

الفصل السابع

إزالة المعادن الثقيلة (Heavy Metals Removal)

١- مقدمة:

المعادن الثقيلة موجودة بكثرة في الطبيعة وتدخل المياه خلال دورات العمليات الجيولوجية الكيميائية. كذلك يضاف كثير من المعادن إلى الماء بفعل الأنشطة المختلفة مثل العمليات الصناعية، الإنشائية، الزراعية، النقل. التركيزات العالية والغير طبيعية من مركبات المعادن المذابة قد تكون ضارة بالصحة والاستعمالات المختلفة للمياه، وتحديد أكثر فإن التركيزات العالية من المعادن الثقيلة في المصادر المائية تشكل خطورة على حياة الكائنات الحية وعلى ملائمة استخدام المياه للأغراض المختلفة وعلى كفاءة شبكات المياه ومياه الصرف وكذلك على حماية البيئة.

بيان بالمعادن الثقيلة ورموزها في الجدول الآتي رقم (١)

الرمز	المعدن	الرمز	المعدن
Fe	حديد	Al	ألومنيوم
Pb	رصاص	Sb	أنثيمون
Mg	مغنسيوم	As	زرنيخ
Mn	منجنيز	Ba	باريوم
Ni	نيكل	Be	بريليوم
Si	سيلينيوم	B	بورون

الرمز	المعدن	الرمز	المعدن
Ag	فضة	Cd	كادميوم
Sn	قصدير	Cr	كروم
Ti	تيتانيوم	Co	كوبالت
Zn	زنك	Cu	نحاس
		Au	ذهب

الجدول رقم (٢) يوضح الصناعات التي يحتمل أن تكون مياه صرفها محتوية على هذه المعادن.

بعض المعادن غير ضار في حالة وجودها بتركيزات منخفضة، وفي الواقع فإن الكميات القليلة جداً أساسية في الغذاء (مثل الكوبالت، النحاس، والحديد، السيلينيوم، الزنك). بعض المعادن يمكن أن تكون سامة ولكن السمية يمكن أن تصنف إلى سمية حادة وسمية مزمنة، مساعدة على السمية، محدثة لتغير وراثي ومسببة للتشوهات الخلقية.

السمية الحادة تظهر بسرعة مع الهضم أو لالتصاق مركب المعدن بجرعات معينة. النحاس المذاب يسبب أمراض معدية وغثيان. التأثيرات الناتجة عن الكروم تشمل أورام خبيثة في الرئة وحساسية الجلد وأمراض الكلى. أما السيلينيوم في التركيزات العالية فإنه سام ومسرطن ويسبب تآكل وتلف الأسنان. التأثير المزمن يكون ناتج عن الهضم أو التلامس لفترة زمنية. بعض المعادن مثل الكادميوم والرصاص تتراكم في أنسجة الجسم ولا يتم إفرازها ولذلك فإن النتيجة تكون هي التسمم المزمن. بعض المعادن تكون أكثر سمية عند إتحادها مع بعض المعادن الأخرى أو في ظروف بيئية معينة وهذا التأثير يوصف بالمساعدة على السمية (Synergistic). فمثلاً تزداد سمية الكادميوم لوجود النحاس والزنك. سمية النحاس والزنك تزيد أو تقل طبقاً للظروف المائية مثل الرقم الهيدروجيني، درجة الحرارة،

العسر، العكارة، والمحتوى من ثاني أكسيد الكربون. بالنسبة للأحياء المائية تزداد سمية الرصاص في عدم وجود الأكسجين المذاب. السمية التي ينتج عنها تغير وراثي أو تشوهات خلقية تكون نتيجة إتحاد بعض المعادن مع المركبات العضوية وهذه المواد يمكن أن تحدث تغير في الجينات الوراثية أو تحدث تشوهات خلقية. وقد لوحظ التأثير السام للمعادن الثقيلة في حالة وجود جرعات معينة. وجود المعادن الثقيلة في المياه قد يجعلها غير مناسبة لبعض الاستخدامات. عند إختيار مصدر مياه الشرب فإن الاعتبارات الأساسية يجب أن تراعى المذاق، اللطع (Staining) والتآكل. نفس التأثير بالنسبة للحديد عند تركيز أكثر من ٠,٩ ملجرام/لتر والمنجنيز لأكثر من ٠,٠٥ ملجرام/لتر والزنك لأكثر من ٥ ملجرام/لتر. كلا من الحديد والمنجنيز قد يسبب لطع وتغير في لون الملابس وكذلك إعاقة حركة المياه في المواسير بواسطة تأثير البكتريا على الحديد أو تسبب قشور وترسيبات كما في حالة تأثير البكتريا على المنجنيز. وكذلك تتدخل المعادن في العمليات الصناعية فمثلا النحاس قد يسبب تفاعلات للنحاس ضارة في الصناعات الغذائية وقد يسبب ثقب في الألومنيوم وفي الصلب المجلفن في هذه الحالات فإنه يلزم عمل المعالجة المسبقة للمياه قبل الاستخدام. بعض المعادن في حالة وجودها في مياه الري يمكن أن تتلف المحصول، وهذا التلف يتمثل في إعاقة النمو للنبات، موت النبات، أو تراكم المعادن بما يجعل الجزء المستخدم من النبات غير صالح كغذاء.

نظراً للتأثير الضار للمعادن الثقيلة على الموارد المائية فإن هناك معايير لتركيزها في مياه الصرف الصناعي عند صرفها على المجارى المائية أو في شبكات الصرف الصحي وذلك نظراً لخطورة هذه المعادن على عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي. وهذا يتطلب المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعي لإزالة المعادن الثقيلة.

٢- أثر المعادن الثقيلة على نظم المعالجة البيولوجية:

الأثر الرئيسى للمعادن الثقيلة على عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحى هو خفض كفاءة العملية البيولوجية نتيجة زيادة التركيز للمعادن الثقيلة السامة وخاصة فى حالة وجودها فى الشكل المذاب. ولكن تأثير هذه المعادن المذابة يمكن أن يقل مع إستمرار وجودها فى النظم البيولوجية حيث يمكن أن تتأقلم مع كل ما هو معوق أو سام. وعلى الجانب الآخر فإن التأثير الضار لهذه المعادن السامة قد تزداد خطورته عند حدوث تغير فى الرقم الهيدروجينى فى حوض المعالجة البيولوجية. وذلك فى حالة أن يسبب التغير فى الرقم الهيدروجينى تغير فى تركيز المعادن السامة المذابة وفى الكميات التى تمتز (Adsorbed) كيميائياً أو طبيعياً فى الكائنات الدقيقة. ذلك أن التغير فى الرقم الهيدروجينى من ٨ إلى ٧ متر يزيد من إذابة المعادن السامة فى حالة وجودها كإيدروكسيدات أو أكاسيد مذابة أو إذا إمتزت على سطح الأجسام الصلبة.

ومهما كان السبب الحقيقى لتأثير المعادن الثقيلة فقد ثبت أن وجودها بتركيزات كافية فى المياه الداخلة للمعالجة البيولوجية يقلل من كفاءة التشغيل ويعمل على تراكم هذه المواد السامة فى وحدة المعالجة البيولوجية. نظراً لأن المواد القابلة للتحلل البيولوجى تتحول إلى ثانى أكسيد الكربون والماء فى النظام الهوائى، وتتحول إلى غاز الميثان وكبريتيد الهيدروجين والنشادر فى النظام اللاهوائى فإن المواد المعدنية الثقيلة لاتزال ولكن تزداد تركيزاً. ولذا فإن التركيزات المنخفضة فى المياه قبل المعالجة البيولوجية قد يزداد إلى ٢٠-٣٠ ضعف فى المواد الصلبة (الحماة) المنتجة. التأثير الإضافى لتراكم المعادن الثقيلة فى المواد الصلبة المنتجة هو فى حالة نشرها على الأرض. لذلك فإنه فى حالة وجود المعادن الثقيلة السامة بمستويات مرتفعة فإنه يلزم الحرص فى نشرها فى الأراضى الزراعية حيث أن ذلك يقلل من الكفاءة الإنتاجية للتربة وكذلك تصبح الحاصلات الزراعية المنتجة غير صالحة.

التطبيقات الصناعية:

الجدول الآتي رقم (٢) يوضح كثيراً من الصناعات وبعض المعادن التي توجد عادة في مياه الصرف الصناعي لهذه الصناعات.

الصناعة	المعادن الثقيلة في مياه الصرف	زنك	نحاس	كروم	كوبالت	نحاس	حديد	رصاص	مغنيز	زئبق	بنتون	سيلينيوم	فضة	زنك
الصناعات المبتاليرجية	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صعير المعادن الغير حديدية	×			×		×		×				×		×
إستخلاص المعادن	×			×		×	×	×	×				×	×
تصنيع الأسلاك بالسحب			×			×	×							
ترسيب المعادن			×	×	×	×	×	×	×				×	×
صناعة السبائك	×			×	×	×			×	×			×	×
أفران الصهر		×				×	×		×					×
صناعة الزجاج	×	×	×	×	×							×		
صناعة السيراميك	×	×	×	×				×	×	×		×		
صناعة البورسلين	×		×	×		×	×	×	×			×	×	×
صناعة البلاستيك				×										
صناعة المبيدات	×									×		×		
الصناعات الكيماوية العضوية	×			×			×							
الصناعات الكيماوية الغير عضوية	×			×	×	×	×	×				×		×
مبيدات الحشائش	×		×											
صناعة الأسمدة	×		×	×		×	×							
صناعة المنظفات	×	×												
صناعة المطهرات			×										×	
مبيد الفطريات				×								×		
تكرير البترول	×				×	×	×							
صناعة الصبغات	×	×		×		×	×	×	×			×		

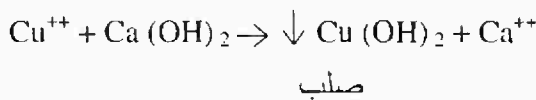
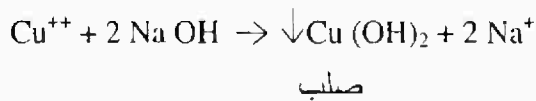
المعادن الثقيلة في مياه الصرف	زنك	نحاس	كروم	كاديوم	بورون	باريوم	زنك	رصاص	منجنيز	زنك	فصل	سيليكون	فضة	زنك
مواد حفظ الأخشاب	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
مواد حفظ الجلود	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
مواد التلوين	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صناعة البويات	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
الأدوية ومستحضرات التجميل	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صناعة الأحبار	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
الغراء الحيواني	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
دباغة الجلود	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
مواد التصوير	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صناعة النسيج	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صناعة الورق ولب الورق	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
الصناعات الغذائية	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صناعة الطباعة	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صناعة الثقاب	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صناعة البطاريات	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
أنابيب التليفزيون	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صناعة المجوهرات	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
الصناعات الكهربائية والالكترونية	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صناعة المفرقات	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

٣- ترسيب وترسيب الأيدروكسيد: Hydroxide Coagulation / Precipitation

الطريقة التقليدية لإزالة المعادن الثقيلة هي بالترسيب الكيميائي للمعادن كإيدروكسيدات يليها الترويب لجسيمات الإيدروكسيدات إلى زغبات أثقل وأكبر والتي عندئذ تتفصل عن الماء. هذه الطريقة يمكن أن تعمل على خفض تركيز المعادن ليكون من ٠,٣ إلى ١,٥ ملجرام/لتر وأحيانا يكون أقل من ذلك بكثير. عادة

المعادن الثقيلة تذوب في المجال الحامضي وترسب في المجال القلوى ولذلك فإن ارتفاع الرقم الهيدروجيني لمحلول يحتوى على معدن إلى المجال القلوى يسبب ترسيب المعدن المذاب. وقد تذوب المعادن ثمانية عند رقم هيدروجيني مرتفع جداً. لذلك فإن لكل معدن مجال رقم هيدروجيني مناسب لترسيبه (جدول ٥ فصل معالجة مياه الصرف من الصناعات الكيميائية).

يزاد الرقم الهيدروجيني بإضافة قلوى مثل إيدروكسيد الصوديوم أو إيدروكسيد الكالسيوم لتوفير أيونات الإيدروكسيد. تتفاعل أيونات المعادن الثقيلة في المحلول مع أيونات الإيدروكسيد مكونه جسيمات صلبة فمثلاً بالنسبة للنحاس كالاتى:-

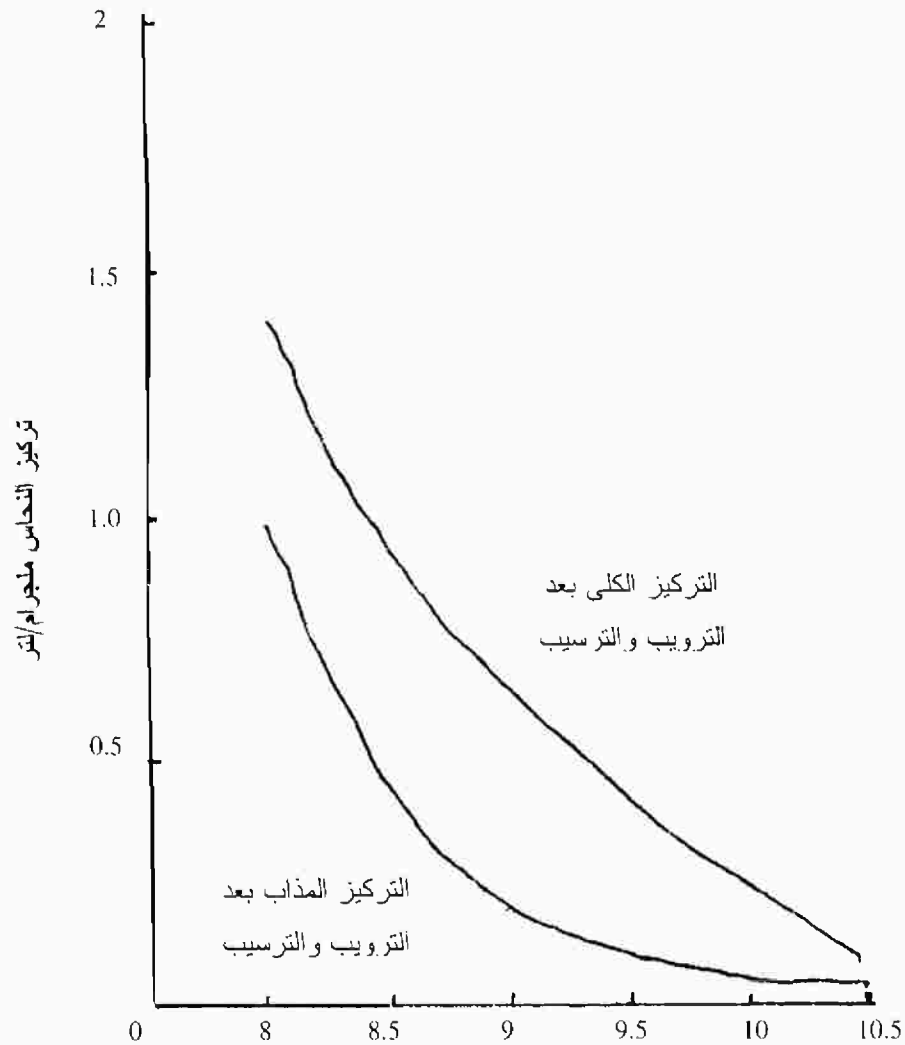


الرقم الهيدروجيني الذى عنده يكون المعدن أقل ذوبانا (أى يرسب) هو من صفات هذا المعدن. ولكن هذا الرقم الهيدروجيني المحدد يتغير طبقاً لعوامل أخرى فى المحلول مثل عوامل التغليف والنشاط السطحي (Chelating Agents And Surfactants) وهكذا وطبقاً لبعض الظروف ودرجات الحرارة. فمثلاً إذا كان النحاس هو الكاتايون الوحيد فى محلول الماء المؤين عندئذ فإنه نظرياً أدنى رقم هيدروجيني للإذابة هو ٨,٩. أدنى رقم هيدروجيني للإذابة يعنى به أنه لازيادة فى ترسيب النحاس المذاب فى المحلول أى ليست النقطة التى عندها يرسب كل انحاس. وعلى الجانب الآخر فإن النحاس المذاب فى المحلول المحتوى على مخلوط من النحاس والزنك، الكروم، النيكل، الحديد قد يكون الرقم الهيدروجيني لأقل إذابة هو ٩,٥. وفى نفس المحلول فإن أقل ذوبان للزنك عند رقم هيدروجيني ٨,٥ والكروم والنيكل عند رقم هيدروجيني ١٠ والحديد عند ٩. يلاحظ أن الكروم يمكن ترسيبه كإيدروكسيد إذا كان فى حالة التكافؤ الثلاثى ولذا فإن الكروم السداسى

التكافؤ يلزم إختزاله إلى الثلاثى وذلك قبل الترسيب بالإيدروكسيد. لهذا السبب فإن بعض التجارب المعملية ضرورية لتحديد كلا من الرقم الهيدروجينى الذى عنده أقل إذابة للمعدن واحتمال التركيزات الناتجة ومطابقتها للمعايير. لكل نوع من مياه الصرف حتى مياه الصرف للصناعات المتشابهة قد يكون لها خصائصها الذاتية والتي تتطلب إجراء بعض التجارب.

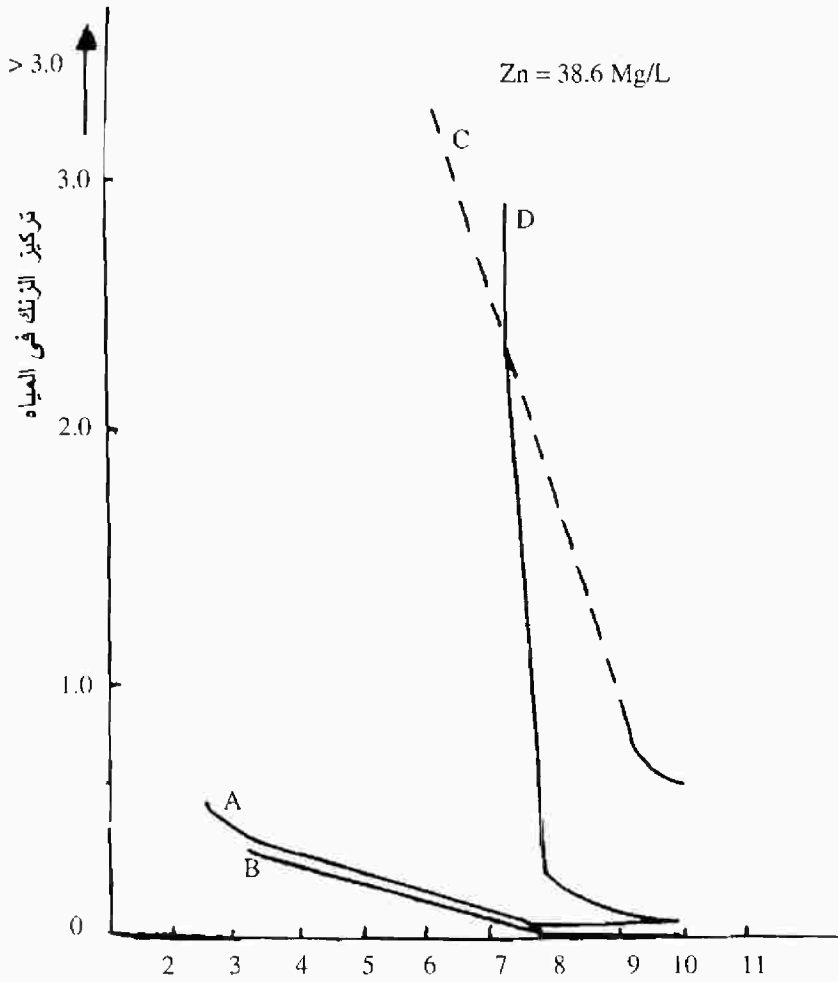
بعض هذه القواعد الأساسية موضحة فى الرسم البيانى فى الشكل (٧/١) حيث يوضح الرقم الهيدروجينى مقابل تركيز النحاس بغرض الترسيب لمياه الصرف الصناعى نتيجة عمليات التشطيب للمعادن المحتوية على النحاس ٧٨ ملجرام/لتر والزنك، الكروم، النيكل والحديد. وتم ضبط الرقم الهيدروجينى لدرجات مختلفة باستخدام لبن الجير وتم ترويب وترسيب المواد الصلبة وتم تحليل النحاس الكلى والنحاس المذاب فى المياه الرائقة بعد الترسيب. ومع زيادة الرقم الهيدروجينى من ٨ إلى ١٠,٥ فإن تركيز النحاس ينخفض. فى هذه العينة فإن أقل قيمة هى عند رقم هيدروجينى ١٠,٥ بخلاف القيمة النظرية عند ٨,٩ وعندئذ فإن بعض النحاس لايزال نتيجة الإتران الكيميائى. ولهذا فإن التركيز عند رقم هيدروجينى من ٩ إلى ٩,٥ يكون مناسب للصرف.

الاختلاف بين نوع مياه الصرف موضح فى الشكل (٧/٢) والشكل (٧/٣) حيث المقارنة بين الرقم الهيدروجينى وتركيزات الزنك والنيكل فى المياه الرائقة (Supernatent). وبمجرد تحديد الرقم الهيدروجينى وترسيب إيدروكسيد المعدن فإن الخطوة الثانية هى ترويب الأجسام العالقة إلى أجسام أكبر وأثقل لإمكات ترسيبها. وطبيعى فإن زغبات الإيدروكسيد تميل إلى الإلتصاق مع بعضها البعض ولكن ليس بالدرجة الكافية التى تسمح بإزالة كل الأجسام العالقة. لتحسين الترويب والترسيب وإزالة الأجسام العالقة تستخدم مادة الترويب من البولى إيكتروليت. وبعد ترسيب الأجسام الصلبة يتم صرف المياه الرائقة فى حالة الرقم الهيدروجينى الغير مرتفع. يتم جمع الحماة لسحب المياه منها ثم التخلص منها.



شكل (٧/١) التركيز الكلى والتركيز المذاب فى المياه الرائقة مقابل الرقم الهيدروجينى لمياه الطلاء المعدنى الكهربى

الحالات الأولى pH = 2.5 ، Cu = 78 ملجم/لتر ، Zn = 0.53 ملجم/لتر ، Cr = 79.5 ملجم/لتر ، Ni = 96 ملجم/لتر ، Fe = 13.4 ملجم/لتر .



شكل (٧/٢) مقارنة الرقم الهيدروجيني مقابل التركيز الكلي للزنك في المياه الراشقة

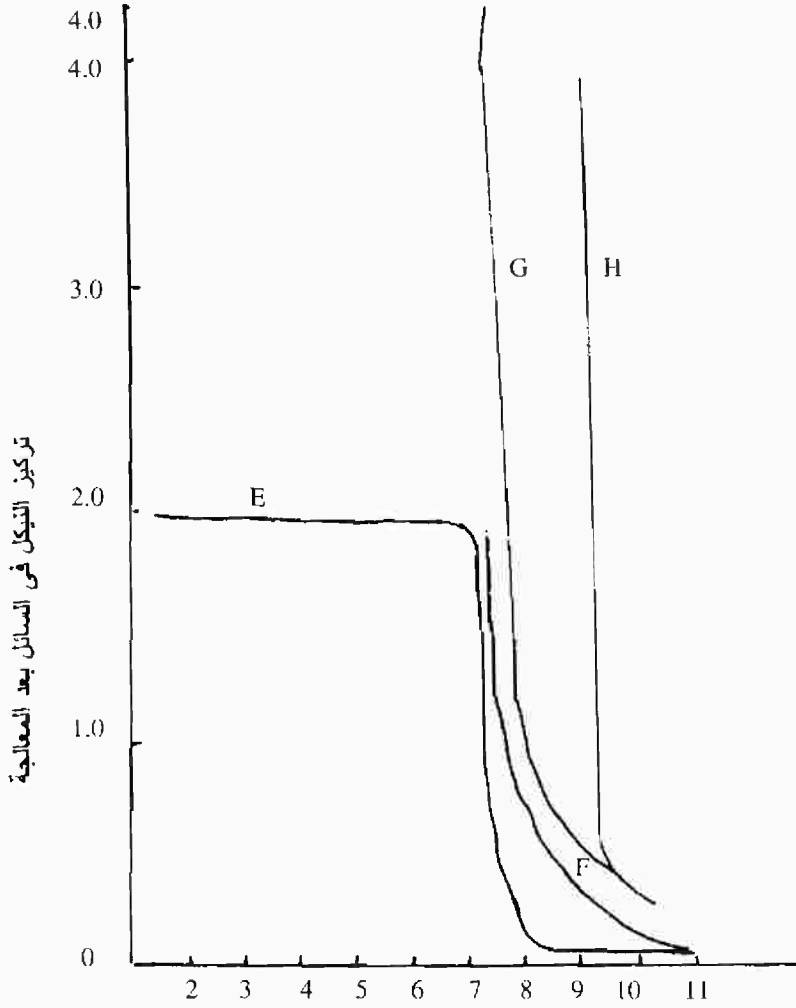
(Supernatant) لمختلف مياه الصرف

A = مياه صرف ترسيب كهربى لمياه بها Ni ، Fe ، Cu ، Cr

B = مياه صرف طلاء البورسلين بها Ni ، Fe ، Cu ، Cr

C = مياه صرف لطلاء كهربى بها PO_4 ، Ni ، Fe ، Cr ، Cd

D = مياه صرف طلاء البورسلين على المعدن بها PO_4 ، Ni ، Fe ، F



شكل (٧/٣) مقارنة الرقم الهيدروجيني مقابل التركيز الكلي للزنك في المياه بعد المعالجة لمختلف مياه الصرف

E = مياه صرف طلاء البورسلين بها Ni، Fe، Cu، Cr

F = مياه صرف طلاء البورسلين وتشطيب المعدن بها Fe، Ni، Po₄

G = مياه صرف تخليل المعدن بها Cu، Fe، Zn، Cr

H = مياه صرف تشطيب معدن بها Cr، Fe، Ni، Zn، Po₄

خطوات الإعداد للتصميم: Approach To Design

يلزم أولاً البدء فى تجميع البيانات للتعرف على طبيعة ودرجة المشكلة وزيادة التعرف على الطرق المناسبة لحل المشكلة. كما يلزم أن يتألف المهندس المصمم مع العملية الصناعية المنتجة لمياه الصرف وكذلك على المخطط العام للمصنع. ولمعرفة طبيعة ودرجة المشكلة يتم جمع عينات من مياه الصرف وقياس التدفقات على ثلاث مستويات. التدفقات المستمرة وغير المستمرة والتدفقات الطارئة (كما فى حالة العمليات المرحلية أو الغسيل). والتصرف فى نهاية الماسورة النهائية (كل مياه الصرف من المصنع)، وكذلك الأحواض المنفردة التى يتم صرفها أحياناً. يتم إختيار العينات بالنسبة للملوثات التى يمكن أن تتداخل فى عمليات الترسيب (مثل الزيوت والشحوم ومواد النشاط السطحى) وكذلك بالنسبة للملوثات التى وضعت لها حدود. بعد التعرف على الملوثات يتم إعداد الدراسات اللازمة لتحقيق أقصى معالجة لمياه الصرف والحماة والقواعد التصميمية لتحديد الطرق التبادلية والأحجام والمساحات حيث المشاكل التى تتطلب معاملة خاصة (مثل التدفقات المرحلية). يلى ذلك مقارنة هذه البدائل على أساس التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل والصيانة والعمر الافتراضى للمشروع والمساحات اللازمة ومدى الاعتماد عليه.

تعتبر المعايضة والتفهم لمختلف العمليات الصناعية فى المنشأة الصناعية أساسى عند تصميم برنامج أخذ العينات وخطة التحاليل. فمثلاً فى حالة إعداد أسطح المعادن بالمعالجة الكيميائية (Pickling) للتشطيب فإن البيانات الضرورية تشمل تسلسل العملية، حجم الأحواض، معدل تدفق المياه المستخدمة فى الغسيل. وكذلك التغذية بالكيماويات للأحواض ذات التركيز العالى، درجة الحرارة، وساعات التشغيل. كما أنه من المفيد معرفة المساحة السطحية وأوزان المواد الداخلة فى التصنيع وخاصة على ضوء الضوابط اللازمة لمقارنة أحمال الصرف بالنسبة

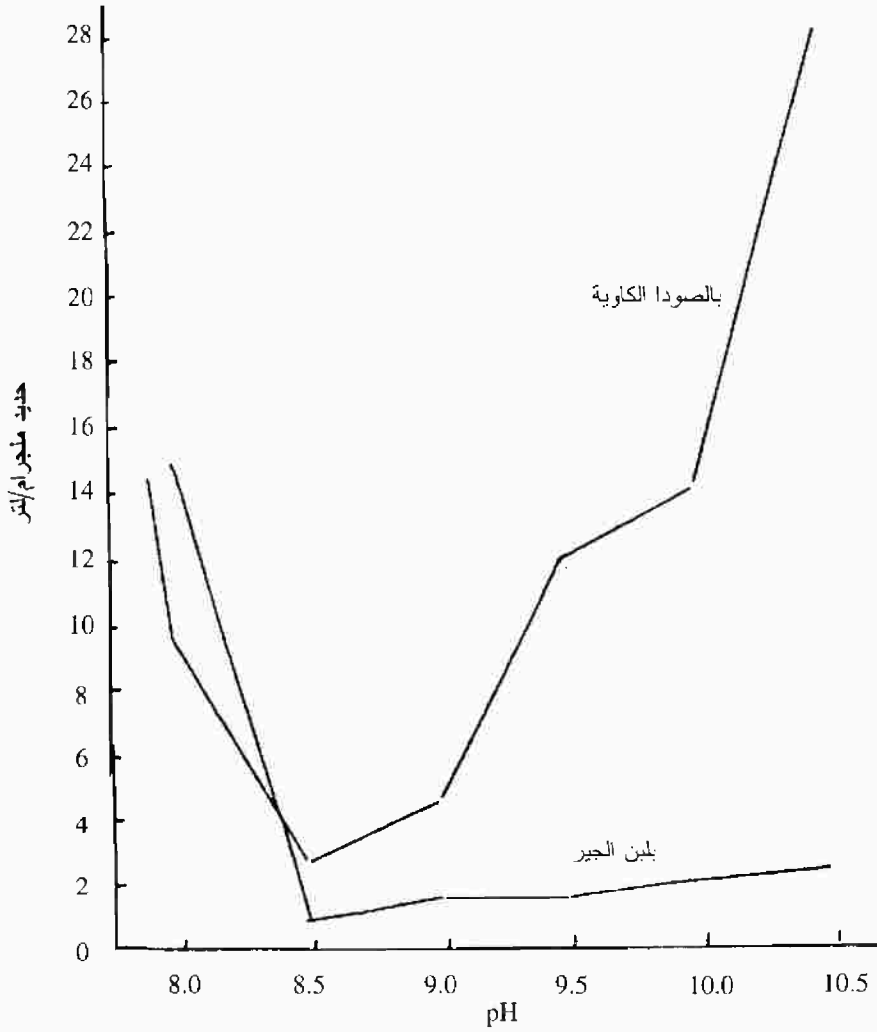
للمنتج النهائي. وهذه البيانات ستساعد في تحديد الأحجام اللازمة لإمكانات المعالجة وتقييم إمكانيات التقليل من استعمالات المياه وتحديد مصادر معينة أو المواد المتداخلة واختيار مادة الصنع للإنشاءات. بعد التعرف على مصادر مياه الصرف الصناعي يبدأ عمل برنامج أخذ العينات. للحصول على عينات ممثلة للواقع يلزم إستمرار أخذ العينات مرتين أو ثلاث مرات من دورة التشغيل في حالة المصانع حيث نظام الإنتاج ثابت كل يوم. أما في حالة المصانع الأخرى فإنه يتم تصميم برنامج أخذ العينات طبقاً لبرنامج الإنتاج.

تبنى الدراسة الخاصة بالمعالجة على أساس نتائج التحاليل وتحديد التدفقات. وعادة فإنه طبقاً للمخطط العام للمصنع ووصلات المواسير القديمة والطريقة العملية التي تؤخذ بها العينات فإنه يلزم خلط العينات طبقاً لنسب التدفق لتصبح عينة مركبة وذلك لمحاكاة مياه الصرف في ماسورة الصرف النهائي. وكذلك إذا كان الحد من استخدام المياه وارد ويمكن تقديره فإنه يلزم توفير عينات مركبة (Composite) وخلطها لمحاكاة مدى تأثير هذا التصرف على مخطط المعالجة. تقليل كمية المياه يزيد من تركيز المعادن بما ينتج عنه زيادة الرواسب لكل وحدة حجم من المياه. وكلما زادت المواد الصلبة العالقة كلما زادت القدرة على الترسيب بما يزيد من قدرة الترسيب وإزالة المعادن. توجد ميزتين لنقص المياه المستخدمة وهما خفض الإستهلاك الشهري من المياه المهدرة وصغر حجم أحواض المعالجة بما يقلل من التكاليف الكلية.

بعد تحديد خليط العينات المختلطة التي تحاكي المياه الداخلة إلى محطة المعالجة، يتم قياس التركيز الأولي للمعادن والرقم الهيدروجيني. وقد يتم عمل سلسلة من التجارب للتغير في الترسيب مع الرقم الهيدروجيني. بعد ركود المياه المرسبة يتم قياس تركيز المعدن في المياه الراكدة والرقم الهيدروجيني الذي عنده أقل تركيز للمعادن أو أن يكون تركيز المعادن في حدود المعايير المقرره، عندئذ

يتم إختيار هذا الرقم الهيدروجيني كأفضل رقم هيدروجيني للتفاعل. هذه التجارب تتم عادة باستخدام لبن الجير أو الصودا الكاوية أو بعض المواد القلوية الأخرى، حيث يمكن تفضيل أى منها عن الآخر طبقاً للظروف. من وجهة نظر الصيانة يفضل استخدام إيدروكسيد الصوديوم لسهولة إضافته. أما لبن الجير فإن أداءه أفضل وذلك فى حالة التركيز المنخفض للمعدن حيث أنه يكون بأحجام كبيرة فى المحلول بما يساعد على الترسيب شكل (٧/٤). لبن الجير يزيل التركيزات العالية من أيون الكبريتات بترسيب كبريتات الكالسيوم، وهو رخيص التكاليف ولكنه منتج لكميات كبيرة من الحمأة، يلزم التحضير للجير المطفى فى شكل الروبة (Slurry) وضخه لأنه يرسب ويعيق التدفق فى المواسير. عند إضافة هذه الكيماويات إلى مياه الصرف يلزم ملاحظة الحجم اللازم للوصول إلى الرقم الهيدروجيني المطلوب. هذه البيانات ضرورية عند تقدير طاقة بعض البيانات مثل طاقة الطلمبات وإمكانات تخزين الكيماويات وتقدير تكاليف التشغيل.

قد تكون إضافة البوليمر غير ضرورية وذلك فى حالة سرعة ترسيب المواد الصلبة بضبط الرقم الهيدروجيني مع ترك مياه رائقة. عادة تكون الخطوة التالية فى دراسة المعالجة هى إختيار التقنية (Jar Testing) وذلك لإختيار أفضل البلمرات وأفضل جرعة. فى هذه التجربة يتم وضع عدة قنينات أو كؤوس محتوية على عينات من مياه الصرف التى تم ضبط رقمها الهيدروجيني والتى توضع أسفل عدة خلاطات ويوضع فى كل قنينة وفى وقت واحد إما جرعات متساوية من بلمرات مختلفة أو جرعات مختلفة من بوليمر واحد شكل (٤/ملحق أ). بعد خلط العينة لفترة زمنية محددة فإنه يمكن مقارنة كفاءة البوليمر أو الجرعة بالنظر. يمكن مقارنة العينات ذات المياه الرائقة الأكثر نظافة بالتحاليل. الكفاءة المطلوبة لخاصية البوليمر هى لإنتاج زغبات (Flocs) ثابتة وذات سرعة ترسيب عالية مع إنتاج مياه ذات محتوى قليل جداً من الجسيمات التى تظل عالقة. سرعة تشغيل الخلاط قد تختلف لتحديد



شكل (٧/٤) مقارنة تأثير لبن الجير مقابل الصودا الكاوية في إزالة الحديد من مياه الصرف
المنتجة من غسل الحديد بالفوسفات، تخليل الصلب، طلاء البورسلين.
يوضح المخطط أن هناك اختلافات

الطاقة المناسبة المطلوبة. بعد تحديد أفضل المروبات والجرعة المناسبة يتم البدء في عمل إختبار الترسيب (Settling Test). أو لا يتم وضع الماء الذي تم ضبط رقمه الهيدروجيني في مخبر مدرج أو في حوض مصمم لإختبارات الترسيب. يتم وضع البوليمر عند الجرعة المحددة ثم الخلط. بمجرد توقف الخلط يتم تسجيل إرتفاع الحمأة مع الوقت حتى يصل معدل الترسيب إلى الصفر. يتم رسم هذه النتائج على منحنى للحصول على خصائص منحنى الترسيب، حيث يستفاد بهذا المنحنى في تعيين معدل التدفق أو التحميل السطحي في عملية الترسيب. إيدروكسيدات الأملاح التي تتروب مع البوليمر الجيد بالجرعة المناسبة ترسب عادة بسرعة عالية، ولكن نظراً للتغيرات التي تحدث في المصنع فإنه يتم مراعاة عامل الأمان بالنسبة لحساب معدل التدفق. يستخدم معدل التدفق لحساب المساحة السطحية المؤثرة لعملية الترسيب. في حالة الزغبات الكبيرة والتي ترسب فوراً فإن معدل التدفق (التحميل السطحي) يمكن أن يكون مرتفع حتى ٦٠ متر مكعب / المتر المربع / اليوم ولكن التصميم يجب ألا يزيد عن ٤٠ متر مكعب / المتر المربع / اليوم وعادة تتراوح قيمة التحميل السطحي ما بين ١٠ - ٣٠ متر مكعب / المتر المربع / اليوم.

الخطوة الأخيرة في دراسة المعالجة هي تقييم إزالة المياه من الحمأة المرسبة (Sludge Dewatering Capacity). معظم حمأة الأيدروكسيد بعد الترسيب يكون محتواها من الماء من ٩٦-٩٩% كما يمكن سحب المياه لتصل إلى ٦٥-٨٥%. حالياً الطرق المستخدمة لسحب المياه من الحمأة هي طبقات التجفيف الرملية، الترشيح بالتفريغ، أو الترشيح بالضغط. يتوقف استخدام طبقات الرمل للتجفيف على المناخ ولكن يمكن محاكاة هذه الطريقة في المعمل وذلك بعمل عامود من الرمل ثم وضع الحمأة على السطح ثم تقييم كمية الترشيح ونوعيته ثم أخيراً كمية الرطوبة في الحمأة.

إستخدامات سحب المياه (الترشيح) بالتفريغ أو بالضغط يمكن تصميمها من ناتج إختبارات المقاومة النوعية وورقة الترشيح على المستوى المعمل.

إختبار المقاومة النوعية يستخدم لتعيين إمكانية الترشيح (سحب المياه) للحمأة. يتم عادة إعداد الحمأة بمركب كيماوى مثل الجير (Lime) أو البوليمر أو كلوريد الحديدك قبل الترشيح. هذا الإختبار يفيد فى تحديد ما هى الكيماويات المستخدمة وكذلك الجرعة المناسبة لسحب المياه من حمأة معينة وأقصى جرعة تحقق أدنى قيمة للمقاومة النوعية. طريقة الإختبار هى بوضع عينة حمأة معالجة أو غير معالجة فى جهاز قمع بوخنر (Buchner Funnel) تحت التفريغ مع القياس لكمية المياه المرشحة مع الوقت. يتم كذلك تعيين كمية المحتوى من الرطوبة الأولية والنهائية بالنسبة للحمأة. يتم عمل منحني لكل من المياه المرشحة (Filterate) مقابل الوقت مقسوماً على الحجم، وهذا المنحنى (b) يتم حسابه خلال أفضل خط ملائم خلال النقط. قيمة المقاومة النوعية (R) بالسنتيمترات على الجرام يتم حسابها بالمعادلة:

$$R = \frac{2 b P A^2}{M C}$$

حيث:

b = منحني المياه المرشحة : ثانية / سم^٦.

P = التفريغ المستخدم كيلو نيوتن / م^٢ (Kn/m²)

A = المساحة متر مربع

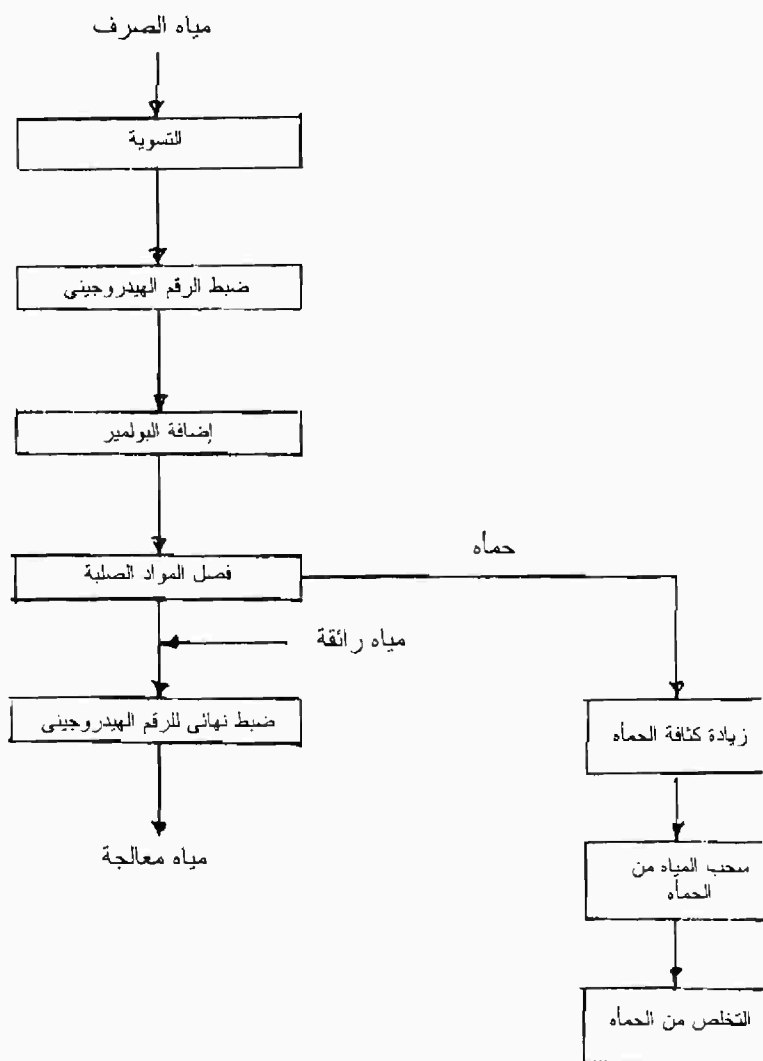
M = لزوجة المياه المرشحة نيوتن. ثانية / متر مربع (N.s / m²)

C = المواد الصلبة المرسبه لكل حجم من المياه المرشحة جرام / سم^٣.

بعد تحديد ما إذا كان عامل المعالجة (Conditioning Agent) مفيد أم لا ضرورة له، يمكن عمل إختبارات ورقة الترشيح. وهذه الاختبارات سوف تحدد نوع نسيج الترشيح الذى يمكن استخدامه وحجم الترشيح بالتفريغ أو الترشيح بالضغط وكمية الرطوبة فى قشور الحمأة (Cake)، كمية المياه المرشحة، ومتغيرات أخرى فى الاختبار قد تشمل الوسط الترشيحي وزمن الدورة. نتائج جمع البيانات تحدد العمليات الضرورية وأحجامها فى وحدة المعالجة الأخيرة.

المخطط العام لترويب وترسيب إيدروكسيد المعدن بالنسبة لوحدة المعالجة للمياه فى الماسورة النهائية للمنشأة الصناعية شكل (٧/٥). توجد تصميمات متعددة ومحددة وتتناسب مع هذا الإطار العام. تعتبر التسوية ضرورية لضبط التغيرات فى معدل التدفق والرقم الهيدروجيني والتركيز. تتم عملية ضبط الرقم الهيدروجيني فى حوض خلط حيث زمن المكث ١٠-١٥ دقيقة. وهذا الحوض يمكن أن يجهز بجهاز قياس الرقم الهيدروجيني لضبط الكمية المستخدمة من الصودا أو الجير. أما خطوة إضافة البوليمر فيمكن أن تتم كذلك فى حوض خلط زمن مكث ١٠-١٥ دقيقة وكذلك يمكن أن يضاف البوليمر فى الخط (In Line) لعملية فصل المواد الصلبة حيث يتوقف ذلك على طريقة الفصل التى تم إختيارها.

الماء الرائق بعد فصل المواد الصلبة قد يتطلب ضبط نهائى للرقم الهيدروجيني قبل الصرف على شبكات الصرف وذلك فى حالة زيادة الرقم الهيدروجيني عن المعايير المقررة للصرف. الحمأة الناتجة يتم جمعها لسحب المياه، كما يمكن نقلها مباشرة إلى أحواض التجفيف الرملى حيث يتم بعد ذلك جمعها والتخلص منها. الحمأة الجافة تستخدم فى عمليات السردم مع مراعاة أنها تشكل خطورة على الصحة العامة.



شكل (٧/٥) المخطط العام لترويب وترسيب المعدن

بدائل عمليات فصل المواد الصلبة Solid Separation Process Options

توجد طرق كثيرة لفصل المواد الصلبة من المياه نتيجة الترويب والترسيب الأكثر شيوعاً في الاستخدام هي معالجة إيدروكسيد المعدن التى سبق شرحها والشكل (٧/٦) توضيح تخطيطى لبعض الأمثلة وهذه تشمل:

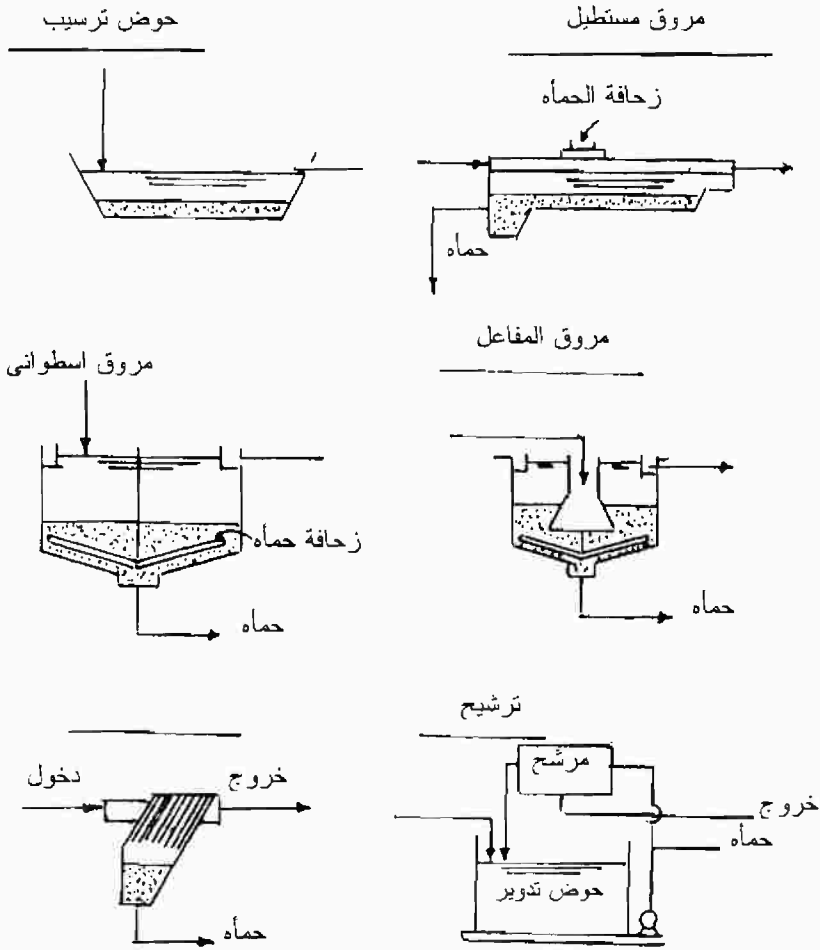
١ - حوض أو بركة الترسيب: (Sedimentation Pond or Lagoon)

وهو عبارة عن حوض مستطيل في الأرض الترابية وقاعدته من الخرسانة ويتحدد حجمه بأحد طريقتين:

أحدهما أن يتم التصميم على أساس معدل التدفق السطحي الذي يمكن حسابه من دراسات المعالجة لإعطاء المساحة السطحية المطلوبة، والطول اللازم للحوض لتأكيد أن أصغر الجسيمات من خاصية هذه المياه لديها المسافة الكافية لترسب. ومع رسوب الحمأة في قاع الحوض فإن كفاءة النظام تقل بما يتطلب إزالة الحمأة المتركمة.

والطريقة الثانية هي أنه يمكن تصميم الحوض على أساس تراكومات الحمأة فمثلاً يمكن أن يصمم الحوض بأكثر من بطارية حيث عندما تكون أحد البطاريات في النظافة تكون الأخرى في الاستخدام.

سلبيات أحواض أو برك الترسيب هي طبيعة الحمأة المحبة للمياه (Hydrophilic) حيث لا تفقد المياه بسهولة مع الوقت، وهذا بالإضافة إلى ميل الجسيمات الصلبة إلى الالتحام معاً، كما أن أحواض أو برك الترسيب الترابية تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأرض.



شكل (٧/٦) أمثلة لعمليات فصل المواد الصلبة

المروقات التقليدية:

تم استخدام المروقات التقليدية للتغلب على المشاكل المتعلقة ببرك الترسيب. المروق يمكن أن يكون مستطيل أو مستدير وله قاع محدب مخروطي. يكون المروق مجهز بكاسحة دوارة يتم تشغيلها بمصدر طاقة. تعمل الكاسحة بتجميع الحمأة المترسبة إلى أدنى نقطة في القاع للصرف. يمكن أن يجهز المروق المستطيل أو حوض الترسيب بتجهيزات متحركة لجمع الحمأة والتي تقوم بكشط الحمأة إلى قادوس جمع الحمأة. يتوقف حجم الحوض على أساس تصميم معدل التدفق السطحي لتحديد المساحة السطحية المؤثرة. تنقل الحمأة من أن إلى آخر إلى حوض أو بركة حيث تسحب المياه أو تزداد كثافة الحمأة مع مرور الوقت. في حالة الحاجة إلى ترشيح الحمأة أو السحب الميكانيكي للمياه يسمى هذه الحوض بمكثف الحمأة (Sludge Thickner). وهو يشبه المروق ولكن حجمه طبقاً لزمان المكث قبل مرحلة سحب المياه.

المروق ذو التلامس للمواد الصلبة: (Solids Contact Clarfier)

هذا المروق يشبه المروق التقليدي ولكن مع إضافة قمع مقلوب في الوسط وقريب من السطح. المياه التي تم ضبط رقمها الهيدروجيني مع البوليمر تدخل إلى المروق من خلال قمة القمع، حيث تتكون الزغبات داخل القمع وتبدأ في الترسيب. وبدلاً من استمرار سحب الحمأة فإنها تتراكم في مستوى فوق الطرف السفلي للقمع حيث تتكون طبقة كثيفة من الحمأة تسمى (Sludge Blanket) وهذه الطبقة الكثيفة من الحمأة تعمل كنواه لتكوين الزغبات وكذلك كمرشح للزغبات صغيرة الحجم. تتدفق المياه الراكدة خلال الطبقة الكثيفة للحمأة ثم إلى أعلا من خلال هدار حول قمة المروق.

الترسيب بالألواح المائلة: (Tilted Plates Settler)

وحدة الترسيب بالألواح المائلة عبارة عن وحدة عميقة مستطيلة مجهزة بعدة ألواح متوازية مائلة بزاوية (عادة من ٤٥°-٥٥°) وبفاصل من ٢٥-٥٠ ملمتر (١ أو ٢ بوصة) بين كل لوح والآخر. النظام العادي المتبع هو مرسب لامبلا (Lamella Settler). المياه التي تم ضبط رقمها الهيدروجيني وأضيف لها البوليمر تتدفق لأعلى خلال الألواح المائلة مع رسوب جسيمات الزغبات على الألواح والتي تنزلق إلى مكان جمع الحمأة في وحدة الترسيب. فائدة وحدة الترسيب هذه هي أن الزغبات لديها مسافة قصيرة حيث ترسب وذلك نظراً لتوفير مساحة سطحية كبيرة بواسطة الألواح المتقاربة المائلة. الحجم الكلي للوحدة صغير جداً مقارنة بالمرووق التقليدي بنفس الكفاءة، هذا بالإضافة إلى أن هذه الوحدة يمكن تصنيعها في أي مكان ثم تنقل لتركيبها في موقع الإنشاء. وهذه الألواح المائلة يمكن كذلك إنشائها في المروقات التقليدية لزيادة المساحة السطحية الكلية. وقد تحدث مشاكل في التشغيل في حالة التراكم الزائدة للحمأة عن القدر المخصص لها بما يجعل من الصعب إزالتها وهذه المشكلة يمكن أن تتعقد في زيادة إضافة البوليمر.

نظم الترشيح:

صممت نظم الترشيح كبديل لمرحلة الترسيب. فمثلاً بمجرد تكون الزغبات فإنه يمكن ترشيح الزغبات من مياه الصرف بواسطة المرشح الذي يعمل بالضغط والذي يسمى (Filter Press) حيث عادة تستخدم المواد الحجرية والتي تسمى (Diatomaceous Earth) لإنتاج مياه مرشحة وقالب من الحمأة. هناك وحدة أخرى مستخدمة عادة والتي تتكون من طبقات الترشيح الغير ملاصقة (Filter Module) لحوض التخزين. حيث تتراكم الحمأة في طبقات المرشح ويتم تدويرها إلى حوض

التخزين. وإذا كانت المياه المرشحة رائقة يمكن صرف الحمأة وإلا يعاد تدويرها للعملية.

اعتبارات التشغيل:

- إنه من الضروري المراجعة لنظم ضبط الرقم الهيدروجيني، نظافة عامود القياس للرقم الهيدروجيني ومعايرته من آن إلى آخر ذلك لأن ترسيب الأيدروكسيد يتوقف على الرقم الهيدروجيني.
- يلزم عمل إختبار القنينة (Jar Test) من آن لآخر وذلك لتعظيم أداء جرعة البوليمر وتأثيرها وخاصة في حالات عدم وجود حوض للتسوية.
- إن عملية ترويب / ترسيب الأيدروكسيد مستهلكة للوقت، حيث تتطلب عملية سحب المياه من الحمأة وقت كبير سواء بتنظيف المرشحات أو إزالة قوالب الحمأة الجافة من طبقات الرمل، المحافظة على حركة الحمأة فى المواسير، تحضير المحاليل الكيميائية، صيانة الطلمبات والمحابس والخلاطات، وكاسحات الحمأة واستمرار كفاءة الأداء لنظم التحكم وإجراء التحاليل الكيماوية لتقييم كفاءة الوحدة.

التحول الكيماوى: (Chemical Conversion)

يوجد نوعين فقط من التحول الكيماوى المطلوب وذلك قبل القيام بعملية ترسيب الأيدروكسيد وهما إختزال الكروم السداسى وتدمير السيانيد. (Hexavalent Chromium Reduction' Cyanide Distruction) أفضل تنفيذ لهذه التحولات هي وحدات المعالجة المنفصلة وذلك ليتمكن معالجة حجم صغير من مياه الصرف بدلا من معالجة كل المياه. نظراً لأهمية التحويل لكل من الكروم السداسى التكافؤ والسيانيد فإن كثيراً من المنشآت الصناعية تتجنب إستخدامهم وذلك فى حالة إمكان إستخدام البدائل.

إختزال الكروم السداسى:

يستخدم الكروم السداسى فى بعض الصناعات رغم أن الكروم ثلاثى التكافؤ يكون ايدروكسيد الكروم $[Cr(OH)_3]$ الذى يرسب إلا أن الكروم السداسى لا يرسب كإيدروكسيد مع إضافة القلوى. يمكن تحويل الكروم سداسى التكافؤ إلى الثلاثى التكافؤ بالاختزال الكيميائى. يحدث تفاعل الإختزال بسرعة عند رقم هيدروجينى ٢ بإضافة ثانى اكسيد الكبريت أو بايسلفيت الصوديوم $(Na_2 H SO_3)$ أو سلفيت الصوديوم $(Na_2 SO_3)$. ويمكن التحكم فى عملية الاختزال وإكمالها بواسطة جهاز قياس جهد الأكسدة والاختزال (Redox Potential) حيث تتغير قراءة هذا الجهد تبعاً لخصائص مياه الصرف الصناعى. وكذلك يمكن معرفة التغير أو الاختزال بالتغير فى اللون من الأصفر إلى الأزرق. وعند هذا الحد يمكن إضافة القلوى لترسيب الكروم الثلاثى وكذلك يمكن إضافة مياه الصرف إلى مياه صرف أخرى لترسيب الأيدروكسيد.

تدمير السيانيد:

يعتبر تدمير السيانيد هام (CN^-) فى إزالة المعادن وذلك نظراً لأن السيانيد يكون مركبات معقدة (Complexes) مع المعادن بما لا يمكن من ترسيب هذه المعادن كإيدروكسيدات. ولكن مع كسر الرباط ما بين المعدن والسيانيد فإن المعدن يتحرر ليرسب فى ظل الرقم الهيدروجينى المناسب. يعتبر تدمير السيانيد هام كذلك فى المعالجة المسبقة حيث الجرعات العالية المفاجئة من السيانيد فى محطات المعالجة البيولوجية يمكن أن تدمر الكائنات الدقيقة النشطة أو أن تمر من خلال محطة المعالجة إلى مجرى الصرف. التركيزات القليلة من السيانيد (سواء كان حر أو فى شكل معقد من أيونات السيانيد) قد يتم تدميرها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة فى

محطة المعالجة والتي تكون قد تأقلمت عليها. عملية تدمير السيانيد تتم على مرحلتين.

المرحلة الأولى تشمل تحويل السيانيد إلى السيانيت ($C N O$) بواسطة هيبوكلوريت الصوديوم ($Na O Cl$) عند رقم هيدروجيني ١٠ أو أكثر. ومع خفض الرقم الهيدروجيني إلى ٨,٥ يتحول السيانيت إلى ثنائي أكسيد الكربون والنيتروجين. وهذه المرحلة تحتاج إلى حوالي ٣٠ دقيقة ونقطة النهاية للتفاعل يمكن التحكم فيها بواسطة مقياس جهد الأكسدة والاختزال أو بتغيير اللون من الأخضر إلى الأزرق.

المرحلة الثانية تحتاج إلى ١٠ دقائق ولأغراض التصميم فإن كمية الكيماويات اللازمة يلزم تحديدها بالتجارب العملية. في التنفيذ يمكن التحكم في التفاعل باستخدام جهاز قياس جهد الأكسدة والاختزال وجهاز قياس الرقم الهيدروجيني. المياه الناتجة يمكن إضافتها لمياه صرف أخرى لترسيب المعادن. في حالة استخدام السيانيد بكميات كبيرة في العملية الصناعية فإنه يفضل استخدام نظام التبخير والاسترجاع بهدف إعادة الاستخدام لبعض السيانيد أو لتركيز الصرف المحتوي على سيانيد بما يقلل من حجم إمكانيات تدمير السيانيد وبالتالي خفض التكاليف.

٤- إعتبارات تصميمية أخرى:

توجد طرق أخرى متعددة لإزالة المعادن الثقيلة وسيتم مناقشة بعض منها كما أن بعضها يمكن استخدامه في معالجة المياه في ماسورة النهاية لمياه الصرف. ولكن من الناحية الاقتصادية تكون مناسبة في معالجات التشطيب (Polishing Treatment) مثل حالات الترسيب بالكربونات أو السلفيد (كبريتيد) أو كتنقيتات التحول مثل التبادل الأيوني أو التناضح العكسي وطرق أخرى.

التبادل الأيوني: (Ion Exchange)

عملية التبادل الأيوني تتكون من تبادل الأيونات المرغوب فيها من الراتنج بالأيونات غير المرغوب فيها والمذابة فى الماء والتي تحمل شحنة هيدروستاتيكية مشابهة. الراتنج (Resin) له تركيب متشابك من أجسام التي تتمز أيونات ذات شحنة خاصة. راتنج الكاتايون فى حالة عدم الاستخدام به كاتأيونات مثل الهيدروجين (H^+) المرتبطة بحبيبات الراتنج. مع التصاق مياه الصرف المحتوية على المعدن بالراتنج فإنه يحدث تبادل بالإدمصاص ما بين أيونات المعدن وأيونات الهيدروجين (H^+). عندئذ يوجد فى الراتنج أيون المعدن وفى مياه الصرف أيون الهيدروجين. وأخيراً فإن كل حبيبات الراتنج يكون ملتصق بها أيونات المعادن الثقيلة. عندئذ فإن كاتأيونات الراتنج يلزم تنشيطها بمحلول حامضى لإزالة أيونات المعادن الثقيلة وإعادة نشاط الراتنج بأيون الهيدروجين. المحلول المحتوى على المعدن يتطلب عندئذ المعالجة مثل الترسيب بالإيدروكسيد لإزالة المعدن.

وبالمثل يوجد كذلك تبادل أن أيوني لتبادل أيونات الكبريتات، الكلوريدات، الكرومات، السيانيد ببعض الآن أيونات المطلوبة مثل أيون الإيدروكسيد (OH^-). توجد أنواع مختلفة من الراتنجات لكل منها الاستخدام المناسب لأيونات معينة.

فى معالجة مياه الصرف يكون الراتنج موجود عادة فى عامود حيث تمر مياه الصرف خلال هذا العامود (Column) تحت ضغط. ولذلك فإن الجهاز الذى يتكون من أربعة أعمدة منهم عامودين بهم الراتنج الكاتايونى والعامودين الآخرين بهم الراتنج الآن أيونى حيث تتم العملية بالتتالى أو بالتوازي. العمل بالتوازي أكثر سهولة حيث الراتنج فى العامود الأول من أعمدة الكاتايون بعد أن يستهلك (يحدد بمقياس التوصيل الكهربى للسائل الخارج) يتم توجيه التدفقات من مياه الصرف إلى العامود الثانى بينما العامود الذى إستعمل يتم تنشيطه. أما فى حالة العمليات بالتتالى

حيث تتدفق مياه الصرف خلال العمودين عادة مع إعتبار العامود كشرطي حتى لا يحدث تسرب عند حدوث إستهلاك للعامود الأول (Exhausted). عندئذ توجه المياه الداخلة إلى العامود الثانى والعامود الأول يتم تنشيطه ثم يوضع بعد ذلك فى الخدمة كالعامود الثانى. هذا النظام يتطلب مراقبة جيدة ولكن إستخدام أقل للكيمياويات اللازمة لتنشيط الراتنج.

تنشيط أعمدة التبادل الأيونى:

يتم تنشيط الأعمدة فى تسع خطوات:

أولا يتم تصريف مياه الصرف من العامود، ثم يتم تقليب الراتنج بالهواء المضغوط إلى ذلك الغسيل بمياه الشرب ثم صرفها. بعد التهوية للتخلص من الهواء المضغوط يبدأ التنشيط. ينشط الراتنج الكاتأيونى بحامض بتركيز من ٨-١٠% بالحجم والراتنج الآن أيونى ينشط بالصودا الكاوية بتركيز ٤% بالحجم. يتم تصريف الكيماويات ويضاف ماء الشرب ويستمر الغسيل حتى الوصول إلى رقم هيدروجينى ٣-٤ للمياه الخارجة من عامود الكاتأيون وإلى رقم هيدروجينى ١٠-١١ للمياه الخارجة من عامود الآن أيون. العامود عندئذ يكون جاهز للاستخدام. كل المياه والكيماويات التى إستخدمت فى عملية التنشيط يلزم معالجتها لإزالة المعادن.

استخدامات التبادل الأيونى:

عملية التبادل الأيونى تزيل المعادن بدرجة مؤثرة ولكن نظراً للتكاليف الأولية لهذا النظام المتطور وكذلك تكاليف الصيانة والتشغيل والكيماويات اللازمة للتنشيط فإن التبادل الأيونى أكثر قبولا للتنشيط فى حالات معينة عن الأخرى. وللمحافظة على عمر الراتنج ولتقليل عدد مرات التنشيط وبالتالي تكاليف الكيماويات فإن نظام التبادل الأيونى يلزم أن يصمم بما يتطلب التنشيط ما لايزيد عن مرة واحدة فى اليوم ويفضل مرة واحدة كل أسبوع. إذا كانت مياه الصرف الصناعى الداخلة إلى

العامود مركزة عندئذ فإن خفض معدل التدفق سوق يقلل من التكاليف الأولية للجهاز مع إتران هذين الاعتبارين فإن خفض كلا من الحمل الكيماوى والحمل الهيدروليكى هو المفتاح إلى نظام تبادل أيونى إقتصادى وناجح. وهذه القاعدة هى التى تحدد جدوى استخدام هذه الطريقة.

وقد استخدم التبادل الأيونى فى معالجة مياه الصرف الصناعى لعملية تشطيب نهائى وتلميع بعد المعالجة بالترويب والترسيب بالإيدروكسيد وذلك فى حالات المعايير الحاسمة والمشددة لمياه الصرف المعالجة. أما فى حالة معالجة المياه الكلية الخارجة من الماسورة النهائية للمصنع فليس هذا عملياً حيث أن العامود يلزم أن يصمم بالنسبة للتدفق الكلى للمصنع رغم أن الحمل الكيماوى يكون منخفض جداً.

نظراً لأن المياه المعالجة بالتبادل الأيونى عادة تكون ذات نوعية أفضل من مياه الشرب فإن العملية قد تستخدم لتوفير مياه الغسيل لبعض المنتجات فى المنشآت الصناعية. المواءمة ما بين الأحمال الكيماوية والهيدروليكية على جهاز التبادل الأيونى يمكن تحقيقها أحياناً بمعالجة مياه الغسيل (Rinse) فقط من العمليات الصناعية.

أكثر الراتنجات شيوعاً فى الاستخدام لهذه التطبيقات هو راتنج الكاتايون شديد الحموضة وراتنج الآن أيون ضعيف القلوية وشديد القلوية (لإزالة أيونات السيانيد والفلور (CN^-, F^-)). أما باقى كل مياه الصرف بالإضافة إلى مياه التنشيط للمبادل فإنها تعالج فى نظام إزالة المعادن الثقيلدى والأقل تكلفة.

يمكن استخدام التبادل الأيونى لاستعادة المواد الثمينة من مصدرها. كثير من معامل التصوير تستعيد الفضة بتمرير مياه الصرف لعمليات التحميض والطبع خلال اعمدة المبادل الأيونى ثم يتم جمع الفضة من محلول التنشيط. إستعادة معادن

ثمينة أخرى مثل الذهب والبلاتين يمكن أن تتم كذلك بالتبادل الأيوني. كما يستخدم التبادل الأيوني في إستعادة معادن أخرى مثل النحاس.

التمهيد للتصميم: (Approach To Design)

يلزم تحديد الحمل الهيدروليكي والكيميائي للمياه الداخلة إلى العמוד عند تصميم التبادل الأيوني. الحمل الهيدروليكي يحدد حجم العמוד، الحمل الكيماوى يحدد كمية الراتنج وزمن الخدمة وكمية الكيماويات اللازمة للتنشيط. نظام التبادل الأيوني والنظام التقليدى لمعالجة مياه الصرف يجب أن يقيم من ناحية التكاليف الكلية وتكاليف التشغيل والصيانة والوفر فى المساحات والوفر فى المياه ومستقبل الصناعة ومستوى مهارة العمالة.

إعتبارات التشغيل:

- عملية التبادل الأيوني هى عملية متطورة لمعالجة مياه الصرف. وهى تتطلب الحرص فى التشغيل والتفهم للعملية والقدرة على التحكم فيها. وفى حالة إرتباط عملية التدوير والتبادل الأيوني مع عملية ترسيب المعدن فإن ٢٠% من الوقت اللازم للصيانة والتشغيل يكون من نصيب عملية التبادل الأيوني، ٨٠% لعملية الترسيب.
- الأعمدة الممتلئة بالراتنج يجب أن يسبقها مرشح متعدد الوسط الترشيحي بالفحم المنشط لمنع الانسدادات فى الراتنج بالمواد العالقة والبراكم البيولوجى من المواد العضوية. مياه الغسيل العكسى من المرشح يلزم معالجتها لذلك.
- فى نظام التدوير يلزم العناية الخاصة للتنسيق بين العملية الصناعية ونظام التبادل الأيوني نظراً لإرتباطهما الوثيق. سوف يكون من الضرورى صرف المياه وإضافة مياه جديدة للتعويض.

الترسيب بالكبريتيد والكربونات Sulphide and Carbonate Precipitation

إن الحد من المعادن الثقيلة إلى التركيزات التى تطابق المعايير المقررة للصرف قد لا تتحقق بالترسيب كإيدروكسيد أو بمعنى آخر فإن تركيز المعدن عند أدنى إذابة لإيدروكسيد المعدن قد لا يكون منخفض بدرجة كافية. بعض المعادن فى نوعيات معينة من مياه الصرف قد ترسب كاملة ككبريتيد المعدن (Sulphides) أو ككربونات المعدن. هذه الأنواع من الترسيب تكون بكفاءة عالية فى حالة مياه الصرف المخففة ولذا فقد تستخدم كخطوة للتلميع (Polishing) بعد الترسيب بالإيدروكسيد. هذا بالإضافة إلى أن الكبريتيد والكربونات يمكن أن يكونا أكثر تأثيراً فى ترسيب المعادن فى المحاليل المركزة والمحتوية على عوامل تغليف (Chelating Agents) [عامل التغليف هو عبارة عن مادة كيميائية مثل الفوسفات أو السيليكات التى تمنع ترسيب المعادن التى تعمل هى على تغليفها وتقييدها]. هذا القيد أو الرباط مع عامل التغليف هو نوع من حالات الاتزان (Equilibrium)، حيث مع إزالة المعدن الموجود فى الحالة الأيونية المذابة فى المحلول بالترسيب، فإن عامل التغليف يتأين للمحافظة على هذا الإتزان. فى الترسيب بالكبريتيد والكربونات فإن أدنى نقطة إذابة أقل حساسية للرقم الهيدروجينى عن الترسيب بالإيدروكسيد.

يلزم تقييم تأثير ترسيب الكربونات أو الكبريتيد فى المعمل لمياه الصرف تحت الدراسة. وبعد ضبط الرقم الهيدروجينى المناسب لمياه الصرف يضاف الكبريتيد المذاب (كبريتيد الصوديوم Na_2S أو كبريتيد الحديدوز FeS أو كبريتيد عضوى) أو أيونات الكربونات (كربونات الصوديوم). يمكن تحديد الرقم الهيدروجينى المناسب وكمية الكيماويات باختبارات القنينة (Jar Tests). قد تكون إضافة البوليمر ضرورية لعملية الترسيب. يجب أن يتم الترسيب فى ظروف حيث تنمو حبيبات الراسب المستديرة بالحجم المناسب للترسيب أو للترشيح السريع. يتم بعد ذلك ترشيح المياه

الرائقة المنتجة بالنسبة للمعادن الثقيلة وتقارن بالنسبة لأفضل إزالة كلية. كما يجب عمل إختبارات الترسيب لتحديد حجم المروق. عادة فإن الرواسب يتم ترسيبها خلال الرمل أو خلال مرشح ورقى أو أى نوع من الترشيح. عند إستخدام كبريتيد الحديدوز FeS فإن الكروم السداسى التكافؤ يختزل إلى الثلاثى التكافؤ ويرسب كإيدروكسيد عند رقم هيدروجينى من ٨ إلى ٩ ولذلك ففى مثل هذه الظروف المحتوية على الكروم السداسى فإنه لايلزم فصلها لعمل معالجة منفصلة.

توجد سلبيات لهذه العمليات، حيث الكيماويات المستخدمة أكثر تكلفة من الصودا الكاوية أو الجير. ورغم أن المعالجة بالكبريتيد قد تزيل بعض المعادن الثقيلة بدرجة مؤثرة عن الترسيب بالكربونات أو الأيدروكسيد فإن الكبريتيد نفسه ملوث سام والذى يلزم التخلص منه. معايير تركيز الكبريتيد فى المجارى المائية هو ١ ملجرام/لتر. وفى حالة وجود حامض أو الالتصاق بحامض ينتج كبريتيد الهيدروجين وهو غاز سام له رائحة كريهة. ولهذا يمنع التخلص من حمأة الكبريتيد لهذا السبب ولذلك فإنه لا يوصى بالترسيب للكبريتيد. وإذا تطلب الأمر خطوة تالية للترسيب فإنه يلزم استخدام ترسيب الكربونات.

الإدمصاص: (Adsorbtion)

الإدمصاص هو التصاق المادة المذابة على سطح الأجسام الصلبة. وتوجد طرق إدمصاص متعددة لإزالة المعادن فى مراحل الدراسة والتطوير. وقليل منها ثبت نجاحه فى التطبيقات العملية لمعالجة مياه الصرف، وذلك رغم عمل كثير من الاختبارات العملية والتجارب النصف صناعية. وتشمل التقنيات هذه الآتى بطريقة مختصرة:

الإدمصاص بالكربون المنشط: Activated Carbon Adsorbtion

رغم أن الكربون المنشط إستخدام لإزالة المواد العضوية من مياه الصرف إلا أن تطبيق استخدامه فى إزالة المعادن الثقيلة حديث جداً، يتم التصاق مياه الصرف المحتوية على المعادن المذابة مع الكربون المنشط حتى يتم إستنفاد كل إمكانيات الكربون فى الإدمصاص وعندئذ يتم إستبدال الكربون بكربون جديد أو كربون منشط.

الإدمصاص بالخبث: (Peat Adsorbtion)

الخبث هو نسيج نباتى شبه متفحم يتكون نتيجة تحلل النباتات تحللاً جزئياً فى الماء ويستخدم فى الإدمصاص فى عمليات التلميع بعد الترسيب الثقليدى بالايديروكسيد والإستقرار، وخفض الرقم الهيدروجينى إلى ٦-٨. المتبقى من المعادن المذابة يمكن أن يمتز على الخبث والذى يتم التخلص منه بالردم (Land Filled) حيثما كان ذلك مناسباً وذلك مع إستنفاد إمكانية الإدمصاص. حرق الخبث يمكن أن ينتج عنه تلوث للهواء. وقد أثبتت بعض التجارب أن هذه المعالجة أكثر تأثيراً فى حالة المحاليل المحتوية على ١ ملجرام/لتر أو أقل من المعدن.

الترويق بالمادة الماصة المذابة (Solible Sorbent Clarification)

الترويق بالمادة الماصة المذابة عملية خاصة حيث تستخدم كيماويات معينة ماصة والتي تذوب عند رقم هيدروجينى منخفض ولاتذوب عند رقم هيدروجينى مرتفع. يزداد الرقم الهيدروجينى لمياه الصرف المحتوية على المادة الماصة المذابة لترسيب الايديروكسيد. وعند الرقم الهيدروجينى المرتفع فإن المعادن المذابة المتبقية تمتص على المادة الماصة الغير مذابة عندئذ، حيث يسبب ذلك ترسيبها مع الايديروكسيدات. يمكن إستعادة المادة الماصة بإضافة الحامض إلى الحمأة

(Acidifying) بما يذيب المادة الماصة عند الرقم الهيدروجيني المنخفض. وقد تسم عمل تجارب للعملية حققت إزالة للنحاس، النيكل، الزنك، الكاديوم إلى مستوى ٠,٠٢ إلى ٠,٠٥ ملجرام/لتر وللكروم ٠,١ ملجرام/لتر.

إكزانتثيت النشا الغير مذاب (Inolible Starch Xanthate)

هذه العملية مؤثره على مياه الصرف ذات تركيزات المعدن أقل من ١٠ ملجرام/لتر. يضاف إكزانتثيت النشا غير المذاب إلى مياه الصرف ويفضل عند رقم هيدروجيني ٧ حيث تستبدل أيونات الصوديوم الخاصة بها مع أيونات المعادن الثقيلة في المحلول. حبيبات معدن إكزانتثيت النشا يمكن إزالتها بعمل فصل المواد الصلبة العادية.

عمليات الأغشية: (Membrane Processes)

الترشيح الفائق (Ultra Filtration)

الترشيح الفائق هو أحد عمليات الفصل الغشائي. وهو أساسا عملية تركيز حيث يلزم لدفع السائل خلال الغشاء توفير قدر كبير من طاقة الضغط بما يعمل على حجز الجسيمات كبيرة الحجم (ذات الوزن الجزيئي من ١٠٠٠٠ إلى ٤٠٠٠٠ أو أكثر) وهذه الجسيمات كبيرة الحجم تظل مركزة في الجزء من السائل الذي لم يمر خلال الغشاء. وهذه العملية لها استخدامات هامة في تدوير مياه الصرف المحتوية على المعادن وعلى منظفات أو بويات قلوية. والنتيجة النهائية هي تقليل تركيز المعدن في مياه الصرف المنصرف.

التناضح العكسي: (Reverse Osmosis)

التناضح العكسي هو كذلك عملية غشائية ولكنها تعمل على زيادة تركيز المواد المذابة في المحاليل المخففة. كلا من حجم الأيون وشحنته يؤثر على الجزء الذي

يمر خلال الغشاء، ولذا فإنه لا تتم عملية فصل نهائية عادة. أيون الهيدروجين الصغير ذو الشحنة الواحدة يمر بسرعة خلال الغشاء الأيونات المعدنية الكبيرة التى تحمل شحنة موجبة أعلا (مثل النيكل، الزنك، النحاس، الزرنيخ، الكاديوم) لا تمر خلال الغشاء بنفس الحرية التى تمر بها الأيونات ذات الشحنة الموجبة الأقل (مثل الصوديوم والبوتاسيوم). لدفع السائل خلال الغشاء من السائل الأقل تركيز إلى الأكثر تركيز فإن ذلك يتطلب طاقة ضخ كبيرة، حيث أن الضغط المطلوب يجب أن يزيد عن الضغط الأسموزى. هذا النظام لا يستخدم عادة فى حالات الصرف الكلى. وقد استخدم فى مجال ترسيب المعادن للتحكم فى النيكل فى صرف المياه المحملة بالنيكل من مياه صرف الطلاء المعدنى. رغم أن التناضح العكسى يقلل من كمية الصرف إلا أنه يجب أن يتوفر نظام التخلص الجزئى من المياه (Blowdown) من محلول المواد المذابة فى حالة الطلاء المعدنى والتى قد تتداخل وتؤثر على الأداء الجيد للترسيب المعدنى فى حوض الطلاء المعدنى (Plating Bath). ملحق (هـ).