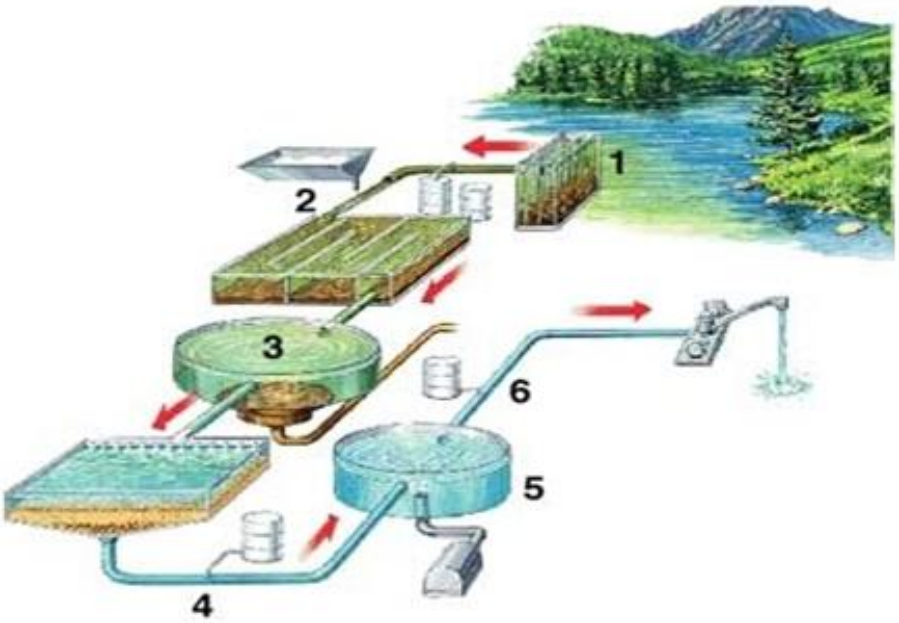
مقرر

محطات معالجة مياه الصرف الصناعي



إعداد

محمود علبي

المرجع

د. عبد الحكيم بنود

2010

Designed By : mo7ammed 3zizy

الفصل الأول

- التخطيط العلمي المتبع في ادارة مياه الصرف الصناعي:

١ -التحكم ضمن المصنع ويتحقق عن طريق :

أ - انقاص حجم مياه الصرف الناتجة

ب -اعادة استخدام المياه الناتجة

٢ -المعالجة المسبقة داخل المصنع

٣ -انشاء محطة مركزية لمعالجة مياه الصرف الصناعي في المناطق الصناعية

٤ -سوق مياه الصرف الصناعي مباشرة الى محطة المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي عندما تحقق مياه الصرف الصناعي الاشتراطات الثلاثة التالية:

١ -أن لاتضر بشبكة الصرف الصحي (لاتسبب ترسبات ولا تسبب تآكل مادة الانابيب)

٢ -أن لاتؤثر سلبا على عمل محطة المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي (لاتحوي على مواد سامة للبكتريا كالمعادن الثقيلة)

٣ -لاتسبب زيادة تحميل كبير من الملوثات على محطة المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي

- الاهداف الرئيسية من المعالجة المسبقة في الموقع لمياه الصرف الصناعي:

١ -حماية شبكات الصرف الصحي والمحافظة على الاستثمارات

٢ -حماية المجاري المائية السطحية أو الجوفية من أي تلوث

٣ -حماية محطات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي المركزية

٤ -اعادة استخدام المياه المعالجة أو تدوير المياه المعالجة

٥ -استرجاع بعض المواد المفيدة كاسترجاع الكروم من مياه صرف دباغة الجلود واسترجاع النيكل من مياه صرف الطلي الغلفاني للنيكل وغير ذلك

- تخطيط وتصميم معايير لمحطة المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعي:

١ -المخطط الاولي

٢ -مخطط الالات

أولاً:المخطط الاولى:

قبل انشاء أي مخطط اولي لتركيب محطة المعالجة المسبقة يجب عمل تحريات ودراسات حول النقاط التالية:

١ -عمليات الانتاج

٢ -نوعية ومواصفات مياه الصرف الصناعي

٣ -تصريف الحمأة

٤ -مساحة الارض المتاحة

٥ -توفر المال والخبرة في التشغيل والصيانة

٦ -امكانية اعادة استعمال او تدوير المياه المعالجة

٧ -امكانية استرجاع المكونات الفعالة

- **عمليات الانتاج:**

١ -**نوع الصناعة وحجمها :**

يؤدي معرفة نوع الصناعة وحجمها لفهم كمية ومكونات مياه الصرف حيث قد تغير الصناعات نفسها خطوات العمل حسب الفصل وبالتالي أي تغير في نمط التشغيل يجب ان يتم التحري عنه حيث ان كل من نمط التشغيل وفترة التشغيل وساعات تشغيل منشأت المعالجة المسبقة جميعها دلائل هامة يجب استعمالها عند تحديد حجم وسعة محطة المعالجة وطريقة عمل كل جهاز وحوض في محطة المعالجة المسبقة

٢ -**المواد الاولية والمواد الكيميائية :**

يجب التحري عن المواد الاولية والكيميائية لانها قد تحتوي غالبا على مواد تعيق المعالجة البيولوجية او مواد تتفاعل مع المعدن لتنتج مركب يتصف باعاقته لعملية الترويب والترسيب حيث اذا كان استعمال مثل هذه المواد الكيميائية امرا محتوما عندها يجب الانباه بشكل كبير لهذا الامر عند دراسة طريقة المعالجة

٣ -**معدل تدفق مياه الصرف:**

يجب فحص معدل مياه الصرف من المنشأة الصناعية حيث أنه من الضروري معرفة الكمية الكلية لمياه الصرف المصرفة من محطة المعالجة المسبقة الى شبكة الصرف الصحي العامة ويفضل تحديد استهلاك الماء في كل عملية صناعية عندما تكون المنشاة موجودة اصلا ويمكن تحديد استهلاك الماء من معلومات من منشأة مشابهة في حالة عدم وجود المنشأة لكونها في مرحلة التصميم

٤ -تغيرات معدل تدفق الماء ونوعها عن المستوى السطحي :

- ان فهم تغيرات معدل تدفق ماء الصرف الصناعي عن المستوى الوسطي خلال الزمن مهم جدا في تصميم محطة المعالجة المسبقة
- القياسات النموذجية التي تؤخذ بشكل عام للتغير على مر الزمن هي لتزويد حوض مجانسة وموازنة في مدخل التدفق لمحطة المعالجة لظبط هذا التغير في التدفق
- يجب ان لاتحمل مياه الصرف المركزة مباشرة الى منشأة المعالجة المسبقة حيث بدلا من ذلك يجب اما تزويد حوض لتخزين مياه الصرف المركزة لمعالجة معزولة او يجب تمديد هذه المياه المركزة بشكل مستمر وخلطها للمعالجة
- لتحديد كمية مياه الصرف المطلوب معالجتها فإنه من المهم قياس النقاط التالية خلال التشغيل العادي:

١ - معدل تدفق مياه الصرف الوسطي اليومي

٢ - معدل تدفق مياه الصرف الاعظمي اليومي والساعي

٣ - معدل تدفق مياه الصرف الاصغري اليومي والساعي

٤ - التغير الزمني والموسمي لمعدل تدفق مياه الصرف

❖ التخلص من الحمأة :

تحتوي الحمأة الناتجة عن المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعي على مواد ضارة في معظم الحالات وبالتالي من الضروري التحكم بجميع العمليات حتى التخلص النهائي وعنما يتم تعهد التخلص التخلص من الحمأة يجب إختيار متعهد خبير في التخلص من النفايات الصناعية ويجب أن يتفهم كل من المنتج ومتعهد التخلص مواصفات الحمأة ويجب أن يتم التحكم بطريقة جمعها والتخلص منها وذلك لتحقيق أسلوب التخلص الصحيص يحافظ على البيئة والصحة العامة

إعادة إستعمال مياه الصرف المعالجة أو تدويرها :

يمكن ان تساهم إعادة إستعمال مياه الصرف المعالجة أو تدويرها في إنقاص كمية مياه الصرف وحمل التلوث الزائد إلى شبكة المجاري العامة في الصناعات قد تتطلب حماية نوعية المياه الضرورية لإعادة الإستعمال أو التدوير أن يقلل من إنتاج الملوثات

إسترجاع المكونات القيمة :

يجب عمل الدراسة على إسترجاع المكونات القيمة من مياه الصرف والحمأة وبالتالي إنقاص أحمال التلوث في نفس الوقت يجب إعتماد إنقاص النفايات الصناعية وإستخدام فعال للموارد حيث ان نظام مياه الصرف الذي يحتوي مكونات يمكن أستردادها يجب تمييزه وفصله بحيث يعالج بشكل مستقل

ثانياً : مخطط الآلات:

يجب دراسة الأمور التالية عند إنشاء مخطط تقني متعلق بتركيب محطة معالجة مسبقة :

١- طريقة جمع الماء
٢- طريقة المعالجة
٣- طريقة التحكم
٤- تخطيط محطة المعالجة المسبقة

✓طريقة جمع المياه :

- بالإعماد على مسار مياه الصرف في المشأة يجب تفرق مياه صرف العمليات والتي يجب معالجتها من مياه الصرف المنزلية ومياه التبريد والتي لا تحتاج إلى معالجة بحيث تتدفق مياه الصرف التي لاتحتاج إلى معالجة مسبقة ومن الأفضل فصل مياه الصرف تبعاً لنوع الملوثات وذلك لتحقيق المعالجة الصحيحة
- **مثال:** يجب أن تقسم مياه الصرف صرف الطلي الغلفاني إلى مياه صرف محتوية على سيانيد ومياه صرف محتوية على كروم ومياه صرف محتوية على معادن ثقيلة أخرى وذلك بسبب إختلاف طرائق المعالجة بإضافة إلى ذلك فإن بعض مياه الصرف الحمضية والقلوية المحتوية على معادن ثقيلة لها مركبات عضوية قوية تمنع إنتاج هيدروكسيدات المعادن الثقيلة في هذه الحالة يجب جمع مياه الصرف بنظام آخر ويجب إزالة المركبات المسببة للمشاكل او تفكيكها قبل الخلط مع مياه الصرف الحمضية أو القلوية أو معالجتها بشكل منفرد
- إن مياه الصرف التي يجب فصلها تكون مبينة على الشكل التالي:

١- مياه الصرف التي تتطلب طريقة معالجة مختلفة : مياه الصرف التي تحتوي على أي مادة تتطلب طريقة معالجة مختلفة تصرف بدون معالجة هذه المادة

٢- مياه الصرف التي تؤدي إلى خطر عند خلطها : قد ينتج خلط مواد مختلفة إلى تشكل مواد خطرة مثلاً خلط السيانيد مع الحمض ينتج هيدروجين السيانيد وخلط حمض قوي مع قلوي قوي تنتج حرارة عالية

٣- مياه الصرف التي تبدي صعوبة عند خلطها : إعتماداً على طريقة المعالجة حيث أن خلط مياه صرف متشابهة تسبب صعوبة في المعالجة مثلاً يجب تجنب خلط السيانيد والحديدوز أو النيكل في طريقة الأكسدة القلوية بالكلور أو خلط معادن ثقيلة وعوامل خالية في طريقة الترسيب بالترويب

٤- مياه الصرف التي يمكن معالجتها بشكل أكثر فعالية إقتصادية عند يتم معالجتها بشكل منفصل : بشكل عام يسبب خلط مياه الصرف القلوية مع مياه الصرف العادية تدهور في فعالية المعالجة وبالتالي يجب معالجة مياه الصرف القلوية بشكل منفصل أو إسترداد المواد منها

- **موسطات فانياكين :**
- يجري توحيد تركيز مياه معمل ما في خزانات تدعى الموسطات وكفاءة هذه الموسطات تعتمد على شدة خلط المياه الملقاة حديثاً مع المياه الموجودة في الوسط ويتم هذا الخلط بضخ الهواء المضغوط في الموسط أو بواسطة خلاطات دوارة ولكن هذه الطرق معقدة الأستعمال
- لهذا فإنه يستعاض عادة موسط فانياكين الذي يتألف من خزان للماء ذي شكل مستطيل مقسوماً قطرياً بحاجز إلى قسمين في داخل الخزان ويوجد حواجز طولية موازية لطول المستطيل
- تنقسم القناة الموصلة للسائل إلى مجريين يمتدان على طول الجدارين الجانبيين للخزان معطين الطرف الأيمن نصف تدفق السائل والطرف الأيسر نصفه الآخر ويخرج الماء من هذين المجريين إلى الخزان ويمر بين الحواجز الطولية ثم يصب بعدها في مجريين موازيين للحاجز القطري ومنها ينتقل إلى قناة التصريف
- بما أن سرعة جريان الماء بين الحواجز الطولية متساوية ومسافة مرورها متفاوتة فإنها تصب في مجرى التصريف في أوقات مختلفة بعضها عن بعض ومتناسبة طرداً مع طول الممر الذي تجري فيه بين الحواجز الطولية أي أنه في نقطة ما من مجرى التصريف تصب عينات ذات تركيز يختلف بعضها عن بعض مما يسبب توسيط التركيز
- لتحديد حجم الموسط نستعمل مخطط تركيز المياه الصناعية فإذا كان تركيز المياه الصناعية يتغير بشكل دوري فغن حساب التركيز الوسطي لدورة واحدة مثالاً ليوم واحد يتم بالعلاقة :

$$Cm = \frac{C1 \cdot t1 \cdot q1 + C2 \cdot t2 \cdot q2 + \cdots + Cn \cdot tn \cdot qn}{Q}$$

Cm : التركيز الوسطي للمياه الصناعية بمدة حسابية (t)

C1 ;c2 ;cn : التركيز الوسطي للمياه الصناعية في أزمنة t1 ; t2 ; tn

q1; q2 ;qn : تدفق المياه الصناعية في الأزمنة t1 ; t2 ; tn

Q : التدفق الحسابي في الزمن t= t1 + t2 + +tn

- أما عندما لايكون تغير التركيز دورياً مع الزمن فإن حساب التركيز الوسطي يجري لأسوأ فترة من فترات تدفق المياه الصناعية الملوثة وعملياً يؤخذ الزمن الكلي في هذه الحالة يوماً واحداً والتدفق الكلي يستوعبه الموسط هو تدفق المنشأة الصناعية ليوم كامل
- ويجوز أن لايحسب الموسط لكل التدفق خلال الدورة ولكن يقتصر عمله على إنقاص التركيز العظمي لذا يحسب حجمه ليستوعب جزءاً من التدفق الكلي كما في العلاقة

$$W = \frac{Q}{1.4} = \frac{q \cdot t}{1.4}$$

Q : التدفق المحسوب في مدة زمنية t

q : التدفق الساعي

t : المدة الحسابية لعمل الموسط بالساعات

1.4 : عامل تجريبي

التعديل الكيميائي لمياه الصرف الصناعي :

١ -تعديل مياه الصرف الحمضية **2-** تعديل مياه الصرف القلوية

أولاً : تعديل مياه الصرف الصناعي الحمضية:

- يمكن تعديل مياه الصرف الحمضية عن طريق إمرارها عبر الحجر الكلسي CaCO3 حيث تتشكل بيكربونات الكالسيوم نتيجة تفاعل حمض الكربون مع الحجر الكلسي وفق التفاعل التالي:

$$CaCo_3 + Co_2 + H_2o \rightarrow Ca(Hco_3)_2$$

- يمكن تعديل مياه الصرف الحمضية عن طريق إضافة الصودا الكاوية Na OH حيث تتشكل بيكربونات الصوديوم في البداية نتيجة تفاعل حمض الكربون مع الصودا الكاوية وفق التفاعل التالي:

$$Na\ oH + Co_2 + H_2o \rightarrow Na\ Hco_3 + H_2o$$ -

ومع زيادة كمية الصودا الكاوية المضافة تتحول بيكربونات الصوديوم إلى كربونات الصوديوم وفق التفاعل التالي :

$$Na\ Hco_3 + H_2o \rightarrow Na_2\ Co_3 + H_2o$$

- أما إذا كان الحمض في مياه الصرف الصناعي على شكل حمض الكبريت فإن الصودا الكاوية يؤدي إلى تشكل هيدروجينو كبريتات الصوديوم ومع زيادة كمية الصودا الكاوية المضافة وتخطي الأس الهيدروجيني للقيمة 8 تتشكل كبريتات الصوديوم وفق التفاعلين التاليين :

$$Na\ oH + H_2\ So_4 \rightarrow Na\ HSo_4 + H_2o$$ -

$$Na\ HSo_4 + Na\ oH \rightarrow Na_2\ So_4 + H_2o$$ -

ثانياً : تعديل مياه الصرف الصناعي القلوية :

- يمكن تعديل مياه الصرف القلوية عن طريق إمرار غاز عادم المرجل CO2 عبر مياه الصرف القلوية فإذا كانت القلوية على شكل ماءات الصوديوم فإنه تتشكل في البداية كربونات الصوديوم ومع زيادة كمية غاز CO2 المضافة وإنخفاض الأس الهيدروجيني إلى دون القيمة 9 تتشكل هيدروجينات الصوديوم وفق التفاعلين التاليين :

$$2Na\ oH + Co_2 \rightarrow H_2o + Na_2\ Co_3$$

$$Na_2\ Co_3 + Co_2 + H_2o \rightarrow 2Na\ Hco_3$$

- ويمكن تعديل مياه الصرف القلوية عن طريق إضافة حمض الكبريت H2SO4 إلى مياه الصرف القلوية فإذا كانت القلوية على شكل ماءات الصوديوم فإنه تتشكل كبريتات الصوديوم وفق التفاعل التالي :

$$2Na\ oH + H_2So_4 \rightarrow 2H_2o + Na_2\ So_4$$ -

بما أن حمض الكبريت حمض قوي فإن ذلك يحتم إضافته بدقة حتى لا ينخفض الأس الهيدروجيني كثيراً

- يمكن تعديل مياه الصرف القلوية عن طريق إضافة حمض كلور الهيدروجين HCL إلى مياه الصرف القلوية فإذا كانت القلوية على شكل ماءات الصوديوم فإنه يتشكل كلوريد الصوديوم وفق التفاعل التالي:

$$Na\ oH + Hcl \rightarrow H_2o + Na\ cl$$ -

لكن ثمن كلور الهيدروجين أعلى من ثمن حمض الكبريت لذلك يجب أخذ ذلك الإعتبار إضافة إلى كونه مثل حمض الكبريت حمض قوي ويملك تأثير مخرش على أي مادة تكون بتماس معه

- **تصنيف الملوثات واختيار طريقة المعالجة الملائمة :**

١ - عناصر غير منحلة : يمكن فصلها فيزيائياً بوجود مواد مروبة أو بدونها نذكر من تلك العناصر الزيوت والشحوم التي تفصل بالتطويف الطبيعي أو الهوائي أو الكهربائي بينما تفصل المواد المعلقة الثقيلة بالترسيب وتزال المواد الغروانية بعد إضافات المروبات لتشكيل الندف ثم ترسب هذه الندف

٢ - عناصر عضوية منحلة : يمكن فصلها بعد إخضاعها إلى معالجة بيولوجية حيث تتحول إلى ندف بيولوجية قابلة للترسيب وغازات تنطلق إلى الجو

٣ - عناصر منحلة معدنية : يمكن فصلها بعد إضافة كواشف كيميائية حيث تحول إلى مركبات قليلة الأنحلال في الماء وقابلة للترسيب كما يمكن إزالة هذه العناصر بالتبادل الأيوني أو عن طريق التقانات ذات الأغشية كالترشيح النانومتري والتناضح العكسي

- **اختيار طريقة المعالجة الملائمة :**

يعتمد إختيار طريقة المعالجة المعالجة لمياه الصرف الصناعي على مواصفات مياه الصرف ودرجة المعالجة المطلوبة والمصير النهائي لمياه الصرف المعالجة علاوة على التكلفة الإقتصادية ولا يمكن تعميم الطرائق اللازمة لمعالجة مياه الصرف الصناعي كما هو الحال في مياه الصرف الصحي وذلك نتيجة التباين في نوعية مياه الصرف الناتجة عن كل صناعة لذلك يلزم دراسة كل حالة على حدة لإيجاد أنسب الطرائق لمعالجتها والتخلص منها

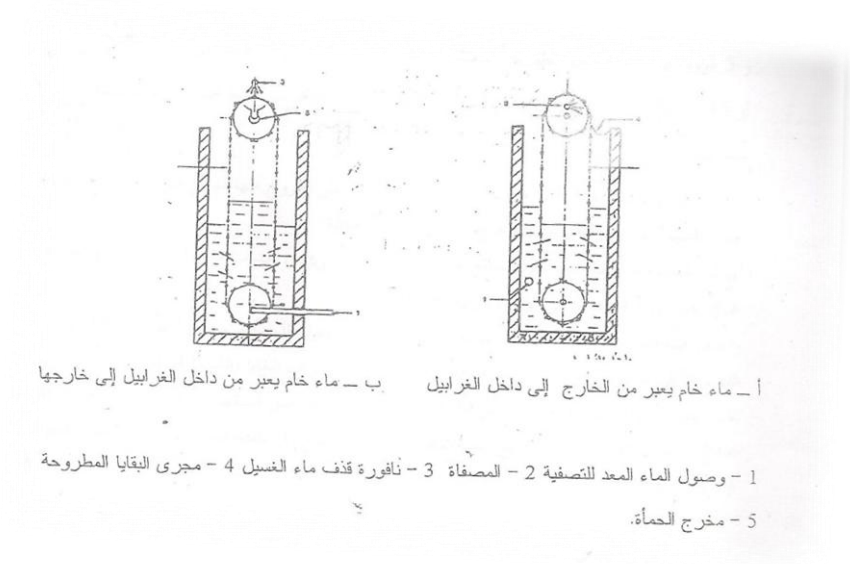
المصافي الثابتة :

- نضع بشكل عام نوعين من المصافي الثابتة على التسلسل وفي البداية نضع مصفاة خشنة مؤلفة من قضبان فولاذية عرض القضيب من 1 إلى 2 سم وتباعد القضبان عن بعضها من 2 إلى 3 سم تليها مصفاة شبكية أبعاد فتحاتها من 0.3 إلى 1 سم توضع هذه المصافي أحياناً شاقولية وغالباً مائلة بزاوية 60 إلى 80 درجة على الأفق
- تنظف المصافي الثابتة إما يدوياً عن طريق نزع الإطار الحامل للمصفاة من مكانه لتخضع لتنظيف ميكانيكي بالماء ثم يعاد لمكانه ويتم تنظيف المصفاتان الموضوعتان على التسلسل بالتناوب
- يمكن تنظيف المصافي الثابتة آلياً بشكل متقطع كما في الشبكة ذات الكابلات الحاوية على كلابات قلابة أما التنظيف الآلي للمصافي الثابتة فيتم باستخدام مكانس من النايلون تحرك بواسطة سلسلة بلا نهاية أو باستخدام أمشاط معدنية
- ترسيمة لشبكة تصفية ذات كابلات حاوية على كلابات قلابة

١ - الشبكة
٢ - عربة حاملة للكلاب
٣ - كلاب قلاب
٤ - لاقط
5- أسطوانة كابل العربة
6- كابل قيادة للعربة
7- زرقة
8- بورتيك
9- محرك خفض العربة
10- محدد جهد
11- سلك لين للعربة
12- أسطوانة كابل العربة
13 بكرة إرسال الكلاب
14 – كابل العربة
15- سلك لين للكلاب
16 - محرك خفض الكلاب

المصافي المتحركة شاقولياً :

- هذه المصافي معدة لحجز جسيمات صلبة أبعادها من 0.1 إلى 0.5 سم وتركب على إطارات متمفصلة مكونة من سلسلة بدون نهاية أو شريط تتحرك هذه السلسلة بين أسطوانتين السفلى مغمورة بالماء بينما العلوية تجر بواسطة محرك وتؤمن الإنتقال المستمر أو المتقطع للغربال
- حسب نموذج تصنيع المصافي المتحركة شاقولياً يمكن أن يعبر الماء الخام الغرابيل من الخارج إلى الداخل أو من داخل الغرابيل إلى خارجها
- خلال مسار الغرابيل وبعيداً عن الماء الخام تتعرض قطع الغرابيل المتتالية إلى ماء صادر عن نافورات تحت الضغط يخترق ماء النافورات الغرابيل باتجاه معاكس لإتجاه دخول الماء المعد للمعالجة وتطرح البقايا المحجوزة على سطح الغرابيل ضمن قنوات تصريف

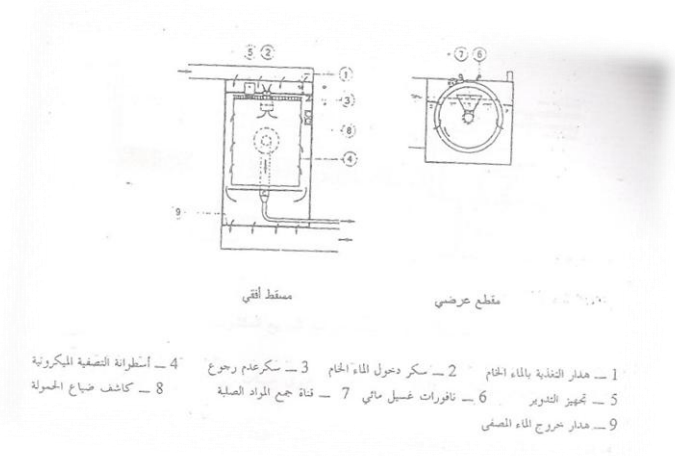


أ ــ ماء خام يعبر من الخارج إلى داخل الغرابيل ب ــ ماء خام يعبر من داخل الغرابيل إلى خارجها

1 – وصول الماء المعد للتصفية 2 – المصفاة 3 – نافورة قذف ماء الغسيل 4 – مجرى البقايا المطروحة
5 – مخرج الحمأة.

المصافي الميكرونية :

- تستخدم هذه المصافي بشكل عام لمعالجة المياه ضعيفة التلوث بالجسيمات المعلقة الكبيرةحيث يتألف جهاز التصفية الميكرونية من أسطوانة أفقية وحيدة مثقبة تدور حول محورها بسرعة دوران متغيرة بين 0.5 و5 دورة / دقيقة
- يغلف الأسطوانة المثقبة نسيج معدني أو بلاستيكي ذو مسامات أدنى من 100 ميكرو متر (23أو 65 ميكرو متر) وتختار أبعاد مسامات النسيج بعد إجراء تجارب مخبرية بحيث تلائم للجسيمات المطلوب حجزها
- يدخل الماء إلى الأسطوانة من احد طرفيها بشكل محوري ويرغم على الخروج منها بشكل قطري عبر المسامات بعد أن تحجز الجسيمات حيث لا يوجد أي مخرج سوى المسامات المحيطية أي أن الجسيمات المعلقة تحجز على السطح الداخلي للأسطوانة ويؤدي لحدوث مقاومة لخروج الماء وبالتالي ضياع حمولة يصل إلى 15 سم وينبغي ألا يتجاوز أبداً ال 50 سم
- تنظف هذه المحجوزات من سطح الأسطوانة عندما يمر جزء الأسطوانة إلى مكان وجود النافورات المائية الموجودة في القسم العلى من جهاز التصفية وتصرف المواد الصلبة إلى قناة تصريف البقايا
- يختار قطر أسطوانة التصفية حسب تدفق الماء المطلوب تصفيته وقد يصل القطر إلى 3 متر أما عرض الأسطوانة فقد يزيد على 3 متر وسرعة الترشيح (نسبة تدفق الماء على السطح الحر للفتحات في الجزء المغمور من الأسطوانة) تتراوح بين 0.35 و 0.4 م/ثا



❖ الترشيح عبر الأوساط الحبيبية

أولاً : المرشحات الرملية السريعة المكشوفة

- وهي أحواض غالباً مستطيلة الشكل منية من البيتون العادي أو المسلح تشتغل هذه المرشحات تحت تأثير الثقالة (جريان الماء المعد للترشيح من العلى إلى الأسفل) حيث مساحة كل حوض لا تزيد على 50 متر مربع
- **يتكون المرشح السريع المكشوف بشكل أساسي :**

١- سرير رملي سيليسي بارتفاع من 0.6 إلى 0.75 متر حيث يحتوي حبيبات رمل قطرها الوسطي بين 0.5 و0.8 ملم

٢- قاع المرشح مكون إما من أرضية مسامية أو مثقبة يعلوها أولها طبقة داعمة من البحص وإما شبكة تصريف لجمع المياه الراشحة مطمورة ضمن طبقة بحص بسماكة من 0.45 إلى 0.5 متر

٣- التجهيزات اللازمة للغسيل بالتيار الأرتدادي بغية إعادة فعالية سرير الترشيح وبعض المرشحات تحوي أيضاً تجهيز غسيل سطحي للسرير الرملي مكون من أنابيب مثقبة ثابتة أو دوارة موضوعة على بعد عدة سنتيمترات فوق الرمل حيث أن قذف الماء من هذا التجهيز يحطم القشرة السطحية الهلامية المتشكلة نتيجة الترشيح وتحطيم هذه القشرة يضمن غسيل ارتدادي منتظم

٤- قنوات تصريف ماء غسيل المرشح موضوعة على ارتفاع حوالي 0.5 متر فوق سطح السرير الرملي

٥- سكورة دخول وخروج وتجهيزات تحكم وقيادة لمختلف مراحل التشغيل . إن الترشيح السريع قد يسبق غالباً بعملية معالجة للماء تشمل الترسيب لتخفيف الحمل على المرشح وإطالة فترة الترشيح قبل الغسيل

- **إن مراحل تشغيل المرشح الرملي السريع المكشوف :**

١ **مرحلة الأعداد :** التي تبدأ بإدخال الماء المعد للترشيح إلى المرشح الرملي حيث أن الماء الراشح لا يجمع لأنه غير نظيف وتستمر هذه الفترة من 10 إلى 20 دقيقة تتشكل خلالها طبقة سطحية هلامية تؤدي لتحسين نوعية الماء الراشح

٢ **مرحلة الترشيح :** تبدأ هذه المرحلة مباشرة بعد إنتهاء مرحلة الإعداد ويمر الماء المعد للترشيح إلى المرشح الرملي بمعدل ثابت من 120 إلى 180 ($m^3/m^2.day$) حيث يجمع الماء الراشح الخارج من أجل إعادة استعماله

٣ **مرحلة الغسيل :** هذه المرحلة توفر تجهيز غسيل سطحي لسرير الرمل حيث ينفذ في البداية الغسيل السطحي لمدة 5 دقائق لتحطيم الطبقة الهلامية ويخرج الماء من الثقوب بمعدل 400 ($m^3/m^2.day$) بعد ذلك يبدأ الغسيل الأرتدادي منفرداً أو مجتمعاً مع الغسيل السطحي لمدة 5 دقائق وينفذ الغسيل الأرتدادي باندفاع ماء الغسيل من الأسفل باتجاه طبقة البحص بمعدل 720- 1200 ($m^3/m^2.day$)

- نتيجة لهذا تتفكك كتل الرمل عن بعضها ويتمدد حجمها بنسبة من 30- 40 % وتتحرك حبيبات الرمل في الماء الصاعد محتكة ببعضها البعض ويزال عنها ما علق بها من شوائب أثناء مرحلة الترشيح حيث تخرج هذه الشوائب مع الماء الغسيل إلى قنوات ماء الغسيل وتتراوح فترة الغسيل الكاملة بين 15 و20 دقيقة وتستهلك لإنجاز عملية الغسيل كمية من المياه الراشحة تتراوح بين 1.5 و3.5 % من كمية المياه المعالجة في المرشح الرملي

ثانياً : المرشحات السريعة المكشوفة ذوات الطبقات المتعددة :

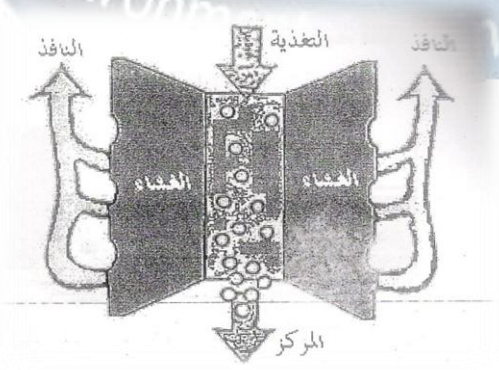
- إن المرشحات الرملية السريعة التقليدية الحاوية على طبقة رمل تتعرض إلى تنضيد لحبيبات الرمل تبعاً لأبعادها بعد عملية الغسيل الأرتدادي فالحبيبات الكبيرة تتوضع في أسفل الطبقة بينما الحبيبات الأنعم تتوضع في الطبقة العليا السطحية
- أي أن الحبيبات الأكثر الأكثر قابلية للإنسطام ستقابل مياه ذات تركيز مرتفع من الشوائب حيث يؤدي هذا الى انسطام سريع للطبقة العلوية من رمل الترشيح وبالتالي ضرورة إيقاف الترشيح لإجراء الغسيل الأرتدادي على الرغم من أن الطبقات الأعمق من سرير الرمل والحاموية على الحبيبات الأكبر لم تصل لحالة الأنسطام
- لحل هذه المسألة يمكن إستخدام مرشح متعدد الطبقات بحيث تكون الطبقات العلوية حاوية على حبيبات ذوات أبعاد أكبر من أبعاد حبيبات الطبقة السفلية وحتى لايقلب الغسيل الأرتدادي هذا التوزيع لتطبق

الحبيبات ينبغي أن تكون الكتلة الحجمية للحبيبات في الطبقة العلوية أدنى من الكتلة الحجمية لحبيبات الطبقة السفلية

- ينفذ هذا الإجراء في حالة المرشح ثنائي الطبقة باستخدام فحم الأنتراست المكسر في الطبقة العلوية والرمل السيليسي في الطبقة السفلية
- ولتخفيض تداخل الطبقات مع بعضها لأقل ما يمكن ينبغي اختيار أبعاد الحبيبات بحيث يكون تمدد الطبقات وسرعة سقوط الحبيبات المختلفة الأبعاد والكتلة الحجمية متساوية تقريباً ولكن لايمكن تجنب حصول بعض التداخل في هذه الطبقات وبالتالي تنقص نفاذية المناطق الإنتقالية وخلال الترشيح تنسطم المناطق الإنتقالية بقوة أكبر

ثالثاً : التقانات ذات الأغشية:

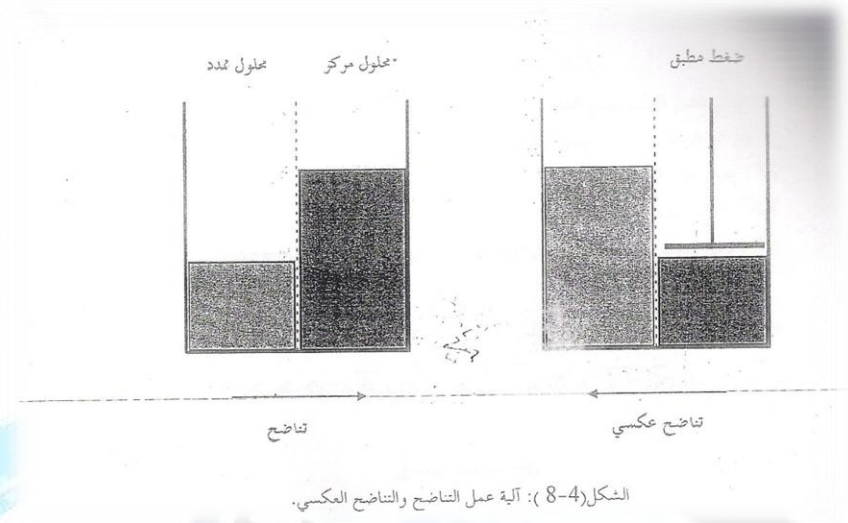
- تحتوي الأغشية المستخدمة في هذه التقانات على مسامات دقيقة وتبعاً لأبعاد هذه المسامات يتم حجز الملوثات حيث يتقدم باستمرار استخدام هذه التقانات في معالجة مياه الصرف الصناعي لإنجاز عمليات فصل الشوائب معلقة أو غروانية أو منحلة تبعاً لأبعاد مسامات أغشية الترشيح لذلك تحدد نوعية الغشية التي يمكن استخدامها تبعاً لأحجام الملوثات المطلوب فصلها
- إن آلية الفصل ذات الأغشية هي تجزئة محلول التغذية إلى جزأين الأول هو المحلول النافذ عبر الغشاء والثاني هو المحجوز من قبل الغشاء ولا تتطلب الأجهزة المستخدمة في هذه التقنيات حيزاً كبيراً ولا أعمال هندسية ضخمة



- ينتج عن معالجة المياه بالتقانات ذات الغشية كميات مخلفات أدنى من تلك الناتجة عن طرائق المعالجة التقليدية أو الكيميائية وأحياناً تلغى المخلفات نهائياً ونقول أن التقانة نظيفة تحافظ على سلامة البيئة
- عن القوة المحركة في عملية معالجة المياه هي في الغالب ميكانيكية تعتمد على فرق الضغط مثل تقانة الترشيح الدقيق أو الترشيح النانو متري أو التناضح العكسي

١ -التناضح العكسي :

يطبق في التناضح العكسي ضغط اعلى من الضغط الأسموزي للمحلول المعد للمعالجة بحيث ينتقل الماء من الحجرة الحاوية على ماء الصرف إلى حجرة الماء المعالج واستعملت تقانة التناضح العكسي للحصول على النيكل والكروم من مياه الصرف الصناعي الحاوية عليهما وتنتج عن هذه العملية استخلاص كامل للنيكل وإعادة استعمال الماء المعالج



الشكل(4-8): آلية عمل التناضح والتناضح العكسي.

٢ -الترشيح النانومتري:

هو تطور في تقانة التناضح العكسي حيث أن تصنيع أغشية الترشيح النانومتري تبدي خصائص رفض انتقائية للشوارد الموجودة في الماء بخلاف أغشية التناضح العكسي التي تزيل كل الشوارد بنسبة مرتفعة حيث أن أغشية الترشيح النانومتري تحجز بكفاءة عالية جداً الشوارد متعددة التكافؤ مثل النيكل والكادميوم والكبريتات وتحجز بكفاءة أقل الشوارد أحادية التكافؤ مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكلورايد

وتستخدم تقانة الترشيح النانومتري عندما يراد الحصول على إزالة متعددة للأملاح من الماء وبالتالي ضغط التشغيل اللازم يكون منخفض وكذلك استهلاك الطاقة

- نماذج احواض التطويف الطبيعي:

١ -أحواض فصل الزيوت الطولانية :

- تحسب أجهزة فصل الزيوت الطولانية حسب معايير المعهد الأمريكي للبترول ويجب على هذه الأجهزة أن تزيل قطيرات الزيت التي أقطارها أكبر من 100 ميكرو متر ويدخل الماء من احد اطراف الدخول ويخرج من الطرف الآخر ويتراوح عمق الماء فيها بين 0.6-2.4 متر

- **تصميم أجهزة فصل الزيوت الطولانية :**

١ -كفاءة أحواض إزالة الزيوت الطولانية في إزالة المواد النفطية قد تصل إلى 98%

٢ -لحساب أحواض إزالة المواد النفطية نستعمل العلاقات التالية :

أ - سرعة صعود جسيمات النفط إلى سطح الماء vo تعطى بعلاقة ستوكس:

$$V_0 = \frac{1}{18} * \frac{g}{\nu} * \frac{\rho_w - \rho_0}{\rho_w} * d_0^2$$

حيث:

d_0 : قطر جسيمات النفط الطافية (150- 80 ميكرومتر)

ρ_w : الكتلة الحجمية للماء

ρ_0 : الكتلة الحجمية للمادة الطافية

ν : اللزوجة الحركية للماء

ب -اما السرعة الأفقية لجريان الماء في حوض إزالة النفط vh فتحسب من العلاقة التالية:

$$Vh = \frac{Q}{B*H}$$

Q: التدفق الحسابي للمياه الداخلة الى أحد الأحواض (m^3/sec)

B : عرض الحوض الواحد (متر)

H : العمق الفعال لحوض إزالة الزيوت (يؤخذ بين 0.9 و2.4 متر ويفضل أن يكون قريب من 2 متر)

ونسبة إرتفاع الماء إلى عرض الحوض $\frac{H}{B}$ = (0.3- 0.5)

ج -الطول الفعال للحوض L يحسب من العلاقة :

$$L = a * Vh * H * H/V_0$$

حيث a: عامل بإضطراب جريان الماء في حوض إزالة المواد النفطية وقيمته تعطى بالجدول:

a	V_h/V_{oil}
1.74	20
1.64	15
1.52	10
1.37	6
1.28	3

د - زمن مكوث الماء في الحوض يعطى بالعلاقة : $t_1 = \frac{L}{V_h}$

ر - الزمن اللازم لطفو جسيمات النفط يعطى بالعلاقة : $t_2 = \frac{H}{V_s}$

- يجب أن يكون زمن مكوث الماء في الحوض t1 اكبر من الزمن اللازم لطفو جسيمات النفط t2 ويجب أن يكون طول الحوض L أكبر من 5 أمثال عرض الحوض (B) أي L>5B
- قد يعاد جزء من الماء الخارج من حوض التطويف ليدخل مع المياه المعدة للتطويف بهدف تحسين كفاءة التطويف

§ الطرد المركزي:

- تستخدم قوة الطرد المركزي في جهاز الهيدروسيكلون لمعالجة مياه الصرف الصناعي الحاوية على مواد صلبة معلقة وغير منحلة

- **جهاز الهيدروسيكلون:**

- يتألف من جزأين أسطواني ومخروطي حيث أن الجزء الأسطواني يكون مغلق من الأعلى بشكل محكم
- يدخل الماء إلى الجهاز تحت الغطاء المحكم وذلك بشكل مماسي مما يسبب دوران الماء بشكل حلزوني ضمن الجهاز حيث أن قوة الطرد المركزي لدوران الماء تسبب اندفاع المواد الصلبة إلى الجدار السفلي للجهاز حيث تناسب هذه المواد إلى الثقب السفلي ومنه تصرف إلى الخارج أما بقية الماء الذي يكون قد تخلص جزئياً من المواد الصلبة فإنه يتابع دورانه مغيراً اتجاهه من الأسفل إلى الأعلى فيخرج منه فتحة علوية
- حيث أن ضمن الهيدروسيكلون هناك حركتان لولبيتان للماء الأولى الحلزون الخارجي المتجه إلى الأسفل والثانية الحركة الحلزونية الداخلية المتجهة إلى الأعلى وعلى محور الهيدروسيكلون يتشكل ضمن اللولب الداخلي عمود من الهواء وبما أن تسارع الطرد المركزي أكبر بكثير من تسارع الجاذبية الأرضية يمكن أن يعمل في أي إتجاه ممكن سواء كان شاقولياً أو مائلاً أو أفقياً
- تستعمل حالياً هيدروسسيكلونات أقطارها تتراوح من 250 إلى 500 ملم وتكون زاوية مخروطها متراوحة بين 10 إلى 30 درجة وتصمم عادةً بشكل مجموعات تعمل على التوازي ويمكن أن تعمل على التسلسل إذا كان المطلوب زيادة كفاءة التنقية في الهيدروسيكلونات

$$Q = 0.131 * K_D * d_p * d_c * H^{0.5} * (tg \frac{a}{2})^{-0.3}$$

- وبشكل عام فغن التدفق الذي يمر في الهيدروسيكلون يمكن أن يعطى بالعلاقة التجريبية:

Q: التدفق المار في الهيدروسيكلون بواحدة

dp : قطر فتحة دخول ماء الصرف إلى الهيدروسيكلون

dc : قطر فتحة خروج الماء النقي من الهيدروسيكلون

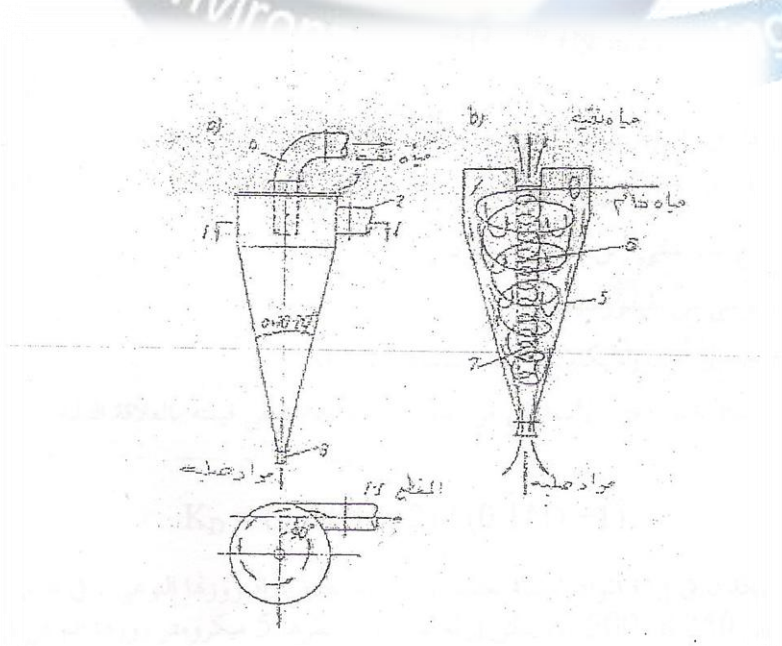
a: زاوية الجزء المخروطي من الهيدروسيكلون

H: ضغط الماء الداخل الى الهيدروسيكلون بواحدة سنتيمترعمود ماء

KD: عامل يتعلق قيمته بقطر الجزء اللأسطواني من الهيدروسيكلون وتعطى قيمته بالعلاقة التالية :

$$K_D = (0.08*D + 2) / (0.1*D +1)$$

- إن كفاءة الهيدروسيكلون في إزالة المواد الصلبة تعتمد على تركيز هذه المواد ووزنها النوعي حيث أن في الهيدروسيكلونات ذات قطر يتراوح بين 250 إلى 500ملم يمكن إزالة مواد صلبة قطرها 5 ميكرومتر ووزنها النوعي 2.5
- إن ميزات الهيدروسيكلونات تتلخص في قدرتها على إستيعاب كميات كبيرة من المياه الصناعية بالنسبة إلى المساحة التي تشغلها فهي نفس التدفق تشغل مساحة أقل بعشرات المرات عن المساحة التي تشغلها المرسبات الأفقية ولكن من أهم عقباتها استهلاك كبير من التيار الكهربائي

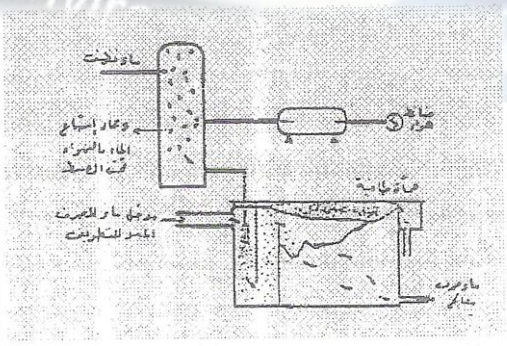


اهم تقنيات المعالجة الفيزيوكيميائية لمياه الصرف الصناعي:

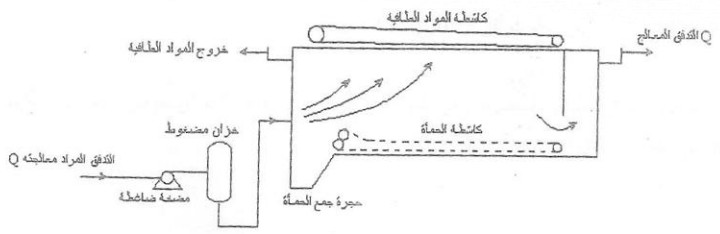
١ ـ التطويف الهوائي
٢ ـ التبخير
3- الأمتزاز
4- التبادل الأيوني

أولاً : التطويف الهوائي :

- يعتمد التطويف الهوائي على إلتصاق فقاعات هوائية دقيقة مشكلة صناعياً على جسيمات المواد غير المنحلة المطلوب إزالتها وبالتالي يحصل إنخفاض للكتلة الحجمية الظاهرية لتجمع الجسيمة والفقاعات ويؤدي ذلك إلى تطويف هذا التجمع على سطح الماء وبالتالي يسهل إزالته
- يطبق التطويف الهوائي لمعالجة مياه الصرف الصناعي المحتوية على ألياف سللوزية أو خيوط صوفية أو مشتقات النفط حيث يتم التطويف الهوائي غالباً تحت الضغط ضمن منشآت يتم فيها تشكل الفقاعات الهوائية الناعمة لواسطة تغير الضغط حيث يجري تشكيل فقاعات الهواء وإشباع الماء بهذه الفقاعات ضمن خزان مضغوط وتنتقل المياه من هذا الخزان المضغوط إلى خزان آخر مفتوح يدعى حجرة التطويف
- بسبب نقصان الضغط في هذه الحجرة نسبة إلى ضغط الماء المشبع بالهواء تخرج فقاعات الهواء وتتثبت على الجسيمات غير المنحلة وترفعها للأعلى مشكلة الزبد الذي يسحب بينما يسحب الماء المعالج من أسفل حجرة التطويف



- قد تشبع بالهواء كامل مياه الصرف المعدة للمعالجة وقد يكون الماء الذي يشبع بالهواء ضمن وعاء الأشباع جزءً من مياه الصرف المعالجة الخارجة من حوض التطويف أي نميز بين نظام التطويف الذي يتم فيه ضغط كامل المياه المعدة للمعالجة دون تدوير للمياه المعالجة (نظام الضغط الكامل)



الشكل (5-2): نظام التطويف بضغط كامل الماء المعد للمعالجة

- يحسب الضغط اللازم للتطويف في حالة ضغط كامل المياه المعدة للمعالجة دون تدوير للمياه المعالجة بتطبيق العلاقة :

$$\frac{A}{S} = 1.3 \cdot Sa \cdot (f.p - 1)/CO$$

$\frac{A}{S}$: نسبة حجم الهواء (مل) إلى كتلة المواد الصلبة المعلقة (ملغ) ومجالها (*0.006-0.005*)

f: نسبة انحلال الإشباع وتتبع للظروف التجريبية وتقع ضمن المجال (0.5-0.8)

P: الضغط النسبي للماء أو ضغط المقياس

Sa: قابلية انحلال الهواء في الماء من أجل ضغط 1 bar وتتبع لدرجة الحرارة

- وتحسب المساحة السطحية اللازمة للتطويف تبعاً لمعدل التحميل السطحي ويؤخذ ضمن المجال (4 – 16)
- عادةً يختار طول حوض التطويف القسري مساو ثلاث أمثال العرض
- يؤخذ عمق الماء ضمن المجال (0.75 -1.5)
- يفضل أن يكون زمن المكوث أقل من 60 min
- وقد يستخدم كسائل مكيف الضغط جزء من الماء المعالج الذي يدور ويدخل ثانية إلى حوض التطويف (تكييف ضغط غير مباشر)
- في حالة تدوير جزء من الماء الخارج تطبق العلاقة :

$$\frac{A}{S} = 1.3 * Sa * (f * p - 1) * R/C_0 * Q$$

Q: تدفق الماء الراد معالجته والناتج عن المنشأة الصناعية (m^3/day)

R: تدفق الماء المعاد تدويره (m^3/day)

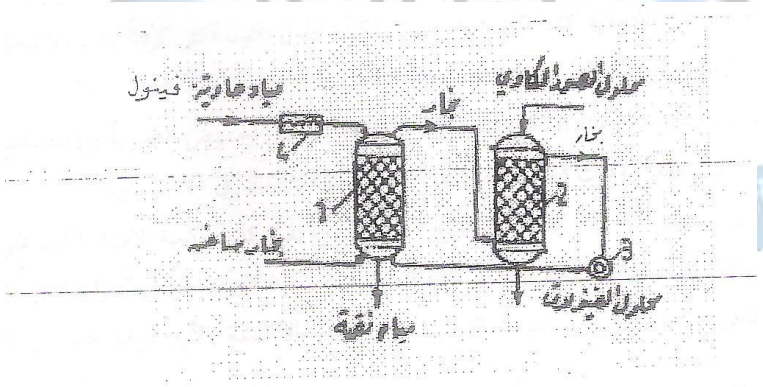
تحسب المساحة الأفقية من العلاقة : $S = (Q + R) / A_0$

A0: معدل التحميل السطحي ويؤخذ ضمن المجال (4- 16)

ثانياً: التبخير

س دورة

- هو عملية إزالة مكونات مياه الصرف الصناعي الملوث المطلوب فصله بتوجيه المياه الصناعية لملاقاة تيار من البخار السساخن ولهذا فإن الملوث القابل للتحول إلى الحالة الغازية سوف يتطاير مع البخار وبعد ذلك يفصل البخار عن المواد المحمولة معه عن طريق تحويلها ثانية إلى مركبات غير متطايرة
- ينجز التبخير بشكل مستمر في خزانات اسطوانية نسبة ارتفاعها إلى قطرها تقع بين 10 ;5 بغية تحسين العمل بتبخير الملوثات من مياه الصرف الصناعي حيث تملأ الخزانات الأسطوانية بحشوة من إطارات أو كريات خزفية أو فخار مزجج وكوارتز تزيد من سطح تماس المياه مع البخار الساخن.
- على سبيل المثال لإزالة الفينول مياه الصرف الصناعي تمرر مياه الصرف الصناعي على مبادل حراري لرفع درجة حرارتها إلى 100 درجة مئوية
- حيث تدخل مياه الصرف للخزان الأول من الأعلى بينما يدخل البخار الساخن من أسفل الخزان حيث يلتقي مع الماء ويسحب منه الفينول القابل للتطاير ولفصل الفينول عن البخار يمرر هذا البخار في خزان ثاني حيث ترش من العلى محلول من ماءات الصوديوم المسخن لدرجة 100 درجة مئوية والذي يتفاعل مع الفينول ويحوله إلى فينولات غير متطايرة
- ويعاد تدوير بخار الماء المخلص من الفينول إلى الخزان الأول



الشكل (5–4): إزالة الفينول من مياه الصرف الصناعي بالبخار

ثالثاً: الامتزاز

- يعتمد إمتزاز الملوثات من مياه الصرف الصناعي بالفحم الفعال أو غيره على التوازن الحاصل بين المادة المازة والجزيئات الحرة
- إن الفحم الفعال هو وسيلة مسامية ذات مسام يتراوح قطره بين (1-10000nm)وبسبب مساحته السطحية النوعية الكبيرة جداً من (500) إلى (1500) متر مربع لكل غرام منه فهو يوفر قوة الأمتزاز عالية جداً تعود إلى قوى فاندرفالس

١ -أشكال ومظاهر الفحم الفعال :

- الفحم الفعال هو المادة المازة التقليدية المستخدمة لإمتزاز الملوثات ويكون حبيبياً GAS أو مسحوقاً PAS وعادةً البودرة يتم استعمالها مرة واحدة ويتم التخلص منها بعد الأستعمال أما الفحم الفعال الحبيبي فإنه يمكن أن يعاد تنشيطه بشكل متكرر وهو الأكثر إستعمالاً في معالجة المياه بسبب سهولة التعامل معه
- وإن خواص الفحم الفعال تختلف تبعاً لظروف التنشيط المتبعة عند صناعة الفحم الفعال من مادته الخام وهذا التنشيط يمكن أن يتم بواسطة المواد الكيميائية أو البخار أو مجموع المواد الكيميائية والبخار .

س دورة

٢ -العوامل المؤثرة على الأمتزاز بالفحم الفعال:

١ -**قابلية الأنحلال:** إن الفحم الفعال هو مادة كارهة للماء ولهذا فهو يمتز اليه المواد الكارهة للماء وفي المركبات الأليفاتية كلما كانت المجموعة الألكيلية أطول تكون أكثر كرهاً للماء ولا تنحل في الماء وبالتالي تزداد كمية الأمتزاز بالنسبة لها

٢ -**التأين والقطبية :** بشكل عام الكتروليات الضعيفة العضوية مثل الحموض العضوية والأمينات تمتز بسهولة إلى سطوح الفحم الفعال وذلك في حالة جزيئات غير متفككة أكثر منها في حالة الشوارد

٣ -**حجم الجزيئات:** بشكل عام كلما كان الوزن الجزيئي أكبر كلما كانت كمية الأمتزاز أكبر وعلى كل حال فإن سرعة الأنتشار في مسامات الفحم الفعال تكون بطيئة عندما يكون الوزن الجزيئي كبيراً وبالتالي فإنه قد يكون من المفيد إنقاص الوزن الجزيئي إلى حد ما بالتحلل البيولوجي أو بالأكسدة بالأوزون قبل عملية الأمتزاز بالفحم الفعال

٤ -**التركيز :** عندما يزداد تركيز المواد العضوية في المياه المصرفة تزداد كمية الأمتزاز أيضاً وعلى كل حال فإنه في حالة المواد الكيميائية مثل العناصر ذات السطوح الفعالة فإن كمية الأمتزاز تكون ثابتة بغض النظر عن التركيز

٥ -**درجة حرارة الماء:** إن درجة حرارة الماء هي ذات تأثير ضعيف على عملية امتزاز المياه ويمكن أن تتناقص فعالية الأمتزاز مع زيادة درجة الحرارة

- يفق الفحم الحبيبي الفعال قدرته كمساحة سطحية من أجل الأمتزاز عندما يصبح مشعاً بالمادة الممتزة ويمكن إعادة تنشيطه باستخدام الحرارة أو البخار أو المعالجة الكيميائية
- إن المشكلات التي ترافق تنشيط الفحم الفعال وتصريفه هي من أسباب فشله وندرة إستخدامه فالكلفة العالية لعملية التنشيط عند درجات حرارة مرتفعة بالإضافة إلى كلفة إستبدال الفحم الفعال الذي فقد على شكل ثنائي أكسيد الكربون تجعل إعادة تنشيطه غير مرغوبة

- كما أن إزالة الفحم الفعال ونقله إلى مكان التصريف يتطلب حزراً شديداً فإذا كان موقع التصريف غير محمي بشكل ملائم فإن الفحم الفعال المطروح يمكن أن يسبب تلوثاً لمصادر مائية أخرى لأن المواد العضوية المازة يمكن أن تغادره بعد فترة من الزمن

س دورة

٣ -التوازن الستاتيكي (منحنى الإمتزاز):

- تتبع قدرة أمتزاز مادة مازة ليس فقط على السطح النوعي وعلى طبيعة المادة الممتزة ولكن تتبع أيضاً على تركيز المادة القابلة للأمتزاز في السائل المحيط ويتشكل في ظروف ستاتيكية توازن بين تركيز المادة القابلة للامتزاز في المادة المازة وتركيز المادة القابلة للإمتزاز في السائل المحيط بالمادة المازة
- يوصف هذا التوازن بمنحني الأمتزاز أو ايزوتروم الامتزاز حيث أنه يتبع لدرجة الحرارة وبشكل عام يتحسن الامتزاز مع نقصان درجة الحرارة
- إن عملية إمتزاز الملوثات تتم نظرياً وفق علاقة فريندليش:

$$A = \frac{X}{m} = K * C^{1/n}$$

X: كمية المادة الممتزة(ملغ/لتر) وتساوي التركيز البدائي للمادة في الماء - التركيز النهائي

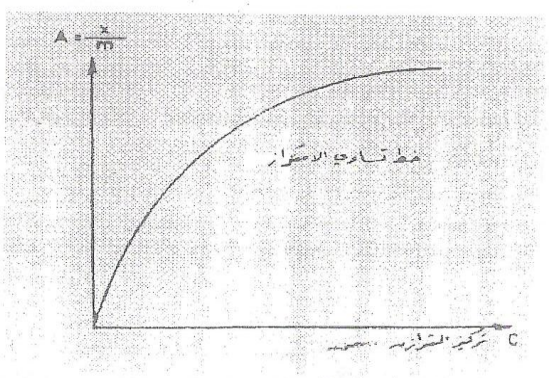
m: كمية المادة المازة المستخدمة (غرام)

$A = \frac{X}{m}$: وزن المادة الممتزة بواحدة (ملغ/لتر) لكل واحد غرام من المادة المازة الخام المستعملة

K; n : عوامل تجريبية تتبع قيمتها لنوع المادة المازة ولصفات وتركيز المادة الممتزة وتتعلق بدرجة الحرارة وتحدد قيمتها عند تجربة الأمتزاز وباضافة مادة مازة على شكل مسحوق

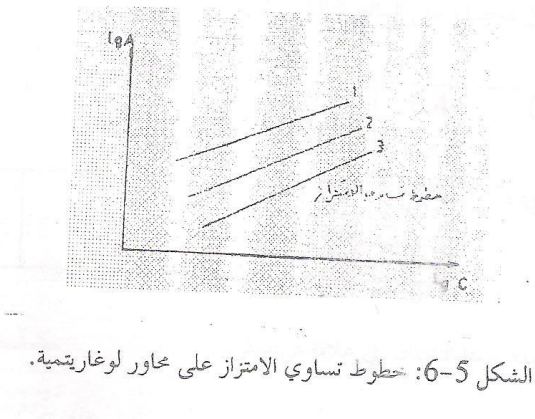
C: التركيز المتوازن للمادة الممتزة

- إذا رسمنا خطوط تساوي للامتزاز على شكل بياني وذلك بوضع قيم A على محور التراتيب وقيم C على محور الفواصل نحصل على منحني كما في الشكل:



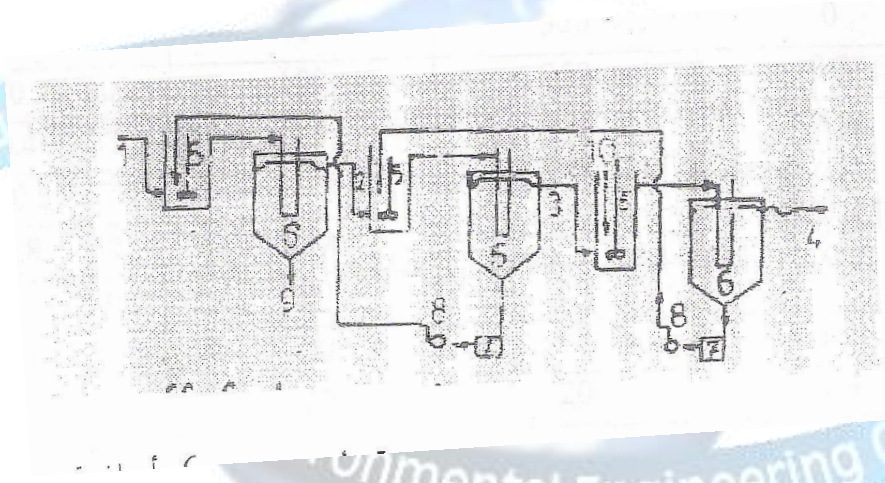
الشكل 5-5: خط تساوي الامتزاز.

- وباستخدام المقياس اللوغارتمي نحصل على خطوط تساوي الامتزاز بشكل خطوط مستقيمة كما هو مبين في الشكل أي تصبح العلاقة كما يلي: $Lg\ A = Lg\ K + 1/n\ Lg\ C$



الشكل 5-6: خطوط تساوي الامتزاز على محاور لوغاريتمية.

- إن عملية الامتزاز في الظروف الحركية (الديناميكية بجريان مياه الصرف الصناعي عبر مرشح يحتوي حشوة من المادة المازة) تؤمن نتائج أفضل منها في الظروف الستاتيكية على مرحلة واحدة أو عدة مراحل بالتتالي ويبين الشكل رسماً مبسطاً لمحطة معالجة بواسطة الامتزاز على ثلاث مراحل



٤ -الامتزاز في الظروف الحركية (الديناميكية):

- يمكن إنجاز عملية الامتزاز في ظروف حركية أي بامرار مياه الصرف الصناعي على مرشح يحتوي على حبيبات من المادة المازة (الفحم الفعال) حيث أن كمية المادة المازة اللازمة لمعالجة مياه الصرف الصناعي m تعطى بالعلاقة: $m= (C0 - Ca)* Q/m1$

C0 : التركيز البدائي للمادة الملوثة المطلوب إزالتها من مياه الصرف الصناعي (ملغ / لتر)

Ca : التركيز المتوازن للمادة الملوثة (ملغ / لتر)

Q : تدفق المياه الصناعية لتر/ يوم

m1 : القيمة الفعالة الستاتيكية لمتر مكعب من المادة المازة (الفحم المنشط)

- إن مدة عمل مرشح المادة المازة يمكن حسابها بتطبيق العلاقة التالية : **t= K* H - t1**

H : إرتفاع المرشح (متر)

t1 ; K: عوامل تجريبية تتعلق بعدة عوامل منها التركيز الأبتدائي للمواد المنحلة في مياه الصرف الصناعي وسرعة جريان الماء في المرشح (قد تكون سرعة صاعدة من الأسفل إلى الأعلى وبحدود 2-4 متر في الساعة)

- لتحديد كمية المواد المنحلة الممتزة والمحجوزة من قبل المرشح m3 تطبق العلاقة التالية:

$$M3 = (H - h) * A * a$$

H : ارتفاع المرشح (متر)

h: الثابت تحدد قيمته تجريبياً

A: المساحة الأفقية للمرشح (متر مربع)

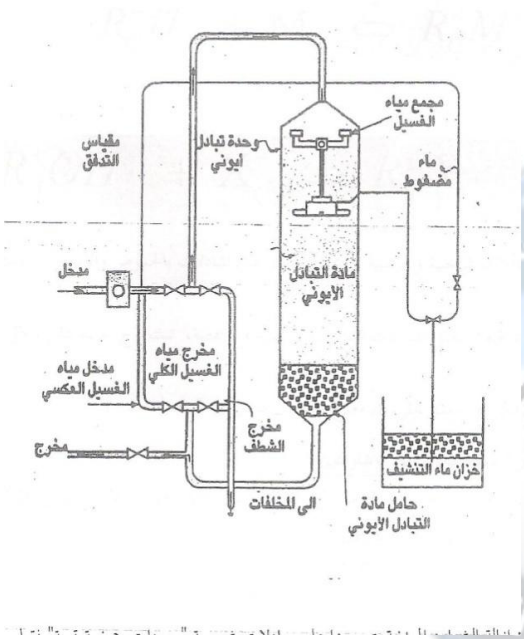
a: الفعالية الديناميكية لمتر مكعب واحد من المادة المازة الخام وتساوي 0.8 من قيمة m1 أي من قيمة الفعالية الستاتيكية لمتر مكعب من المادة المازة

رابعاً: التبادل الأيوني

- عملية التبادل الأيوني مشابهة للامتزاز إلا أن التبادل الأيوني يزيل الأيونات وليس المواد عديمة الشحنة الكهربائية ويستعمل التبادل الأيوني لإزالة أيونات المعادن الثقيلة ويمكن استعماله لإزالة الأيونات ذات النشاط الأشعاعي من مياه الصرف الصناعي
- يعتمد التبادل الأيوني على تبادل إنتقائي بين شوارد في محلول (مياه الصرف الصناعي) وشوارد متحركة من نفس الإشارة موجودة في مركب جزيئي ضخم يدعى ريزين حيث يحتوي الريزين الصلب على مجموعة وظيفية متشردة ثابتة تحمل شحنات موجبة أو سالبة وعلى شوارد قابلة للمبادلة ذات شحنة معاكسة لشحنة المجموعة الثابتة
- من أجل تسريع حركية التبادل بين سطح صلب – سائل تصنع الريزينات على شكل حبيبات ناعمة ذات سطح تماس كبير (حبيبات أقطارها من 0.3ملم الى 1 ملم) حيث يمكن أن تبادل الشوارد المتحركة الموجودة على الريزين مع شوارد أخرى لها نفس الشحنة موجودة في المحلول
- إذا حوى الريزين على شوارد متحركة قابلة للتبادل الأيوني موجبة الشحنة يدعى الريزين كاتيوني (المبادلات الشرجبية) ومثل هذا الريزين يحتوي في تركيبه على مجموعات وظيفية حامضية مثل

المجموعة السلفونية R-SO3 أو المجموعة الكربوكسيلية R- COO وتمثل الصيغة الكيميائية للريزينات الكاتيونية كما يلي (R- SO3 H) أو (R- SO3 Na) وباختصار (RH) أو (R Na) حيث R شق عضوي معقد

- إما إذا حوى الريزين على شوارد متحركة قابلة للتبادل سالبة الشحنة يدعى الريزين أنيوني (المبادلات الشرسبية) التي يملك طورها المتحرك شوارد سالبة
- بعد فترة من عمل عمود التبادل تشبع الريزينات لذلك يتم تنشيطها حيث تنشط الرزينات القوية بفضل شوارد الهيدروجين وذلك بإضافة الحمض القوي مثل حمض الكبريت وتنشط الرزينات الأنيونية القوية بفضل شوارد الهيدروكسيد أو الأساس القوي بماءات الصوديوم
- إن التسلسل العادي في المعالجة هو التبادل ضمن الريزينات الكاتيونية وبالتالي تتشكل حموض معدنية ربما فيها حمض الكربون لذلك يلي عملية التبادل الكاتيوني عملية إزالة الغازات وبشكل أساسي CO2 قبل إنتقال الماء إلى سرير الريزينات الأنيونية حيث يحدث التبادل الشاردي مع الأنيونات
- يمكن أن تعالج مياه الصرف لإزالة الشوارد المعدنية بتمريرها على مبادلات شرجبية (ريزينات حمضية قوية) فقط كما في الشكل :



- وعند إزالة شوارد المعادن الثقيلة فقط دون الأنيونات فإنه يلي عملية إزالة الغازات عملية معادن كيميائية كخطوة إضافية وعندما يستنفذ سرير التبادل سعته يبدأ ظهور الشوارد غير المرغوبة في الماء الخارج من الريزينات وكلما أصبح الريزين أقدم ازداد تسرب الشوارد غير المرغوبة مع الماء لذلك يحسب الزمن اللازم لاستنفاذ الريزينات في نهاية المعالجة
- وللحصول على ماء ذي معدنية ضعيفة إنطلاقاً من مياه صرف يلزم إزالة الشوارد الموجبة والسالبة بتمرير الماء بالتتابع على مبادلات شرجبية ثم على مبادلات شرسبية ونحصل في النهاية على ماء خالي تقريباً من الشوارد المعدنية حسب التفاعلين التاليين :

$$R_C^- H^+ + M^+ \leftrightarrow R_C^- M^+ + H^+$$

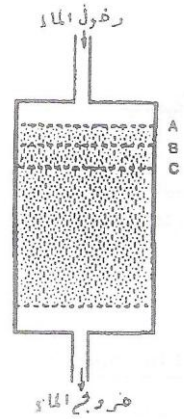
$$R_A^- oH^+ + X^+ \leftrightarrow R_A^- X^+ + oH^+$$

حيث RC و RA مبادلات شرجبية وشرسبية ويمكن تنشيط هذه المبادلات بالحموض والأسس وذلك لإعادة اسعمالها من جديد

- وفي الصناعات الفوتوغرافية تستعمل المبادلات الشرجبية لاسترجاع الفضة ويتم استخراج الفضة على شكل معقدات ثابتة
- بفضل التبادل الأيوني يمكن أن نحصل على ماء معالج لا يتعدى فيه تركيز العناصر المتبقية 0.1 ملغ/لتر

- سلوك عمود تبادل أيوني (شاردي)

- على الرغم من أننا نستطيع استخدام مسحوق من المبادلات الأيونية (الشاردية) في نظام ستاتيكي فإننا نستخدمها على شكل حبيبات في أعمدة تبادل أيوني (شاردي)
- يمكن تمثيل سلوك عمود مبادل أيوني بالشكل :



الشكل 5-7: سلوك عمود مبادل أيوني.

- لنفرض أن مياه الصرف الصناعي تجري من الأعلى إلى الأسفل حيث أن طبقة التبادل الأيوني سمكها AB تتقدم نحو الأسفل لتصبح في المنطقة BC حيث أن فوق هذه المنطقة يكون الريزين مشبع تماماً أي عند المستوى B يكون تركيز الأيون المطلوب تثبيته في مياه الصرف الصناعي C0 مساوي للتركيز البدائي
- عند الأنتقال من المستوى B الى المستوى C ينخفض تركيز الأيون المعد للتثبيت بالتدريج حتى يصل إلى الصفر عند المستوى C وتحت منطقة التبادل الفعالة تكون طبقة الريزين جديدة
- وبعد فترة من استخدام عمود المبادل الأيوني يقترب المستوى C من أسفل العمود وبالتالي نلاحظ ظهور تركيزات من الشاردة المطلوب تثبيتها في المياه الخارجة من عمود المبادل الأيوني وبالتالي تكون حالة الأنثقاب التي تشير إلى ضرورة إيقاف تشغيل الريزين وينبغي تنشيطه
- تعطى قدرة التبادل الكلية لسرير الريزين بالعلاقة التالية :

$$M = CR * A * (H - Z/2)$$

M : قدرة التبادل الكلية لعمود الريزين بمكافئات غرامية

CR: قدرة التبادل للريزين بمكافئ غرامي لكل متر مكعب من الريزين

H: ارتفاع سرير ريزين التبادل (متر)

A: مساحة سطح مقطع عمود التبادل (متر مربع)

Z: سمك طبقة التبادل الفعالة ويتم تحديد قيمتها مخبرياً

المعالجة الكيميائية لمياه الصرف الصناعي :

١ -التخثير الكيميائي

٢ -الترسيب الكيميائي

3- الأكسدة الكيميائية

4- الأختزال الكيميائي

١ -التخثير الكيميائي :

- إن الهدف من التخثير الكيميائي المتبوع بالترسيب هو التخلص من الجزيئات الغروانية ذات القطر الذي يتراوح بين (10^{-4}) سنتيمتر وحتى (10^{-7}) سنتيمتر وبشكل عام فإن الجزيئات الغروانية تظهر حركة بروانية في الماء وغالباً مايكون سطحها مشحوناً سلبياً وهكذا فإنها تتنافر عن بعضها وهي تشكل معلقاً مستقراً
- إذا أضيفت جزيئات غروانية أو أيونات غروانية ذات شحنة موجبة من أجل هدف الندف فإن قوة الجذب الفيزيائي سوف تتفوق على قوة التنافر الكهربائي مسببة تشكيل الندف

٢ -الترسيب الكيميائي :

س دورة

أ - مبدأ الترسيب الكيميائي للمعادن :

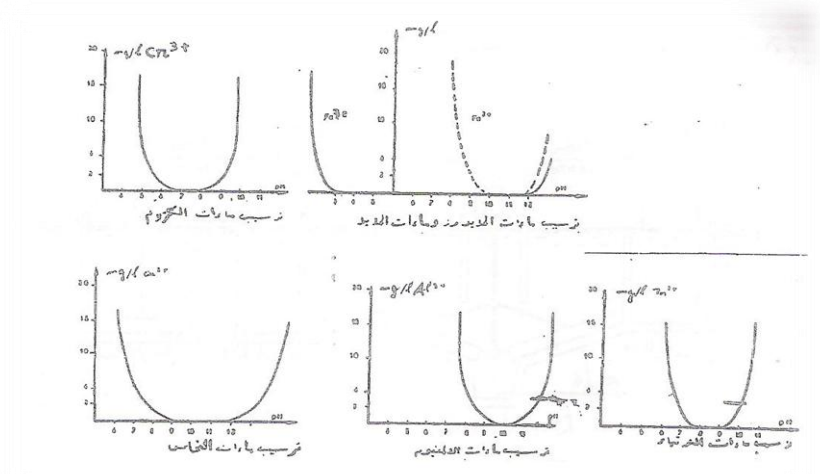
- للتخلص من عنصر سام محلول في مياه الصرف الصناعية يمكن أن نبحث عن تشكيل مركب قليل الأنحلال وقابل للترسيب حيث يمكن ترسيب المعادن على شكل كبريت المعدن ولكن الأسلوب الأكثر شيوعاً لترسيب المعادن هو تشكيل ماءات هذه المعادن
- يتم ذلك برفع قلوية الوسط لقيمة تتبع لنوعية المعدن حيث أن الزيادة العالية للقلوية تؤدي غالباً لتكوين معقدات منحلة
- نأخذ على سبيل المثال النحاس الموجود في مياه الصرف الصناعية حيث تترسب شوارد النحاس على شكل ماءات وبمردود جيد إعتباراً من PH=8 حسب التفاعل التالي :

$$Cu + 2oH^{-} \rightarrow Cu(oH)_2$$

وإعتباراً من PH=11 تقريباً يلاحظ انحلال الراسب ويتشكل معقد منحل في الماء حسب التفاعل التالي :

$$Cu(oH)_2 + 2oH^{-} \rightarrow (Cu(oH)_4)^{-2}$$

نلاحظ وجود مجال للPH يسمح بترسيب أمثل للشوارد المعدنية

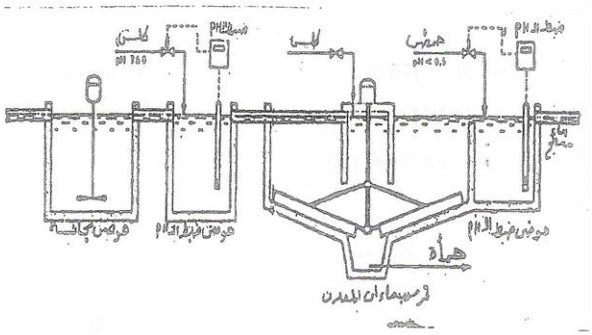


ولتحديد هذا المجال نلجأ إلى التجارب المخبرية على عينة واقعية ممثلة لمياه الصرف الصناعي ويبين الشكل منحنيات انحلالية أهم الماءات المعدنية تبعاً للPH من أجل محاليل تعتبر ممددة

تطبق هذه المنحنيات على مياه الصرف الصناعية التي لاتحوي إلا على المعدن المدروس حيث إن وج عدة ماءات معدنية في نفس الوقت يحسن من مردود الإزالة بفضل ظاهرة الترسيب المشترك

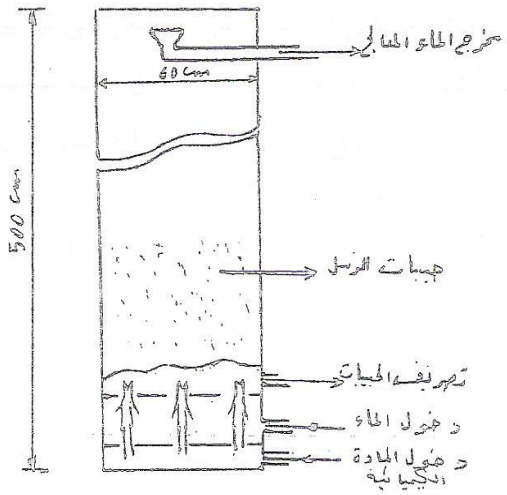
ب - تكنولوجيا الترسيب الكيميائي للمعادن الثقيلة :

- لقد عمت أساليب الترسيب منذ فترة طويلة لإزالة المعادن من مياه الصرف الصناعية الناتجة عن مغاطس شطف القطع المطلية غلفانياً وعن مغاطس مهاجمة القطع الخام المعدة للطلي والحاوية على أكاسيد معدنية
- حيث تخضع مياه الصرف الصناعية المعدة للمعالجة لإضافة المادة الكيميائية التي تسبب تكوين المركب القليل الإنحلال كماءات الكالسيوم أو ماءات الصوديوم من أجل الترسيب على هيئة ماءات المعدن حيث إن ماءات الكالسيوم أكثر استخداماً بسبب فعاليتها وانخفاض ثمنها أما ماءات الصوديوم أقل استخداماً لارتفاع ثمنها بالمقابل تنتج حجم أدنى من الحمأة



الشكل (6-3) : مكونات سلسلة معالجة تقليدية لإزالة الشوارد المعدنية.

- يمكن تطبيق الشوارد المعدنية باستخدام المفاعل الحبيبي المميع لمعالجة مياه الصرف الصناعية المحملة بتراكيز مختلفة من الشوارد المعدنية وضمن المجال 66000 -40 ملغ/لتر حيث أن كفاءة الإزالة بالمفاعل الحبيبي أعلى من تلك الناتجة عن استعمال سلسلة المعالجة التقليدية وقد ينخفض تركيز الشاردة المعدنية في محلول المعالج إلى حوالي 1ملغ/لتر ويبين الشكل أهم مكونات المفاعل الحبيبي المميع:



- بعد إضافة كربونات الصوديوم وماءات الصوديوم إلى مياه الصرف الصناعية المعدة للمعالجة ضمن المفاعل الحبيبي تتشكل مركبات قليلة الأنحلال مختلفة تبعاً للشاردة الموجودة في مياه الصرف الصناعية ووفق التفاعلات التالية:

1) $2Na_2\,co_3 + 6NaoH + 5Zn^{+2} \rightarrow Zn_5\,(Co_3)_2\,(\,oH)_6 + 10Na^+$

2) $Na_2\,co_3 + 2Na\,oH + 2Cu^{+2} \rightarrow Cu_2\,(Co_3)\,(\,oH)_2 + 4Na^+$

3) $2Na_2\,co_3 + 6NaoH + 5Ni^{+2} \rightarrow Ni_5\,(Co_3)_2\,(\,oH)_6 + 10Na^+$

لا تتم عملية الترسيب للمعادن إلا بعد تجاوز جداء الأنحلالية للمركب قليل الأنحلال

- تتراوح أبعاد الحبيبات المستخدمة كنوى للتبلور غير المتجانس بين 0.2 و0.5 مم أما سرعة دخول الماء فتتراوح بين 50 و120 م/سا لتأمين تحريك الحبيبات وتشكيل السرير المميع
- الكريات الناتجة عن المعالجة تكون شبه نقية ويمكن استغلالها لإنتاج المعدن أو تحل ضمن حمض كلور الهيدروجين فينطلق غاو ثاني أكسيد الكربون ويتشكل ملح مركز من كلوريد المعدن ولق استغلت كريات $(Zn_5\,(Co_3)_2\,(\,oH)_2)$ عن طريق عملية شبيهة مع كبريت التوتياء ZnS حيث ينتج أكسيد التوتياء ZnO الذي يستخدم كمادة خام في الصناعات الالكتروليتية .

٣ ـ الأكسدة الكيميائية :

- إن من أهم تطبيقات الأكسدة الكيميائية إزالة سمية السيانيد (CN^-) حيث تحوي مياه الصرف الصناعية الناتجة عن مغاطس السيانيد للطلي بالنحاس على تركيزات عالية من السيانيد السام حيث تتم إزالة سمية هذه المياه بواسطة أكسدة شوارد السيانيد CN إلى سيانات CNO التي تعتبر أقل سمية بكثير ويمكن أن تكمل المعالجة بتحويل شوارد السيانات إلى حمض الفحم H_2CO_3 وآزوت N_2
- تتحقق أكسدة شوارد السيانيد كيميائياً باضافة مركب مؤكسد وتتطلب الأكسدة زمن تماس كافي وأحياناً إضافة مادة محفزة
- تتم عملية الأكسدة في ظروف معينة وعند قيم محددة لل PH لذلك قد يستدعي تحقيق الأكسدة إضافة مركبات حمضية أو قلوية لإيصال ال PH إلى القيمة المثلى لتحقيق الأكسدة
- **يوجد عدة طرق للأكسدة الكيميائية للسيانيد:**
  - ١ ـ الأكسدة بواسطة مركبات الهيبوكلوريت
  - ٢ ـ الوحدة التكنولوجية لإزالة شوارد السيانيد
  - ٣ ـ الأكسدة بواسطة الماء الأكسجيني (بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2)
  - ٤ ـ الأكسدة بواسطة حمض كارو (H_2SO_5)

س دورة

أولاً : الأكسدة بواسطة مركبات الهيبوكلوريت

- تؤكسد شوارد الهيبو كلوريت ClO شوارد السيانيد إلى سيانات وفق التفاعل التالي:

$$CN^- + Clo^- \rightarrow CNo^- + Cl^- \quad \ldots\ldots (1)$$

- يمكن أن يتقدم تفاعل بوجود كمية كافية من الهيبوكلوريت وينتج عن ذلك شوارد هيدروجينوكربونات وآزوت وفق التفاعل التالي:

$$2CNo^- + 3Clo^- + H_2o \rightarrow 2HCo_3 + N_2 + 3Cl^- \quad \ldots\ldots (2)$$

- وبواسطة إضافة الهيبوكلوريت تؤكسد شوارد السيانيد الحرة CN الناتجة عن السيانيدات القلوية مثل NaCN بينما لا تؤكسد معقدات السيانيدات مع المعادن إلا في حالات خاصة
- تتطلب المرحلة الثانية من المعالجة (التفاعل 2) زمن تماس كبير وكميات فائضة من الهيبوكلوريت وتتميز أكسدة السيانيد بالهيبوكلوريت ببساطة الضبط والتحكم
- وفي الواقع يتم التفاعل (1) على مرحلتين :

تشكيل كلور السيانيد

$$CN^- + Cl\,o^- + H_2o \rightarrow CN\,Cl + 2oH^- \ldots\ldots(3)$$

تحويل كلور السيانيد إلى سيانات

$$CN\,Cl + 2oH^- \rightarrow CN\,o^- + Cl^- + H_2o \ldots\ldots (4)$$

- يحدث تفاعل المرحلة الأولى عندما يتجاوز PH الوسط القيمة 4.5 بينما لا يتم التفاعل (3) إلا إذا تجاوز ال PH قيمة 8.5 ويصبح التفاعل (4) سريعاً اعتباراً من قيمة PH=10
- ويعطى التفاعل الإجمالي لشوارد السيانيد مع هيبوكلوريت الصوديوم بالتفاعل التالي:

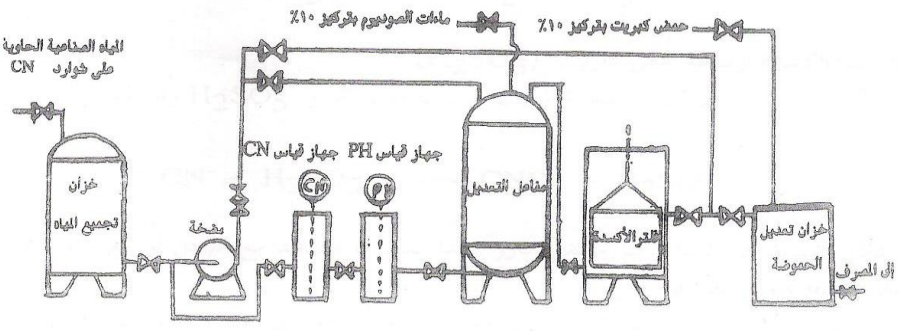
$$2CN^- + 5Na\,o\,Cl + H_2o \rightarrow 2Co_2 + N_2 + 2oH^- + 5Na\,Cl \ldots\ldots (5)$$

- أما عملياً نرفع قيمة PH المحلول إلى 11 عن طريق إضافة ماءات الصوديوم ثم يضاف محلول الهيبوكلوريت بهدف تجنب إنطلاق غاز كلور السيانيد CNCl السام جداً.

ثانياً:الوحدة التكنولوجية لإزالة شوارد السيانيد :

س دورة

- تجمع مياه الصرف الحاوية على شوارد السيانيد في خزان تجميع ثم تنقل إلى مفاعل التعديل الذي ترفع فيه قلوية المياه بإضافة ماءات الصوديوم 10% حتى يصبح ph=11 تم تضخ المياه إلى مفاعل آخر حيث تضاف المادة المؤكسدة (هيبوكلوريت الصوديوم) أو عبر فلتر يحوي مادة CaCl(OCl)
- تدور المياه بين الفلتر والمفاعل حتى ينخفض تركيز شوارد السيانيد إلى الحد المسموح به وفي هذه الظروف زمن التماس اللازم يقارب ال40دقيقة ثم تضخ المياه إلى خزان تجميع نهائي يتم فيه تعديل قيمة الph إلى حوالي 7.5 -7 كما في الشكل:



الشكل (6 -5) : مخطط الوحدة التكنولوجية لإزالة شوارد السيانيد.

- يتم قياس قيمة الPH وتركيز شوارد السيانيد إما بواسطة مسابر خاصة تعطي هذه القيم على مؤشرات وتركب على خطوط وحدة المعالجة أو يتم حساب كمية هيبوكلوريت الصوديوم اللازمة اعتماداً على التفاعل (5) :

$$2CN^- + 5Na\ o\ Cl + H_2o \rightarrow 2Co_2 + N_2 + 2oH^- + 5Na\ Cl$$

- أما في حال استخدام مركب CaCl(OCl) فإن حساب الكمية اللازمة منه يتم باعتماد التفاعل الإجمالي التالي:

$$2CN^- + 5CaCl\ (oCl) + H_2o \rightarrow 2Co_2 + N_2 + 2oH^- + 5Ca\ Cl_2 \ldots\ldots (6)$$ -

ثالثاً : الأكسدة بواسطة الماء الأكسجيني (بيروكسيد الهيدروجين H2O2)

- تؤكسد جزيئة بيروكسيد الهيدروجين H2O2 شاردة السيانيد إلى سيانات وفق التفاعل التالي:

$$CN^- + H_2So_5 \rightarrow CNo^- + H_2So_4$$

- وفي الواقع يمكن لجزيئة الماء الأكسجيني أكسدة كل السيانات وخاصة المعقدات المعدنية حتى تلك المعتبرة مقاومة مثل NiCN4 إذا توفر فائض كبير من الماء الأكسجيني وبوجود محفزات معدنية (نحاس ; توتياء) وقد تتم عملية تميأ لشاردة السيانات وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون والنشادر وفق التفاعل التالي:

$$CNo^- + 2H_2o \rightarrow Co_2 + NH_3 + oH^-$$ -

رابعاً : الأكسدة بواسطة حمض كارو (H2SO5)

س دورة

- تتم أكسدة شاردة السيانيد بواسطة حمض كارو H2SO5 وفق التفاعل:

$$CN^- + H_2So_5 \rightarrow CNo^- + H_2So_4$$

- عملياً يمكن أكسدة كل السيانات بحمض كارو عدا معقدات السيانيد مع النيكل أو مع الفضة إذا تتطلب أكسدتهما إضافة عنصر محفز كالنحاس
- يتبع زمن التفاعل لوجود عنصر محفز أو عدم وجوده ويتبع أيضاً للفائض في حمض كارو المتوفر ويقارب هذا الزمن 15دقيقة في ظروف العمل الصناعية
- يستخدم في طريقة الأكسدة بحمض كارو وعائين الأول يتم فيه إضافة ماءات الصوديوم للماء المراد إزالة شوارد السيانيد منه بغية رفع قيمة الPH الى القيمة المثلى والتي تساوي 9 بينما يتم في الوعاء الثاني تحقيق أكسدة شوارد السيانيد بإضافة حمض كارو

- إن الماء الخارج من وعاء الأكسدة يتمتع بقيمة PH معتدلة وتطبق طريقة الأكسدة لمعالجة مياه صرف صناعية تحوي تركيزات ضعيفة نسبياً وأدنى من 100ملغ/لتر

٤ -الأختزال الكيميائي:

من أهم تطبيقات الأختزال الكيميائي إزالة سمية الكروم السداسي (Cr) بتحويله إلى كروم ثلاثي (Cr) حيث تحوي العديد من مياه الصرف الصناعية وخاصة مياه صرف صناعة الطلي بالكروم السداسي العالي السمية حيث إذا أرجع إلى كروم ثلاثي يمكن ترسيبه وإزالته بسهولة على شكل ماءات الكروم Cr(OH)3

أ - الإرجاع بواسطة الكبريت الرباعي:

- تتم عملية إرجاع الكروم السداسي عن طريق إضافة الكبريت الرباعي الذي يلعب دور المرجع وفق التفاعل العام التالي:

$$2Cr^{6+} + 3S^{4+} \rightarrow 2Cr^{3+} + 3S^{6+}$$

- حيث إن فضلات مغاطس الطلي بالكروم ذات Ph حمضي فتحوي شوارد الكروم السداسي على شكل H2CrO4 ويضاف الكبريت الرباعي إلى الماء المعد للمعالجة على شكل هيدروجينو سلفيت الصوديوم NaHSO3 ويضاف حمض الكبريت أيضاً لإيصال PH إلى القيمة 2.5 وينتج عن تفاعل الهيدروجينوسلفيت وحمض الكبريت وفق التفاعل التالي:

$$2NaHSO_4 + H_2SO_4 \rightarrow 2H_2SO_3 + Na_2SO_4$$

- حيث يرجع حمض الكبريتيت شاردة الكرومات وفق التفاعل التالي:

$$2H_2CrO_4 + 3H_2SO_3 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 5H_2O$$

- ويمكن أن نكتب تفاعل الإختزال الإجمالي كما يلي:

$$4CrO_3 + 6NaHSO_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow 2Cr_2(SO_4)_3 + 6H_2O + 3Na_2SO_4$$

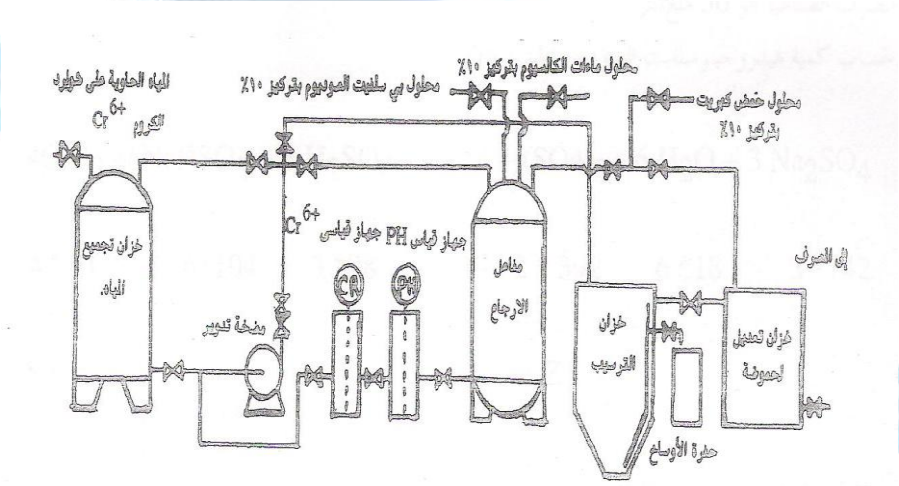
- أما ترسيب الكروم الثلاثي على شكل ماءات فيتم في وعاء ثاني نتيجة لتعديل الحموضة بإضافة ماءات الصوديوم أو ماءات الكالسيوم وفق التفاعل :

$$Cr_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Cr(OH)_3 + 3CaSO_4$$

ب -الوحدة التكنولوجية لإزالة الكروم السداسي:

- تجمع المياه الناتجة عن ورش الطلاء الغلفاني والحاوية على شوارد الكروم السداسي (Cr^{6+}) في خزان حديد مبطن بالبولي ايتلين وبعد إمتلاء الخزان تخلط محتوياته جيداً ثم تضخ إلى مفاعل التعديل والمصنع أيضاً من الحديد المبطن من البولي ايتلين وذلك إلى المستوى المحدد في المفاعل

- بعد ذلك يضخ إلى المفاعل محلول حمض الكبريت بتركيز 10% حتى تصل حموضة المياه إلى PH=2.5 بعد ذلك تدور محتويات المفاعل لمدة 15 دقيقة ويضاف محلول الهيدروجينوسلفيت الصوديوم بتركيز 10% حيث يتم إختزال شوارد(Cr^{6+}) إلى شوارد (Cr^{6+}) بعد ذلك تحرك محتويات المفاعل لمدة 30 دقيقة
- وبعد وصول تركيز شوارد (Cr^{6+}) المتبقية في ماء الصرف إلى الحدود المسموح بها (أقل من1ملغ/لتر) يضاف محلول ماءات الكالسيوم Ca(OH)2 بتركيز 10%حتى تصبح الحموضية PH= 8-9 حيث تتشكل ماءات الكروم وكبريتات الكالسيوم القليلة الأنحلال في الماء
- ثم تضخ محتويات المفاعل إلى حوض الترسيب حيث تسحب المياه من أعلاه وقد نعدل قلويتها بإضافة محلول حمض الكبريت بتركيز 10% حتى تصبح الحموضية PH= 7 أما الرواسب فتسحب من أسفل حوض الترسيب ليتم التخلص منها



- يتم حساب حمض الكبريت بتركيز 10% وكمية هيدروجينو سفيت الصوديوم بتركيز 10%إما بواسطة مسابر قياس تركب على خطوط وحدة المعالجة حتى تصبح الحموضة PH= 2.5 أو إعتماداً على التفاعل:

$$4Cro_3 + 6NaHSo_3 + 3H_2So_4 \rightarrow 2Cr_2(So_4)_3 + 6H_2o + 3Na_2So_4$$

ج -الإرجاع بواسطة الحديد الثنائي:

- تنجز عملية إرجاع الكروم السداسي بالحديد الثنائي وفق التفاعل العام التالي:

$$Cr^{6+} + 3Fe^{3+} \rightarrow Cr^{3+} + 3Fe^{3+}$$

- حيث يضاف الحديد الثنائي على شكل كبريتات الحديدوز FeSO4 الرخيص الثمن وقد يعترض هذه الطريقة عقبة أساسية وهي إنتاج حجوم كبيرة من حمأة ماءات الحديد Fe(OH)3

- ففي الوسط القاعدي PH=9 يتم التخلص من شاردة الكرومات وفق التفاعل التالي:

$$Na_2Cro_4 + 3FeSo_4 + 4NaoH + 4H_2o \rightarrow Cr_2(oH)_3 + 3Fe(oH)_3 + 3NaSo_4$$

- عملياً لا تستخدم طريقة الإرجاع بالحديد الثنائي إلا في حالة توفر كبريتات الحديدوز مجاناً أو في حالة خاصة عندما تحوي الفضلة السائلة على سيانيد CN وكروم سداسي (Cr^{6+}) في نفس الوقت

❖ المعالجة الكهركيميائية لمياه الصرف الصناعي:

١ ـ التطويف الكهربائي:

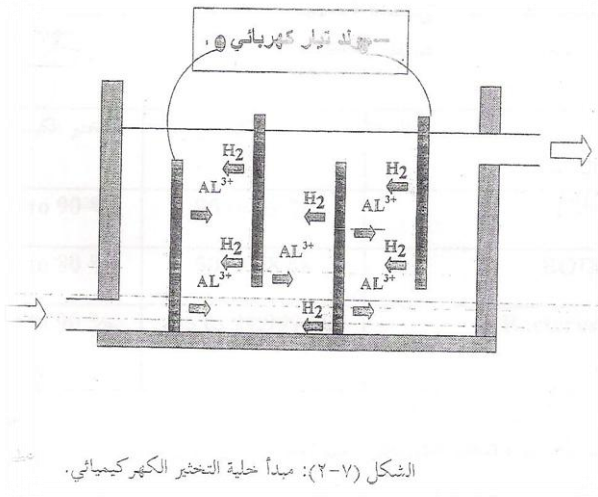
تستخدم في عملية الكترودات مقاومة للتحلل الكهربائي حيث تشكل الفقاعات الغازية المسؤلة عن تطويف الملوثات غير المنحلة بفضل التحليل الكهربائي للماء فعند الآنود (القطب الموجب) يتأكسد الماء وينتج الأكسجين وعند الكاتود (القطب السالب) يختزل الماء وينتج غاز الهيدروجين حسب التفاعلين الإلكتروكيميائيين التاليين:

$$2H_2o \rightarrow 4H^+ + o_2 + 4e^-$$

$$4H_2o + 4e^- \rightarrow 4oH^- + 2H_2$$

٢ ـ التخثير الكهربائي:

- يستند التخثير الكيميائي على مبدأ الأنود (القطب الموجب) المنحل حيث أنه المقصود تطبيق تيار كهربائي بشكل عام مستمر ضمن الكتروليت موجود في مفاعل يحتوي على الكترودات مثل الحديد أو الألمنيوم من أجل توليد في الموقع أيونات قابلة لإحداث تخثير وتشكيل ندف مع الملوثات التي يرغب بإزالتها
- يبين الشكل مبدأ التخثير الكهربائي مع الكترودات من الألمنيوم



الشكل (٧-٢): مبدأ خلية التخثير الكهركيميائي.

- أهم التفاعلات التي تحصل في حالة الكترودات من الألمنيوم هي:

عند القطب الموجب أكسدة معدن الالكترود

$$2Al \leftrightarrow 2Al^{3+} + 6e^{-}$$

عند القطب السالب اختزال الماء

$$6\,H_2o + 6e^{-} \leftrightarrow 3H_2 + 6oH^{-}$$

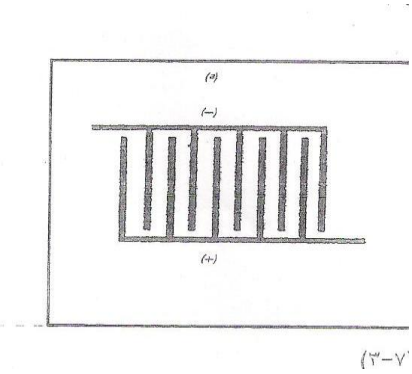
- يتم ضبط Ph الماءالمعد للمعالجة أو لايتم ضبطها عند قيمة محصورة بين 6و 8 أما كاتيونات (Al^{3+}) المتشكلة تتفاعل مع الماء لتعطي إما معقدات من هيدروكسيدات مبلمرة منحلة مثل AL6(OH)15 ;AL2(OH)2 ;AL2(OH)5 وغما معقد هيدروكسيد قليل الانحلال مثل AL(OH)3 حيث تلعب هذه العناصر دور المخثرات وتقود ليشكيل ندف يمكن إزالتها إما عن طريق التطويف أو عن طريق الترسيب
- إن استخدام الكترودات من الحديد يقود إلى تشكيل أيونات الحديدي (Fe^{2+}) التي يمكن أن تشكل إما ماءات الحديدي Fe(OH)2 أو ماءات الحديد Fe(OH)3 بعد عملية اكسدة من قبل الأوكسجين المنحل في الماء وأما التفاعل عند القطب السالب فيبقى نفسه كما في حالة الكترودات من الألمنيوم

تصنيف أجهزة التخثير الكهربائي حسب نظام قطبية الالكترودات :

- يوجد انماط مختلفة لوحدات المعالجة بالتخثير الكهربائي المخبرية والرائدة حيث تتراوح من مفاعلات بسيطة إلى مفاعلات متطورة جداً حيث أن التصميم الأكثر انتشاراً هو المفاعل الحاوي على الكترودات معدنية بشكل صفائح حيث يؤثر الشكل الهندسي للمفاعل على مسار الفقاعات الغازية وكفاءة التطويف وتشكل الندف وأسلوب تدفق السائل
- بشكل عام تصنف معظم المفاعلات الكهركيميائية لنظامين وذلك وفقاً لقطبية الالكترودات :

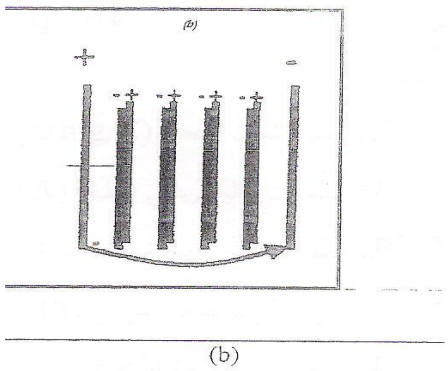
١ - نظام أحادي القطبية :

توضع الالكترودات بشكل أزواج في خلية التخثير الكهربائي وتوصل على التوازي بمصدر التيار الكهربائي كما هو مبين بالشكل



(٣-٧)

٢ -النظام ثنائي القطبية :



- توضع الالكترودات بشكل متسلسل ضمن خلية التخثير الكهربائي بحيث يتم وصل الالكترودين الطرفيين فقط بمصدر التيار الكهربائي وبالتالي تكون لباقي الالكترودات جهتين مشحونتين :

حيث أن الجهة المقابلة للمصعد تكون شحنتها سالبة وبالتالي فهي تعمل كمهبط أما الجهة المقابلة للمهبط نكون شحنتها موجبة وبالتالي فهي تعمل كمصعد

- لقد تبين من خلال الأبحاث التي أجريت على أن الالكترودات ثنائية القطب أفضل من مقارنة مع الالكترودات أحادية القطبية وذلك لن عملية توصيل الالكترودات ثنائية القطبية أسهل حيث يتم وصل الالكترودين الطرفيين فقط كما أن المساحة المصعدية تكون اكبر وبالتالي نحصل على تركيز لأيونات المعدن الفعالة المنحلة وهذا يؤدي لتحقيق كفاءة أعلى في المعالجة وفقاً لتركيز الملوثات
- عندما يعمل جهاز التخثير بشكل مستمر فإن زمن مكوث المياه في الجهاز يحدد بقسمة سعة الجهاز على تدفق المياه الداخلة للجهاز

- مزايا التخثير الكهربائي:

١ - يتطلب التخثير الكهربائي معدات وتجهيزات بسيطة وسهلة التشغيل مع حرية عمل كافية للتعامل مع معظم المشاكل المصادفة في سير العمل والتشغيل

٢ - تتميز المعالجة باستخدام هذه الطريقة بتكاليف إنشاء وتشغيل منخفضة وهي تحتاج مساحات صغيرة لإنشائها

٣ - تعطي مياه الصرف المعالجة بالتخثير الكهربائي مياه مستساغة ونظيفة وعديمة اللون والرائحة

٤ - لا كيميائيات حيث تتجنب عملية التخثير الكهربائي استعمال الكيميائيات ولذلك ليس هناك مشكلة من معادلة الكيميائيات الزائدة عن الحد وليس هناك احتمال للتلوث الثانوي الناتج عن المواد الكيميائية المضافة بتركيز عالي كما عندما يستخدم التخثير الكيميائي لمياه الصرف

٥ - إن استخدام هذه المعالجة لا يؤدي لزيادة كمية الشوارد المعدنية المنحلة في المياه المعالجة

٦ - إن حجم الرواسب الناتجة عن المعالجة بطريقة التخثير الكهربائي صغير وهو أقل بنسبة (2-3) مرات من حجم الرواسب الناتجة عن المعالجة بطريقة التخثير الكيميائي

٧ - تميل الحمأة المتشكلة بالتخثير الكيميائي لأن تكون سهلة إزالة الماء لأنها تتألف بشكل رئيسي من هيدروكسيدات وعلاوة على ذلك فإنها تقنية منخفضة الأنتاج للحمأة

٨ - الندف المتشكلة بالتخثير الكهربائي هي مشابهة للندف الكيميائية غير أن ندف التخثير الكهربائي EC تميل لأن تكون أكبر حجماً وتحتوي ماء مرتبط اقل مقاومة للحمض واكثر ثباتاً وبالتالي يمكن فصلها بالترشيح بشكل أسرع

٩ - ينتج التخثير الكهربائي تدفقاً معالجاً ذو محتوى أجسام منحلة كلية TDS أقل بالمقارنة مع المعالجات الكيميائية حيث إذا أعيد استخدام هذا الماء يسهم المعدل المنخفض لل TDS بتخفيض كلفة استرداد المياه

١٠ - إن لعملية التخثير الكهربائي ميزة إزالة الجزيئات الغروانية الأصغر حجماً لأن الحقل الكهربائي المطبق يطلقهم في حركة أسرع مسهلا بذلك التخثير

١١ - فقاعات الغاز المتولدة خلال التحليل الكهرليتي يمكن أن تحمل الملوث لأعلى المحلول حيث يمكن أن تكون أكثر سهولة لأن تركز وتجمع ثم تزال

١٢ - تضبط العمليات الكهرليتية في خلية التخثير الكهربائي ويسيطر عليها كهربائياً وبدون اجزاء متحركة مما يتطلب صيانة أقل

١٣ - يمكن أن تستخدم تقنية التخثير الكهربائي بشكل ملائم في المناطق الريفية حيث الكهرباء غير متوفرة ولذلك تلصق ألواح شمسية موصولة بوحدة المعالجة يمكن أن تكون كافية لإنجاز العملية

١٤ - تتميز هذه الطريقة بتحقيق كفاءة عالية حيث تزيل عدد كبير جداً من الملوثات وتعالج الملوثات التضاعفية

عقبات التخثير الكهربائي :

١ - تنحل الالكترودات في مجاري مياه الصرف كنتيجة للأكسدة وتحتاج لأن تستبدل بالنظام

٢ - قد يكون استخدام الكهرباء في العديد من الأماكن مكلف

٣ - يمكن أن يتشكل على الكاتود (القطب السالب) غلاف أكسيد كتيم غير نفوذ بالماء يؤدي إلى الإقلال من فعالية وحدة التخثير الكهربائي

٤ - الناقلية العالية لمعلقات مياه الصرف مطلوبة

٥ - المعالجة بالتخثير الكهربائي هي فعالة بشكل فوق العادة في إزالة مجال واسع من الملوثات فإنها ليست دواء عام لكل أمراض مياه الصرف كمثال على ذلك ال BOD المنحل الناتج عن ملوثات كالمذيبات لاتزال مباشرة بالتخثير الكهربائي

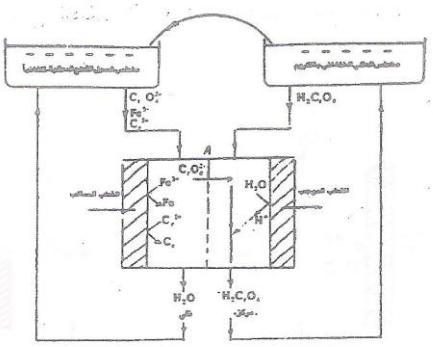
- **الفرز الغشائي الكهربائي (الديلزة الكهربائية) :**

- الفرز الغشائي الكهربائي هي تقنية تسمح بنقل الشوارد تحت تأثير حقل كهربائي مطبق بين الكترودين من المياه إلى محلول يزداد فيه تركيز الشوارد
- تتكون وحدة الفرز الغشائي الكهربائي من الكترودين توضع بينهما بالتناوب أغشية منفذة للشوارد السالبة وأغشية منفذة للشوارد الموجبة
- وبتطبيق التيار الكهربائي فإن الشوارد الموجبة الموجودة في مياه الصرف تنتقل باتجاه الالكترود السالب وتعبر الغشاء المنفذ للشوارد الموجبة K أما الشوارد السالبة فإنها تنتقل باتجاه الالكترود الموجب وتعبر الغشاء المنفذ للشوارد السالبة A مما يؤدي إلى زيادة تراكيز المحاليل المركزة في الحجرات

س دورة

✓ **استرجاع مياه صرف مغاطس الطلي بالكروم وتدويرها:**

- تعتبر مياه الصرف الصناعية الناتجة عن صناعة الطلي بالكروم شديدة السمية فهي تحتوي على كروم سداسي على شكل حمض الكروم إضافة لوجود شوائب من الكروم الثلاثي (Cr^{3+}) والحديد الثلاثي حيث يمكن معالجة مياه صرف هذه الصناعة بقصد إعادة تدويرها باستخدام تقنية الفرز الغشائي الكهربائي (التحليل الكهربائي)
- تعتمد هذه التقنية على استعمال خلايا معالجة كهركيميائية ذات قطبين ومفصولة بواسطة أغشية منفذة للشوارد نتيجة لتطبيق فرق كمون كهربائي بين قطبي الخلية حيث تحدث عمليات أكسدة بجوار القطب الموجب وعمليات أختزال بجوار القطب السالب إضافة إلى هجرة الشوارد عبر الغشاء في حالة معالجة مياه صرف الطلي بالكروم حيث نستخدم خلايا كهركيميائية مفصولة بواسطة أغشية منفذة للشوارد السالبة
- حيث تمرر مياه الصرف الصناعية الفضلات الناتجة عن مغطس غسيل وشطف القطع المطلية بالكروم ضمن الحجرة الحاوية على القطب السالب حيث تختزل هذه الحجرة شاردتا (Cr^{3+}) و(Fe^{3+}) على شكل معدن راسب على القطب السالب ويمكن استرجاعه أما الشوارد السالبة (Cro_4^{-2}) الموجودة في هذه الفضلات فتهاجر عبر الغشاء المنفذ للشوارد السالبة إلى الحجرة الحاوية على القطب الموجب



الشكل (7-6): مخطط المعالجة الكهركيميائية لفضلات صناعة الطلي بالكروم.

- ومع أستعمال مغطس الطلي الغلفاني بالكروم يحدث إنخفاض في تركيز حمض الكروم المسؤول عن الطلي ويمكن رفع تركيز حمض الكروم في مغطس الطلي بامرار محلوله ضمن الحجرة الحاوية على القطب الموجب ويتم في هذه الحجرة الحاوية على القطب الموجب إضافة لوصول شوارد (Cro_4^{-2}) من الحجرة الحاوية على القطب السالب أكسدة كهركيميائية للماء وتشكيل لشوارد الهيدرجوجين وفق التفاعل التالي:

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2o$$

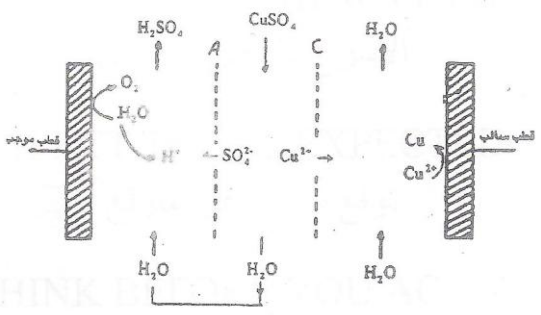
- إن وجود شوارد الهيدروجين (H) والكرومات (Cro_4^{-2}) يرفع تركيز حمض الكروم في المحلول الخارج من الحجرة الحاوية على القطب الموجب لذلك يعاد تدوير هذا المحلول إلى مغطس الطلي بالكروم

أما المحلول الخارج من الحجرة الحاوية على القطب السالب فيكون قد خلص من الشوارد الموجودة فيه (Fe^{3+} ؛Cr^{3+} Cro_4^{-2}) لذلك يعاد تدويره إلى مغطس غسيل شطف القطع المطلية لأنه أصبح ماء نقي .

❖ استرجاع فضلات مغاطس شطف قطع النحاس المصقولة بحمض الكبريت:

- تتكون فضلات مغاطس شطف القطع النحاسية المصقولة بحمض الكبريت من محاليل كبريتات النحاس حيث يمكن استرجاع فضلات هذه المغاطس وإعادة استعمالها باستخدام خلايا كهركيميائية تحوي قطبان كهربائيان وغشاءان منفذان للشوارد حيث الأول منفذ للشوارد الموجبة يوضع من جهة القطب السالب أما الثاني فهو منفذ للشوارد السالبة يوضع من جهة القطب الموجب

- تتألف الخلية الكهركيميائية هذه من حجرة آنودية (تحوي القطب الموجب) ومن حجرة كاتودية (تحوي القطب السالب) ومن حجرة متوسطة تقع بين الغشاءان المنفذان للشوارد



الشكل (7-7) : مخطط الخلية الكهركيميائية المستعملة لمعالجة محاليل شطف قطع النحاس المزالة الأكاسيد بالحمض

- تعالج فضلات مغاطس شطف القطع المصقولة بإمرارها ضمن الحجرة المتوسطة للخلية الكهركيميائية ونتيجة لتطبيق فرق كمون كهربائي بين قطبا الخلية تهاجر شوارد النحاس من الحجرة المتوسطة إلى الحجرة المهبطية بعبورها للغشاء المنفذ للشوارد الموجبة وتختزل هذه الشوارد على القطب السالب على شكل معدن حر يمكن استرجاعه وفق التفاعل التالي:

$$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$$

أما شوارد الكبريتات فتهاجر من الحجرة المتوسطة إلى الحجرة الانودية بعبورها للغشاء المنفذ للشوارد السالبة إضافة لوصول شوارد الكبريتات إلى الحجرة الانودية حيث تتشكل شوارد هيدروجين عن طريق الأكسدة الكهركيميائية للماء وفق التفاعل التالي :

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}$$

إن إضافة شوارد الكبريتات إلى الحجرة الانودية تتشكل شوارد هيدروجين عن طريق الأكسدة الكيميائية للماء وفق التفاعل التالي :

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}$$

نتيجة لهجرة شوارد الكبريتات الى الحجرة الانودية ولهجرة شوارد النحاس الى الحجرة الكاتودية يكون المحلول الخارج من الحجرة المتوسطة قد تخلص من الشوارد وأصبح ماء نقي يمكن إدخاله إلى الحجرة الانودية ليخرج منها ذلك غني بحمض الكبريت ويمكن استعماله في مغاطس صقل القطع النحاسية .

- أما المحلول الخارج من الحجرة الكاتودية فهو ماء نقي نتيجة لإزالة شوارد النحاس المهاجرة من الحجرة المتوسطة على شكل راسب على القطب السالب . وبالتاي يمكن إعادة تدوير الماء الخارج من الحجرة المهبطية في مغاطس قطع النحاس المطلية .

----- تم بعونه تعالى -----

ENV-GRO.COM