

الباب الثاني

تنقية مياه الشرب

الباب الثاني

تنقية مياه الشرب

مقدمة :

إن مصادر مياه الشرب وإن كانت آمنة في الماضي إلى حد ما، إلا أن تعرضها للتلوث قد ازداد أخيراً مع زيادة الكثافة السكانية والأنشطة التنموية وما تسببه من تلوث لمصادر المياه السطحية والجوفية. ومصادر الملوثات الرئيسية هي مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي. وسواء كانت هذه الملوثات من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض الوبائية أو من المواد العضوية أو الغير العضوية العالقة أو المذابة أو السامة التي في معظمها من أسباب الأمراض المزمنة والمسببة كذلك للعكارة واللون في المياه. أو أن تكون هذه الملوثات من المواد المشعة المسرطنة. فإن لكل من هذه الملوثات حدوده القصوى في مياه الشرب لتصبح صحية مستساغة وغير ضارة. وتحدد خطوات تنقية المياه لاعدادها للشرب بعد تعيين نوع وكمية التلوث في مصدر المياه ثم تحدد خطوات المعالجة لاعداد المياه للشرب لإزالة هذه الملوثات أو تقليل نسبتها إلى درجة النقاء المطلوبة طبقاً للمعايير المقررة لمياه الشرب والاستخدام المنزلي. وسواء كان مصدر المياه هو المياه العكرة من المجارى السطحية العذبة أو من الخزانات الجوفية أو من البحار أو أي مصدر آخر. فإن الملوثات توجد عموماً في أربع صور عامة وهي:

١- مواد صلبة عالقة :

وهذه المواد الصلبة العالقة أما إن تكون من مركبات عضوية أو غير عضوية وهي من مسببات العكارة واللون للمياه، كما يعلق بهذه المواد كثير من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض (Pathogens). والعكارة في المياه توجد في المصادر السطحية للمجارى المائية العذبة ويمكن أزالتها عند المعالجة التقليدية بالمرشحات باستخدام كيماويات الترويب والترسيب.

٢- غازات مذابة :

وهي التي تسبب سوء الرائحة والمذاق. وهذه الغازات المذابة ناتجة عن تلوث المصدر المائي بالملوثات العضوية. تنتشر ظاهرة الغازات المذابة في المياه الراكدة وفي المياه الجوفية. وهي تزال أساسا بالتهوية للمياه في أبراج التهوية كما أن المعالجة بالمروبات تزيد نسبة كبيرة منها وخاصة في حالة استخدام حبيبات الفحم المنشط في المرشحات أو إضافة بودرة الفحم في مرحلة الترويب.

٣- الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض : Pathogens

وهي تشمل البكتريا والفيروسات والبروتوزوا والطحالب والفطريات والكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض مثل مرض الكوليرا أو التيفود أو شلل الأطفال أو الأمراض المعوية أو الالتهاب الكبدي الوبائي وأمراض أخرى مصدرها الرئيسي هو إفرازات ذوات الدم الحار الحاملة للمرض مثل الإنسان - الحيوان - الطيور. وتصل هذه الكائنات الدقيقة إلى مياه الشرب عند تلوثها بمياه الصرف الصحي أساسا. معظم الكائنات الحية الدقيقة يباد بالكلور وخاصة البكتريا وبعضها يقاوم التطهير بالكلور مثل الفيروسات وحوصلات الجارديا وهذه يمكن إن تزال بنسبة ٩٩% في المرشحات التي تعمل بكفاءة. وكذلك عند استخدام مؤكسد قوى مثل الأوزون يمكن القضاء على معظم الكائنات الحية الدقيقة ويحد من نشاط الباقي منها.

٤- المواد المذابة العضوية والغير عضوية :

فى مجارى المياه العذبة توجد المواد العضوية المخلقة منها المذاب ومنها الغير مذاب (Soc's – Syn thetic Organic chemicals). وتزال نسبة كبيرة منها عند معالجة المياه باستخدام كيماويات الترويب والترسيب. وهذه المواد من المبيدات والتي لا تتأكسد بالكور وهى كذلك بطيئة التحلل إلى المركبات الأولية ولكنها قد تتأكسد بمؤكسد قوى مثل الأوزون. والمبيدات توجد فى مياه المصارف أو فى المجارى العذبة المناوبة وفى فترة السدة الشتوية. أما المواد العضوية المذابة فى المياه الجوفية فهي تشمل المواد العضوية المتطايرة (VOC'S- Volatile Organic Chemicals) الناتجة عن تحلل النباتات أو تسرب المركبات العضوية الأخرى مثل بعض مشتقات البترول. والتخلص من هذه المواد العضوية المتطايرة يتم فى أبراج التهوية كما يحدث عند التخلص من الغازات المذابة. أما المركبات الغير عضوية المذابة فهي تشمل أساسا أملاح العسر فى المياه السطحية والتي تزال بكيماويات الترسيب للوصول إلى الحد المقرر من العسر فى مياه الشرب أو تزال عند استخدام المياه فى العمليات الصناعية كإنتاج البخار لتوليد الطاقة حيث يزال العسر.

المياه الجوفية قد تحتوى على أملاح الحديد والمنجنيز المذاب والذي يرسب عند تعرض المياه للهواء الجوى حيث تتأكسد هذه الأملاح وتعلق فى الشكل الغير مذاب بما يعطى المياه اللون الأحمر الطوبى. وهذه الأملاح تزال فى عمليات التهوية ثم استكمال الأكسدة باستخدام الكيماويات ثم الترسيب والترشيح. المواد الغير عضوية المذابة الزائدة عن المعايير المقررة لمياه الشرب مثل مياه البحار والبحيرات وبعض الخزانات الجوفية فهذه تزال بنظم التحلية المختلفة مثل التناضح العكسي RO أو الاليكترو دياييسيس ED أو التبخير EVA.

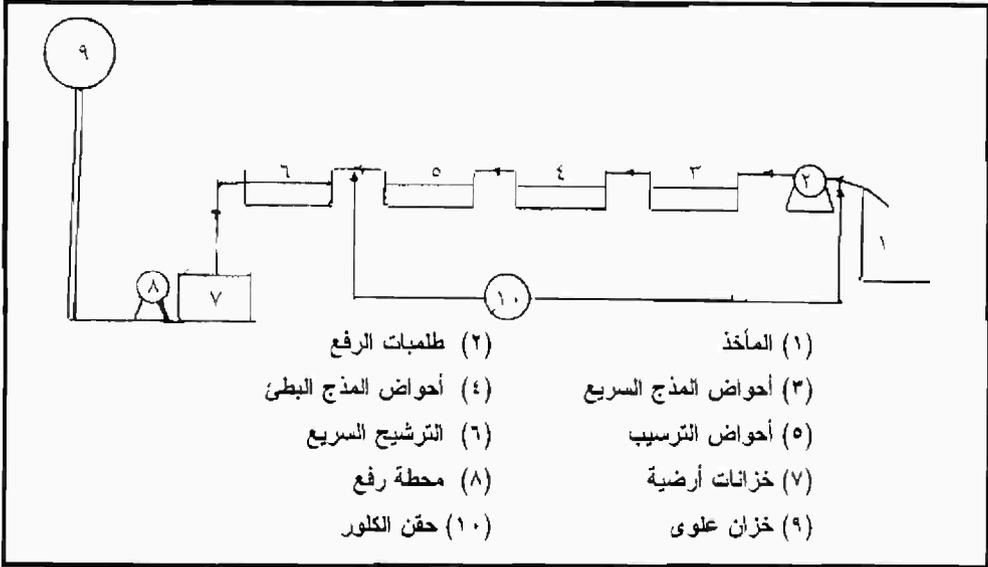
المواد المذابة من المعادن الثقيلة السامة والمسببة للأمراض المزمنة فهذه قد توجد فى كل من مصادر المياه السطحية والجوفية وهى تزال فى عمليات الترويب بنسبة كبيرة جدا وذلك باستخدام الأنواع المختلفة من كيماويات الترويب من الشبة وأملاح الحديد.

القسم الأول

تقنيات إزالة المواد العالقة من مصادر المجارى المائية العذبة

تشمل مراحل تنقية المياه لأغراض الشرب من المجارى العذبة السطحية الآتى:

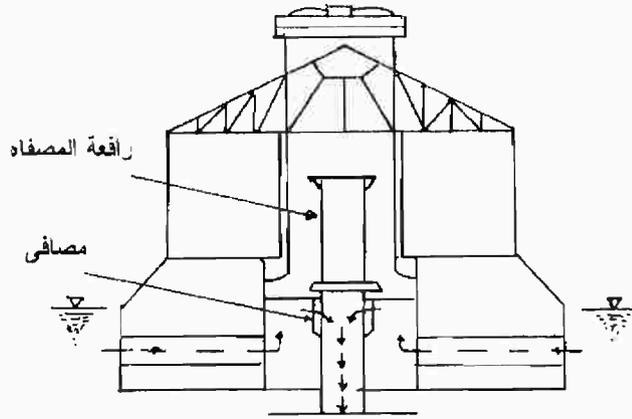
مأخذ المياه من المجرى المائي، . محطة طلمبات لسحب المياه من المأخذ إلى أحواض المعالجة والتي تشمل أحواض المزج السريع ثم أحواض المزج البطيء ثم أحواض الترسيب ثم المرشحات الرملية السريعة ثم خزانات أرضية للمياه المرشحة. محطة رفع المياه إلى الخزانات العلوية بالإضافة إلى أجهزة التغذية بالكيماويات مثل التغذية بالكلور للمياه بعد سحبها من المأخذ وقبل دخولها إلى المرشحات بعد أحواض الترسيب. وحقن الشبة فى أحواض المزج السريع بعد سحب المياه من المأخذ بواسطة محطة الطلمبات وكيماويات أخرى طبقا للحاجة شكل (٢) يوضح المخطط العام لمراحل تنقية مياه الشرب من المصادر السطحية العذبة.



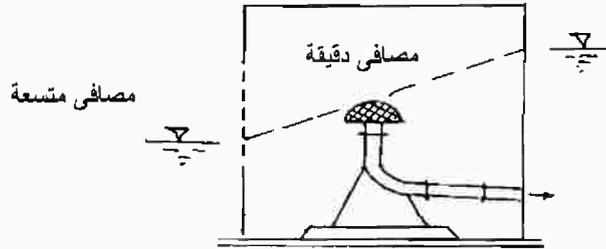
شكل (٢) المخطط العام لمراحل تنقية مياه الشرب من المصادر السطحية العذبة.

١- مآخذ المياه من المجارى العذبة: الأشكال (٣-١١)

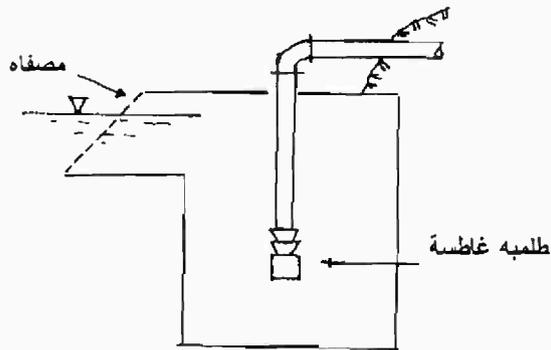
تنشأ المآخذ عموماً قريبا من محطات المعالجة والتي تكون في أماكن مرتفعة بعيدا عن مخاطر السيول والفيضانات ولها طرق اقتراب ومصادر للطاقة. وعند اختيار موقع المآخذ فإنه يجب أن يكون بعيدا عن مصادر التلوث من الصرف العشوائي لمياه الصرف الصحي والصناعي. في جميع الحالات يجب أن يكون موقع المآخذ فوق التيار بمسافة مناسبة لاماكن الصرف المعالج والغير معالج إن وجد. ومع تحديد موقع المآخذ يتم العمل على حمايته من مصادر التلوث المختلفة في المجرى المائي. ولتجهيز المآخذ فإنه يجب عمل الأعمال الإنشائية اللازمة لحماية قاع المجرى المائي وجوانبه بطريقة تضمن الحصول على معدلات المياه المطلوبة الحالية والمستقبلية. وتعتمد منشآت المآخذ على طبيعة المصدر المائي والتغير في المنسوب والتصرفات على مدار العام وكمية المياه المطلوب تنقيتها ومدى استخدامات المجرى في الملاحة النهرية. كما يجب أن يراعى في تصميم المآخذ الزيادة المستقبلية في استهلاك المياه لمدة ٣٠-٤٠ سنة حيث يمكن زيادة طاقة الظلمبات والأحواض الخاصة بالمعالجة عند توفر المساحات من الأراضي ولكن يصعب زيادة طاقة المآخذ بعد تنفيذه.



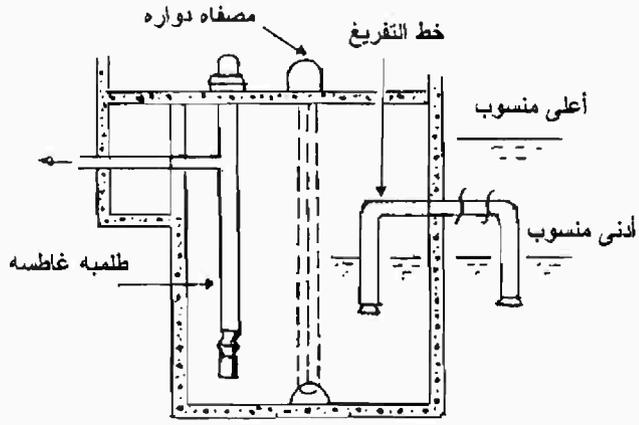
شكل (٣) مأخذ برجى (Twoer Intake)



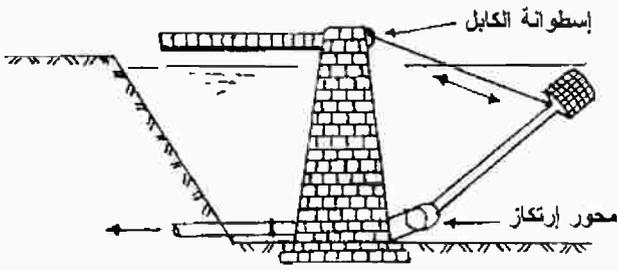
شكل (٤) مأخذ شاطى



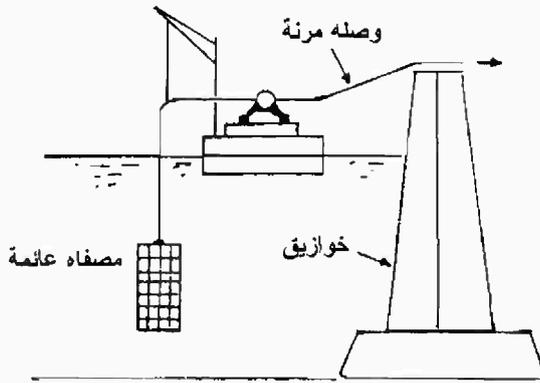
شكل (٥) مأخذ الطلمبه الغاطسة



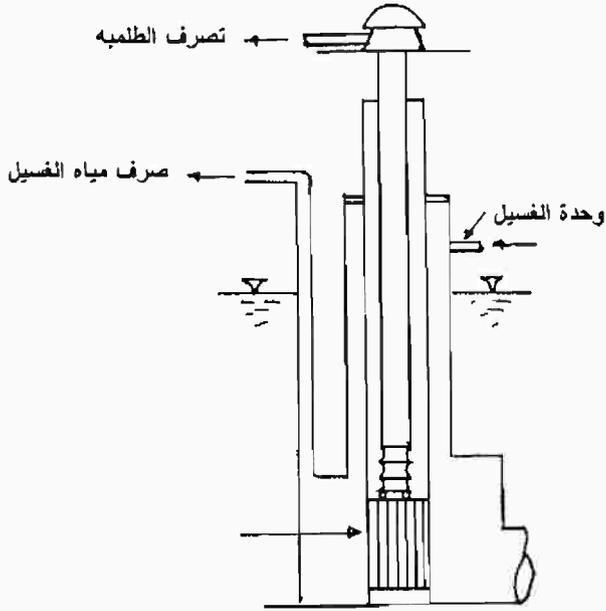
شکل (٦) مأخذ بالسيفون



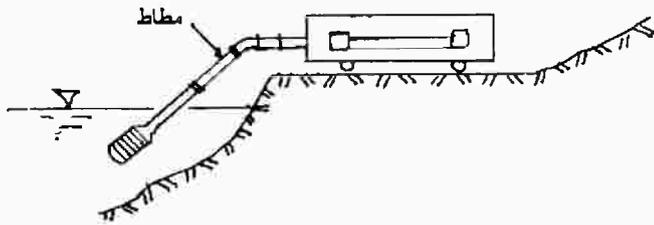
شکل (٧) مأخذ معلق ومتغير المنسوب



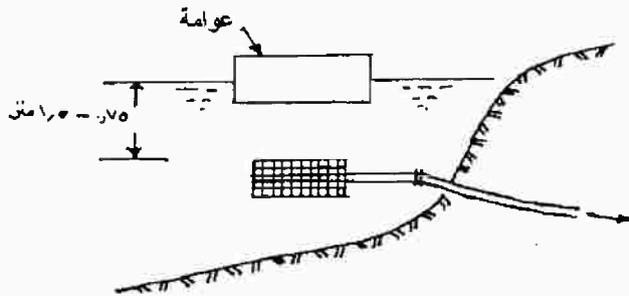
شکل (٨) مأخذ عائم



شكل (٩) مأخذ بمصفاه ثابتة مجهز بالفيضيل العكسي



شكل (١٠) مأخذ متحرك على عربة



شكل (١١) مأخذ عائِم للمحطات الصغيرة

إن العناية بالدراسة الأولية لتحديد موقع المآخذ وتصميمه يوفر ثبات نوعية المياه بالكم المطلوب وخفض تكاليف المعالجة والحصول على مياه شرب مستساغة وأمنة باستمرار. وقد تصل تكلفة الدراسات والتصميم والتنفيذ للمآخذ في بعض الحالات أكثر من نصف تكلفة المحطة ككل. يمكن تنفيذ المآخذ بما يتناسب مع ظروف المجرى المائي حيث المآخذ البرجي والذي يمكن استخدامه في المجارى المائية الملاحية والغير ملاحية والمآخذ الشاطئية المغمورة والمآخذ التي تعمل بالسيفون وكذلك المعلقة والعائمة المزودة بماسورتين لاستخدامها عند ارتفاع وخفض المياه الأشكال من ٣-١١ يوضح كروكي لمختلف أنواع المآخذ.

تجهز المآخذ بالمصافي لحجز الأجسام الطافية والعالقة والتي تعيق الضخ وعمليات التنقية والمصافي المستخدمة هي مصافي القضبان الحديدية (BAR SCREENS) حيث الفواصل بين القضبان من ٠,٥ إلى ٥ سم وفي حالة قلة المواد الطافية المتوقعة يمكن تقليل الفواصل. توضع المصفاة بزواوية ٦٠-٧٥° بالنسبة للمستوى الأفقي. ولتسهيل عملية التنظيف في حالة التنظيف اليدوي توضع المصافي بزواوية ٣٠-٤٥° بالنسبة للمستوى الراسي. وتكون سرعة المياه المتجهة إلى المصفاة منخفضة تصل إلى ٠,١ إلى ٠,٢ م/ث (متر في الثانية) لمنع رسوب الأجسام العالقة. كما يجب ألا يزيد معدل تدفق المياه في الفتحات بين القضبان عن ٠,٧ متر في الثانية للمصافي الثابتة وذلك لمنع انسداد المصافي. وتكون سرعة المياه في ماسورة السحب إلى محطة الطلمبات من ١ إلى ١,٥ متر في الثانية.

المصافي النظيفة تسمح بمرور المياه مع فقد في الضغط لعدة سنتيمترات قليلة فقط ولكن الفقد في الضغط يرتفع بشدة عند تراكم المواد العالقة في فتحات المصفاة في حدود من ٠,١ إلى ٠,٢ متر. ولمواجهة عدم انقطاع انتظام التنظيف اليدوي أو التوقف للتنظيف الآلي فانه من الناحية العملية تصمم المصافي بفقد في الضغط يعادل من ٠,٥ ألي ١ متر وكذلك فانه بزيادة مساحة المصفاة يمكن التغلب على الفقد في الضغط. وقد تستخدم مصافي إضافية ذات فتحات صغيرة (Fine

(Screens) قبل رفع المياه المعالجة لإزالة الأجسام العالقة ولتقليل زمن الترسيب أو مساحة المرشح. تزال الأجسام العالقة المتراكمة على المصافي بالطرق الميكانيكية (Rack screen) أو بالهواء المضغوط أو الماء سواء كانت المصافي ثابتة أو متحركة كما يمكن اللجوء إلى التنظيف اليدوي في المحطات الصغيرة. وفي بعض الحالات للمجارى السطحية العزبة المناوبة حيث ينخفض منسوب المياه وتصبح ساكنة يتحول المجرى المائي إلى مصرف زراعي وتتلوث المياه وكذلك مع ركود المياه ترسب الأجسام العالقة العضوية وغير عضوية ومع نقض الأكسجين في قاع المجرى تتحلل المواد العضوية لا هوائيا منتجة غازات كبريتيد الهيدروجين والميثان بما يؤثر على رائحة ومذاق المياه العكرة. وإزالة هذه الغازات يتطلب استخدام حبيبات الفحم المنشط لامتصاصها في المرشحات والتي تمر كذلك المركبات العضوية أو بأكسدة هذه المواد والغازات بمؤكسد قوى مثل الأوزون. ولتجنب هذه الملوثات قبل تنقية المياه يمكن تصميم المآخذ بما يوفر التهوية للمياه قبل وصولها إلى ماسورة المآخذ وهذه التهوية تزيد من أكسجين المذاب في الماء والذي يعمل على أكسدة المواد العضوية وإزالة الغازات المذابة المسببة للمذاق والرائحة. وتستخدم لهذا الغرض المآخذ العائمة أو متغيرة المنسوب حيث ماسورة السحب على عمق ٠,٧٥ إلى ١,٢٥ متر من سطح الماء. وفي حالة خلط مياه المصارف في مجرى المياه العزبة فيجب تجنب إنشاء المآخذ والبديل هو اللجوء إلى المياه الجوفية كمصدر لمياه الشرب حيث التكلفة أقل بكثير بجانب أن الملوثات العضوية تتحلل أثناء رحلتها إلى الخزان الجوفي وتختفي تماما على عمق ٥٠ - ٦٠ متر من سطح الأرض هذا بالإضافة إلى خلو المياه الجوفية من العكارة بما يوفر مراحل التنقية بالمرشحات ولكن يلزم حقن المياه بالكلور قبل الضخ في الشبكة. وفي هذه الحالة يلزم التأكد من خلو المصدر الجوفي من المعادن الثقيلة الضارة أو أن تكون تركيزاتها في حدود المعايير المقررة. وقد يصعب في بعض الأحيان اللجوء إلى هذا البديل أي استخدام المياه الجوفية وخاصة في منطقة الدلتا شمال خط الزقازيق دمنهور وذلك لملوحتها والبديل الآخر هو استغلال مجرى مائي آمن وإن كان على مسافة بعيدة.

٣- التخلص من المواد الصلبة العالقة بالترسيب

أولى المراحل تنقية المياه العكرة هو التخلص من المواد الصلبة العالقة بعد خروجها من المصافي وبعد أن يتم التخلص من نسبة كبيرة من الأجسام العالقة والطافية طبقا لحجم الفتحات في المصافي. وبعد خروج المياه من المآخذ إلى بيارة المياه العكرة فإنها ترفع بواسطة محطة الرفع الواطي إلى أولى مراحل التنقية وهي التخلص من المواد العالقة بالترسيب.

أ- نظرية الترسيب :

الترسيب هو التخلص بفعل الجاذبية من المواد العالقة والتي يزيد وزنها النوعي عن الوزن النوعي للماء. تزداد كفاءة الترسيب مع زيادة حجم الأجسام العالقة وزيادة كثافتها النوعية كما في حالات الترسيب العادي (Plain Sedimentation) بدون إضافة كيماويات مساعدة. والأجسام العالقة في المياه العكرة يتراوح حجمها ما بين فتحات المصافي الصغيرة في حالة استخدامها إلى أجسام عالقة ذات قطر صغير جدا يصل إلى ٠,٠٠٠١ ملليمتر (٠,١ ميكرون) وهذه ترسب ببطيء شديد جدا وان كان يمكن التخلص منها في المرشحات السريعة التي تعمل بكفاءة. وقد وجد من فحص عدة حالات أن الكثافة النوعية للمواد العالقة تتراوح ما بين ٢,٦٥ لحبيبات الرمل الناعم إلى حوالي ١,٢ لحبيبات الطمي المحتوي على ٩٥% ماء، كما وجد أيضا أنه إذا أحسن تصميم مأخذ المياه فنادرا ما يزيد قطر حبيبات الرمل عن ٠,١ ملليمتر وكتل الطمي عن واحد ملليمتر. يمكن القول إن الترسيب العادي في عمليات تنقية المياه يخضع لقانون ستوك (STOCK'S Law) والذي ينص على الأتي:

$$S = \frac{1 \times g(Ps - P)D^2}{18M}$$

حيث

S: سرعة الترسيب سم /ث

g: عجلة الجاذبية الأرضية ٩٨١ سم/ث

M : اللزوجة بالسنتيمتر مربع في الثانية

P : الوزن النوعي للمواد العالقة

Ps : الوزن النوعي للماء

D : قطر حبيبات المواد العالقة

وحيث أن السائل هو الماء إذن كثافة السائل = ١ وتصبح المعادلة

$$S = \frac{g(Ps - 1)D^2}{18M}$$

من هذه المعادلة ترى انه كلما زاد الوزن النوعي للجسم العالق زادت سرعة ترسيبه، كلما زادت لزوجة الماء انخفضت سرعة الترسيب، كلما زاد قطر الجسم العالق زادت سرعة ترسيبه وكذلك تزداد نسبة التخلص من الأجسام العالقة مع زيادة زمن الترسيب. وإيضاح تأثير هذه العوامل يلزم التنويه عنها.

ب- اللزوجة

لزوجة الماء تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة حيث:

درجة الحرارة الماء م° : صفر - ١٠ - ٢٠ - ٣٠ - ٤٠ - ٥٠.

اللزوجة سم^٢ / ث : ١,٧٨ - ١,٣ - ١ - ٠,٨ - ٠,٦٥ - ٠,٥٩.

فإذا انخفضت درجة الحرارة من ١٠ إلى صفر ترتفع لزوجة الماء من ١,٣ إلى ١,٧٨ سم^٢ / ث وتقل سرعة الترسيب تبعاً لذلك. طبقاً لقانون ستوك فإن سرعة الترسيب تزداد كلما ارتفعت درجة حرارة الماء كما إن تأثير ارتفاع درجة الحرارة على سرعة الترسيب أكبر من زيادة سرعة الترسيب نتيجة زيادة الكثافة النوعية للمواد العالقة.

ج- القطر والوزن النوعي للأجسام العالقة

سرعة الترسيب لمختلف المواد العالقة في المياه الساكنة عند درجة حرارة ١٠ م° هي كما في الجدول (٧) حيث يوضح قطر الحبيبات وكثافتها. ومن هذا الجدول إذا كان قطر الجسم ٠,٢ ، ٠,١ ، مليمتر وعمق حوض الترسيب ٣ متر

وسرعة ترسيبه ١٠ ملليمتر في الثانية فإنه يحتاج إلى فترة زمنية مدتها ٥ دقائق ليرسب $(٦٠ \times ١٠ / ٣٠٠٠) = ٥$ ق.

إما في حالة الطفلة الناعمة بقطر ٠,٠٠١ ملليمتر فهي تحتاج إلى ٢٢٥ يوم لترسب في قاع حوض بعمق ٣ متر: $(٣٠٠٠ / ٠,٠٠١٥٤ \times ٦٠ \times ٦٠ \times ٢٤) = ٢٢٥$ يوم).

جدول (٧) سرعة الترسيب المختلفة لمواد العالقة في المياه الساكنة عند ١٠ م.

سرعة الترسيب بالملليمتر في الثانية		القطر بالملليمتر	المادة العالقة
للأجسام ذات الكثافة ٢,٦٥	للأجسام ذات الكثافة ١,٢	١٠٠٠ ميكرون = اسم	
٦٣ - ١٠٠	٧,٢ - ١٢	٠,٦ - ١	رمل خشن
٣٢ - ٥٣	٣,٦ - ٦	٠,٣ - ٠,٥	رمل متوسط
٨ - ٢١	١,٢ - ٢,٤	٠,١ - ٠,٢	رمل ناعم
٢,٩ - ٦	٠,٢١ - ٠,٥٤	٠,٠٥ - ٠,٨	رمل ناعم جدا
٠,١٥٤ - ٢,١	٠,٠٨٤ - ٠,١٣	٠,٠١ - ٠,٠٤	طمي
٠,٠٣٥ - ٠,٠٩١	٠,٠٢١ - ٠,٠٥٤	٠,٠٠٥ - ٠,٠٠٨	طمي ناعم
٠,٠٠٣٥ - ٠,٠٢١	٠,٠٠٠١٩ - ٠,٠٠١٣	٠,٠٠١٥ - ٠,٠٠٤	طفله
٠,٠٠٠١٥٤ - ٠,٠٠١٥٤	١٠ × ٨ - ١٠ × ٨ ^٩	٠,٠٠٠١ - ٠,٠٠١	طفله ناعمة
لا ترسب إطلاقا	لا ترسب إطلاقا	أقل ٠,٠٠٠١٠٠٠	أجسام هلامية

القسم الثاني

استخدام الكيماويات للتخلص من الأجسام العالقة

نظراً لأن زمن الترسيب اللازم لإزالة الأجسام العالقة المسببة للعاركة غير عملي بالإضافة إلى الأجسام الهلامية التي لا ترسب والتي تسبب تغير فى لون ومذاق المياه. وهذه الأجسام لا تسبب عكارة فقط بل يعلق بها كثير من الكائنات الدقيقة ولذلك تم اللجوء إلى استخدام بعض الكيماويات الغير قابلة للذوبان فى الماء وتكون زغبات هلامية (Floc's) والتي تلتصق بالمواد العالقة حيث يزداد الحجم (Agglomerates) وتتجمع وترسب بالإضافة إلى أنها تمتاز على سطحها الخارجى بعض الأجسام الصغيرة العالقة وكذلك الهلامية بما يمكن من إزالة هذه الأجسام العالقة أسرع من الترسيب العادي. وهذه المواد هي مواد الترويب وهى غير ضارة وتعمل على تحسين اللون والرائحة والمذاق للمياه بدرجة كبيرة. واستخدام كيماويات الترويب يزيل الأجسام الهلامية التي تتراوح فى حجمها بين المذابة والعالقة (10^{-5} إلى 10^{-2} ملليمتر) والتي تحمل شحنة كهربية سالبة وهى فى حالة ثبات (Stabilized). ونظراً لشحنتها الكهربية المتماثلة ولقرب كثافتها من كثافة الماء تظل عالقة.

كيماويات الترويب تحمل شحنة موجبة وعند إضافتها يحدث عدم ثبات للأجسام العالقة التي تحمل شحنة سالبة عندئذ تتجمع جسيمات اكبر فى الحجم وبذلك تزداد

سرعة ترسيبها. المواد التي تزال بالمروبات هي المسببة للعكارة واللون. والعكارة هي نتيجة وجود العوالق الطينية والطحالب والمخلفات الحيوانية أما اللون فهو يسبب تحلل المواد العضوية والنباتات. المروبات تزيل كثيرا من الكائنات الحية الدقيقة ذات العلاقة بالصحة العامة والتي تختبئ في الأجسام العالقة وتزيل كذلك كثيرا من المواد العضوية المخلفة SOC's والتي توجد في مياه المجارى السطحية مثل المبيدات وتزيل كذلك أملاح الحديد والمنجنيز التي تعلق بها بعد أكسبتها بالهواء الجوى أو كيماويات الأكسدة.

وتزيل كيماويات الترويب المواد العضوية الدبالية (Humic Substances) وهي ناتجة من مواد التربة وتحلل النباتات ولها مكونات أروماتية وأليفاتيه (Aromatic Aliphatic) وتشمل حامض الفولفيك الشديد الذوبان في الماء وحامض الهيوميك (Humic) الأقل إذابة في الماء. والأكثر انتشارا في المياه السطحية هو حامض الفولفيك. الأحماض الدبالية تعكس الضوء وهي المكون الرئيسي للمواد العضوية في الماء فهي توجد في كل المياه السطحية ومعظم المياه الجوفية. والمواد الدبالية تكون مركبات معقدة مع الأجسام العالقة والأملاح المعدنية والمركبات العضوية المخلفة (SOC's) بما يساعد على إزالتها في عمليات الترويب. وقد ثبت إن هذه المواد الدبالية من مسببات تكون مركبات الترايهاالوميثان (THM'S) عند استخدام الكلور كمطهر ومؤكسد. ولذلك زاد الاهتمام نحو إزالة هذه المواد الدبالية بالترويب في تنقية المياه حتى وإن كان إزالة اللون والعكارة ليس هو الهدف من عملية الترويب.

خصائص استخدام كيماويات الترويب المختلفة

عملية الترويب تتم على ثلاث مراحل متتالية وهي تجهيز المروب ثم المزج السريع للمروب مع المياه حيث يحدث عدم ثبات للمواد العالقة ثم الخلط البطيء في أحواض الترغيب (Floccu Later) حيث تتم عملية تكوين الزغبات (Floc's) نتيجة التصاق المواد العالقة الغير ثابتة مع المروب. ولكبر حجم الزغبات المتكونة نتيجة هذا الالتصاق وزيادة كثافتها يمكن التخلص منها بالترسيب والترشيح.

المروبات المستخدمة عادة هي كبريتات الألومنيوم (الشبه) وكبريتات الحديد وكبريتات الحديدوز، كلوريد الحديد، ألومنيات الصوديوم. وتستخدم أحيانا الشبه السوداء والتي هي خليط من الشبه وبودرة الفحم المنشط بنسبة ٥% من الفحم المنشط. وفي بعض الحالات تستخدم البلمرات عالية الكثافة في عملية الترويب. والمروبات تزيل كذلك بالترويب الكيماوي بعض أملاح المعادن الثقيلة ذات الأثر السلبى على صحة الإنسان. فالشبه فى المجال المتعادل ترسب الزرنيخ خماسي التكافؤ والكروم ثلاثي التكافؤ والرصاص والسيلينيوم وأملاح الفضة بنسبة إزالة ٧٠-٩٠% وأن كانت نسبة الترسيب تزداد مع زيادة الرقم الهيدروجيني نحو القلوية. ولكن الشبه لا تزيل الزرنيخ ثلاثي التكافؤ والباريوم والكاديوم والكروم سداسي التكافؤ والسيانيد والسيلينيوم الرباعي والنحاس وبعض المركبات العضوية. ولكن هذه المواد تزال باستخدام المروبات من أملاح الحديد فى مجال رقم هيدروجيني مرتفع أعلا من ٩. الرقم الهيدروجيني لمياه النيل هو من ٧,٥ - ٨ فقط، والمروبات حامضية بطبيعتها حيث تتفاعل مع القلوية الطبيعية أو المضافة إلى الماء مكونة كبريتات الفلوى وراسب جيلاتيني الذي هو الايدروكسيد للمروب وهذا الايدروكسيد يحمل شحنة موجبة كما فى المثال التالي:



بينما الأجسام الهلامية العالقة تحمل شحنة سالبة وعند الخاط يحدث الجذب والالتصاق مع الايدروكسيد لتتكون الزغبات (Floc's) الأكبر حجما وكثافة كما تعمل الطبيعة الجيلاتينية لايدروكسيد المروب على اصطداد الأجسام العالقة وامتزازها على السطح بما يزيد من حجم الزغبات حيث يمكن أن ترسب بسهولة. كما يلزم للأداء الجيد للمروب وجود قلوية فى الماء. القلوية فى مياه النيل هي حوالي ١٣٠ جزء فى المليون مقيمة ككربونات كالسيوم وهى تشمل قلوية الكربونات والبيكربونات لاملاح الصوديوم أساساً. وفى بعض أنواع المياه قد لا تتوفر القلوية اللازمة لعمل المروب بكفاءة عندئذ يتم إضافة قلوى مثل الصودا آش (كربونات الصوديوم) أو الجير الحى أو لبن الجير Ca(OH)_2 .

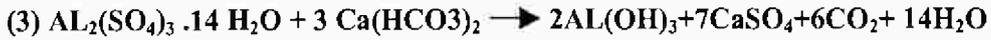
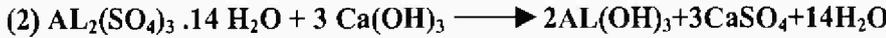
أنواع كيماويات الترويب

١- كبريتات الألومنيوم (الشبة): $AL_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

وهي تصنع بخلط خام البوكسيت (Bauxite) المحتوى على أكسيد الألومنيوم مع حامض الكبريتيك لدرجة الغليان. واستعمل البوكسيت من خام الواحات الخارجة لفترة طويلة كما يوجد في مناطق أخرى مثل جنوب سيناء. الشبة المستخدمة فى تنقية مياه الشرب يجب ألا تزيد نسبة أكسيد الحديد فيها عن ٠,٩% والزرنيخ عن ٥٠ جزء فى المليون.

ولإعداد الشبة للاستخدام فانه يتم تجهيز محلول الشبة بتركيز ٤-٥% ويضاف إلى المياه العكرة بنسبة ٥-٨٥ جزء فى المليون حسب درجة العكارة مع عدم زيادة الجرعة عن هذا الحد حيث ما يزيد عن هذا المقدار وجد مذابا فى الماء. وقد ثبتت إن المواد العالقة من الطمي تمتص نحو ٢٠-٣٠% من جرعة الشبه بما لا يمكن من تفاعلها مع البيكربونات الموجودة فى الماء مما يتطلب فى بعض الحالات عمل الترسيب الأولي (Plain Sedimentation) للتخلص من أقصى نسبة من الأجسام العالقة. إذا انخفض الرقم الهيدروجيني عن ٦,٨ بما يضر بصحة الإنسان لا تزداد جرعة الشبه ولكن إما إن يزداد الزمن اللازم للترسيب أو إضافة الصودا أش لتعويض استهلاك القلوية الموجودة أصلا فى الماء.

وتفاعل الشبة مع القلوية الطبيعية أو المضافة للماء يتم كالتالي:



أيدر وكسيد الألومنيوم الناتج عن هذه التفاعلات للشبه مع القلوية الموجودة فى الماء أو المضافة يكون الزغبات (FLOC'S) التي لا تذوب فى الماء والتي تزيل

الأجسام العالقة الصغيرة جدا والهلامية (Colloidal). ولأفضل النتائج فإن الرقم الهيدروجيني للماء يكون ما بين ٦,٥-٨ وجرعة الشبه تكون من ٥ إلى ٨,٥ جزء في المليون طبقا للعكارة ولون المياه. تحدد الجرعة عموما طبقا لاختبارات القينيسة (Jar Tests).

وتتوقف ضوابط استخدام الشبه كمروب على أساس أنه عند إضافتها إلى الماء فإن نواتج التحلل تكون أيون الهيدروجين الذي يعمل على خفض الرقم الهيدروجيني للماء كما في المعادلة.



الخفض في الرقم الهيدروجيني يتوقف على قلوية الماء فنلك ١ ملليجرام / لتر من الشبه التي تتفاعل لتنتج راسب من أيدر وكسيد الألومنيوم يستهلك ٠,٥ ملليجرام / لتر من القلوية المقيمة ككربونات كالسيوم فعند إضافة جرعة من الشبه ٢٠ ملليجرام / لتر فإن القلوية اللازمة للتفاعل هي ١٠ ملليجرام / لتر بما يتطلب إضافة قلوي آخر إلى الماء لتوفير القلوية والمحافظة على الرقم الهيدروجيني للماء لترسيب أيدر وكسيد الألومنيوم وتحقيق أقصى ترويب. الزغبات التي تتكون باستخدام مروب الشبه تختفي في حالة نقص الرقم الهيدروجيني وكذلك في حالة زيادته يتأين أيدر وكسيد الألومنيوم إلى الألومنيات التي تذوب في الماء. ولهذا فإن أفضل النتائج لتكوين الزغبات تكون في مجال هيدروجين بين ٦,٥-٨ وعادة فإن الجرعة للشبه هي من ٥-٨٥ ملليجرام / لتر والجرعة المتوسطة هي ١٩ ملليجرام / لتر والمياه شديدة العكارة لا تزداد الجرعة عن ٨٥ ملليجرام / لتر حيث ما زاد عن ذلك يذوب في الماء وكذلك لا تقل.

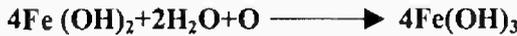
٢- كبريتات الحديدوز (Ferrous Sulphat)

كبريتات الحديدوز يكون فيها الحديد ثنائي التكافؤ والرمز الكيميائي هو $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ وهي تكون على هيئة بلورات خضراء لامعة جافة وقد تكون أحيانا على شكل كتل كبيرة ولها أسماء تجارية مثل الزاج الأخضر (Copperas) أو

(Sugar Sulphate of Iron) وعند استخدامها كمروب لمياه الشرب لا تزداد فيها نسبة الشوائب عن ٢% وحامض الكبريتيك عن ٠,٤% والزرنيخ عن ٥٠ جزء في المليون. وتكون نسبة الحديد القابل للذوبان في الماء ١٩,٧%. أساس عمل كبريتات الحديدوز كمروب هو تكون أيدر وكسيد الحديد نتيجة لوجود الكربونات أو القلوية الموجودة في الماء مع أكسجين الهواء الجوي فتتحول كبريتات الحديدوز إلى أيروكسيد الحديد الذي له خواص في الترويب لا تقل عن أيدر وكسيد الألومنيوم. وتفاعلات كبريتات الحديدوز مع القلوية الطبيعية أو المضافة إلى الماء كالتالي:



أيدر وكسيد الحديدوز يذوب في الماء وعند أكسدته بالأكسجين المذاب في الماء أو باستخدام جرعة عالية من الكلور فإنه يتأكسد إلى أيدر وكسيد الحديد Fe(OH)_3 وهو راسب جيلايتي لا يذوب في الماء ويرسب تدريجيا حاملا الأجسام العالقة في شكل راسب. يضاف الجير كمستحلب من لبن الجير Ca(OH)_2 بعد إضافة كبريتات الحديدوز أو معها لرفع الرقم الهيدروجيني ولزيادة سرعة الترسيب. كمية المروب من كبريتات الحديدوز تكون ما بين ٥-٥٠ ملجرام / لتر مع إضافة نسبة من الجير حوالي ٠,٤ من كبريتات الحديدوز وتزيد نسبة الجير مع زيادة العكارة في الماء حتى تصل إلى نفس نسبة كبريتات الحديدوز في الماء.



أملاح الحديد حامضية وتستهلك كل القلوية الطبيعية الموجودة في الماء أثناء الترسيب كأيروكسيد مما يتطلب إضافة مستحلب لبن الجير لرفع الرقم الهيدروجيني. وكبريتات الحديدوز تعطى أفضل نتائج للترويب عند رقم الهيدروجيني ٨,٥ ولا تستخدم للمياه الملونة. وأملاح الحديد أكثر عداونية من الشبة وتحتاج إلى مهارة عالية في استخدامها وهي تنشط البكتريا المؤكسدة لمعدن الحديد.

ولتحقيق أكسدة الحديدوز إلى الحديد في المجال المتعادل تتم الأكسدة بواسطة الأوكسجين المذاب في الماء بالإضافة إلى جرعة عالية من الكلور ٢٧ مليجرام / لتر. وعند استخدام كبريتات الحديدوز كمروب أمكن الاستغناء عن الترشيح والتعقيم وعمل الترسيب فقط وذلك عند زيادة كمية الجير المضاف بعد كبريتات الحديدوز حتى رقم هيدروجين ١٠,٥ عندئذ يمكن الحصول على مياه شفافة لا تحتاج إلى الترشيح بالإضافة إلى قتل البكتريا الضارة التي لا تعيش عند رقم هيدروجيني ١٠,٥. وتزال القلوية الزائدة بتمرير ثاني أكسيد الكربون في الماء فيحولها إلى بيكربونات غير ضارة. كبريتات الحديدوز أقل في تكلفة استخدامها من الشبه بالإضافة إلى إن الزغبات الناتجة عنها كمروب سريع الترسيب لزيادة الكثافة النوعية. ولكن استخدامها يتطلب إضافة الجير والذي يسبب تراكم وترسيبات في الشبكة نتيجة تفاعله مع قلوية الماء كما إن كبريتات الحديدوز لا تصلح كمروب مع المياه الملونه أو المياه اليسر. وعند استخدام كبريتات الحديدوز مع الكلور بجرعة ٢٧ مليجرام / لتر مع زمن تلامس صغير لأكسده الحديدوز إلى الحديد في الناتج يكون ٤٠% كبريتات حديدك، ٦٠% كلوريد حديدك.

٣- أملاح الحديد الأخرى

من مركبات الحديد المستخدمة كمواد تزويب كلوريد الحديدك وكبريتات الحديدك. كلوريد الحديدك شديد العدوانية في الحالة الصلبة أو المحلول وعادة لا يستخدم في معالجة مياه الشرب. كبريتات الحديدك شديدة الحموضة وشديدة العدوانية مما يستلزم إن تكون مهمات النقل والتخزين مقاومة للتآكل. والمروبات من أملاح الحديدك هي عوامل أكسدة فتزيل كبريتيد الهيدروجين وتحسن نوعية المياه وتستخدم في تنقية مياه الصرف الصناعي ومعالجتها، كما تعمل على ترسيب كثيرا من المعادن الثقيلة. ويتطلب استخدام مركبات الحديدك كمروبات إضافة أيروكسيد الكالسيوم لرفع القلوية للماء وترسيب أيدر وكسيد الحديدك. والجرعة المناسبة من كلوريد الحديدك أو كبريتات الحديدك هي من ٨,٥ إلى ٥١ مليجرام / لتر ومجال الرقم الهيدروجيني المناسب هو من ٥,٥ إلى ١١.

تفاعلات مركبات الحديد مع الجير المطفئ (لبن الجير) هي كالآتي:



أيدر وكسيد الحديدوز يذوب في الماء وعند أكسدته بالأكسجين المذاب في الماء أو باستخدام جرعة عالية من الكلور فإنه يتأكسد إلى أيدر وكسيد الحديد Fe₃ (OH)₃ وهو راسب جيلايتي لا يذوب في الماء و يرسب تدريجيا.

٤- ألومنيات الصوديوم (Na₂Al₂O₃) : Sodium Aluminate

وهذا المروب استخداماته محدودة وهو قلوي في تفاعلاته حيث يعمل على رفع الرقم الهيدروجيني. وهو مناسب للاستخدام في المياه قليلة القلوية الطبيعية وكذلك في المياه اليسر. وهذا المركب يتفاعل بسرعة مكونا رغبات من ألومنيات الكالسيوم Ca Al₂O₃ كما في المعادلات الآتية :



ألومنيات الصوديوم تثبط عدوانية المياه ونظرا لارتفاع تكلفتها فلا تستخدم عمليا.

٥- الجير المطفئ أو الجير الحي (Ca O -Ca(OH)₂)

يستخدم الجير المطفئ أو لبن الجير Ca (OH)₂ أو الجير الحي Ca O في تنقية مياه الشرب ومياه الصناعة منفردا أو مع غيره من المروبات كالشبة ومركبات الحديد ويستعمل كذلك في معالجة المياه لإزالة العسر ويستعمل أما على هيئة الجير الحي (Ca O) أو الجير المطفئ Ca(OH)₂. الجير الحي هي ناتج حرق كربونات الكالسيوم مكونا أكسيد الكالسيوم.

حرارة



وبإضافة الماء إلى الجير الحي (CaO) يتكون الجير المطفى. يمكن تحضير محلول الجير بتركيز ٤-٥% والذي هو لبن الجير. يجب إن يكون الجير الحي تام الاحتراق وخال من الشوائب (مثل الفحم، الرماد) وأن يكون قابلا للتفكك جميعه عند خلطه فى الماء وأن يكون ابيض جاف مسحوقا سحقا جيدا ومتجانس الحبيبات خال من المواد الغريبة التي تعيق استخدامه بواسطة أجهزة الإضافة للجير الحي أو لمحلول لبن الجير.

٦- البلمرات المستخدمة فى الترويب

البلمرات إما إن تكون من المواد عضوية أو من مواد غير عضوية:

أ- البلمرات من المواد الغير عضوية

وهذه تشمل البلمرات الغير عضوية من أملاح الحديد والالومنيوم والسيليكون. فعند معايرة محلول مركز من أملاح الحديد مع قلوى لدرجة ما قبل التعادل (Partilly Neutralized) تتكون بلمرات من أملاح أيدروكسيد الحديد (Colloidal Amorphous Ferric Hydroxide Base Partial). وكذلك عند عمل المعايرة الغير مكتملة للتعادل لمحلول مركز من أملاح الألومنيوم كما فى حالة التعادل الجزئي (Partial Neutralized) لكلوريد الألومنيوم حيث يتكون مركب بولي ألومنيوم كلوريد (PAC-Poly aluminuim Chloride) والذي يستخدم فى معالجة المياه العكرة واليسر. وكذلك هناك بلمرات أخرى من أملاح السيليكون. وتستخدم بعض أنواع الطفلة مثل الينتونيت كمرويات حيث تضاف فى الشكل الجاف مباشرة إلى الماء عندئذ تتفتح حبيباتها إلى جسيمات كبيرة تحتضن الجسيمات العالقة المسببة للعكارة مكونة أجسام اكبر حجما يسهل ترسيبها.

ب - البلمرات العضوية : Organic polymers

البلمرات العضوية متوفرة في أوزان جزيئية مختلفة (كثافات مختلفة). البلمرات التي بها مجموعة متأينة مثل (Sulfonic Group / Amino Group) تسمى البولوي اليكتروليت الذي يمكن إن يكون كاتأيوني (Cationic) أو أن أيوني (Anionic) أو الغير أيوني (Nonionic) ومن أمثلة لهذه البلمرات العضوية الموضحة في الجدول (٨).

وتستخدم البلمرات الغير أيونية في المجال الحامضي، البلمرات الآن أيونية في المجال القلوي والمتعادل والبلمرات الكاتأيونية تؤثر جيدا على المواد العضوية والهلامية. البلمرات من المركبات العضوية الأكثر شيوعا في الاستخدام في تنقية مياه الشرب كمساعدات ترويب (Coagulant aids) هي البلمرات الكاتأيونية موجبة الشحنة وهي بلمرات متأينة (Positively Charged Cationic Polyelectrolytes). وهذه البلمرات الموجبة تعمل على عدم ثبات المواد العالقة ومعادلة شحنتها السالبة وهي كذلك تمتاز المواد الهلامية العالقة. البلمرات المستخدمة في مياه الشرب لها وزن جزيئي أقل من مليون وهي تتأثر بالرقم الهيدروجيني والعسر. البلمرات القابلة للذوبان في الماء تتأين لتعطى الرقم الهيدروجيني المناسب للترويب بما يقلل من جرعة المروبات ويحسن نوعية المياه خلال تدفقها في المرشحات وتضاف البلمرات (البولوي اليكتروليت) مع جرعة المروب وتحدد جرعة المروبات طبقا لاختبارات القنينة (Jar Tests) وتوصيات المنتج.

ج- برمنجنات البوتاسيوم :

هذه المادة مروب ضعيف ولكنه مطهر قوى عند إضافته إلى الماء يتحلل إلى ثاني أكسيد المنجنيز والأكسجين النشط ويعمل ثاني أكسيد المنجنيز كمروب والأكسجين كمطهر وإزالة اللون والرائحة وعند الاستخدام تكون الجرعة ١-٤ مليجرام / لتر.

٧- تعيين الجرعة المضافة من كيماويات الترويب

تحدد الجرعة المضافة من المروب طبقا لنوع مادة الترويب المستخدمة وكمية العكارة في المياه ولون المياه والرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة وكذلك

زمن الخلط السريع والخلط البطيء لتكوين الزغبات (Floc's). عند زيادة العكارة في الماء مع انخفاض درجة الحرارة يلزم زيادة الجرعة من المروبات كما يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني للحصول على زغبات أفضل. وذلك لأن مرّوب الشببة (أيدر وكسيد الألومنيوم) يختفي في حالة انخفاض الرقم الهيدروجيني وعند زيادته عن ٨,٥ فإنه يتآين إلى الألومنيات القابلة للذوبان في الماء.

جدول (٨) أنواع البلمرات العضوية

Some Synthetic Ploymers		
Nonionic	Anionic	Cationic
$\left[\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array} \right]_n$ <p>Polyacrylamide M.W. = 10^6</p>	$\left[\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{COO}^- \text{Na}^+ \end{array} \right]_n$ <p>Sodium polyacrylate M.W. = 10^6</p>	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2- \right]_n$ <p>Polyethylene imine M.W. = 600 to 100,000</p>
$\left[\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{OH} \end{array} \right]_n$ <p>Polyvinyl alcohol</p>	$\left[\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{SO}_3^- \text{Na}^+ \end{array} \right]_n$ <p>Sodium polystyrene sulfonate</p>	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ -\text{CH} \quad \quad \text{CH}-\text{CH}_2- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_2 \quad \quad \text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{N}^+ \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$ <p>Polydiallyldimethylammonium chloride ("Cat-Floc") M.W. = 10,000 to 100,000</p>
$[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}]_n$ <p>Polyethylene oxide</p>		$\left[\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{C}_5\text{H}_5\text{N}^+ \\ \\ \text{HBr}^- \end{array} \right]_n$ <p>Polyvinylpyridinium bromide</p>

ولتعيين افضل مروب للاستخدام لنوع معين من المياه العكرة والجرعة اللازمة وافضل رقم هيدروجيني فانه يتم عمل اختبارات معملية باستخدام أنواع مختلفة من كيمائيات الترويب مع اختلاف الجرعات والرقم الهيدروجيني. حيث يمكن في بعض الحالات استخدام خليط من المروبات ومساعدات الترويب للحصول على أعلى كفاءة لترسيب والتخلص من المواد العالقة وإزالة المعادن الثقيلة المذابة والضارة بصحة الإنسان ولتكون التنقية طبقاً لمعايير مياه الشرب وذلك كما هو موضح في الجدول (٩).

والجرعات المناسبة عند الحاجة الى إضافة قلوي هي ٤٠-٥٠ ملجرام / لتر من الجير الحي أو ٦٠-٧٠ ملجرام / لتر من الجير المطفى وتضاف الصودا آس عند استخدام مروب الشبة فقط وليس مروب الحديدوز بجرعة ١٠٠ ملجرام / لتر. وتستخدم البلمرات الكاتايونية كما سبق توضيحه لتأيينها وذوبانها في الماء وتوفير الرقم الهيدروجيني المناسب بما يقلل من جرعة المروبات وتحسين نوعية المياه وتدققها خلال المرشحات. الجرعة العادية للبلمرات (البولي اليكتروليت) هي واحد جزء في المليون. المياه قليلة العكارة لا تعطى كفاءة مناسبة عند استخدام المروبات فقط وذلك إذا انخفضت العكارة عن ١٠٠ جزء في المليون ويحدث هذا عامة في المجارى السطحية العزبة المناوبة أو في حالة السدة الشتوية. ولزيادة العكارة وزيادة كفاءة عمل المروبات تضاف جرعة من الطفلة ٣٥ ملجرام / لتر. الطفلة المناسبة هي الطفلة البنتونيت كما استخدمت بودرة الفحم المنشط الذي يحسن من المذاق والرائحة. وقد ثبت في كثير من الحالات الاستفادة بإضافة الرمل الناعم مع تحسين خصائصه بإضافة البولي اليكتروليت حيث يتم إضافتها قبل إضافة مادة الترويب كما قد تستخدم نسبة من الروبة (Sludge) المرسبة وتدويرها. تحدد الجرعة المناسبة من المروبات ومساعدة الترويب باستخدام جهاز اختبار القنينة وهذا الجهاز يتكون من ٤-٥ قنينة كل بسعة ١-٢ لتر شكل (١٣).

جدول (٩) المعالجة المؤثرة لإزالة الملوثات الغير عضوية

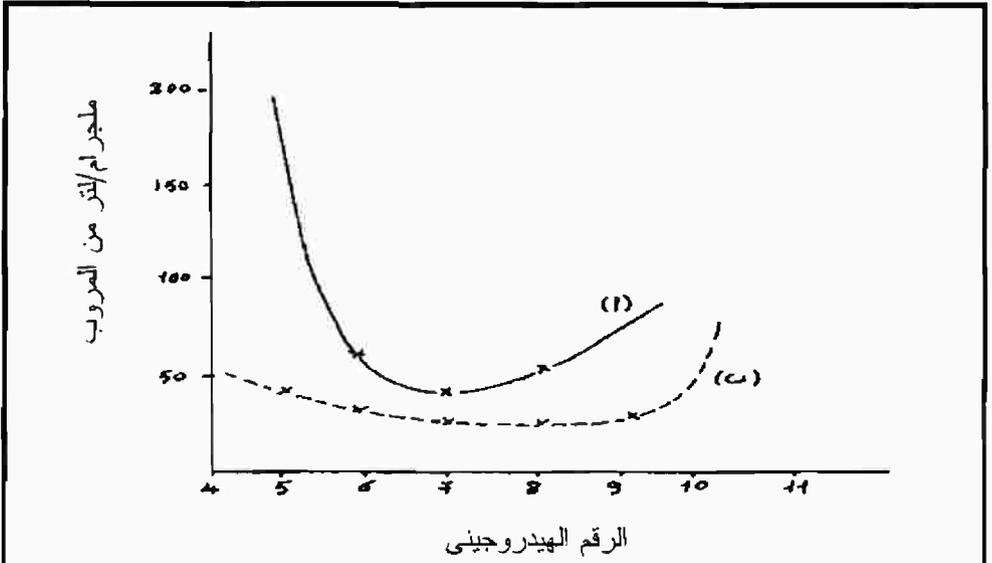
الترسيب بالمروبات لإزالتها	الملوثات من المعادن الذائبة
مروبات كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٦-٨ مروب الشبة عند رقم هيدروجيني ٦-٧ . عند إزالة العسر باستخدام الجير ومروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٨	الزرنخ الثلاثي As^{+3} . بعد أكسدته إلى خماسي قبل المعالجة
نفس المروبات المستخدمة لترسيب الزرنخ الثلاثي بعد أكسدته	الزرنخ الخماسي AS^{+5}
إزالة العسر باستخدام الجير عند رقم هيدروجيني ١٠-١١ التبادل الايوني	الباريوم Ba
مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني اكبر من ٨ إزالة العسر باستخدام الجير .	الكاديوم Cd
مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني بين ٦-٩ أو مروب الشبة عند لرقم هيدروجيني بين ٧-٩ أو إزالة العسر باستخدام الجير .	الكروم الثلاثي Cr^{+3}
مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني بين ٧-٩,٥	الكروم السداسي cr^{+6}
مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٦-٩ أو مروب الشبة عند رقم هيدروجيني ٦-٩ أو إزالة العسر باستخدام الجير	الرصاص
مروب كبريتات الحديدك عند لرقم هيدروجيني ٧-٨ حبيبات الفحم المنشط	الزئبق الغير عضوي الزئبق العضوي
مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٧-٩	السيلينيوم الرباعي Se^{+4}
باستخدام كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٧-٩ أو الشبة عند رقم هيدروجيني ٦-٨ أو عند إزالة العسر باستخدام الجير .	الفضة

يوضع في كل قنينة ذراع خلاط يدور بسرعات متغيرة بواسطة عامود إدارة واحد ومجموعة تروس. يوضع في كل قنينة عينات متساوية حقيقية من المياه العكرة.

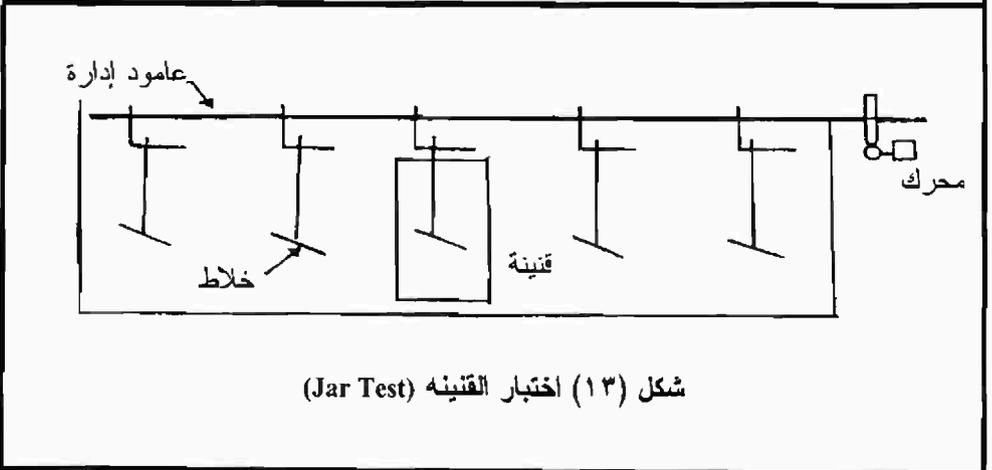
يحقن المروب في كل قنينة بجرعات مختلفة مثال (١٠-٢٠-٣٠-٤٠-
 مليجرام / لتر) يتم تشغيل الخلاطات التي تعمل بعامود تشغيل واحد بسرعة عالية
 ٥٠-١٠٠ لفة في الدقيقة لمدة ٠,٥ إلى ١ دقيقة ثم تخفض السرعة لتكون ٢٠-٣٠
 لفة في الدقيقة لمدة ٢٠-٣٠ دقيقة ثم تترك العينات لمدة ٣٠-٦٠ دقيقة لترسب
 المواد العالقة. يتم اختبار العينات بالنسبة للعكارة واللون وتسجل أقل جرعة من
 المروبات والتي تعطى نتائج جيدة لنقاء المياه وشفافيتها (من ٠,٥ الى ١ بمقياس
 نيفلوميترى) والاختبار الآخر هو تحضير العينات مع ضبط الرقم الهيدروجيني في
 كل قنينة لتغطية المجال ٦,٥, ٧, ٨, ٩ مع إضافة جرعة مروبات التي تم تحديدها
 مسبقا الى كل قنينة ثم يجرى الاختبار كما في الخطوات السابقة. وتختبر العينات
 ويحدد أفضل رقم هيدروجيني، ويمكن استخدام نفس الجهاز لاختبار كفاءة الأنواع
 المختلفة من المروبات أو خليط منها في إزالة العكارة واللون كما يمكن اختبار
 إزالة المعادن الثقيلة عند جرعات مختلفة من المروبات ومجال هيدروجيني مختلف
 كما هو موضح في الجدول (٩) ولكن توجد بعض المعادن الثقيلة الضارة بصحة
 الإنسان والتي لإنزال بأي نوع من المروبات وهى السيلينيوم السداسي التكافؤ
 (Se^{+6}) والذي يزال بالتبادل الايوني أو التناضح العكسي وكذلك كلا من الفلورايد
 والنترات الذي يزال بالتبادل الايوني. ولتعزيز دور الجرعة كمروب يتم أثناء الخلط
 السريع حقن المروب بسرجات تحتوى على المروب فى وقت واحد حيث تحقن كل
 قنينة بها ماء بجرعة مختلفة. بعد الترسيب يتم قياس عكارة الماء بأخذ عينات من
 الماء بواسطة سحاحة من اسفل سطح الماء فى الإناء مباشرة. كما يمكن كذلك اخذ
 عينات فى توقيتات مختلفة لتعيين منحنى سرعة الترسيب مقابل العكارة. وأقل
 عكارة متبقية تقابلها أقصى جرعة للمروب. كما إن سرعة دوران الخلاط فى
 الدقيقة تمكن من معايرة متوسط التدرج فى السرعة وبذلك يمكن استخدام التجربة
 فى تعيين طاقة الخلط المختلفة للخلط السريع والخلط البطئ. ولتوضيح كفاءة
 المروب من الشبة أو أملاح الحديد فى إزالة العكارة طبقا للمجال الهيدروجيني كما
 هو موضح فى المنحنيات شكل (١٢).

فعند إضافة عكارة للماء من مادة النبتونيت وإضافة مروب من الشبة
 ومروب آخر من أملاح الحديد بجرعة ٥٠ مليجرام / لتر لكل مروب على حدة.

فان المنحنى (أ) فى الشكل (٢) يبين مجال الرقم الهيدروجيني لإزالة ٥٠% من العكارة فى الماء عند استخدام مروب الشبة والمنحنى (ب) يبين نفس النسبة من الإزالة للعكارة عند استخدام مروب من أملاح الحديد وتبين النقط على المنحنى الجرعات اللازمة عند الرقم الهيدروجيني.



شكل (١٢) كفاءة الشبه (أ) وأملاح الحديد (ب) فى الترويب لـ ٥٠ ملجم/لتر عكارة كاولين



شكل (١٣) اختبار القنينة (Jar Test)

٨- أمثلة لتعيين الجرعة من المروبات ومساعدة الترويب :

أ- مثال (١)

محطة تنقية مياه الشرب ١٠×٣٥ لتر/اليوم. جرعة الشبة المستهلكة ٢٠ مليجرام/لتر. إذا كانت قلوية المياه تعادل ٤,٥ مليجرام / لتر من كربونات الكالسيوم. عين كمية الشبة والجير الحي المحتوى على ٨٠% أكسيد كالسيوم (Cao) المطلوب كل شهر لمحطة التنقية.

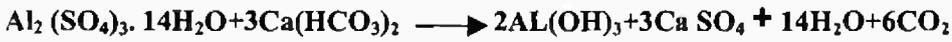
الحل : في حالة استخدام الجير الحي.

كمية الشبة المطلوبة : $١٠ \times ٣٥ \times ٢٠ = ٧٠٠٠$ كيلو جرام في اليوم

$٠,٧$ طن في اليوم = ٢١ طن في الشهر.

بفرض محلول الشبة بتركيز ٥% أذن حجم المحلول اليومي = $٧٠٠٠ / ٠,٠٥ = ١٤٠٠٠$ لتر
١٤ متر مكعب . بفرض استخدام ثلاثة أحواض لخلط محلول الشبة إذن كل حوض يسع ٤,٧ متر مكعب.

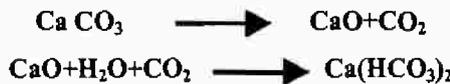
أبعاد الحوض بسعة ٥ متر مكعب (أسطواني) هي قطره ١,٥ متر ارتفاع ١,٥ لتعيين مساعدات الترويب يتم الاستعانة بالتفاعلات التالية التي تحدث أثناء المعالجة.



وحيث إن الوزن لجزئي للشبة هو :

$$٥٩٤ = (١٦ + ٢) ١٤ + (١٦ \times ٤ + ٣٢) ٣ + ٢٧ \times ٢$$

الوزن الجزئي المكافئ من الجير الحي:



نظرا لأن الوزن الجزيئي للكربونات $(Ca CO_3) = 16 \times 3 + 12 + 40 = 100$.

والوزن الجزيئي للجير الحى $(Ca O) = 16 + 40 = 56$.

من المعادلات السابقة والاوزان المكافئة فان القلوية اللازمة لوزن جزئي من الشبة هي 3 وزن جزئي من بيكربونات الكالسيوم وهذه تعادل 3 وزن جزئي من كربونات الكالسيوم وهذه تعادل 3 وزن جزئي من أكسيد الكالسيوم (الجير الحى).

. . القلوية اللازمة لـ 594 جزئ من الشبة يقابلها $3(16+40) = 168$ جزئ من الجير الحى.

. . كمية الجير الحى المكافئة لـ 20 ملليجرام / لتر من الشبة $= 594/168 \times 20 = 70$ ملليجرام / لتر

. . قلوية الماء ككربونات كالسيوم هي 4,5 ملليجرام / لتر = $100/56 \times 4,5 = 2,52$ ملليجرام/لتر من أكسيد الكالسيوم .

. . كمية الكالسيوم المطلوب إضافتها هي $5,66 - 2,52 = 3,14$ ملليجرام / لتر

ونظرا لأن الجير الحى به 80 % أكسيد كالسيوم .

$$. . \quad 3,95 = \frac{100 \times 3.14}{80} \text{ ملليجرام / لتر .}$$

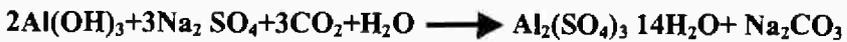
. . كمية الجير المطفى اللازم لمعالجة 10×35 لتر فى اليوم .

$$= 10 \times 35 \times 3,95 = 113,825 \text{ كيلو جرام / اليوم .}$$

$$= 1000 / 31 \times 113,825 = 3,582 \text{ طن فى الشهر .}$$

وفى حالة استخدام الصودا آش $(Na_2 CO_3)$:

وذلك حسب المعادلة الآتية:



.. الوزن المكافئ من الصودا آس الذي يقابله ٥٩٦ جزئ من الشبة = $2 \times 23 + 12 + 3 \times 16 = 106$ جزئ من الصودا آس .

.. ٢٠ مليجرام / لتر من الشبة تكافئ $20 \times 106 / 596 = 3,5$ مليجرام / لتر من الصودا آس .

٣,٥ مليجرام / لتر صودا آس تكافئ $3,5 \times 100 / 106 = 3,3$ كربونات كالسيوم .

.. كمية الصودا آس اللازم إضافتها = $4,5 - 3,3 = 1,2$ ($100 / 106$)

= $1,2 \times 1,06 = 1,272$ مليجرام / لتر .

= $1,272 \times 10 \times 30 \times 31 / 1000 =$

= ١,٣٨ طن في الشهر

ب- مثال (ب)

عين كمية كبريتات الحديدوز اللازمة في اليوم لمعالجة 4×10^6 لتر في اليوم إذا كان ١١ ملجرام / لتر من كبريتات الحديدوز تستهلك بالجير المطفى فى حوض الترويب.

الحل :

كمية المياه المعالجة = 4×10^6 لتر في اليوم.

كمية كبريتات الحديدوز = $4 \times 10^6 \times 11$ ملجرام / اليوم = ١٦,٠٦ طن فى العام.

التفاعلات الكيميائية التي تحدث أثناء عملية المعالجة هي:



الوزن الجزيئي للكبريتات الحديدوز هو ٢٧٧,٨٥ تقريبا ٢٧٨

الوزن الجزيئي لأكسيد الكالسيوم هو ٥٦ .

من المعادلات السابقة فان الوزن الجزيئي من كبريتات الحديدوز تحتاج الى وزن جزيئي من الجير المطفى أي ٢٧٨ مليجرام من الحديدوز تحتاج

$$٣,٢٣ = ١٦,٠٦ \times ٢٧٨ / ٥٦$$

. . كمية الجير المطفى = ٣,٢٣ طن في اليوم .

ملحوظة: الوزن الذرى للعناصر المستخدمة :

$$\text{Fe} = ٥٥,٨٥ , \text{S} = ٣٢ , \text{O} = ١٦ , \text{H} = ١ , \text{Ca} = ٤٠ , \text{C} = ١٢ , \text{Al} = ٢٧$$