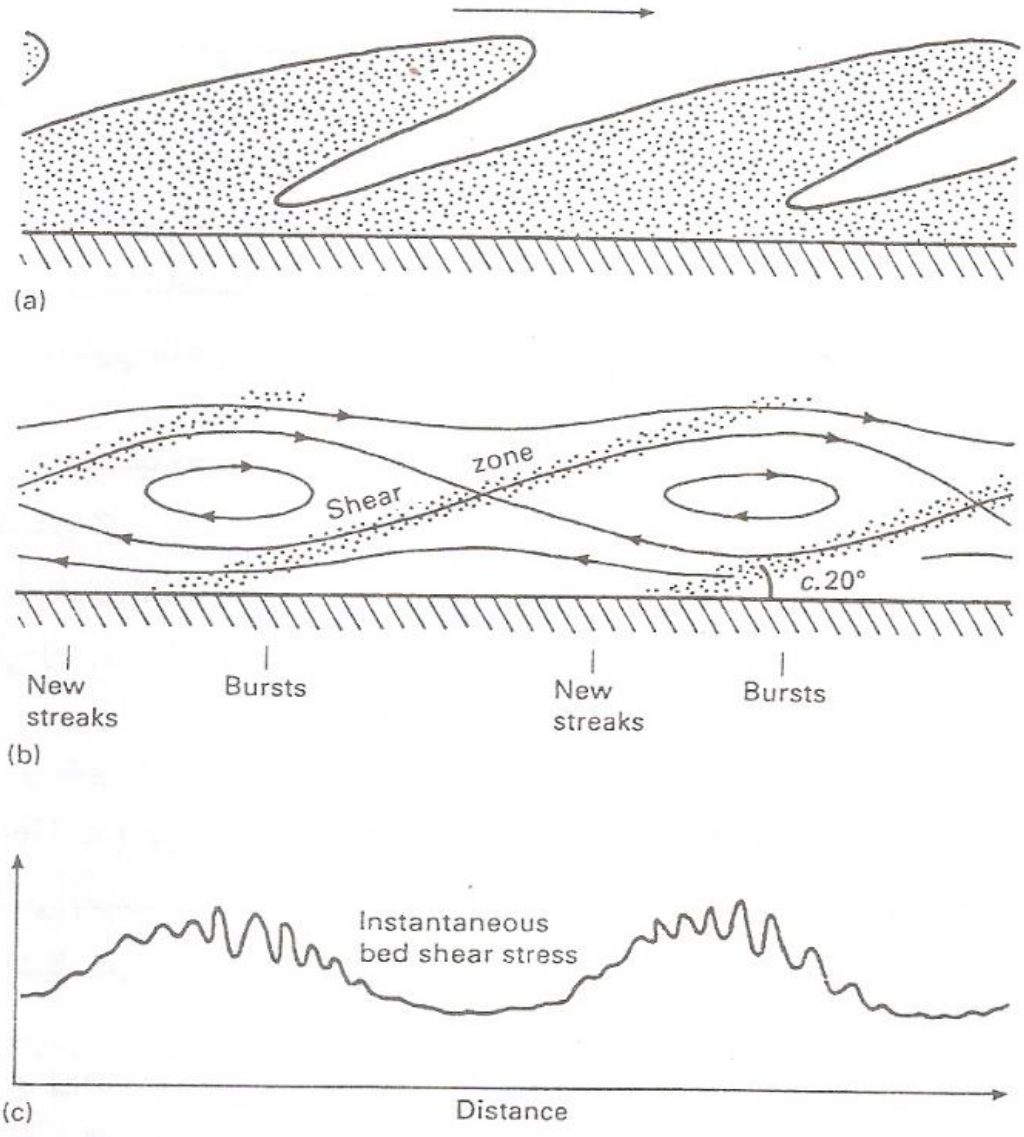
و عـــندما تكـــون المكونات المتغيرة هي إما $uv<0$, $v<0$ أو $uv>0$, $v>0$ فإن حـــركة السائل تكون باتجاه القاعدة /و تسمى حركة جرف أو كنس / ، و مقدمة الدوامة تعتبر الأداة .و يقع السلك الساخن على الجهة الخلفية للدوامة عندما تكون المكونات المتغيرة إما $v>0$ $uv<0$, أو $uv>0$, $v>0$و هنا تكون الحركة بعيدة عن الفاصل /تسمى حركة طرد / .

و تشير الدراسات التي قام بها (Head & Banndyopadhyay,1981; Utami & Ueno,1987) إلى أن الدوامات الشعرية الحادة ترتفع من القاعدة تصبح منتظمة ، و ربما تلـــتف علـــى بعضـــها كالحـــبل متحولة إلى سلسلة تشبه نعول فرس كبيرة، و تكون دوامات اسطوانية الشكل تميل عكس التيار بزاوية 20 درجة عن القاعدة .

و ربمـــا تخلـــق هذه الدوامات المتصعدة بسرعة أقل قليلا من السرعة المتوسطة للطـــبقة الحدية الفقاعات المشاهدة على سطح النهر الهائج .إن تباعد الدوامة باتجاه التيار يبدو أنه يبلغ عدة أضعاف ثخانة الجريان ، أو ثخانة الطبقة الحدية ، و يكون عرضها حوالي نصف هذه القيمة .

و يبدو أن انفجار خطوط الطبقة الحدية لكي يشكل الدوامات الشعرية الحادة محكوم بواســـطة مـــرور هذه الدوامات الكبيرة في الأجزاء الخارجية للجريان (Thomas & Bull, 1983; Aubrey et al.,1988).و يبين (الشكل:4-13) الشكل و الحركة الداخلية للدوامات و يعطـــي التوقيـــت الملحـــوظ للإنفجار، و تشكل الخطوط المتصلة بمرورها . إن إجهاد القص

السريع للقاعدة يتغير بشكل جوهري من خلال ارتباطه بالمكان تحت الدوامات الأكبر لا سيما بالترافق مع الانفجار .



(Blatt et al.,1980)

(الشكل:4-13)-مخطط يبين شكل و حركة البنيات الدوامية للطبقة المضطربة الحدية.
a)-مخطط يبين الدوامات الكبيرة . b)-نموذج الجريان ضمن الدوامة .
c)-التغير السريع لاجهاد القص الطبقي ضمن الدوامة .

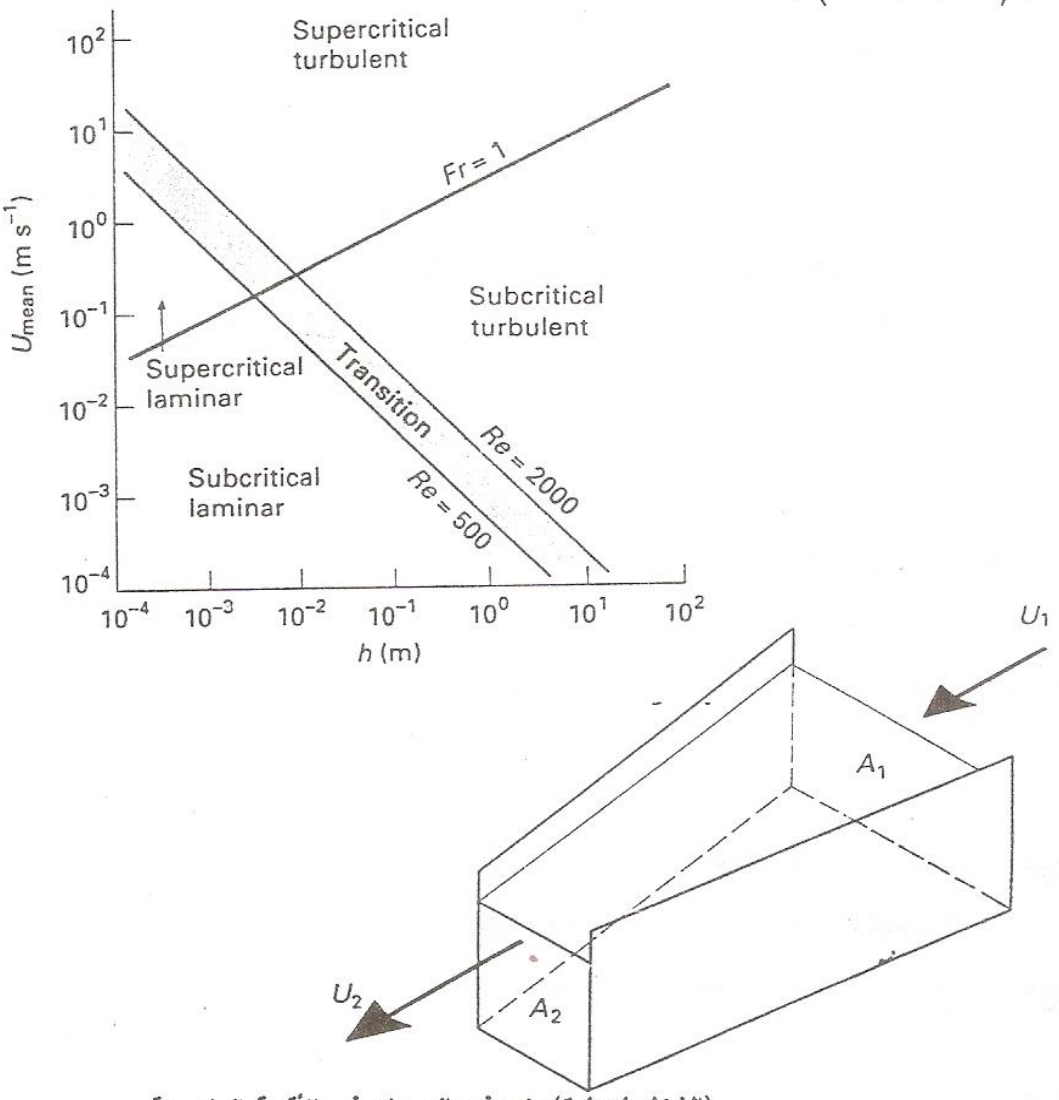
5-مقدمة لأنواع جريان السائل :

An introduction to types of fluid flow

5-1-الجريان في قناة مفتوحة: Open -channel flow

ينطبق هذا المصطلح على جريان سائل محصور في مجرى و مع سطح حر معرض للجو .و بالنسبة للباحثين في علم الترسيب يدخل الجريان النهري ضمن هذا المصطلح . و قد قام (Chow, 1959) باعتبار الجريان في مجرى مفتوح بشكل كامل .حيث يتحرك الجريان بفعل الجاذبية ، أي بفعل وزن السائل الموجود ضمن المجرى المائي ، و الذي يؤثر على طول قاعدة المجرى المنحدرة ، لذلك فالسائل يستبدل /يحول/ الطاقة الكامنة بالطاقة الحركية .

و تقوم مقاومة الاحتكاك المطبقة على الجريان بواسطة الضفاف و القاعدة الرطبة بمعاكسة و مقاومة حركة السائل . و أثناء عملية تحليل الحركة في الحالة العملية للنهر فإننا نستطيع تجاهل تأثير وجود الجو ، و ذلك بسبب أن كثافة الهواء صغيرة جدا مقارنة مع كثافة الماء (الشكل:4-14) .



(الشكل:4-14)-نموذج الجريان في الأقنية المفتوحة .

عن (Greensmith,1981) .

و لـــنفرض أن الجـــريان موحد و ثابت و يحدث في قناة وفق مجرى مستقيم ، ذي مقطع عرضي واسع ، أو مستطيل الشكل ، فإن التوازن بين القوى المحركة و قوى المقاومة يقود إلى العلاقة المبسطة و التي أثبتها (Allen,1985) :

$$\tau_o = \rho g\, hS$$

حيـــث (τ_o) هي متوسط إجهاد القص المطبق على المحيط الرطب ، (ρ) هي كثافة الســـائل ، (g) تســـارع الجاذبية الأرضية ، (h) هي عمق الجريان ، (S) هي انحدار القاعدة الموازيـــة ، أو ســـطح الماء . و من الملاحظ أن إجهاد القص للقاعدة يزداد خطياً مع ازدياد العمق و الانحدار .

و علـــى عكـــس إجهاد القص فإن سرعة الجريان تزداد مع الجذر المربع للعمق و الانحـــدار ، و عكســـيا كالجذر المربع لمعامل الاحتكاك . و عندما يتدفق النهر نزولا باتجاه قـــاعدة انحـــداره مع تحويل الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية ، و من هنا تتوفر الطاقة اللازمة لنقل المواد الرسوبية .

5-2-الجريان المتذبذب الناتج عن الأمواج و المد و الجزر:

Oscillatory flows due to waves and tides

إن المـــيزة الهامـــة جـــدا للســـطح الحر بين سائلين غير قابلين للامتزاج و منطقة الامـــتزاج الرقيقة بين سائلين قابلين للامتزاج هي أن التموجات المتنقلة ، أو الأمواج يمكن أن تنشأ عن السطح البيني بواسطة تطبيق القوى المناسبة .

و تنـــتج أهـــم الأمواج الطبيعية عن تأثير قوة الرياح عندما تهب على المحيطات و الـــبحار و البحـــيرات ، و الأنهار من جهة (Wiegel,1964; Sleath,1984) ، و من جهة أخـــرى تنـــتج أمواج المد و الجزر عن تأثير الشمس و القمر على مياه المحيطات و البحار(Pugh,1987).

و عـــندما تهـــب الـــرياح على الماء فإنها تشكل على السطح مقاومة مماسية بسبب الدوامات المضطربة الموجودة ، و السحب، و الجر كعنصر عادي لتغيرات الضغط المحلية . إن المنخفضات و المرتفعات غير المنتظمة، و التي تظهر على سطح الماء تتصاعد مع الرياح و ترتبط مع سرعة الرياح ، و تكبر في المدى ،و من خلال هذه العملية تتشكل الأمواج .

و هـنالك قوتـان تمـنعان الأمواج من أن تكبر كثيرا ، الأولى قوة الجاذبية و هي المسـيطرة علـى الأمواج بشكل عام ، و الثانية قوة التوتر السطحي التي تؤثر على الأمواج الصغيرة جدا .

6-علاقة السائل و خواص الجريان مع نقل الرسوبات :
Relation of fluid and flow properties to sediment transport

6-1- استقرار الجزيئات المفردة في السائل:

كمـا نعلم إن الجزيئات الرسوبية الطبيعية عادة لا تكون كروية الشكل ، أو ملساء ، حيـث أنها تأخذ أشكالا متنوعة و صلابة مختلفة ، و نعلم أن لشكل الحبات تأثيرا كبيرا على اسـتقرارها و ترسيبها. و حيث أن تأثير كون شكل الحبة بعيدا عن الشكل الكروي يؤدي إلى زيـادة معامل السحب ، و تقليل سرعة الاستقرار ، و ذلك بالمقارنة مع الحبات المكافئة ذات الشكل الكروي .

و لقـد أدخل الباحثون العديد من العوامل الشكلية على قوانين الاستقرار لضبط هذا التأثـير .و يكون للزيادة في الصلابة السطحية للحبات نتيجة مشابهة لتأثير الشكل لكنها أقل وضـوحا. و مع ازدياد تشوه الشكل فقد يحصل تغير في طريق الاستقرار من الانحدار على المسار الشاقولي البسيط إلى النماذج المعقدة من الهبوط .

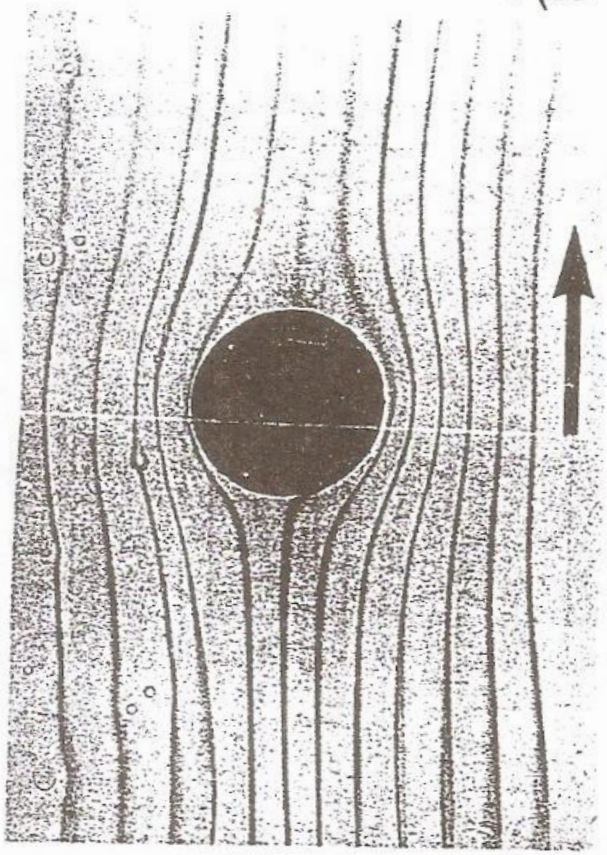
و قد وجد كل من (Baba & Komar, 1981) تجريبياً أن حبات الرمل الكوارتزي الطبيعـية التي تتميز بكونها صلبة ،و زاوية قليلاً أو كثيراً ، و متساوية نسبيا فإنها تستقر إلى حد ما بشكل أكثر بطئا من الكرات الملساء المكافئة لها .

و كذلك الحصى و بقايا القواقع و الهياكل تغوص ببطء أكثر من أمثالها الكروية، و تحدث حركات انحدارية معقدة (Alger & Simons,1968;Komar & Reimers,1978; Allen,1984) مـثل هذه الجزيئات قد تتذبذب ، و تتبعثر و تتدحرج و تقفز و تتحرك حركة حلزونية أثناء السقوط ، و ذلك استنادا على الاستطالة النسبية و درجة اللاتناظر .

6-2-استقرار الجزيئات: Setting of particles

يعتـبر سحب السائل الذي يعاكس وزن الجزيئة المغمورة المستقرة هو حاصل جمع الاحتكاك مع قوى الضغط المرتبطة بتشوه السائل الناتج عن وجود الجزيئات الصلبة المنقولة

ـــمنه. ونلاحـــظ أن الكرة المنفردة تجعل خطوط التيار التي تمثل الجريان حولها تلتوي و ـاح نحو الخارج (الشكل:4-15) .



(الشكل:4-15)-يمثل التواء خطوط الجريان حول كرة موجودة ضمن السائل .
حسب (Leighton, and Pendextr,1962) .

و هكذا فإن معامل السحب لاستقرار الحبة مع بقية الحبات الرسوبية المشابهة يجب أن يـــتزايد مع تزايد تركيز الحبات ، و ذلك بسبب التشوه الإضافي للسائل الناجم عن الحبات المجاورة .

6-3-سيولة و تميع الطبقات الحبيبية :

Fluidization and liquefaction of granular beds

لقد ذكرنا سابقا أن قابلية خلائط الحبات ضمن الماء أو الهواء للتصرف كسائل جديد ذي لـــزوجة عالية و يملك خواص السوائل غير النيوتونية . و هنا نذكر عمليتين إما ترتبطان مع استقرار الحبات ،أو تقودان إليه و هما التسيل (Fluidization) و التميع (liquefaction) حيـــث توجدان بشكل طبيعي و تقومان بتغيير الطبقة المترسبة من السيلت النظيف ، أو الرمل إلى حالة شبيهة بحالة السائل بشرط أن يكون الرسوبات رخوة ،وغير متصخرة ، أو متماسكة بشكل جيد .

و هذا التغيير الحاصل فقط في الإطار الاسنادي يكون لازما لتحويل عملية استقرار الحبات كليا إلى حالة السيولة (Davidson & Harrison,1963) ، و عندما يخترق السائل طبقة الرسوبات الحبية المستقرة نحو الأعلى بشكل شاقولي نلاحظ أن كل جزيئة تعاني من ناحية سحب السائل لها باتجاه الأعلى ، و الذي يعاكس وزنها الذي يشدها نحو الأسفل .

و لدى الزيادة البطيئة لتصريف السائل سوف تأتي مرحلة تتوازن فيها هاتان القوتان حيث ستتباعد الحبات عن بعضها البعض نتيجة تأثيرهما على الحبات ، و بالتالي ستتوسع طبقة الحبات بشكل طفيف جدا . و نجد أن دعم الحبة للحبة المجاورة لها يصبح أمرا ضروريا.

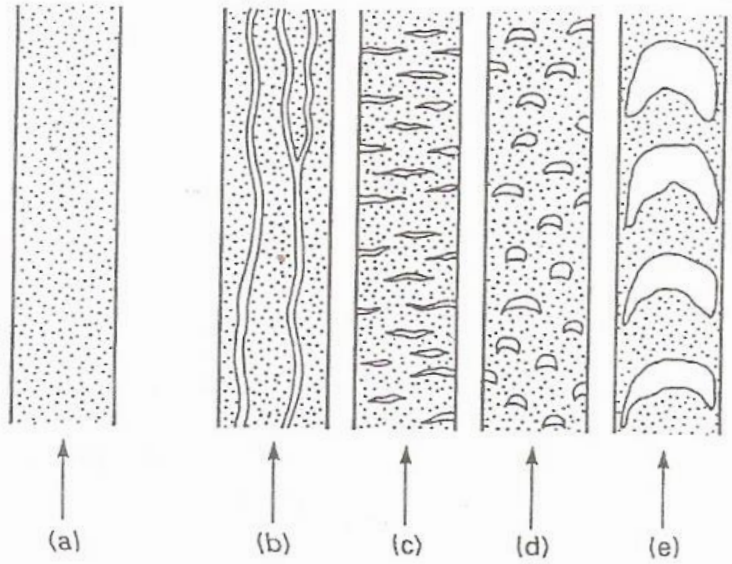
وقد تعيق هذه الحالة من السيولة المتوقعة ، أو تحد من سرعة السائل الكلية ، أو السطحية (V_{fl}) الضرورية للتأثير عليها ، و ذلك وفق المعادلة :

$$V_{fl} = V_0 (1-C_{bed})^n$$

حيث (V_{fl}) سرعة السائل السطحية ، (V_0)سرعة الاستقرار الثابتة للحبة المفردة، و (C_{bed}) هي تركيز الحبات في الطبقة الرسوبية ، و (n) هو الأس السابق ، و عادة ما تكون قيمة (C_{bed}) بشكل عام ما بين 0.6–0.7 ، و يتغير بشكل عكسي حسب نسبة الترسيب فإن (V_f) تكون صغيرة جدا بالمقارنة مع (V_0) .

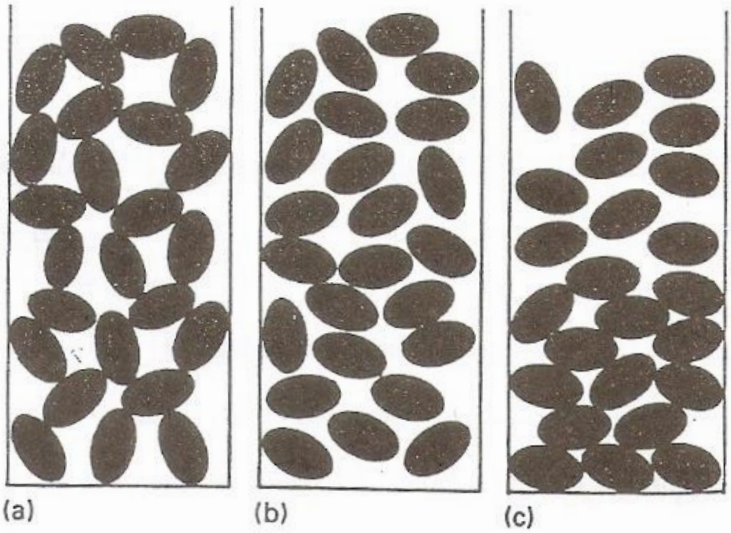
توجد الطبقات المسيلة وفق نظامين أساسين (الشكل:4–16) و يتحددان بشكل كبير عن طريق الكثافة النسبية للجسيمات الصلبة ، و السائل المشمول .تشكل السيولة المحددة التي تتحدد بحدوث توزيع منتظم للحبات في الأصل ، و هو شيء نموذجي عن الرمال الفلزية في المياه ، كما هي الحال في الرسوبات الحاصلة عند أطراف الحواجز المانعة للفيضانات النهرية و المراوح الغرينية .

تتشكل السيولة من الفضلات الفلزية عبر الغازات كما هي الحال بالنسبة للفتحات الغازية البركانية حيث يكون النظام التراكمي مختلفا جدا . و ينبغي أن نلاحظ أنه يمكن المحافظة على الحالة المسيلة فقط طالما أنه يوجد تدفق نحو الأعلى بصورة كافية من السائل ، و هكذا فإن إنخفاض مستوى الجريان أو توقف الجريان يسبب استقرار طبقة الأساس ، و تستمر بصفتها المميزة التي تشبه الجسم الصلب ، أو المتصلب أصلا .



(الشكل:4-16)-يبين عملية تسيل الحبات الرسوبية . a,b-e)-تسيل جماعي. b)-تسيل وفق أفقية .c)- تسيل عدسي. d)-تسيل فقاعي. e)-تسيل مقعدي على شكل البزاقة .
حسب (Folk,1959).

تحتاج الرمال المترسبة بسرعة إلى عملية رص للحبات لإحداث الثبات ، الذي يتخرب بسرعة تحت تطبيق إجهادات أكثر اعتدالا خصوصا إذا كانت حلقية (صدمات الهزات الأرضية ، الأمواج الناتجة عن العواصف) . و بشكل عام تسمى عملية تغير طبيعة طبقة الرسوبات الأساسية من الحالة شبه المتصلبة إلى الحالة شبه السائلة باسم السيولة ، أو التسيل (Allen,1982) ، و مع ذلك نجد أن الحالة الشبيهة بالحالة السائلة تستمر لفترة قصيرة .و يكون البقاء عليها تقريبا في الحالة التي يليها إعادة الاستقرار و الترسيب (الشكل:4-17) .



(الشكل:4-17)-نماذج تسيل الحبات الرسوبية بعد عملية الترسيب و الرص.
(Folk,1959).

عادة ما تحدث السيولة في نظام مغلق، و ذلك على عكس الإسالة التي تتطلب وجود مصدرا خارجيا للسائل ، كما أن طبقات الأساس المسيلة لا تصبح عموما مختلطة كثيرا بشكل داخلـــي أثـــناء تغيير الحالة . لهذا السبب فإن التطبق الأولي يحمي دائما عملية السيولة على الرغم من أن تكون الطبقات قد يغير شكلها إذا كانت القوى الخارجية كافية لأن تسبب جريان الرسوبات المسيلة .

و يسيطر على الدرجة التي يصبح التطبق الأولي الرقيق مشوها بشكل رئيسي عبر اللـــزوجة الواضـــحة للرســـوبات الســـائلة ، و من خلال الزمن (T) اللازم من أجل أن يعاد اســـتقرار ترســـيب طـــبقة الأساس المسيلة بشكل كلي ، و بافتراض أن طبقة الأساس الأولية منتظمة يمكن أن نكتب ما يلي (Allen,1985):

$$T = \frac{\Delta C.h}{C_{disp}\, V_0\, (1-C_{bed})^n}$$

حيث (Δ C) فرق التركيز الموجود بين التشتت المسيل و طبقة الأساس المستقرة و الثابتة ، و (C_{disp}) تركيز الحبات في طبقة الأساس المســـتقرة الثابتة ، و (h) سماكة طبقة الأساس الأولية ، و (V_0) سرعة الاستقرار الثابتة للحبة المفردة ، و (n) هو الأس في المعادلة .

و بمـــا أن (Δ C) تكون صغيرة جدا فإن (T) تكون من مرتبة (10–100) بالنسبة لطـــبقات الأساس الرملية ، ذات السماكة العادية .يكون ذلك طويل كفاية لكي تصبح الطبقات الرقيقة مشوهة بشكل ملحوظ ، لكن بالتالي قصيرة جدا بالنسبة للطمس القليل لمظهرها .

4-6-نماذج حركة الجزيئات خلال نقل الرسوبات :

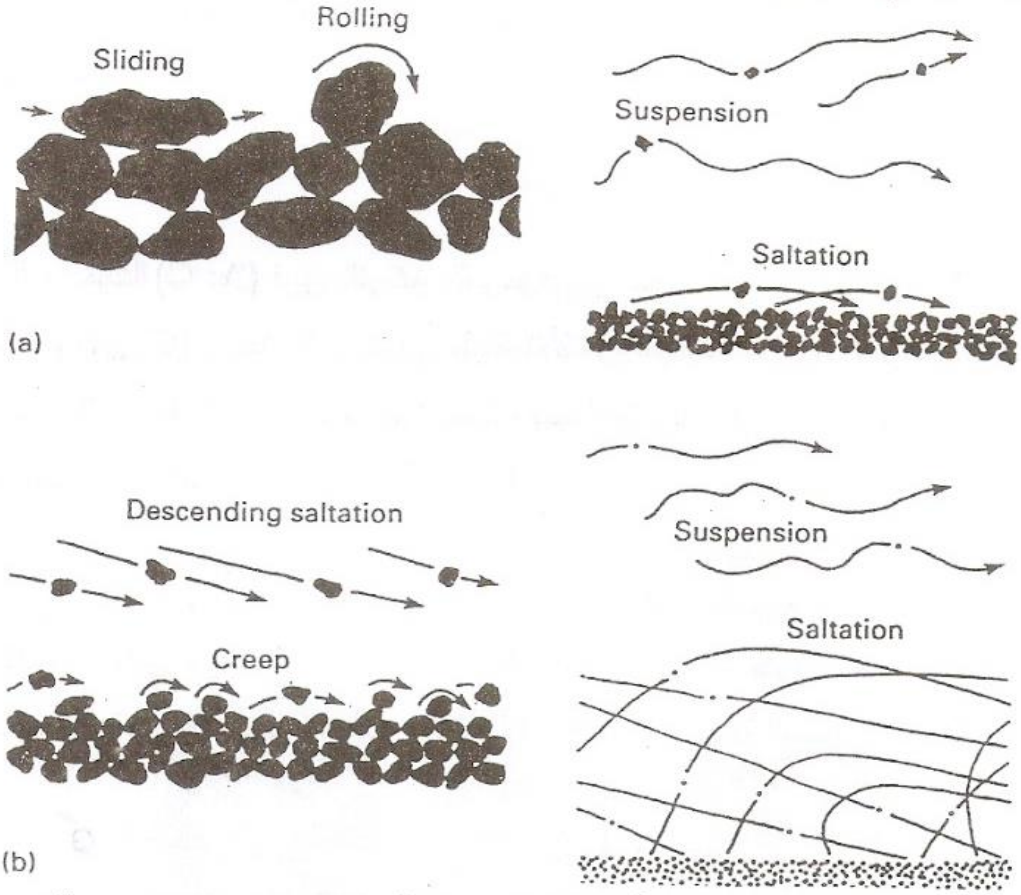
Modes of particle motion during sediment transport

يـــتم احتـــباس الحـــبات من مسار طبقة الأساس مع التيار بطرق متعددة ، و ذلك استنادا على حجومها ، و شكلها ، و كثافتها الزائدة ، و لزوجة السائل و سرعة السائل الناقل لهذه الحبات .

و بشكل عام يختلف نقل الحبات في الماء عن نقلها في الهواء من نواحي هامة ، و ذلـــك لسببين : السبب الأول يعتمد على أن الحبات الفلزية المنقولة في الماء تكون ذات كثافة

أعلـــى بـــثلاث مرات من كثافة الحبات المنقولة بواسطة الهواء ، و السبب الثاني ان اللزوجة الجزيئـــية للهواء أقل بحوالي درجتين من اللزوجة الجزيئية للماء ، لهذا السبب تلعب اللزوجة الجزيئـــية دورا رئيسيا في علاقة الحبة مع الحبة المجاورة ، و علاقة الحبة مع السائل الناقل لها .بينما في الهواء يجب أن يكون الانتشار مع قوى التخامد و التصادم .

و نمـــيز في الماء أربعة نماذج من نقل الرسوبات وهي : الانزلاق ، التدحرج ، و التملح ، و التعليق (الشكل:4-18).تبقى الجزيئات باحتكاك مستمر مع الطبقة الأساسية ، بينما تميل نحو الأعلى ، أو الأسفل بشكل طفيف خلال المسار ، و لا تعاني من أي دوران متماسك حول المحور العرضي للجريان ، بينما تبقى على احتكاك مباشر مع الطبقة الأساسية .



(الشكل:4-18)-يمثل النماذج الأربع لنقل الرسوبات في الماء، و هي الانزلاق ، و التدحرج و التملح و التعليق .
حسب (Leighton, and Pendextr,1962) .

و يكون الإنقلاب الجانبي (الشقلبة) هو أحد أنواع النقل في الماء و شكل من أشكال الـــتدحرج المفضل للجزيئات الرسوبية ذات الأشكال القرصية و المدورة تماما .و الحبة التي تصبح مملحة تقفز فوق طبقة الأساس على سلسلة من المسارات المنخفضة ذات الدرجة حوالي 10-20 درجة طول أقطار الجزيئة ، و ارتفاع بضعة أقطار الجزيئة .

الجزيـــئات التـــي تنزلق ، تتدحرج ، أو تصبح مملحة تترتب بشكل كثيف ثم تشكل بشكل جماعي حمل طبقة الأساس ، يتشكل التحميل المعلق من حبات معلقة أي الجزيئات التي تلـــي المسارات الطويلة الشاذة ضمن السائل عمليا لا تخضعهم إلى احتكاك مع طبقة الأساس الساكنة.

من الناحية التجريبية وعلى الرغم من أن المعايير نحو التعليق قد تم تأييدها نظريا ، لا يوجـــد أي انقســـام حاد بين النماذج الأربعة للحركة ، و في الجريان القوي سوف تحدث النماذج بشكل متزامن (Abbott & Francis,1977) .

و مع ذلك يكون الإنزلاق ، و التدحرج من أكثر طرق الانتقال انتشارا عند مراحل النقل المنخفضة ، بينما تسود حالتي التملح و التعليق في مراحل النقل العالية. و تتضمن عملية الـــتملح اصطدامات متكررة بين الحبات المتحركة و حبات طبقة الأساس الساكنة ، و ذلك ما يدعم التحميل الممثل بجزيئات القفز (Bagnold,1966) .

و يعتـــبر انفجار الطبقة الحدية لتشكيل فتحات كالمسامات الشعرية هو على الأرجح الآلـــية الرئيســـة التي تدفع حبوب طبقة الأساس نحو التدفق الخارجي حيث يمكن أن تصبح معلقة (Sumer & Deigaard,1981) .

و بما أن الحبات تصبح معلقة فإن احتكاكها مع طبقة الأساس يكون نادرا ، حيث يتم نقل هذه الحبات المعلقة ضمن السائل المائي بفعل قوة السائل على الحمل و النقل . و يبدو ذلك بأنـــه ينشـــأ فـــي حالة من اللاتناظر للإضطراب ، و المتعلق بالقص المعبر عنه بالسرعات المتقلـــبة التي تشد الحبات نحو الأعلى، و الأكثر قوة من السرعات التي تؤثر على الحبات و تشـــدها نحـــو الأسفل (Bagnold,1966;Brodkey et al.,1974; Wei & Willmarth, 1991) .

إن نمـــاذج نقل الحبات الرسوبية التي تم ملاحظتها أثناء نقل الحبات بواسطة الرياح هـــي : نقـــل الحبات بالزحف ، أو التملح ، أو التعليق (الشكل:4-17).(Bagnold,1941; Mitha et al.,1986).و هـــي حركة أمامية بطيئة ، و متقطعة للحبات المرتبة بشكل كثيف ، و القريبة من طبقة الأساس ، و الناجم عن تأثير صدم المطر الغزير مع الجزيئات المملحة .

و تدخـــل عمليات الانزلاق ، و التدحرج ، و القفز على مسارات منبسطه وقصيرة ضـــمن عملية الزحف . أما عملية التملح فيسيطر عليها عن طريق الاصطدامات المرنة بين الجزيـــئات المتحركة ، و حبات طبقة الأساس الثابتة ، (Bagnold,1941; Anderson & Hallett,1986; Werner & Haff,1988) .

و عادة ما تلي عملية تملح الحبات الرملية في الرياح بشكل نموذجي المسارات من الدرجة 1-2 م طولا ، و بارتفاع عدة ديسيمترات ، و الناجمة عن طبقة الأساس في السرعات التي تبلغ بضعة أمتار/الثانية ، و في النهاية تقفز الحبات /تثب / بزاوية قدرها 10 درجات.

6-5-تفاعلات الجريان و الرسوبات المشتتة:

تتفاعل الجزيئات الرسوبية المشتتة مع السائل الذي يحويها أثناء الحركة بشكل ما و ذلـــك مـــن أجل تعديل خواص كل منها و سلوكها . و لقد تم إجراء دراسات كثيرة تظهر بأن التأثـــير العام للإضطراب يكون بتخفيض سرعة الاستقرار للحبات نسبة إلى قيمتها في السائل (Allen, 1982) .

و يبدو أن تأثير الجزيئات يكون إضعاف الإضطراب بالتردد الأعلى الذي سيكون موجـــودا من ناحية أخرى (Wang & Qian,1989). أما بالنسبة للحبات المملحة و المعلقة فيـــتم سحبها من قبل السائل الناقل لها و نقلها إلى الأمام ، و بناء عل ذلك يكون تدفق السائل الـــذي يحوي على حبات بداخله أبطئ من تلك الحالة التي يكون فيها السائل خاليا من الحبات الرسوبية .

و يصـــبح التأثـــير واضـــحا بشـــكل متزايد حالما تصبح الحبات أكثر تركيزا عند الإقـــتراب بشـــكل أدق مـــن طبقة الأساس (Owen,1964) و بشكل نموذجي تصبح سرعة الحبات قرب طبقة الأساس أكثر انتظاما و انبساطا .

7-النقل و الترسيب النهري: Fluvial sediment transport and deposition

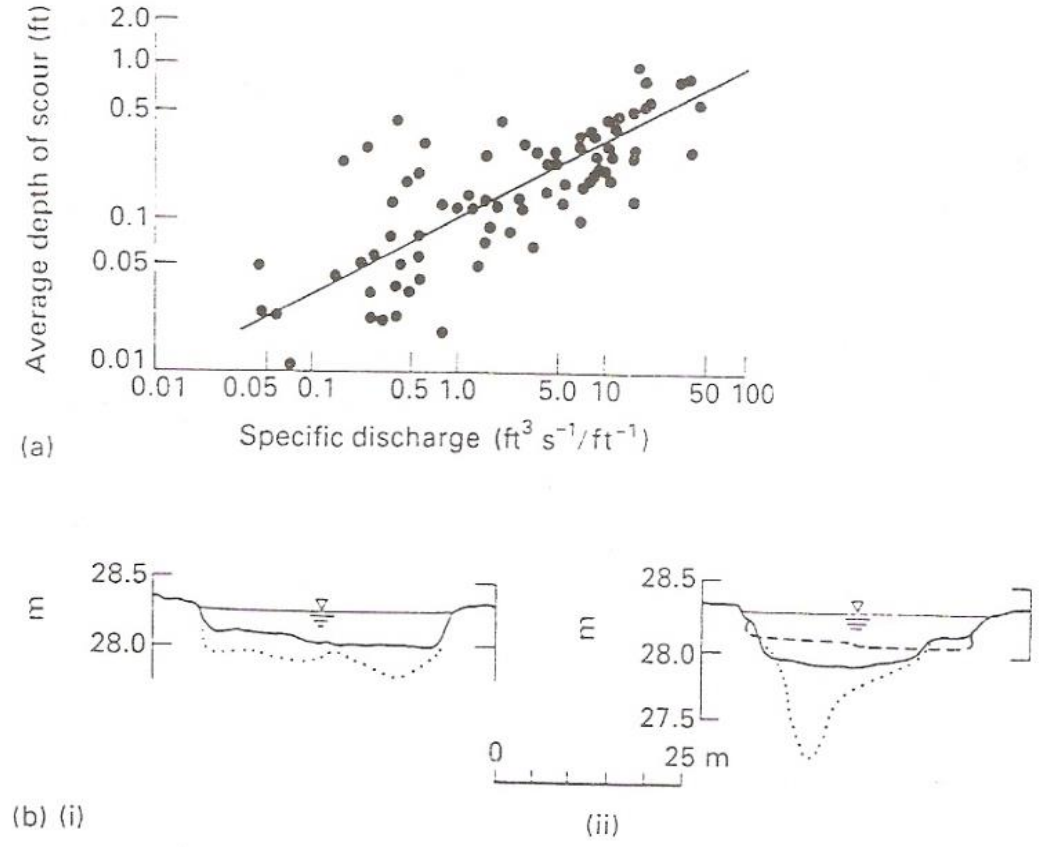
7-1-حمل الرسوبات النهرية: River sediment load

7-1-1-مصادر الرسوبات: Sourcces of sediment

عـــادة مـــا تكـــون مياه الأنهار محملة بالمواد الرسوبية الصلبة، و البقايا العضوية الحيوانـــية و النباتية ، و نادرا ما تكون خالية منها .و بشكل عام تزداد كمية المواد المحمولة

بواســطة مياه الأنهار مع ازدياد قوة الجريان . و كما تتم عملية فرز لهذه المواد المنقولة ، و تصنيفها حسب منشئها ،إلى طبقة مواد الحمل (bed material load) و حمولة الغسل(wash load).

وتشــتق طبقة مواد الحمل من توزيع رسوبات الأقنية، و بشكل عام حسب خشونة حجمها .و عادة ما تختلف درجة تشويش و تبعثر الرسوبات من نهر لأخر. و قد تمكن لوبولد و رفاقــه (Leopold et al.,1966) فــي تقاريرهم من تعيين الحد المتوسط و العلاقة بين جريان السائل و عمق الجرف إلى ما دون 30 سم في الطبقات الحصوية الرملية في الجداول المائية في نيومكسيكو (الشكل:4- 19).



(الشكل:4-19)-يبين العلاقة بين عمق الجرف في الأقنية و ذروة الفيضان في طبقة رملية حصوية في نيومكسيكو . Foley (1978).

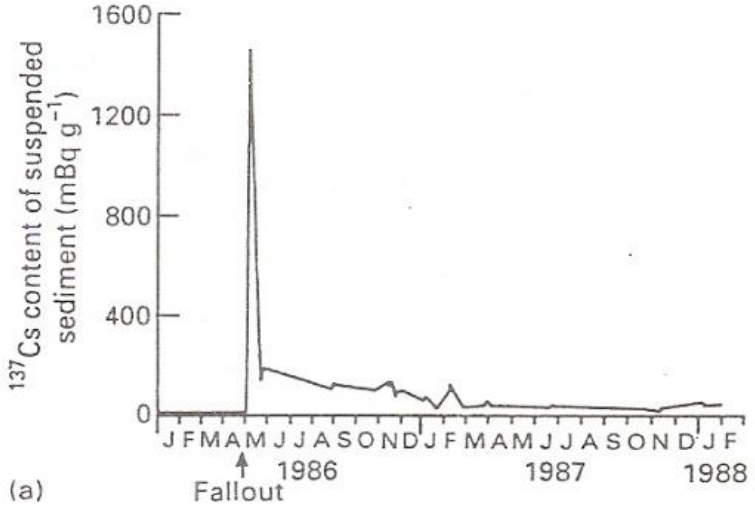
و قد لاحظ فولي (Foley,1978) نموذجا مشابها لطبقة رملية نهرية في كاليفورنيا، و لكــن علاقــة عمق الجرف تبدي سلوكا معاكسا لتشكل للكثبان التي يعتقد أنها تشكلت خلال السيول الفيضانية .

و على سبيل المثال لقد اشار كل من (Jackson and Beschta,1982; Parker et al.,1982) إلـى أن الـتوزع الجزئـي للدرع أثناء تدفقات الفيضانات تسمح للطبقة شبه الدرعية صغيرة التدرج بالدخول ، لكن لا يوجد هنالك جرف عميق .

و بـلا شك قد تنشأ بعض التغيرات في طبيعة الفيضانات المائية سريعة الزوال . و مـع ذلـك فإنـه ليس من الضرورة أن تتزامن كل من عملية الجرف و التعبئة مع بعضهما الـبعض فـي كافة نقاط المجرى النهري ، حيث قد يحدث الحفر و الجرف على امتداد واحد للقناة ، بينما تزداد عملية التعبئة في الامتداد الآخر .

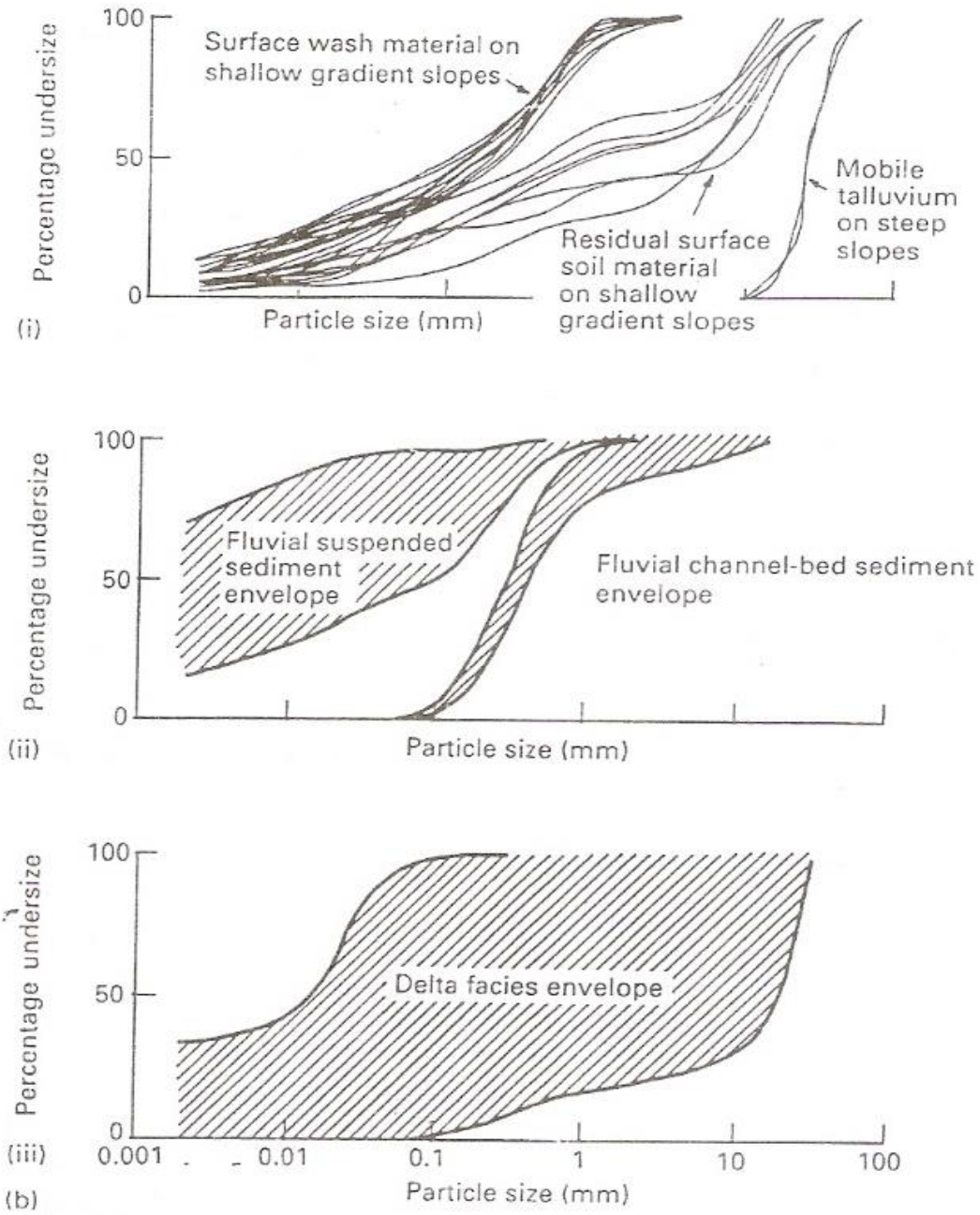
كمـا هـي الحال في الفيضانات الفردية التي تتشكل بعد هطول الأمطار الغزيرة مباشـرة (Lane and Borland, 1953).و بعد ذوبان الثلوج (Anderws,1979) .و على الرغم من تلك الاختلاطات نجد أن المادة القاعية تقدم حبات ذات حجوم مختلفة بشكل واسع .

و بشـكل عـام يكـون حمـل الغسل أدق و ينتشر عادة بشكل تقليدي في مناطق مـنحدارت الهضـاب ، و مـع ذلـك فإن الدراسات قادرة على تتبع آثار المسار اعتبارا من المـنحدرات إلى النهر .ولقد تم استخدام التوزع الحجمي لجزيئات حمل الغسل من أجل إيجاد علاقـة بيـنها ، و لكن ذلك يعتبر أمرا استنتاجيا بحتا ، و ذلك بعد إجراء مقارنة مع التوزع الحجمـي لـتربة المـنحدرات (Peart & Walling, 1982; Frostick et al.,1983;) (الشكل:4-20).



(الشكل:4-20)-يبين التوزع الحجمي حمل الغسيل .

a)- السيزيوم المشع في العينات الرسوبية لنهر(Severn) بريطانيا .



عن (Greensmith,1981) .

تابع (الشكل:4-20)-يبين التوزع الحجمي حمل الغسيل.

b)-منحنيات توزع الحجم في الرسوبات لأجزاء مختلفة من أنظمة التصريف، في كينيا .

و يمكن قول الشيء نفسه عند استخدام الخواص الطبيعية الأخرى للرسوبات ، مثل خـــواص المغناطيسية المتبقية (Oldfield et al.,1979) .و بشكل معاكس لما هو متوقع فإن سقوط المواد الاشعاعية في شمال غرب أوروبا بعد حادث المفاعل النووي في تشيرنوبل عام 1986 حيـــث استخدمت الجزيئات الطينية الموجودة في التربة مع الكالسيوم الممتص لإعداد برنامج معقول لتتبع الأثر (Walling et al.,1989) .

و بسبب أنه يتألف من جزيئات الطين ذات سرعات الاستقرار أقل من 10^{-6} م/ثا ، غالبا ما يفترض أن حمل الغسل يبقى معلقا في التدفق ، و بلا شك أن تلك هي الحالة التي تألف قعر القناة من الرمال النظيفة .

أما عندما يتألف القعر من الحصى فتتشكل كمية من الكسارات الكبيرة الحجم ذات الفراغات البينية حيث تستقر الحبيبات صغيرة الحجم في داخل هذه الفراغات (Carling & Reader, 1982; Frostick et al.,1984) .و بالنتيجة عندما تتوزع يمكن للقعر الحصوي أن يعمل كمصدر إضافي للمادة التي جرى تصنيفها بشكل تقليدي كحمل الغسل .

و في الحقيقة عادة ما يكون مصدر الرسوبات أكثر تعقيدا مما هو عليه في التصنيف المضاعف .و هنالك مصدرا إضافيا واحدا ذو أهمية معتدلة، و الذي يتم التغاضي عنه على الأغلب، و هو حوض القناة (Thorne & Lewin, 1982) . و قد حاولت عدة دراسات أن تعزل هذا المصدر و تقيس مدى مساهمته في الرسوبات .

و لقد استنتج هانسن (Hansen,1971) من خلال دراسة استمرت ثلاث سنوات لنهر باين في ميشيغان أن 45% من تفريغ الرسوبات يمكن نسبه مباشرة إلى تآكل الحوض و حته . و لقد بين كل من (Murgatroyd and Ternan, 1983) أن استخدام الأراضي على ضفاف النهر هو المحدد الأول لنسبة انهيار الحوض.

و إن الحصيرة الأرضية الكثيفة لكدرات العشبية تكون كافية لتقوية مواد الحوض ، في حين أن الافتقار إلى النباتات الأرضية تحت الأراضي الحراجية الصنوبرية ذات الظلال المغلقة يترك الحوض عرضا للتآكل و الحت . و مع ذلك تتوقف مساهمة المواد عن طريق أحواض التيار على التماسك ، و لهذا السبب تتوقف أيضا على محتوى الطين في جدران الأقنية المائية .

و لقد أظهر سكوم (Schumm, 1961) وجود علاقة عكسية بين الكمية الجزئية للغرين و الطين مع عرض الأقنية و المجاري المائية ، و نسبة عمق الأقنية سريعة الزوال في أربعة ولايات غربية في أمريكا .ففي الحالات التي تكون فيها الضفاف أكثر تكافؤاً /أي لها مقاومة قص أكبر عندما تحتوي على كميات كبيرة من الغضار) ، و عندئذ تصبح الأقنية أقل عرضاً ، و أكثر عمقاً.

7-1-2-نماذج حركة الرسوبات: Modes of sediment motion

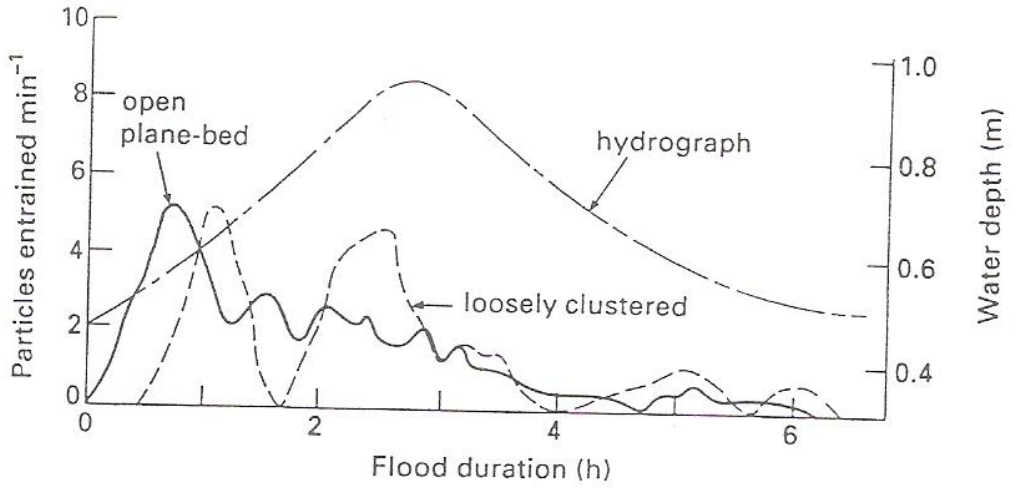
مهمـــا كـــان مصـــدر الرسوبات ، و عندما تدخل إلى المجرى المائي فإنها تتحرك بطريقة من ثلاثة طرق ، و ذلك اعتمادا على:

1)- المقاومة النسبية للتدفق المائي .

2)-وزن الكسارات الرسوبية المغمورة بالماء .

- الطريقة الأولى لحركة الرسوبات: تتضمن حمولة القاع (bedload) تلك الحبات التي تتدحرج ، أو تنزلق على طول القاع و تكون على تماس مع القاع أثناء الحركة، و طوال الوقـــت . يتوقف النموذج الفعلي للحركة على نسبة النقل، ففي حالة كون نسبة النقل منخفضة يســـود نمـــوذج /خطـــوة انـــتقال-اســـتراحة/ علـــى ما يبدو (Rathbun & Guy, 1967; Andrews, 1983) .

قـــد يـــتم ذلـــك بشكل متقطع ، أو بين الحين و الآخر، كما يشمل الاندفاع بقوة عن طـــريق عـــدد من الجزيئات الرسوبية المجاورة ، و يلي ذلك فترة من الاستراحة، أو التوقف المشترك (Reid et al.,1984; Custer et al.,1987) انظر (الشكل:4-21).



(الشكل:4-21)-يبين نموذج حركة الرسوبات خطوة- استراحة.
عن (Blatt et al.,1980)

أمـــا عـــندما تكـــون نسبة النقل عالية فقد تشمل حركة الحبات على خطوات انتقال منفصلة،و فترات توقف، و لكن مدة فترة الاستراحة، أو التوقف تكون قليلة جدا ، و قد يخيل لنا أن الحبات لا تتوقف بل هي في حالة حركة مستمرة حيث يمكن تشبيه قاع المجرى المائي

كأنـــه سلم متحرك ، و يعتبر هذا النموذج مناسبا لقاع المجرى الرملي أكثر من قاع المجرى المؤلف من الحصى الخشنة.

- الطـــريقة الثانـــية لحركة الرسوبات :يشمل الحمل المعلق (Suspended load) الحـــبات الرسوبية التي تكون سرعة استقرارها/توضعها/ أكثر من سرعة التشوش التي تدفع بـــالمكون نحـــو الأعلى ، و لذا تبقى هذه الحبات معلقة ضمن المجرى المائي حيث لا يكون هنالك أي تلامس بين الحبات و قاع المجرى المائي ، و ذلك على عكس الطريقة الأولى .

أمـــا بالنســـبة لحجم الحبات الرسوبية المعلقة في التيار المائي فيتراوح ضمن مجال أكـــبر مـــن مجال حمل الغسل (wash load) ، و لقد تبين أنه يتضمن حبات رملية خشنة (Nordin , 1963; Reid & Frostick, 1987) ، و مـــن ناحية ثانية بيّن كولبي (Colby, 1963) حدوث صراع عملية التشوش، و عملية الاستقرار مع البروفيل الجانبي الشاقولي عبر نهر الميسيسبي حيث يتم حمل الرمال المتوسطة و الخشنة الحبات على ارتفاع ثلاثة أمتار فقط ، بيـــنما الـــرمال الناعمة صغيرة الحجوم فإنها تختلط مع التيار المائي، و تحمل على ارتفاع ثمانية أمتار من قاع المجرى .

- الطريقة الثالثة لحركة الرسوبات : تعتبر طريقة حمل بطريقة القفز (Saltation load) نموذجـــاً خليطاً من النقل، و الذي يتألف من تلامس الحبات المنقولة مع قاع المجرى المائي، و سلسلة من المسارات غير المتماثلة المتجهة نحو أسفل المجرى ضمن طبقة حدية من التيار المائي .

لقـــد درس فرانســـيس (Francis, 1973) الحـــركة مع تقنية الطبقة الرقيقة متعددة الانكشـــافات، و أعلـــن أن حركة الحبات تبدو كأنها مرنة أي أن المسارات تنحني عند القعر خـــلال مرحلة القفز ، و تصل إلى ارتفاعها الأعظمي عندما تكون أقطار الحبات مابين 2-4. تكـــون الكـــتلة المغمـــورة للقطـــع و الكسارات ضمن حمل القفز ذات قيمة وسطية بين كتلة الكسارات المحمولة ضمن حمل القاع، و الحمل المعلق .

و على الرغم من أنه من المناسب أن نميز بين الأشكال الثلاثة لنقل الرسوبات فمن المهم أن نتذكر أن الجزيئات التي نقلت بطريقة حمل القاع في منطقة أعالي النهر ، أو ضمن

السيول المائية قد تصبح معلقة في منطقة أسفل النهر حيث تختلف طرق الجريان ، و لذلك عادة ما تكون حبيبات الطين الدقيقة و المتوسطة الحجم (<32μm) معلقة ضمن التيار المائي ، بينما الحصى و البحص الخشن ذي الحجوم (>4 mm) تحمل بطريقة حمل القاع. أما الحبات الرملية ، و السيلت الخشن ذات الحجوم الحبيبية (32 μm-4 mm) فقد تحمل بإحدى طرق الحمل الثلاثة ، و ذلك اعتمادا على ظروف الجريان المحلية .

7-2-الحمل القاعي النهري: Fluvial bedload

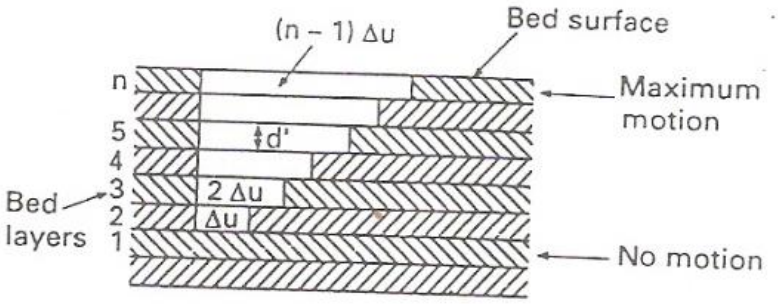
لقد انتبه الجيومورفولوجيون، و السدمنتولوجيون، و المهندسون إلى حمل القاع كطريقة لنقل الرسوبات حيث يعتبر البعض أنه يمثل خطراً على الجدران الحاجزة كما تتعرض دعائم الجسور إلى التآكل بفعل الحت، و التعرية ، أو أن تملأ الخزانات بالرسوبات ، أما بالنسبة للآخرين فإن الحمل القاعي هو العامل الرئيس في تشكيل و تغيير شكل أقنية النهر ، و لذلك يغير نمط الرسوبات النهرية .

و من ناحية ثانية يجب أن لا ننسى بأن أفضل التصورات حول مساهمة الحمل القاعي هي أن الحمل القاعي يؤدي إلى توضع كمية إجمالية من الرسوبات في حوض التصريف بحدود 0-50% ، و ذلك اعتمادا على طبيعة البيئة المحلية فيما إذا كانت رطبة ، أو جافة ، و فيما إذا كان قعر القناة مؤلفاً من الرمل، أو من الحصى . و قد تكون هناك أهمية وراء مساهمته في تحديد شكل القناة المائية ، و لكن يكون دوره قليلا بالنسبة الرسوبات المعلقة.

لقد قام دو بويز (Du Boys,1879) بدراسة الفائدة الحقيقية من التنبؤات بتدفقات الحمل القاعي ، و طور فكرة أن السائل يحدث أثناء حركته قوة قصية تطبق على أسفل التيار المائي ، و هذا بدوره يجعل الحبات الرسوبية المنقولة تنزاح باتجاه ميل الطاقة . و يمكن حساب قوة القص هذه من خلال الخواص ، و أبعاد السائل .

لقد صورت نسبة النقل الحجمي على أنها الإزاحة الإجمالية لعدد من الطبقات الناعمة ذات السماكات القليلة ، و التي تقص بالنسبة لبعضها البعض باستمرار بشكل أقل ، و أقل مع ازدياد العمق تحت سطح القعر نزولا إلى الطبقة الساكنة و المستقرة (الشكل:4-22).

7-2-1-مقاومة السيول الصغيرة على الأرضية الحصوية:



(الشكل:4-22)-يمثل تأثير قوة قص دو بويز ضمن أسفل التيار المائي على الطبقات ذات السماكة d ، حيث Δu عبارة عن فرق السرعة بين أي طبقة و الطبقة الواقعة تحتها ، اما n فهي عدد الطبقات .

عن (Blatt et al.,1980)

تظهـــر هـــذه المقاومة فقط في المجاري النهرية ذات القاع الحصوي ، و قد لوحظ أحـــيانا وجودهـــا كجزء من تركيب الرواسب النهرية القديمة (Dalcin, 1968; Tesseyre, 1977) .و هـــنالك صعوبة واحدة هي تغير الشكل الذي ينشأ بسبب عدم تشابه الأسرة الرملية الرسوبية ،حيث تأخذ الحبات الحطامية المفردة أشكالا و حجوما متغيرة ضمن الأسرة .

و تملـــك بعض الأسرة الحصوية الدقيقة بنية تتوضع بشكل عمودي بالنسبة للتيار و تشكل سدوداً حطامية صغيرة، و مدرجات (Bluck,1987; Whittaker & Jaeggi,1982) أما بعضها فيشكل ما يشبه العناقيد الحصوية .

لقـــد أعطـــى كوستر (Koster,1978) تحليلاً منطقياً واضحاً عن الأضلاع النهرية المستعرضـــة التي تملأ برسوبات أكثر خشونة بالمقارنة مع بقية أجزاء المجرى النهري كثير التفرع التي تملأ رسوبات متوسطة الحجم حيث يقترح تشكلها خلال أزمنة الجريان القوي جداً و فوق العادي، و يحدث ذلك عندما تتجاوز قيمة عدد فرود (Froud number) الواحد .

و بســـبب ذلـــك تكون متعادلة بالنسبة للكثبان العكسية في مجاري الأنهار الرملية. يكـــون طول الموجة الذي يعكس أبعاد الأمواج القائمة مسؤولاً عن شكلها لكن بسبب الجريان القـــوي تكون عابرة و في أغلب الكرات متوضعة في الأجزاء العليا . تكون الأضلاع واسعة الانتشـــار و تمـــيل للتشكل موضعيا على محاذاة محور الوادي ، و ليس على أكتاف رواسب رملية ، أو حصوية .

أمـــا الشكل الدقيق المتكرر الآخر المتعارف عليه كمكون لسطوح الأسرة الحصوية هـــو شكل العنقود الحصوي /pebble cluster/ (Brayshaw, 1985) حيث لا تشبه العناقيد الحصـــوية الأضـــلاع المستعرضـــة/ العرضـــية/ و تكون انسيابية تفتتية في كل من المقطع العرضي ، و الطولاني .

يشكل الحاجز الفتاتي النواة ثم يشرع بتشكيل العناقيد الحصوية و تشويه الجريان من ناحـــية ، و إعاقة تقدم حطاميات أخرى من الناحية الثانية .و عادة ما تتكون الحواجز الفتاتية بمحاذاة الأجزاء الأكثر عرضاً .و يشير برايشاو (Brayshaw, 1984) إلى أنه وسطياً تسقط مـــن الحواجـــز العرضية في مجاري الأنهار البريطانية التي تملك مجالاً واسعاً من النموذج الحجري الفتاتي ، و مع ذلك يمكن حتى للفتات صغيرة الحجم أن تعيق تقدم الفتات الأخرى في المجرى السفلي ، و ذلك بزيادة الزاوية المحورية للمواد المسحوبة .

تـــتطور بنـــية تراكبية مقابل الحاجز في مجرى النهر العلوي إلى نقطة حيث يسبب إضافة أي قطعة حطامية واحدة وضعاً غير مستقراً .و يمكن أن تبلغ نسبة هذه الجزيئات 60 % مـــن الـــتوزع القياسي ، و يمكن أن تجعلها تصل إلى نسبة 90% حيث تشجع الليتولوجيا الفتات ذا الشكل المسطح /الصفائحي/ .

و بعد انجاز هذا الحاجز يصبح الجريان مفصولا عن مجرى النهر الحر ، و تتعدم قوة الجر المطبقة على الفتات، و ربما تصبح سالبة في هذا القطاع حيث يمكن للشعاع أن يتجه نحـــو أعلى النهر /عكس التيار/ .يتطور الذيل الناهض الانسيابي كمدخل حطامي حيث يدخل الفـــتات و لا يخرج ، و هو ما يسمى فقاعة الفصل . و بشكل عام إنها جزيئات دقيقة غالبا ما تكون مرتبطة بالتوزع القياسي الطبقي التدريجي .

و نســـتطيع تحديد الطيف الواسع من الأشكال العنقودية ، وليس من الضروري أن تكون كافة الأجزاء المكونة ممثلة في كل حالة ، و مع ذلك فإنها تغطي حوالي 10-20% من سرير النهر لكنها تملك تأثيرا هيدروديناميكياً يمتد إلى ما وراء ذلك .

و يـــبدوأن العناقيد الحصوية تؤجل و تعيق سحب المواد المترسبة و تصبح مسؤولة فـــي جـــزء مـــن أربعـــة أخماس عن زيادة قيمة القص الحدي /عامل شيلدز the Shields

parameter/ بالنسبة للقيم التجريبية المشتقة من ظروف مستوي السرير النهري (Reid & Frostick ,1984) .

و بسبب امتلاك العناقيد الحصوية لقوة ميكانيكية و هيدروديناميكية فإنها تساهم بالحمل السريري بدرجة أقل من المستوي المتداخل و بسبب كون المواد المسحوبة قد تم الاحتفاظ بها ،فإن الجزيئات المنبثقة عنها تنقل إلى مسافة أبعد بقليل من مسافة النقل خلال موجة الفيضان المنفردة .

و قد ظهر حديثا أن كثافة العناقيد الحصوية تؤثر على مقاومة التدفق بطريقة مشابهة للأشكال الدقيقة السريرية الرملية /تموجات و كثبان/ ، و لهذا السبب تسيطر على معدلات نقل الحمل السريري الكلي (Hassan & Reid, 1990) .

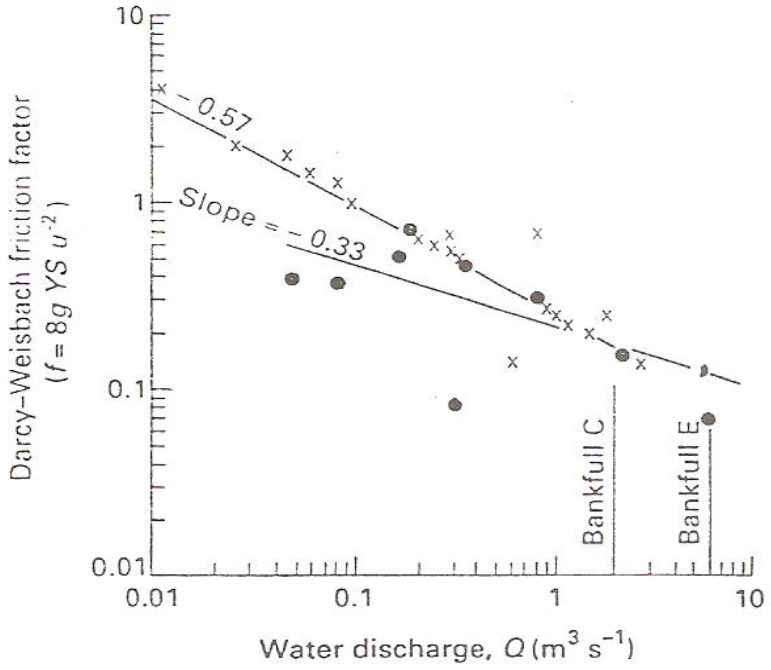
تعرف الأضلاع المستعرضة، و العناقيد الحصوية بأنها عبارة عن أشكال دقيقة متكررة ، و يمكن لسرير النهر المتداخل أن يكون ذو تنظيم كبير، أو غير منتظم . و قد لفت كل من لارون و كارسون (Laronne and Carson, 1976) الانتباه إلى عدد كبير من النماذج الملائمة لحركة الجزيئات ضمن السيول و التدفقات .

يعتمد المجال الطيفي في قسم كبير على الحجم، و درجة فرز الراسب المتطبق . تملك الجريانات النجدية المنحدرة المستوى الأقصى من الاضطراب الظاهر ، و قد بين باثورست (Bathurst, 1978) أنه من الصعب اعتبار مقاومة الجريان باراميتراً حيث أن عناصر الخشونة تكون مغمورة بشكل متغير في أية مرحلة فيضانية منفردة حيث تكون الجلاميد مغمورة بينما تكون البقية غير مغمورة جزئيا .

على الرغم من صعوبة التحقق من القيم المناسبة لمقاومة الجريان لتقدير المستويات المتبقية للطاقة العابرة . يمكن للعلاقة العكسية المتوقعة ما بين عمق الجريان، و المقاومة أن تكون متوافقة مع المعطيات الحقلية، و قد لفت كارلينغ (Carling, 1983) الانتباه إلى الفارق ما بين الأقنية المائية العريضة، و الأقنية الضيقة.

كل الأشياء الأخرى مساوية لواحدة الارتفاع في المرحلة الفيضانية سوف تعني نقصا أكبر في المقاومة ضمن القناة العريضة حيث يكون الحاجز الجداري قليل الأهمية

(الشـــكل:4-23) .و كنتيجة يجب أن تكون معدلات نقل الرسوبات متوقعة لترتفع على نحو أسرع عندما تزداد موجة الفيضان في القناة العريضة .



(الشكل:4-23)-تغير مقاومة الجريان كعناصر خشنة تكون مغمورة مع تزايد في تصريف الماء في الجريانات السريرية الحصوية الضيقة ذروة كارل(x,C:Carl Beck) ، و العريضة ذروة إيغل شوب (o,E:Gt Eggleshope Beck) .

-عتبات سحب المواد:

لقـــد قـــام وايت (White, 1940) بتحليل بسيط لميكانيكية سحب المواد الرسوبية حيـــث أشار إلى وجود قوتين مؤثرتين : القوة الرافعة و المقاومة مقابل قوة الجسم في الحركة البدئـــية ، و بالتالـــي فإن حجوم المواد الرسوبية المنقولة يعتبر العامل المسيطر الرئيسي أثناء سحب المواد .

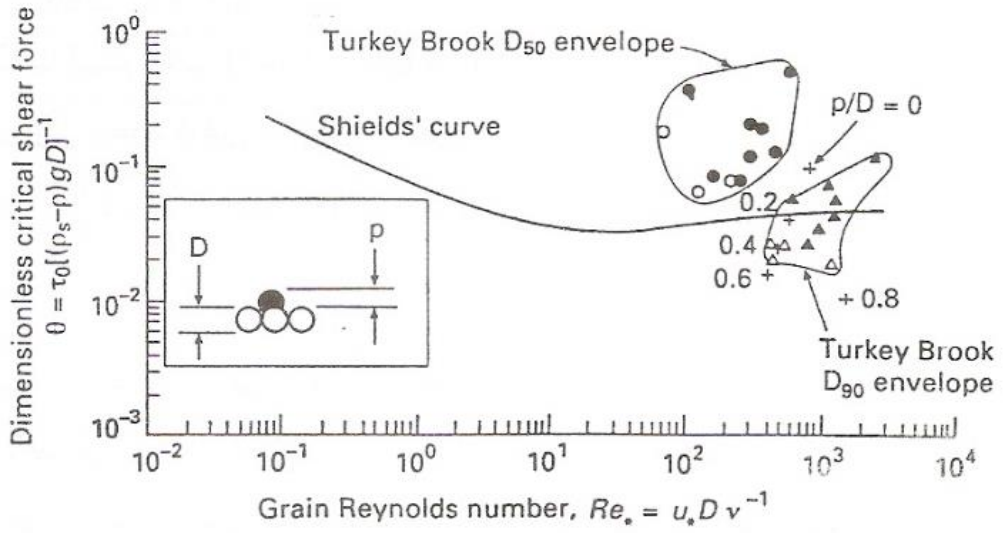
يوجـــد عدد كبير من التصانيف لمعطيات عتبات السحب حيث مزج بعضها ما بين الدراســـات القنواتية و الحقلية (Shields, 1936; Meyer-Peter & Muller, 1948) و قد لاقـــت أخـــيراً دعما تجريبيا للفكرة النظرية .و هذا ما أدى إلى دعم وجهة النظر القائلة :إن معـــرفة حجـــوم المواد الرسوبية الموجودة ضمن سرير النهر سوف تسمح بتقدير قوة القص المطبقة ، و بالتالي تقدير معدلات التدفق المنقول للحمل السريري .

فسوف يكون للرمال عتبة سحب أدنى من عتبة سحب الحصى ، و بالفعل يعكس هذا واقع أن علاقة السحب (θ) التي تمثل القص في الحركة البدئية تعطى بصيغة علاقة على النحو التالي:

$$\theta = \frac{U^2_*}{g\,D\,(\rho s - \rho)}$$

حيث (U^2_*) هي سرعة القص التي يمكن أن تحدد بواسطة $(\tau\rho)^{0.5}$، و حيث (τ)هي إجهاد القص في سرير النهر ، و (g) هي تسارع الجاذبية الأرضية ، و (D) هي قطر الحبات الرسوبية ، و يؤخذ عادة (D_{50})، أما (ρs) فهي الكثافة الجزئية للماء ، و (ρ)هي كثافة السائل و هـــي ثابـــت أقـــل أو أكثر في النقطة 0.045 فوق مجال مقايس الراسب الذي يحتوي على الحصى الخشن حسب (Miller et al.,1977) .

لقـــد تمكن فينتون و أبوت (Fenton and Abbott, 1977) من توضيح أن شروط السحب تكون مناسبة من أجل الحالات التي يكون فيها السرير النهري مسطحاً ، و في الواقع يوجـــد عدد من الشروط المسيطرة أثناء إجراء التجارب و التي تكون مضاعفة حسب قاعدة معطـــيات الســـحب .و مع ذلك فإن الجزيئات الموجودة ضمن سرير النهر و المعرضة بشدة للتدفق تسحب بفعل القص اللابعدي إلى وضعية منخفضة حتى 0.01 (الشكل:4-24).



عن (Pettijohn,1975) .

(الشكل:4-24)-مخطط يمثل الاجهاد القصي مقابل عدد رايموند الحبي ($Re_*=u_*Dv^{-1}$) .و منحني سحب الحبات الرسوبية .حيث (ΔO) الحركة البدئية.و + الحركة النهائية .

لقـــد أثبـــت أندريـــوس (Andrews, 1983) باستخدام الملاحظات الحقلية للسرير النهري لنهر فورك في ادهاو أن قيم علاقة السحب تقع ما بين 0.02-0.025 من أجل الكثير مـــن المواد الموجودة في السرير ، و هذا يقود إلى توقع حدوث هجمة مبكرة للحمل السريري القاعـــي و القص ذات قيمة أعلى من القيم الاعتيادية المستخدمة 0.06 (Shields, 1936) أو 0.045 (Miller et al.,1977) .

و على عكس ذلك فإن معطيات (Turkey Brook, England) تقترح أن الحركة البدئية للرسوبات تحدث عندما تبلغ علاقة السحب قيما أعلى من القيمتين 0.045 أو 0.06 .و لقد تم إثبات أن وجود العناقيد الحصوية في الأقنية الطبيعية يقوي سرير النهر، و يزيد مقاومة الـــتدفق ، و لـــذا تـــرتفع قيم القص الحدي و تصبح أعلى من تلك القيم المعينة في الظروف المخبرية (Reid & Frostick, 1984)، و هذا يعني حدوث تأخر في هجمة الحمل القاعي .

يمكـــن لهذا الخلاف الظاهر جزئياً أن يعكس حقيقة أن المعطيات الحقلية المستخدمة مـــن قبل أندريوس ، و معطيات مشابهة استخدمت من قبل باحثين آخرين ، تصوّر معارضة التدفق للحفاظ على الحطاميات كبيرة الحجم في مسار السحب المستقر المتحرك خلال التدفقات العالـــية الحمولـــة /معطيات الحمل القاعي مثبتة عن طريق العينات المحمولة / .في حين أن معطـــيات (Turkey Brook) هـــي في الواقع من أجل حمل المواد المسحوبة من الرواسب القاعية عن طريق الفيضانات ذاتالتغذية المطرية غير المترابطة كالمأخوذة عن طريق التسجيل و المثبتة على الدوام بواسطة المسبار الثقبي (pit-sampler) .

و هـــنالك مشـــكلة تعترض تثبيت عتبات سحب المواد و هي صعوبة الوصول إلى تحديد كامل للحركة البدئية للرسوبات .فيمكن لحبة و احدة أن تصعد درجة ثم تتوقف ، و لكن لـــن يقبل أحد هذا حيث أن حالة العتبة منذ السويات الصغرى لسرير النهر تمكنت ببساطة أن تعكس تحولاً نحو تمتين أكبر لسرير النهر .

لقـــد تم الحصول على خبرات عامة من خلال التجارب المخبرية على الأقنية حيث يـــتم تحضـــير الســـرير صناعيا في أغلب الأحيان .لقد لاحظ فانوني (Vanoni, 1964) أن الجزيـــئات تتحرك بشكل اندفاعات ،و اعتبر أن فترة الاندفاعة الواحدة تتراوح من ساعة إلى ساعتين كتمثيل لواقع أن العتبة المسحوبة كانت قد تمددت .

لقد حذر نيل (Neill, 1968) من أن المعايير النظرية تميل لأن تكون أكثر حدة من أن يزداد حجم الجزيئات بسبب أن منطقة السرير الموضوعة تحت المراقبة تميل إلى أن تبقى هي نفسها بصرف النظر عن حجم المادة المشكلة للسرير، و يزداد عدد الحبات المتحركة في حقل الرؤية عندما ينقص حجم الحبات .

يوجد بعض التحديات الحقلية ، و ذلك لأن مراقبة سرير الجريان في شدة اندفاعه يكون متعذرا عادة بسبب الطبيعة المضطربة للتدفق ، و للتغلب على هذه المشكلة أطلق هيلي (Helley,1969) طوافات تحت أحجار صغيرة مدورة الشكل في (Blue Creek) بكاليفورنيا حيث أعطت عندما تحررت إشارة أن الأحجار الصغيرة المدورة قد سحبت .

لقد طور ريد و آخرون (Reid et al.,1984) جهاز تحسس الكترومغناطيسي لتحديد زمن سحب الجزيئات المعدنية المفتتة ، و مع ذلك فإن كلتا الطريقتين تقدمان معطيات عن حركة الجزيئات المفردة ، و ليس عن حركة كل الجزيئات الموجودة في الحمل القاعي .

تقدم المسابر الشقية المنصوبة في سرير النهر بشكل مستمر معلومات عن الحركة العامة البدئية لمواد السرير، و هذا يلقي بعض الضوء على مشاكل التنبوء عن التعريف المتوقع للحمل القاعي . و في الواقع يوجد شرطان لسحب المواد الرسوبية : الأول يترافق مع الحركة الأولى ، و يضم أشياءً أخرى مثل عطالة الرسوبات السريرية .

أما الشرط الثاني فيترافق مع النقل و الترسيب ، ليس كما هو من الحركة الأولى ، و التي تنقص من العطالة (Francis,1973) . إن كبر الشرط الأول يجب أن يكون مستمدا من الحركة الأولية للرسوبات السريرية كتطور، و زيادة موجة الفيضان ، و يكون كبر الشرط الثاني بالمشاركة مع التدفق الأخير للحمل القاعي عندما تتضاءل موجة الفيضان .

تبين معطيات الحمل القاعي في (Turkey Brook) أن العتبة الترسيبية المتوسطة هي بحدود 35% فقط من العتبة المسحوبة (Reid & Frostick, 1986) .إن معرفة عتبات السحب المتعددة ليس أمراً جديداً .و كذلك لأسباب ميكانيكية مختلفة تمكن باغنولد (Bagnold 1941,) من أن يصف عتبة سائلة ، و عتبة متصلبة لنقل رواسب حتية . و مع ذلك فإن كل معادلات الرسوبات النهرية التي تتعلق بتصريف الراسب بالنسبة إلى القص الشديد تندمج بعتبة واحدة فقط .

و الواقع أن هذه العتبة تتوضع ما بين السحب المناسب للمواد، و العتبات الترسيبية ، و بسبب الطريقة التي اشتقت منها ، ربما هو السبب لانخفاض معدل نقل الحمل القاعي ترتيب واحد ، أو ترتيبين على أقل تقدير للقيم المقاسة . مع ذلك و في الواقع أن الحاجة إلى عتبة مختلفة لم يعرف بعد فيما إذا كان من الممكن أن تكون سبباً رئيساً لخيبة الأمل في إنجاز معادلات، و صيغ جيدة و مناسبة .

- تقوية سرير النهر :

لا شك بأن واحدة من الصعوبات التي تحول دون الوصول إلى تقدير يفي بالغرض حول سحب المواد تكمن في أن سرير القناة المائية الطبيعية يكون في وضعيات مختلفة من التعزيز . لقد اعتبر كورش (Church, 1978) أن التوضعات المترسبة حديثاً قابلة للضياع و الفقدان ، و إنها في هذه الحالة تشبه كثيراً حالة الأسرة القنواتية المخبرية .

إن إعادة الترتيب الدقيق للجزيئات خلال التدفقات الضعيفة تزيد من التشابك ما بين الحبات المتجاورة ، و بهذا الشكل فإن متانة السرير تزداد مع الزمن . و لقد دعى كورش هذه الحالة بالفقدان الطبيعي ، و يمكن للسرير أن يتحرك نحو حالة معززة و مستقرة مع مرور الزمن.

خلال هذه الفترة تتحرك الرسوبات الناعمة إلى داخل الفراغات ضمن القالب الأم و تنتج الحطاميات الهيكلية (Beschta & Jackson, 1979; Carling,1984; Frostick et al.,1984)، و هذا يساعد زيادة قوة السرير .

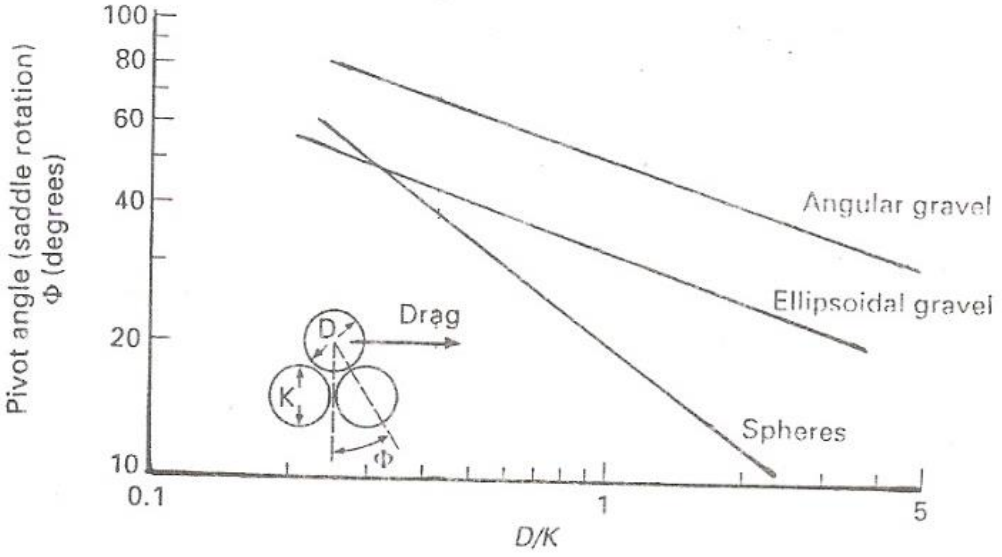
عندما تكون الفيضانات منفصلة عن بعضها بفترات زمنية متباعدة يمكن توقع أن قوة القص المطلوبة لكي تبدأ المواد الرسوبية بالانتقال تكون مختلفة و متنوعة . و كذلك تظهر صعوبات تقنية مهمة عند محاولة إجراء القياس ، و لقد تبين أن إجهاد القص المطبق لسحب المواد الأولية يمكن أن يكون أكبر بثلاث مرات من القيمة الوسطية عندما يلي الفيضان الأول في فصل الشتاء عدة أشهر صيفية بسرير غير مضطرب (Reid et al.,1985) .

- شكل الحطام : Clast shape

لقد اعتمدت طريقة (Shields, 1936) لسحب المواد الرسوبية على قاعدة معطيات الأقنية المشتقة من أجل ترتيب الرسوبات على نحو واسع في تركيبها و بالتالي كثافتها . كذلك

فـــإن اســـتخدام هـــذه المواد المختلفة سوف يعني اختلافا في أشكال المواد الفتاتية، تشمل قوة الثـــبات فـــي قرينة سحب المواد بأنه لم يكن هنالك فرز تبعا للنموذج الصخري على مخطط شيلدز.

لقد بين التحليل السابق أن هذه أيضا هي تبسيط مناسب (Li & Komar, 1986) و أن هذه السيطرة الليثولوجية على شكل الحطام كانت له نتائج هامة حول سحب المواد (الشكل: 4-25) .



(الشكل:4-25)-مخطط يظهر علاقة الزاوية المحورية (عتبة الدوران) مع قطر الحبات أثناء التحرك من وضعية الاستقرار ضمن السرير .حيث :D-قطر الحبات ، K- Φ-الزاوية المحورية. (Pettijohn,1975) .

كمـــا يجـــب أن يكون متوقعا توضع الحطام زاوي الشكل على السرير و المشابهة لحطام السرير حيث يتطلب تحريك الحبات زاوية الشكل إجهاداً قصياً كبيراً، و وقتاً أطول من زمـــن تحـــريك الحبات الأهليلجية الشكل، أما الحبات الكروية الشكل فتحرك بسرعة أكبر من مثيلاتها الأهليلجية .

و يعود السبب في ذلك إلى أن الزاوية المحورية للحبات المسحوبة تكون كبيرة جدا بالنســـبة للحبات زاوية الشكل بالمقارنة مع الزاوية المحورية للحبات المكورة .إضافة إلى هذا قـــد يكـــون التراكب متطورا على نحو أفضل في البنيات المخرمة ، و هذا ما يزيد من قيمة الزاوية المحورية إلى درجة كبيرة . و كل الأشياء الأخرى تعادل سحب المواد من الرسوبات

الـــنهرية مـــن بعض الأراضي المتحولة،و يجب أن يكون متوقعا أنه أقل تكرارا من المناطق حيث تنتج صخور الموطن حطاميات ذات أشكال متوازنة .

- التغير في نسبة نقل الحمل القاعي :

مـــن وجهـــة نظـــر ميكانيكـــية بسيطة لنقل الحمل القاعي المميز بشكل حتمي لكل المعـــادلات التنبؤية يؤدي إلى افتراض أن تصريف الحمل القاعي سوف يبقى ثابتا تقريبا فيما إذا كـــان التدفق مستقرا ، و يفوق عتبة السحب ،و إذا تزايد التدفق ، أو نقص كما هي الحال خلال مرور موجة الفيضان، فسوف يكون متوقعا بأن معدلات نقل الحمل القاعي سوف تحاكي النموذج المتغير لتصريف الماء .

و قـــد عرف الباحثون منذ زمن أن تذبذبات الحمل القاعي تحدث غالبا بطريقة يبدو أنها تتعلق بظروف التدفق . و استنادا إلى بعض القياسات المبكرة في أنهار الدانوب، و الراين ، و نهـــر إنـــن (Inn) فقـــد اقترح كل من (Ehrenberger,1931; Muhlhoffer, 1933; Einstein,1937) دوريـــة زمنـــية منـــتظمة تحـــت تدفق للرواسب أكثر ، أو أقل استقرارا للتدفقات ، كما عبروا عن شكوكهم حول فعالية المسابر المستخدمة آنذاك .

و حديثا هنالك العديد من التقارير عن نقل الحمل القاعي غير المستقر . لقد أعطى (Gomez, et al.,1989) ملخصا إجماليا مفيدا حيث أمكن من خلاله ملاحظة أن نبضات نقل الرسوبات يمكن أن تحدث بترتيب زمني يتراوح ما بين الثواني و حتى عدة أشهر (الجدول:4-1) . و فـــي بعض الحالات هنالك شك حول فعالية المسابر (Hayward, 1979; Reid et al.,1985 ; Custer et al.,1987; Tacconi & Billi, 1987) انظر (الشكل:4-26) .

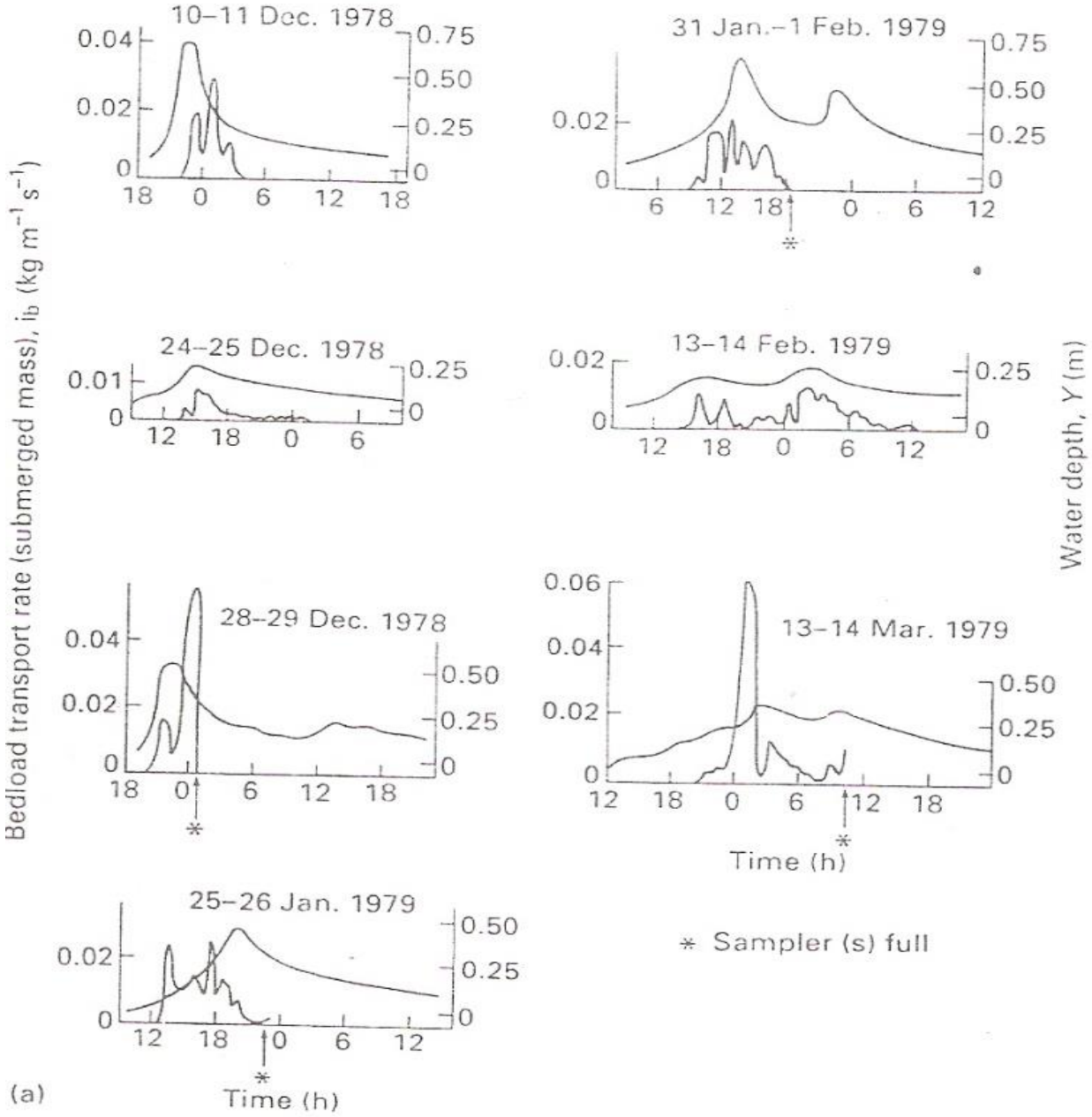
إن تفسير تصريف الحمل غير المستقر يستدعي هجرة الأشكال السريرية كبيرة ، أو صـــغيرة إذا ما أجريت القياسات في أقنية طبيعية فإنه في أغلب المرات يكون السبب تخمينيا نظرا لعدم إمكانية الملاحظة المباشرة للقاع، و طبيعة التدفق .

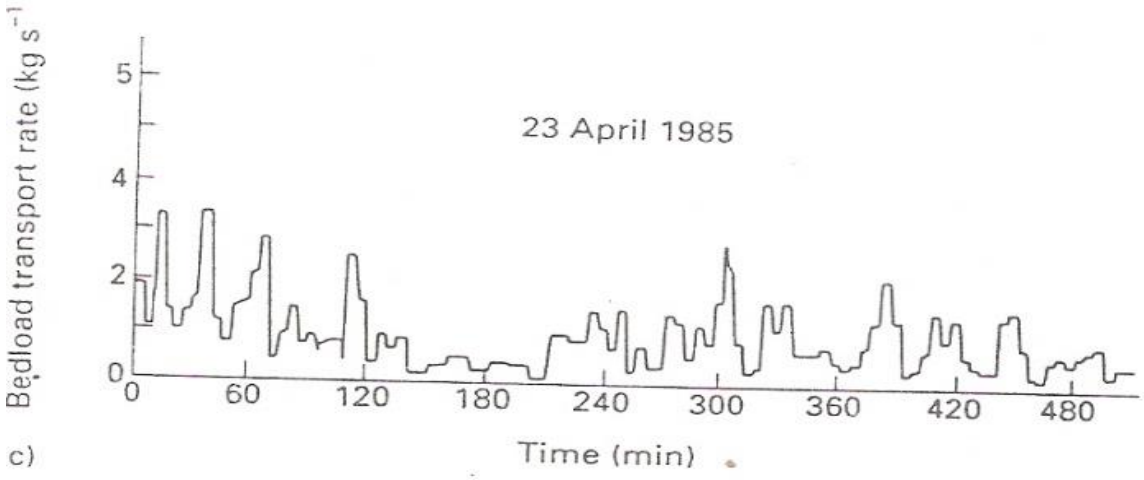
و يمكـــن أن نجد استثناء بارزا في نهر فورك الشرقي (East Fork River) حيث تـــم ملاحظـــة بيانات ممتازة عن انتقال حمولة القاع بجسم متواصل لأمواج الرمال المرتحلة باتجـــاه مجـــرى الجدول استجابة لنظام جريان ماء الثلوج الذائبة (Leopold & Emmett , 1976; Meade et al., 1981) .

(الجدول:4-1)-يمثل المقياس الزمني و الآلية المسؤولة عن توليد التغيرات الزمنية في معدلات نقل الحمولة و التي تعتمد على تغيرات تصريف الماء.

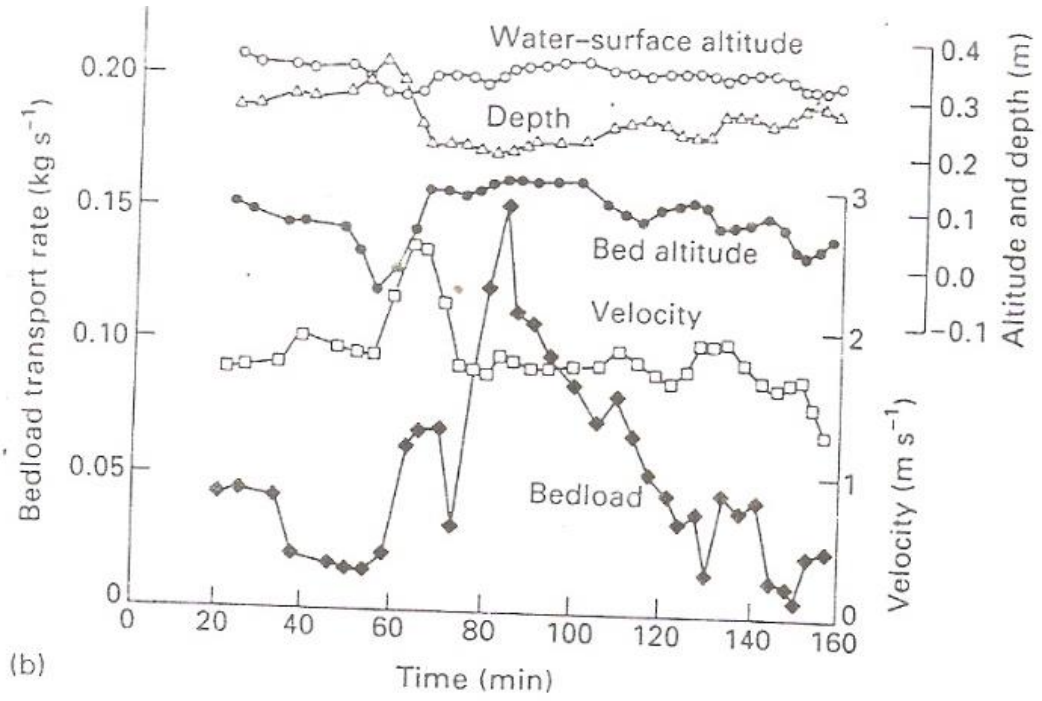
المقياس الزمني	السبب المحتمل للتغيرات الزمنية	الملاحظات الحقلية تمت من قبل الباحثين	الملاحظات المخبرية أو الموديلات النظرية
مدة طويلة إلى متوسطة	أمواج نقل المواد القاعية	Gilbert, 1913; Hayward and Sutherland,1974; Ashida et al.,1976; Mosley,1978; Griffiths,1979; Arkell et al.,1983; Meade,1985; Nakamura, 1986; Roberts and Church, 1986	Whittaker and Davies, 1982; Pickup et al.,1983; Ashmore ,1987; Kelsey et al.,1987; Whittaker,1987
	الاستنفاذ الفصلي	Nanson, 1974; Leopold and Emmett,1976; Knott et al.,1987	
مدة قصيرة	الاستنفاذ الفاصل بين الفيضانات	Karolyi,1957; Andrews,1979	
	الجرف و التعبئة	Jackson and Beschta,1982; Leopold and Emmett,1984	
	تحرك الأشكال القاعية(الحواجز، الكثبان، الألواح، و الجزيئات)	Ehrenberger,1931; Muhlhofer,1933; Nesper,1937; Swiss Federal Authority, 1939; Custer et al. ,1987;Whiting et al.,1988	Einstein,1937; Skibinski,1968; Ikeda,1983; Naden,1987; Kuhnle and Southard,1988
	التخزين	Milhous and Klingeman,1973; Gomez,1983	Harrison,1950; Parker et al.,1982
سريع و لحظي	آلية حركة الجزيئات	Sayre and Hubbell,1965	Einstein,1937; Stelczer,1981

و تؤكد القياسات الحقلية الميدانية على الطبيعة المتقطعة لحمولة القاع على نطاق أصغر بكثير . في هذه الحالات تعزى معدلات النقل غير الثابتة إما إلى الكنس التدفقي للدوامات المصطدمة بالقاع (Sayre & Hubbell,1965; Ergenzinger & Custer et al.,1987) ، أو إلى تفت مجموعات من الحصى (Reid et al.,1984) .





(الشكل:4–26)–يبين النبضات في نقل حمولة القاع في جدول ذي سرير حصوي .a)–في نهر توركي بروك، بريطانيا . b)–في نهر سلات كريك ،إيداهو. C)–في نهر فيرجينيو كريك ، إيطاليا .



تابع (الشكل:4-26)-يبين النبضات في نقل حمولة القاع في جدول ذي سرير حصوي .a)-في نهر توركي بروك، بريطانيا . b)-في نهر سلات كريك ،إيداهو. C)-في نهر فيرجينيو كريك ، إيطاليا .
Tacconi and Billi (1987).

ليس هنالك حتى الآن توضيح بشكل مباشر لسبب التقلبات في حمولة القاع على المجالات الزمنية المتوسطة ، أي بفترات زمنية تقدر بنصف ساعة إلى بضعة ساعات ، لكن الدراسات المخبرية الحديثة للسيول قد حددت ارتحال الكثبان كأحد الأسباب الممكنة في القيعان الحصوية (Iseya & Ikeda,1987; Kuhnle & Southard,1988) .

و يلعب هذا العامل دوراً أكثر وضوحاً على القيعان الرملية في شروط نظام تدفق منخفضة . لقد تم توجيه الاهتمام أيضاً إلى الصفائح الحصوية منخفضة السعة التي يبدو أنها عبارة عن تجمعات للمادة القاعية الخشنة ، و التي يمكن تمييزها عن ممرات الراسب الأكثر نعومة المتداخلة ، و التي تقع محاورها في وضعية معترضة /عرضانية/ بالنسبة للتدفق (Whiting et al., 1988) .

7-3- الحمل النهري المعلق: Fluvial suspended load

يعتبر الحمل المعلق الأكبر حجماً من بين حمولات النقل الرئيسة الثلاثة التي تحملها الأنهار وهي حمل القاع ، الحمل المعلق، الحمل المنحل. و أحد الأسباب هو حقيقة أن

الرواســـب الدقيقة غير الملتحمة المؤلفة من الطمي و الرمل الناعم ذات عتبة نقل منخفضة ، لذلك فإن الرمل الناعم ذو القطر الوسطي (0.2 مم) يمكن نقله عندما يبلغ إجهاد القص حدود (0.2 باســـكال) ، بينما الحصى ذات القطر الوسطي (20 مم) قد لا تتحرك حتى يبلغ إجهاد القص حوالي (2 باسكال) .

و أيضاً فإن الجسيمات الأكثر نعومة من حجم الغضار الصلصالي ذات عتبات جر أعلـــى بكثير عندما ترتبط مع أنواع غضارية أخرى عن طريق قوى الإلتحام و بشكل خاص عندما تندمج إما عبر التجفاف ، أو عبر ضغط الحمل المفرط .لكن حقيقة أنها تكون سائدة في حمل الراسب المعلق هي شهادة على فعالية عمليات أخرى غير تلك المرتبطة بالجر النهري .

و في الواقع يتم انتاج الجسيمات ، أو الندف الغضاري عن طريق عمليات التجوية و الحت التي تؤثر على سفوح المنحدرات و الهضاب المجاورة لحوض التصريف ، و من ثم تحمـــل عـــبر الأقنية ضمن السيول فوق اليابسة ، و يمكن أن تكون غالبية المواد المحمولة و المعلقة منتظمة قبل أن تدخل إلى الراوفد النهرية من الدرجة الأولى .

لقـــد ســـجلت تراكيز مرتفعة للرواسب في السيول فوق اليابسة تصل إلى 60% (Gerson ,1977) مـــع أن القـــيم التـــي بهـــذا القدر من الارتفاع يمكن أن تعكس جزئياً دور الإنسان في تسريع عملية التعرية ، و توجد في البيئات شبه الجافة .

إضـــافة إلـــى مصادر منحدر الهضاب يقدم قاع ، و ضفاف الأقنية المائية جسيمات ناعمـــة .و في الحقيقة إن حمل الراسب المعلق هام حتى في التدفقات المنخفضة ، و التراكيز ذات بضـــعة مئات من الميلي غرامات (<0.1% mgl^{-1}) تسجل غالبا في الجداول الدائمة في البيئات الرطبة المعتدلة خلال الفترات الطويلة التي تفصل بين الفيضانات .

علـــى عكس الحمل القاعي الذي يسهم في النقل الاجمالي للرسوبات بما يقل كثيراً عن 1% من الوقت في بعض الجداول ، إن الحمل المعلق لا ينخفض أبداً إلى قيم صفرية في الأنظمة الدائمة على أقل تقدير .

7-3-1-آلية التعليق : Mechanism of suspension

لقد كان يعتقد سابقاً أن قوة الرفع المتولدة من اختلاف الضغط على طرفي الجسيم

العلـــوي، و السفلي الذي يكون في الأصل مستقراً على قاع الجدول المائي هي المسؤولة عن تحريك الحطاميات نحو الأعلى ضمن التدفق (Jeffreys ,1929) .

لكن هنالك شك كبير فيما يتعلق بالدور الدقيق لقوة الرفع في آليات النقل ، و يعتقد الـبعض أنهـا تساعد فقط في قوة الجر، و السحب عن طريق فعلها المضاد جزئياً لقوة جسم الحـبة . و فـي الواقـع يعتـبر لاورسن (Laursen ,1958) المواد المعلقة على أنها نتيجة عرضية للنقل كحمل قاعي .

و تصور الجسيمات على أنها تفقد التماس مع القاع بشكل مؤقت أثناء تحركها على سـطح غـير منـتظم (كثيـب رملي مثلاً) مع جرها، و كنسها إلى الجدول المائي الحر، أو المفتوح.و يقترح سوثرلاند (Sutherland , 1967) آلية مختلفة استناداً على ملاحظات التدفق ، و هـو مـع الـرأي القائل: أن المعلقات تنشأ عند اختراق الدوامات العكرة للطبقة التحتية الصفائحية لتجريف القاع .

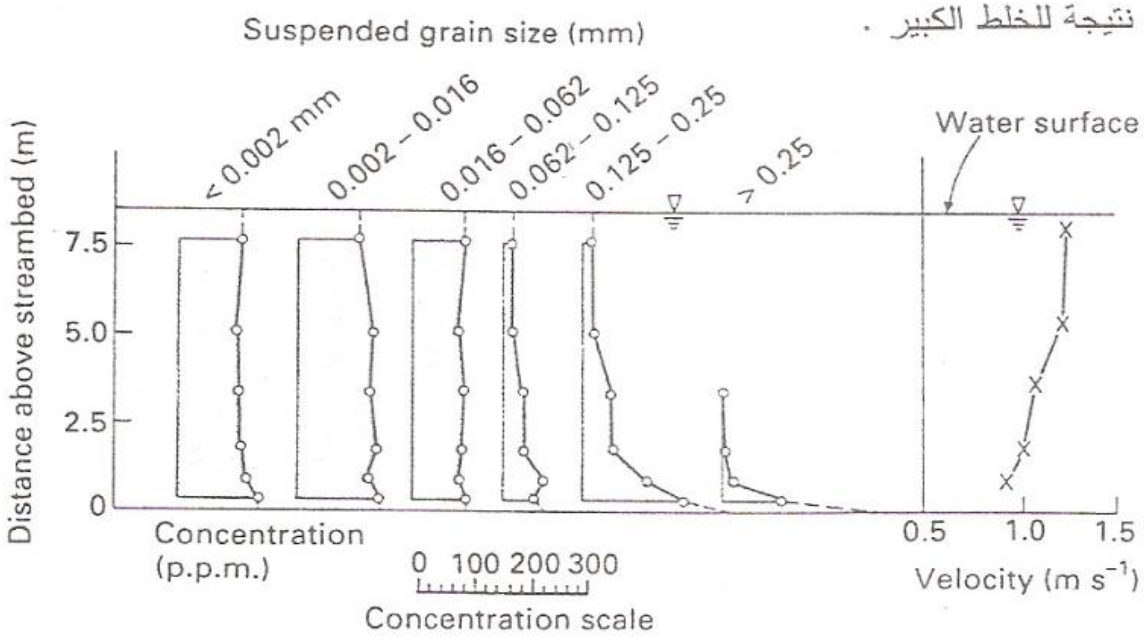
لقـد تمكـن غريس (Grass,1971) من تقديم تصور للعملية التي أسماها بالكنس الدفقي (burst-sweep) ، و التي شملت أولاً كنس دوامة على طول القاع ، و اندفاعها بعيداً عن الحدود ، و من الواضح أنه إذا ازدادت شدة العكارة مع سرعة التدفق فإن تكرار مثل تلك المصادفات سوف يزداد مع تزايد التدفق .و إذا تساوت جميع الأمور الأخرى فإن مقدار المادة المعلقة يجب أن يزداد مع ازدياد التدفق .

عندما تتعلق الحبات فإن مصيرها، سواءٌ أكانت حبة صغيرة منفردة ، أو ندفة سوف يرتبط مع سرعة انحدارها.و سوف يضبط هذا إلى حد كبير عن طريق كتلتها المغمورة بالماء ، لكنه سوف يتأثر أيضاً بشكلها .

و مقـابل هـذا المكون الشاقولي للتدفق ، و المرتبط بكل دوامة عكارة .لكن توازن القوى يعني ضرورة وجود تدرج لتركيز الرسوبات على الأقل في التدفقات العميقة . و سوف تكـون كتلة الراسب بواحدة الحجم أعلى كثيراً بالقرب من القاع ، و سوف تتحدر بسرعة مع الارتفاع في التدفق بصورة معاكسة للبروفيل الجانبي للسرعة .

و قد تأكد هذا عن طريق أخذ عينات من الأنهار الكبرى مثل نهر الميسيسبي

(الشـــكل:4-27) .في المياه الضحلة للسيول ذات الدوامات العالية قد يكون تدرج التركيز أقل بروزاً نتيجة للخلط الكبير .



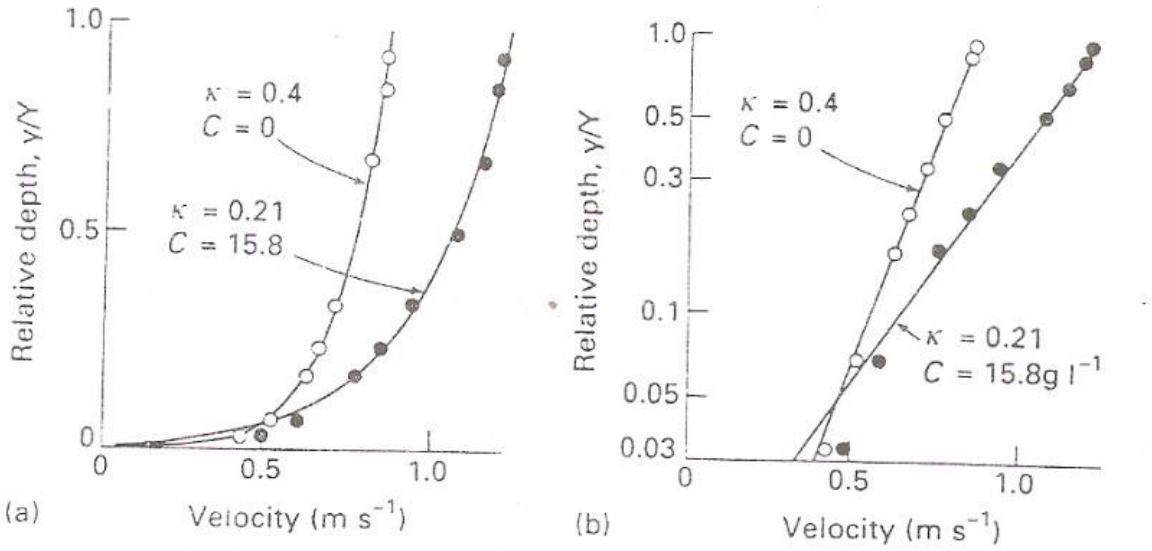
(الشكل:4-27)-يبين تركيز حجوم الرسوبات المعلقة، و سرعة الماء في المقطع الطولي لنهر الميسيسبي في مدينة St Louis, ، ميسوري ، 24 نيسان 1956 Colby (1963)

لقد كانت آليات التعليق معروضة للمعالجات النظرية حيث أظهرها كل من فانوني (Vanoni ,1946) و لاورسن (Laursen, 1958) من بين كثير من الآخرين. إلا أن الكثير من العوامل الحقيقية إما أن تكون غير ممكنة التنبؤ بها ، أو أنها معقدة جدا بالشكل الذي يمنع تمثيلها دون تبسيط زائد عن الحد .

إن تولـــيد دوامـــات عكرة تتحكم به جزئياً التغيرات في خصائص كتلة التدفق التي يمكـــن أن تعكـــس هي نفسها التغيرات في تركيز الراسب المعلق . فعلى سبيل المثال يبدو أن تـــدرج بروفيل السرعة ينحدر بالقرب من القاع عندما تكون الحمولة المعلقة كبيرة ، أي عند ارتفاع كثافة المواد المعلقة فوق كثافة الماء النقي (Vanoni,1953) . انظر (الشكل:4-28).

يتخامد الاضطراب الهائج مع تزايد اللزوجة الكينيماتيكية (η/ρ) . تماما كما تختلف شـــدة العكارة لذلك فإن سرعة سقوط الحبة المفردة تختلف عند هبوطها خلال عمود مائي ،و تختلف كثافة الماء كدلالة على اختلاف تركيز الراسب.

إضافة إلى هذه التعقيدات، و العديد من المضاعفات الأخرى ، و بما أن الكثير من المواد المعلقة تنشأ خارج القناة بحيث تنقل كحمل غسل ، و بالتالي دون اعتبار للشروط



(الشكل:4-28)-- يبين تأثير تركيز الرسوبات المعلقة على شكل بروفيل سرعة الماء ، حيث k هي قيمة ثابت فون كارمن ، أما c فهي متوسط تركيز الراسب .Vanoni (1953)

الهيدروليكية الموضعية ، و هذا يعني أن تراكيز الراسب المعلق المتنبأ بها لا تتحقق في أغلب الأحـيان و لا تطابق التراكيز الحقيقية التي تم الحصول عليها نتيجة للبرنامج الميداني لسحب العيـنات .لهذا السبب فقد تم تكريس الكثير من الجهد من أجل تكوين علاقات تبادلية تجريبية تبين تركيز الراسب ، و طرح الماء .

7-3-2-حجم الراسب المعلق: Size of suspended sediment

يكـون الاهـتمام بـتقدير حجـم الراسب المعلق أقل بكثير من الاهتمام في وصف تركـيزه، أو جـريانه فـي اتجاه الجدول .و يعود ذلك إلى أن معظم برامج انتقاء العينات تم انشاؤها على الأنهار الدائمة في خطوط العرض المعتدلة حيث تعني التراكيز المنخفضة نسبياً أن مقـدار المـواد التي تم الحصول عليها من عتبة الماء الطّيعة من بضعة ليترات ، أو أقل تجعل تحليل الحجم التقليدي غير مناسب .

و على الرغم من ذلك يبدو أن عدداً من برامج انتقاء العينات قد أكدت الأنماط ذات المقاطع العرضية ، أو الشاقولية التي يمكن توقعها نظريا لتوازن القوى .فعلى سبيل المثال في نهر الميسيسبي في سانت لويس يتناقص الحجم الوسطي للمواد المعلقة كلما ابتعدنا عن القاع ، و ذلـك لأن سـرعة التسـاقط الكبيرة تتكفل بنقل الرمال نحو الأعلى بعيداً بواسطة التيارات الدوامية المضطربة (Colby,1963) .

و فـــي طبقة الرمال الضحلة كما هي الحال في نيوبارا في نبراسكا حيث يبلغ عمق المـــياه أقل من متر واحد، فقد بيّن كل من كولبي و هيمبري أن متوسط حجوم المواد المعلقة يعكـــس نمـــوذجاً مقطع عرضي لسرعة المياه المتزايدة باتجاه التدفق الرئيسي . و بشكل معاكس نجد أن العينات المأخوذة خلال نطاق واسع من عمليات التصريف أثناء برنامج تحديد المقاييس تنتج علاقة غامضة بين حجم الرسوبات المعلقة في التيارات المستديمة ، و التدفق .

و تشـــير الســـجلات الخاصة بنهر نيوبارا إلى أن متوسط الحجم يتناقص مع ازدياد التصـــريف ، و في هذه الحالة يعتقد أن التناقص في حجم الرسوبات سوف يعكس تدفق الطين الحاصـــل علـــى منحدرات المسيلات المائية ، و تأتي إلى قناة النهر عبر التدفق البري خلال حـــدوث عاصفة كبيرة يبدو النموذج بأنه يصبح أوضح في حالة وجود تيارات سريعة الزوال علـــى الرغم من أنه يجب التذكير ثانية بأن مجموعة الدراسات قليلة ربما لأن مدة الفيضانات الناشئة ، و عدم القدرة على التنبؤ ، كل ذلك يقلل من احتمال كونهم موجودون في الموقع أثناء تدفق الفيضان .

و يـــبدو أن التـــيارات الصـــحراوية تتصـــرف بطريقة يمكن التنبؤ بها من خلال الاعتبارات النظرية على القوى المشمولة على الأقل في حالة الجزيئات ذات الحبات الرملية و الغرينية . و يبدو أن سلوك الجزيئات الطينية أقل تحديداً حيث يعود السبب على الأرجح إلى أن الطين يتم احضاره بكميات كبيرة بفعل التدفق البري عند الالتصاق بالمنحدرات .و مع ذلك يـــتزايد الحجـــم المتوسط للحمل المعلق و يتناقص بالارتباط مع التدفق (Nordin, 1963 ; Lekach & Schick,1982).

وفـــي حالة القاع الرملي كما هي الحال في نهر كيمير في شمال كينيا فقد تم قياس الحجـــم المتوســـط للمواد المعلقة ، و وجدت بحدود 0.002مم عند التدفقات المنخفضة حيث تـــرتفع إلى 0.032 مم عندما يضاف الرمل إليه ، و كثير من ذلك يأتي من الاحتكاك بالقاع (Reid & Frostick,1987).

و هـــنا يجـــب الحذر طالما أن الديناميكية المائية للمعلقات تعتمد على سرعة سقوط الجزيـــئات ،و التـــي تحدد بواسطة حجم الحبات عند غياب الفروق الهامة في شكل الحبة .و تهـــدف الاجـــراءات التحليلـــية بشـــكل خاص إلى فصل الجزيئات الأولية ، و مع ذلك تعني

الخواص المتماسكة للطين أنها تسير على الأرجح مثل الندف المتكتل بسرعة سقوط اكبر من الجزيئات المفردة .

و بـــالفعل فقـــد لفت نانون و رفاقه النظر إلى الرواسب الطينية في كوبر كريك في حوض بحيرة يير في أوستراليا، و الذي يتألف من قاع ترابي ، و تشير حجوم الرسوبات إلى أنهـــا من المحتمل جداً أن تنقل كحمل قاعي بدلاً من نقلها كمعلقات ، و مع ذلك نجد أن الطين المعلق قد ينقل كندف متكتل ، و التي تبدو كجزيئات صغيرة غرينية الحجم .

7-3-3-مشكلة التنبؤ بالحمل الرسوبي المعلق:

The suspended sediment load prediction problem

تكون التركيزات الرسوبية أعلى عند الجناح المرتفع للمسيل الهيدروغرافي مما هي علـــيه عند المستويات المناظرة للتصريف على الجناح المنخفض ، و يصل الفرق في الحجم إلـــى حوالـــي المرتيـــن .و يعتقد أن الرسوبات تندفع من مواقع التخزين القابلة للوصول إليها /القعـــر، الضفاف ، و منطقة الضفاف / في المراحل الأولى من حدوث الفيضان الذي يتوقع بعد ذلك أن يوفر الرسوبات يصبح العامل المحدد لكمية المادة الموجودة في المحلول المعلق .

أما في أحواض التصريف الكبيرة فتصبح موجة تجمع الرسوبات بشكل متقدم خارج طور موجة الفيضان حالما تعبر كل منها اتجاه مجرى المسيل .و لقد أوضح هيدل (Heidel 1956,) هـــذه الظاهرة بالنسبة لنهر (Bighorn) الذي يتدفق من وايومنغ إلى مونتانا . و في أحد الفيضانات تبين أن الحدود العليا للتصريف و تجميع الرسوبات تكون أقل ، أو أكثر حدوثاً من نهر ماندرسون ، و لكن في نهر بيقهورن هنالك حوالي 270 كم باتجاه مجرى السيل ، و تكـــون متـــباعدة حوالي 13 هكتار .في هذه الحالة المحددة تبلغ سرعة موجة الفيضان حوالي 1.6 م/ثـــاو يبدو أن الموجة الرسوبية التي تمثل سرعة التدفق ستقطع المسافة بسرعة 0.87 م/ثا ، أو حوالي نصف السرعة .

و عـــادة يعتقد بتدفق المياه المحملة بالرسوبات من الروافد باتجاه مجرى السيل ، و كلما كانت نسبة الرسوبات المعلقة عالية ،و المؤلفة من حمل الغسيل الذي ينشأ خارج مجرى الـــنهر ، و كلمـــا كان احتمال تشكل علاقة بين نسبة تدفق الرسوبات و البارامتر الهيدروليكي المحلي مثل التصريف المائي أقل .

7-3-4-التراكيز العالية و الزائدة للرسوبات المعلقة :

فـــي السيول الدائمة الجريان نادراً ما يتجاوز تجمع الرسوبات المعلقة بضعة آلاف من الميليغرامات /ليتر ما لم يكن هنالك اضطراب شديد لمياه الري حيث تؤدي إلى حت سريع للتربة .و بشكل معاكس فإن السيول سريعة الزوال /الموسمية / تحمل تقريباً حمولات رسوبية عالـــية علـــى شـــكل مواد معلقة .و حتى خلال التدفقات الدنيا على الجناح المرتد للفيضانات الهيدروغرافية فقد تصل التجمعات إلى عدة آلاف من الميليغرامات /ليتر (>0.1%).

أحـــد الأسباب المتعلقة بهذا السلوك المتباين هو الفرق الهام في المجرى الذي تسير علـــيه معظـــم مـــياه الأمطار .و قد تكون السيول فوق القارية مع طاقتها الحتية متكررة مثل الهطـــول المطـــري الحاصل في المناطق القاحلة ،لكن معدلات الرشح العالية المميزة للترب المتماســـكة بشـــكل جـــيد في المناطق الرطبة تضمن انتقال الماء دون تخريب التربة كما هي الحال عند حدوث تدفق داخلي للتربة .

يصل تركيز الرسوبات المعلقة بشكل منتظم إلى عشرات آلاف الأجزاء بالمليون في الفيضانات المندفعة ، و مع ذلك فقد تم الاعلان عن حمولات أعلى بكثير من ذلك . فقد قام كل مـــن لـــيكاتش و سشـــيك (Lekach and Schick, 1982) بقياس قيمة مرحلة ارتفاع النسبة 28% (285000 p.p.m.) فـــي صحراء (Negev) الجنوبية . أما في نهر باريا في أريزونا فتبلغ هذه القيمة 41% ، و تصل إلى حوالي 68% في نهر ريو بوركو في نيومكسيكو .

وقد ناقش كل من بيفرراق و كوبلبيرتسون (Beverage & Culbertson,1964) أن تركـــيز الرسوبات التي تتجاوز نسبة 40% ، و أقل من 80% بجب يزداد تركيزها طالما أن الخـــواص الهيدروليكـــية تختلف عن تلك المتعلقة بكل من المياه الصافية و التدفقات ذات التركيز المنخفض .و عندما تصبح نسبة التركيز أعلى من 80% تصبح السيول ذات خواص غـــير نيوتونـــية ، و يتصـــرف بشـــكل بلاستيكي كاذب، و يميز التدفقات الطينية ، و سيول الفضلات .

توجـــد بعـــض النقاشـــات حول الطبيعة الدقيقة للتراكيز الزائدة للمواد المعلقة حيث يقـــترح الـــبعض أن اللزوجة العالية التي تنشأ بسبب الزيادة في قوة القص اللازمة لتحريك زمرة مختلطة من الرسوبات و الماء مقابل بعضها البعض يخفف الاضطراب بشكل كلي .لقد تـــم ملاحظـــة مثل تلك التدفقات و جرى وصفها بأنها (زيتية =لزجة) ، و مع ذلك فقد اعتبر هينو أن التدفق يبقى مضطربا لكن لزوجته تؤدي إلى تقصير عمر التيارات الدوامية الفردية.

7-4-الغلة الرسوبية: Sediment yield

لقـد قـام العديد من الجيولوجيين بمحاولة وضع معادلة بين الغلة الرسوبية و تدفق الرسـوبات المعلقة في حوض الترسيب .و هذا يعكس جزئياً سهولة المقارنة في تحديد تركيز الرسوبات المعلقة في برنامج أخذ العينات ، و بناءً على ذلك توفير عددمن السجلات الخاصة بمجال واسع من الأنهار .

لقـد تـم تجـاهل المكون الأخر لتوضع الرسوبات وهو الحمل القاعي بحيث يمكن تخميـنه مـن خلال عمليات المسح المتكررة لعملية الترسيب . و تقترح الأدلة أن الرسوبات المعلقـة تشـكل أكثر من 90% من الحمولة الاجمالية في التيارات المائية دائمة الجريان ، و بالتالي يمكن استخدام الحمولة المعلقة كمقياس للغلة الرسوبية في تلك البيئة .

و بالمقـابل فـإن الجداول المائية المؤقتة في المناطق الجافة يمكن أن تنقل كميات كبـيرة من الرمل، و الحصى كحمل قاعي ، و في المناطق الصحراوية تكون كمية الرسوبات المتوضعة أعلى من المتوقع من الرسوبات المعلقة لوحدها .

تخـتلف نوعية غلة الراسب –تدفق الراسب في واحدة المساحة بواحدة الزمن بشكل كبـير مـن بيئة إلى أخرى . في حالة تجاهل الصحارى الجافة جداً و الجافة نظراً لكون ماء المطـر الجاري نادراً جداً فيها ،فهنالك علاقة عكسية بين غلة الراسب و الهطول المطري (Langbein & Schumm,1958) .

مـن المفارقة أن أعظم الغلال الرسوبية تأتي من الأراضي شبه الجافة على الرغم من ندرة الفيضانات المحلية في الوقت الذي تنتج فيه الغابات في المناطق المعتدلة فقط حوالي ثلث كمية الراسب على الرغم تكرار العواصف ، و حقيقة كون التدفق متواتر .و يكون دور الغطـاء النباتي متعدد لكنه حتى في نفس المنطقة و نفس المناخ فإن دراسات مقارنة أجريت على الغابات الصنوبرية ، و الأراضي العشبية تشير إلى نسبة الهطول المطري تقل عن معدل 40% إلـى تكوين النهر حيث المظلة الشجرية فعالة في إيقاف الهطول المطري قبل وصوله إلى التربة .

لقد ظهرت أهمية الحياة النباتية عن طريق ملاحظة آثار قطع أشجار أجزاء واسعة مـن الغابـة ، و خصوصـاً فـي المناطق الاستوائية .و في هذا السياق لابد من التذكيربأن

المعدلات الصورية للغلة الرسوبية نادراً ما يتم تعينها بالنسبة للأراضي الطبيعية التي لم تمسها الأيـادي البشـرية لذلـك مـن الصعب قياس الغلة الرسوبية .فعلى سبيل المثال نجد أن نهر هوانغهـو في غرب الصين الذي يحمل رسوبات اللوس بكميات مفرطة بشكل حمولات معلقة يمكن أن يولد غلة رسوبية تقدر بحدود 1.2×10^9 طن .

7-5-التغيرات في قطر الراسب في اتجاه مجرى النهر:

Downstream changes in sediment caliber

بشكل عام يزداد قطر حبات المواد المشكلة لقاع القناة مع ازدياد المسافة عن المنبع المائـي ، و هـنالك أيضـاً أدلة على تناقص حجم الراسب المعلق (Colby et al.,1956; Mapes, 1969) .و من جهة أخرى فإن الفرز الحجمي يميل إلى الزيادة في الاتجاه نفسه .

و يعطـي علم الفلزات مجموعة من القوى على جزيئات الصخر المعرضة للكشط الميكانيكي و التجوية خلال النقل ، و قد تمكن بلوملي (Plumley, 1948) من إثبات استعداد فلـزات الفلدسـبار للسحق من خلال الكشط في نهر تشين في داكوتا ، بينما اعتبر برادلي أن تجوية الكلاست أثناء خزنها في حواجز الأقنية هو السبب الأولي لانفصال المواد الغرينية في نهـر كولـورادو في تكساس .لكن العمليات المنتجة للحبات الناعمة في اتجاه المجرى الأسفل للوادي يتم الاستدلال عليها بشكل تقريبي .

لقـد كان كونين أول من أثبت من خلال سلسلة من التجارب المخبرية أن الكشط قد ولـد استدارة و سحق الحبات . و قد بين أيضاً وجود اختلافات كبيرة بين الأشكال الصخرية المختـلفة مـثل بقاء الغابرو لمدة أطول من الحجر الكلسي .و قد تأكد الشكل العام الذي وجده كونين في المسيل المائي الدوراني اللانهائي منذ تلك الفترة بواسطة دراسات الرواسب النهرية الحقيقية .

إضافة إلى تأثيرات الاستنزاف تطرح فكرة كفاية الجداول المائية ، أو عدم كفايتها . تـتراجع تدرجات الأنهار من قيم أقل من 0.01 إلى أقل من 0.0001 عندما تمر من منابعها الجبلـية إلـى المحيطات ، أو الأحواض الداخلية ، و مع أن عمق الماء ، و تصريفه يزدادان عادة باتجاه المجرى السفلي للنهر فإن قوة القص المؤثرة على قاع النهر أكثر تأثراً بالتغيرات في المنحدر الطولي .

و قد اعتبر أن حجوم مادة القاع المحلية سوف يعكس الكفاية الموضعية من بين

الأشياء الأخرى (Kirkby,1977).و بان انخفاض منحدر مجرى النهر ، و بالتالي قوة القص سوف يشكل انخفاضاً متزامناً في حجم مادة القاع .

و فـــي المواضـــع التي يترافق فيها الانخفاض في المنحدر مع انخفاض في الطرح الحاصـــل فـــي الأقنية المنفردة كما هو الحال في الجدول المائي المجدول فإن انخفاض كفاية مجرى النهر قد تكون أكثر دراماتيكية .

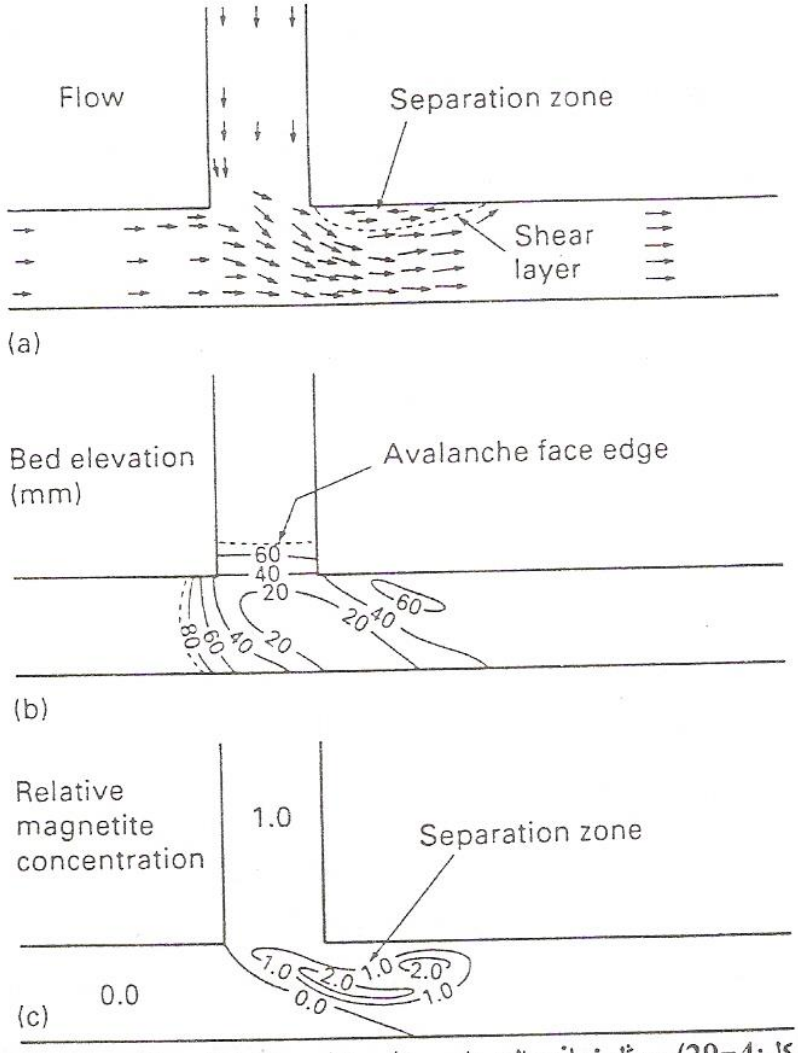
يظهر سميث (Smith, 1974) أن الحجم الوسطي للحبات ينخفض بمعدل 6 مم كم$^{-1}$ علـــى امـــتداد جـــدول نهر (Upper Kicking Horse) في كولومبيا البريطانية .كما أشار بليسنباخ (Blissenbach, 1952) أثناء دراسته للمراوح الغرينية في أيرزونا إلى تدرج حجم الحبات يقدر 215 مم كم$^{-1}$.بينما يقدر بلوك (Bluck, 1964) تدرج حجم الحبات بحدود 200 مم كم$^{-1}$ لعدد من المراوح الغرينية في نيفادا .

7-6-التوضعات النهرية :

تعتـــبر العمليات النهرية مسؤولة عن انتاج العديد من الرسوبات الاقتصادية للمعادن و الفلـــزات الثميـــنة في العالم ، و ذلك على مر العصور الجيولوجية فعلى سبيل المثال تعود ترســـبات الذهـــب القديمة في (Witwatersrand) إلى عمر الباليوزوي، و كذلك توضعات الألماس في سويسرا التي تعود إلى الترياسي ، و أيضاً توضعات الكاستريت في أندونيسيا التي عثر عليها بارتفاع مستوى سطح البحر الهولوسيني التي تعود إلى البليستوسين .

يـــبدو أن عملـــيات التركيز(Concentration processes) أصبحت معروفة ، و نذكر منها عمليات التركيز الميكانيكية ، و التطور الهيدروليكي المكافئ ، و التفاعل و تعريض الحبات المتشابهة و غيرها من العمليات التي تؤدي إلى تجمع الحبات ذات الحجوم ، و الوزن النوعي المتقارب في أماكن محددة .

تســـيطر مقايـــيس الحبات على تركيز التوضعات حيث يتم حجز الفلزات المعدنية الثقيلة في مناطق خاصة من النهر ،و ذلك عند توفر الشروط الهيدروليكية المناسبة .و لقد بين كل من بست و براشو(Best and Brayshaw, 1985) أن عملية الفصل في مجرى الروافد الـــنهرية تنـــتج عن مسار طويل ، و دوار على طول حافة منطقة الفصل الفاصل الواقعة في أسفل المجرى ، و هذا ما يؤدي إلى ترسب المعادن الثقيلة (الشكل:4-29).

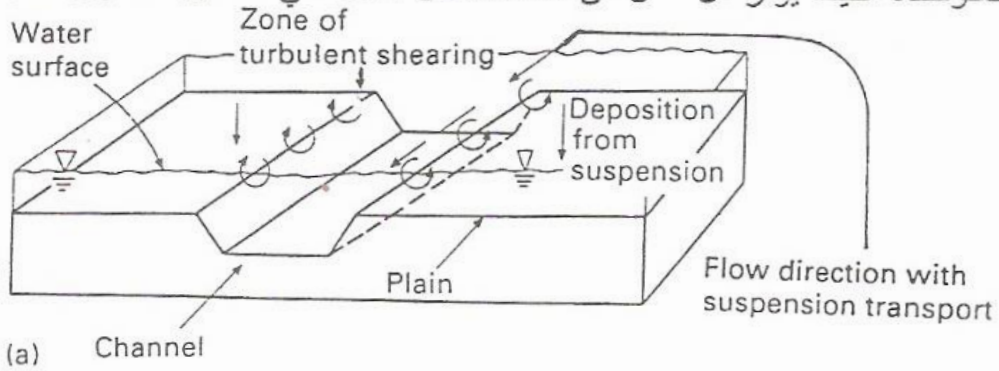


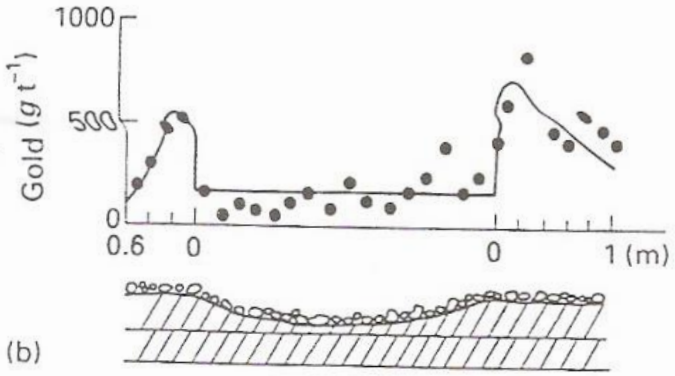
(الشكل:4-29)-يمثل نماذج الجريان . a)-مقطع يمثل القاع .b)- تركيز التوضعات .
c)- زاوية الاتصال القائمة المحسوبة مخبريا، عن (Best and Brayshaw, 1985).

لقد أشار موسلي، و آخرون (Mosley and Schumm,1977 and Smith and Beukes,1983) إلى طريقة مشابهة لتلك ، لكن الجريان متقارب في حالة واحدة ، و في أسفل الجـداول و الـروافد ، و عند نهاية المصب . كما أشار (Nami and James, 1987) إلى الطاقة المفقودة التي تحدث أثناء المواجهة بين القناة المائية و السهل الفيضاني أثناء الفيضانات فـوق الضفاف ، فأخذوا هذه الكميات ، و طوروا النموذج العددي الذي يشبه توضعات الذهب في صدوع (Witwatersrand)، و في هذه الحالة يعتقد أن الطبقة المتوضعة قد ترسبت ، أو استقرت خارج مجرى الفيضان عبر مقاطع ، أو شقوق تحاذي المجرى النهائي للنهر (الشكل: 4-30) .

يحتاج التفاعل المتبادل لجريان التدفق المضطرب إلى جهد قوي للتحكم ، و التأثير علـى كل من المادة المترسبة و النقل ، و التوضع.و يشير ليدر(Leeder,1983) إلى التغذية

لمـــرتدة فـــي العلاقـــة بيـــن الـــتدفق المضطرب ، و نقل الرسوبات ، و تطور شكل الطبقة المتوضعة حيث يؤثر كل شكل من هذه الأشكال الثلاثة في الشكلين الآخرين بطريقة مباشرة .





(الشكل:4-30)-a)-يمثل رسم تخطيطي للشروط الهيدروليكية للتددفقات و حالات التدفق و الفيضانات و تظهر مناطق فقدان الطاقة في نطاقات القص. b)-مقطع عرضي يبين توزع توضعات الذهب المتركزة في عرق معقد التركيب من عمر الكربوني في جنوب أفريقيا ، عن (Nami and James, 1987).

فمـــثلاً نقل الراسب يقوم بتخميد و إبطاء سرعة التدفق المضطرب ، و بدوره يؤثر علـــى فصـــل المجرى ، و على الطبقة المترسبة بشكل عام ، و بصورة غير مباشرة /علاقة جدلية مترابطة / ، و تختلف معدلات النقل خلال الطبقة المترسبة المفردة كمهمة تسريع شكل الســـيلان، أو تباطـــئه .و يؤثـــر تطور الطبقات المترسبة على بنية المجرى المائي ، و كذلك الـــتدفق المضطرب ، و لا يمكن تجاهل المادة المترسبة ، و النقل و الترسيب بتأثير الطبقات المترسبة .

7-7-صفات الرسوبات النهرية:Character of fluvial bedforms

تتميز التوضعات النهرية بتنوعها سواء أكانت ضمن المجرى السفلي للنهر ، أو في أماكن متفرقة من مجرى النهر ، و الروافد المفردة ،كما تكون الفيضانات القوية ذات محتوى رسوبي متغير ، و نذكر كمثال على ذلك التوضعات الموسمية .

تعتـــبر الـــبحوث الكثيرة المجراة على التوضعات الرسوبية و البنيات الأولية بمثابة القـــاعدة الثابـــتة لفهم أهمية التطبقات الرسوبية في بناء التوضعات النهرية.فالتغير في حجم و صـــفات الطبقات الرسوبية ينتج بشكل مباشر عن التوازن الحديث مابين التعرية، و الترسيب في نقاط مختلفة من طبقات مجرى النهر .

لقـــد لاحـــظ عدد من المؤلفين التنوعات في معدل نقل الرسوبات مع الجريان على القيعان ، و بمقاييس مختلفة (Davoren & Mosley,1986; Ashmore, 1987 ;Bridge & Best,1988; Gomez et al.,1989).بالإضـــافة إلـــى هجرة القيعان ، و هي عبارة عن تســـجيل لحركـــتها تحت شروط شبكة من الرسوبات .و غالباً ما يستخدم مثل هذه الطبقات و بنيـــتها لاستنتاج المتغيرات الهيدروليكية الأولية المترافقة مع التوضعات الرسوبية القديمة ، و ذلـــك علـــى الـــرغم من النقص في فهم العمليات التي تتحكم بالقيعان، و تكوينها في الجداول المائية الحديثة .

توجـــد القيعان بمقاييس مختلفة ، و ذلك ابتداءً من الأشكال التموجية إلى الكثبان ، و المـــنحدرات الـــنهرية ، و الرواسب الرملية الحصوية.و توجد القيعان ذات المقاييس الصغيرة بشـــكل غـــير مترابط لذلك غالبا ما تعتمد القنوات الواسعة ، و مواقع المجرى على الشروط المحلية المرتفعة للتدفقات (سرعة التدفق، و عمق المياه، و غيرها).أما القيعان كبيرة المقاييس فتنـــتج عن الأقنية الفيضانية ، و تربط بشكل مباشر مع النماذج الثانوية للتدفقات (Thone et al.,1985) .

7-7-1-المقاييس الصغيرة للقيعان:Small-scale bedforms

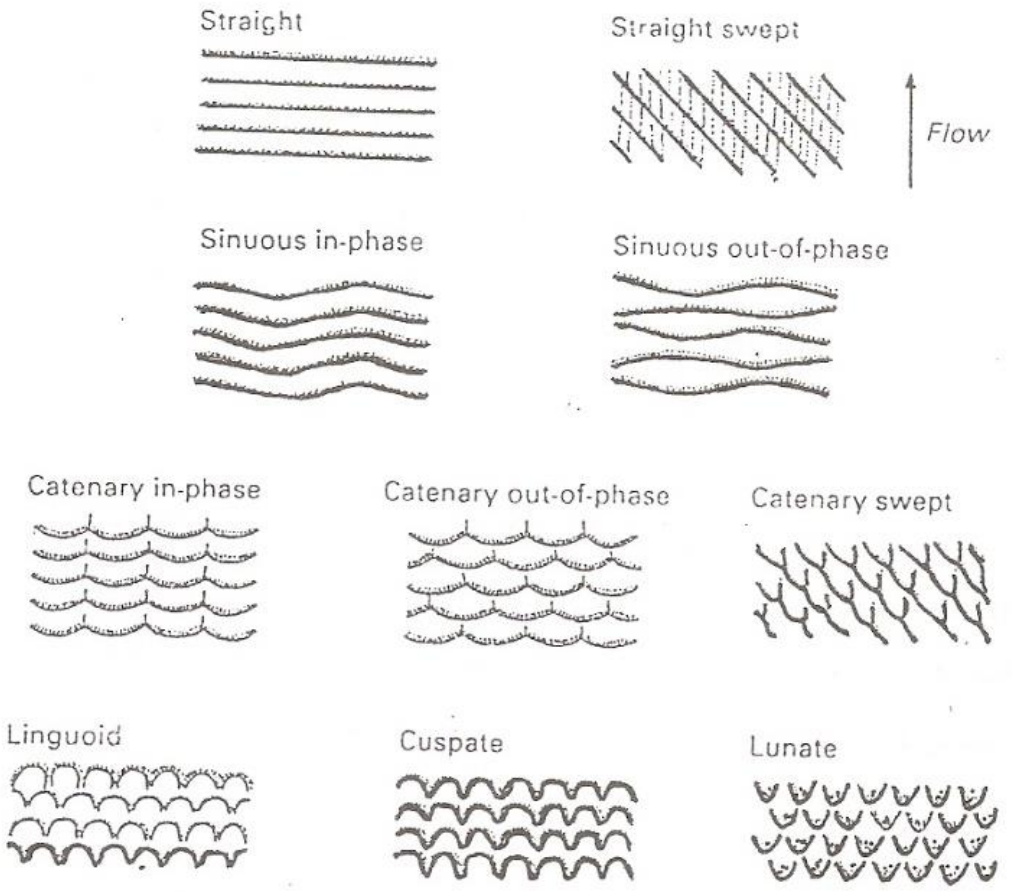
من المحتمل أن حجم المواد الرسوبية أهم عامل يحدد تطور القيعان . فالأقنية التي حجوم حباتها قريبة من حجوم حبات الرمل تتطور بسرعة، و تشكل مجالاً واسعاً من التطبقات ذات المقاييس الصغيرة . و بالمقابل فإن تشكيل التطبقات ذات المقاييس الصغيرة يحدث بشكل قليل في المجاري المائية ذات الحبات الحصوية .

غـــير أن عـــدداً من الدراسات الحديثة لاحظت القاع الحصوي في مجاري الأنهار المخـــتلفة الأشكال و الخصائص ، و التي تؤدي إلى تحديد نوعية مجرى الجداول المؤلف من أكوام من الحصى ، و التي تعتبر من النماذج الهامة ذات المقاييس الصغيرة .كما أن القليل من

لتطـــبقات ذات المقياس الكبير ، و العروق ، و التدرجات ، و الجروف المتشابكة لها حبيبات ذات حجوم غرينية ، و معروفة كتطبقات رسوبية نموذجية للطمي الرسوبي ، و التوضعات.

و نذكـــر أيضاً من التطبقات الرسوبية ذات المقاييس الصغيرة الجداول المائية ذات القـــاع الرملي ، و التي تتراوح مابين التموجات ، و الكثبان الرملية ، و التطبقات المستوية ، و الكثبان العكسية .

تكـــون الـــتموجات الأصـــغر حجماً في القيعان الرملية غير المستوية ، و يمكن أن تتنوع بشكل كبير من حيث خواصها. حيث تكون غير متماثلة في المقطع العرضي الطويل مع ســـطح منحدر متدرج . تتراوح التضاريس المسطحة من المستقيمة إلى المتموجة وصولاً إلى شبه اللسانية حيث أنتج هذا التنوع تلك التشكيلة من المصطلحات المستخدمة لوصفها (الشكل:4-31).



(الشكل:4-31)-يمثل الأنواع المختلفة من التضاريس المسطحة ، عن(Collinson and Thompson,1982).

و تهاجر التموجات دالة على التعرية الجانبية و التوضع في الطرف المحجوب .و يؤدي هذا إلى انهيار الرسوبات نحو الأسفل ،و يكون تميز حجم الحبات الذي يحدث خلال هذه الحركة مسؤولاً عن نشوء التورقات المائلة على سطح التطبق ، أو التطبق المتصالب .و تبتدئ التموجات عندما تعكر ظاهرة الاندفاع ، و كنس قاعدة السطح الأولي مؤدية إلى تشوهه .و يتم تضخيم هذه التشوهات الابتدائية ، و توسعها نزولاً عبر الجدول المائي من خلال انفصال تدفق الطرف المحجوب ، و الاتصال من جديد .

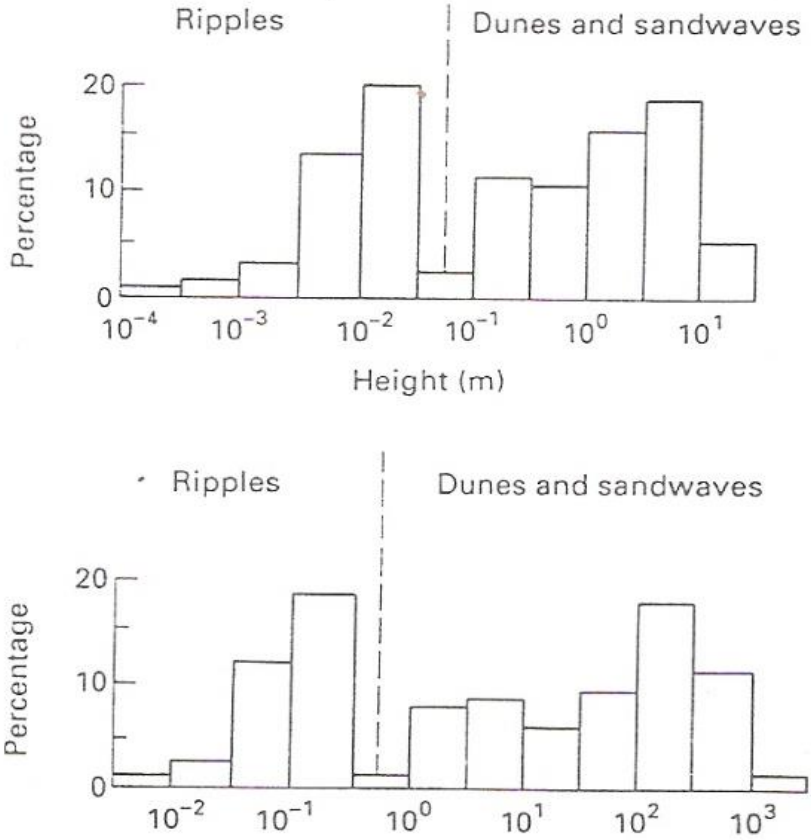
لا تتأثر التموجات بعمق المياه بل ترتبط ارتباطاً ضعيفاً مع سرعة التدفق ، و القص القاعدي .و يعود هذا إلى حد كبير للتغيرات في كثافة العكارة عند إعادة الاتصال ، و الذي يؤثر يدوره في النقل ، و عمق التنضيف للتغيرات على طول المجرى السفلي ، و المسافة التي تقفزها الحبات المفردة ، حيث يؤثر كل ذلك على طول موجة القاع.و يلاحظ وجود التموجات فقط في الرسوبات ذات الحبات التي قطرها الوسطي يقل عن 0.66 مم. أما فوق هذا الحجم فتبرز الحبات من الطبقة التحتية اللزجة و تؤدي الزيادة الناتجة في الاضطراب إلى تعقيد نظام التوسع، و الانتشار لتشوهات التطبقات صغيرة المقياس .

و مع تزايد سرعة التدفق يمكن أن تغطي التموجات الكبيرة التموجات الصغيرة ، و هذا يؤدي في نهاية المطاف عند إضافته إلى الزيادة في عمق الكنس مترافقا مع الأشكال الأكبر حجماً إلى تشكل الكثبان من الرمال ذات الحجوم الأنعم من 0.51 مم .و في الرسوبات الأكثر خشونة تكون التطبقات الابتدائية المتطورة ذات ذرى مستقيمة ، و سعة أقل من الكثبان الحقيقية (Costello & Southard,1981) .و يبدو أنها تنتج عن حقيقة كون الحبيبات الأكبر حجماً، و الأبطأ تعيق تقدم الحبيبات الأصغر حجماً ، و الأسرع حركة .

تنتشر الكثبان الرملية في قواعد الجداول المائية ، وفي أقنية المد، و الجزر ، و الكثبان عبارة عن بنيات أكبر حجماً من تموجات التيارات المائية مع أنها تتشابه من حيث شكلها و بنيتها الداخلية ،غير أنه في الوسط النهري تميل الكثبان إلى إظهار تنوع أكبر في المقطع العرضي و الطولي مما هي عليه الحال في التموجات ، و قد تكون متناظرة ، أو غير متناظرة ، أو محدبة كثيراً ، أو مستقيمة السطح ، و ذلك اعتماداً على الظروف الهيدروليكية الموضعية السائدة .

و تتميز الكثبان عن تموجات النيم من خلال الفروقات في السعة و طول الموجة

انظر (الشكل:4-32). و بشكل عام تشبه الكثبان بنية تموجات النيم ذات الطول الموجي فوق 1م ، و 0.1م ارتفاعاً ، و تختلف عنها في أن الارتفاع و طول الموجة ، و التي تربط بشكل إيجابي مع عمق المياه (Allen,1968;Jackson,1976) .



(الشكل:4-32)-مقارنة كل من الكثبان و التموجات من حيث طول الموجة و الارتفاع ، عن (Allen,1968).

أما القيعان المستوية فتتشكل في كل من التدفقات القريبة من عتبة انتقال الراسب ، و عند السرعات العالية بالشكل الذي يكفي لجرف بنيات الكثبان . في كلتا الحالتين فإن تشكل القيعان المستوية يشمل التعرية ، و الترسيب ، و يمكن أن يخلف وراءه تصفحاً يمكن الحفاظ عليه في الرسوبات القديمة . و من المرجح أن قيعان المرحلة العليا المستوية تنشأ نتيجة للتركيز العالي جداً للرسوبات قريباً من القاع ، و التي تميل إلى تخميد العكارة على أي طبوغرافية ابتدائية للقاع ، و هذا يمنع نماذج التعرية عند إعادة الالتصاق و الترسيب في اتجاه المجرى السفلي للنهر ، و المطلوبة لتشكيل الأرضيات (Leeder,1983).

تتشكل الجروف الصخرية ذات الجسيمات الخشنة أحياناً على سطح الراسب المستوي، و ترتبط هذه بوجود حزوز السرعة العالية ،و المنخفضة ، و التي تعرف بخطوط التيار . وتتكون القيعان المستوية للمرحلة الدنيا نتيجة للعكارة الشاقولية القوية التي تتشكل فوق

حـــدود خشـــنة ، و بســـرعات قريبة من عتبة انتقال الرسوبات .و يميل هذا إلى تثبيط تكون انفصال التدفق بحيث لا يتم تضخيم تشوهات القاع و نشرها في اتجاه مجرى النهر .

و يمكـــن ملاحظـــة التموجات الراكدة في المجاري المنحدرة مع تزايد سرعة تدفق المـــاء فـــوق القاع المستوي في المرحلة العليا . و ينعكس الشكل الموجي المتشكل عند سطح الماء على الراسب الواقع تحته ، و يشار إلى القيعان على أنها كثبان عكسية .تبقى التموجات الراكدة ثابتة نوعاً ما ، و لا ترتحل في اتجاه مجرى النهر ، لكن تكشف الملاحظات الميدانية علـــى أنها مؤقتة ، و تدوم من الناحية النموذجية لعشرات الثواني في الأجزاء المحصورة من التدفق فقط حيث تكون الشروط مفرطة الحساسية (Reid & Frostick,1987).

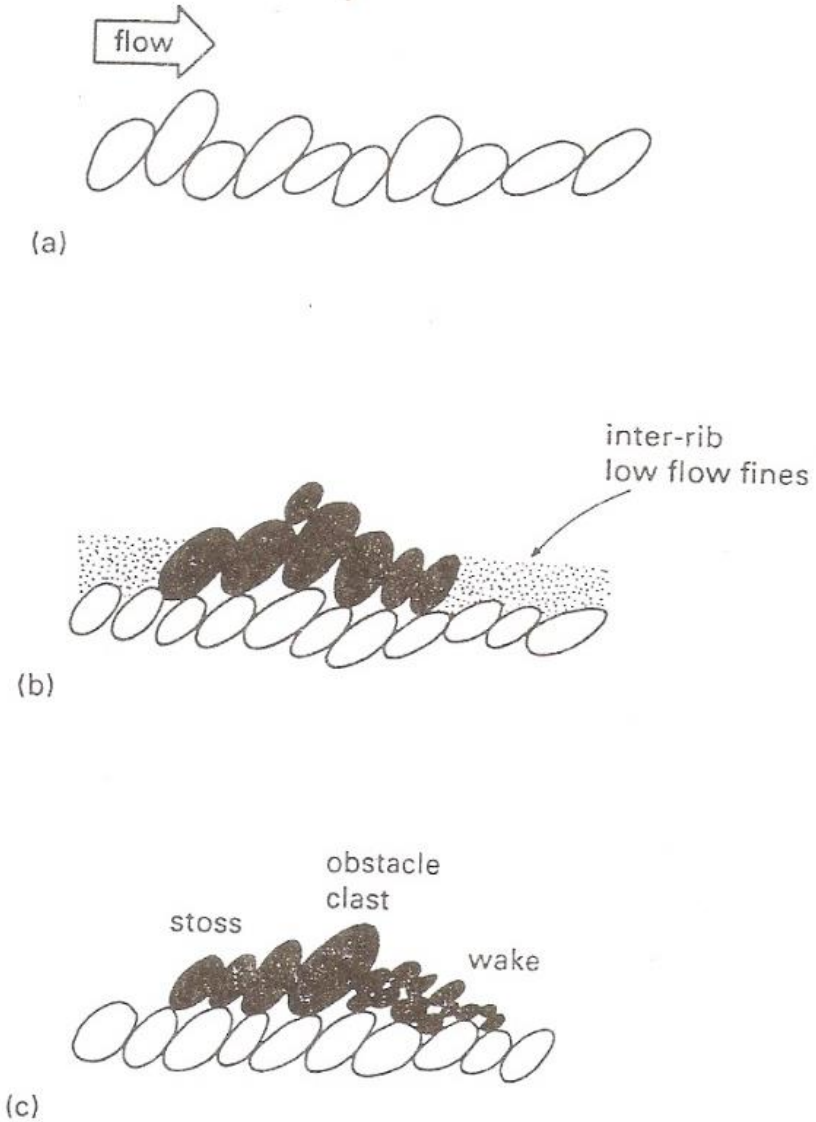
و فـــي الواقع نجدها تتفرق في اتجاه معاكس لاتجاه التيار المائي تاركة سطحا مائياً عالـــي الهيجان لكنه مستو قليلاً ، و ربما سطحاً قاعياً مقابلاً . من المرجح أن الكثبان العكسية تنـــتج غمراً في اتجاه معاكس للتيار ، و قد تم تفسير التطبق المتصالب منخفض الزاوية على أنه نتيجة لارتحال هذه الكثبان العكسية (Kennedy,1961; Middleton,1965) .

إن المشـــكلة الأساســـية لمثل هذا التفسير تنشأ من حقيقة أن القيعان قد تشكلت في شروط ذلك التدفق السريع بحيث أن فرص كل من الانشاء و الحفظ متدنية للغاية ، أضف إلى ذلـــك فـــإن توزيع التموجات الراكدة ضمن القناة خلال تدفقات الغمر منفصلة ، و كل تصفح يمكن أن يتولد سوف يكون عالي التموضع ، و عرضة للجرف مع إعادة ترسيخ شروط القاع المستوي للمرحلة العليا .

أمـــا بالنســـبة للجداول المائية ذات القاع الحصوي فيتم تشكل تطبقات رسوبية ذات مقـــياس صغير ، و تكون الكلاست المكونة لها من نفس رتبة الحجم نظراً لأن الشكل الصغير يبيـــن أنماطـــاً تحولية واسعة التدرج ، و هذا يجعل تمييزها أصعب مما هو عليه في القيعان الرملية.

و تعتـــبر عناقـــيد الحصى من أكثر الأشكال الصغيرة انتشاراً و المعروفة من قبل الباحثيـــن حيـــث درست في عدد من الأنهار ذات كلاست ليتولوجي مختلف ،و بالتالي شكل مخـــتلف (Laronne & Carson,1976; Billi,1988) . و لقد بين براشو (Brayshaw 1984,) مـــن خلال التحليل المفصل لهذه الأشكال القاعية التطبقية المختلفة أنها تشمل على

فتات صخري عائق يكافئ ازاحة لراسب القاع تعادل D_{90} ، و مجموعة من جسيمات الطرف المحجـــوب ، و التي تتراكم استجابة لكل من التداخل الميكانيكي مع انفصال التدفق الناتج عن طـــريق العائق انظر (الشكل:4-33). و قد يكون مقابلاً للقاع الحصوي للتموجات، و الكثبان نظـــراً لكون تباعدها الطولي يبدو ذو صلة بالمقاومة الكبرى للتدفق، و مقاومة منخفضة لنقل الرسوبات .



(الشكل:4-33)- مواد حطامية كلاستية بدائية متنوعة. a)-ضمن قاع مستو. b)-ضمن روافد. C)-ضمن قاع عنقودي حصوي .عن (Brayshaw,1984) .

كما تم ملاحظة الروافد ، و التدرجات و الجلاميد ، و غيرها من التطبقات صغيرة المقـــياس ضمن الجداول المائية ذات القاع الحصوي بحيث تم تفسيرها على أنها أرتال تكافئ الرسوبات الخشنة للكثبان العكسية ، وكتموجات حركية للرسوبات تشبه تلك المفترضة من قبل لانغبـــن و لـــيوبولد (Langbein and Leopold,1968) .و تشكل تراكماً للفتات الصخري

الأكـــثر خشونة ضمن الرسوبات القاعية ، و تشكل بنفسها تدرجات متصالبة الأقنية مع تدرج منحدر في اتجاه مجرى النهر .

7-7-2- المقياس الكبيرة للقيعان :Large -scale bedforms

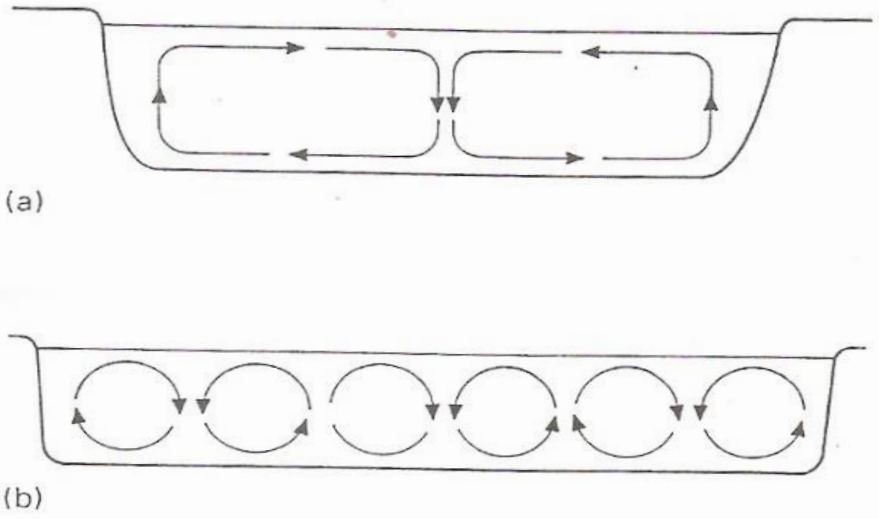
تنتشـــر القـــيعان كبيرة الحجم مدى واسع من أنماط الأقنية من التراكم و الحت ، و التي تقوم في الوقت نفسه بضبط، و عكس مسقط القناة العلوي . و يرتبط مسقط القناة العلوي مباشـــرة بالديناميكية المائية للتدفق و عمليات نقل الرسوبات ، و تبدد الطاقة .و تحاول الأقنية تحقيق التوازن بين التدرج ، و مصدر الرسوبات ، و طرح الماء.

تنـــتج التعديلات في نمط القناة عن التغيرات في طاقة الجدول المائي ، فالتحول من التخدد الأحادي (مستقيم، متعرج ، و غير منتظم) إلى التخدد المتعدد (مجدول ، و أقل تشوهاً) سيكون استجابة للتغيرات في التوازن بين قدرة الجداول ، و بين مقاومة التدفق . و بشكل عام تشكل أنماط الأقنية خطاً متصلاً ، و لكن على الرغم من ذلك فقد جرت عدة محاولات للتمييز بيـــن الجداول أحادية الأخدود (مستقيمة، و متعرجة) ، و الجداول المجدولة على أساس طرح الماء و انحدار القناة .

فبالنسبة للأقنية المستقيمة فتظهر ضمن مسافات قصيرة من مجرى النهر ، و تكون أقل من عشرة أضعاف عرض القناة (Richards,1982).و مع أن الجدول المائي مستقيم إلا أن الـــتدفق لـــيس متجانساً في اتجاه مجرى النهر الأمر الذي يعكس تطور منحدرات مجرى النهر ، و البرك .

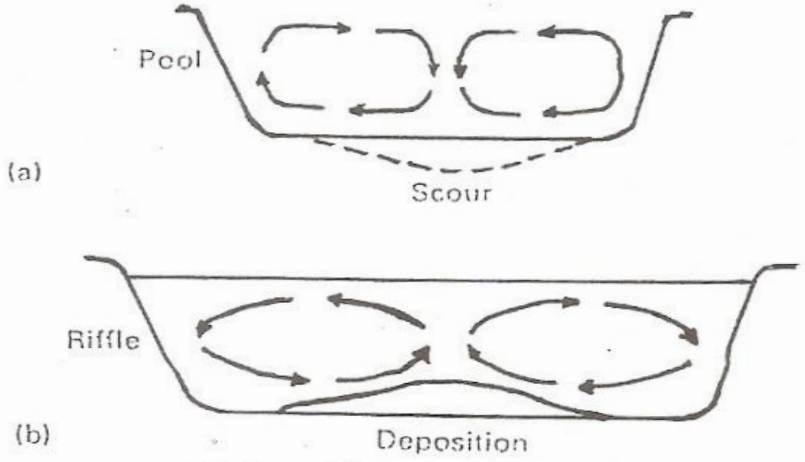
أما المنحدرات النهرية فهي عبارة عن مرتفعات طبوغرافية على البروفيل الجانبي للجدول المتموج ، و تتباعد نموذجياً على مسافات تقارب خمسة إلى سبعة من عرض القناة ، و تحـــتوي عـــادة على أكثر مكونات القاع خشونة (Leopold et al. ,1964; Richards, 1978).أمـــا الـــبرك ،و كما يشير اسمها فهي عبارة عن تلك المنخفضات المقابلة للمرتفعات حيـــث تتوضع فيها أكثر الرسوبات القاعية نعومة في التدفقات المنخفضة الشدة على الأقل.أما فـــي الـــتدفقات عالية الشدة فقد توجد مواد متبقية خشنة (Lisle,1979) .و تشير الملاحظات حـــول مجموعـــات المـــنحدر الـــنهري و الأحواض إلى أن المنحدرات النهرية خلال التدفق المنخفض نسبياً تكون مناطق ذات سرعة تدفق عالية و تدرج مسطح مائي منحدر .

يتميز التدفق في جميع الأقنية المستقيمة، و المتعرجة بكونه يتطور على شكل سلسلة خلايـــا الجريان الدورانية الثانوية بحيث يعتمد عددها إلى حد كبير على نسبة العرض-الخاصين بالتدفق . و قد تحتوي الجداول الضيقة العميقة على اثنتين فقط بينما يمكن أن التدفق في الأقنية العريضة الضحلة العمق إلى عدد أكبر (الشكل:4-34).



(الشكل:4-34)-الخلايا الجريانية الثانوية . a)-خليتين ثانويتين في مجرى قناة ضيقة.
b)-عدد من الخلايا الجريانية الدورانية الثانوية في مجرى قناة واسعة .

لقـــد تفحص كل من كيلر و ميلهورن (Keller and Melhorn, 1973) الفروقات نماذج المختلفة للجريانات في مجاري الأنهار و الأحواض حيث وجدا أن التدفق الثانوي رك هو على الشكل الذي يجعل الماء يتحرك نزولاً نحو الأسفل في اتجاه القاع مزيداً من حدوث التعرية ، و بالمقابل فإن التدفق في مجاري الأنهار ينحدر في المركز مائلاً إلى لماء بسرعة عن القاع مما يقلل من القص و يقوي الترسيب (الشكل:4-35) .



(الشكل:4-35)-a)-يمثل نماذج الكنس و زيادة تعرية القاع في البرك . b)-زيادة عملية الترسيب في المنحدرات الاخدودية.عن (Richards,1982) .

أمـــا بالنسبة للأقنية المتعرجة فتوجد بنسبة أكبر من الأقنية المستقيمة حيث غالباً ما تـــتحول الأقنـــية المســـتقيمة غير المستقرة ضمن مجرى النهر إلى أقنية متعرجة .إن الصفة المميزة للجداول المتعرجة هي انحناء النهر المتكرر، و غالباً المقاييس الكبيرة ، و في عدد من الحـــالات هجـــرة هـــذه الانحـــناءات بشكل جانبي عبر سهل الفيضان و باتجاه الجزء السفلي للجدول.

و ينتج ذلك من خلال التعرية الانتقائية ، و حفر الضفة المقعرة /المنحدر المقعر/ ، و ترســـيب المـــواد الرسوبية على شكل شريط على الضفة المحدبة (Thorne & Lewin, 1982).و تـــبدو معـــدلات الهجـــرة ، و كأنها تابعة لتقوس المنحني ، و قوة التيار، و ارتفاع الضفة الخارجية ، و قدرتها على مقاومة الكنس و الحت .

أما بالنسبة للأقنية متعددة التسننات فيمكن تقسيمها إلى نوعين من المسطحات المائية المخـــتلفة :الأنهار المجدولة ، و المتشابكة .حيث تتميز الأنظمة المتشابكة برسوبات سريعة و انحـــدارات قليلة ، و رمل محدد جيداً ، أو أقنية ذات قاع حصوي ، و التي تغذي المسطحات المائية (Smith,1983) .

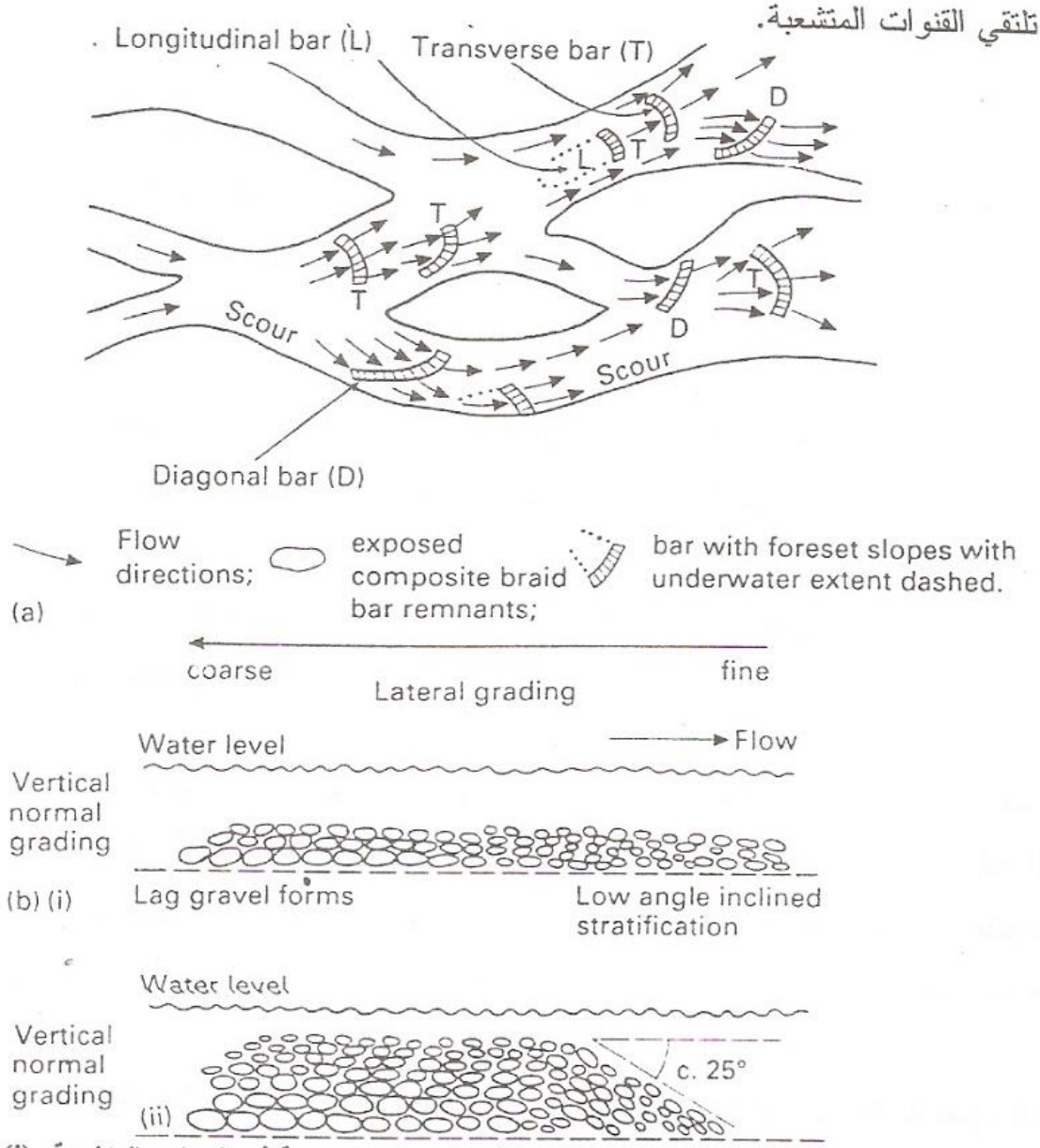
تفصل القنوات المتعرجة أحادية التسنن، و المنتظمة بواسطة سبخات ، أو مستنقعات ،أو مناطق رطبة ، و تختلف عن القنوات المتعرجة أحادية التسنن المنتظمة بطبيعتها المتفرعة ، و الترســـيب الســـريع .وتعتبر هذه القنوات ميزة للمناطق النشطة تكتونياً حيث يسطر الطين علـــى الحمولـــة الرســـوبية ، و يؤدي إلى تطوير الضفاف، و جعلها متماسكة (Smith & Putnum ,1980).

و علـــى العكس تملك الجداول المجدولة، أو المتشابكة أقنية ضحلة و غير مستقرة ، و مفصولة بأشرطة مجدولة نشطة، و مهاجرة . و تفضل القنوات المجدولة على بقية الأنواع خصوصـــا عندما تكون انحدارات الوادي عالية ، و حيث يكون التدفق كبيراً ، و متنوعاً ، و حيـــث تكون الضفاف غير متماسكة، و غير قابلة للنمو، و أيضاً حيث تصريف حمولة القاع عالياً .

و تصـــبح القـــنوات الضحلة العمق التي تشكل خلايا دورانية ثانوية مميزة للتدفقات الفيضـــانية فـــي الجداول العميقة و الضيقة غير مستقرة عند اتساع المجرى و تنقسم إلى عدد أكبر من الخلايا الدورانية الصغيرة .

لقد صنفت الحواجز المجدولة بعدة طرق من قبل عدة باحثين أمثال (Church , 1972; Smith,1974; Ferguson & Werity, 1983). حيث تجاهلت هذه التصانيف كون أن هـذه الحواجـز تتـبدل ، و تتغير بشكل مستمر من حيث الشكل ، و المكان ، و يمكن أن تتطور تماماً إلى الأمام ، و الخلف من شكل لآخر.

توجـد ثلاثـة أشكال رئيسة للأشرطة ، أو الحواجز وهي: شكل متطاول ، و شكل مسـتعرض ، و شكل قطري (الشكل:4-36). و يسيطر على قمم الحواجز أجزاء خشنة من الرسوبات المحمولة بواسطة الجداول المائية .و تصبح هذه الرسوبات أكثر نعومة باتجاه أسفل الجـدول، و ينتهي الحاجز بسطح منحدر عند نهاية عكس التيار لفتحة الكنس ، و التي تتطور حيث تلتقي القنوات المتشعبة.



(الشكل:4-36) a-) -الخصائص الموفولوجية للتوضعات الرسوبية في الحواجز المتشعبة. b(i)- حواجز طولية و قطرية. ii)-حواجز مستعرضة/عرضية/، عن (Collinson, and Thompson,1982) .

7-8-البنيات الرسوبية في التوضعات النهرية المحمية:

Sedimentary structures in preserved fluvial deposits

تترك هجرة الأشكال القاعية آثاراً، و مسارت في المواد القاعية على كافة المقاييس بحيث يمكن أن تستخدم لاحقاً في التفسير الهيدرولوجي ، و الهيدروليكي للطمي القديم ، و الطمي المتوضع حديثاً (Baker,1973; Bridge,1978; Ethridge & Schumm,1978). ، و بشكل مستكرر تكون التراكيب الداخلية التي تنتج عن مرور الأشكال القاعية الصغيرة المقياس أكثر وضوحاً حيث يمكن رؤيتها كاملة في بروز ، أو عرض محدد نسبياً .أما البنيات الكبيرة فتكون واسعة جداً بحيث تسجل على شكل سلسلة من الأشكال المستعرضة المتجاورة .

7-8-1-البنيات الرسوبية ذات المقياس الصغير:

نذكر من هذه البنيات الرسوبية الصغيرة التموجات، و الكثبان الرملية ، و التطبقات المستوية .تنتج هجرة كل من التموجات و الكثبان التطبق المتصالب الذي يختلف في خواصه وفقاً لنموذج شكل القاع الأصلي .و لقد تمت عدة محاولات لتصنيف التطبق المتصالب فيما يخص التورقات الفردية و العلاقة بين مواقع التورقات ، و لكن تعقيدات التصانيف و صعوبتها تحد كثيراً من استخدامها بشكل عادي .و بشكل عام يحدد التطبق المتصالب من خلال الشكل القنواتي ، أو الجدولي المسطح.

تخلف هجرة التموجات ورائها وحدات من مجموعة من التورقات المتصالبة بسماكة 3-4 سم حيث تتألف كل منها من تطبقات مائلة مقعرة نحو الأعلى ذات مماسات علوية مبتورة حادة . تكون المجموعات عادة غورية الشكل عند رؤيتها في مقطع عرضي .لكن بعض القيعان يمكن أن تكون مسطحة ، و تنتج عن هجرة التموجات و تكون قممها أكثر استقامة .

و بشكل عام تميل التموجات شبه اللسانية لانتاج مجموعات غورية معترضة ، و تموجات مستقيمة ، و مجموعات أكثر تسطحاً .كما أن الكثبان تولد أيضاً تطبقاً متصالباً لكن على نطاق أوسع ، و بمدى أكبر بالنسبة إلى المعقدات صغيرة الحجم .

أما الكثبان ذات القمم المستقيمة فتميل إلى تشكيل مجموعات معترضة مسطحة ، بينما تخلف الكثبان الأكثر تغيراً في تضاريسها السطحية مجموعة من التطبق المتصالب الغوري. و نادراً ما تتجاوز سماكة المجموعات الغورية 1.5 م، و يصل عرضها حتى بضعة

و تختلف المجموعات المتشكلة بشكل واضح عن [illegible] تكون غالباً أقل من متر واحد .و تمتد جانبياً لمسافة بضعة عشرات من الأمتار ، و قد تكون ذات قواعد إما زاوية ، أو مماسية .

تنشأ التعقيدات في البنية عن التقلبات الكبيرة في شروط التدفق خلال مرور موجة فيضانية. و يمكن لتعرية القمة أن تقطع سطح الموجة العلوي . و تؤدي هجرة الكثبان الصغيرة الحجم الموجودة خلف الكثبان كبيرة الحجم غير النشطة إلى التراكب الفوقي للمجموعات المعترضة الأصغر حجماً على المجموعات الأكبر ، و المفصولة عنها بواسطة سطح التعرية .

إضافة إلى ذلك فإن صفات الاندفاعات الصغيرة المقياس تنشأ غالياً على أطراف الكثبان المتلقية للدفع . و قد تولد أشكالاً قاعية صغيرة جداً تهاجر للأعلى عبر السطح العلوي مخلفة ورائها تطبقاً متصالباً كدلالة على مرورها .

و تحصل التغيرات في الشكل التحولي للكثبان عند انتقال التدفق من شروط التدفق المنخفضة إلى شروط التدفق العالية خلال الانتقال إلى الطبقة المستوية ، و هذا يولد تشكيلة متنوعة من الأشكال التي تتدرج من الأشكال اللامتناظرة مروراً بالمتناظرة إلى المحدبة التي تترك خلفها أنماطاً مختلفة من التطبق المتصالب (الشكل:4-37) .

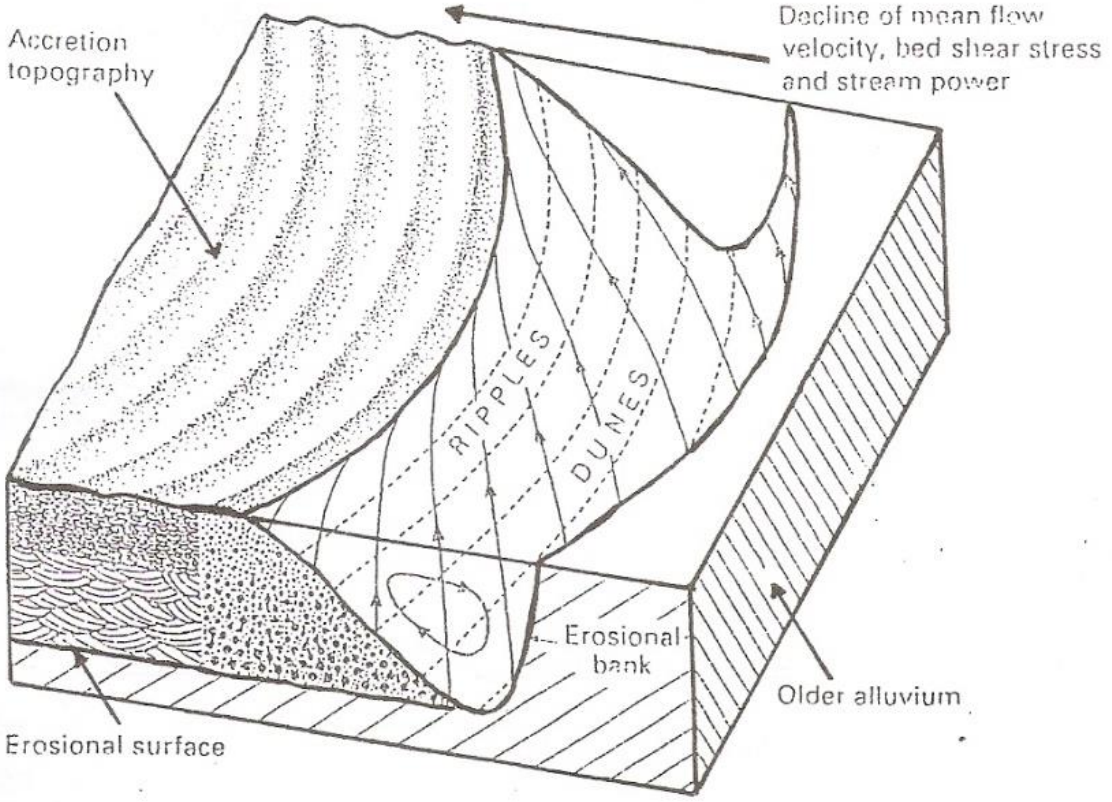
أما التطبقات الصخرية المستوية فلها سجل تطور واضح حيث تكون على شكل رقاقات مستوية ، و هذه مميزة للرسوبات النهرية سريعة الزوال .و توجد عدة نظريات تحاول تفسير تشكلها مثل أنها تتشكل نتيجة لمرور الأمواج القاعية منخفضة التضاريس (Bridge & Best,1988) ، مروراً بعملية الاندفاع الهائج (Paola et al.,1989) إلى النبضات القوية في التدفق التي تلاحظ في أنهار المناطق الجافة (Frostic & Reid,1977, 1989) .

أما سماكة الصفائح المستوية فلا تزيد في أغلب الأحيان عن 5-20 من قطر حباتها ، و يوجد فرز حجي ، أو فرز حسب كثافة الحبات بين التورقات المتجاورة .أما في الأنهار ذات القاع الحصوي فيحفظ السجل الأساسي للأشكال القاعية السابقة في ترتيب الكلاست ، و في البنية التركيبية ، أو الطراز (fabric) في الراسب .

و يمكــن تمييز الكتل الحصوية عند وجود مواد كلاستية معيقة للحركة حيث تتكدس في طريق الجسيمات صغيرة الحجم و تمنعها من التنقل . إضافة إلى ذلك فإن الطرف الخلفي منها يحتوي على رسوبات أكثر نعومة مرتبة على شكل رتل و موجهة باتجاه التدفق السائد ، و تعمل كمؤشر على الحركة.

7-8-2- البنيات الرسوبية الكبيرة :

تتميز البنيات الرسوبية الكبيرة بتنوعها حيث تميل لأن تعكس الاختلافات في عملية تشكل العلاقات التي تميز الجداول أحادية المجرى ، و الجداول متعددة المجاري ، و نذكر من هذه البنيات : الجداول المتعرجة، و الأقنية المتشابكة، و الجداول المجدولة.لقد درست رسوبات الجــداول المــتعرجة ، و آلــية نشــؤها و تطورهــا من قبل عدد من الباحثين من أمثال (Allen,1970; Bridge,1977).تكــون الأقنــية المسطحة بسيطة ، و تعتمد شكلاً موجياً ذا منحنــي جيبي لأجل تجنب تعقيد بنية التدفق المعقد في الأصل .و يفترض أن نمط الترسيب مرتــبط إلــى حــد كبير بالتصريف الركامي عندما يتوقع أن يكون القص القاعي عبر القناة للتيارات الثانوية قد تطور بشكل كامل بين التقوسين (الشكل:4-38) .



(الشكل:4-38)-يبين النماذج النظرية للتوضعات حول القناة و ارتباطها مع حركة السائل ، , Cross-lamination; , cross-bedding; , decreasing grain size; ——— , skin-friction line; – – – , constant stream power. **عن (Allen,1970).**

تكـــون أنماط الترسيب في الأقنية المتشابكة أقل توثيقاً، و دراسةً من أنماط الترسيب في الجداول المتعرجة ، و الجداول المجدولة. أما السمة الأساسية للأنهار فهي ثبات الأقنية مع تثبيـــت الضفاف القوية غالباً بواسطة الغطاء النباتي ، و الصعود الشاقولي السريع . و نتيجة لذلـــك فـــإن المســـطحات الرملـــية المكونة ذات صفة شريطية و سميكة نسبياً لكنها محدودة العرض.

لقـــد حظيـــت البنية الداخلية للرسوبات بالقليل من الاهتمام ، و تشير دراسة سميث لـــنهري كولومبيا ، و ساسكاتشيفاني في كندا إلى أن الأشكال القاعية السائدة عي الكثبان ذات القمـــم المستقيمة ، و بالنتيجة فإن البنيات الرئيسة لحشوات الأقنية يرجح أن تكون مجموعات معترضـــة مســـطحة مرتـــبة في دورات متعددة التطبقات ، و تغيب بالكامل رواسب التراكم الجانبي في الجداول المتعرجة .

أما بالنسبة للجداول المجدولة فيسود فيها أنماط مختلفة من الترسيب و تشمل فروع القـــناة الواســـعة ضـــحلة العمق . وتختلف طريقة التخلص من الكلاست ، و البنيات الداخلية اعـــتماداً علـــى حجم الحبات المهيمنة على مادة القاع . ففي الرواسب الخشنة تبدي الرواسب الطولية ، و المائلة انخفاضاً مميزاً في حجم الحبات وفق اتجاه جريان النهر.

و تضـــم داخلـــياً حصـــى كتلية ، و أفقية التطبق ، جيدة التطابق على الأغلب . و تتـــناوب طبقات الحصى المملوءة و المخرمة بشكل متكرر ، و قد تمثل التقلبات الحاصلة في الـــتفريغ (Smith,1974) . و ينشـــأ التطـــبق المتصالب في حالة وجود المنحدر عند نهاية المجـــرى الســـفلي للـــنهر، و بالمقارنة فإن الرواسب الحصوية المستعرضة تميل إلى تكوين صفائح واسعة من الرسوبات ذات التورق المتصالب مع سطوح تعرية متعددة.

وفـــي الجـــداول المجدولـــة التي يسود فيها الرمل يكون نوع الراسب المهيمن هو الراســـب المســـتعرض الذي يمكن أن يأخذ أشكالاً متعددةً ، و تترك وراءها مجموعات رملية ذات تطـــبق متصالب كنتيجة للانهيارات و هجرة سطوح الانزلاق في اتجاه حركة الجدول ، أضـــف إلى ذلك أن المسطحات الرملية سحنة شائعة، و مميزة للجداول المجدولة . و في هذه الحـــالات لا توجـــد ســـطوح انزلاق ، و هي تتدرج على نحو غير محسوس إلى مادة القناة المجـــاورة ، و فـــي بعض الأقنية تكون المسطحات المائية ذات صفات ثابتة جداً ، و تنتشر جانبياً بفعل تطورها، و تتشكل نتيجة الاندماج مع الرواسب الرملية الأخرى الأصغر حجماً،

لهذا السبب فإن تراكيبها الداخلية معقدة ، و تضم التطبق المتصالب المسطح في تشكيلة متنوعة الأحجام ، و ذات توجهات متشعبة.

7-9- السهل الفيضاني: The floodplain

تختلف مساحة سهل الغمر التي تشغلها القناة النشطة باختلاف شكل النهر ، و التضاريس السطحية ، فالأنهار أحادية المجرى تشغل في أغلب الأحيان جزءاً صغيراً من عرض الوادي مع أنه قد سجلت أمثلة في مواضع شبه جافة حيث وسعت الفيضانات ذات فاصل التكرار الواسع النسبة المئوية للقاع المعطاة لقناة إلى حوالي 100% ، و حتى يسترد النظام صفته السابقة (Schumm & Lichty, 1963; Burkham,1972).

كما يمكن أن تشغل الأقنية المجدولة ما يقارب من 100% من مساحة السهل الفيضاني . و يؤدي الغسل الجليدي بشكل خاص في أغلب الأحيان إلى توضع رمال كنتيجة للرسوبات الغزيرة المتوفرة كحمل قاعي (Collinson,1970; Church,1978) .حيث أن أجزاء الغور التي لا تشغلها منظومة أقنية نشطة يمكن أن تغمر بشكل دوري ، و يعتمد ذلك على تكرار التدفق فوق الضفة ، و هذا يعني أن الترسيب أكثر تقطعاً من الترسيب في منظومة القناة ، كما أن طبوغرافية السهل الفيضاني تشير إلى أن الترسيب كان متقطعاً،و ليس مستمراً.

7-9-1-تفاعل القناة و السهل الفيضاني:

تختلف عمليات و نتاجات التدفقات فوق الضفة بشكل كبير عن متتاليات القناة المجاورة حيث تحتوي على دليل أقل على القيعان المهاجرة ، و هي على العموم أكثر نعومة ، و تبلغ نادراً أحجام الحبات الأخشن من الرمل الناعم ، و بشكل محلي فقط بالقرب من الأقنية النشطة (Kessel et al.,1974; Nanson & Young,1981) .

عند انتشار تدفق ذي أقنية ما وراء الضفة ليشمل المناطق العريضة المنبسطة للسهل الفيضاني يحدث تفاعل قوي بين التدفقات في المنطقتين .و بشكل عام هنالك انتقال للقوة الدافعة بين تدفق القناة العميقة السريع ، و تدفق السهل الفيضاني الضحل و البطيء حيث ينتج عن ذلك نقص في سرعة التدفق ، و في قيمة القص في القناة ، و زيادة متزامنة في كل من الاحداثيين الهيدروليكيين في المنطقة الواقعة فوق الضفة مباشرة (James,1985) .

يترافق انتقال الطاقة مع تدفق الراسب المعلق من القناة إلى السهل الفيضاني ، و

يحصل هنا الاستقرار السريع مع تلاشي سرعة التدفق ، و استطاعة النقل استجابة للتدرجات الأدنـــى ، و ازديـــاد مقاومـــة التدفق (Pizutto,1986). و تعتمد أشكال التدفق ، و معدلات انخفـــاض السرعة على طوبوغرافية السهل الفيضاني ، و على الغطاء النباتي ، و نتيجة لذلك فـــإن توزع الرواسب خارج الضفة ، و الاختلافات في خصائص أحجام حباتها سوف يعكس حجـــم القـــناة ، و الشكل العلوي لتضاريسها، و طوبوغرافية السهل الفيضاني(Lambert & Walling,1987; Walling & Bradiley, 1989) .

7-9-2-عمليات التراكم الشاقولي و الجانبي:

لقـــد قسم بوتزر (Butzer, 1976) السهول الفيضانية إلى فئتين : الأنواع المحدبة المتشكلة بالتراكم الشاقولي ، و الأنواع المسطحة المتشكلة بواسطة التسارع الجانبي لرسوبات القناة ، و يشدد معظم العلماء على الدور الذي يلعبه التراكم الجانبي في تطور السهل الفيضاني . و لقـــد ترســـخت وجهة النظر هذه منذ مـا يزيد على الخمسين سنة مضت حيث تم اقتراح نموذج ترسيبي يهيمن عليه هجرة الأقنية عبر السهل الفيضاني ، و سلسلة ناتجة عن رواسب حاجزية نقطية متراكمة جانبياً(الشكل:4-38).

ينتج التراكم الشاقولي من التدفقات فوق الضفة فقط طبقة رقيقة ناعمة الحبات على سطح السهل الفيضاني ، و قد حظي هذا الشكل بقبول واسع ، و نشر في العديد من المجلات العلمـــية . و قـــد اقترح مؤلفون آخرون هيمنة مماثلة للترسيب خارج ضفاف نهر الميسيسبي الشمالي .و لعدد من الأنهار في بابوا غينيا الجديدة، و الأنهار المختلفة في شرقي بريطانيا.

أما الأمر ذو الأهمية الخاصة فهو هيمنة النمو الشاقولي على السهول الفيضانية ذات التشـــابك مـــنخفض الـــتدرج .و تعتبر التغيرات ثابتة الموضع كدلالة على سرعات الفيضان المنخفضة، و الضفاف الملتحمة، و اللذين يحدان من حت و تعرية الضفاف ، لذلك فإن الآلية الأساسية لحركة القناة هي الانفصال المفاجئ ، و ليس الانتقال الجانبي المتصاعد.

و تشـــير الدراســـات الأخـــيرة إلى إسهامات واسعة الاختلاف في رواسب السهل الفيضي من مصادر القناة ، و خارج الضفة .و يدل التوازن بين التراكم الشاقولي ، و الجانبي على استقرار القناة الذي يعكس بدوره مصدر الراسب من القناة و ما فوق الضفة .و قد يكون التراكم الشاقولي مميزاً للأنهار الدائمة الجريان في البيئات الرطبة أكثر منه بالنسبة لجداول

لمنطقة القاحلة ، التي تدوم لفترة قصيرة (Reid,1994) .

تـــتراكم رسوبات الضفة طبقة فوق طبقة عند مرور موجات الفيضان المتلاحقة ، و التـــي ترتفع فوق الضفاف .و يكون التراكم الشاقولي ذاتي التحديد نظراً لكون النمو الشاقولي للســـهل الفيضي سيأخذه في نهاية المطاف إلى التوسع. لكن تعرية السهل الفيضي إما بواسطة الأقنية المهاجرة جانبياً ، أو من خلال حوادث الفيضانات الكبرى يمكن أن تجرد رواسب فوق الضفة و إعادة تهيئة السلسلة لفترة أخرى من الترسيب.

فـــي الأنظمـــة النهرية حيث التراكم الشاقولي هو العملية السائدة في السهل الفيضي يمكـــن أن تـــؤدي الفيضـــانات الدورية إلى توضع بنيات تراكب- قطع معقدة التركيب ضمن الرسوبات (Nanson,1986).

و يمكـــن أن يدوم التراكم الشاقولي لفترات زمنية أطول في شروط عدم التدرج ، و فـــي حال ارتفاع مستوى القاعدة يمكن للنهر أن يرسب الكثير من حمولته .و قد تنتج رسوبات كثـــيرة بسبب التطور التكتوني ، أو المناخي للأراضي و تنتج موجة من الرسوبات تهبط إلى أسفل المنظومة و تؤدي إلى رفع القاع (Fisk,1939; Tinkler,1971; Maizels,1979).

و بالطـــبع قـــد يكون التراكم الشاقولي مختصراً أيضاً مثلاً عن طريق البروز ، أو هـــبوط فـــي المســـتوي القاعدي ، و في مثل تلك الحالات سوف تميل القناة إلى القطع مخلفة السهل الفيضي الذي يكون أوسع من جميع الفيضانات السابقة باستثناء الكبيرة حجماً .

لقـــد اقترح نانسون نظرية لتفسير تكون السهل الفيضاني تضم كلاً من عمليتي النمو الشـــاقولي ، و الجانبي حيث يرى أن سهول الفيضان تمثل توازناً بين طاقة الحت ، و مقاومة الطمـــي .و أيضـــاً أنهار الأراضي المرتفعة عبارة عن منظومات عالية الطاقة تحفر مسارات ضـــعيفة تعوق نشوء السهل الفيضي .و في الممرات الأكثر عرضاً يتراكم الطمي الخشن فقط بين مواقع الفيضان الكبيرة ، و الصغيرة.

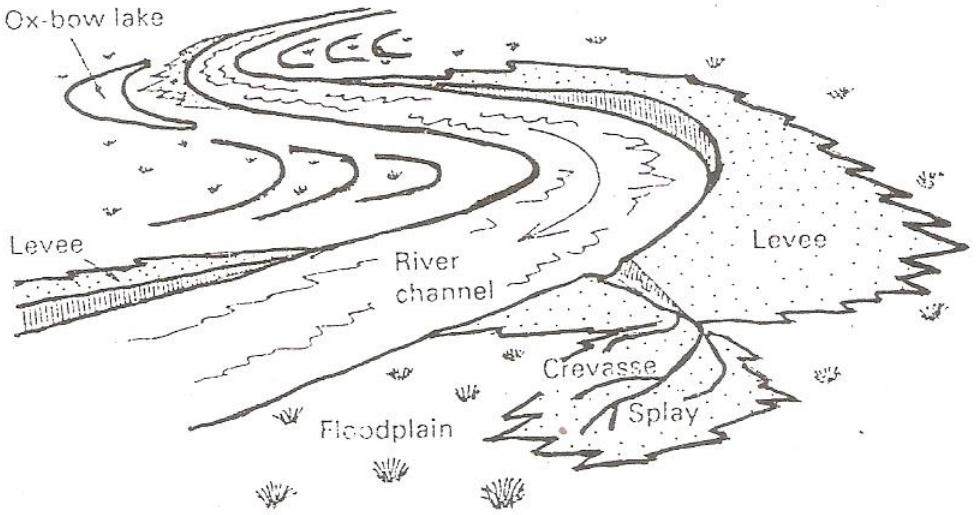
يكـــون النهر قوياً في الأودية الأكثر اتساعاً ، و الأقل انحداراً حيث تنحصر الهجرة لســـبب مـــا عـــن طريق بروز الطبقة الصخر للقاع على سبيل المثال سوف تتشكل السهول الفيضانية عن طريق النمو الشاقولي لكنها تحت بشكل عرضي .و لقد جرى توثيق ذلك بالنسبة

لـــبعض أنهـــار المـــناطق القاحلة من قبل (Schumm & Lichty, 1963)، و في المناطق المعتدلة (Nanson,1986) .

تتشكل في هذا الجزء من النهر أهم الفيضانات كبيرة الحجم و التردد الضعيف حيث تقـــوم بجرد الرسوبات المتراكمة و تعيد ترتيب الدورة الرسوبية . في الأغوار الأقل انحداراً حيـــث توجـــد الهجرة الجانبية سوف يسود النمو الجانبي في السهول الفيضانية .و سوف ينشأ التدفق النمطي في اتجاه الأعلى متتاليات من الحصى و الرمل و تغطى بطبقة من رواسب ما فوق الضفة ذات الحبات الأكثر نعومة .

تقـــوم الفيضانات ذات التردد العالي، و الحجم المعتدل من الرسوبات بحت و تعرية ضفاف الأنهار، و تؤدي إلى انهيارها لاحقاً ، و بالتالي تقود إلى هجرة الأقنية .و عندما يكون الـــتدرج منخفضـــاً جداً تصبح طاقة الجداول غير كافية لحت و تعرية الضفاف ، و بالتالي لا تحدث هجرة الأقنية ، و يصبح التراكم الشاقولي عملية الترسيب الرئيسة في السهل الفيضي.

و عـــادة ما تعكس الرواسب حالة التوازن القصوى للنهر إلا أنه في المواضع التي تكون فيها طاقة الجدول غير كافية للحفاظ على القناة فإن البناء الرسوبي قد يخفض من قدرته ، و نتـــيجة لذلك فإن تدفقات ما فوق الضفاف يمكن أن تزيد من ترددها ، و قد يتسارع البناء الشاقولي .



حسب (Leighton, and Pendextr,1962) .

(الشكل:4-39)-رسم تخطيطي يبين المورفولوجيا السطحية للفيضانات النهرية.

7-9-3-رسوبات السهل الفيضي:

يمكن التعرف على تشكيلة من البيئات الرسوبية التي تشمل أقساماً مهجورة من القناة يحتفظ بها على الأغلب على شكل بحيرات صغيرة ، أو مستنقعات ، و حواجز ، و منحدرات صدعية عميقة ، و منحدرات نهرية (Coleman,1969; Singh,1972) انظر الشكل (4-39) .

إن هـذه السـمات السترتغرافية تكسب السهل الفيضي طبوغرافية دقيقة تحرف، و تعـيق تدفقـات مـا فوق الضفاف ، و يمكن أن تعزز الترسيب ، و تشجع إعادة التوضع في المكان،و تنشأ الحواجز على أطراف القناة نتيجة للترسيب السريع لمكونات الحمل المعلق ذات الحـبات الخشـنة . و نتيجة لذلك يلاحظ نقصان سريع في كل من حجم الحبات ، و سماكة الرسوبات بعيداً عن قناة المصدر .

يمكـن أن تـتخرب الحواجز موضعياً بواسطة الصدوع العميقة . في البدابية ترتفع مـياه الفيضـان فـوق الحواجز في النقاط الطبوغرافية المنخفضة ، و التي تزيد التعرية من انخفاضها. و يترسب الحمل المسحوب بواسطة التدفق المحصور في الصدوع العميقة مباشرة مـع انتشـار المـياه على السهل الفيضي ، و تتشكل كتلاً مفصصةً من الرسوبات يشار إليها بانحدارات الصدع العميق .

تمتد هذه الرواسب غالباً إلى ما وراء الحافة القصية للحاجز ، و تصبح بينية التطبق مـع رواسب السهل الفيضي الأكثر نعومة ، و تكون عبارة عن أسافين رملية ، و تبدي دليلاً داخلـياً علـى الترسـيب فـي شروط التدفق المتضائل ، بما في ذلك القيعان المتدرجة ، و الأرضـيات التـي تتراوح من الكثبان مروراً بالتعرجات وصولاً إلى القيعان ذات الأرضيات المستوية.

و بشـكل عـام تكون انحدارات الصدوع العميقة ، و الحواجز عبارة عن المواقع الوحـيدة ضـمن رواسـب ما فوق الضفاف حيث تكون أرضيات القاع الرسوبي ذات أهمية خاصـة ، و تبدي الحواجز غالباً تصفحاً متموجاً، و هو الدليل على طبيعة الترسيب السريعة جداً .إن احتمال حفظ الرواسب قريباً جداً من القناة منخفض نسبياً ، وفي حال بقائها فعلياً فإن حفظ البنى الباطنية الأصلية بشكل يمكن تميزه سوف يعتمد إلى حد كبير على المناخ السائد .

قد تكون رواسب ما فوق الضفة المتوضعة بعيداً عن الأقنية الرئيسة ، و ما وراء

الحواجــز قد نشأت على شكل طمي ، و طفل ناعمين ، كما أنها تبدي بشكل عام قرباً للتدفق الأقصـــى ، و تكــون صـــفائحية ، و كل طبقة رسوبية ناتجة عن فيضان معين مع اختلاف سماكاتها محلياً داخل السهل الفيضي ، و بالمقارنة مع الطبقات الأخرى يتجاوز عدد قليل من الصـــفائح الفيضـــية الموثقـــة بضـــعة سنتيمترات ، و القسم الأعظم منها تبلغ سماكته بضعة ميليمترات فقط (Brown,1983; Lambert & Walling, 1987, 1992).

يقـــوم الغطـــاء النباتي في السهل الفيضي بالإسهام في الترسيب فوق الضفاف ، و يعتبر مقدار و صفة المادة العضوية في الراسب دلالة على المناخ ، و قربه إلى المحيط ، أو البحيرة ، أو أحواض التصريف المغلقة .

و فـــي المـــناطق الرطبة قد تحتل المستنقعات المواقع البينية بين الأقنية ، كما هي الحـــال فـــي حوض نهر أتشافالايا حيث المواد العضوية عالية ، و يمكن أن تتراكم رسوبات سميكة في الشروط الأكثر جفافاً حيث تكون المواد العضوية ضئيلة ، أو غائبة .

و توجـــد غالباً ملامح الجفاف مثل التشققات الطينية ، و قد يكون هنالك دليل على إعادة النقل الريحي ، و التراكم حول بقع معزولة من الغطاء النباتي (Cooke & Warren, 1973; Goldsmith ,1973) .و يمكن أن تتراكم كميات كبيرة من الطمي الذي نقلته الرياح فـــي الســـهل الفيضـــي ، و توجد رواسب الكثبان في أغلب الأحيان متطبقة بينياً مع رواسب الجداول سريعة الزوال .

ثانياً: النقل و الترسيب بالهواء:

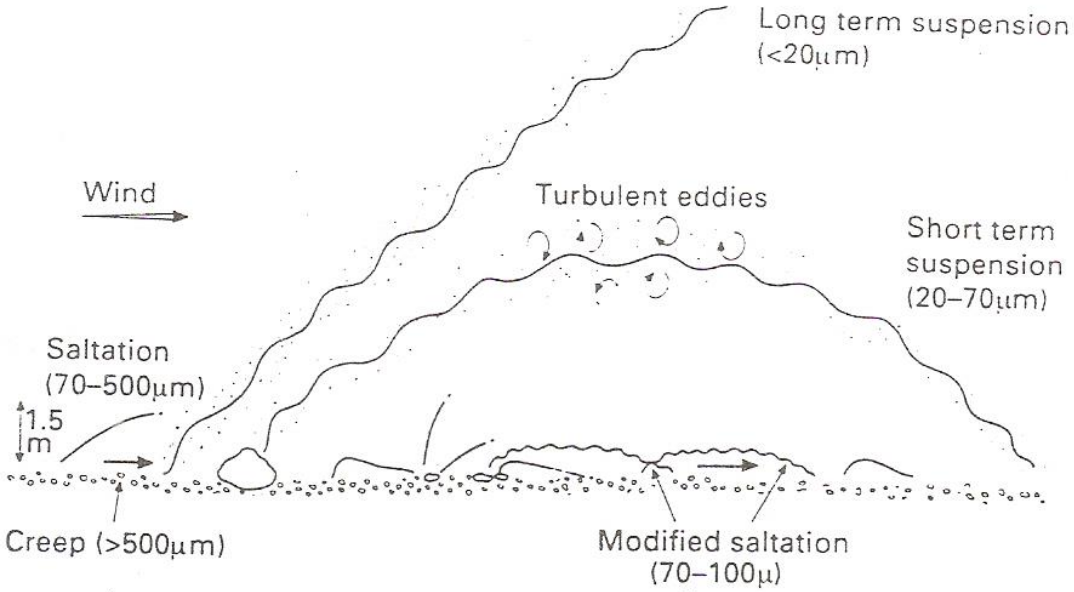
تخـــتلف عملـــيات الـــنقل و الترسيب بواسطة الهواء عن عمليات النقل و الترسيب الأخـــرى ، و ذلـــك فـــي كون الرسوبات التي تنقل بواسطة الهواء يمكن أن يتم توضعها ، و ترســـيبها فـــي مـــناطق أعلى من مناطق حتها ، و تعريتها، كما أن النقل الريحي يشبه النقل البحري حيث تتحرك الرسوبات باتجاهات مختلفة غير أن المواد المنقولة بواسطة مياه البحار ينتهـــي بها المطاف ، و تترسب في الأحواض العميقة ، بينما المواد المنقولة بالهواء لا يعرف بالضبط أين سوف تترسب و تستقر أخيراً .

وبشكل عام ترتبط مقدرة الهواء على حمل المواد الرسوبية بشكل مباشر مع سرعة الـــرياح ، و كمـــا نعلـــم تزداد سرعة الهواء كلما ارتفعنا نحو الأعلى و ابتعدنا عن سطح الأرض .

أمـــا المـــواد التي يمكن أن تحملها الرياح فمتنوعة جداً ، و تشمل على الأتربة ، و الرماد البركاني ، و الأغبرة البركانية ، و الغبار و الدخان الناتج عن المصانع و المعامل ، و الأغبرة الناتجة عن الفعاليات التي يقوم بها الإنسان و الحيوان في المناطق الزراعية .

وتتمـــيز التـــيارات الهوائية القريبة من سطح الأرض بكونها أكثر تعقيداً ، و غير منتظمة الحركة ، و ذات اتجاهات متعددة إلى الأعلى ، و الأسفل و في الاتجاهات الأفقية ، و الحلزونـــية، مما يؤدي إلى اضطراب في حركة التيارات الهوائية بالقرب من سطح الأرض ، حيـــث تخـــتلف سرعتها ما بين لحظة و أخرى ، و يقود هذا الاضطراب إلى اختلاف مقدرة الهواء على حمل المواد الرسوبية و نقلها من مكان إلى آخر ، و خاصة في المناطق الجافة .

أمـــا طـــريقة نقل المواد الرسوبية فقد تكون عن طريق زحف الرسوبات إذا كانت كبـــيرة الحجـــم كالرمل ، و الحصى صغيرة الحجم ، أو عن طريق تعليقها بالهواء إذا كانت صـــغيرة الحجـــم كالغضـــار، و الغريـــن ، و الأغبرة المعلقة بالهواء، و عندما تكون سرعة التيارات الهوائية كبيرة يمكنها نقل حبيبات ذات حجوم أكبر من ذلك (الشكل:4-40).



(الشكل:4-40)-يبين نموذجاً لنقل المواد الرسوبية بواسطة الرياح ، و ذلك اعتماداً على حجوم حباتها .عن (Pye, 1987) .

و تتشابه عمليات النقل و الترسيب الريحي مع عمليات النقل و الترسيب المائي ، و ذلك لكون هذه العمليات ترتبط مع طريقة تصرف الحبات الرسوبية المنقولة في الوسط السائل كوسط ناقل .و حيث أن السوائل والغازات لا تتمتع بقوة القص (shear strength) بالإضافة إلى تشابههما في عدد من الخواص الفيزيائية .

و عـــادة مـــا تنتشر الرسوبات الريحية ، و بشكل خاص الكثبان الرملية في كل من المـــناطق الصحراوية ، و نصف الجافة على طول الشواطئ ، و في الجزر المعزولة ضمن المنطقة الشاطئية ، و في بعض المناطق القطبية الباردة .

-عمليات النقل الريحي :

تتضـــمن هذه العمليات نقل المواد الرسوبية الخشنة بطريقة الزحف ، و الجر علـــى سطح الأرض مباشرة، و نقل المواد الرسوبية الناعمة على شكل معلقات ضمن الرياح خاصـــة فـــي المناطق البعيدة عن سطح الأرض ، و فيما يلي سنتعرف على هاتين الطريقتين بالتفصيل :

أ)-نقل المواد الرسوبية الخشنة بطريقة الزحف و الجر:

تنقل المواد الرسوبية الخشنة بطريقة الزحف بشكل جماعي ، أو افرادي حيث تنقل بشـــكل إفرادي كما يحدث أثناء نقل حبة رملية من مكانها لأصلي لتترسب في مكان آخر في حين تكون بقية الحبات ما زالت في أماكنها. أما عملية النقل الجماعي بالزحف فتحدث عندما يتم زحف الكثبان الرملية من مكان تشكلها إلى أماكن أخرى و بصورة جماعية حيث تتم عملية الزحف هذه بالطريقة الآتية:

تـــتم عملية دحرجة الحبات الرملية نتيجة لدفع الرياح لها نحو الأمام و الأعلى فوق ســـطوح الكثـــبان المواجهة لاتجاه الرياح إلى أن تصل إلى قمة المنحدرات ، ثم تتدحرج نحو الأسفل بفعل الجاذبية الأرضية عبر المنحدرات الشديدة التي تعاكس جهة التيار.مما يؤدي إلى تشكل بنيات الترقق المتصالب فوق المنحدرات شديدة الميل. كما وتختلف حجوم حبات الرمل مـــن طبقة لأخرى مع المحافظة على وحدة التركيب الفلزي لهذه الحبات ، و نتيجة لاستمرار هبوب الرياح يزحف الكثيب الرملي من مكانه الأصلي إلى مكان جديد.

و كمـــا ذكـــرنا ســـابقاً فإن حجوم الحبات التي تنقلها الرياح تختلف حسب اختلاف ســـرعة الهـــواء حيث يمكن للرياح نقل الحبيبات الطينية و الغرينية الناعمة جداً إلى مئات و آلاف الكيلومـــترات قـــبل أن تـــتم عملية ترسيبها . أما الحبيبات الرملية ، و الحبات الأخرى الأكـــبر حجما فتنقل لمسافات قصيرة ، و من ثم تترسب ، و يعود ذلك إلى أن الحبات الرملية الكبيرة تحتاج لكي تبقى معلقة في الهواء لرياح قوية ذات سرعة أكبر بعشرات المرات . مما

تلعب التضاريس الأرضية دوراً كبيراً في إحداث الاضطرابات في سرعة الرياح حيث تؤدي هذه الاضطرابات إلى تحريك الحبيبات ، و زحفها على سطح الأرض ، و عندما تزداد شدة الرياح كثيراً كما هي الحال عند حدوث العواصف الريحية تتمكن الرياح من نقل جسيمات صخرية يصل قطرها إلى 5 سم (Pumpelly,1980).

و بشكل عام تعتبر قدرة التيارات الهوائية على النقل أقل من قدرة التيارات المائية ، و يعود ذلك إلى كون كثافة الهواء أقل من كثافة الماء بمقدار 1/813. و لذلك نجد أن المواد الرسوبية المنقولة بالهواء تكون أقل حجماً من المواد المنقولة بالماء ، و تكاد تقتصر على الغبار، و حبات الغرين الناعمة .

لقد قام عدد من الباحثين بدراسة الكثبان الرملية ، و آلية انتقال الرمال (Bagnold , 1954; Williams,1964; Owen,1964 and Wilson,1972)، حيث بينوا كيفية انتقال المواد الرسوبية بواسطة الرياح ، فعندما تنزلق حبات الرمل فوق بعضها البعض ، أو تقفز فوق سطح الأرض نتيجة لدفها بواسطة الرياح ، أو نتيجة لتصادمها مع حبات أخرى في المقدمة تقفز الحبات الأخيرة و تستقر الحبات الأولى و هكذا دواليك .

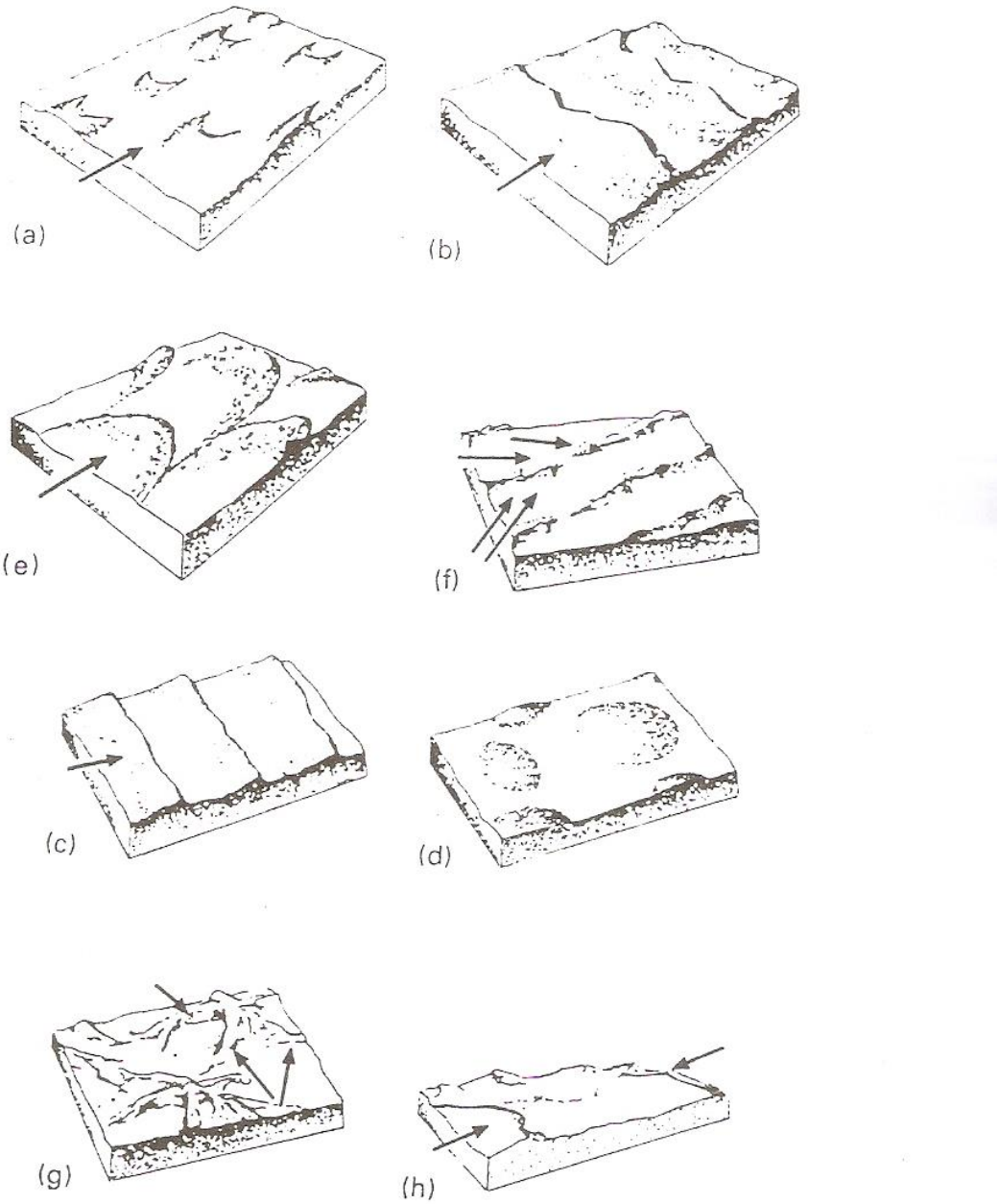
و هكذا نجد أن عمليات النقل الريحية هذه تشبه عمليات النقل بالزحف ، أو القفز التي تستخدمها التيارات المائية كما ذكرنا سابقاً .و نتيجة لتكرار اندفاع التيارات الريحية عبر الرسوبات المفككة، و الزاحفة فوق سطح الأرض تزاح الحبيبات الغرينية و الغضارية الناعمة و تحمل على شكل مواد معلقة بالهواء مكونة سحب غبارية تتكاثف في الطبقات العليا من الجو.

و تعتبر كل من الكثبان الرملية ، و الطبقات المستوية ، و علامات التموج /النيم/من البنيات الرسوبية الرملية الناتجة عن النقل الهوائي فوق سطح الأرض ، و فيما يلي سوف نتعرف على هذه البنيات الريحية الممثلة بالكثبان الرملية حيث يمكن تقسيمها إلى أربعة أنواع (الشكل: 4-41).

1)- الكثبان الهلالية: Barchan dunes

هي كثبان رملية تتميز بشكلها الهلالي ، أو على شكل نعل الفرس حيث يمتد طرفاه باتجاه الرياح حيث يكون محدباً باتجاه أعلى التيار الهوائي ، و مقعراً باتجاه أسفل التيار ، و

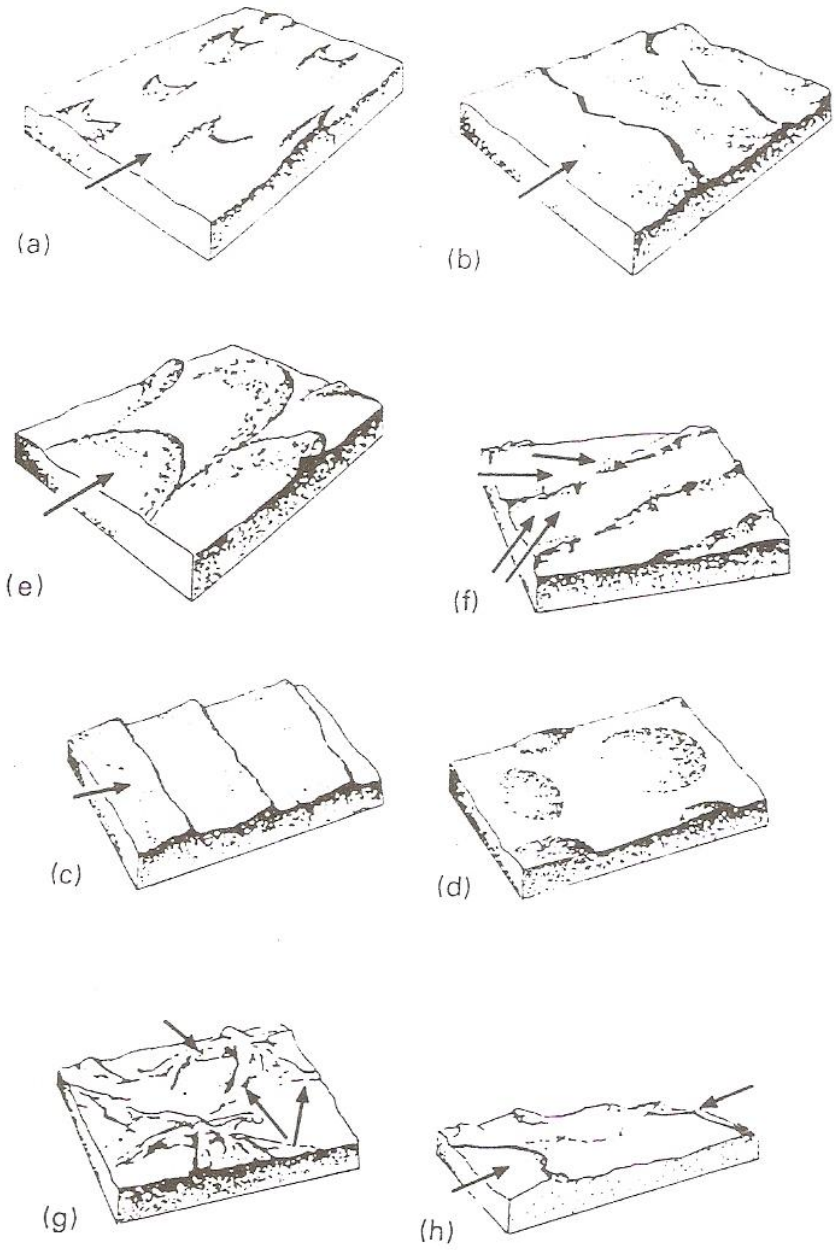
شكل عام تكون الأطراف المقعرة أشد انحداراً من الأطراف المحدبة (الشكل:4-42).



(الشكل:4-41)-رسم تخطيطي يبين الأشكال المختلفة للكثبان الرملية.
a)-الكثبان الهلالية . b)-الكثبان هلالية الحواف. C)-كثبان مستعرضة . d)-كثبان قبيبة الشكل.
e)-كثبان على شكل قطع مكافئ . f)-كثبان مستقيمة . g)-كثبان نجمية.h)-كثبان عكسية.
عن (Blatt et al.,1980)

عـــادة مـــا توجد الكثبان الهلالية في أماكن مختلفة مثل أطراف البحار الرملية في المـــناطق الصـــحراوية كمـــنطقة الربع الخالي في السعودية حيث تشكل طبقات هذه الكثبان رسوبات منقولة و ليست رسوبات ناتجة عن الترسيب ، حيث تتميز بسرعة انتقالها من مكان لآخر ، و تكاد لا تستقر في مكان واحد .

بشكل عام تكون الأطراف المقعرة أشد انحداراً من الأطراف المحدبة (الشكل:4-42).



(الشكل:4-41)-رسم تخطيطي يبين الأشكال المختلفة للكثبان الرملية.
a)-الكثبان الهلالية . b)-الكثبان هلالية الحواف. C)-كثبان مستعرضة . d)-كثبان قبيبة الشكل.
e)-كثبان على شكل قطع مكافئ . f)-كثبان مستقيمة . g)-كثبان نجمية.h)-كثبان عكسية.
عن (Blatt et al.,1980)

عـــادة مـــا توجد الكثبان الهلالية في أماكن مختلفة مثل أطراف البحار الرملية في المـــناطق الصـــحراوية كمـــنطقة الربع الخالي في السعودية حيث تشكل طبقات هذه الكثبان رسوبات منقولة و ليست رسوبات ناتجة عن الترسيب ، حيث تتميز بسرعة انتقالها من مكان لآخر ، و تكاد لا تستقر في مكان واحد .