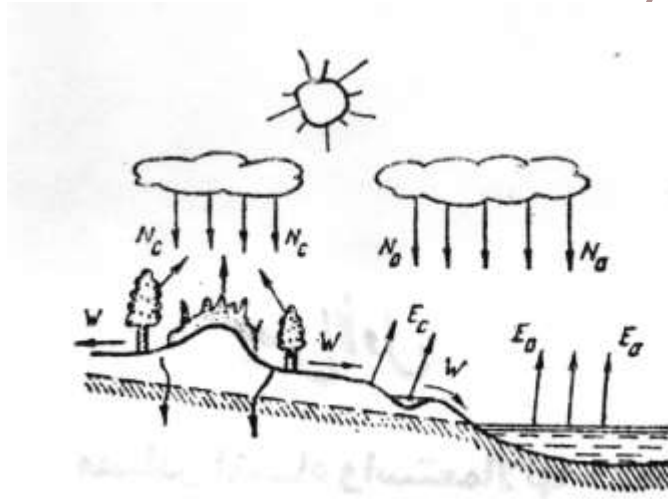


## مقرر محطات معالجة مياه الشرب

### الفصل الأول: تقويم نوعية المياه الطبيعية

يرجع اهتمام الإنسان بنوعية الماء الذي يشربه إلى أكثر من خمسة آلاف عام. ونظراً للمعرفة المحدودة في تلك العصور بالأمراض ومسبباتها فقد كان الاهتمام محصور في الصفات المحسوسة للماء من لون وطعم ورائحة فقط.

وتعد المياه الجوفية أقل تلوثاً بالمواد المعلقة والغروانيات مقارنة مع المياه السطحية لأن رشح مياه الهطولات عبر طبقات التربة يؤدي إلى إزالة الكثير من هذه الملوثات ( أنظر الشكل (١-١) ).



الشكل (١-١) : الدورة الهيدرولوجية للماء.

و في عام ١٨٠٧م أنشأت محطة لمعالجة المياه في مدينة جلاسكو الأستكلندية، وتعد هذه المحطة من أوائل المحطات في العالم وكانت تعالج فيها المياه بطريقة الترشيح ثم تنقل إلى المستهلكين عبر شبكة أنابيب خاصة. وعلى الرغم من أن تلك المساهمات تعد تطوراً تقنياً في تلك الفترة إلا أن الاهتمام آنذاك كان منصباً على نواحي اللون والطعم والرائحة، وكانت المعالجة باستخدام المرشحات الرملية المظهر السائد في تلك المحطات حتى نهاية القرن التاسع عشر.

ومع بداية القرن العشرين وما شهدته من تطور صناعي وتقني، وزيادة معدلات استهلاك المياه، فضلاً عن اكتشاف العلاقة بين مياه الشرب وبعض الأمراض السائدة، فقد حدث تطور سريع في مجال تقنيات المعالجة حيث أضيفت العديد من العمليات التي تهدف بشكل عام إلى الوصول بالمياه إلى درجة عالية من النقاء، بحيث تكون خالية من العكر وعديمة اللون والطعم والرائحة ومأمونة من النواحي الكيميائية والحيوية. وقد شهدت الآونة الأخيرة تغيرات جذرية في تقنيات المعالجة، ترجع في كثير من الأحوال إلى النقص الشديد الذي تعانيه العديد من دول العالم في المياه الصالحة للشرب أو نتيجة للتلوث الشديد في مصادر المياه كما هو الحال في أكثر الدول الصناعية.

وقد أدت هذه العوامل إلى البحث عن مصادر جديدة لمياه الشرب، والبحث عن تقنيات معالجة متقدمة، بالإضافة إلى تقنيات المعالجة التقليدية.

وتختلف عمليات معالجة مياه الشرب باختلاف مصادر تلك المياه ونوعيتها والمعايير والمواصفات الموضوعية لها. وتجدر الإشارة إلى أن التغير المستمر لمعايير و مواصفات المياه يؤدي أيضاً في كثير من الأحيان إلى تغير عمليات المعالجة المطلوبة، حيث أن المعايير والمواصفات يجب تحديثها دوماً نتيجة التغير المستمر في تركيز بعض محتويات المياه، والتطور في تقنيات تحليل المياه وتقنيات المعالجة، واكتشاف محتويات جديدة لم تكن موجودة في المياه التقليدية، أو كانت موجودة ولكن لم يتم الانتباه إلى وجودها أو مدى معرفتها في السابق، أو اكتشاف بعض المشكلات التي تسببها بعض المحتويات الموجودة أصلاً في الماء أو التي نتجت عن بعض عمليات المعالجة التقليدية. ومعالجة المياه السطحية تختلف عن معالجة المياه الجوفية، حيث تحتوي المياه السطحية (المياه الجارية على السطح) على نسبة قليلة من الأملاح مقارنة بالمياه الجوفية التي تحتوي على نسب عالية منها، وهي بذلك تعد مياه يسهة (غير عسرة)، وبالتالي فإن عمليات معالجة المياه السطحية تهدف بصورة عامة إلى إزالة المواد العالقة التي تسبب ارتفاعاً في العكر وتغيراً في اللون والرائحة، أما معالجة المياه الجوفية فقد تتضمن أيضاً عمليات إزالة عسرة.

## ١-١-١ - معايير مياه الشرب

مع التطور الشامل للعلوم والتقنية منذ بداية القرن العشرين واكتشاف العلاقة بين مياه الشرب وبعض الأمراض السائدة فقد حدث تطور سريع في مجال تقنيات المعالجة حيث أضيفت العديد من العمليات التي تهدف بشكل عام إلى الوصول بالمياه إلى درجة عالية من النقاء، بحيث تكون ذات عكارة ضعيفة جداً وعديمة اللون والطعم والرائحة ومأمونة من النواحي الكيميائية والحيوية.

وظهرت معايير لتحديد صلاحية المياه للشرب، ويبين الجدولان (١-١) و (٢-١) المعايير الفيزيائية والكيميائية لمياه الشرب .

الجدول ( ١-١ ): المعايير الفيزيائية والكيميائية لمياه الشرب حسب WHO وحسب توجيهات المجموعة الاقتصادية الاوربية في ١٥ تموز ١٩٨٠ م .

معايير مجلس المجموعة الأوربية		معايير منظمة الصحة العالمية		الوحدات	نوع التحليل
التركيز الأعظمي المسموح به	التركيز المقبول	التركيز الأعظمي المسموح به	التركيز المقبول		
25	١٢	12	٧	درجة مئوية	الحرارة
$6.5 \geq PH \leq 8.5$		$6.5 \geq PH \geq 9.2$		-	PH
20	١	٢٠	٥	درجة	اللون
مقبول	0	مقبول	-	-	الطعم والرائحة
10	1	25	٥	NTU	العكارة
١٥٠٠	٥٠٠	1500	٥٠٠	ملغ / ل	الخلاصة الجافة
٠.٥	٠.٠٥	0	٠	ملغ / ل	الأمونيوم + NH4
٠.١	٠	0	٠	ملغ / ل	النترتت No2-
٥٠	٢٥	15	١٠	ملغ / ل	النترات- No3
٢٥٠	٢٥	600	٢٠٠	ملغ / ل	الكوريد Cl-
٠.٠٧		1.2	٠.٥	ملغ / ل	الفلور F-
-	-	1	٠.٥	ملغ / ل	فوسفات Po43-
٢٥٠	٢٥	400	٢٠٠	ملغ / ل	كبريتات So42-
٥٠	٣٠	١٥٠	٥٠	ملغ / ل	المغنزيوم Mg2+
	١٠٠	٢٠٠	١٠٠	ملغ / ل	كالمسيوم Ca2+
١٥٠	٢٠	-	-	ملغ / ل	الصوديوم Na+
١٢	١٠	-	-	ملغ / ل	بوتاسيوم K+
٠.٢	٠.٠٥	٠.٥	٠.٣	ملغ / ل	الحديد Fe3+
٥ لصنبور المستهلك	٠.١	١٥	٥	ملغ / ل	النوتياء Zn2+
٣ لصنبور المستهلك	٠.١	١.٥	٠.٥	ملغ / ل	النحاس Cu2+
٠.٠٥	٠.٠٢	٠.٥	٠.١	ملغ / ل	المغنيز Mn2+
٠.٢	٠.٠٥	-	-	ملغ / ل	أللمنيوم Al

الجدول ( ١-٢ ) :التركيزات العظمى المسموح بها من المواد السامة في مياه الشرب حسب معايير منظمة الصحة العالمية WHO و حسب توجيه المجموعة الأوروبية بما اعتمده المجلس في ١٥ تموز ١٩٨٠.

التركيز الأعظمي المسموح به		الواحدة	المادة
حسب المجموعة الاقتصادية الأوروبية	حسب منظمة الصحة العالمية WHO		
٠.٠٥	٠.٠٥	ملغ / ل	As زرنخ
٠.٠٥	-	ملغ / ل	Ag+ فضة
٠.٠٠٥	٠.٠١	ملغ / ل	Cd++ كادميوم
٠.٠٥	٠.١	ملغ / ل	Cn- سيانيد
٠.٠٥	٠.١	ملغ / ل	Pb2+ رصاص
٠.٠٠١	٠.٠٠١	ملغ / ل	Hg+ زئبق كلي
٠.٠١	٠.٠٥	ملغ / ل	Se+ سيلينيوم
٠.٠٥	٠.٠٥	ملغ / ل	Cr6+ كروم

## ١ - ٢ - أخذ العينات المائية Sampling Water

تأخذ عينات إجراء التجارب من الأحواض المائية المفتوحة كالبحيرات العادية وبحيرات السدود من نفس المكان وعلى نفس العمق حيث قرر بناء المآخذ المائي اللازم.

لا بد من أخذ العينات المائية بشكل متكرر لمعرفة وتقدير التغيرات الناشئة على تركيب الماء بسبب التلوث والهطولات المطرية الشديدة.

في حالة البحيرات يفضل اختيار عدة نقاط لأخذ العينات وعلى أعماق مختلفة لملاحظة عدم التجانس الأفقي والعمودي.

أما في حالة أخذ عينة من بئر تسحب مياهه بالضخ فينبغي تشغيل المضخة لمدة ١٢ ساعة متواصلة، ثم أخذ عينة الماء، وعند أخذ عينة من صنوبر ماء لا بد من ترك الماء ينساب لمدة ١٥ دقيقة قبل أخذ العينة حتى تكون العينة ممثلة لمياه الخزان المركزي.

بعد أخذ العينة يتم نقلها في أوعية نظيفة من البولي إيثيلين أو من الزجاج يتم تنظيف الأوعية المعدة لنقل العينات بحمض الآزوت الممدد بغية إزالة جميع الرواسب على الجدران الداخلية ثم يغسل الوعاء بالماء المقطر بشكل جيد حتى إزالة الحموضة. يجفف الوعاء بعد الغسل بشكل تام لإعداده للاستعمال.

لتحديد خواص ماء تحتاج عادة لعينة بحجم يتراوح بين ٣ و ٥ لترات. يمكن إجراء قياسات درجة الحرارة، الرائحة و الطعم، وتركيز الأوكسجين المنحل، وال PH، والناقلية الكهربائية، والعكارة في موقع أخذ العينة، أما باقي التحاليل فتجري في المختبر لذلك يلزم زمن لنقلها.

مع مرور الزمن تطراً تفاعلات كيميائية وبكتريولوجية تقود إلى ترسبات ثانوية بسبب تغير التكافؤ والامتزاز على سطح الوعاء الداخلي، والتفكك الضوئي، وتحلل بيولوجي. لذلك لابد من استخدام مساعدات الحفظ مع نقل العينة في شروط من الحرارة والظلمة مناسبة. وينبغي الحرص على إجراء التحاليل خلال أقصر فترة ممكنة حتى لا يطرأ على العينات تغييرات في الخواص الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية، وإلا فتحفظ عينة الماء في براد بدرجة حرارة ٤ مئوية ولمدة لا تزيد على ٢٤ ساعة. ويمكن تأخير إنجاز بعض التحاليل الكيميائية كالمعادن الثقيلة بشرط تجميد العينة بإضافة حمض الآزوت حتى يصبح الأس الهيدروجيني أقل من ٢.

ويتبع عدد العينات التي يلزم تحليلها شهرياً من المياه الخارجة من محطة المعالجة إلى شبكة الإمداد العامة لعدد سكان المدينة أو البلدة المستهلكين للمياه كما في الجدول (١-٣).

الجدول (١-٣): عدد عينات المياه المطلوب تحليلها شهرياً بدلالة عدد السكان المستهلكين للماء (بالآلاف).

عدد السكان	١-٢	١٠	٥٠	١٠٠	٩٠٠	٢٠٠٠	٤٥٠٠
عدد العينات	٢	١٢	٥٠	٩٥	٣٠٠	٤٠٠	٥٠٠

### ١-٣-٣- منشآت مآخذ المياه السطحية Surface Water intakes

وهي منشآت توضع ضمن مصدر المياه السطحية أو على ضفافه لتأمين وصول الماء إلى محطات الضخ أو محطة المعالجة بالكميات المطلوبة وضمن كل الظروف، وبأفضل نوعية موجودة .

#### ١.٣.١ عوامل اختيار موقع المآخذ المائي ونوعه

ينبغي أن يتم اختيار موقع المآخذ ونوعه بعناية وذلك بالاعتماد على العوامل التالية:

١. تغيرات منسوب المياه في مصدر المياه السطحية على مدار السنة لضمان أن يكون المآخذ دائماً تحت سطح الماء بحيث لا تتوقف عملية سحب الماء.

٢ . أن يستوعب المآخذ الكميات المائية المستقبلية بعد تقدير عدد المستفيدين من المياه خلال عمر مشروع الإمداد بالمياه .

٣ . أن يوضع المآخذ قبل أي مصدر للتلوث بالنسبة لجهة الجريان .

٤ . أن يكون موقع المآخذ بعيداً عن المدينة بمسافة تسمح بتوسعها مستقبلاً .

٥ . تزويد المآخذ بمصاف لمنع دخول الشوائب الخشنة وحماية محطات الضخ ومحطة المعالجة .

٦ . أن يكون المآخذ على بعد لا يقل عن ٠.٧ م من قاع المصدر المائي ومن جوانبه لعدم سحب الرواسب .

٧ . يفضل أن تكون فتحات المآخذ على عمق لا يقل عن ٠.٧ م من سطح الماء لتجنب سحب الزيوت والأجسام الطافية .

٨ . وضع المآخذ في مكان مستقيم من الجرى لمنع النخر أو الإطماء .

٩ . تأمين وجود فراغ كاف لإجراء الصيانة الدورية وتنظيف منشأة المآخذ وإصلاحها .

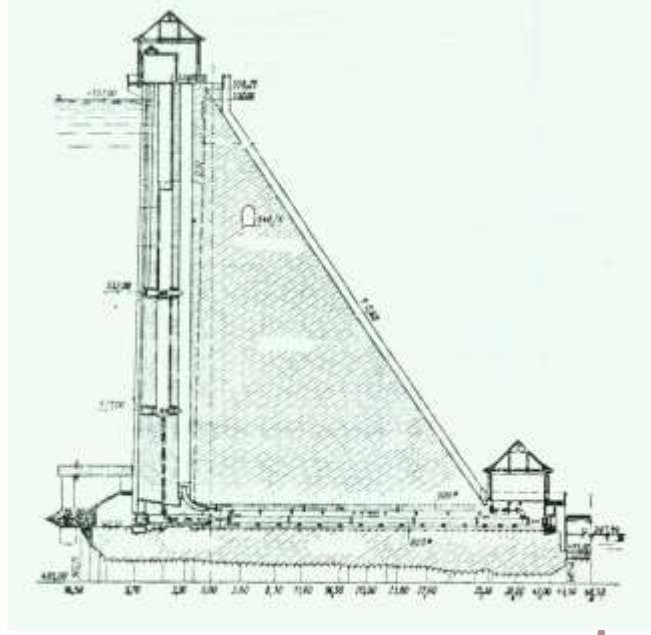
١٠ . أن لا يعطل طريق الملاحظة إذا كان المستودع المائي يستخدم للملاحة .

### ١ . ٣ . ٢ . أنواع مآخذ المياه السطحية

من أهم أنواع المآخذ المياه السطحية نذكر: المآخذ البرجي، المآخذ المغمور، المآخذ على الضفة، المآخذ الطافي، والمآخذ الأنبوبي .

### ١ . ٣ . ٢ . ١ . المآخذ البرجي Tower intake

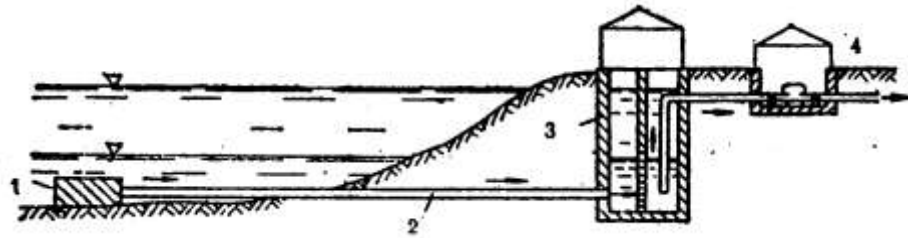
يستعمل هذا النوع من المآخذ في البحيرات العذبة وبحيرات السدود المتغيرة المناسيب ويوضع عادة في أعماق موقع من البحيرة. كما يمكن أن يضم لجسم السد ويتألف من برج يبنى بعيداً عن الشاطئ، تدخل إليه المياه من فتحات موجودة على مناسيب مختلفة، كما في الشكل (٣.١) للتحكم بتوعية المياه الداخلة وموازنته مع اختلاف منسوب المياه ضمن البحيرة .



الشكل ( ٣ . ١ ) : مأخذ برجى جزء من جدار سد.

### Submerged intake المأخذ المغمور ٢ . ٢ . ٣ . ١

ينشأ على الأنهار ذوات الضفاف قليلة الانحدار حيث يعمر الشراق ضمن الماء في مجرى النهر، ويمتد أنبوب السحب ليصل إلى بئر التجميع عند حافة النهر ومنه إلى محطة الضخ (الشكل ٣.١).

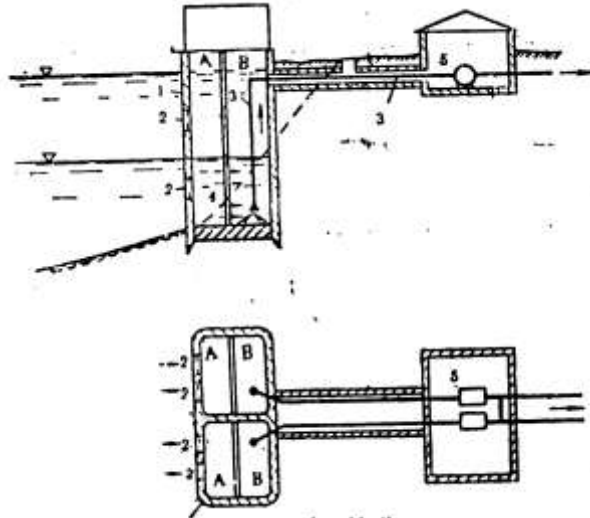


١- الشراق ٢- أنبوب السحب ٣- بئر التجميع ٤- محطة الضخ

الشكل ( ٣ . ١ ) : مأخذ مغمور.

### ١.٣.٢.٣. المآخذ على ضفاف النهر Shore intake

يستعمل عندما يكون النهر ضيقاً حيث يبني بئر التجميع عند حافة النهر وتدخل المياه من خلال فتحات مغطاة بشبك معدني موجودة في جدار البئر مباشرة وتعمل أكثر من فتحة حسب تغير منسوب المياه في النهر. وتقسّم البئر إلى قسمين A و B حيث تتجمع المياه في القسم A وتنتقل إلى قسم السحب (B) عبر مصاف ناعمة ، ومن القسم (B) وعبر خط السحب تنتقل المياه إلى غرفة الضخ (شكل ٤.١).



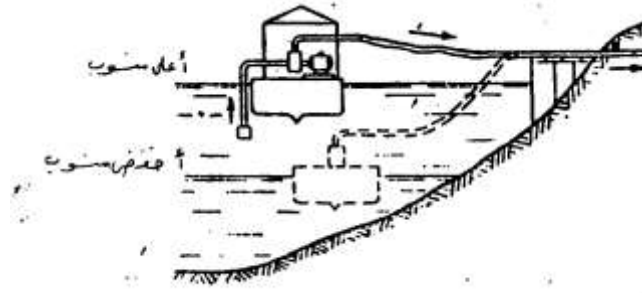
- ١- بئر التجميع ٢- فتحات في جدار البئر ٣- أنبوب السحب ٤- فتحات بمصافي ناعمة في فاصل  
البئر ٥- مضخة A - قسم تجميع المياه B - قسم سحب المياه  
الشكل (٤.١): مآخذ على ضفاف نهر.

### ١.٣.٢.٤. المآخذ العائم Flot intake

يستعمل المآخذ العائم في الأنهار ذوات المناسيب المائية المختلفة من فصل لآخر ، إذ توضع المضخة في سفينة بالنهر وتتصل بأنبوب من المطاط المقوى وأنبوب مثبت على الشاطئ وعند ارتفاع أو انخفاض منسوب الماء في النهر ترتفع أو تنخفض السفينة حاملة معها المضخة .

وللعمليات الصغيرة يمكن أن نمد الأنبوب المطاطي المتصل بالمضخة إلى منتصف الجرى بحيث ينتهي بمصفاة ويثبت على برميل يعمل كعوامة يرتفع وينخفض مع منسوب الماء (شكل ٥.١).





الشكل (٥.١): المأخذ العائم.

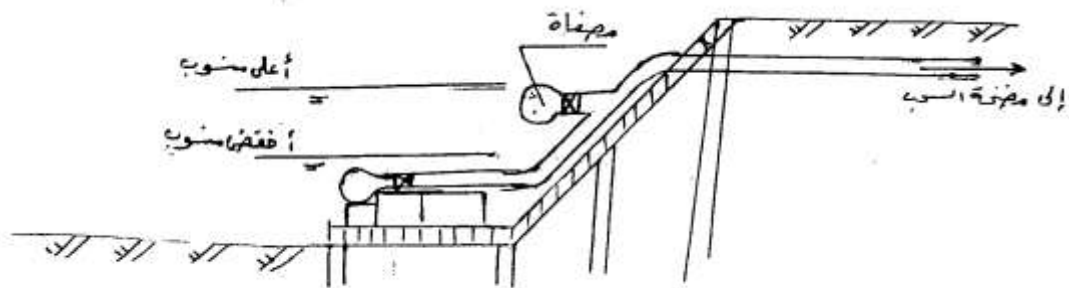
### ٥.٢.٣.١. المأخذ الأنبوبي Intake through pipeline

يستخدم في هذه الحالة أنبوب وحيد يحتوي على مأخذ واحد يرتفع من ٠.٥ الى ١ م عن القاع حسب حركة النقل المائي ووضع الرواسب على القاع و عندما يكون منسوب المياه في المصدر شبه ثابت على مدار العام.

أما في المصادر التي يتغير منسوب الماء فيها فيستخدم أنبوب يمتد على انحدار النهر ويحتوي هذا الأنبوب على مأخذين ينتهيان بمصفاة ، العلوي يستعمل عند الفيضان والسفلي عند التراجع.

يمتاز المأخذ الأنبوبي بالبساطة وقلة التكلفة لكن من عيوبه كثرة الانسداد والحاجة إلى التنظيف المستمر للمصفاة بسبب القرب من الشاطئ (شكل ٦.١).

أما إذا أردنا مدّ الأنبوب داخل مصدر المائي لمسافة كافية بعيداً عن الشاطئ لتفادي التلوث المحتمل بجواره يحمل الأنبوب على جسر ويزود بالمحابس اللازمة للتحكم في سير الماء.



الشكل (٦.١): ترسيمة المأخذ الأنبوبي.

## ١-٤- مصافي حجز الشوائب كبيرة الأبعاد

تفيد المصافي في حماية مجمل المنشأة (مضخات، أنابيب، ثقوب، أجهزة المعالجة) من الأجسام الطافية أو المعلقة التي يمكن أن تضر بالمنشأة أو تسطمها، المصافي هي إحدى مكونات المآخذ المائية. تتميز بين ثلاثة أنواع لمصافي حجز الرمال: المصافي الثابتة ، المصافي المتحركة شاقولياً والمصافي الميكرونية.

### ١.٤.١. المصافي الثابتة

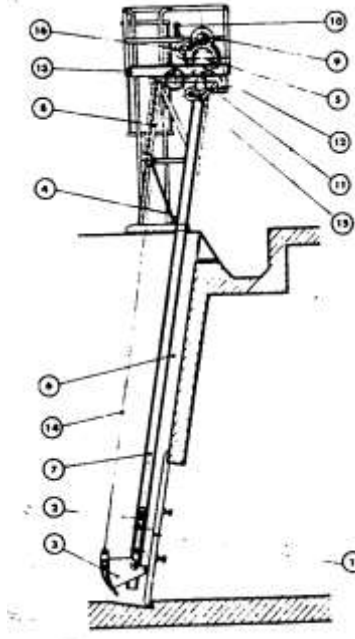
نضع بشكل عام نوعين من المصافي الثابتة على التسلسل، في البداية نضع مصفاة خشنة مؤلفة من قضبان فولاذية عرض القضيب من ١ إلى ٢ سم وتبعد القضبان عن بعضها من ٢ إلى ٣ سم، تليها مصفاة شبكية أبعاد فتحاتها من ٠.٣ إلى ١ سم توضع هذه المصافي أحياناً شاقولياً، وغالباً مائلة بزاوية من ٦٠ إلى ٨٠° على الأفق.

تنظف المصافي الثابتة إما يدوياً عن طريق نزع الإطار الحامل للمصفاة من مكانه لتخضع لتنظيف ميكانيكي وبالماء ثم يعاد لمكانه.

ويتم تنظيف المصفاة الموضوعتان على التسلسل بالتناوب.

ويمكن أن يتم تنظيف المصافي الثابتة آلياً بشكل متقطع كما في الشبكة ذات الكابلات الحاوية على كلابات قلابة (شكل ٧.١).

أما التنظيف الآلي للمصافي الثابتة فيتم باستخدام مكانس من النايلون تحرك بواسطة سلسلة بلا نهاية.



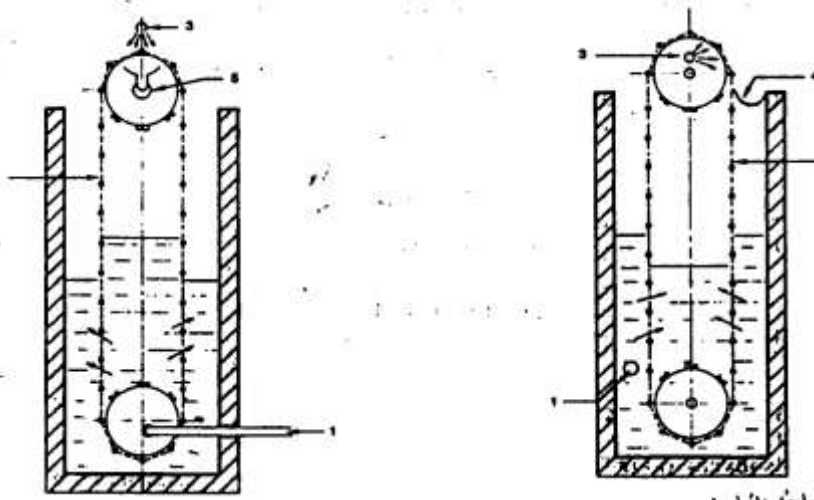
١. الشبكة ٢. عربة حاملة للكابل ٣. كلاب قلاب ٤. لاقط (قاذف) ٥. أسطوانة كابل العربة ٦.  
 كابل قيادة العربة ٧. زرقة ٨. بورتيك ٩. محرك خفض العربة ١٠. محدد للجهد ١١. سلك لين للعربة  
 ١٢. أسطوانة كابل العربة ١٣. بكرة ارسال الكابل ١٤. كابل العربة ١٥. سلك لين للكابل ١٦.  
 محرك خفض الكابل

الشكل (١. ٧): ترسمية لشبكة تصفية ذات كابلات حاوية على كلابات قلابية.

#### ١. ٤. ٢. المصافي المتحركة شاقولياً

هذه المصافي مُعدة لحجز جسيمات صلبة أبعادها من 0.1 إلى 0.5 سم، وتُركب على إطارات متمفصلة مكونة من سلسلة بدون نهاية (أو شريط)، تتحرك هذه السلسلة بين أسطوانتين الأسطوانة السفلى مغمورة بالماء بينما العلوية تخرج بواسطة محرك وتؤمن الانتقال المستمر أو المتقطع للغربال.

حسب نموذج تصنيع المصافي المتحركة شاقولياً يمكن أن يعبر الماء الخام الغرابيل من الخارج إلى الداخل (شكل ٨. ١ أ)، أو من داخل الغرابيل إلى خارجها (شكل ٨. ١ ب).



- ٤
- ١ - وصول الماء المعدل للتصفية ٢ - المصفاة ٣ - نافورة قذف ماء الغسيل  
 - مجرى البقايا المطروحة ٥ - مخرج الحمأة
- أ. ماء خام يعبر من الخارج إلى داخل الغراييل ب. ماء خام يعبر من داخل الغراييل إلى خارجها

الشكل (١.١): المصافي المتحركة شاقولياً.

خلال مسار الغراييل ((وبعيداً عن الماء الخام)) تتعرض قطع الغراييل المتتالية إلى ماء صادر عن نافورات تحت ضغط، يخرق ماء النافورات الغراييل باتجاه معاكس لإتجاه دخول الماء المعدل للمعالجة. تطرح البقايا المحجوزة على سطح الغراييل ضمن قنوات تصريف.

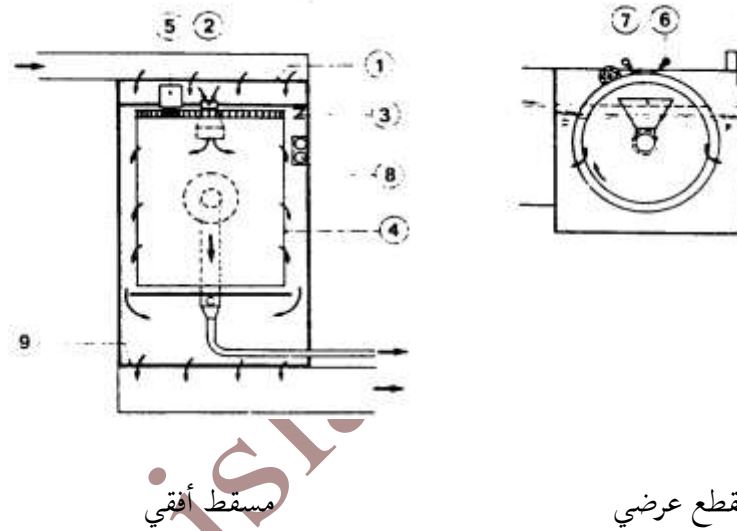
### ١.٤.٣. المصافي الميكرونية

تستخدم هذه المصافي بشكل عام لمعالجة مياه البحيرات الضعيفة التلوث بالجسيمات المعلقة الكبيرة، والحاوية على البلاكتون.

وغالباً ماتتبع التصفية الميكرونية بالترشيح الرملي ثم التطهير.

يتألف جهاز التصفية الميكرونية من أسطوانة أفقية وحيدة مثقبة، تدور حول محورها بسرعة دوران متغيرة بين 0.5 و ٥ دورة/دقيقة . ويغلف الأسطوانة المثقبة نسيج معدني أو بلاستيكي ذو مسامات أدنى من ١٠٠ ميكرومتر (٢٣ أو ٣٥ أو ٦٥ ميكرومتر). وتختار أبعاد مسامات النسيج بعد إجراء تجارب مخبرية بحيث تلائم للجسيمات المطلوب حجزها (مواد معلقة أو بلاكتون).

يدخل الماء إلى الأستطوانة من أحد طرفيها بشكل محوري ويُرغم على الخروج منها بشكل قطري عبرالمسامات بعد ان تحجز الجسيمات، ، حيث لا يوجد أي مخرج سوى المسامات المحيطية. أي أن الجسيمات المعلقة أو البلانكتون تحجز على السطح الداخلي للأستطوانة، وتؤدي لحدوث مقاومة لخروج الماء وبالتالي ضياع حمولة يصل إلى ١٥ سم وينبغي ألا يتجاوز ال ٥٠ سم. وتنظف هذه المحجوزات من سطح الأستطوانة عندما يمر جزء الأستطوانة إلى مكان وجود النافورات المائية الموجودة في القسم الأعلى من جهاز التصفية، وتصرف المواد الصلبة إلى قناة تصريف البقايا (الشكل ١ . ٩).



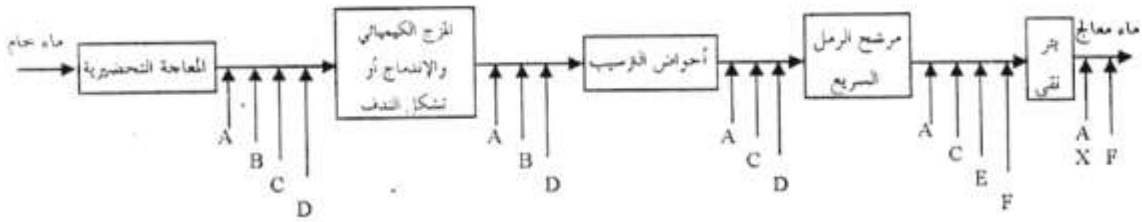
- ١ . هدار التغذية بالماء الخام      ٢ . سكر دخول الماء الخام      ٣ . سكر عدم رجوع للأمام      ٤ . أستطوانة التصفية الميكرونية
- ٥ . تجهيز التدوير      ٦ . نافورات غسيل مائي      ٧ . قناة جمع المواد الصلبة      ٨ . كاشف ضياع الحمولة
- ٩ . هدار خروج الماء المصفى
- الشكل ١ . ٩ : جهاز التصفية الميكرونية.

يختار قطر أستطوانة التصفية حسب تدفق الماء الخام، وقد يصل القطر إلى ٣ m أما عرض الأستطوانة فقد يزيد على ٣ m . سرعة الترشيح (نسبة تدفق الماء الخام على السطح الحر للفتحات (المسامات) في الجزء المغمور من الأستطوانة) تتراوح بين 0.35 و 0.40 م/ثا.

## الفصل الثاني

### تهوية المياه

إن الماء النقي كيميائياً غير موجود في الطبيعة لأنه مذيّب للعديد من الغازات والأملاح. ونتيجة لزيادة أحجام التجمعات السكانية لم تعد مصادر المياه الجوفية التي تعتبر أكثر نقاوة من الناحية البيولوجية من المياه السطحية كافية لتلبية الاحتياجات المتزايدة لمياه الشرب وللأغراض الصناعية، وبالتالي ازداد اللجوء إلى المياه السطحية، على الرغم من أنها ملوثة بشكل واضح وتحتاج لعدة مراحل معالجة تتعلق بالمواد الملوثة الموجودة في مصدر المياه، كما في الشكل (١.٢).



A: إضافة كلور

B: إضافة مادة مروبية ( شبة أو كلور الحديد أو الومينات الصوديوم...).

C: ضبط القلوية بإضافة الكلس أو كربونات الصوديوم.

D: إضافة مسحوق فحم فعال.

E: نزع الكلور الفائض بإضافة ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ، أو  $\text{NaHSO}_3$  ، أو فحم فعال...).

F: فلورة الماء بإضافة مركبات الفلور.

X: إضافة ثاني أكسيد الكلور.

الشكل (١.٢): مخطط عام لمنشأة معالجة مياه سطحية.

يمكن أن تحتوي المياه السطحية سيئة النوعية على غاز ثاني أكسيد الكربون وعناصر طيارة وحتى آثار من غاز كبريت الهيدروجين الذي يعطي للماء رائحة البيض الفاسد، إضافة لكونها فقيرة بالأكسجين المنحل. وبعض المياه الجوفية الملوثة تمتلك خواص مشابهة لما ذكر ويمكن أن تحتوي على غاز النشادر  $NH_3$  الذي يعطي للماء رائحة البولة، وقد تحتوي على غاز الميثان القابل لتشكيل مزيج إنفجاري في حال تشكيله خليط مع الهواء بنسبة من 5 إلى 10% ميثان. لإزالة الغازات الضارة وزيادة تركيز الأكسجين المنحل نلجأ إلى عملية تهوية الماء.

وحتى يصبح الماء صالحاً للشرب أصبح من الضروري في الكثير من الحالات تخليصه من المواد العالقة، ومن قسم من المواد المنحلة، وأن يزال عنه اللون والطعم و الرائحة الناتجة عن وجود بعض المواد العضوية أو ملوثات مصدرها نفايات صناعية مطروحة بطريقة عشوائية في المياه الطبيعية. ويبين الجدول ( ٢-١) عمليات المعالجة المستعملة للأغراض المختلفة في تنقية المياه.

الصفة	عمليات المعالجة المستعملة
كبريت الهيدروجين	أ- التهوية في ظروف حامضية.
	ب - الأكسدة الكيميائية بمركبات الكلور أو بالأوزون.
	ج- الترسيب مع أملاح الحديد بيتشكيل كبريت الحديدي.
ثاني أكسيد الكربون	أ- التهوية.
	ب- إضافة مادة قلوية حيث يتحول إلى هيدوجينوكربونات.
اللون	أ- التثخير والترشيح والامتزاز على الفحم الفعال.
	ب- الأكسدة الكيميائية بمركبات الكلور أو بالأوزون.
العكارة	التثخير والترشيح وقد يكفي الترشيح لوحده إذا كانت العكارة غير كبيرة.
الطعم والرائحة	أ- التثخير والترشيح والامتزاز على الفحم الفعال.
	ب- الأكسدة الكيميائية بمركبات الكلور أو بالأوزون.
	ج- التهوية.
الأس الهيدروجيني غير المعتدل	إذا كان الأس الهيدروجيني مرتفع يضاف حمض مثل حمض كلور الماء وحمض الكبريت أو غاز ثاني أكسيد الكربون، وإذا كان الأس الهيدروجيني منخفض تضاف مادة قلوية مثل ماءات الصوديوم أو ماءات الكالسيوم أو كربونات الصوديوم.
الحديد والمنغنيز	الأكسدة والترسيب كماءات المعدن، ويمكن تحقيق الإزالة بالتبادل الأيوني.

إضافة مادة قلوية لتتشكل ماءات المعدن القليلة الاتحلال والقبالة للترسيب.	النحاس والرصاص
أ- التخثير والترشيح يمكن أن يزيل ٥٠% من الزرنيخ.	الزرنيخ
ب- التبادل الأيوني عبر سرير من الالومينا المنشطة يخفض تركيز الزرنيخ إلى مستويات منخفضة.	
أ- الأكسدة بثاني أكسيد الكلور أو بالأوزون.	المركبات الفينولية
ب- الأمتزاز على الفحم الفعال.	
التبادل الأيوني أو الترشيح النانومتري أو التناضح العكسي.	الصوديوم والهوتاسيوم و الكبريتات والكلوريدات والنترات

## ٢ . ١ . مبدأ تهوية الماء، وقابلية انحلال الأكسجين في الماء

المبدأ الأساسي لعملية تهوية الماء هو زيادة فرص التماس بين الماء والهواء الحاوي على الأكسجين حيث سرعة التحويل تتناسب مع أهمية السطح البيني ( interface ) هواء . ماء . ويتم بذلك طرد الغازات الضارة المنحلة وزيادة تركيز الأكسجين المنحل في الماء .

عندما يلامس الماء الهواء فإن قسماً من غاز الأكسجين الموجود في الهواء ينحل في الماء وتزداد الكمية المنحلة فيه مع الزمن إلى أن تصل إلى حالة توازن (أي أن مقدار مايفقده الماء من الأكسجين يساوي مقدار مايمتصه منه من الهواء المحيط). وتعتمد حالة التوازن هذه لغاز معين على تركيز هذا الغاز في الهواء المحيط.

وحسب قانون دالتون يحدث غاز ما من مزيج غازي ضغطاً يتناسب مع جداء النسبة المئوية لحجمه في المزيج بالضغط الكلي للمزيج.

يدعى هذا الضغط الجزئي للغاز المذكور، فمثلاً الضغط الجزئي للأكسجين يساوي (٠.٢١)

( 760 mm.Hg ) .

والضغط الجزئي للآزوت يساوي

( 760 mm.Hg . ٠.٧٨ )



لقد أشتق العالم هنري قانوناً يعطي مقدار قابلية الانحلال التوازني لغاز ما في الماء ووجدها متناسبة طردياً مع ضغطه الجزئي (P) وذلك حسب العلاقة:

$$C_s = @ \cdot P$$

حيث  $C_s$  : قابلية انحلال الغاز مقدرة ب ملغ/ل ( تركيز الاشباع للغاز في الماء).

@ : عامل الانحلال و تتغير قيمة هذا العامل من غاز لآخر كما أن قيمته تنقص بازدياد درجة حرارة الماء وبازدياد كمية الاملاح المنحلة. ويساوي هذا العامل إلى قيمة قابلية الانحلال لهذا الغاز في الماء بدرجة الحرارة المحددة وذلك فيما إذا كان الضغط الجزئي للغاز مساوياً إلى (١) ضغط جوي.

P : الضغط الجزئي للغاز في الجو المحيط بوحدة ضغط جوي، ويساوي الضغط الجزئي للغاز إلى قيمة الضغط الذي يعطيه هذا الغاز فيما لو كان موجوداً وحده على سطح الماء.

إن قيم قابلية انحلال غاز الأكسجين في الماء بضغط جزئي قدره ١ ضغط جوي معطاة بالجدول ( ٢-٢) - (٢).

الجدول (٢-٢): قيم قابلية انحلال الأكسجين في الماء بضغط جزئي مساوي ١ ضغط جوي.

درجة الحرارة (مئوية)	٠	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٦٠	٨٠	١٠٠
قابلية الانحلال @ (ملغ/ل)	٦٩.٨	٥٤.٣	٤٤.٣	٣٧.٢	٣٢.٩	٢٧.٨	٢٥.١	٢٤.٢

ولكي نستطيع حساب التركيز المتوازن للأكسجين في الماء اعتماداً على الجدول السابق يجب أن يأخذ بالاعتبار أن الضغط الجزئي للهواء يتعلق بضغط بخار الماء بدرجة الحرارة المعطاة كما في الجدول (٢-٣). ولتحديد الضغط الجزئي للهواء يجب أن نخرج قيمة ضغط بخار الماء من القيمة الكلية لضغط الغازات فوق الماء وعندها فإن قابلية انحلال الأكسجين تعطى بالعلاقة التالية:

$$C_s = @ \cdot (P - P_v) K$$

حيث  $C_s$  : قابلية انحلال الأكسجين في الماء بدرجة الحرارة المعطاة (ملغ/ل).

$P$  : ضغط الهواء فوق الماء بوحدة ضغط جوي.

$P_v$  : ضغط بخار الماء بدرجة الحرارة المعطاة بوحدة ضغط جوي.

$K$  : حصة الضغط الجزئي للأكسجين من الضغط الكلي للهواء وتؤخذ مساوية ٠.٠٢١.

الجدول (٣-٢): قيم ضغط بخار الماء بدرجات حرارة مختلفة بوحدة ضغط جوي.

١٠٠	٨٠	٦٠	٤٠	٣٠	٢٠	١٠	٠	درجة الحرارة (مئوية)
١.٠	٠.٤٦٧٥	٠.١٩٦٥	٠.٠٧٢٨	٠.٠٤١٩	٠.٠٢٣	٠.٠١٢	٠.٠٠٦	ضغط بخار الماء $P_v$

تطبيق عددي ١:

أحسب قابلية انحلال الأكسجين في الماء إذا كانت درجة الحرارة المحيطة تساوي ٢٠ مئوية، علماً أن قيمة  $K$  تساوي ٢١% .

الحل:

لنطبق العلاقة

$$C_s = @ \cdot (P - P_v) K$$

@ : عامل الانحلال للأكسجين في الماء عندما يكون الضغط الجزئي للأكسجين مساوياً ١

ضغط جوي، وعند درجة الحرارة المعطاة ٢٠ مئوية تكون قيمة العامل ٤٤.٣ ملغ/لتر .

$P$  : الضغط الكلي للغازات يساوي ١ ضغط جوي.

$P_v$  : ضغط بخار الماء ، عند درجة الحرارة ٢٠ مئوية يساوي ٠.٠٢٣ ضغط جوي.

$K$  : حصة الضغط الجزئي للأكسجين من الضغط الكلي للغازات ويساوي عند درجة الحرارة ٢٠

مئوية قيمة ٢١% .

$$C_s = @ \cdot (P - P_v) K$$

$$Cs = 44.3 \cdot (1 - 0.023) 0.21 = 9.08 \text{ mg/l}$$

## ٢.٢ . طرائق تنفيذ تهوية الماء

تنفذ بشكل عام ، تهوية الماء في رأس محطة معالجة الماء . تتبع نتائج التهوية لظروف تطبيقها: درجة الحرارة ، ضغط الماء ، وتدفق الهواء .

تنفذ تهوية الماء إما تحت الضغط الجوي أو تحت ضغط أعلى من الضغط الجوي. التماس الجيد بين الماء والهواء التهوية يمكن تحقيقه بنشر المياه خلال الهواء في طبقات رقيقة أو نقط صغيرة (التهوية بسقوط المياه) ، أو بخلط الماء مع نشر الهواء (التهوية بالفقاعات) . في كلا الطريقتين يمكن رفع محتوى الماء من الأوكسجين المنحل إلى ٦٠-٨٠% من أقصى مستوى للأوكسجين في الماء.

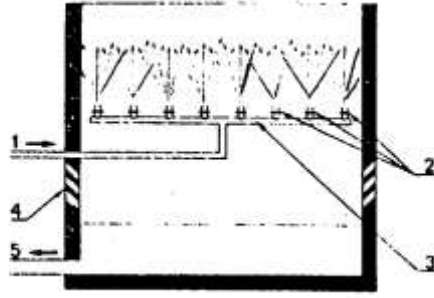
يمكن ان تُشغل منشأة التهوية تحت الضغط العالي، و تتطلب معالجة تدفقات كبيرة من المياه اللجوء إلى منشآت التهوية الثقالية، والتهوية المفتوحة (تحت الضغط الجوي) هي التي تسمح بإزالة غاز ثاني أكسيد الكربون، لكنها عند معالجة مياه غنية ببيكربونات الكالسيوم تحولها إلى مياه قابلة لتشكيل رواسب من كربونات الكالسيوم وبالتالي تشكل خطورة على أجهزة المعالجة التالية للماء .

## ١.٢.٢ . التهوية المفتوحة

يتم تماس الهواء . ماء بترديد الماء في الهواء أو عن طريق غرغرة (بقبقة ) الهواء ضمن الماء.

## ١.١.٢.٢ . ترويض الماء في الهواء

تتم التهوية بالرش باستخدام نافورات متصلة بماسورة تغذية، يتم فيها رش المياه للأعلى. ولتجنب الانسداد، يجب أن تكون فتحات النافورة كبيرة إلى حد ما، لأكثر من ٥مم، ولكن في نفس الوقت يجب تحقيق نشر المياه إلى قطرات صغيرة. وغالباً ما ينفذ ترويض الماء في الهواء بواسطة أنابيب مثقبة موجودة في أعلى برج الترويض ويتم ذلك تحت ضغط ضعيف (أقل من ٠.٨ بار)، وتسقط المياه لتُجمع في أسفل برج الترويض (شكل ٢.٢).



- ١ . ماء مُعد للتهوية      ٢ . أنابيب ترويض الماء      ٣ . جامع مُشعب      ٤ . شباك تهوية  
٥ . ماء مهوى

الشكل (٢ . ٢): ترسيمة برج تهوية بترويض الماء.

ويمكن أن تكون نافورات الرش فوق حوض الترسيب أو وحدة الترشيح وذلك لاستغلال المساحة ولتجنب الحاجة لحوض تجميع منفصل للمياه التي تم تهويتها.

#### أ- التهوية باستخدام الصواني

ترتب أنظمة التهوية باستخدام الصواني مجموعة مواد معبأة بسيطة مثل فحم الكوك المكسر أو الحصى في تسلسل رأسي. تصب المياه في قمة هذه الكومة، وتفرد اتساعاً لزيادة منطقة الاحتكاك السطحي، وتقطر من خلال فتحات صغيرة في قاع كل صينية.

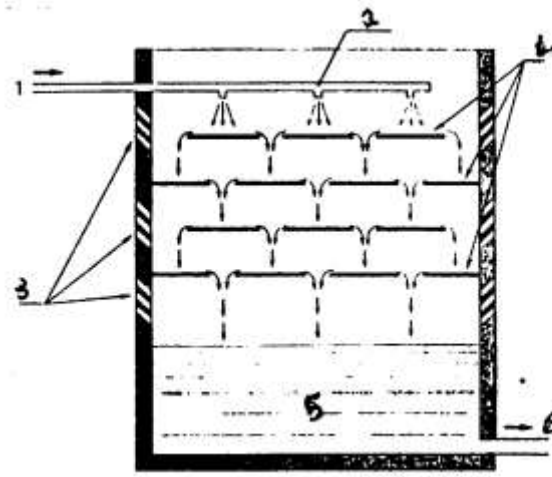
وفيما تسقط المياه من صينية لصينية وترطم فوق الكومة، فإنها تصادم الهواء. ويمكن دفع الهواء بشدة في هذه الأنظمة عن طريق ضاغط هواء كهربائي أو ببساطة، كما هو أكثر شيوعاً، باستخدام التيار الهوائي الطبيعي.

وأنظمة الدفع الميكانيكي للهواء أكثر فعالية في إزالة العناصر الأقل تطايراً، مثل المواد المذيبة، ولكن التيار الهوائي الطبيعي هو خيار قابل للتطبيق عندما تكون عناصر أكثر تطايراً مثل كبريتيد الهيدروجين، أو الرادون، أو كلوريد الفينيل هي الهدف.

وبعد أن تمر المياه من سلسلة الصواني، تتجمع ببساطة عند قاعدة النظام.

إن أنظمة التهوية باستخدام الصواني معرضة كثيراً لنمو الطحالب والوحل، مما يمكن أن يجعل المعالجة أقل فعالية. و يمكن ضبط هذا النمو بإضافة كيماويات مثل الكلور أو كبريتات النحاس، رغم أن هذه الإضافات تمثل تكلفة إضافية وقد تظل موجودة حتى في المياه المعالجة النهائية في النظام.

كما يمكن استعمال خاصة السقوط الشلالي حيث يسقط رذاذ الماء على صواني موضوعة على عدة مستويات، وتجمع المياه المهواة من أسفل الوعاء أيضاً (الشكل ٣. ٢).



- ١ . وصول الماء الخام  
٢ . فتحات تريزيد الماء  
٣ . شباك تهوية  
٤ . صواني السقوط الشلالي  
٥ .  
٦ . سحب الماء المهوى  
خزان الماء المهوى

الشكل (٣. ٢): جهاز تهوية ذو تريزيد ماء وسقوط شلالي.

إن أجهزة التهوية ذات جريان الهواء القسري تعد أكثر كفاءة في إزالة المواد الأقل تطايراً مثل المذيبات. إن خفض ثاني أكسيد الكربون بواسطة سقوط المياه مؤثر ولكن ليس كافي عند معالجة المياه شديدة العدوانية. حيث يلزم لهذه النوعية من المياه المعالجة الكيماوية مثل جرعة من الكلور المطفئ ثم الترشيح على كربونات الكالسيوم.

ب- تهوية البرج المعبأ

ويستخدم نظام تهوية البرج المعبأ موزعاً يجعل المياه تمر بصورة متساوية عبر قمة برج معبأ بأجسام من البلاستيك، أو الخزف، أو المعدن تم تصميمها على نحو يزيد احتكاك الهواء بالماء إلى أقصى درجة. ويدفع الهواء أو يسحب إلى أعلى من خلال البرج في عكس اتجاه تيار المياه.

إن أنظمة البرج المعبأ يمكن أن تحقق نسبة عالية بين الهواء والماء في الخليط وإزالة الملوثات تصل إلى ٩٩ في المائة، ويمكن اختيارها لإزالة المذيبات المتطايرة من الطبقة الوسطى للمياه الجوفية. وهي تستخدم برجاً ارتفاعه من ٥ إلى ١٢ متراً مزوداً بموزع فوق قمته. ويدفع الموزع المياه بصورة متساوية عبر قمة برج معبأ بأجسام من البلاستيك، أو الخزف أو المعدن مصممة بطريقة تصل بتماس الهواء بالمياه إلى أقصى مداه. ويدفع الهواء أو يسحب إلى أعلى عبر البرج ضد تيار المياه المتدفقة. وتجمع مضخة عند القاعدة المياه المعالجة وتزيلها.

تميل أجهزة التهوية لأن تنسد بالمواد المعلقة الموجودة في الهواء، والبكتيريا، أو نتيجة لتشكيل رواسب من كربونات الكالسيوم. إن تكلفة هذه المعالجة تزداد كثيراً إذا تطلب الأمر أن يخضع الماء إلى معالجة مسبقة، أو إذا طلب تنقية الهواء قبل طرحه في الجو، وتستهلك هذه الأجهزة الكهرباء لتشغيل المضخات وناشرات الهواء.

وكثيراً ما تكون أنظمة تهوية البرج المعبأ تركيبات دائمة، ولكنها قد تصنع فوق مقطورة متنقلة وتنقل من مكان لمكان.

ومع أن أنظمة تهوية البرج المعبأ بسيطة في مبدئها، فإنها كغيرها من أنظمة حقن المياه بالهواء، عرضة للانسداد بسبب تراكم الجسيمات العالقة، والبكتيريا المولدة للصدأ، ورواسب كربونات الكالسيوم. وتزداد تكاليف المعالجة بدرجة كبيرة إذا تعين معالجة المياه مسبقاً أو إذا تعين تنقية نظم التهوية قبل إطلاق الهواء في الجو.



### ج- أجهزة التهوية ذات الأطباق

ويمكن تحقيق التهوية في أجهزة ذات أطباق حيث توضع مواد مالحة شاقولياً، هذه المواد يمكن أن تكون من مشتقات الفحم أو من الحجارة. يدخل الماء المعد للتهوية من أعلى الجهاز، وينشر الماء لزيادة سطح تماسه مع الهواء، ثم يعبر الماء الأطباق على شكل قطرات.

يسقط الماء من طبق إلى طبق آخر، وعند كل تماس مع المواد المائلة يصبح الماء بتماس مع الهواء، يمكن أن يجري الهواء ضمن هذه الأجهزة بشكل قسري بفضل ضاغط هواء كهربائي، أو يمكن أن يجري ببساطة بفضل تيار طبيعي.

إن الجريان الطبيعي للهواء يعد كافياً من أجل المواد الأكثر تطايراً مثل غاز كبريت الهيدروجين، أو فينيل الكلورايد.

يجمع الماء المعالج الذي عبر الأطباق من أسفل جهاز التهوية.

## ٢.٢.١.٢. نشر الهواء في الماء

في أنظمة النشر الهوائي، تصب المياه في أحواض ذات ناشرات في قيعانها. ويدفع الهواء المضغوط داخل هذا النظام عبر الناشرات. ويتحول هذا الهواء إلى فقاعات، حيث يختلط الماء والهواء محولاً الملوثات من الأول إلى الثاني أو يدفع بالأكسجين إلى الماء.

وبناء أنظمة نشر الهواء رخيص نسبياً ولكن تشغيلها باهظ التكاليف. ويمكن تركيبها بسهولة بعد تعديلها لتحسين الأحواض القائمة لمعالجة المياه. ويمكن أن يكون تشغيلها متواصلًا و آلياً ، مما يتطلب صيانة دورية فقط ورقابة منتظمة.

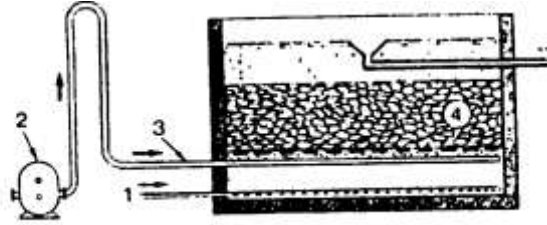
وأنظمة نشر الهواء عرضة لمشاكل تراكم الجسيمات العالقة، والبكتيريا المولدة للصدأ، وترسبات كربونات الكالسيوم، وغيرها من الملوثات، التي يمكن أن تسد النظام وتؤدي إلى إغلاقه. ويجب تعريض الهواء لضغط شديد لدفعه إلى قاع حوض النشر، ومن ثم فإن أنظمة النشر قاصرة على نسب منخفضة نسبياً بين الماء والهواء. ونتيجة لذلك فإن أنظمة نشر الهواء تستطيع فقط تحقيق إزالة اقتصادية للملوثات عالية التطاير، مثل الرادون. وترتفع تكاليف المعالجة كثيراً إذا كان يتعين معالجة المياه سلفاً أو إذا كان يتعين تنقية هواء النظام قبل إطلاقه في الجو.

ويمكن تحقيق غرغرة الهواء في الماء عن طريق تأمين تماس الماء مع الهواء المضغوط ، وتعابير كمية الهواء المحقون تبعاً لنتائج التهوية المطلوبة .

ونميز بين:

أ- الغرغرة تحت ارتفاع ماء عالي: تتم التهوية بتيار متمائل حيث يدخل الماء المعد للتهوية عبر أنابيب مُثقبة موجودة في أسفل وعاء التهوية ثم يصعد ليصادف الهواء المنفوث عن طريق نواشر تحت ضغط

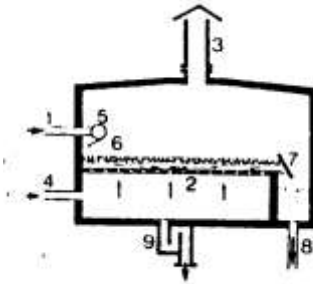
أعلى من مجموع الضغط الجوي والضغط المطبق بعمود الماء، ثم تجمع المياه المهواة من أعلى وعاء التهوية. و يمكن تحسين التهوية بوجود كتلة حشوة تزيد من سطح التماس بين الماء والهواء (شكل ٤ . ٢).



١ . ماء مُعد للتهوية      ٢ . ضاغط هواء      ٣ . حقن هواء مضغوط      ٤ . كتلة تماس      ٥ . سحب الماء المهوى

الشكل (٤ . ٢) : التهوية بغرغرة الهواء في الماء مع ارتفاع ماء كبير.

كتلة التماس هذه يمكن أن تكون قطع من الصخور البركانية ، أو حبيبات فحم فعال أو حجر الخفان.  
ب- الغرغرة تحت ارتفاع ماء ضعيف:  
يجري الماء الداخل من أسفل وعاء التهوية ومن أحد طرفي الجهاز ليشكل سماكة ضعيفة على صفيحة مثقبة ، ويدخل الهواء من الأعلى ليحصل التماس بين الماء والهواء ، ثم يجمع الماء المهوى من الطرف الآخر لوعاء التهوية (شكل ٥ . ٢).



١ . مدخل الهواء      ٢ . صفيحة مثقبة      ٣ . خروج ثاني أكسيد الكربون      ٤ . مدخل الماء      ٥ . أنابيب  
التوزيع الهواء      ٦ . حارفة الهواء      ٧ . واقية من الرغوة      ٨ . مخرج الماء المعالج      ٩ . سيفون

الشكل (٥ . ٢) : تهوية مفتوحة بغرغرة الهواء في ماء يشكل طبقة بسماكة ضعيفة.



### تطبيق عددي:

حقنا هواءً مضغوطاً عن طريق نواشر موجودة في قاع وعاء التهوية وعلى عمق ٥ متر من سطح قمع سحب الماء المهوى والمطلوب:

ماهو الضغط الأصغر اللازم لنشر فقاعات الهواء فعلياً.

ماهي انحلالية الأكسجين في الماء على مستوى ناشرات الهواء من أجل درجة حرارة ماء ١٠ مئوية (بإهمال وجود بخار الماء في فقاعات الهواء).

### الحل :

حتى تنتشر الفقاعات الهوائية في الماء يجب أن تملك الفقاعات ضغطاً أعلى من مجموع الضغط الجوي والضغط المطبق بعمود الماء. لكن عمود بارتفاع ٥ متر يطبق ضغط (بوحدة ميلي متر زئبق) يساوي:

$$P_{\text{Water}} = 5000 \text{mm}_{\text{Water}} = 5000. (P_{\text{Water}}/P_{\text{Hg}}) = 5000. (1/13.6)$$

$$P_{\text{Water}} = 1128 \text{mm}_{\text{Hg}}$$

في هذه الظروف وبدرجة حرارة ١٠ مئوية حيث قابلية انحلال الأكسجين في الماء بضغط جزئي مساوي ١ ضغط جوي تساوي حسب الجدول (٢-٢) قيمة ٥٤.٣ ملغ/لتر، تحسب انحلالية الأكسجين في الماء على مستوى ناشرات الهواء بتطبيق العلاقة:

انحلالية الأكسجين = انحلالية الأكسجين عند ضغط ٧٦٠ ملم زئبق. نسبة فرق الضغط. النسبة المئوية

$$\text{انحلالية الأكسجين} = ٥٤.٣ \cdot (٧٦٠ / ١١٢٨) \cdot ٠.٢١$$

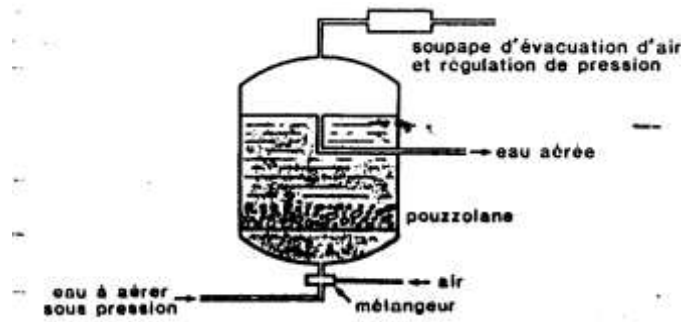
$$\text{انحلالية الأكسجين على مستوى ناشرات الهواء} = ١٧.٠ \text{ ملغ/لتر}$$

٣. ١. ٢. ٢ . تهوية الماء تحت الضغط

التقنية المستخدمة هي غرغرة الهواء مع ارتفاع ماء كبير، وباستخدام كتلة تماس: حبيبات فحم فعال أو بزلوان Pouzzolane .

يخلط الهواء المضغوط مع الماء تحت ضغط بواسطة خلاط: خلاط ذو ممرات متعرجة ، حاقن مائي ، أو بواسطة مضخة انتشار.

يتم التماس بشكل عام بتيار متماثل (شكل ٦.٢).



الشكل (٦.٢): تهوية الماء تحت الضغط.

يتغير ضغط التشغيل من ١ إلى ١٥ بار و أكثر حسب شروط الضخ سرعة مرور الماء من جهاز التهوية (نسبة تدفق الماء على سطح المرور) يتغير من ٢٠ إلى ٤٠ م/سا.

## الفصل الثالث

### التخثير وتشكيل الندف والترسيب

## coagulation flocculation and Precipitation

تعزى عكارة المياه لوجود المواد الغروانية التي تبقى في الماء دون أن تترسب نتيجة لكونها تحمل شحنة كهربائية تجعلها تتنافر، ولا يمكن إزالة المواد الغروانية بالترسيب الطبيعي بل يلزم اللجوء إلى عملية التخثير وتشكيل الندف.

### ١.٣.١ تصنيف المواد الصلبة في المياه

تحتوي المياه على مواد صلبة يمكن تقسيمها حسب حالتها الفيزيائية إلى ثلاثة أنواع:

### ١.٣.١.١ المواد الصلبة المعلقة Suspendid solids

وهي جسيمات أبعادها أكبر من ١٠ ميكرومتر وتُرى بالمجهر الضوئي العادي ، وقابلة للترسيب الفيزيائي مع سرعة ترسيب متناسبة مع أبعادها . أما المعلقات الأنعم (أبعادها بين ١ و ١٠ ميكرومتر) فيصعب ترسيبها الفيزيائي، وأبعاد البكتريا والخمائر تقع ضمن مجال أبعاد المواد الصلبة المعلقة (شكل ١.٣.١).



الشكل (٣ - ١): التصنيف الفيزيائي للمواد الصلبة في المياه.

### ٣.١.٢. المواد الغروانية Colloides solids

وهي جسيمات أبعادها تتراوح بين ٠.٠٠٠١ و ٠.٠١ ميكرومتر وتحمل شحنات كهربائية (كمون زيتا غير معدوم) تجعلها مستقرة في الماء وغير قابلة للتسريب الفيزيائي، وإزالتها ينبغي تحييد شحناتها بإضافة مركبات كيميائية تؤدي لتشكيل ندف هلامية تنمو وتكبر وترسب بزمن قصير، أبعاد الفيروسات تقع ضمن مجال الغروانيات التي لا ترى إلا بالمجهر الإلكتروني.

### ٣.١.٣. المواد الصلبة المنحلة Dissolved solide

وهي جزيئات أبعادها أقل من ٠.٠٠٠١ ميكرومتر، وإزالتها ينبغي إضافة مركبات كيميائية تؤدي إلى تشكيل مركبات قليلة الإنحلال في الماء وبالتالي قابلة للتسريب الفيزيائي كما يمكن إزالتها بتطبيق تقنية التناضح العكسي.

### ٣-٢- تكوين الجسيمات الغروانية :

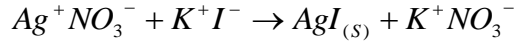
الجسيمات الغروانية ذات أبعاد من عدة نانومترات إلى ٢٠٠ نانومتر لأنها تتكون من تراكم:  
- جزيئات، وتدعى أيضاً ذرات ميسيلات و هذه حالة محاليل الصابون أو الصداً كما في الشكل ٣-٢.



الشكل (٣ - ٢): ميسيلات الصابون.

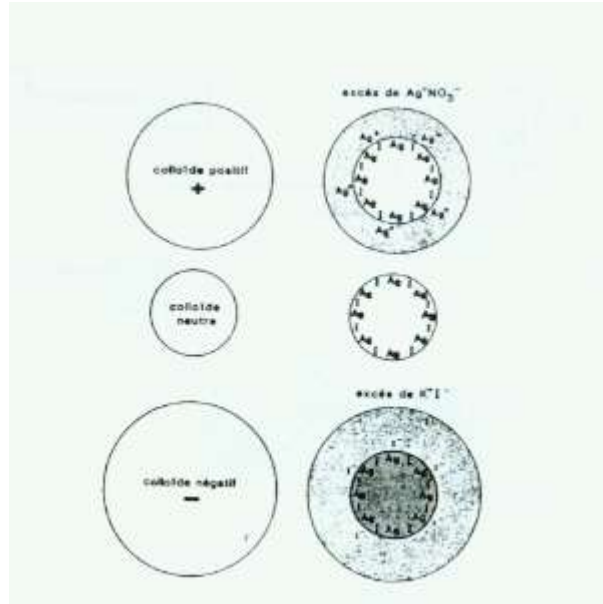
- الجزيئات الضخمة والمشكلة بتكثيف متعدد أو بلمرة جزيئات صغيرة ( هذه حالة البروتينات، السلولوز وعدد من المركبات الطبيعية أو التركيبية). إن شكل الجزيئات الضخمة متغير: كروي، متطاول، أو شبكي، تتجمع بعض الجزيئات الضخمة الخطية. يظهر البعض الآخر للجزيئات الضخمة على شكل صفيحات. الروابط في الميسيلات ليست روابط كيميائية حقيقية، كما في الجزيئات الضخمة، وإنما قوى تجاذب الكترولستاتيكي ( قوى فاندرفالس ، روابط هيدروجينية )، إذاً الروابط في الميسيلات أقل استقراراً وتتفكك بالتسخين أو بتمديد المحلول، تحوي الجسيمات الدقيقة الغروانية من جهة أخرى وبشكل عام شحنات كهربائية، حتى أنها تظهر بعض الخواص المشابهة لخواص الشوارد.

أهم أصل للشحنة الكهربائية للجسيمات الغروانية هو إمتزاز الشوارد الغريبة الموجودة في المذيب. تحوي الجسيمات الغروانية سطوح كبيرة بحدود ١٠٠٠ م<sup>٢</sup>/غرام، وهذا يجعل منها مادة مازة ممتازة، وحسب امتزازها للشارسبات أو للشارجيات، تشحن سلباً أو إيجابياً (بحوي المذيب شوارد مكملة للشوارد الممتزة)، تتبع إشارة الشحنة بنفس الوقت إلى طبيعة الجسيمات والوسط. لهذا يحضر محلول غرواني من يوديد الفضة AgI حسب التفاعل التالية :



إذا كانت المتفاعلات بكميات متعادلة، تكون جسيمات AgI المتشكلة حيادية. بشكل عام، نعمل بوجود فائض من أحد المتفاعلات، لكن تكوين AgI ليس خطياً. أما إذا كان AgNO<sub>3</sub> موجود بشكل فائض يحصل امتزاز لشوارد Ag<sup>+</sup> وتكون شحنة الجسيمات موجبة، بينما إذا كان الفائض هو KI يحصل امتزاز لشوارد I<sup>-</sup>، وتكون شحنة الجسيمات سالبة ( انظر الشكل ٣-٣).

أخيراً، وبسبب أهمية سطوح الجسيمات الغروانية فهي تستطيع امتزاز الجزيئات وبشكل خاص جزيئات المذيب المحيطة بها.

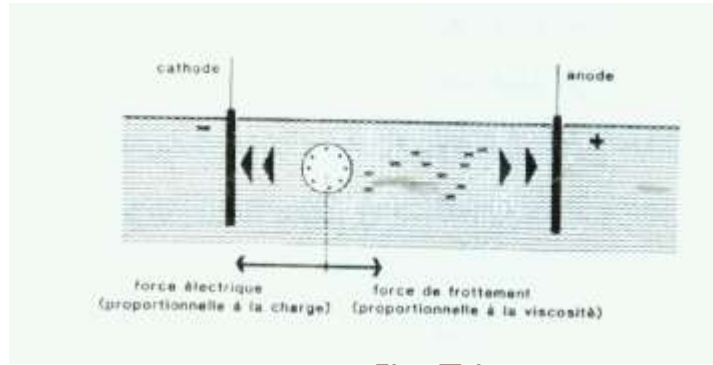


الشكل (٣ - ٣): إمتزاز شاردة والشحنة الكهربائية الناتجة.

بعض الجسيمات تستطيع امتزاز ١٠٠ ضعف وزنها من المذيب، أنها غروانيات أليفة للمحاليل المائية. وهذه التجاذبات مهمة جداً عندما تقترب طبيعة الجسيمات من طبيعة المذيب، هذه حالة ماءات الحديد والماء. بالمقابل المعادن الغروانية مثل الذهب لا تملك ألفة للمذيب إنها كارهة للمذيب.

### ٣-٣- الخواص الكهربائية للمحاليل الغروانية :

على الرغم من استبعاد معظم الشوارد الغريبة بواسطة الفرز الغشائي، فالمحاليل الغروانية ذات ناقلية ضعيفة للكهرباء، إن شحنة الجزيئات تنتج إما عن المجموعات القابلة للتشرد أو عن شوارد ممتزة. إذا وضعنا في محلول غرواني قطبين موصولين إلى مولد تيار كهربائي مستمر تحصل هجرة للجسيمات المشحونة كهربائياً، هذه هي ظاهرة الرحلان الكهربائي أو الالكترافورز Electrophorese (انظر الشكل ٣-٤).



الشكل (٣ - ٤): هجرة الجسيمات الغروانية والشوارد المكملة (ظاهرة الرحلان الكهربائي).

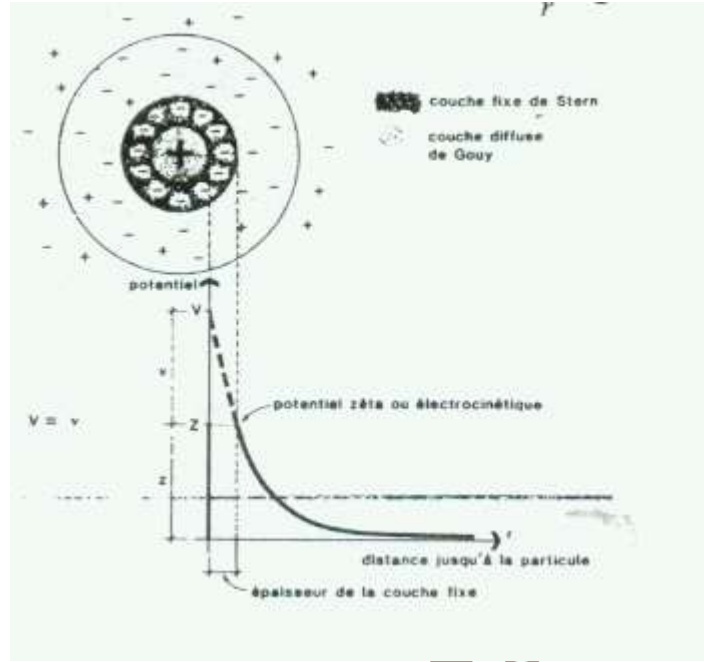
تخضع الجسيمات من جهة إلى قوة تجاذب كهربائية (الغروانيات الموجبة تجذب من قبل المهبط والسالبة تجذب نحو المصعد)، وتخضع من جهة أخرى إلى قوة كبح تنتج عن لزوجة الوسط، تصل الجسيمات إلى سرعة حدية ثابتة تابعة لشكل هذه الجسيمات وللكتلة المتوسطة وبشكل خاص لشحناتهم الفعلية (تتبع هذه الحركية أيضاً للزوجة ولثابت العازلية الكهربائية (إذاً لدرجة حرارة الوسط). بالطبع تتجه الشوارد الصغيرة ذات الشحن المتعاكسة باتجاهين متعاكسين.

تختلف الشحنة الفعلية لجسيمة غروانية عن الشحنة الحقيقية نتيجة لتأثير الشوارد المجاورة ذات الإشارة المعاكسة، والتي تلتصق تقريباً بقوة على الجسيمة.

- مسك الشوارد الأكثر قرباً من الجسيمة بقوة بواسطة تجاذب كهربائي: تشكل هذه الشوارد طبقة ثابتة أو ملتصقة ندعوها طبقة ستورن STERN، تنتقل هذه الطبقة مع الجسيمة، وتخفض الشحنة الحقيقية لهذه الجسيمة وتشكل حولها شاشة واقية (كما في الشكل ٣-٥).

- يتناقص تركيز هذه الشوارد بسرعة عند الابتعاد، أي عندما تزداد المسافة (تناسب قوة التجاذب مع

$$\left( \frac{1}{r^6} \right),$$



الشكل (٣ - ٥): الطبقة المضاعفة ، وكمون زيتا.

يوجد إذاً طبقة ثانية منتشرة تدعى طبقة غوي GOUY، لا تلتصق هذه الطبقة على الجسيمة، لكنها تشكل غيوم حول الجسيمة، وتصبح معدومة عند مسافة ما عن الجسيمة. ففي حقل كهربائي تجذب الجسيمة إليها الشوارد ذات الشحنة المعاكسة لشحنتها، لكن تجذب هذه الشوارد أيضاً من قبل القطب ذي الشحنة المعاكسة لشحنتها.

تعيق هذه الطبقة حركة الرحلان الكهربائي، كذلك تأخذ الشحنة الفعلية بعين الاعتبار من جهة الطبقة الثابتة، ومن جهة أخرى الطبقة المنتشرة.

لكن بما أن الجسم الحامل لشحنة كهربائية يطبق كمون  $V$  متناسب مع  $\frac{q}{r}$  . في حالة جسيمة غروانية من الصعب تحديد الكمون  $V$  الناتج عن الشحنة الحقيقية، لكن يمكن تجزئته إلى قسمين :

$$V = v + Z$$

حيث  $v$ : هو كمون التماس الذي يتغير فجأة بطريقة خطية تقريباً، داخل الغلاف الذي يكون الطبقة الثابتة.

$Z$  : كمون زيتا أو الكمون الحركي الكهربائي، وهو المتغير الوحيد المهم، ينتج  $Z$  ليس عن الشحنة الحقيقية، بل عن الشحنة الفعلية للجسيمة أو عن الشحنة الفعلية للمجموع (الجسيمة+ الطبقة



المضاعفة). بالعكس، هذه الشحنة الفعلية أي كمون زيتا هي التي تحدد حركة الجسيمة وكذلك استقرارها. عندما تنقص الشحنة الفعلية ينخفض الكمون زيتا وينخفض استقرار الجسيمة وإن لم تتغير الشحنة الحقيقية، وبالتالي لا يتغير الكمون V .

إن القياس المباشر للكمون زيتا Z مستحيل، لتحديده نقيس حركة جسيمة دقيقة في حقل كهربائي E حيث أن هذين البعدين مرتبطين ببعضهما.

### ٣-٤- إزالة استقرار المحاليل الغروانية:

تحتوي المياه الطبيعية غالباً جسيمات غروانية مشحونة سلبياً، حيث تصل قيمة كمون زيتا إلى عدة عشرات من الملي فولت، هذا الكمون هو إذاً سالب، لتعديل هذه الشحنة أو على الأقل لإنقاذها يلزم جلب شحنات تحمل شحنات معاكسة بالقرب من الجسيمات ، أي شارجات في الحالة المذكورة. تحتوي المخثرات التي تضاف خلال معالجة الماء على شوارد معدنية ثنائية أو ثلاثية الشحنة؛ والأكثر استخداماً أملاح الألمنيوم  $Al^{3+}$  والحديد  $Fe^{3+}$ .

نتيجة لمقدرة التخثير العالية وبسبب الثمن المعقول لكبريتات الألمنيوم، فإن هذه المادة مستخدمة بكثرة كمخثر. وينتج عن إضافة كبريتات الألمنيوم تشكيل عدة معقدات للألمنيوم في الماء الطبيعي ذات انحلالية وشحنة متغيرة، بامتزاز هذه المعقدات على الجسيمات الغروانية الموجودة في الماء تتغير شحنات الجسيمات وبالتالي يتغير كمون زيتا فيها. بما أن هذا الفعل عكسي فإن ضبط قيمة ال PH بشكل مناسب يؤدي إلى حدوث بلمرة للألمنيوم على شكل سلاسل تحيط بالجسيمات الغروانية، وتجمعها مع بعضها البعض بفضل روابط، وتسمح بتشكيل ندف قابلة للترسيب وحتى لا تتناثر الجسيمات الغروانية، يجب أن يكون كمون زيتا فيها ضعيف أو معدوم (من -٥ إلى +٥ ميلي فولت تقريباً)، تحدد الكمية المثالية للمخثر المطلوب إضافته للماء إما بواسطة تجارب تشكيل ندف في المخثر (تجربة الأواني، جار تيست) ، أو بقياس الكمون زيتا (تتبع كمية المخثر لقلوية الماء المراد معالجته).

لتشكيل ندف انطلاقاً من محلول غرواني يلزم إذاً في البداية تعديل شحنة الجسيمات، وهذا ما يدعى بالتخثير، وأخيراً يلزم تجميع الجسيمات التي أصبحت غير مستقرة وهذه هي مرحلة تشكيل الندف.

### ٣-٥- تعريف التخثير وتشكيل الندف

إن التخثير وتشكيل الندف هو عملية تشكيل جسيمات منفصلة إنطلاقاً من الغروانيات، والمعلقات الناعمة، ليسهل فصلها بسهولة عن الماء بالترسيب وبالترشيح.

إن الجزء الظاهر للعيان في العملية أي تشكيل الندف (يتم ضمن حوض فيه خلط بطيء) يُسبق بمرحلة تحطيم الاستقرار بفضل إضافة المركبات المخثرة **Coagulant** (تتم ضمن حوض فيه خلط بطيء). تمتاز بعض البكتريا على الندف الهلامية المتشكلة لهذا يلاحظ خفض لعدد البكتريا بعد عملية التخثير وتشكيل الندف.

يستخدم التخثير وتشكيل الندف بشكل أساسي لتزويق الماء وإزالة المواد العضوية (تحسين طعم ورائحة الماء).

### ٣-٦- تعديل كمون زيتا

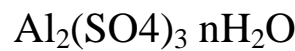
إن كمون زيتا للغروانيات الراهبة للماء **hydrophobes** يتراوح بين ٥٠ و ١٠٠ ميلي فولت. حتى تستطيع الحركة البراونية تحقيق تماس الجسيمات فيما بينها وبالتالي إزالة استقرارها، بينت التجربة ضرورة خفض كمون زيتا إلى ما دون ٣٠ ميلي فولت. يتم خفض كمون زيتا بإضافة شحنات كهربائية موجبة، الأيونات (الشوارد) ذوات الشحنات المرتفعة هي الأكثر فعالية في هذا المجال. وهذا يفسر فعالية تخثير الالكتروليتات القابلة لتقسيم أيونات موجبة ثلاثية الشحنة (أملاح الحديد وأملاح الألمنيوم).

تمتلك الغروانيات الطبيعية مثل الغضار (ضمن مجال PH المياه الطبيعية) شحنة سالبة، وبإضافة المخثر يتشكل محلول غرواني ذو شحنة موجبة وبالتالي يحصل التجاذب وتشكل ندف هلامية عديمة الشحنة وقابلة للنمو والترسيب الفيزيائي.

بيد أن إضافة كبيرة جداً من الالكتروليت يمكن أن تقلل من فعالية التخثير حيث تسيطر في هذه الحالة غروانيات ذوات شحنة موجبة وبالتالي تمتلك هذه الغروانيات الجديدة المتشكلة كمون زيتا ذي إشارة مخالفة للإشارة البدائية.

### ٣-٧- المركبات الكيميائية المستخدمة كمخثرات

من أهم المركبات الكيميائية المستعملة عملياً لإنجاز التخثير نذكر:



كبريتات الألمنيوم المائية



ألومينات الصوديوم



كلور الحديد

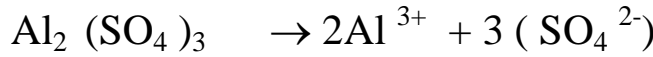


كبريتات الحديدي

ويمكن أن يؤكسد الحديد الشائبي أثناء المعالجة إلى حديد ثلاثي عن طريق إضافة مرافقة لمركبات كلورية أو لبرمنغنات البوتاسيوم.

### ٣-٨-أسلوب تأثير المخثرات

لمعرفة تأثير المخثرات بشكل أفضل نأخذ كمثال حالة إضافة كبريتات الألمنيوم، إن كبريتات الألمنيوم في محلول مركز عند PH منخفض تظهر على شكل منخفض تظهر على شكل إيونات:



في لحظة إضافة كبريتات الألمنيوم للماء المعد للمعالجة، يتميه أيون الألمنيوم ليشكل أيونات معقدة التي يمثل شكلها الأكثر بساطة بالصيغة:



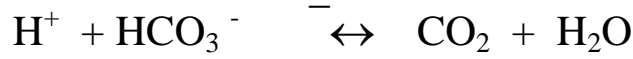
لقد شخصت عدة أشكال أيونية متعددة النوى وأكثر تعقيداً تحتوي حتى ٨ ذرات ألمنيوم وأيونات ثنائية أو ثلاثية التكافؤ، وهذا يُفسر لماذا ظواهر التخثير وتشكيل الندف حساسة جداً للـ PH وللتركيب الكيميائي للماء المعالج.

تخضع أملاح الحديد مثل كلور الحديد  $\text{FeCl}_3$  إلى تميه أيوني شبيهه بالسابق مع ميل أكبر لتشكيل بوليمرات ذوات تكافؤ رباعي.

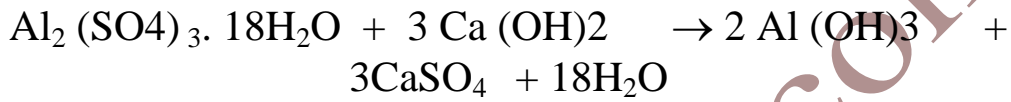
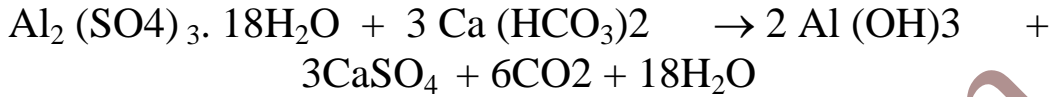
هذه البوليميرات هي التي تؤثر على الغروانيات وتعديل الشحنات الالكتروستاتيكية وتغير الشكل البلوري للغروانيات وتشكل ندف معتدلة الكترولستاتيكية وذوات أبعاد كبيرة. إن تشكيل أيونات معقدة يحرك عدد من أيونات الهيدروكسيل  $\text{OH}^-$  ويدخل التأثير الموقفي لأيونات البيكربونات الموجودة في الماء. و يقود التميه الأيوني إذاً إلى خفض قلوية الماء.

و يحصل خفض للـ PH وزيادة في تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون المنحل:





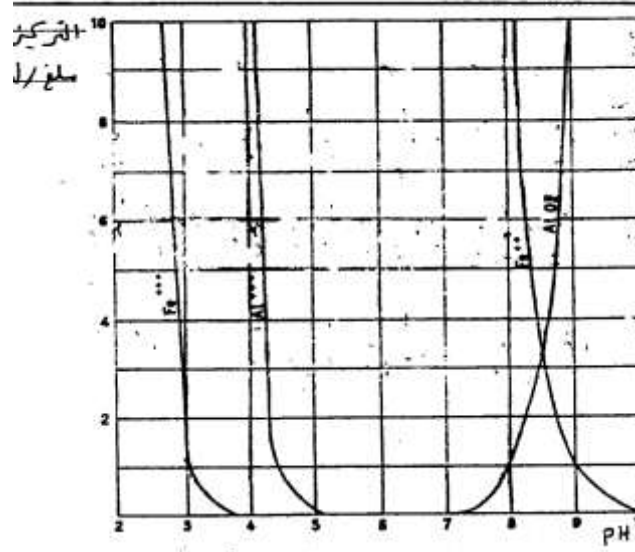
وإن الشكل العام لانحلال كبريتات الألمنيوم في الماء الحاوي على قلوية هيدروجينوكربونات الكالسيوم أو المضافة إليه ماءات الكالسيوم يتم وفق التفاعلات التالية:



إن كميات المخثرات المضافة ضعيفة جداً مقارنة مع كتلة الماء الطبيعي المعد للمعالجة فهي تتراوح بين عدة غرامات للمتر المكعب إلى ١٥٠ غ/م<sup>٣</sup>.

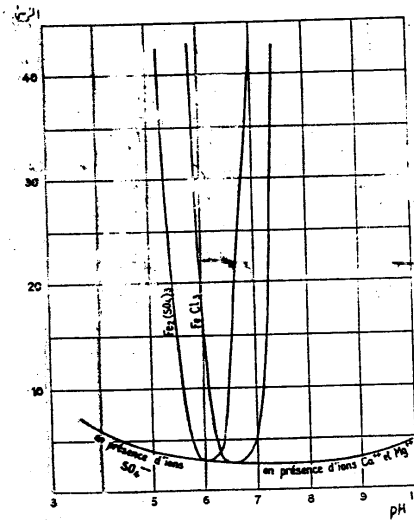
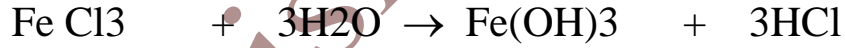
### ٣-٩-اختيار المخثرات

إن التخثير ظاهرة معقدة جداً لذلك يجب اختيار نوعية المركبات المخثرة المناسبة وتركيزها بشكل تجريبي اعتماداً على تجربة الأواني jar test ، لكن مع ذلك PH الماء المعد للمعالجة يمكن أن يوجهنا إلى تحديد المخثر الأكثر ملائمة، الـ PH يؤثر على التركيز الذي نحصل بفضله على التأثير المرغوب ويؤثر أيضاً على الكمية المتبقية غير المترسبة من المخثر في الماء بعد المعالجة، ويتحكم الـ PH بحركية تشكيل الندف، بالإختصار في كل حالة معطاة ومن أجل كل مروب يوجد مجال PH مثالي وهو المجال الذي تكون فيه إنحلالية الأيونات المعدنية المضافة عن طريق المخثر أقل مايمكن فمن أجل كبريتات الألمنيوم وألومينات الصوديوم يكون مجال الـ PH المثالي بين 5.5 وحتى ٧ ( شكل ٣-٦ ).



الشكل (٣ - ٦): انحلالية أيونات الألمنيوم و الحديد تبعاً لـ PH.

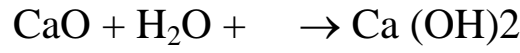
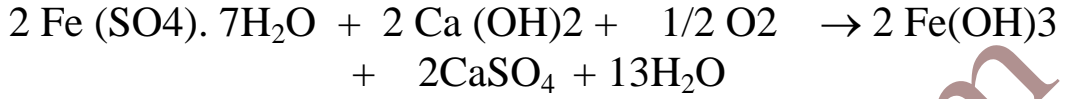
أما من أجل كلور الحديد وكبريتات الحديد فمجال الـ PH المثالي قريب من ٦.٥ - ٦.٠ (شكل ٣ - ٧) لكن كلور الحديد مادة مخزشة جداً ويحتاج استخدامه لاستعمال مواد في تجهيزات التخثير مقاومة للتآكل، كما أن نقله وتخزينه والتعامل معه يحتاج إلى عناية خاصة فهو يتفاعل مع الماء ويشكل حمض كلور الهيدروجين:



الشكل (٣ - ٧): سرعة تخثير أملاح الحديد.

بما أن كبريتات الألمنيوم وكلور الحديد وكبريتات الحديد أملاح حمضية فهي ملائمة جداً لمعالجة ماء خام ذو قلوية مرتفعة، أما إذا كانت قلويته منخفضة فيلزم أيضاً إضافة  $\text{Ca(OH)}_2$  ، وبالتالي يصبح التخثير مكلفاً اقتصادياً.

أما كبريتات الحديد فيمجال الـ PH المثالي أعلى من ٨.٥ لذلك يضاف مع كبريتات الحديدى ماءات الكالسيوم وبوجود الأكسجين المنحل تتشكل ندف من ماءات الحديد وفق التفاعل التالي:



وإذا كان الماء الخام ذي قلوية ضعيفة جداً فإن المخثر الأكثر ملائمة هو الومينات الصوديوم الذي يعتبر مادة قلوية بتفاعلها مع الماء تتشكل ماءات الصوديوم:



بيد أن ثمن مركب ألومينات الصوديوم مرتفع، مما يقلل من استخدامه لمعالجة تدفقات كبيرة من المياه.

### ٣-١٠- العوامل المؤثرة على فعالية التخثير وتشكيل الندف

من أهم العوامل المؤثرة على فعالية التخثير وتشكيل الندف:

#### أ. خصائص المياه المعدة للمعالجة:

كما بينا في الفقرة السابقة فإن PH الماء يؤثر على فعالية المعالجة وكذلك درجة حرارة الماء، حيث أن التخثير عملية كيميائية فزيادة درجة الحرارة تعني زيادة سرعة التفاعل وتسريع عملية التميح الأيوني وتشكيل الندف الهلامية.

#### ب. نوعية وكمية المادة المخثرة:

إن خصائص الماء الخام وبشكل أساسي قلوئته ونوعية الغروانيات فيه تحدد نوعية المخثر الأمثل. لكن ينبغي دوماً اللجوء إلى تجربة الأواني لتحديد النوعية بشكل دقيق وأيضاً الكمية الأمثل للحصول على أفضل تخثير.

#### ج. زمن وشدة الخلط:

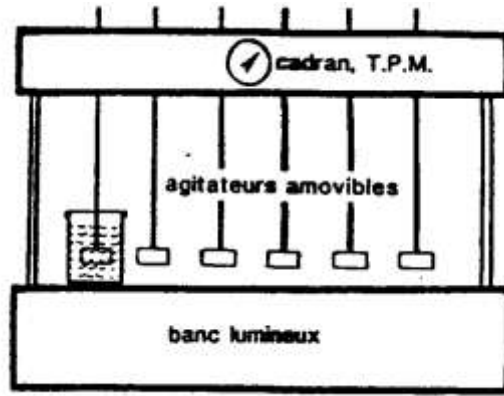
كما ذكرنا يلزم كمرحلة أولى خلق إضطراب شديد لفترة قصيرة حتى يتوزع المخثر ضمن مجمل كتلة الماء، وبعد ذلك ينبغي أن يكون الخلط بطيء نسبياً حيث أن الخلط القوي أثناء مرحلة تشكيل الندف يؤدي إلى تكسير وتشتيت الندف المتشكلة ولكن الخلط البطيء جداً يؤخر في عملية تشكيل الندف.

### ٣-١١- تحديد الشروط المثلى للتخثير وتشكيل الندف

تجربة الأواني jar tests هي الوسيلة والأداة المخبرية لتحديد الشروط المثلى للتخثير وتشكيل الندف أي تحديد نوعية و كمية المخثر المضاف للماء المعد للمعالجة للحصول على أكبر كفاءة إزالة للمواد الغروانية وأي ملوثات يُراد إزالتها خلال عملية التخثير وتشكيل الندف.

#### أ. مكونات الجهاز

يتألف جهاز jar tests من سلسلة من أربعة أو ستة خلاطات ذوات مضارب موضوعه على مصطبة مضادة سرعة المضارب قابلة للتعديل في كل خلاط، ويشمل الجهاز بيشرات (أواني أسطوانية مدرجة) حجم كل منها ٥٠٠ مل أو ١٠٠٠ مل تستخدم كأوعية لإحتواء عينات الماء المعد للمعالجة (شكل ٣.٨).



الشكل ( ٣ - ٨ ): مكونات جهاز تجربة الأواني (جارتيس (jartests).

### ب . مراحل إجراء التجربة

- ١ . تعبأ الأوعية بكميات متساوية من مياه العينة المراد دراسة معالجتها.
- ٢ . نضيف إلى كل وعاء كمية معينة من المادة الكيميائية المختارة، فإذا كان المراد تحديد المادة المخثرة المثالية نضيف إلى كل وعاء مادة مختلفة من المخثرات مع الحفاظ على نفس الكمية في كافة الأوعية. إما إذا كان المراد معرفة تركيز المادة الكيميائية المخثرة فإننا نضيف إلى الأوعية كميات مختلفة من نفس المادة الكيميائية المخثرة.
- ٣ . يشغل الجهاز لتدوير الخلاطات بسرعة عالية (١٢٠ دورة/الدقيقة) لمدة قصيرة (حوالي ٢ دقيقة) لتأمين توزيع المادة الكيميائية في مجمل الماء وإنجاز التمهيد الأيوني وتشكيل الركامات الأوائل.
- ٤ . تبطئ سرعة تدوير الخلاطات إلى ٤٠ دورة في الدقيقة ويستمر تشغيل الجهاز بهذه السرعة لمدة عشرين دقيقة ويُلاحظ تشكيل الندف ومعدل نموها وكبرها.
- ٥ . إيقاف الجهاز عن الدوران ورفع الخلاطات وترك الأوعية هادئة ونلاحظ تجانس ترسب الندف المتشكلة في المرحلة السابقة.
- ٦ . بعد انتهاء فترة الترسيب (٣٠ دقيقة أو أكثر حسب الضرورة)، نسحب من الماء الطافي ونجري قياسات تحليلية كتعيين الـ PH ، العكارة ، درجة اللون، نسبة المواد العضوية .. الخ. والإناء الذي يُظهر أفضل كفاءة إزالة للتلوث فإنه يحتوي على النوع أو الكمية المثلى للمروب.

### تطبيق عددي ١:

تم إضافة جرعة (٤٠ ملغ/ل) من كبريتات الحديدية المائية إلى مياه سطحية يراد معالجتها كمصدر لمياه الشرب مع كمية ملائمة من الكلس، والمطلوب:

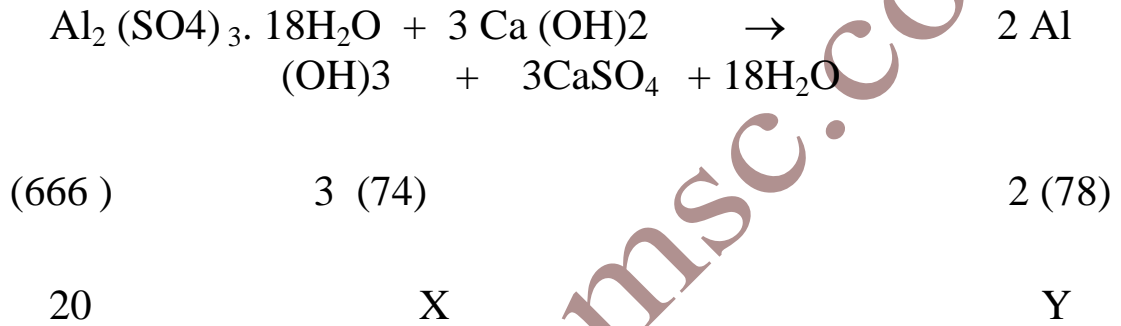
تحديد كمية الكلس الحي  $CaO$  التي يلزم إضافتها مع كبريتات الحديدية إذا علمت أن القوة التجارية للكلس الحي هي ٧٠%. وأحسب كمية ماءات الحديد الناتجة عن معالجة لتر واحد من الماء.





## تطبيق عددي ٢:

محطة معالجة مياه شرب تعالج تدفق يومي (٣٥٠٠ م<sup>٣</sup>/يوم) ويستهلك في عملية التخثير كمية من الشبة مقدارها ٢٠ ملغ لكل لتر من الماء. قلوية الماء الخام ٤.٥ ملغ/ل مثل كربونات الكالسيوم. والمطلوب: تحديد كمية الكلور الحي  $\text{CaO}$  التي يلزم إضافتها مع الشبة إذا علمت أن القوة التجارية للكلور الحي هي ٨٠%. وأحسب كمية ماءات الألمنيوم الناتجة عن معالجة لتر واحد من الماء.



كمية ماءات الكالسيوم اللازمة

$$X = 20 \cdot 3 \cdot 74 / 666 = 6.67 \text{ mg/l}$$

وكمية ماءات الألمنيوم الناتجة

$$Y = 20 \cdot 2 \cdot 78 / 666 = 4.68 \text{ mg/l}$$

ولكن لدينا كل 74 mg/l من  $\text{Ca} (\text{OH})_2$  تكافئ 100 mg/l من  $\text{CaCO}_3$  ، أي كمية القلوية المطلوبة هي

$$6.67 \cdot 100 / 74 = 9.009 \text{ mg/l as CaCO}_3$$

وبالتالي كمية القلوية المطلوب إضافتها إلى الماء

$$9.009 - 4.5 = 4.509 \text{ mg/l as CaCO}_3$$

وبما أن كل 100 mg/l من  $\text{CaCO}_3$  تكافئ 56 mg/l من CaO فإن كمية CaO النقي المطلوبة هي:

$$4.509 * 56 / 100 = 2.525 \text{ mg/l as CaCO}_3$$

لنحسب كمية الكلور الحي التجاري:

$$2.525 * 100 / 80 = 3.156 \text{ mg/l}$$

### ١٢.٣ - أساليب إضافة المخثرات للماء

تصنف الأجهزة المستعملة لتغذية الماء بالمخثرات إلى فئتين رئيسيتين:

#### ٣-١٢-١ - أجهزة التغذية الجافة:

يتم بوساطة هذه الأجهزة التحكم في معدل إضافة المخثرات إلى الماء قبل إذابتها أي وهي على هيئة مسحوق، ويتم التحكم في هذه الأجهزة بوزن المسحوق قبل إضافته بحيث تكون النسبة بين جرعة المخثر كمسحوق إلى كمية المياه المعالجة كما تم تحديدها بتجربة الأواني (جارتيس (jartests).

#### ٣-١٢-٢ - أجهزة التغذية على هيئة محلول:

حيث يتم تحضير محلول من المادة المخثرة ذي تركيز محدد، وتحدد كمية المادة المخثرة المضافة إلى الماء المعد للمعالجة بتحديد حجم المحلول المضاف إلى الماء. وهذا الأسلوب أكثر استعمالاً من طريقة التغذية الجافة نظراً لسهولة التشغيل والصيانة والتحكم في جرعة المخثر المضافة إلى الماء المعد للمعالجة. بوساطة هذه الأجهزة يتم التحكم في معدل إضافة المخثرات إلى الماء بقياس حجم المحلول قبل إضافته إلى كمية المياه المعالجة كما تم تحديدها بتجربة الأواني (جارتيس (jartests).

### ٣. ١٣ - تحضير محلول المخثرات

لتحويل المواد المخثرة من حالتها الصلبة إلى حالة محلول يضاف إلى الماء المعد للتخثير، تستخدم أحواض خاصة مقاومة للحموض والمواد الكيميائية وتكون عادة من الخشب أو من الببتون المسلح مغلفة من الداخل بمواد مقاومة للمحاليل الكيميائية. وتتم في هذه الأحواض إذابة المواد الكيميائية بالهواء المضغوط أو بالتحريك الميكانيكي.

#### ٣. ١٣ - ١ - تحضير محلول المادة المخثرة بالهواء المضغوط (د. درغام)

يتم تحضير المحلول في خزان مبین في الشكل (٣-٩) ومؤلف من : أنبوب تزويد الهواء المضغوط (6) وصنبور تغذية بالماء المستخدم للإذابة (5)، وأنبوب مثقب لضخ الهواء المضغوط (7) و (٨)، وأنبوب سحب المحلول (٢)، وأنبوب سحب الرواسب، والشبك المقاوم للمواد الكيميائية.

الشكل (٣-٩): خزان تحضير محلول المادة المخثرة بالهواء المضغوط.

يتم العمل في هذا الخزان على النحو التالي:

توضع الكمية المحسوبة من المادة المخثرة على الشبك المقاوم للمواد الكيميائية وبمأ الخزان بالماء. بعد ذلك يفتح صنبور الهواء المضغوط الذي يقوم بعملية التحريك الذي يستمر حتى انحلال المادة المخثرة. بعد انتهاء عملية الانحلال يوقف الهواء المضغوط ويترك المحلول في حالة سكون حتى ترسب الشوائب غير المنحلة التي يتم أخراجها والتخلص منها من الأسفل، ويتم سحب المحلول من الخزان بواسطة الأنبوب (٢) إلى خزان محلول المادة المخثرة، حيث يسحب منه ليقدم إلى مكان المزج مع المياه المعدة للتخثير.

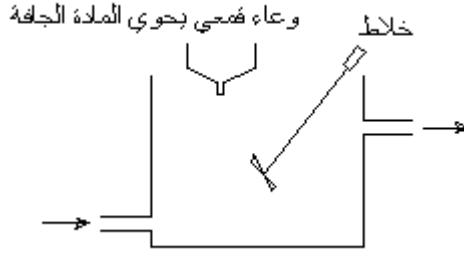
تتراوح المسافة بين أضلاع الشبك المقاوم للمواد الكيميائية بين ٥-١٥ ملم، وسرعة الهواء المضغوط أثناء خروجه من ثقب الأنبوب (٧) بين ٢٠-٣٠ م/ثا وكميته بين ٨-١٠ ل/ثا لكل ١ متر مربع من سطح الشبك.

### ٣. ١٣-٢- تحضير محلول المادة المخثرة بالخلط الميكانيكي (مظهر السمان) يتم تحضير المحلول كما هو مبين في الشكل (٣-١٠)

توضع المواد الكيميائية المخثرة الصلبة الكبيرة الأبعاد على الشبك المقاوم للمواد الكيميائية (٣)، وملاً الخزان بالماء بوساطة السكر (١) وبحيث يكون السكر (٨) مغلقاً. نشغل الخلاط (٢) وتبدأ المياه في الخزان بالدوران تحت تأثير دفع دوران فراش الخلاط، ويستمر الخلط حتى انخفاض كمية المواد المخثرة على الشبك والحصول على كمية ثابتة لا تذوب مع الزمن بسبب الحصول على محلول مشبع للمادة المخثرة. يفتح السكر (١) من جديد بحيث يدخل الماء إلى الجزء الحاوي على الخلاط . ونتيجة للدوران يبدأ محلول المادة المخثرة بالمرور إلى الخزان (٦)، من الفتحة (٥) التي كانت مغلقة في المرحلة الأولى.

الشكل (٣-١٠): خزان تحضير محلول المادة المخثرة بالخلط الميكانيكي.

وقد يتم إضافة المادة المخثرة الصلبة صغيرة الأبعاد عن طريق وعاء قمعي إلى حوض تحضير محلول المادة المخثرة حيث يتم فيه خلط ميكانيكي للمادة المخثرة وبحسب حجم حوض التحضير ذي الشكل متوازي المستطيلات بحيث يؤمن زمن مكوث كافي لإذابة المادة المخثرة.



والزمن اللازم لإذابة كبريتات الألمنيوم (الشبة) ٥ دقائق.

تطبيق عددي ١:

صمم حوض تحضير المواد الكيميائية اللازمة لمنشأة تدفقا اليومي  $35000 \text{ m}^3$  باستعمال كبريتات الألمنيوم (الشبة) بجرعة  $40\text{mg/l}$  ، مدة البقاء اللازم لحل كبريتات الألمنيوم هي خمس دقائق ( 5 min )

الحل

كمية كبريتات الألمنيوم اللازمة خلال خمس دقائق

$$35000 * 0.04 * 5 / (24 * 60) = 4.86 \text{ Kg}$$

بفرض أن محلول كبريتات الألمنيوم سيحضر بتركيز 4 غرام/لتر فسيكون تدفق محلول الشبة ١% من تدفق ماء الصرف.

فيكون التدفق التصميمي اللازم لمحلول المادة في حوض تحضير محلول الشبة:

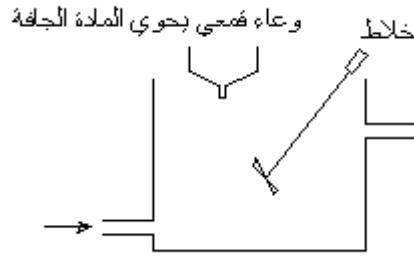
$$Q = 35000 * 0.01 = 350 \text{ m}^3/\text{d}$$

حجم حوض التحضير اللازم:

$$5 * 350 / 24 * 60 = 1.215 \text{ m}^3$$

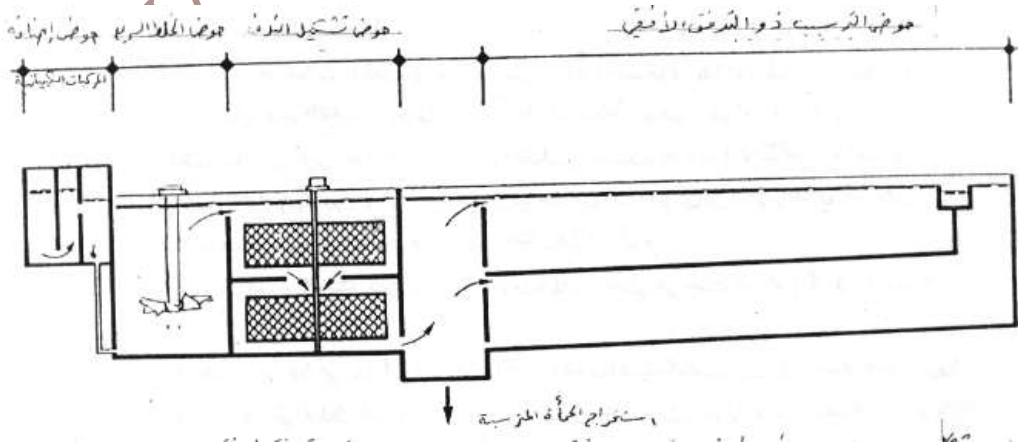
أي تكون أبعاد الحوض (1.25 \* 1.25 \* 0.77)m

نزيد ارتفاع الحوض قليلا بمقدار 0.23 m لأجل فوهة دخول المادة الجافة لتصبح الأبعاد الإنشائية للحوض (1.25 \* 1.25 \* 1.0)m



### ١٤.٣ - تصميم أحواض التخثير وتشكيل الندف

لمعالجة المياه الخام في محطة المعالجة بالشكل الأمثل يلزم وجود أحواض تؤمن كافة مراحل التخثير وتشكيل الندف: الخلط السريع، الخلط البطيء، والترسيب (شكل ١١.٣).



الشكل (٣ - ١١): أحواض التخثير وتشكيل الندف مع مرسب ذو تدفق أفقي.

### ٣-١٤-١. مزج محلول المواد المخثرة مع المياه المعدة للتخثير

حتى تتم عملية التخثير بشكل صحيح لا بد من توزيع وانتشار المادة المخثرة بشكل منتظم في جميع نقاط المياه المعدة للمعالجة، أي الحصول على محلول متجانس التركيز بالنسبة للمادة المخثرة. للوصول إلى حالة المزج الكامل والسريع بين الماء ومحلول المادة المخثرة تستعمل معدات خاصة تدعى معدات المزج التي تدوم فيها العملية لمدة ١-٢ دقيقة على الأكثر حيث تبدأ بعدها عملية تشكيل الندف. وتتم عملية المزج في هذه المعدات بإحداث جريان مضطرب فيها بعد مزج المياه بالمواد المخثرة.

تقسم معدات المزج حسب مبدأ العمل فيها إلى هيدروليكية، وميكانيكية تعتمد على خلطات ميكانيكية لاتمام عملية المزج.

### ٣-١٤-١. معدات المزج الهيدروليكي

تعتمد معدات المزج الهيدروليكي على طاقة حركة المياه فيها، ونجد منها عدة نماذج:

#### أ- المزج ضمن أنبوب ضخ المياه المعدة للتخثير

تتم عملية المزج بإضافة محلول المادة المخثرة في أنبوب ضخ المياه المعدة للتخثير، وينفذ وصل للأنبوب القادم من خزان محلول المواد المخثرة مع أنبوب ضخ المياه المعدة للتخثير بواسطة فلنجة معدنية وجوان مطاطي وبحيث يصل أنبوب المواد الكيميائية إلى محور أنبوب الضخ تقريباً وتكون نهاية أنبوب المادة المخثرة في أنبوب الضخ مشطوفة بزاوية ٤٥ درجة وتوضع بحيث تكون الجهة الطويلة بعكس اتجاه تيار المياه كما في الشكل (٣ - ١٢) لحماية محلول المادة المخثرة من ضغط المياه المعدة للتخثير ليسهل انسيابه إلى أنبوب الضخ. بعد مكان وصل الأنبوبين يتم تضيق قطر أنبوب الضخ بواسطة فلنجة معدنية داخلية، حيث يحدث اختناق وزيادة في سرعة حركة المزيج، أي يتم الحصول على حركة مضطربة تسبب المزج الكامل وبعدها تعود سرعة المياه إلى ماكانت عليه قبل الاختناق.

الشكل (٣ - ١٢): مزج محلول المادة المخثرة في أنبوب ضخ المياه المعدة للتخثير.



للحصول على النتائج المطلوبة من عملية المزج بهذه الطريقة يجب أن يكون على الأقل:

$$L = 50. D$$

حيث  $L$  : المسافة بين الاحتناق في أنبوب ضخ المياه والمرحلة اللاحقة للمعالجة (تشكيل الندف).  
 $D$  : قطر أنبوب ضخ المياه المعدة للتخثير.

#### ب- حجرة المزج الكامل ذات الجدران غير الكاملة المتقاطعة

تتألف هذه الحجرة من مجرى مائي يحتوي على ٥-٧ جدران عرضية غير كاملة تشكل مع محور الجريان زاوية ٤٥ درجة أو تكون متعامدة فيما بينها كما هو مبين في الشكل (٣ - ١٣).  
تجري المياه في الحجرة من خلال الفتحات بين الجدران بسرعة 1-0.8 م/ثا. هذه السرعة تؤمن التيار المضطرب اللازم لاتمام عملية المزج بأقل ضياع في الطاقة الحركية للسائل الذي يسبب نقصان السرعة كلما اقترب تيار المياه من نهاية الحجرة. لهذا السبب يجب توسيع الفتحات باتجاه الجريان لتأمين مرور الكمية نفسها من المياه بدون حدوث احتناق في الحجرة.

الشكل (٣ - ١٣) : حجرة المزج الكامل ذات الجدران غير الكاملة المتقاطعة.

عند حساب هذا النوع من حجرات المزج الكامل يتم تحديد مساحة وأبعاد القناة بعد الحجرة وأبعاد فتحات ما بين الجدران وضياع الضغط.  
يتم حساب القناة بعد حجرة المزج كما يلي:

سطح مقطع الجريان في القناة  $S_c$

$$S_c = Q/V_c$$

حيث  $Q$  : تدفق المياه المعدة للمعالجة (م<sup>3</sup>/ثا).

$V_c$  : سرعة المياه في القناة بعد حجرة المزج الكامل ( تقبل سرعة 0.5-0.6 م/ثا).

ارتفاع المياه في القناة  $H_c$

$$H_c = S_c / b$$

حيث  $a$  : عامل يحدد تحريباً وتتراوح قيمته بين 2 - 2.5 .

$V$  : سرعة المياه خلال الفتحات بين الجدران ( تقبل سرعة 0.8-1.0 م/ثا).

$g$  : تسارع الجاذبية الأرضية ( 9.81 م/ثا<sup>2</sup>).

كل فتحة سيكون لها سطح  $S$  :

$$S = Q / V$$

حيث  $Q$  : تدفق المياه المعدة للمعالجة (م<sup>3</sup>/ثا).

$V$  : سرعة المياه خلال الفتحات بين الجدران ( تقبل سرعة 0.8-1.0 م/ثا).

وارتفاع الماء قبل كل فتحة (بدءاً من آخر فتحة في الحجرة) سيكون:

$$H_1 = H_0 + h$$

$$H_2 = H_1 + h = H_0 + 2 h$$

$$H_n = H_0 + n h$$

حيث  $n$  : عدد الجدران العرضية غير الكاملة من طرف واحد من الحجرة.

أما عرض الفتحات فسيكون:

$$b_1 = S / (H_0 + h)$$

$$b_2 = S / (H_0 + 2 h)$$

.

.

.

$$b_n = S / (H_0 + n h)$$

### ج - حجرة المزج الكامل ذات الجدران المثقبة (د.درغام)

تتألف هذه الحجرة من مجرى مائي من البيتون المسلح أو المعدن أو الخشب مجهزة على الأقل بثلاثة جدران عرضية مثقبة متوضعة متعامدة مع اتجاه جريان الماء، كما في الشكل .. ويزداد هذا العدد إلى أربعة جدران في حال استعمال عدة مواد كيميائية في آن واحد. سرعة جريان المياه في القناة بعد الحجرة 0.6 م/ثا وخلال ثقوب الجدران 1.0 - 1.2 م/ثا. ويسبب الماء المار عبر الثقوب حركة دوامية اضطرابية تؤدي إلى الخلط الجيد للمحاليل مع الماء ، وتؤخذ اقطار الثقوب من ( ٢٠-١٠٠ ملم) كما يجب أن يكون الصف العلوي من الثقوب مغموراً بالماء لعلو لا يقل عن (١٠-١٥ سم) لتحاشي دخول الهواء.

يعطى السطح الكلي للثقوب في كل جدار بالعلاقة :

$$W = Q / v_0$$

حيث  $v_0$  : سرعة المياه في الثقوب.

ويفضل أن لا يزيد السطح الكلي للثقوب عن ٣٠% من المساحة الفعالة .

وسطح مقطع كل ثقب سيكون:

$$n = W / W_0 = 4W / r d^2$$

حيث  $d$  : قطر الثقوب (ملم).

ويحدد ضياع الحمولة  $\epsilon h_0$  عند مرور الماء عبر ثقوب جميع الحواجز بالعلاقة:

$$\epsilon h_0 = m v_0^2 / 2g \mu^2$$

حيث  $m$  : عدد الحواجز (٣ غالباً).

$g$  : تسارع الجاذبية الأرضية ( $9.81 \text{ m/ sec}^2$ ).

$\mu$  : عامل التدفق ويتعلق بنسبة قطر الثقب إلى سمك الحاجز  $e$  ويؤخذ بين 0.65-0.75

(عندما  $d/e= ٢$  يكون  $\mu= ٠.65$  عندما  $d/e= ١$  يكون  $\mu= ٠.75$ ).

يعطى قيمة لعمق الماء في نهاية حجرة الخلط ( 0.4-0.5 متر)، وبالتالي نستطيع تحديد مستوى الماء في بداية الحجرة ، حيث يحدد مستوى انخفاض الماء بعد كل حاجز من العلاقة:

$$h = \epsilon h_0 / m$$

وتوضع الثقوب على الجدران على شكل رقعة الشطرنج والبعد بين كل ثقبين يتراوح بين ٥-٦ سم. ويفضل عند استخدام الكلس الحي أو المطفأ زيادة قطر الثقوب لحذف امكانات انسدادها.

د - حجرة المزج الكامل الشاقولية (د.درغام)

يمكن أن المقطع الافقي لهذه الحجرة دائرياً أو مربعاً ، ونهايتها من الأسفل إما على شكل مخروط أو هرم بجدران ميلها ٣٠-٤٠ درجة كما هو مبين في الشكل (٣ - ١٤).

الشكل (٣ - ١٤): حجرة المزج الكامل الشاقولية.

يفضل اللجوء إلى هذا النوع من حجرات المزج الكامل عند إضافة الكلس الحي أو المطفأ لأن الشروط في الحجرات الأفقية لا تسمح لجسيمات الكلس بالبقاء في الماء وترسب أمام الجدران، بينما تبقى الجسيمات في الحجرات الشاقولية معلقة في الماء حتى ذوبانها بالكامل.

تدخل المياه المعدة للمعالجة إلى الحجرة الشاقولية من الأسفل عن طريق الأنبوب (١) بسرعة تتراوح بين ١ - 1.5 م/ثا وتتابع حركتها إلى الأعلى مع تناقص السرعة بسبب تزايد سطح مقطع الحجرة حتى تصل في الأعلى عند خروج الماء من القناة المجمعة بواسطة الأنبوب (٤) إلى ٢٥-٤٠ مم/ثا. أثناء حركة المياه في الحجرة إلى الأعلى يتم حقن المواد الكيميائية بواسطة الأنابيب (٥) بحيث تتم عملية المزج بشكل كامل عند خروج الماء من الحجرة في الأعلى. يتم خروج الماء عبر أنابيب مخزومة ذات ثقب مغمورة أو عبر قمع مغمور مركزي التوضع.

يتم حساب ارتفاع الحجرة بحيث يكون زمن مكوث المياه فيها بين ١ - ٢ دقيقة ويجب أن لا يقل هذا الارتفاع عن 1.5 متر. وفي حال الاضطرار لتفريغ الحجرة يفتح سكر الأنبوب (٦).

### ٣-١٤-١-٢- معدات المزج الميكانيكي

تتصف معدات المزج الهيدروليكية بعدم إمكانية تنظيم درجة اضطراب الماء وزمن مكوثه في الخلاطات بالنسبة لنوعية الماء وغزارته. أما معدات المزج الميكانيكي فتعتمد على وجود خلاطات ميكانيكية لاتمام عملية مزج المياه مع المواد الكيميائية المخثرة. وتسمح هذه الخلاطات بتخفيض زمن التثخير. وتحسب حجرات المزج الميكانيكي بحيث يكون زمن مكوث المياه فيها بين ١ - ٢ دقيقة و يتم ادخال المواد الكيميائية فيها مباشرة قرب منطقة دوران الخلاط الميكانيكي (سرعة الدوران لا تقل عن ١٢٠ دورة/الدقيقة). ويبين الشكل (٣ - ١٥) نموذجين من معدات المزج الميكانيكي.

الشكل (٣ - ١٥): نماذج لحجرات المزج الميكانيكي.

إن بعض المركبات الكيميائية يمكن حقنها عند نقطة واحدة تقريباً (كأملاح الحديد وأملاح الألومين) ومساعدات المواد المروية (مركبات الكلور) وذلك في حالة استعمال هذه المواد. أما في حالة استعمال الكلس فينبغي حقن الكلس بعيداً نوعاً عن نقطة حقن المواد الأخرى لأن وجود هذه المواد الكيميائية بتركيز موضعي كبير مع الكلس سوف يؤدي إلى تشكل رواسب من مركبات ( $Al_2O_3 \cdot nH_2O$  أو  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ ) وليس غروانيات من هذه المركبات وبالتالي تنخفض كفاءة عملية تشكيل الندف ويؤدي لضياع في المواد الكيميائية الخام.

### ٣-١٤-٢ - أحواض الخلط البطيء

مهمة هذه الأحواض زيادة فرص تماس الندف المتشكلة مع بعضها البعض لتكون ندفاً أكبر حجماً وقابلة للترسيب. وتتميز بين أحواض الخلط البطيء ذات الجدران غير الكاملة وبين الأحواض ذات مراوح التقليل.

### ٣-١٤-٢ - ١ - أحواض الخلط البطيء ذات الجدران غير الكاملة:

هذه الأحواض من البيتون تحتوي على حواجز شاقولية متوضعة بحيث يمكن للمياه الحركة إما بالاتجاه الأفقي أو بالاتجاه الشاقولي.

يبين الشكل... مخطط حوض الخلط تتحرك فيه المياه بالاتجاه الأفقي في ممرات متصل بعضها ببعض وبسرعة صغيرة نسبياً (0.2-0.3 م/ثا) حتى لا تتفتت الندف المتشكلة. لحساب حوض الخلط البطيء ذي الجدران تتبع التسلسل التالي:

### - حجم حوض الخلط البطيء W

$$W = Q t$$

حيث Q : تدفق الماء المعد للمعالجة (متر مكعب / ثانية).

t : زمن مكوث المياه في الحوض جرة (١٢٠٠-٣٦٠٠ ثانية).

### - سطح حوض الخلط البطيء S

$$S = W / H$$

حيث H: ارتفاع الحوض (٢-٥ متر).

- عرض الممر الواحد b

$$B = Q / v H$$

حيث v: سرعة جريان الماء في الممرات (0.2-0.3م/ثا)

يجب أن لا يقل عرض الممر الواحد عن 0.5-0.7 متر وبحيث تكون النسبة بين عرض كامل الحجرة B وطولها A بحدود 0.8 أي:

$$B = 0.8 A > S = B A = 0.8 A^2$$

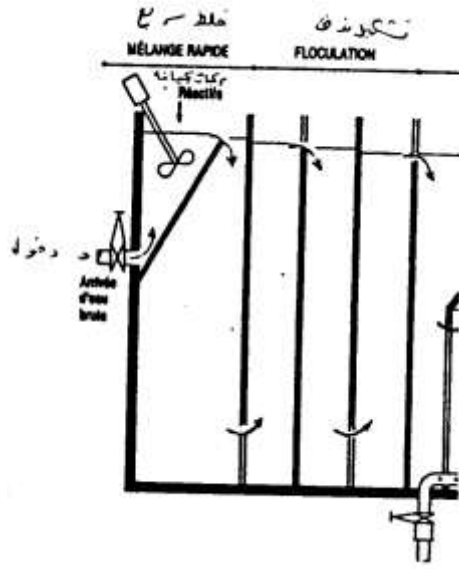
$$A = (S / 0.8)^{0.5}$$

- عدد الممرات n

$$n = A / b$$

حيث v: سرعة جريان الماء في الممرات (0.2-0.3م/ثا)

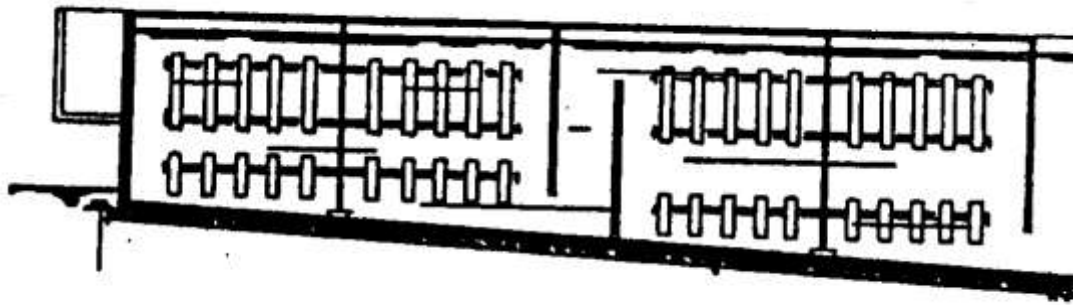
ويمكن أن تكون حركة الماء شاقولية ضمن حوض الخلط البطيء ذي الجدران غير الكاملة كما في الشكل (٣.١٦).



الشكل (٣ - ١٦): شكل لحوض خلط بطيء ذي الجدران وحركة الماء الشاقولية.

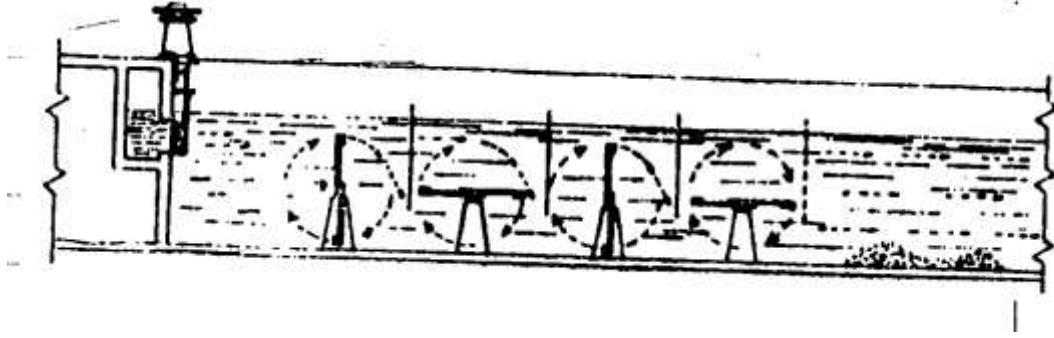
٣-١٤-٢-٢ - أحواض الخلط البطيء ذات مراوح التقلب

ويتم الخلط البطيء إما بوضع مراوح تقلب ذات سرعة دوران بطيئة، تدور المراوح على محور دوران شاقولي (شكل ١٧.٣ أ) أو أفقي (شكل ١٧.٣ ب).



أ. مراوح تقلب ذات محور دوران شاقولي.





ب . مراوح تقليب ذوات محور دوران أفقي .

الشكل ( ٣ - ١٧ ) : نماذج مراوح التقليب البطيء .

يمكن أن نحسب في هذه الحالة قيمة الطاقة من ضياع الحمولة وتدفق الماء والكتلة الحجمية وتسارع الجاذبية الأرضية كما يلي :

$$P = Q \cdot g \cdot \rho \cdot h$$

حيث

حيث

P : قيمة الطاقة Watt

$\rho$  : الكتلة الحجمية للسائل  $\text{kg/m}^3$

g : تسارع الجاذبية الأرضية  $\text{m/sec}^2$

h : ضياع الحمولة m

ويكون مقدار الطاقة في واحدة الحجم ( $\text{Watt /m}^3$ ) هو :

$$W = P/V$$

$$W = P/d.l.w = Q.g.\rho.h /d.l.w$$

$$W = Q.T.g.\rho.h /d.l.w.T$$

$$W=g.\rho.h /T$$

وهنا يمكن أن نشتق مقدار الطاقة لحساب القيمة الصحيحة لتغير السرعة  $G$  بالطريقة التالية:  
نحسب القوة الناتجة عن الاحتكاك من علاقة نيوتن:

$$F_D=C_D.\rho.A.V^2 /2$$

حيث

$C_D$  : عامل الاحتكاك المماريك و يتبع نسبة طول المراك إلى عرضه  $l/w$

$A$  : مساحة سطح المراك  $m^2$

$\rho$  : الكتلة الحجمية للماء  $kg/m^3$

$v$  : السرعة النسبية للمراك بالنسبة للماء السرعة النسبية = السرعة المحيطية \* 0.75)

إن قيمة  $C_D$  يمكن أن يحسب في حال كون طول المراك أكبر من عشر أضعاف عرضه  
 $l/w > 10$  من العلاقة التالية

$$C_D=1.9-(w/l)(9.8-40(w/l))$$

أو تأخذ من الجدول التالي:

النسبة $l/w$	٥	٢٠	لا نهاية
$C_D$	1.2	1.5	1.9

ويكون مقدار الطاقة = القوة . السرعة

$$P= F_D*v =C_D A.\rho.v^3/2$$

بعض معايير التصميم الخاصة بمراوح التقليل ذات المحور الشاقولي  
- زمن المكوث في الحوض بين 1800 و 2400 ثانية.

- تدرج السرعة يتراوح بين  $1 \text{ sec}^{-1} [20-75]$ .
- عمق الحوض من 2 إلى 3 م.
- ارتفاع الإطارات شاقولية المحور يقل عن عمق الحوض بحوالي 30 سم.
- تدور الإطارات بسرعة محيطية  $80-20 \text{ Cm/sec}$ .
- نسبة المساحة الصافية للإطارات من المساحة المائية يجب أن لا تزيد هذه النسبة عن 20 % .

بعض معايير التصميم الإضافية الخاصة بمراوح التقليل ذات المحور الأفقي (الإطارات اللغافة العرضية).

- تدور الإطارات أفقية المحور بحيث يسير الطرف العلوي للإطار في اتجاه سير الماء
- يحتوي الحوض ذو الإطارات اللغافة العرضية على ثلاثة صفوف من الإطارات على الأقل
- المساحة الصافية لإطارات الصف الأول تساوي 35 % من المساحة المائية التي تدور فيها
- المساحة الصافية لإطارات الصف الأول تساوي 25 % من المساحة المائية التي تدور فيها
- المساحة الصافية لإطارات الصف الأول تساوي 15 % من المساحة المائية التي تدور فيها

### تطبيق عددي

صمم حوض لتشكيل الندف تتحرك فيه محاريك بطيئة شاقولية المحور وبفرض مدة البقاء  
30min و التدفق  $Q=0.11 \text{ m}^3/\text{sec}$

### الحل

بما أن زمن المكوث ٣٠ دقيقة

$$30\text{min}=30*60=1800\text{sec} \text{ و هو ضمن المجال } [2400-1800]$$

نحسب حجم الحوض

$$V=Q.T$$

$$=0.11*1800=198\text{m}^3$$

نعتبر العمق مساوياً 2.8 m  
 يكون ارتفاع الإطار 2.5m  
 ونفرض عرض الإطار 3m بالتالي يمكن أن نفرض عرض الحوض مساوياً 3.6 m  
 يكون طول الحوض مساوياً

$$198/(2.8*3.6) = 20 \text{ m}$$

نفرض وجود أربع إطارات يدور كل إطار بواسطة محور شاقولي يدور بسرعة 4 دورات في الدقيقة و يحمل كل إطار أربع محاريك وباعتبار عرض الإطار 3m يكون البعد الوسطي للمحركات البعيدين عن محور الدوران مساوياً 1.5m كما نفرض البعد الوسطي للآخرين عن محور الدوران 0.7m طول المحرك (اللوحة الخشبي) 2.5m نفس ارتفاع الإطار و عرضه 0.15m.

نحسب السرعة المحيطية للمحاريك البعيدة

$$V_p = 2.\pi.1.5.4/60 = 0.63 \text{ m/s}$$

نحسب السرعة المحيطية للمحاريك القريبة

$$V_p = 2.\pi.0.7.4/60 = 0.29 \text{ m/s}$$

وبما أن السرعة المحيطية يجب أن تتراوح قيمتها ضمن المجال [0.2-0.8] m/s فهذا يعني أن تصميمنا إلى هذه المرحلة مقبول.

السرعة النسبية للمحاريك القريبة بالنسبة للماء ( السرعة النسبية = السرعة المحيطية \* 0.75 )

$$v = 0.75*0.29 = 0.22 \text{ m/s}$$

السرعة النسبية للمحاريك البعيدة بالنسبة للماء

$$v = 0.75*0.63 = 0.47 \text{ m/s}$$

تدريج السرعة المؤمن في الحوض يعطى بالعلاقة

$$G = \sqrt{\left( \frac{P}{V.\eta} \right)}$$

حيث

P : الاستطاعة المؤمنة في الحوض Watt

$\eta$  : اللزوجة المطلقة للسائل 0.001 kg/m.s

$V$  : حجم الحوض

وتحسب الاستطاعة المؤمنة في الحوض من العلاقة:

$$P=C_D A.\rho.v^3/2$$

$C_D$  : عامل احتكاك المحاريك و يتبع نسبة طول المحرك إلى عرضه

$A$  : مساحة سطح المحاريك  $m^2$

$\rho$  : الكثافة الكتلية للماء

$v$  : السرعة النسبية للمحرك بالنسبة للماء

إن قيمة  $C_D$  يمكن أن يحسب في حال كون طول المحرك أكبر من عشر أضعاف عرضه

$l/w > 10$  من العلاقة التالية

$$C_D=1.9-(w/l)(9.8-40(w/l))$$

$$l/w=2.5/0.15 = 16.67 > 10$$

$$C_D=1.9-(1/16.67)(9.8-40(1/16.67)) \\ =1.456$$

مساحة المحاريك البعيدة في الحوض

$$=0.15*2.5*2*4=3m^2$$

الاستطاعة التي تؤمنها المحاريك البعيدة

$$p= 1.456*3*1000*(0.47)^3/2=226.75 \text{ watt}$$

مساحة المحاريك القريبة في الحوض

$$=0.15*2.5*2*4=3 m^2$$

الاستطاعة التي تؤمنها المحاريك القريبة

$$p= 1.456*3*1000*(0.22)^3/2=23.255 \text{ watt}$$

الاستطاعة الكلية المؤمنة في الحوض

$$=226.75+23.255=250 \text{ watt}$$

يكون التدرج

$$G=\sqrt{\left( \frac{250}{\quad} \right)}$$

$$198*0.001$$

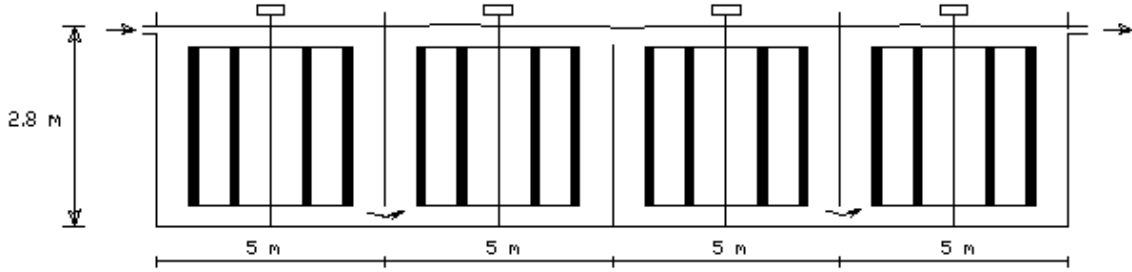
$$=35.5 \text{ sec}^{-1}$$

التدرج مقبول حيث أنه ضمن المجال  $[20-75 \text{ sec}^{-1}]$

نسبة سطح المحاريك إلى المساحة المائية

$$(4*0.15*2.5)/(3.6*2.8)*100 = 15\%$$

و هذا مقبول حيث أنه أقل من 20%.



## تطبيق عددي ٢

صمم حوض تشكيل الندف ذو الإطارات اللغافة العرضية اللازمة لمعالجة  $0.046 \text{ m}^3/\text{s}$

## الحل

بفرض زمن المكوث 2400 ثانية [1800-2400]

يكون حجم الحوض

$$V=Q.T=0.046*2400=110 \text{ m}^3$$

بفرض عمق الحوض 220 سم تكون المساحة السطحية للحوض 50 متر مربع

وبما أن عمق الحوض 220 سم فإن قطر الإطارات اللغافة يساوي 190 سم

فإذا كان الحوض يحوي على ثلاثة صفوف من الإطارات فان طول الحوض يجب أن لا يقل عن المسافة

الكافية لدوران الإطارات أي

$$190*3=570 \text{ cm}$$

و بالنظر إلى المسقط الأفقي للحوض يكون الطول  
 $30+190+30+190+30+190+50=710$  cm

يكون العرض مساويا إلى  $50/7.1=7.05$  m

المساحة المائية التي تدور فيها الإطارات تساوي حاصل جداء عرض الحوض في العمق

$$7.05*2.2*0.35=5.42 \text{ m}^2 \text{ إذا مساحة الإطارات للصف الأول}$$

$$7.05*2.2*0.25=3.87 \text{ m}^2 \text{ و مساحة الإطارات للصف الثاني}$$

$$7.05*2.2*0.15=2.32 \text{ m}^2 \text{ و مساحة الإطارات للصف الثالث}$$

عدد الإطارات في الصف الواحد 2 وعرض الإطار 3 متر و عرض اللوح الخشبي 0.15 متر

$$0.15*3*2=0.9 \text{ m}^2 \text{ إذا المساحة الكلية للوح الخشبي}$$

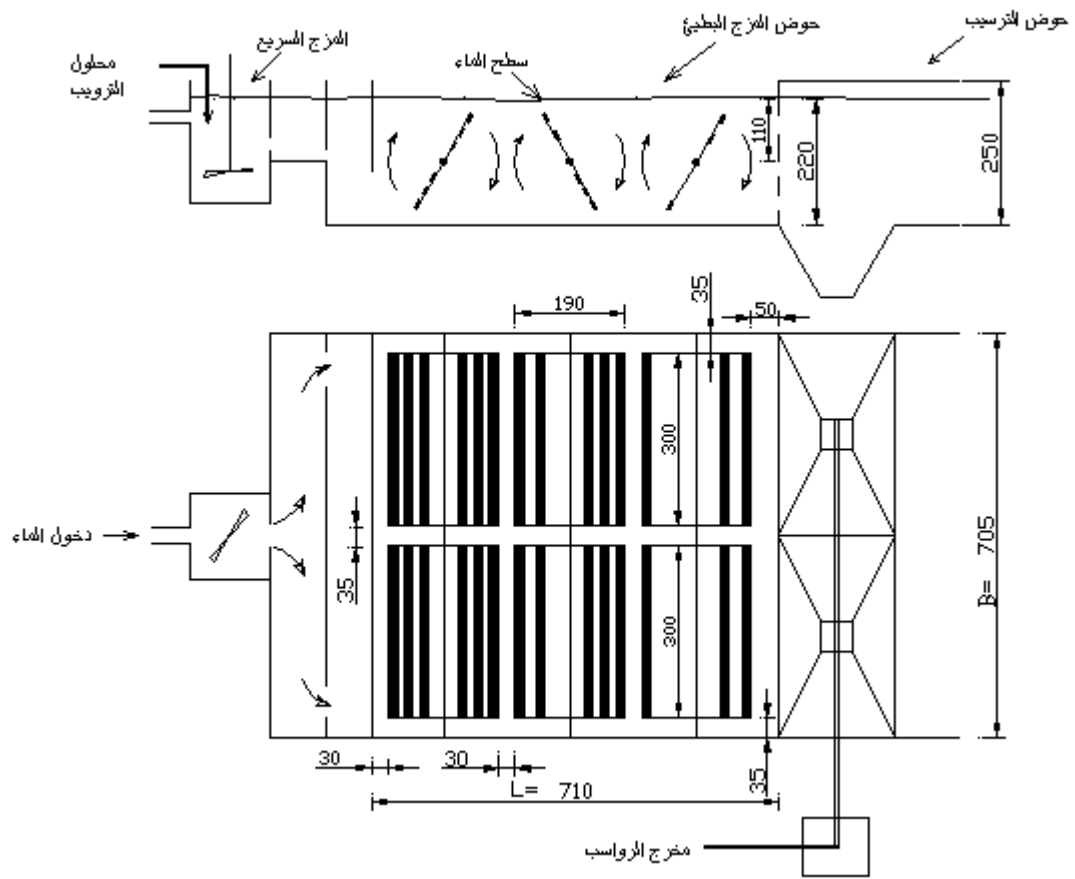
$$5.42/0.9=6 \text{ عدد الألواح الخشبية في إطارات الصف الأول}$$

$$3.87/0.9=5 \text{ و عدد الألواح الخشبية في إطارات الصف الثاني}$$

$$2.32/0.9=3 \text{ و عدد الألواح الخشبية في إطارات الصف الثالث}$$

نضع ارتفاع إضافي للحوض فوق سطح الماء بمقدار 30 سم ليصبح الارتفاع التصميمي للحوض

$$220+30=250 \text{ cm}$$



www.islami