



محطات تنقية مياه الشرب بوساطة الترسيب

ENV-GRO.COM

المجموعة الهندسية للأبحاث البيئية  
env-gro.com

## محطات تنقية مياه الشرب بوساطة الترسيب

الدكتورة المهندسة

سلوى حجار

أستاذة الهندسة الصحية في قسم البيئة

### 2 - 1 - الغرض من تنقية المياه :

إن الماء النقي كيميائياً غير موجود في الطبيعة وحتى ماء المطر الذي هو الشكل الأكثر نقاء من مياه الطبيعة فهو يحتوي على تلوّثات من الغازات المنحلة فيه كالأكسجين والأزوت وثنائي أكسيد الكربون وبعض الأملاح اللاعضوية . وحتى المياه الجوفية التي تعتبر من الناحية البيولوجية أفضل مصدر لمياه الشرب ، فإن كميتها في أكثر البلدان قليلة ولا تكفي الاحتياجات المتزايدة لمياه الشرب وللأغراض الصناعية . وبالتالي فإن مزيداً من المياه السطحية يجب أن يستعمل لتحضير مياه الشرب والمياه الصناعية بما في ذلك مياه الأنهار والبحيرات والبحار . وهذه المياه تكون عادة ملوثة بشكل واضح وتحتاج إلى تنقية وتعقيم قبل أن تكون مأمونة ومناسبة لاستهلاك السكان .

لذلك يجب أن نؤمن تخليصاً للمياه من موادها العالقة وقسم من موادها المنحلة . وأن نؤمن إزالة لطعم ورائحة المياه اللذين قد ينتجا عن امتزاجها ببعض المواد العضوية أو الأعشاب أو نواتج مخلفات الصناعات .

كذلك يجب إزالة عسرة الماء إن وجدت وإزالة الحديد والمنغنيز وغيرها من المواد ذات الكميات الأكبر مما هو مقبول لأغراض استعمال المياه .

ويبين الجدول (2-1) عمليات المعالجة المستعملة للأغراض المختلفة من تنقية المياه.

الجدول رقم (2 - 1)

عمليات المعالجة المستعملة للأغراض المختلفة في تنقية المياه

الصفة	عمليات المعالجة المستعملة
اللون	آ - الترويب والترشيح ( مع المعالجة بالكربون المنشط )
	ب - الأكسدة أحياناً بوساطة الكلور أو الاوزون

الجدول رقم (2 - 1)

عمليات المعالجة المستعملة للأغراض المختلفة في تنقية المياه

الصفة	عمليات المعالجة المستعملة
العكارة	الترويب والترشيح ( يمكن أن نحذف الترويب في بعض الأحيان إذا كانت عكارة الماء قليلة ) .
الطعم والرائحة	آ - الامتزاز بوساطة الكربون المنشط .
	ب - الترويب والترشيح .
	ج - الكلورة ، أو المعالجة بالأوزون أو بثاني أكسيد الكلور .
	د - التهوية .
هـ - ضبط تلوث المصدر المائي .	
النحاس والزنك	تختلف طرق إزالة النحاس والزنك حسب طبيعة الشوائب الأخرى الموجودة
الكالسيوم والمغنيزيوم ( العسرة )	آ - الترسيب كماءات المغنيزيوم وكربونات الكالسيوم وذلك بإضافة الكلس والصدودا .
	ب - عمليات التبادل الايوني .
الحديد والمنغنيز	تختلف طرق إزالة الحديد والمنغنيز حسب طبيعة الشوائب الأخرى الموجودة في الماء ، وبشكل عام تعتمد إزالة الحديد والمنغنيز على الأكسدة والترسيب كماءات . ويمكن أحياناً إزالة الحديد بترسيبه ككربونات الحديدي وإزالته نهائياً بوساطة التبادل الايوني .
الصدوديوم والبوتاسيوم والكبريتات والكلوريدات والنترات	هذه الشوارد الموجبة والسالبة لا يمكن أن تزال من الماء بكلفة معتدلة وإنما تحتاج إلى إزالة ملوحة مكلفة .
(PH)	يمكن أن نعدل قيمة (PH) بإضافة بعض الحموض أو الأسس ويستعمل لهذا الغرض أحد المركبات : NaOH , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> , HCL , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
المركبات الفينولية	آ - ثاني أكسيد الكلور .
	ب - الأوزون .
	ج - الكربون المنشط .
كبريت الهيدروجين	آ - التهوية في ظروف حامضية .

الجدول رقم (2 - 1)

عمليات المعالجة المستعملة للأغراض المختلفة في تنقية المياه

الصفة	عمليات المعالجة المستعملة
	ب - الكلورة أو المعالجة بالاوزون .
	ج - الترسيب مع أملاح الحديدية بتشكيل كبريتيد الحديدي
ثاني أكسيد الكربون	آ - التهوية .
	ب - تحويله إلى بيكربونات بإضافة مادة قلوية .
المواد السامة ( بشكل عام )	من الصعب إنقاص أكثر المواد السامة إلى تركيز منخفض يتلاءم مع متطلبات النظم
الرصاص	يمكن أن يرسب في وسط قلوي .
الزرنخ	آ - إن الترويب والترشيح يمكن أن يزيل نسبة (50%) منه .
	ب - إن التبادل الايوني عبر سرير تبادل من الالومينا المنشطة يمكن أن ينقص تركيز الزرنخ إلى مستوى مقبول .
الفلورايد	يمكن أن يترسب الفلورايد مع المغنيزيوم أثناء عمليات إزالة العسرة بإضافة اللؤلؤ .
الجراثيم	يمكن إزالة جراثيم الكوليفورم التي لا تزيد كميتها عن ( 50 ) لكل (100) مل بوساطة التعقيم بالكلور أو بالأوزون . أما إذا زادت كمية هذه الجراثيم إلى ما يتراوح بين ( 50 ) وبين (5000) لكل (100) مل فنحتاج إلى الترويب ثم الترشيح ثم التعقيم . أما التلوث الشديد بكمية من جراثيم الكوليفورم أكثر من ( 5000 ) لكل (100) مل أو بجراثيم الاشريكية الكولونية (E.Coli) أكثر من ( 2000 ) لكل (100) مل فإننا نحتاج إلى معالجة موسعة
النشاط الاشعاعي	تقترح لإزالة النويدات المشعة ( radio - nuclides ) عمليات خاصة للتبادل الايوني ، وترويب وترشيح ينفذان بدقة ، مع امتزاز بوساطة الكربون المنشط .
كميات قليلة من المواد العضوية أو البترول أو مبيدات الأعشاب أو مبيدات الحشرات .	تمتاز هذه المواد على سطوح الندف أثناء عملية الترويب ، كما تمتز على سطوح حبيبات الكربون المنشط .

## 2 - 2 - مآخذ المياه :

تعرض مصادر المياه إلى تغيرات كبيرة في كمية التدفق ودرجة حرارته ، وبما أن الغرض من مآخذ المياه هو تأمين وصول المياه من الأقنية أو الأنهار أو البحيرات أو البحار إلى محطات الضخ فإن منشأة المآخذ يجب أن تصمم لكي يتم سحب التدفق المطلوب على الرغم من كل التغيرات الطبيعية في كمية ونوعية الماء ودرجة حرارته .

يتألف المآخذ نفسه من فوهة ذات مصفاة بحيث تكون سرعة الدخول أقل من (0.15 m/sec) وذلك لحماية المضخات من الأسماك وبعض المواد الصلبة. بالإضافة إلى قناة نقل أو أنبوب نقل يلائم التدفق ثم بئر تضخ منه المياه إلى محطة المعالجة .

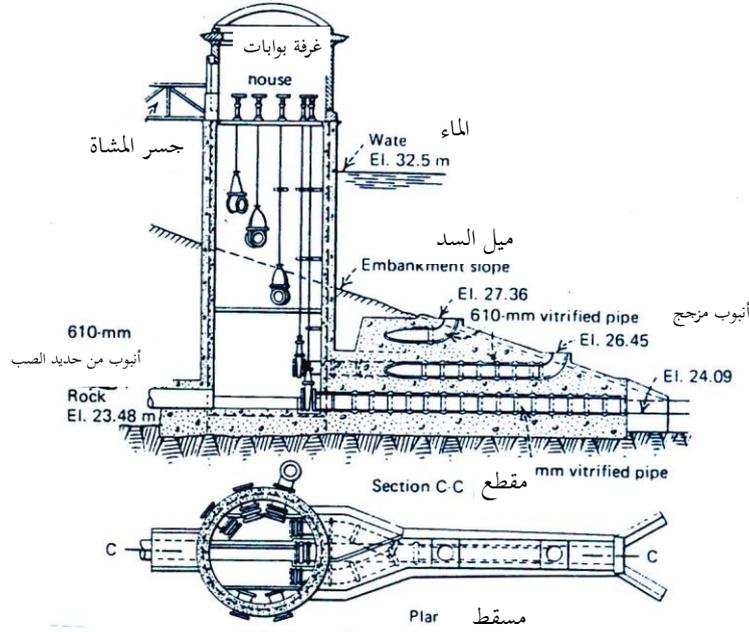
عند تحديد موقع المآخذ فإنه يجب أن نأخذ بعين النظر التغيرات المحتملة في مستوى الماء ومتطلبات الملاحاة والتيارات المحلية وإمكانية الحت والترسيب وتغيرات نوعية المياه المكانية والزمانية وأخيراً كمية المواد الطافية عند فوهة المآخذ .

تعرض مجمعات المياه إلى تغيرات واسعة في العمق وبالتالي وفي حالة إمكانية حصول تغير في المنسوب فإنه يجب أن تسمح منشأة المآخذ بالسحب على مدى واسع من المنسوب بحيث تكون نهاية أنبوب الامتصاص من مجمع المياه مرتفعة عن القاع بحيث لا تسحب المواد الصلبة المترسبة ، مع الأخذ بعين النظر أن الماء في قاع الخزانات هو قليل الأكسجين المنحل وكثير المواد العضوية ولا يفضل سحب ماء كهذا ، وأن تكون هذه النهاية منخفضة عن أدنى منسوب للماء في وقت التحريك حتى لا تسحب المواد الطافية في أي وقت من العام مع الأخذ بعين النظر أيضاً إمكانية تجمد الماء السطحي في وقت من العام .

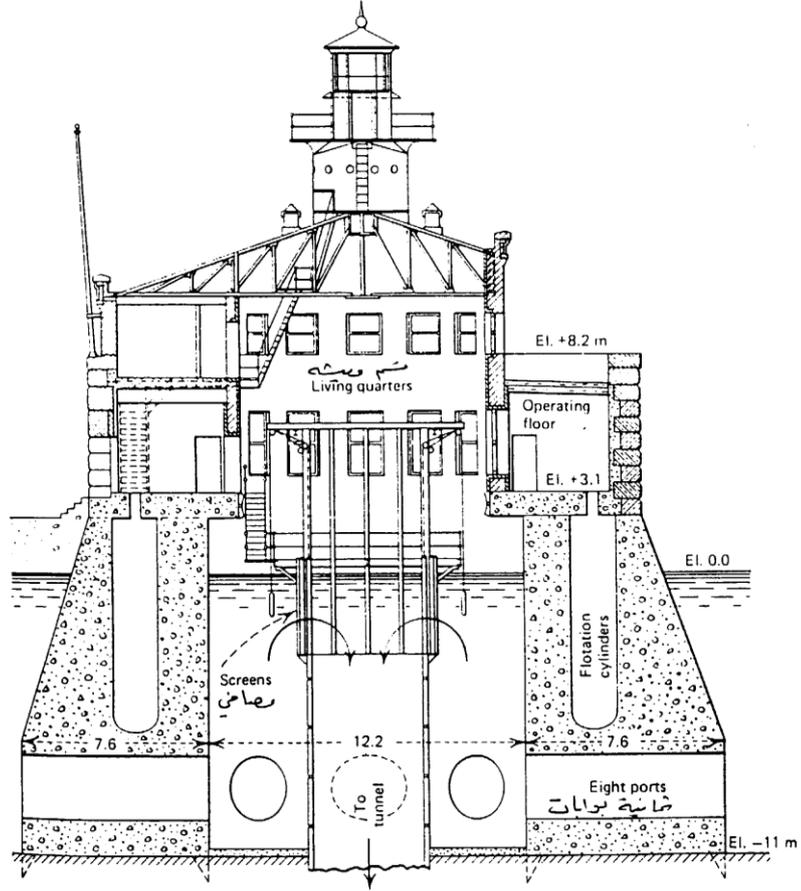
كما أن مآخذ البحيرات يجب أن تكون قدر الإمكان بعيدة عن مواقع التلوث بالإضافة إلى أننا يجب أن نأخذ بعين النظر تأثير التيارات والرياح على حركة الملوثات.

وفي جميع الحالات يجب منع كل مصادر التلوث بالقرب من المآخذ وخاصة إلقاء النفايات المنزلية والصناعية وذلك لمسافة ( 500 m ) بعكس اتجاه التيار و (150 m) مع اتجاه التيار وذلك بالنسبة إلى المآخذ الكبيرة و (150 m) بعكس اتجاه التيار و (100m) مع اتجاه التيار وذلك بالنسبة إلى المآخذ الصغيرة . وتحسب عادة غرفة الامتصاص لمدة بقاء للمياه فيها تتراوح بين ( 5 min ) وبين ( 10 min) كما يمكن أن تعمل أمام هذه الغرفة مصفاة بشكل مجموعة قضبان متوازية ذات تباعدات ( 25 - 50 mm ) .

يبين الشكل (1 - 2) مأخذاً مبنياً على خزان خلف سد ترابي ، أما عندما يكون السد حجرياً أو بيتونياً فإن المأخذ يمكن أن يبنى في السد نفسه . والمأخذ هنا مجهز بعدة بوابات على محيط غرفة للبوابات ، وهذه البوابات واقعة على مناسيب مختلفة يستعمل أي منها حسب اللزوم .  
الشكل (1 - 2)

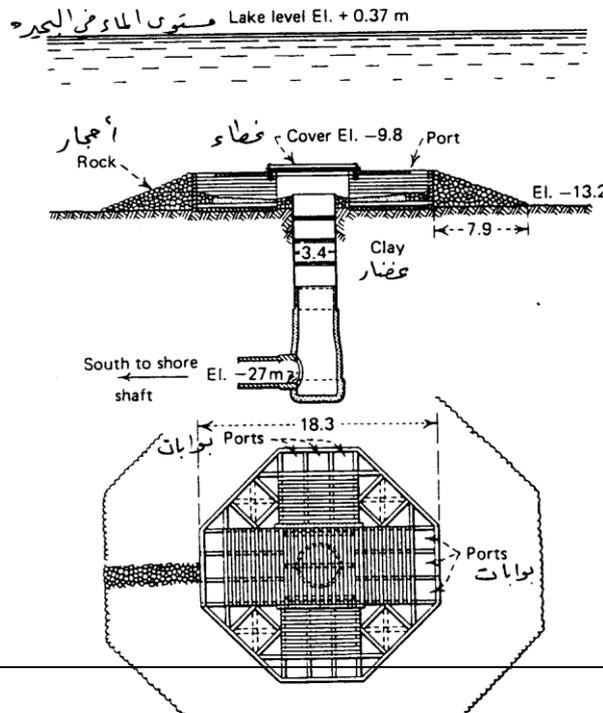


يبين  
الشكل ( 2 ) -  
مأخذ  
ولسن في  
شيكاغو ،  
وهذه المنشأة  
متوضعة على  
بعد ( 3.2  
من Km)  
الشاطئ وعلى  
عمق (11m)  
عن المستوى  
السطحي للماء  
وهي ذات مصافي قضبانية متحركة.



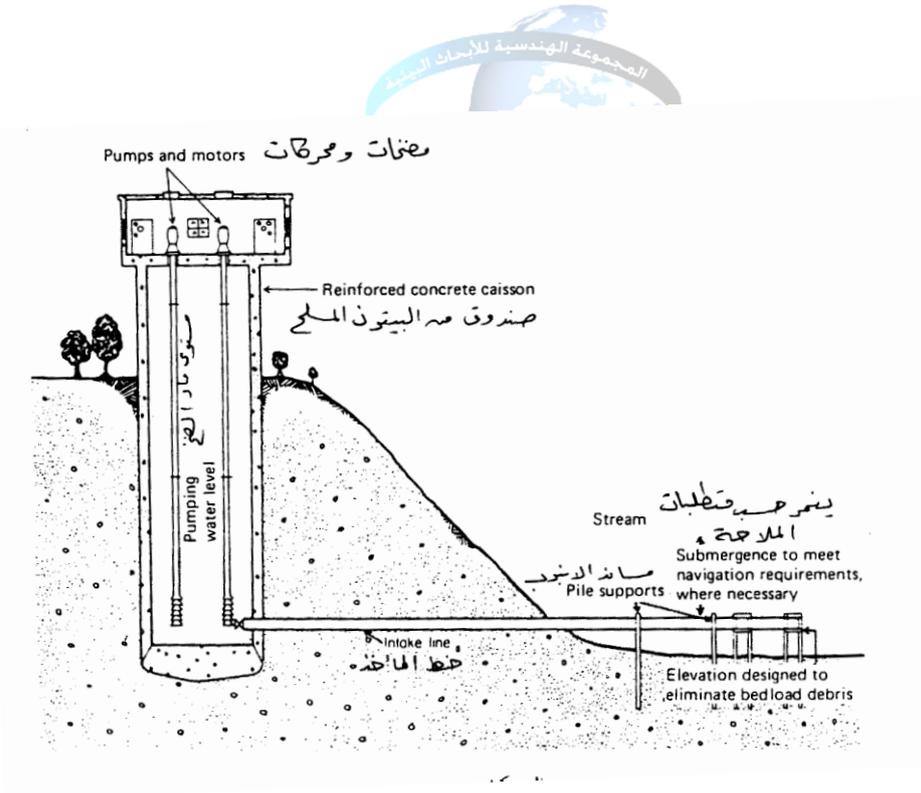
الشكل (2 - 2)

كما يبين الشكل (2-3) مأخذاً صندوقياً مغموراً يستعمل للتجمعات السكانية الأقل ، إن عمق هذا المأخذ يحدد جزئياً حسب متطلبات الملاحظة وحسب الحاجة إلى وضع المأخذ فوق التراكيز المرتفعة للترسبات والتي يمكن أن تصبح معلقة بسبب الرياح . وهذا الصندوق الخشبي يحمى بكتل حجرية مبنية على



الشكل (2-3)

يبين الشكل (2-4) مأخذاً أنبوبياً يستعمل للمدن الصغيرة ، وهذا النوع من المنشآت يمكن أن يتألف من أنبوب مقذوف إلى داخل الماء مع نهاية ذات مصفاة وهو يستند على ركائز حسب الحاجة . ويمكن أن يتصل بالأنبوب الواحد عدة مصافي لإنقاص سرعة الدخول .



الشكل (2-4)

الشكل (2-5)

(5) يوضح

مأخذ بحيرة

وأنبوب النقل

ومحطة الضخ

، وبشكل

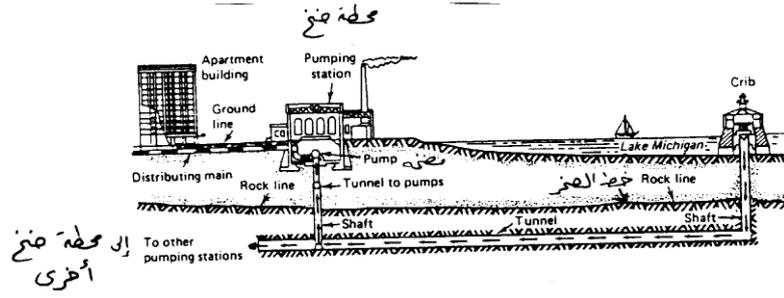
عام فإن

السرعة في

أنبوب النقل

يجب أن

تكون كبيرة (في حدود 0.3 – 0.6 m/sec ) لمنع حصول الترسبات في الأنبوب .



الشكل (2 - 5)

تقوم الآن مضخات الضغط المنخفض بسحب المياه من المآخذ ودفعها إلى منشأة التنقية حيث يمكن أن تتألف هذه المنشأة من عدد من العمليات التالية : ( انظر الجدول 2 - 1 ) .  
التخزين الطويل ، الترسيب العادي ، الترشيح عبر المرشحات البطيئة ، الترسيب بعد الترويب ، الترشيح عبر المرشحات السريعة ، إزالة عسرة الماء ، إزالة الحديد والمنغنيز ، هذا بالإضافة إلى التعقيم وبالإضافة إلى إزالة الغازات أو إضافتها بالتهوية وإزالة الطعم والرائحة بواسطة الكربون المنشط .

### 2 - 3 - تنقية المياه بواسطة الترسيب :

الترسيب هو عملية التخلص من المواد العالقة بفعل قوة الجاذبية الأرضية بدون إضافة مواد كيميائية ويسمى عندها الترسيب البسيط ( Plain sedimentation ) ، أو مع إضافة مواد كيميائية تسرع عملية الترسيب ويسمى عندها الترسيب الكيميائي ( Chemical sedimentation ) ، ويتم هذا الترسيب إما في المرسبات أفقية الحركة أو في المرسبات شاقولية الحركة .

### 2 - 3 - 1 - الترسيب البسيط :

يستعمل الترسيب البسيط في بعض عمليات تنقية مياه الشرب كمرحلة بدائية لتخفيف كمية المواد الصلبة في المياه إذا كانت هذه المياه تحوي على كمية كبيرة جداً من الطمي ، أما في الحالات العادية فأكثر ما يلجأ إليه في أعمال تنقية مياه الشرب هو الترسيب الكيميائي أو الترسيب بالترويب .

### 2 - 3 - 1 - 1 - ترسيب الجزيئات المنعزلة:

لكي ندرس العلاقات الرياضية التي تحكم ترسيب المواد الصلبة سنبدأ بدراسة ترسيب جزيء وحيد يتحرك في مائع بحيث نفترض أن هذا الجزيء لا يغير صفاته أثناء عملية الترسيب وأنه ذو شكل كروي ، يبقى أثناء نزوله في الماء ثابت الحجم والوزن والكثافة . فإذا كان الوزن النوعي لهذا الجزيء أكبر من الوزن النوعي للماء فإنه سوف يتحرك إلى الأسفل متسارعاً حتى تتساوى مقاومة الاحتكاك للماء مع وزنه المغمور بالماء عندها سوف تثبت سرعة حركته الشاقولية إلى الأسفل . وإن القوى التي تؤثر على

ترسيب جزيء منعزل في كتلة مائية هي ( Fw ) وزن الجزيء و ( Fb ) قوة الطفو و ( Fd ) مقاومة احتكاك السائل . وبما أن معدل تغير القوة الدافعة لجزيء منعزل ذي كتلة ( m ) يترسب في ماء هادئ يتحدد بهذه القوى كما في العلاقة :

مجموع القوى المؤثرة على جزيء في الماء = الكتلة × التسارع

$$\rho_s V \frac{ds}{dt} = m \frac{ds}{dt} = F_w - F_b - F_d$$

$$F_w = \rho_s gV$$

$$F_b = \rho_w gV$$

$$F_d = CdA\rho_w \frac{S^2}{2}$$

حيث :

V : حجم الجزيء ( m<sup>3</sup> )

$\rho_s$  : الكثافة الكتلية للجزيء ( Kg/m<sup>3</sup> )

$\rho_w$  : الكثافة الكتلية للماء ( Kg/m<sup>3</sup> )

g : تسارع الثقالة الأرضية ( m/sec<sup>2</sup> )

S : سرعة ترسيب الجزيء

Cd : عامل الاحتكاك وهو يعتمد على رقم رينولد

A : مساحة مسقط الجزيء باتجاه عمودي على اتجاه الحركة .

بالتعويض نجد :

$$m \frac{ds}{dt} = gV(\rho_s - \rho_w) - CdA\rho_w \frac{S^2}{2}$$

وفي حالة الترسيب الثقالي فإن سرعة الترسيب تتزايد حتى تصبح قوة الاحتكاك مساوية إلى الوزن المغمور للجزيء .

وفي حالة الترسيب الثقالي أيضاً فإن الجزيء يصل إلى سرعة ترسيبه النهائية عندما تصل قيمة التسارع إلى الصفر .

$$m \frac{ds}{dt} = 0 = gV(\rho_s - \rho_w) - CdA\rho_w \frac{S^2}{2}$$

ومن أجل جزيء كروي فإن :

$$V = \frac{\pi d^3}{6} \quad A = \frac{\pi d^2}{4}$$

وتصبح قيمة السرعة النهائية للترسيب :

$$S = \left[ \frac{4gd(\rho_s - \rho_w)}{3Cd\rho_w} \right]^{0.5}$$

إن عامل الاحتكاك (Cd) يعتمد على حالة الجريان حول الجزيء والذي يمكن أن يكون خطياً أو انتقالياً أو مضطرباً وذلك حسب رقم رينولد الذي يعبر عنه بما يلي :

$$Re = \frac{\rho_w S d}{\mu} = \frac{S d}{\nu}$$

حيث  $\nu$  هي هنا اللزوجة الحركية للسائل (Kinematic viscosity)  $m^2/sec$  ، إن قيمة ( $\nu$ ) تتبع بشكل رئيس درجة الحرارة كما في الجدول (م-4) ويمكن أن تميز في هذه الحالة ثلاث مراحل :

1 - عندما تكون  $Re < 1$  يكون  $Cd = \frac{24}{Re}$  ويكون الترسيب صفحياً وبالتالي يكون:

$$S = \frac{1}{18} \frac{g}{\nu} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} d^2$$

2 - عندما تكون  $Re > 2000$  يكون  $Cd = 0.4$  ويكون الترسيب مضطرباً وذلك حتى قيمة لعدد رينولد مقدارها ( $Re = 10^5$ ) .

وبالتالي تصبح قيمة السرعة :

$$S = \sqrt{\frac{10}{3}} \frac{g}{\rho_w} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} d$$

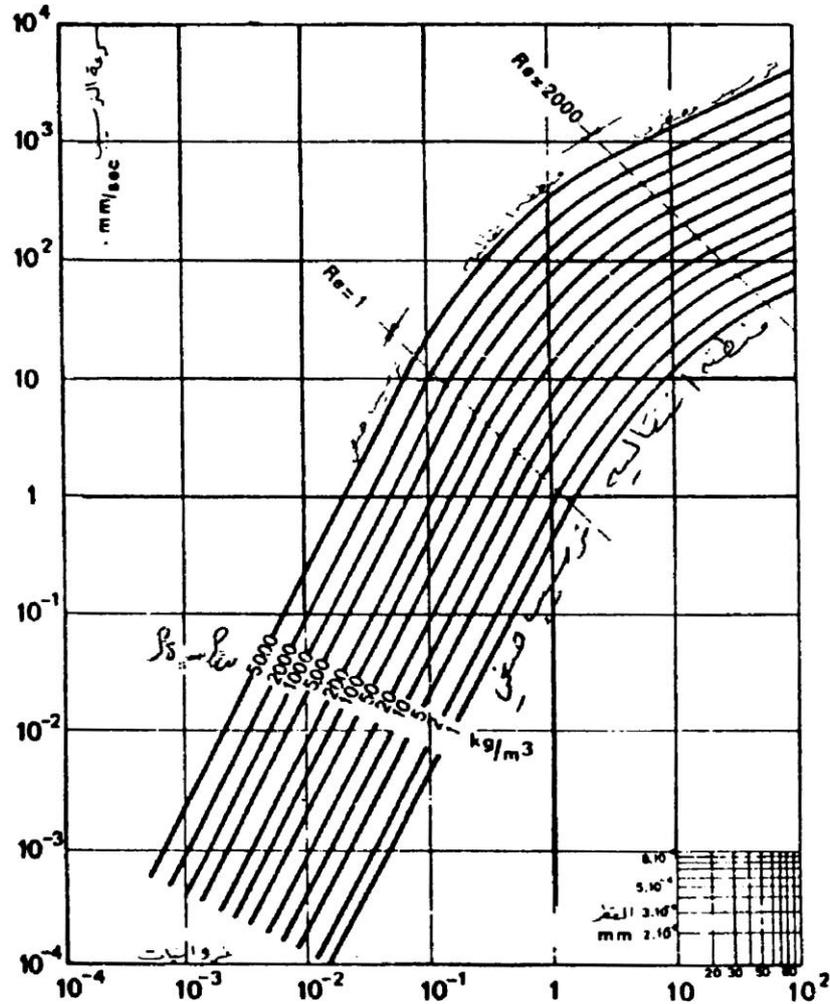
3 - ومن أجل  $1 < Re < 2000$  يكون :

$$Cd = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

وعملياً فإن سرعة ترسيب الجزيئات المختلفة تكون أقل مما هو معطى أعلاه بسبب بعد شكل الجزيئات عن الشكل الكروي وبالتالي زيادة مساحة مسقطها باتجاه عمودي على اتجاه حركة ترسيب الجزيئات. ويبين الشكل (2-6) سرعة الترسيب لجزيئات كروية منفصلة كتابع لحجمها وكثافتها الكتلية في درجة الحرارة ( $10^\circ C$ ) .

ونلاحظ أيضاً أن قيمة عامل الاحتكاك في حالات الجريان المضطرب أكبر مما هو محسوب أعلاه وبالتالي فإن معدل الترسيب سوف يكون أصغر مما هو معطى في العلاقات السابقة. وفي حالة الجريان الصفحي يكون الترسيب متناسباً مع مربع القطر ، وعندما يزداد القطر بواسطة الترويب عشر مرات فإن معدل الترسيب سوف يزداد مئة مرة .

وفي هذه الحالة أيضاً فإن معدل الترسيب يعتمد على اللزوجة أي على درجة حرارة الماء. فعندما تهبط درجة الحرارة من الصيف إلى الشتاء من الدرجة ( 25 °م ) إلى الدرجة أربعة فإن اللزوجة الحركية سوف تزداد مرة ونصف تقريباً مما يؤدي إلى انخفاض فعالية الترسيب لتصل إلى ( 63 % ) من قيمتها في الصيف .



الشكل (2 - 6)

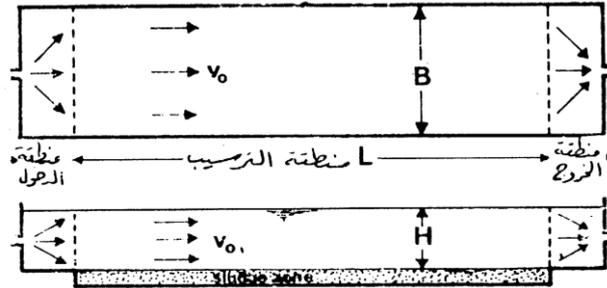
### 2 - 3 - 2 - ترسيب الجزيئات المنعزلة في المرسبات أفقية الحركة:

تستعمل المرسبات أفقية الحركة لترسيب الجزيئات المنعزلة غير القابلة لتشكيل الندف وذلك لسببين : الأول أنها أرخص وأسهل إنشاء من المرسبات شاقولية الحركة ، والسبب الثاني أنها أكثر فعالية في حالة ترسيب الجزيئات المنعزلة إذ أنها بالإضافة إلى ترسيب الجزيئات ذات السرعة الحدية (S<sub>0</sub>) حيث  $S_0 = \frac{H}{T_0}$  فإنها ترسب الجزيئات ذات السرعة الأقل من السرعة الحدية ( S < S<sub>0</sub> ) جزئياً رافعة بذلك نسبة الإزالة في المرسب ، أما في المرسبات شاقولية الحركة فإن هذه الجزيئات الصغيرة ستجر مع تيار الماء الصاعد ولا يمكن أن تترسب .

ولكي ندرس نظرية التنقية العائدة لإزالة الجزيئات المنفصلة في أحواض الترسيب أفقية الحركة فإننا سنفترض أن الترسيب هنا يتم في الظروف المثالية أي بفرض:

- 1 - كل جزيء يصطدم بقاع الحوض سنعتبره قد خرج من الحوض ولن يعود معلقاً في الماء مرة ثانية.
- 2 - اتجاه الجريان أفقي وسرعة الجريان ثابتة وصغيرة بحيث يكون الجريان ضمن الشروط الصفحية ، ومن ثم فإن مدة بقاء الجزيئات في الحوض ستكون متساوية ومساوية إلى نسبة حجم الحوض إلى التدفق ، أي مساوية إلى مدة بقاء الماء في الحوض . وأيضاً فإن تركيز المواد العالقة من الحجم المختلفة هو نفسه على كامل المقطع العرضي الشاقولي للحوض .

وهذه الفرضيات تقود إلى فرض وجود أربع مناطق في المرسب أفقي الحركة هي منطقة دخول تؤمن التوزيع المنتظم للماء ولما يحويه من جزيئات على كامل المقطع العرضي الشاقولي للحوض ، ومنطقة ترسيب ، ومنطقة للمواد المترسبة ، ومنطقة خروج للماء يتم فيها جمع الماء المعالج بانتظام من جميع نقاط المقطع الشاقولي للحوض (الشكل 2-7)



الشكل (2-7)

وبالتالي فإننا عندما سندرس حوض الترسيب أفقي الحركة المستطيل سنقتصر على دراسة منطقة الترسيب فقط ، بحيث نفترض أنه يوجد في الحوض مجموعة من الجزيئات غير القابلة لتشكيل الندف بعضها ذو سرعة حدية :

$$S_o = \frac{H}{T_o} = \frac{V \cdot Q}{A \cdot V} = \frac{Q}{A}$$

حيث :

H : هو عمق الحوض .

T<sub>o</sub> : مدة بقاء الماء في هذا الحوض .

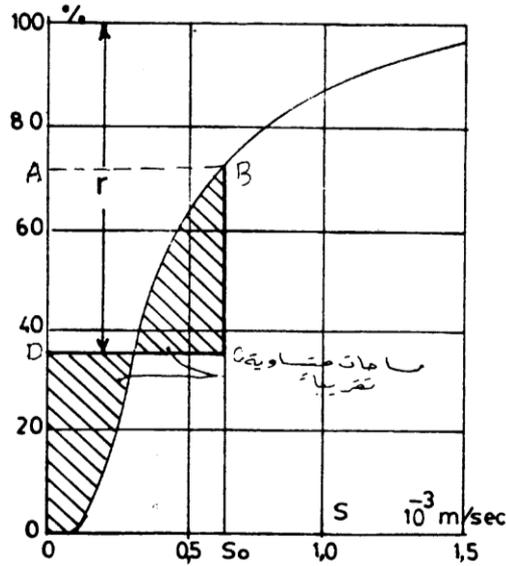
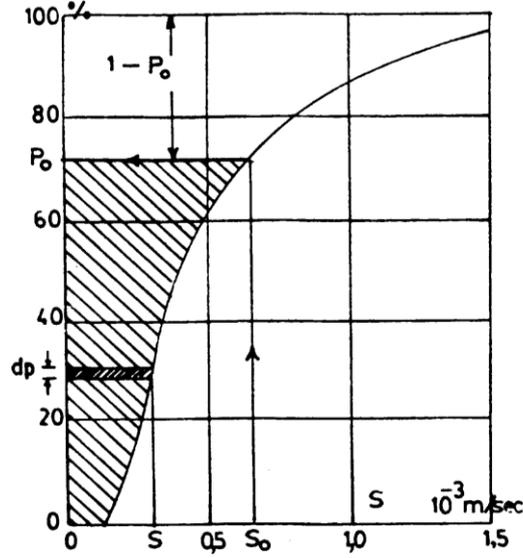
هذه الجزيئات الحدية ستترسب جميعها في الحوض ، وبعض الجزيئات ذو سرعة ترسيب أكبر من السرعة الحدية وأيضاً ستترسب هذه ضمن الحوض ، وبعضها ذو سرعة أقل من السرعة الحدية وهذه سيترسب جزء منها إلى قاع الحوض .

وتسمى (So) بمعدل التحميل السطحي على الحوض ، ونلاحظ أنه من أجل ترسيب جزيئات منعزلة فإن كفاءة الحوض تكون معتمدة كلياً على سطح الحوض .

### 2 - 3 - 1 - حساب كمية المواد الصلبة المترسبة إلى قاع الحوض :

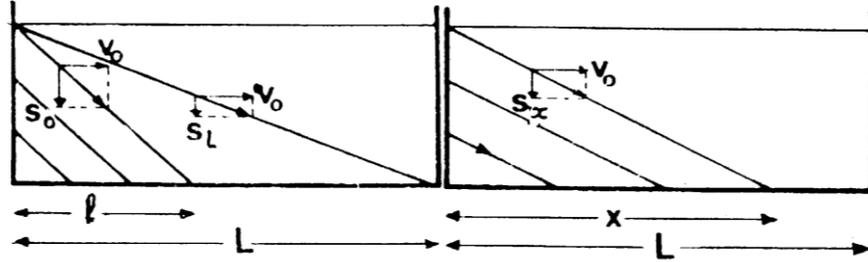
إذا أجرينا تجربة ترسيب عينة من المياه التي ستعرض للتنقية في حوض الترسيب المستطيل أفقي الحركة فإنه يمكن أن نرسم علاقة كمية المواد الصلبة غير المترسبة مع سرعة الترسيب للجزيئات المختلفة الموجودة في العينة بمنحني كما هو مبين في الشكل (2 - 8) .

إن كل الجزيئات ذات سرعة الترسيب الأكبر من القيمة (So) والمساوية لها ، وذات الكمية (1 - Po) ستترسب إلى قاع الحوض . ويبقى أن نناقش الكمية التي تترسب إلى القاع من الجزيئات ذات سرعة الترسيب الأصغر من (So) ولتكن (Sx)



الشكل (2 - 8)

ليكن طول الحوض ( $\ell$ ) وعمقه ( $H$ ) وعرضه ( $B$ ) وسرعة جريان الماء فيه هي ( $V_0$ ). لنمدد وهماً طول الحوض إلى القيمة ( $L$ ) وذلك لمناقشة تراكم الجزيئات ذات السرعة  $S_0 > S_x$  كما في الشكل (2 - 9).



الشكل (2 - 9)

فيكون :

$$\frac{S_0}{V_0} = \frac{H}{\ell}$$

$$\frac{S_x}{V_0} = \frac{H}{X} \quad \frac{S_L}{V_0} = \frac{H}{L}$$

أو أن :

$$X = \frac{S_0 \ell}{S_x} = \frac{S_L L}{S_x}$$

إن تراكم الجزيئات على قاع هذا المرسب يحسب باعتبار أن الجزيئات ذات سرعة الترسب المساوية أو الأكبر من القيمة ( $S_0$ ) ستراكم على طول الحوض الفعلي ( $\ell$ ). أما الجزيئات ذات السرعة ( $S_x$ ) الأقل من ( $S_0$ ) فإنها ستتوزع بالتساوي على الطول ( $x$ ) الأكبر من ( $\ell$ ). وعندما توجد هذه الجزيئات الصغيرة بكمية مقدارها ( $dp$ ) (انظر الشكل 2 - 8) فإن قيمة تراكمها على واحدة المساحة هو القيمة

$$da = \frac{dp}{B \cdot X}$$

وبالتالي فإن الكمية الكلية المترسبة إلى واحدة المساحة من هذه الجزيئات هو :

$$a = \int_0^{P_0} \frac{dp}{B \cdot X}$$

وذلك باعتبار أن كمية الجزيئات ذات السرعة ( $S_x$ ) لن تزيد قطعاً عن القيمة ( $P_0$ ) ، بتعويض قيمة ( $X$ )

نجد :

$$a = \int_0^{P_0} \frac{dp S_x}{B \cdot S_0 \ell}$$

إن القيم ( $B$ ) و ( $\ell$ ) و ( $S_0$ ) هي قيم ثابتة تابعة لتصميم الحوض وبالتالي يمكن أن نكتب:

$$a = \frac{1}{B.S_o.l} \int_0^{P_o} S_x dp$$

إن كمية الجزيئات المترسبة إلى واحدة المساحة من القاع وذات السرعة الأصغر من  $(S_o)$  تحسب من نتيجة هذا التكامل التي تساوي إلى المساحة المظللة من أسفل الشكل ( 2 - 8 ) ، وتصبح كمية المواد الصلبة المترسبة إلى واحدة المساحة من القاع من الجزيئات ذات السرعة الأصغر من  $(S_o)$  هي :

$$a = \frac{\text{ABCD طول المستطيل}}{B.l}$$

وتكون كمية المواد الصلبة المترسبة على كامل القاع من الجزيئات الناعمة هي المسافة  $(AD)$  .  
وتكون كمية المواد الصلبة المترسبة على كامل القاع من كل أنواع الجزيئات هي القيمة  $(r)$  المبينة على الشكل ( 2 - 8 ) .

المثال ( 1 - 2 ) :

صمم حوض ترسيب لمعدل تحميل سطحي مقداره  $(32.6 \text{ m/day})$  حدد نسبة الإزالة الكلية التي يمكن أن نحصل عليها عندما يحتوي الماء الموجود في الحوض على جزيئات حجمها ونسبتها مبينة في الجدول الآتي وذلك إذا علمت أن الكثافة الكتلية للجزيئات هي  $(1.2)$  . وأن درجة حرارة الماء هي  $(20^\circ\text{C})$  .

0.01	0.02	0.04	0.06	0.07	0.08	0.1	أقطار الجزيئات الملوثة للماء (مم)
100	99	93	70	40	15	10	النسبة الوزنية للجزيئات الأكبر من القطر المبين أعلاه

الحل :

$$v = 1.01 \times 10^{-6} \quad \rho_w = 0.99823 \text{ يكون } (20^\circ\text{C}) \text{ في درجة الحرارة}$$

وإن سرعة ترسيب الجزيئات يمكن حسابها من علاقة ستوك :

$$S = \frac{g}{18\nu} \frac{(\rho_s - \rho_w)d^2}{\rho_w}$$

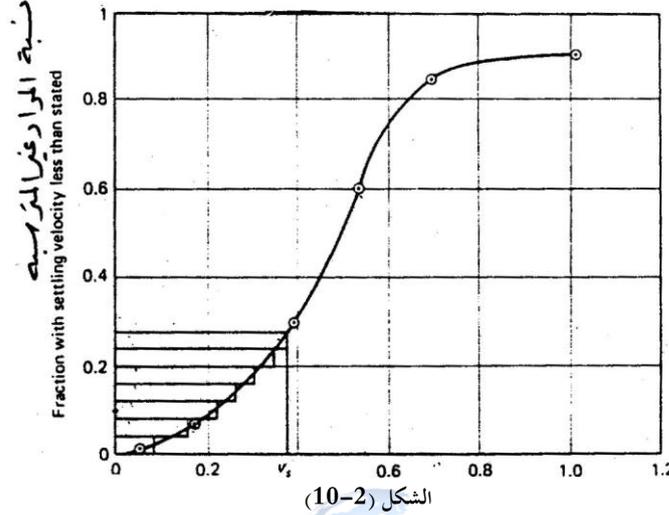
$$S = \frac{9.81 \times 10^6}{18 \times 1.01} \frac{(1.2 - 0.99823)}{0.99823} d^2 = 109071 d^2$$

إن سرعة ترسيب الجزيئات المختلفة مبينة في الجدول الآتي :

0.01	0.02	0.04	0.06	0.07	0.08	0.1	أقطار الجزيئات المحمولة في الماء (mm)
0.011	0.044	0.175	0.393	0.534	0.698	1.09	سرعة التريب (mm/sec)
0.0001	0.001	0.01	0.02	0.04	0.06	0.11	رقم رينولد
100	99	93	70	40	15	10	النسبة الوزنية للجزيئات الأكبر من القطر المبينة أعلاه

بما أن رقم رينولد لجميع الجزيئات هو أصغر من ( 0.5 ) فإن حسابنا للسرع بتطبيق قانون ستوك هو حساب صحيح .

من قيم الجدول المذكور أعلاه يمكن رسم المنحني التراكمي لسرع الترسيب على الشكل (10-2) .



إن كل الجزيئات ذات سرعة الترسيب الأكبر من سرعة الترسيب الحدية والتي هي 32.6 m/day = 0.377 mm/sec سوف ترسب وكميتها  $1 - P_o = 0.73$  إن تحديد الجداء  $S_x \Delta P$  مبين في الجدول الآتي :

$\Delta P$	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
$S_x$	0.06	0.16	0.22	0.26	0.30	0.34	0.37
$S_x \Delta P$	0.0024	0.0064	0.0088	0.0104	0.0120	0.0136	0.0111
	$\Sigma S_x \Delta P = 0.0647$						

وتكون نسبة الإزالة الكلية هي :

$$A = (1 - P_o) + \frac{1}{S_o} \int_0^{P_o} S_x dP$$

$$A = 0.73 + \frac{1}{0.377} (0.0647) = 0.902 = \%90.2$$

2 - 2 - 3 - العوامل المؤثرة على عملية ترسيب الجزيئات المنعزلة في المرسبات أفقية الحركة :

2 - 2 - 3 - التوزيع غير المنتظم للسرعة وحادثة الدورة القصيرة :

لقد افترضنا سابقاً أن السرعة الأفقية لجريان الماء في المرسب أفقي الحركة ثابتة في كل نقاط الحوض ، ولكن مقاومة الاحتكاك على طول جدران الحوض وعلى أرضه سوف تعيق حركة الماء وبالتالي ستكون سرع حركة السائل قرب هذه الجدران والقاع أقل من قيمها الوسطية بينما ستكون في مركز

الحوض أكبر من قيمه  $h$  الوسطية . ويبدو على أعلى الشكل ( 2 - 11 ) التوزيع المنتظم للسرعة حيث تكون كمية المواد الصلبة المترسبة على القاع من الجزيئات ذات سرعة الترسيب  $(S_x)$  الأصغر من  $(S_o)$  هي :

$$A = \int_0^{P_o} \frac{S_x}{S_o} dp$$

لدينا من أعلى الشكل (2-11) :

$$\frac{S_x}{h} = \frac{V_o}{\ell} = \frac{S_o}{H}$$

ومنه :

$$\frac{dA}{dP} = \frac{S_x}{S_o} = \frac{\text{كمية الماء على العمق } h}{\text{كمية الماء الكلية}}$$

أما في أسفل الشكل (2-11) حيث التوزيع غير المنتظم للسرعة الفعلية ، فإن حاصل قسمة كمية الماء الداخل على عمق  $(h')$  إلى كمية الماء الكلية يمكن أن نكتبها هنا بالشكل التالي :

كمية الماء الداخل على العمق  $h'$

$$\frac{dA}{dP} = \frac{B}{Q} \int_0^{h'} V dy$$

كمية الماء الكلية

وذلك بفرض أن عرض الحوض هو القيمة  $(B)$  .

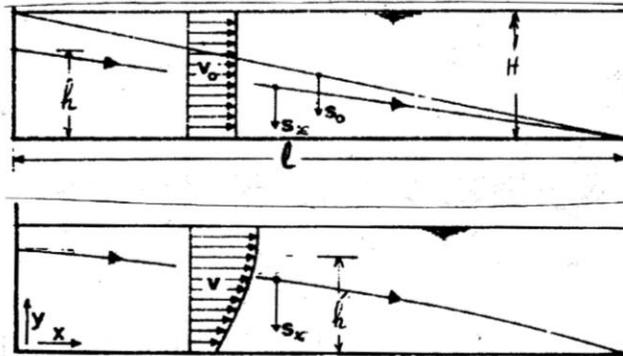
وفي أي عنصر زمني  $(dt)$  يتحرك الجزيء أفقياً وشاقولياً معاً ويكون :

$$dx = V dt$$

$$dy = - S_x dt$$

أي أن :

$$V dy = - S_x dx$$



الشكل (2-11)

وفي الظروف الحدية عندما يكون  $y = 0$  فإن  $x = \ell$

وعندما يكون  $y = h$  فإن  $x = 0$

وبالتالي يمكن أن نكتب أن :

$$\frac{dA}{dP} = \frac{-B}{Q} \int_0^{\ell} Sx dx = \frac{BSx}{Q} \int_0^{\ell} dx$$

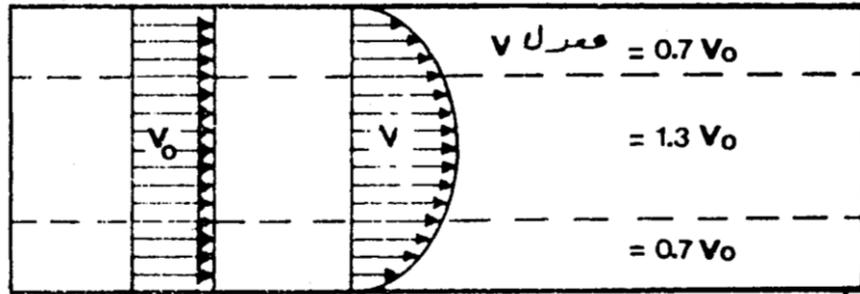
واستطعنا إخراج (Sx) خارج التكامل لأن قيمتها تبقى ثابتة على طول الحوض وبالتالي فإن :

$$\frac{dA}{dP} = \frac{BSx\ell}{Q} = \frac{Sx}{So}$$

وهذا يعني أن تغيير السرعة على عمق الحوض لا يؤثر مطلقاً على كفاءة الترسيب في الحوض .

أما من أجل تغيير السرعة على عرض الحوض فيمكن أن ندرس الأمر بتوزيع الحوض إلى شرائح طولانية كل منها ذات معدل تحميل سطحي ونسبة إزالة خاصين بها ، وبالتالي فإنه يتوقع انخفاض بسيط في كفاءة الحوض بسبب هذا التوزيع غير المنتظم للسرعة على عرض الحوض . انظر الشكل ( 2 - 12 )

بالإضافة إلى تأثير الجدران فسوف يحدث دائماً بعض الإضطراب بسبب الدخول غير المنتظم للمياه الخام أو بسبب الخروج غير المنتظم للمياه النقية على عمق وعرض الحوض أو بسبب التيارات الشاردة الناتجة عن الرياح أو عن الاختلاف في الكثافة أو عن التيارات الدوامة التي تحدث بسبب عطالة السائل الداخل مما قد يؤدي إلى زيادة كبيرة في سرعة جريان الماء في جزء من الحوض وبالتالي إنقاص واضح للكفاءة ، وأيضاً إلى نقل للمواد الصلبة المترسبة على القاع . وهنا يبقى جزء من السائل ساكناً أو يدور جزء من السائل حول نفسه



الشكل ( 2 - 12 )

وأيضاً يمكن أن يحصل نقصان مباشر في كفاءة الحوض عندما يكون مسقط الحوض حاوياً على منطقة راكدة أو تيارات دوامة .

ويلاحظ أنه من الممكن إنقاص تأثير حادثة الدورة القصيرة المشروحة أعلاه بإعطاء وأخذ الماء إلى الحوض ومنه بانتظام ، مانعين بذلك الدخول المركز للتدفق بسرعة كبيرة وخالطين المياه الداخلة مع محتوى الحوض بشكل أفضل وذلك لمنع التيارات الناتجة عن فرق الكثافة .

وكما هو ملاحظ فإنه يجب أن تتواجد في الحوض ظروف جريان متوازن يستطيع أن يصمد أمام تأثير الرياح واختلاف الكثافة.  
وهذا التوازن يصبح أفضل كلما ازدادت النسبة بين قوى العطالة وبين الثقالة الأرضية المعبر عنها برقم فرود اللابعدي .

$$F_r = \frac{V_o^2}{gR}$$

حيث R : هو نصف القطر الهيدروليكي .

بتعويض العلاقة  $V_o = S_o \frac{L}{H}$  بقيمة عدد فرود نجد :

$$F_r = \frac{S_o^2 L^2}{gRH^2}$$

وهذا يعني أن رقم فرود سيكون أكبر ، وبالتالي سيكون توازن الجريان أفضل ، عندما يكون معدل التحميل السطحي أكبر وعندما يكون الطول أكبر .

واختيار رقم لفروود مقداره ( $10^{-5}$ ) أو أكبر بقليل هو أمر مناسب للتصميم .

أما إذا زاد رقم فروود بشكل واضح فإن هذه الزيادة ستسبب إساءة إلى الحوض بالاضطراب أو نقل رواسب القاع .

## 2 - 2 - 2 - 3 - 2 - تأثير الاضطراب على عملية الترسيب :

في الجريان المضطرب سوف تتواجد مركبة سرعة مستعرضة مسببة بعثرة الجزيئات المنعزلة وإنقاص كفاءة الحوض.

ويلاحظ أن تأمين جريان صفحي هو من الأمور الصعبة . لذلك فغالباً ما يتم الجريان في المرسبات أفقية الحركة المستطيلة ضمن الظروف المضطربة وبكفاءة أقل مما هو محسوب من أجل الظروف المثالية .

أما في الأحواض الدائرية أفقية الحركة فإن تأثير الاضطراب يكون أكثر وضوحاً عند المركز بينما يتناهى هذا الجريان إلى الصفحي عند المحيط ، حيث يعطى رقم رينولد في هذه الأحواض بالعلاقة :

$$R_e = \frac{V_o R}{\nu} = \frac{Q}{2\pi r \nu}$$

حيث :

R = H : نصف القطر الهيدروليكي .

r : نصف قطر الحوض في المقطع المدروس .

هذا بالإضافة إلى تأثير عملية الترسيب برقم رينولد العائد لجريان الماء إلى الأعلى على طول الجزئيات المترسبة إلى الأسفل .

وبشكل عام نرى أن عملية الترسيب تتم في الظروف الصفحية على الأغلب أما حركة التيار المائي فإنها تتم في الظروف المضطربة على الأغلب أيضاً .

2 - 3 - 2 - 3 - نقل رواسب القاع ( Bottom Scour ) :

إن إزالة المواد العالقة من الحوض تتوقف على معدل التحميل السطحي  $So = \frac{Q}{BL}$  وذلك دون أن يكون للعمق أي تأثير على ذلك . ومع ذلك فقد وجد أن إنقاص عمق الحوض سياترافق بزيادة سرعة جريان الماء في حوض الترسيب  $Vo = \frac{Q}{BH}$  مما قد يؤدي إلى جرف المواد الصلبة المترسبة على القاع . وهذا الجرف يبدأ من السرعة (Vs) عندما يكون القص الهيدروليكي بين التيار المائي وبين الترسبات المتوضعة على القاع مساوياً إلى قوة الاحتكاك الميكانيكي بين الجزئيات المتوضعة على القاع وبين قاع الحوض هذا .

تعطى قوة القص الهيدروليكي المطبق على واحدة المساحة بالعلاقة الآتية :

$$\tau = \rho_w g R J$$

حيث : J ميل سطح الماء الذي يعطى بالعلاقة :

$$J = \lambda \frac{1}{4R} \frac{V_s^2}{2g}$$

λ : عامل الاحتكاك الهيدروليكي وهذا العامل يعطى في المرسبات البيتونية بقيمة وسطية مقدارها ( 0.03 ) .

أما قوة الاحتكاك الميكانيكي بين الجزئيات المتوضعة على القاع وبين هذا القاع والمطبقة على واحدة المساحة ، فإنها تتناسب مع الوزن المغمور للمواد الصلبة المترسبة كما في الشكل (2 - 13) .

$$f = \alpha_f \cdot N = \alpha_f \cdot \alpha_p ( \rho_s - \rho_w ) gd$$

$$= \beta ( \rho_s - \rho_w ) gd$$

حيث :

d : قطر الجزئيات المترسبة على القاع .

$\alpha_f$  : عامل الاحتكاك وتتراوح قيمته بين (0.2) وبين (0.1) .

$\alpha_p$  : عامل المسامية وتتراوح قيمته بين (0.2) وبين (0.6) .

$\beta$  : عامل تتراوح قيمته بين (0.04) وبين (0.06) ويؤخذ بقيمة ( 0.06 ) من أجل المواد المتشابهة

اللزجة غير المنتظمة ويؤخذ بقيمة (0.04) من أجل المواد الرملية ذات الحبيبات المنعزلة .

وعندما تتساوى قوة الاحتكاك مع قوة القصر فإن هذا سيكون لحظة بدء نقل رواسب القاع، وتأخذ السرعة التي تسبب نقل رواسب القاع القيمة :

$$V_s = \sqrt{\frac{40}{3} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot g \cdot d}$$

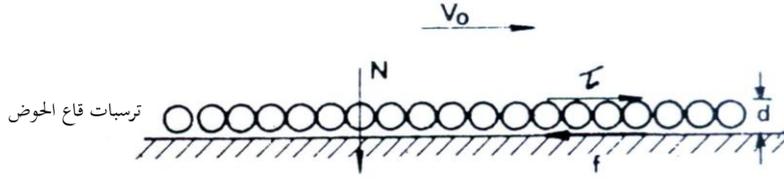
الشكل (2 - 13)

حيث أعطينا

قيما وسطية لـ

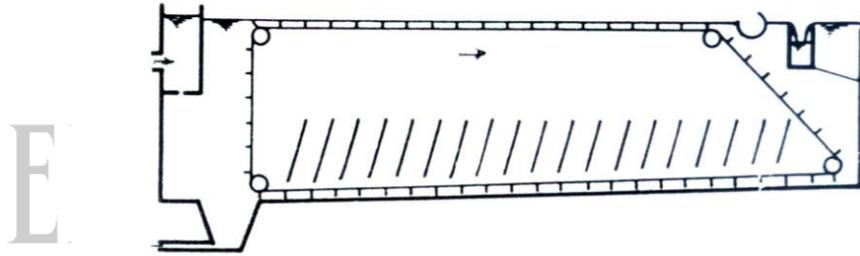
( $\lambda$ ) و ( $\beta$ )

هي :  $\lambda =$



من حالات زيادة السرعة الأفقية عن قيمتها النظرية ( $V_0$ ) قرب القاع بسبب دخول تيار مائي ذي درجة حرارة أخفض أو تركيز أكبر من ذلك الموجود في الحوض فإن حادثة نقل رواسب القاع ستكون أوضح .

يمكن أن نمنع رفع رواسب القاع ونقلها باستعمال الحواجز المبينة على الشكل (2 - 14) .



الشكل (2 - 14)

المثال (2 - 2) :

صُمم مرسب مستطيل لإزالة جزيئات ذات قطر (0.2 mm) وثقالة نوعية مقدارها (1.005) حدد معدل التحميل السطحي والعمق اللازم لمنع نقل رواسب القاع.

الحل :

من علاقة ستوك نوجد معدل التحميل السطحي :

$$S_o = \frac{9.81 \times 0.2^2 \times 10^{-6}}{18 \times 1.01 \times 10^{-6}} \left( \frac{1.005 - 0.99823}{0.99823} \right) = 1.46 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$$

السرعة التي تسبب نقل رواسب القاع .

$$V_s = \left[ \frac{40}{3} \frac{1.005 - 0.99823}{0.99823} \times 9.81 \times 0.2 \times 10^{-3} \right]^{0.5}$$

$$V_s = 0.013 \text{ m/sec}$$

$$V_s = \frac{Q}{W.H} = 0.013$$

$$S_o = \frac{Q}{WL} = 1.46 \times 10^{-4}$$

$$\frac{H}{L} = \frac{1.46 \times 10^{-4}}{0.013} = 0.011$$

وهذا يعني أن مرسباً ذو عمق طبيعي ثلاثة أمتار يمكن أن يكون بطول (273 m) بدون أن يحصل فيه حت لرواسب القاع . وبما أن المروقات في الحالات الطبيعية لا تصمم بأطوال كهذه فإننا يمكن أن نستنتج أن حت رواسب القاع لن يكون أمراً هاماً عند ترسيب معلقات كالواردة في نص المسألة .

### 2 - 3 - 2 - 3 - تصميم أحواض الترسيب أفقية الحركة المستطيلة :

تعتبر أحواض الترسيب المستطيلة من أنسب الأحواض المستعملة للترسيب العادي للمياه السطحية المعدة كمصدر للشرب ، ويتم تصميم هذه الأحواض انطلاقاً من فرض معدل للتحميل السطحي (So) يؤخذ عادة بقيمة (2.5 x 10<sup>-4</sup> m/sec) .

ومن معرفة التدفق الواجب تنقيته يمكن أن نحدد سطح الحوض  $A = \frac{Q}{S_o}$  وبفرض عمق للحوض يتراوح بين (3 m) وبين (4 m) ، يضاف إليه الارتفاع اللازم لاستيعاب الرواسب ، يمكن أن نحسب حجم الحوض ومدة البقاء فيه .

مدة البقاء في الحوض تتراوح عادة بين (4) وبين (6) ساعات وذلك حسب كمية المواد الصلبة الموجودة في الماء ونوعها وطريقة تنظيف الرواسب من الحوض .

أما سرعة الجريان الأفقية في الحوض فيجب أن لا تتجاوز (5 x 10<sup>-3</sup> m/sec) بحيث نحاول قدر الإمكان أن نحقق رقماً لرينولد تبعاً لجريان الماء في الحوض

$$\text{Re} = \frac{V_o R}{\nu} \leq 2000 \text{ ورقماً لفرد } Fr = \frac{V_o^2}{gR} \geq 10^{-5} \text{ ، وبحيث لا تتجاوز سرعة الجريان الأفقي}$$

السرعة العائدة لنقل رواسب القاع . وبشكل عام فإن الأحواض الطويلة تفضل عن الأحواض العريضة والقصيرة . بحيث لا يزيد العرض عن (12) م ولا يقل عن 1/4 الطول . أما إذا لم تتحقق القيم المذكورة أعلاه فيمكن أن نستعمل حواجز طولية في الحوض ، بحيث إما أن لا تصل إلى الطرف الثاني من طول الحوض أو أن تقسم الحوض إلى أحواض صغيرة .

يتم دخول الماء إلى حوض الترسيب وخروجه منه بواسطة هدار بشكل منشار ، أو هدار على شكل قناة ، أو عبر جدار شاقولي ذي فتحات ، ويكون معدل التحميل على هدار المخرج متراوحاً بين (25) وبين (100) م<sup>3</sup>/ساعة لكل متر طولي من الهدار . أما إزالة الحمأة المترسبة على قاع الحوض فتتم إما بشكل متقطع يدوي بتفريغ الحوض ، أو بشكل مستمر باستعمال زحافات . يحتاج التصريف اليدوي إلى عمق كبير لاستقبال الرواسب وإلى حوض احتياطي يحل محل الحوض الذي يجري تنظيفه ، حيث تستخدم المياه المتدفقة تحت ضغط مناسب لكسح الرواسب من قاع الحوض بعد تفريغه ، وتجمع هذه الرواسب في حيز ، تفرغ منه بالشكل الهيدروليكي أو بالضخ . ونراعى إعطاء قاع الحوض ميلاً يسهل عملية كسح الرواسب .

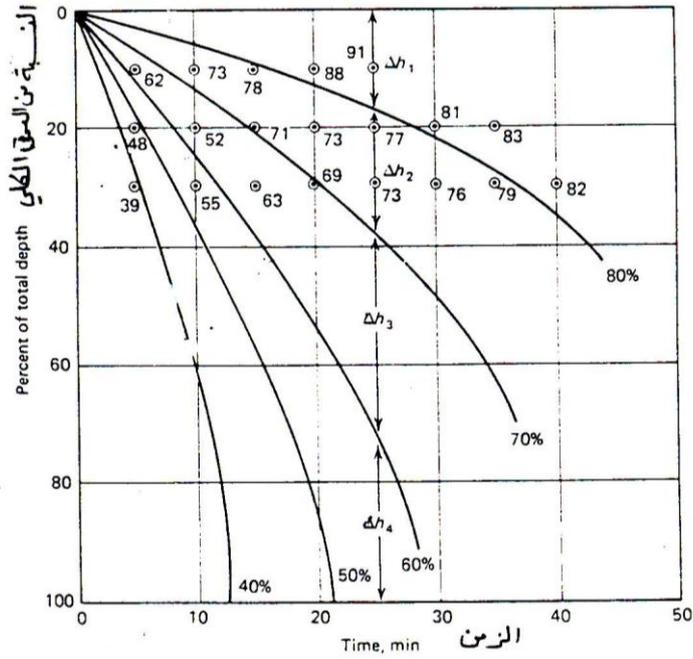
### 2 - 3 - 2 - 4 - أحواض الترسيب الدائرية أفقية الحركة :

تصمم أحواض الترسيب الدائرية أفقية الحركة بحيث تدخل المياه من مركزها وتسير بشكل قطري بسرعة متناقصة وبجريان مضطرب عند المركز يتناهي إلى الصفحي عند المحيط ، لتخرج هذه المياه من هدار على كامل محيط الحوض أو على جزء منه . ويمكن أن يتم جريان الماء بشكل معاكس من المحيط إلى المركز وذلك في أحوال أقل استعمالاً من الأولى .

أما إزالة المواد الصلبة المترسبة في هذا الحوض فتتم بواسطة جرافات دوارة تسحب هذه الرواسب إلى جذع مخروط مقلوب في مركز الحوض حيث تزال هذه المواد بواسطة الضخ أو بالضغط الهيدروليكي .

### المثال (2 - 3) :

من منحني الترسيب المبين على الشكل ( 2-15 ) حدد الكفاءة النظرية للترسيب في مرسب عمقه يساوي إلى عمق اسطوانات تجربة الترسيب ومدة البقاء فيه يساوي إلى (25min) . ما هو معدل التحميل السطحي الذي يمكن استعماله في مرسب بالحجم الكامل وذلك لنحصل على نتائج مشابهة للنتائج المخبرية .  
( تجربة الترسيب أجريت في اسطوانة عمقها 3m ) .



الشكل (2 - 15)

الحل :

عند الزمن (25 min) نرسم خطأً شاقولياً كما هو مبين على الشكل (2 - 15) من هذا الشكل نجد أنه في حجم الحوض الملائم لـ ( $Dh_4$ ) فإنه سوف تحصل إزالة نسبتها تتراوح بين (55 - 60%) وبشكل مشابه في حجم الحوض الملائم لـ ( $Dh_3$ ) فإنه سوف تزال نسبة من الشوائب تتراوح بين (60 - 70%) وبشكل مشابه فإن نسبة الإزالة الكلية (بفرض أن التغير خطي بين كل حدين) ستكون من الشكل :

$$A = \frac{55+60}{2} \times \frac{Dh_4}{h} + \frac{60+70}{2} \times \frac{Dh_3}{h} + \frac{70+80}{2} \times \frac{Dh_2}{h} + \frac{80+100}{2} \times \frac{Dh_1}{h}$$

وبتحديد قيمة ( $Dh_i$ ) من الشكل (2-15) فإننا سنحصل على :

$$A = (57.5 \times 0.3) + (65 \times 0.32) + (75 \times 0.21) + (90 \times 0.17) = 69\%$$

إن المرسب هو ذو عمق (3m) ومدة بقاء (25 min) وبالتالي يكون :

$$\frac{V}{Q} = \frac{A \times 3}{Q} = 25 \times 60$$

ويكون معدل التحميل السطحي عليه هو :

$$So = \frac{Q}{A} = \frac{3}{25 \times 60} = 2 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$$

ومن أجل المرسب بالحجم الكامل يكون :

$$So = \frac{2 \times 10^{-3}}{1.5} = 1.33 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$$

إن معدل الترسيب هذا هو أعلى بشكل واضح مما يستعمل في المرسبات الواقعية حيث أن

كفاءة الترسيب هي أقل بكثير مما هو مرغوب في الحالة الطبيعية . وإن تحليلاً مشابهاً لما فعلناه في المثال

باستعمال مدة بقاء في المرسب غير الأولى وباستعمال معطيات الشكل ( 2 - 15 ) هذا التحليل سوف يسمح بإقامة علاقة بين : كفاءة الترسيب ومعدل التحميل السطحي مما يمكن من تحديد المساحة اللازمة للترسيب من أجل أية كفاءة مطلوبة .

### 2 - 3 - 3 - الترسيب المعاق (Hindered settling) للجزيئات المنعزلة :

يحصل الترسيب المعاق عندما يكون السائل حاوياً على كثافة كبيرة من المواد الصلبة مما يسبب أفعالاً متبادلة بين الجزيئات وعندما تكون الجزيئات الافرادية قريبة جداً من بعضها بحيث يكون انزياح الماء الناتج عن ترسيب جزيء ما مؤثراً على ترسيب الجزيء المجاور وهذه الحالة يمكن أن تحصل في مكثفات الحمأة التي قد تستعمل لإنقاص رطوبة الحمأة في منشآت معالجة مياه الشرب .  
وإن تقدير المدى الذي يمكن أن يعاق به الترسيب يمكن أن نحصل عليه من المعادلة:

$$\frac{Sh}{S} = 1 - fc_v^{2/3}$$

حيث:

Sh = سرعة الترسيب المعاق .

S = سرعة الترسيب الحر .

Cv = التركيز الحجمي للجزيئات في الماء (حجم الجزيئات مقسوماً على الحجم الكلي للسائل) .

f = عامل يتبع نوع وحجم الجزيئات في الماء وسرعة ترسيبها ويمكن أن يأخذ القيم الآتية:

f = 1.2 من أجل حبيبات كروية تترسب ترسيباً مضطرباً .

f = 1.4 من أجل حبيبات رملية تترسب ترسيباً مضطرباً .

f = 2.0 من أجل حبيبات كروية تترسب ترسيباً صفحياً .

f = 2.8 من أجل الترسيب الصفحي لندف الكلس .

### المثال ( 2 - 4 ):

يجوي سائل على جزيئات من  $(CaCO_3)$  بحجوم تقريبية (0.1 mm) وثقالة نوعية (1.1) وتركيز كتلي مقداره (7%) . يراد ترسيبه في مكثف للحمأة .  
أوجد معدل التحميل السطحي اللازم في مكثف الحمأة .

**الحل :**

إن سرعة الترسيب الأصلية من علاقة ستوك هي :

$$S = \frac{gd^2}{18\nu} \left( \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) = \frac{9.81 \cdot 0.1^3 \times 10^{-6}}{18 \times 1.01 \times 10^{-6}} \left( \frac{1.1 - 0.99823}{0.99823} \right) = 5.5 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$$

كمية الجزيئات هي (7%) فإن تركيز السائل يكون (70000 mg/l) ومن أجل ثقالة نوعية (1.1) يكون الحجم المشغول بهذه الجزيئات هو :

$$\frac{70000}{1.1} = 63.636 \text{ ml}$$

ويكون :

$$Cv = \frac{63.636}{10^3} = 0.064$$

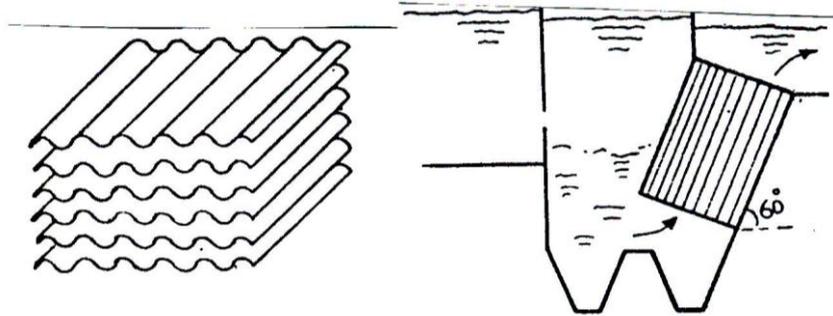
$$Sh = 5.5 \times 10^{-4} (1 - 2.8 \times 0.064^{2/3})$$

$$Sh = 3.05 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$$

وبالتالي فإن معدل التحميل السطحي المطلوب في مكثف الحمأة هو (3.05x 10<sup>-4</sup> m/sec).

## 2 - 3 - 4 - الترسيب في المرسبات ذات الصفائح المائلة والترسيب الأنبوبي:

لاحظنا أن كفاءة الترسيب في المرسبات أفقية الحركة لا تتعلق بعمق المرسب وقد وجد أن القيمة المثلى لعمق حوض الترسيب هي قيمة صغيرة مما دعا إلى اقتراح إجراء عمليات الترسيب باستعمال عدد من الصفائح ذات الشكل المتموج ، كما في الشكل (2-16) . بحيث تكون المسافة بين الصفائح قليلة جداً (10 - 30 cm) . وتوضع هذه الصفائح في حوض الترسيب بشكل مائل بحيث تكون مسافة الترسيب أكبر بقليل من المسافة بين الصفائح . أما الوحل المترسب بين الصفائح فإنه سوف ينزلق على طول الصفائح إلى الأسفل . وبشكل عام فإن هذه الصفائح يمكن أن تصنع من أي نوع من المواد، ولكن تفضل الصفائح البلاستيكية. إن مدة البقاء في هذه الأحواض قليلة جداً لأن معدل التحميل السطحي هو كبير جداً.



الشكل (2-16)

وفي هذه الأحواض يمكن أن نحصل على تنقية جيدة للمياه بسبب إمكانية توفير جريان ذي رقم صغير لرينولد ورقم معقول لفرود . أي أن الجريان في هذه الأحواض سيتم في الظروف الصفحية وسيكون

متوازناً إلى حد جيد أيضاً . ومن الشكل (2-17) يبدو أن حركة جزيء من المواد الصلبة بين النقطتين ( A و D ) ستتم كمحصلة لسرعة الجريان (Vo) وسرعة الترسيب (So) بحيث يمكن أن نكتب:

$$\frac{CD}{So} = \frac{AC}{Vo}$$

$$So = Vo \left( \frac{CD}{AC} \right) = Vo \left[ \frac{w / \cos \Phi}{(H + w / \cos \Phi) / \sin \Phi} \right]$$

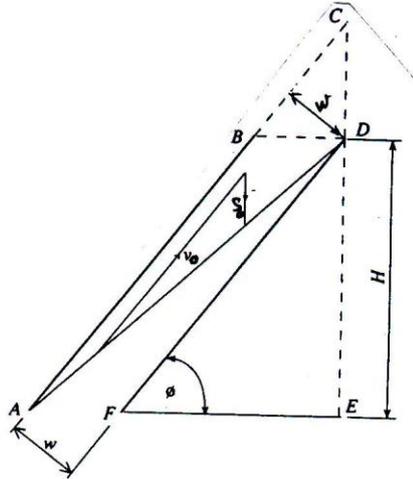
$$Vo \sin \Phi = \frac{Q}{A}$$

حيث : Q هو التدفق الكلي .

A سطح الحوض .

وهكذا يكون :

$$So = \frac{Q}{A} \left[ \frac{w / \sin \Phi}{H / \tan \Phi + w / \sin \Phi} \right] = \frac{AF}{AE}$$



الشكل (2-17)

وبشكل عام فإن هذه الصفائح يمكن أن تضاف إلى المرسبات الابتدائية أفقية الحركة بدون مروبات كيميائية وإلى المرسبات شاقولية الحركة مع مروبات كيميائية وقد أثبت أن إضافة هذه الصفائح إلى المرسبات شاقولية الحركة مع مروبات كيميائية بتباعدات مقدارها (300 mm) وبارتفاع مقداره (2.9 m) تؤدي إلى زيادة كفاءة المروق إلى أكثر من ضعف الكفاءة بدونها .

## التهال (2 - 5) :

صمم حوضاً للترسيب أفقي الحركة لمعالجة تدفق مقداره ( 35000 m<sup>3</sup>/day ) معالجة ابتدائية بدون إضافة مروبات كيميائية ( الجزيئات هنا منعزلة غير قابلة لتشكيل الندف ) وذلك في درجة حرارة مقدارها ( 22 °C ) وذلك بإضافة صفائح مائلة يتم الجريان بينها .

## الحل:

لنختار معدلاً للتحميل السطحي مقداره  $S_o = 2.510^{-4} \text{ m/sec}$

زاوية ميل الصفائح على الأفق  $\phi = 60^\circ$

الارتفاع الشاقولي للصفائح  $H = 2.9 \text{ m}$

التباعد بين الصفائح عمودياً على مستويها  $W = 0.3 \text{ m}$

تتحرك السيالة المائية بين صفحتين بحيث تقطع الجزيئات ذات سرعة الترسيب الحدية المسار (AD) (الشكل 2 - 17) في زمن مقداره (t) :

$$S_o = \frac{Q}{A} \frac{W}{H \cos \Phi + W}$$

$$S_o = \frac{Q}{A} \frac{0.3}{2.9 \times 0.5 + 0.3} = \frac{1}{5.83} \frac{Q}{A}$$

وهذا يعني أن معدل التحميل السطحي قد ازداد بـ (5.83) مرة مما كان عليه في المرسبات أفقية بدون صفائح مائلة وبالتالي فإننا نحتاج إلى سطح للمرسب أصغر بـ (5.83) مرة مما نحتاج إليه بدون هذه الصفائح.

$$A = \frac{1}{5.83} \frac{Q}{S_o} = \frac{35000}{86400 \times 2.5 \times 10^{-4}} \times \frac{1}{5.83} = 277.778 \text{ m}^2$$

يمكن أن نصمم هنا حوضاً مربعاً منقصبين بذلك كلفة الإنشاء بأبعاد:

$$16.8 \times 16.8 \text{ m}$$

وتكون بذلك قيمة  $V_o$  :

$$V_o = \frac{35000}{86400 \times 16.8 \times 16.8 \times \sin 60} = 1.66 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$$

نصف القطر الهيدروليكي :

$$R = \frac{W \times B}{2W + 2B} = \frac{0.3 \times 16.8}{2(0.3 + 16.8)} = 0.147$$

رقم رينولد :

$$Re = \frac{V_o R}{\nu} = \frac{1.66 \times 10^{-3} \times 0.147}{10^{-6}} = 244$$

رقم فرود :

$$Fr = \frac{V_o^2}{gR} = \frac{1.66^2 \times 10^{-6}}{9.8 \times 0.147} = 1.9 \times 10^{-6}$$

من رقم فرود نلاحظ أن الجريان بين الصفائح المائلة هو مستقر إلى حد ما .  
ومن رقم رينولد نلاحظ أن الجريان بين الصفائح هو خطي إلى حد ما أيضاً .

## 2 - 3 - 5 - الترسيب مع تشكيل الندف :

في هذه الطريقة تخلط المياه بمقادير صغيرة من المواد الكيميائية (Coagulants) غير الضارة لتكون بأحلالها في الماء مركبات تنمو إلى حجم الجزيئات الغروانية ذات الشحنات الإيجابية ، تتجمع حولها المواد العالقة والمواد العضوية والجراثيم ذات الشحنات السلبية ليكبر حجمها ويسهل التخلص منها بالترسيب ثم بالترشيح .

ولدراسة هذا الأمر بشكل مفصل قدمنا في الجدول (2-2) بعض المعطيات المبدئية عن المركبات الموجودة في المياه السطحية .

إن المواد المبينة في المجموعة (C) هي مواد عالقة تسهل إزالتها بالترسيب الذي يتبعه الترشيح. أما المواد العائدة للمجموعة (B) فهي الغروانيات ذات سرعة الترسيب الصغيرة جداً ، وبالتالي فهي لن تزال بوساطة الترسيب البسيط ، كما أن جزيئاتها صغيرة إلى الحد الذي يسمح لها بأن تمر من الفراغات بين حبات رمل المرشح وخاصة إذا كانت ذات تركيز كبير .

الجدول (2-2)

تسمياتها		نوعها	حجم الجزيئات
مواد عضوية	غازات		
		شوارد موجبة	شوارد سالبة
مواد عضوية ذات تنوع كبير	O <sub>2</sub> N <sub>2</sub> CO <sub>2</sub>	Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup> Ca <sup>++</sup> Mg <sup>++</sup> Fe <sup>++</sup> Mn <sup>++</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
		حموض أمينية بروتينات غضار غرواني سيليكات غروانية مواد سامة	غروانيات
		مواد عالقة	باكتريا 10 <sup>μ</sup> - 1
		مواد عالقة غير عضوية : غضار - رمل مواد عالقة عضوية : بقايا مواد عضوية حيوانية ونباتية	> 1 μ

أما المواد المشار إليها في المجموعة (A) فهي شوارد وجزيئات تشكل في الماء محلولاً حقيقياً وليس من السهل إزالتها . بالإضافة إلى أثارها الجانبية ( كتآكسد مركبات النشادر والمواد العضوية والحديد والمغنيز ) وهذه المواد لا يمكن إزالتها بالترشيح البسيط .

وفي هذه الحالة وللتخلص من المواد الغروانية وبعض المواد المنحلة فإننا نطبق عملية الترويب الكيميائي ( التثخير الكيميائي ) الذي يتم بإضافة مركبات وأملاح الألمنيوم وغيرها من المواد الكيميائية لنحول الجزيئات الغروانية إلى ندف كبيرة الحجم تسهل إزالتها بالترويب والترشيح .

## 2 - 3 - 5 - 1 - المواد الغروانية :

عندما تحتوي المياه على جزيئات غروانية فإننا سنسميها بالمحلول الغرواني علماً بأن المحلول الغرواني ليس محلولاً حقيقياً ، إذ أن النظام الغرواني ممكن فقط عندما تكون المواد الغروانية منتشرة بشكل جزيئات ناعمة غير قابلة للانحلال في الماء . ومن ثم فإن المحلول الغرواني "كمعلقات لجزيئات غير قابلة للانحلال في الماء " لن يكون مستقرًا

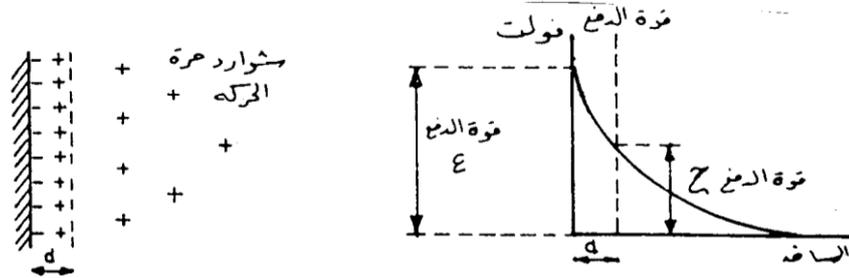
بسبب المساحة السطحية الكبيرة العائدة للجزيئات الغروانية وبالتالي بسبب المستوى المرتفع للطاقة العائدة لسطح هذه الجزيئات . وكمثال فإنه إذا قسم حجم  $(1 \text{ cm}^3)$  من مادة ما إلى مكعبات طول حرف كل منها  $0.1 \text{ mm}$  ( حجم الرمل الناعم ) فإن مجموع سطوحها سيكون  $(0.06 \text{ m}^2)$  ، بينما إذا قسم هذا الحجم إلى مكعبات طول حرف كل منها  $10^{-5} \text{ mm}$  ( الحجم الوسطي للمواد الغروانية ) فإن مجموع سطوحها سيكون  $(600 \text{ m}^2)$  . ومثل هذا النظام عادة يكون هناك ميل إلى تغيير الحالة إلى الطاقة الأخفض وهذا يعني أن الجزيئات الصغيرة ستتحد في جزيئات أكبر .

هذا الاستنتاج عن عدم استقرار المحلول الغرواني غير صحيح إذ أن أهم ميزة للمحلول الغرواني هي ثباته الناتج عن الشحنات الكهربائية للجزيئات الغروانية كما سنشرح فيما يلي :

يمكن أن نبرهن على وجود الشحنات الكهربائية بأن نضع في المحلول الغرواني مسرين أحدهما موصول إلى القطب الموجب من بطارية كهربائية والآخر موصول إلى القطب السالب منها ، وسنرى أن الجزيئات الغروانية ستتحرك إلى أحد القطبين فإذا تحركت هذه الجزيئات إلى القطب الموجب سنقول أن للجزيئات شحنة كهربائية سالبة وندعو المحلول محلولاً غروانياً سالباً . وإذا تحركت الجزيئات إلى القطب السالب فإننا سنقول أنها ذات شحنة كهربائية موجبة وندعو المحلول بمحلول غرواني موجب ، وهذه الظاهرة تدعى بالهجرة الكهربائية للدقائق المعلقة (Electrophoresis)

ويجب أن نشير هنا إلى أن الشحنات هذه ليست شحنات كهربائية عادية ، إذ أن مكشافاً كهربائياً مقرباً إلى جانب المحلول الغرواني لن يشير إلى وجود شحنات كهربائية . وبالتالي فإننا لن نستطيع أن نقوم بوجود هذه الشحنات بالوسائل العادية . هذا التناقض الظاهر يمكن أن نفسره بوجود

طبقة كهربائية مضاعفة حول الجزيئات الغروانية (Electric double – layer) كما في الشكل (2-18)



الشكل (2-18)

إن جزيئاً صلباً كفقاعة غاز أو قطيرة زيت أو أية مادة أخرى خاملة كيميائياً سوف يمتص ( يمتص ) إلى سطحه ( adsorb ) الأيونات السالبة ( في مثالنا ) كأيونات الهيدروكسيل مثلاً وهذا الامتزاز سوف يحدث بسبب ما يدعى بقوى فان درفال غير الكهربائية . وبسبب قوى الجذب الكهربائي الساكن العادي فإن هذه الأيونات السالبة سوف تجذب إليها الأيونات الموجبة . وهكذا تتشكل الطبقة الكهربائية المضاعفة ، وحول هذه الطبقة الثانية توجد بعض الأيونات المنتشرة حرة الحركة . في حالة وجود مواد مثل البروتينات أو المتعضيات المحهية فإن شحنة السطح تكتسب من

خلال عملية التأين للكربوكسيل والمجموعات الأمينية حيث نحصل على:  $R_{NH_2}^{COO-}$  عند PH المرتفعة و  $R_{NH_3}^{COOH}$  عند PH المنخفضة و  $R_{NH_3}^{COO-}$  عند PH المعتدلة ، حيث تعبر (R) عن جسيم المادة الصلبة .

يمكن أيضاً أن تتطور شحنة السطح عبر الاستبدال المتبادل ( استبدال شاردين متماثلتين في البنية ومختلفتين في التكوين الكيميائي ) وهذا يحدث في الغضار وذرات التربة الأخرى التي يمكن أن تستبدل فيها الأيونات في البنية الشبكية للجزيء بالأيونات من المحلول كاستبدال Si بـ Al . إن وجود الطبقة الكهربائية المضاعفة يعطينا تفسيراً جيداً لظاهرة الهجرة الكهربائية . بفرض أن الأيونات الملتصقة الأولية ( السالبة في مثالنا ) تكون منجذبة بقوة كبيرة حتى أننا يمكن أن نعتبرها تابعة للجزيء نفسه ، أما الأيونات المنجذبة الثانوية ( الموجبة في مثالنا ) فإن جزءاً منها يمكن أن يعتبر قابلاً للحركة . وبسبب وجود حقل كهربائي بين القطبين اللذين وضعناهما في المحلول الغرواني فإن الأيونات الموجبة حرة الحركة سوف تندفع نحو القطب السالب وبالتالي فإنه سيبقى للجزيئات الغروانية شحنة سالبة إضافية تسبب حركتها باتجاه القطب الموجب .

من الشكل ( 2-15 ) نلاحظ وجود قوتي دفع تؤثران على سطح جزيء صلب هما قوة الدفع الترموديناميكية  $\epsilon$  ( Thermo dynamic potential ) وقوة الدفع الكهربائية الحركية ( قوة دفع زيتا Electro – kinetic potential ) ثم تتناقص قوة الدفع حتى تصل إلى القيمة صفر في جسم المحلول

والأهم هنا قوة دفع زيتنا إذ أن هذه القوة تعتمد على عدد الايونات حركة الحركة ، فكلما زاد عدد هذه الايونات زادت قوة زيتنا وأصبح المحلول الغرواني أكثر ثباتاً أو بكلمات أخرى نقول أن ازدياد كمية الايونات حرة الحركة حول الجزيئة يترافق مع زيادة قوى التنافر بين الجزيئات .

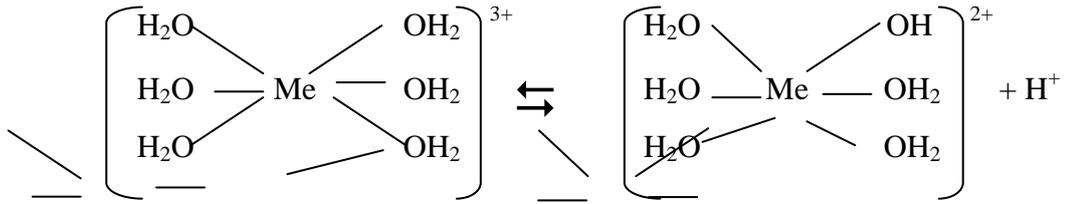
## 2 - 3 - 5 - 2 - عملية تشكيل الندف :

لانقاص ثبات المحلول الغرواني يجب تخفيض قوى زيتنا ويتم هذا الأمر بإضافة مواد الالكتروليت التي تملك تأثير انقاص كمية الشوارد الحرة وبالتالي تنقص قوى التنافر بين الجزيئات ، وهنا يجب أن نشير إلى أن الايونات ذات الإشارة المعاكسة هي صاحبة التأثير في هذا المجال . ففي المحلول الغرواني المشحون إيجابياً فإن الشوارد السالبة ( Anions ) فقط هي المؤثرة ، وفي المحلول الغرواني المشحون سلبياً فإن الشوارد الموجبة ( kations ) هي الفعالة فقط . كما يمكن أيضاً انقاص ثبات المحلول الغرواني بإضافة شوارد تسبب انقاص الشحنة ( ايونات محددة الجهد ) وهذه بمجرد إضافتها ستقوم بمعالجة سطح الجزيء الغرواني أو ستتفاعل معه لكي تخفض الشحنة . ويتم هذا العمل بإضافة الحموض أو الأسس القوية التي تقلل شحنة أكاسيد المعادن أو الهيدروكسيدات إلى قيمة قريبة من الصفر .

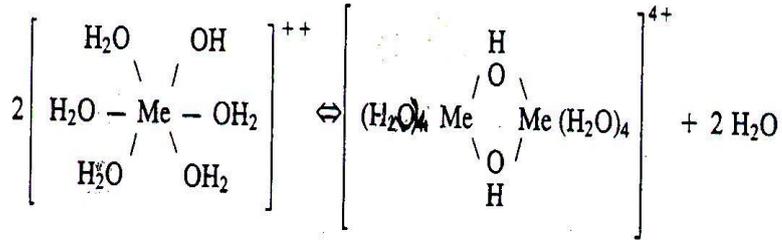
وقد يتم تشكيل الندف بإضافة جزيئات مادة عضوية طويلة السلسلة ( البوليميرات ) تكون وحداتها الجزيئية قابلة للتأين وتدعى البولي الكتروليتات ، وهذه تسبب إزالة المادة الغروانية من الماء بالادمصاص وإقامة الجسور مما يؤدي إلى إنقاص قوة الدفع زيتنا . وبالتالي انقاص قوى التنافر مع زيادة جرعة الالكتروليتات إلى حد معين ، وهذا ما سنشرحه في نهاية هذا الفصل بالتفصيل بما يسمى مساعدات الترويب . يمكن أيضاً إنقاص قوى زيتنا للمواد الغروانية بتعديل المحلول الغرواني أي بإضافة محلول غرواني سالب إلى محلول غرواني موجب . إن هذا النوع من تشكيل الندف يدعى تشكيل الندف التبادلي ، وهو هام جداً في أعمال تنقية مياه الشرب بالترويب الكيميائي ، إذ أن أغلب أنواع المياه المعدة للتنقية تحتوي على مواد غروانية ذات شحنات سلبية وبالتالي فإن المحاليل الغروانية لأملاح الحديد والألمنيوم التي نضيفها إلى الماء في هذه الحالة والمشحونة إيجابياً سوف تساهم في عملية تشكيل الندف التبادلي المذكورة أعلاه ، وجرعة هذه المركبات تزداد بازدياد تلوث الماء وهي لا تحسب من نتائج التحليل الكيميائي للماء وإنما تحدد بالتجربة .

## 2 - 3 - 5 - 3 - عملية حلمأة ( انحلال ) أملاح المعادن في الماء والتبلمر :

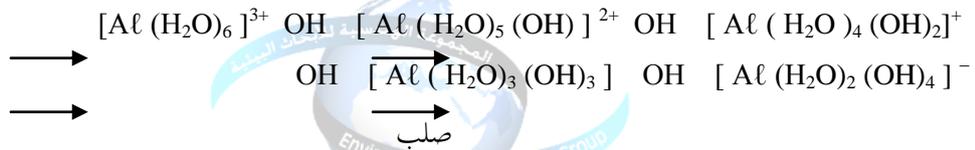
في الماضي كان يعتقد أن  $(Al^{+3})$  و  $(Fe^{+3})$  هما المسؤولان عن التأثيرات الملاحظة أثناء عملية التثخير ( الترويب ) . أما الآن فقد عُلم أن نواتج انحلالهم في الماء هي المسؤولة عن عملية الترويب . إذ أن حلمأة أملاح المعادن الثلاثية التكافؤ مثل الكروم والألمنيوم والحديد وذلك عند إضافة قلوي أو بوجوده في الماء يمكن أن تمثل بما يلي :



وعند هذه النقطة فإنه قد تحصل بلمرة ( تعدد جزيئات ) كما في الصيغة التالية :



وبشكل عام فإن عملية الحلمأة بوجود قلوي في الماء تتم بالشكل الآتي :



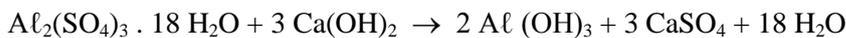
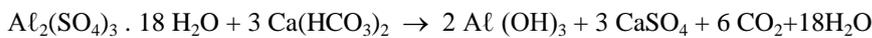
مع إمكانية ظهور نواتج بلمرة جانبية بصيغ لا نهائية العدد نذكر منها :



إن واحداً أو أكثر من نواتج الحلمأة والبلمرة هذه يمكن أن يكون مسؤولاً عن عملية تشكيل الندف التي تتم بوجود قلوي في الماء . وبما أن تفاعلات الحلمأة والبلمرة تتغير نواتجها باستمرار مع الزمن فإن فعالية الألمنيوم والحديد ستختلف مع الزمن أيضاً.

## 2 - 3 - 5 - 4 - المواد الكيميائية المستعملة في الترويب :

آ - كبريتات الألمنيوم : هي من أرخص المواد المستعملة للترويب وهي تسمى تجارياً بالشب ، وهي ذات لون رمادي داكن على شكل بلورات وتحتوي على بعض الشوائب بشكل مركبات الحديد والزرنيخ . وهي تصنع بخلط أكسيد الألمنيوم ( البوكسيت ) مع حامض الكبريتيك في أحواض حديدية حيث يغلى المزيج حتى يتركز وينفصل الشب . وإن الشكل العام لانحلال كبريتات الألمنيوم في الماء الحاوي على قلوية بيكربونات الكالسيوم أو المضافة إليه ماءات الكالسيوم يتم عادة كما يلي :



وإن ماءات الألمنيوم المتشكلة يمكن أن تدعى بشكل أكثر دقة بأوكسيد الألمنيوم الميه :  $Al_2O_3 \cdot 3 H_2O$

وإن ثاني أكسيد الكربون المتشكل نتيجة التفاعل يمكن أن يتعادل مع قلوية الماء الخام ليسبب بعض الإنخفاض لقيمة (PH) للماء أما مركب  $(Al_2O_3 \cdot 3 H_2O)$  فإن قابلية انحلاله في الماء ضعيفة جداً وسوف تكبر جزيئاته إلى الحجم الغرواني ليشكل محلولاً غروانياً موجب الشحنة. ويتم عادة تصحيح قيمة (PH) للماء بإضافة بعض الكلس وذلك حسب كمية شوارد البيكربونات الموجودة في الماء وكمية ثاني أكسيد الكربون الناتج .

ويضاف الشب عادة بكمية تتراوح بين (10 mg/l) إلى (120 mg/l) وذلك حسب درجة عكارة الماء .  
ب - كبريتات الألمنيوم مع ألومينات الصوديوم : إن ألومينات الصوديوم  $Na_2O + Al_2O_3 \rightarrow$

$2 NaAlO_2$  والذي يعطي محلولاً شديد القلوية ، يمكن أن يستعمل في عمليات الترويب بإضافته إلى الماء مع كبريتات الألمنيوم لينحلان في الماء حسب التفاعل الآتي :



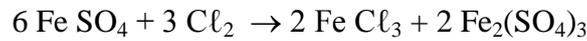
ولا ينتج في هذه الحالة أي حمض وبالتالي فلا ضرورة لاستخدام الكلس .

ج - الشب الأسود : وهو عبارة عن مسحوق الشب مضافاً إليه نسبة ( 2 - 5 % ) من مسحوق الكربون المنشط الذي يعمل على إزالة رائحة وطعم الماء ويوفر الأحواض الخاصة بالكربون المنشط .

د - كلوريد الحديد : عند استعمال كلوريد الحديد كمادة مروبة فإن انحلاله في الماء الحاوي على شوارد البيكربونات يعطي التفاعل الآتي :



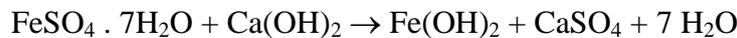
هـ - كبريتات الحديد : إن استعمال كبريتات الحديد كمادة مروبة يعطي نتائج جيدة فقط في الحالة التي تكون فيها (PH) للماء عالية  $PH > 8.5$  لذلك فمن الأفضل معاملة كبريتات الحديد بالكلور إلى مزيج من كلوريد الحديد وكبريتات الحديد كما في المعادلة الآتية :



وبوجود كربونات الكالسيوم في الماء يكون :



أما إذا لم نعامل كبريتات الحديد بالكلور فيكون من الأفضل إضافة ماءات الكالسيوم لتأمين رفع ل (PH) ليصبح التفاعل .



حيث يوجد الأكسجين يتم التفاعل الآتي :



إن كبريتات الحديد هي ناتج لفضلات صناعة الفولاذ لذا فهي رخيصة نوعاً ما في البلدان الصناعية وإن مزيج كلوريد الحديد وكبريتات الحديد يسمى كبريتات الحديد المكثورة . وهذا المزيج فعال في عملية الترويب على مدى واسع ل (PH) .

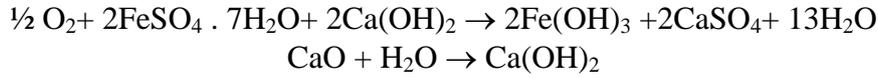
المثال ( 2 - 6 ) :

تمت إضافة جرعة ( 30 mg/l ) من كبريتات الحديد إلى مياه سطحية يراد معالجتها كمصدر لمياه الشرب مع كمية ملائمة من الكلس والمطلوب :

1 - ما هي كمية (CaO) المضافة بفرض أن القوة التجارية للكلس الحي هي (70%)

2 - ما هي كمية الحمأة من Fe(OH)<sub>3</sub> المترسبة من كل لتر من الماء المعالج .

الحل :



$$Ca(OH)_2 = \frac{30 \times 2 \times 74}{2 \times 278} = 8 \text{ mg/l}$$

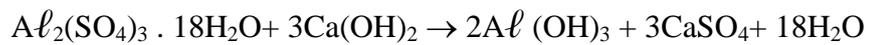
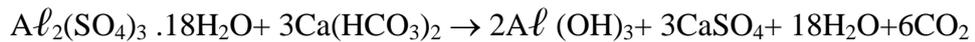
$$CaO = \frac{8 \times 56 \times 100}{74 \times 70} = 8.6 \text{ mg/l}$$

$$Fe(OH)_3 = \frac{30 \times 2 \times 107}{2 \times 278} = 11.5 \text{ mg/l}$$

المثال ( 2 - 7 ) :

يراد إجراء ترويب للماء بإضافة الشب والكلس الحي بجرعة للشب مقدارها ( 50 mg/l ) . ما هي جرعة الكلس المضافة إذا كنا نريد أن نفاعل فقط ( 10 mg/l ) من قلوية الماء مع الشب . ما هي جرعة الكلس المطلوبة بالإضافة إلى ( 10 mg/l ) من القلوية الطبيعية اللازمة للتفاعل مع جرعة الشب .

الحل :



كمية الشب الذي يتفاعل مع ( 10 mg/l ) من القلوية الطبيعية هي :

$$\frac{10 \times 100}{50} = 20 \text{ mg/l}$$

كمية الشب المتبقي للتفاعل مع الكلس هي :

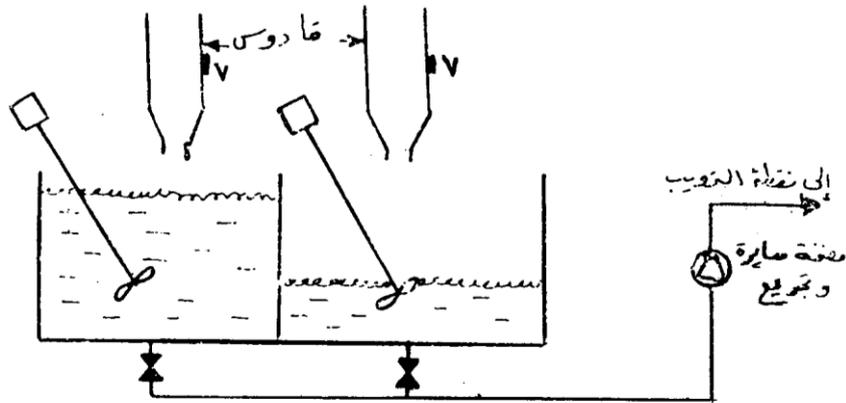
$$50 - 20 = 30 \text{ mg/l}$$

جرعة الكلس المطلوبة للتفاعل مع (30 mg/l) من الشب هي :

$$30 \times \frac{28}{100} = 8.4 \text{ mg/l as CaO}$$

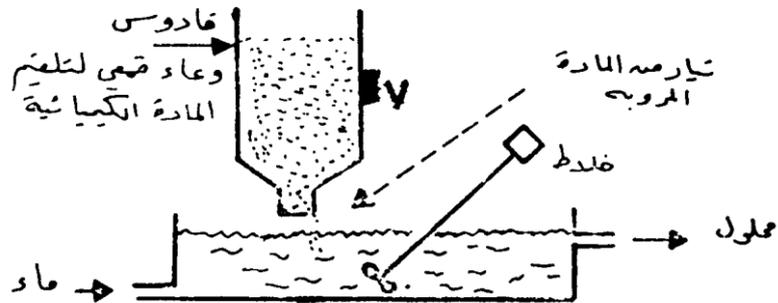
2 - 3 - 5 - معايرة وإضافة المواد المروية :

تضاف المواد الكيميائية إلى عمليات الترسيب بتحضير محلول مركز منها أو معلق ( كحالة إعطاء الكلس أو الكربون المنشط ) في خزان يكفي احتياجات (3 - 4) أيام ، أو في خزان لحالة المنشآت الكبيرة كما في الشكل (2 - 20) .



الشكل (2 - 20)

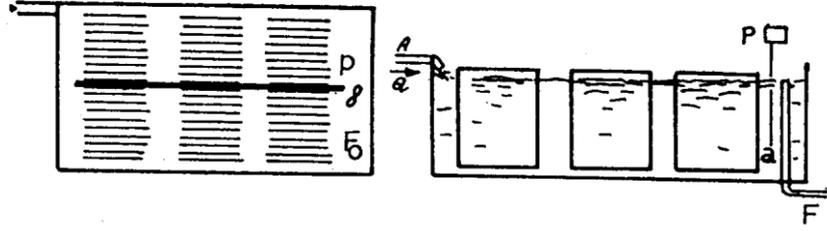
من الممكن أيضاً أن نحضّر محلول المادة الكيميائية المروية آتياً . ولا نحتاج هنا إلى خزانات كبيرة ، وإنما تجرع المادة المروية بوساطة مغذي جاف عبارة عن وعاء قمعي ذو رجاج . وتتم هذه التغذية بالمعدل اللازم بما يتناسب مع نوعية الماء الخام وتدفعه وذلك في خزان صغير يمر فيه تيار مائي لحل المادة الكيميائية كما في الشكل (2 - 21) .



الشكل (2 - 21)

في حالة استعمال كلوريد الحديد كمادة مروية فإنه يحضّر بالحالة المناسبة قبل التجريع مباشرة وذلك في خزان للتفاعل كما في الشكل (2 - 22) ، يوجد فيه عدد من صفائح الحديد المعلقة . يحوي هذا

الخزان على كلوريد الحديد ، ومن فتحة الدخول (A) يضاف محلول الكلور بتدفق مقداره ( Qm<sup>3</sup>/sec )  
ويدور السائل ضمن الخزان بواسطة مضخة (P) .



الشكل (2 - 22)

إن نفس الكمية من السائل التي تدخل الخزان من الفتحة (A) سوف تخرج من الفضال (F) .  
يحدث في الخزان التفاعل :



إن ايونات الحديدي الناتجة سوف تتحول بمساعدة الكلور إلى ايونات الحديد كما يلي :



إذا سمينا كمية الحديد المتحولة من الحالة المعدنية إلى شوارد ( Fe<sup>+++</sup> ) فإن هذه الكمية تعتمد  
على تركيز شوارد ( Fe<sup>+++</sup> ) وهو (C) ، وعلى درجة الحرارة والسطح الكلي لصفائح الحديد وعلى سرعة  
دوران السائل .

وبفرض أن العوامل الثلاثة الأخيرة تبقى ثابتة من أجل خزان معين ، فإن (P) ستكون تابعة  
لتركيز شوارد الحديد في الخزان (C) .

تبين التجارب أن هذه العلاقة يمكن أن تكتب بالشكل ( P = fC ) حيث (f) ثابت عائد  
لشروط التشغيل المذكورة أعلاه .

إن كمية شوارد ( Fe<sup>+++</sup> ) الخارجة من الفضال (F) هي ( q = QC ) وتصل إلى حالة التوازن

عندما تكون كمية شوارد الحديد الخارجة من الفضال تساوي إلى كمية الشوارد المنتجة ، وتحقق هذه  
المساواة عندما يكون P = q أو fC = QC أو Q = f وهذا التوازن ممكن فقط عند قيمة واحدة لـ (Q)

متعلقة بكل خزان تفاعل على حدة . وسوف ندعو هذه القيمة بقيمة التدفق الحرج ( Q' ) .

في الحياة العملية فإن قيمة (Q) لن تساوي (Q') وهناك احتمالان :

إما أن تكون ( Q > Q' ) أي ( QC > Q'C = P ) ، وهنا يكون تصريف شوارد الحديد (QC) أكبر من

الكمية المنتجة (Q'C) وبالتالي سوف ينقص تدريجياً التركيز (C) في الخزان ويوجد فائض في الكلور الحر

، ويكون خزان التفاعل قابلاً لكلورة فائض من كبريتات الحديدي ، في هذه الحالة لا تستخدم صفائح

الحديد بشكل جيد ، وبالتالي يجب إضافة كمية من كبريتات الحديدي باستمرار إلى الخزان حسب اللزوم

أو أن يكون (  $Q < Q'$  ) وبالتالي يكون (  $QC < Q'C = P$  ) أي أن تصريف شوارد الحديد (QC) أقل من قيمة (  $Q'C$  ) المنتجة وسوف يزداد تدريجياً التركيز . وبالتالي فإن كمية الكلور (التي تبقى عند نفس المستوى ) ستكون غير كافية لتحويل شوارد الحديد إلى حديد ، وسيحتوي المحلول الخارج من الحوض على شوارد الحديد .

## 2 - 3 - 5 - 6 - نظرية تشكيل الندف ( الترويب ) :

(Theory of Flocculation )

إن عملية تشكيل الندف معقدة نوعاً ما وتعتمد على عدة عوامل منها:

- 1 - نوع وتركيز المعلقات الغروانية الواجب إزالتها .
- 2 - نوع المادة المروبة ( Coagulant ) المستخدمة .
- 3 - قيمة (PH) للماء إذ يستعمل (  $Al^{+++}$  ) من أجل قيم  $PH = 4 - 7$  وتستعمل شوارد الحديد (  $Fe^{++}$  ) من أجل قيم  $PH < 8.5$  . وتستعمل شوارد الحديد (  $Fe^{+++}$  ) من أجل قيم  $PH < 4$  .
- 4 - درجة الحرارة إذ أنه بارتفاع الحرارة يحدث تشكيل الندف بشكل أفضل .
- 5 - الخلط: يصبح تشكيل الندف أفضل كلما كان الخلط أفضل، إذ أن جودة الخلط تتوافق مع تصادم أفضل للجزيئات . وبشكل عام فإن سرعة تشكيل الندف تتناسب مع عدد التصادمات في واحدة الزمن.

سوف نحسب عدد التصادمات في واحدة الزمن وذلك لحالة نظرية تكون فيها الجزيئات الغروانية بشكل كرات ذات أقطار متساوية ، بحيث نفترض أنه يوجد في السائل تغير ( تدرج ) في السرعة ذو قيمة

$$\text{ثابتة واتجاه ثابت } G = \frac{dv}{dz} \text{ كما في الشكل (23 - 2)}$$

يحصل التصادم بين جزيئين غروانيين عندما يدخل مركز أحدهما إلى كرة مركزها هو مركز الجزيء الثاني ونصف قطرها هو القطر (d) . نحسب الآن كمية الماء الداخل إلى هذه الكرة في واحدة الزمن .

ولهذا سنحسب أولاً كمية الماء الداخل إلى قرص على بعد (z) من مركز الكرة فيكون :

$$dq = \frac{dv}{dz} \cdot z \cdot 2\sqrt{d^2 - z^2} dz$$

$$= 2G \frac{z dz}{(d^2 - z^2)^{-1/2}}$$

كمية الماء التي تدخل إلى كامل الكرة :

$$q = 2 \int_0^d 2G \frac{z dz}{(d^2 - z^2)^{-1/2}}$$

تكتب نتيجة هذا التكامل بالعلاقة :

$$q = \frac{4G}{3} d^3$$

وبفرض أن الماء يجوي (n) جزئياً في واحدة المحجوم يكون عدد التصادمات في واحدة المحجوم وواحدة الزمن هو :

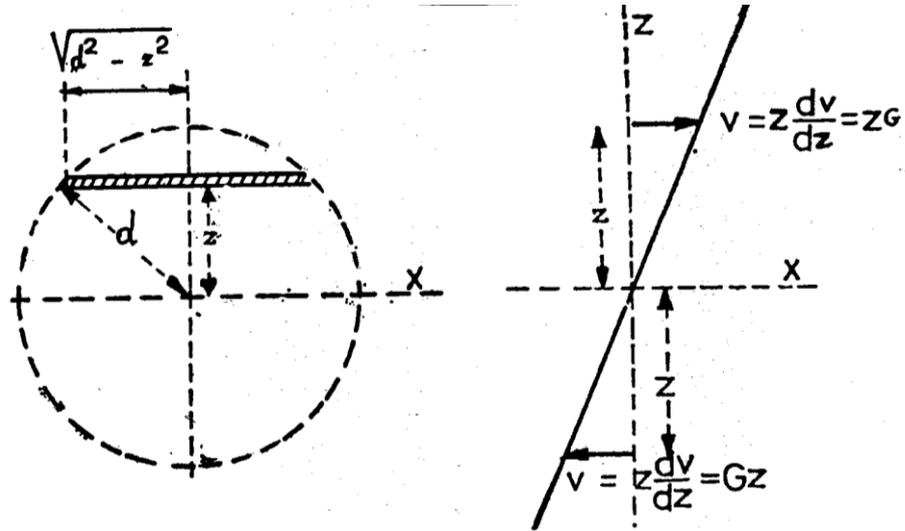
$$Ng = \frac{2}{3} Gn^2 d^3$$

وبالتالي فإن معدل تشكيل الندف يتناسب مع مربع عدد الجزئيات ( التركيز ) ومع تدرج السرعة ومع القوة الثالثة لقطر الجزئيات .

وفيما يلي نعطي بعض التفاصيل عن هذه العوامل التي تؤثر على معدل تشكيل الندف.

آ - عدد الجزئيات (n) :

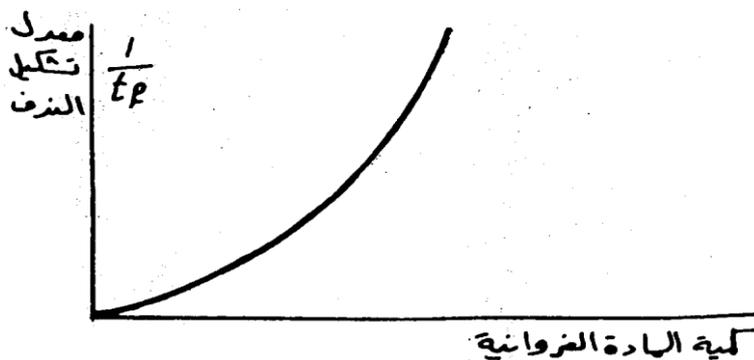
إن عدد الجزئيات (n) يعتمد على كمية الجزئيات الغروانية وعلى نوع هذه الجزئيات وهذا العامل لا يمكن التحكم فيه .



الشكل (2- 23)

بارتفاع درجة التلوث بالمعلقات الغروانية تزداد كمية المادة المروبة اللازمة وبالتالي يرتفع معدل تشكيل الندف أثناء المعالجة .

وبشكل عام فإن معالجة الماء الحاوي على كمية كبيرة من المواد الغروانية أسهل من معالجة الماء الحاوي على كمية قليلة من المواد الغروانية انظر الشكل (2-24) .



معدل  
تشكيل  
الندف

كمية المادة الغروانية

الشكل (2 - 24)

ب - قطر الجزيئات (d) :

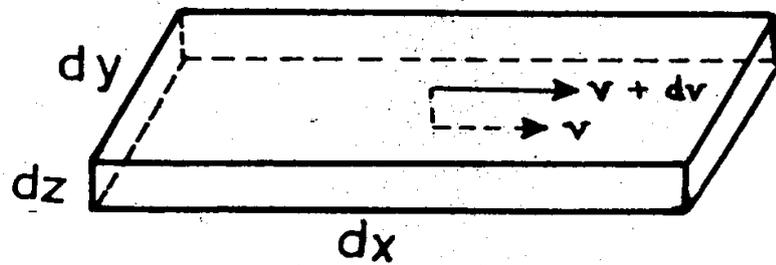
أثناء عملية تشكيل الندف يمكن أن نعتبر أن القطر البدائي للجزيئات هو ذو تأثير ضعيف.

ج - تدرج السرعة (C) : Velocity gradient

إن هذا العامل ذو تأثير واضح على معدل تشكيل الندف إذ أنه بتغيير قيمة (G) هذه نستطيع زيادة أو إنقاص معدل تشكيل الندف بشكل ملحوظ. ومما هو ملاحظ فإن معدل تشكيل الندف يتناسب خطياً مع قيمة تدرج السرعة (G). فمن أجل تشكيل الندف السريع يفضل إحداث تغير (تدرج) كبير في السرعة. ولكن هذا الأمر ذو حدود لأن بنية الندف ضعيفة نوعاً ما وقد تتفتت بسبب قوى الاحتكاك الكبيرة الناتجة عن تدرج السرعة (G) الكبير، وبالتالي فإنه يوجد قيمة أعظمية ل (G) يجب أن لا تتعدها.

عند القيم المنخفضة لتدرج السرعة (G) سوف تنمو الندف بدون عراقيل ولكن معدل تشكيل الندف عندها سيكون ضعيفاً جداً، وبالتالي فإنه من الناحية العملية هناك أيضاً قيمة أصغر ل (G)، بحيث أن القيمة الأصغر ل (G) يجب أن لا تقل عن  $(20 \text{ sec}^{-1})$  والقيمة الأعظمية ل (G) يجب أن لا تزيد عن  $(75 \text{ sec}^{-1})$  حيث يتراوح الزمن اللازم لإتمام تشكيل الندف عملياً بين (30) وبين (20) دقيقة.

إن قيمة تدرج السرعة (G) يمكن أن تحسب من مقدار الاستطاعة كما يلي :  
في الشكل (2 - 25) اعتبرنا حجماً صغيراً من الماء مقداره  $(dx \times dy \times dz)$ .



الشكل (2 - 25)

توجد قوة احتكاك بين الطبقة العليا والسفلى ناتجة عن تدارك السرعة قيمتها :

$$K = \eta G dx dy$$

حيث :

$\eta$  : اللزوجة الديناميكية أو اللزوجة المطلقة.

G : تغير السرعة مع المسافة ( تدرج السرعة ) .

$$= \eta G dx dy dz \frac{dv}{dz}$$

مقدار الاستطاعة هو :

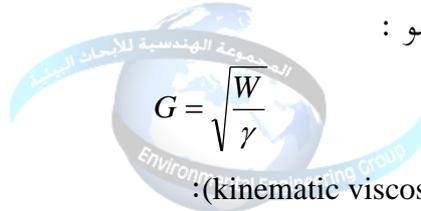
$$P = kdv = \eta G dx dy dv$$

$$= \eta G^2 dx dy dz$$

ويكون مقدار الاستطاعة في واحدة الحجم (w) هو :

$$W = \frac{P}{dx dy dz} = \eta G^2$$

ومنه مقدار تدرج السرعة (G) هو :



وباستعمال اللزوجة الحركية (kinematic viscosity) :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

حيث  $\rho$  هي الكثافة الكتلية ( mass density ) يكون :

$$G = \sqrt{\frac{W}{\nu \rho}}$$

المثال (2-8) : عن حساب قيمة الاستطاعة

لنعتبر حوضاً لتشكيل الندف حجمه ( 500 m<sup>3</sup> ) تدفق الماء الوارد إليه ( 1000 m<sup>3</sup>/h ) بدرجة الحرارة مقدارها ( 20°C ) .

بفرض أن تدرج السرعة ( G = 20 sec<sup>-1</sup> ) .

مقدار الاستطاعة في واحدة الحجم هو ( w =  $\eta G^2$  ) :

$$W = 0.0010087 \times 20^2 = 0.4 \text{ watt/m}^3$$

قيمة الاستطاعة الكلية هي :

$$0.4 \times 500 = 200 \text{ watt} \\ = 0.2 \text{ k.w}$$

من أجل G = 75 sec<sup>-2</sup> :

$$W = \eta G^2 = 0.0010087 \times 75^2 = 5.6 \text{ watt/m}^3$$

$$P = 5.6 \times 500 = 2800 \text{ watt} = 2.8 \text{ k.w}$$

عملياً تتراوح قيمة الاستطاعة من (0.5 k.w) إلى (2.5 k.w) لكل (1000 m<sup>3</sup>/h) .

تتألف منشأة الترويب من الوحدات التالية : معايرة وحقن المواد الكيميائية والخلط السريع ثم تشكيل الندف ثم الترسيب ثم الترشيح وقد بحثنا سابقاً معايرة المواد الكيميائية وتجريعها ، بقي أن نبحث باقي أجزاء منشأة الترويب .

### 2 - 3 - 5 - 7 - الخلط السريع : Flash mixing

يلاحظ أنه في عمليات تنقية المياه تكون كمية المواد الكيميائية المضافة قليلة جداً بالمقارنة مع كمية الماء الواجب معالجته . لهذا السبب يجب أن تتم عملية الحقن بطريقة غير مباشرة . إذ يعد محلول مركز (من أجل المعلقات القابلة للانحلال في الماء) أو مائع حاو على معلقات ( من أجل المواد الكيميائية ضعيفة الانحلال في الماء كالحجر الكلسي أو غير القابلة للانحلال في الماء كالكاربون المنشط ) ومن ثم يضاف هذا المحلول أو المائع الحاوي على المعلقات إلى الماء المراد تنقيته . من الضروري أن يتواجد عند نقطة التقاء المادة المروبة بالمياه المعالجة اضطراب كاف يمكننا من الوصول إلى توزيع منتظم للمواد الكيميائية في أقصر فترة زمنية ممكنة . في كثير من الحالات وخاصة في منشآت المعالجة الصغيرة يمكن أن يتم هذا الاضطراب بجعل التقاء المادة الكيميائية مع الماء المعالج عند مدخل مقياس فانتوري .

أما في محطات التنقية الكبيرة فمن الأفضل استعمال الخلاطات السريعة ( Flash mixers ) . وتكون كمية الطاقة اللازمة هي ( 0.5 - 1.5 k.w ) لتدفق مقداره ( 1000 m<sup>3</sup>/h ) . إن بعض المواد الكيميائية يمكن أن تحقن عند نقطة واحدة تقريباً ( كمركبات الحديد وأملاح الألمنيوم ) ومساعدات المواد المروبة ( السيليكا النشيطة activated silica ) والكلور وذلك في حالة استعمالنا لهذه المواد . أما إذا كنا نستعمل الكلس فيجب أن يحقن بعيداً نوعاً ما عن نقطة حقن المواد الكيميائية الأخرى لأن وجود هذه المواد الكيميائية بتركيز موضعي كبير مع الكلس سوف يؤدي إلى تشكل رواسب من مركبات ( Fe(OH)<sub>3</sub> و Al(OH)<sub>3</sub> ) وليس غروانيات من ( Fe(OH)<sub>3</sub> ) وتشكل الرواسب هذا غير عكوس ويؤدي إلى ضياع في المواد الكيميائية الخام . وأيضاً فإن الكربون المنشط والكلور لا يضافان عند نفس نقطة إضافة الكلس .

### 2 - 3 - 5 - 8 - أحواض تشكيل الندف : (Flocculation)

هناك أشكال عديدة لأحواض تشكيل الندف يمكن أن نقسمها إلى مجموعتين، الأحواض ذات الحواجز والأحواض الميكانيكية . وغالباً ما تكون هذه الأحواض مستطيلة الشكل . أما بناؤها فيمكن أن يتم بمواد مختلفة كالفلوذاز والبيتون ( وفي هذه الحالة يجب أن لا يحوي الماء على فائض من

حمض الكربون و (PH) له يجب أن لا تكون شديدة الانخفاض ) . أو أن يتم بناء هذه الأحواض من الخشب أو البلاستيك .

- أبعاد أحواض تشكل الندف :

إن القيم الأساسية التي يجب أن نعرفها لتصميم أحواض تشكيل الندف هي التالية:

- تدفق الماء (Q) بواحدات (m<sup>3</sup>/sec) .

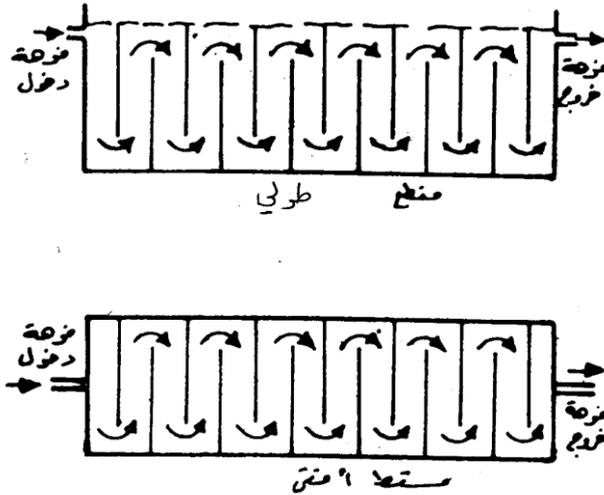
- زمن بقاء الماء في الحوض (T sec) وعادة ( T = 1800 - 1200 sec ) . وبالتالي يكون حجم

حوض تشكيل الندف ( V = Q.T ) .

أما عمق الحوض فيمكن أن نحسبه من العلاقة التجريبية التالية:

$$d = 1/2^3 \sqrt{V} = 1/2^3 \sqrt{Q.T}$$

يعطي الشكل (2 - 26) نموذجين لأحواض تشكيل الندف ذات الحواجز . وتتميز هذه الأحواض بأنها بسيطة الإنشاء ولا تحتاج إلى ترتيبات ميكانيكية .



الشكل (2 - 26)

يمكن أن نحسب في هذه الحالة قيمة الاستطاعة (P) التي تتوفر في الحوض من ضياع الحمولة

وتدفع الماء والكثافة الكتلية وتسارع الثقالة الأرضية كما يلي :

$$P = Q\rho gh$$

حيث :

ρ : الكثافة الكتلية .

g : تسارع الثقالة الأرضية .

h : ضياع الحمولة .

ويكون مقدار الاستطاعة في واحدة الحجم هو :

$$W = \frac{P}{V} = \frac{Q\rho gh}{d\ell w}$$

$$W = \frac{\rho hg}{T} \text{ watt} / m^3$$

$$G = \sqrt{\frac{W}{\rho v}} = \sqrt{\frac{gh}{Tv}}$$

في الشكل (27-2) نعطي بعض الأمثلة عن أحواض تشكيل الندف الميكانيكية. وهنا يمكن أن نشق مقدار الاستطاعة لحساب القيمة الصحيحة لتغير السرعة (G) بالطريقة التالية: القوة الناتجة عن الاحتكاك يمكن أن نحسبها من علاقة نيوتن:

$$F_D = C_D \rho A \frac{V^2}{2}$$

حيث :

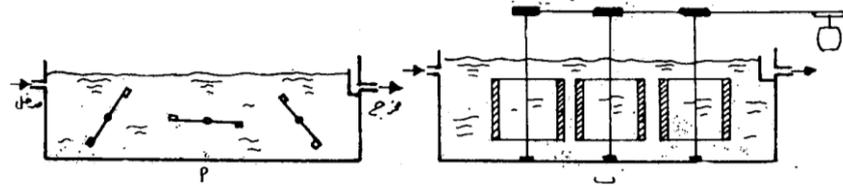
$C_D$  : عامل الاحتكاك .

$\rho$  : الكثافة الكتلية للماء .

A : مساحة سطح المحاريك .

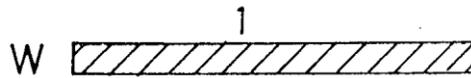
V : السرعة النسبية للمحاريك مع الماء  $m \cdot sec^{-1}$  .

( يفترض أن السرعة النسبية هي 0.75 من السرعة المطلقة ) .



الشكل (27-2)

إن عامل الاحتكاك ( $C_D$ ) يعتمد على نسبة طول المحرك إلى عرضه كما في الجدول التالي. الشكل (28-2).



الشكل (28-2)

النسبة 1/w	CD
5	1.2
20	1.5
$\infty$	1.9

ويكون مقدار الاستطاعة هنا هو : القوة  $\times$  السرعة

$$P = F_D V = C_D \rho A \frac{V^3}{2}$$

وبشكل عام فإنه لكي نصمم الأحواض الميكانيكية لتشكيل الندف يجب أن نأخذ بعين النظر النقاط التالية :

- 1 - مدة بقاء الماء في الحوض : 1200 – 1800 sec
- 2 - السرعة المحيطية لدواليب المحرك عملياً : 0.2 – 0.8 m.sec<sup>-1</sup>
- 3 - تكون عادة سرعة الماء حوالي (1/4) سرعة المحرك واختلاف السرعة هو (3/4)
- 4 - يجب أن لا تتعدى مساحة المحرك ( 20% ) من مساحة المقطع العرضي للحوض وإلا فإن دوران الماء قد يتم بدون تغير السرعة اللازم .

عندما تكون نسبة  $\frac{\ell}{w}$  أكبر من (10) فإن عامل الاحتكاك يمكن أن يحسب من العلاقة التجريبية :

$$C_D = 1.9 - \left(\frac{w}{\ell}\right)(9.8 - 40\frac{w}{\ell})$$

### 2 - 3 - 5 - 9- الترسيب مع تشكيل الندف في أحواض الترسيب أفقية الحركة:

يلاحظ وجود اختلاف واضح بين ترسيب جزئيات منفصلة وترسيب معلقات قابلة لتشكيل

الندف . ففي الحالة الأخيرة يتأثر الترسيب بالتكتل المستمر الذي يعود لسببين :

- 1 - اختلاف سرع ترسيب الجزئيات إذ أن الجزئيات ذات سرع الترسيب الكبيرة تترسب مدركة الجزئيات الأبطأ سرعة ، ومشكلة معها ندفاً ذات قطر أكبر .
- 2 - إن الاضطراب وتغير السرعة في الماء قد يسبب زيادة في إمكانية تشكيل الندف . ومن الواضح أنه في حوض ترسيب مثالي يكون السبب المشار إليه أولاً ( اختلاف سرع الترسيب بين الجزئيات ) هو الذي يلعب دوراً في تشكيل الندف فقط .

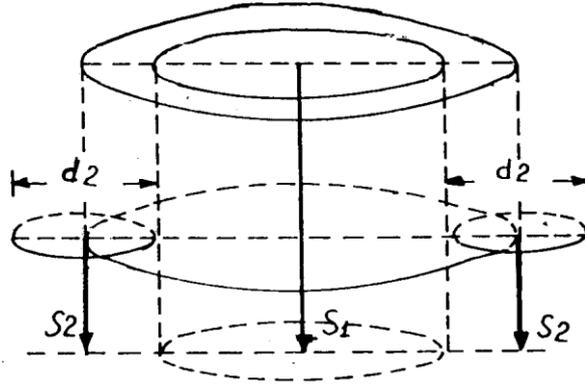
وبما أن معدل تشكيل الندف يتبع عدد التصادمات بين الجزئيات في واحدة الزمن فإنه يمكن

القول بأن ترسيب جزئيات ذات قطر ( $d_1$ ) وسرعة ترسيب ( $S_1$ ) سوف يؤدي إلى أن تمس هذه الجزئيات في واحدة الزمن كافة الجزئيات ذات القطر ( $d_2$ ) وسرعة الترسيب ( $S_2$ ) والموجودة في اسطوانة حجمها :

$$\frac{\pi}{4}(d_1 + d_2)^2(S_1 - S_2)$$

فإذا كان ( $n_1$ ) عدد الجزئيات ذات القطر ( $d_1$ ) ( انظر الشكل 2 - 29 ) و ( $n_2$ ) عدد الجزئيات ذات القطر ( $d_2$ ) في واحدة الحجم يكون عدد التصادمات بين الجزئيات ذات القطر ( $d_1$ ) والجزئيات ذات القطر ( $d_2$ ) في واحدة الحجم وفي واحدة الزمن هو :

$$N_s = \frac{\pi}{4} n_1 n_2 (d_1 + d_2)^2 (S_1 - S_2)$$



الشكل (2 - 29)

وبفرض أن الترسيب يحدث في الظروف الصفحية يمكن أن نكتب :

$$S_1 - S_2 = \frac{1}{18} \frac{g}{\nu} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} (d_1^2 - d_2^2)$$

$$N_s = k n_1 n_2 (d_1 + d_2)^3 (d_1 - d_2)$$

حيث: (k) قيمة ثابتة ومساوية إلى :

$$k = \frac{\pi}{72} \frac{g}{\nu} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$

إن تشكيل الندف المتواصل بسبب سرعة الترسيب المختلفة يعتمد على العوامل التالية:

- 1 - تركيز الجزيئات (n).
- 2 - قطر الجزيئات (d).
- 3 - الاختلاف في قطر الجزيئات  $d_1 - d_2$

في حوض ترسيب حقيقي سوف يوجد أيضاً تشكل مستمر للندف بسبب تغيرات السرعة الناتجة عن الاضطراب في دخول الماء إلى الحوض وعن الاحتكاك مع الجدران والأرضية. تبين سابقاً أن عدد التصادمات في واحدة الحجم وواحدة الزمن هو:

$$Ng = \frac{2}{3} n^2 G d^3$$

إن تشكيلي الندف المتواصل الذي يحدث في أحواض الترسيب أفقية الحركة حسب الصيغ المشار إليها أعلاه هو ذو أهمية قليلة.

أما في أحواض الترسيب ذات الحركة الشاقولية للماء من الأسفل إلى الأعلى فإن تشكيل

الندف هذا يلعب دوراً هاماً في عمليات الترسيب .

كما رأينا سابقاً فإن عمق حوض الترسيب مستقل عن معدل التحميل السطحي، ومع ذلك فإنه من غير المستحسن إنشاء حوض ترسيب ذي عمق ضئيل جداً لسببين:

- 1 - يجب أن يوجد فراغ كاف من أجل الرواسب المتوضعة .

2 - إن سرعة الماء الأفقية يجب أن لا تتعدى قيمة حرجة معينة وإلا فإنها سوف تؤدي إلى نقل الرواسب المتوضعة على طول القاع . قيمة هذه السرعة الحرجة تعتمد على مواصفات الرواسب المتوضعة وفي حالة رواسب تحوي على  $(Fe_2O_3, nH_2O)$  و  $(Al_2O_3, nH_2O)$  فإن قيمة هذه السرعة الحرجة تتراوح بين  $(240 \text{ m/h})$  وبين  $(360 \text{ m/h})$  . في الحياة العملية ليس من المفضل الاقتراب من هذه الحدود ، ويشكل الرقم  $(60 \text{ m/h})$  قيمة لا بأس بها للسرعة الأفقية لهذا الغرض .

### 2 - 3 - 5 - 10 - تصميم أحواض الترسيب أفقية الحركة:

إن القيم الأساسية اللازمة لتصميم أحواض الترسيب هي:  
 أ - تدفق الماء  $Q \text{ m}^3/\text{sec}$  .

ب - معدل التحميل السطحي:  $S_o = \frac{Q}{A} \text{ m/sec}$

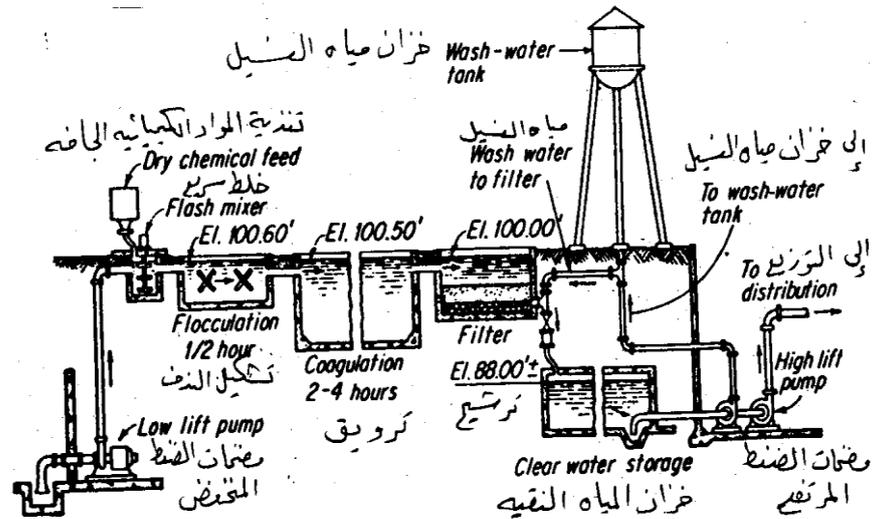
وعملياً فإنه لا يفضل حساب القيمة الدقيقة لـ  $(S_o)$  من معادلة ستوك وإنما تحدد هذه القيمة

تجريبياً .

باستخدام كبريتات الألمنيوم ومركبات أملاح الحديد كمواد مروية فإن قيمة  $(S_o)$  عملياً تؤخذ بين  $(2 \times 10^{-4} \text{ m/sec})$  وبين  $(4 \times 10^{-4} \text{ m/sec})$  ، أي تقريباً  $(0.75 - 1.5 \text{ m/h})$  .

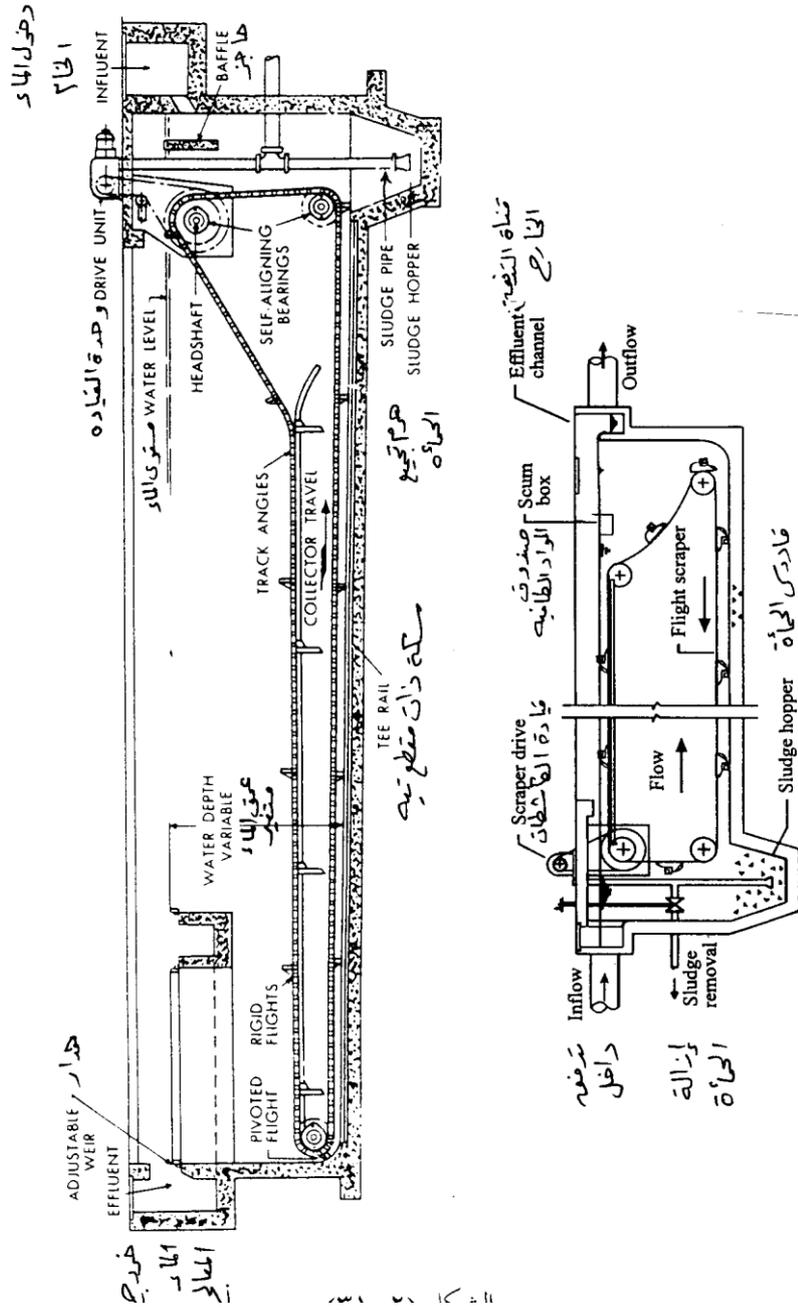
إن العمق وزمن البقاء  $(T_o)$  مستقلان عن القيم الأساسية . لذلك يجب أن نختار فيما يتعلق بالعمق  $(d)$  قيمة تساوي على الأقل عمق حوض تشكيل الندف أما مدة البقاء فتتراوح بين  $(2-6 \text{ hour})$  .

ويبدو على الشكل (2-30) منشأة لمعالجة مياه الشرب مع أحواض ترسيب أفقية الحركة تتبع أحواضاً لتشكيل الندف .

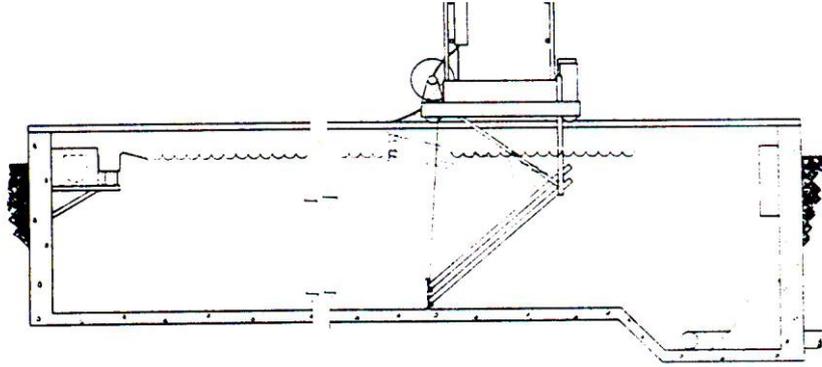


الشكل (2-30)

وبشكل عام فإن أحواض الترسيب أفقية الحركة يمكن أن تكون مستطيلة في المسقط الأفقي أو دائرية . في أحواض الترسيب أفقية الحركة فإن أجهزة إزالة الحمأة تتألف من كاشطات أفقية تسحب الحمأة إلى موقع تجميعها في طرف الحوض حيث تزال بشكل متقطع أو مستمر بتأثير الثقالة أو بشكل آلي .  
 يبين الشكلان ( 31-2 ) و ( 32-2 ) تصميمين نموذجيين لأحواض ترسيب أفقية الحركة .



الشكل (2-31)

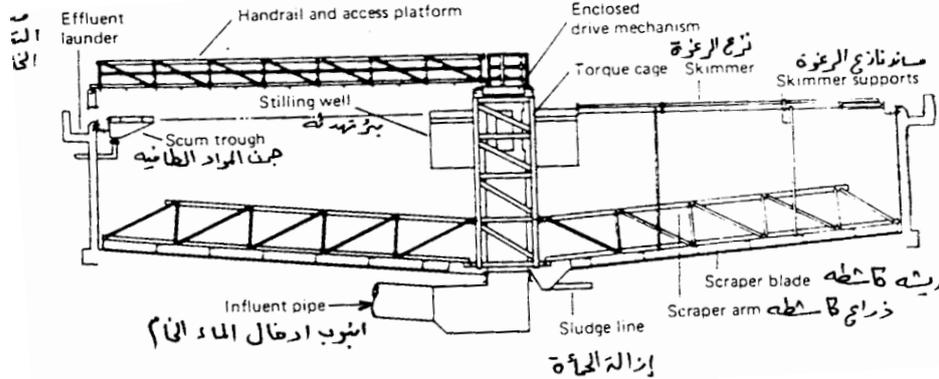


الشكل (2-32)

في أحواض الترسيب الدائرية فإن التدفق يمكن أن يدخل من مركز الحوض متجهاً إلى محيط الحوض ويمكن أن يكون الاتجاه معاكساً لذلك . وبشكل عام فإن تجهيزات تنظيف الحوض الدائري تتألف عادة من شفرات كاشطة مركبة على أذرع قطرية ويكون قاع الحوض مائلاً إلى مركزه كما في الشكل (2-33) .

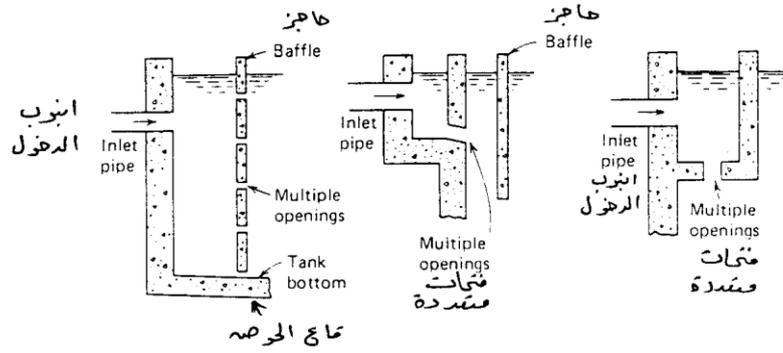


الشكل (2-33)



إن تصميم مداخل الحوض يجب أن يكون دقيقاً

قدر الإمكان وذلك لإنقاص سرعة الدخول ولتوزيع الماء بشكل منتظم عبر مقطع الحوض ولمزج الماء الداخلة مع الماء الموجود في الحوض لكي تمنع تيارات الكثافة وإن تأمين عدد كبير من الفتحات موزعة على عرض وعمق المرسب كما في الشكل ( 2-34) يشكل حلاً مثالياً لمداخل الحوض ، كما يعرض نفس الشكل نماذجاً أخرى لمداخل أحواض الترسيب .



الشكل (2-34)

أما مخارج الحوض فتتألف عادة من هدارات تسحب الماء من سطح الحوض بحيث يكون طولها كافياً لإنقاص السرعة إلى الحد الذي لا يسمح بإعادة تعليق الرواسب في الماء . إن هدارات الخروج مع أفقيتها يمكن أن تغطي جزءاً لا بأس به من مساحة الحوض . وهذه المساحة تبقى فعالة في عملية الترسيب ، ولا يجب حذفها من مساحة الحوض عند تصميمه لمعدل تحميل سطحي معين .

إن هدارات الخروج يجب أن تكون مستوية تماماً وذات تدفق حر .

المثال ( 2 - 9 ) :

احسب أبعاد حوض ترسيب معد لاستقبال تدفق مقداره (  $Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  ) ولتكن سرعة الترسيب (  $So = 4 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$  ) .

إن سعة حوض تشكيل الندف المعتبر ( بفرض مدة بقاء فيه هي  $T_f = 1800 \text{ sec}$  )

$$V = Q_{t_f} = 0.5 \times 1800 = 900 \text{ m}^3$$

عمق حوض تشكيل الندف هو :

$$h = 1/2 \sqrt[3]{900} = 4.7 \cong 5 \text{ m}$$

نستخدم هذا العمق أيضاً لحوض الترسيب :  $d = 5 \text{ m}$

المساحة الأفقية لحوض الترسيب هي :

$$A = W.L = \frac{Q}{So} = \frac{0.5}{4 \times 10^{-4}} = 1250 \text{ m}^2$$

طول حوض الترسيب المستطيل هو عدة أضعاف من عرضه ، ليكن :  $L = 5 w$

$$W = \sqrt{\frac{A}{5}} = \sqrt{\frac{1250}{5}} \cong 16 \text{ m}$$

$$L = 5 \times 16 = 80 \text{ m}$$

مدة بقاء الماء في الحوض :

$$T_s = \frac{L.w.d}{Q} = \frac{6400}{0.5} = 12800 \text{ sec} = 3.5 \text{ h}$$

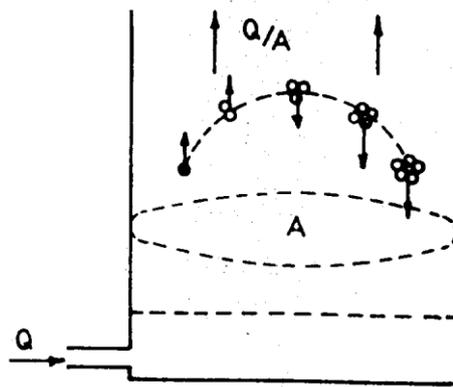
السرعة الأفقية لجريان الماء في الحوض :

$$\frac{80}{3.5} = 22.9 \text{ m/h}$$

يجب أن يعطى قاع الحوض ميلاً يجعل من السهل التخلص من المواد الصلبة المترسبة فإذا كانت المواد المترسبة تزال يدوياً فإنه ينصح بتقسيم حوض الترسيب إلى جزئين إذا كان ذلك ممكناً ، أحدهما يمكن أن يخرج من الخدمة أثناء التنظيف .

### 2 - 3 - 5 - 11 - الترسيب مع تشكيل الندف في المرشبات شاقولية الحركة (المروقات) :

في الأحواض شاقولية الحركة تكون سرعة الجريان (Vo) مساوية إلى سرعة الترسيب الحدية  $S_o = \frac{H}{T_o} = \frac{Q}{A}$  . وفي هذه الأحواض نلاحظ أن الجزئيات المنفصلة لا تستطيع الترسيب إلا إذا كانت سرعتها (S) أكبر من سرعة الترسيب الحدية (So) وكما ذكر أعلاه فإن المرشبات أفقية الحركة تزيل الجزئيات المنفصلة ذات سرعة الترسيب (So > S) بنسبة مقدارها  $(\frac{S}{S_o})$  مما يزيد من فعالية المرسب . ولهذا السبب لا ينصح باستخدام الأحواض شاقولية الحركة لترسيب الجزئيات المنعزلة غير القابلة لتشكيل الندف ، أما الجزئيات القابلة لتشكيل الندف فسلوكها مختلف تماماً ، فهي بعد أن تدخل إلى الحوض متجهة إلى الأعلى بسرعة مقدارها (So - S) فهي سوف تصطدم أثناء صعودها بالجزئيات النازلة إلى الأسفل وتتحد معها مما يؤدي إلى زيادة حجمها وسرعة ترسبها . ومع استمرار الحركة تنقص السرعة الفعالة للحركة نحو الأعلى ، حتى إذا ما أصبحت قيمتها سالبة مع دوام التراكم تترسب الجزئيات نحو القاع ، الشكل (2-35) .



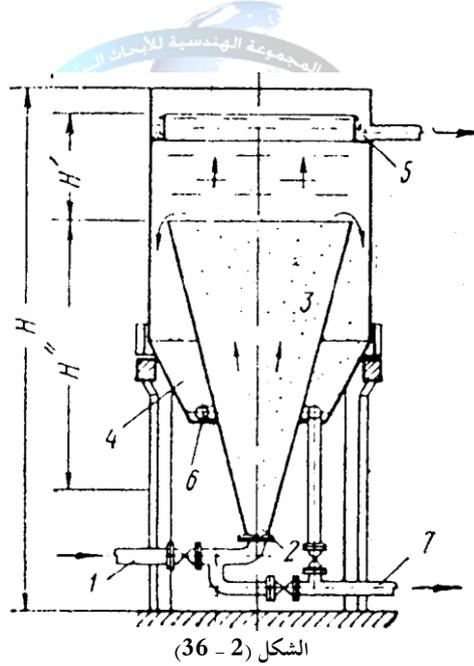
الشكل (2-35)

لا يستطيع جزيء في الأحواض أفقية الحركة البقاء في الحوض أكثر من المدة  $T_o = \frac{H}{S_o}$  أما في الأحواض شاقولية الحركة فإن مدة بقاء الجزيء القابل لتشكيل ندفة أكبر بكثير من  $t_f = \frac{H}{S - S_o}$  مما يعزز تشكيل الندف ويؤدي إلى زيادة فعالية الترسيب ، وبالتالي فإن هذه الأحواض تستطيع العمل بحمولات سطحية أكبر بكثير من الأحواض الأفقية وذلك لنفس نسبة الإزالة للجزئيات .

كما أن التحريج من الأسفل للمادة الكيميائية المرورية لن يكون ذا تأثير مباشر على نوعية الماء ، وبالتالي فإن التحريج السفلي المتقطع لن يعطي أي اضطراب في عملية التنقية ، وذلك بعكس الترسيب الأفقي الذي إن أعطيت فيه كمية غير كافية من المادة المرورية لفترة من الزمن فإن ذلك سيقود إلى نوعية سيئة من الماء في هذه الفترة

### 2 - 3 - 5 - 12 - أنواع المروقات :

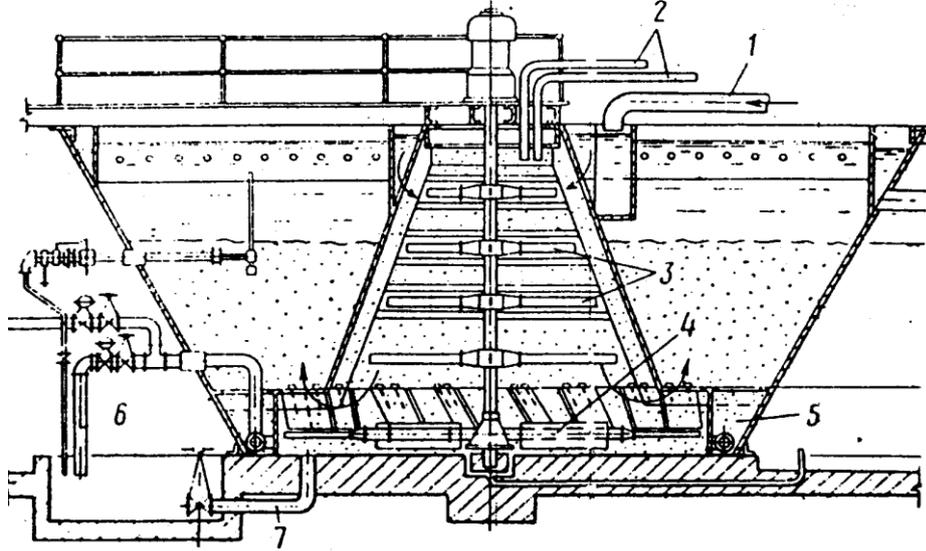
نميز في الحياة العملية نوعين من المروقات ، يتم في الأول تماس الماء مع ما ترسب من مواد صلبة بواسطة حركة الماء من الأسفل إلى الأعلى وكثيراً ما تكون هذه السرعة متناقصة بسبب الشكل المخروطي للحوض بحيث يبقى في أسفل الحوض طبقة عالقة من المواد الصلبة .  
ينفذ الشكل الثاني من المروقات بوضع حوض لتشكيل الندف في وسط الحوض مجهز بخلاطات ميكانيكية . يوضح الشكل ( 2 - 36 ) نموذجاً لأحد مروقات النوع الأول حيث يدخل الماء مع المروبات الكيميائية عبر الأنبوب ( 1 ) إلى القسم



الشكل ( 2 - 36 )

السفلي للمخروط ( 3 ) بواسطة موزع ( 2 ) ثم يرتفع الماء إلى الأعلى لينسكب فائض المواد الصلبة المترسبة إلى الجزء ( 4 ) من المروق ، حيث يزال عبر أنبوب مثقب ( 6 ) ومن ثم إلى شبكة المجاري عبر الأنبوب ( 7 ) وذلك بشكل دائم أو متقطع حسب اللزوم أما الماء النقي فيخرج عبر الأنبوب ( 5 ) إلى المرشح .  
أما الشكل ( 2 - 37 ) فيظهر حوضاً للترويق ذات غرفة لتشكيل الندف في وسطه . هذا المروق يتألف من جزء من جذع مخروط مستند على قاعدته الصغرى ، في مركزه يوجد غرفة لتشكيل الندف بشكل جزء من جذع مخروط مستند على قاعدته الكبرى . يدخل الماء إلى غرفة تشكيل الندف

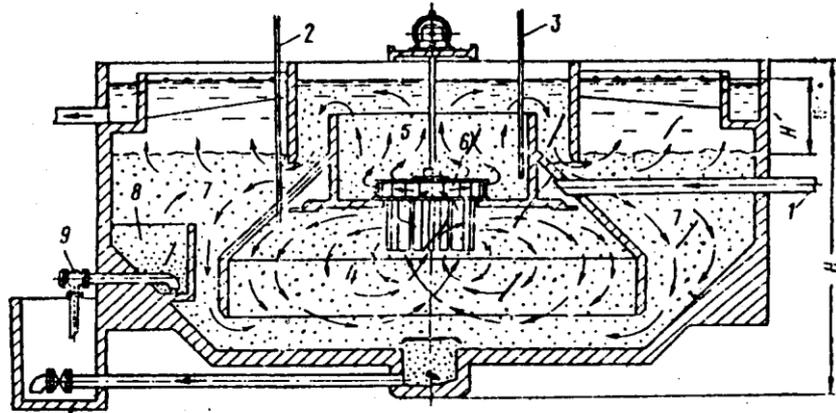
من المروق عبر الأنبوب (1) أما المروبات الكيميائية فتعطى عبر الأنبوب (2) ، أما فائض المواد الصلبة المترسبة فإن يزال من القسم (5) وذلك عبر الأنبوب (6) المزود بصمام يفتح آلياً أو يدوياً وقت لزوم .



الشكل (2 - 37)

يوجد في مركز غرفة تشكيل الندف محور شاقولي يدار بوساطة محرك ، وقد ثبتت عليه أذرع للخلط (3) وذراع (4) لمنع ترسيب الندف في غرفة تشكيلها .

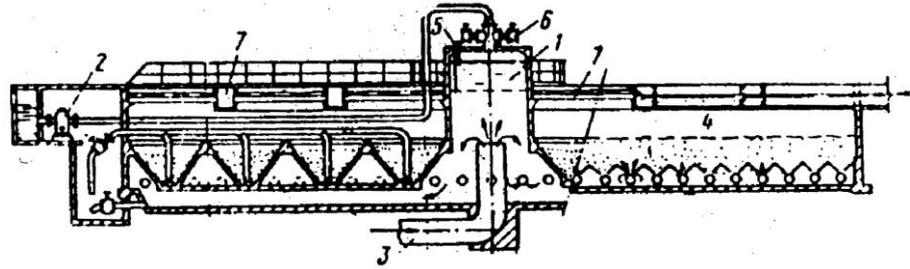
يوضح الشكل (2 - 38) مروقاً تتم التنقية فيه بحركة الماء بشكل مائل قطري من غرفة تشكيل الندف إلى هدار إخراج الماء النقي عند المحيط ويدعى هذا المروق المسرع (accelater) . يتم دخول الماء إلى هذا المروق عبر الأنبوب (1) أما دخول المواد المروبة ومساعدات الترويب فيتم عبر الأنابيب (2) و (3) ويتم في الحيزين (4) و (5) خلط بدائي ثم ثانوي وتشكيل للندف . ويتم هذا الخلط بوساطة المحاريك (6) ويمثل القسم (7) قسم الترسيب . أما فائض المواد المترسبة فيجمع في الحيز (8) ليصرف عبر السكر (9) باستمرار أو بشكل متقطع .



الشكل (2 - 38)

المروق المبين في الشكل ( 2 - 39 ) هو المروق ذو النبض المصمم نموذج منه في منشأة تنقية مياه مدينة الثورة في سوريا .

حيث تدخل المياه الخام مع المواد الكيميائية عبر الأنبوب (3) إلى غرفة النبض (1) المغلقة من أعلاها. إلى أعلى هذه الغرفة يصل أنبوب امتصاص مضخة هواء (2) تعمل باستمرار ساحبة الهواء من الغرفة مما يسمح للماء الخام بأن يرتفع في الغرفة إلى منسوب أعلى من سطح الماء في الحوض بمقدار ( 70 cm ) . وعندما يصل الماء إلى هذا المنسوب فإن مؤشراً (5) سيعطي أمراً إلى سكر (6) لينفتح إلى الهواء الجوي وبالتالي يصبح الحيز (1) متصلاً بالهواء الجوي . وبالتالي سيهبط الماء في الغرفة (1) مندفعاً إلى الحوض (4) مع الماء القادم من الأنبوب (3) وذلك عبر قناتين سفليتين (8) ثم إلى مجموعة أنابيب مثقبة متصلة بالقناتين . يصعد الماء الخام في الحوض إلى الأعلى لترسب المواد الصلبة ويصرف الماء النقي عبر الأفنية (7) . أما فائض الحمأة فيصرف من أهرامات تكثيف الحمأة بوساطة أنابيب تفتح إلى شبكة المجاري خارج الحوض .



الشكل (2 - 39)

عندما يصل منسوب الماء في غرفة النبض إلى مستوى الماء في الحوض فإن السكر (6) سيغلق أوتوماتيكياً وستعزل غرفة النبض عن الهواء الجوي . وبما أن المضخة (2) تعمل بدون توقف فإنها ستمتص الهواء من أعلى غرفة النبض ليرتفع الماء فيها مرة ثانية وتتكرر دورة عمل الحوض .

تصمم غرفة النبض بحيث تكون مدة امتصاص الماء إليها متراوحة بين (5) وبين (10) ثوان في حين يكون زمن هبوط الماء فيها وإعطائه إلى الحوض ( فتح السكر 6 إلى الهواء الجوي ) مساوياً إلى ( 30 sec ) . أي بتعبير آخر يبقى الماء في الحوض ساكناً مدة (5) إلى (10) ثوان ويصعد الماء في الحوض مدة (30 sec) ويساعد كل من المؤشر (5) والسكر (6) على ضبط هذه الأزمنة .

2 - 3 - 5 - 13 - أسس تصميم المروقات :

تصمم المروقات بالأخذ بعين النظر الأسس التالية :

آ - لا يقل زمن الخلط السريع وتشكيل الندف عن (30) دقيقة .

- ب - لا يقل زمن الترسيب عن ساعتين في المروقات العادية وعن ساعة واحدة في المروقات التي تتبع عمليات إزالة العسرة .
- ج - لا تزيد سرعة الجريان إلى الأعلى عن  $(1.2 \times 10^{-3} \text{ m/sec})$  من أجل المروقات التي تتبع عمليات إزالة العسرة و  $(6.8 \times 10^{-4} \text{ m/sec})$  من أجل المروقات العادية .
- د - تتراوح مساحة الجزء المخصص لتكثيف الحمأة من 4% إلى 25% من السطح الكلي للماء . كما تعمل جدران مكثفات الحمأة والأهرامات المقلوبة المعدة لاستقبال الرواسب بحيث تميل بزاوية  $(60^\circ\text{C})$  عن الأفق لتأمين انزلاق الحمأة .
- هـ - لا يتجاوز معدل التحميل على هدارات الخرج عن  $(10^{-3} \times 4 \text{ m}^3/\text{mL/sec})$  للمروقات التي تتبع عمليات إزالة العسرة و  $(10^{-3} \times 2 \text{ m}^3/\text{mL/sec})$  من أجل المروقات العادية .
- و - تصمم بشكل عام محطات تنقية مياه الشرب لتدفع يزيد عن الاحتياج اليومي بنسبة 4 - 8 % وذلك للأخذ بعين النظر كمية الماء الضائعة مع الحمأة المترسبة ومع المياه المصروفة من عمليات غسيل المرشحات . علماً بأن الكمية الضائعة من الماء تعتمد على عمليات المعالجة الكيميائية المستعملة ، ونوع أجهزة جمع الحمأة ، ونوع تجهيزات غسيل المرشحات .
- وبشكل عام فإن قيم مدة بقاء الماء في حوض الترسيب ومعدل التحميل السطحي ومعدل التحميل على هدارات المخرج تعطى في الجدول الآتي وذلك تبعاً لنموذج حوض الترسيب . كما أن طرق تصريف الحمأة الناتجة عن المرشحات والمرسبات تعتمد على الظروف البيئية المحلية وتتضمن الإجراءات الممكنة لهذا التصريف ما يلي :
- 1 - التصريف المباشر إلى نهر مجاور .
  - 2 - التصريف في شبكات المجاري .
  - 3 - التجفيف في مرشحات الضغط أو في أجهزة الطرد النابذ .
  - 4 - تجفيفها في أحواض قليلة العمق بحيث تكون مساحة الحوض مقدارها  $(300 \text{ m}^2)$  منها  $(150 \text{ m}^2)$  في الخدمة و  $(150 \text{ m}^2)$  من أجل إزالة الرطوبة وذلك لكل تدفق لمنشأة التنقية مقداره  $(1000 \text{ m}^3/\text{hour})$  .

الجدول (2-3)

القيم الأساسية لتصميم أحواض ترسيب مياه الشرب .

معدل التحميل السطحي (m/day)	معدل التحميل على هدار المخرج (m/day)	مدة البقاء (hour)	نموذج حوض الترسيب
		3 - 8	ترسيب ابتدائي

20 – 33	250	2 – 8	حوض ترسيب عادي يتبع : - حوض تشكيل ندف - إزالة عسرة
20 – 40	250	4 – 8	
55	175	2	حوض ترسيب شاقولي الحركة يتبع : - حوض تشكيل ندف - إزالة عسرة
100	350	1	
--	--	0.2	ترسيب أنبوبي يتبع : - حوض تشكيل ندف - إزالة عسرة
--	--	0.2	

## 2 - 3 - 5 - 14 - تأثير إضافة المروبات الكيميائية على نوعية المياه :

سوف نناقش الآن تأثير الترويب على مواصفات المياه . ونقصد هنا بكلمة الترويب كامل عملية تشكيل الندف والترسيب والترشيح ( بدون الكلورة وبدون المعالجة بالكربون المنشط وغيره ) . ونميز عادة شكلين من مظاهر تأثير الترويب على نوعية المياه هما التأثير الأولي والتأثير الثانوي . يتعلق التأثير الأولي بتغيرات نوعية الماء الناتجة عن عملية تشكيل الندف مباشرة . إذ تحتوى آنذاك المواد العالقة والمواد الغروانية داخل الندف ، وتلتصق أيضاً إلى الندف بعض المواد الأخرى الموجودة في الماء . أما التأثير الثانوي فلا يعود إلى تشكيل الندف وإنما لأسباب أخرى . فزيادة محتوى  $(SO_4^{--})$  في الماء عند استخدام كبريتات الألمنيوم  $Al_2(SO_4)_3$  كمادة مربية هو أحد أمثلة التأثير الثانوي لعملية الترويب على نوعية الماء .

ولمناقشة هذا الموضوع بشكل أكثر شمولاً نعود للجدول ( 1-2 ) الذي يعطي مسحاً لكافة المكونات الموجودة في مياه الطبيعة وذلك بالنسبة إلى حجم الجزيئات الموجودة في الماء .

## 2 - 3 - 5 - 14 - 1 مجال الجزيئات الأصغر من $1 \mu m$ (molecular range)

إن التأثير الأولي لعملية الترويب في مجال المواد المنحلة في الماء محدد بشوارد  $(PO_4^{3-})$  و  $(Fe^{2+(3+)})$  و  $(Mn^{2+(3+)})$  والمواد العضوية .

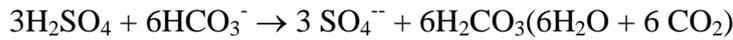
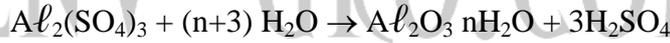
سوف يوجد الفوسفات في الندف بشكل مركبات  $(AlPO_4$  و  $FePO_4$ ) وبالتالي هناك نقصان ملحوظ في كمية الفوسفات (مثلاً من  $0.5 mg/L$  إلى  $0.02 mg/L$ ) .

أما فيما يتعلق بالاستقرار الحيوي (biological stability) فإن مياه الشرب تحتاج إلى مستوى منخفض جداً من شوارد  $(PO_4^{3-})$  .

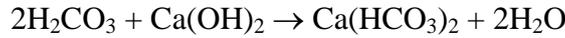
أيضاً تلتصق إلى بنية الندف بعض المواد العضوية . وبالتالي فإن المواد العضوية التي توجد في الماء بشكل منحل سوف تنقص بعض الشيء بوساطة الترويب ، وكذلك فإن طعم ورائحة الماء غالباً ما يتواجدان بسبب المواد العضوية ذات الأقطار الأقل من  $(1\mu\text{m})$  . وبسبب التصاق بعض هذه المواد العضوية ببنية الندف فإن الترويب سوف يحسن طعم ورائحة الماء نوعاً ما . ولكن من أجل تحضير مياه شرب جيدة فإننا يجب أن نأخذ تدابير أخرى لتحسين الطعم والرائحة كالمعالجة بالكربون المنشط أو بالاوزون .

أما الحديد والمنغنيز ( $\text{Fe}^{3+}$  و  $\text{Fe}^{2+}$  و  $\text{Mn}^{3+}$  و  $\text{Mn}^{2+}$ ) فيمكن أن يعتبروا كمادة مروية و يترسبوا مع المادة المروية المضافة وبهذا نلاحظ أن الترويب يسبب لهم إزالة هامة . أما التأثير الثانوي لعملية الترويب على نوعية الماء في مجال الجزيئات الأصغر من  $(1\mu\text{m})$  فيمكن تلخيصه بما يلي :

- أ - يزداد محتوى الماء من  $(\text{SO}_4^{--})$  إذا استعملت كبريتات الألمنيوم  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  كمادة مروية .  
 ب - يزداد محتوى الماء من  $(\text{Cl}^-)$  إذا استعمل كلوريد الحديد  $(\text{FeCl}_3)$  كمادة مروية  
 ج - يزداد محتوى الماء من  $(\text{SO}_4^{--}$  و  $\text{Cl}^-)$  إذا استعملت كبريتات الحديد المكلورة كمادة مروية .  
 د - أيضاً تتم عملية النترجة في سرير المرشحات الرملية السريعة وذلك إذا لم تطبق أية كلورة مسبقة على الماء .  
 وبذلك يتحول الامونيوم  $(\text{NH}_4^+)$  بالأكسدة إلى  $(\text{NO}_3^-)$  .  
 هـ - تزداد في الماء كمية  $(\text{CO}_2)$  وذلك بسبب حصول التفاعلات التالية :



وبالتالي يزداد تركيز شوارد الهيدروجين  $(\text{H}^+)$  في الماء أي سوف تنقص قيمة (PH) .  
 يمكن أن يتعدل هذا التأثير بإضافة الكلس :



ولكن مع هذا التعديل الجديد لقيمة (PH) سوف تزداد كمية شوارد الكالسيوم في الماء .

## 2-3-5-14-2 - مجال الغروانيات: (الجزيئات الأكبر من $1\mu\text{m}$ والأصغر من $1\mu\text{m}$ )

وتكون إزالتها ممتازة بما في ذلك الغروانيات العضوية كالحموض الدبالية والبروتينات والفيروسات والغروانيات غير العضوية كالغضار الغرواني والسيليكا الغروانية . ومع ذلك فيجب أن نشير هنا إلى أنه فيما يتعلق بالفيروسات فإن إزالتها يجب أن تكون تامة جداً مما يستدعي مرافقة الترويب بعمليات التعقيم .

## 2 - 3 - 5 - 14 - 3 - مجال المواد العالقة ( الجزيئات الأكبر من 1μ ) :

بشكل عام يمكن إزالة المواد العالقة بوساطة الترشيح بدون عمليات الترويب السابق . ولكن يلاحظ أن الانتقال بين المواد الغروانية وبين المواد العالقة ليس انتقالاً واضحاً إذ أن مجال هذا الانتقال هو مجال واسع ولا يمكن الجزم بأن جزيق ما ذات قطر مقارب لـ (1μ) هي من المواد العالقة أم من المواد الغروانية . ومجموعة البكتريا يمكن أن تؤخذ مثلاً على هذه الحالة إذ أن حجمها العادي يتراوح بين (1μ) وبين (10μ) وحسب تصنيف الجدول (2-2) فإنها تعود إلى مجال المواد العالقة ، ولكن عملياً لا يكفي الترشيح البسيط لإزالة البكتريا . لذا فمن الضروري استخدام عمليات الترويب قبل الترشيح لإزالتها . ومع ذلك ، ومع الترويب والترشيح فإننا لن نصل إلى إزالة نسبتها (100%) لهذه البكتريا مما يجعل من الضروري أيضاً استعمال التعقيم لأغراض مياه الشرب . وهناك سببان يجعلان قسماً من البكتريا في منجى من عمليات تشكيل الندف هما :

- 1 - إن البكتريا هي كائنات حية يملك الكثير منها خاصية الحركة مما يتيح لها فرصة الهرب من الندف .
  - 2 - تحاط البكتريا بشحنات زيتا العالية (50 m.v - -) وبالتالي فإن تعديل هذه الشحنات بجزيئات (  $Al_2O_3, nH_2O$  أو  $Fe_2O_3, nH_2O$  ) الايجابية غالباً ما يكون غير كامل .
- وباختصار يمكن أن نستنتج أن كل المواد العالقة ذات الأقطار الأكبر من (1μ) سوف تزال بعمليات الترويب باستثناء البكتريا فإن نسبة إزالتها أقل بكثير .

## 2 - 3 - 5 - 15 - مساعدات الترويب ( Coagulant aids ) :

نلاحظ من نتائج التجارب في الحياة العملية أن تشكيل الندف لا يتم بشكل كامل في كل الشروط . وقد يكون من أسباب هذه المتاعب في تشكيل الندف وفي ترسيبها الأمور التالية :

- 1 - إن معدل ترسيب الندف في درجات الحرارة المنخفضة هو ضعيف جداً وذلك بسبب اللزوجة الكبيرة للمياه . ولتحاشي هذا الأمر يمكن أن نضيف قبل تشكيل الندف بعض المواد الناعمة ذات الوزن النوعي الكبير كالغضار ( البنتونايت ) أو الحجر الكلسي (  $CaCO_3$  ) أو بودرة الكربون المنشط مما يؤدي إلى زيادة في وزن الندف المتشكلة .
- 2 - إن الماء الذي يتعرض للمعالجة بتشكيل الندف هو ذو عكارة منخفضة وتلون قليل ولذلك فإننا نحتاج إلى كمية قليلة من المعلقات الغروانية ذات الشحنات الإيجابية ( المادة المروبة ) وذلك لتعديل الكمية القليلة أيضاً من الغروانيات السلبية الموجودة أصلاً في الماء . وبالتالي فإن التركيز الضعيف لمواد التفاعل سوف يؤدي إلى انخفاض معدل تشكيل الندف وعدم نمو الندف المتشكلة إلى الحجم المرغوب وفي هذه الحالة أيضاً فإن إضافة المواد الناعمة كالبنتونايت سوف يؤدي إلى تحسن تشكيل الندف .

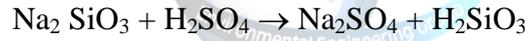
3 – إن الندف المتشكلة في أغلب الحالات هي ندف ضعيفة البنية ، سهلة التخريب ولهذا فهي لن تنمو إلى الحجم المرغوب بسبب تعرضها إلى تغيرات السرعة الكبيرة (تدارج السرعة الكبير). ولتحاشي هذا الأمر يمكن أن نخفض تدارج السرعة هذا، ولكن هذا التخفيض سوف يترافق بزيادة واضحة في الزمن اللازم لتشكيل الندف.

هذا بالإضافة إلى أن الندف الضعيفة سوف تتفتت على سرير المرشح وتمر عبر حبات الرمل أيضاً فإن حدوث الندف الضعيفة قد يعود إلى صفات الماء . فقد يوجد فيه بعض المواد الكيميائية التي تؤثر بشكل سيء على تشكيل الندف كالمركبات ذات السطوح الفعالية التي تؤثر بشكل غير مرغوب فيه على الندف .

لوحظ أنه يمكن إنتاج ندف ذات بنية أقوى بإضافة مواد نسميها مساعدات الترويب كالسيليك المنشطة ( activated silica ) .

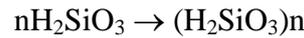
#### السيليك المنشطة :

هي من أكثر مساعدات الترويب استعمالاً ، تحضر عادة بإضافة حمض ما ( حمض الكبريت أو حمض كلور الماء ) إلى محلول سيليكات الصوديوم فيحدث التفاعل التالي :

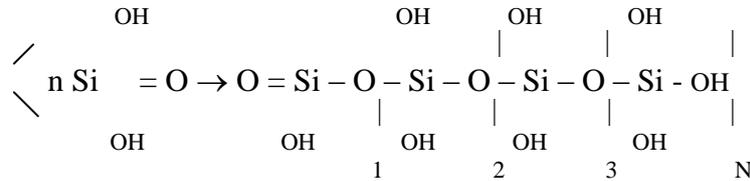


$\text{H}_2\text{SiO}_3$  هو الحمض السيليكوني (silicic acid) .

إن الحمض السيليكوني بشكله الجزيئي هذا ، هو حمض غير ثابت وسوف يتحول إلى الحمض السيليكوني متعدد الجزيئات (poly silicic) ذي الوزن الجزيئي الأكبر من الحمض السيليكوني كما يلي :



أو بالصيغة الإنشائية له :



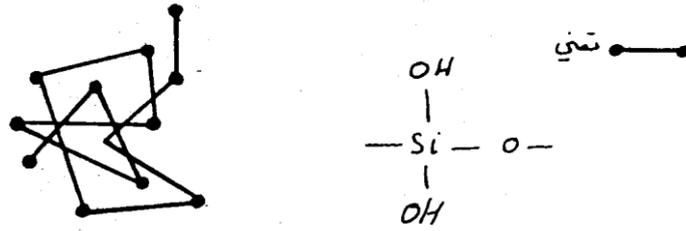
إن بنية مثل هذا الجزيء الكبير تعتمد على الشروط الكيميائية .

في المثال المشار إليه أعلاه كان تفاعل سيليكات الصوديوم مع حمض الكبريت تفاعلاً كاملاً .

وبالتالي فإن نسبة التحول إلى الحمض السيليكوني متعدد الجزيئات هي (100%) .

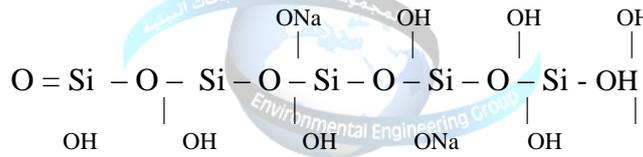
إن حمض السيليكوني متعدد الجزيئات هو حمض ضعيف جداً ، وبالتالي فإن جزءاً صغيراً جداً منه فقط هو الذي يتفكك إلى شوارد والباقي سوف يوجد في الماء بشكل جزيئاته الطبيعية .

سلسلة جزيئاته هذه سوف تتخذ شكل السلسلة الغروانية كما هو موضح في الشكل (2-40) .

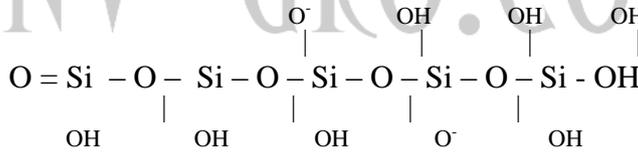


الشكل (2-40)

ليس للحمض السيليكوني متعدد الجزيئات الموضح في الشكل (2-40) أية خواص لتقوية الندف ولهذا السبب نضيف عند تحضير السيليكا المنشطة إلى سيليكات الصوديوم كمية من حمض الكبريت (أو أي حمض آخر) أقل من الكمية اللازمة للتحويل الكامل إلى حمض السيليكوني متعدد الجزيئات فنحصل بهذه الطريقة على المركب التالي :



هذه الجزيئة تتفكك إلى شوارد كما يلي :



وبوساطة هذه الشحنات الكهربائية السالبة سوف تمتد هذه الشوارد الكبيرة كما في الشكل (2-41)



الشكل (2-41)

و يفترض الآن أن هذه الشوارد طويلة السلسلة سوف تخترق الطبقة الكهربائية المضاعفة للجزيئات وهكذا يتحقق الترابط بين الجزيئات وتشكل الندف القوية بوساطة هذه الروابط .

إن تحضير السيليكا المنشطة يجب أن يتم بعناية كبيرة بحيث تبقى أثناء عملية التحضير هذه ، درجة التشرد أو درجة تشكل الملح (The degree of salt formation or the degree of ionization) ( في حدود معينة .

لاستخدام السيليكا المنشطة فوائدها عديدة هي :

- 1 - إن السيليكا هي مركب عادي في الماء إذ توجد في أغلب المياه الطبيعية وبالتالي فإنه لا يوجد اعتراض صحي ضد استخدام السيليكا المنشطة .
- 2 - إن المواد الخام اللازمة للتحضير رخيصة ومن السهل الحصول عليها . ولكن من مساوئ السيليكا المنشطة هو أن تأثيرها يعتمد على نوعية الماء الخام ، إذ أنها لا يمكن أن تستخدم في مياه ذات محتوى عال من شوارد البيكربونات ( $\text{HCO}_3^-$ ) وهذا المحتوى من شوارد ( $\text{HCO}_3^-$ ) يجب أن لا يزيد عن (50 mg/l) . هذا بالإضافة إلى أن تحضيرها يجب أن يتم بدقة كبيرة .

بالإضافة إلى مساعدات الترويب غير العضوية ( السيليكا المنشطة ) فإنه يعرف في الوقت الحاضر عدد كبير من مساعدات الترويب العضوية يمكن أن يقسموا إلى مجموعتين :

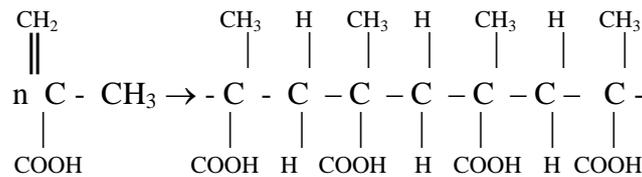
### 1 - المنتجات الطبيعية :

لقد عرف في عمليات معالجة مياه الشرب منذ زمن أن المواد العضوية الطبيعية كالنشاء والصبغيات النباتية ( vegetable gums ) يمكن أن تتصرف كمساعدات ترويب . وكما هو الحال في الحمض السيليكوني متعدد الجزئيات ، فإن كل هذه المواد ( النشاء والصبغيات النباتية ) تتميز بجزئيات ذات سلسلة طويلة بالإضافة إلى بعض مجموعات الشوارد وتدعى بالايكتروليتات متعددة الجزئيات ( polyelectrolytes ) . ولهذا فإن خواصها كمساعدات للترويب تشابه خواص السيليكا المنشطة .

إن هذه المنتجات متوفرة بأسماء تجارية مختلفة ، مثلاً ويسبوفلوك ( Wispofloc ) المستخرج من نشاء البطاطا .

### 2 - المنتجات الصناعية :

إن الايكتروليتات متعددة الجزئيات الصناعية المستخدمة كمساعدات للترويب تشتق عادة من حمض الاكرليك الميثيلي متعدد الجزئيات ( polymethyl acrylic acid ) والذي يمكن أن تكتب صيغته الإنشائية كما يلي :



إن حمض الاكثريك الميتلي متعدد الجزئيات متوفر بأسماء تجارية مختلفة مثل ( سياران (Separan) و (سيديبور (Sedipur) .

### 2 - 3 - 5 - 16 - معايرة الاليكتروليجات متعددة الجزئيات العضوية :

(Dosage of organic poly electrolytes)

إن المعايرة المباشرة لهذه المواد غير ممكنة ، ولهذا فإننا نحضر أولاً محلولاً عياره (2%) تقريباً وذلك بتحريك السائل بشدة .

إن محاليل الاليكتروليجات متعددة الجزئيات الطبيعية يمكن أن تتعرض لهجوم العضويات الدقيقة ، ولهذا السبب فإنه يجب أن لا نخزن محلولها لفترة زمنية أكثر من أسبوع .

تتراوح عادة الجرعة النظامية للاليكتروليجات متعددة الجزئيات المستعملة كمساعدات للترويب بين (1mg/l) وبين (2 mg/l) ويجب أن لا تزيد الجرعة عن هذه الحدود لأن الكمية الكبيرة منها سوف تؤدي إلى تأثير سلبي على عملية تشكيل الندف ، مع ملاحظة ما يلي :

1 - إن ندف ماءات الألمنيوم والمركبات الحديدية التي ينشط تشكلها بواسطة مساعدات الترويب هي ندف قوية ومكتنزة ، وهذه الخاصة الأخيرة تسبب فترات ترشيح أقصر عندما نستعمل مساعد الترويب . ويظهر هذا الأمر بوضوح في التطبيقات العملية ، ففي محطة معالجة مياه الشرب لبلدة روتردام كانت فترة الترشيح بالتصميم الكيميائي حوالي (24 hour) في الحالة العادية ، وعندما أضيف مساعد الترويب (منتج النشا) نقصت فترة الترشيح إلى حوالي (16 hour) .

2 - في كثير من البلدان يمنع استعمال مساعدات الترويب إلا بإذن خاص من السلطات الصحية العامة وذلك بسبب علاقة المنتجات الصناعية منها ببعض الأمراض .